

УДК 358.4 : 656.7

Р.В. Хращевський

ДП «Центральний науково-дослідний інститут навігації і управління», Київ

ОЦІНКА МЕХАНІЗМУ КООРДИНАЦІЇ СИСТЕМИ ПЛАНУВАННЯ

В статті проведена оцінка механізму координації багаторівневих систем в умовах впливу зовнішнього й внутрішнього її середовища та отримані значення показників координації кожного рівня управління. Отримані значення керуючих впливів є достатньою умовою для координації системи планування в цілому навіть за наявності великих збурень зовнішнього (внутрішнього) середовища. При цьому координація різних рівнів системи планування відбувається відносно головного завдання, яке стоїть перед системою в цілому.

Ключові слова: класифікація, координація, повітряний простір, проблемні ситуації, планування.

Вступ

Постановка завдань аналізу. При розгляді багаторівневих систем часто доводиться відмовлятися від вимоги строгої глобальної оптимальності керуючих впливів і локальних рішень. Справа в тому, що в практичних ситуаціях строгий оптимум з багатьох причин виявляється нереалізованим. Найчастіше це пов'язане з недостатністю інформації про фактори, що впливають на результати обраних розв'язків, або керуючих впливів.

У класичних ситуаціях управління й прийняття рішень використання алгоритмів оптимізації виправдовується в першу чергу тим фактом, що вони розв'язують деякі проблеми, пов'язані з наявними в даній ситуації невизначеностями. Використовуючи так званий алгоритм оптимізації, можна вибрати послідовність дій, яка приводить до потрібних результатів, якщо інформація й гіпотези, на яких оснований алгоритм, досить точні. При постановці завдання координації дворівневої системи ми виходимо із припущення про те, що локальні вирішальні елементи дійсно існують і відповідають за управління підпроцесами, у той час як прямий обов'язок координатора полягає в тому, щоб «погоджувати» діяльність локальних вирішальних елементів у процесі вироблення ними своїх рішень з метою підвищення сумарного ефекту їх дій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанню дослідження координації систем планування і їх взаємозв'язків приділяється багато уваги [1 – 3].

Значний внесок у дослідження зазначеного питання зробили такі вчені як М. Месарович, Д. Мако, І. Такаха, Л.М. Артюшин, О.М. Загорка, В. О. Косевцов, Р. Куликівський, С.П. Мосов, І.С. Руснак, В.М. Телелим, В.Б. Толубко та багато інших.

Аналіз публікацій по даному питанню показав, що координація систем планування, в основному, розглядалася як функціонування системи одного рівня. Оцінка ж якості міжрівневої координації пе-

реносилася в область організації взаємодії й надавалася переважно якісна оцінка процесу ухвалення рішення за кінцевим результатом. Тому вважаю за доцільне провести дослідження питань координації системи ухвалення рішення як багаторівневої системи планування й одержати показники координації кожного рівня.

Метою даної статті є проведення оцінки механізму координації багаторівневих систем в умовах впливу зовнішнього й внутрішнього її середовища та одержання значення показників координації кожного рівня.

Основна частина

Поняття координації з метою поліпшення характеристик роботи системи в цілому цілком узгоджується із загальною концепцією координації. Нагадаємо, що сформульований в [4] постулат «узгодженості» вимагає лише, щоб координатор впливав на локальні вирішальні елементи з метою вирішення завдання, що стоїть перед усією системою (глобального завдання).

Але це завдання можна, звичайно, сформулювати у вигляді вимоги одержати поліпшені характеристики замість оптимальних. Фактично ми в цій статті розглядаємо «глобальне» завдання саме в такій постановці, а не як завдання оптимізації.

Поняття координації з метою поліпшення глобальних характеристик системи відображає реальні ситуації в багатьох областях людської діяльності. Наприклад, питання про децентралізацію в економічних системах [1] теоретично трактується як проблема досягнення оптимуму економічного стану. Перевага децентралізації обґрунтовується тим, що децентралізованими діями в економіці може досягнутися глобальний оптимум. Однак, як вказує Саймон, цінність децентралізованої моделі ринку або економіки полягає в тому, що вона забезпечує узгодження локальних і глобальної цілей. Хоча кожний учасник намагається поліпшити «своє власне благополуччя», одночасно поліпшуються характеристики

економіки в цілому, так що в результаті (майже) кожний виграє.

Саме ця узгодженість цілей, виражена в постулаті сумісності, служить реальним виправданням децентралізації. З подібною ситуацією доводиться зустрічатися й при автоматизації індустріальних процесів великого масштабу. Перший ешелон управління необхідний для забезпечення правильного протікання основних технологічних процесів, і в загальному випадку він існує навіть ще до того, як хтось починає думати про створення вищих ешелонів управління, діяльність яких пов'язана з поліпшенням ходу процесу з погляду його економічних показників.

Розглянемо два питання, що стосуються практичних способів здійснення координації для поліпшення глобальних характеристик системи.

1. Яким способом координатор повинен вплинути на вибір локальними вирішальними елементами відповідних локальних керуючих впливів, щоб після того, як до них прийде координуючий сигнал, ці елементи виробляли такі локальні керуючі впливи, які без подальшого втручання координатора приводили б до поліпшення глобальних характеристик усього процесу в цілому?

2. Якщо заданий інтервал часу, протягом якого ведеться спостереження за поведінкою функції якості дворівневої системи, причому інтервал цей містить n моментів часу, у які координатор може впливати на локальні вирішальні елементи, виникає питання: яка повинна бути стратегія координатора, щоб кінцевим результатом його діяльності з'явилося поліпшення глобальних характеристик або ж, при відсутності протидіючих впливів, щоб глобальні характеристики в даному інтервалі часу поліпшувалися монотонно?

Ці два питання тісно зв'язані між собою: розв'язок першого з них дає вказівки для вибору стратегії при розв'язку другого питання. Використання координатором стратегії, основаної на «корегуванні» подаваних координуючих впливів у певні (послідовні) моменти часу, буде називатися послідовною («секвенціональною») координацією. Якщо після кожного моменту координування локальні вирішальні елементи застосовують до процесу свої керуючі впливи без подальшого втручання координатора, ми будемо називати таку координацію просто «лінійною» координацією.

Термін «лінійна» координація вживається, щоб підкреслити той факт, що переваги, надавані наявністю каналів зворотному зв'язку від локальних вирішальних елементів до координатора, ніяк не використовуються в проміжки часу від моменту одержання локальними вирішальними елементами координуючого сигналу аж до моменту подачі на процес обраних цими елементами керуючих впливів. У

результаті координатор у кожен момент координування зустрічається із проблемою прийняття рішень в умовах невизначеності.

Слід особливо підкреслити, що координатор, щоб задовольнити принципу сумісності, повинен розглядати завдання кожного локального вирішального елемента як завдання прийняття рішень в умовах невизначеності, навіть якщо невизначеність має місце лише відносно дій інших локальних вирішальних елементів.

Перш ніж перейти до викладу теорії «лінійної» координації, розглянемо простий приклад, що ілюструє деякі з введених понять.

Розглянемо дворівневу систему, для якої процес у цілому P описується лінійним перетворенням

$$y = Am \equiv P(m),$$

де керуючий вплив m і вихід y тривимірні вектори, а A – матриця $[a_{ij}]$ розмірністю 3×3 . Для простоти приймемо, що зовнішні збурювання відсутні. Припустимо, що глобальна функція якості задана і визначена у вигляді функції загальних (глобальних) витрат

$$G(m, y) = m^T m + (y - \tilde{y})^T (y - \tilde{y}),$$

де \tilde{y} – заданий «еталонний» вихід.

Припустимо, що розглянутий процес у цілому розпадається на три підпроцеси, з яких кожний i -й підпроцес описується рівнянням

$$y_i = a_{ij} m_j + u_i \equiv P_i(m_i, u_i),$$

де керуючий вплив m_i , зв'язуючий вхід u_i і вихід y_i – дійсні числа.

Коли ці підпроцеси зв'язані в один процес і прикладений керуючий вплив $m = (m_1, m_2, m_3)$, зв'язуючий вхід u_i для i -го підпроцесу виражається сумою

$$u_i = \sum_{j \neq i} a_{ij} m_j \equiv K_i(m).$$

Завдання координації в цьому випадку полягає в наступному: виходячи з деякого еталонного управління $\tilde{m} = (\tilde{m}_1, \tilde{m}_2, \tilde{m}_3)$ координатор повинен впливати на локальні вирішальні елементи, відповідальні за управління підпроцесами, таким чином, щоб вони виробили керуючий сигнал

$$\hat{m} = (\hat{m}_1, \hat{m}_2, \hat{m}_3),$$

який, будучи прикладений до процесу, давав би в результаті більш низькі витрати, ніж при управлінні \tilde{m} , тобто щоб для функції витрат виконувалася нерівність

$$G(\hat{m}, P(\hat{m})) < G(\tilde{m}, P(\tilde{m})).$$

Тут виникають два питання: по-перше, яким чином локальні вирішальні елементи, діючи незалежно одне від одного, роблять свій вибір управляю-

чих впливів, і, по-друге, який механізм координатор міг би використовувати для впливу на локальні вирішальні елементи.

Допустимо, що локальні вирішальні елементи на основі наявної в них інформації вибирають такий керуючий вплив, який поліпшить їхню власну функцію якості.

Нехай i -й локальний вирішальний елемент використовує як таку функцію витрат G_{iB} :

$$G_{iB}(m_i, u_i, \beta_i) = 3m_i^2 + \beta_i m_i + (u_i - \tilde{y}_i)^2. \quad (1)$$

Сформулюємо тепер i -е локальне завдання в такий спосіб: для певного еталонного управління \tilde{m}_i , певного значення параметру $\tilde{\beta}_i$ й заданого («оцінного») діапазону \tilde{U}_i , у межах якого може змінюватися сполучний вхід u_i , знайти такий керуючий вплив \hat{m}_i , щоб виконувалася умова для всіх u_i в оцінному діапазоні \tilde{U}_i , де

$$g_i(\hat{m}_i, u_i, \hat{\beta}_i) < g_i(\tilde{m}_i, u_i, \tilde{\beta}_i);$$

$$g_{iB}(m_i, u_i, \beta_i) = G_{iB}(m_i, P_i(m_i, u_i), \beta_i).$$

Ці локальні завдання являють собою так звані завдання «задовільного» керування, оскільки в них потрібно не досягнення оптимальних значень функцій якості, а лише одержання задовільного рівня значень цих функцій при наявності якоїсь невизначеності, що характеризується у нашому випадку діапазонами \tilde{U}_i оцінки можливих значень сполучних входів.

Однак якщо i -й локальний вирішальний елемент успішно розв'яже своє завдання і реалізуючий сполучний вхід лежить в оцінному діапазоні \tilde{U}_i , то обраний керуючий вплив дійсно поліпшить значення його власної локальної функції якості.

Принцип оцінки взаємодій говорить, що керуючий вплив

$$\hat{m} = (\hat{m}_1, \hat{m}_2, \hat{m}_3),$$

який вибирається при цих умовах локальними вирішальними елементами, приводить до зниження повних витрат, якщо сполучні входи u_1, u_2, u_3 , що з'являються в об'єднаній «зв'язаній» системі при використанні керування \hat{m} , лежать відповідно в оцінних діапазонах $\tilde{U}_1, \tilde{U}_2, \tilde{U}_3$:

$$K_i(\hat{m}) \in \tilde{U}_i, i = 1, 2, 3.$$

Розглядаючи питання про постановку локальних завдань, можна перейти до більш загального випадку, коли значення параметрів β_i не фіксовані, а задані лише діапазони \tilde{B}_i , у яких ці параметри можуть мінятися. У цьому випадку i -е локальне за-

вдання формулюється так: для даного еталонного управління \tilde{m}_i й заданих діапазонів \tilde{B}_i і \tilde{U}_i , у яких можуть змінюватися відповідно параметр β_i і зв'язуючий вхід u_i , знайти таке управління \hat{m} , що б для всіх β_i із \tilde{B}_i і всіх u_i із \tilde{U}_i виконувалася умова

$$g_i(\hat{m}_i, u_i, \beta_i) < g_i(\tilde{m}_i, u_i, \beta_i).$$

Правильність вибору діапазонів оцінок для сполучних входів визначається функціями взаємодії підпроцесів K_i , які виражають залежність фактичних значень сполучних входів в об'єднаній (зв'язаній) системі від поданих на підпроцеси керуючих впливів.

Можна вважати, що параметри β_i в виразі (1) описують безпосередній взаємозв'язок локальних функцій якості, і ввести відповідні функції η_i для опису залежності цих параметрів від прикладених керуючих впливів.

При такому припущенні із принципу оцінки випливає, що керуючий вплив \hat{m} приводить до зменшення загальних витрат, якщо

$$K_i(\hat{m}) \in \tilde{U}_i \text{ і } \eta_i(\hat{m}) \in \tilde{B}_i, i = 1, 2, 3, \quad (2)$$

тобто діапазони оцінок \tilde{B}_i і \tilde{U}_i обрані правильно для всіх i . Завдання координатора при обраному еталонному управлінні \tilde{m} полягає в призначенні діапазонів \tilde{B}_i і \tilde{U}_i таким чином, щоб принцип оцінки взаємодій був застосовний.

Допустимо, що матриця A має вигляд

$$A = \begin{bmatrix} 3 & 2 & 1 \\ 1 & 4 & 0 \\ 1 & 1 & 2 \end{bmatrix}$$

і нехай $\tilde{y} = (5, 5.2)$ – еталонний вихід, а $\tilde{m} = (0, 0, 0)$ – еталонне управління. Сполучні входи, що з'являються в об'єднаній системі при використанні \tilde{m} , будуть рівні $\tilde{u}_1 = \tilde{u}_2 = \tilde{u}_3 = 0$. Потрібно відзначити, що локальні функції витрат G_{iB} вводяться через функцію загальних витрат і тому задовольняють рівнянню. У цьому випадку підходящий вид функцій η_i дається формулами:

$$\eta_1 = (m_1, m_2, m_3) = 10m_2 + 4m_3 - 6;$$

$$\eta_2 = (m_1, m_2, m_3) = 14m_1 + 8m_3 + 24;$$

$$\eta_3 = (m_1, m_2, m_3) = 6m_1 + 4m_2 + 10.$$

Будуємо оціночні діапазони \tilde{B}_i і \tilde{U}_i , для чого вибираємо межі $N(\tilde{m})$:

$$N(\tilde{m}) = \left\{ m : \max_i |m_i - \tilde{m}_i| \leq \frac{1}{2}, \quad i = 1, 2, 3 \right\},$$

даного еталонного управління \tilde{m} . Використовуючи функції K_i і η_i будуємо діапазони оцінки \tilde{B}_i і \tilde{U}_i :

$$\tilde{U}_i \{u_i : u_i = K_i(m), \quad m \in N(\tilde{m})\}, \quad (3)$$

$$\tilde{V}_i \{\beta_i : \beta_i = \eta_i(m), \quad m \in N(\tilde{m})\} \quad (4)$$

для кожного $i = 1, 2, 3$.

Звідси випливає, що оцінними діапазонами є інтервали значень сполучних входів u_i й параметрів β_i обумовлені нерівностями

$$-\frac{3}{2} \leq u_1 \leq \frac{3}{2},$$

$$-\frac{1}{2} \leq u_2 \leq \frac{1}{2},$$

$$-1 \leq u_3 \leq 1,$$

$$-13 \leq \beta_1 \leq 1,$$

$$13 \leq \beta_2 \leq 33,$$

$$5 \leq \beta_3 \leq 15.$$

Кожний локальний вирішальний елемент вирішує своє завдання для даного еталонного управління $\tilde{m} = (0, 0, 0)$, враховуючи (3) і (4), результатом чого буде керуючий вплив

$$\hat{m} = \left(\frac{1}{3}, -\frac{1}{44}, \frac{1}{4} \right).$$

Відзначимо, що значення \hat{m} не є єдиним. Потім координатор перевіряє, чи задовольняється (2). Це має місце, і тому ми повинні зауважити, що \hat{m} дає менше значення витрат, ніж \tilde{m} .

Дійсно,

$$G(\hat{m}, P(\hat{m})) = 42$$

у той час як

$$G(\tilde{m}, p(\tilde{m})) = 54.$$

ВИСНОВКИ

Таким чином, можна зробити висновок, що при відповідних умовах координація системи планування з використанням принципів координації є достатньою умовою для координації системи планування в цілому навіть при більших збурюваннях зовнішнього (внутрішнього) середовища. При цьому координація різних рівнів системи планування відбувається відносно головного завдання, яке стоїть перед системою в цілому.

Список літератури

1. Месарович М. Теория иерархических многоуровневых систем: пер. с англ. / М. Месарович, Д. Мако, И. Такахага. – М.: Мир, 1973. – 344 с.
2. Храцевський Р.В. Формування локальних функцій якості системи планування та їх модифікація / Р.В. Храцевський // Системи озброєння і військова техніка – 2009. – № 4(20). – С. 22-26.
3. Куликовський Р. Оптимальное управление сложными иерархическими системами / Р. Куликовський // Труды III Международного конгресса Международной федерации по автоматизации и управлению. Дискретные самонастраивающиеся системы. – М.: Наука, 1971. – С. 297-311.
4. Храцевський Р.В. Принципи координації в багаторівневій системі планування / Р.В. Храцевський // Збірник наукових праць ВІКНУ. – К.: ВІКНУ, 2010. – № 25. – С. 47-53.

Надійшла до редколегії 2.02.2011

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.В. Барабаш, Національний авіаційний університет, Київ.

ОЦЕНКА МЕХАНИЗМА КООРДИНАЦИИ СИСТЕМЫ ПЛАНИРОВАНИЯ

Р.В. Храцевский

В статье проведена оценка механизма координации многоуровневых систем в условиях влияния внешней и внутренней ее среды и получены значения показателей координации каждого уровня управления. Полученные значения управляющих влияний являются достаточным условием для координации системы планирования в целом даже при наличии больших возмущений внешней (внутренней) среды. При этом координация разных уровней системы планирования происходит относительно главной задачи, которая стоит перед системой в целом.

Ключевые слова: классификация, координация, воздушное пространство, проблемные ситуации, планирование.

ASSESSMENT OF THE COORDINATION MECHANISM OF PLANNING

R.V. Khrashchevskiy

The article assessed the mechanism of coordination of multi-level systems under the influence of external and internal environment and its derived values of the coordination at each level of management. The obtained values of the control effects are sufficient to coordinate the planning system as a whole, even in the presence of large perturbations of the external (internal) environment. In this case, the coordination of different levels of the planning system is about the main challenges facing the system as a whole.

Keywords: classification, coordination, airspace, problem situations, planning.