

الجمهورية العربية السورية

المعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا

قسم هندسة الاتصالات

أطروحة أعدت لنيل درجة الدكتوراه في هندسة الاتصالات

---

## نحو إدارة ذاتية عديمة التصادم في أنظمة الاتصالات الخلوية

---

إعداد

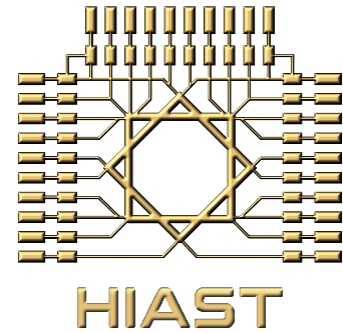
م. عدنان محمد نزار بيازيد

إشراف

د.م. محمد الجنيدي

د.م. خلدون خرزم

Syrian Arab Republic  
Higher Institute for Applied Sciences and  
Technology  
Telecommunication Department



PhD Thesis in Communication Engineering

---

**Toward conflict-free self-organization  
in cellular networks**

---

By

Adnan Bayazeed

Supervised by

Dr. Khaldoun Khorzom

Dr. Mohammed Aljnidi

# المعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا

المعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا مؤسسة حكومية للتعليم العالي أحدثت بموجب المرسوم التشريعي رقم /24/ لعام 1983، وذلك بهدف إعداد كوادر علمية متميزة من مهندسين وباحثين للإسهام الفاعل في عملية التطوير العلمي والتنمية في الجمهورية العربية السورية.

يمنح المعهد العالي درجة الإجازة في الهندسة في الاتصالات والمعلوماتية والنظم الإلكترونية والميكاترونكس وعلوم وهندسة المواد وهندسة الطيران. يقبل المعهد العالي لدراسة هذه الاختصاصات شريحة منتقاة من المتفوقين في الشهادة الثانوية من الفرع العلمي. يتيح المعهد العالي أيضاً برامج ماجستير أكاديمي في نظم الاتصالات وفي التحكم والروبوتيك وفي نظم المعطيات الكبيرة ونظم المعلومات ودعم القرار وفي علوم وهندسة المواد وعلوم وهندسة البصريات. وأخيراً، يمنح المعهد العالي درجة الدكتوراه في الاتصالات والمعلوماتية ونظم التحكم والفيزياء التطبيقية. تُحدث في المعهد العالي اختصاصات جديدة بحسب متطلبات سوق العمل وتوجهات البحث والتطوير المحليّة والعالمية.

إلى جانب النشاط التعليمي، يمارس المعهد العالي عبر جهود أطره وفعالياته العلمية المختلفة نشاطاً حثيثاً في البحث والتطوير، إذ ينفذ مشاريع ودراسات واستشارات متنوعة لصالح الجهات العامة والخاصة في القطر، كما يتعاون مع جهات خارج القطر في بعض المشاريع البحثية والتطويرية. يسعى المعهد أيضاً، عبر دورات تدريبية نظرية وعملية متاحة للقطاعين العام والخاص وللأفراد، إلى إفادة أوسع فئة من المهتمين من إمكانيات أطره العلمية ومختبراته. واستكمالاً لدوره الرائد في مجال التعليم ونشر العلم، ينشر المعهد العالي كتباً علمية عالية المستوى من نتاج أطره، منها ما هو تدريسي يوافق المناهج في المعهد العالي ويفيد شريحة واسعة من الطلاب الجامعيين عموماً، ومنها ما هو علمي ثقافي. يتيح المعهد العالي بعضاً من منشوراته على موقعه على الشّابكة، كما يتيح إمكانية الاطلاع على رسائل الماجستير والدكتوراه المنفذة في المعهد العالي وعلى بعض منشورات طلابه وأطره من المقالات العلمية.

المعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا، الجمهورية العربية السورية، دمشق، ص.ب 31983

Higher Institute for Applied Sciences and Technology – HIAST

P. O. Box 31983, Damascus, Syrian Arab Republic

هاتف 00963115123819 - فاكس 00963115140761

بريد إلكتروني [contact@hiast.edu.sy](mailto:contact@hiast.edu.sy)

موقع إلكتروني [www.hiast.edu.sy](http://www.hiast.edu.sy)

## ملخص

تعتبر الشبكات ذاتية الإدارة (Self-Organizing Network) SON من المجالات البحثية الرائدة في مجال الاتصالات الخلوية والتي بدأ العمل بها مع ظهور الجيل الرابع (4G)، وتبلورت الكثير من مفاهيمها خلال العقد الماضي، ولا زالت الأبحاث مستمرة فيها إلى يومنا هذا. وازدادت أهميتها مؤخراً مع ظهور الجيل الخامس (5G) وما تلاه من الكشف عن بعض ملامح الجيل السادس (6G) وذلك نظراً للتعقيد والحساسية العاليتين التي تتطلبها إدارة الشبكات الخلوية المستقبلية. إلا أن أحد العوائق الهامة التي واجهت تشغيل الشبكات ذاتية الإدارة هي مشكلة تصادم وظائف الإدارة والتي تؤدي إلى تدهور أدائها أو في بعض الأحيان إلى فشل نظام الإدارة ككل. وعلى الرغم من أن وظيفة التنسيق الذاتي استخدمت لحل مشكلة التصادم، إلا أن ذلك لم يمنع حدوث الكثير من المشكلات التشغيلية التي حالت دون الاستفادة من وظائف SON بصيغتها الشمولية. إضافة إلى ذلك ظلت العديد من جوانب التنسيق الذاتي مبهمَةً خلال العقد الماضي، ما حال دون نضوج طرائقه واعتمادها على نطاقٍ واسعٍ بينما اقتصرَت أبحاثه على مجموعةٍ محدودةٍ من المسائل. يُركِّز هذا البحث على وظيفة التنسيق الذاتي ومفاهيمها بشكلٍ عامٍّ كجزءٍ من المساهمة، وعلى إيجاد حلٍ لتنسيق مستنسخات الوظائف الإدارية الذاتية ضمن حقل التعافي الذاتي بشكلٍ خاص. ونظراً لتعقيد وظيفة التنسيق الذاتي وضبابية مفاهيمها وفلّة المعايير التي توصّفها من جهة، ولأهميتها في الشبكات المستقبلية من جهةٍ أخرى، فقد جرى في بداية هذا البحث مناقشة مبادئ ومشكلات تشغيل وظائف SON بشكلٍ منهجي. وهذا أفضى إلى تعريف سبعة أنواعٍ جديدةٍ من التصادمات التي يمكن أن تنشأ بين وظائف الإدارة، والتي يجب أخذها بالاعتبار من أجل تحقيق متطلبات ضبط وتحسين شبكات 5G وما بعده. كما جرى وضع أول تصنيفٍ لطرائق التنسيق الذاتي بناءً على المنهجيات الأساسية المستخدمة فيها ومناقشة أساليب تنجيزها ومقارنة آخر ما توصلت إليه الأبحاث في هذا المجال. إضافةً إلى ذلك، جرى اقتراح أول إطار عملٍ متكاملٍ وعمامٍ لوحدة التنسيق الذاتي بهدف تلافي وحل التصادمات على أساس نموذج 3GPP المرجعي في إدارة الشبكة الخلوية. وباعتبار أن حقل التعافي الذاتي لم يلقَ القدر المناسب من اهتمام أبحاث التنسيق خلال العقد الماضي من جهة، ونظراً للحاجة الأساسية لضمان تعويضٍ ذاتيٍ خالٍ من التصادم من جهةٍ أخرى، جرى ضمن هذا البحث برهان الحاجة الأساسية لتنسيق وظائف التعافي الذاتي. وعلى ضوء ذلك جرى اقتراح حلٍ لمشكلة تنسيق وظائف التعافي الذاتي بالاعتماد على السياسات العليا المنجزة باستخدام المنطق العائم بالنسبة لوظائف تعويض ميلان الهوائي، وباستخدام نظرية الألعاب غير التعاونية ذات المحصلة الصّفرية لتنسيق وظائف تعويض الاستطاعة. حتق الحل، ضمن إطار عمل التنسيق الذاتي، تلافياً وحلاً للتصادمات في أسوأ حالات التّنجيز لوظائف مستقلة وحيدة الهدف ذات سلوكٍ أناني. كما

حَقَّقَ الحِلَّ المَقْتَرَحَ بِاسْتِخْدَامِ نَظَرِيَةِ الأَلْعَابِ اسْتِغْلَالاً لِتَصْمِيمِ وَظِيفَةِ التَّنْسيقِ الذَّاتِيِّ عَن وَظَائِفِ التَّعَايِي الذَّاتِيِّ أَي اسْتِغْلَالاً عَن طَرَائِقِ التَّعْوِيضِ. وَهَذَا بِدَوْرِهِ يُمْكِنُ مَن تَبْسيطِ التَّصَامِيمِ المَعْقَدَةِ لِنِظامِ الإِدَارَةِ كَكُلِّ، وَيَمْنَحُ دَرَجَةً كَبِيرَةً مَن المَرُونَةِ فِي التَّنْجِيزِ وَالتَّطْوِيرِ لِلوَظَائِفِ عَلى الشَّبَكاتِ العَامِلَةِ اقْتِرَاباً مَن حَلِّ شَمُولِيٍّ لِمَشْكَلةِ تَصَادَمِ وَظَائِفِ التَّعَايِي الذَّاتِيِّ.

**الكلمات المفتاحية:** شبكات الاتصالات الخلوية، شبكات الإدارة الذاتية، التنسيق الذاتي، التعافي الذاتي، التعويض الذاتي، تصادم وظائف الإدارة، المنطق العائم، نظرية الألعاب غير التعاونية ذات المحصلة الصفرية، نقطة توازن ناش.

# Abstract

---

Self-Organizing Network (SON) is an active research area in cellular network since the earlier identification of 4G requirements, where many of its concepts have been defined over the last decade. Recently, the importance of SON has increased after the deployment of the fifth generation (5G) which is associated with revealing some of the 6G prospective, since the network management and optimization on these generations are regarded as a very complex and sensitive task. One important challenge of SON deployment and operation is the conflict between SON functions, which compromise the overall gain of SON and may result in SON failure. Although the functionality of self-coordination is introduced in order to avoid and resolve conflicts, the problem of SON conflict is not completely addressed. In addition, most of self-coordination concepts are dissipated on large number of researches and papers whereas many of its perspectives are not clarified during the last decade, as their researches are restricted to limited applications. This dictates some limitations on the contributions of this field and prevents the coordination methodologies from reaching the maturity, which in their role, prevent the wide deployment of SON functions. This research concentrates on the functionality of self-coordination and its concepts as a general contribution, and concentrates specifically on coordinating SON function instances in the area of self-healing. Due to the complexity of self-coordination functionality and the lacking of standards in this area on the one hand, and its significant role in future network on the other hand, in this research, we discuss the concepts and the problems of SONF operation in a methodological way. This contributes into **defining seven new types of conflicts** that can be triggered between SONFs, and which have to be addressed in order to achieve the requirements of network configuration and optimization in 5G and beyond. In addition, we provide **the first classification of self-coordination methodologies** according to the main methodology in each, and **discuss the implementation issues and the state-of-the-art** in this field. Furthermore, we **suggest the first generic self-coordination framework** in order to avoid and resolve conflicts according to the 3GPP reference model of network management in cellular network. Since the coordination in the area of self-healing receives the least research attention during the last decade on the one hand, and due to the critical need of conflict-free Cell Outage Compensation (COC) on the other hand, in this research, we **prove the essential need for coordinating COC instances**. Then, we **propose a solution based on high-policies implemented by fuzzy-logic in order to coordinate Antenna Tile (AT)-based COC instances, and Non-Cooperative zero-sum Game (NCG) for coordinating Transmission Power (TXP)-based COC instance**. The proposed solution in terms of general coordination framework achieves conflict avoidance and resolution in the worst case of deployment of greedy stand-alone single-objective COC functions. In addition, the NCG-based solution achieves the independency between the design of self-coordination functionality, the design of other COC functions and the compensation methodologies, which in their turn, simplify the design of SONFs and enable flexible implementation, and modification of them in real networks towards conflict-free self-healing.

**Keywords:** cellular network, self-organizing network, self-coordination, self-healing, outage compensation, SON conflict, fuzzy logic, non-cooperative zero-sum game, Nash equilibrium.

## المقالات

---

1- تحسين استمرارية الخدمة في أنظمة الاتصالات الخليوية من خلال تطوير خاصة التعافي الذاتي، جامعة البعث، سلسلة العلوم الهندسية الميكانيكية والكهربائية والمعلوماتية، المجلد 40، (2018).

2- Bayazeed, Adnan, Khaldoun Khorzom, and Mohamad Aljnidi. "A survey of self-coordination in self-organizing network." Computer Networks 196 (2021): 108222. (Q1)

3- Bayazeed, Adnan, Khaldoun Khorzom, and Mohamad Aljnidi. "Toward Coordinating Self-Healing Instances: Policy-Based and Non-Cooperative Game Theory-Based Approaches with Location Awareness", (submitted)

# جدول المحتويات

1	1- مقدمة عامة .....
1	1-1 تمهيد .....
3	2-1 لمحة تاريخية .....
5	3-1 محفزات ودوافع البحث .....
8	4-1 هدف البحث .....
9	5-1 أبحاث ذات صلة .....
10	6-1 مساهمات البحث .....
11	7-1 أقسام البحث .....
14	2- المبادئ والمتطلبات التشغيلية لنظام الإدارة الذاتية في الشبكات الخلوية .....
14	1-2 المبادئ التقنية لوظائف الإدارة الذاتية .....
17	2-2 مظاهر تفاعل الوظائف الإدارية .....
21	3-2 مبادئ التنسيق الذاتي .....
22	4-2 خلاصة .....
23	3- التصادم والتنسيق الذاتي لوظائف الإدارة الذاتية .....
23	1-3 تصادم الوظائف الإدارية وتصنيفاته .....
27	2-3 الطبيعة العائمة للتصادم .....
29	3-3 تطور التنسيق الذاتي .....
31	4-3 التنسيق الذاتي في نظام الإدارة الذاتية .....
31	1-4-3 المنطق الوقائي Protective logic .....
31	2-4-3 المنطق التفاعلي Reactive logic .....
32	3-4-3 المنطق الاستباقي Protective logic .....
34	5-3 إطار عمل التنسيق الذاتي المقترح .....
35	6-3 تنجيز المنسق الذاتي .....



39	7-3 طرائق التَّنسيق الذَّاتي
39	1-7-3 التَّصميم المشترك للوظائف الإداريَّة Co-design of SON function
40	3-7-2 التَّنسيق المحكوم بالسياسات Policy-based coordination
42	3-7-3 توحيد أهداف الوظائف الإداريَّة SON Function Harmonization
42	4-7-3 التَّنسيق المبني على الأهداف Objective-driven coordination
43	5-7-3 حلول التَّنسيق البنيوية Architectural-based solutions
43	6-7-3 التَّنسيق المبني على الحلقات المغلقة Control-loop-based coordination
45	7-7-3 التَّنسيق المبني على التحقق SON function verification
46	8-7-3 التَّنسيق المبني على التشخيص Diagnostic-based coordination
46	9-7-3 التَّنسيق المعتمد على تعلم الآلة Machine learning-based coordination
47	10-7-3 التَّنسيق الاستباقي والادراكي Cognitive and proactive coordination
47	11-7-3 التَّنسيق الذَّاتي Autonomic Coordination
48	8-3 خلاصة
<b>51</b>	<b>4- وظيفة التَّعافي الذَّاتي ومتطلبات عملها</b>
51	1-4 وظيفة التَّعافي الذَّاتي وفق الرُّؤيا المعيارية
53	2-4 وظائف التَّعويض الذَّاتي
53	1-2-4 وظيفة التَّعويض بالاعتماد على ميلان الهوائي
54	2-2-4 وظيفة التَّعويض بالاعتماد على استطاعة الارسال
54	3-4 المتطلبات التَّصميمية والتَّشغيلية لوظيفة التَّعويض الذَّاتي
56	4-4 السلوك العملي التَّصادمي لمستنسخات التَّعويض
57	5-4 متطلَّبات التَّنسيق لمستنسخات التَّعويض الذَّاتي
58	6-4 أبحاث ذات صلة
60	7-4 خلاصة
<b>61</b>	<b>5- التَّصميم والنَّمذجة والتَّوصيف الرِّياضي</b>
61	5-1 تخطيط الشَّبْكة الخلوية ومواصفات الوصلة الراديوية
63	2-5 صياغة المشكلة الأساسيَّة

64	3-5 إطار عمل نظام SON على الشبكات الخلوية.....
67	4-5 استدعاء وظائف التعافي الذاتي.....
68	5-5 اختيار الخلايا المرشحة لعملية التعويض الذاتي.....
69	5-6 وظيفة التعويض الذاتي باستخدام ميلان الهوائي.....
70	5-7 وظيفة التعويض الذاتي باستخدام استطاعة الإرسال.....
74	5-8 تصميم المنطق الوقائي الخاص بتنسيق عمليات التعافي الذاتي.....
76	5-9 تصميم المنطق التفاعلي الأولي بالنسبة لوظيفة التعويض باستخدام ميلان الهوائي.....
80	5-10 تصميم المنطق التفاعلي الأولي بالنسبة لوظيفة التعويض باستخدام الاستطاعة.....
81	5-10-1 صياغة قواعد لعبة التعويض باستخدام الاستطاعة.....
84	5-10-2 التنسيق القائم على نظرية الألعاب غير التعاونية ذات المحصلة الصفرية.....
89	5-11 تصميم منطق التنسيق الثانوي.....
89	5-11-1 تصميم منطق التنسيق التفاعلي الثانوي الخاص بوظيفة تعويض ميلان الهوائي AT-COC.....
90	5-11-2 تصميم منطق التنسيق التفاعلي الثانوي الخاص بوظيفة تعويض استطاعة الإرسال TXP-COC.....
91	5-12 تنفيذ اللعبة في ظل التغيرات الديناميكية العملية للشبكة.....
91	5-13 خلاصة.....
92	6- المحاكاة والنتائج العملية.....
92	6-1 إعدادات بيئة المحاكاة.....
96	6-2 لحظة انقطاع الخدمة.....
98	6-3 دراسة أداء RSRP وتابع التجاور $\alpha m, m'$ وفقاً لزاوية الميل.....
99	6-4 عملية التعويض بدون وجود تنسيق بين مستنسخات الوظائف الإدارية.....
101	6-5 عملية التعويض بوجود تنسيق بين مستنسخات الوظائف الإدارية.....
111	6-6 خلاصة.....
112	7- الخاتمة والآفاق المستقبلية.....
115	الملحق (1) جدول التصادمات المحتملة بين وظائف SON.....
118	الملحق (2) المحاكى NS-3.....

118	تعريف ببرنامج المحاكاة NS-3
118	بيئة المحاكاة وإطار عمل المحاكاة الموسع
120	المراجع العلمية

# فهرس الأشكال

- الشكل 1—1 وظائف الإدارة الذاتية الأساسية بحسب صلاحياتها ..... 2
- الشكل 1—2 إطار عمل نظام الإدارة الذاتية..... 3
- الشكل 1—3 مخطط عرض الأطروحة..... 13
- الشكل 1—2 الأطوار الوظيفية لتنفيذ أي وظيفة إدارة ذاتية ونقاط التفاعل المحتملة..... 15
- الشكل 2—2 المخطط الصندوقي العام لمستنسخ موافق لوظيفة إدارية على الشبكة العاملة ..... 16
- الشكل 2—3 المناطق الوظيفية للوظيفة الإدارية..... 17
- الشكل 2—4 التّنجيز العملي لنظام الإدارة الذاتية على الشبكة الخلوية..... 19
- الشكل 2—5 إطار عمل SON بوجود التّسيق الذاتي المركزي..... 22
- الشكل 1—3 تصادم معاملات الخرج التحكّمية ..... 24
- الشكل 2—3 تصادم مؤشرات الأداء..... 24
- الشكل 3—3 تأثير رد الفعل المتسلسل في الاستدعاء المتكرر للوظائف والتّصادمات ..... 29
- الشكل 3—4 أصناف تصادمات وظائف الإدارة الذاتية..... 30
- الشكل 3—5 إطار عمل التّسيق الذاتي في حالة التّنجيز المركزي ..... 33
- الشكل 3—6 البنية الهرمية لمستويات إدارة الشبكة الخلوية في نموذج 3GPP المرجعي..... 36
- الشكل 3—7 التصميم المشترك لوظيفتين إداريتين SONF(A) و SONF(B) ..... 39
- الشكل 3—8 تصميم المنسق ذي الحلقات المغلقة بين وظيفتين إداريتين..... 44
- الشكل 1—4 مفهوم التّعويض الذاتي..... 52
- الشكل 2—4 مراحل عملية التعافي الذاتي..... 52
- الشكل 3—4 تأثير ميلان الهوائي على نموذج التّغطية..... 53
- الشكل 1—5 التخطيط المنتظم للشبكة الخلوية..... 61
- الشكل 2—5 إطار العمل المركزي لتنفيذ نظام SON في الشبكة الخلوية..... 65
- الشكل 3—5 تغيرات التابع  $\beta ccm'(xk)$  تبعاً للبعد عن مركز الخلية..... 76
- الشكل 4—5 المخطط الصندوقي لتنفيذ متحكم المنطق العائم..... 78

79	الشكل 5—5	توابع الخرج الأعضاء
79	الشكل 6—5	توابع الدخل الأعضاء
82	الشكل 7—5	التوزيع المتساوي لحمولة المنطقة الخرجة عن الخدمة
91	الشكل 8—5	الإنتاجية العملية لخلية على مدار اليوم
92	الشكل 1—6	إطار عمل المحاكاة ويضم تخطيط الطبقة الماكروية ومنطقة توزيع المستخدمين
93	الشكل 2—6	مخطط انتقالات الحالة للخلايا
93	الشكل 3—6	مخطط انتقالات الحالة أثناء عملية الضبط
94	الشكل 4—6	إطار عمل المحاكاة
97	الشكل 5—6	بعض مؤشرات أداء الشبكة لحظة الانقطاع
98	الشكل 6—6	أداء RSRP مقابل زاوية الميل للخلية 17
98	الشكل 7—6	أداء RSRP للخلايا المجاورة مقال تغيرات الميل في الخلية 17
99	الشكل 8—6	أداء التابع $am, m'$ وفقاً لتغيرات زاوية الميل من $15^\circ$ عند $t=0$ إلى $0^\circ$ عند $t=15$
100	الشكل 9—6	أداء التسليم HO مقابل قيم ميلان الهوائيات أثناء عمل مستنسخات AT-COC
100	الشكل 10—6	أداء الإنتاجية مقابل قيم معاملات استطاعة الإرسال أثناء عمل مستنسخات TXP-COC
101	الشكل 11—6	أداء إنتاجية المستخدمين في المنطقة الخارجة عن الخدمة
101	الشكل 12—6	أداء RSRP و RSRQ في المنطقة الخارجة عن الخدمة
102	الشكل 13—6	أداء الإنتاجية ضمن منطقة الحدث قبل وبعد انقطاع الخدمة عند الزمن $t = 5$ [s]
102	الشكل 14—6	التنسيق باستخدام آلية طلب-استجابة أثناء تعويض التغطية
103	الشكل 15—6	تغيرات ميلان الهوائي أثناء عملية التعويض
104	الشكل 16—6	أداء $Um, m$ و $Um, m'$ مقابل تغيرات ميل الهوائي حيث $m = 17$
104	الشكل 17—6	أداء $am, m'$ مقابل تغيرات ميل الهوائي حيث $m = 17$
105	الشكل 18—6	أداء الإنتاجية لخلايا منطقة الحدث مقابل قيم استطاعة خلاياها
107	الشكل 19—6	الخرائط الراديوية لحالات الشبكة الخلوية ضمن منطقة التأثير على ارتفاع 1.5 [متر]

## فهرس الجداول

---

الجدول 1—2	الوظائف الإدارية و NCPs الخاصة بها	20
الجدول 1—3	مقارنة بين بني SON	37
الجدول 2—3	مقارنة نوعية بين الوظائف العاملة في الزمن الحقيقي والزمن المكافئ	38
الجدول 3—3	مقارنة بين طرائق التنسيق الذاتي	49
الجدول 1—5	الأولويات الافتراضية للوظائف الإدارية	74
الجدول 2—5	خرج المرحلة الأولى من متحكم المنطق العائم (تجاوز التغطية $Com, m'$ )	78
الجدول 3—5	خرج المرحلة الثانية من متحكم المنطق العائم (قيم $\Delta\theta$ المقترحة)	78
الجدول 1—6	قيم معاملات المحاكاة	95
الجدول 2—6	قيم معاملات توابع المنفعة الخاصة بضبط ميلان الهوائي	96
الجدول 3—6	ملخص عن عملية التعويض غير المنسق مقابل التعويض المنسق	106
الجدول 4—6	مقارنة الحل المقترح مع الحلول ذات الصلة	110

## مسرد المصطلحات

الاختصار	المصطلح	
ADD	Anomaly Detection and Diagnosis	اكتشاف وتشخيص الأعطال
ANM	Autonomic Network Management	إدارة الشبكات الذاتية
ANR	Automatic Neighbor Relation	التجاور الأتوماتيكي
BS	Base Stations	محطة قاعدية
CAPEX	CAPital Expenditures	النفقات التأسيسية
CCO	Coverage and Capacity Optimization	تحسين التغطية والسعة
CID	Cell IDentity	معرف الخلية
CM	Configuration Management	إدارة الضبط
CO	Cell Overshoot	تجاوز التغطية
COC	Cell Outage Compensation	تعويض انقطاع الخلية
CPV	Control Parameter Value	قيمة المعامل التحكمي
DM	Domain Manager	مدير المجال
EE	Energy Efficiency	الكفاءة الطاقية
ECA	Event-Condition-Action	حدث-شرط-فعل
eNB	evolved Node B	محطة قاعدية تعمل بتقنية LTE
FLC	Fuzzy Logic Controller	متحكم المنطق العائم
FM	Fault Management	إدارة الأعطال
HetNet	Heterogeneous Network	الشبكات المهجنة
HO	Hand-over	التسليم
ICI	Inter-Cell Interference	التداخل بين الخلايا
ICIC	Inter-Cell Interference Coordination	تنسيق التداخل بين الخلايا
KPI	Key Performance Indicators	مؤشرات الأداء
MDT	Minimization of Drive Test	التقليل من اختبار القيادة
ML	Machine Learning	تعلم الآلة
MLB	Mobility Load Balancing	توازن الأحمال باستخدام التسليم
MNO	Mobile Network Operator	مشغل الشبكة الخلوية
MOO	Multi-Objective Optimization	التحسين متعدد الأهداف
MRO	Mobility Robustness Optimization	تحسين متانة التسليم

NaEq	Nash Equilibrium	توازن ناش
NCL	Neighbor Cell List	قائمة خلايا الجوار
NCP	Network Control Parameters	معاملات التحكم بالشبكة
NCR	Neighbor Cell Relation	علاقة التجاور بين الخلايا
NE	Network Element	عنصر شبكي
NFV	Network Function Virtualization	المحاكاة الافتراضية لوظائف الشبكة
NMS	Network Management System	نظام إدارة الشبكة
NTM	Network Topology Mutation	تغيير طوبولوجيا الشبكة
OPEX	Operational EXpenditures	النفقات التشغيلية
OSS	Operational and Support System	نظام التشغيل والدعم
PCI	Physical Cell Identity	معرف الخلية الفيزيائي
PM	Performance Management	إدارة الأداء
PnP	Plug-and-Play	التوصيل والتشغيل
QoE	Quality of Experience	جودة التجربة
QoS	Quality of Service	جودة الخدمة
RAN	Radio Access Network	شبكة النفاذ الراديوية
RAT	Radio Access Technology	تقنية النفاذ الراديوية
RL	Reinforcement Learning	التعليم المعزز
RLF	Radio Link Failures	فشل الوصلة الراديوية
RSRP	Reference Signal Received Power	استطاعة الإشارة المستقبلية المرجعية
SCP	SON Configuration Parameters	معاملات ضبط الشبكات ذاتية الإدارة
SDN	Software-Defined Network	الشبكات المعرفة برمجياً
SFA	SON Function Algorithm	خوارزمية الوظيفة في الشبكة ذاتية الإدارة
SFM	SON Function Model	نموذج الوظيفة في الشبكة ذاتية الإدارة
SON	Self-Organizing Network	الشبكات ذاتية الإدارة أو ذاتية التنظيم
SONF	SON Function	وظيفة/ تابع في الشبكة ذاتية الإدارة
SONFC	SONF Coordinator	منسق الوظائف في الشبكة ذاتية الإدارة
SONFI	SON Function Instance	مستنسخ لوظيفة في الشبكة ذاتية الإدارة
TXP	Transmission Power	استطاعة الارسال
UE	User Equipment	الوحدة النقالة



## مسرد الرموز

الوصف	الرمز
مجموعة المستخدمين (الوحدات النقالة) الكلي، وضمن الخلية، وضمن المنطقة الخارجة عن التغطية	$\mathcal{K}, \mathcal{K}_m, \mathcal{K}_o$
المساحة للشبكة الكلية، وللخلية، وللمنطقة الخارجة عن التغطية	$\mathcal{R}, \mathcal{R}_m, \mathcal{R}_o$
العدد الكلي لخلايا الشبكة وللخلايا الخارجة عن الخدمة	$\mathcal{M}, \mathcal{M}_o$
استطاعة الإشارة المستقبلية، ونسبة استطاعة الإشارة المستقبلية إلى استطاعة الضجيج، والإنتاجية للوحدة النقالة $k$ الموجودة في الموقع $u$ والمرتبطة مع الخلية $m$ من خلال كتلة الموارد الفيزيائية $r$ .	$P_{k,r}^m(u),$ $\gamma_{k,r}^m(u),$ $\eta_{k,r}^m(u)$
الضجيج الأبيض الجمعي الغاوسي	$\sigma^2$
ريح القناة عريضة المجال بالنسبة للوحدة النقالة $k$ من خلال كتلة الموارد الفيزيائية $r$ .	$G_{k,r}^m$
استطاعة التداخل البيني (بين الخلايا) للمستخدم $k$ والمرتبطة بالخلية $m'$ من خلال كتلة الموارد الفيزيائية $r$ .	$I_{k,r}^{m'}$
تابع مؤشر اسناد كتل الموارد الفيزيائية في الخلية $m$	$b_{k,r}(m)$
عرض مجال النظام	$B$
العدد الإجمالي للموارد الفيزيائية ودليل كتلة الموارد الفيزيائية	$R, r$
ثابت نسبة الخطأ البيئي	$\Gamma$
تابع تحسين ميلان الهوائي على الخلية $m$ وقيمة زاوية $\hat{\theta}^m$ الميلان خلال الزمن $t$	$F_{\theta}^m(t+1),$ $F_{\theta}^m(t)$
تابع تحسين استطاعة الإرسال على الخلية $m$ وقيمة الاستطاعة خلال الزمن $t$	$F_p^m(t+1),$ $F_p^m(t)$
القيمة الخطوية لضبط زاوية ميلان الهوائي، والقيمة الصغرى والعظمى لقيم الميلان المسموح بها	$\Delta\hat{\theta}, \hat{\theta}_{min}^m, \hat{\theta}_{max}^m$
القيمة الخطوية لضبط استطاعة الإرسال، والقيمة الصغرى والعظمى لقيم الاستطاعة المسموح بها	$\Delta p, P_{max}^m, P_{min}^m$
تابع المنفعة للتأثير المتبادل بين الخلايا، وتابع المنفعة المؤشر لقيم RSRP في الخلية الأصلية	$U^{m,m'}, U^{m,m}$
تابع المنفعة المحدد لعلاقة التجاور	$\alpha^{m,m'}$

الوصف	الرمز
تابع توزيع البعد عن مركز الخلية	$\beta_{cc}^{m'}(x_k)$
مؤشر الفرق لقيم RSRP بين الخلايا عند الوحدة النقلة	$D_k(m, m')$
مؤشر متوسط الفرق لقيم RSRP بين الخلايا	$\overline{\Delta RSRP}(m, m')$
مؤشر RSRP للوحدة النقلة	$N_k^m$
الرمز الممثل للتدوين المعياري للصيغة الاستراتيجية للعبة غير التعاونية ذات المحصلة الصفرية، عدد اللاعبين، فضاء الاستراتيجية لكل لاعب، تابع المنفعة للربح الصافي للعبة	$G, \mathcal{N}, S^m, u_c^m$
تابع المنفعة المتعلق بالإحداثيات، وتابع الكلفة	$u^m(S^m, S^{-m}),$ $c^m(S^m, S^{-m})$
الإنتاجية الكلية للشبكة، وانتاجية الخلية $m$ ، ومستوى توازن الإنتاجية أثناء التعويض	$L_{total},$ $L(m),$ $L_b(m)$
الحمولة الحالية للخلية المعتبرة $m$ ، والحمولة المتاحة للخلية المعتبرة $m$ ، والحمولة المفقودة للخلية الخارجة عند الخدمة $m$	$l_c(m),$ $l_a(m),$ $l_o(m)$

## 1 - مقدمة عامة

### 1-1 تمهيد

أدّى التطور المتسارع في مجال أنظمة الاتصالات الخلوية وشبكاتّها في العقد الأخير من الزمن، والذي ترافق مع انتشارها الواسع من جهة وسهولة استخدامها والحصول عليها من جهة أخرى، أدّى إلى جعل هذه الشبكات أحد أهم وسائل النفاذ إلى الشبّكة العنكبوتية والتواصل الرقمي. إن هذه السمة المعاصرة لهذا النوع من الشبكات جذبت المزيد من الاستثمارات في هذا الحقل والتي تبتدئ عادة بالمشاريع التأسيسية للبنى التحتية لهذه الشبكات من طرف مزود الخدمة ولا تتوقف عند صناعة التطبيقات وتوزيعها وتكاملها من طرف المستخدم. وباعتبار أن المستخدم هو نفسه العميل من وجهة نظر مزود الخدمة، فإنه يعتبر المنطلق والمستقر لهذا النوع من الاستثمار. وهنا أصبح التحدي لدى مشغلي الخدمة قائم على اجتذاب المزيد من المستخدمين من جهة، والعمل على تقديم جودة خدمة أفضل من جهة أخرى. وعلى الرغم أن سعر الخدمة يعد عامل مهم من وجهة نظر العميل، إلا أن المستخدم يميل دوماً، وبشكل مطلق، إلى مزود الخدمة القادر على تأمين جودة خدمة أفضل عند تساوي سعر الخدمة. كما ينتقل المستخدم للاستفادة من خدمات المزود المنافس، بغض النظر عن الكلفة، عندما تتدنى جودة الخدمة المقدّمة إلى المستوى الذي يحول دون تلبية الحد الأدنى لمتطلبات الاتصال الخاصة بالمستخدم. ولذلك تعتبر جودة الخدمة وكلفتها من المعايير الأساسية للتنافس والمقارنة بين مزودي الخدمة الخلوية.

إنّ أنظمة الاتصالات الخلوية هي شبكات لاسلكية، بمعنى أنّ جودة خدمة الاتصال قائمة بشكل أساسي على مفهوم الاستثمار الأمثل للموارد المتاحة على قناة الاتصال الراديوية المشتركة بين جميع المستخدمين. ومن أجل ضمان التوزيع العادل للموارد بين المستخدمين واستثمارها بشكل مثالي، يجب أن يبدأ تأسيس البنية التحتية للشبّكة الخلوية بعملية التخطيط القائم على الدراسة الاحصائية لتوزيع المستخدمين واحتياجاتهم الرقمية [1]. وهذا يفرض بدوره إلى اختيار المكان الأنسب للمحطات القاعدية للشبّكة ويساعد على اختيار الضبط المناسب لمعاملاتها بما يحقق الاستثمار الأفضل لمواردها. إلا أن أحد التحديات الأساسية تكمن في أن قناة الاتصالات اللاسلكية هي قناة غير مستقرة، أي أن جودة الخدمة الموافقة لقيم ضبط محددة لمعاملات المحطات القاعدية متغيرة بحسب ظروف قناة الاتصال اللاسلكية. وبالتالي يجب أن يتحقق ضمان مستوى مستقر من جودة الخدمة من خلال ضبط ديناميكي وتحسين دائم لقيم هذه المعاملات من طرف مزود الخدمة. يرافق ذلك عادة عمليات صيانة دورية لمحطات الشبّكة لضمان سلامة المعدات التي تؤمن الاتصال عن طريق الطبقة الفيزيائية. إن كل ما سبق بحاجة إلى كوادرات بشرية متخصصة، وهذا بدوره يضاعف الكلف التشغيلية OPEX

(Operational Expenditure) لمثل هذا النوع من الشبكات. وبالنتيجة فإن أبرز التحديات المعاصرة التي تواجه مشغلي الخدمة الخلوية هو تخفيض الكلف التأسيسية (Capital Expenditure) CAPEX والتشغيلية للشبكة وفي نفس الوقت رفع جودة الخدمة وهذا يتم تحقيقه بشكل كبير من خلال الشبكات ذاتية الإدارة (Self-Organizing Network) SON [2].

لقد شهد العقد الماضي اهتماماً متزايداً بالشبكات من نوع SON ووظائفها من قبل الدوائر البحثية والمؤسساتية والصناعية العاملة في مجال الشبكات الخلوية وخاصة مع بداية ظهور ملامح الجيل الخامس 5G، حيث أصبحت مسألة إدارة الشبكة وصيانتها أحد أبرز التحديات لمشغلي الخدمة الخلوية. إن الهدف الأساسي من SON هو تخفيض الكلف التأسيسية والتشغيلية للشبكات الخلوية من خلال استبعاد العنصر البشري عن طريق أتمتة عمليات إدارة الشبكة بما يضمن سرعة الاستجابة ورفع جودة الخدمة. معيارياً، تُعرّف SON من قبل هيئة 3GPP على أنها مجموعة من الوظائف التي تتولى الإدارة الذاتية للشبكة الخلوية وتتألف من ثلاثة وظائف Self-x ذاتية رئيسية:

1- الضبط الذاتي Self-Configuration: وتقوم بعملية الضبط الآلي لمعاملات التحكم بالشبكة NCP

(Network Control Parameters) لحظة توصيل المحطة مع الشبكة بهدف وضع المحطة في الخدمة.

2- التحسين الذاتي Self-Optimization: وهي مسؤولة عن مراقبة وتحليل أداء محطات الشبكة بشكل

مستمر وإعادة ضبط NCPs من أجل أن تحقق الأداء المطلوب للشبكة.

3- التعافي الذاتي Self-Healing: تؤدي مهمة اكتشاف وتشخيص الأعطال من خلال المراقبة الدائمة لحالة

المحطات وتعويض فقد الخدمة وفجوات التغطية في حال اللزوم.

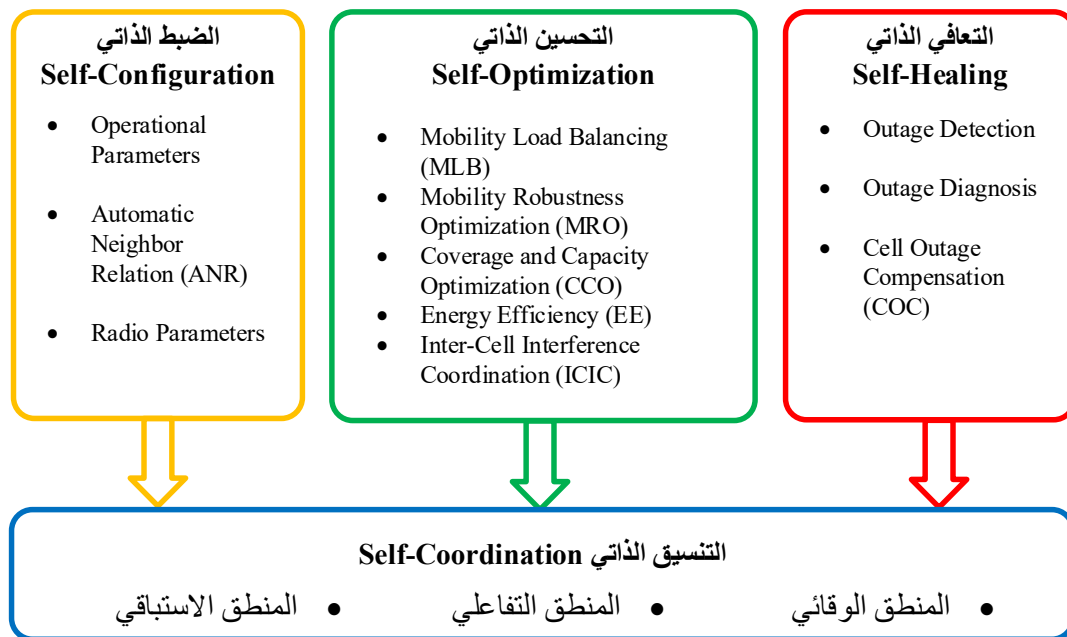


الشكل 1—1 وظائف الإدارة الذاتية الأساسية بحسب صلاحياتها

عملياً، تنجز كل وظيفة ذاتية رئيسية من خلال مجموعة متكاملة من الوظائف الفرعية المستقلة (SONF stand-alone) (SON Functions)، ولكلٍ منها دورٌ مستقل. ويمكن أن تتفاعل هذه الوظائف مع بعضها بشكلٍ سلسٍ في حال جرى

استدعائها بشكلٍ متزامنٍ للعمل على نفس المنطقة من الشبّكة الخلوية، مؤديّةً إلى تدهورٍ في أداء الشبّكة وجودة الخدمة في ظاهرةٍ تعرف "بتصادم الوظائف الإداريّة" SONF conflict.

ونظراً لخطورة وتعقيد مشكلة التّصادم على الشبّكة الخلوية، قامت هيئة 3GPP بتعريف وظيفةٍ رئيسيةٍ جديدةٍ أطلق عليها التّسيق الدّاتي **Self-Coordination** لتصبح الوظائف الرئيسية في SON كما هو موضح بالشكل 1—1. وتعرف هذه الوظيفة معيارياً بأنها مجمل الطرائق والتقنيات والخوارزميات التي يمكن أن تستخدم لحل التّصادم بين الوظائف الإداريّة ولفتادي التفاعل السليبي بينها، والتأكد من أن عمل هذه الوظائف على الشبّكة مطابق لسياسات المشغل العُليا. وبالتالي يصبح الإطار العام لشبّكة SON بوجود التّسيق الدّاتي كما هو موضح بالشكل 1—2.



الشكل 1—2 إطار عمل نظام الإدارة الدّاتية

## 2-1 لمحة تاريخية

في الفترة الزّمنية التي شهدت ظهور الجيل الثاني (2G) للشبكات الخلوية، كانت المهام التشغيلية للشبّكة، مثل التخطيط، الضبط، التحسين، تحليل الأداء والصيانة تقع على عاتق المهندسين المختصين. ولما كانت الشبّكة تتألف من عدد محدود من المحطات القاعدية، كان بالإمكان إنجاز هذه المهام بشكلٍ يدوي. وكان يجري التحقق من أداء الشبّكة بواسطة اختبارات القيادة (DT) Drive Tests. إلا أنّ ذلك كان يتطلّب وقتاً طويلاً (من عدة أيام إلى أسابيع) نظراً لمحدودية أدوات معالجة البيانات وكشف الأعطال [1]. ونظراً للتخطيط القائم على توزيع ثابت للقنوات التردديّة المتاحة على محطات الشبّكة المنتشرة جغرافياً، إضافة إلى محدودية الخدمات الرّقمية التي كان يقدّمها هذا الجيل وعمله على الترددات المنخفضة،

كان أداء الشبكات مرتبطاً بشكلٍ أساسي بالتغيرات الكبيرة في بيئة الاتصال كزيادة عدد المباني السكنية أو زيادة عدد المستخدمين. لذلك كانت تحدث عمليات ضبط معاملات الشبكة، عند لزوم تحسين أدائها، خلال فتراتٍ زمنيةٍ متباعدة. كل ذلك جعل من مهمات تشغيل الشبكة من خلال الجهود البشرية أمراً ممكناً.

ومع ظهور الجيل الثالث (3G) ازدادت أعباء المهام التشغيلية للشبكة وأصبحت أكثر عرضة للأخطاء نتيجة تضاعف أعداد المحطات كماً ونوعاً، حيث أصبحت شبكة 3G عبارةً عن طبقةٍ مستقلةٍ تعمل بشكلٍ متزامنٍ ومتكاملٍ مع طبقة 2G وباتت تؤلف معها شبكةً واحدة. وهنا بدا واضحاً ضرورة اعتماد طرق جديدة لتشغيل الشبكة الخلوية بالاستفادة من مفاهيم الإدارة الذاتية [3]. وكانت البدايات مع تعريف تقنية تقليل اختبار القيادة (MDT Minimization of Drive Test) من قبل 3GPP من أجل تخفيض زمن التحسين عن طريق تحصيل القياسات من أجهزة لمستخدمين (UE User Equipment) [4].

ومع بداية الجهود البحثية والمؤسسية لوضع معايير ومتطلبات الجيل الرابع (4G)، والتي ركزت بشكلٍ أساسي على تخفيض التكاليف التشغيلية ورفع جودة الخدمة وتبسيط إدارة الشبكة [5]، اقترحت منظمة NGMN ضمن الورقة البيضاء الخاصة بـ 4G إدراج نظام إدارة ذاتي للشبكة الخلوية وسمي وقتها SON [6]. كما تفاق ذلك مع مقترحين إضافيين لتعريف حالات الاستخدام use-cases للوظائف الإدارية المستقلة [7] ومتطلباتها التشغيلية [8]. وعلى الرغم من أن نظام SON سيغدو كجزء من الشبكة الخلوية، إلا أن العوائق والتحديات من أجل تحقيق نظام SON مستقرٍ لم تكن واضحة بما يكفي [9]. لذلك، فإن العديد من المساهمات البدائية التي ركزت على مشاكل SON قدمت توصيفاتٍ أساسيةً لهذه المشاكل، بما فيها مشكلة التصادم، إلا أنها لم تصل إلى مرحلة التوضيح لتقديم الحلول المناسبة [10]، [11]، [12]. وكان ذلك نتيجة تعقيد مشكلة التصادم من جهة، ومحدودية أنظمة الشبكة وبنيتها في ذلك الوقت من جهة أخرى.

ومع بداية ظهور نظام LTE (Long-Term Evolution) بالإصدار Release 8 في العام 2008، كان أول إصدارٍ معياريٍّ لوظيفة التجاور الأوتوماتيكي (Automatic Neighbor Relation) ANR العاملة ضمن وظيفة الضبط الذاتي. ومنذ ذلك الحين، توالى ظهور الوظائف الفرعية المختلفة وبدأ العديد من مشغلي الخدمة بتبني هذه الوظائف وتشغيلها على الشبكات الخلوية العاملة. من الجدير بالذكر أن الهيئات الناطمة اكتفت بعمليات وضع المعايير على مستوى التعريف لهذه الوظائف وأدوارها فقط، بينما تركت عملية تصميم الخوارزميات الخاصة بكل وظيفة إلى المصنّع. لذلك ظهرت عدّة مقترحاتٍ ونسخٍ تجريبيةٍ لكل وظيفةٍ فرعيةٍ بحسب المصنّع ووفقاً لمتطلبات عمل كل شبكةٍ وسياسات تشغيلها المعروفة من قبل مشغّل الخدمة. وجرى في البدايات التركيز من قبل المصنّعين على الوظائف المستقلة أحادية الهدف Stand-alone Single-objective SONF، على سبيل المثال: تحسين معاملات التسليم (Hand-Over) HO [13]، وتوازن الأحمال

[14]، وتنسيق التداخل بين الخلايا (Inter-Cell Interference Coordination) ICIC [15]، وتعويض انقطاع الخدمة (Cell Outage Compensation) COC [16]، بينما جرى إهمال دراسة سلوك هذه الوظائف ومدى تأثيرها على بعضها عندما تعمل مجتمعةً على ذات الشبكة. ولذلك، ومع تزايد عدد الوظائف العاملة على الشبكة الخلوية، بدأت تظهر بوضوح مشكلة تصادم الوظائف الإدارية الناتجة عن التفاعل السلبي بين هذه الوظائف. كما بدى أن وظائف نظام الإدارة الذاتية، والمخصصة بالدرجة الأولى لرفع جودة الخدمة وتخفيض النفقات التشغيلية، يمكن أن تلعب دوراً سلبياً معاكساً يؤدي إلى تدهور ملحوظ في جودة الخدمة وفي بعض الأحيان يؤدي إلى فشل نظام الإدارة [17].

اعتُبرت مشكلة التصادم أحد المسائل الأساسية لنظام SON وظهرت العديد من المساهمات الأولية لتلافي وحل مشكلة التصادم والتي صنفت تحت إطار التنسيق الذاتي. إلا أن 3GPP لم تعرّف وظيفة التنسيق الذاتي إلا مع ظهور الإصدار 10 [18]. وعلى الرغم من أن الأبحاث ضمن حقل SON أبدت تطوراً ملحوظاً خلال العقد الماضي، وخصوصاً بعد الاستفادة تقنيات تعلم الآلة (Machine Learning) ML [19]، إلا أن مشكلة تصادم وظائف الإدارة بقيت كأحد المسائل الأساسية ضمن هذا الحقل.

ومع ظهور الملامح الأولى للجيل الخامس (5G) [20]، وما تفرضه من متطلبات معقدة لعمليات ضبط وتحسين وتعافي الشبكة الخلوية، بدا واضحاً محدودية الطرائق التقليدية، وخاصةً تلك التي تعتمد على العنصر البشري والتي تبدي بمجملها أخطاءً وتأخيرات زمنية، في إدارة الشبكة بشكل عام وفي حل مشكلة التصادم بشكل خاص. يستمر حالياً العمل في مجال 5G-SON [21]، حيث لازالت تعتبر مشكلة التصادم أحد أبرز التحديات في شبكات 5G وما بعده طالما أن الزيادة المستمرة في تعقيد إدارة الشبكات ومتطلباتها تفرض المزيد من التحديات على نظام SON وطرائق التنسيق فيها [22].

### 3-1 محفزات ودوافع البحث

تتضمن الدوافع العملية للقيام بهذا البحث بشكل أساسي ما يلي:

1- ازدياد عدد معاملات الشبكة الخلوية: مع ظهور كل جيل جديد، يزداد العدد الكلي لمعاملات التحكم بالشبكة NCPs بشكلٍ كمّي ونوعي. على سبيل المثال، يساوي تقريباً عدد NCPs بالنسبة لمحنة 2G حوالي 500 و 1000 في حالة 3G و 1500 في حالة LTE كما يساوي تقريباً 2000 بالنسبة لمحنة 5G [23]. يؤدي هذا إلى زيادة الأعباء الخاصة بعمليات ضبط وتحسين هذه المعاملات من طرف المشغل، كما يرفع بشكل مباشر احتمال الخطأ أثناء عمليات الضبط هذه [24]. وعند إسناد مهمات تشغيل الشبكة إلى SON، يُشار إلى أخطاء ضبط الشبكة عندها بالتصادمات [18]. وبالتالي لحل هذه التصادمات، يتوجّب على وظيفة التنسيق الذاتي

أن تمتلك آليات مناسبة لتلافي التصادمات من خلال توقع نتائج تفاعل الوظائف قبل تنفيذها، كما يجب أن تمتلك آليات لحل هذه التصادمات في حالة حدوث تصادمات غير متوقعة والعمل على تجنبها مستقبلاً.

2- **اعتماد الخلايا الصغيرة في عملية التغطية:** يُعدُّ الاتجاه نحو تقليص مساحة الخلايا من السمات المشتركة لكل جيل جديد من أجيال الاتصالات. وقد اعتمدت الخلايا الصغيرة كطبقة أساسية من طبقات التغطية لـ 5G وخاصةً ضمن التخطيط الداخلي Indoor. وباعتبار أن خلايا هذه الطبقة تابعة للشبكة الخلوية، فتجري عمليات ضبط وتحسين المعاملات عبر مركز إدارة الشبكة ذاتها وتتبع لسياسات تشغيله. ولما كانت هذه الخلايا موجودة ضمن ملاك المستخدم وتشغل حسب حاجته، فيحتاج مركز إدارة الشبكة إلى ضبط وتحسين معاملات هذه الخلايا آلياً في الزمن الحقيقي بشكلٍ خالٍ من التصادم مع الأخذ بالاعتبار المشكلة الرئيسية لهذا النوع من الخلايا وهي التداخل البيني وتبديد الاستطاعة. وهنا يجب على وظيفة التنسيق الذاتي أن تكون قادرةً على التعامل مع العدد الهائل من طلبات الوظائف الإدارية ذات الأهداف المتعارضة، كما يجب أن تأخذ بالاعتبار التفاعل المستمر بين هذه الطبقة والطبقة الماكروية.

3- **زيادة التركيز على جودة التجربة (QoE) (Quality-of-Experience):** على عكس طرائق تحسين الشبكة التقليدية، والمخصصة من أجل إعادة ضبط معاملات التحكم NCPs وفقاً لمؤشرات أداء الشبكة ذات الصلة، أصبح من الضروري اعتماد التحسين المبني على QoE والذي يهتم بمؤشرات أدائها مثل (معدل البيانات، التأخير، التقطع jitter، إلخ) باعتبار أن 5G مخصص لتحقيق QoE عالية [25]. إلا أن التصادمات تؤثر سلباً على QoE للمستخدم وعلى أداء عمليات التحسين أيضاً، وذلك لأن تأمين QoS جيّدة لا يعني بالضرورة توفير QoE أفضل. على سبيل المثال، يمكن أن تؤدي زيادة الاستطاعة بهدف رفع مستوى QoS للمستخدمين المتواجدين على حافة خلية تعاني من حمولة زائدة إلى أثرٍ سلبيٍّ على QoE لهؤلاء المستخدمين. وبالتالي يجب على طرائق التنسيق الذاتي الأخذ بعين الاعتبار QoE وتوقع احتياجات المستخدمين، مما يساعد على حلّ التصادمات بطريقةٍ فعّالةٍ وسريعةٍ ويحقق رضا المستخدمين.

4- **توسيع عرض المجال المستخدم:** من أجل تلبية الطلب المتزايد على البيانات ورفع معدلها بنفس الوقت، جرى توسيع عرض المجال الترددي المستخدم في 5G ليشمل مجالات ترددية لم تكن مستخدمةً في الأجيال السابقة [26]. وهنا تبرز مجموعة من المشاكل مثل إدارة الكفاءة الطيفية وتجنب التداخل وازدحام القنوات. ومن دون وجود SON، من المستحيل التغلب على تلك المشاكل في ظل الظروف الديناميكية للشبكة، مثل تقلبات وسط الانتشار وحركية المستخدمين وتواجد عدد من الشبكات اللاسلكية الأخرى في نفس الوقت. تكمن المشكلة هنا في أن خوارزميات التحسين الذاتي التقليدية يمكن أن تكون غير متوافقة مع العمل ضمن هذه المجالات الترددية الجديدة، وخاصةً مع



وجود المقايضة بين الواحدات الفيزيائية. ويهدف الاستثمار الأمثل لهذه المجالات الترددية جنباً إلى جنب مع ضمان إدارة ذاتية عديمة التصادم، يجب أن يجري تصميم خوارزميات التنسيق واختبارها للعمل ضمن هذه المجالات الجديدة بما يحقق الاستثمار الأمثل لها.

**5- الضبط والتحسين متعدّد التقنيات:** يساهم وجود عدّة تقنيات نفاذٍ راديويّة (multi-RAT Radio Access Technology) متكاملة مع بعضها على ذات الشبكة في زيادة تعقيد عمليات الضبط العام للشبكة، إذ يجب أن ترتبط طرفية المستخدم UE مع أحد هذه التقنيات بحسب نوع وجودة الخدمة المطلوبة، وأن تنتقل بينها بسلاسة. وهنا فإن التعقيد المفروض على الإدارة الذاتية ليس ناجماً فقط عن الزيادة الكمية والتنوع في عمليات ضبط المعاملات، وإنما في تحقيق انسجام عمليات ضبط وتحسين أداء الخلايا على مختلف RATs العاملة على الشبكة. وبالتالي يمكن أن يؤدي الأداء السيء لوظيفة إدارية عاملة على أحد هذه التقنيات إلى حدوث تصادم مع مثيلاتها العاملة على التقنيات الأخرى. لذلك يجب أن تعمل وظيفة التنسيق الذاتي على تحقيق الانسجام بين أهداف هذه الوظائف والتأكد من ضبط معاملات التحكم الخاصة بكل تقنية نفاذٍ راديويّ وفق سياسة موحدة عليا high-level policy بما يضمن خدمة متناسقة وتنقل سلس للمستخدم بين هذه التقنيات.

**6- الاهتمام المتزايد بتوفير الطاقة:** تركز الاعتبارات التشغيلية لشبكة 5G على موضوع الكفاءة الطاقية والشبكات الخضراء Green Networks [26]. إلا أن تشغيل الخلايا الصغيرة ضمن الاعتبارات الحالية يعد بمثابة هدر للطاقة، فضلاً عن زيادة التلوث الناتج عن التداخل. كما يحمل ضمناً مفهوم توفير الطاقة متطلبات متناقضة مع زيادة QoS من خلال زيادة استطاعة الإرسال ويرفع احتمال تصادم الوظائف الإدارية. وبالتالي يُعدّ التعويل هنا على نظام تنسيق ذاتي متين من أساسيات تشغيل هذه الشبكات من أجل ضبط المقايضة بين المتطلبات المتناقضة.

**7- البنية الهجينة للشبكة الخلوية:** تتكون أي شبكة خلوية من عددٍ ضخمٍ من المحطات المنتشرة على مساحات كبيرة جداً. إضافة إلى ذلك، تدعم شبكة 5G تقنيات جديدة مثل D2D، IoT، IoV وغيرها من خلال بنيتها الهرمية [26]. ونظراً لمحدودية بنى الشبكات التقليدية، والتي تُعدّ مقيدة بالبرمجيات والتجهيزات الخاصة، يُعدّ التعامل مع هذا الكم الهائل من التجهيزات والبيانات ذات المصادر المتنوعة مشكلة حقيقية. وللتغلب على هذه المشكلة، جرى توظيف العديد من تقنيات الإدارة المتقدمة في شبكة 5G مثل الشبكات المعرفة بالبرمجيات (SDN Self-Defined Networks)، المحاكاة الافتراضية لوظائف الشبكة (Network Function Virtualization) NFV ومعالجة البيانات الكبيرة. تمكّن هذه التقنيات من جمع وتحليل البيانات من مختلف أجزاء الشبكة بزمّن قياسي وتؤمن الأرضية المناسبة لتمكين حلول تنسيق ذاتي معقدة لم تكن متاحة من خلال البنى التقليدية. وهذا بدوره يوفّر اتساقاً لسياسة التشغيل على مختلف هذه التجهيزات من دون حدوث تصادمات.

8- توفير الكلف التشغيلية واستبعاد العنصر البشري: يُعدُّ توفير النَّفقات التشغيلية OPEX أحد أهم أهداف نظام SON وخاصةً عبر استبعاد العنصر البشري. إلا أن تصادم وظائف الإدارة يؤثر سلباً على هذه الميزة حيث يؤدي الضَّبط الخاطئ لمعاملات التَّحكم إلى تراجع الأداء الشبكيّ بشكلٍ ملموس. يرفع هذا من مستوى التَّدخل البشري أثناء مراقبة أداء SON وفحص وتشخيص الأعطال، الأمر الذي يؤدي بدوره لزيادة النَّفقات التشغيلية. وهنا فعلى نظام التَّنسيق الدَّاتي أن يمتلك أدواتٍ تمكِّنه من اكتشاف التَّصادمات وحلها بالطُّرق المناسبة، مما يخفِّف من تأثيرها السَّلبي على أداء الشَّبكة ويخفض النَّفقات التشغيلية الناتجة عن التَّصادمات غير المتوقَّعة بشكلٍ ملحوظ.

كما سبق نجد أن التَّنسيق الدَّاتي بين الوظائف الإداريّة بات من أساسيات عمل منظومة الإدارة الدَّاتية ككل. وإن التَّطور الذي يفرضه الانتقال من جيل إلى آخر والتَّشغيل المتكامل لهذه الأجيال على ذات الشَّبكة، بما فيه ضمان انسجام عمل الوظائف الإداريّة العاملة على ذات تقنية التَّفاد من جهة، وعلى مجمل التَّقنيّات العاملة من جهةٍ أخرى، يفرض وجود وظيفة تنسيقٍ ذاتيّ متكاملةٍ تحقِّق التَّقاط المذكورة آنفاً.

وضمن الرُّؤية المتوقَّرة عن وظيفة التَّنسيق الدَّاتي خلال العقد الماضي، وبعد الأخذ بعين الاعتبار قصورها عن حلِّ الكثير من مشكلات الشَّبكات الحالية فضلاً عن توفير رؤىٍ مستقبليةٍ لحلِّ مشكلة التَّصادم بين وظائف SON، وخاصة وفق متطلبات كل من 5G و 6G، بات من الصُّروريّ إعادة تقييم مسألة تصادم وظائف الإدارة والتَّنسيق الدَّاتي من منظورٍ شامل.

## 4-1 هدف البحث

يقسم الهدف العام لهذا البحث إلى هدفين أساسيين. الأول هو الدَّراسة المرجعيّة الشَّاملة لتصادم وظائف الإدارة وطرائق التَّنسيق الدَّاتي المستخدمة لتلافيها وحلِّها. والهدف الثاني، وبالاستفادة من مخرجات الدَّراسة المرجعيّة، اقتراح حلٍ لتَّنسيق وظائف التَّعافي الدَّاتي يضمن استقلال تصميم وظائف التَّعافي عن تصميم وظيفة التَّنسيق الدَّاتي من جهة، وعن حالة الاستخدام من جهةٍ أخرى. ويجب أن يفضي هذا الحل إلى زيادة كفاءة التَّعويض الدَّاتي عند انقطاع الخدمة من خلال زيادة الرِّبح بأداء الإنتاجية في حالة استخدام التَّنسيق الدَّاتي المقترح مقارنة مع حالة عدم وجود تنسيقٍ بين مستنسخات التَّعويض الدَّاتي.

## 5-1 أبحاث ذات صلة

وفقاً لما ذكر أعلاه، تعتبر مشكلة التنسيق الذاتي من التّحديات في الشبكات الخلوية المعاصرة، وهذا ما أشارت إليه العديد من الدّراسات حول 5G والتي ركّزت على الدّور الهامّ ل SON فيها دون الخوض ملياً في التفاصيل [27]، [26]. أجريت خلال العقد الماضي بعض الدّراسات الهامّة ضمن حقل SON في الاتّصالات الخلويّة، حيث حظيت وظائف الضّبط الذاتي والتّحسين الذاتي بالاهتمام الأكبر. على سبيل المثال، قدّم المرجع [5] أول دراسةٍ شاملةٍ ل SON ووظائفها. إلا أن التنسيق بين الوظائف الإداريّة الذاتيّة نال القدر الأقلّ من الاهتمام، وجرّت مناقشته ضمن الآفاق المستقبلية، بينما لم يجرّ التّطرق إلى مشكلة التّصادم نهماً. وكذلك الحال بالنّسبة إلى الدّراسة المقدّمة في [28]. قدّم المؤلفون في [29] أول تصنيفٍ جامدٍ hard classification لتصادمات وظائف SON والذي اقتصر على خمسة أنواعٍ من التّصادمات، فيما قدّموا تصنيفاً مبنياً على أساس التّصادم العائم في [30]. قدّم المرجع [19] دراسةً حول تطبيقات تعلّم الآلة في مجال SON حيث أشار الباحثون إلى بعض الخوارزميات المستخدمة ضمن بعض الأعمال في حقل التنسيق الذاتي وتطبيقاتها المستقبلية.

قدم المرجع [24] دراسةً شاملةً حول وظيفة التعافي الذاتي وطرائقها مع التّركيز على بعض عموميّات مسألة التنسيق بين وظائف SON. إلا أنه جرى إهمال مشكلة التصادمات وأسباب حدوثها في حالة التعافي الذاتي كما لم يجرّ التّطرق إلى حيثيات التنسيق بين وظائف التعافي الذاتي وباقي وظائف SON.

جرى في مشروع سocrates [31] و SEMAFOR [32] اقتراح ومكاملة العديد من أدوات التنسيق ضمن إطار عمل SON. إلا أنه جرى التعامل مع مسألة التنسيق الذاتي بشكلٍ سطحيٍّ عبر بعض حالات الاستخدام وضمن عددٍ محدودٍ من التّطبيقات.

بالنّسبة للتّحديات المستقبلية، يمكن القول إن الأبحاث السّابقة قصّرت في واحدة أو أكثر مما يلي:

- 1- تناولت الأبحاث [5]، و [19]، و [24]، بشكل مفصل طرائق SON ومشكلاته والتحديات القائمة فيه، فيما لم تول الاهتمام الكافي بوظيفة التنسيق الذاتي.
- 2- بقيت مفاهيم التنسيق الذاتي مبعثرةً ضمن الأبحاث التي جرت خلال العقد الماضي، وهذا ما أرخى بعض الضّبابيّة على مشكلة التّصادمات وجعل من وظيفة التنسيق الذاتي أكثر الوظائف تعقيداً في مجال SON. وعلى الرّغم من المساهمة الكبيرة المقدّمة في [31] و [32]، إلا أنها بقيت غير قادرةٍ على تحقيق متطلّبات ضبط وتحسين شبكات 5G.

- 3- تمثّل قصور المساهمات الواردة في [29] و [30] في طرحهما تصنيفاً لتصادماتٍ مشهورةٍ آنذاك، وهذا جعل منها غير قادرةٍ على تحقيق الرؤيا المطلوبة في 5G، نظراً لوجود تصادماتٍ أخرى جرى استنتاجها ضمن هذا البحث غير مغطاةٍ ضمن الأبحاث السابقة.
- 4- لم يجر لتاريخه تقديم أي دراسة شاملة لآخر الأبحاث state-of-the-art والتحديات المستقبلية لوظيفة التنسيق الذاتي وخاصة وفق متطلبات 5G وما بعده.
- 5- لم يلق التنسيق الذاتي بين وظائف التعافي الذاتي الاهتمام الكافي خلال العقد الماضي، واقتصرت الأبحاث على عدّة مساهماتٍ محدودةٍ لا تلي الحد الأدنى من التحديات الحالية فضلاً عن المستقبلية.

## 6-1 مساهمات البحث

جرى ضمن هذا البحث، وعلى ضوء التحديات الموضحة ضمن الفقرة السابقة، التوسع في دراسة مسألة تصادم وظائف الإدارة الذاتية من منظور المتطلبات التقنية والتشغيلية للشبكات الخلوية الحديثة من أجل تحديد نقاط الضعف من جهة، واقتراح الحلول التي تراعي متطلبات التشغيل المتكامل للأجيال الحالية مع المستقبلية. كما جرى تقديم حلٍ لتنسيق وظائف التعافي الذاتي في نظام SON. وبلاستفادة من الأبحاث والمشاريع المنجزة ضمن حقل التنسيق الذاتي منذ بداية ظهور SON وحتى يومنا هذا يمكن تلخيص مساهمات البحث بالنقاط التالية:

أولاً- دراسة مرجعية شاملة لمشكلة تصادم وظائف الإدارة الذاتية ووظيفة التنسيق الذاتي، وهي أول دراسة متكاملة أفضت إلى مجموعة من المساهمات الفرعية وهي:

- 1- تعريف سبعة أنواعٍ جديدةٍ من تصادمات وظائف الإدارة والتي يجب أخذها بالاعتبار لحل التصادمات على مستوى 5G وما بعده.
- 2- وضع أول تصنيفٍ ومقارنة لطرائق التنسيق الذاتي المستخدمة لحل تصادمات نظام SON ومناقشة تنفيذها على الشبكات العاملة انطلاقاً من نموذج 3GPP المرجعي لإدارة الشبكة.
- 3- تقديم أول استعراضٍ ومقارنةٍ ومناقشةٍ لآخر ما توصلت إليه الأبحاث state-of-the-art من تطبيقات التنسيق الذاتي لتلافي وحل التصادمات في كلٍ من حقول الضبط الذاتي، والتحسن الذاتي والتعافي الذاتي.
- 4- اقتراح أول إطار عملٍ متكاملٍ للتنسيق الذاتي يضم المنطق الوقائي، المنطق التفاعلي والمنطق الاستباقي.

ثانياً\_ تنسيق وظائف التعافي الذاتي ويشمل مجموعة من المساهمات الفرعية وفق المنهجية التالية:

- 1- تصميم وتنفيذ خوارزمية لتنسيق وظائف التعويض القائمة على ضبط ميلان الهوائيات بالاعتماد على سياسات المشغل والمنقذة باستخدام المنطق العائم.
- 2- تصميم وتنفيذ تنسيق لوظائف التعويض القائمة على ضبط استطاعة الإرسال باستخدام خوارزميات تعلم الآلة المبنية على نظرية الألعاب غير التعاونية ذات المحصلة الصفرية والتي تأخذ بالاعتبار أهداف وظائف ميلان الهوائيات والتداخل وتوازن الأحمال.
- 3- توظيف الحل المقترح ضمن إطار مركزي للعمل والذي يضبط تفاعل هذه الوظائف مع بعضها.
- 4- تعديل بيئة المحاكاة الخاصة ببرنامج NS-3 مفتوح المصدر إضافة لبناء إطار عمل نظام SON المطلوب باعتبار أن NS-3 مخصص لمحاكاة الطبقة الفيزيائية للشبكة وتنفيذ الحل المقترح على برنامج NS-3.

## 7-1 أقسام البحث

جرى ترتيب بقية أقسام هذه البحث على الشكل التالي:

**الفصل الثاني:** جرى في هذه الفصل عرض لمحة تاريخية موجزة عن SON ومشكلة التصادم والتنسيق بين وظائفها، وذلك بهدف تمكين القارئ من مبادئ SON الأساسية واللازمة لتوضيح مسألة البحث. كما جرى عرض بعض متطلبات SON التشغيلية وتوضيح كيفية حدوث التفاعلات بين وظائف SON. ومنه توضيح مشكلة تصادم وظائف الإدارة الذاتية ومفهوم التنسيق الذاتي.

**الفصل الثالث:** اختص هذا الفصل بالتوسع في مفاهيم التصادم والتنسيق الذاتي في SON، حيث جرى عرض أصناف التصادم المتعددة مع الأمثلة، وتوضيح مسألة التصادم العائم، وذلك بهدف وضع تصور كامل عن استراتيجيات تفادي وحل تصادم الوظائف الإدارية الذاتية. كما جرى مناقشة تطوّر أساليب التنسيق الذاتي ووضع أول تصنيف لطرائقه وفقاً للأبحاث التي جرت على هذا المحور. وبناءً على ما سبق، جرى في هذا الفصل اقتراح أول إطار عمل متكامل لوظيفة التنسيق الذاتي بحيث تحقق تنجيلاً كاملاً لوظيفتي تلافي وحل التصادمات بين وظائف SON ضمن وظيفة واحدة.

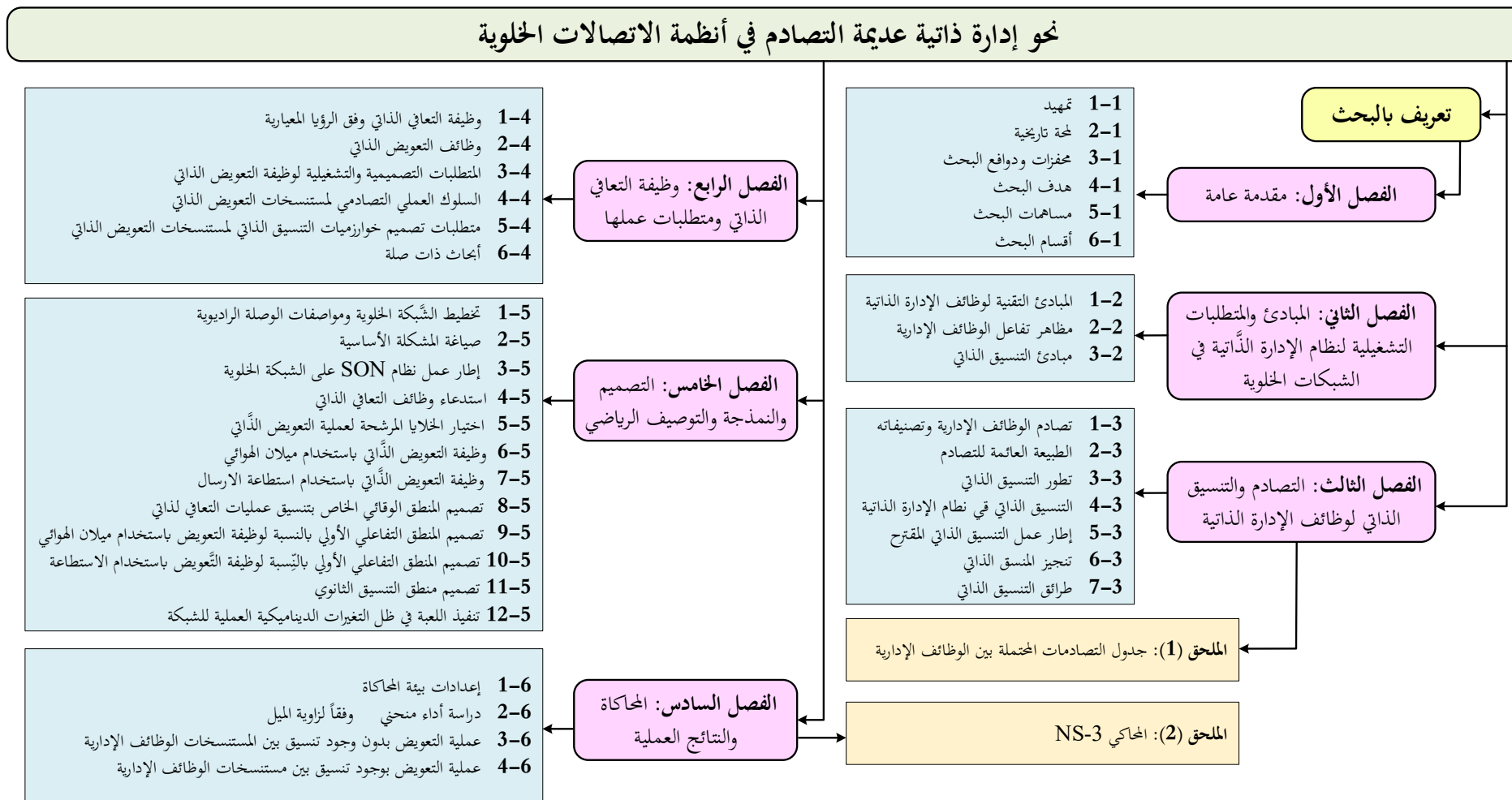
**الفصل الرابع:** جرى في هذا الفصل تقديم مبادئ التعافي الذاتي والمتطلبات التصميمية والتشغيلية لوظيفة تعويض انقطاع الخلايا عن الخدمة COC، وذلك بهدف توضيح أسباب اللجوء إلى تطبيق مبادئ التنسيق الذاتي ضمن حقل التعافي الذاتي. ومنه جرى مناقشة متطلبات تأمين تعافٍ ذاتي خالٍ من التصادمات في الشبكات الخلوية.

**الفصل الخامس:** قدّم هذا الفصل وصفاً للمشكلة البحثية متبوعاً بتوصيفٍ رياضيٍّ لتصميم كل من وظيفتي التعويض القائمة على استخدام ميلان الهوائي AT-COC وتلك القائمة على التعويض من خلال الاستطاعة TXP-COC. كما جرى تصميم المنطق الخاص بالتنسيق الذاتي والذي جرى تقسيمه وفق إطار العمل المفروض إلى منطقٍ استباقيٍّ ومنطقٍ تفاعلي. أما المنطق التفاعلي الأولي فقد جرى تصميمه من خلال السياسات المنجزة باستخدام المنطق العائم بالنسبة لوظيفة AT-COC، ومن خلال نظرية الألعاب غير التعاونية ذات المحصلة الصفرية بالنسبة لوظائف TXP-COC.

**الفصل السادس:** جرى في هذا الفصل إعداد سيناريوين مرجعيين بناءً على التصميم والتوصيفات الرياضية المقدمة في الفصل الخامس بهدف محاكاة تنفيذ مستنسخات التعويض الذاتي: يجري الأول في حالة عدم وجود تنسيق ذاتي، بينما يجري الآخر حالة وجود تنسيق ذاتي مركزي. وجرى عرض ومناقشة نتائج المحاكاة بالاستعانة بالمخططات والأشكال اللازمة.

**الفصل السابع:** استعرض هذا الفصل خلاصة الأعمال المنجزة في هذا البحث مع الآفاق المستقبلية.

ولسهولة توضيح ترتيب الفصول وتبويب المساهمات الواردة في هذه الأطروحة، نبين في الشكل 1—3 مخطط أقسام الأطروحة وال فقرات ذات الصلة.



الشكل 1-3 مخطط عرض الأطروحة

## 2- المبادئ والمتطلبات التشغيلية لنظام الإدارة الذاتية

### في الشبكات الخلوية

يعرض هذا الفصل أساسيات نظام الإدارة الذاتية في الشبكات الخلوية والمتطلبات التشغيلية لوظائفها. ويتناول مسألة تفاعل وظائف الإدارة والتي تعتبر السبب الرئيسي لمشكلة التصادم. كما يستعرض مبادئ تلافي وحل التصادمات عن طريق وظيفة التنسيق الذاتي.

### 1-2 المبادئ التقنية لوظائف الإدارة الذاتية

يمكن أن تُنمذج أي وظيفة إدارة ذاتية SONF (SON Function) على شكل حلقة تحكم تقوم بتحصيل بيانات إدارة الأداء PM (Performance Management) وبيانات إدارة الضبط CM (Configuration Management) وبيانات إدارة الأخطاء FM (Fault Management) من محطات الشبكة بهدف تحليلها، ثم إعادة ضبط معاملات التحكم NCPs للمحطات ذات الأداء المتدهور بما يضمن استعادة هذه المحطات لأدائها الأمثل. يتميز أي SONF بمجموعة من الخصائص تميزه عن غيره وهي:

1- نوع الوظيفة SONF type: ويطلق عليها أيضاً هدف الوظيفة، وتحدد من خلال حالة الاستخدام use-case المطابقة والمعرفة ضمن المعايير.

2- الدّخل Inputs: وهي البيانات التي يجب على SONF تعقبها والتصرف بناءً على نتائج تحليلها. وهي تتألف عادة من بيانات PM, CM, FM وسجلات التنفيذ المؤرشفة logs، إلخ.

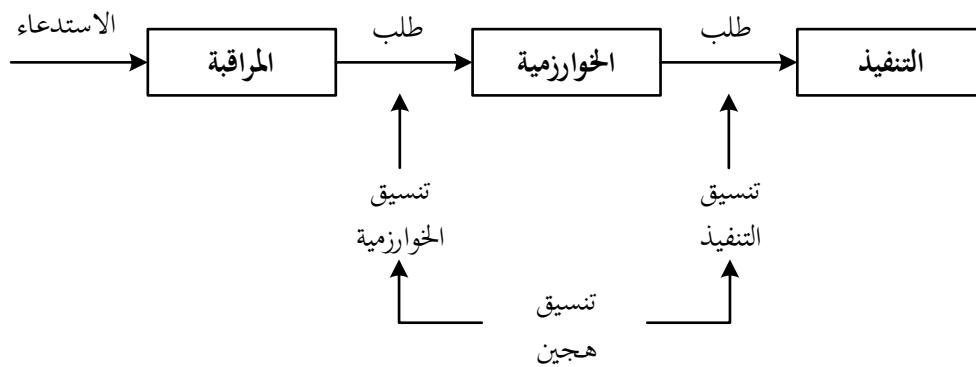
3- الخرج Outputs: وعادة يكون واحداً أو أكثر من NCPs والتي أعيد ضبطها بقيم جديدة على المحطة المستهدفة من خلال SONF بهدف تحسين الأداء.

4- خوارزمية الوظيفة الإدارية SFA (SON Function Algorithm): وتمثل الطريقة التي يقوم من خلالها SONF باحتساب القيم الجديدة للمعاملات. وتحدد SFA عادة نوع الدّخل والخرج، وشروط الاستدعاء triggering condition، والفترات البنينة لقراءة المعاملات granularity period ومعايير تقييم الأداء الذات الصلة.



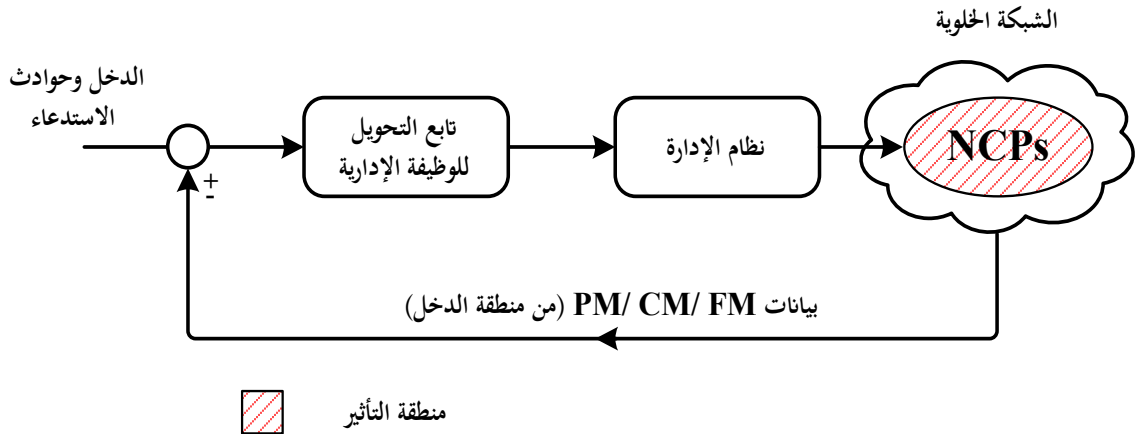
5- نموذج الوظيفة الإدارية (SON Function Model) SFM: وتحدد سلوك SONF أو الطريقة التي يستجيب بها وفقاً لأهداف تحسين مؤشرات الأداء المطلوبة. وعادة ما يجري التحكم بـ SFM من خلال معايرة معاملات التحكم بالوظيفة المعنية SCP (SON Configuration Parameters) مثل قيم العتبات، مقدار الخطوة، النافذة الزمنية، المدة الزمنية لكل طور وظيفي، إلخ). تُترك عادة SCPs على القيم الافتراضية الخاصة بالمصنِّع ما لم يُسمح لمشغِّل الخدمة بالتدخل لضبطها [32].

يمكن أن يُنظر إلى أي SONF على أنه صندوق أسود بالتسبة لمزود الخدمة، بمعنى أن SFA الخاصة به تكون محجوبة عن المشغِّل، في حين بإمكان استنتاج SFM من خلال المحاكاة ما لم يفصح عنه المصنِّع. إن زمن التنفيذ لـ SONF هو الفترة الزمنية الممتدة بين استدعاء SONF إلى حين الانتهاء من عمله بما فيها فترة التحقق verification period [33]. وهي مقسَّمة معيارياً بحسب مقترح NGMN إلى ثلاث أطوار [8]: طور المراقبة، طور الخوارزمية وطور التنفيذ كما هو مبين بالشكل 1—2. إن الفترة البيئية لقراءة المعاملات هي تردُّد اعتيان بيانات PM [34]. وهذه الفترة هي أحد أهم العوامل التي تؤثر على المقاييس الزمنية time-scales للأطوار الوظيفية لوظائف SON، وهي غالباً ما تكون مقيدة بالبنية التحتية للشبكة وإمكانيات الإدارة أو ما يعرف بنظام الدعم والتشغيل (Operations and Support System) OSS. ويُعد تفعيل وظائف SON على جميع عناصر الشبكة بشكلٍ مستمرٍ أمراً غير عملي، لذلك يجري استدعاء هذه الوظائف أو التَّوابع بحسب شروط الاستدعاء المرتبطة بأداء الشبكة ومتطلبات التحسين الموافقة.



الشكل 1—2 الأطوار الوظيفية لتنفيذ أي وظيفة إدارة ذاتية ونقاط التفاعل المحتملة

يطلق على التنفيذ المقيّد مكانياً والمحدود زمنياً لأي وظيفة فرعية SONF مع القدرة على المراقبة وتحليل البيانات بمُستنسخ الوظيفة الذاتية SONFI (SON Function Instance) وهي تعتبر بمثابة التنفيذ العملي للوظيفة خلال الزمن الحقيقي (التنفيذ المقيّد بزمنٍ ومكانٍ محددين). يبين الشكل 2—2 مثالاً عملياً على مستنسخ لوظيفة إدارية SONFI.



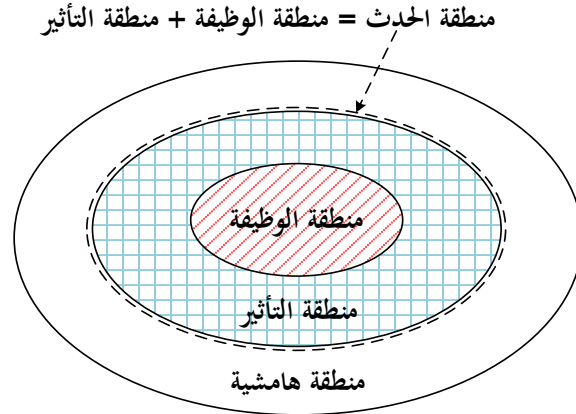
الشكل 2—2 المخطط الصندوقي العام لمستنسخ موافق لوظيفة إدارية على الشبكة العاملة

لكل SONFI مجموعة من الخصائص تميزها عن مثيلاتها وهي:

- 1- منطقة الدخول **Input area**: وهي الحيز المكاني الذي يضم مجموعة محطات الشبكة الذي أتى منه الاستدعاءات triggers، وحيث يجب جمع بيانات PM لتحليلها.
  - 2- المنطقة المستهدفة **Target area**: وهي الحيز المكاني الذي يضم المحطات التي تحوي على NCP(s) الواجب تحسينها من قبل SONFI، أي NCPs التي تمثل خرج الوظيفة الموافقة للمستنسخ.
  - 3- زمن التنفيذ **Impact time**: وهو الزمن الذي يبدأ معه SONFI بتطبيق إجراءات الصبب CM الجديدة في طور التنفيذ على المحطات ضمن المنطقة المستهدفة [34].
  - 4- الأولوية **Action priority**: وهي تمثل درجة أولوية تنفيذ أحد SONFI في مكان وزمان محدد عن تنفيذ باقي SONFIs والتي جرى استدعائها بشكل متزامن معها. أي تمثل مدى أهمية أهداف التحسين المتعلقة بها مقارنة بأهداف المستنسخات الأخرى.
- يمكن تقسيم المنطقة المستهدفة أيضاً إلى مجموعة من المناطق وفقاً لمدى تأثير SONFI عليها كما هو موضح بالشكل 3—2، وهذه المناطق هي:

- 1- منطقة الوظيفة **Function area**: وهي المنطقة التي تضم المحطات المستهدفة والتي يجب إعادة ضبط NCPs الخاصة بها من أجل تحسين أدائها.
- 2- منطقة التأثير **Effect are**: وهي المنطقة التي تضم المحطات التي يمكن أن تتأثر بشكل مباشر بأداء SONFI وتضم المحطات المستهدفة ويمكن أن تتوسع لتشمل جوارها من الدرجة الأولى.
- 3- منطقة الحدث **Impact area**: وهي المنطقة التي تتألف من اجتماع كلا المنطقتين السابقتين.

4- المنطقة الهامشية **Margin area**: وهي المنطقة التي يمكن أن تنشأ بحسب متطلبات استقرار الأداء من خلال تمديد منطقة التأثير لتشمل محطات إضافية يمكن أن تتأثر بشكل غير مباشر بأداء SONFI [33].



الشكل 2-3 المناطق الوظيفية للوظيفة الإدارية

## 2-2 مظاهر تفاعل الوظائف الإدارية

يمكن أن يتفاعل أي مستنسخين لوظيفتين إداريتين أو أكثر يتشاركان نفس الحيز المكاني والزمني (المنطقة المستهدفة) مع بعضهما البعض، ويمكن أن يؤدي هذا التفاعل في حال كان سلبياً إلى التصادم [35]. لكن يبقى السؤال الأهم هو كيف يحدث هذا التفاعل؟ وما هي نتائجه؟ في الحالة العامة، تعمل محطات الشبكة بشكل متناسق من أجل تأمين تغطية مستمرة وتسليم سلس للمستخدمين وفق جودة الخدمة المطلوبة. إلا أنه يمكن أن يتغير أداء هذه المحطات متأثراً بالعوامل غير المستقرة في الوسط المحيط بما فيها سلوك المستخدم المتغير على مدار اليوم والشهر والسنة [36]. وبالتالي، من أجل ضمان أداء الشبكة الأمثل، تحتاج NCPs لمحطات الشبكة إلى تحسين وإعادة ضبط مستمر، ويجري إنجاز ما سبق من خلال نظام SON [2]. لذلك، من المحتمل أن يجري استدعاء أكثر من SONF، سواء أكانت من نوع واحد أو من أنواع مختلفة، من أجل القيام بعملية التحسين الموافقة على محطة أو على مجموعة من المحطات. وفي هذا الحالة يجب أن تشترك جميع SONFs التي جرى استدعائها مع بعضها في عملية التحسين المطلوبة. أي يجب أن تبدي هذه الوظائف تفاعلاً إيجابياً فيما بينها. وبالنتيجة، فإن مظاهر هذا التفاعل لا تحدّد بالزمني أو المكاني فقط، وإنما تحدّد من خلال العلاقة المنطقية بين هذه الوظائف وذلك عندما يكون أداء أحدها يعتمد على أداء ونتائج الوظيفة الأخرى [35]. نقول عن التفاعل بين SONFis أنه إيجابي إذا ساهمت هذه المستنسخات مجملها بتحسين أداء الشبكة. وعلى العكس، يكون التفاعل سلبياً إذا ساهم بتدهور أداء الشبكة، أي فشلت SONFis في تحقيق أهداف عمليات التحسين التي استدعيت من أجلها، وهنا نقول إنه قد حدث تصادم بين الوظائف الإدارية.

تتجلى عادة مظاهر التصادم بوحدةٍ أو أكثر مما يلي:

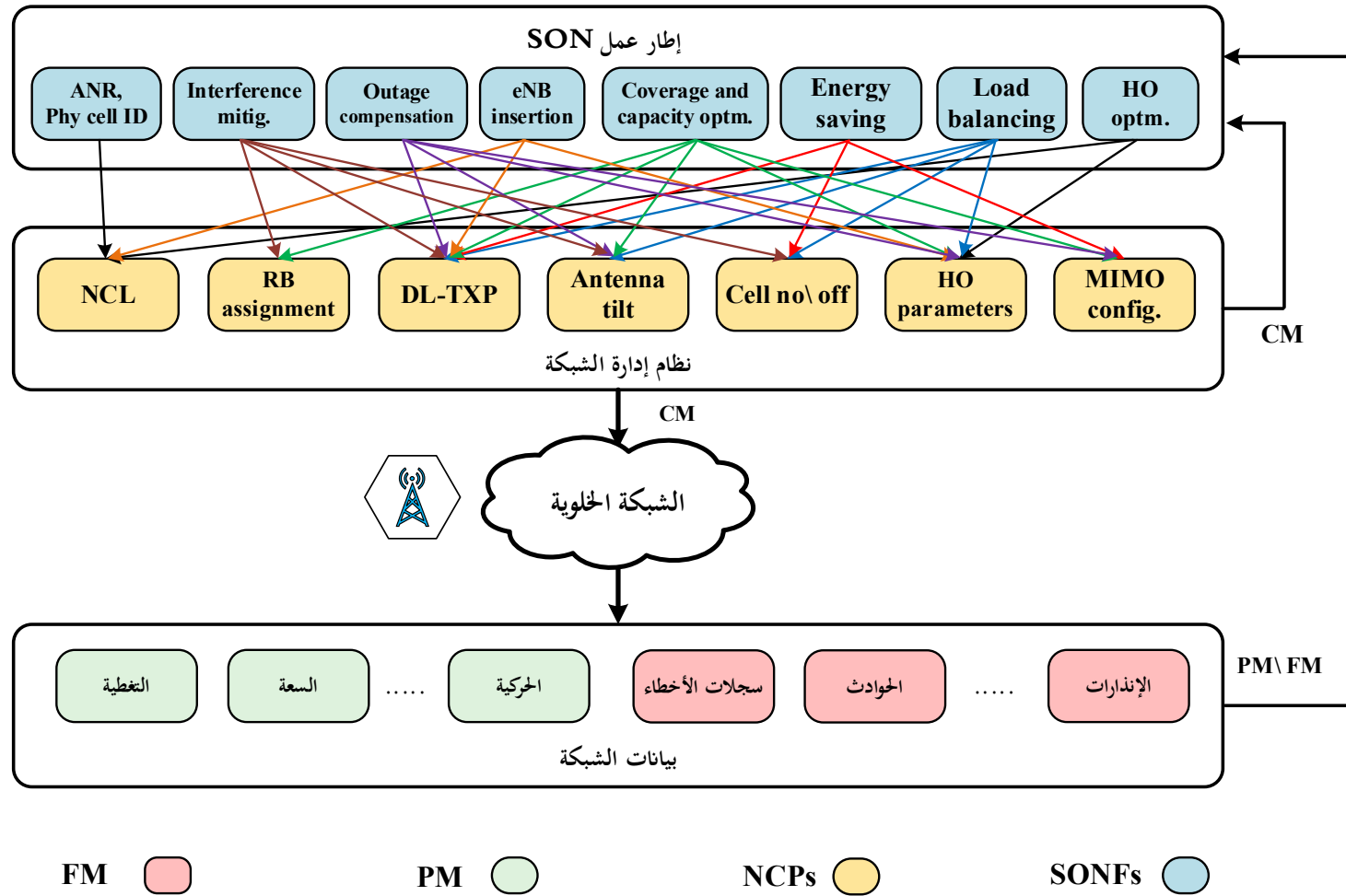
- تدهور مؤشرات أداء الشبكة وجودة الخدمة عند المستخدم.
- تأرجح قيم الضبط لمعاملات الشبكة.
- هدراً وسوء استغلالٍ لموارد الشبكة.
- ازدياد احتمال خروج المحطة عن الخدمة (جزئياً أو كلياً)<sup>1</sup>.
- زيادة التدخل البشري.

يؤدي التصادم غالباً في الحالات السيئة إلى استدعاءٍ متسلسلٍ لمجموعةٍ من المستنسخات الإدارية (نتيجة تدهور مؤشرات الأداء الموافقة)، بما يُعرف بظاهرة "ردّ الفعل المتسلسل" chain reaction مؤدياً إلى اضطراب قيم NCPs في محطات الشبكة نتيجة إعادة الضبط المتكرر لها، والذي يؤدي بدوره إلى دفعها للعمل خارج المجالات المتوقعة للأداء الأمثل [30]. والأكثر من ذلك إذا بقي التصادم دون حلٍ لفتراتٍ طويلةٍ، يمكن أن يمتد تأثيره ليشمل بعض المحطات المجاورة. يجب أن تؤخذ مصادر التصادم التالية بعين الاعتبار والتي تدفع الوظائف الإدارية للتفاعل السلبي فيما بينها وذلك من أجل التعامل مع التصادم بشكل فعال [38], [37], [30], [29], [2]، وتلك المصادر هي:

- المقايضة بين الواحدات الفيزيائية والتي تؤثر بشكلٍ مباشرٍ على أهداف التحسين المتعلقة بها (مثلاً، المقايضة بين استطاعة الإرسال وعرض المجال والتي تؤثر مباشرة على QoS [30]).
- اشتراك عدّة وظائفٍ إداريةٍ في ضبط ذات NCPs من أجل أهدافٍ متعارضةٍ (انظر الشكل 2—4 والجدول 1-2).

- استدعاء عدّة وظائفٍ مترابطةٍ منطقياً وتعمل بأدوارٍ زمنيةٍ متفاوتة.
- التغيرات المفاجئة في بيئة الانتشار وسلوك المستخدمين أو التوزيع الجغرافي لهم.
- التغيرات المفاجئة في طبولوجيا الشبكة.
- التخطيط السيء لمحطات الشبكة والتوزيع غير المدروس لمواردها.
- الأعطال العنادية أو البرمجية المفاجئة والخروج المفاجئ للمحطات عن الخدمة.
- المساوى التصميمية لخوارزميات الإدارة الذاتية.

<sup>1</sup> إن خروج المحطة عن الخدمة لا يعنى بالضرورة العطل الفيزيائي والتوقف النهائي عن العمل، وإنما يمكن أن يشمل جميع أنواع الأعطال (العنادية أو البرمجية) التي تؤدي بشكل عام إلى تدهور أداء المحطة وعدم قدرتها على تقديم الخدمة المثلى للمستخدمين سواءً أكانت المحطة قد توقفت كلياً عن العمل أم لازالت تعمل بشكلٍ مختل [24].



الشكل 2-4 التّجزير العملي لنظام الإدارة الذاتية على الشبّكة الخلوية

الجدول 1—2 الوظائف الإدارية و NCPs الخاصة بها

المعاملات الوظائف	التغطية			التسليم			السعة		المعاملات الأساسية	
	DL TX Power	Antenna Tilt	Switching Cell on/off	TTT	CIO	Hyst	RB Assignment	MIMO Configuration	PCI	NCL
PCI Configuration									✓	
ANR										✓
New NE (Radio NCPs)	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓		
Coverage-based MLB	✓	✓	✓							
HO-based MLB				✓	✓	✓				
MRO				✓	✓	✓				✓
AT-based CCO		✓					✓	✓		
TXP-based CCO	✓						✓	✓		
EE	✓		✓					✓		
ICIC	✓	✓	✓				✓			
eICIC							✓	✓		
COC	✓	✓					✓	✓		

وبالتالي يجب معالجة مشكلة التصادم بين المستنسخات الإدارية بعناية باعتبار أنه لا يمكن تلافي التفاعل بينها في معظم الحالات، وذلك عبر الأخذ بعين الاعتبار المظاهر المُعددة للتفاعل والأسباب المتداخلة للتصادم [30]. وبالنتيجة، لا يمكن معالجة كافة أنواع التصادمات باتباع طريقة واحدة، وإنما من خلال مجموعة متكاملة من الحلول لتلافي التصادمات وحلها بشكلٍ فعال.

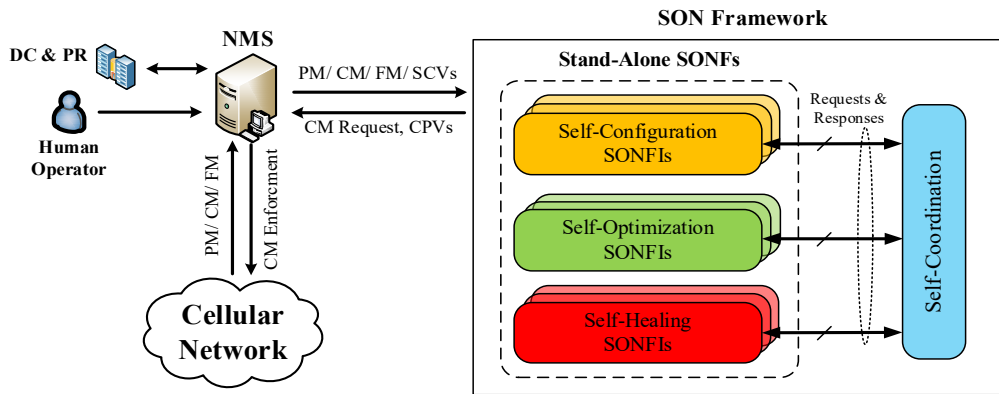
## 3-2 مبادئ التنسيق الذاتي

يهدف التنسيق الذاتي إلى هدفين رئيسيين: تلافي التصادمات بين الوظائف الإدارية بما يحول دون حدوثها من جهة، ومن جهة أخرى العمل على حلها في حال وقوعها [18]. يبدأ تلافي التصادم عادة بتقدير نتائج تفاعل الوظائف الإدارية فيما إذا كانت سلبية أم إيجابية. وبالتالي يتحقق الهدف الأول من خلال منع التفاعل السلي بين SONFIs والسماح فقط بتنفيذ الوظائف التي يمكن أن تتفاعل مع بعضها بشكلٍ إيجابي بعد مفاضلة أهداف تحسين مؤشرات الأداء وفقاً لسياسة المشغل العليا. وفي حالة حدوث تصادمات غير متوقعة، وبعد تحديدها من خلال أدوات الكشف والتشخيص المناسبة، يتحقق الهدف الثاني لوظيفة التنسيق الذاتي من خلال حل هذه التصادمات، أو على الأقل استعادة أداء الشبكة السابق إلى ما كان عليه قبل تعديل قيم NCPs من خلال SONFIs المعتمدة [39].

ويهدف الوصول إلى تنفيذ SONFIs بطريقة خالية من التصادمات يجب التنسيق بينها في كل مرحلة من مراحل التفاعل على مدى الأطوار الوظيفية لها. وبالتالي تُبنى قرارات التنسيق الموافقة للتفاعلات بشكلٍ أساسي اعتماداً على: زمن ومنطقة التنفيذ، وقيم معاملات الدخل والخرج، والقياسات المستخدمة، والقياسات المتأثرة بعملية الضبط [2]. إن أكثر أنواع التنسيق شيوعاً هو التنسيق في طور التنفيذ (انظر الشكل 2—1) حيث يمكن إيقاف الوظائف، التي ستؤدي إلى تصادم محتمل، قبل تنفيذها. في هذه الطريقة يجب على المنسق الذاتي التنبؤ بنتائج التفاعل بين الوظائف التي جرى استدعاؤها (قبل التنفيذ) من خلال الكشف عن قيم CM الشاذة. وبالتالي يجري إتخاذ القرار بناءً على حالة الشبكة، وعلى الخبرة السابقة لدى المنسق بأنواع التصادمات المشهورة [35]. بهذه الطريقة، يمكن تلافي التصادمات المباشرة بين SONFIs من خلال منع CM الشاذة من أن تطبق على الشبكة مباشرة. وضوحاً تكمن قوة تنسيق التنفيذ في منع اضطراب قيم NCPs وحدوث ردود فعل متسلسلة بين الوظائف الإدارية طالما أنه يجري إيقاف SONFIs المسؤولة عن التصادم قبل الوصول إلى مرحلة التنفيذ. يؤدي وقف تنفيذ الخوارزميات الحسابية التصادمية لـ SONFs إلى تحسين أداء نظام SON بشكلٍ عام، ولأجل ذلك يتوجب على المنسق الذاتي أن يتخذ قرار إيقاف تلك الخوارزميات عند نقطة تنسيق الخوارزميات algorithm coordination المبيّنة بالشكل 2—1. إلا أن أحد مساوئ هذا النوع من التنسيق هو أن المستنسخات التي جرى قبولها من قبل المنسق خلال هذه المرحلة تطبق مباشرةً على الشبكة.

عملياً، توجد طريقتان أساسيتان ضمن الأبحاث الحالية من أجل تلافي وحل التصادم بين الوظائف الإدارية. تسمى الأولى "المنهج عديم التنسيق" coordination-free approaches وتستثمر مبادئ التحسين المشترك joint optimization من خلال التصميم المشترك للوظائف الإدارية ضمن وظيفة واحدة [40] (انظر الفقرة 1-7-3). الطريقة الثانية هي التنسيق بين الوظائف من خلال اعتماد وحدة خاصة للتنسيق يطلق عليها وحدة تنسيق الوظائف الإدارية SONFC (SONF Coordinator) [18]. يقوم SONFC في هذه الطريقة بتنسيق تنفيذ الوظائف الإدارية من خلال منهجية request-response حيث يتلقى المنسق رسائل طلبات من SONFIs التي تم استدعاؤها، ثم يقوم بالرد على كلٍ منها بالرد المناسب بعد تقييم هذه الطلبات وفقاً لقواعد التنسيق وحالة الشبكة كما هو موضح بالشكل 2—5. ونظراً لتعقيد الطريقة الأولى، يؤمن اعتماد الطريقة الثانية مرونة أكثر طالما أن المقايضة بين أهداف تحسين الشبكة يمكن وضعها وإعادة تعريفها بين طبقات الشبكة المختلفة [37]. إن طرائق التنسيق التي تعتمد كلا الطريقتين السابقتين مذكورة ضمن [الفقرة](#)

### 7-3



الشكل 2—5 إطار عمل SON بوجود التنسيق الذاتي المركزي

## 4-2 خلاصة

وجدنا في هذا الفصل أن تشغيل عدة وظائف إدارية ذاتية على الشبكة الخلوية يؤدي، بشكلٍ أو بآخر، إلى تفاعل مستنسخاتها مع بعضها. كما وجدنا أن للتصادم آثاراً سلبية على الشبكة الخلوية ويؤدي، بشكلٍ عام، إلى تراجع في أدائها. ومن أجل ضمان التفاعل الإيجابي بين هذه المستنسخات ومنع التفاعلات السلبية التي تؤدي إلى حدوث تصادم، لابد من وجود تنسيق بين هذه المستنسخات أثناء زمن التشغيل. ويهدف تشخيص التصادمات المتعددة واختيار طريقة التنسيق الأنسب لكل منها، نقدم في الفصل التالي تصنيفاً متقدماً لتصادمات وظائف الإدارة الذاتية مع تصنيفٍ لطرائق التنسيق الذاتي. كما نقدم إطار عملٍ نموذجيٍ لتصميم وظيفة التنسيق الذاتي.



### 3- التصادم والتنسيق الذاتي لوظائف الإدارة الذاتية

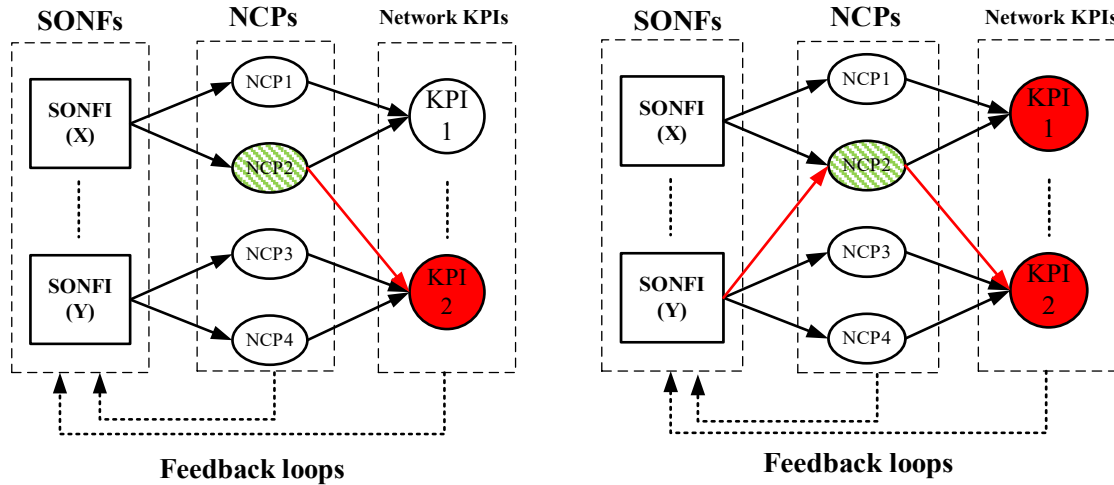
يسلط هذا الفصل الضوء على تصادم وظائف الإدارة الذاتية في الشبكات الخلوية بمزيد من التفصيل، ويعرض تصنيفات هذه التصادمات بما يمكن من فهم وإدراك طبيعة حلول التنسيق الذاتي الموافقة. كما يناقش هذا الفصل طرائق التنسيق الذاتي وإمكانات تنفيذها على الشبكة متبوعاً بالمقارنات اللازمة.

#### 1-3 تصادم الوظائف الإدارية وتصنيفاته

تعتمد شبكات SON بشكلٍ أساسيٍّ على مفاهيم الإدارة الذاتية autonomic networking من خلال محاكاة خصائص السلوك البشريِّ بواسطة وظائفها الذاتية self-x [41]. وفي حال تشبيه أو مقارنة التصادم بالمرض، والذي يمكن التغلب عليه من خلال خاصة التعافي الذاتي عن البشر، نجد أن مسألة حلِّ التصادم يجب أن تبدأ بشكلٍ مشابهٍ من خلال التشخيص الصحيح ليتم الحلُّ فيما بعد من خلال وظيفة التنسيق الذاتي. من هذه المقارنة نجد أيضاً أن الأعراض المتداخلة هي أيضاً سمةٌ من سمات التصادم. وبالنتيجة يحتاج العمل الخالي من التصادم للوظائف الإدارية إلى فهمٍ عميقٍ للتفاعلات القائمة بينها ولأنواع التصادمات المختلفة. وباعتبار أنه توجد عدَّة منهجياتٍ لحلِّ التصادم، ولكل منها تأثيره على أداء الشبكة، يساعد الفهم العميق لأنواع التصادمات في تحديد أسبابها واختيار المنهجية الأنسب للتنسيق من أجل أي وظيفة لتحسين أداء الشبكة [34].

قدّمت بعض الأبحاث السابقة توصيفاً نظرياً للتصادمات وأنواعها كما في [34] و [42]. في ذلك الحين كانت مشكلة التصادم تبدو كأبيّ مشكلةٍ اعتياديةٍ يمكن التغلب عليها من خلال مجموعةٍ من الأدوات البسيطة [43]. إلا أنه ومع ازدياد عدد الوظائف الإدارية وازدياد متطلبات تحسين الشبكة والقيود التي تفرضها باتت المشكلة أعقد بكثير. قدّم المرجع [29] أول تصنيفٍ شاملٍ لأنواع التصادمات بين الوظائف الإدارية. وشمل هذا التصنيف خمسة أنواعٍ من التصادمات (وهي أول خمسة أنواعٍ ضمن التصنيف الوارد في هذه الفقرة). كما جرى استعراض بعض الأدوات البسيطة التي يمكن من خلالها تلافي التصادمات. إلا أن مؤلّفي المرجع [29] ذكروا من خلال الدراسة المقدمّة في [30] مدى تعقيد مشكلة التصادم وقدّموا تصنيفاً جديداً مبنياً على الطبيعة الضبابية للتصادم والذي سمّي فيما بعد بالتصادم العائم fuzzy conflict. جرى بناء التصنيف المقدم في هذا الفصل بشكلٍ أساسيٍّ على التصنيف المقدم ضمن [29] و [30] مع تعريف سبعة أنواعٍ جديدةٍ من التصادمات في سياق هذا البحث والتي تمّ استنتاجها من خلال الدراسة الحالية واعتماداً على ما جرى من الأعمال

السّابقة في هذه المجال وعلى ضوء متطلبات تحسين شبكات 5G. ويجب أن تؤخذ هذه الأنواع من التّصادمات بعين الاعتبار في أبحاث التّسيق الدّائريّة المستقبلية.



الشكل 3—2 تصادم مؤشرات الأداء

الشكل 3—1 تصادم معاملات الخرج التحكمية

تُصنّف التّصادمات بين الوظائف الإداريّة تبعاً لأسبابها إلى:

### 1- تصادم معاملات التّحكم Parameter conflict: ويُعدُّ أحد أشهر أنواع التّصادمات ويظهر عندما تقوم

وظيفتان إداريتان أو أكثر بضبط ذات معامل التحكم NCPs بذات الوقت. يمكن أن يصنف هذا النوع من التّصادم إلى نوعين فرعيين باعتبار أن NCPs بإمكانها أن تكون في موقع الدخل والخرج للوظائف الإداريّة، وهما:

- **تصادم معاملات الخرج:** وينتج عند التعديل المتزامن لذات NCPs من قبل عدة SONFIs لأهداف

متضاربة. يوضّح الشكل 1—3 مثالاً على هذا النوع من التّصادم، حيث أن الوظيفة SONFI(x) و

الوظيفة SONFI(y) وظيفتان إداريتان مختلفتان في النوع وتقومان بتحسين مؤشري أداء مختلفين من خلال

معامل مشترك وهو NCP(2). وبالتالي تتأثر كل من مؤشرات الأداء KPI(1) و KPI(2) بشكلٍ سلبيّ

بأداء كل من الوظيفتين x و y. يُعتبر التّصادم بين الوظيفتين MLB و MRO مثالاً عملياً على هذا النوع

من التّصادمات، حيث تقوم كلا الوظيفتين بضبط معاملات التسليم لأهدافٍ مختلفة [44]. عادة ما يجري

ضبط NCPs في هذا النوع من التّصادم بقيمٍ خطويّة ذات اتجاهيّة step direction مختلفة (زيادةً و نقصاناً

بأنّ معاً)، وعندها يطلق على هذا النوع من التّصادم تصادم معاملات الخرج الاتجاھي. ويُعتبر التّصادم بين

وظيفة تنسيق التّداخل بين الخلايا ICIC وتحسين التّغطية والسّعة CCO أحد الأمثلة على هذا النوع من

التّصادم، حيث تسعى ICIC لخفض التّداخل عبر تخفيض الاستطاعة بينما تعمل CCO على زيادتها من

أجل سدّ فجوات التغطية. أما عندما يجري ضبط قيم المعاملات بنفس الاتجاه لكن بقيمٍ خطويةٍ step value مختلفة فيسمى التصادم حينها بتصادم معاملات الحرج الكمي. على سبيل المثال، عندما تقوم وظيفة MLB بضبط معاملات التسليم HO بقيم خطويةٍ كبيرةٍ من أجل ضبط توازن الأحمال بينما تقوم MRO بضبط نفس المعاملات بقيم خطويةٍ صغيرةٍ من أجل التقليل من فشل الوصلة الراديوية (Radio Link RLF) Failures [45] (انظر الجدول 1-2).

- تصادم معاملات الدخل **input parameter conflict**: يجري في هذا النوع من التصادم تعديل معاملات خرج لأحد الوظائف تعتبر دخلاً لوظائف إداريةٍ أخرى حيث تبني عليها حساباتها وبالتالي يتأثر أدائها بها. مثلاً، التصادم بين وظيفتي تعريف الخلية PCI عند تعيين ذات معرف الخلية cell identity لخليتين مختلفتين [46].

2- تصادم مؤشرات الأداء **KPI conflict**: يظهر هذا النوع من التصادم عندما يؤثر اثنان أو أكثر من الوظائف الإدارية على نفس مؤشر الأداء ولكن عبر ضبط معاملات مختلفة. يبين الشكل 3—2 آلية حدوث هذا النوع من التصادم. كمثال على ذلك، تؤثر كلاً من MLB و CCO على أداء الانتاجية عبر ضبط NCPs مختلفة مما يؤدي إلى تصادم مؤشرات الأداء [47].

3- تصادم الترابط المنطقي **Logical dependency conflict**: يظهر هذا النوع من التصادم عندما يكون أداء وظيفة ما مبنياً على أداء ونتائج وظيفةٍ أخرى. كمثال على ذلك، يؤثر إعادة ضبط معاملات التغطية في خلية ما بشكلٍ غير مباشرٍ على أداء التسليم للمستخدمين نتيجة تغير وضع منطقة التسليم [48].

4- التصادم الناتج عن تغير طوبولوجيا الشبكة **Topology mutation conflict**: يحدث هذا التصادم كنتيجة مباشرة للتغيرات المفاجئة التي تؤثر على استقرار المحطات أو طوبولوجيا الشبكة (مثل إضافة/إزالة/إيقاف محطة ما) الأمر الذي يؤثر مباشرة على الوظائف العاملة في المنطقة المتأثرة والتي احتسبت قيم معاملاتهما على أساس الوضع المستقر السابق [49].

5- تصادم القياسات **Measurement conflict**: يحدث عند انتهاء صلاحية أو تغير بيانات الدّخل لأحد SONFI والتي قامت باحتساب قيم NCPs للخروج الخاص بها بناءً على قيم الدّخل المنتهية الصلاحية. على سبيل المثال، عندما تحسب وظيفة MLB قيم معاملات التسليم بناءً على نموذج تغطية سابق للخلية قبل أن يجري تغييره للتو من قبل وظيفة CCO جرى استدعاؤها لسد فجوة التغطية [47].

6- تصادم الوظائف العاملة على التقنيات الراديوية المختلفة **Inter-RAT conflict**: يظهر في الشبكات التي تعمل فيها عدّة تقنيات راديوية RAT (Radio Access Technology) نتيجة لتعارض أهداف الوظائف العاملة على التقنيات المختلفة ضمن ذات الحيز المكاني والزمني. على سبيل المثال، يمكن لإعادة ضبط معاملات

التسليم عبر وظيفة إدارية عاملة على نظام LTE-A أن يؤثر سلباً على ارتباط المستخدمين مع التقنيات الموروثة عند حافة الخليّة وبالتالي على تسليم HO المستخدمين بين هذه التقنيات [50]. مثال آخر، التصادم الناتج عن ضبط PCI في بيئة متعدّدة التقنيات [46].

7- **التصادم الناتج عن التشخيص Diagnostic conflict**: يحدث هذا التصادم نتيجة التشخيص المبني على التقدير السيء لحالة الشبكة والناتج عن البيانات المتأخّرة أو المفقودة أو المشوّشة أو في حالة حصول تصادم غير معروف مسبقاً بحيث لا يحصل تطابق بين القواعد المعرّفة مسبقاً مع حالة الشبكة والذي يؤدي بدوره إلى حساب قيم معاملات خاطئة [51]. كمثال على ذلك، إهمال أو سوء تقدير سرعة المستخدمين أثناء احتساب معاملات التسليم HO يمكن أن يؤدي إلى احتساب خاطئ لها [52]. مثالاً آخر، يمكن أن يؤدي عدم التّطابق بين بيئة المحاكاة التي تدعم نظام SON والشبكة العاملة إلى مثل هذا النوع من التصادمات [53].

8- **تصادم الوظائف العاملة بين المشغّلين Inter-operator conflict**: يحدث نتيجة تعارض أهداف تحسين الشبكة بين مشغلي الخدمة الخلويّة أو في حلول التنسيق المحكومة بسياسات متعارضة بينها مما يؤثر على تواجد المحطّات المتجاورة والعائدة لمختلف المشغّلين. ومثالاً على ذلك، التصادم الناتج عن ضبط PCI في بيئة هجينة HetNet متعدّدة المشغّلين [54]. مثالاً آخر، التصادم الناتج عن سوء ضبط معاملات HO أو QoS في بيئة تدعم التّنقل المحلي national roaming بين مشغلي خدمات 3GPP نفسها أو بين مشغلي خدمات 3GPP ومشغلي خدمات non-3GPP.

9- **تصادم السياسات Policy-based conflict**: يمكن أن يؤدي تضارب السياسات العليا business level policy للمشغّل أو التّرجمة الخاطئة لها إلى المراتب الدنيا كمستوى SON policy إلى غموض أو تضارب أهداف التّحسين للوظائف الإداريّة بشكل يؤدي إلى التّفاعل السّلبيّ بينها [55]. على سبيل المثال، يؤدي تعيين أولويات افتراضية ثابتة للوظائف الإداريّة إلى سيطرة الوظائف ذات الأولويّة الأعلى ومنع الوظائف ذات الأولويّة الأدنى من العمل [56].

10- **تصادم التّحقق Verification conflict**: يظهر هذا النوع من التّصادم كنتيجة لقبول acknowledge أو لاستعادة الضبط roll-back الذي قامت به أحد الوظائف نتيجة خطأ في التّحقّق ناتج عن سوء تقدير لوضع الشبكة أو نتيجة عدم كفاية المدة الزّمنية للتّحقق. على سبيل المثال، استعادة الضبط الخاص بأحد الوظائف نتيجة الانذار الكاذب false positive collision [38].

11- **التّصادم الناتج عن عدم التّوافق Compatibility conflict**: ينتج هذا النوع من التّصادم بسبب المتطلّبات التشغيلية غير المتوافقة لخوارزميّات الوظائف الإداريّة. تحديداً، يمكن أن يؤدي لمثل هذا النوع من التّصادم استخدام عدة وظائف إدارية عائدة لمصنعين مختلفين على نفس الشبكة دون الأخذ بالاعتبار الشّروط التشغيلية لكل منها

(مثل الأزمنة التحكومية) أو في حالة استخدام نظام تنسيق سيء من أجل تنسيق مجموعة من الوظائف العاملة على محطات عائدة لمصنعين مختلفين. مثال، ضبط PCI في بيئة متعددة المصنعين [57].

12- تصادم جودة الخدمة وجودة التجربة QoS-QoE conflict: ويحدث عندما تُبنى أهداف التحسين على مؤشرات الأداء الشبكية PM في حين يجري إهمال متطلبات QoS-QoE. يعتبر اكتشاف هذا النوع من التصادم مشكلة رئيسية، وخاصةً عندما يجري الكشف عنه من خلال شكاوى المستخدمين، في حين لا توجد أي مؤشرات أداء أو أعطال شبكية تدل على وجوده. على سبيل المثال، يمكن أن يؤدي توسيع مجال تغطية الخلية دون الأخذ بالاعتبار سعة شبكة النقل backhaul network إلى تدهور QoE على الرغم من أن مؤشرات QoS ضمن حدودها الطبيعية [58]. عادةً ما يتطلب حل هذا النوع من التصادمات أن يمتلك نظام SON القدرة على جمع ومعالجة البيانات من المستخدمين وهذا ما لم يكن متاحاً من خلال التقنيات السابقة [25].

### 2-3 الطبيعة العائمة للتصادم

إن أي تصادم، بشكل عام، له أسباب متعلقة بحالة الشبكة التشغيلية وأسباب أخرى تعود إلى التصميم. يمكن أن تؤدي أية أخطاء تصميمية لخوارزميات الوظائف الإدارية أو لخوارزميات التنسيق إلى تصادمات أثناء عمل هذه الوظائف، وهنا يُطلق على التصادمات الحاصلة بـ "التصادمات الستاتيكية" وذلك من وجهة نظر حل التصادم [59].

تظهر التصادمات الستاتيكية عادة عند تحقق نفس الشروط، وبالتالي فإنه من غير المناسب، من وجهة نظر تطبيقية، أن يجري حل هذه التصادمات أثناء زمن التشغيل run-time، لأن هذا الحل قد يؤدي إلى تقييد أداء الوظائف الإدارية، في حين يجب أن يجري حلها في زمن التصميم design-time.

وعلى العكس، تحدث "التصادمات الديناميكية" أثناء وقت التشغيل نتيجة التفاعل العرضي بين مستنسخات الوظائف الإدارية، ويمكن تلافي هذه التصادمات أو حلها من خلال آليات التنسيق الذاتي [2]. على سبيل المثال، إذا حصل تغيير في قيم الدخل لأحد SONFI أثناء طور المراقبة (انظر الشكل 2—1)، فإن تصادم القياسات يُعتبر في هذه الحالة تصادمًا ديناميكيًا طالما أن SONFC قادرٌ على اكتشاف هذا النوع من التصادمات وتشخيصها وتلافيها (كأن يتم إيقاف أو إعادة جدولة الـ SONFI المعنية). وعلى العكس، إذا كان طور المراقبة مصممًا بنافذة زمنية observation time window غير مناسبة، فإن هذا يمنع الـ SONFC من اكتشاف التغيرات العرضية عند دخل الوظائف الإدارية، مما يؤدي إلى تطبيق قيم NCPs التي جرى احتسابها بناءً على الحالة المستقرة السابقة (قبل التغيير) كلما جرى طلب ذات الوظيفة الإدارية بنفس الشروط. وهنا يتوجب دائماً على SONFC أن يقوم بإجراءاتٍ مضادةٍ لحل التصادم إذا لم يجري التعامل مع هذا التصادم على أنه تصادم ستاتيكي ولم يجري حله خلال زمن التصميم. وكخلاصة لما سبق، يعتبر التصادم ستاتيكيًا إذا

كان من الأفضل حلُّه أثناء زمن التصميم في حين يعتبر التصادم ديناميكياً إذا كان من الأفضل حلُّه من خلال التنسيق الذاتي أثناء زمن التشغيل [60].

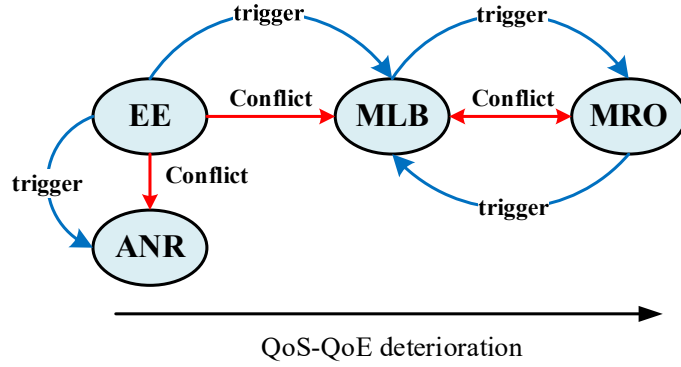
يتطلب حلُّ التصادم الديناميكي أثناء زمن التشغيل أسلوباً منهجياً وذلك على عكس التصادم الستاتيكي الذي يمكن تلافيه من خلال مجموعة من الأدوات أثناء زمن التصميم. وهذا التعقيد المرافق لحل التصادمات الديناميكية يعود للطبيعة العائمة للتصادم والذي يجعله يندرج تحت عدة تصنيفات في نفس الوقت ويؤدي مجموعة من الأعراض المتداخلة. ويسمى التصادم في هذه الحالة "بالتصادم المتداخل" Nested conflict وذلك تمييزاً له عن "التصادم الجامد" Hard conflict والذي ينتج عن سببٍ وحيدٍ يندرج ضمن تصنيفٍ واحدٍ فقط من التصنيفات السابقة [30]. كمثال على التصادم المتداخل: عند حساب قيم معاملات التحكم NCPs بناءً على معلوماتٍ منتهية الصلاحية نتيجة إضافة أو إزالة محطة ما، يعتبر تصادم طبولوجيا الشبكة هنا تصادم قياسات. أيضاً يعتبر تصادم التحقق تصادم تشخيصٍ عند سوء تقدير وضع الشبكة.

يُعتبر كشف وحل التصادم المتداخل مسألةً حرجيةً، ولكن في حال جرى تطبيقه بطريقةٍ غير صحيحةٍ يمكن أن يؤدي ذلك إلى مشاكل أكثر تعقيداً [30]. وكمثالٍ على ذلك، في طبقة الخلايا الصغيرة small-cell، يمكن أن تقرّر وظيفة الكفاءة الطاقية EE إطفاء أحد الخلايا من أجل توفير الاستطاعة. يؤدي هذا الفعل إلى حدوث تصادمٍ ناتجٍ عن خطأ في مدخلات قائمة التّجاور NCL للخلايا المجاورة. وبالتالي يجري استدعاء وظيفة بناء التّجاور ANR من أجل تعديل قائمة NCL بناءً على الحالة المستجدة [39]. وباعتبار أن التصادم بين EE و ANR لا يؤثر على جودة الخدمة، يعتبر هذا التصادم ذو أولويةٍ منخفضة. إلا أن القرار المتخذ من قبل EE قد يؤثر في بعض الأحيان على توزيع الأحمال بين المحطات التي بقيت في الخدمة، وقد يؤدي ذلك إلى زيادة الحمل على أحدها، وهذا يرفع بدوره مستوى التداخل ضمنها بما يؤثر على QoS مؤدياً إلى تصادمٍ ذي أولويةٍ أعلى. وفي حال استدعاء وظيفة توازن الأحمال MLB من أجل إعادة التوازن بين الخلايا بناءً على NCL الجديدة، فإنها ستقوم بتحسين معاملات HO بشكلٍ يمكن أن يحدث تصادماً بين MLB و MRO التي تتحكم بنفس المعاملات. ويمكن أن يؤدي هذا التصادم الأخير إلى تدهور أداء التسليم وينتج عنه تدهور واضح في QoS و QoE أي تصادم ذو أولويةٍ عليا. وعند استدعاء MRO من أجل إعادة تحسين معاملات HO، قد يحدث ذلك بشكل يعاكس أهداف MLB، الأمر الذي يؤدي إلى استدعاء MLB من جديد وهكذا [30].

ينتج ردُّ الفعل المتسلسل هذا بالدرجة الأولى بين SONFIs بسبب التصادم المتداخل، حيث أن التصادمات ذات الأولوية المنخفضة تؤدي إلى تصادمات ذات أولويةٍ عليا الأمر الذي يؤدي إلى تدهورٍ مستمرٍ في الأداء كما هو موضّح بالشكل 3—3. ونظراً لاعتبارات التصادم المتداخل المذكورة آنفاً، فإن التصنيف الذي عادةً ما يندرج فيه التصادم ضمن أكثر من صنف يسمى "بالتصنيف الناعم" soft classification تمييزاً له عن التصنيف الجامد والذي عادةً ما يندرج فيه التصادم

ضمن نوع وحيد [30]. يلخص الشكل 3—4 أصناف التصادمات بشكل عام وطرق حلها.

للاطلاع على التصادمات المحتملة بين الوظائف الإدارية بشكل موسع يمكن للقارئ الرجوع إلى الملحق (1) والذي يُعدُّ جزءاً من مساهمات الأطروحة [39].

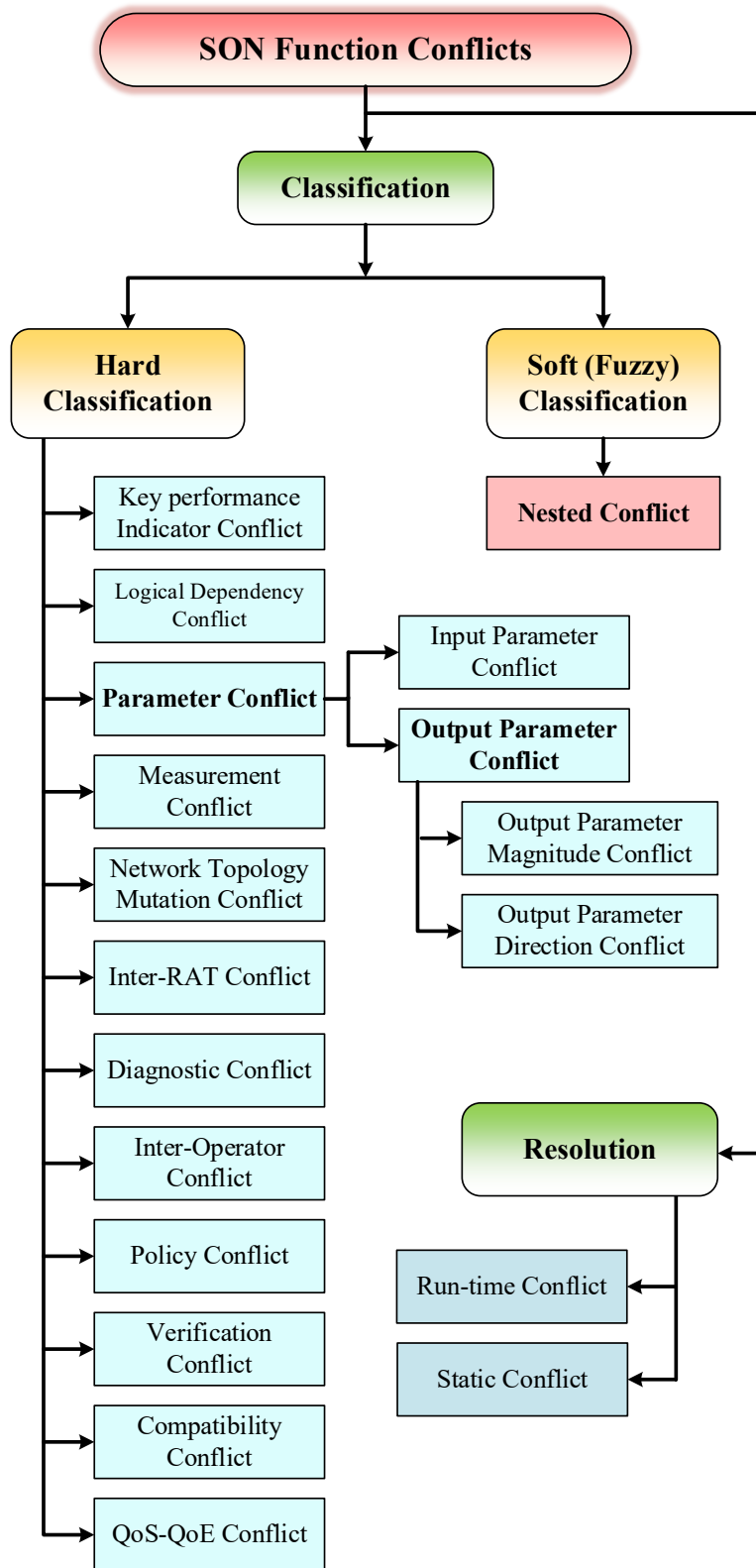


الشكل 3—3 تأثير رد الفعل المتسلسل في الاستدعاء المتكرر للوظائف والتصادمات

### 3-3 تطوّر التنسيق الذاتي

كانت مشكلة التصادم في الفترة التي سبقت تعريف وظيفة التنسيق الذاتي من قبل 3GPP غير واضحة، وكانت تُعتبر أحد المشاكل التصميمية التي يمكن معالجتها أثناء زمن التصميم [35]. وبالتالي ركزت المساهمات الأولى في هذا الحقل على الطرائق الوقائية من أجل تفادي التصادمات بأقل تعقيد ممكن أثناء زمن التنفيذ من خلال تعريف مجموعة من القواعد على مستوى المشغل [61]. كما اعتمدت الطرائق الأكثر تعقيداً على التصميم المشترك لوظائف الإدارة. وعلى الرغم من أن الطرائق الوقائية تلعب دوراً حيوياً في تفادي التصادمات الآتية، إلا أنها عجزت عن معالجة الكثير من التصادمات الناتجة أثناء زمن التشغيل [37].

بعد تعريف وظيفة التنسيق الذاتي معيارياً [18]، أخذت الأبحاث منحاً باتجاه التنسيق التفاعلي، حيث يجري اتخاذ قرارات التنسيق أثناء زمن التشغيل من خلال وحدة التنسيق الذاتي [62]. وقد ركزت المساهمات في البداية على التنسيق التفاعلي الأولي *pre-action coordination* حيث جرى تلافياً التصادمات بناءً على حالة الشبكة ووفقاً لقواعد التنسيق الوقائي [63]. إلا أن قصور هذا النوع من التنسيق في حل التصادمات بعد حدوثها مهد الطريق لظهور التنسيق الثانوي *post-action coordination* والذي عالج هذه المشكلة [38]. تعتبر الطرائق السابقة في التنسيق كافية إلى حد ما من أجل شبكات 4G، خاصةً مع استخدام تقنيات ML من أجل التغلب على محدودية الجهود البشرية في معالجة البيانات.



الشكل 3-4 أصناف تصادمات ووظائف الإدارة الذاتية



إلا أن قصور الطّرائق السّابقة يظهر في التّأخير الزّمني الكبير وطول زمن التّقارب وهذا يجعل منها غير صالحة للعمل على مستوى 5G نظراً لأن الخوارزميات التّفاعلية بحاجة إلى فترة زمنيّة من أجل اكتشاف وتشخيص التّصادمات قبل اتخاذ القرار المناسب.

من أجل التّغلب على المشكلات السّابقة، تُعدّ الحلول التي تعتمد المنطق الاستباقي proactive logic بدائل واعدة من أجل ضمان الإدارة الذّاتيّة الخالية من التّصادم في 5G. ولما كانت الطّرائق الاستباقية تعتمد بشكلٍ أساسي على ML [64]، وعلى تحليل البيانات الكبيرة [23]، وعلى الحوسبة السّحابية [65]، فيجب التّغلب على مجموعة من التّحديات قبل الاعتماد بشكلٍ موثوقٍ على هذه الطّرائق (انظر الفقرة 3-7-10). وباعتبار أن المعايير المعتمدة من قبل 3GPP لم تعرّف أي منهجية لتكامل طرائق التّسيق الآنف الذّكر [18]، تبقى الأبحاث في مجال التّسيق الذّاتي وخاصةً في إطار 5G وما بعده مجالاً بحثياً فعال. ووفقاً لـ 3GPP [66]، يمكن تعميم مبادئ التّسيق الذّاتي على 5G الحاليّة إذا تمت إعادة تكييف SONFs الموروثة بحيث تصبح قادرةً على ضبط وتحسين أداء شبكة 5G وفق NCPs الخاصة بها.

### 4-3 التّسيق الذّاتي في نظام الإدارة الذّاتيّة

بهدف تنجيز وظيفة التّسيق المتكاملة، يُقسّم منطق التّسيق الذّاتي المتكامل اصطلاحاً إلى ثلاثة أقسامٍ كما يلي:

#### 1-4-3 المنطق الوقائي Protective logic

يختصّ المنطق الوقائي بتلافي التّصادمات الأكثر شيوعاً، ويبنى عن طريق تعريف مجموعةٍ من القواعد أثناء زمن التّصميم (قبل إطلاق عمل SONFs على الشّبكة العاملة). ويجب أن تكون هذه القواعد متوافقةً مع السّياسات العليا لمزود الخدمة وأن تحدّد ضوابط عمليات التّسيق، كأنواع التّفاعلات الجائزة بين SONFs، والأولويات الافتراضية لـ SONFs، والأزمنة الاحتياطية guard intervals، وقيم NCPs المسموحة، بالإضافة إلى مجموعةٍ من الشّروط الصّورية لتلافي التّصادم المباشر بين SONFIs [3]. إلا أن المنطق الوقائي لا يستطيع بمفرده أن يقدم حلاً شاملاً لجميع أنواع التّصادمات أثناء زمن التّنفيد بسبب عدم إمكانية وصف جميع تغيرات الوسط الديناميكي الّلامحدودة من خلال مجموعةٍ محدودةٍ من القواعد الثابتة.

#### 2-4-3 المنطق التفاعلي Reactive logic

يهتم المنطق التّفاعلي بالاستراتيجيات المعتمدة أثناء زمن التّنفيد من أجل تلافي وحل التّصادم، ويجري تحقيقه من خلال طويرين اثنين من أطوار التّسيق. يسمى الطّور الأوّل: طور "التّسيق ما قبل التّنفيد" pre-action coordination أو "التّسيق الأوّل" (كما سنسميه خلال هذا البحث)، ويكون مسؤولاً عادةً عن تلافي التّصادم قبل تنفيذ SONFIs وذلك

وفقاً لقواعد التّسيق الوقائيّة والتّفاعلية بعد الأخذ بعين الاعتبار حالة الشّبكة [56]. يمتلك المنسق الذّاتي SONFC في هذه الطّور العديد من الخيارات والتي تتضمن ما يلي:

- تمكين، أو إبطال، أو إعادة جدولة SONFI التي جرى استدعاؤها.
- إيقاف، أو متابعة، أو إلغاء SONFI جرى تمكينها في وقت سابق.
- تعديل SONFI والتي جرى استدعاؤها مؤخراً.

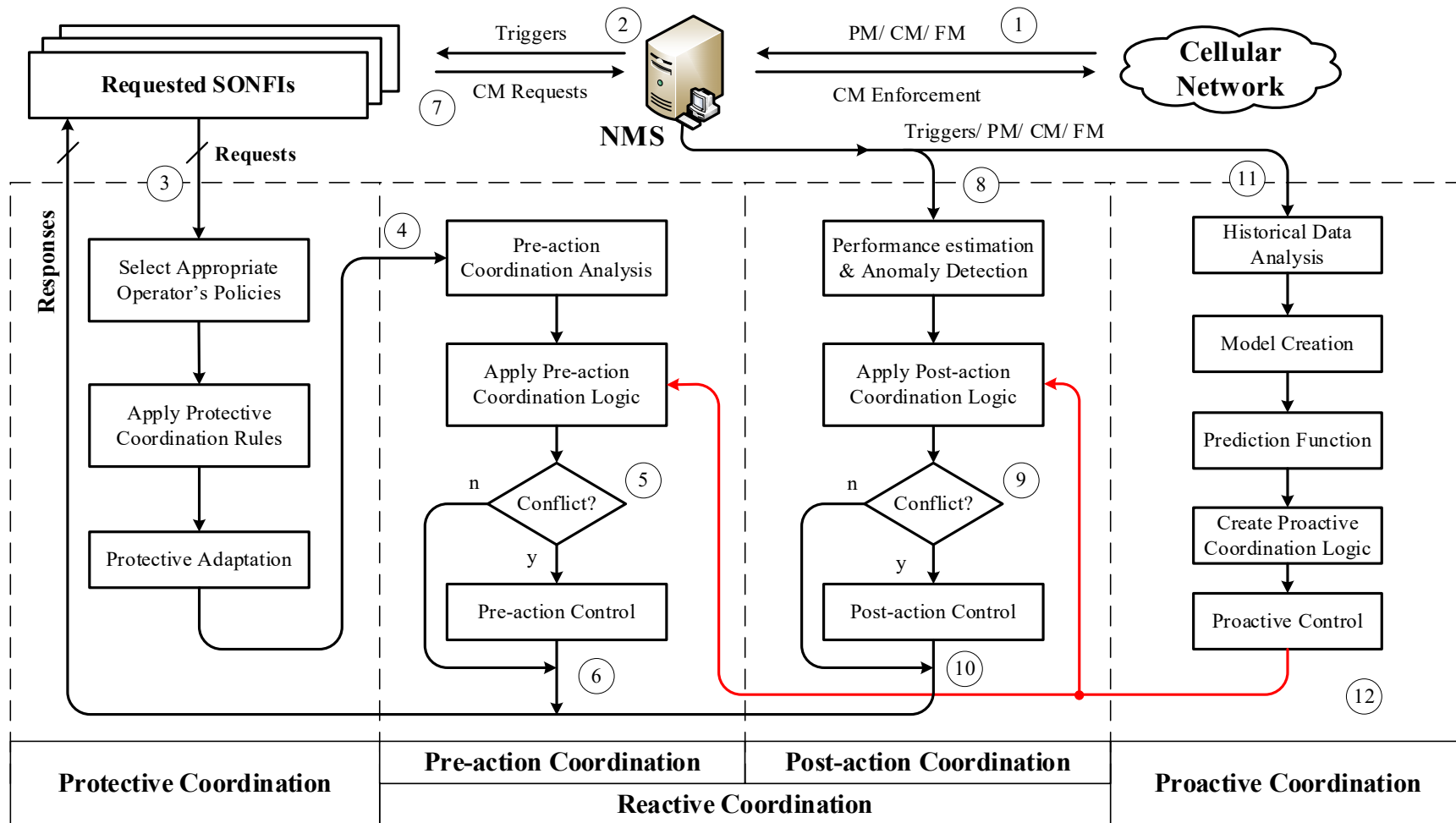
إن أحد سلبيات منطق "التّسيق الأولي" هو عدم القدرة على تلافي التّصادمات التي لم يجرِ توصيفها بشكلٍ جيدٍ من خلال المنطق التّفاعلي. إضافة إلى ذلك، قد تحدث التّصادمات المعروفة بشكلٍ جيّدٍ في حال إساءة تقدير حالة الشّبكة أو في حالات الغموض. وضوحاً، لا يمكن لمنطق "التّسيق الأولي" التنبؤ بالتّصادمات أو حلها على الشّبكة العاملة وخاصة في حال التنفيذ المتزامن (التفرعي) لمجموعة من SONFIs. لذلك، يبدأ بعد التنفيذ الناجح لـ SONFIs طوراً آخرّاً يعتمد منطق "التّسيق ما بعد التنفيذ" أو "التّسيق الثانوي" (كما سنطلق عليه في هذا البحث)، ويعدُّ مسؤولاً عن التّحقق من أن تغيرات CM المطبّقة على الشّبكة (قيم NCPs الجديدة) ساهمت بتحسين أداء الشّبكة أو على الأقل لم تؤدّي إلى حدوث تصادم [67]. وخلال هذا الطور، يمتلك SONFC الخيارات التّالية:

- تأكيد acknowledge، أو رفض (التراجع rollback) SONFI التي جرى تنفيذها.
- طلب تعديل على SONFI.

يجري في هذه المرحلة استخدام نوعٍ خاصٍّ من أدوات كشف وتشخيص التّصادمات من أجل تحديد أسبابها بالإضافة إلى تحديد SONFI المسؤولة عن تدهور الأداء بهدف تعديلها أو التراجع عنها [48].

### 3-4-3 المنطق الاستباقي Protective logic

يُعزّز "المنطق الاستباقي" القدرة على اتّخاذ القرار للمنطق الوقائي والمنطق التفاعلي بشكلٍ أساسيٍّ بما يضمن تحقيق سرعة استجابةٍ أعلى وتخفيضاً بالزّمن اللازم للمراقبة والتّشخيص [23]. وبالتالي يجري تفادي التّصادمات من خلال التّقدير المناسب لحدوثها بين SONFIs التي جرى استدعاؤها بعد الأخذ بالاعتبار حالة الشّبكة [68]، وكذلك هو الحال بالنّسبة لحل تلك التّصادمات. بالإضافة إلى ذلك، يمكن تحسين أداء التّسيق من خلال التّعلم المستمر من الخبرات السّابقة، بحيث يمكن تلافي التّصادمات التي لم تكن معروفةً بالنّسبة للمنطق الوقائي بطريقة ذكية intelligent manner [19]. وبالتالي، يمكن أن ينخفض زمن التّفارب convergence time مع تحقيق زيادةٍ ملحوظةٍ في ربح الأداء وهذا ينعكس بشكلٍ مباشرٍ على جودة الخدمة.



الشكل 3—5 إطار عمل التنسيق الذاتي في حالة التَّحجيز المركزي

### 5-3 إطار عمل التنسيق الذاتي المقترح

جرى في هذا البحث وبهدف تنجيز وظيفة التنسيق الذاتي المتكاملة والقادرة على القيام بمهمة تلافية وحل التصادمات، جرى اقتراح إطار عمل متكامل يدعم كلاً من المنطق الوقائي والتفاعلي والاستباقي كما هو مبين الشكل 3—5. جرى وضع أرقام على الشكل 3—5 بهدف توضيح خطوات عمل التنسيق الذاتي وفق إطار العمل المقترح، بالقرب من المرحلة المعتبرة.

في البداية (1)، تتدفق بيانات PM/ CM/ FM بشكل مستمر من كافة محطات الشبكة إلى مركز إدارة الشبكة (Network Management System) NMS، والذي يُعرف أيضاً بنظام الدعم والعمليات OSS حيث يجري ضمنه معالجة هذه البيانات.

(2) في حال اكتشاف خلل في أداء الشبكة أو اكتشاف عطل ما، يجري استدعاء SONF الموافق والمسؤول عن تحسين NCP(s) المرتبطة بمؤشر الأداء المطلوب. وعندها فإن SONFI الخاصة بـ SONF تقوم بتعديل على CM (أي على NCPs) على المحطة الهدف. وبهذه الحالة فإنها تُرسل هذا الطلب إلى SONFC حيث يجري معالجة الطلبات لديه بدايةً عن طريق المنطق الوقائي.

(3) في هذه المرحلة، يختبر SONFC مدى توافق الطلبات المرسله مع سياسة المشغل [37]، والتأكد من إمكانية التطبيق الخالي من التصادم لهذه الوظائف عبر تخصيص أولوية ابتدائية وزمن ابتدائي لكل وظيفة من خلال التكييف الوقائي protective adaptation.

(4) في المرحلة التالية، وقبل أن يُسمح لـ SONFIs من أن تنفذ على الشبكة، يجري معالجة طلبات SONFIs عبر مرحلة "التنسيق الأولي". إن ذلك قد يتطلب مراجعة لأداء الشبكة السابق وقائمة التنفيذات السابقة action log من أجل تقييم مدى توافق أهداف SONFIs مع حالة الشبكة المطلوب تحسينها.

(5) إذا جرى اكتشاف أية تصادمات محتملة، يختار SONFC رد الفعل الأنسب (مثلاً كأن يعيد جدولة SONFI) [56].

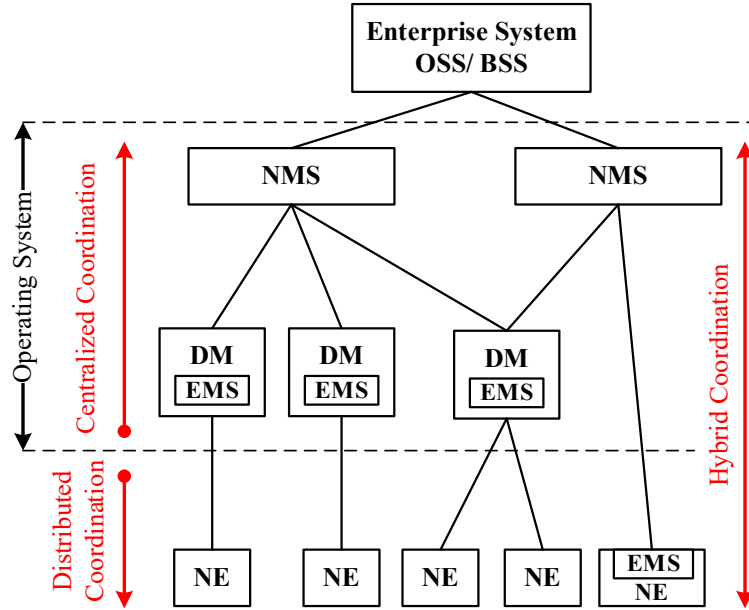
(6) في نهاية هذه المرحلة، يجري الرد على كل SONFI برّد خاص يتضمّن القرار النهائي بأولويتها وزمن التنفيذ المسموح به. أحياناً، ولأسباب تتعلق بمتطلبات التحسين، قد يجري طلب بعض التعديلات على وظائف سابقة وجرى تنفيذها (مثل إيقاف، أو إكمال أو تعديل بعض SONFIs المنفذة) [39].

(7) يسمح لـ SONFIs التي جرى قبولها في طور "التنسيق الأولي" بتنفيذ CM الخاصة بها مباشرة على الشبكة أو عن طريق NMS.

- (8) يبدأ طور "التنسيق الثانوي" بعد اكتمال SONFIs من تنفيذ CM الخاصة بها على الشبكة بنجاح. يُراقب SONFC، ومن خلال الآليات المتوفرة في هذه المرحلة، أداء الشبكة ومن الممكن أن يطلب المزيد من بينات PM/ FM السابقة من أجل تقييم وضع المحطة بشكلٍ دقيق [69]. ويقرر الـ SONFC اعتماداً على ذلك، وبناءً على تطور أداء الشبكة وقواعد "التنسيق الثانوي"، فيما إذا كان لـ CM الجديدة تأثيرٌ إيجابيٌّ على أداء الشبكة أم لا.
- (9) في حال ظهور بعض التصادمات غير المتوقعة، فإن لـ SONFC الخيار في طلب تعديل على SONFI التي جرى تنفيذها أو استعادة roll-back الضبط السابق وبالتالي العودة إلى حالة الشبكة الأكثر استقراراً [70].
- (10) عدا ذلك، يجري قبول CM الموافقة لـ SONFI التي جرى التحقق منها.
- (11) يجري على التوازي، وبشكلٍ مستمرٍ، تجميع بيانات الشبكة مع نتائج التنسيق من قبل آليات منطق التنسيق الاستباقي بهدف التعلّم من الخبرات السابقة، وبهدف تحسين قدرة التنبؤ بأداء الشبكة [68].
- (12) يمكن أن يساهم المنطق الاستباقي، والذي قد يعتمد على نماذج مسبقة predefined models، في المساعدة باتخاذ القرار للمراحل السابقة من التنسيق عبر تعزيز قدرتها على اتخاذ القرار بما يخفض الزمن اللازم لتلك المراحل للتوصل لقيم NCPs المثلى. وبالنتيجة، ينخفض زمن تقارب الوظيفة الذاتية SONF ويتحسن أداؤها أيضاً. يمكن أن يطلب SONFC بياناتٍ إضافيةٍ خلال مراحل التنسيق المختلفة من أجل اتخاذ القرارات المناسبة. تتضمن هذه المعلومات خصائص SONFI، وبينات PM/ CM / FM إضافية، وقيم NCPs الأصلية، وحالة المحطات، والتأثيرات المحتملة على مؤشرات الأداء وسياسات المشغل العليا [18]. من الجدير بالملاحظة أن تكامل منطق التنسيق، والذي تم تقسيمه آنفاً إلى ثلاثة أقسام، يحقق وظيفة التنسيق الذاتي المتكاملة، في حين أن كل منطقٍ لوحده يفشل بتحقيق هدف التنسيق المتكامل والمتمثل بتلاني وحل التصادمات.

### 6-3 تنجيز المنسق الذاتي

يعد تنجيز وظائف SON أحد المسائل الهامة أثناء التصميم لأنه يحدد المقايضة بين كلفة التنجيز وتعقيد الوظيفة الذاتية والذي يؤثر بشكلٍ مباشرٍ على أدائها [5]. وعلى الرغم من أن 3GPP لم تقدّم وصفاً محدداً وملزماً لبنية SON [71]، فيمكن تنجيز جميع وظائف SON بما فيها SONFC من خلال أحد البنى التالية: المركزية، والموزعة والهجينة وذلك بناءً على نموذج إدارة الشبكة المقترح من قبل 3GPP والمبين بالشكل 3—6 [72]. عند اعتماد البنية المركزية للتنسيق، يكون التّوضُّع الأنسب لـ SONFC ضمن مستوى إدارة الشبكة NMS أو مستوى مدير المجال DM (Domain Manager). وبالتالي يجري التّحكم بجميع SONFs المتواجدة ضمن طبقة الإدارة، بالإضافة إلى تلك الموجودة بالطبقات الأدنى بها من قبل SONFC. أما في التنجيز الموزع من الأنسب أن يتواجد SONFC ضمن طبقة الشبكة، وبالتالي سيعمل على العناصر



الشكل 3—6 البنية الهرمية لمستويات إدارة الشبكة الخلوية في نموذج 3GPP المرجعي

الشبكية NEs الموزعة. لذلك، يمكن أن تتعاون وحدات التنسيق SONFCs الموزعة مع بعضها لتنسيق تنفيذ SONFIs المتواجدة على المحطات المعنية. وعندما يجري تنجيز SONFC على كل من طبقتي الإدارة والشبكة، عندها يمكن القول أنّ بنية التنسيق هي بُنية هجينة. يلخص الجدول 3—1 المقارنة بين بني التنسيق المختلفة [73]، [74].

إن تنجيز أي SONF بشكل ناجح على الشبكة يعني استعدادها للقيام بالمهام المصممة من أجلها لحظة استدعائها. عملياً، يمكن تصميم أي SONF من أجل العمل بالزمن الحقيقي online أو بالزمن المكافئ offline، ويمكن أن تؤثر كلتا الطريقتين من العمل على أداء التنسيق [75]، [53]. فعندما يجري العمل بالزمن الحقيقي، تقوم SONFI بحساب قيم المعاملات الجديدة ثم تقوم بتطبيقها على الشبكة مباشرة. وعلى العكس من ذلك، فعندما يجري العمل بالزمن المكافئ، يجري حساب القيم الجديدة للمعاملات في البداية، ثم يجري التحقق منها من خلال أداة محاكاة خاصة مطابقة للبيئة التي تعمل ضمنها عناصر الشبكة، وأخيراً يجري اسناد قيم المعاملات الجديدة على الشبكة. يتضمن البحث الموجود في [75] أحد الأمثلة على المقارنة الكميّة بين الطريقتين. وقد خلص البحث إلى أن الطريقة التي تعتمد العمل بالزمن المكافئ تعتبر الأفضل طالما أن بيانات الدّخل متوفرة ضمن نطاق زمنيّ مناسب. إلا أن البحث اعتمد فقط على مثالٍ وحيدٍ عن وظيفة CCO بدون وجود أي تنسيق بين مستنسخاتها. ويوضّح الجدول 3—2 المقارنة النوعية بين الطريقتين.

مما سبق نجد أنّه يجب أن يأخذ التنجيز الأفضل لـ SONFC بعين الاعتبار تصميم وتنجيز الوظائف الإدارية العاملة على الشبكة، والبيانات المتاحة للنفاد والمعالجة، ومتطلبات عمليات تحسين الشبكة (مثل التأخير المسموح، زمن التقارب، إلخ) وطريقة التنسيق بحد ذاتها.

الجدول 3—1 مقارنة بين بني SON

المساوي	المزايا	البنية
<ul style="list-style-type: none"> <li>● صعوبة تحقيق عمليات الإدارة في الزمن الحقيقي وخاصة في البيئات ذات التغير السريع أو مع الوظائف التي تعمل ضمن أدوار زمنية صغيرة.</li> <li>● احتمالية التوقف المؤقت للوظائف ذات التنجيز المركزي أو ل SON خلال عمليات التحديث.</li> <li>● حساسية عالية لمشاكل الاستقرار (الأعطال البرمجية، السياسات المتناقضة، التصميم غير المناسب للخوارزميات) باعتبار أن المشاكل على الطبقات العليا يمكن أن تؤثر على جميع NES.</li> <li>● يعتبر نقطة وحيدة للفشل.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● القدرة على دعم الحلول المعقدة وخاصة في حالة معالجة البيانات من مصادر هجينة.</li> <li>● القدرة على دعم حلول الطرف الثالث.</li> <li>● سهولة إدارة وتحديث خوارزميات التنسيق باعتبار أنها موجودة في عدد محدود من NES.</li> <li>● تحقق قدرًا من الاستقلال عن مكونات الشبكة الفيزيائية وبروتوكولاتها.</li> <li>● مناسب للوظائف التي تعمل على مساحات واسعة ذات متطلبات أداء وتوسعية غير معقدة.</li> <li>● تتطلب نماذج تنسيق أقل تعقيداً بين الوظائف ذات التنجيز المركزي.</li> </ul>	المركزية
<ul style="list-style-type: none"> <li>● حساسية عالية لمشكلات التوسع باعتبار أنها تعتمد على منافذ الشبكة (خاصة X2 و S1) والمقيدة بروتوكولات الشبكة.</li> <li>● بحاجة إلى نموذج تنسيق معقد، وخاصة عندما يكون عدد NES المشاركة في عملية ما كبيراً.</li> <li>● صعوبة كبيرة في دعم التنسيق بين الوظائف التي تعمل على مختلف الشبكة خاصة مع عدم وجود منافذ X2 ومحدودية المعلومات المتبادلة [76].</li> <li>● صعوبة في دعم الحلول التي تتطلب درجة عالية من الذكاء الصناعي.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● القدرة على دعم تنفيذ وظائف SON بالزمن الحقيقي باعتبار أن هذه الوظائف موجودة على مستوى NES.</li> <li>● لا تحتاج إلى تبادل ضخم للبيانات بين وحدات التنسيق</li> <li>● مناعة عالية لكثير من مشكلات الشبكة باعتبار أن الأعطال تبقى محصورة ضمن عدد محدود من NES.</li> </ul>	الموزعة
<ul style="list-style-type: none"> <li>● بحاجة إلى نموذج تنسيق معقد بين الوظائف ذات التنجيز المركزي والوظائف ذات التنجيز الموزع [77].</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● تمتلك المرونة الكافية لدعم مختلف تطبيقات SON طالما أن الخوارزميات الأقل تعقيداً تتوضع على مستوى NES بينما تتوضع المعقدة منها على مستوى NM [28].</li> </ul>	الهجينة

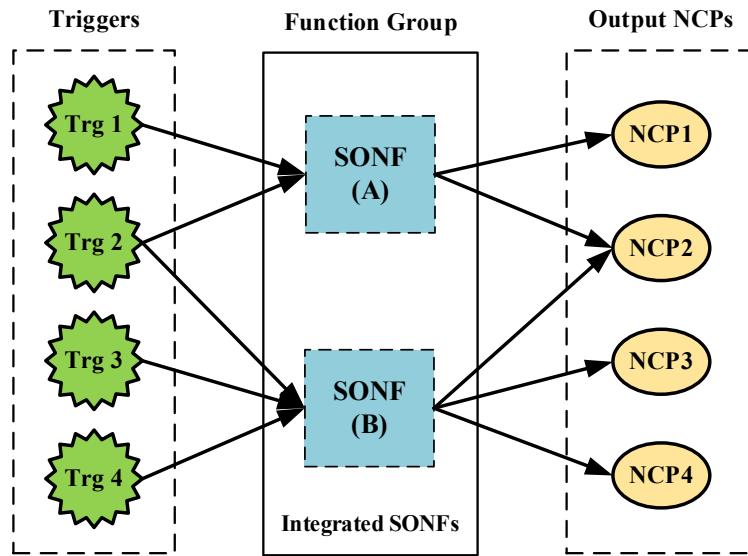
الجدول 3—2 مقارنة نوعية بين الوظائف العاملة في الزمن الحقيقي والزمن المكافئ

عمل الوظيفة	المزايا	المساوئ
حلول الزمن الحقيقي	<ul style="list-style-type: none"> <li>● ضبط وتحسين الشبكة باستجابة آنية.</li> <li>● الحساب السريع لقيم المعاملات.</li> <li>● سهولة التصميم والتنجز.</li> <li>● قابلية للعمل مع الأنظمة الموروثة والتي لا تتطلب تحقيق قدر كبير من الذكاء.</li> <li>● قدرة على العمل مع الحد الأدنى من المدخلات.</li> <li>● مناسبة أكثر للوظائف ذات التنجز الموزع.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● زمن تقاربٍ طويل.</li> <li>● مقيدةٌ بالبيانات المتوفرة وبروتوكولات الشبكة.</li> <li>● ينخفض الأداء مع التغيرات السريعة في الوسط المحيط وحالات الشبكة غير المستقرة.</li> <li>● عدم القدرة على دعم الحلول المعقدة بسبب قلة المعلومات المتوفرة عن أطراف الشبكة المختلفة end-to-end knowledge من وجهة نظر نظام SON [23].</li> <li>● بحاجة إلى تنسيق معقد بين NEs.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>● القدرة على دعم الحلول المركزية المعقدة [78].</li> <li>● القدرة على التعامل مع البيانات المهجنة.</li> <li>● القدرة على دعم الوظائف الاستباقية.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● بحاجة إلى بنية تحتية ذات قدرة حاسوبية عالية الأداء.</li> <li>● بحاجة إلى تحديث مستمر حيث تتأثر سلباً بعدم التوافق بين بيئة المحاكاة الافتراضية و بيئة الشبكة الواقعية.</li> <li>● بحاجة إلى عرض مجال كبير من أجل تحصيل الكم الهائل من البيانات من NEs و UEs.</li> <li>● ترتبط دقة حساب قيم المعاملات المثالية بشكل مباشر بالنماذج المستخدمة.</li> </ul>
حلول الزمن المكافئ		



### 7-3 طرائق التنسيق الذاتي

لم تتبّع أبحاث التنسيق الذاتي خلال العقد الماضي منهجيات واضحة سواءً في تلافي التصادمات أو حلها. وهذا ما أرخى بعض الضبابية على مشكلة التصادمات وأضاف نوعاً من التعقيد على مسألة مقارنة التنسيق الذاتي. لذلك، جرى في هذا البحث اقتراح، ولأول مرة في الأدبيات الموافقة، أول تصنيف لطرائق التنسيق بين الوظائف الإدارية كأحد جوانب مساهمتنا النظرية والتي شملت الأبحاث الأولى في هذا المجال ووصولاً إلى آخر المساهمات فيها. يعود اختلاف طرائق التنسيق وتناقضها في بعض الحالات لمجموعة من العوامل مثل الطبيعة العائمة للتصادم، ونقص المعايير الصادرة عن الهيئات المختصة، ومحدودية البيانات المتاحة للمعالجة، ومجال عمل خوارزميات التصادم (مثل الطبقة الماكروية، الطبقة الميكروية) إلخ. وبالتالي من الطبيعي أن نجد عدّة حلولٍ من أجل نوعٍ واحدٍ من التصادم. لكن على أيّة حال، لا يوجد لتاريخه أيّ حلٍ شاملٍ يمكن أن يغني عن باقي الحلول. وبالتالي، تتبنى معظم الحلول القابلة للتطبيق (كما هو الحال في مشاريع SOCRATES [79]، UniverSelf [80] و SEMAFOR [81]) أكثر من طريقةٍ للتنسيق وفق ما تمليه المتطلبات المفروضة. وهذه التصنيفات هي كالتالي:



الشكل 7—3 التصميم المشترك لوظيفتين إداريتين SONF(A) و SONF(B)

### 1-7-3 التصميم المشترك للوظائف الإدارية Co-design of SON function

يُعدّ التصميم المشترك أحد أبرز الطرائق التي لا تحتاج إلى عنصرٍ خاصٍ للتنسيق، وتعتمد على تفادي التصادمات المعروفة من خلال دمج أكثر من وظيفةٍ إداريةٍ في وظيفةٍ واحدةٍ يطلق عليها "مجموعة الوظائف" FG (Function Group) [37]. بالتالي يعتمد تصميم FG على مكاملة جميع المدخلات inputs والمخرجات outputs للتوابع المُضمّنة كما هو موضّح بالشكل 7—3، بحيث يقوم FG ضمناً بأداء مهماتها مجتمعةً مع الأخذ بالاعتبار جميع أهداف التحسين لها بنفس

الوقت. ومن أجل إيجاد القيم المثلى لـ NCPs التي تتحكم بها التوابع المضمّنة، والتي هي جزءٌ من FG، يجري اللجوء إلى مجموعة من الطرائق المعقّدة أثناء التصميم مثل نظرية التحكم [82]، ونظرية التحسين optimization theory [47]، وشجرة القرار decision tree [35]، [29]، إلخ. قد تُعتبر هذه الطريقة فعالة عندما يكون عدد الوظائف المضمّنة محدود (وظيفتين على الأكثر). إلا أن التعقيد وكلفة التصميم في هذه الطريقة تزداد مع زيادة عدد الوظائف الإدارية المضمّنة. كما تتمثل أحد المشاكل في دمج وظائف ذات أزمنة تحكّمية duty cycle مختلفة (مثل MLB و MRO). ويُعد تعديل خوارزميات الوظائف الإدارية SFA المضمّنة في هذه الطريقة أحد أكثر التحديات صعوبةً وخاصةً في حالة دمج وظيفة جديدة، حيث يتطلب إعادة التصميم من البداية ويرفع احتمال ظهور التصادمات الستاتيكية وخاصةً عندما يكون هنالك ترابطٌ منطقيٌّ بين الوظائف المضمّنة. تُحدُّ هذه المشكلات من القدرة التوسعية scalability لـ FG وقد يحدّد ذلك استخدام هذه الطرائق في حالة التّجزير المركزي في أغلب الأحيان. وعلى الرغم من متانة هذه الطريقة، وما تمنحه من قدرة على التنبؤ بأداء FG، إلا أنها تُعدُّ غير عمليةٍ من وجهة نظر مشغل الخدمة MNO وخاصةً عندما يتطلب الأمر إضافة/إزالة/إلغاء تفعيل/ تطوير بعض الميزات أو الوظائف.

### 2-7-3 التنسيق المحكوم بالسياسات Policy-based coordination

يُبنى هذا النوع من التنسيق من خلال تعريف مجموعةٍ من القواعد التي تحكم سلوك SONFs بحيث يمكن مواءمة أداء الخطّات مع بعضها بطريقةٍ بسيطةٍ ووفقاً لسياسة المشغل العليا المطلوبة. تتألف كل قاعدةٍ من القواعد على الأقل من زوج من المنبهات triggers المبني على ارتباط الشرط والفعل، وبالتالي يحدث التنسيق من خلال مواءمة شروط الدخل، وحالة الشبكة والخروج (قيم NCPs)، ويدعى هذا بنموذج ECA (Event-Condition-Action) [59]. يجري عادةً تعريف السياسات العليا للمشغل ونقلها (ترجمتها) إلى مجموعةٍ من القواعد في المراتب الدنيا على مستوى NES، مع الأخذ بعين الاعتبار طبيعة هذه العناصر. وبالتالي يقوم أي SONF تلقائياً بعمليات التحسين على العنصر المُعتبر وفقاً للقواعد الخاصّة به [18]. وطالما أن المشغل قادرٌ على تعريف سياساته في الطبقات العليا بشكلٍ متناسق، فتجري عمليات تحسين الشبكة بدون تصادماتٍ على المستويات الدنيا عبر التنسيق بين السياسات على مختلف طبقات الشبكة. وهنا يؤوّل عمل المنسق إلى "وكيل" agent يسمح بالعمليات التي تتوافق مع سياسات تحسين أداء العنصر المطلوب ويرفض العمليات التي تخالف هذه القواعد.

ينجّز التنسيق المحكوم بالسياسات بالاعتماد على الطرائق الستاتيكية بشكلٍ أساسيٍّ عبر تحديد قيم عتبات المقارنة، وتحديد أولويات للوظائف الإدارية [35]، والتنسيق الزمني [34]، وتقييد المعاملات التحكّمية [44]، والمخطّطات التدفّقية [83]، إلخ، من أجل تفادي التصادمات المعروفة.

تعتمد أحد الحلول التي تنجّز من خلال هذه الطريقة على اقتراح تعيين أولويات ثابتة للوظائف الإدارية [12]. وبناء على ذلك، يمكن أن تعطل أي SONF جرى استدعاؤها وذات أولوية عليا عمل باقي الوظائف ذات الأولويات المنخفضة. طبق هذا المفهوم ضمن إطار العمل الخاص بالمشروع SOCRETS [43]، [84]، وجرى تحقيقه من خلال مجموعة من الأدوات الخاصة به [31].

جرى في [84] و [85] اقتراح تقسيم معاملات الشبكة إلى مجموعات بناء على طبيعة الوظيفة، بحيث يكون لكل مجموعة أهداف تحسين مختلفة. وبالتالي يحصل التنسيق بين الوظائف التي تندرج ضمن مجموعة واحدة بينما يمكن استدعاء وتنفيذ الوظائف التي تنتمي إلى مجموعات مختلفة على التفرع. وعلى الرغم من أن قواعد التنسيق يمكن تبسيطها من خلال هذه المقترحات، إلا أن معظم الوظائف جرى إدراجها ضمن مجموعة واحدة، وهذا أعطى التصنيف صفة العمومية وخاصة أنه لم تأخذ بعين الاعتبار مجموعة من المشاكل مثل التعقيد وقابلية التوسع.

اعتمد ضمن المشروع UniverSelf [86] حلاً لتلافي التصادم مبنياً على استراتيجية التفريق الزمني بين SONFIs المتصادمة بحيث يمنع إعادة ضبط ذات NCPs من قبل مستنسخين بشكل متزامن. ويفرض المقترح وجود تزامن صارم من أجل تحقيق الغاية المرجوة وهذا يؤدي بدوره إلى زيادة تعقيد تصميم الوظائف الإدارية والتي يجب على كل منها أن تكون على دراية بكل SONFIs المتضاربة مع أهدافها ضمن منطقة التأثير.

في [56]، اعتمد منطق "التنسيق الأولي" مع إعطاء أولويات ديناميكية للوظائف الإدارية بهدف إنهاء سيطرة الوظائف ذات الأولويات العليا على عمليات التحسين. ويُعدّ نسق الخرج output queue العنصر الأساسي في هذا المقترح ويستفاد منه في عملية التنسيق الذاتي المركزي لجميع SONFIs التي جرى استدعاؤها. ويجري التنسيق بناءً على مجموعة من القواعد المعرفة مسبقاً والتي توصف التصادمات المعروفة. ولما كان العامل الأهم المعتمد بالتنسيق هو الأولويات فقط، فإن الوظائف ذات الأولوية الأعلى ستنفذ قبل الوظائف ذات الأولوية الأدنى ضمن نفس منطقة وزمن التأثير والموجودة معها على الترتيب في نسق الخرج.

تعزز طريقة التنسيق المحكوم بالسياسات بشكل كبير القدرة على إدارة أي نظام ذاتي من خلال تعريف مجموعة من القواعد بدرجة عالية من التجريد. كما أنها تتميز بإمكانية التوقع والبساطة في تمثيل وجهة نظر المشغل من خلال القواعد التي يتم تعريفها. عدا ذلك فإن مساوئها تتمثل بعدم القدرة على معالجة الحالات الغامضة بطريقة فعالة إذا جرى اعتماد نموذج ECA المذكور أعلاه فقط للتنسيق [87]. وبالتالي فإن هذه الطريقة عرضة لكلا النوعين من التصادم الستاتيكي والديناميكي طالما أن السياسات العليا يمكن أن تُترجم بعدة طرق إلى المستويات الدنيا، أي لا يوجد طريقة محددة لحل ذات النوع من

التَّصَادُم [59]. وباعتبار أن تصادم السياسات هو تصادم ستاتيكي، فإنه بحاجة دائمة إلى التَّدخل البشري من أجل إعادة تصحيح القواعد وفقاً للوسط المتغيّر وحالة الشَّبْكة. ويتطلب ذلك وقتاً طويلاً بالإضافة إلى كونه معرضاً للأخطاء.

### 3-7-3 توحيد أهداف الوظائف الإدارية SON Function Harmonization

تعتمد هذه الطريقة بشكلٍ أساسيٍّ على التنسيق المحكوم بالسياسات من أجل تلافي التَّصَادُم وتقوم على مبدأ السعي نحو الأهداف غير المتضاربة من خلال تقدير التَّصَادُمات المحتملة وتأثيرها على أداء الشَّبْكة. وعن طريق موازنة السياسات policy alignment، يمكن للوظائف الإدارية اختيار قيم NCPs التي تتفق مع تلك السياسات. جرى استخدام هذه الطريقة في إطار العمل المقترح في [42] وكذلك في [35] من أجل التقليل من أثر التَّأرجح oscillation للوظائف الإدارية مع التَّركيز على عاملين أساسيين وهما: أولوية الوظيفة الإدارية وزمن التَّنفيذ، فيما أهمل التَّرابط المنطقي والحالة النهائيّة لأداء الشَّبْكة. وجرى المحاكاة التجريبية للنظام المقترح في [88] و [89].

إن أداء هذه الطريقة محدودٌ بمدى دقة تقدير حالة الشَّبْكة، كما يتطلَّب تقدير تأثير القرارات المتخذة على البيئة الديناميكية. عدا ذلك، لا تستطيع هذه الطريقة تلافي التَّصَادُمات غير المعروفة طالما أنه لا يوجد قواعدٌ محدَّدةٌ لوصفها.

### 3-7-4 التنسيق المبني على الأهداف Objective-driven coordination

تتعامل الطرائق السابقة مع أفكارٍ مجردةٍ ومحدودةٍ من حيث عدم قدرتها على الإجابة على السؤال التالي: كيف يمكن لمعاملات التحكم NCPs أن يتم ضبطها بناءً على أهداف المشغل؟ وكيف يمكن تعديل أولويات الوظائف بشكلٍ آليٍّ بحيث يتوافق مع تغيرات بيئة الشَّبْكة؟ وهنا فإن التَّحدي يكمن في كيفية استبدال التَّدخل البشري أثناء ترجمة السياسات العليا إلى المستويات الدنيا بحيث يجري تحقيق أهداف التَّحسين وفقاً لخصائص كل عنصر من عناصر الشَّبْكة. إن غاية التنسيق المبني على الأهداف هو التَّحول من الطرائق التقليدية (والتي تُبنى من خلال سياساتٍ ثابتةٍ وتحتاج إلى تصحيحٍ مستمرٍّ من قبل العنصر البشري) إلى التَّرجمة الآليّة للسياسات العليا المبنية على نماذج معرفيّةٍ من قبل المشغل، حيث تترجم السياسات العليا إلى قواعد تحدّد آليات ضبط NCPs من قبل الوظائف الإدارية [62].

جرى اقتراح هذا النوع من التنسيق ضمن مشروع SEMAFOR [90] بهدف الوصول إلى تجريدٍ عالي المستوى لإدارة الشَّبْكة. جرى في [91] اقتراح حلٍّ لموازنة سلوك SONFs وفقاً لحالة الشَّبْكة من أجل تحقيق مؤشرات الأداء المطلوبة. ومن أجل ذلك، يجب على مشغل الخدمة أن يُعرِّف مجموعةً من الشروط مع القواعد الموافقة لها والتي تحدد العلاقة بين هذه الشروط والأهداف المطلوبة ونموذج SONF الذي يضبط سلوك هذه الوظائف [92]. ووفقاً لهذه النماذج يجري إنشاء فضاء الحالة لكل احتمالات الدَّخْل والخَرْج. ومن أجل إدارة هذا المحتوى الضخّم من البيانات، جرى اعتماد وحدةٍ خاصّةٍ أُطلق عليها مدير الوظائف الإدارية SONOM (SON Objective Manager)، وتعمل هذه الوحدة على تقسيم فضاء

الحالة إلى مجموعاتٍ يحتوي كل منها على الحالات المتشابهة، ويجري ترتيب أولويات الوظائف وفقاً لها. ومن خلال هذه الطريقة يجري إنشاء قواعد على مستوى SON أثناء وقت التصميم. وعندما يجري استدعاء الوظيفة الإدارية في وقت التشغيل يقوم نظام التحكم بتحديد مجموعة القواعد الأنسب للوظيفة الإدارية ويقوم بضبط النموذج الموافق. إلا أن أحد سلبيات هذا الحل هو صعوبة اختيار القواعد المناسبة من ضمن فضاء الحالة المتزايد أُسيّاً بالإضافة على صعوبة اختيار الأولويات.

بهدف التغلب على هذه الصعوبات السابقة جرى في [93] اقتراح مجموعة من التوصيفات الإضافية التي تحدد حالة الشبكة بشكلٍ أكثر دقة. إضافة إلى ذلك، بدلاً من إنشاء فضاء الحالة أثناء زمن التصميم، يجري التحكم بنموذج SON من قبل SONOM أثناء زمن التشغيل. ولما كانت حالة الشبكة تحدّد من أجل كل خليةٍ على حدا، فإن وحدة التنسيق قادرة على اختيار القواعد الأنسب من أجل كل وظيفةٍ يجري استدعاؤها. إلا أن من سلبيات هذه الطريقة حاجتها إلى زمن تقاربٍ طويلٍ بالإضافة إلى كونها تتطلب ثبات نموذج التحكم بالوظيفة SFM، وقد لا يتناسب هذا مع الوسط المتغير، كما أنّها تُهمل الترابط المنطقي بين الوظائف الإدارية.

### 3-7-5 حلول التنسيق البنيوية Architectural-based solutions

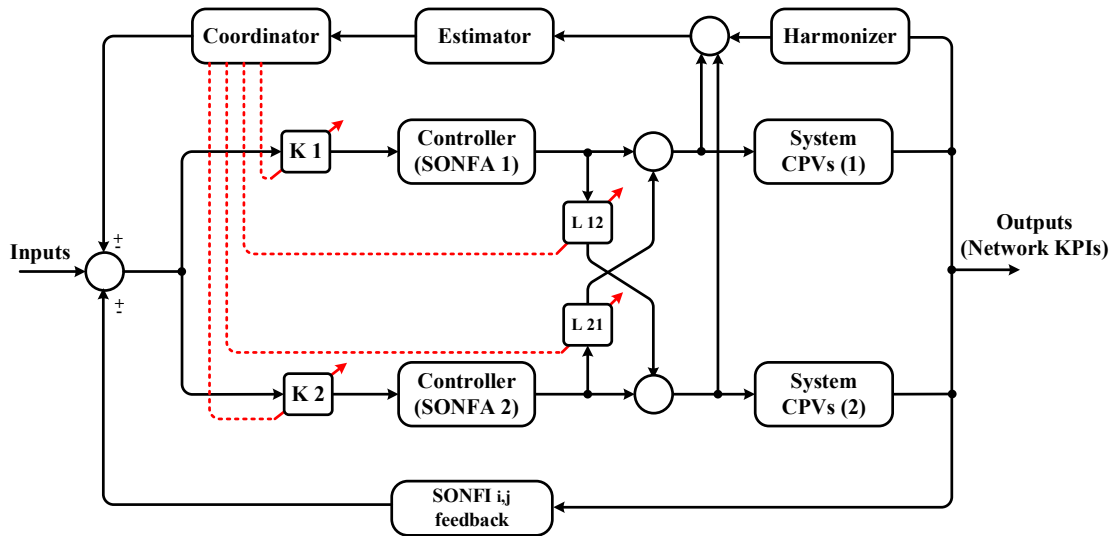
تحدّد بنية نظام الشبكة NSA (Network System Architecture) مهام عناصر الشبكة وكيفية تفاعلها مع بعضها من أجل تأمين خدمات الشبكة المطلوبة. وبالتالي تبقى أي خدمةٍ جديدةٍ للشبكة مقيدةً بـ NSA ومدى قدرته على دعمها. لذلك يتيح تطوير بنية الشبكة تعزيز إمكانيات إدارتها عبر تمكين خدماتٍ ووظائفٍ إداريةٍ جديدةٍ لم يكن بالإمكان دعمها من خلال بنية الشبكة السابقة. وعادة ما يجري اعتماد هذه الحلول من قبل المؤسسات والمشاريع البحثية [79]، [80] والهياكل الناطمة والمصنّعين [94]. كما يجري في هذه الحلول تعديلاتٍ للبنية الهرميّة للشبكة وبروتوكولاتها، أو اقتراح بنىٍ متطورة، أو دمج تقنياتٍ حديثةٍ وتعريفٍ لعناصرٍ شبكيةٍ جديدة. وبالتالي تقدّم هذه الطرائق بشكلٍ مباشرٍ أو غير مباشرٍ حلولاً جديدةً للتنسيق الذاتي. إلا أنه لا يجري عادةً اللجوء لهذه الحلول قبل استنفاد الحلول الأخرى لأنها تنطوي على تعديل المعايير والبروتوكولات الشبكية الحالية وهذا ما يرفع كلفة هذه الحلول بشكلٍ كبير. إضافة إلى ذلك، يمكن أن يؤدي تعديل بنية الشبكة إلى ظهور تصادماتٍ جديدةٍ لم تكن لتظهر في البنى السابقة.

### 3-7-6 التنسيق المبني على الحلقات المغلقة Control-loop-based coordination

يمكن لأي وظيفةٍ إداريةٍ أن تُنمذج على شكل نظامٍ تحكيميٍّ ذي حلقةٍ مغلقةٍ FBC (Feedback controller)، كما جرى توضيحه سابقاً بالشكل 3—8، على اعتبار أن أي وظيفةٍ إداريةٍ تُمثّل على شكل صندوقٍ أسودٍ يعمل على موائمة

الخروج (قيم NCPs) مع الدخل وفقاً لخوارزمية الوظيفة SFA. وفي هذه الحالة يجب أن تكون العلاقة بين الدخل والخروج موصوفةً بشكلٍ دقيقٍ [2]. إن مفهوم FBC مطبقٌ بشكلٍ واسعٍ في جميع مجالات SON وخاصة في الوظائف المستقلة.

أما في حال وجود وظيفتين إداريتين مصممتين بشكل FBC، فيمكن تنسيق الوظائف الإدارية عبر نمذجة وظيفة التنسيق الذاتي على شكل حلقة تحكمية مغلقة أيضاً بهدف تفادي التصادم والذي يُقيي النظام التحكمي بعيداً عن الوصول إلى حالة الاستقرار، وخاصةً في ظل التغيرات المستمرة في الوسط المحيط. وبالتالي، يمكن بشكلٍ عامٍ تمثيل نظام الإدارة بالكامل، بما فيه وظيفة التنسيق الذاتي على شكل FBC بعدة حلقات تغذية خلفية. ونقدم في الشكل 3—8 اقتراحنا الخاص بذلك. يمكن أن تكون المعاملات القابلة للضبط  $K_1, K_2$  متحوّلاتٍ في حال كانت تمثل أولويات الوظائف الإدارية، أو توابع كما هو في حالة توزيع الأهداف weighted objectives. كما تمثل المعاملات  $L_1, L_2$  أيضاً التأثير المتبادل بين SONFs في حالات التحسين المشترك joint optimization للمعاملات المطلوبة.



الشكل 3—8 تصميم المنسق ذي الحلقات المغلقة بين وظيفتين إداريتين

إن المساهمات كما في [50]، [95] تُعدُّ أمثلةً على هذا النوع من التنسيق حيث جرى نمذجة النظام بالكامل على أساس اجرائيات ماركوف منفصلة زمنياً. وفي [82] جرى استخدام نفس المفاهيم أيضاً مع ثلاث وظائف إدارية باستثناء أنه جرى تصميم المنسق ذي الحلقة المغلقة باستخدام التحسين المحدّب convex optimization.

يتمتع تصميم SONFC على أساس الحلقات التحكمية المغلقة بميزة الدقة في الضبط والقدرة على التنبؤ طالما أن القدرة على تمثيل العلاقة الرياضية بين الوظائف التحكمية متوفرة. وبالتالي فإن هذه الطريقة قادرةٌ على تأمين التنسيق التفاعلي بشكلٍ فعال. إلا أن العلاقة بين الدخل والخروج، في معظم الأحيان، لا يمكن تمثيلها رياضياً بسهولة، الأمر الذي يمنع من تطبيق مبادئ نظرية التحكم بشكلٍ مباشر. وبما أن هذه الطريقة تعتمد على النمذجة الرياضية للوظائف التي يجب أن تصمّم بشكلٍ مشتركٍ مع المنسق، فلها ذات مساوئ التصميم المشترك للوظائف الإدارية.

### 7-7-3 التَّنسيق المبني على التحقق SON function verification

تعتبر الطرائق السابقة قادرةً على بناء منطق التَّنسيق الاستباقي ومنطق "التَّنسيق الأولي"، حيث يستطيع SONFC توفُّع وتلافي التَّصادمات بين الوظائف التي جرى استدعاؤها قبل أن يجري تعديل قيم NCPs. إلا أن هناك بعض نقاط الضَّعف الأساسيَّة للطرائق السابقة تتمثَّل بعدم قدرتها على تشخيص أسباب التَّصادمات وحلها وخاصةً في حالة استدعاء عددٍ كبيرٍ من SONFIs. وبحال جرى اكتشاف بيانات إدارة الضبط CM المسؤولة عن التَّصادم فيجب أن تتوفَّر استراتيجية واضحةٌ لحل التَّصادم الناتج عنها، إذ أن أي فعلٍ غير مدروسٍ لحلها (كتعديل أو استعادة قيم NCPs) يمكن أن يكون له أثرٌ سلبيٌّ على أداء الشبَّكة [70].

بهدف التَّغلب على المشاكل السابقة، يُستخدم التَّنسيق المبني على التَّحقيق من تنفيذ SONFIs من خلال تحليل أداء الشبَّكة في منطقة الحدث، والذي يعمل بشكل عام في طور "التَّنسيق الثانوي". وفي حالة تحسُّن مؤشرات الشبَّكة تُعتمد CM التي جرى تنفيذها، وإلا فإنه يجري تشخيص سبب التَّصادم (تحديد CM التي أدَّت إلى تدهور مؤشرات الأداء) من أجل تعديلها أو استعادة الضبط الأصلي بهدف الرجوع إلى آخر حالة مستقرة [38].

بهدف تشخيص التَّصادمات، تُستخدم أدواتٌ خاصَّةٌ لأجل ذلك (انظر الفقرة 8-7-3). جرى استخدام مفهوم التَّحقيق بشكلٍ واسعٍ في الوظائف الإداريَّة المستقلة [96]، [97] من أجل التَّأكد من أن CM المطبَّقة قد ساهمت بالفعل بتحسُّن أداء الشبَّكة. كما جرى استخدامها في التَّنسيق الدَّاتي من أجل التَّأكد من التَّفاعل الايجابي بين الوظائف الإدارية.

جرى ضمن مشروع SOCRATES التَّحقيق من تنفيذ SONFIs من خلال مجموعةٍ من الأدوات البسيطة المسؤولة عن مطابقة حالة الشبَّكة مع مجموعة من القواعد المعرَّفة مسبقاً واتخاذ القرار بناءً عليها [31]. ويُعتبر العمل المنجز ضمن [70] أحد أهمِّ المساهمات في هذا المجال إذ جرى اقتراح آليَّة تحقُّقٍ من ثلاث مراحلٍ أساسيَّةٍ [33]. يجري خلال المرحلة الأولى تحديد منطقة التَّحقيق (والتي تضمُّ عادةً الخلايا ضمن منطقة التَّأثير)، حيث يجري تجميع بيانات PM من هذه المنطقة من أجل معالجتها في المرحلة الثانيَّة. وحين اكتشاف أي شذوذٍ في الأداء، تحدُّدُ CM المسؤولة عن هذا التَّدهور بالإضافة إلى تحديد أقل عددٍ ممكنٍ للعناصر المتأثرة. وفي الخطوة الأخيرة يجري استعادة القيم الأصليَّة للمعاملات عن طريق جدولة عمليات الاستعادة المطلوبة بحيث لا تؤدي إلى ظهور تصادماتٍ جديدة. أما أداة تحليل البيانات، والتي تقوم باتخاذ القرار باستعادة أو قبول CM المطبَّقة فجرى إنجازها في [69]. إلا أن أداة تحليل البيانات لا تقدم أي اقتراحات حول الطَّريقة الصحيحة لاستعادة CM الأصليَّة والتي لا ينتج عنها تصادمات جديدة.

جرى حل المشكلة السابقة في [98] عن طريق اقتراح طريقة تلوين المخطَّطات graph coloring approach. وبهدف الاستفادة من العامل الزمَّني عبر تنفيذ عمليات الاستعادة بشكلٍ متزامنٍ، جرى في [99] اقتراح طريقةٍ مبنيةٍ على نظرية

التحسين المقيد constraint optimization لأجل هذا الغرض. أيضاً جرى تقديم الحلول لبعض المشكلات مثل مشكلة عدم استقرار أداء الشبكة [100]، وتداخل مناطق التحقق [101]، والتفاعل السلبي بين الوظائف الإدارية الناتج عن تغيرات طبولوجيا الشبكة [102]. إلا أن هناك بعض المشكلات ما تزال بحاجة إلى حلٍ مثل التزامن الصّارم، والتفاعل بين طبقات الشبكة المختلفة وحصر إمكانية تنجيز الحل بالبنية المركزية للشبكة. إضافةً إلى ذلك، يجري حل التصادم عبر طريقة واحدة وهي استعادة الضبط الأصلي لقيم المعاملات دون الأخذ بالاعتبار التعديل عليها، وهذا يحد بشكل كبير من أداء الوظائف الإدارية.

### 8-7-3 التنسيق المبني على التشخيص Diagnostic-based coordination

يعد هذا النوع من التنسيق أحد الأنواع المتقدمة من "التنسيق الثانوي"، ويعتمد على اتخاذ قرار حل التصادمات بناءً على التشخيص الدقيق لحالة الشبكة واكتشاف بيانات إدارة الضبط CM المسؤولة عن التصادم. ضمن الأدبيات الحالية نجد العديد من الأبحاث حول اكتشاف وتشخيص أعطال الشبكة [24]، [103]، إلا أن هناك فرقاً بين أدوات الكشف والتشخيص التقليدية المستخدمة من أجل استدعاء الوظائف المناسبة وفقاً لحالة الشبكة الناتج عن وجود تدهور معين في الأداء [104] وتلك الأدوات المستخدمة في التنسيق الذاتي في عمليات التحقق وتشخيص أسباب التصادمات [97]. على سبيل المثال، في حالة حدوث تدهور في الأداء نتيجة استدعاء وظيفتين إداريتين بشكل متزامن، تقوم أدوات اكتشاف وتشخيص الأعطال التقليدية باستدعاء جديد لوظائف إدارية أخرى، الأمر الذي قد ينتج عنه تصادمات إضافية نتيجة ردّ الفعل التسلسلي، في حين كان يجب أن تُستخدم أدوات محددة لتشخيص السبب الرئيسي للتصادم وحله بالشكل المطلوب.

### 9-7-3 التنسيق المعتمد على تعلم الآلة Machine learning-based coordination

أصبحت تقنيات تعلم الآلة (Machine Learning) ML من الأدوات الأساسية في تصميم خوارزميات جميع وظائف الإدارة الذاتية وخاصة تلك المستخدمة في التنسيق الذاتي. وبلاستفادة من ML يمكن الانتقال من الطرائق التقليدية للتنسيق إلى طرائق أكثر تعقيداً وفاعليةً كالتنسيق المتكيف، والتنسيق الإدراكي والتنسيق الاستباقي. إلا أن هناك العديد من الاعتبارات تلعب دوراً أساسياً في اختيار نماذج التعلم المناسبة، وبالتالي مستوى الذكاء المطلوب ضمن الحل المقترح. من هذه الاعتبارات، إمكانية التنجيز، والبيانات المرغوب معالجتها والموجودة في العديد من مستويات الشبكة إضافةً إلى إتاحة availability هذه البيانات وصلاحيتهما ضمن الزمن اللازم لاستحصالها ومعالجتها [105].

بالنسبة لهذا النوع من التنسيق، يمكن تحديد بعض التحديات، وأهمها البيانات المشوشة أو المتأخّرة والتي تسبب سوء تقدير الحالة وزيادة في أزمنة الاستقرار. أيضاً توجد مشكلة فضاء الحالة الكبير [106] وخاصةً في حالة اعتماد البنية المركزية



للمنسيق الذاتي، حيث يرد عددٌ كبيرٌ جداً من الطَّلَبات إلى SONFC بشكلٍ متزامن. ولمزيد من المعلومات حول ML وتطبيقاتها ومشاكلها ضمن حقل SON، يمكن للقارئ الرجوع إلى [19]، [107]، [108].

### 3-7-10 التنسيق الاستباقي والادراكي Cognitive and proactive coordination

يجب تعزيز الطرائق السابقة من خلال اعتماد الخاصية الاستباقية والادراكية بهدف التغلب على محدودية تلك الطرق والتمثلة بالتأخير الحاصل ما بين ظهور العطل واكتشافه واستدعاء الوظائف الإدارية المناسبة لإصلاحه، بما فيها التأخير الناتج عن زمن التحقق. ومن أجل هذا الهدف جرى اقتراح بعض الحلول وتطبيقها على الوظائف الإدارية بحيث باتت تعتمد على المنطق الاستباقي في ضبط NCPs مثل وظيفة الكفاءة الطاقية الاستباقية EE [109]، ووظيفة توازن الأحمال الاستباقية [110]، والتعافي الذاتي الاستباقي [111] وتشخيص الأعطال الاستباقي [112]. إلا أن الفرق بين الوظائف الإدارية الاستباقية والتنسيق الذاتي الاستباقي يكمن في أن الأخيرة بحاجة إلى حلول أكثر ذكاءً وتكاملاً، بينما تحتاج الأولى فقط إلى خوارزميات قادرة على العمل بمنطقٍ استباقي. وبالتالي، يجب التغلب على بعض التحديات من أجل تمكين التنسيق الاستباقي، مثل: مدى قابلية تقنيات التحسين الذاتي لدعم الوظائف الاستباقية [113]، ومدى إتاحة البيانات وتوافرها ضمن الزمن المطلوب وخاصةً تلك التي يمكن تحصيلها ومعالجتها من المستخدمين [65] ومدى القدرة على تطبيق معالجة البيانات الكبيرة في المشغلات الخلوية وتعزيزها باستخدام ML [114].

### 3-7-11 التنسيق الذاتي Autonomic Coordination

جرى تطبيق مبادئ التشبيك الذاتي (Autonomic Network Management) ANM في الاتصالات الخلوية من خلال نظام SON عن طريق الوظائف الإدارية المستقلة [2]. وبالتالي جرى تحقيق صفة الذاتية autonomicity على مستوى الوظائف لا على مستوى إدارة الشبكة ككل إلى حين تعريف وظيفة التنسيق الذاتي. وتعدُّ ANM المرشح الأنسب لإدارة شبكات 5G ذات التعقيد العالي باعتبار أن بني SON في الشبكات الحالية (التي تدعم نظام LTE-A وما دونهما) غير قادرة على تحقيق السلوك الذاتي المتكامل [115].

جرى اقتراح مجموعة من الحلول بهدف دعم وتمكين الإدارة الذاتية عديمة التصادم في أنظمة الاتصالات الخلوية. على سبيل المثال، جرى في [116] اقتراح نموذجٍ مبدئيٍّ لبنية شبكةٍ يتمتع بالقدرة على ضبط سلوك الحلقات التحكمية وفقاً للأهداف التجارية مع إمكانية حل التصادم بين السياسات المعروفة على مختلف المستويات. إلا أن هذا الحل قد ابتعد بشكلٍ كبيرٍ عن معايير 3GPP. أيضاً جرى في [117] اقتراح طريقة تنسيقٍ ذاتيٍّ شاملةٍ generic بحيث جرى افتراض أن الوظائف الإدارية الفرعية جرى نمذجتها على أساس حلقات تحكمٍ ذاتيٍّ مع اعتماد أولويات الوظائف الإدارية بحيث تنفذ وظيفة واحدة فقط خلال زمن التنفيذ. إلا أن عملية إسناد الأولويات تنفذ على أساس الوظائف self-x الرئيسية مثل الضبط

الذاتي والتَّحسين الذاتي، كما أن التَّقيد الزَّمني والمكاني يحدُّ من أداء الوظائف بشكلٍ كبير. إضافة إلى ذلك، يتَّعد المقترح كثيراً عن معايير التَّنجز المفروضة من قبل الهيئات الناظمة.

### 8-3 خلاصة

قدمنا في هذا الفصل تصنيفاً لطرائق التنسيق الذاتي التي جرى العمل عليها خلال العقد الماضي، وكانت البداية من المساهمات الأولى والتي اعتَمَدت على التنسيق الوقائي والتَّصميم المشترك للوظائف الإداريَّة. وعلى الرغم من أهمية هذه الطرائق في تصميم أي حل للتنسيق الذاتي، فإن عدم قدرتها على حلِّ التَّصادمات خلال زمن التَّشغيل دفع الباحثين لإيجاد بدائل تأخذ حالة الشَّبْكة بعين الاعتبار قبل اتِّخاذ قرار التنسيق.

يعتبر التنسيق المقاد بالأهداف والتنسيق المبني على الحلقات التَّحكمية المغلقة من الأمثلة على هذه الأنواع التفاعلية. كما أن الحاجة إلى تقديم حلولٍ أكثر تطوراً، وخاصة تلك التي لا تتقيد ببنية الشَّبْكة، دفع المؤسَّسات البحثيَّة إلى تطوير مثل هذه الأنواع من الحلول. كما أن الرَّغبة في تعزيز وظيفة التنسيق الذاتي وتمكينها من حل التَّصادمات دفع الباحثين لإيجاد حلولٍ تعتمد على التَّحقيق والتَّشخيص. ويمكن أن تساعد الحلول المعتمدة على ML بشكلٍ كبيرٍ في تعزيز اتِّخاذ القرار للطرائق السَّابقة بالإضافة إلى تمكين الوظائف الإداريَّة الإدراكية والاستباقية.

يجب العمل على تمكين الإدارة الذاتيَّة *autonomic management* والتنسيق الذاتي بمهدف التَّغلب على محدوديات الطَّرائق السَّابقة. ولتمكينها بشكلٍ فعال، لابدَّ من تمكين بعض الوظائف الإداريَّة بشكلٍ مسبقٍ مثل التَّعلم الذاتي *self-learning* والإدراك الذاتي *self-awareness* والتَّكيف الذاتي *self-adaptation*، إلخ، وهذا مازال أيضاً في طور البحث. كما يجب أن تكون بنية الشَّبْكة مؤهلةً لدعم الوظائف الذاتيَّة، وأن تجرى مكاملة التَّقنيات الألائمة (مثل SDN، NFV) ومعالجة لبيانات الكبيرة) بشكلٍ جيِّد. لذلك، ومع قلة المعايير في هذا المجال، لاتزال تعتبر مسألة التنسيق الذاتي مجالاً بحثيَّ قائماً. وأخيراً، قمنا بتلخيص الميزات والمساوئ لطرائق التنسيق الذاتي في الجدول 3—3.

للاطلاع على مساهمتنا الخاصة بأبحاث التنسيق *state-of-the-art* في كل من حقلي الضَّبْط الذاتي والتَّحسين الذاتي بمهدف التَّعرف على طرق التنسيق المستخدمة ضمنها والوظائف التي جرى التنسيق بينها خلال العقد الماضي، يمكن للقارئ الرجوع إلى مقالنا [39] للاطلاع بالتفصيل على هذه المساهمة والتي لم تُذكر ضمن هذا التقرير تجنباً للإطالة. أما فيما يتعلق بأبحاث التنسيق في حقل التَّعافي الذاتي، والتي تتَّصل بشكلٍ مباشرٍ بسياق الأطروحة، فهي موضَّحة في الفصل التَّالي.

الجدول 3—3: مقارنة بين طرائق التنسيق الذاتي

المساوي	الميزات	الأعمال ذات الصلة	المجال البحثي work area
<ul style="list-style-type: none"> <li>● مناسبٌ لعددٍ محدودٍ من الوظائف المضمنة.</li> <li>● بحاجةٍ لكلفٍ تشغيليةٍ مرتفعة.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● إمكانية تنفيذ الوظائف المضمنة بدون تصادمات.</li> </ul>	[29], [37], [35], [47]	التصميم المشترك
<ul style="list-style-type: none"> <li>● بحاجة إلى صيانة optimization مستمرة.</li> <li>● غير قادر على معالجة الحالات غير المتوقعة أو المبهمة.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● يحافظ على التعريف العالي المستوى لقواعد التنسيق بطريقة مبسطة.</li> <li>● يبدي سلوكاً قابلاً للتنبؤ.</li> </ul>	[34], [35], [18], [56], [43], [44], [55], [59], [83], [12], [84], [31], [85], [86]	التنسيق المحكوم بالسياسات
<ul style="list-style-type: none"> <li>● له نفس سلبيات التنسيق المحكوم بالسياسات</li> <li>● بحاجة إلى تقديرٍ دقيقٍ لحالة الشبكة.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● إمكانية تلافي التصادم وفقاً لسياسات المشغل</li> <li>● على مختلف طبقات الشبكة.</li> </ul>	[37], [56], [42], [84], [88], [89]	توحيد أهداف الوظائف الإدارية
<ul style="list-style-type: none"> <li>● بحاجة إلى مطابقةٍ دقيقةٍ بين قواعد التحسين الخاصة بمنطقة معينة والسياسات العليا للمشغل.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● يؤمن التكيف الديناميكي لنموذج التحكم بالوظائف.</li> <li>● إمكانية المقايضة بين أهداف التحسين.</li> </ul>	[92], [118], [78], [62], [119], [120], [91], [93]	التنسيق المبني على الأهداف
<ul style="list-style-type: none"> <li>● بحاجة إلى اعترافٍ من قبل المنظمات المسؤولة عن المعايير.</li> <li>● تخلف أنواعاً جديدةً من التصادمات لم تكن موجودةً في البنى السابقة.</li> <li>● تزداد مشاكل التوافق.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● تقديم بنى شبكية جديدةً بميزات تقنية حديثة.</li> <li>● تؤمن البنية التحتية المناسبة من أجل حلول جذرية جديدة.</li> </ul>	[23], [26], [121], [79], [60], [86], [94], [122], [123], [124], [119], [125], [126], [127], [128], [129], [130], [131], [132], [133], [134], [135], [136], [137]	حلول التنسيق البنوية

الجدول 3—3: مقارنة بين طرائق التنسيق الذاتي

المساوي	الميزات	الأعمال ذات الصلة	المجال البحثي work area
<ul style="list-style-type: none"> <li>تعمد الدقة على النموذج الرياضي المستخدم</li> <li>غير قادرة على معالجة الحالات الضبابية</li> <li>ترث مشاكل التصميم المشترك</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>تؤمن حلول تنسيق تتميز بالدقة والتبوية</li> <li>المقايضة بين أهداف التحسين يمكن التعبير عنها</li> <li>بشكل رياضي</li> </ul>	[2], [50], [82], [95]	التنسيق المبني على الحلقات المغلقة
<ul style="list-style-type: none"> <li>تعمد الدقة على خوارزميات التحقق المستخدمة.</li> <li>بحاجة إلى التنجيز المركزي.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>تدعم التنفيذ التفرعي للوظائف الإدارية طالما أن</li> <li>خوارزميات التحقق قادرة على اكتشاف التصادم.</li> <li>قادرة على حل التصادم من خلال استعادة الضبط للمعاملات التصادمية.</li> </ul>	[31], [33], [38], [56], [69], [70], [96], [97], [98], [99], [100], [101], [102]	التنسيق المبني على التحقق
<ul style="list-style-type: none"> <li>ترث مساوي التنسيق المبني على التحقق.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>قادرة على حل التصادمات وفقاً لأسبابها.</li> </ul>	[24], [48], [70], [51], [97], [103], [138], [139], [104]	التنسيق المبني على التشخيص
<ul style="list-style-type: none"> <li>تتأثر بالبيانات المشوشة أو المتأخرة.</li> <li>تعمد الدقة على نموذج التعلم المستخدم.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>تؤمن درجة الذكاء المطلوبة للتنسيق.</li> </ul>	[19], [105], [106], [107], [108]	التنسيق المبني على تعلم الآلة
<ul style="list-style-type: none"> <li>ترث مساوي التنسيق المبني على تعلم الآلة.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>خفض زمن التأخير والتقارب</li> <li>القدرة على التعلم من الخبرات السابقة</li> </ul>	[65], [109], [110], [111], [112], [140], [114]	التنسيق الاستباقي والادراكي
<ul style="list-style-type: none"> <li>بحاجة إلى بنية شبكية متقدمة.</li> <li>عناصر الشبكة يجب أن تؤمن الدرجة المطلوبة من الخواص الذاتية.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>يدعم الوظائف الذاتية الكاملة.</li> <li>القدرة على التوافق مع جميع السيناريوهات.</li> </ul>	[141], [142], [143], [144], [145], [146], [147]	التنسيق الذاتي

## 4- وظيفة التعافي الذاتي ومتطلبات عملها

باعتبار أن المساهمة البحثية الأساسية مكرسة لإيجاد حل لتنسيق عمليات التعافي الذاتي، تقدم في هذا الفصل شرحاً لآلية عمل وظيفة التعافي الذاتي في الاتصالات الخلوية ومتطلباتها التشغيلية والتصميمية. كما نعرض مشكلة التصادم التي تعاني منها وظائف التعويض الذاتي، ومنه نبرهن الحاجة الماسة إلى اعتماد طرائق التنسيق الذاتي لتأمين عمليات التعويض الذاتي الخالي من التصادم. كما نستعرض الأبحاث السابقة في هذا المجال وقصورها في إيجاد حل مناسب لذلك.

### 1-4 وظيفة التعافي الذاتي وفق الرؤيا المعيارية

وفقاً لـ 3GPP، تتألف وظيفة التعافي الذاتي من ثلاثة مراحل أساسية، يجسد كل منها من خلال وظيفة مستقلة وهي:

1- **اكتشاف العطل *Outage detection***: تهدف إلى تحديد الخصائص الزمانية والمكانية للعطل الذي أدى إلى

خروج المحطة عن الخدمة بالإضافة إلى تحديد نوعه (خروج جزئي أو كلي عن الخدمة) وشدته (ثانوي، رئيسي، إلخ).

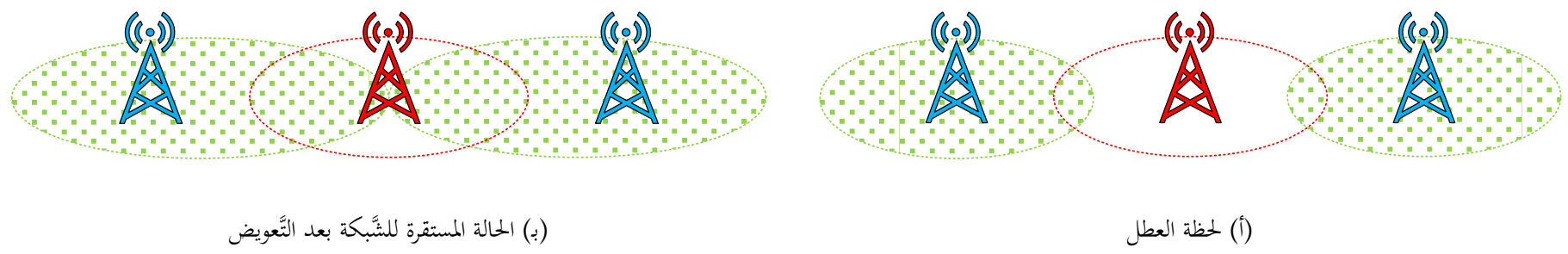
2- **تشخيص العطل *Outage diagnosis***: وتتضمن جميع الاجراءات والخوارزميات المستخدمة في عملية تحليل

السبب الأساسي للعطل من أجل تحديده بدقة (عتادي، برمجي، إلخ) واستدعاء آليات التعويض المناسبة لتعويضه. مع نهاية هذه المرحلة، يظهر إنذار لمستخدم نظام الإدارة يوصف فيه المشكلة، ويختلف ذلك التوصيف بحسب مواصفات التجهيزات العاملة وإمكانات نظام الإدارة الخاص بها.

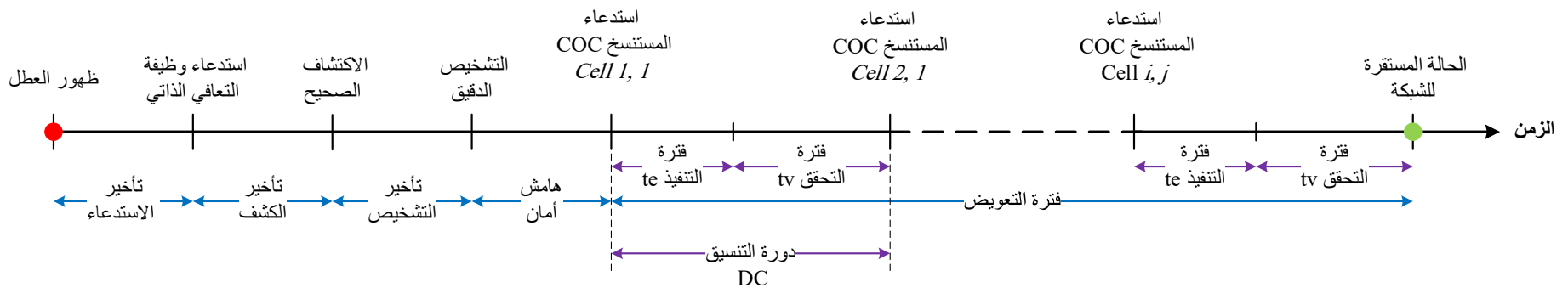
3- **تعويض العطل *Outage compensation***: تعتمد بشكل أساسي على نتائج المرحلتين السابقتين وتضم جميع

الاجراءات التنفيذية التي يمكن تطبيقها خلال أقرب فرصة من أجل استعادة ما أمكن من المنطقة الخارجة عن التغطية (انظر الشكل 4—1).

تضيف بعض الأبحاث مرحلة مستقلة بعد مرحلة تشخيص العطل وهي مرحلة اختيار استراتيجية التعويض outage recovery selection [148]. وتتألف هذه المرحلة المضافة من طورين، حيث يجري تحديد مجموعة العمليات المتاحة خلال طور التخطيط، ويجري اختيار الإجراء الأنسب منها خلال طور اتخاذ القرار. ويهدف عرض التسلسل الزمني لعمليات التعافي الذاتي كاملةً نوضح في الشكل 4—2 مراحل عملية التعافي الذاتي المختلفة ابتداءً من لحظة ظهور العطل وحتى انتهاء عملية التعويض.

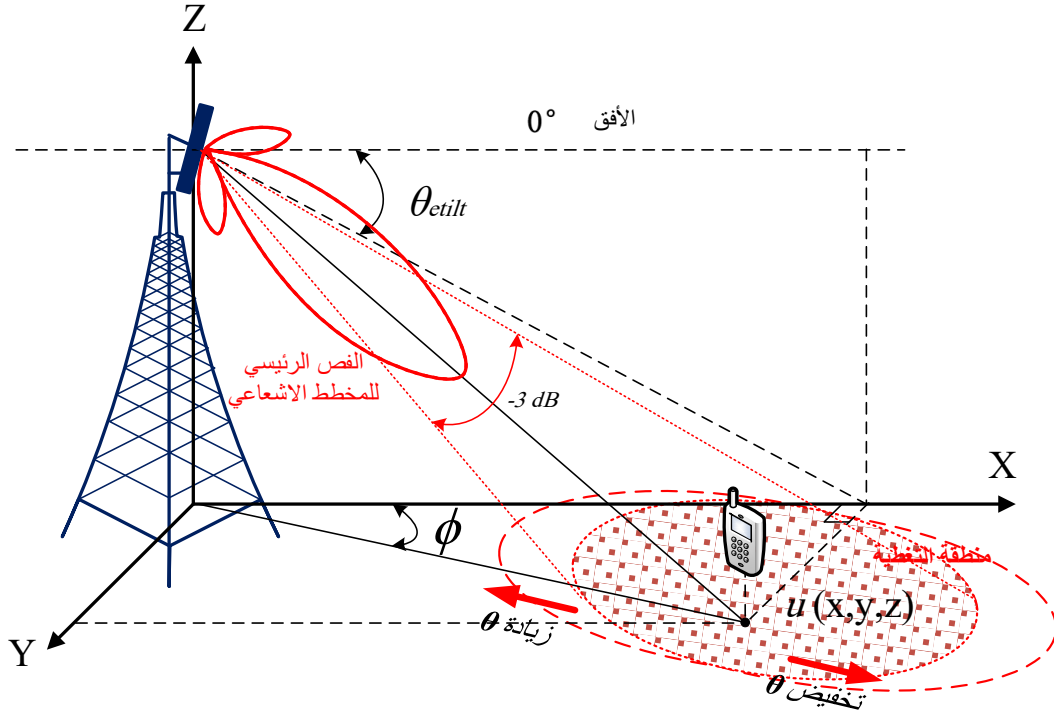


الشكل 4-1 مفهوم التعويض الذاتي



الشكل 4-2 مراحل عملية التعافي الذاتي

إن هدف مستنسخ التعويض COC ( $i,j$ ) والعائد للوظيفة ذات النوع  $i$  والتي جرى استدعاؤه من أجل العمل على الخليّة  $z$  يجب أن يتوافق مع أهداف باقي المستنسخات التي تعمل على الخلايا المجاورة، وذلك من أجل الوصول إلى الحالة المستقرة والمتمثلة ببناء نموذج تغطية جديدٍ ومتناسقٍ وفقاً لحالة الشبّكة بعد العطل [149]. وعلى الرغم من أن الشكل 2—4 يبين فقط التنفيذ التسلسلي للمستنسخات التي جرى استدعاؤها، إلا أنه يمكن تنفيذها بشكلٍ تفرعيٍّ في حال الامكانية.



الشكل 3—4 تأثير ميلان الهوائي على نموذج التغطية

## 2-4 وظائف التعويض الذاتي

تهدف وظيفة التعويض الذاتي لاستعادة الخدمة من خلال إعادة ضبط معاملات التغطية والسعة المتمثلة بميلان الهوائي AT واستطاعة الإرسال TXP للخلايا الجوار بشكلٍ أساسي. وبالتالي تبدأ مرحلة التعويض باختيار الخلايا المجاورة المرشحة للتعويض، ثم استدعاء الوظيفة المناسبة من أجل العمل على هذه الخلايا من خلال تعديل المعامل المناسب بهدف التعويض.

### 1-2-4 وظيفة التعويض بالاعتماد على ميلان الهوائي

تقوم هذه الوظيفة بتعويض التغطية من خلال إنقاص الميل الكهربائي للهوائي Remote Electrical Tilt المشار إليه بالزاوية  $\theta$  من الشكل 3—4 والذي يوضّح تأثير ميلان الهوائي على نموذج التغطية. في حال إنقاص  $\theta$ ، يتمدد نموذج

التغطية للهوائي بعيداً باتجاه الخلايا المجاورة بما يساهم في تحسين SINR في المناطق الأبعد عن المحطة. وعلى العكس، تؤدي زيادة  $\theta$  إلى اقتراب نموذج التغطية من مركز الخلية. وهنا نميز الحالات التالية:

- 1- حالة ثقب التغطية coverage holes: وتحدث نتيجة الإفراط في زيادة ميلان الهوائي، الأمر الذي يؤدي إلى اقتراب نموذج التغطية من مركز الخلية محدثاً ثغرة تغطية بين الخلية المعتبرة والخلايا المجاورة.
- 2- حالة تجاوز التغطية CO (Cell Overshoot): وهي الحالة التي توافقت الإفراط في إنقاص الميل، الأمر الذي يؤدي إلى اختراق نموذج التغطية للخلية المعتبرة مركز الخلايا المجاورة مؤدياً لحداث ضجيج وتداخل بيني عالي المستوى.
- 3- حالة التغطية السيئة ضمن مركز الخلية: وهي الحالة التي توافقت جودة خدمة سيئة في مركز الخلية.
- 4- حالة التغطية السيئة على حواف الخلية: وهي الحالة التي توافقت أداءً سيئاً عند حواف الخلية من ناحية الإنتاجية والتسليم.

مما سبق نجد أن عملية إمالة الهوائي ذات طبيعة تصادمية، أي أن تغيير قيمة زاوية الميل يمكن أن تحسن بعض مؤشرات الأداء، وقد يكون ذلك على حساب تدهور بعض المؤشرات الأخرى. وبالتالي، يعتبر ضبط قيم  $\theta$  عملية حرجة وهذا يضيف نوعاً من التعقيد على عمل وظيفة AT-COC.

#### 4-2-2 وظيفة التعويض بالاعتماد على استطاعة الارسال

على عكس الوظيفة السابقة، تعمل هذه الوظيفة على تعويض السعة من خلال رفع استطاعة الارسال، الأمر الذي يؤدي إلى تحسّن في قيمة SINR لدى UEs المرتبطة بهذه الخلية. وبالتالي يتجلى الأثر الأكبر لزيادة الاستطاعة من خلال زيادة إنتاجية الخلية. إلا أن الإفراط في زيادة الاستطاعة يمكن أن يؤدي إلى تداخل بيني ICI مع الخلايا المجاورة. لذلك فإن عملية زيادة الاستطاعة محكمة بشكل رئيسي بأداء إنتاجية الخلية وأداء ICI للخلايا المجاورة.

#### 4-3 المتطلبات التصميمية والتشغيلية لوظيفة التعويض الذاتي

يجري تقييم فعالية أي وظيفة تعويض تبعاً لتعقيد الخوارزمية المستخدمة من جهة، ولأداء هذه الخوارزمية أثناء زمن التشغيل من جهة أخرى. نهتم أثناء زمن التصميم بخوارزمية التعويض وبنيتها، وشروط استدعائها، ومدخلاتها المطلوبة، ومعاملات الخرج (أي معاملات التغطية والسعة) لها، بالإضافة إلى الأزمنة التحكمية (مثل دورة التنفيذ، زمن التقارب، إلخ) الخاصة بها بشكل أساسي [39]. يكون تصميم خوارزمية التعويض مثالياً عندما تبدي هذه الخوارزميات الخصائص التالية:

- 1- سرعة الاستعادة: يجب أن يجري استعادة المنطقة الخارجة عن التغطية بأسرع ما يمكن من أجل الحفاظ على QoS وتأمين إتاحة عالية (استمرارية) للخدمة للمستخدمين واسترداد الأرباح للمشغل [24].



2- سلاسة التعويض: يجب ألا تتسبب عملية التعويض في تغيراتٍ فجائيةٍ ذات نتائجٍ سلبيةٍ على أداء الخلية والمستخدمين. على سبيل المثال، يجب ألا تؤدي عملية التعويض إلى زيادة كبيرة في نسبة حجب المكالمات نتيجة زيادة الحمل المفاجئ على المحطات المرشحة لعملية التعويض، وخاصةً في ساعة الذروة.

3- موثمة التغيرات: يجب أن يُتابع مستنسخ التعويض تغيرات أداء الشبكة أثناء فترة خروج المحطة عن الخدمة وأن يعدّل نموذج التغطية الخاص بالتعويض بشكلٍ موافق.

4- الضبط الخالي من التصادمات: يجب أن تتوافق أهداف مستنسخات التعويض فيما بينها من أجل تلافي التصادمات التي تعيق عملية التعافي الذاتي، كما يجب ألا تتعارض مع أهداف مستنسخات باقي الوظائف في منطقة الحدث [39]، [149].

من الواضح أن تصميم وظائف التعويض وفقاً للمتطلبات السابقة يتضمن متطلباتٍ متناقضةٍ بطبيعتها. على سبيل المثال، يفرض التعويض السلس تقليل مقدار خطوة الضبط configuration step، بينما تتطلب الاستعادة السريعة زيادتها قدر الامكان. وبالتالي، يُعدّ تصميم وظيفة التعويض الذاتي من التحديات وخاصةً أن هذه الوظيفة تعمل على المستوى الحرج من أداء الشبكة.

لا يعتمد سلوك وأداء وظيفة التعويض أثناء زمن التشغيل على دقة نتائج مرحلتي اكتشاف وتشخيص العطل فقط، وإنما على العديد من العوامل الأخرى ذات الصلة بحالة الشبكة والتي تتضمن ولا تقتصر على:

- أبعاد المنطقة الخارجة عن الخدمة.
- توقيت خروج المحطة عن الخدمة، والذي يعكس سلوك المستخدمين من ناحية الطلب على البيانات (الإنتاجية) والحركية والتي تختلف على مدار اليوم.
- المدة الزمنية للعطل (مدة الانقطاع عن الخدمة).
- متطلبات التغطية الراديوية للمنطقة الخارجة عن الخدمة مثل عرض المجال المطلوب لتخدمها ومستويات SINR الموافقة.
- عدد الخلايا المشتركة في عملية التعويض ومدى قدرتها على تعويض الخدمة ضمن المنطقة الخارجة عن التغطية (مثل الموقع، الموارد المتاحة، الأداء، إلخ).
- سياسات المشغل العليا والتي تتحكم في سلوك عملية التعافي الذاتي ومقايضات الأداء وذلك تبعاً لطبيعة العطل.

[150].

في الحالات العامة، تختلف نقطة التعويض المحلية المثالية local-optimum point لأحد خلايا التعويض عن مثيلاتها في باقي الخلايا المشتركة في نفس عملية التعويض، وذلك بسبب اختلاف الشروط التشغيلية ومتطلبات التعويض بين خلية وأخرى. وبالتالي، لا يمكن مستنسخات التعويض، والتي تعمل بشكلٍ مستقلٍ على كلِّ خليةٍ من الخلايا المجاورة والمشاركة في عملية التعويض، والتي لها مجال معرفةٍ محليٍّ ضيقٍ local network overview عن الشبكة، الوصول إلى نقطة التعويض المثالية العامة global-optimum point على جميع الخلايا المشتركة في عملية التعويض دون وجود رؤيةٍ مشتركةٍ لهذه المستنسخات. أي أن السلوك الأمثل لوظائف التعويض المختلفة أثناء زمن التشغيل مرتبطٌ بتنسيق تنفيذ مستنسخاتها، والتي جرى استدعاؤها بشكلٍ متزامنٍ لتعمل ضمن نفس منطقة وزمن التأثير، بعد موازنة أهدافها وفقاً لحالة الشبكة.

#### 4-4 السلوك العملي التصادمي لمستنسخات التعويض

تتطلب عملية التعويض اشتراك مجموعةٍ من الخلايا في أغلب عمليات التعويض، وخاصة عندما تكون المنطقة الخارجة عن الخدمة كبيرة. بالإضافة إلى ذلك، يمكن أن تتطلب عملية التعويض تعديلاتٍ على معاملات التغطية والسعة لهذه الخلايا، مثل ميلان الهوائيات (Antenna Tilt) AT، و/ أو استطاعة الإرسال (Transmission Power) TXP، و/ أو إعدادات MIMO، ويمكن لجميعها تكون تحت تصرف وظائف ذاتيةٍ أخرى مثل CCO، ICIC، eICIC، و MLB، وذلك لأهدافٍ متعارضةٍ [39]. وبالتالي، يمكن أن يؤدي أي ضبطٍ خاطئٍ للمعاملات، حتى لو جرى من خلال مستنسخات التعويض فقط، إلى ظهور عدة تصادماتٍ مختلفةٍ بأن معاً وهذا يؤدي بدوره إلى التصادم المتداخل [30]. ومن هنا يمكن القول بأن عملية التعويض هي أيضاً عرضةٌ للتصادمات لمجموعةٍ من الأسباب مثل:

- بيانات الدخل ومعاملات الخرج المشتركة بين خوارزميات التعويض وباقي وظائف الإدارة الذاتية [30] (انظر الشكل 2-4).
- التنفيذ غير المُستقٍ لمستنسخات التعويض، والتي تم استدعاؤها بشكلٍ متزامنٍ ضمن ذات المنطقة وزمن التأثير، والتي تجعل من الكشف عن المعاملات ذات الضبط الخاطئ والمتسببة بالتصادم أكثر تعقيداً.
- التفاعل السلبي المحتمل بين وظائف التعويض مثل AT-COC و TXP-COC [29].
- الترابط المنطقي بين وظائف التعويض وباقي وظائف الإدارة الذاتية، والتي يعتمد أداؤها على نتائج عملية التعويض [30]. مثل تفاعل AT-COC مع MRO بحيث يؤثر ميلان الهوائي على منطقة التسليم (انظر [الفقرة 3-1](#)).

- الكشف والتشخيص الخاطئين للأعطال والذي يؤدي بدوره إلى استدعاءاتٍ خاطئةٍ لمستنسخات تعويض يؤدي تنفيذها إلى حدوث تصادماتٍ عديدة [39].

- الاختيار غير المناسب للخلايا المسؤولة عن التعويض. مثلاً كأن يتم اختيار خلية لا يسمح أداؤها أو موقعها الحالي بانضمامها إلى مجموعة الخلايا المرشحة لعملية التعويض.
- الأخطاء التصميمية لخوارزميات التعويض والتي تؤدي إلى اتخاذ قرارات غير مناسبة من قبل مستنسخات التعويض الذاتي.

تقنياً، تتألف أي شبكة خلوية من عدد كبير جداً من المحطات والخلايا التابعة لها ذات المصادر التصنيعية المتنوعة، والموزعة على مساحات جغرافية واسعة وعلى مختلف طبقات الشبكة (طبقة الخلايا الماكروية، الميكروية، الصغيرة، إلخ). إضافة إلى ذلك، يمكن تقسيم منطقة الشبكة ككل إلى مجموعة من المناطق الجزئية بحيث تحوي كل منها مجموعة من الخلايا ذات الأداء المتقارب. وهذا يدفع مشغل الخدمة الخلوية إلى استخدام وظائف إدارية متنوعة (سواء كانت من مصادر معتمدة مُتعددة أو اختبارية محلية المنشأ) على ذات الشبكة العاملة ولكن بسياسات تشغيلية مختلفة حسب خصوصية كل منطقة. على سبيل المثال لا الحصر، يمكن أن يختلف، وبشكل كبير، التصميم وسياسات التشغيل للوظائف الإدارية الذاتية المخصصة للعمل على طبقة الخلايا الصغير عن تلك المخصصة للعمل على الطبقة الماكروية [24]. وعلى الرغم من أن هذه الطريقة من توظيف الوظائف الإدارية الذاتية تُعتبر المفضلة بالنسبة لمشغل الخدمة كونها تتيح التعديل المرن والتحديث السلس لهذه الوظائف، إلا أن تعايش هذه الوظائف على نفس الشبكة يُعد من التحديات الهامة لأن هذه الوظائف يجب أن تعمل وتعاون فيما بينها بشكلٍ خالٍ من التصادم.

وبالتالي، نستنتج أن تنسيق تنفيذ وظائف التعويض الذاتي يجب أن يكون إلزامياً وليس اختيارياً خلال مرحلة التعويض. ولما كانت وظيفة التنسيق الذاتي تُعنى فقط بالأوامر التنفيذية لباقي الوظائف الإدارية، فإنه يمكن، وبفاعلية كبيرة، تلافي وحل التصادمات بين مستنسخات التعويض أثناء زمن التشغيل [39]. عدا ذلك، يمكن أن تؤدي القرارات الخاطئة لمرحلي اكتشاف وتشخيص الأعطال، إضافة إلى المشاكل التصميمية للخوارزميات، إلى تصادمات أثناء زمن التشغيل يتوجب حلها في زمن التصميم.

#### 5-4 متطلبات التنسيق لمستنسخات التعويض الذاتي

تهدف وظيفة التنسيق الذاتي إلى تلافي وحل التصادمات بين الوظائف الإدارية أثناء زمن التشغيل. ومن أجل مكاملة هذه الوظائف ضمن وظيفة واحدة، قسّمنا إطار عمل التنسيق الذاتي في هذا البحث إلى ثلاثة أقسام، وتضم: المنطق الوقائي، المنطق التفاعلي والمنطق الاستباقي [39]. ولما كان المشغل يتعامل مع SONFs على أنها صناديق سوداء black-boxes [2]، فيجب عند تصميم خوارزميات التنسيق الذاتي مراعاة النقاط التالية قدر الإمكان:

- البساطة: وتعني تجنب النماذج المعقدة جداً لتفادي التأخيرات الزمنية، ولتحقيق سرعة اتخاذ القرارات، ولتجنب مشكلة زيادة فضاء الحالة.
- المتانة: يجب أن تُبدي خوارزميات التنسيق سلوكاً مستقراً وذلك عند استدعاء عدد كبير من المستنسخات، كما يجب أن تؤمن حلاً للتصادمات حتى في حالات الأعراض المتداخلة للتصادمات.
- الاستقلالية: يجب أن يكون تصميم خوارزميات التنسيق مستقلاً عن تصميم باقي وظائف الإدارة الذاتية، مما يعطي المرونة لمشغل الخدمة لتشغيل خوارزميات اختبارية أو مُعدّدة المصادر دون حدوث تصادمات ناتجة عن مشاكل التوافق compatibility conflicts.

وبعد الأخذ بالاعتبار هذه المتطلبات، وجدنا من الأنسب اعتماد تصميم المنطق التفاعلي "التنسيق الأولي" بالاستفادة من نظرية الألعاب غير التعاونية والتي تعدُّ أحد أدوات تعلم الآلة، وذلك من أجل تنسيق تنفيذ وظائف التعويض الذاتي باستخدام الاستطاعة TXP-COC، للأسباب التالية:

- 1- لا يحتاج تنفيذ لعبة غير تعاونية إلى بيانات تعلم training data، وبالتالي فإن زمن التعلم يعتبر مساوياً إلى الصفر.
- 2- إمكانية تعميم تطبيقات الألعاب غير التعاونية على العديد من السيناريوات، بما يمكن من تحقيق الاستقلالية عن البيئة المحيطة وطبولوجيا الشبكة. وهذا بدوره يساهم بالحد بشكل كبير من تصادمات التقنيات الراديوية، والتصادمات الناتجة عن التوافق.
- 3- سهولة تنجيز خوارزميات إدارة اللعبة وحساب توابع المنفعة الخاصة بها.

## 6-4 أبحاث ذات صلة

يعتبر حقل التعافي الذاتي أحد المجالات البحثية الرئيسية في SON. ركزت الأبحاث في هذا الحقل منذ البدايات، كما في حقل الضبط الذاتي والتحسين الذاتي على الوظائف المستقلة مثل تعويض الاستطاعة TXP-COC [151] وتعويض ميلان الهوائيات AT-COC [152]، [153] وضبط MIMO [154]. وبشكل عام تبدي هذه الوظائف أفضل سلوك في حال جرى توظيفها بشكل مفرد على الشبكة العاملة. وعلى العكس، في حال وظّف المشغل أكثر من وظيفة على الشبكة من أجل تحسين أداء التعافي الذاتي (كتوظيف كل من AT-COC و TXP-COC بأنّ معاً [150]، [155])، تبدي هذه الوظائف سلوكاً غير متوقع باعتبار أن كل منها يسعى لتحقيق أهدافه الخاصة بشكل أناني. أي يتصرّف كل

منها بشكل مستقل ودون أي اعتبار لأهداف الوظائف الأخرى (كما جرى مناقشته في الفصل 3). وبالتالي تكون النتيجة الاجمالية لعمل هذه الوظائف هي تراجع أداء الشبكة.

أحد أوائل الطرق السابقة لحل هذه المشكلة هي التصميم المشترك لوظائف الإدارة بوظيفة واحدة (انظر [الفقرة 3-7-1](#)). على سبيل المثال، جرى في [156] الاستفادة من مفهوم التحسين متعدد الأهداف (MOO Multi-Objective Optimization) من أجل توحيد أهداف وظيفة الكفاءة الطاقية EE، وتحسين التغطية والسعة CCO وتحسين أداء التسليم MLB ضمن وظيفة واحدة. كما اعتبر المؤلفون أن مجموعة الوظائف FG الناتجة تحقق أيضاً أهداف التعويض الذاتي.

وبشكل مماثل، جرى في [157] اعتماد طريقة MOO في تصميم وظيفة للتعافي الذاتي تعمل على تعويض الاستطاعة وتخفيض الضجيج في نفس الوقت. إلا أن بدء عملية التعويض عند القيم العظمى يعتبر أمراً غير مستحسن، وخاصة في ساعات الذروة.

أيضاً جرى في [158] اعتماد كل من معاملات ميلان الهوائي AT والتسليم HO من أجل تعويض الفقد مع الأخذ بالاعتبار أهداف توازن الأحمال. ونظراً لأنه يمكن أن تختلف المتطلبات التشغيلية لكل من هاتين الوظيفتين (مثل دورة العمل duty cycle) بشكل كبير [39]، فقد لا يكون مناسباً دمجهما في وظيفة واحدة.

جرى في مشروع SOCRATES [31] اعتماد التنسيق المحكوم بالسياسات من أجل التنسيق بين وظائف الإدارة الذاتية، بما فيها وظائف التعويض COC. وعلى الرغم من بساطة هذه الطريقة، والحاجة الأساسية إليها، إلا أن هذه الطريقة لوحدها لا يمكن أن تقدّم حلاً للتصادمات غير المتوقعة، كما لا تستطيع تفادي التصادمات المعروفة (انظر [الفقرة 3-7-2](#)).

تعتبر المساهمة الواردة في المرجع [24] أحد أحدث الدراسات الاستطلاعية حول التعافي الذاتي وطرائقه في الشبكات الحديثة. وفيها ركّز الباحثون على مشكلة التصادم بين الوظائف التعويضية وأثرها السلبي في رفع أرجحية خروج المحطة عن الخدمة جزئياً أو كلياً. كما قدموا إطار عمل مبني على أساس إجراءات ماركوف من أجل التنسيق.

جرى في [159]، و [160]، و [161] تطبيق خوارزميات التعلم المعزز (Reinforcement Learning) RL في تنجيز وظائف تعويض التغطية والسعة. تساعد RL على ضبط معاملات التعويض (ميلان الهوائي والاستطاعة) بشكل خطوي من خلال اختيار قيم NCPs التي تزيد من المكافأة reward المتوقعة. كما يمكن أن تستخدم في الحالات التي لا تكون فيها العلاقة بين قيمة NCPs ومؤشرات الأداء الموافقة معروفة. إلا أن التنسيق المبني على RL يتطلب توافر نظرة شاملة عن الشبكة من أجل تقييم تغيرات الأداء بدقة أثناء كل دورة عمل. إضافة إلى ذلك، يعتبر التنجيز المركزي لهذه الطرائق

غير المقيدة بالنماذج model-free approaches أمراً غير عملياً لأن كلَّ خلية يمكن أن تُبدي سلوكاً مختلفاً عند تعويض ذات العطل. وبالتالي، لا يمكن تطبيق الخبرات المكتسبة في أحد الخلايا في أماكن مختلفة من الشبكة. وهذا يؤدي إلى مشاكل تضخم فضاء الحالة واستنزاف الموارد الحسابية. إضافةً إلى ذلك، تعتبر الزيادة المفاجئة في قيمة استطاعة الخلية بهدف تعويض مساحات كبيرة، كما في [159]، و [160] و [161] أمراً غير مرغوب فيه على الشبكات العاملة.

فيما يتعلق بمجال تنسيق عمليات التعافي الذاتي، يمكن القول أنَّ وجوب تنسيق مستنسخات وظائف التعويض الذاتي منصوص عليه في المعايير الخاصة بـ 3GPP [149]، إلا أن البعض من الأبحاث تعاملت مع هذه المشكلة من ناحية نظرية سطحية، كما مر معنا سابقاً. ولتاريخه، وحسب ما نعلم، لم يجر أي بحث حول دراسة تنسيق مستنسخات التعويض الذاتي.

#### 4-7 خلاصة

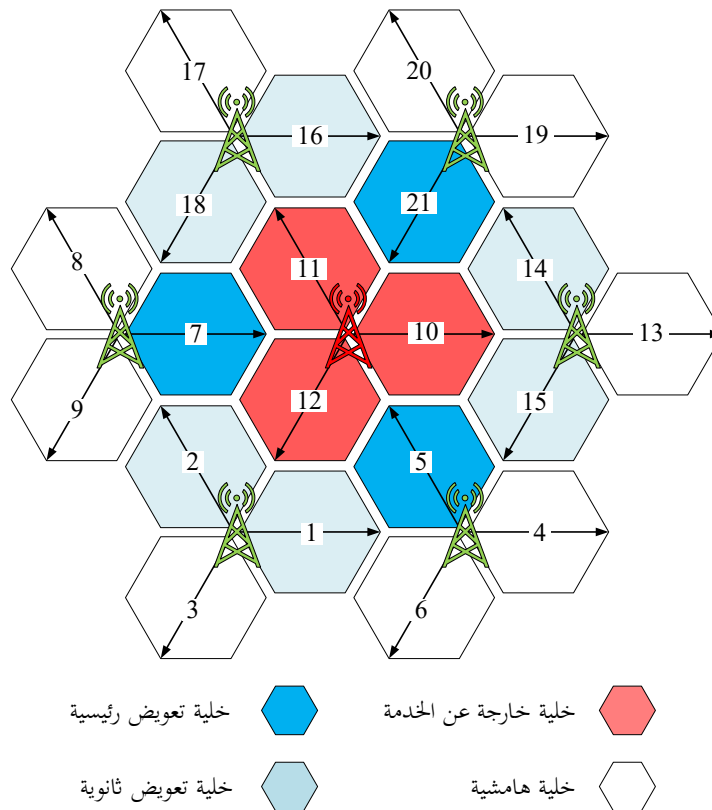
عرض هذا الفصل بشكلٍ منهجيٍّ وظيفة التعافي الذاتي بمراحلها وأطوارها المختلفة. كما ناقش المتطلبات التصميمية والتشغيلية لها وحدد حالات حدوث التصادم بين وظائف التعويض الذاتي. وبين أن وظيفة التعويض الذاتي، كما باقي وظائف الإدارة الذاتية، عرضةٌ للتصادم، سواء حدث هذا التصادم بين مستنسخاتها أو مع مستنسخات الوظائف الذاتية الأخرى. وانطلاقاً من ذلك، جرى التأكيد على الحاجة الأساسية لوجود تنسيقٍ ذاتيٍّ لتنسيق تنفيذ مستنسخات التعويض الذاتي من أجل ضمان عملية تعافٍ ذاتيٍّ ناجحٍ خالٍ من التصادمات.

## 5- التصميم والنمذجة والتوصيف الرياضي

يقدم هذا الفصل التصميم والتوصيف الرياضي للحل المقترح انطلاقاً من الطبقة الفيزيائية للشبكة الخلوية وإطار العمل المقترح، مروراً بتوصيف وظائف التعافي الذاتي وانتهاءً بتصميم منطق التنسيق بين هذه الوظائف. كما نبين أيضاً في هذا الفصل خوارزميات الوظائف المتعددة التي تعمل ضمن إطار العمل المفروض.

### 1-5 تخطيط الشبكة الخلوية ومواصفات الوصلة الراديوية

في هذا البحث، ندرس الوصلة الهابطة لشبكة خلوية ذات تخطيط مسدسي منتظم تعمل على نظام LTE-A وتغطي منطقة جغرافية  $\mathcal{R} \subseteq \mathbb{R}^2$ ، إذ تتألف هذه الشبكة من مجموعة  $\mathcal{M}$  من الخلايا الفردية العاملة حيث يمثل كل منها محطة خلوية eNB مستقلة كما هو موضح بالشكل 5-1.



الشكل 5-1 التخطيط المنتظم للشبكة الخلوية

تغطي وتخدم كل خلية منطقة جزئيةً يشار إليها بـ  $\mathcal{R}_m$ ، حيث أنها تشكل مجموعها المنطقة الكلية  $\mathcal{R} = \cup_{m \in \mathcal{M}} \mathcal{R}_m$ . تتألف كل محطة خلوية من اجتماع ثلاث خلايا مرتبةً باتجاهات  $0^\circ, 120^\circ, 240^\circ$  وذات إعدادات أولية لكل من ميل الهوائي بزواوية  $\hat{\theta}^m \in \Theta$  واستطاعة إرسال  $P^m \in \mathcal{P}$ ، حيث يمثّل كل من  $\Theta$  و  $\mathcal{P}$  مجال القيم المتاحة لكل من الميل واستطاعة الإرسال على الترتيب. تعمل جميع خلايا الشبكة على ذات عرض المجال الكلي للنظام  $B$  وبنفس العدد من كتل الموارد الفيزيائية (Physical Resource Blocks) PRB والذي يشار إليه بـ  $R$ . يكون مستخدمو الشبكة، والذي يبلغ تعدادهم الكلي  $\mathcal{K}$ ، موزعين بشكل منتظم على كامل منطقة التغطية  $\mathcal{R}$ . ولكل مستخدم الاحداثيات  $u(x,y,z)$  ضمن منطقة التغطية  $\mathcal{R}_m$  الخاصة بالخلية  $m$  ويستقبل إشارة هذه الخلية بنسبة SINR تعطى بالعلاقة [162]:

$$\gamma_{k,r}^m(u) = \begin{cases} \frac{G_{k,r}^m \cdot P_{k,r}^m(u)}{I_{k,r}^{m'} + \sigma^2} & ; P_{k,r}^m(u) \geq P_{th} \\ 0 & ; \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

حيث  $P_{k,r}^m$  هي استطاعة الإشارة المستقبلية من خلال المستخدم  $k$  والمرتبطة بالخلية  $m$  من خلال كتلة الموارد الفيزيائية  $r$ ،  $G_{k,r}^m$  ربح لقناة عريضة المجال،  $\sigma^2$  استطاعة الضجيج الأبيض الجمعي الغاوصي و  $I_{k,r}^{m'}$  استطاعة التداخل البيني ICI عند الخلية  $m$  والذي يعطى بالعلاقة:

$$I_{k,r}^{m'} = \sum_{m' \neq m} \sum_k \sum_r G_{k,r}^{m'} \cdot P_{k,r}^{m'} \quad (2)$$

$\forall m' \in \mathcal{M} \quad \forall k \in \mathcal{K} \quad \forall r \in \mathcal{R}$

وبالتالي، وحسب قانون شانون لسعة القناة الراديوية، فإن الانتاجية النظرية throughput أو bit-rate من المحطة  $m$  للمستخدم  $k$  على كتلة الموارد الفيزيائية  $r$  يمكن أن تكتب بالشكل التالي [163]:

$$\eta_{k,r}^m(u) = \begin{cases} \frac{B}{R} \cdot \log_2 \left[ 1 + \frac{\gamma_{k,r}^m(u)}{\Gamma} \right] & ; \gamma_{k,r}^m(u) \geq \gamma_{th} \\ 0 & ; \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

حيث  $\Gamma$  ثابت له علاقة بنسبة خطأ البت (Bit-Error-Rate) BER. وبالتالي فإن الانتاجية الكلية المنجزة من خلال المحطة  $m$  تعطى كما يلي:

$$\eta(m) = \sum_k \sum_r b_{k,r}(m) \cdot \eta_{k,r}^m(u) \quad (4)$$

$\forall k \in \mathcal{K} \quad \forall r \in \mathcal{R}$



حيث  $b_{k,r}(m)$  تابع توزيع كتل الموارد الفيزيائية ويعطى بالعلاقة التالية:

$$\sum_r b_{k,r}(m) \leq R \quad ; \quad b_{k,r}(m) = \begin{cases} 1 & \text{إذا تم تخصيص كتلة الموارد } r \\ 0 & \text{غير ذلك} \end{cases} \quad (5)$$

يعطى النموذج الرياضي للهوائيات الخاصة بخلايا الشبكة بالعلاقة التالية [164]:

$$A(\varphi, \theta) = -\min \{ -[A_H(\varphi) + A_v(\theta)], A_m \}$$

حيث  $A_H(\varphi)$  نموذج الهوائي الأفقي ويعطى بالعلاقة التالية:

$$A_H(\varphi) = -\min \left[ 12 \left( \frac{\varphi - \varphi_{orient}}{\varphi_{3dB}} \right)^2, A_m \right]$$

حيث  $\varphi$  زاوية السمت بين UE والمحطة القاعدية eNB بالنسبة للمستوي X-Y،  $\varphi_{orient}$  زاوية السمت لهوائي eNB،  $\varphi_{3dB}$  المجال الأساسي عند 3dB مقدراً بالدرجات و  $A_m$  التخمين الأعظمي للنموذج الإشعاعي مقدراً بـ dB.

$A_v(\theta)$  نموذج الهوائي العمودي ويعبر عنه كما يلي:

$$A_v(\theta) = -\min \left[ 12 \left( \frac{\theta - \theta_{etilt}}{\theta_{3dB}} \right)^2, SLA_v \right]$$

حيث  $\theta$  الزاوية بين UE و eNB المحور الأفقي،  $\theta_{etilt}$  الميلان الكهربائي للهوائي كما تم توضيحها بالشكل 4—3.

## 2-5 صياغة المشكلة الأساسية

انطلاقاً من مشكلة البحث الأساسية المتمثلة بتلافي وحل التصادمات بين وظائف الإدارة الذاتية، وبعد دراسة هذه التصادمات وتصنيفها، وبرهان الحاجة الأساسية للتنسيق الذاتي في حقل التعافي الذاتي، كان لابد من تطبيق الحل المرجعي وفق سيناريو ما، بهدف التوضيح لا الحصر، وفق التالي:

في الحالة النظامية لعمل الشبكة، تكون جميع الخلايا  $\mathcal{M}$  ضمن المنطقة  $\mathcal{R}$  بحالة عمل ضمن حدود مؤشرات الأداء النظامية. وفي حالة ظهور عطل ما على إحدى الخلايا أو مجموعة منها، فتصبح مجموعة الخلايا الخارجة عن الخدمة  $\mathcal{M}_o \subset \mathcal{M}$ ؛  $\mathcal{M}_o$  غير قادرة على تأمين أي خدمة اتصال لمجموعة المستخدمين  $\mathcal{K}_o$  المرتبطين بها والذين أصبحوا خارج تغطيتها. وبالتالي تنشأ فجوة تغطية يشار إليها بـ  $\mathcal{R}_o$ .

يلاحظ انقطاع الخدمة outage من قبل المستخدمين على شكل تدهور في QoS ويجري الكشف عنه من قبل مشغل الخدمة من خلال مجموعة من أدوات الكشف والتشخيص الخاصة بمركز إدارة الشبكة. وحالما يحدث نوع الانقطاع وأسبابه تبدأ مرحلة التعويض من خلال استدعاء المستنسخات الموافقة على مجموعة الخلايا المجاورة والمرشحة لعملية التعويض من أجل استعادة الخدمة في المنطقة  $\mathcal{R}_0$ .

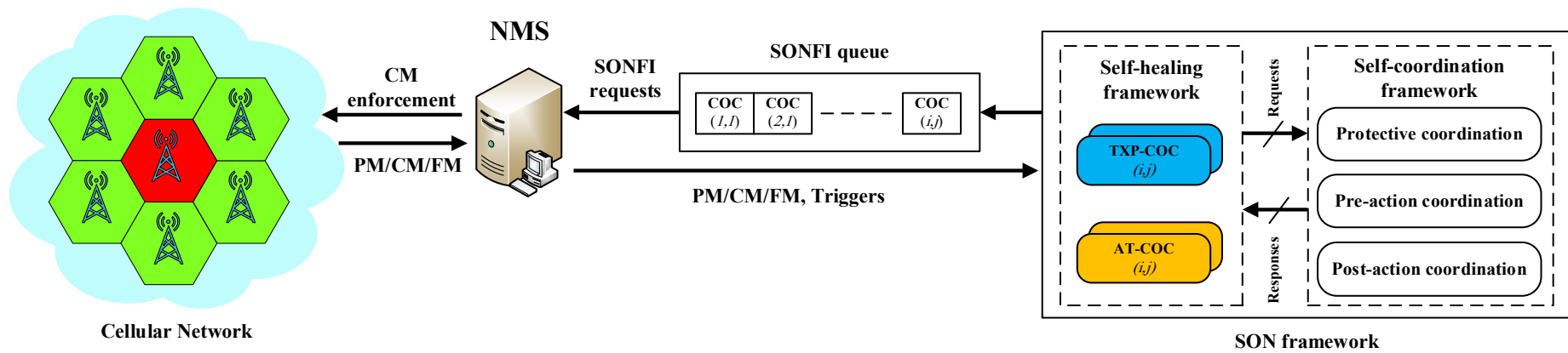
جرى ضمن هذا البحث، توظيف مجموعة من الوظائف الذاتية المستقلة وحيدة الهدف stand-alone single-objective SONFs بحيث يتمتع كل منها برؤية محدودة عن حالة الشبكة، أي أن الدّخل الخاص بكلٍ منها يقتصر على البيانات الخاصة بالخلية التي يعمل عليها. والتالي، فإن مستنسخات هذه الوظائف غير معنية بأهداف أيٍّ من مثيلاتها العاملة ضمن ذات المنطقة وزمن التأثير والتي جرى استدعاؤها لنفس الهدف. ووفقاً لهذا الاعتبار، يصبح سلوك الـ SONFIs مائلاً لعمل تابعٍ تحكميٍّ ذي حلقةٍ مغلقةٍ وذو هدفٍ وحيد. وبالنتيجة تُبدي جميع الوظائف سلوكاً أنانياً greedy manner حيث يسعى كل منها إلى زيادة الربح الخاص بها دون أي اعتبارات لأهداف الوظائف الأخرى.

ومن أجل السيطرة على هذا السلوك التصادمي لهذه الوظائف، جرى في هذا البحث اقتراح واعتماد منسقٍ مركزي (كما هو موضح سابقاً في [الفقرة 3-5](#)) من أجل تنسيق تنفيذ مستنسخات هذه الوظائف عبر آلية طلب-استجابة request-response mechanism [39]. ويتمتع المنسق المركزي SONFC بنظرةٍ شاملةٍ عن الشبكة وصلاحياتٍ أوسع من باقي SONFIs بما يمكنه من الوصول إلى البيانات المطلوبة لتحليلها والتحكم بسلوك SONFIs أثناء كل دورة من دورات عملها من أجل تحقيق أهداف التنسيق بالشكل المناسب.

### 3-5 إطار عمل نظام SON على الشبكة الخلوية

يوضح الشكل 5-2 إطار العمل المركزي المقترح لنظام SON المتكامل وكيفية تنجز وظائفه بشكلٍ عملي. ويُعدُّ إطار العمل هذا مائلاً لأطر العمل المعتمدة في الشبكات الخلوية العاملة ذات التنجيز المركزي، أي لا يحتاج تنجيزه إلى تعديل على بروتوكولات الشبكة الخلوية.

يتألف إطار العمل بشكلٍ أساسيٍّ من الشبكة الخلوية ونظام إدارة الشبكة المركزي NMS والذي يعمل ضمنه نظام الإدارة SON. تتدفق بيانات الشبكة PM \ CM \ FM إلى نظام الإدارة بشكلٍ مستمرٍّ ومنتظمٍ حيث يجري معالجتها من قبل نظام SON المتواجد أيضاً ضمن NMS. وفي حال جرى اكتشاف أي عطل (خروج خلية ما عن الخدمة في هذا البحث) يجري بدايةً تحديد الخلايا المرشحة لعملية التعويض، ثم استدعاء trigger لوظائف التعويض الأنسب على كلٍ منها. إن عملية استدعاء وظائف التعويض هي عبارةٌ إنشاءً مستنسخ instance لكل وظيفة تعويض على كل خلية من الخلايا المرشحة للتعويض بحيث يكون كل مستنسخٍ عبارةً وكيل agent يعمل ضمن NMS.

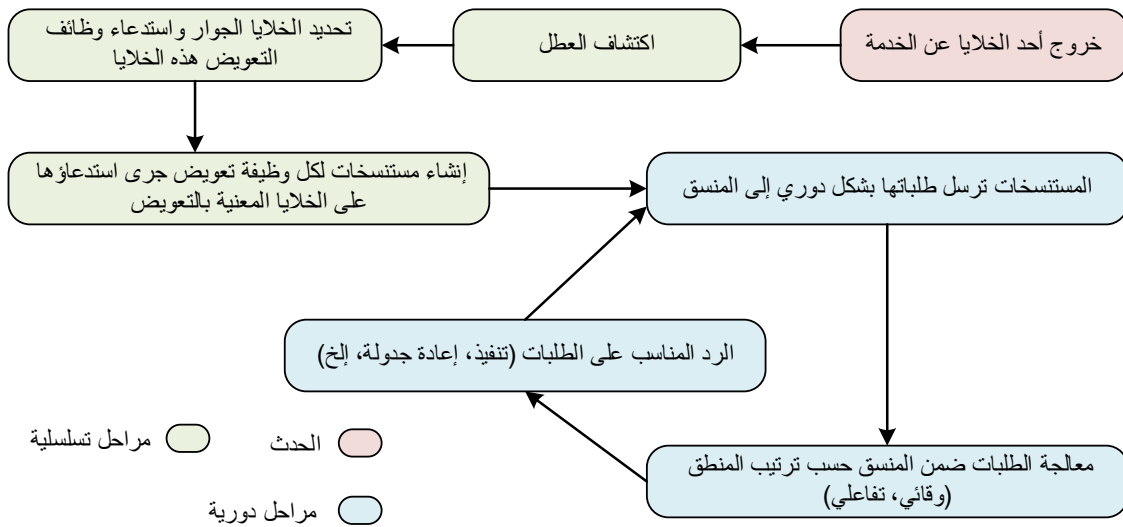


الشكل 5—2 إطار العمل المركزي لتنفيذ نظام SON في الشبكة الخلوية

تُرسل المستنسخات التي جرى إنشاؤها طلباتها إلى المنسق المركزي، والذي هو أيضاً عبارة عن وكيل لعمليات التنسيق، بشكلٍ مستمر حيث تُعالج وفق تسلسل منطق التنسيق (منطق وقائي ثم منطق تفاعلي)، ويجري الرد على كل منها بالشكل المناسب كما جرى توضيحه سابقاً ضمن إطار العمل الخاص بالتنسيق والموضح بالشكل 3—5 (انظر الفقرة 3-5).

تُجدول جميع المستنسخات التي جرى منحها الموافقة من قبل SONFC ضمن نسقٍ تسلسليّ SONFI queue من نوع first-in-first-out وتنفذ بشكلٍ تسلسلي. وهنا لا يسمح لأي مستنسخٍ بالتنفيذ ما لم يجري التحقق من تنفيذ المستنسخ السابق. أي يجري التحقق من نتائج التنفيذ ضمن طور التحقق قبل أن تعطى المستنسخات التالية الأمر بالتنفيذ.

ويجب التأكيد على أن تسلسل تنفيذ العمليات يجري مع مراعاة دورة العمل الخاصة بوظيفة التعافي الذاتي المبينة في الشكل 4—2، وهنا فإن دورة عمل المنسق الذاتي تكون ماثلة لدورة عمل وظيفة التعافي الذاتي بعد الأخذ بالاعتبار أن عملية التحقق تقع على عاتق SONFC ضمن هذا البحث وليس على عاتق الوظيفة نفسها. نوضح أدناه مراحل تنسيق مستنسخات التعافي الذاتي ابتداءً من لحظة خروج أحد الخلايا عن الخدمة وانتهاءً بعمليات التنسيق مروراً بالمرحل البيئية.



يُعبّر عن كل مستنسخ ضمن نسق المستنسخات بالصيغة التالية:  $COC(t, m, i, p, ncp, S^{\pm}, |\Delta S^{\theta}|)$ . حيث تمثل  $t$  نوع الوظيفة type، وتمثل  $m$  المحطة المستهدفة، وتمثل  $i$  دورة التنفيذ iteration، وتمثل  $p$  الأولوية priority، وتمثل  $ncp$  المعامل الهدف، وتمثل  $S^{\pm}$  اتجاه الخطوة step direction، وتمثل  $|\Delta S^{\theta}|$  طول الخطوة step value.

توضح الفقرات التالية تصميم وتنجز مكونات إطار العمل السابق باستثناء الطبقة الفيزيائية لنظام الاتصالات الخلوية والتي تعتبر منجزاً بالأصل ضمن المحاكى المعتمد.

## 4-5 استدعاء وظائف التعافي الذاتي

جرى في هذا البحث استدعاء وظائف التعافي الذاتي (الكشف الذاتي) بشكل آلي بناءً على حوادث فشل الوصلة الراديوية RLF. وبالتالي، عند ظهور أي حادثة RLF، يُستدعى تابع الكشف والذي يكون مسؤولاً عن اتخاذ القرار فيما إذا كانت المحطة التي ظهرت فيها هذه الحادثة خارج الخدمة (Out-Of-Service) OOS أو مازالت تعمل بشكل منتظم. وتعتمد خوارزمية تابع الكشف على معالجة قياسات المستخدمين، وتحديدًا بيانات ارتباط المستخدمين بالخلايا وتقارير استطاعة الإشارة المرجعية (Reference Signal Received Power) RSRP المرسل من قبل المستخدمين ضمن الخلية المعنية والخلايا الجوار. نبين أدناه خوارزمية تابع الكشف المعتمدة ضمن هذا البحث:

**Algorithm (1): Outage-detection algorithm**


---

**Input:** RLF events from cell  $m_o$   $RLF^{m_o}$ , UE measurement at impact area  $RSRP_k^{m_o}$ ,  
Detection delay  $d$ .  
**Output:** cell  $m_o$  status  $OOS^{m_o}$   
**bool** cell  $m_o$  status  $OOS^{m_o} = \text{false}$ ; // true if cell is OOS  
**int** Number of attached UEs  $n_k^{m_o} = 0$ , RSRP-based cell measurement commutator  
 $RCMC^{m_o}$   
**wait**  $d$ ;  
**for**  $k = 0$  to  $k$  // at cell  $m_o$  that experience RLF  
    **if**  $k$  is attached to  $m_o$  **do**  $n_k^{m_o} ++$ ;  
    **end if**  
**end for**  
**if**  $n_k^{m_o} > 0$  **then** // cell  $m_o$  is up and has attached UEs  
    **return**  $OOS^{m_o}$ ;  
**else** // if there is no attached UEs at cell  $m_o$   
    **for**  $i = 0$  to  $m$  **do** // check UE measurement from neighboring cell  
        **for**  $k = 0$  to  $k$  **do**  
            **If**  $RSRP_k^{m_o} \neq \text{null}$  **do**  $RCMC^{m_o} ++$ ;  
            **end if**  
        **end for**  
    **end for**  
**end if**  
**If**  $RCMC^{m_o} = 0$  **do**  
     $OOS^{m_o} = \text{true}$ ; // no any recorded measurement  
    **recall** neighboring-cell-selection ( $m_o$ ) // trigger COCs on candidate cells  
**end if**  
**return**  $OOS^{m_o}$ ;

---

يعود سبب اعتماد قياسات المستخدمين في الخلايا المجاورة إلى أن الخلية المعنية قد تكون في حالة الخدمة بشكل نظامي ولكن لا يوجد أي مستخدم مرتبط بها. لذلك، عند استدعاء تابع الكشف وفقاً لظهور حالة RLF ضمن خلية ما، تعمل الخوارزمية كالتالي: تجري في البداية عملية معالجة بيانات ارتباط المستخدمين بالخلية المعنية وذلك بعد انقضاء هامش الأمان

$d$  من أجل ضمان استقرار حالة الشبكة، وفي حال وجود مستخدمين مرتبطين بالخلية، يتخذ تابع الكشف القرار بسلامة عمل الخلية المعتبرة. أما في حالة عدم وجود أية مستخدم مرتبط بها، تبدأ المرحلة الثانية من عملية الكشف. في هذه المرحلة تعالج تقارير RSRP ضمن منطقة الحدث (خلايا الجوار من الدرجة الأولى للخلية المعتبرة)، وفي حال وجود أية تقارير تخص إشارة الخلية المعتبرة، يتخذ تابع الكشف القرار بسلامة عمل الخلية المعتبرة. عدا ذلك تُصنّف الخلية على أنها خارج الخدمة. عند تصنيف أي خلية على أنها خارج الخدمة، يبدأ طور التعويض لهذه الخلية وذلك عبر اختيار مجموعة الخلايا المرشحة لعملية التعويض، ثم استدعاء وظائف التعويض على هذه الخلايا كما هو موضح في الفقرة التالية.

## 5-5 اختيار الخلايا المرشحة لعملية التعويض الذاتي

تجري عملية اختيار خلايا التعويض بشكل عام أثناء عملية التعافي الذاتي، وتُنْتخَب فيها الخلايا الأنسب للقيام بالتعويض من بين مجموعة من الخلايا المرشحة وذلك وفقاً للعطل ومتطلبات التعويض. يجري استدعاء خوارزمية اختيار الخلايا المرشحة لعملية التعويض لحظة اتخاذ القرار من قبل تابع الكشف بخروج الخلية  $m_o$  عن الخدمة، وتلخص هذه الخوارزمية كما يلي:

### Algorithm (2): Neighboring-cell-selection algorithm

**Input:** OOS cell  $m_o$ , Current cell-throughput  $l_c(m)$ , cell-throughput compensation threshold  $l_{th}(m)$ , Cell orientation  $\emptyset^m$ , Set of suggested HICC azimuth values  $\emptyset^{m_o}$ .

**Output:** No output

Vector of all candidate cells for cell  $m$   $V_n^{m_o}$ , Vector of LICC candidate cells of cell  $m$   $V_{LICC}^{m_o}$ ,

Vector of HICC candidate cells of cell  $m$   $V_{HICC}^{m_o}$

**for**  $i = 0$  to  $m$  **do** // cells at first tier neighboring cells

**if**  $l_c(m) < l_{th}(m)$  **do** insert  $m \rightarrow V_n^{m_o}$

**if**  $\emptyset^m \in \emptyset^{m_o}$  **do** insert  $m \rightarrow V_{HICC}^{m_o}$  // cell  $m$  antenna is directly oriented to  $\mathcal{R}_{m_o}$

**else do** insert  $m \rightarrow V_{LICC}^{m_o}$

**end if**

**end if**

**end for**

**for**  $j = 0$  to size of  $V_n^{m_o}$  **do** // cells that experience RLF

**if**  $j \in V_{HICC}^{m_o}$  **then**

**recall**  $COC(AT, j)$ ; // trigger AT-COC at cell indexed by  $j$

**recall**  $COC(TXP, j)$ ; // trigger TXP-COC at cell indexed by  $j$

**else if**  $j \in V_{LICC}^{m_o}$  **then**

**recall**  $COC(TXP, j)$ ; // trigger TXP-COC at cell indexed by  $j$

**end if**

**end for**

جرى ضمن هذا البحث الاعتماد بشكل رئيسي على اختيار خلايا التعويض من بين مجموعة خلايا النّسق الأوّل للجوّار. وبالتالي، تضاف أيّ خلية ذات حدودٍ مشتركةٍ مع الخلية الخارجة عن الخدمة إلى مجموعة الخلايا المرشحة لعملية التعويض

من أجل فحص قابليتها للتعويض وبحيث تكون انتاجيتها الحالية  $l_c(m)$  أقل من الحد الأعظمي المسموح به للتعويض  $l_{th}(m)$  على هذه الخلية.

يجري بعد ذلك تصنيف هذه الخلايا وفقاً للإعدادات الخاصة بها (ضمن هذا البحث جرى اعتماد زاوية السمت  $\phi$ ) من أجل تقدير التأثير المتوقع لهذه الخلايا على عملية التعويض. يُفضي هذه التصنيف، ووفقاً للتخطيط السداسي المنتظم، إلى نوعين من خلايا التعويض: خلايا تعويض رئيسية (High-Impact Compensatory Cell) HICC وهي الخلايا التي تكون هوائياتها موجهة بشكل مباشر إلى المنطقة الخارجة عن التغطية (مثل الخلايا 5، 7، 21 من الشكل 5—1)، وعدا ذلك تصنف الخلايا على أنها خلايا تعويض ثانوية (Low-Impact Compensatory Cell) LICC حيث تمتلك فقط حدوداً مشتركة مع المنطقة الخارجة عن التغطية (مثل الخلايا 1 و 2).

في نهاية هذه المرحلة، تُرتب قائمة بالخلايا المرشحة لعملية التعويض (المتجهات  $V_{LICC}^{m_0}$  و  $V_{HICC}^{m_0}$  في الخوارزمية الموضحة أعلاه) من أجل استدعاء وظائف التعويض المناسبة وفقاً لها (يستدعى TXP-COC على HICCs و LICCs في حين يستدعى AT-COC على HICCs فقط). كما تُستخدم هذه القائمة لاحقاً أيضاً في صياغة قواعد التنسيق من أجل وضع أولويات تنفيذ الوظائف الإدارية.

## 6-5 وظيفة التعويض الذاتي باستخدام ميلان الهوائي

تقوم هذه الوظيفة بضبط قيم زاوية ميلان الهوائيات الكهربائية  $\hat{\theta}$  لخلايا التعويض بهدف زيادة منطقة التغطية الخاصة بها (انظر الشكل 4—3). لهذا الفعل تأثير مباشر على مؤشرات الأداء الخاصة بالتغطية، وبالتالي يحفز المستخدمين ضمن المنطقة الخارجة عن التغطية إلى إعادة الارتباط بالخلية المعتبرة في حال تأمين قيم SINR أفضل [150]، [165]. ويجب تحقق شرطين أساسيين من أجل تأمين جودة الخدمة المطلوبة: وجود عدد كاف من الموارد الفيزيائية PRBs لتخديم المستخدمين الجدد، بالإضافة إلى تحقيق المستوى المطلوب من SINR للإشارات المرسل والمُستقبل. وبالتالي يمكننا صياغة عملية تحسين AT كما يلي:

$$\underset{\eta}{\text{maximize}} f(\gamma_{k,r}^m(u), \hat{\theta}^m) \quad (6)$$

$$\text{s.t. C1:} \quad \gamma_{k,r}^m(u) \geq \gamma_{th}$$

$$\text{C2:} \quad \sum_k \sum_r b_{k,r}(m) \leq R; \eta(m) \leq \eta_{max}(m) \\ \forall k \in \mathcal{K} \forall r \in \mathcal{R}$$

حيث  $\eta(m)$  هي إنتاجية الخلية بعد إعادة ارتباط المستخدمين و  $\eta_{max}(m)$  الإنتاجية الأعظمية للخلية. يكون الشرط الأول C1 مسؤولاً عن ضمان المستوى المطلوب من SINR للمستخدم  $k$  الموجود بالإحداثيات  $u(x,y,z)$  والمرتبطة بالخلية  $m$ ، ويكون الشرط الثاني مسؤولاً عن تحقيق متطلبات الوصلة الهابطة لأي مستخدم. ولما كان تأثير ميلان الهوائي على إنتاجية الخلية لا يمكن وصفه تحليلياً بشكل عام، فمن الصعب جداً إيجاد حلٍ رياضيٍّ للمعادلة (6) ضمن الحدود المعقولة من الموارد الحاسوبية [156]. لذلك، جرى في هذا البحث اعتماد طريقة إرشادية *heuristic approach* من أجل تحسين ميلان الهوائي بحيث تصمّم وظيفة التعويض كنسب تحكيمي مغلقٍ محكومٍ بالقواعد *policy-based control loop* يقوم بمهمة الضبط الخطوي لقيم زاوية الميلان وفقاً للشرط C1 كما يلي:

$$\begin{aligned} F_{\theta}^m(t+1) &= F_{\theta}^m(t) \pm \Delta\hat{\theta} ; \\ \hat{\theta}_{min}^m &\leq \hat{\theta}^m \leq \hat{\theta}_{max}^m \end{aligned} \quad (7)$$

حيث  $\hat{\theta}_{min}^m$  و  $\hat{\theta}_{max}^m$  القيم العظمى والصغرى المسموحة لزاوية الميل ضمن الخلية  $m$ . وباعتبار أن تغيير زاوية الميل له تأثيرٌ كبير على أداء ارتباط المستخدمين *user attachment*، ومن أجل تحقيق الدقة المطلوبة، جرى استخدام أصغر قيم تدرجات لزاوية الميل  $\pm\Delta\hat{\theta}_{min}$  أثناء دورات الضبط لـ  $\hat{\theta}^m$ . وعلى الرغم من بساطة الحل المقترح، يمكن أن تفضي هذه الطريقة إلى قيم محليةٍ صغرى *local-minimum* بدلاً من الوصول إلى القيمة الصغرى العامة *global-minimum*.

## 7-5 وظيفة التعويض الذاتي باستخدام استطاعة الإرسال

يعتبر التعويض باستخدام استطاعة الإرسال تعويضاً سعويّاً، بعكس الوظيفة السابقة والتي تعتمد على التعويض القائم على التغطية [150]. وبالتالي، تهدف الوظيفة TXP-COC بشكلٍ أساسيٍّ إلى زيادة SINR للإشارات المستقبلية من قبل المستخدمين خارج التغطية عبر زيادة استطاعة الإرسال لخلايا التعويض إلى أن تتحقّق الشروط الأمثلة لـ QoS. لذلك، يُلاحظ التأثير الرئيسي لـ TXP-COC من خلال زيادة إنتاجية الخلية المعتمدة [150]. ترتبط إنتاجية الخلية باستطاعة الإرسال بالعلاقات (3) و (4)، ومنه يمكننا صياغة مسألة زيادة إنتاجية الخلية عبر زيادة استطاعة الإرسال كما يلي:

$$\begin{aligned} &\underset{\mathcal{P}}{\text{maximize}} \sum_k \sum_r b_{k,r}(m) \cdot \eta_{k,r}^m(u) \\ &\text{s.t. C1:} \quad \sum_r b_{k,r}(m) \cdot P_{k,r}^m \leq P_{max} \\ &\text{C2:} \quad \sum_k \sum_r b_{k,r}(m) \leq R \equiv \eta(m) \leq \overline{\eta_{max}}(m) \end{aligned} \quad (8)$$



وبإمكاننا حل هذه المسألة بالشكل التالي:

**نظرية (1):** إن مسألة إيجاد القيمة المثالية للاستطاعة مسألة NP-Hard

تعتبر المسألة السابقة صعبة الحل بسبب صعوبة تقدير عدد PRB والناجحة بدورها عن صعوبة تقدير المتحولات الإحصائية المرتبطة بمسألة اسنادها. وفي حال أثبتنا أن المسألة محققة بالنسبة لخلية واحدة، يمكن إثبات الحل بالنسبة لمسألة متعددة الخلايا.

**البرهان:** تعتبر المسألة السابقة NP إذا وجد ضبط عملي ما للمعاملات، بحيث يمكن أن يحقق إعادة ارتباط الوحدات النقالة UEs التي خرجت عن التغطية مع عودة إنتاجيتها. أي بالنسبة لضبط محدد  $\mathcal{P}$  نجد أننا بحاجة إلى زمن خطي من أجل تقدير كتل الموارد الفيزيائية التي جرى إسنادها  $\sum_{r \in R} b_{k,r}(m)$  وأيضاً بحاجة إلى زمن خطي من أجل التأكد من أن عدد PRBs التي جرى إسنادها لم تتجاوز  $R$ ، لذلك يمكن القول إن المسألة NP-complete.

ومن أجل تخفيض هذه المسألة إلى مسألة NP-Hard وباعتبار أن  $R$  العدد الكلي لـ PRBs على الحوامل الجزئية للخلية، وأن عملية إسناد الموارد الفيزيائية تتم على أساس متطلبات QoS ذات العازل المحدود finite-buffer لكل مستخدم، فإنه يوجد ضبط محدد لـ  $r$  بحيث يكون  $\sum_r b_{k,r}(m) \leq R$ . وبالتالي، التوصل لهذا القرار يعني ضمناً التوصل إلى إسناد محدد لكل الموارد الفيزيائية للمستخدمين الخارجين عن التغطية وفقاً لقيم ضبط الاستطاعة على المحطة. وضمن الاعتبارات السابقة تعتبر مسألة إيجاد القيمة المثلى للاستطاعة مسألة من نوع NP-Hard.

**فرضية (1):** إن مسألة إيجاد قيمة الاستطاعة الأمثلية هي مسألة مقعرة *concave* بالنسبة للخلايا المجاورة.

**البرهان:** من العلاقة (3) وباعتبار أن  $\frac{\gamma_{k,r}^m(u)}{R} \gg 1$ ، فإن  $\log_2 \left[ 1 + \frac{\gamma_{k,r}^m(u)}{R} \right]$  يمكن تقريبها إلى  $\log_2 \left[ \frac{\gamma_{k,r}^m(u)}{R} \right]$ . إن تابع التحسين objective function المعروف بالعلاقة (3) هو تابع لوغاريتمي. ومن المعروف أن التابع اللوغاريتمي هو تابع مقعر *concave* بالأصل. وبالتالي، تعتبر مسألة زيادة الإنتاجية أنها مسألة زيادة الاستطاعة على تابع مقعر. ومنه فإن الشرط الأول محدب *convex*.

يبدو الشرط الثاني وكأنه غير محدب. لكن بفرض إمكانية تقدير إنتاجية الخلية بناءً على القيمة العظمى لإنتاجية UEs، عندها يمكن تقدير العدد الأعظمي من PRBs التي يمكن تخصيصها للمستخدمين  $\bar{b}_k(m)$ . أي يمكن إجراء عملية تراخ *relaxation* لتقريب المسألة السابقة إلى مسألة تحسين محدب بحيث يكون:

$$\bar{b}_k(m) \cdot \beta \cdot \log_2 \left( 1 + \bar{\gamma}_{k,r}^m(u) \right) = R_k \quad (*)$$

$$\bar{b}_k(m) = \frac{R_k}{\beta \cdot \log_2(1 + \overline{\gamma_{k,r}^m}(u))} \cong \frac{R_k}{\beta \cdot \log_2(\overline{\gamma_{k,r}^m}(u))} \leq q_k^m \cdot R$$

حيث  $\overline{\gamma_{k,r}^m}(u)$  تمثل متوسط نسبة SINR الأسيية الفعالة عند المستخدم  $k$  المرتبط بالمحطة  $m$  [166] وتساوي:

$$\overline{\gamma_{k,r}^m}(u) = \frac{G_{k,r}^m \cdot P_{k,r}^m(u)}{\sum_{\forall m' \neq m} \sum_{\forall k \in \mathcal{K}} \sum_{\forall r \in \mathcal{R}} G_{k,r}^{m'} \cdot P_{k,r}^{m'} + \sigma^2}$$

حيث  $G_{k,r}^m$  تمثل الربح المقدر للقناة عريضة المجال. وبناءً على ذلك يمكن تقريب الشرط الثالث إلى  $\bar{b}_k(m) \leq q_k^m \cdot R$  [157]. والنقطة الحرجة لهذا التقريب أنه لا يأخذ بالضرورة الانتقائية الترددية بالاعتبار على الحوامل الجزئية، وإنما يعتمد بشكل أساسي على قياسات المستخدمين، وهذا يفيد في تقريب المسألة إلى مسألة تحسين محددٍ وفقاً للتقريبات الواردة في [166] و [157] من أجل حل شبه مثالي.

وبالتالي فإن مسألة زيادة الإنتاجية بالنسبة لـ  $P_{k,r}^m(u)$  أصبحت مسألة مقعرة وبشروطٍ محددةٍ ضمن الاعتبارات السابقة.

لحل المسألة نطبق لاغرانج:

$$\begin{aligned} \mathcal{L}(\mathcal{P}, \lambda, \mu, \kappa) &= \sum_k \sum_r b_{k,r}(m) \cdot \frac{B}{R} \cdot \log_2 \left[ 1 + \frac{\gamma_{k,r}^m(u)}{\Gamma} \right] \\ &- \sum_k \sum_r \lambda_{k,r} (b_{k,r}(m) \cdot P_{k,r}^m(u) - P_{max}) \\ &- \sum_k \sum_r \kappa_{k,r} (\bar{b}_k(m) - q_k^m R) \end{aligned}$$

من (\*) يمكن أن نكتب:

$$\bar{b}_k(m) - q_k^m R = \frac{G_{k,r}^m \cdot P_{k,r}^m(u)}{2\beta \cdot q_k^m \cdot R} - \sum_{\forall m' \neq m} \sum_k \sum_r G_{k,r}^{m'} \cdot P_{k,r}^{m'} - \sigma^2$$

بالاشتقاق بالنسبة لـ  $\mathcal{P}$ :

$$\begin{aligned} \frac{\partial \mathcal{L}(\mathcal{P}, \lambda, \mu)}{\partial \mathcal{P}} = & \sum_k \sum_r \frac{b_{k,r}(m) \cdot B \cdot G_{k,r}^m}{R \cdot \ln(2) \cdot [G_{k,r}^m \cdot P_{k,r}^m(u) + \Gamma(I_{k,r}^{m'} + \sigma^2)]} \\ & - \sum_k \sum_r \lambda_{k,r} \cdot b_{k,r}(m) - \sum_k \sum_r \frac{\kappa_{k,r} \cdot \overline{G_{k,r}^m}}{2^{\beta \cdot q_k^m \cdot R} - 1} = 0 \end{aligned}$$

باعتبار الشروط التكميلية التالية:

$$\begin{aligned} \sum_k \sum_r \lambda_{k,r} (b_{k,r}(m) \cdot P_{k,r}^m(u) - P_{max}) &= 0 \\ \sum_k \sum_r \mu_{k,r} (\widetilde{b_{k,r}(m)} - q_k^m R) &= 0 \end{aligned}$$

و  $\lambda_{k,r} \geq 0$  و  $\mu_{k,r} \geq 0$

إن حل هذه المسألة له الشكل العام التالي:

$$P_{k,r}^m \langle t \rangle = P_{k,r}^m \langle t - 1 \rangle \alpha + \beta$$

ومع ضمان شرط تحدئية وحل المسألة، يمكن صياغة لعبة غير تعاونية بالاعتماد على معامل الاستطاعة.

وبغرض تصميم تابع تعويض يبدي سلوك أناني يمكن تعريف مسألة تحسين الاستطاعة على غرار مسألة تحسين ميلان الهوائي مع الأخذ بالاعتبار الشرط C1 فقط وذلك بهدف تصميم وظيفة تعويض ذات سلوك أكثر أنانية كما يلي:

$$\begin{aligned} F_{\mathcal{P}}^m(t+1) &= F_{\mathcal{P}}^m(t) \pm \Delta p ; \\ P_{min}^m &\leq P^m \leq P_{max}^m \end{aligned} \quad (9)$$

حيث تمثل  $\Delta p$  أصغر تدریجة ممكنة لضبط الاستطاعة وتمثل كلاً من  $P_{min}^m$  و  $P_{max}^m$  القيم الصغرى والعظمى المسموحة للاستطاعة على المحطة  $m$ . إن الهدف من اعتماد هذا الحل هو إيجاد خوارزمية تعويض مبسطة من جهة، وتبدي سلوك أناني من جهة أخرى، بما يضمن محاكاة الحالة الأسوأ من تواجد وظائف مستقلة وذات سلوك أناني على نفس الشبكة.

## 8-5 تصميم المنطق الوقائي الخاص بتنسيق عمليات التعافي الذاتي

تتركز مهمة المنطق الوقائي، بشكل عام، على تلافي التصادمات المتوقعة قبل تنفيذ مستنسخات الوظائف الإدارية، ويُبنى من خلال تعريف مجموعة من القواعد الستاتيكية (كأن يجري تحديد أولويات ابتدائية للوظائف الإدارية) بحيث تكون متوافقة مع السياسة العليا للمشغل [39]. ضمن هذا البحث، جرى اعتماد سلم الأولويات الافتراضية للوظائف الإدارية ضمن الجدول 5—1. يفرض هذا الترتيب أن تحظر جميع SONFs ضمن منطقة التأثير باستثناء وظائف الضبط الذاتي (أي وظيفة إسناد المُعرِّفات الفيزيائية PCI وبناء التجاور الأوتوماتيكي ANR)، وذلك من أجل تفادي التصادمات الناتجة عن تغيرات طبولوجيا الشبكة NTM لأن PCI و قوائم التجاور للخلايا NCLs تحتاج إلى إعادة ضبط وفقاً لحالة الشبكة الطارئة [29]. تبقى بعد ذلك وظائف التحسين الذاتي بحالة حظرٍ إلى أن يجري بناء نموذج التغطية المستقر من خلال التعافي الذاتي. يمتلك عادة المنطق الوقائي مجموعةً من الخيارات المتاحة في عملية التنسيق (انظر [الفقرة 3-4-1](#))، يضاف إليها مجموعةً من الخيارات في حالة التعافي الذاتي وذلك بهدف ضمان استقرار عملية بناء نموذج التغطية الطارئ، مثل:

- رفض جميع وظائف الكفاءة الطاقية EE ضمن منطقة التأثير خلال زمن العطل حيث تمتلك هذه الوظائف أهداف معاكسةً لوظائف التعويض COCs.
- رفض/ إعادة جدولة أي مستنسخ تعويض جرى استدعاؤه حتى يتم التحقق من نجاح تنفيذ آخر مستنسخ.
- إيقاف عمل وظائف التعويض حالما تتحقق أهداف عملية التعافي الذاتي أو عند بلوغ العدد الأعظمي لدورات العمل duty cycles المعرفة مسبقاً وذلك لتلافي استمرار عمل هذه المستنسخات إلى ما لا نهاية.

عند اكتمال عملية التعافي الذاتي يجري السماح بتنفيذ مستنسخات باقي الوظائف الإدارية. وعلى الرغم من أن باقي الوظائف تعتبر خارج إطار هذا البحث، إلا أن الأولويات الافتراضية المذكورة في الجدول 5—1 يجري تطبيقها في حال عمل هذه الوظائف على ذات الشبكة.

الجدول 5—1 الأولويات الافتراضية للوظائف الإدارية

PCI ANR	الضبط الذاتي
COC - AT COC - TXP	التعافي الذاتي
CCO MLB MRO ICIC EE	التحسين الذاتي

نوضح أدناه تصميم خوارزمية منطق التنسيق الوقائي والتي تُستدعى عند ورود طلب من مستنسخ ما إلى SONFC:

---

**Algorithm (3): protective-coordination algorithm**

---

**Input:**  $SONFI(t, m, null, null, \theta, S^\pm, |\Delta S|)$ , Maximum allowed step value  $\Delta\theta_{th}$ ,

Instance queue  $Q^l$ .

**Output:** No output

Response [ $SONFI(t, m, null, p, \theta, S^\pm, |\Delta S|)$ ]

**for**  $j = 0$  to  $l$  **do**

**if**  $Q^j[SONFI] = SONFI(t, m, *, p, \theta, S^\pm, |\Delta S|)$  **do** send reject; *//check duplication*  
    **end if**

**if**  $Q^j[SONFI(t, m, ncp)] = SONFI(t, m, ncp)$  **then**

**if**  $Q^j[SONFI(p)] < SONFI(p)$  **do**

            hold  $Q^j[SONFI(t, m, p)]$ ; *// hold any instance with lower priority*

**else if**  $Q^j[SONFI(t, m, p)] \geq SONFI(p)$  **do**

            hold  $SONFI(t, m, i, p, \theta, S^\pm, |\Delta\theta|)$ ; *// hold the respected lower priority instance*

**end if**

**end if**

**if**  $Q^j[SONFI(t, m, p, S^\pm)] \neq SONFI(S^\pm)$  **then** *//reject counteractive instance*

        reject  $SONFI(t, m, i, p, \theta, S^\pm, |\Delta S|)$ ;

**end if**

**end for**

**if**  $SONFI(t) = AT - COC$  **do** *//assign initial priority*

$SONFI(p) = 1$ ;

**else if**  $SONFI(t) = TXP - COC$  **do**

$SONFI(p) = 2$ ;

**end if**

**recall** pre-action-coordination  $SONFI(t, m, null, p, \theta, S^\pm, |\Delta S|)$ ;

---

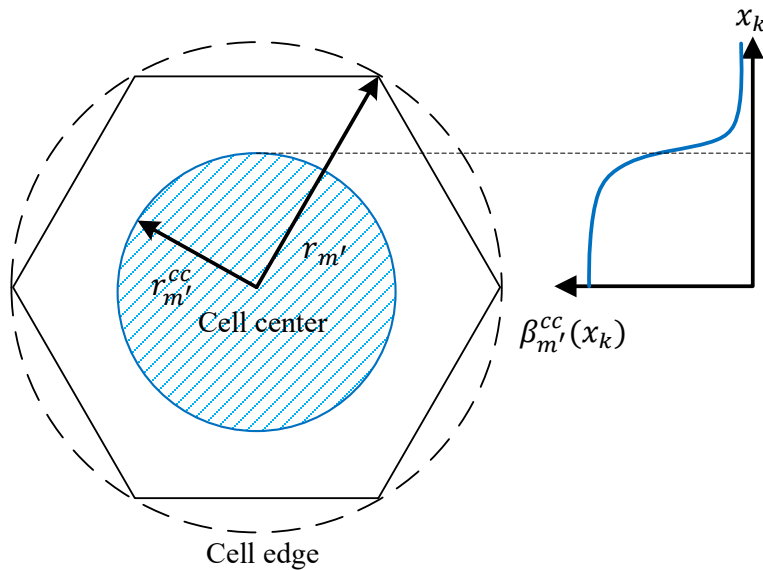
في هذه الخوارزمية، تعتبر كلاً من: نوع الوظيفة  $t$ ، والمحنة الهدف  $m$ ، ودورة عمل المستنسخ  $i$ ، والأولوية  $p$ ، واتجاه خطوة الضبط  $S^\pm$ ، ومقدار خطوة الضبط  $|\Delta\theta|$ ، والقيمة العظمى لخطوة الضبط  $|\Delta\theta|$ ، ونسق المستنسخات  $Q^l$  جميعها من مدخلات هذه الخوارزمية. وقبل اتخاذ القرار (سواء بالرفض أو القبول أو إعادة الجدولة)، يجري البحث ضمن نسق المستنسخات بهدف التحقق من عدم وجود أي مستنسخات مضاعفة duplicated، أو أي مستنسخ له نفس نوع الوظيفة والمحنة الهدف لكن بأولوية مختلفة، أو أي مستنسخ يعاكس أهداف المستنسخ المعتر من حيث اتجاه الخطوة  $S^\theta$ . وتعتبر هذه الخطوة ضرورية من أجل تلافي التصادم بين المستنسخ المعتر والمستنسخات التي جرى جدولتها من أجل التنفيذ. بعد ذلك، يجري إعطاء أولوية افتراضية لكل مستنسخ حسب نوع الوظيفة الخاصة به، أي تعطى الأولوية (1) لمستنسخات AT-COC بينما تعطى الأولوية (2) لمستنسخات TXP-COC وذلك لأن ميلان الهوائي له تأثير أكبر على نموذج التغطية من تأثير زيادة استطاعة الإرسال.

## 9-5 تصميم المنطق التفاعلي الأولي بالنسبة لوظيفة التعويض باستخدام ميلان الهوائي

من المعلوم أن ميلان الهوائي (ميلان الفص الرئيسي للمخطط الاشعاعي للهوائي كما هو موضح بالشكل 4—3) تأثيراً على كل من الخلية المعتبرة (الخلية التي جرت إمالة الهوائي فيها) والخلية المجاورة لها. يؤدي زيادة الميل إلى تحريك الفص الرئيسي بعيداً عن مركز الخلية باتجاه الخلايا المجاورة. أي يقود هذا الفعل إلى زيادة تمدد نموذج التغطية للخلية، وهذا بدوره يسبب في خفض استطاعة الإشارة المرجعية RSRP في مركز الخلية المعتبرة. وعلى العكس من ذلك، يؤدي إنقاص ميل الهوائي إلى زيادة RSRP بينما يحدث فجوات تغطية بين الخلية المعتبرة والخلية المجاورة. لذلك يفرض التحكم بميلان الهوائي مراقبة أداء كل المستخدمين في الخلية المعتبرة والخلايا المجاورة. وبالتالي، وبناءً على قياسات RSRP، قمنا بتعريف تابع المنفعة utility function الذي يُستخدم للاستدلال على قيمة التداخل البيئي ضمن الخلايا المجاورة والتأثير عن إمالة هوائي الخلية الأصلية  $m'$ ، وذلك كتعديل على تابع منفعة مشابهة استخدمت في [153] لأغراض مشابهة كما يلي:

$$U^{m,m'} \Big|_{m \neq m'} = \frac{1}{r_{scale} \cdot \mathcal{K}_{m'}} \sum_{\forall k \in \mathcal{K}_{m'}} \beta_{cc}^{m'}(x_k) \cdot D_k(m, m') \quad (10)$$

حيث  $D_k(m, m')$  مؤشر فرق RSRP بين الخلية المعتبرة والخلية المجاورة ويساوي إلى 1 عندما يكون الفرق بين قيمتي متوسط RSRP بين كل من الخلية المعتبرة  $m'$  والخلية المجاورة  $m$  أصغر من العتبة  $\Delta RSRP_{th}^{m,m'}$  و 0 غير ذلك،  $r_{scale}$  معامل التقييس و  $\beta_{cc}^{m'}(x_k)$  تابع توزيع المسافة ويستخدم من أجل تحديد المستخدمين حسب الموقع وذلك بالنسبة لمركز الخلية  $x_k$  كما هو موضح بالشكل 5—3.



الشكل 5—3 تغيرات التابع  $\beta_{cc}^{m'}(x_k)$  تبعاً للبعد عن مركز الخلية

وجرى تعريف  $\beta_{cc}^{m'}(x_k)$  بالنسبة لخلية  $m'$  ذات نصف قطر كلي  $r_{m'}$  ونصف قطر منطقتها المركزية  $r_{m'}^{cc}$ ، بحيث يكون دائماً  $r_{m'} \geq r_{m'}^{cc}$  بالشكل التالي:

$$\beta_{cc}^{m'}(x_k) = \text{sigmoid} \left( \frac{r_{m'}^{cc} - x_k}{a_{cc} \cdot \frac{r_{m'}}{b_{cc}}} \right) \quad (11)$$

حيث  $a_{cc}$  و  $b_{cc}$  معاملات ضبط المقياس.

ومن أجل تخفيض الحمل الحسابي، عبر تفادي حساب تابع المنفعة للخلايا غير ذات الصلة، قمنا بتعريف تابع التجاور  $\alpha^{m,m'}$  والذي يحدد مدى تأثير عملية إمالة الهوائي في الخلية المعتبرة  $m'$  على الخلية  $m$  من خلال العلاقة التالية:

$$\alpha^{m,m'} \Big|_{m \neq m'} = \frac{1}{r_{scale}} \left( 1 - \frac{\overline{\Delta RSRP}(m, m')}{\overline{\Delta RSRP}_{th}} \right) \quad (12)$$

حيث تمثل  $\overline{\Delta RSRP}(m, m')$  فرق متوسط RSRP بين الخلية  $m$  و  $m'$  وتمثل  $\overline{\Delta RSRP}_{th}$  عتبة متوسط الفرق. وجرى تعريف التابع  $\alpha^{m,m'}$  بحيث نضمن قدر الإمكان علاقةً خطيةً بين زاوية الميل ومستوى RSRP ضمن الخلايا المجاورة. توضّح [الفقرة 3-6](#) دراسة منحنيات توابع المنفعة في حالة ضبط إمالة الهوائي.

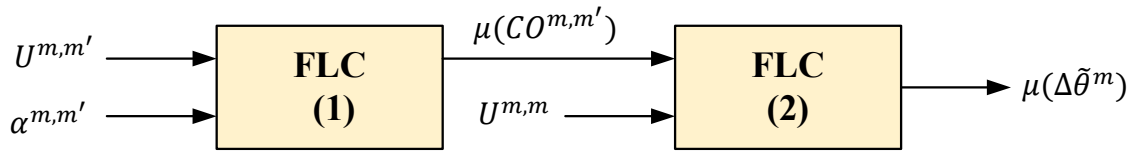
ولأجل تفادي تدهور جودة الخدمة ضمن مركز خلية التعويض، قمنا بتعريف تابع المنفعة التالي:

$$U^{m,m} = \frac{1}{r_{scale} \cdot \mathcal{K}_m} \sum_{\substack{k \\ \forall k \in \mathcal{K}_m}} \beta_{cc}^{m'}(x_k) \cdot N_k^m \quad (13)$$

حيث  $N_k^m$  تمثل مؤشر RSRP وتساوي 1 إذا كان مستوى RSRP عند المستخدم  $k$  أكبر من العتبة  $RSRP_{th}^{cc}$  المعرفة مسبقاً في مركز الخلية.

جرى تنجيز خوارزمية التحكم بميلان الهوائي كوحدة تحكُّم ذات مراحل تُحسبُ بشكلٍ تكراريٍّ iteratively التغيرات في زاوية الميل بناءً على قيم توابع المنفعة والتي تُحسبُ بدورها اعتماداً على قياسات المستخدمين. كما جرى تنجيز كل وحدة تحكُّمٍ مرحليةٍ كمتحكِّمٍ منطقيٍّ عائمٍ FLC (Fuzzy Logic Controller) [167]، وذلك بسبب البساطة والمرونة التي يوفرها هذا النوع من المتحكِّمات في تحديد سلوك المتحكِّم بناءً على مجموعة من القواعد التي تُعرَّف من قبل المشغل مقارنة مع المتحكِّمات التقليدية، والتي تتطلب معرفة النموذج الرياضي بين الدخّل والخرج.

يوضح الشكل 5—4 تنجيز المتحكم المرحلي من أجل كل خلية، حيث يكون خرج المرحلة الأولى  $\mu(CO^{m,m'})$  للدلالة على تجاوز التغطية Cell Overshoot في الخلية  $m'$  والناتج عن إمالة هوائي الخلية المعتبرة  $m$ ، بينما يكون خرج المرحلة الثانية اتجاه خطوة الضبط step direction المقترحة لزاوية الميل  $S^\theta$ .



الشكل 5—4 المخطط الصندوقي لتنجيز متحكم المنطق العائم

نوضح في الجدول 5—2 و الجدول 5—3 خرج كل من المرحلة الأولى والمرحلة الثانية لنظام التحكم العائم على الترتيب. كما نوضح في كل من الشكل 5—6 والشكل 5—5 توابع الدخل والخرج الأعضاء.

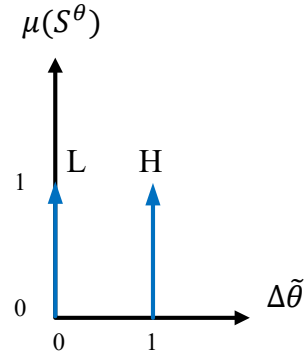
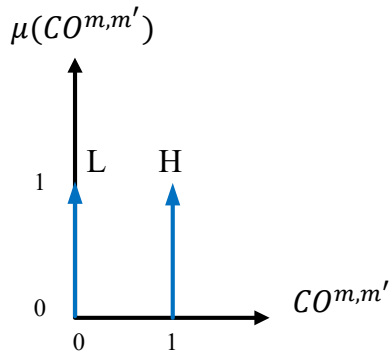
الجدول 5—2 خرج المرحلة الأولى من متحكم المنطق العائم (تجاوز التغطية  $CO^{m,m'}$ )

NO.	$U^{m,m'}$	$\alpha^{m,m'}$	Cell-Overshoot $CO^{m,m'}$
1	Low	Low	Low
2	High	Low	Low
3	Low	High	Low
4	High	High	High

الجدول 5—3 خرج المرحلة الثانية من متحكم المنطق العائم (قيم  $\Delta\hat{\theta}$  المقترحة)

NO.	$CO^{m,m'}$	$U^{m,m}$	Allowed step direction $S^\theta$
1	Low	Low	$+\Delta\hat{\theta}$ increase
2	High	Low	$+\Delta\hat{\theta}$ increase
3	Low	High	$-\Delta\hat{\theta}$ decrease
4	High	High	$+\Delta\hat{\theta}$ increase

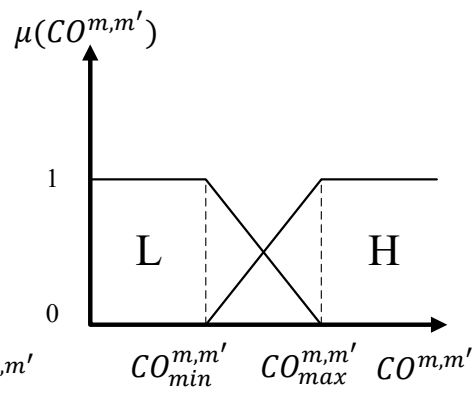
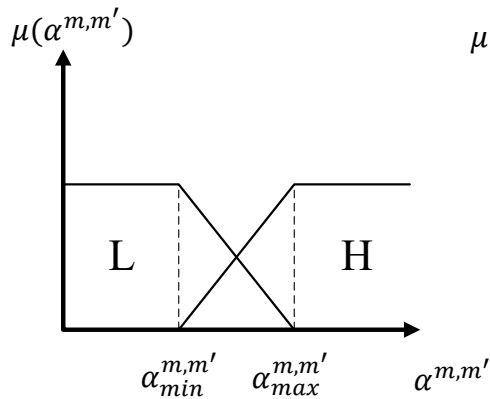
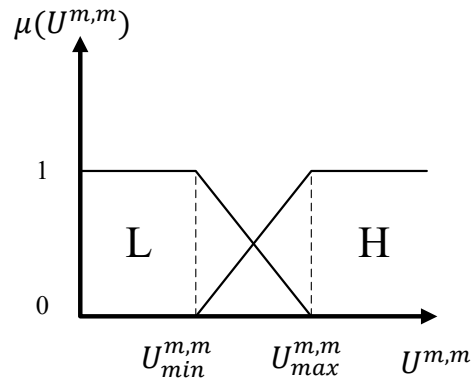
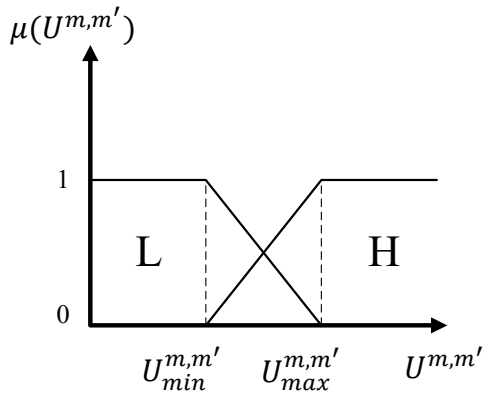




L: Low (low interference), H: High

L: Low (increase  $\hat{\theta}$ ), H: High (decrease  $\hat{\theta}$ )

الشكل 5—5 توابع الخرج الأعضاء



الشكل 6—5 توابع الدخل الأعضاء

نبن أدناه تصميم خوارزمية المنطق التفاعلي الأولي لتنسيق مستنسخات AT-COC:

---

**Algorithm (4): AT-COC pre-action coordination algorithm**


---

**Input:**  $COC(t, m, null, p, \theta^m, S^\pm, |\Delta S|)$  trigger\ protective logic response, Maximum allowed step value  $\Delta\theta_{th}$ , Mutual-effect utility function  $U^{m,m'}$ , Cell RSRP utility function  $U^{m,m}$ , Neighborhood utility function  $\alpha^{m,m'}$ , Instance queue  $Q^l$ .

**Output:** No output

Response [ $COC(t, m, i, p, \theta^m, S^\pm, |\Delta S|)$ ]

**If**  $COC(m) \in HICC$  **then**

**If**  $\mu(S^\theta) = \text{Low}$  &  $|\Delta S| \leq \Delta\theta_{th}$  **then**

$i = Q^l[COC(i)] + 1$ ;      // get the last iteration number

**push**  $COC(t, m, i, p, \theta^m, S^\pm, |\Delta S|) \rightarrow Q^l$ ;      //accept the instance by scheduling it

**reject**  $COC(t, m, null, p, \theta^m, S^\pm, |\Delta S|)$ ;

**end if**

**end if**

**recall** post-action-coordination  $COC(t, m, i, p, \theta^m, S^\pm, |\Delta S|)$ ;

---

كما هو ملاحظ أعلاه، يجري خلال مرحلة التنسيق التفاعلي الأولي تنسيق مستنسخات AT-COC من الاعتماد على المراقبة المستمرة لقيم التوابع (10) و (12) و (13) بعد كل دورة عمل DC من دورات التنفيذ، مع الأخذ بالاعتبار السياسة العليا للمشغل، والتي تترجم إلى المستويات الدنيا من خلال تعريف قيم العتبات ذات الصلة (انظر الجدول 5—3).

## 10-5 تصميم المنطق التفاعلي الأولي بالنسبة لوظيفة التعويض باستخدام الاستطاعة

جرى تصميم خوارزمية تنسيق وظائف TXP-COC بالاعتماد على نظرية الألعاب غير التعاونية NCG (Non-Cooperative Game) حيث يوجد تنافسٌ طبيعيٌّ بين محطات التعويض من أجل تعويض المنطقة الخارجة عن الخدمة. وفي هذه الحالة يتم اعتبار SONFC كوكيل للعبة غير تعاونية NCGA (Non-Cooperative Game Agent) والمحطات المشتركة بعملية التعويض كلاعبين منطقيين logical players ذوي سلوك أناني. ووفق هذا الاعتبار، يسعى كل لاعب لزيادة الربح الخاص به (أي الإنتاجية) دون أي اعتبارات لاستراتيجية باقي اللاعبين. لا تسمح قواعد NCG بأي اتفاقية بين اللاعبين، وبالتالي تعتمد نتائج اللعبة على أداء جميع اللاعبين. ولما كانت الإنتاجية الإجمالية التي جرى فقدها ضمن المنطقة الخارجة عن الخدمة تساوي الإنتاجية المتوقع تعويضها من خلال اللاعبين (محطات التعويض) من جهة، وأن أي ربح لأحد اللاعبين يساوي تماماً الخسارة لبقية اللاعبين، تعتبر هذه اللعبة ذات محصلة صفرية zero-sum NCG. ووفق نظرية الألعاب، يعطى التمثيل الاستراتيجي المتقطع في مجال الزمن لهذه اللعبة بالشكل التالي:

$$G = [\mathcal{N}, \{S^m\}, \{u_c^m\}] \quad (14)$$

حيث يمثّل  $\mathcal{N} = \{1, 2, \dots, N\}$  عدد اللاعبين وهو عبارة عن مجموعة جزئية من المحطات  $\mathcal{N} \subset \mathcal{M}$ ، ويمثّل  $S^m$  فضاء الحالة لكل لاعب ويمثّل  $u_c^m$  تابع الربح الصافي ويعطى بالعلاقة التالية [168]:

$$u_c^m(S^m, S^{-m}) = u^m(S^m, S^{-m}) + c^m(S^m, S^{-m}) \quad (15)$$

حيث يمثّل  $u^m(S^m, S^{-m})$  تابع المنفعة ذو الإدراك المكاني location-aware utility function والذي يقيس الانتاجية الاجمالية ضمن خلية التعويض  $m$  والمولدة من قبل مستخدمى هذه الخلية، ويمثّل  $c^m(S^m, S^{-m})$  تابع الكلفة.

### 5-10-1 صياغة قواعد لعبة التعويض باستخدام الاستطاعة

تعتمد عملية التعويض، بشكل عام، على الموارد المتاحة لخلايا التعويض. وبالتالي، يجب حساب الحمولة المفترض نقلها من المنطقة الخارجة عن التغطية إلى خلايا التعويض قبل البدء باللعبة (عملية التعويض). قبل حدوث العطل، كانت منطقة التأثير المعتبرة تتضمن مجموعة من الخلايا تنقل حمولة إجمالية مساوية إلى  $L_{total}$  حيث لكل خلية حمولتها الخاصة  $l_c(m)$  بحيث:

$$L_{total} = \sum_{\forall m \in \mathcal{M}} l_c(m) \quad (16)$$

حيث تمثّل  $l_c(m)$  حمولة الخلية  $m$  الحالية. وبعد العطل، يمكن تقدير الحمولة الإجمالية المفقودة من قبل مجموعة الخلايا الخارجة عن الخدمة  $\mathcal{M}_o$  وتمثّل بـ  $L_{oos}$ :

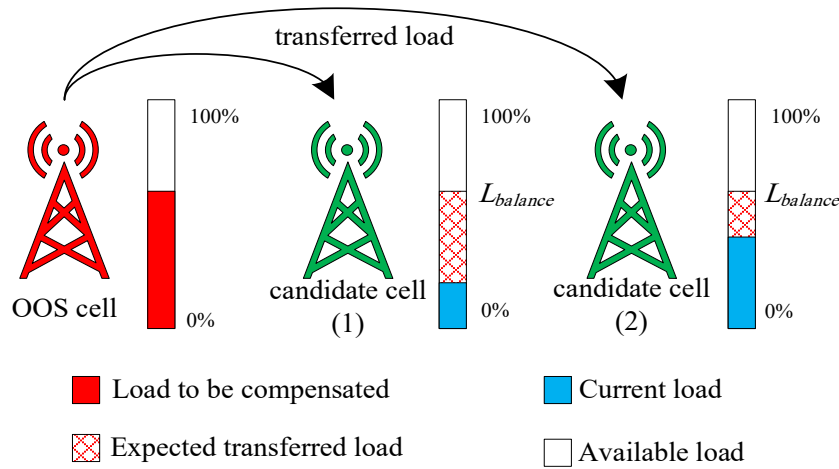
$$L_{oos}(\mathcal{M}_o) = \sum_{\forall m_o \in \mathcal{M}_o} l_o(m_o) \quad (17)$$

حيث تمثّل  $l_o(m_o)$  الحمولة التي كان يجري تحديدها عبر الخلية الخارجة عن الخدمة  $m_o$  قبل العطل. لذلك، يمكن اعتبار أن التعويض الكامل يحصل، من وجهة نظر المشغل، إذا جرى نقل كامل الحمولة المفقودة  $L_{oos}(\mathcal{M}_o)$  من المنطقة الخارجة عن الخدمة إلى خلايا التعويض المجاورة، أي عندما تتساوى الحمولة الاجمالية للشبكة ضمن المنطقة التي أصبحت خارجة عن التغطية بعد التعويض تماماً مع الحمولة الإجمالية لها قبل العطل.

وبهدف ضمان توزيع عادلٍ للحمولة المنقولة على محطات التعويض أثناء عملية التعافي الذاتي كما هو مبين بالشكل 5—7، نفترض أن الحمل المفقود  $L_{OoS}(\mathcal{M}_o)$  يمكن تقسيمها إلى  $N$  جزء مساوٍ إلى عدد محطات التعويض HICC الرئيسية، بحيث يتناسب كل جزء مع الحمل المتاحة  $l_a(m)$  على كل خلية كمايلي:

$$L_{OoS}(\mathcal{M}_o) = l_o(1) + l_o(2) + \dots + l_o(N) = \sum_{\substack{m; \\ \forall m \in \mathcal{M}}} l_o(m) \quad (18)$$

حيث  $l_o(m) \sim l_a(m)$



الشكل 5—7 التوزيع المتساوي لحمولة المنطقة الخرجة عن الخدمة

وبالتالي، يجب على خلية التعويض  $m$ ، والتي لديها حمولة متاحة  $l_a(m)$  أن تعوّض حمولة تتناسب مع الموارد المتاحة لديها وبحيث تكون مساوية لـ  $l_o(m)$ . وتكون الحمولة الاجمالية على خلايا التعويض:

$$L(m) = l_c(m) + l_o(m) ; L(m) \leq L_{max}(m) \quad (19)$$

حيث تمثّل  $L_{max}(m)$  الحمولة الأعظمية المتاحة بالنسبة للخلية  $m$ . وبعد التعويض الكامل، يجب أن تساوي الحمولة الإجمالية ضمن منطقة التأثير:

$$L'_{total} = \sum_{\substack{m \\ \forall m \in \mathcal{M}}} [l_c(m) + l_o(m)] = L_{total} \quad (20)$$

يجري التّوصّل إلى السلوك المثالي للشبكة (بعد التعويض) عند توازن الأحمال على جميع خلايا التعويض أي عندما تتحقّق العلاقة التّالية:

$$L(1) = L(2) = \dots = L(N) = L_b(m) \quad (21)$$

حيث  $L_b(m)$  هو مستوى توازن الحمولة النظري للخلية  $m$ . تعطي العلاقات (19)، (20) و (21)  $N$  معادلة ب  $N$  مجهول بحيث يمكن حساب الحمولة التناسبية  $l_o(m)$  وفقاً لها. وبالتالي، يتحقق شرط نهاية اللعبة عندما يكون  $u^m(S^m, S^{-m}) = L_{OOS}(\mathcal{M}_o)$ .

يحدث توزيع الأدوار وفقاً ل  $L_b(m)$ ، أي عندما تبلغ الحمولة على الخلية  $m$  الحد  $L_b(m)$  خلال عملية التعويض، وعندها يتوقف مؤقتاً مستنسخ TXP-COC العامل عليها من أجل إتاحة الفرصة لباقي خلايا التعويض لتحقيق نفس المستوى من الحمولة بما يحقق توازن الأحمال عبر خلايا التعويض.

وبالنتيجة، عندما تتحقق العلاقات (20) و (21) تتوصل إلى حالة الشبكة المستقرة (بعد التعويض) والتي تمثل الاستراتيجية الصرفة لتوازن ناش (Nash Equilibrium) NaEq. عملياً، لا يمكن تحقيق توازن الأحمال الموافق لاستراتيجية NaEq الصرفة بدقة نتيجة مجموعة من العوامل، منها: ديناميكية الشبكة، ووسط الانتشار، والتوزيع غير المنتظم للمستخدمين. وبالتالي، في حال عدم قدرة أحد خلايا التعويض على تحقيق مستوى الحمل المحدد  $L_b$  على الرغم من بلوغها حد الاستطاعة الأعظمي، يجري إيقاف مستنسخ التعويض على هذه الخلية، في حين يجري متابعة عمل المستنسخات الأخرى على باقي الخلايا (بحال كانت إنتاجيتها لم تبلغ المستوى الأعظمي  $L_{max}$ ) من أجل تحقيق أكبر قدر ممكن من الانتاجية. وعلى أساس إنتاجية الخلايا يجري تحديد أولويات مستنسخات التعويض بحيث يكتسب مستنسخ التعويض العامل على الخلية ذات الانتاجية الأدنى الأولوية الأعلى.

بعد تحقيق الانتاجية الموافقة للاستطاعة العظمى والمحددة بأداء ICI، تتوقف مستنسخات التعويض العاملة على الخلايا HICC، في حين تبدأ مستنسخات التعويض على الخلايا LICC. وقبل البدء بتنفيذ المستنسخات، تجري عملية حساب الحمل الافتراضي من أجل LICC مع الأخذ بالاعتبار الحمل المتبقي للتعويض ومستوى توازن الحمل الجديد.

وكما في نفس الخطوة السابقة، تجري عملية ترتيب أولويات تنفيذ المستنسخات على أساس الحمل المتاح ومستوى توازن الحمل لدى كل خلية. ولما كان زمن التقارب يعدّ عاملاً مهماً ومقداراً حرجاً في تحسين أداء الشبكات الخلوية، إضافة إلى كونه أحد مشاكل نظرية الألعاب، فيجب اتخاذ مجموعة من التدابير لمنع مستنسخات التعويض من الدخول ضمن حلقات لانهاية من التنفيذ. وعلى الرغم من اعتماد طريقة مبسطة مبنية على العدد الأعظمي لدورات التنفيذ المسموح بها ضمن هذا البحث، إلا أن هذه المشكلة يجب أن تعالج بطرائق منهجية في الشبكات العملية.

## 2-10-5 التنسيق القائم على نظرية الألعاب غير التعاونية ذات المحصلة الصفرية

بفرض أن فضاء الحالة  $S^m = \{P^m\}$  يمثل استراتيجية الاستطاعة لكل لاعب في لعبة التعويض القائمة على الاستطاعة، وبالاستفادة من العلاقة (4)، نقوم بتعريف تابع المنفعة  $u^m(P^m, P^{-m})$ ، والذي يمثل قيمة الإنتاجية المعطاة لكل لاعب  $m$  بالنسبة لقيمة  $P^m$  كما يلي:

$$u^m(P^m, P^{-m}) = \sum_{\forall k \in \mathcal{K}_o} \delta_k \cdot \eta(m) = \sum_{\forall k \in \mathcal{K}_o} \delta_k(u) \sum_{\forall r \in \mathcal{R}} b_{k,r}(m) \cdot \eta_{k,r}^m(u) \quad (22)$$

حيث  $\delta_k(u)$  هي معامل المكان ويساوي:

$$\delta_k(u) = \begin{cases} 1 & ; \forall k \in \mathcal{R}_o \\ 0 & ; \text{otherwise} \end{cases}$$

كما نقوم بتعريف تابع الكلفة، والذي يمثل التداخل البيئي ICI بالعلاقة:

$$c^m(P^m, P^{-m}) = \sum_{\substack{m' \neq m \\ \forall m' \in \mathcal{M}}} \sum_k \sum_r \varepsilon_m \cdot G_{k,r}^{m'} \cdot P_{k,r}^{m'} \quad (23)$$

حيث  $\varepsilon_m$  معامل التجاور ويساوي 1 إذا كانت الخلية  $m'$  مجاورة للخلية  $m$  و 0 غير ذلك.

وبالتالي، يمكن صياغة لعبة تعويض الاستطاعة بناءً على هدف اللعبة، والذي يتمثل بزيادة الإنتاجية لمجموعة المستخدمين الخارجين عن التغطية  $\mathcal{K}_o$  ضمن المنطقة  $\mathcal{R}_o$  بالشكل كما يلي:

$$\begin{aligned} & \underset{\mathcal{P}}{\text{maximize}} u_c^m(P^m, P^{-m}); \\ & \forall m \in \mathcal{N} \text{ and } \forall P^m \in \mathcal{P} \end{aligned} \quad (24)$$

**نظرية (1):** بفرض أن الخلية  $m$  تنتمي إلى مجموعة اللاعبين  $\mathcal{N}$  أي  $m \in \mathcal{N}$  وحيث  $\mathcal{N}$  هي جزء من مجموعة الخلايا الكلية التي لا تحتوي الخلايا الخارجة عن الخدمة، أي  $\mathcal{N} \subset \mathcal{M} \setminus \mathcal{M}_o$ ، و  $S^m = \{P^m\}$  هي مجموعة جزئية محدبة غير فارغة من الفضاء الاقليدي  $\mathcal{P}$ ، وأن تابع المنفعة للعبة  $u_c^m(S^m, S^{-m})$  مستمر وشبه مقعر على  $P^m$  فإن نقطة توازن ناش موجودة بالنسبة لهذه اللعبة.

**البرهان:** باعتبار أن فضاء قيم الاستطاعة  $\mathcal{P}$  يتضمن قيماً مستمرة وموجبة ل  $P^m$ ، أي  $\mathcal{P} \subset \mathbb{R}$ ، فإن  $S^m$  وضوحاً هي مجموعة جزئية محدبة متراصة compact من فضاء الحالة. وبالتالي،  $u_c^m$  هي أيضاً مستمرة في  $\mathcal{P}$ . وبعد تعويض (22) و

(23) في (15) يكون المشتق من المرتبة الأولى للعلاقة (15) بالنسبة إلى  $P^m$  كما يلي:

$$\frac{\partial u_c^m}{\partial P^m} = \sum_k \sum_{\forall r \in R} \left( \frac{\delta_k \cdot b_{k,r}(m) \cdot G_{k,r}^m}{\ln 2 \cdot [G_{k,r}^m \cdot P_{k,r}^m + \Gamma(I_{k,r}^{m'} + \sigma^2)]} - \sum_{\substack{m' \neq m \\ \forall m' \in \mathcal{M}}} \varepsilon_m \cdot G_{k,r}^{m'} \right) \quad (25)$$

ويكون المشتق من المرتبة الثانية:

$$\frac{\partial^2 u_c^m}{\partial P^m} = \sum_k \sum_{\forall r \in R} \frac{-\delta_k \cdot b_{k,r}(m) \cdot (G_{k,r}^m)^2}{\ln 2 \cdot [G_{k,r}^m \cdot P_{k,r}^m + \Gamma(I_{k,r}^{m'} + \sigma^2)]^2} \quad (26)$$

ولما كان  $P^m$  موجباً دائماً والمشتق الثاني  $\partial^2 u_c^m / \partial P^m$  سالب فإن  $u_c^m$  مقعر بالنسبة إلى  $P^m$ ، وأيضاً شبه مقعر على فضاء الحالة بالنسبة لـ  $P^m$ . وبناءً عليه، تكون نقطة توازن ناش موجودة. وبالتالي، تكون "استراتيجية أفضل استجابة" وفقاً لطريقة نيوتن كما يلي:

$$\begin{aligned} P^m(i+1) &= P^m(i) \\ &+ \left\{ \sum_k \sum_{\forall r \in R} \left( \frac{\delta_k \cdot b_{k,r}(m) \cdot G_{k,r}^m}{\ln 2 \cdot [G_{k,r}^m \cdot P^m(i) + \Gamma(I_{k,r}^{m'} + \sigma^2)]} \right. \right. \\ &\left. \left. - \sum_{\substack{m' \neq m \\ \forall m' \in \mathcal{M}}} \varepsilon_m \cdot G_{k,r}^{m'} \right) \right\} \\ &\times \left\{ \sum_k \sum_{\forall r \in R} \frac{\delta_k \cdot b_{k,r}(m) \cdot (G_{k,r}^m)^2}{\ln 2 \cdot [G_{k,r}^m \cdot P^m(i) + \Gamma(I_{k,r}^{m'} + \sigma^2)]^2} \right\}^{-1} \end{aligned} \quad (27)$$

يمكن أن تستخدم العلاقة (27) من أجل تحديد مقدار خطوة الضبط  $\Delta p$  التي يمكن تطبيقها من قبل مستنسخ التعويض TXP-COC. وباعتبار أننا نسعى لتحقيق الاستقلال التصميمي للمنسق الذاتي SONFC عن وظيفة التعويض، أي أن SONFC غير معني بحساب قيم المعاملات بالنيابة عن الوظيفة الذاتية نفسها، فقد جرى ترك استخدام العلاقة (27) للأبحاث المستقبلية. لذلك، وبهدف الدقة في الوصول إلى القيم المثلى، جرى اعتماد مقدار خطوة الضبط الأصغرية  $P_{min}^m$ .

**نظرية (2):** اللعبة المفترضة والموصفة بالتابع  $u_c^m(S^m, S^{-m})$  أعلاه بالعلاقة (15) لديها نقطة توازن ناش وحيدة.

البرهان: يتطلب شرط وجود نقطة توازن وحيدة تحقيق ما يلي: الإيجابية  $positivity$  والرتابة  $monotonicity$  وقابلية التوسع  $scalability$ .

الإيجابية: بما أن  $\mathcal{P}$  هي مجموعة جزئية مستمرة من القيم الموجبة للاستطاعة، فإن  $P^m > 0$  محققة دائماً وبالتالي فإن شرط الإيجابية محقق أيضاً.

الرتابة: يمكن كتابة المعادلة (27) بالشكل التالي:

$$P^m(i+1) = P^m(i) + S(P^m(i))$$

إن مقام  $S(P^m(i))$  والذي يساوي إلى (26)، هو تابع متناقص بشكل رتيب لقيم  $P^m$  لأن  $\partial^2 u_c^m / \partial P^m < 0$ . وبالتالي  $S(P^m(i))$  هو تابع متزايد بشكل رتيب بالنسبة إلى  $P^m$  ومنه فالشرط الثاني محقق.

قابلية التوسع: يتحقق هذا الشرط إذا كان لدينا  $\tau \cdot S(P^m(i)) > S(\tau \cdot P^m(i))$  من أجل جميع قيم  $\tau > 1$  و  $\forall P^m > 1$ .

من المعلوم أن  $S(P^m(i))$  يمثل المشتق من الدرجة الثانية لـ  $u_c^m(S^m, S^{-m})$  بالنسبة للاستطاعة أي  $\partial^2 u_c^m / \partial P^m$  كما هو مبين بالعلاقة (25) وبالتالي يمكن إعادة كتابة العلاقة السابقة بعد فرض المتحولات التالية  $A, B, C, D, E, F$  و  $G$ ، بحيث تعرف كما يلي:

$$A = \frac{(\delta_k \cdot b_{k,r}(m) \cdot G_{k,r}^m)^2 \cdot G_{k,r}^m}{\ln 2 \cdot [G_{k,r}^m \cdot P^m(i) + \Gamma(I_{k,r}^{m'} + \sigma^2)] \cdot [G_{k,r}^m \cdot \tau \cdot P^m(i) + \Gamma(I_{k,r}^{m'} + \sigma^2)]}$$

$$B = \frac{(\tau - 1) \cdot \Gamma(I_{k,r}^{m'} + \sigma^2)}{\ln 2 \cdot [G_{k,r}^m \cdot \tau \cdot P^m(i) + \Gamma(I_{k,r}^{m'} + \sigma^2)] \cdot [G_{k,r}^m \cdot P^m(i) + \Gamma(I_{k,r}^{m'} + \sigma^2)]}$$

$$C = \delta_k \cdot b_{k,r}(m) \cdot (G_{k,r}^m)^2$$

$$D = \frac{-\tau(\tau - 1) \cdot [(G_{k,r}^m \cdot P^m(i))^2 + (\Gamma(I_{k,r}^{m'} + \sigma^2))^2]}{\ln 2 \cdot [G_{k,r}^m \cdot \tau \cdot P^m(i) + \Gamma(I_{k,r}^{m'} + \sigma^2)]^2 \cdot [G_{k,r}^m \cdot P^m(i) + \Gamma(I_{k,r}^{m'} + \sigma^2)]^2}$$

$$E = \sum_{\substack{m' \neq m \\ \forall m' \in \mathcal{M}}} \varepsilon_m \cdot G_{k,r}^{m'}$$

$$F = \sum_k \sum_r \frac{\delta_k \cdot b_{k,r}(m) \cdot (G_{k,r}^m)^2}{\ln 2 \cdot [G_{k,r}^m \cdot \tau \cdot P^m(i) + \Gamma(I_{k,r}^{m'} + \sigma^2)]^2}$$

$\forall k \in \mathcal{K} \forall r \in \mathcal{R}$



$$G = \sum_k \sum_{\forall r \in R} \frac{\delta_k \cdot b_{k,r}(m) \cdot (G_{k,r}^m)^2}{\ln 2 \cdot [G_{k,r}^m \cdot P^m(i) + \Gamma(I_{k,r}^{m'} + \sigma^2)]^2}$$

عندها يمكن أن نكتب:

$$\tau \cdot S(P^m(i)) - S(\tau \cdot P^m(i)) = \left[ \sum_k \sum_{\forall r \in R} \left( A \cdot B - C \cdot D \sum_{\substack{m' \neq m \\ \forall m' \in \mathcal{M}}} E \right) \right] \cdot [F \cdot G]^{-1}$$

ومن باعتبار أن  $A > 0$ ،  $B > 0$ ،  $C > 0$ ،  $E > 0$ ،  $F > 0$ ،  $G > 0$  و  $D < 0$ ، فإن العلاقة التالية  $\tau \cdot S(P^m(i)) > S(\tau \cdot P^m(i))$  محققة وشرط قابلية التوسع محقق بالنتيجة. أي أن نقطة التوازن وحيدة.

أما بالنسبة لخوارزمية التنسيق الذاتي، فهي مبينة أدناه:

---

#### Algorithm (5): TXP-COC pre-action coordination algorithm

---

**Input:**  $SONFI(TXP - COC, m, null, p, TXP, S^\pm, |\Delta S|)$  trigger\ protective logic responses, OOS cell(s)  $\mathcal{M}_o$ , Cell TXP value  $TXP^m$ , Max cell TXP  $TXP_{max}^m$  Max cell-throughput  $L_{max}(m)$ , ICI at UE  $I_k^{m,m'}$ , Current cell load  $l_c(m)$ , Available cell load  $l_a(m)$ , Load-balancing target bound  $L_b$ , Instance queue  $Q^l$ .

**Output:** Response [ $SONFI(TXP - COC, m, i, p, TXP, S^\pm, |\Delta S|)$ ]

Response [ $SONFI(t, m, i, p, TXP, S^\pm, |\Delta S|)$ ]

**int** Requested cell  $m_r$ , Cost function  $c^m$ , current OOC area throughput  $L_{oos}$ ,

ICI at cell  $m'$   $I^{m,m'}$ ;

**Vector** Players  $\mathcal{N}$ , Suspended players  $\mathcal{N}_s$ ,

**bool** AT-verification  $AT - COC^m$ ;

*//calculate current network load on impact area*

**if**  $l_c(j) > L_{max}(j)$  *// check the capacity of cell*

**remove**  $j \leftarrow \mathcal{N}$  *// insert select the players*

**reject**  $SONFI(TXP - COC, j)$ ;

**calculate**  $L_b$

**break;** *// deactivate the instance*

**end if**

**for**  $k = 0$  to  $k$  *// calculate load from OOC area;  $k \in \mathcal{R}_o$*

**if**  $k \in \mathcal{R}_o$

$L_{oos} = L_{oos} + l_k$

**end if**

**end for**

**if**  $L_{oos} < l_o(m_o)$  **then** *//  $m_o \in \mathcal{M}_o$  check the compensation objective*

**for**  $j = 0$  to  $m$  *//  $m \in \mathcal{N}$  select the lowest-throughput cell*

**if**  $l_c(j) < l_c(j + 1)$  **then**

$m_r = j$ ;

**end if**

**end for**

---

```

else
  reject SONFI(TXP - COC, m, null, p, TXP, S±, |ΔS|);
  break;
end if
if lc(m) ≥ Lb then // if the cell reaches the balanced load target
  remove j ← N;
  insert j → Ns; // hold the instance temporarily
end if
if SONFI(m) = mr then // if the cell has the lowest throughput
  if S± > 0 then // if the step direction for increase the TXP
    for m' = 0 to m' do
      for k = 0 to k do
        Im,m' = Im,m' + Ikm,m' // calculate cost function
      end for
    end for
    cm = Im,m'
  end if
  if TXPm + |ΔS| ≤ TXPmaxm & cm < cthm then
    //check AT-COC objectives
    AT - COCm = recall AT-COC verification-function (m);
    if AT - COCm = true then
      i = Ql[COC(i)] + 1;
      insert SONFI(TXP - COC, mr, i, p, TXP, S±, |ΔS|);
    else
      reject SONFI(TXP - COC, m, null, p, TXP, S±, |ΔS|);
    end if
  else
    reject SONFI(TXP - COC, m, null, p, TXP, S±, |ΔS|);
  end if
end if
else
  reject SONFI(TXP - COC, m, null, p, TXP, S±, |ΔS|);
end if

```

تعمل الخوارزمية بالشكل التالي: يجري التأكد في البداية من أن الإنتاجية لم تتجاوز الحد الأعظمي  $L_{max}$  للخلية التي أرسل منها المستنسخ المعبر الطلب، وإلا سيرفض لعدم قدرة الخلية على التعويض. بعدها يجري التأكد من أن عملية التعويض لازالت قائمة من خلال تفحص الشرط  $L_{00s} < l_0(m_0)$ . وفي حال أن إنتاجية الخلية المعبرة قد بلغت حد الحمولة المتوازنة  $L_b$  يجري إيقاف مستنسخات التعويض مؤقتاً عليها من خلال نقل الخلية من مجموعة اللاعبين الفعالين  $\mathcal{N}$  إلى مجموعة اللاعبين المتوقفين مؤقتاً  $\mathcal{N}_s$ . كما يجري التأكد من أن الطلب وارد من مستنسخ عامل على الخلية ذات الإنتاجية الأقل من خلايا التعويض وإلا يُرفض طلب المستنسخ المعبر. وفي حال القبول المبدئي، يجري احتساب قيمة التداخل على الخلايا المجاورة، كما يجري تدقيق اتجاه خطوة الضبط، فإذا كان باتجاه الزيادة يجري التحقق من عدم تضارب هدف زيادة الاستطاعة الحالي مع هدف AT-COC من خلال التحقق من أن قيم توابع المنفعة الخاصة بـ AT-COC ضمن الحدود الطبيعية. وفي حال الإيجاب يُجدول المستنسخ المعبر من خلال إضافته إلى نسق المستنسخات التي يجري تنفيذها.

## 5-11 تصميم منطق التنسيق الثانوي

بعد أن تُنقذ مستنسخات التعويض عملها تدخل في طور التحقق، وهنا تبدأ مرحلة التنسيق الثانوي. يعتمد تصميم منطق التنسيق الثانوي في هذا البحث على طريقة إرشادية heuristic بغرض التحقق من تنفيذ مستنسخات التعويض الذاتي. وهنا يجري تعريف مجموعة من القواعد الخاصة بمنطق التنسيق بحيث يقوم المنسق بمطابقة حالة الشبكة مع هذه القواعد، وبناء عليه يتخذ المنسق القرار إما بتأكيد هذه المستنسخات أو برفضها (انظر الفقرة 3-4-2). وباعتبار أن عملية التعويض تجري من خلال وظيفتين (AT-COC و TXP-COC)، ولكل منهما أولوية مختلفة، يجب الحرص على أن لا يقوم أي مستنسخ لوظيفة ذات أولوية منخفضة (مثل TXP-COC) بتنفيذ أي عمل يعاكس أهداف الوظيفة ذات الأولوية الأعلى (أي AT-COC). ولما كان لكل وظيفة أهدافاً محددة ومجموعة من مؤشرات الأداء الموافقة، يصمم لكل وظيفة منطق تحقق خاص بها.

### 5-11-1 تصميم منطق التنسيق التفاعلي الثانوي الخاص بوظيفة تعويض ميلان الهوائي AT-COC

بالاعتماد على قيم توابع المنفعة التي جرى تعريفها سابقاً في الفقرة 5-8 والتي تُحسب بالاعتماد على قياسات RSRP لدى المستخدمين في كلٍ من الخليّة الأصلية والخلايا الجوار، أمكننا بناء منطق التحقق الخاص بمستنسخات AT-COC. وتبين الخوارزمية أدناه تابع التحقق المعتمد ضمن هذا البحث:

---

#### Algorithm (6): AT-COC verification function

---

**Input:**  $SONFI(AT - COC, m, i, p, AT, S^\pm, |\Delta S|)$ , Mutual-effect utility function  $U^{m,m'}$ , cell RSRP utility function  $U^{m,m}$ , Neighborhood utility function  $\alpha^{m,m'}$ , Verification delay  $d_v$ .

**Output:** AT-COC response for iteration  $i$   $AT - COC_i^m$

**bool** AT-COC response  $AT - COC_i^m = \text{true}$ ; // true for acknowledgment  
// false for roll-back

**wait**  $d_v$ ;

**If**  $\mu(U^{m,m}) < 1$  **then**  $AT - COC_i^m = \text{false}$ ; // at cell  $m$

**end if**

**for**  $m' = 0$  **to**  $m'$  **do**

**for**  $k = 0$  **to**  $k$

**if**  $\mu(\alpha^{m,m'}) > 1$

**if**  $\mu(U^{m,m'}) > 1$  **then**  $AT - COC_i^m = \text{false}$ ;

**end if**

**end if**

**end for**

**end for**

**return**  $AT - COC_i^m$ ;

---

تعتمد الخوارزمية تابع التحقق على التأكد من أن قيم توابع المنفعة الخاصة بالتحكم بميلان الهوائي، ضمن المجال المسموح به (انظر الجدول 6—2). كما يجري استدعاء هذه الخوارزمية مع كل دورة من دورات تنفيذ وظائف التعويض الذاتي، سواء كانت مستنسخات AT-COC أو مستنسخات TXP-COC وذلك من أجل التحقق من أن عمليات ضبط الاستطاعة لم تؤدي إلى تصادم، أي لم تجري بشكل يعاكس أهداف AT-COC.

### 2-11-5 تصميم منطق التنسيق التفاعلي الثانوي الخاص بوظيفة تعويض استطاعة الإرسال TXP-COC

يعتمد منطق التحقق الخاص بوظائف TXP-COC، والمنجز من خلال خوارزمية التحقق أدناه، على التأكد من أن زيادة استطاعة الإرسال للخلية المعتبرة لم تساهم في رفع إنتاجيتها إلى المستوى الأعظمي، كما أنها لم ترفع مستوى التداخل البيئي ICI في الخلايا المجاورة إلى مستوى العتبة  $I_{th}^{m,m'}$ . أيضاً يجري التحقق ضمناً من أن تعديل قيمة الاستطاعة لم يجر بشكل يعاكس أهداف AT-COC من خلال استدعاء تابع التحقق الخاص بها بعد كل دورة من دورات الضبط.

#### Algorithm (7): TXP-COC verification function

**Input:**  $SONFI(TXP - COC, m, i, p, TXP, S^{\pm}, |\Delta S|)$ , master cell  $m$ , UE throughput  $l_k$ , Cell TXP value  $TXP^m$ , Max cell-throughput  $L_{max}(m)$ , ICI at UE  $I_k^{m,m'}$ , Max ICI threshold at cell  $m$   $I_{th}^{m,m'}$ , Verification delay  $d_v$ .

**Output:** TXP-COC response for iteration  $i$   $TXP - COC_i^m$

**int** current cell-throughput  $l_c(m)$ , ICI at cell  $m'$   $I^{m,m'}$ ;

**bool** TXP-COC response  $TXP - COC_i^m = \mathbf{true}$ ; // true for acknowledgment

**bool** AT-COC response  $AT - COC_i^m = \mathbf{true}$ ; // false for roll-back

**wait**  $d_v$ ;

$AT - COC_i^m = \mathbf{recall}$  AT-COC verification-function //check AT-COC objectives

**if**  $AT - COC_i^m = \mathbf{true}$  **then**

**for**  $k = 0$  **to**  $k$  // calculate throughput for cell  $m$

$l_c(m) = l_c(m) + l_k$

**end for**

**if**  $l_c(m) < L_{max}(m)$  **then**

**for**  $m' = 0$  **to**  $m'$  **do**

**for**  $k = 0$  **to**  $k$

$I^{m,m'} = I^{m,m'} + I_k^{m,m'}$  // calculate cost function

**end for**

**end for**

**for**  $m' = 0$  **to**  $m'$  **do**

**if**  $I^{m,m'} > I_{th}^{m,m'}$  **then**  $TXP - COC_i^m = \mathbf{false}$ ;

**else**  $TXP - COC_i^m = \mathbf{false}$ ;

**end for**

**else**  $TXP - COC_i^m = \mathbf{false}$ ;

**end if**

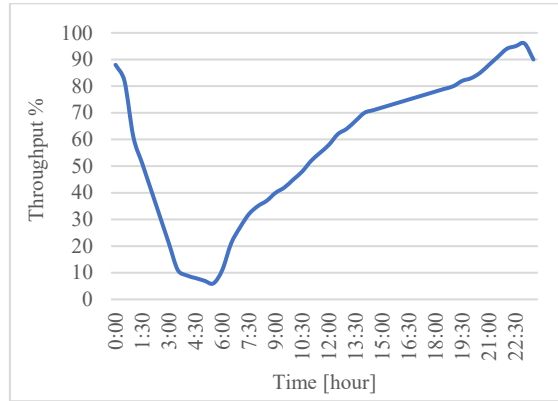
**else recall** AT-COC function;

**end if**

**return**  $TXP - COC_i^m$ ;

## 5-12 تنفيذ اللعبة في ظل التغيرات الديناميكية العملية للشبكة

جرى خلال هذا الفصل تصميم اللعبة لتعمل بعد تثبيت عدد محدد من الشروط مثل معدل البيانات للمستخدمين (بما يحقق ثبات هدف التعويض وشرط المحصلة الصفرية zero-sum للاعبين) وتثبيت حركة المستخدمين (بهدف عزل تغيرات متطلبات التعويض مع الحركة). إلا أن متطلبات الاتصال العملية تفرض تغير الشروط الآتية الذكر. على سبيل المثال، يوضح الشكل 5—8 الإنتاجية العملية لخلية على مدار اليوم، وهي تبدي سلوكاً متشاكهاً على مدار الشهر والسنة. ومنه نلاحظ أن هدف التعويض قد يتغير تبعاً لزمن ومدة التعويض ضمن اليوم الواحد. لذلك، ومن أجل تحقيق إمكانية تطبيق الحل المقترح في البيئات العملية لشبكة الاتصالات الخلوية، فإن المنطق الاستباقي، ومن خلال تحليل البيانات التاريخية للمحطة الهدف، يمكن أن يتوقع احتياجات الخلية، ويعدّل متطلبات التعويض لها في حال خروجها عن الخدمة. وبهدف تبسيط تنفيذ الحل المقترح فإن تنجيز المنطق الاستباقي ترك للأعمال المستقبلية.



الشكل 5—8 الإنتاجية العملية لخلية على مدار اليوم

## 5-13 خلاصة

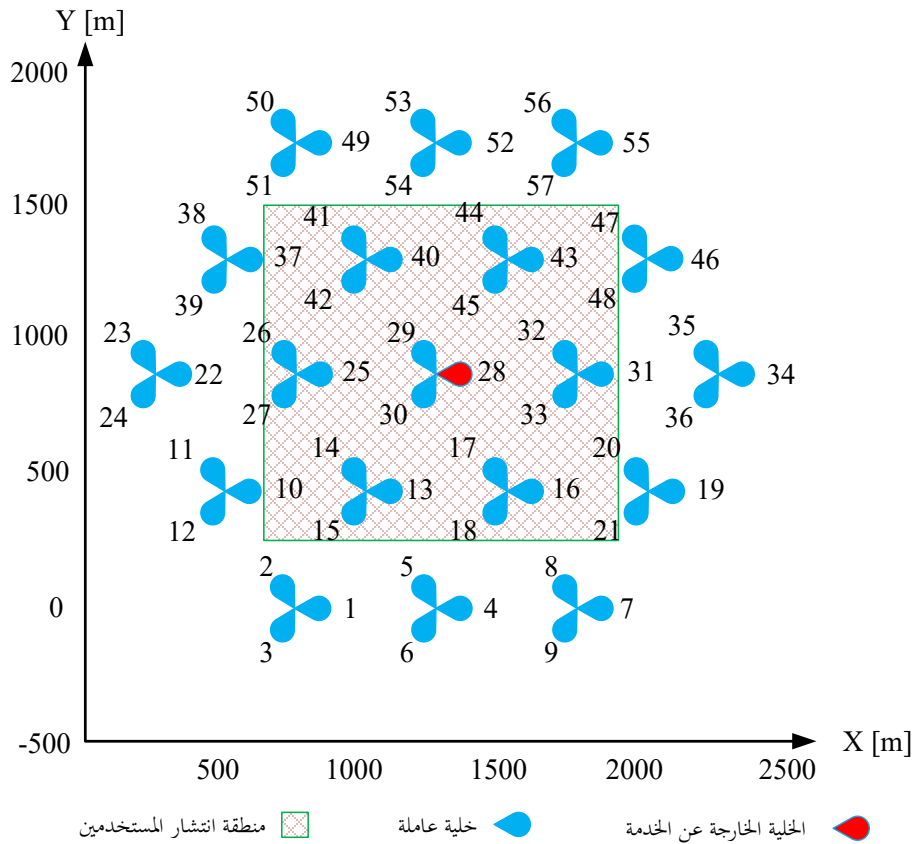
جرى في هذا الفصل تقديم خوارزميات الوظائف الإدارية الذاتية مع التوصيف الرياضي وإطار العمل العام الذي يحدد آلية عمل هذه الوظائف وتفاعلها مع بعضها على الشبكة الخلوية وفق إطار عمل المنسق الذاتي المركزي الذي جرى تقديمه في الفصل الثالث. وبأخذ خصائص ومتطلبات تصميم وظائف التنسيق بالاعتبار، جرى تصميم منطق التحكم الخاص بوظائف AT-COC بناءً على السياسات المنجزة من خلال المنطق العائم وذلك بسبب عدم وجود نموذج رياضي يوصف العلاقة بين ميلان الهوائي والإنتاجية. أما في حالة التعويض من خلال الاستطاعة، فقد جرى الاعتماد على نظرية الألعاب غير التعاونية ذات المحصلة الصفرية من أجل تنسيق وظائف TXP-COC. فيما يتعلق بأداء هذه الوظائف على الشبكة العاملة، فسيجري تقييمه ضمن الفصل التالي.

## 6- المحاكاة والنتائج العملية

يقدم هذا الفصل شرحاً عن بيئة المحاكاة وإعداداتها وقيم معاملات الشبكة الموافقة. وبناءً عليه، جرى تقديم نتائج المحاكاة لعمليات تنسيق تنفيذ مستنسخات وظائف التعويض من خلال ميلان الهوائي AT-COC والتعويض من خلال الاستطاعة TXP-COC بناءً على التصاميم المقترحة في الفصل السابق.

### 1-6 إعدادات بيئة المحاكاة

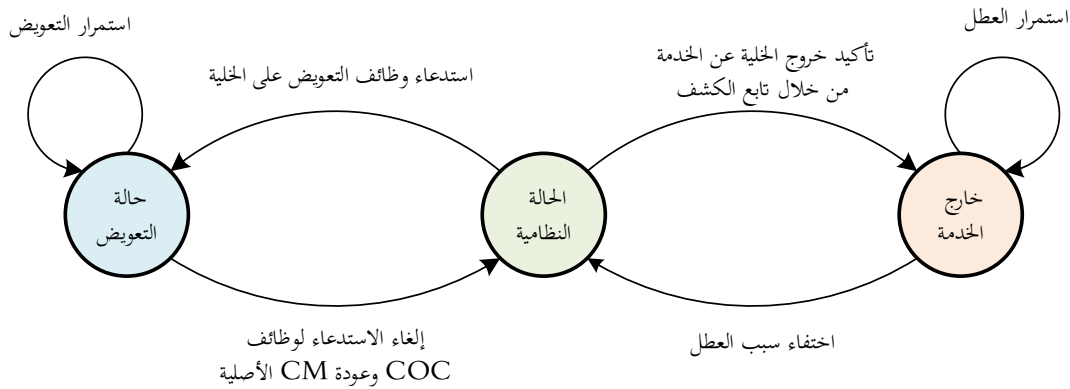
في هذا البحث، جرى اعتماد أداة المحاكاة LENA (LTE/EPC Network simulAtor) والمبنية على المحاكى مفتوح المصدر NS-3 (Network Simulator-3) [169] (انظر الملحق 2). جرى اعتماد التوزيع السداسي المنتظم لخلايا الشبكة في تصميم الطبقة الماكروية والمكونة من 19 محطة ثلاثية الخلايا و 57 خلية (بناءً على النماذج المعيارية للمحاكاة [170])، حيث أن كل خلية تمثل eNB مستقلة كما هو موضح الشكل 6-1.



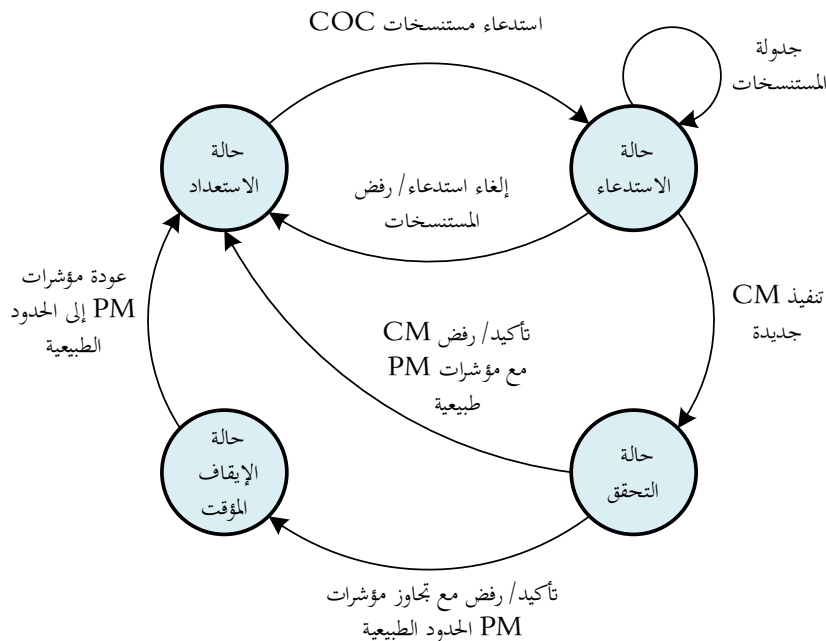
الشكل 6-1 إطار عمل المحاكاة ويضم تخطيط الطبقة الماكروية ومنطقة توزع المستخدمين

كل وحدة نقالة UE لها مكان معروف ضمن الشبكة وهذا يعتبر شرطاً أساسياً للحل المقترح من خلال هذا البحث. ويهدف تمكين محاكاة ميلان الهوائي، جرى اعتماد نموذج الهوائي القطعي ثلاثي الأبعاد 3D parabolic antenna model [164]، كون النماذج المضمّنة بالمحاكي NS-3 لا تدعم ميلان الهوائيات. وباعتبار أن المحاكي لا يدعم نظام الإنذارات، فيجري استدعاء مستنسخات التعويض بناءً على حوادث فشل الوصلة الراديوية RLF وقياسات المستخدمين، والتي تستخدم كدليل على انقطاع الخدمة.

ومن أجل تعريف سياسات خاصة بكل خلية بما يمكن المنطق الوقائي من اتخاذ قرارات فعّالة وسريعة دون اللجوء إلى معالجة ضخمة للبيانات، جرى اعتماد ثلاث حالات للخلية: الحالة نظامية Normal، حالة التعويض Compensation وحالة الخروج عن الخدمة OOS. يبيّن الشكل 6—2 مخطط انتقالات الحالة للخلايا.



الشكل 6—2 مخطط انتقالات الحالة للخلايا



الشكل 6—3 مخطط انتقالات الحالة أثناء عملية الضبط

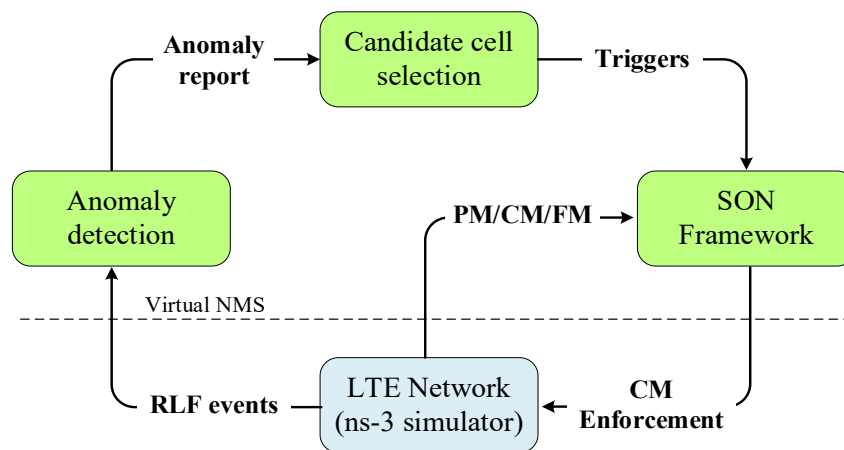
كما جرى تعريف مجموعة من حالات الضبط لقيم معاملات الخلية وفقاً لتسلسل عمليات تنفيذ CM ومؤشرات الأداء PM الموافقة كما يلي:

- حالة الاستعداد Ready: لم يجرِ استدعاء أي مستنسخ على الخلية.
- حالة الاستدعاء Requested: المستنسخ الذي جرى استدعاؤه قيد التنفيذ.
- حالة التَّحْقُق Verification: المعاملات الجديدة التي جرى تطبيقها قيد التَّحْقُق من صحتِّها.
- حالة التوقُّف المؤقت Suspended: لا يُسَمَح باستدعاء أو تنفيذ أي مستنسخ على الخلية.

ويبيِّن الشكل 6—3 مخطط انتقالات الحالة لعملية الضبط بهدف إجراء التعافي عبر الخلية المعتبرة.

بهدف محاكاة عملية تنسيق مستنسخات التَّعْوِيز، يجري دراسة سلوك مستنسخات التَّعْوِيز بعد إيقاف أحد الخلايا ضمن سيناريوين أساسيين. يحاكي السيناريو الأول عملية التَّعْوِيز بدون استخدام التَّسْيِيق الدَّائِي، بينما يجري اعتماد وتنفيذ منسَّقٍ مركزيٍّ في السيناريو الثاني.

جرى تقسيم كل دورة من دورات التَّسْيِيق duty cycle إلى زمن التنفيذ  $t_e = 1[s]$ ، وزمن للتَّحْقُق  $t_v = 4[s]$  (انظر الشكل 4—2). يوضِّح الشكل 6—4 إطار عمل المحاكاة، ويلخص الجدول 6—1 قيم معاملات المحاكاة التي جرى اختيارها وفقاً ل [170]، كما يحدد الجدول 6—2 قيم معاملات توابع المنفعة الخاصَّة بضبط ميلان الهوائي.



الشكل 6—4 إطار عمل المحاكاة



الجدول 6—1 قيم معاملات المحاكاة

Parameter	Value
Carrier frequency / bandwidth	2 [GHz]/ 10 [MHz] (FDD)
Number of RBs	50 [RB]
Path loss model	Okumura-Hata Model
Network topology	Macro layer only
Network Geometry	Hexagonal Grid
Inter-site distance	500 [m]
Number of sites	19 sites with 3 collocated cells
Number of eNBs	57 eNBs
Macro eNB height	32 [m]
eNB transmission power	45 – 50 [dBm]
TXP step value $\Delta p$	$\pm 0.2$ [dBm]
Antenna model [164]	$A_v(\theta) = -\min \left[ 12 \left( \frac{\theta - \theta_{etilt}}{\theta_{3dB}} \right)^2, SL_v \right]$ $\theta_{3dB} = 10 [dB], SL_{A_v} = 20 [dB]$ $\hat{\theta} = 15^\circ - 0^\circ$
Antenna orientation	0°, 120°, 240°
Antenna tilt step value $\Delta \hat{\theta}$	$\pm 1^\circ$
Number of UEs	300
UEs height	1.5 [m]
Mobility model	Stationary
User distribution	Uniform
RSRQ threshold	-20 dBm
UE traffic model	Binomial
Distribution of traffic choices	Uniform random distribution
Scheduling algorithm	Proportional-Fairness
PHY AMC decoding	AmcMirror model

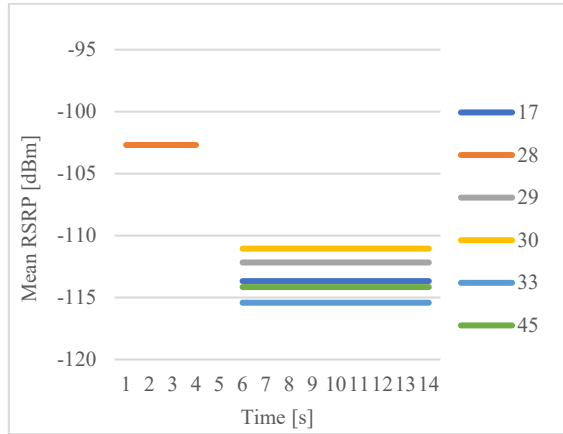
الجدول 6—2 قيم معاملات توابع المنفعة الخاصة بضبط ميلان الهوائي

FLC (1)	$U^{m,m'}$	$\Delta RSRP_{th}^{m,m'} [dBm]$	36	
		$r_{m'}^{cc} [m]$	175	
		$r_{m'} [m]$	250	
		$a_{cc}$	1	
		$b_{cc}$	50	
		$r_{scale}$	0.01	
		$U_{min}^{m,m'} (%)$	55	
		$U_{max}^{m,m'} (%)$	60	
	$\alpha^{m,m'}$	$\overline{\Delta RSRP}_{th} [dBm]$	50	
		$r_{scale}$	0.01	
		$\alpha_{min}^{m,m'} (%)$	60	
		$\alpha_{max}^{m,m'} (%)$	65	
	FLC (2)	$U^{m,m}$	$RSRP_{th}^{cc} [dBm]$	-105
			$r_{scale}$	0.01
$U_{min}^{m,m} (%)$			60	
$U_{max}^{m,m} (%)$			40	
$CO^{m,m'}$		$CO_{min}^{m,m'}$	0	
		$CO_{max}^{m,m'}$	1	

## 2-6 لحظة انقطاع الخدمة

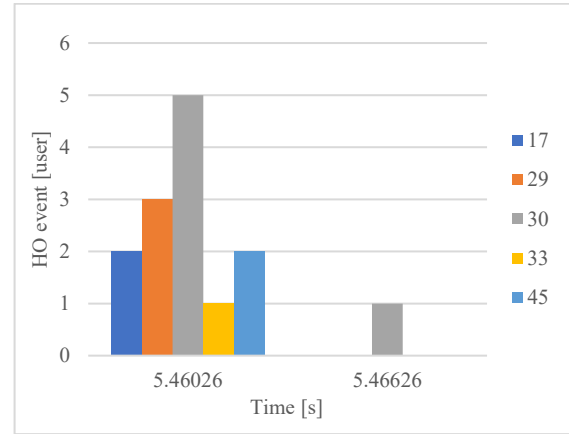
حالمًا يظهر العطل المؤدي إلى انقطاع الخدمة، تمرُّ خلايا الشبكة ضمن منطقة الحدث بحالةٍ عابرةٍ تتمثل بتدهورٍ إجماليٍّ لمؤشرات الأداء. ويمكن أن تختلف مدة الحالة العابرة باختلاف نوع العطل وحالة الشبكة من أجزاء الثانية إلى عدة دقائق. يبين الشكل 6—5 تأثير انقطاع الخدمة للخلية 28 عند الزمن 5 [ثانية] على منطقة الحدث من خلال بعض مؤشرات الأداء ذات الصلة. من خلال الشكل 6—5 أ نلاحظ أداء التسليم HO للمستخدمين لحظة العطل حيث ينتقل كل مستخدمٍ إلى الخلية الأنسب ذات مستوى RSRP الأعلى بالنسبة له (مثلاً، ينتقل 2 من الأجهزة النقلة UE - العمود ذو اللون الأزرق - إلى المحطة 17 عند الزمن 5.46 [ثانية]). ومن خلال الشكل 6—5 ب يمكن رصد تدهور الإشارة المرجعية المستقبلية RSRP من خلال قياسات UEs والتي لازالت مكانياً ضمن المنطقة الخارجة عن التغطية وانتقلت آنفاً للخلايا المجاورة. ويوضح الشكل 6—5 ج الإنتاجية الكلية لخلايا منطقة الحدث حيث يلاحظ عند الزمن 5 [ثانية] تدهوراً في هذه الإنتاجية ناتج عن فقدان الخلية 28.

عندما تكون المسافة بين الخلايا كبيرة (أكبر من 1000 متر) أو عندما يكون عدد المستخدمين كبيراً، يتدهور أداء التسليم بشدة كما تزداد مدة بقاء الحالة العابرة قبل أن تستقر حالة الشبكة (ارتباط المستخدمين بخلايا جديدة، واستقرار مؤشرات الأداء). يجري تحديد خلايا التعويض وفقاً لما ذكر ضمن [الفقرة 3-5](#)، أي أن وظائف AT-COC يجري استدعاؤها على الخلايا HICC فقط في حين تُستدعى وظائف TXP-COC على الخلايا HICC وعلى الخلايا LICC. كما ترتبط هذه الاستدعاءات على الخلايا بأداء تسليم المستخدمين الخارجين عن التغطية والذين أعادوا الارتباط بهذه الخلايا. ووفقاً لذلك، فإن الخلية 32 كما هو مبين الشكل 6-5-ب والتي لم ينتقل لها أي مستخدم من المنطقة الخارجة عن التغطية، تكون خارج عملية التعويض. ومن أجل تفادي تصادم القياسات، والذي يحدث نتيجة القياسات المنتهية الصلّاحية، يجري استدعاء مستنسخات التعويض حالما تستقر حالة الشبكة. ووفقاً لقيم المعاملات الواردة في الجدول 6-1، جرى اتخاذ هامش أمانٍ مساوٍ إلى 10 [ثانية] قبل البدء بعملية التعويض.



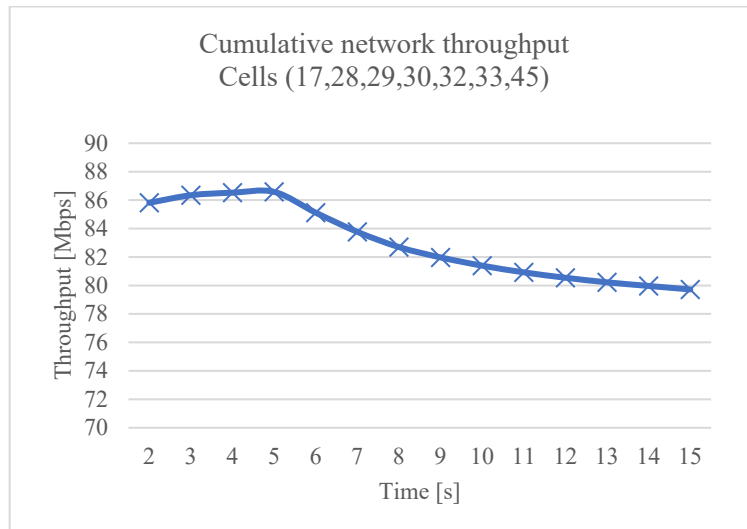
(ب) متوسط استطاعة الإشارة المرجعية المستقبلية RSRP

للمستخدمين الخارجين عن الخدمة



(أ) أداء التسليم HO للمستخدمين الخارجين عن التغطية لحظة انقطاع

الخدمة

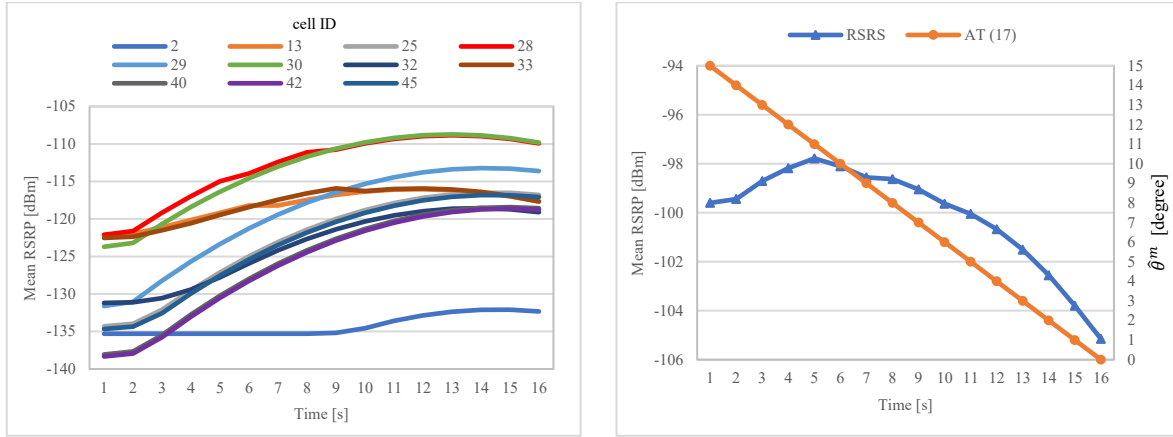


(ج) الإنتاجية الاجمالية في منطقة الحدث

الشكل 6-5 بعض مؤشرات أداء الشبكة لحظة الانقطاع

### 3-6 دراسة أداء RSRP وتابع التجاور $\alpha^{m,m'}$ وفقاً لزاوية الميل

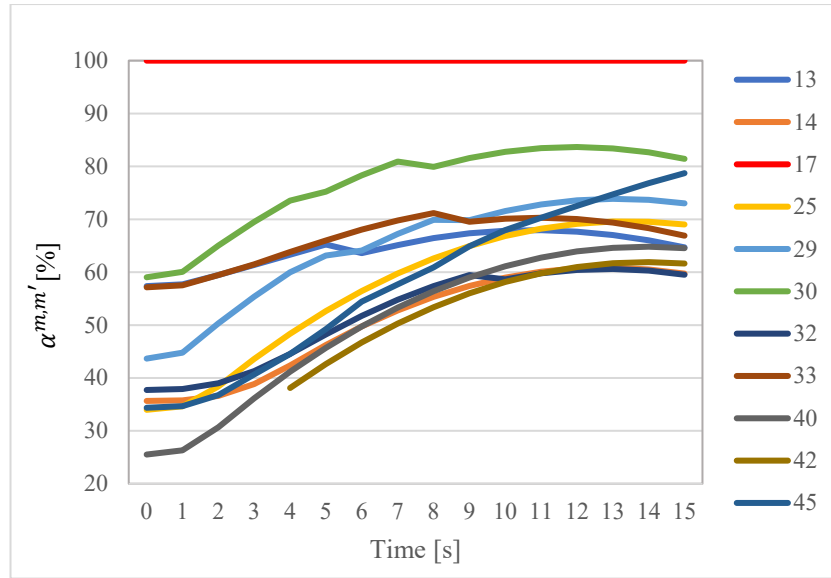
نبين بدايةً أثر إمالة الهوائي للخلية 17 في الحالة النظامية (قبل انقطاع الخدمة) على أداء RSRP في كل من الخلية 17 والخلايا المجاورة. من الشكل 6-6 نجد أن تأثير إنقاص الميل الكهربائي لهوائي الخلية 17 ينتج عنه تناقص في شدة RSRP ضمن الخلية 17، في حين أن ذلك يترافق مع زيادة في التداخل في الخلايا المجاورة، كما هو واضح من الشكل 6-7، نتيجة زيادة شدة RSRP للخلية 17 في الخلايا المجاورة.



الشكل 6-6 أداء RSRP مقابل زاوية الميل للخلية 17  
الشكل 6-7 أداء RSRP للخلايا المجاورة مقال تغيرات الميل في الخلية 17

ويتفاوت تأثير التداخل عند الخلايا المجاورة نتيجة اختلاف اتجاهات هوائياتها ومواقعها. وبالتالي، يمكن توفير الحمل الحسابي عند حساب توابع المنفعة  $U^{m,m'}$  و  $U^{m,m}$  عن طريق استثناء الخلايا التي لم تتأثر بشكل كبير بالتداخل الناتج عن إمالة الهوائي في الخلية 17 من خلال تابع التجاور  $\alpha^{m,m'}$ .

من أجل اختبار أداء منحني تابع التجاور  $\alpha^{m,m'}$  والموصوف بالمعادلة التجريبية (12) والتي وضعت لتعطي دلالة خطية لقيمة الفرق بين متوسطي RSRP لكل من الخلية الأصلية والخلية المجاورة وذلك بالنسبة لقيمة عتبة محدّدة، نسجل قيم  $\alpha^{m,m'}$  وفقاً لتغيرات ميلان الهوائي كما هو موضّح بالشكل 6-8. من الشكل نجد أن أداء التابع  $\alpha^{m,m'}$  مطابقاً لسلوك الميل في الشكل 5-7، حيث يبدي تغيراتٍ شبه خطية بشكلٍ عام (وخاصة ضمن قيم  $\alpha_{min}^{m,m'}$  و  $\alpha_{max}^{m,m'}$ )، أو خطية على المجالات الصغيرة لقيم زاوية الميل قبل الوصول إلى حالة الإشباع، أي الحالة التي لا يعود معها لتغيرات قيم زاوية الميل أي تأثير على التّجاور. ونلاحظ أنه بعد الوصول إلى حالة الإشباع فإن المنحنيات التي كانت متزايدةً خطياً أصبحت متناقصة، وهذا يعود إلى ابتعاد اتجاه الفص الرئيسي للمخطط الإشعاعي للهوائي إلى مسافاتٍ أبعد مع الزيادة الحادة في إنقاص الميل، وبالتالي انخفاض تأثير التداخل على الخلايا المجاورة.



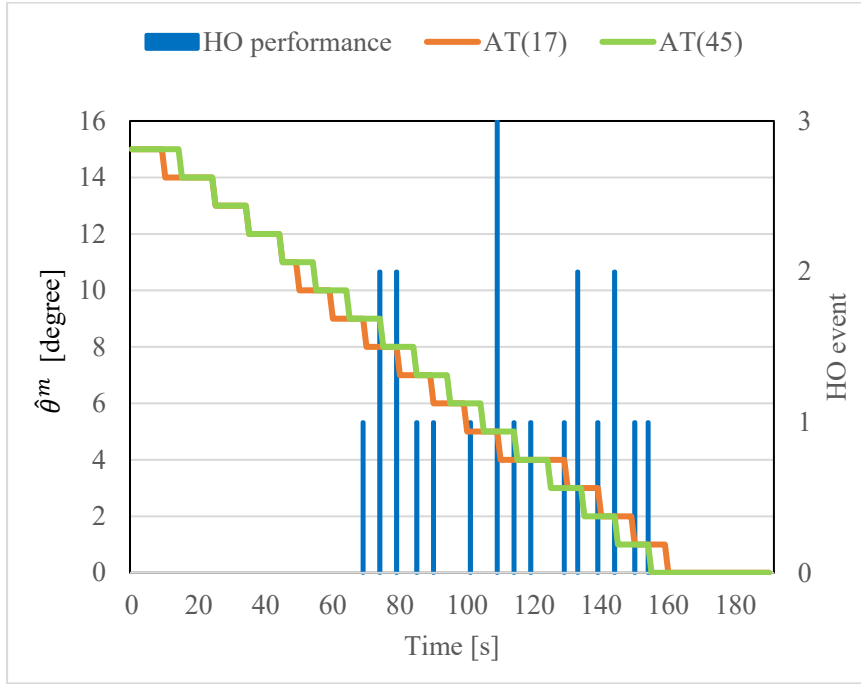
الشكل 6—8 أداء التابع  $\alpha^{m,m'}$  وفقاً لتغيرات زاوية الميل من  $15^\circ$  عند  $t=0$  إلى  $0^\circ$  عند  $t=15$

#### 4-6 عملية التعويض بدون وجود تنسيق بين مستنسخات الوظائف الإدارية

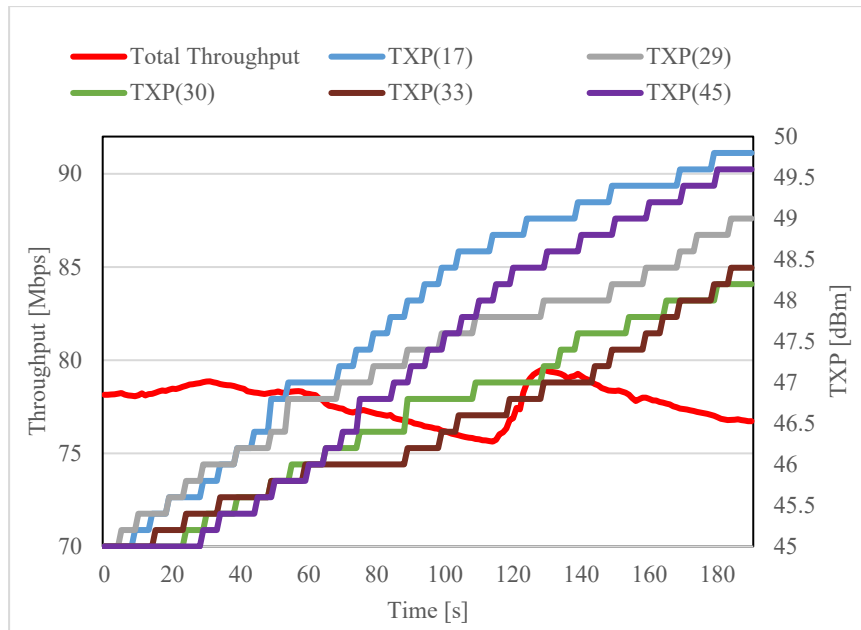
في هذه التجربة، فإن عملية التعويض تجري عبر مجموعة من المستنسخات لوظائف مستقلة ذات سلوكٍ أنانيٍّ دون أيِّ تحكُّمٍ بسلوكها أو تنظيمٍ لأدوار عملها. وعليه يجري استدعاء مستنسخات AT-COC على الخلايا HICC في حين تُستدعى مستنسخات TXP-COC على كل من خلايا HICC و LICC. يبين الشكل 6—9 والشكل 6—10 نتائج هذا النوع التصادمي من التعويض بالنسبة لأداء تعويض التغطية والسعة على الترتيب.

يمكن أن يلاحظ من الشكل 6—9، والذي يمثل سلوك مستنسخات AT-COC من خلال التَّعديل المستمر لمعاملات ميلان الهوائي، أنَّ إنقاص الميل المستمر في الخلية 17 دون وجود أي اعتبارات للتداخل ICI يدفع نموذج التَّغطية الخاص بها إلى التَّغلغل في عمق مناطق التَّغطية للخلايا الأخرى المجاورة، ويحْتُ هذا بدوره الوحدات النقلة للمستخدمين ضمن هذه الخلايا لإعادة الارتباط بالخلية 17 وهذا يبدو واضحاً من خلال أداء التَّسليم وخاصة عند الزاوية 8 فما دون. بالنتيجة، يؤدي ذلك إلى زيادة الضَّغط على الخلية 17، وفي نفس الوقت لن يؤدي إلى تحسُّنٍ في جودة الخدمة لدى هؤلاء المستخدمين البعيدين جداً عنها.

أما بالنسبة لمستنسخات الاستطاعة، والتي تعمل على الزيادة المستمرة في قيم الاستطاعة كما في الشكل 6—10، فإنها تؤدي أيضاً إلى تعيُّر أداء الإنتاجية الإجمالي بشكلٍ سلبيٍّ في منطقة الحدث، على الرغم من وجود بعض فترات التحسن البسيط.

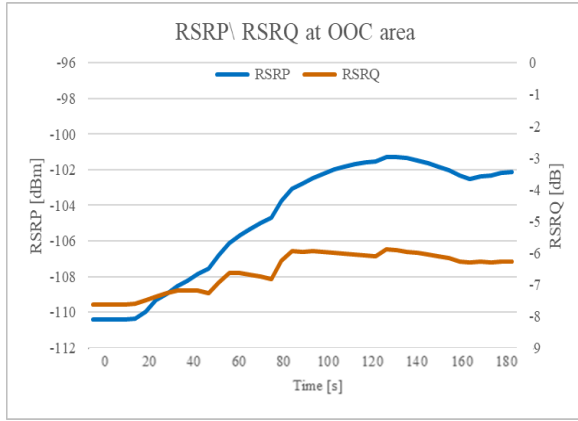


الشكل 6—9 أداء التسليم HO مقابل قيم ميلان الهوائيات أثناء عمل مستنسخات AT-COC

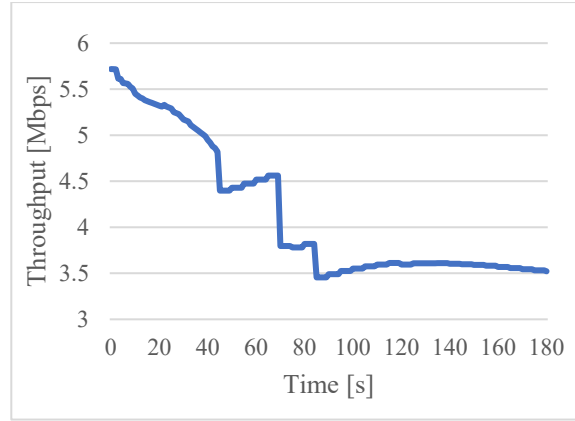


الشكل 6—10 أداء الإنتاجية مقابل قيم معاملات استطاعة الإرسال أثناء عمل مستنسخات TXP-COC

يوضح الشكل 6—11 أداء إنتاجية المستخدمين في المنطقة الخارجة عن الخدمة. ومنه نلاحظ انخفاضاً ملحوظاً بالإنتاجية مع بداية عملية التعويض غير المنسق على الرغم من تحسن أداء RSRP، وهذا يفسر اضطراب سلوك RSRQ الموضح بالشكل 6—12.



الشكل 6—12 أداء RSRP و RSRQ في المنطقة الخارجة عن الخدمة



الشكل 6—11 أداء إنتاجية المستخدمين في المنطقة الخارجة عن الخدمة

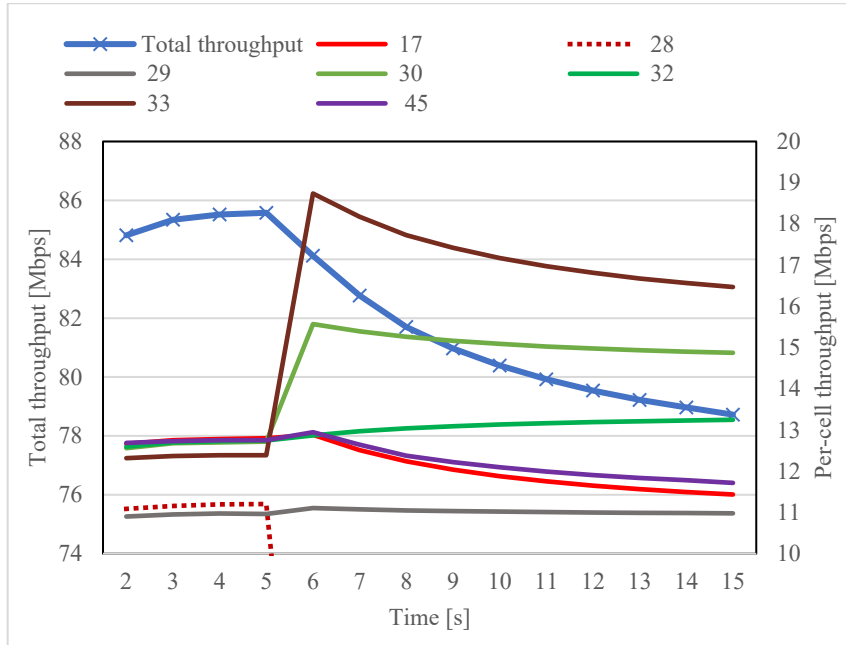
يُعزى عدم استقرار مؤشرات أداء الشبكات إلى الطبيعة الأتانية للوظائف الإدارية والتي تدفع هذه الوظائف لزيادة تابع المنفعة الإفرادي الخاص بكلٍ منها دون أي اعتباراتٍ لأهداف باقي الوظائف. على سبيل المثال، بالنسبة لتعويض التغطية، وما يرافقه من أداءٍ للتسليم (كما في الشكل 6—9)، يدفع الإفراط في إنقاص الميل الـ UEs البعيدة جداً عن الخلية 17 إلى الارتباط بما، وهذه الـ UEs ترسل تقارير لقياسات SINR منخفضة المستوى، وهذا ما يدفع بدوره مستنسخات AT- العاملة على الخلية 17 لإنقاص الميل مجدداً من أجل تأمين نسبة SINR أفضل لـ UEs وهكذا. يؤدي انخفاض SINR بدوره إلى انخفاض الإنتاجية ويدفع أيضاً مستنسخات TXP-COC إلى زيادة الاستطاعة، وبالتالي، نرى أن هذه العملية بمجملها تحاكي حالة التصادمات الناتجة عن ردّ الفعل المتسلسل كما وضّحناه في [الفقرة 2-3](#). وبالنتيجة أدت عملية التعويض إلى تدهورٍ إضافيٍّ في جودة الخدمة نتيجة الضبط التصادمي لمعاملات الشبكة مما يمنعها من الوصول إلى حالة الاستقرار. من المهم ملاحظة أن أي استدعاءٍ مغلوطن لأي وظيفةٍ إداريةٍ بدون وجود تنسيق ذاتي يمكن أن يؤدي إلى تدهور أداءٍ كارثيٍّ على الشبكة.

## 5-6 عملية التعويض بوجود تنسيق بين مستنسخات الوظائف الإدارية

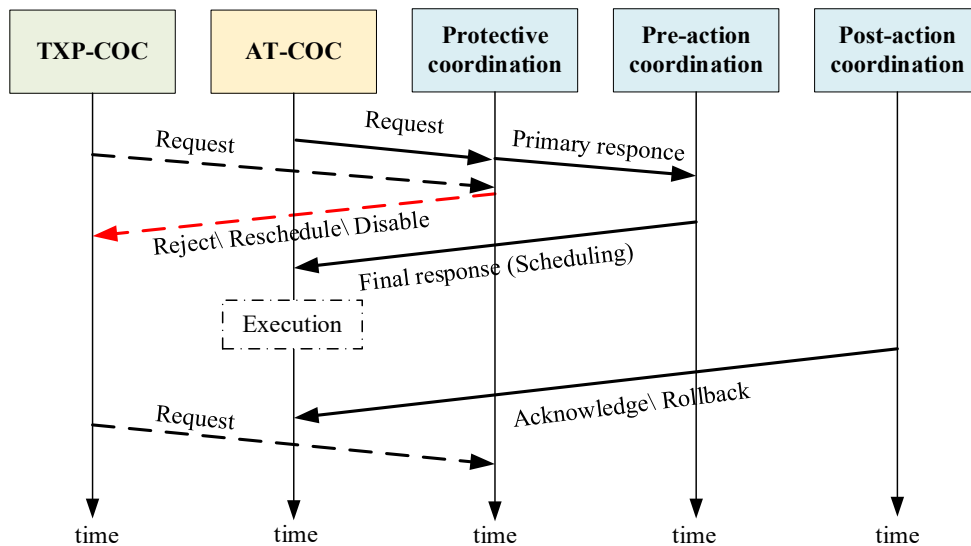
عند اعتماد وحدة خاصة للتنسيق المركزي بين مستنسخات التعويض، يقوم SONFC بتنسيق تنفيذ هذه المستنسخات عبر آلية طلب-استجابة. ولما كانت مستنسخات التنسيق ذات طبيعةٍ أتانيةٍ، فإنها ترسل طلباتها باستمرارٍ إلى SONFC وهو يكون بدوره مسؤولاً عن اتخاذ القرارات التي تضمن التنفيذ الخالي من التصادمات لهذه المستنسخات.

بهدف وضع قواعد التنسيق الصحيحة، يجري رصد حالة الشبكة باستمرار، وعند انقطاع الخدمة يُحدّد هدف التعويض بناءً على حالة الشبكة قبل العطل، كما هو مبين بالشكل 6—13 والذي يوضّح أداء الإنتاجية قبل وأثناء وبعد العطل،

حيث يتم تحديد هدف التعويض  $u^m(S^m, S^{-m}) \cong 11[Mbps]$  باعتبار أن الخلية 28 كانت تحقق هذا المستوى من الانتاجية قبل العطل (قبل الزمن 5 [ثانية]). ونلاحظ من هذا الشكل ارتفاع الانتاجية للخلايا المجاورة (مثل الارتفاع الفجائي الكبير في انتاجية الخلية 33) نتيجة تحملها بشكلٍ آني لأعباء انضمام بعض مستخدمي الخلية 28.



الشكل 6—13 أداء الإنتاجية ضمن منطقة الحدث قبل وبعد انقطاع الخدمة عند الزمن  $t = 5 [s]$

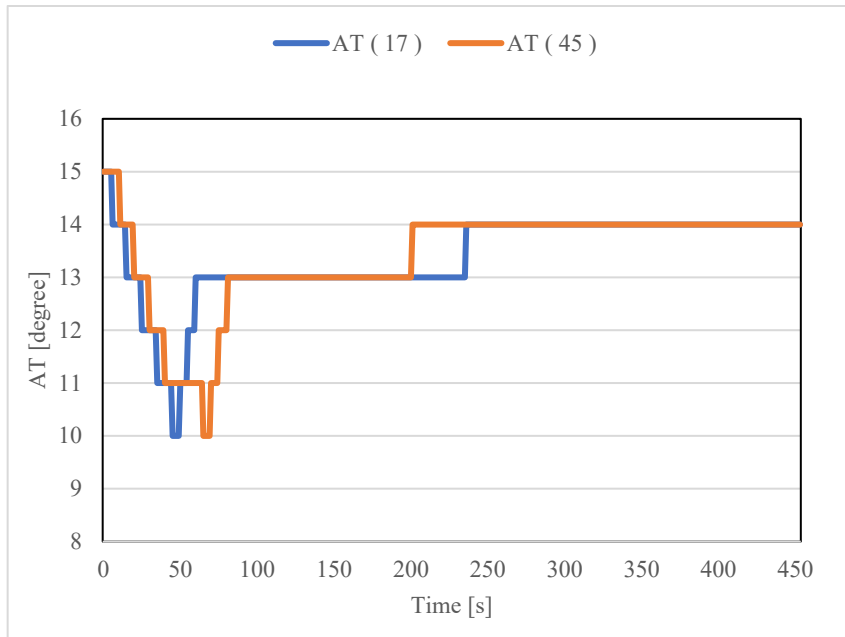


الشكل 6—14 التنسيق باستخدام آلية طلب-استجابة أثناء تعويض التغطية



باعتبار أن مستنسخات AT-COC لديها أولوية أعلى من TXP-COC (بحسب أولويات الوظائف المفروضة عند تصميم المنطق الوقائي كما ورد في [الفقرة 5-8](#))، فيمكن تقسيم مرحلة التعويض إلى مرحلتين أساسيتين.

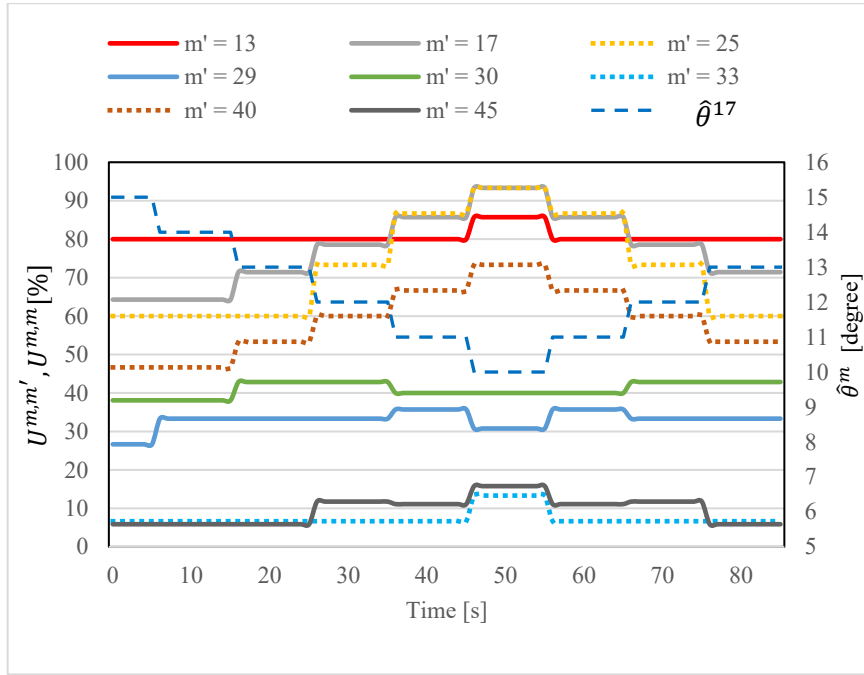
في المرحلة الأولى يجري تعويض التغطية من خلال إعادة بناء نموذج التغطية باستخدام AT-COC التي يجري قبولها، فيما يتم رفض مستنسخات TXP-COC من قبل SONFC. وبالتالي ما لم يصل وضع نموذج التغطية إلى حالته المستقرة، لا يسمح لأي مستنسخ تعويض للاستطاعة بالمباشرة بعمله. يوضح الشكل 6—14 آلية طلب-استجابة في قبول وتنفيذ أحد مستنسخات AT-COC ورفض مستنسخ TXP-COC أثناء تعويض التغطية. من هذا الشكل نلاحظ أن مستنسخات التعويض AT-COC و TXP-COC تُرسل طلباتها دوماً إلى SONFC من أجل السماح لها بالعمل كما تقتضيه طبيعتها الأناية. وهنا فإن SONFC يرد بالشكل المناسب على كل طلب حسب الخيارات المتاحة لكل مرحلة من مراحل التنسيق. لذلك نجد أن مستنسخات AT-COC والتي أعطيت موافقةً مبدئيةً في مرحلة التنسيق الوقائي، يجري جدولتها للتنفيذ، بينما تُرفض مستنسخات TXP-COC.



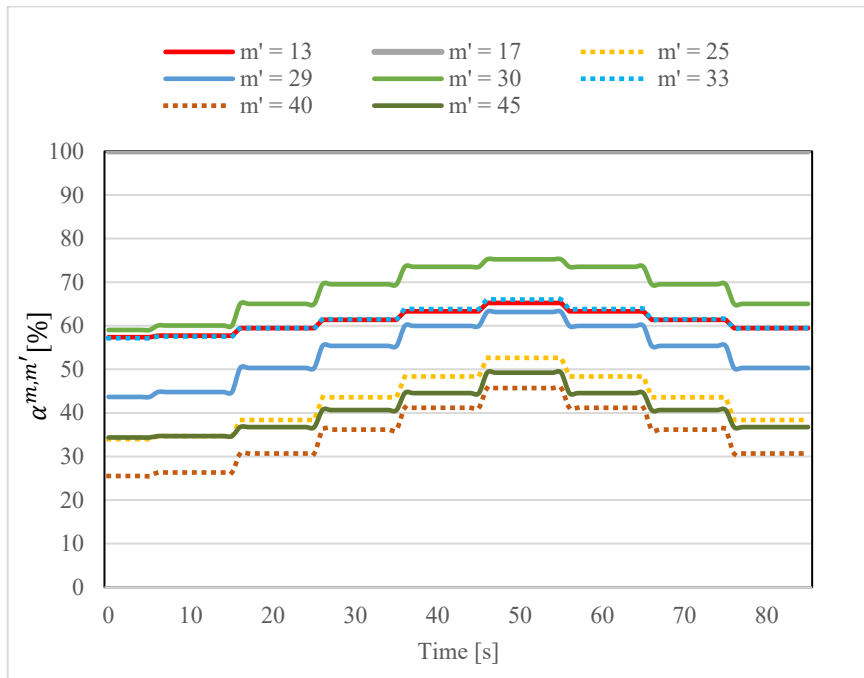
الشكل 6—15 تغيرات ميلان الهوائي أثناء عملية التعويض

يبين الشكل 6—15 تغيرات قيم ميلان الهوائي ضمن الخلايا HICC خلال عملية التعويض إلى حين الوصول إلى الحالة المستقرة. يلاحظ أن وظائف AT-COC العاملة على كل من الخليتين 17 و 45 تجريان عملية خفض زاوية الميل انطلاقاً من القيمة المثالية السابقة  $15^\circ$ ، إلى حين الوصول إلى القيمة  $10^\circ$ . وعند هذه القيمة يتراجع أداء التداخل كما هو مبين بالشكل 6—16 والشكل 6—17 من خلال أداء  $U^{m,m'}$ ،  $U^{m,m}$  و  $\alpha^{m,m'}$  الموافق لهذه التغيرات على الخليّة 17 على الترتيب. أي أن تخفيض AT يستمر مادام  $\alpha^{17,13} < 65$  على الرغم من أن أداء  $U^{17,13}$  يسجل قيم عليا تفوق

$U^{17,13} \cong 80$ . وبعد الزمن  $t=25$  [s]، وعندما تتجاوز قيمة  $\alpha^{17,13}$  العتبة العظمى ( $\alpha^{17,13} > 65$ ) تعتبر حينها الخلية 13 جواراً للخلية 17، وتؤخذ عندها القيمة المرتفعة لـ  $U^{17,13}$  بالاعتبار والتي تدل على المستوى المرتفع من التداخل البيئي ICI. عندها يجري التراجع عن تعديلات AT التي نُقِّدت من قبل المستنسخات الأخيرة إلى أن يعود  $\alpha^{17,13} < 60$  والتي توافق القيمة المثلى  $\hat{\theta}^{17} = 13^\circ$  بناءً على سياسة التعويض المبنية على أساس الجدول 6—2 والجدول 5—3.



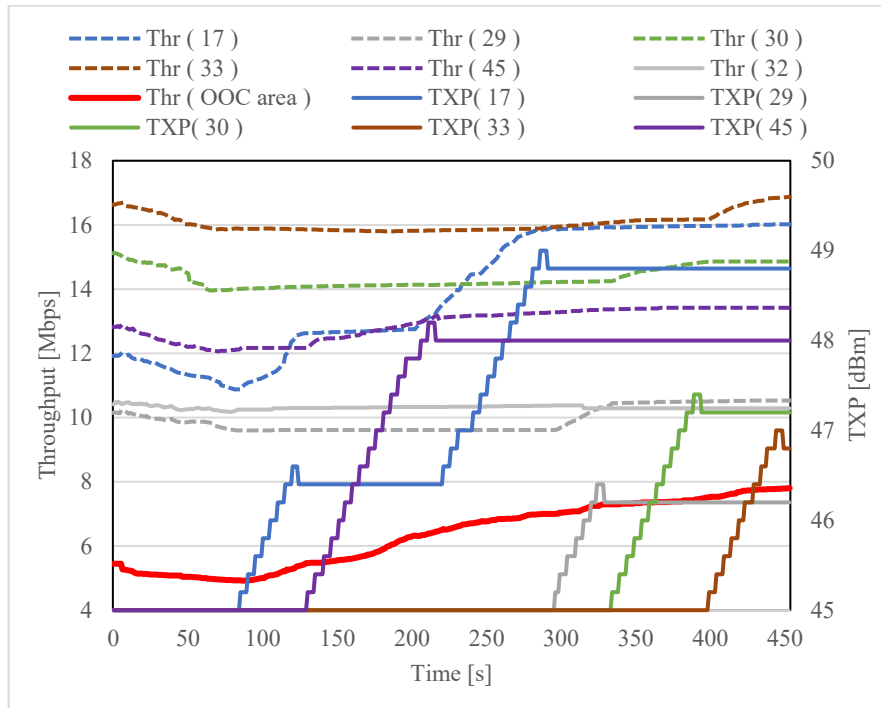
الشكل 6—16 أداء  $U^{m,m}$  و  $U^{m,m'}$  مقابل تغيرات ميل الهوائي حيث  $m = 17$



الشكل 6—17 أداء  $\alpha^{m,m'}$  مقابل تغيرات ميل الهوائي حيث  $m = 17$

في المرحلة الثانية يجري تعويض السعة من خلال مستنسخات تعويض الاستطاعة TXP-COC مع بقاء قيم توابع المنفعة لميلان الهوائيات قيد المراقبة من أجل تفادي التصادمات العائدة إلى الترابط المنطقي بين الوظائف. وفي حال ساهمت مستنسخات TXP-COC بارتفاع مستويات ICI (بناء على قيم توابع المنفعة الخاصة بضبط ميلان الهوائي)، يجري إيقافها مؤقتاً بينما يتم السماح ل/ أو استدعاء مستنسخات AT-COC من أجل استعادة خطوات الضبط الزائدة كما يوضح الشكل 6—15 عملية إعادة ضبط ميلان الهوائي بعد الزمن  $t=200$  [s]. بعدها تعاود مستنسخات TXP-COC عملها من جديد للوصول إلى القيم المثلى لمعاملات الاستطاعة.

تجدول مستنسخات TXP-COC بناء على سياسات NCG المعرفة مسبقاً ضمن الفقرة 5-10-1. ووفقاً لذلك يجري بداية تعويض الاستطاعة على الخلايا HICC بعد أن يُحسب الهدف لمستوى توازن الأحمال عند  $L_b = 16.5$  [Mbps] بناءً على حالة الشبكة التي جرى تسجيلها قبيل العطل (انظر الشكل 6—13).



الشكل 6—18 أداء الإنتاجية لخلايا منطقة الحدث مقابل قيم استطاعة خلاياها

يلاحظ أداء الإنتاجية لخلايا منطقة الحدث مقابل قيم معاملات الاستطاعة لخلاياها من الشكل 6—18. ويمكن ملاحظة أن عملية تعويض الاستطاعة بدأت على الخلية 17 باعتبارها الخلية ذات الإنتاجية الأكثر انخفاضاً. وعندما تبلغ قيمة الإنتاجية مستوى أعلى من الخلية 45 ( $t=25$  [s])، فإن عملية التعويض الخاصة بها تتوقف مؤقتاً بينما تبدأ على الخلية 45. وبزيادة الاستطاعة على الخلية 45 نلاحظ أن أداء الإنتاجية لا يبدي تحسناً يذكر بالمقارنة مع الأداء المقابل

في الخلية 17. وبالتالي يجري زيادة الاستطاعة إلى الحد العملي الأقصى best-effort المحكوم بالعلاقة (15) وتنتهي معه عملية التعويض على هذه الخلية لتعود وتتابع العمل على الخلية 17، سائحة لها بتحقيق الحد العملي الخاص بها. عند انتهاء عملية التعويض على الخلايا HICC، تبدأ مرحلة التعويض على الخلايا LICC لتعويض ما تبقى من الإنتاجية المتبقية وفق الوضع المستجد لمنطقة التأثير. ولما كانت الحمولة المسجلة من المنطقة الخارجة عن الخدمة [Mbps] 7، فإن القيمة الجديدة لمستوى التوازن  $L_b = 14.25[Mbps]$ . يبدأ طور التعويض هذا بزيادة الاستطاعة على الخلية 29. ولما كان أداء الإنتاجية فيها الأقل، ولم يحقق أي تقدم على أداء الخلايا الأخرى، تزداد الاستطاعة على الخلية 29 إلى الحد العملي الأقصى باعتبار أنها لم تُحقق الحد  $L_b$ . وبنفس الطريقة تجري جدولة مستنسخات التعويض على الخلايا 30 و 32 و 33.

بالمقارنة مع سيناريو التعويض بدون وجود تنسيق ذاتي كما جرى توضيحه من خلال الشكل 6—10 والشكل 6—11، نجد أن أداء الإنتاجية بوجود تنسيق ذاتي يبدى تغيرات متزايدة وبشكل مستقر. وتجدد الملاحظة إلى أن زيادة الإنتاجية في خلايا التعويض لا تعني بالضرورة زيادة الإنتاجية من المنطقة الخارجة عن التغطية. يعود سبب ذلك إلى تحسّن مستويات SINR في مركز خلية التعويض، الأمر الذي ينعكس على زيادة إنتاجية المستخدمين الأصليين في مركز الخلية. وبالتالي يُستخدم مستوى إنتاجية المنطقة الخارجة عن التغطية في هذه الحالة كدليل لتنسيق عمليات التعافي الذاتي من أجل الوصول إلى نموذج التغطية التعويضي وفق متطلبات التغطية في هذه المنطقة. يبين الجدول 6—3 ملخص عن عملية التعويض في كلا السيناريوين السابقين (التعويض المنسق والتعويض غير المنسق).

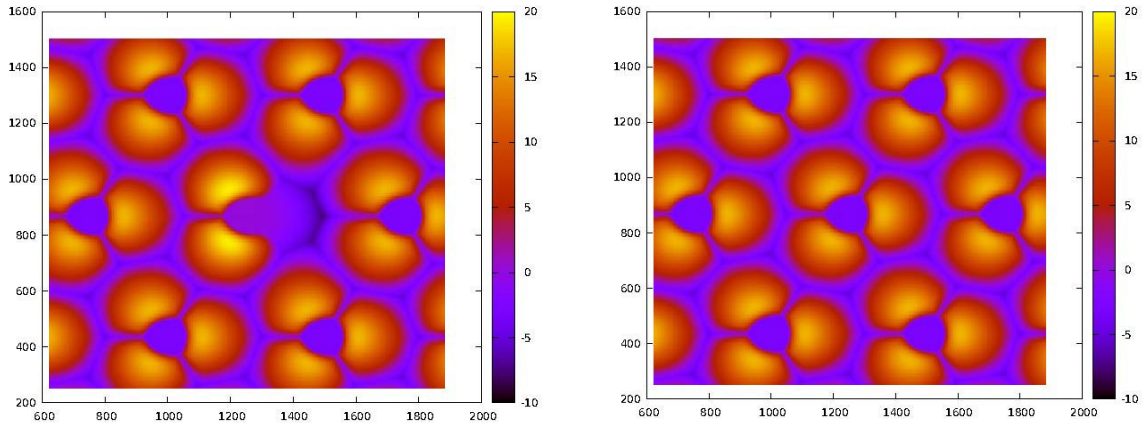
الجدول 6—3 ملخص عن عملية التعويض غير المنسق مقابل التعويض المنسق

سيناريو التعويض	أداء الإنتاجية الإجمالي في المنطقة الخارجة عن الخدمة			
	الحالة النظامية	بعد الخروج عن الخدمة	بعد التعويض	ربح الإنتاجية
التعويض غير المنسق	$\cong 11[Mbps]$ $\cong 100\%$	$\cong 6 [Mbps]$ $\cong 54.5\%$	$\cong 3.5 [Mbps]$ $\cong 31.8\%$	$\cong -22.7\%$
التعويض المنسق	$\cong 11[Mbps]$ $\cong 100\%$	$\cong 6 [Mbps]$ $\cong 54.5\%$	$\cong 8 [Mbps]$ $\cong 73.2\%$	$\cong 18.7\%$

تتجلى أحد المساوئ الأساسية من اعتماد وظائف أحادية الهدف وذات سلوكٍ أنانيٍّ من خلال استمرارية تنفيذ هذه المستنسخات إلى أن يحصل أول تصادمٍ ناتجٍ عن تجاوز القيم المثلى، أي عندما يؤدي تنفيذ هذه المستنسخات إلى تدهور الأداء. يؤدي هذا بدوره إلى زيادة زمن الاستقرار نتيجة الزمن اللازم لعمليات التحقق والاستعادة الموافقة للقيم المثالية. وبالنتيجة، يمكن تحقيق نتائج أفضل من خلال تصميم وظائف ذات إدراكية أعلى للوسط المحيط، كأن تُصمّم وظيفة AT-

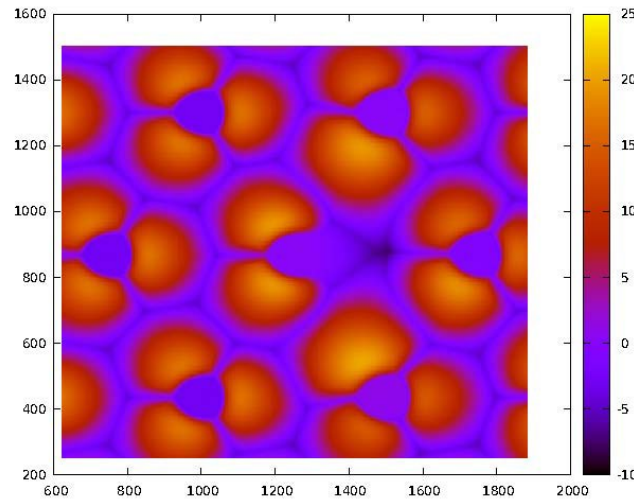
COC بحيث تأخذ بالاعتبار الشرط C2 في العلاقة (6) وبالتالي تتلافى ضم مستخدمين جدد إلى الخلية عندما تعاني من زيادة في الحمولة، أو أن تصمّم الوظائف بخوارزميات استباقية proactive، بما يمكنها من التّخلص من السلوك الأثاني دون الدّخول بتعقيدات التصميم المشترك.

توضّح الخرائط الراديوية في الشكل 6—19 حالات الشّبنة الثلاث (النظامية، انقطاع الخدمة والتّعويض).



(ب) حالة انقطاع الخدمة

(أ) الحالة الطبيعية



(ج) حالة التّعويض

الشكل 6—19 الخرائط الراديوية لحالات الشّبنة الخلوية ضمن منطقة التأثير على ارتفاع 1.5 [متر]

بالمقارنة مع سيناريو التّعويض السّابق، والذي جرى من خلال وظائف مستقلة، استطاع SONFC أن يوائم أهداف هذه الوظائف بنجاح من خلال تنسيق تنفيذ مستنسخاتها بهدف بناء نموذج التّغطية الجّديد، وبنفس الوقت الأخذ بالاعتبار أهداف توازن الأحمال (من خلال جدولة المستنسخات على المحطّات ذات الإنتاجية الأقل) والتّداخل (بما يحول دون زيادة ICI) دون التّطرق إلى لتصاميم المعقدة. كما حقّق الحلّ المقترح ضمناً أهداف تلافي التّصادمات أنياً بين مستنسخات

الوظائف الإدارية من خلال المنطق الاستباقي. إضافة إلى ذلك جرت عمليات حل التصادمات عبر استعادة قيم ضبط المعاملات بالاستعانة بالمنطق التفاعلي التآني للتسيق.

من خلال اعتماد التسيق بالشكل المقترح، فإن مشغل الخدمة بإمكانه تشغيل وظائف التعويض في طورها التجريبي على الشبكة دون الخوف من تدهور الأداء الذي يمكن أن ينتج عن سوء تصميم خوارزميات هذه الوظائف. أي جرى تحقيق الاستقلال بشكل كامل بين تصميم وظائف التعويض ووظيفة التسيق الذاتي. وهذا الاستقلال يحقق مرونة عالية للمشغل تمكنه من إيقاف أو تفعيل أو تطوير بعض خصائص أو ميزات الوظائف الإدارية (عدا وظيفة التسيق) دون إيقاف عمل منظومة SON.

إضافة إلى ما سبق، فإن المنسق التفاعلي المبني على تعلم الآلة المعتمد على نظرية الألعاب، والتي لا تحتاج إلى معطيات للتعلم learning data، أي أن زمن التعلم learning time لها يكون مساوياً للصفر، يمكن SONFC من جدولة مستنسخات TXP-COC أيًا كان عددها مباشرة حتى دون وجود أي معرفة مسبقة عن بيئة الشبكة. كما أن تابع المنفعة الخاص بـ NCG، والذي يأخذ على عاتقه مستوى ICI، يمنع مستنسخات TXP-COC من زيادة الاستطاعة إلى الحد الذي يؤثر على الخلايا الجوار بتداخل مرتفع. وبالمجمل نجد أن الحل حقق استقلالاً عن سيناريو التعويض وطولوجيا الشبكة أيضاً.

إلا أن العامل السلي المهم في NCG هو زمن التقارب، والذي قد يكون لانهائياً ويمنع الشبكة من الوصول لحالة الاستقرار، يمكن معالجته بعدة طرق. على سبيل المثال، كأن يجري إيقاف التعويض (اللعبة) حالما يصل أداء الشبكة إلى حد يقارب الأداء الأمثل المتوقع، أو عندما يتجاوز عدد الدورات DC حداً معيناً. إلا أن الحل يجب أن يُدرس بشكل أوسع عند العمل على الشبكات العاملة، وهذا يعد أحد التحديات المستقبلية.

في الحالة المثالية، يحدد زمن التقارب convergence time الأعظمي للحل المقترح والذي نشير إليه بـ  $T_{cmax}$  بالعلاقة التقريبية التالية:

$$T_{cmax} = \sum_m \sum_f \frac{S_{max}^m - S_{start}^m}{|\Delta S|} \cdot m \cdot f \cdot (t_e + t_v)$$

حيث تمثل  $S_{max}^m$  القيمة العظمى للمعامل المعبر، وتمثل  $S_{optimal}^m$  القيمة التي يبدأ عندها المستنسخ بالعمل، وتمثل  $m$  عدد المحطات المعبرة، وتمثل  $f$  عدد المستنسخات العاملة عليها، ويمثل كل من  $t_e$  و  $t_v$  زمن التنفيذ والتحقق على الترتيب. بالنسبة للسيناريو المقترح، وفي حال حساب زمن تقارب مستنسخات AT-COC، حيث  $m = 2$  و  $f = 1$ ، و

لحد كبير لزمان تقارب AT-COC في المثال الموضح بالشكل 6—15.  $S_{start}^m = 10$  و  $|\Delta S| = 1$ ، و  $t_e = 1[s]$  و  $t_v = 4[s]$ ، فإن  $T_{cmax} \cong 100[s]$  وهو مشابه

أما بالنسبة لزمان تقارب مستنسخات TXP-COC، حيث  $m = 6$  و  $f = 1$  و  $S_{max}^m = 50$  و  $S_{start}^m = 45$ ، و  $|\Delta S| = 0.2$ ، فإن  $T_{cmax} \cong 750[s]$  وهو أقل بقليل من ضعف زمن استقرار مستنسخات TXP-COC في السيناريو المفترض (انظر الشكل 6—18).

وعلى الرغم من عدم وجود أي بحث لتاريخه يعتمد التنسيق المركزي لوظائف التعويض الذاتي بالمنهجية المقترحة والنموذج المقترح خلال هذا البحث، فبإمكاننا مقارنة النتائج التي حصلنا عليها مع الأبحاث ذات الصلة. يبين الجدول 6—4 مقارنة كمية ونوعية مع بعض الأبحاث ذات الصلة.

اعتمد كل من [150] و [155] على البنية المركزية في التنجيز، إلا طريقة التنسيق ضمنية تخضع لإشراف سياسات المشغل. وعلى الرغم من إمكانية تلافي التصادم في الحالات الواضحة، إلا أنها تفشل في الحالات المبهمة ولا تستطيع حل التصادمات، وغالباً ما يكون زمن التقارب لديها كبير.

على الرغم من أن [160] و [161] قد حققت زمن تقارب هو الأصغر، لكن فعلياً فإن هذا النوع من الخوارزميات المستقلة عن نموذج التعويض model-free بحاجة إلى زمن ما للتقارب، وهي غير عملية في حالة التنجيز المركزي. إضافة إلى ذلك، فهي تفشل في حال اختلال الشروط المحيطة أو في حال تغير بيئة الشبكة (مثل زيادة عدد المستخدمين) بشكل كبير. الأمر الأكثر أهمية، أن بناء نموذج التغطية الطارئ أثناء التعويض خلال زمن قصير جداً دون أن يترك زمناً كافياً للتحقق، قد يكون له آثاراً سلبياً على المحطة، وخاصة خلال ساعة الذروة.

ييدي التصميم المقترح من خلال [157] و [156] و [47] سلوكاً متنبأً به من خلال النموذج الرياضي المعتمد على نظرية MOO، بحيث يستطيع تلافي التصادمات أثناء التنفيذ، لكن على حساب تعقيد التصميم. كما لا يستطيع حل التصادمات بشكلٍ منهجيٍّ في حال حدوثها، عدا عن كونها بحاجة إلى زمن تقاربٍ كبير. إضافة إلى ذلك، فإن أي تعديلٍ على خوارزمية تابع التعويض بحاجة إلى إعادة التصميم من البداية، وهذا قد لا يناسب مشغل الخدمة، وخاصة في حال رغب في تفعيل أو تعطيل أو تطوير بعض الميزات أو الخصائص لتابع التعويض.

الجدول 6—4 مقارنة الحل المقترح مع الحلول ذات الصلة

البحث	المستنسخات المضمنة	منهجيات التصميم	البنية	زمن التقارب	تلافي التصادمات	حل التصادمات	قابلية التعديل على تصميم الوظائف دون توقف عمل SON
الحل المقترح	AT-COC TXP-COC	التنسيق المبني على السياسات والتحكم العائم ونظرية الألعاب غير التعاونية ذات المحصلة الصفرية	مركزية	$\cong \sum_m \sum_f \frac{S_{max}^m - S_{start}^m}{ \Delta S } . m . f . (t_e + t_v)$	✓	✓	✓
[150] [155]	AT-COC TXP-COC	التنسيق المحكوم بالسياسات	مركزية	$\cong 700$ [iter]	✓	×	×
[160]	AT-COC TXP-COC	التصميم المشترك عبر تعلم الآلة	موزعة	$\cong 1$ [s]	✓!	×	×
[161]	AT-COC TXP-COC	المعتمد على RL	موزعة	$\cong 30$ [iter]	✓!	×	×
[157]	TXP-COC ICIC	التصميم المشترك من خلال MOO	مركزية	غير محدد	✓	×	×
[156] [47]	CCO, MLB, EE, COC Implicitly achieved by CCO		مركزية	$\cong 2$ [h]	✓	×	×
[171]	CCO ICIC	التصميم المشترك عبر تعلم الآلة	مركزية	$\cong 1600$ [s]	✓!	×	×
[172]	CCO ICIC	المعتمد على Recommender System	موزعة	$\cong 2200$ [s]	✓!	×	×

✓! محققة بشكل جزئي أو لحالات خاصة أو ضمن بيئة محددة



اعتمدت الأبحاث [171] و [172] على تحسين التغطية وتخفيض التداخل ودراسة المقايضة بين أهداف التغطية والسعة عبر التصميم المشترك بواسطة تعلم الآلة المبني على Recommender System. وعلى الرغم من أن Recommender System بحاجة إلى زمن تعلم صغير إلا أنها بحاجة إلى مجهود حسابي كبير والعديد من المدخلات حتى تكون القيم المقترحة أقرب إلى المثالية. كما أن التنجيز المركزي، كما في [171] يعتبر غير عملي على الإطلاق بالنسبة لشبكة خلوية. وعلى الرغم من أن [172] اعتمد طريقة موزعة، إلا أن ذلك ترافق مع تعقيد كبير في التنجيز، وهذا قد يجعله غير مناسب بالنسبة لطبقة الخلايا الصغيرة والتي تعاني بشكل كبير من مشاكل التغطية والتداخل.

## 6-6 خلاصة

قدّم هذا الفصل محاكاة لسلوك وظائف التعويض الذاتي في حالتين أساسيتين، بدون تنسيق ومع وجود المنسق وفقاً للتصميم المعتمد ضمن الفصل الخامس. جرى بدايةً دراسة أداء توابع المنفعة المعرفة مسبقاً في الفصل الخامس، ثم جرت محاكاة عمليات تعويض التغطية بالاعتماد على ميلان الهوائيات والتحكم بها عبر مجموعة من توابع المنفعة هذه، والتي تبقى قيمها قيد المراقبة على كامل فترة التعويض حتى أثناء عمليات تعويض الاستطاعة. كما بينت النتائج أنه وبالاعتماد على مفاهيم نظرية الألعاب غير التعاونية ذات الحصلة الصفرية من أجل تنسيق مستنسخات تعويض الاستطاعة، يمكن للمنسق المركزي جدولة مستنسخات تعويض الاستطاعة بشكل يؤدي إلى تلافي التصادمات بينها. وفي حالة ظهور أي تصادمات ناتجة عن الإفراط في ضبط الاستطاعة، يجري حل التصادم من خلال استعادة المعاملات الأصلية في طور التحقق.

مما سبق، نجد أن اعتماد التنسيق الذاتي بين مستنسخات الاستطاعة مكن من تلافي وحل التصادمات وذلك في أسوأ حالات التصميم والتشغيل لوظائف أنانية وحيدة الهدف وذات مجال رؤياً ضيق عن الشبكة. كما أن التنسيق جرى من دون الحاجة إلى اعتماد تصميمات معقدة للوظائف الإدارية أو لوظيفة التنسيق الذاتي، وحتى دون معرفة مسبقة عن حالة الشبكة. كما مكن اعتماد تصميم خوارزمية التنسيق ضمن هذا البحث المنسق من مراعاة أهداف التعويض (تعويض الإنتاجية) جنباً إلى جنب مع أهداف تقليل التداخل وتوازن الأحمال، والتي كانت تجري من خلال وظائف إدارية ذاتية متفرقة (تخفيض التداخل ICIC وتوازن الأحمال MLB). وأخيراً، باعتماد نموذج التنسيق المقترح وفقاً لإطار العمل الخاص بالمنسق، يمكن تلافي وحل أي تصادم ناتج عن تشغيل لوظائف تعويض في الطور الاختباري على الشبكة العاملة، طالما أن المنسق قادر على التحكم بسلوك هذه الوظائف وحل التصادمات الناتجة عنها.

## 7- الخاتمة والآفاق المستقبلية

تركز مجال عمل هذا البحث على وظيفة التنسيق الذاتي، والذي يعتبر أحد أهم الحقول البحثية في نظام الإدارة الذاتية للشبكات الخلوية SON، بشكل عام وعلى تطبيقاتها في حقل التعافي الذاتي بشكل خاص. وبعد الأخذ بالاعتبار التعقيد الذي رافق مسألة التنسيق الذاتي وعدم قدرة الأبحاث المتفرقة في هذا الحقل على بلورة مفاهيمه بشكل متكامل يلي التطلعات المستقبلية، وخاصة في ظل عدم وجود توصيف معياري لها، كانت المساهمات الأولى على الشكل التالي:

### 1- فيما يتعلق بالجانب النظري العام: أفضت الدراسة التي أجريناها من خلال هذا البحث إلى أول مرجع نظري

متكامل ضمن حقل التنسيق الذاتي وأثمرت عن عدة مساهمات وهي:

- جمع ومناقشة وتوضيح مبادئ التنسيق الذاتي، وهذا ساهم في اقتراح أول تصنيف لطرائق التنسيق الذاتي مع توضيح إمكانيات تنجيز خوارزمياته على الشبكات الخلوية.
- اقتراح أول إطار عمل للتنسيق الذاتي المتكامل وتصنيف المنطق الخاص به إلى منطق وقائي، ومنطق تفاعلي ومنطق استباقي.
- تعريف سبعة أنواع جديدة من أصناف التصادمات والتي يجب أخذها بالاعتبار ضمن أبحاث التنسيق الذاتي في 5G وما بعده، وذلك نظراً لاستنتاج أصناف من التصادمات ضمن مسار هذا البحث لا تندرج ضمن أي نوع من التصادمات المعروفة ضمن الأدبيات ذات الصلة خلال العقد الماضي.

وباعتبار أن أبحاث التنسيق الذاتي قد أهملت العمل في حقل التعافي الذاتي خلال العقد الماضي، جرى توجيه مسار هذا البحث، على ضوء الدراسة المرجعية السابقة، إلى تطبيق تقنيات التنسيق الذاتي في حقل التعافي الذاتي وتحديداً من خلال تنسيق مستنسخات التعويض الذاتي. وكانت على الشكل التالي:

### 2- فيما يتعلق بالجانب الخاص بتنسيق عمليات التعافي الذاتي: جرى ضمن هذه المساهمة بدايةً برهان الحاجة

الأساسية لوظيفة التنسيق الذاتي ضمن حقل التعافي الذاتي. وقد أثمرت هذه المساهمة عن تطبيقين أساسيين لتنسيق مستنسخات التعويض الذاتي:

- تنسيق مستنسخات التعويض المعتمد على ميلان الهوائي: جرى في هذا الشق من المساهمة تعريف مجموعة من توابع المنفعة الحكومة بالسياسات من أجل ضبط ميلان الهوائيات، وتحديدًا جرى التركيز

على حالتين اثنتين وهما حالة تجاوز التغطية، وحالة التغطية السيئة في مركز الخلية. وجرى تنجيز هذه التوابع من خلال المنطق العائم.

- تنسيق مستنسخات التعويض المعتمد على استطاعة الإرسال: وهنا جرى تطبيق مفاهيم نظرية الألعاب غير التعاونية ذات المحصلة الصّفرية لتنسيق مستنسخات تعويض الاستطاعة. حيث جرى برهان تحذّية مسألة تحسين الاستطاعة، ثم صياغة لعبة غير تعاونية عناصرها محطات التعويض المجاورة، حيث تجداول المستنسخات العاملة عليها وفقاً لأداء الإنتاجية ضمن المنطقة الخارجة عن التغطية مع الأخذ بعين الاعتبار إنتاجية كلّ خلية منها.

وترافقت هذه المساهمة مع التعديل على المحاكى NS-3 بهدف تنجيز إطار عمل SON باعتبار أن المحاكى NS-3 غير مصمّم لذلك.

وأظهرت النتائج العملية أن اعتماد التنسيق الذاتي ساهم بتلافي التصادمات بين وظائف التعويض الذاتي في أسوأ حالات تصميمها وتشغيلها، وتلك الحالات هي: الخوارزميات الأناوية وحيدة الهدف ذات مجال المعرفة المحلي والمستدعاة بشكل متزامن.

وعلى ضوء نتائج هذا البحث والتحديات الخاصة بحقل التنسيق الذاتي ككل وتنسيق عمليات التعافي الذاتي بشكل خاص، يجب على الأبحاث المستقبلية أن تأخذ بالاعتبار النقاط التالية:

1- التّركيز على المنطق الاستباقي: إن اعتماد المنطق الاستباقي من قبل خوارزميات وظائف الإدارة الذاتية، وخاصة التنسيق الذاتي، مهمّ جداً ويساهم في تلافي التأخير الزمني الناتج عن تحصيل ومعالجة البيانات الآنية وانتظار ردّة الفعل الموافقة. إلا أن هذا يتطلّب توافر أدوات متقدّمة لتحصيل ومعالجة الكمّ الهائل من البيانات الخاصّة بالشبكة الخلوية. وعلى الرغم من أن البنية الهرمية لنظام 5G توفر المرونة الكبيرة لدمج العديد من التقنيات الخاصّة بذلك مثل SDN، NFV، التقطيع الشبكي Network Slicing والحوسبة متعدّدة الوصول Multi-Access Edge Computing وتحليل البيانات الكبيرة، إلا أن المشكلة الأساسية تبقى في التعامل مع البيانات ذات المصادر المتنوّعة وتحويلها إلى الشّكل المناسب من أجل تطبيق خوارزميات تعلّم الآلة المناسبة عليها.

2- اعتماد التّنجيز الموزع والهجين: جرى ضمن هذا البحث اعتماد التّنجيز المركزي لوحدة التنسيق الذاتي حيث يتطلب ذلك تجميع البيانات من مختلف عناصر الشبكة من أجل معالجتها واتخاذ القرار الموافق. أما في حالة التّنجيز الموزع، يجري اتّخاذ القرار بشكل محلي من قبل العناصر الشبكية. إلا أن أحد أبرز التّحديات لتطبيق هذا النوع من التّنجيز هو الحاجة إلى تعديل البروتوكولات الشبكية في بعض الأحيان وقدرة العنصر الشبكي على تخزين ومعالجة البيانات وخاصة عندما تكون موارد الطّاقة للعنصر محدودة. ومثال على ذلك شبكات UAV

(Unmanned Aircraft Vehicle) المستخدمة في عمليات التغطية. لذلك يُعدُّ تطوير خوارزميات تنسيقٍ تعمل بشكلٍ موزعٍ، مع أخذ التّقاط السّابقة بالاعتبار، من متطلبات الشبكات الحديثة.

3- فيما يخصّ التّعافي الدّاتي: توجد مجموعة من التّحديات منها:

- دراسة تكامل وظائف التّعويض مع الوظائف المرتبطة منطقياً معها مثل MRO و MLB.
- تطوير أدوات تقدير الإنتاجية للوحدات التّقالية، وهذا يسمح بتقدير الإنتاجية ضمن المنطقة الخارجة عن الخدمة، مما يسمح بتلافي الإفراط في تعديل قيم NCPs ثم التّراجع عنها أثناء عمليات التّحقق.
- التّركيز على طبقة الخلايا الصّغيرة كون الأعطال على هذه الطبقة شائعة وكثيرة.
- التّركيز على حالات الخروج الجزئي عن الخدمة.

4- التّركيز على QoE: إن طرائق الضّبط والتّحسين الدّاتي تركز بمجملها على QoS نظراً لإمكانية تكمية وتحصيل مؤشرات الأداء الخاصة بها، إلا أن عمليات الضّبط المبنية على QoS لا تعني بالضرورة تحسّن QoE وهذا يعتبر أحد أهم التّحديات في شبكات الاتصالات الخلوية. وعندما تتوافر إمكانية تكمية وتحصيل مؤشرات الأداء الخاصة بـ QoE ضمن حدود الرّمن المطلوب، يمكن عندها بناء منطق تنسيقٍ ذاتيّ قادرٍ على تحسّن أداء الوظائف الإداريّة الدّاتية بشكلٍ ملموس.

5- توفير بيئات المحاكاة المناسبة: تُعدُّ بيئة المحاكاة الخاصة بالشّبكة الخلوية أحد أهم أدوات تصميم خوارزميات الإدارة الدّاتية وذلك لصعوبة تطبيق الخوارزميات في طور الاختبار على الشبكات الخلوية العاملة. تكمن المشكلة الأساسيّة في محدودية هذه الأدوات وخاصة تلك المفتوحة المصدر وحاجتها إلى موارد حسابية هائلة، نظراً لأن الأدوات الحالية تركز على تنجيز الطبقة الفيزيائية بشكلٍ أساسي وتهمّل عناصر إدارتها.

## الملحق (1) جدول التصادمات المحتملة بين وظائف SON

التصادمات المحتملة بين وظائف SON

Conflicting SONFs		Conflict Type	Output Parameter Conflict	Input Parameter Conflict	KPI Conflict	Logical Dependency Conflict	Measurement Conflict	NTM Conflict	Inter-RAT Conflict	Diagnostic Conflict	Inter-Operator Conflict	Policy Conflict	Verification Conflict	Compatibility Conflict	QoS-QoE conflict
PCI	PCI		x	✓	x	x	✓	✓	✓	x	✓	✓	x	✓	x
New NE (Radio NCPs)	PCI		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	New NE		✓	x	x	✓	✓	✓	x	x	✓	✓	x	✓	✓
ANR	PCI		x	✓	x	x	✓	✓	✓	x	✓	✓	x	✓	x
	New NE		x	x	x	✓	x	x	x	x	x	✓	x	x	x
	ANR		x	✓	x	x	x	✓	x	x	✓	x	x	✓	x
	MLB		x	x	x	✓	x	x	✓	x	✓	✓	✓	✓	x
	MRO		x	x	x	✓	x	x	✓	x	✓	✓	✓	✓	x
	CCO		x	x	x	✓	x	x	✓	x	✓	✓	✓	✓	x
	EE		x	x	x	✓	x	x	✓	x	✓	✓	✓	✓	x
	ICIC\eICIC		x	x	x	✓	x	x	✓	x	✓	✓	✓	✓	x
COC		x	x	x	✓	x	x	✓	x	✓	✓	✓	✓	x	

التصادمات المحتملة بين وظائف SON

Conflicting SONFs		Conflict Type												
		Output Parameter Conflict	Input Parameter Conflict	KPI Conflict	Logical Dependency Conflict	Measurement Conflict	NTM Conflict	Inter-RAT Conflict	Diagnostic Conflict	Inter-Operator Conflict	Policy Conflict	Verification Conflict	Compatibility Conflict	QoS-QoE conflict
HO-based MLB	PCI	x	x	x	✓	✓	x	✓	x	✓	✓	✓	✓	x
	New NE	x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	HO-MLB	x	x	x	x	x	x	✓	x	✓	x	x	✓	x
	MRO	✓	x	x	x	✓	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	CCO	x	x	x	✓	✓	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	EE	x	x	x	✓	✓	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	ICIC\eICIC	x	x	x	✓	✓	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	COC	x	x	x	✓	✓	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Coverage-based MLB	PCI	x	x	x	✓	✓	x	✓	x	✓	✓	✓	✓	✓
	New NE	x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	CB-MLB	x	x	x	x	x	x	✓	x	✓	x	x	✓	x
	MRO	x	x	✓	✓	✓	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	CCO	✓	x	x	x	✓	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	EE	✓	x	x	x	✓	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	ICIC\eICIC	✓	x	x	x	✓	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	COC	✓	x	✓	x	✓	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
MRO	PCI	x	x	x	✓	x	x	✓	x	✓	✓	✓	✓	x
	New NE	x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	MRO	x	x	x	x	x	x	✓	x	✓	x	x	✓	x
	CCO	x	x	x	✓	✓	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	EE	x	x	x	✓	✓	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

التصادمات المحتملة بين وظائف SON

Conflicting SONFs		Conflict Type												
		Output Parameter Conflict	Input Parameter Conflict	KPI Conflict	Logical Dependency Conflict	Measurement Conflict	NTM Conflict	Inter-RAT Conflict	Diagnostic Conflict	Inter-Operator Conflict	Policy Conflict	Verification Conflict	Compatibility Conflict	QoS-QoE conflict
	ICIC\eICIC	x	x	x	✓	✓	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	COC	x	x	x	✓	✓	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
AT/ TXP CCO	PCI	x	x	x	✓	✓	x	✓	x	✓	✓	✓	✓	✓
	New NE	x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	CCO	x	x	x	x	x	x	✓	x	✓	x	x	✓	x
	EE	✓	x	x	x	✓	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	ICIC\eICIC	✓	x	x	x	✓	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	COC	✓	x	✓	x	✓	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
EE	PCI	x	x	x	✓	x	x	✓	x	✓	✓	✓	✓	x
	New NE	x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	EE	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	x	x	✓	x
	ICIC\eICIC	✓	x	x	✓	✓	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	COC	✓	x	x	✓	✓	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
ICIC\ eICIC	PCI	x	x	x	✓	x	x	✓	x	✓	✓	✓	✓	x
	New NE	x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	ICIC\eICIC	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	x	x	✓	x
	COC	x	x	x	✓	✓	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
COC	PCI	x	x	x	✓	✓	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x
	New NE	x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	COC	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	x	x	✓	x

## الملحق (2) المحاكى NS-3

### تعريف برنامج المحاكاة NS-3

يعتبر المحاكى NS-3 الإصدار الثالث والحالي من السلسلة NS (Network Simulator) وهو محاكٍ للشبكات في الزمن المتقطع discrete event network simulators. ويعتمد هذا المحاكى في بناء نماذج المحاكاة على لغتي البرمجة C++ و Python بشكلٍ أساسي [169]. ويتميز المحاكى بما يلي:

- مفتوح المصدر.
  - تنجيزٌ كاملٌ للقنوات الصاعدة والهابطة في الطبقة الفيزيائية في نظام LTE-A.
  - تنجيزٌ كاملٌ لطبقة ربط البيانات.
  - محاكاةٌ ضمنيةٌ لوظيفة الشبكة المركزية EPC.
  - مستخدمٌ على نطاقٍ عالميٍّ لأنه يعتمد التنجيز وفقاً لمعايير 3GPP.
- إلا أن لهذا المحاكى بعض نقاط الضعف مثل:
- عدم وجود واجهات تخطبية مع المستخدم، وإنما يجري العمل من خلال الأوامر السطرية.
  - عملية اكتشاف وتشخيص الأخطاء البرمجية صعبةٌ للغاية، وخاصةً عندما لا يتوصّل المترجم إلى مكان الخطأ البرمجي.
  - بحاجةٌ إلى تحديثٍ مستمر.
  - يعتبر التعديل على المحاكى مهمةً صعبةً بسبب تعقيد وتداخل الأغراض وتوزعها على مجموعةٍ كبيرةٍ من ملفات موارد المحاكى.
  - يحتاج إلى برمجياتٍ مساعدةٍ لرسم المنحنيات والمخططات الإشعاعية.
  - يحتاج إلى برمجياتٍ مساعدةٍ من أجل تحليل البيانات وخاصةً تلك التي تدعم تعلم الآلة.

### بيئة المحاكاة وإطار عمل المحاكاة الموسع

تطلب تنجيز العمل الخاص بهذا البحث باستخدام المحاك NS-3 بناء كتل نظام SON بالكامل بالإضافة إلى مجموعة من التعديلات على بيئة المحاكى مع مجموعةٍ من الإضافات الأخرى، ويمكن تلخيص هذه الإضافات كالتالي:



- تصميم كتل SON بالكامل.
- دمج الملفات المصدرية source files الخاصة بإطار العمل ضمن بيئة NS-3.
- تعديل بعض الصفوف الخاصة بملفات NS-3 المصدرية من أجل تمكين كتلة إطار عمل SON من الوصول إلى الأغراض الخاصة ضمن هذه الصفوف وذلك بهدف بناء الجزء الذي يشكّل الدّخل في حلقات التّغذية الخلفية إلى إطار عمل SON.

---

## المراجع العلمية

---

- [1] Mishra, Ajay R., ed 'Advanced cellular network planning and optimisation: 2G/2.5 G/3G... evolution to 4G 'John Wiley & Sons .2007 ' ،
- [2] Hämäläinen, Seppo, Henning Sanneck, and Cinzia Sartori, eds. 'LTE self-organising networks (SON): network management automation for operational efficiency 'John Wiley & Sons .2012 ' ،
- [3] Prehofer, Christian, and Christian Bettstetter "Self-organization in communication networks: principles and design paradigms " *IEEE Communications magazine* 43.7 ' ، .85-78 :(2005)
- [4] Hapsari, Wuri A., et al "Minimization of drive tests solution in 3GPP " *IEEE Communications Magazine* ، 50.6 المجلد pp. 28-36 .2012 ' ،
- [5] Aliu, Osianoh Glenn, et al "A survey of self organisation in future cellular networks " *IEEE Communications Surveys & Tutorials* ، 15.1 المجلد pp. 336-361 .2013 ' ،
- [6] NGMN Alliance "Next Generation Mobile Networks Beyond HSPA & EVDO " ، December, 2006 .
- [7] NGMN Alliance "NGMN Use Cases related to Self Organising Network, Overall Description, white paper " ، May 2007 .
- [8] NGMN Alliance "NGMN Recommendation on SON and O&M Requirements, requirement specification " ، December 2008 .
- [9] Döttling, Martin, and Ingo Viering "Challenges in mobile network operation: Towards self-optimizing networks 2009" *IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing. IEEE* .2009 ' ،
- [10] Marchetti, Nicola, et al "Self-organizing networks: state-of-the-art, challenges and perspectives " *Communications (COMM), 2010 8th International Conference on. IEEE* .2010 ' ،
- [11] Sallent, Oriol, et al. "A roadmap from UMTS optimization to LTE self-optimization " *IEEE Communications Magazine* ، 49.6 المجلد pp. 172-182 .2011 ' ،
- [12] Marwangi, M. M. S., et al "Challenges and practical implementation of self-organizing networks in LTE/LTE-Advanced systems " *Information Technology and Multimedia (ICIM), 2011 International Conference on. IEEE* .2011 ' ،
- [13] 3GPP R3-071600 "SON use case: HO parameter optimisation ."
- [14] 3GPP R3-071438 "Load balancing SON use case ."
- [15] 3GPP R1-074851 "Uplink inter-cell interference coordination ."
- [16] 3GPP R3-071803 "SON use-case: Self- Optimization for Cell Outage ."
- [17] Mämmelä, Aarne, Jukka Riekkö, and Markku Kiviranta "Loose Coupling: An Invisible Thread in the History of Technology " *IEEE Access* .2023 ' ،
- [18] 3GPP TS 32.522 "Self-Organizing Networks (SON) Policy Network Resource Model (NRM) Integration Reference Point (IRP); Information Service (IS) " ، version 11.4.0 .(12-2012)

- 
- [19] Klaine, Paulo Valente, et al "A survey of machine learning techniques applied to self organizing cellular networks "،*IEEE Communications Surveys and Tutorials* ، المجلد ، 19.4، pp. 2392-2431 .2017 ،
- [20] NGMN Alliance "5G white pape "،February 2015 .
- [21] 3GPP TS 28.313 "Self-Organizing Networks (SON) for 5G networks, V17.0.0, (Release 17) .2020 "،
- [22] Stamatelatos, Gerasimos, Aggeliki Sgora, and Nancy Alonistioti "Intelligent SON Coordination in the 5G-and-beyond era 2022"،*Global Information Infrastructure and Networking Symposium (GIIS). IEEE* .2022 ،
- [23] Imran, Ali, Ahmed Zoha, and Adnan Abu-Dayya. "Challenges in 5G: how to empower SON with big data for enabling 5G "،*IEEE network* 28.6 ،:(2014) pp. 27-33 .2014 ،
- [24] Asghar, Ahmad, Hasan Farooq, and Ali Imran. "Self-Healing in Emerging Cellular Networks: Review, Challenges, and Research Directions "،*IEEE Communications Surveys & Tutorials* ، المجلد 20.3 ، pp. 1682-1709 .2018 ،
- [25] Wang, Ying, et al "A data-driven architecture for personalized QoE management in 5G wireless networks "،*IEEE Wireless Communications* ، المجلد 24.1 ، pp. 102-110 ، .2016
- [26] Agiwal, Mamta, Abhishek Roy, and Navrati Saxena "Next generation 5G wireless networks: A comprehensive survey "،*IEEE Communications Surveys & Tutorials* 18.3 ، ..1655-1617 :(2016)
- [27] Gupta, Akhil, and Rakesh Kumar Jha "A survey of 5G network: Architecture and emerging technologies "،*IEEE access* 3 ، pp. 1206-1232 .2015 ،
- [28] Peng, Mugen, et al "Self-Configuration and Self-Optimization in LTE-Advanced Heterogeneous Networks "،*IEEE Communications Magazine* 51.5 (2013): 36-45 ، .2013
- [29] Lateef, Hafiz Yasar, Ali Imran, and Adnan Abu-Dayya "A framework for classification of Self-Organising network conflicts and coordination algorithms "،*Personal Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC), 2013 IEEE 24th International Symposium on. IEEE* .2013 ،
- [30] Hafiz Yasar Lateef, et al "LTE-advanced self-organizing network conflicts and coordination algorithms "،*IEEE Wireless Communications* ، المجلد 22.3 ، pp. 108-117 ، .2015
- [31] T. Kürner, et al "SOCRATES D5.9: Final report on self-organisation and its implications in wireless access networks, Tech. Rep." 2010.
- [32] Hahn, Sören "SEMAFOUR D6.6: Final report on a unified self-management system for heterogeneous radio access networks" 2015.
- [33] Tsvetkov, Tsvetko, Henning Sanneck, and Georg Carle "An experimental system for SON verification 11 2014"،*th International Symposium on Wireless Communications Systems (ISWCS). IEEE* .2014 ،
- [34] Bandh, Tobias, and Lars Christoph Schmelz "Impact-time concept for SON-Function coordination 2012 "،*International Symposium on Wireless Communication Systems (ISWCS). IEEE* .2012 ،
- [35] Bandh, Tobias, et al "Policy-based coordination and management of SON functions "،*Integrated Network Management (IM), 2011 IFIP/IEEE International Symposium on IEEE* .2011 ،
-

- 
- [36] Mishra, Ajay R. "Fundamentals of cellular network planning and optimisation: 2G/2.5G/3G... evolution to 4G." John Wiley & Sons. 2004.
- [37] T. Bandh. "Coordination of autonomic function execution in Self-Organizing Networks." Phd thesis, Technische Universität München. April 2013. ISBN 3-937201-34-3.
- [38] Tsvetkov, Tsvetko Ivanchev. "Verification of Autonomic Actions in Mobile Communication Networks." Diss. Technische Universität München. 2017.
- [39] Bayazeed, Adnan, Khaldoun khorzom, and Mohamad aljnidi. "A Survey of Self-Coordination in Self-Organizing Network." *Computer Networks (2021): 108222*.
- [40] Zhou, Jun, Yijun Mo, and Bang Wang. "Joint optimization between MLB and MRO based on cell load balance for LTE networks 2013." *International Conference on Wireless Communications & Signal Processing (WCSP). IEEE*. 2013.
- [41] Kephart, Jeffrey O., and David M. Chess. "The vision of autonomic computing." *Computer 36.1 (2003): 41-50*. 2003.
- [42] Schmelz L C, et al. "A Coordination Framework for Self-Organisation in LTE Networks." *Proceedings of the 12th IFIP/IEEE International Symposium of Integrated Network Management (IM)*. pp. 193-200. 2011.
- [43] SOCRATES, D2.4. "Framework for self-organising networks." 2008, www.fp7-socrates.eu.
- [44] Liu, Zhiqiang, et al. "Conflict avoidance between mobility robustness optimization and mobility load balancing." *Global Telecommunications Conference (GLOBECOM 2010), IEEE*. 2010.
- [45] Mu, Pablo, Raquel Barco, and Sergio Fortes. "Conflict resolution between load balancing and handover optimization in LTE networks." *IEEE Communications Letters 18.10 (2014): 1795-1798*. 2014.
- [46] Zakrzewska, Anna, et al. "Cell ID Management in Multi-Vendor and Multi-RAT Heterogeneous Networks." *IEEE Transactions on Network and Service Management 16.2 (2019): 417-429*. 2019.
- [47] Klessig, Henrik, et al. "Improving coverage and load conditions through joint adaptation of antenna tilts and cell selection rules in mobile networks 2012." *International Symposium on Wireless Communication Systems (ISWCS), 2012 International Symposium on. IEEE*. 2012.
- [48] Frenzel, Christoph, et al. "Detection and resolution of ineffective function behavior in self-organizing networks." *Proceeding of IEEE International Symposium on a World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks 2014. IEEE*. 2014.
- [49] Tsvetkov, Tsvetko, et al. "A Steiner tree-based verification approach for handling topology changes in self-organizing networks 12 2016." *th International Conference on Network and Service Management (CNSM). IEEE, 2016*. 2016.
- [50] Gelabert, Xavier, Berna Sayrac, and Sana Ben Jemaa. "A performance evaluation framework for control loop interaction in self organizing networks 2011." *IEEE 22nd International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*. IEEE, 2011.
- [51] Räsänen, Vilho, and Haitao Tang. "Knowledge modeling for conflict detection in self-organized networks." *International Conference on Mobile Networks and Management. Springer, Berlin, Heidelberg*. 2011.
-

- 
- [52] Zia, Nauman, Stephen S. Mwanje, and Andreas Mitschele-Thiel, "A policy based conflict resolution mechanism for MLB and MRO in LTE self-optimizing networks", *Computers and Communication (ISCC), 2014 IEEE Symposium on. IEEE* .2014
- [53] Berger, Sascha, et al. "Joint downlink and uplink tilt-based self-organization of coverage and capacity under sparse system knowledge". *IEEE Transactions on Vehicular Technology* 65.4 : (2016) pp. 2259-2273 .2016
- [54] Ahmed, Furqan, and Olav Tirkkonen, "Self Organized Physical Cell ID Assignment in Multi-operator Heterogeneous Networks 2015". *IEEE 81st Vehicular Technology Conference (VTC Spring). IEEE* .2015
- [55] Lupu, Emil C., and Morris Sloman, "Conflicts in policy-based distributed systems management". *IEEE Transactions on software engineering* 25.6 (1999): 852-869 .1999
- [56] Romeikat, Raphael, Henning Sanneck, and Tobias Bandh, "Efficient, dynamic coordination of request batches in C-SON systems 2013". *IEEE 77th Vehicular Technology Conference (VTC Spring). IEEE* .2013
- [57] Zakrzewska, Anna, et al, "Coordination of SON Functions in Multi-Vendor Femtocell Networks". *IEEE Communications Magazine* 55.7 (2017): 165-171 .2017
- [58] Jaber, Mona, et al, "An adaptive backhaul-aware cell range extension approach 2015". *IEEE International Conference on Communication Workshop (ICCW). IEEE* .2015
- [59] J. Strassner, "Policy-Based Network Management: Solutions for the Next Generation". Elsevier .2003
- [60] FP7, UNIVERSELF project, "Unified Management Framework (UMF) Specifications, Release 3". [www.univerself-project.eu](http://www.univerself-project.eu) 11 November 2013.
- [61] CMCC, "Dependencies among SON use cases and CCO priority". *San Francisco, US, 3GPP TSG RAN WG3 Meeting #64, R3-091032, May 2009. <http://www.3gpp.org>*
- [62] Frenzel, Christoph, "Objective-Driven Operations of Self-Organizing Networks". Diss. University of Augsburg, Germany, 2016..
- [63] Altman, Zwi, et al, "On design principles for self-organizing network functions 2014". *11th International Symposium on Wireless Communications Systems (ISWCS). IEEE* .2014
- [64] Sun, Yaohua, et al, "Application of machine learning in wireless networks: Key techniques and open issues". *IEEE Communications Surveys & Tutorials* 21.4 (2019): 3072-3108 .2019
- [65] Ma, Bo, Weisi Guo, and Jie Zhang, "A Survey of Online Data-Driven Proactive 5G Network Optimisation Using Machine Learning". *IEEE Access* 8 (2020): 35606-35637 .2020
- [66] 3GPP TR 28.861, "New Study on Self-Organizing Networks (SON) for 5G, v.0.2.0". Dec. 2018 .
- [67] Tsvetkov, Tsvetko, et al, "A post-action verification approach for automatic configuration parameter changes in self-organizing networks". *International Conference on Mobile Networks and Management. Springer, Cham* .2014
- [68] Lohmüller, Simon, "Cognitive Self-Organizing Network Management for Automated Configuration of Self-Optimization SON Functions". Diss. Universität Augsburg, 2019..
-

- 
- [69] Tsvetkov, Tsvetko, et al, "A configuration management assessment method for SON verification" *11 2014 th International Symposium on Wireless Communications Systems (ISWCS). IEEE* .2014 ,
- [70] Tsvetkov, Tsvetko, et al "Verification of Configuration Management Changes in Self-Organizing Networks " *IEEE Trans. Network and Service Management 13.4* , pp. 885-898 .2016 ,
- [71] 3GPP TS 32.500 "Self-Organising Networks (SON): Concepts and requirements " *(Release 8) V0.3.1 .(07-2008)*
- [72] 3GPP, TS 32.101 "Technical Specification Group Services and System Aspects, Telecommunication Management " *Principles and High Level Requirements, ver.10.0.0., Release 10 ..*
- [73] Movahedi, Zeinab, et al "A Survey of Autonomic Network Architectures and Evaluation Criteria " *IEEE Communications Surveys & Tutorials 14.2 (2011): 464-490* .2011 ,
- [74] Østerbø, Olav, and Ole Grøndalen "Benefits of self-organizing networks (SON) for mobile operators " *Journal of Computer Networks and Communications* .2012 ,
- [75] Berger, Sascha, et al "Comparing online and offline SON solutions for concurrent capacity and coverage optimization 2014 " *IEEE 80th Vehicular Technology Conference (VTC2014-Fall)* ,IEEE. 2014 .
- [76] 3GPP, TS 36.423 "X2 Application Protocol" June 2011.
- [77] Sanneck, Henning, Yves Bouwen, and Eddy Troch "Dynamic Radio Configuration of Self-Organizing Base Stations" *7 2010 th International Symposium on Wireless Communication Systems. IEEE* .2010 ,
- [78] Lohmüller, Simon, Lars Christoph Schmelz, and Sören Hahn "Adaptive SON management using KPI measurements " *NOMS 2016-2016 IEEE/IFIP Network Operations and Management Symposium. IEEE* .2016 ,
- [79] "FP7 SOCRATES (Self-Optimisation and self-ConfiguRATion in wirelEss networkS) project .[متصل]" ,Available: <http://www.fp7-socrates.eu/>
- [80] "FP7 UniverSelf project .[متصل]" ,Available: <http://www.univerself-project.eu>.
- [81] "FP7 SEMAFour (Self-Management for Unified Heterogeneous Radio Access Networks) .[متصل]" ,Available: <http://www.fp7-semafour.eu>.
- [82] Tall, Abdoulaye, et al "Distributed coordination of self-organizing mechanisms in communication networks " *IEEE transactions on control of network systems 1.4* ,pp. 328-337 .2014 ,
- [83] Romeikat, Raphael, et al "Policy-driven Workflows for Mobile Network Management Automation " *Proceedings of the 6th International Wireless Communications and Mobile Computing Conference. ACM* .2010 ,
- [84] Jansen, Thomas, et al "Embedding multiple self-organisation functionalities in future radio access networks " *Vehicular Technology Conference, 2009. VTC Spring 2009. IEEE 69th. IEEE* .2009 ,
- [85] I. Karla "Resolving son interactions via self-learning prediction in cellular wireless networks " *Wireless Communications, Networking and Mobile Computing (WiCOM), 2012 8th International Conference on. IEEE* .2012 ,
- [86] Tsagkaris, Kostas, et al "SON coordination in a unified management framework " *2013 IEEE 77th Vehicular Technology Conference (VTC Spring). IEEE* .2013 ,
-

- 
- [87] Frenzel, Christoph, Henning Sanneck, and Bernhard Bauer "Rational Policy System for Network Management 2013 " *IFIP/IEEE International Symposium on Integrated Network Management (IM 2013)* . IEEE, 2013 .
- [88] Bandh, Tobias, Henning Sanneck, and Raphael Romeikat. "An experimental system for son function coordination " *. Vehicular Technology Conference (VTC Spring), 2011 IEEE 73rd. IEEE .2011* .
- [89] Bandh, Tobias, Henning Sanneck, and Raphael Romeikat "An integrated SON experimental system for self-optimization and SON coordination " *المجلد :10.12 RET* , .2012 ,14
- [90] Litjens, Remco, et al "Self-management for unified heterogeneous radio access networks 2013 " *IEEE 77th Vehicular Technology Conference (VTC Spring). IEEE* . 2013
- [91] Frenzel, Christoph, Simon Lohmüller, and Lars Christoph Schmelz "Dynamic, context-specific SON management driven by operator objectives 2014" *IEEE Network Operations and Management Symposium (NOMS). IEEE .2014* .
- [92] Hahn, Sören, and Thomas Kürner "Managing and Altering Mobile Radio Networks by Using SON Function Performance Models 11 2014 " *th International Symposium on Wireless Communications Systems (ISWCS)* IEEE, 2014 .
- [93] Frenzel, Christoph, Simon Lohmüller, and Lars Christoph Schmelz "SON management based on weighted objectives and combined SON Function models " *11 2014th International Symposium on Wireless Communications Systems (ISWCS)* . IEEE, 2014 .
- [94] Baliosian, Javier, et al "The Omega Architecture: towards adaptable, self-managed networks " *proceedings of the 1st Annual Workshop on Distributed Autonomous Network Management Systems .2006* .
- [95] Gelabert, Xavier, Berna Sayrac, and Sana Ben Jemaa "A heuristic coordination framework for self-optimizing mechanisms in LTE HetNets " *IEEE Transactions on Vehicular Technology .1334-1320 :(2014) 63.3* .
- [96] Song, JaeSeung, Tiejun Ma, and Peter Pietzuch "Towards automated verification of autonomous networks: A case study in self-configuration 8 2010 " *th IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops (PERCOM Workshops). IEEE, 2010 .2010* .
- [97] Ciocarlie, Gabriela F., et al "Demo: SONVer: SON verification for operational cellular networks 11 2014 " *th International Symposium on Wireless Communications Systems (ISWCS). IEEE .2014* .
- [98] Tsvetkov, Tsvetko, Henning Sanneck, and Georg Carle "A graph coloring approach for scheduling undo actions in self-organizing networks 2015 " *IFIP/IEEE International Symposium on Integrated Network Management (IM). IEEE .2015* .
- [99] Tsvetkov, Tsvetko, et al "A constraint optimization-based resolution of verification collisions in self-organizing networks 2015 " *IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM). IEEE .2015* .
- [100] Tsvetkov, Tsvetko, and Janne Ali-Tolppa "An adaptive observation window for verifying configuration changes in self-organizing networks " *Innovations in Clouds, Internet and Networks (ICIN 2016), Paris, France .2016* .
- [101] Tsvetkov, Tsvetko, et al "A minimum spanning tree-based approach for reducing verification collisions in self-organizing networks " *NOMS 2016-2016 IEEE/IFIP Network Operations and Management Symposium. IEEE .2016* .
-

- 
- [102] Tsvetkov, Tsvetko, et al, "An Experimental System for Verifying Topology Changes in Mobile Communication Networks 2017 " *IFIP/IEEE Symposium on Integrated Network and Service Management (IM)*. IEEE .2017 †
- [103] Ahmed, Mohiuddin, Abdun Naser Mahmood, and Jiankun Hu † "A survey of network anomaly detection techniques " *Journal of Network and Computer Applications* 60 (2016): 19-31 .2016 †
- [104] Ciocarlie, Gabriela, et al † "On the Feasibility of Deploying Cell Anomaly Detection in Operational Cellular Networks 2014 " *IEEE Network Operations and Management Symposium (NOMS)*. IEEE, 2014 .2014 †
- [105] Pérez-Romero, Jordi, et al † "Knowledge-based 5G radio access network planning and optimization 2016 " *International Symposium on Wireless Communication Systems (ISWCS)*, IEEE .2016 †
- [106] Moysen, Jessica, and Lorenza Giupponi † "A Functional Architecture for Self-Coordination in LTE networks " *European Wireless 2014; 20th European Wireless Conference*. VDE .2014 †
- [107] Moysen, Jessica, and Lorenza Giupponi † "From 4g to 5g: Self-organized network management meets machine learning " *Computer Communications* .2018 †
- [108] Jiang, Chunxiao, et al † "Machine learning paradigms for next-generation " *IEEE Wireless Communications* ,24.2 المجلد .pp. 98-105 .2016 †
- [109] Ge, Peng, and Tiejun Lv † "Data enabled Self-Organizing Network with Adaptive Antennas based on Proactive Prediction for Enabling 5G 2018 " *IEEE/CIC International Conference on Communications in China (ICCC)*. IEEE .2018 †
- [110] Ma, Bo, et al † "Context-Aware Proactive 5G Load Balancing and Optimization for Urban Areas " *IEEE Access* 8 (2020): 8405-8417 .2020 †
- [111] Hashmi, Umair Sajid, Arsalan Darbandi, and Ali Imran † "Enabling Proactive Self-Healing by Data Mining Network Failure Logs 2017 " *International Conference on Computing, Networking and Communications (ICNC)*. IEEE .2017 †
- [112] Liao, Qi, and Slawomir Stanczak † "Network State Awareness and Proactive Anomaly Detection in Self-Organizing Networks 2015 " *IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps)*. IEEE .2015 †
- [113] Bui, Nicola, et al † "A Survey of Anticipatory Mobile Networking: Context-Based Classification, Prediction Methodologies, and Optimization Techniques " *IEEE Communications Surveys & Tutorials* 19.3 (2017): 1790-1821 .2017 †
- [114] Keshavamurthy, Bharath, and Mohammad Ashraf. † "Conceptual design of proactive SONs based on the Big Data framework for 5G cellular networks: A novel Machine Learning perspective facilitating a shift in the SON paradigm 2016 " *International Conference System Modeling & Advancement in Research Trends (SMART)*. IEEE † .2016
- [115] van der Meer, Sven, John Keeney, and Liam Fallon † "5G Networks Must Be Autonomic " *NOMS 2018-2018 IEEE/IFIP Network Operations and Management Symposium*. IEEE .2018 †
- [116] Jennings, Brendan, et al † "Towards Autonomic Management of Communications Networks " *IEEE Communications Magazine* 45.10 (2007): 112-121 .2007 †
- [117] Stamatelatos, Makis, et al † "A generic scheme and a validation model for SON coordination in 5G networks6 2015 " *th International Conference on Information, Intelligence, Systems and Applications (IISA)*. IEEE .2015 †
-



- 
- [118] Frenzel, Christoph, et al "Objective-driven coordination in self-organizing networks " *2015 IEEE 26th Annual International Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communications (PIMRC)*. IEEE .2015
- [119] Litjens, Remco, et al "FP7 SEMAFOUR, Self-Management for Unified Heterogeneous Radio Access Networks " *IEEE 77th Vehicular Technology Conference (VTC Spring)* . IEEE, 2013 .
- [120] FP7 project SEMAFOUR "Deliverable D5.1: Integrated SON Management Requirements and Basic Concepts" December 2013.
- [121] Barakabitze, Alcardo Alex, et al "5G network slicing using SDN and NFV: A survey of taxonomy, architectures and future challenges " *Computer Networks 167 : 106984* . 2020
- [122] Aristomenopoulos, G., et al "Autonomic mobility and resource management over an integrated wireless environment—A GANA oriented architecture 2010 " *IEEE Globecom Workshops. IEEE, 2010* .2010
- [123] SOCRATES, D5.10 "Measurements, architecture and interfaces for self-organising networks," 2010, www.fp7-socrates.eu.
- [124] Ciavaglia, Laurent, et al. "Coordination of Self-Organizing Network Mechanisms: Framework and Enablers " *International Conference on Mobile Networks and Management. Springer, Berlin, Heidelberg* .2011
- [125] 3GPP TS 32.101 "Technical specification group services and system aspects, Principles and high level requirements " *Release 10, 2011* .
- [126] Ma, Zheng, et al "Key techniques for 5G wireless communications: network architecture, physical layer, and MAC layer perspectives " *Science China information sciences 58.4 (2015): 1-20* .2015
- [127] Poullos, George, et al "Autonomics and SDN for self-organizing networks 11 2014" *th international symposium on wireless communications systems (ISWCS)*. IEEE .2014
- [128] Marsch, Patrick, et al., eds *5G System Design* John Wiley & Sons .2018
- [129] Zheng, Kan, et al "Big Data-Driven Optimization for Mobile Networks toward 5G " *IEEE network 30.1 (2016): 44-51* .2016
- [130] Nurminen, Jukka K., and Harrison Mfula. "A Unified Framework for 5G Network Management Tools 2018" *IEEE 11th Conference on Service-Oriented Computing and Applications (SOCA)* IEEE, 2018 .
- [131] Rost, Peter, et al "Network slicing to enable scalability and flexibility in 5G mobile networks " *IEEE Communications magazine 55.5: 72-79* .2017
- [132] Da Silva, Icaro, et al "Impact of network slicing on 5G Radio Access Networks 2016" *European conference on networks and communications (EuCNC)*. IEEE .2016
- [133] 3GPP TR 22.891 "Feasibility Study on New Services and Markets Technology Enablers; Stage 1, (Release 14) " *March, 2016* .
- [134] NGMN Alliance, "Description of Network Slicing Concept .2016 "
- [135] Le, Luong-Vy, et al "SDN/NFV, machine learning, and big data driven network slicing for 5G 2018" *IEEE 5G World Forum (5GWF)*. IEEE .2018
- [136] Pateromichelakis, Emmanouil, et al "End-to-end data analytics framework for 5G architecture " *IEEE Access 7 (2019): 40295-40312* .2019
- [137] Nadeem, Lubna, et al "Integration of D2D, Network Slicing, and MEC in 5G Cellular Networks: Survey and Challenges " *IEEE Access 9 (2021): 37590-37612* .2021
-

- 
- [138] Ciocarlie, Gabriela F., et al , "Anomaly detection and diagnosis for automatic radio network verification " *International Conference on Mobile Networks and Management. Springer, Cham, 2014* .2014 ,
- [139] Ciocarlie, Gabriela F., et al , "Managing Scope Changes for Cellular Network-level Anomaly Detection" *11th International Symposium on Wireless Communications Systems (ISWCS). IEEE, 2014* .2014 ,
- [140] Buzzi, Stefano, et al , "A survey of energy-efficient techniques for 5G networks and challenges ahead " *IEEE Journal on Selected Areas in Communications* 34.4 :(2016) , .709-697
- [141] Lohmüller, Simon, et al , "SON function performance prediction in a cognitive SON management system 2018 " *IEEE Wireless Communications and Networking Conference Workshops (WCNCW). IEEE* .2018 ,
- [142] Frenzel, Christoph, Henning Sanneck, and Bernhard Bauer , "A Fuzzy, Utility-Based Approach for Proactive Policy-Based Management " *International Workshop on Rules and Rule Markup Languages for the Semantic Web. Springer, Berlin, Heidelberg* , .2013
- [143] Frenzel, Christoph, et al , "Demonstrator for Utility-based SON Management 2016 " *IEEE 27th Annual International Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communications (PIMRC). IEEE* .2016 ,
- [144] Daher, Tony, Sana Ben Jemaa, and Laurent Decreusefond , "Cognitive Management of Self - Organized Radio Networks Based on Multi Armed Bandit 2017 " *IEEE 28th Annual International Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communications (PIMRC). IEEE* .2017 ,
- [145] Daher, Tony, Sana Ben Jemaa, and Laurent Decreusefond , "Q-Learning for Policy Based SON Management in wireless Access Networks 2017 " *IFIP/IEEE Symposium on Integrated Network and Service Management (IM). IEEE* .2017 ,
- [146] T. Daher , "Cognitive management of self organized radio networks of fifth generation," Diss. 2018.
- [147] Daher, Tony, Sana Ben Jemaa, and Laurent Decreusefond , "Softwarized and distributed learning for SON management systems " *NOMS 2018-2018 IEEE/IFIP Network Operations and Management Symposium. IEEE* .2018 ,
- [148] Frenzel, Christoph, Henning Sanneck, and Bernhard Bauer , "Automated rational recovery selection for self-healing in mobile networks 2012 " *International Symposium on Wireless Communication Systems (ISWCS). IEEE* .2012 ,
- [149] 3GPP TS 32.541 , "Telecommunication management; Self-Organizing Networks (SON); Self healing concepts and requirements .2011 " ,
- [150] Amirijoo, Mehdi, et al , "Effectiveness of cell outage compensation in LTE networks " *2011 IEEE Consumer Communications and Networking Conference (CCNC). IEEE* , .2011
- [151] Li, Fu-qiang, et al , "Achieving cell outage compensation in radio access network with automatic network management 2011 " *IEEE GLOBECOM Workshops (GC Wkshps). IEEE* .2011 ,
- [152] Asghar, Muhammad Zeeshan, Seppo Hämäläinen, and Tapani Ristaniemi , "Self-healing framework for LTE networks 2012 " *IEEE 17th International Workshop on Computer Aided Modeling and Design of Communication Links and Networks (CAMAD). IEEE* .2012 ,
-

- 
- [153] Buenestado, Víctor, et al, "Self-tuning of remote electrical tilts based on call traces for coverage and capacity optimization in LTE " *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 66.5 المجلد ,pp. 2016, 4326-4315 .
- [154] Lee, Kisong, Howon Lee, and Dong-Ho Cho "Collaborative resource allocation for self-healing in self-organizing networks 2011 " *IEEE International Conference on Communications (ICC). IEEE* .2011 ،
- [155] Amirijoo, Mehdi, et al, "Cell outage compensation in LTE networks: algorithms and performance assessment 2011 " *IEEE 73rd Vehicular Technology Conference (VTC Spring). IEEE* .2011 ،
- [156] Klessig, Henrik, et al, "Cell Load-Aware Energy Saving Management in Self-Organizing Networks 2013" *IEEE 78th Vehicular Technology Conference (VTC Fall). IEEE* .2013 ،
- [157] Sivaraj, Rajarajan, et al, "Mitigating macro-cell outage in LTE-advanced deployments 2015 " *IEEE Conference on Computer Communications (INFOCOM). IEEE* .2015 ،
- [158] de-la-Bandera, Isabel, et al, "Cell outage detection based on handover statistics " *IEEE Communications Letters* 19.7 (2015): 1189-1192 .2015 ،
- [159] Saeed, Arsalan, Osianoh Glenn Aliu, and Muhammad Ali Imran, "Controlling self healing cellular networks using fuzzy logic 2012" *IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC). IEEE* .2012 ،
- [160] Moysen, Jessica, and Lorenza Giupponi, "A reinforcement learning based solution for self-healing in LTE networks 2014 " *IEEE 80th Vehicular Technology Conference (VTC2014-Fall). IEEE* .2014 ،
- [161] Adel, Salsabel, et al. "Cell Outage Compensation Using Q-learning for Self-Organizing Networks 2021 " *International Conference on Microelectronics (ICM). IEEE* .2021 ،
- [162] Schwarz, Stefan, Christian Mehlführer, and Markus Rupp" "Calculation of the spatial preprocessing and link adaption feedback for 3GPP UMTS/LTE 2010 " *Wireless Advanced 2010. IEEE* .2010 ،
- [163] Mogensen, Preben, et al "LTE capacity compared to the Shannon bound 2007" *IEEE 65th vehicular technology conference-VTC2007-Spring. IEEE* .2007 ،
- [164] Chen, Meng, Kun Zhu, and Bing Chen "Root cause analysis for self-organizing cellular network: an active learning approach " *Mobile Networks and Applications* 25.6 (2020)pp. 2506-2516 .2020 ،
- [165] Fehske, Albrecht J., et al "Concurrent load-aware adjustment of user association and antenna tilts in self-organizing radio networks " *IEEE Transactions on Vehicular Technology* 62.5 (2013): 1974-1988 .2013 ،
- [166] Giuliano, Romeo, and Franco Mazzenga "Exponential effective SINR approximations for OFDM/OFDMA-based cellular system planning " *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 8.9 المجلد ,pp. 4434-4439 .2009 ،
- [167] Zadeh, Lotfi A "Is there a need for fuzzy logic " *Information sciences*, 178.13 المجلد ، pp. 2751-2779 .2008 ،
- [168] Roughgarden, Tim "Algorithmic Game Theory " *Communications of the ACM* 53.7 (2010): 78-86 ..
- [169] Henderson, Thomas R., et al "Network simulations with the ns-3 simulator " *SIGCOMM demonstration* 14.14 : 527 .2008 ،
-

- 
- [170] 3GPP TR 36.814, "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Further advancements for E-UTRA physical layer aspects (Release 9)," V9.2.0.(03-2017)
- [171] Bag, Tanmoy, et al. "Machine Learning based Recommender Systems to achieve Self-Coordination between SON Functions " *IEEE Transactions on Network and Service Management* ,المجلد 17.4 ,pp. 2131-2144 .2020 ,
- [172] Garg, Sharva, Tanmoy Bag, and Andreas Mitschele-Thiel "Data-driven Self-Organization with Implicit Self-Coordination for Coverage and Capacity Optimization in Cellular Networks " *IEEE Transactions on Network and Service Management* , .2023