

УДК 004.77:621.395.721.5

DOI: 10.31673/2412-9070.2023.050914

Л. В. ДАКОВА, канд. техн. наук, доцент,

Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій, Київ

МУЛЬТИАГЕНТНІ МОДЕЛІ КЕРУВАННЯ ТА САМООРГАНІЗАЦІЇ В МЕРЕЖАХ 5-ГО ПОКОЛІННЯ

Розглянуто проблему керування телекомунікаційними мережами 5-го покоління (5G). Запропоновано використувати мультиагентний підхід, який дає змогу забезпечити більшу адаптивність і гнучкість керування за умов динамічності і різноманітності 5G-мереж.

Обґрунтовано потребу у використанні мультиагентних моделей для керування 5G-мережами. Оскільки традиційні централізовані системи керування стають неефективними за умов 5G, вони не можуть швидко реагувати на зміни в мережі. Мультиагентний підхід, навпаки, уможливіє розподілення керування мережею між кількома агентами, які здатні самостійно ухвалювати рішення за умов невизначеності.

Досліджено формалізовану модель мультиагентної системи керування 5G-мережами, утворену з таких компонентів:

- агенти, які представляють різні підсистеми мережі;
- ситуаційна мережа, що описує взаємодію агентів і мережі;
- критерії ефективності керування.

Використано реактивну стратегію для агентів, що дає змогу їм ухвалювати рішення на основі інформації про поточний стан мережі.

Ключові слова: мультиагентний підхід; адаптивність і гнучкість керування; мультиагентні системи (MAC); NMS (Network Management System).

ВСТУП

Радикальні зміни в архітектурі і технологіях сучасних телекомунікаційних мереж дають змогу виокремити ще два нових важливих фактори в контексті цієї статті:

- розподілене керування обслуговуванням викликів/сесій у мережних елементах гетерогенних мереж 5-го покоління;
- посилення локального інтелекту цих мережних елементів NGN за умов надщільних мереж (із розвитком IoT).

Існують два підходи до керування інфокомунікаціями, які ми з відомою мірою умовності можемо визначити як *централізоване фіксоване планування* і *децентралізована динамічна самоорганізація*. Обидва ці підходи тією або іншою пропорцією завжди були присутні в керуванні мережами зв'язку та комп'ютерними мережами. Баланс між цими двома підходами за новим критерієм досягається кожного разу на черговому етапі розвитку інфокомунікацій.

З огляду на сучасний етап синергії цих двох підходів до керування інфокомунікаціями має сенс повернутися до обговорення головної наукової проблеми, якій присвячено цю статтю, і ще раз, але більш розширено пояснити її суть. Йдеться про те, що традиційний підхід може забезпечувати близьку до 100% (за реальних умов майже 80%) ефективність використання мережних ресурсів тільки для наявних сьогодні однорідних мереж, до яких належать телефонні мережі загального користування (ТМЗК), мобільні мережі СПС покоління 2,5, 3 і 4 тощо. З ускладненням мереж і переходом до гетерогенних мереж 5-го покоління ця ефективність поступово спадає до 20%, тоді як інший підхід є надмірно надлишковим для простих однорідних мереж, проте є єдиним шансом забезпечити ефективність керування на тому самому рівні (близько 80-90%) для цих гетерогенних мереж 5G.

У статті напрацювання 3GPP, розроблені для мереж мобільного зв'язку 4-го покоління LTE-A/SAE, пов'язуються з Рекомендацією ITU-T Y.2401 «Архітектура керування NGN», згідно з якою архітектура керування адаптується до архітектури NGN, беручи до уваги закладений у цю архітектуру принцип декомпозиції шлюзів та інших особливостей конвергентних мереж зв'язку NGN.

ОСНОВНА ЧАСТИНА

Самоорганізовані мультиагентні моделі керування в мережах NGN

Запропонований у статті підхід для дослідження моделей самоорганізації в керуванні інфокомунікацій пов'язаний із застосуванням мультиагентних систем. В основу цієї технології покладено поняття «агента» — програмного об'єкта, здатного сприймати ситуацію, ухвалювати рішення і комунікувати із собі подібними. Ці можливості кардинально відрізняють мультиагентні системи від традиційних для сучасних OSS/BSS «жорстко» організованих систем, забезпечуючи їм таку принципово важливу властивість, як здатність до самоорганізації.

© Л. В. Дакова, 2023

Основним поняттям у цій статті є агент, під яким розуміють віртуальні об'єкти в програмному середовищі OSS/BSS, котрі можуть так чи інакше сприймати й оцінювати поточну ситуацію в телекомунікаційній мережі та відповідними способами впливати на цю мережу з метою змінювати її своїми діями.

Точне визначення агента наразі відсутнє. Здебільшого використовується визначення, прийняте на конференції міжнародної асоціації з лінгвістики FIRA (*Federation of Intelligent Physical Agents*) у жовтні 1996 року в Токіо: «Агент — це сутність, яка перебуває в деякому середовищі, інтерпретує його і виконує команди, що впливають на середу. Агент може містити програмні й апаратні компоненти». У теперішній статті застосовується виключно сформульоване вище «вузьке» визначення, яке відводить агенту роль проміжної ланки між суб'єктом і об'єктом керування телекомунікаційною мережею.

Далі передбачатимемо, що завжди йтиметься про раціонального агента, котрий завжди намагається оптимізувати відповідну міру корисності своїх дій. У цій статті мультиагентна система (МАС) будуватиметься як сукупність раціональних агентів, об'єднаних у групи, котрі взаємодіють один з одним для досягнення спільної мети ефективного керування телекомунікаційною мережею. Спілкування агентів один з одним, співробітництво, координацію і взаємодію агентів у системі здійснюються за допомогою мови комунікацій ACL (*Agent Communication Language*). Цим, а також рольовими функціями агентів і нормами їх взаємодії визначається архітектура МАС.

Доповнимо таке визначення властивостями, що характеризують поняття агента і потрібні для подальшого викладу. Це автономність (агент функціонує без втручання з боку ВІ), здатність спілкування (взаємодія і комунікації з іншими агентами), реактивність (сприйняття середовища і прояв відповідної реакції на її зміни), базові знання (знання агента про себе, навколишнє середовище, включно з іншими агентами).

У досліджуваних у статті моделях МАС допускаються такі типи взаємодії: горизонтальні зв'язки — зв'язки між рівноправними агентами; вертикальні (субординаційні) зв'язки — зв'язки підпорядкування; координація — узгоджена дія агентів, що підпорядковуються вищому агенту-координатору. Отже, передбачаються такі типи агентів:

- агенти-виконавці та агенти-менеджери (перші підпорядковуються другим);
- агенти-координатори, відповідальні за організацію взаємодії агентів;
- інтерфейсні агенти, службовці для зв'язку із зовнішнім середовищем;
- комутаційні агенти, що забезпечують обмін інформацією в системі.

На цьому етапі звизимо розгляд через відкидання нечіткої логіки, і завдяки цьому запропонуємо більш формалізовану мультиагентну модель системи керування інфокомунікаціями, що охоплює перспективні засоби ВІ (*Business Intelligence*), котрі базуються на системах обліку мережних ресурсів NRI (*Network Resources Inventory*), білінгових системах наступного покоління й інших системах OSS/BSS, загальну кількість яких позначимо через N . Ця ж величина N визначає кількість інтелектуальних агентів $\{1, 2, \dots, N\}$, кожен з яких виконує відповідні завдання. Завдання надходять у мультиагентну систему в різні моменти часу і на різні вузли. У кожен момент часу t стан агента $i \{i = 1, \dots, n\}$ описується відповідними ймовірісно-тимчасовими характеристиками (ІТХ).

Вибір мультиагентної технології дає змогу легко поєднувати в єдиній системі як універсальні протоколи, так і будь-які інші засоби роботи з конкретними типами баз даних підсистем керування інфокомунікаціями.

Формалізована мультиагентна модель збору та оброблення інформації в системах керування в мережах 5-го покоління

Припустимо, що інформацію для ухвалення рішення D системою керування інфокомунікаціями сформовано з N порцій

$$D = \{D_1, D_2, \dots, D_N\}, \quad (1)$$

які містяться в N і належать комплексу керування мережею систем ζ (систем технічного обліку, білінгу, технічного обслуговування, аналізу продуктивності, фрод-менеджменту, контролю якості тощо). Тобто

$$\zeta = \{S_1, S_2, \dots, S_N\}. \quad (2)$$

При цьому спостерігається і цілком допускається деяке перекриття даних, тобто

$$D_i \cap D_j \neq \emptyset. \quad (3)$$

Мультиагентну систему з $N + 1$ агентів $M = \{M_1, M_2, \dots, M_{N+1}\}$, кожен з яких реалізує свою власну стратегію Ω , наведено на рис. 1. Агенти мають доступ до різних систем керування і повертають інформацію у відповідь на ті чи інші запити від ВІ. На запит з індексом j агент M_i надсилає дані $D_i^{j(+)}$ із сукупності даних D_j .

Далі надіслані агентами дані об'єднуються (інтегруються) за двома параметрами: об'єднуються дані, здобуті з однієї системи i , а потім дані від усіх систем $i = 1, 2, \dots$:

$$\Phi^{D_L}(\Omega_{N_i}(q_i, D_L), \dots, \Omega_{N_L}(q_L, D_L)) = \bigcap_{i=1}^k D_i^{j(+)} = D^+. \quad (4)$$

Щоб оцінити якість зібраної мультиагентної системи (див. рис. 1) і об'єднаної в такий спосіб інформації D^+ , скористаємося відомими з теорії пошуку критеріями. Власне, для цілей нашої статті важливі тільки два параметри: повнота (нічого не забули з потрібного для ВІ) і точність (не надіслали нічого зайвого).

Повнотою називають відношення кількості здобутих результатів до загальної кількості наявних у системі керування інфокомунікацій даних, релевантних даному запиту ($\lambda_{\text{зап}}$ — запити з інтенсивністю λ):

$$P = \frac{|D^{\lambda_3} \cap D^+|}{D^+}. \quad (5)$$

Точність — це відношення кількості релевантних результатів до загальної кількості даних, послання на які містяться у відповіді:

$$R = \frac{|D^{\lambda_3} \cap D^+|}{D^{\lambda_3}}. \quad (6)$$

У процесі оцінювання ефективності пошуку інформації часто використовують й інші критерії — коефіцієнт втрат інформації та коефіцієнт пошукового шуму. У нашому дослідженні з очевидних причин вважається, що коефіцієнт втрат інформації дорівнює нулю, а коефіцієнт пошукового шуму — одиниці. А ось точність може коливатися в діапазоні від 0,1 до 1,0, та й повнота зазвичай лише наближається до значень 0,8–0,9.

Набагато істотніше те, що для задач, розглядуваних у цій статті, такі критерії повноти і точності потрібно застосовувати в дещо ускладненому варіанті. Річ у тім, що для ухвалення мультиагентною системою ефективних рішень із керування інфокомунікаційною мережею, як зазначалося раніше, потрібне інтегральне оброблення запитуваних даних від різних систем В/OSS.

Причому для забезпечення ефективності цих керувальних рішень потрібні не тільки точність і повнота даних від різних систем В/OSS, а й передусім точність і повнота відповідних значень інтегральної функції Φ_{D_i} . Для досягнення цього необхідне *одночасне кооперативне* оброблення даних, що дістають агенти в різних системах, з відповідним «вирівнюванням» тимчасових затримок, для чого пропонується виконувати процедуру опитування джерел інформації — агентів, які представляють відповідні підсистеми експлуатаційного керування.

Функціонування мультиагентної моделі керування в дискретно реальному часі

У запропонованій раніше моделі всі N агентів мультиагентної системи діяли в такому собі пакетному режимі. А саме: із настанням випадкового моменту часу запиту від ВІ агент починає діяти протягом випадкового часу, а результати цих дій періодично надходять агентам ВІ для ухвалення рішень і виконання певних дій із керування мережею Оператора.

Тепер розширимо цю модель. Зрозуміло, що на кожному часовому кроці $t = t_0, t_0 + \tau, t_0 + 2\tau, t_0 + 3\tau, \dots, \infty$ кожен агент із скінченного набору можливих дій A вибирає якусь дію a_t . Для підвищення ефективності функціонування системи керування мережею Оператора потрібно, щоб агент, вибираючи подальші дії, міг би оцінювати минуле і майбутнє системи. Під минулим розумітимемо, що саме агент сприйняв і які дії зробив до моменту часу t , а під майбутнім — чого він очікує і що збирається робити потім. Якщо позначимо O_t як спостереження агента в момент часу t , тоді для вибору оптимальної дії в момент часу t потрібно застосовувати всю історію спостережень про t й історію дій a_t , що передувало моменту часу t .

Тоді функцію $\Pi(O_1, a_1, O_2, a_2, \dots, O_t) = a_t$, яка відображає набір пар спостереження–дія до моменту часу t в оптимальну дію a_t , називатимемо *стратегією* агента. Якщо ж агент може ігнорувати всю історію спостережень, за винятком останнього, то в цьому разі стратегію будемо називати реактивною (або стратегією без пам'яті) тобто $\Pi(O_t) = a_t$.

Колективна інформація, яка міститься в зовнішній інфокомунікаційній мережі (об'єкт керування) в момент часу t і яка важлива для процесу керування, називається станом мережі і позначається s_t . Безліч станів цього зовнішнього світу, тобто безліч контрольованих ситуацій в інфокомунікаційній мережі, що є об'єктом керування, позначимо через S . Отже, E — безліч подій, що відбуваються в мережі, а A — безліч дій агента.

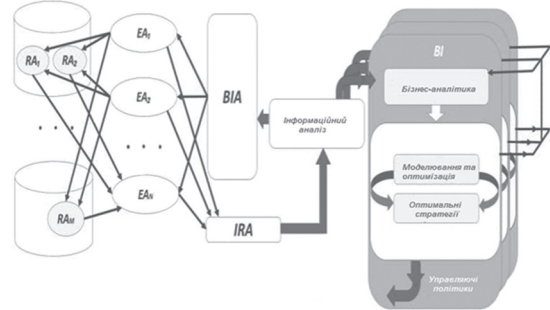


Рис. 1. Мультиагентна система

Взаємодія агента з мережею як об'єктом керування описується рівняннями:

$$s(t+1) = \lambda(s(t), e(t), a(t)) \quad (7)$$

i

$$a(t) = \delta(s(t)), \quad (8)$$

де $s \in S$ — ситуація; $e \in E$ — подія; $a \in A$ — дія і $\lambda: S \times E \times A \rightarrow S, \delta: S \rightarrow A$.

Процеси (7), (8) відбуваються в абстрактному часі $t \in \{0, 1, 2, \dots, t_P\}$ і визначаються за такими факторами:

- початковою ситуацією — $s(0)$;
- подіями — $e(0), e(1), e(2), \dots$;
- діями агента — $a(0), a(1), a(2), \dots$.

Мету дій агента можна схарактеризувати деяким предикатом $G(s(t_P))$.

Однак цій умові можуть відповідати різні ситуації, внаслідок чого потрібно також зважати на ефективність кінцевого результату за допомогою деякого критерію $F: S \rightarrow R = (-\infty, \infty)$. Тоді маємо змогу дії агента підпорядкувати вимозі оптимальності $F(s(t_P)) \rightarrow \text{extr}$. Таку модель можна подати ситуаційною мережею — оргграфом, вузли якого є ситуаціями, а дуги графа відображають зміну ситуацій і викликають її обставини (події в середовищі і дії агента).

Планування дій агента засноване на аналізі можливих сценаріїв майбутнього розвитку ситуацій та має базуватися на аналізі сценаріїв розвитку ситуацій на інтервалі планування, що формуються варіюваними процесами.

Повернемося до рефлексивних агентів із реактивною стратегією $\Omega(O_t) = a_t$. Припущення оглядовості передбачає, що $S_t = O_t$ і, отже, стратегія агента $\Omega(S_t) = a_t$.

Інакше кажучи, тут стратегія рефлексивного агента є відображенням із поточних станів мережі у відповідні дії, адже в багатьох ситуаціях допустимо вважати, що *стан мережі в момент часу t дає повний опис історії до моменту часу t* . Про такий стан об'єкта керування, який містить усю важливу інформацію про минуле в конкретній задачі, кажуть, що він є марковским або має властивість Маркова.

Із зазначеного можемо дійти висновку, що в марковському світі агент здатен безпечно використовувати стратегію без пам'яті для ухвалення рішення замість теоретично оптимальної стратегії, яка може потребувати незрівнянно більшого обсягу пам'яті.

Самоорганізація в керуванні мережами 4/5G

Сьогодні, говорячи про рішення експлуатаційних задач на мобільних мережах, передусім згадують системи керування мережею типу NMS (*Network Management System*), тобто програмно-апаратні засоби, що допомагають ІТ-фахівцеві Оператора виконувати такі функції:

- досліджувати мережу (*Network device discovery*) з метою виявлення нових її елементів;
- здійснювати моніторинг мережних пристроїв (*Network device monitoring*) стосовно їхньої працездатності і відповідності SLA;
- аналізувати продуктивність мережі з відстеженням основних показників, зокрема часу безвідмовної роботи обладнання, затримки і втрати пакетів тощо;
- налаштовувати інтелектуальні повідомлення — сповіщення, які будуть реагувати за конкретними сценаріями мережі по електронній пошті або телефоном.

Іноді, кажучи про керування 3/4G мережами, за традицією мають на увазі тільки мобільну частину мережі, як це було за часів 2/2,5G, коли фіксована частина мережі жила своїм життям і керувалася окремо. Однак у сучасній реальності покоління 3/4G, як із погляду надання послуг, так і щодо експлуатаційного керування, відокремлювати завдання керування транспортними мережами від обладнання не найкраща стратегія.

Сьогодні основними мотивами впровадження архітектури SON є природне бажання Операторів скорочувати (хоча б не збільшувати) операційні витрати завдяки зменшенню ступеня людського втручання на етапі планування, упровадження та експлуатації своїх мереж, а також знижувати капітальні витрати, оптимізуючи використання своїх мережних ресурсів, зберігати і нарощувати прибуток, зменшуючи кількість помилок через людський фактор.

Істотну роль у досягненні цих трьох цілей відіграє експлуатаційне керування OAM&P, що об'єднує керування ресурсами (Operations), адміністративне керування (Administration), технічне обслуговування (Maintenance) і введення нових ресурсів (Provisioning). Якщо ці завдання безпосередньо контролюються персоналом, навіть із засобами автоматизації, ця ручна праця потребує великої кількості часу, значних фінансових витрат, висококласних фахівців, а при цьому людські помилки все одно можливі. Тому ідеї і принципи, закладені в концепцію самоорганізованих мереж, починають все частіше знаходити відображення і застосування в реаліях наявних мереж Операторів.

Наведені раніше математичні моделі в практичному плані дають змогу оцінити можливості і межі функціонала SON стосовно взаємодії з OSS/BSS-системами і місце технології в структурі систем автоматизації, а також відповісти на запитання, наскільки описувана технологія наблизить Операторів до заповітних цілей.

Для забезпечення наскрізних бізнес-процесів Оператора потрібна взаємодія OSS/BSS-систем із мережними елементами і системою керування мережею. Системи MW є проміжним ПЗ між обладнанням (та їх системами керування) і високорівневими застосунками класу OSS/BSS. Отже, системи Middleware будуть рівнем-посередником між функціями SON, тобто між рівнем мережі і високорівневими B/OSS-застосунками, такими як Inventory, CRM, Billing тощо, як це уяочнює рис. 2.

Функції SON доповняють систему разом із можливостями на рівні мережних елементів (устаткування). Водночас незалежно від наявності або відсутності функціонала SON у системі, потрібно постійно брати до уваги і підтримувати в актуальному стані дані про всі ресурси мережі в будь-який момент часу. Забезпечення актуального, повного й інформативного уявлення щодо складу інфраструктури мережі, стану її мережних елементів і ресурсів необхідно для реалізації й усіх бізнес-процесів Оператора, що дають змогу організувати ефективні процеси надання послуг абонентам, оброблення зароджувальних конфліктів, керування ресурсами і плануванням. Отже, система NRI для SON, як і для низки інших експлуатаційних систем, виступає «фундаментом» і незамінним елементом для інших експлуатаційних процесів, механізмів і алгоритмів, як джерело актуальних знань (даних) про всю інфраструктуру мережі Оператора.

Зрозуміло, не можна стверджувати, що найближчим часом у керуванні телекомунікаціями SON, чий теоретичні моделі та інженерні технології, розглянуті раніше, повністю посяде місце (витіснить) Middleware під час автоматизації експлуатаційних процесів Оператора. Однак у процесі розвитку технології кордону будуть зміщуватися в бік SON. Зараз функції SON і Middleware НЕ замінюють, а доповнюють один одного, взаємодіючи паралельно з OSS/BSS-системами, уможливаючи підвищення рівня автоматизації керування мережею Оператора, знижуючи вплив людського фактора і підвищуючи рентабельність бізнесу.

ВИСНОВКИ

Статтю присвячено дослідженню мультиагентних моделей керування та самоорганізації в мережах 5-го покоління.

Доведено, що для розв'язання задач керування інфокомунікаціями в межах запропонованої концепції і, зокрема, для організації пошуку і оброблення даних ВІ в розподіленому ІТ-ландшафті телекомунікаційного Оператора, найбільш ефективним є використання мультиагентного підходу, в межах якого система будеться як сукупність агентів: агенти ВІ, агенти менеджера й агенти підсистем OSS/BSS. Здобуто вирази для математичного сподівання і дисперсії тривалостей оброблення даних у здійснюваних ВІ бізнес-процесах, а також для визначення допустимої кількості агентів із заданою якістю збору інформації для ухвалення рішень.

Розроблено алгоритм розрахунку ефективної кількості задіяних у тому чи іншому бізнес-процесі систем OSS/BSS за заданої інтенсивності вхідного потоку відповідей на запити інформації. Цей алгоритм корисний для проектування ІТ-ландшафту компанії Оператора. Сформульовано стратегії агентів у дискретно реальному часі, визначено множини подій і множини дій агентів мультиагентної системи в попередні дискретні моменти часу, причому планування дій агента ґрунтується на аналізі можливих сценаріїв майбутнього розвитку ситуацій.

Розглянуто інженерні аспекти SON, роль і перспективи розвитку цих ідей і методів у перспективних OSS/BSS для мереж 5-го покоління.

Список використаної літератури

1. *Principles for the Management of Next Generation Networks // ITU-T Recommendation M.3060/Y.2401. 2016.*

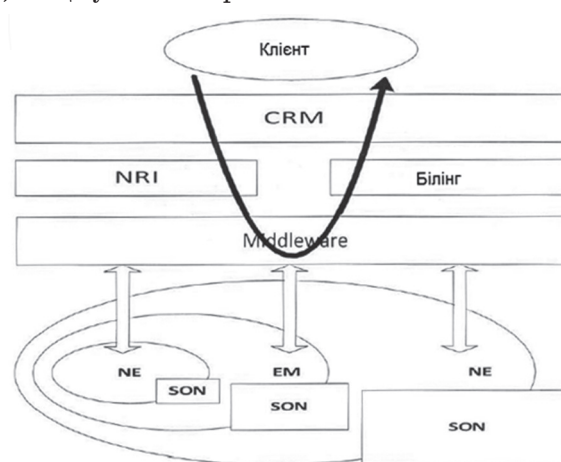


Рис. 2. Наскрізне «проходження» бізнес-процесу через системи Оператора (NE — Network Element; EM — Element Manager; NM — Network Manager)

2. *Self-organizing multi-agent control models in NGN networks* / A. Gavrilyuk, V. Kryukov, V. Osypenko, [et al.].

3. *Methods of NGN network management* / V. I. Gordiychuk, A. V. Havryliuk, V. V. Kryukov, O. V. Sazonov.

4. *Method of the adaptive decoding of self-orthogonal codes in telecommunication* / J. Boiko, I. Pyatin, O. Eromenko, M. Stepanov. 2020. 19. P. 1287–1296.

5. *New Noise Immunity Coding Technique with Application of Triple Correlation and Bispectrum* / J. Astola, K. Egiazarian, P. Molchanov [et al.] // *Telecommunications and Radio Engineering*. 2006. 65. P. 399–411.

6. *Autocorrelative weak-value amplification and simulating the protocol under strong Gaussian noise* / H. Jinghui, Xiang-Yun Hu, A. Dadae [et al.] // *Physical Review A*. 2022. 106.

7. *Broadband transparent and flexible silver mesh for efficient electromagnetic interference shielding and high-quality free-space optical communication* / Lei Qiyun, Luo Zhonglin, Zheng Xinyi [et al.] // *Optical Materials Express*. 2022. 13.

L. Dakova

MULTI-AGENT MODELS OF MANAGEMENT AND SELF-ORGANIZATION IN FIFTH GENERATION NETWORKS

The article extensively delves into the crucial challenge of effectively managing 5G telecommunication networks. In this landscape, the authors fervently champion the adoption of a multi-agent approach, which promises a remarkable increase in adaptability and flexibility in the realm of network management. This approach is vital for accommodating the inherently dynamic and diverse nature of 5G networks.

The imperative need for embracing multi-agent models in the management of 5G networks is staunchly justified. Conventional centralized control systems have been unequivocally deemed inadequate in the context of 5G environments, where they grapple with the rapid adaptation required to respond to the fluid nature of network changes. The multi-agent approach presents an innovative solution by facilitating the distribution of network management responsibilities across numerous agents, each empowered to make autonomous decisions even in conditions fraught with uncertainty.

In a display of innovative thinking, meticulously structured model for a multi-agent 5G network management system, comprised of the following components:

- *Agents:* These agents play a pivotal role, embodying various subsystems within the network, each bearing the responsibility for specific tasks, thus ensuring a more streamlined and efficient network management process.

- *Situational Network:* This functions as the connective tissue, providing a comprehensive framework to describe the intricate interactions and relationships between the agents and the network itself. It serves as a beacon for communication and coordination, facilitating a harmonious network operation.

- *Management Efficiency Criteria:* This critical aspect of the model establishes the set of benchmarks and standards by which the effectiveness of network management is meticulously assessed. It's the yardstick by which the success and efficiency of the multi-agent approach are quantified.

In sum, this article underscores the pivotal role of multi-agent systems in the successful management of 5G networks, heralding a new era of adaptability, efficiency, and resilience in rapidly changing telecommunication landscape.

Keywords: multi-agent approach; adaptability and flexibility of management; multi-agent systems (MAC); Network Management System (NMS); 5G networks; network management.

