УДК 004.021

А.В. Катренко, І.В. Савка
Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра інформаційних систем та мереж

МЕХАНІЗМИ КООРДИНАЦІЇ У СКЛАДНИХ ІЄРАРХІЧНИХ СИСТЕМАХ

Розглянуто проблеми координації у багаторівневих ієрархічних системах. Проаналізовано механізми координації та особливості їх застосування. Проведено загальний огляд механізмів та процедур координації. Сформульовано задачу координації, проаналізовано та математично формалізовано алгоритми координації у багаторівневих ієрархічних системах.

The article discussed the problems of coordination in multilevel hierarchical systems. There assayed the analysis of application coordination and features mechanisms. Also there was conducted the general review of the coordination mechanisms and procedures. There was formulated supply problems of coordination and analysis and mathematical formalization of coordination algorithms in multi-hierarchical systems.

Постановка проблеми

Виникнення ієрархічної структури керування було зумовлене зростанням складності технологій об’єктів, які контролюються. Це створює великі труднощі для централізованого керування. Тому з’явилася необхідність у розділенні всього процесу прийняття рішень на таку кількість рівнів, щоб розв’язання задачі оптимізації на кожному з них було нескладним. Складна система складається з різноманітних елементів – керуючих центрів, які виникають у результаті горизонтального та вертикального розподілу функцій. Кожний такий центр характеризується цілеспрямованою поведінкою, наявністю власних ресурсів та інтересів, а також бажанням задовольнити ці інтереси. Відмінності ресурсів, функціонального призначення структурних ланок, ціннісних орієнтацій керуючих центрів зумовлюють відмінності їх цілей та інтересів. Саме тому з виникненням багаторівневих ієрархічних систем управління з’явилася і нова задача узгодження та координації рішень, що приймаються на всіх рівнях керування.

Місце і роль координації серед інших функцій управління визначають як центральне, основне, оскільки координаційна діяльність становить суть управління.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Основною задачею, що розв’язується при проектуванні ієрархічних систем керування, є розроблення алгоритмів координації. Такі алгоритми необхідні для узгодження роботи автономних підсистем. До останнього часу основна увага приділялася координації під час розв’язування оптимізаційних задач і координації у лінійних динамічних системах [1,2].

Очевидною стає необхідність координації зусиль всіх вузлів системи, гармонізація всієї діяльності. У науковій літературі координація зазвичай трактується (в порядку від загального визначення до конкретного) як:

- подолання надлишкових ступенів свободи рухомого органу керування, тобто перетворення його в систему, якою можна керувати (Н.А. Бернштейн) [12];

• процес досягнення єдності зусиль всіх підсистем (підрозділів) організації для реалізації її задач та цілей (В.Н. Парахіна, Л.І. Ушвіцький) [13];

• керівна діяльність, що полягає в забезпеченні взаємозв'язку та узгодженості суб'єктів, об'єктів і процесів праці в часі та просторі (А.Л. Гапоненко, А.П. Панкрухін)[14];

• функція менеджменту у встановленні зв'язків, організації взаємодії і узгодженості роботи компонентів системи, оперативної диспетчеризації виконання планів і задач (Р.А. Фатхутдінов) [15];

Ієрархію цілей координації як функції керування можна побудувати так: у порядку від конкретного вмісту до глобальної мети (рис. 1)

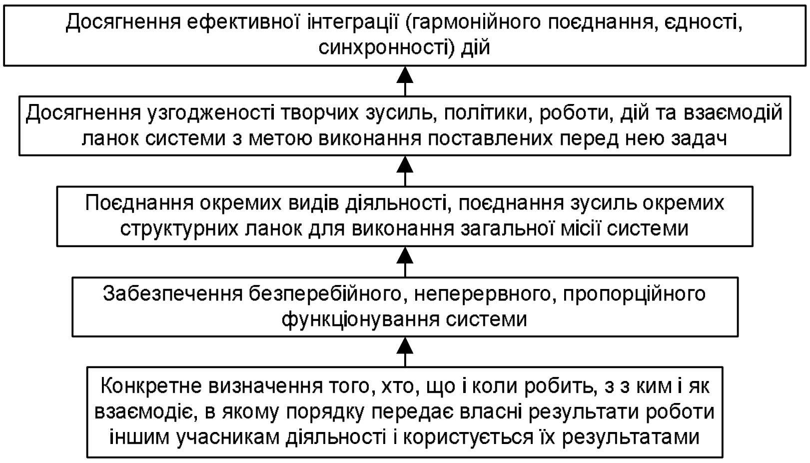

Рис. 1. Ієрархія цілей координації

Однією із особливостей ієрархічних систем є агрегування інформації, що передається на верхній рівень керування [2]. Елемент верхнього рівня (координатора) цікавить не поточний стан всіх елементів нижнього рівня, а певні показники їх роботи на визначеному інтервалі часу. Ця інформація допомагає ефективно розв'язувати координуючу задачу управління. Рішення елемента верхнього рівня, пов'язане з вибором поточної координуючої дії, приймається за деякими спрощеними моделями. Ці моделі відображають поведінку елементів нижнього рівня. Важливо зазначити, що ці спрощені моделі (абстракції) повинні описувати не лише сам об'єкт управління, але й локальні регулятори, що використовуються на нижньому рівні. Очевидно, що сам алгоритм координації визначається підходом до агрегування інформації, тобто методом стратифікації системи.

Основні принципи координації – це взаємозв'язок і одночасність, ієрархічна підпорядкованість, узгодження, збалансованість, рівновага, резервування, єдність команд і дій, загальна ціль.

Механізми координації – це способи досягнення її цілей, вказаних вище (рис. 1). Способами координації є: візування та інші форми взаємного контролю, розподіл задач за ієрархією керування, створення комітетів і комісій, наради між відділами, поширення інформації, переговори, пряме спостереження, розроблення правил, процедур, графіків, норм, планів тощо.

Безумовно, вибір механізму координації залежить від середовища, в якому системі доводиться функціонувати, від обраної стратегії, структури та інших функцій керування. Однак, незважаючи на те, що кожний з описаних в літературі способів містить момент істини, вони не дають цілісного уявлення про функції координації, не вказують місця і ролі кожного способу в загальній схемі координації систем. Упорядкувати уявлення про координацію можна на основі таких теоретичних міркувань: у довільній системі в межах прийнятої структури серед потенційно можливих зв'язків (дій) існує такий їх набір, який забезпечить реалізацію місії (стратегії, цілей) системи якнайкраще. Задача координації – створити умови для вибору і реалізації в кожному керуючому центрі саме тих зв'язків, які разом становлять «найкращий набір зв'язків».

Тут теоретично можна виділити дві невизначеності вибору необхідних зв'язків:

1) зв'язки відомі, але їх не обрали;
2) зв'язки не обрали тому, що вони невідомі в тих центрах, від яких залежить вибір.

Звідси – два шляхи забезпечення узгодженості вибору:

1) звуження відомих (допустимих) зв'язків за рахунок вилучення «поганих», щоб уникнути випадкового пропуску непотрібних зв'язків;
2) розширення відомих зв'язків за рахунок підвищення інформованості центрів, щоби уникнути невведення потенційно кращих зв'язків до множини відомих.

Координатор є елементом ієрархічної системи, що відповідає за координацію діяльності різних центрів прийняття рішень. Особа, що приймає рішення – координатор – визначає найкращий з його погляду набір зв'язків (операцій, дій, взаємодій) і вказує всім (сам або через інших координаторів) ланкам-виконавцям точно виконувати визначені дії.

Отже, ми виділяємо чотири механізми координації, розділені на два класи, які можна умовно назвати:

1) обмеження – звуження множини відомих (доступних) зв'язків:
a) інструкції (норми);
b) стандартизація (наприклад, стандартизація операцій);
2) інформування – розширення множини відомих (доступних) зв'язків:
a) комунікація (наприклад, збори);
b) координатор (керівник).

Співвідношення понять, що характеризують координацію як функцію керування, показано на рис. 2.

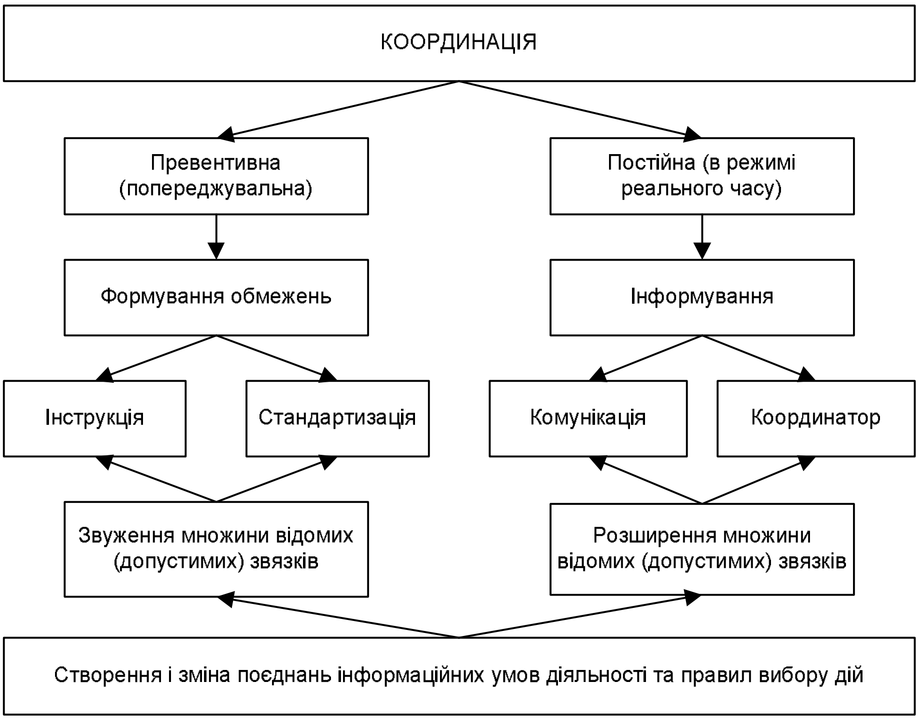

Рис. 2. Співвідношення понять у реалізації функції координації

Сьогодні виявляються три важливі тенденції в зміні підходу до координації. Це:

1) зниження жорсткості вертикальних зв'язків;
2) розширення горизонтальних зв'язків;

3) відхилення від ієрархічності як головного принципу координації і, як наслідок, заміна вертикальних механізмів координації горизонтальними.

Мета статті

Метою статті є огляд та порівняльний аналіз моделей, методів та алгоритмів координації у багаторівневих системах, а також визначення оптимальних механізмів координації. Значна увага приділяється математичній формалізації та обґрунтуванню ітеративних та неітеративних алгоритмів координації та умовам їх використання.

Механізми координації в складних ієрархічних системах

Загальна схема координації у дворівневій системі зводиться до такого: елементи передають в центр набір варіантів своєї роботи. Кожний варіант є векторним показником елемента, припустимим з погляду його локальних обмежень. На основі отриманих від елементів варіантів центр формує план, оптимальний з погляду всієї системи [2]. Цей план передається елементам і деталізується ними.

Проте під час моделювання складних систем неможливо врахувати достатньо велику кількість реальних факторів, оскільки це приведе до ускладнення системи. Тому в модель доводиться вводити лише обмежену кількість таких факторів, які з тих чи інших міркувань вважають найважливішими. При цьому можливі два підходи. Невраховані в описі моделі фактори можна вважати абсолютно неважливими і повністю їх ігнорувати під час прийняття рішень з використанням цієї моделі. З іншого боку, за другим підходом можна явно не вводити неважливі фактори в математичну модель, але враховувати їх вплив, припустивши, що реакція моделі на ту або іншу дію (вибір альтернативи) може бути відома лише наближено або нечітко.

До переваг ієрархічної структури автоматизованого управління, в якій на нижньому рівні знаходиться велика кількість нескладних задач, а на вищих рівнях – невелика кількість складних задач, належать зниження загальної вартості опрацювання інформації в системі та підвищення пропускної здатності хост-машин в мережі, а також стійкість до завад. Критичні для системи функції продовжують виконуватися локальними системами керування при виході з ладу хост-машини або лінії зв’язку.

Загальна задача оптимального керування ієрархічними системами зазвичай ставиться як статична оптимізаційна задача, тобто розглядається задача функціонування на достатньо великих проміжках часу, під час яких динамікою перебігу процесів можна знехтувати. Існує два види алгоритмів координації: ітеративні та безітеративні.

У наявних сьогодні ітеративних процедурах (алгоритм Данцига–Вульфа, алгоритм Корнаї–Ліптака, методи, що ґрунтуються на введенні функції Лагранжа або її різних модифікацій, алгоритми оптимізації, узагальнена схема ітеративних алгоритмів Алієва та Ліберзона) оптимальне рішення визначається в процесі ітеративного обміну інформацією між центром і елементами. На кожному кроці ітеративного процесу розв’язуються локально-оптимальні задачі елементів і координуюча задача центру.

За методами координації, побудованими на основі безітеративних алгоритмів, координація здійснюється в результаті одноразового обміну інформацією між рівнями. Переважно безітераційні алгоритми зводяться до побудови множини ефективних рішень для організаційних ієрархічних систем (у роботах [2, 3] наведені алгоритми координації, що ґрунтуються на нечіткій логіці і композиційному правилі Заде). У роботі [4] була запропонована безітеративна процедура прийняття рішень у багаторівневій ієрархічній системі на основі теорії нечітких множин і нечіткого динамічного програмування Беллмана–Заде, а також числовий матричний метод для випадку опуклих функцій належності для підсистем.

У [5] пропонується метод, що ґрунтується на декомпозиції загальної задачі управління на підзадачі. Цей метод дає змогу явно сформулювати всі припущення, що приймаються при заміні загальної задачі на підзадачі. Проте під час використання цього методу можуть виникати труднощі отримання структури підзадач і принципів координації, сумісних з реальними методами управління технологічними процесами.

Для багаторівневої організаційно-технологічної системи міжрівнева і внутрішньорівнева координація характеризується рівнем організації взаємодії [6, 7]:

1. *Координація за цілями*. Система керування вищого рівня може встановлювати для підсистеми нижчого рівня цілі функціонування і показники, що їх характеризують із зазначенням їх кількісних значень на період планування. Тобто цільова функція підсистеми формується вищим рівнем [8].

2. *Координація за обмеженнями*. У цьому випадку на ряд параметрів у точках дотику підсистем встановлюються обмеження вищою системою керування. Ці обмеження задаються з системних позицій і враховують цілі та обмеження підсистем.

3. *Координація в часі*. Цей тип координації полягає в синхронізації роботи підсистем.

4. *Координація за параметрами* (вхідними або вихідними).

Координуючі дії належать до одного з таких видів:

1) інтегральна координація (слабка), коли для кожної підсистеми задається плановий показник K на визначений період часу T і різноманітні обмеження (нормативи): $\int_0^T [z(t) - z^*]\,dt \le K$;

2) чітка координація (жорстка), коли для параметра K, який координується, в кожний момент часу ставиться вимога дотримання рівності $K(t) = K$;

3) інтервальна координація, яка вимагає лише належності координуючого параметра K заданому інтервалу:
$K(t) \in [K_{\min}, K_{\max}]$;

4) лінгвістична координація, під час якої генеруються нечіткі координуючі вказівки природною мовою.

У такому випадку координуюча величина K є нечіткою і задається функцією належності $\mu(K)$. Важливим питанням є і вибір принципу координації [6, 7]: прогнозованої взаємодії, збалансованої взаємодії, оціненої взаємодії, координуючий принцип навантажувального типу і координуючий принцип коаліційного типу.

Центральною проблемою розроблення розподілених процедур розв’язання складних задач є декомпозиція задачі на підзадачі і вибір таких методів їх вирішення, які приводили б до отримання задовільного за якістю розв’язку задачі загалом за невеликий (визначений) період часу. Формальні методи такої декомпозиції розроблені слабко і переважно для добре формалізованих задач певного часу.

Основі принципи теорії багаторівневих ієрархічних систем наведені в монографії [6]. У цій роботі запропоновані певні принципи декомпозиції функції мети системи загалом і обмежень на цільові функції та окремі підсистеми. Кожна підсистема оптимізує свою функцію мети, а верхній рівень координує рішення нижчих підсистем так, щоби досягався оптимум функції мети системи загалом. Процес координації здійснюється за допомогою певних фіктивних змінних, які для нижчих підсистем є параметрами. Задачі, критерії і фіктивні змінні підсистем різних рівнів при декомпозиції можуть не відповідати реальним функціям керуючих органів і диспетчерських служб цих підсистем. Тому для реальної системи застосувати декомпозицію у чистому вигляді проблематично.

Аналіз та синтез ієрархічних систем безпосередньо не зводиться до класичної теорії оптимальних систем, яка має справу лише з однорівневими та одноцільовими системами. Ієрархічні системи належать до класу багаторівневих та багатоцільових систем. У цих системах змінюється саме поняття оптимальності, тому дуже важко знайти адекватні математичні постановки задач і вкласти чіткий зміст у поняття оптимальності.

Алгоритм координації

Постановка задачі координації у багаторівневих системах

Розглянемо ієрархічну систему з так званою пірамідальною структурою. Прикладом системи з пірамідальною структурою є система, зображена на рис. 3.

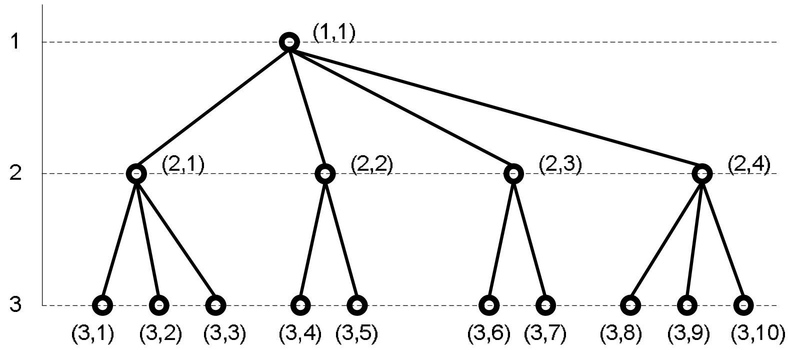

Рис. 3. Приклад системи з пірамідальною структурою

Нехай загальна кількість рівнів у системі дорівнює L (для системи на рис. 3 $L=3$). На l-му рівні, $l \in [1:N]$, наявні N_l елементів, причому на найвищому, першому рівні наявний лише один елемент $N_1 = 1$ (для нашого прикладу $N_2 = 4$, $N_3 = 10$). Позначимо i-й елемент l-го рівня через (l,i).

Елементи всіх рівнів, починаючи з другого, належать до одного елемента верхнього рівня. Отже, для елемента (l,i) можна ввести множину індексів елементів $(l+1)$-го рівня, що належать до елемента (l,i). Позначимо ці множини через J_{li}, $l \in [1:L-1]$. Множини J_{li} мають такі властивості:

$$\underset{i\in[1:N_l]}{U} J_{li} = [1:N_{l+1}];\ J_{li_1} \cap J_{li_2} = \varnothing \text{ при } i_1 \neq i_2$$

(для нашого прикладу $J_{11} = \{1;2;3;4\}$; $J_{21} = \{1;2;3\}$; $J_{22} = \{4;5\}$; $J_{23} = \{6;7\}$; $J_{24} = \{8;9;10\}$).

Нехай x_{li}, $l \in [1:L]$, $i \in [1:N_l]$ – вектор, що характеризує стан елементу (l,i), $F_{li}(x_{li})$ – вектор показників цього елемента, який передається на верхній рівень, а $\Phi_{li}(x_{li})$ – векторний критерій елемента.

Взаємозв'язок між елементами різних рівнів задається відношенням:

$$x_{li} = \{F_{l+1j},\ j \in J_{li}\},\ l \in [1:L-1],\ i \in [1:N_i], (1)$$

(для нашого прикладу $x_{11} = (F_{21}, F_{22}, F_{23}, F_{24})$, $x_{21} = (F_{31}, F_{32}, F_{33})$ і т.д.). Отже, стан елемента (l,i) визначається спільним вектором показників елементів нижнього, $(l+1)$-го рівня, які належать до елемента (l,i).

Тепер зупинимося на обмеженнях, які мають задовольняти вектори x_{li}.

Для елементів найнижчого, L-го рівня обмеження записуються у вигляді

$$x_{L^i i} \in X_{Li},\ i \in [1:N_L], (2)$$

де X_{L^i} – деяка множина.

Для $l \in [1 : L-1]$ вектори x_{li} повинні задовольняти обмеження:

$$x_{li} \in X_{li} = X_{li}^1 \cap X_{li}^2, \tag{3}$$

де $X_{li}^1 = \{x_{li} = \{F_{l+1j}, j \in J_{ji}\} \mid F_{l+1j} = F_{l+1j}(x_{l+1j}); x_{l+1j} \in X_{l+1j}\}$; $X_{li}^2 = \{x_{li} \mid H_{li}(x_{li}) \geq b_{li}\}$; $H_{li}(\cdot)$ – вектор функції; b_{li} – вектори.

Так, для елемента (2.1) $x_{21} = (F_{31}, F_{32}, F_{33})$, $X_{21}^1 = \{x_{21} = (F_{31}(x_{31}), F_{32}(x_{32}), F_{33}(x_{33})) \mid x_{3i} \in X_{3i}, i = 1,2,3\}$; $X_{21}^2 = \{x_{21} \mid H_{21}(x_{21}) \geq b_{21}\}$.

Глобальна цільова функція системи збігається з цільовою функцією елемента першого рівня і має вигляд

$$H_{11}(x_{11}) \to \max . \tag{4}$$

Отже, задача координації – це задача (1) – (4). Вважатимемо, що ця задача має розв'язок

$$x^* = \left(\{x_{li}^*\}, l \in [1 : L], i \in [1 : N_l]\right).$$

Припущення 1. Для елементів всіх рівнів, починаючи з другого, виконується умова

$$x_{li}^* \in P_{li}^X ,$$

де P_{li}^X – множина Парето задачі векторної оптимізації

$$\begin{aligned} &\Phi_{li}(x_{li}) \to '\max' ; \\ &x_{li} \in X_{li} ; \qquad\qquad\qquad\qquad (5) \\ &l \in [2; L],\ i \in [1 : N_l]; \end{aligned}$$

$\Phi_{li}(\cdot)$ – векторний критерій елемента (l, i).

Достатні умови для виконання припущення 1 задаються такою теоремою.

Теорема 1. Нехай для функції $H_{li}(\cdot)$, $F_{li}(\cdot)$ виконуються такі умови монотонності:

$$\left.\begin{aligned} &1)\quad x_{li}^1 \geq x_{li}^2 \Rightarrow H_{li}(x_{li}^1) \geq H_{li}(x_{li}^2), l \in [2 : N], i \in [1 : N_l]; \\ &2)\quad x_{li}^1 \geq x_{li}^2 \Rightarrow F_{li}(x_{li}^1) \geq F_{li}(x_{li}^2), l \in [2 : N], i \in [1 : N_l]; \\ &3)\quad x_{11}^1 \geq x_{11}^2 \Rightarrow H_{11}(x_{11}^1) \geq H_{11}(x_{11}^2). \end{aligned}\right\} \tag{6}$$

Тоді для справедливості припущення 1 достатньо прийняти

$$\Phi_{li}(x_{li}) = F_{li}(x_{li}),\ l \in [1 : L-1],\ i \in [1 : N_l],$$

тобто обрати як векторний критерій елементів вектор показників.

Нехай припущення 1 не виконується. Тоді для деякого елемента (l_0, i_0) (надалі вважатимемо, що $i_0 = 1$) знайдеться точка $\bar{x}_{l_0 1} \in X_{l_0 1}$, така, що $F_{l_0 1}(\bar{x}_{l_0 1}) \geq F_{l_0 1}(x_{l_0 1}^*)$. Оскільки $\bar{x}_{l_0 1} \in X_{l_0 1}^1$, то знайдуться елементи $\bar{x}_{l_0+1j} \in X_{l_0+1j}$, $j \in J_{l_0 1}$ такі, що $\bar{x}_{l_0 1} = \{F_{l_0+1j}(\bar{x}_{l_0+1j}), j \in J_{l_0 1}\}$. Опускаючись далі по піраміді з точки $(l_0, 1)$, знайдемо, що існують допустимі вектори $\bar{x}_{l_0+2j}, \mathbf{K}, \bar{x}_{Lj}$, що дають змогу досягти вектор $\bar{x}_{l_0 1}$.

Для простоти позначень вважатимемо, що елементи на вищих рівнях $l_0 - 1, l_0 - 2, \mathbf{K}, 2, 1$, що визначаються під час руху по піраміді догори від елемента $(l_0, 1)$ так само, як і елемент $(l_0, 1)$, матимуть перші номери у межах свого рівня, тобто цими елементами будуть елементи $(l_0 - 1), \mathbf{K}, (2,1), (1,1)$.

Розглянемо точку $\bar{x}_{l_0-11} \overset{\Delta}{=} \left\{ \bar{F}_{l_0 1}, \left\{ F^*_{l_0 j}, \ j \underset{j\neq 1}{\in} J_{l_0-11} \right\}\right\}$. Оскільки $\bar{F}_{l_0 1} \geq F^*_{l_0 1}$, то $\bar{x}_{l_0-11} \geq x^*_{l_0-11}$. Тоді із (6) випливає, що $F_{l_0-11}\left(\bar{x}_{l_0-11}\right) \geq F^*_{l_0-11}$ і $H_{l_0-11}\left(\bar{x}_{l_0-11}\right) \geq H_{l_0-11}\left(x^*_{l_0-11}\right) \geq b_{l_0-11}$, а отже, $\bar{x}_{l_0-11} \in X_{l_0-11}$.

Аналогічно можна довести, що існує точка $\bar{x}_{11}$, така, що $\bar{x}_{11} \in X_{11}$ і $\bar{x}_{11} \geq \bar{x}^*_{11} \Rightarrow H_{11}\left(\bar{x}_{11}\right) > H_{11}\left(x^*_{11}\right)$, що суперечить оптимальності точки x^*_{11}.

Безітеративні алгоритми координації у багаторівневих системах

Загальна схема безітеративних алгоритмів координації у багаторівневих системах має такий вигляд:

Для елементів найнижчого L-го рівня вводиться в огляд задача векторної оптимізації.

$$\left.\begin{array}{l} \Phi_{Li}\left(x_{Li}\right) \to \text{'max'}; \\ x_{Li} \in X_{Li}, i \in [1:N_L] \end{array}\right\} \quad (7)$$

Нехай $S_{Li} = \left\{ F_{Li}\left(x_{Li}\right), x_{Li} \in P^X_{Li} \right\}$ – множина ефективних значень показників. На верхній, $(L-1)$-й рівень передається множина Q_{Li}, яка є деякою апроксимацією множини S_{Li}. У частковому випадку може бути $Q_{Li} = S_{Li}$.

Вкажемо декілька можливих варіантів визначення множини Q_{Li}:

Множини X_{Li} складаються із скінченної кількості точок. У цьому випадку множина Q_{Li} також складається із скінченної кількості точок. У випадку, якщо кількість точок у множині S_{Li} не дуже велика, то $Q_{Li} = S_{Li}$. У протилежному випадку з використанням методів кластерного аналізу проводиться "стиснення" інформації, у результаті чого передана множина Q_{Li} міститиме задану кількість точок.

1. Задачі (7) є задачами багатокритеріального лінійного програмування, а показники $F_{Li}\left(x_{Li}\right)$ також є лінійними функціями. У такому випадку як множину Q_{Li} можна використовувати лінійну комбінацію ефективних крайніх точок багатогранника $Y_{Li} = \left\{ F_{Li}\left(x_{Li}\right), x_{Li} \in X_{Li} \right\}$.

2. У випадку, коли задача (7) є нелінійною багатокритеріальною задачею, можна апроксимувати множину S_{Li} кінцевою e-сіткою або проводити багатогранну апроксимацію.

Для елементів на рівнях $L-1, \mathbf{K}, 3, 2$ вводяться задачі векторної оптимізації:

$$\left.\begin{array}{l} \Phi_{li}\left(x_{li}\right) \to \max; \quad x_{li} = \left\{ F_{l+1j}, \ j \in J_{li} \right\}; \\ F_{l+1j} \in Q_{l+1j}; \quad H_{li}\left(x_{li}\right) \geq b_{li}; \quad l \in [2:L-1], i \in [1:N_l] \end{array}\right\} \quad (8)$$

У результаті розв'язання задачі (8) формується множина Q_{li}, яка є апроксимацією множин

$$S_{li} = \left\{ F_{li}\left(x_{li}\right), x_{li} \in P^X_{li} \right\}.$$

Розглянемо декілька часткових випадків задачі (8).

1. Нехай множина Q_{l+1j} складається із скінченної кількості точок, а функції $\Phi_{li}(\cdot)$ та $H_{li}(\cdot)$ – лінійні. Тоді задача (8) є задачею багатокритеріального цілочислового програмування:

$$\left.\begin{array}{l} \sum\limits_{j \in J_{li}} A_{l+1j} F_{l+1j}; \quad \sum\limits_{j \in J_{li}} B_{l+1j} F_{l+1j} \geq b_{li}; \\ F_{l+1j} \in Q_{l+1j}; \quad Q_{l+1j} - \textit{кінцеві множини} \end{array}\right\} \quad (9)$$

2. Множини Q_{l+1j} є багатогранниками, заданими власними вершинами F^t_{l+1j}, де $t \in \left[1:T_{l+1j}\right]$.

Вважаючи функції $\Phi_{li}(\cdot)$ та $H_{li}(\cdot)$ лінійними, отримаємо задачу багатокритеріального лінійного програмування:

$$\sum_{j\in J_{li}} \sum_{t\in[1:T_{l+1j}]} A^t_{l+1j}\, l^t_{l+1j} \to \max ;$$

$$\sum_{j\in J_{li}} \sum_{t\in[1:T_{l+1j}]} B^t_{l+1j}\, l^t_{l+1j} \ge b_{li} ;$$

$$\sum_{t\in[1:T_{l+1j}]} l^t_{l+1j} = 1, \quad j\in J_{li} .$$

І нарешті, на найвищому, першому рівні розв'язується звичайна задача математичного програмування:

$$H_{11}(x_{11}) \to \max ;$$

$$x_{11} = \{F_{2j},\ j\in[1:N_2]\};$$

$$F_{2j}\in Q_{2j},\ j\in[1:N_2].$$

Ітеративні алгоритми координації у багаторівневих системах

Схему ітеративних алгоритмів координації у багаторівневих системах проілюструємо на прикладі системи, наведеної на рис. 3. Нехай $w^1 = \{w_{21}, w_{22}, w_{23}, w_{24}\}$ – координуючий сигнал, який обирається елементом найвищого, першого рівня і який скеровується елементам другого рівня. Елемент $(2,i),\ i\in[1:4]$ отримує координуючий сигнал w_{2i}, який дає змогу представити модель елемента $(2,i)$ у вигляді

$$\left.\begin{aligned} &R(w_{2i}, x_{2i}) \to \max; \\ &x_{2i} = \{F_{3j},\ j\in J_{2i}\}, \quad H_{2i}(x_{2i}) \ge b_{2i}; \\ &F_{3j}\in Y_{3j} = \{F_{3j}(x_{3j}),\ x_{3j}\in X_{3j}\}. \end{aligned}\right\} \tag{10}$$

Процедура розв'язання задачі (10) полягає у тому, що "центр" (у цьому випадку елемент $(2,i)$) формує координуючі сигнали для підлеглих йому елементів третього рівня. Ці координуючі сигнали дають змогу перетворити багатокритеріальні задачі елементів третього рівня на задачі математичного програмування:

$$\left.\begin{aligned} &R(w_{3j}, x_{3j}) \to \max; \\ &x_{3j}\in X_{3j}, \quad j\in J_{2j}. \end{aligned}\right\} \tag{11}$$

Використовуючи розв'язок задачі (11), за допомогою елемента $(2,i)$ розв'язують координуючу задачу, в результаті чого створюють нові координуючі сигнали для елементів третього рівня. Тобто, у результаті ітеративного обміну інформацією між елементом $(2,i)$ і підлеглими йому елементами третього рівня знаходять розв'язок задачі (10), який залежить від координуючого сигналу w_{2j}.

Потім формується і розв'язується координуюча задача елемента першого рівня. Розв'язком цієї задачі є нове значення координуючого сигналу w^1. Після отримання цього сигналу елементи $(2,i)$ починають знову розв'язувати задачі координації підлеглих їм елементів із третьої групи. Процес триває доти, поки не буде знайдено оптимального координуючого сигналу w^{1*}.

Порівняння ітеративних та безітеративних алгоритмів координації

За ітеративними процедурами оптимальне рішення визначається в процесі ітеративного обміну інформацією між центром і елементами. На кожному кроці ітеративного процесу розв’язуються локально-оптимальні задачі елементів і координуюча задача центру. Під час введення ітеративних процедур узгодження розв’язків в багаторівневих ієрархічних системах виникають перешкоди, зумовлені великими міжрівневими інформаційними потоками і відповідно великими затратами часу на обмін інформацією. Альтернативою до цього підходу є використання у вищих підсистемах детальних моделей нижчих підсистем, однак при цьому не використовуються переваги децентралізованого керування.

За безітеративними алгоритмами прийняття рішення здійснюється у результаті одноразового обміну інформацією між рівнями. У цьому випадку координуюча підсистема може мати для детермінованого варіанта детальні моделі підсистем і точно знати їх цільові функції. Однак такий підхід призводить до втрати переваг децентралізованого керування і виникнення складної задачі для вищого рівня. Переважно безітераційні алгоритми зводяться до побудови множини ефективних рішень для організаційних ієрархічних систем. Недоліком всіх безітеративних алгоритмів є необхідність визначення і передачі на вищий рівень управління всієї ефективної множини елементів (або достатньо точної апроксимації цієї множини). Однак алгоритми, основані на теорії нечітких множин, дають змогу будувати ефективні множини тільки для координуючих параметрів в інтервалах заданого рівня з врахуванням фактичної невизначеності для об’єкта керування.

Висновки

Розглянуто проблему координації рішень у багаторівневих ієрархічних системах. Незважаючи на дещо різне трактування поняття “координація” різними авторами, місце і роль координації серед інших функцій управління визначають як центральне, основне, оскільки діяльність з координування становить суть управління. Вибір механізму координації залежить від середовища, в якому системі доводиться функціонувати, від обраної стратегії, структури та інших функцій керування.

Однак, описані в літературі способи не дають цілісного уявлення про функції координації, не вказують місця і ролі кожного способу в загальній схемі координації систем. Саме тому в статті проаналізовано механізми координації та особливості їх застосування. Реалізовано загальний огляд механізмів та процедур координації, виділено рівні міжрівневої та внутрішньорівневої взаємодії.

Ієрархічні системи належать до класу багаторівневих та багатоцільових систем. У цих системах змінюється саме поняття оптимальності, тому дуже важко знайти адекватні математичні постановки задач і вкласти розумний зміст в поняття оптимальності. Зокрема в статті було сформульовано задачу координації та проаналізовано та математично формалізовано дві групи алгоритмів координації у багаторівневих ієрархічних системах, зокрема ітеративних та безітеративних алгоритмів.

Отримані результати призначені до використання при побудові систем підтримки прийняття рішень у багаторівневих ієрархічних системах за різних умов та за різної складності систем.

1. Месарович М. Теория иерархических многоуровневых систем / М. Месарович, Д. Мако, И. Такахара. – М.: Мир, 1973. – 344 с. 2. Алиев Р.А. М.И. Методы и алгоритмы координации в промышленных системах управления / Алиев Р.А., Либерзон М.И. – М.: Радио и связь, 1987. – 208 с. 3. Алиев Р.А. Безытеративные алгоритмы координации в двухуровневых системах / Р.А. Алиев, М.И. Либерзон // Изв. АН СССР. Техническая кибернетика, 1986. – № 3. – С.163–166. 4. Алтунин А.Е. Исследование и разработка методов принятия решений в многоуровневых иерархических системах газовой промышленности: автореф. … канд. техн.. наук. / А.Е. Алтунин; МИНХ и ГП им. И.М. Губкин. – М., 1979. – 24 с. 5. Погостинский Ю.А. Координационный механизм стратегического управления. – СПб., 2006. – 248 с. 6. Месарович М. Общая теория систем / М. Месарович, Я. Такахара. – М: Мир, 1978. – 312 с. 7. Nachane D.M. Optimization methods in multilevel systems: a methodological survey / Nachane D.M. // "Eur. J. Oper. Res.". – 1985 – N1. – P. 25-38. 8. Findeisen W. Two-level control and coordination for dinamisal systems / Findeisen W., Malinowski K. // Archiwum *automatiki i telemechaniki. – T. XX1V, N . – P. 3–27. 9. Wilson I.D. Foundations of hierarhical control / Wilson I.D. // "International Journal of Control" – 1979. N 6. – P. 899–933. 10. Lee K.Y. Coordinated control of distributed-parameter systems / Lee K.Y. // "Distrib. Parameter Contr. Syst.", Oxford. – 1982. – P. 213–238. 11. Michalska H. Joint coordination method for the steady-state control of large-scale systems / Michalska H., Ellis J.E., Roberts P.D. // Int. J. Syst. Sci. – 1985. – N 5. – P. 605–618. 12. Бернштейн Н.А. Архив биологических наук: Проблема взаимоотношений координации и локализации. Т. 38, вып. 1. – 1935. 13. Васильев Ю.В. Теория управления / Ю.В. Васильев, В.Н. Парахина, Л.И. Ушвицкий (ред.) – М.: Финансы и статистика, 2008. – 608 с. 14. Гапоненко А.Л. Теория управления / А.Л. Гапоненко, А.П. Панкрухина. – М.: РАГС, 2003. – 558 с. 15. Фатхутдинов Р.А. Стратегический менеджмент / Фатхутдинов Р.А. – 2-е изд., доп. – М.: ЗАО "Бизнес-школа "Интел-Синтез", 1998. – 416 с.*

УДК 004.832.2; 004.852; 004.942

П.О. Кравець, О.М. Проданюк
Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра інформаційних систем та мереж

МАРКІВСЬКІ МЕТОДИ НАВЧАННЯ У СИСТЕМАХ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

Досліджується проблема оптимального прийняття рішень за допомогою марківських методів навчання. Сформульовано задачу прийняття рішень, описано методи детермінованого та стохастичного навчання. Розроблено алгоритмічне та програмне забезпечення для моделювання прийняття рішень в умовах невизначеності. Наведено та проаналізовано результати комп’ютерного моделювання процесу прийняття рішень у клітинному просторі.

The problem of optimum decision-making by the Markovian learning methods is investigated. The definition of a decision making task is executed, the methods of the deterministic and stochastic learning are described. The algorithmic and software tools for the modelling of decision making in uncertainty conditions are developed. The results of computer simulation of decision-making process in cellular space are resulted and analysed.

Вступ

Сучасні організаційні, економічні, технічні, інформаційні та інші системи є динамічними, ієрархічними, розподіленими, з децентралізованим або комбінованим керуванням, масштабованими, відкритими до структурно-функціональної модифікації та взаємодії. Такі системи, як правило, функціонують в умовах апріорної невизначеності, обумовленої структурно-параметричною неточністю їх математичної моделі [1].

Бажані (оптимальні) режими функціонування системи забезпечуються за допомогою одного або декількох введених у контур зворотного зв’язку агентів [2]. Агент – це автономна активна інтелектуальна система прийняття рішень, здатна опрацьовувати реакції середовища для цілеспрямованого впливу на його стани за допомогою набору керуючих дій.