

Модель децентралізованого координативного керування неперервними розподіленими об'єктами

Дубовой В.М., Юхимчук М.С.
Вінницький національний технічний університет
м. Вінниця, Україна

Анотація—Розроблена модель децентралізованого координативного керування неперервними розподіленими об'єктами, яка дозволяє оцінити ефективність координації за допомогою імітаційного моделювання.

Ключові слова—координативне керування, розподілені об'єкти, децентралізована координація, оцінювання ефективності.

Вступ

Управління станом розподілених об'єктів передбачає наявність великої кількості датчиків і актуаторів для контролю і управління станом в обраних точках. Проблема координативного управління станом безперервних розподілених об'єктів є важливою для науки і практики.

АКТУАЛЬНІСТЬ

Системи управління розподіленими об'єктами зазвичай мають централізовану або ієрархічну структуру управління [1, 2]. Основи теорії координації в ієрархічних системах закладені в [2]. Отримано ряд корисних результатів щодо координативного управління технологічними лініями і комплексами як розподіленими системами з дискретними елементами [3-6].

Разом з тим завдання координативного управління станом розподілених безперервних об'єктів ще не знайшли досить обґрунтованого і ефективного вирішення. Перспективним напрямом вирішення цієї проблеми є використання децентралізованої координації. Перевагою децентралізованої координації є можливість розпаралелювання координативного управління.

Таким чином, задача дослідження ординорівневого координативного керування неперервно розподіленими об'єктами представляється актуальною.

МОДЕЛЬ ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНОЇ КООРДИНАЦІЇ

Для побудови моделі координативного керування неперервним розподіленим об'єктом розглянемо взаємодію елемента у вигляді нескінченно малої кулі із сусідніми елементами. Стан кулі визначається вектором параметрів $P(\xi_0)$, де ξ_0 – координати кулі. На стан $P(\xi_0)$ впливають сусідні елементи, які розташовані в околі шириною dr у сферичних координатах.

Для підтримання заданих параметрів стану на певні елементи впливають регулятори. На практиці зазвичай вплив зосереджений в окремих точках (на окремих елементах). Частина елементів має регулятор і координатор, а інші – не мають. Розглянемо для спрощення (без втрати загальності) плоский об'єкт товщиною dz .

Модель системи складається з компонентів:

- Модель об'єкта, яка складається з двох залежностей: залежність між параметрами об'єкта $\bar{O}_{0i,j}(P_{i,j}) = 0$ і залежність параметрів об'єкта від параметрів сусідніх об'єктів і керування $P_{i,j} = \bar{O}_{i,j}(V_{i,j}, P_{i-1,j}, P_{i+1,j}, P_{i,j-1}, P_{i,j+1})$, де індекси відповідають дискретизованим і пронумерованим значенням координат;

- Модель керування $V_{i,j} = A_{i,j}(P_{i,j}, U_{i,j})$, де $U_{i,j}$ – параметри координації;

- Модель координації $U_{i,j} = C_{i,j}(P_{i-a,j}, P_{i+b,j}, P_{i,j-c}, P_{i,j+d})$, де a, b, c, d – дискретизовані відстані від елемента (i, j) в межах ε -околу.

Отримана модель зміни стану елементів розподіленого об'єкта при дискретних впливах на деякі елементи з використанням рівняння Бюргерса і матриць чутливості.

Для елементів об'єкта, на які здійснюється керуючий вплив, тобто $\{x, y\} = \{x_k, y_k\}$

$$V(x_k, y_k) = A_{i,j}^{FB} [P(x_k, y_k), U_{i,j}] + A_{i,j}^Z \times \zeta + \bar{B} \times \bar{O} [P(x_k, y_k)] + \bar{B} \times \bar{O} \left[\oint_{(x-x_k)^2 + (y-y_k)^2 = r_0^2} F(x, y) dl \right] \quad (1)$$

де \bar{B} і \bar{B} – відповідні матриці чутливості; функція розподілу параметрів по простору об'єкта $P = F(x, y)$ або $P = F(i, j)$, де $x = i \cdot dx$, $y = j \cdot dy$.

На кожен елемент об'єкта впливають усі керувані елементи. Для лінійного об'єкта з урахуванням інерційності, якщо вплив здійснюється у області радіусом r_0 , то

$$V(x, y, t) = \sum_{k=1}^n \left\{ \frac{V_{0k}}{8[\pi\lambda(t-t_k)]^{3/2}} e^{-\frac{r_k^2}{4\lambda t}} \times \left[1 + \left(\frac{r_k^2}{\lambda(t-t_k)} - 6 \right) \cdot \frac{r_{0k}^2}{40\lambda t} \right] \right\}, \quad (2)$$

де t_k – момент впливу керування на k -й керований елемент.

Задача координації полягає у знаходженні такого вектора $\{C_k, k = 1..M\}$, який забезпечує максимальне наближення стану об'єкта до заданої функції $F(x, y, t)$. Відповідно критерій координації для такої задачі матиме вигляд

$$Q = \int_T \int_Y \int_X [V(x, y, t) - F(x, y, t)] dx dy dt. \quad (3)$$

Оскільки із збільшенням віддалення керованого елемента від елемента $\{x, y\}$ вплив керування зменшується, то при децентралізованій координації кожен координатор повинен враховувати лише ті керовані елементи, які знаходяться в його ε -околі.

Враховуючи (3), ε -околом елемента будемо вважати такі елементи керування, які задовольняють умову

$$(k \in K_\varepsilon) \rightarrow \forall t : \frac{\sum_{k \in K_\varepsilon} \frac{V_{0k}}{8(\pi\lambda t)^{3/2}} e^{-\frac{r_k^2}{4\lambda t}}}{\max_k V(r_k, t)} < \varepsilon, \quad (4)$$

де λ – коефіцієнт переносу; $r_k = \sqrt{(x - x_k)^2 + (y - y_k)^2}$ – відстань від k -го місця керівного впливу; V_0 – енергія керівного впливу.

Пропонується ввести оціночну функцію для визначення радіусу множини елементів керування, з якими k -й елемент повинен здійснювати координацію

$$r_\varepsilon : \left\{ r_\varepsilon = \max_k r_k : \sum_{k \in K_\varepsilon} V_{0k} e^{-\frac{r_k^2}{4\lambda t}} < \varepsilon \cdot \min_k \left(V_{0k} e^{-\frac{r_k^2}{4\lambda t}} \right) \right\} \quad (5)$$

Якщо $F(x, y, t) \neq const$, то суттєвий додатковий внесок у стан елемента об'єкта можуть вносити більш віддалені елементи. Таке додаткове збільшення ε -околу

$$\Delta r_\varepsilon = 4\lambda t \cdot \ln(\Delta F), \quad (6)$$

причому $\Delta F = |F_k - F_i|$. Зокрема, таким способом враховуються граничні умови (стан зовнішнього середовища).

Алгоритм локальної координації i -го керованого елемента ґрунтується на припущенні про незмінність параметрів усіх керованих елементів у радіусі $r_{i\varepsilon}$. Критерієм координації є RMSE бажаного стану елементів у радіусі $r_{i\varepsilon}$. Керованою змінною координації є задана величина впливу V_{0i} .

Для управління глобальною координацією складемо матрицю ε -областей – матрицю координації $C = [c_0, \dots, c_i, \dots, c_m]^T$, де C_i – вектор керованих елементів, причому елементам в ε -околі i -го елемента відповідає 1, а іншим – 0. Таким чином, матриця координації визначає граф, на

якому може бути застосований хвильовий алгоритм Лі [7] для здійснення координації.

Запропонована модель децентралізованого координаційного керування неперервними розподіленими об'єктами досліджувалася на імітаційній моделі. Моделювався двовимірний об'єкт з заданою функцією розподілу керованого параметра $F(x, y)$.

Досліджувалися залежності приведені до діапазону RMSE бажаного стану елементів від відстані між ними $r_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}$ і кількості хвиль координації h для заданих значень параметра розповсюдження λt . Отримані залежності показані на рис. 1. Результати моде-

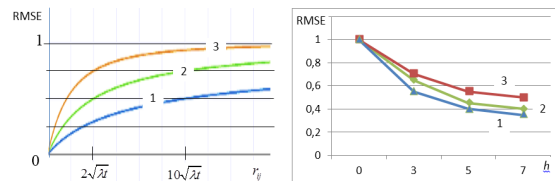


Рис. 1. Залежності RMSE від відстані між керованими елементами r_{ij} і кількості хвиль координації h при $(\lambda t)_1 > (\lambda t)_2 > (\lambda t)_3$

лювання показують, що при великих значеннях параметра розповсюдження і відстані між керованими елементами похибка координації швидко зростає. Збільшення кількості хвиль координації при використанні хвильового алгоритму дозволяє зменшити похибку, проте для використаних у моделі параметрів системи – лише на 50%.

Висновки

Запропонована модель децентралізованого координаційного управління розподіленими об'єктами дозволяє оцінити ефективність координації. Подальші дослідження варто спрямувати на дослідження координації в умовах дії випадкових збурень, а також на оптимізацію параметрів системи.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] Katrenko A.V., Savka I.V. Mechanisms of coordination in complex hierarchical systems, 156-166 URL: http://vlp.com.ua/files/16_1.pdf (2008)
- [2] Месарович М., Мако Д., Такахара И. Теория иерархических многоуровневых систем. – М.: Мир, 1973.
- [3] Ladanyuk A.P., Shumyhay D.A., Boyko R.O. System task coordination continuous technological complexes type. URL: http://dSPACE.nuft.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/4444/1/Sh_3.pdf (2015)
- [4] Bayas, M.M., Dubovoi, V.M., Rovira, R.H., et al. Coordination of serial-parallel manufacturing processes of milk production. *Przeglad Elektrotechniczny*. 2019. 1(4):174-177.
- [5] Ладанюк А. П., Заець Н. А., Власенко Л. О., Луцька Н. М. Координація функціонування технологічних дільниць цукрового заводу з урахуванням задач прогнозування. / Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2006. № 6, с. 112-115.
- [6] Wójcik, W. Dubovoi V. et al. Coordination in serial-parallel image processing. *Proc. SPIE 9816, Optical Fibers and Their Applications 2015*.
- [7] Lee C.Y. An Algorithm for Path Connections and Its Applications, *IRE Transactions on Electronic Computers*, vol. EC-10, number 2, 1961.