

Н.В. ПЛЮТА, асп. кафедри математичного моделювання ДВНЗ "Запорізький національний університет", Запоріжжя,
С.І. ГОМЕНЮК, д.т.н., проф., декан математичного факультету ДВНЗ "Запорізький національний університет", Запоріжжя

МОДЕЛЬ КООРДИНАЦІЙНОЇ ВЗАЄМОДІЇ В СКЛАДНІЙ ІЄРАРХІЧНО ВПОРЯДКОВАНІЙ СИСТЕМІ

Обґрунтовано актуальність проблеми розробки моделей та методів, що дозволять комплексно вирішити задачу координації. Побудовано модель координаційної взаємодії, що відображає зв'язок між системою управління та процесами в складній ієрархічно впорядкованій системі. Запропоновано постановку задачі координації для систем даного класу. Бібліогр.: 10 назв.

Ключові слова: задача координації, ієрархічно впорядкована система, модель координаційної взаємодії.

Постановка проблеми. Поява та стрімкий розвиток розподілених систем різної природи, зокрема, віртуальних підприємств, розподілених інформаційних систем і т.п. викликає необхідність підтримки вирішення задачі координації сучасними програмними засобами. Проте математичний апарат теорії координації, як базис такого програмного забезпечення, не в повній мірі відповідає потребам сучасних ієрархічно впорядкованих систем через те, що не існує єдиної методології та відповідних моделей та методів для комплексного вирішення на їх основі задачі координації. Тому актуальною є наукова проблема розробки математичного апарату теорії координації, що дозволить не лише обрати "оптимальний координуючий сигнал" в рамках сталої структури системи управління, але й визначити шляхи її вдосконалення, тобто вибору "оптимальної схеми взаємозв'язку" між центрами прийняття рішень для знаходження найбільш прийняттого, з точки зору глобальної мети, рішення для кожної задачі, що вирішується в рамках системи асинхронних послідовно-паралельних процесів.

Аналіз літератури. Досить широке коло наукових праць вітчизняних та зарубіжних вчених присвячене проблемам математичної теорії координації [1 – 10], тому доцільним є виділення двох основних напрямків досліджень: 1. Побудова координаційного механізму у відповідності до конкретної задачі. Базова концепція даного підходу закладена Дж. Данцигом та П. Вульфом і набула подальшого розвитку в роботах [5 – 10]. Методи даного підходу дозволяють визначити "оптимальну схему взаємозв'язку" при розв'язанні конкретної задачі, проте не враховують багатозадачність ієрархічно впорядкованих систем

та складність структури асинхронної системи послідовно-паралельних процесів. 2. Побудова координаційного механізму у відповідності до конкретної системи управління. Методологічне підґрунтя даного підходу закладене в роботі [4] та активно розвивається по наш час, зокрема, в роботах [1 – 3]. Методи даного підходу дозволяють визначити "оптимальний координуючий сигнал", проте не пропонують засоби вдосконалення структури системи управління.

Мета статті – побудова моделі координаційної взаємодії в ієрархічно впорядкованій системі та постановка задачі координації в рамках процесного підходу до побудови координаційного механізму.

Основний розділ. Для комплексного вирішення задачі координації доцільним є застосування процесного підходу до побудови координаційного механізму ієрархічно впорядкованої системи, оскільки аналіз системи управління у її взаємозв'язку з сукупністю асинхронних послідовно-паралельних процесів дозволяє визначити як "оптимальний координуючий сигнал", так і шляхи вдосконалення структури керуючої системи. Першим етапом реалізації даного підходу є побудова моделі координаційної взаємодії.

Визначимо складну ієрархічно впорядковану систему як трійку:

$$C = (Ps, Cs, Q), \quad (1)$$

де $Ps = (P, Pe)$ – орієнтований граф, що представляє систему послідовно-паралельних процесів, функціонування яких забезпечує система C ; $P = \{P_1, P_2, \dots, P_i, \dots, P_K\}$ – множина вершин графа Ps , тобто процесів P_i , $i \in [1, K]$; $Pe = \{Pe_1, Pe_2, \dots, Pe_j, \dots, Pe_{Kj}\}$ – множина спрямованих дуг графа Ps , які встановлюють зв'язки між процесами множини P ; $Cs = (S, Se)$ – орієнтований граф, що представляє систему управління складною системою C ; $S = \{S_1, S_2, \dots, S_l, \dots, S_{Kl}\}$ – множина вершин графа Cs , тобто центрів прийняття рішень S_l , $l \in [1, Kl]$; $Se = \{Se_1, Se_2, \dots, Se_y, \dots, Se_{Ky}\}$ – множина спрямованих дуг, що встановлюють управляючі та зворотні зв'язки між центрами прийняття рішень множини S ; $Q = \{Q_1, Q_2, \dots, Q_v, \dots, Q_{Kv}\}$ – множина впливів налаштування та сигналів зворотного зв'язку, які встановлюють зв'язки між центрами прийняття рішень множини S та процесами множини P .

Оскільки об'єктом дослідження виступає складна ієрархічно впорядкована система, то в залежності від рівня деталізації центр прийняття рішень S_l , $l \in [1, Kl]$ може виступати як підсистема

управління $Cs_l, l \in [1, Kl]$, а процес $P_i, i \in [1, K]$ – як система послідовно-паралельних процесів нижчого рівня $Ps_i, i \in [1, K]$. Виходячи з цього твердження, при розгляді складної системи на найвищому рівні доцільним є визначення процесу P_0 як умовного загального для системи C процесу, результатом декомпозиції якого є Ps . Налаштування даного процесу є задачею центру прийняття рішень найвищого рівня S_0 .

Розглянемо процес P_0 , який представляє собою цілеспрямовану діяльність по перетворенню деякого входу на вихід та має наступне формальне представлення:

$$P_0 : X_0 \rightarrow Y_0, \quad (2)$$

де X_0 – вектор входів процесу P_0 ; Y_0 – вектор виходів процесу P_0 .

При декомпозиції процесу P_0 на підпроцеси $P_i, i \in [1, K]$ визначаються вектори їх входів та виходів X_i та Y_i відповідно. Вектори X_0 та Y_0 є або компонентами векторів $X_i, i \in [1, K]$ та $Y_i, i \in [1, K]$, або розраховуються за формулою $X_0 = F_x(X_u)$ та $Y_0 = F_y(Y_u)$, де $X_u \in X$, $Y_u \in Y$, де $F_x(\cdot), F_y(\cdot)$ – деякі функції агрегації, $X = \{X_0, X_i\}, i = [1, K]$, $Y = \{Y_0, Y_i\}, i = [1, K]$.

Ефективність процесу P_0 визначається функцією $\Phi(X_0, Y_0)$, де $\Phi(\cdot)$ – векторний критерій. При цьому внутрішнє та зовнішнє середовище накладають деякі обмеження на входи та виходи процесу P_0 : $X_0 \in X^S, Y_0 \in Y^S$. Обмеженість ресурсів в системі C та її зовнішньому середовищі на глобальному рівні представлено наступним чином: $H(X_0, Y_0) \geq b_0$.

Таким чином, задача центру прийняття рішень S_0 по забезпеченню ефективності процесу P_0 приймає наступний вигляд:

$$\begin{cases} \Phi(X_0, Y_0) \rightarrow \text{extr}, \\ H(X_0, Y_0) \geq b_0, \\ X_0 \in X^S, \\ Y_0 \in Y^S. \end{cases} \quad (3)$$

Оскільки, межі цільових значень функції $\Phi(X_0, Y_0)$ є, як правило, відомими, то перейдемо до нечіткого представлення цілі центру прийняття рішень, тоді (3) прийме наступний вигляд:

$$\begin{cases} \mu_D(\Phi(X_0, Y_0)) \rightarrow \text{extr}, \\ H(X_0, Y_0) \geq b_0, \\ X_0 \in X^S, \\ Y_0 \in Y^S, \end{cases} \quad (4)$$

де $\mu_D(\cdot)$ – функція приналежності значення цільової функції глобального центру управління S_0 до нечіткої множини ефективних значень.

Обмін керуючими сигналами та сигналами зворотного зв'язку в межах C_s відбувається шляхом передачі компоненти w_l , $l \in [1, K]$ вектора w від S_0 до S_l в тому разі, якщо в графі C_s існує направлена дуга Se_y з вершини S_0 до S_l . Розглянемо задачу центру прийняття рішень S_l :

$$\begin{cases} \mu_{Dl}(\Phi_l(X_l, Y_l, w_l)) \rightarrow \text{extr}, \\ H_l(X_l, Y_l) \geq b_l, \\ X_l \in X_l^S, \\ Y_l \in Y_l^S, \end{cases} \quad (5)$$

де $\mu_{Dl}(\cdot)$ – функція приналежності значення цільової функції центру прийняття рішень S_l до нечіткої множини ефективних значень.

Рішення задачі (5) – (X_l^*, Y_l^*) є відкликом центру прийняття рішень S_l на отриманий координуючий сигнал w_l та передається до глобального центру управління S_0 .

Задача координації S_0 приймає вигляд:

$$\begin{cases} \mu_D(\Phi(X_0, Y_0, w)) \rightarrow \text{extr}, \\ H(X_0, Y_0) \geq b_0, \\ X_0 \in X^S, \\ Y_0 \in Y^S, \end{cases} \quad (6)$$

де w – вектор координуючого сигналу елементу S_0 .

Рішенням задачі (6) є (X_0^*, Y_0^*) та значення вектору w , компоненти якого S_0 направляє до локальних центрів прийняття рішень $S_l, l \in [1, K]$. Ітеративний обмін інформацією між рівнями управління відбувається до тих пір, поки функція $\mu_D(\cdot)$ не досягне оптимуму при (X^*, Y^*) , що задовольняють обмеженням задачі (5) – (6).

Вирішення задачі координації в рамках процесного підходу до побудови координаційного механізму в постановці (5) – (6) повинно відбуватися в 3 етапи:

1. Для складної системи $C = (Ps, Cs, Q)$ зі сталою структурою процесів Ps , системи управління Cs та системи зв'язків між ними Q знайти рішення (X^*, Y^*) задачі (5) – (6), таке що $\mu_D(\Phi_0(X_0^*, Y_0^*, w))$ досягає оптимального значення.

2. Для складної системи $C = (Ps, Cs, Q)$ зі сталою структурою процесів Ps та системи управління Cs знайти таку систему зв'язків між ними Q' , при якій існує рішення (X^{**}, Y^{**}) задачі (5) – (6), таке що $\mu_D(\Phi(X^{**}, Y^{**})) > \mu_D(\Phi(X^*, Y^*))$.

3. Для складної системи $C = (Pr, Cs, Q')$ зі сталою структурою процесів Ps знайти таку структуру системи управління Cs'' та системи зв'язків Q'' при якій існує рішення (X^{***}, Y^{***}) задачі (5) – (6), таке що $\mu_D(\Phi(X^{***}, Y^{***})) > \mu_D(\Phi(X^{**}, Y^{**}))$.

Перший етап задачі координації вирішується застосуванням ітеративного алгоритму координації до задачі (5) – (6), проте вирішення другого та третього етапів вимагає застосування нових для математичної теорії методів.

Висновки. Побудовано модель координаційної взаємодії в складній ієрархічно впорядкованій системі. Запропоновано постановку задачі координації в рамках процесного підходу до побудови координаційного механізму. Подальшим напрямком досліджень буде розробка методів вирішення другого та третього етапу задачі координації.

Список літератури: 1. *Алиев Р.А.* Методы и алгоритмы координации в промышленных системах управления / *Р.А. Алиев, М.И. Либерзон.* – М.: Радио и связь, 1987. – 208 с. 2. *Алтунин А.Е.* Модели и алгоритмы принятия решений в нечётких условиях: монография / *А.Е. Алтунин, М.В. Семухин.* – Тюмень: Издательство Тюменского государственного университета, 2000. – 352 с. 3. *Катренко А.В.* Механізми координації у складних

ієрархічних системах / *А.В. Катренко, І.В. Савка* // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Серія: Інформаційні системи та мережі. – Львів : Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2008. – С. 156-166. **4.** *Месарович М.* Теория иєрархических многоуровневых систем / *М. Месарович, Д. Мако, И. Такахага*; пер. с англ. *И.Ф. Шахнова*. – М.: Мир, 1973. – 344 с. **5.** *Kim H.M.* Target cascading in optimal system design / *H.M. Kim, N.F. Michelen, P.Y. Papalambros, T. Jiang* // Proceedings of DETC 2000 26th Design Automation Conference. – 2000. – P. 14-18. **6.** *Kroo I.* Distributed multidisciplinary design and collaborative optimization [Електронний ресурс] / *I. Kroo* // VKI lecture series on Optimization Methods & Tools for Multidisciplinary Design, 2004. – Режим доступу: http://aero.stanford.edu/Reports/VKI_CO_Kroo_A.pdf. **7.** *Roth B.D.* Enhanced collaborative optimization: a decomposition-based method for multidisciplinary design / *B.D. Roth, I.M. Kroo* // Proceedings of the ASME design engineering technical conferences. – 2008. – P. 12-16. **8.** *Tosserams S.* Multi-modality in augmented Lagrangian coordination for distributed optimal design / *S. Tosserams, L.F.P. Ertan, J.E. Rooda* // "Structural and Multidisciplinary Optimization". – 2010. – № 40. – P. 329-352. **9.** *Sobieszczanski-Sobieski J.* Bilevel integrated system synthesis for concurrent and distributed processing / *J. Sobieszczanski-Sobieski, T.D. Altus, M. Phillip, J.R. Sandusky* // AIAA Journal. – 2003. – № 41. – P. 1996-2003. **10.** *Лэсдон Л.С.* Оптимизация больших систем / *Л.С. Лэсдон*. – М.: Наука, 1975. – 432 с.

УДК 004.021

Модель координационного взаимодействия в сложной иєрархической системе / Плюта Н.В., Гоменюк С.И. // Вестник НТУ "ХПИ". Тематический выпуск: Информатика и моделирование. — Харьков: НТУ "ХПИ". – 2011. – № 17. – С. 122 – 127.

Обоснована актуальность проблемы разработки моделей и методов, позволяющих комплексно решить задачу координации. Разработана модель координационного взаимодействия, которая отражает взаимосвязь между системой управления и процессами в сложной иєрархической системе. Предложена постановка задачи координации для систем данного класса. Библиогр.: 10 назв.

Ключевые слова: задача координации, иєрархическая система, модель координационного взаимодействия.

UDC 004.021

Model of coordination interaction in complex hierarchical system / Plyuta N.V., Gomenyuk S.I. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2011. – №. 17. – P. 122 – 127.

The urgency of the problem of developing the models and methods to solve the complex coordination task is justified. The model of coordination interaction, which reflects the relationship between the control system and processes in a complex hierarchical system, is developed. Formulation of the coordination task for systems of this class is proposed. Refs.: 10 titles.

Key words: task of coordination, hierarchical system, model of coordination interaction.

Поступила в редакцию 14.02.2011