УДК 004.92 DOI: 10.31673/2412-4338.2020.042634

Сеньков О.В. *Державний університет телекомунікацій, Київ*

ОПТИМІЗАЦІЯ ОБМІНУ ІНФОРМАЦІЄЮ В МЕРЕЖАХ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ

Анотація: *В статті розглянуто задачу оптимізації обміну інформацією в умовах невизначеності, що виникає в процесі функціонування конвергентних мереж. Сформульовані в роботі невизначеності характеризуються розбіжностями «інтересів» різних вузлів мережі, різним ступенем поінформованості або неповними даними про значення параметрів системи. Подібні невизначеності обумовлюють децентралізовану стратегію управління процесами в конвергентній мережі. Задача взаємодії вузлів мережі розглянута точки зору теорії ігор, при цьому гравцями виступають окремі вузли системи, обмін інформацією між якими обмежено умовами невизначеності. Сформульовано процедури прийняття рішень для наступних випадків: коли один вузол є центром, а інший виступає в протидії до нього і центру відома інформація про вибір другого гравця; коли центру невідомі можливості другого гравця, а невизначеність полягає у випадковому характері стратегії другого гравця; модель синергії вузлів мережі. Для першого випадку оптимальне управління ґрунтується на максимальній дії першої станції (центру) та максимальній протидії іншої станції (другий гравець) і може використовувати максимінні моделі. Для другого випадку визначено обмеження стратегії гри (в тому числі, стратегію покарання гравця) та доведено, що виграш, більший за максимально гарантований результат центру, не може бути отриманий ні на якому іншому класі стратегій. Ставлення центру до невизначеності в моделі, що ґрунтується на синергетичній концепції функціонування конвергентних мереж таке, що він прагне до максимізації лінійної згортки значень свого критерію. Досліджено особливості побудови стратегії обміну інформацією між окремими вузлами мережі за наявності та відсутності ізольованих точок в множині виборів гравця, що виступає в протидію центру. Розроблена модель взаємодії різнорідних підсистем телекомунікаційної мережі в умовах невизначеності може бути використана для ситуацій, коли вузли мають неповну інформацію про як про систему в цілому, так і про інші вузли.*

Ключові слова: *конвергентна мережа, обмін інформацією, невизначеність, теорія ігор, стратегія гри.*

Senkov O.V. *State University of Telecommunications, Kyiv*

OPTIMIZATION OF INFORMATION EXCHANGE IN NETWORKS UNDER CONDITIONS OF UNCERTAINTY

Abstract: *The article considers the problem of optimizing the exchange of information in the conditions of uncertainty that arises in the process of functioning of converged networks. The uncertainties formulated in the paper are characterized by discrepancies in the "interests" of different network nodes, varying degrees of awareness or incomplete data on the value of system parameters. Such uncertainties lead to a decentralized process management strategy in a converged network. The problem of interaction of network nodes is considered from the point of view of game theory, at the same time players act as separate nodes of system, the exchange of information between which is limited by conditions of uncertainty. Decision-making procedures are formulated for the following cases: when one node is the center and the other opposes it and the center knows information about the choice of the second player; when the center does not know the capabilities of the second player, and the uncertainty lies in the random nature of the strategy of the second player; network node synergy model. For the first case, the optimal control is based on the maximum action of the first station (center) and the maximum resistance of the other station (second player) and can use the maximum model. For the second case, the limitations of the strategy of the game (including the strategy of punishment of the player) are determined and it is proved that the gain, more than the maximum guaranteed result of the center, cannot be obtained on any other class of strategies. The relation of the center to the uncertainty in the model based on the synergetic concept of the operation of convergent networks is such that* *it seeks to maximize the linear convolution of the values of its criterion. The peculiarities of constructing a strategy for the exchange of information between individual nodes of the network in the presence and absence of isolated points in the set of choices of the player who opposes the center are studied. The developed model of interaction of heterogeneous subsystems of the telecommunication network in the conditions of uncertainty can be used for situations when nodes have incomplete information about both the system as whole and other nodes.*

Keywords: *converged network, information exchange, uncertainty, game theory, game strategy.*

Сеньков О.В. *Государственный университет телекоммуникаций, Киев*

ОПТИМИЗАЦИЯ ОБМЕНА ИНФОРМАЦИЕЙ В СЕТЯХ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

Аннотация: *В статье рассмотрена задача оптимизации обмена информацией в условиях неопределенности, возникающей в процессе функционирования конвергентных сетей. Сформулированные в работе неопределенности характеризуются несовпадениями «интересов» различных узлов сети, разной степенью осведомленности или неполным данным о значении параметров системы. Подобные неопределенности обусловливают децентрализованную стратегию управления процессами в конвергентной сети. Задача взаимодействия узлов сети рассмотрена с точки зрения теории игр, при этом игроками выступают отдельные узлы системы, обмен информацией между которыми ограничен условиями неопределенности. Сформулированы процедуры принятия решений для следующих случаев: когда один узел является центром, а другой выступает в противодействии к нему и центру известна информация о выборе второго игрока; когда центру неизвестны возможности второго игрока, а неопределенность заключается в случайном характере стратегии второго игрока; модель синергии узлов сети. Для первого случая оптимальное управление основывается на максимальном действии первой станции (центра) и максимальном противодействии другой станции (второй игрок) и может использовать максиминную модель. Для второго случая определены ограничения стратегии игры (в том числе, стратегия наказание игрока) и доказано, что выигрыш, больше максимально гарантированного результата центра, не может быть получен ни на каком другом классе стратегий. Отношение центра к неопределенности в модели, основанной на синергетической концепции функционирования конвергентных сетей таково, что он стремится к максимизации линейной свертки значений своего критерия. Исследованы особенности построения стратегии обмена информацией между отдельными узлами сети при наличии и отсутствии изолированных точек в множестве выборов игрока, выступающего в противодействии к центру. Разработанная модель взаимодействия разнородных подсистем телекоммуникационной сети в условиях неопределенности может быть использована для ситуаций, когда узлы имеют неполную информацию о как о системе в целом, так и о других узлах.*

Ключевые слова: *конвергентная сеть, обмен информацией, неопределенность, теория игр, стратегия игры.*

Вступ.

Гнучкість та зручність сучасних мереж з точки зору послуг, що надаються кінцевим споживачам, на поточний час досягається значною мірою за рахунок мережної конвергенції, що дозволяє як ефективне надання послуг існуючими спеціалізованими мережами, так і можливість впровадження нових технологій у разі їх появи. Мережева конвергенція дозволяє забезпечити надання в одній і тій же мережі разом різноманітних послуг: телефонний зв'язок, послуги відео зв'язку, кабельне телебачення, передачу даних тощо [1-3]. При цьому, в процесі функціонування мережі неминуче виникають ситуації, що перешкоджають безперебійному забезпеченню послугами. Причини збоїв в роботі мережі обумовлені різноманітними чинниками, серед яких технічні несправності, помилки, що виникають внаслідок реконфігурації мережі з урахуванням змінених вимог споживачів послуг, втрати пакетів даних при зміні топології мережі та інші. Необхідність передачі даних різної природи вимагає оптимізації процесів обміну інформацією між окремими підсистемами та вузлами конвергентної мережі. Особливо гостро це питання постає в умовах наявності невизначеностей різного характеру, що виникають внаслідок слабкої «обізнаності» окремих підсистем про процеси, що відбуваються в конвергентній мережі. Наявність невизначеностей може призводити до виникнення конфліктів між окремими підсистемами мережі [4], що в свою чергу може призводити до зменшення показників надійності, стабільності, завадостійкості, самовідновлення та самоогранізованості мережі. Слід зазначити, що використання конвергентних мереж не обмежується тільки телекомунікаційними операторами. Такі мережі можуть успішно використовуватися, наприклад, в задачах підтримки функціонування та управління інтелектуальними будівлями [5]. Основою сучасних розумних будинків можуть виступати конвергентні структуровані кабельні мережі, які надають як сервіси управління підсистемами розумного будинку (підсистеми енергопостачання, освітлення, безпеки, опалення тощо), так і підтримку передачі голосу, відео та даних, а також підключення безпроводових точок доступу. «Розумна» конвергенція в подібних системах передбачає надзвичайно гнучку зонну топологію мережі та спирається на високопродуктивну екрановану кабельну інфраструктуру. Невизначеності таких мереж можуть проявлятися як на технічному рівні (виникнення конфлікту між мережами різних будівель чи частинами мережі в силу відсутності повної інформації про стан всіх підсистем), так і на організаційному рівні (особа, що приймає рішення в процесі управління конвергентною мережею не має повної, достовірної, чіткої, точної інформації, яка необхідна для опису стану системи та формування управлінського рішення) [6, 7].

Мета дослідження.

Метою дослідження є оптимізація обміну інформацією в мережах на основі моделей взаємодії вузлів конвергентних (різнорідних) мереж за наявності невизначеностей різного характеру.

Результати дослідження.

Значний інтерес для дослідження представляють невизначеності, які мають суб'єктивний характер та проявляються за наявності наступних чинників:

- має місце взаємодія не менше двох підсистем, що володіють власними, неспівпадаючими інтересами (такими підсистемами можуть бути окремі радіосистеми мережі);

- підсистеми мають різну ступінь поінформованості про значення параметрів системи в цілому (оскільки радіосистеми взаємодіють тільки через системи управління телекомунікаційними мережами) і зовнішнього середовища (радіодоступ);

- підсистеми мають неповні знання про систему, але в своїй роботі керуються приблизно симетричними принципами поведінки (наприклад, дві і більше мережі IoT працюють в неліцензованому радіочастотному спектрі на одних і тих же частотах [8]);

- враховується можливість і доцільність розширення класу використовуваних стратегій за рахунок прямого або непрямого обміну інформацією про неточно відомі параметри (радіус дії базової станції, частота на якій здійснюються передача, потужність радіосигналу та інше).

Наявність суб'єктивної невизначеності призводить, як правило, до децентралізації керування [9]. При децентралізації керування з'являється можливість використовувати більший обсяг інформації і завдяки цьому підняти ефективність, хоча, зрозуміло, ефективність може знизитися через виникнення конфліктної ситуації при формуванні загального управляючого рішення. В процесі функціонування мережі при децентралізованому управлінні достатньо легко можна отримати вичерпну інформацію про будь-який з параметрів підсистеми, однак не можна опрацювати інформацію відразу про всі параметри.

Будемо розглядати окремі підсистеми конвергентної мережі з точки зору теорії ігор як окремих гравців. Кожному гравцеві відома інформація про власний стан, тобто підсистема мережі володіє повними даними про поточні характеристики. Однак, враховуючи децентралізований характер управління мережею, передача інформації між підсистемами/гравцями може мати певні обмеження:

- підсистеми можуть приховувати інформацію про свої параметри від інших підсистем;
- підсистеми з тих чи інших причин можуть передавати завідомо неправдиві відомості.

Нехай U і V - множини керуючих впливів (параметрів , що потребують узгодження) першого і другого гравців відповідно; $g^1: U\times V \to R$ і $g^2: U\times V \to R$ – їх функції виграшу. Де перший гравець – це основна, базова станція макросоти, а другий – це допоміжна станція що утворює свою мікросоту. Розглянемо випадок, коли першому гравцеві (центру) невідома точно функція виграшу другого (вибір каналу передачі та потужності передавача для забезпечення стабільної передачі даних з максимальною швидкістю). Однак будемо вважати, що йому відомо параметричне сімейство $\tilde{g}^2(u,\upsilon,\alpha), \alpha \in A$ функцій $g^2(u,\upsilon,\alpha)$, $\alpha \in A$, якому заздалегідь належить функція $g^2(u,\upsilon)$, тобто $g^2(u,\upsilon)= \tilde{g}^2(u,\upsilon,\beta)$ при деякому $\beta \in A$. Для простоти припустимо, що множина A скінчена: A = {1, 2, ..., n}.

Розглянемо наступну процедуру прийняття рішень. Центр розраховує на інформацію про вибір другого гравця і дійсно буде її мати. У цих умовах він вибирає параметричне сімейство стратегій $\tilde{u}^\gamma: V \to U$ і повідомляє його другому гравцеві (параметр γ пробігає множину A). Другий гравець знає тільки, що стратегія центру буде обрана з цього сімейства, і поводить себе обережно через наявність невизначеності, яка залишилася. Більш точно множина $R(\tilde{u},\alpha)$ раціональних відповідей другого гравця на сімейство стратегій $\{\tilde{u}^\gamma\}$ при невизначеному факторі α визначається наступними умовами:

$$R(\{\tilde{u}^\gamma\},\propto)=\{\upsilon\in V|\min g^2(\tilde{u}^\gamma(\upsilon),\upsilon)=\max \min g^2(\tilde{u}^\gamma(\upsilon),\upsilon)\}: \gamma\in A,\ \upsilon\in V,$$

якщо максимум в цьому виразі досягається

$$R(\{\tilde{u}^\gamma\},\propto)=\{\upsilon\in V|\min g^2(\tilde{u}^\gamma(\upsilon),\upsilon)=\sup \min g^2(\tilde{u}^\gamma(\upsilon),\upsilon)-\delta\}: \gamma\in A,\ \upsilon\in V,$$

в іншому випадку (тут δ - відома першому гравцеві позитивна величина). Таким чином, повідомивши другому гравцеві сімейство стратегій $\tilde{u}^\gamma$, центр може гарантовано розраховувати на виграш:

$$W_1\left(\{\tilde{u}^\gamma\}\right)=\min_{\alpha\in A}\ \inf_{\upsilon\in R\left(\{\tilde{u}^\gamma\},\alpha\right)}\ \max_{\gamma\in A} g^1\left(\tilde{u}^\gamma(\upsilon),\upsilon\right)$$

Задача центру полягає в максимізації цієї величини. Оптимальне управління, таким чином, ґрунтується на максимальній дії першої g^1 станції та максимальній протидії іншої станції g^2. Обережність другого гравця по відношенню до невизначеності, що штучно вноситься центром, є досить суттєвим припущенням. З іншого боку, неоднозначне повідомлення центру про свої дії на практиці не виключено, а в такій ситуації припущення про обережність другого гравця досить природнє. Якщо гравці можуть додатково обмінюватися інформацією про α, то той самий результат може бути гарантований центру і за наявності у множині V ізольованих точок. По суті умова відсутності ізольованих точок у множині V використовується в даному випадку для організації передачі інформації про α без істотної зміни виграшів гравців.

Якщо розглядати обмін інформацією за наявності випадкових факторів, то будемо мати дещо іншу модель взаємодії гравців/підсистем. Така модель буде характеризуватися наступними моментами:1) припустимо, що центру точно відомий критерій гравця нижнього рівня, але невідомі точно його можливості; 2) будемо вважати, що невизначений фактор має випадковий характер, причому закон розподілу точно відомий центру. Відзначимо, що розуміння ймовірності тут дещо нетрадиційне: з одного боку, не можна розраховувати на досить велику кількість повторень ситуації, яка моделюється; з іншого боку, не використовуються результати типу закону великих чисел, тому всі ймовірності можна трактувати, наприклад, як суб'єктивні.

Будемо вважати, що множини U і V підмножини скінченновимірних евклідових просторів, причому множина V не містить ізольованих точок. Обчислимо максимально гарантований результат центру:

$$W_1^0 = \sup_{\{\tilde{u}^\gamma\}} W_1\left(\{\tilde{u}^\gamma\}\right).$$

Задамо наступні функції і множини:

$$L(\alpha) = \max_{\upsilon\in V}\min_{u\in U}\tilde{g}^2(u,\upsilon,\alpha),$$

$$E(\alpha) = arg\max_{\upsilon\in V}\min_{u\in U}\tilde{g}^2(u,\upsilon,\alpha),$$

$$D(\alpha) = \left\{(u,\upsilon)\in U\times V \middle| \tilde{g}^2(u,\upsilon,\alpha) > L(\alpha)\right\},$$

$$M(\alpha) = \min_{\upsilon\in E(\alpha)}\max_{u\in U} g^1(u,\upsilon),$$

$$K(\alpha) = \sup_{(u,\upsilon)\in D(\alpha)} g^1(u,\upsilon).$$

Визначимо абсолютно оптимальну стратегію центру φ^0 і стратегії покарання другого гравця φ^γ ($\gamma \in A$) наступними умовами:

$$\varphi^0(\upsilon) = \arg\max_{u\in U} g^1(u,\upsilon),$$

$$\varphi^\gamma(\upsilon) = \arg\min_{u\in U}\tilde{g}^2(u,\upsilon,\gamma).$$

Розіб'ємо множину A на дві підмножини, що не перетинаються:

$$A_0 = \left\{\alpha \in A \middle| D(\alpha) \neq \varnothing, K(\alpha) \geq M(\alpha)\right\},$$

$$A_1 = A \setminus A_0.$$

Нехай $(u^\alpha, \upsilon^\alpha)$ реалізує (можливо, з ε-точністю) верхню межу у визначенні $K(\alpha)$ $(\alpha \in A_0)$. Оскільки множина V не містить ізольованих точок, а функції g^1 і $\tilde{g}^2$ безперервні, ці точки можна вибрати так, що $\upsilon^\alpha \neq \upsilon^\beta$ при $\alpha \neq \beta$. Будемо вважати, що ця умова виконана. Позначимо

$$D = \left\{\upsilon^\alpha \middle| \alpha \in A_0\right\},$$

$$E = \bigcup_{\alpha \in A_1} E(\alpha)$$.

Припустимо що, у сформульованих умовах максимальний гарантований результат центру дорівнює

$$W_1^0 = \min_{\alpha \in A} \max\{K(\alpha), M(\alpha)\}.$$

Цей результат гарантується вибором і повідомленням другому гравцеві сімейства стратегій

$$\tilde{u}^{\gamma}(\upsilon) = \begin{cases} u^{\alpha}, \textit{якщо}\ \upsilon = \upsilon^{\alpha}, \\ \varphi^{\alpha}(\upsilon), \textit{якщо}\ \upsilon \in E \setminus D, \\ \varphi^{\gamma}(\upsilon)\ \textit{в інших випадках}. \end{cases}$$

Зауважимо, що не використовувалися не тільки додаткові обмеження на структуру гри, але і конкретний вид стратегії $\tilde{u}$. Практично так само доводиться, що виграш, більший $W^0{}_1$, не може бути гарантований центру ні на якому іншому класі стратегій.

За умови дотримання концепції синергії різнорідних мереж, наприклад, у випадку, коли в соті безпроводових гетерогенних мереж можуть працювати технології глобальних мереж з великим радіусом покриття і локальні мережі з маленьким радіусом покриття, розглянемо іншу модель. Ставлення центру до невизначеності в даній моделі таке, що він прагне до максимізації лінійної згортки значень свого критерію. Нехай g^1 - критерій центру, g^2 - функція виграшу гравця нижнього рівня. Функції g^1 і g^2 визначені і безперервні на декартовому добутку $U \times V'$ компактних підмножин U і V' скінченновимірних евклідових просторів. Множина U є множиною виборів першого гравця (центру). Множина виборів другого гравця $V(\alpha^0)$ міститься в множині V'. Множина $V(\alpha^0)$ відома другому гравцеві, але невідома центру. Щодо неї центр має в своєму розпорядженні лише наступну інформацію: відомо, що множина $V(\alpha^0)$ належить параметричному сімейству множин $\{V(\alpha), \alpha \in Q\}$. Надалі для простоти будемо вважати множину Q скінченою: Q={1, ..., n}. Вважаємо, що центру відома також ймовірність p_α, з якою може реалізуватися значення α ($\alpha \in Q$).

Розглянемо наступний сценарій дій гравців. Центр розраховує на інформацію про здійснений другим гравцем вибір точки υ з множини V' і дійсно буде мати цю інформацію. Він першим робить хід, повідомляючи партнерові обрану ним стратегію

$$\tilde{u} \in \tilde{U} = \{\tilde{u} : V' \to U\}.$$

Другий гравець вибирає своє керування, знаючи стратегію $\tilde{u}$ і дійсне значення α^0 невизначеного фактору. Центр вважає, що при цьому другий гравець вибере свій керуючий вплив неодмінно з множини, визначеної наступним чином:

$$R(\tilde{u}, \alpha^0) = \left\{ \upsilon \in V(\alpha^0) \,\middle|\, g^2(\tilde{u}(\upsilon), \upsilon) = \max_{\upsilon \in V(\alpha^0)} g^2(\tilde{u}(\upsilon), \upsilon) \right\},$$

якщо максимум в цьому виразі досягається, і

$$R(\tilde{u},\alpha^0)=\left\{\upsilon\in V(\alpha^0)\,\middle|\, g^2(\tilde{u}(\upsilon),\upsilon)\geq\sup_{\upsilon\in V(\alpha_0)} g^2(\tilde{u}(\upsilon),\upsilon)-\delta\right\}$$

в іншому випадку (тут δ - відоме центру позитивне число). Центр прагне максимізувати математичне очікування свого виграшу:

$$\sum_{\alpha=1}^{n} p_\alpha \inf_{\upsilon\in R(\tilde{u},\alpha)} g^1(\tilde{u}(\upsilon),\upsilon).$$

Природно, передбачається, що $p_\alpha>0$, $\alpha\in Q$, $\sum_{\alpha=1}^{n} p_\alpha=1$. Нехай

$$L_\alpha=\max_{\upsilon\in V(\alpha)}\min_{u\to U} g^2(u,\upsilon).$$

Визначимо стратегію покарання другого гравця $\tilde{u}^i$ умовою $g^2(\tilde{u}^н(\upsilon),\upsilon)=\min_{u\in U} g^2(u,\upsilon)$. Позначимо $P=\{V^i, i\in I\}$ кільце множин, яке породжене сімейством множин $\{V(\alpha),\alpha\in Q\}$, тобто сімейство всіх множин, які можуть бути отримані з множин $V(\alpha)$ за допомогою операцій об'єднання, перетину і доповнення.

Сформулювавши додаткову умову на гру, істотно спрощуємо її рішення. При всіх $\alpha\in Q$ і $i\in I$, таких, що $V^i\subset V(\alpha)$, функція $g^2(u,\upsilon)$ не має на множині $U\times V^i$ локальних максимумів зі значенням L_α. Цілком зрозуміло, що в типовому випадку ця умова виконується. Позначимо $z=(u_1,\upsilon_1,u_2,\upsilon_2,...,u_n,\upsilon_n)\in\prod_{\alpha=1}^{n}(U\times V(\alpha))$. Для будь-якого z визначимо множину

$$J_\alpha(z)=\left\{\beta\in Q\,\middle|\,\upsilon_\beta\in V(\alpha)\right\}.$$

Нехай Λ - множина всіх $z=(u_1,\upsilon_1,...,u_n,\upsilon_n)\in\prod_{\alpha=1}^{n}(U\times V(\alpha))$, які задовольняють умовам

$$g^2(u_\alpha,\upsilon_\alpha)>L_\alpha \quad \forall\alpha\in Q, \tag{1}$$

$$g^2(u_\alpha,\upsilon_\alpha)\geq g^2(u_\beta,\upsilon_\beta) \quad \forall\alpha\in Q,\forall\beta\in J_\alpha(z), \tag{2}$$

$$g^1(u_\alpha,\upsilon_\alpha)\leq g^1(u_\beta,\upsilon_\beta)\forall\alpha\in Q,\forall\beta\in\left\{\gamma\in J_\alpha(z)\,|\,g^2(u_\alpha,\upsilon_\alpha)=g^2(u_\gamma,\upsilon_\gamma)\right\}, \tag{3}$$

$$\upsilon_\alpha=\upsilon_\beta\Rightarrow u_\alpha=u_\beta. \tag{4}$$

Позначимо $K=\sup_{z\in\Lambda}\sum_{\alpha=1}^{n} p_\alpha g^1(u_\alpha,\upsilon_\alpha)$. Нехай ця верхня межа досягається (можливо, з точністю ε) в точці $z^0=(u^0_1, \upsilon^0_1, \ldots, u^0_n, \upsilon^0_n)$. Розглянемо стратегію

$$\tilde{u}^0(\upsilon) = \begin{cases} u_\alpha^0, & якщо\ \upsilon = \upsilon_\alpha^0, \alpha \in Q, \\ \tilde{u}^н(\upsilon) & в\ іншому\ випадку. \end{cases}$$

Пропустимо, що виконується умова *A*. Тоді максимальний гарантований результат центру в розглянутій грі дорівнює *K* і досягається (можливо, з точністю ε) при використанні центром стратегії $\tilde{u}^0$. Пояснимо змістовний сенс введених конструкцій. Центр пропонує другому гравцеві при значенні невизначеного параметру *α* вибирати керуючий вплив $\upsilon^0{}_\alpha$ та загрожує покаранням за невиконання цієї умови. Умова (1) означає, що другому гравцеві невигідно провокувати застосування стратегії покарання. Оскільки центр не знає дійсного значення невизначеного фактору *α*, другий гравець може вибрати точку υ_β замість υ_α, але при цьому він або зменшить свій виграш, або збільшить виграш центру (умови (2), (3)), тобто такий обман вигідний другому гравцеві тільки тоді, коли він вигідний і центру. Умова (4) забезпечує однозначність функції $\tilde{u}^0$ (фактично, вибравши точку υ_α, другий гравець передає центру необхідну інформацію про *α*).

Нехай гра задовольняє наступній умові: для будь-якого ε>0, будь-якого $i \in I$ і будь-якої точки $(u^1, \upsilon^1) \in U \times V^i$ існує точка $(u^2, \upsilon^2) \in U \times V^i$, така, що

$$\| u^1 - u^2 \| \le \varepsilon, \ \| \upsilon^1 - \upsilon^2 \| \le \varepsilon g^2(u^1, \upsilon^1) \ne g^2(u^2, \upsilon^2).$$

Тоді, як неважко бачити, верхня межа у визначенні *K* може бути з будь-якою наперед заданою точністю реалізована в точці $z=(u_1, \upsilon_1, \ldots, u_n, \upsilon_n)$, такій, що $g^2(u_\alpha,\upsilon_\beta) \ne g^2(u_\beta,\upsilon_\beta)$ при $\alpha \ne \beta$, і умова (3) виконується автоматично. Тому при обчисленні величини *K* її можна опустити.

Припустимо тепер, що в момент вибору υ другий гравець має можливість повідомити центру значення невизначеного фактору (не обов'язково істинне), а стратегією центру є функція $\tilde{\tilde{u}} : V' \times Q \to U$. У цьому випадку схема обчислення максимального гарантованого результату центру залишається тією ж самою, але умову (4) у визначенні Λ потрібно опустити, оскільки з'явилася додаткова можливість передавати інформацію. При такому розширенні поняття стратегії результат центру може збільшитися, але це станеться тільки тоді, коли множини V^i міститимуть ізольовані точки.

Висновки.

Розроблено модель взаємодії різнорідних підсистем телекомунікаційної мережі в умовах невизначеності. Для математичного моделювання конфліктних ситуацій застосовано теорію ігор. Досліджено особливості взаємодії підсистем в умовах, коли учасники конфлікту мають неповну інформацію про параметри системи в цілому. Це дозволяє будувати гетерогенні телекомунікаційні мережі з повноцінною взаємодією сегментів глобального та локального характеру. Перспективою подальших досліджень може бути розгляд моделі взаємодії рівноправних підсистем в умовах, коли учасники конфлікту мають неповну інформацію про параметри системи в цілому. Гравці для такого випадку будуть керуватися симетричними принципами раціональної поведінки. Прикладом взаємодії можуть виступати дві рівноправні підсистеми радіодоступу, зокрема мережі, що працюють в неліцензійному радіочастотному спектрі оскільки вони часто працюють на одній і тій же частоті. З появою мереж з підтримкою концепції IoT вирішення подібних задач взаємодії є актуальним. Однак, оскільки кількість різних постановок задач при цьому надзвичайно велика, не є можливим описати всі постановки докладно.

Список використаної літератури

1. Michael A. Gallo,William M. Hancock (2002). "*Network Convergence*". Networking Explained. DOI: 10.1016/B978-155558252-4/50043-2.
2. Baldwin, H. (2007). When networks converge. 36-40.
3. Convergence and Next Generation Networks. OECD Ministers' meeting on The Future of the Internet Economy. 17-18 June 2008, Seoul, Korea. 63 p.
4. Бондарчук А.П. Модель взаємодії інформаційних систем в умовах конфлікту / А.П. Бондарчук // Телекомунікаційні та інформаційні технології. Київ: ДУТ, 2017. №. 4. С. 33-40.
5. Валери Магвайр. Конвергенция с расширенными возможностями. Журнал сетевых решений/LAN, 2015, № 05-06.
6. В.Алексеев. Технологии «Интернета вещей» для сетей ISM нелицензируемого диапазона частот// Беспроводные технологии. № 1. 2017. С. 44-50.
7. Карен Роуз, Скотт Элдридж, Лайман Чапин. Вопросы и проблемы использования сети Интернет в более глобальном масштабе. Интернет вещей: краткий обзор. (2015) The Internet Society (ISOC). 75 с.
8. Бондарчук А.П. Анализ требований при разработке системы управления прикладными задачами IoT / А.П. Бондарчук, Ю.В. Каргаполов, А.А. Макаренко, А.Б. Придыбайло, О.В. Сеньков // Телекомунікаційні та інформаційні технології. Київ: ДУТ, 2018. №. 1. С. 24-30.
9. Иваненко, В. И. Проблема неопределенности в задачах принятия решений/ В.И. Иваненко. - Киев: Наукова думка, 1990. - 136 с.

References

1. Michael A. Gallo,William M. Hancock (2002). "*Network Convergence*". Networking Explained. DOI: 10.1016/B978-155558252-4/50043-2.
2. Baldwin, H. (2007). When networks converge. 36-40.
3. Convergence and Next Generation Networks. OECD Ministers' meeting on The Future of the Internet Economy. 17-18 June 2008, Seoul, Korea. 63 p.
4. Bondarchuk A.P. (2017) Model of information systems interaction in conflict conditions. *Telecommunication and information technologies.* Kyiv: SUT. №. 4. P. 33-40.
5. Valerie Maguire. Convergence with advanced capabilities. Journal of network solutions /LAN, 2015, № 05-06.
6. V. Alekseev. (2017) Internet of Things technologies for ISM networks of unlicensed frequency range. *Wireless technologies*. № 1. P. 44-50.
7. Karen Rose, Scott Eldridge, Lyman Chapin. Issues and problems of using the Internet on a more global scale. Internet of Things: a brief overview. (2015) *The Internet Society (ISOC).* 75 p.
8. A.P. Bondarchuk, Yu.V. Kargapolov, A.A. Makarenko, A.B. Pridybailo, O.V. Senkov.(2018) Analysis of requirements in the development of a management system for IoT applied tasks. *Telecommunications and Information Technologies*. Kyiv: SUT. №. 1. P. 24-30.
9. Ivanenko V.I. (1990) The problem of uncertainty in the decision-making tasks. *Kiev: Naukova Dumka*. 136 p.