

Володимир Дубовой, д.т.н., проф, Марія Юхимчук к.т.н, доц.
ОЦІНЮВАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ БЕЗПЕКИ ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО
КООРДИНАЦІЙНОГО КЕРУВАННЯ РОЗПОДІЛЕНИМИ КІБЕР-ФІЗИЧНИМИ
ОБ'ЄКТАМИ

Значна частина фізичних об'єктів кібер-фізичних систем є розподіленими у просторі. Ускладнення кібер-фізичної системи може призвести до появи додаткових вразливостей і зниження рівня функціональної безпеки [1,2]. Серед розподілених об'єктів кібер-фізичних систем поширені неперервні об'єкти, частково ізотропні по окремих координатах та/або параметрах, яким властиві структурна однорідність, ресурсна дисипативність; адитивність продуктів; адитивність ресурсів[3]. Прикладом таких систем є системи для керування тепловим режимом багатозональних розподілених об'єктів [4]. Для розподілених об'єктів з великою кількістю точок контролю і регулювання з локальними системами управління (ЛСУ) перспективним є децентралізовані системи управління (однорівневі, P2P системи) [5]. Проте теорія координації в однорівневих DCPCS ще не отримала достатньо повного формулювання.

Аналіз існуючих робіт з теорії гарантоздатності, кібер-фізичних систем та розподілених систем управління показав, що задача дослідження та підвищення функціональної безпеки розподілених кібер-фізичних систем управління неперервними об'єктами ще не знайшла свого рішення.

Метою роботи є розробка підходів до розв'язання задачі аналізу та підвищення функціональної безпеки розподілених кібер-фізичних систем управління неперервними об'єктами.

В цій роботі розглядаються джерела функціональної безпеки DCPCS, які призводять до виходу режимів функціонування розподіленого об'єкта за критичні межі.

Результати. Аналіз небезпек, пов'язаних з порушенням координації, здійснено на основі статистичної моделі. Як показник функціональної безпеки прийнято ймовірність невиходу параметрів об'єкта за критичні межі $\overline{P_{us}}$.

Розроблено модель розповсюдження керівних впливів від точок керування до довірливих точок розподіленого об'єкта. Вплив від елемента з координатами $\{Z_k\}$ розповсюджується поступово відповідно до рівняння переносу.

Модель елемента системи представляється системою рівнянь:

$$\left\{ \begin{array}{l} r = p_0 + \sum_{j=1}^n p_j, \quad p_j \in \overline{P_{in}} \\ P_{out} = r(1 - \eta) \\ \{p'_j\} = P_{out} \cdot \overline{D} \\ y = \alpha(v) x \left[\frac{1}{1 + e^{-\delta(\eta r - \mu x)}} - e^{(\eta r - \beta x)} \right] \\ \frac{dv}{dt} = \eta r - \mu x \end{array} \right. \quad (3)$$

де λ - коефіцієнт переносу; $d_{kj} = \sqrt{\sum_{i=1}^3 (z_{ji} - z_{ki})^2}$ - відстань від k -го місця керівного впливу до j -го елемента; p_{0k} - величина керівного впливу; $\tau_k = t - t_k$ - проміжок часу від моменту впливу на k -й елемент; μ - питомі витрати ресурсу r на одиницю сировини x ; α - питомі витрати сировини x на одиницю продукту y ; \overline{P} - вектор-стовпець ресурсів елементів системи; \overline{D} - матриця суміжності елементів об'єкта; η - coefficient of performance (COP); δ і β - коефіцієнти, зумовлені властивостям об'єкта.

Знайдено ймовірність порушення функціональної безпеки P_{us} через вихід параметрів об'єкта за критичні межі як результат дії факторів:

Джерелами стохастичної невизначеності є:

- Порушення координації через помилки в системі зв'язку між координаторами.
- Випадкові флуктуації параметра розповсюдження λ .
- Випадкові впливи на стан елементів U .
- Систематична похибка, зумовлена просторовою дискретністю впливу на розподілений об'єкт.
- Динамічні похибки керування впливами.

Проаналізовано залежність ймовірності порушення функціональної безпеки через неповну координацію. Як об'єкт розглянуто біореактор [6]. Керованим ресурсом у біореакторі є кількість теплової енергії. Показано, що існує небезпечна відстань між місцями контрольованого впливу на розподілений об'єкт, проте при малих флуктуаціях параметра розповсюдження λ вплив відстані на ймовірність небезпечного режиму несуттєвий. З іншого боку ймовірність небезпечного режиму може бути зменшена відповідним вибором інтервалу проходження хвиль координації.

Висновки. Запропоновано підхід до розв'язання задачі аналізу та підвищення функціональної безпеки розподілених кібер-фізичних систем управління неперервними об'єктами. Розроблена модель і аналіз на її основі функціональної безпеки однорівневого координаційного керування показали, що ймовірність небезпечного режиму можна зменшити відповідним вибором параметрів системи. Проте це може призвести до зниження загальної ефективності системи.

Література

1. Loukas, George (June 2015). *Cyber-Physical Attacks A growing invisible threat*. Oxford, UK: Butterworth-Heinemann (Elsevier). p. 65. [ISBN 9780128012901](#).
2. Ahmad, M. K. Zarrar, T. Saeed and S. Rehman, "Security Aspects of Cyber Physical Systems," 2018 1st International Conference on Computer Applications & Information Security (ICCAIS), Riyadh, 2018, pp. 1-6. doi: 10.1109/CAIS.2018.8442009
3. D. E. Andrianov, S. V. Ereemeev and K. V. Kuptsov, "Models of complex spatially distributed objects and their features calculation," *2015 International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems (MEACS)*, Tomsk, 2015, pp. 1-5. doi: 10.1109/MEACS.2015.7414898 <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7414898&isnumber=7414853>
4. Criado, Javier & Asensio, José & Padilla, Nicolás & Iribarne, Luis. (2018). Integrating Cyber-Physical Systems in a Component-Based Approach for Smart Homes. *Sensors*. 18. 2156. 10.3390/s18072156.
5. Singha, Nitin & Gupta, Ruchir & Singh, Yatindra. (2015). Reputation Management in Peer-to-Peer Networks: A Control-Theoretical Perspective.
6. Dunn I.J., Heinzle E., Ingham J., Prenosil J.E. *Biological Reaction Engineering: Dynamic Modelling Fundamentals with Simulation Examples*. 2nd edition. — Wiley-VCH, 2003. — 508 p. — ISBN 3527307591.