

ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ ТА ФУНКЦІОНУВАННЯ МОБІЛЬНИХ КІБЕРФІЗИЧНИХ СИСТЕМ

© Шевчук Р.П., 2015

У роботі розглянуто особливості побудови та функціонування мобільних кіберфізичних систем із трьохрівневою архітектурою. Запропоновано принципи побудови мобільних кіберфізичних систем.

Ключові слова: персональні мобільні пристрої, мобільні кіберфізичні системи.

In this paper the features of construction and operation of mobile cyber-physical systems with three-level architecture was describes. An principles of construction mobile cyber-physical systems was proposed.

Key words: personal mobile devices, mobile cyber-physical systems.

I. Вступ

Вперше термін «кіберфізична система» (англ. cyber-physical system, CPS) був запропонований в 2006 році американською дослідницею Helen Gill, для визначення систем, у яких інтегровано обчислювальні, мережеві та фізичні елементи [1]. Кіберфізичні системи поєднують динаміку фізичних процесів з обчислювальними та мережевими рішеннями, забезпечуючи при цьому їх спільне і ефективне функціонування в реальному масштабі часу [1,2]. На відміну від традиційних автономних вбудованих систем, КФС реалізовані у вигляді мережі взаємодіючих елементів з фізичним входом та виходом. Такі системи, як правило, функціонують у режимі зі зворотним зв'язком, при якому фізичні засоби взаємодії (електричні, хімічні, оптичні, механічні, біологічні та інші) впливають на результати обчислень, і навпаки.

Сучасні досягнення в галузі науки і техніки дозволяють покращити зв'язок між обчислювальними і фізичних елементами, що значно збільшує адаптивність, самостійність, ефективність, функціональність, надійність, безпеку і зручність використання КФС. Це відкриває нові можливості щодо використання КФС у багатьох галузях, в тому числі: транспорті, промисловості, сільському господарстві, енергетиці, обороні, охороні здоров'я та інших.

Одним із видів КФС є «мобільні кіберфізичні системи» (англ. mobile cyber-physical system, MCPS), у яких компоненти системи здатні динамічно змінювати своє місцезнаходження [14,17]. З бурхливим розвитком глобальної мережі Internet та широким поширенням персональних мобільних пристроїв (мобільні телефони, кишенькові ПК, смартфони, iPhones) з'явилися тенденції, що змусили розробників мобільних КФС (МКФС) змістити свою увагу в сторону цих пристроїв. До недавнього часу дослідження пов'язані з розвитком МКФС вимагали використання спеціалізованих мобільних пристроїв, таких як Mobile Sensing Platform [11] та індивідуального встановлення і налаштування спеціалізованих додатків для кожного пристрою. Крім того, висока вартість таких пристроїв та складність розробки додатків стримували масовий розвиток МКФС.

Однак, сьогодні ринок персональних мобільних пристроїв (ПМП) характеризуються зростанням потужностей процесорів, збільшенням часу автономної роботи, широкою комунікаційною периферією, набором вбудованих датчиків і тісною інтеграцією з інтернет-сервісами, що дозволяє використовувати їх у якості обчислювальних платформ для реалізації МКФС. Перелічені переваги ПМП дають змогу використовувати їх для моніторингу та контролю роботи фізичних об'єктів.

До основних чинників, що вплинули на розвиток МКФС можна віднести:

- зростання кількості та зниженням вартості ПМП;
 - покращення технічних характеристик та функціоналу ПМП, які нічим не поступається персональним комп'ютерам при істотно менших розмірах та вазі;
 - впровадження нових технологій безпроводного зв'язку (3G, Mobile WiMAX, EDGE, Bluetooth);
 - розвиток мобільних операційних систем та платформ для ПМП (Android, iPhone OS, Symbian, Windows Mobile, BlackBerry);
 - розвиток високорівневих мов та технологій програмування ПМП (Java, Qt, Windows Phone SDK, Objective-C, Android SDK);
 - можливість розповсюдження власних мобільних додатків через App Store постачальників ПМП та проведення експериментів з великою кількістю учасників по всьому світі;
 - комплектація ПМП потужними вбудованими датчиками;
 - розвиток мобільних хмарних технологій та обчислень.
- Прикладами МКФС є: системи оцінки забруднення навколишнього середовища [3,4], системи діагностики та моніторингу стану людини [5,6], системи відслідковування, класифікації та контролю дорожньої ситуації [7,8,12], системи для відслідковування та класифікації дій людини [9-11], системи для прикордонного контролю [15,16] та інші.

II. Постановка проблеми

Аналіз відомих МКФС показує, що вони побудовані на різній елементарній базі, містять велику кількість проміжних узгоджувальних пристроїв, мають різні періоди опитування датчиків та обробляють різні обсяги даних [3-16]. Саме тому, однією із найважливіших проблем, яка виникає під час побудови МКФС є адаптації та узгодження наявних технологій збору та передачі даних, комунікаційних протоколів та інтернет сервісів зберігаючи при цьому синхронність фізичного процесу.

Побудова МКФС вимагає міждисциплінарних навичок, таких як організація обчислень у реальному масштабі часу, побудова бездротових сенсорних мереж, теорія управління, обробка сигналів, захист даних та проектування вбудованих систем.

Необхідно відзначити, що побудова МКФС значно складніше завдання ніж побудова кіберфізичних чи вбудованих систем, архітектури та складові елементи яких добре вивчені та описані дослідниками [18]. Процес побудови МКФС можна віднести до розряду комплексних науково-технічних задач, оскільки існує велика кількість потенційних варіантів реалізації, кожен з яких породжує по одному технічному завданню. Ці варіанти можуть суттєво різнитись між собою, а їх попередня оцінка є досить трудомістким завданням.

З метою вироблення комплексного підходу та рекомендацій до практичної побудови МКФС у роботі доцільно проаналізувати особливості їх функціонування та сформулювати принципи побудови таких систем.

III. Особливості побудови та функціонування МКФС

У процесі функціонування МКФС можна чітко виділити три рівні, кожен з яких обслуговує свою частину процесу взаємодії та забезпечує потреби верхнього рівня (рис. 1):

фізичний рівень відповідає за зчитування/відтворення, кодування/декодування та передачу/прийом потоку даних;

мережевий рівень відповідає за визначення найкоротших маршрутів, комутацію та маршрутизацію пакетів, відстеження проблем та вузьких місць у мережі.

обчислювальний рівень відповідає за зберігання, опрацювання та видачу інформації для об'єктів фізичного світу.

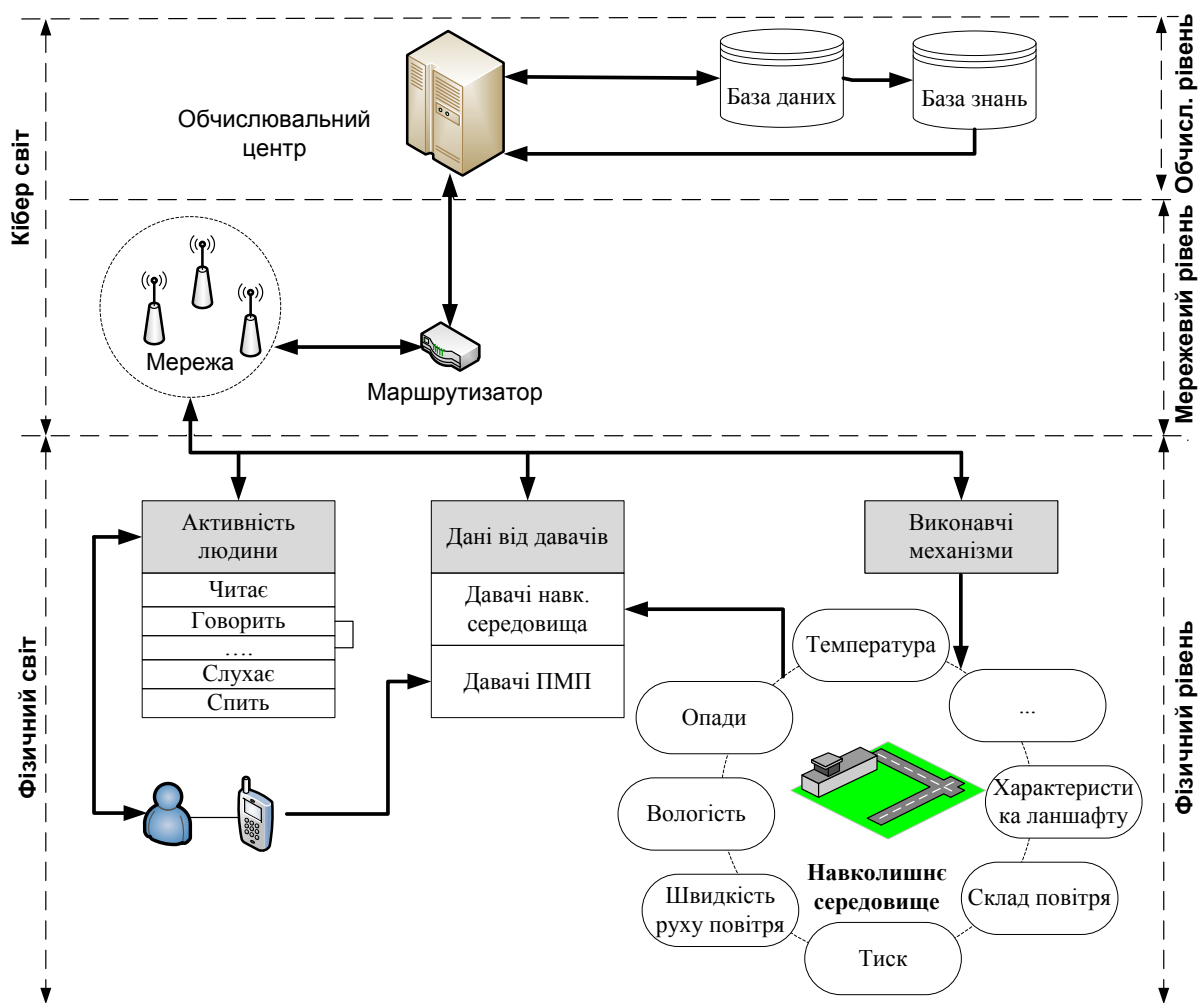


Рис. 1. Трьохрівнева архітектура мобільної кіберфізичної системи

Перевагою такої організації МКФС є програмування на всіх рівнях, кожен з яких визначає та реалізовує відповідні функції системи: накопичення, обробка та зберігання даних; формування та зберігання моделей; прогнозування ситуацій; оцінка та прогнозування показників з врахуванням існуючих та очікуваних даних, а також результатів керування; визначення параметрів об'єктів/процесів управління; візуалізація даних та рекомендацій; формування альтернативних сценаріїв управління. При цьому фізичний рівень описує процеси та явища, які відбуваються в реальному світі, а інші рівні – кібер світ.

Аналізуючи трьохрівневу організацію функціонування МКФС неважко виділити базові модулі такої системи:

людські модулі – ініціатор запитів для всієї системи;

обчислювальні модулі – все обладнання, яке виконує обчислення;

фізичні модулі – все обладнання здатне отримувати і передавати інформацію (давачі, виконавчі механізми).

Також при побудові МКФС необхідно врахувати характеристики навколишнього середовища, в залежності від якого буде змінюватись інформація та характеристики системи.

МКФС оперують даними про об'єкт моніторингу/управління отриманими від давачів ПМП та давачів розміщених на фізичному об'єкті. Сформовані вибірки даних від давачів через безпроводні мережі передаються для оброблення в обчислювальний центр, який, як правило, розміщений у «хмарі». Обчислювальний центр інтерактивно взаємодіє із базою даних у якій зберігаються отримані дані про об'єкт моніторингу/управління. База знань МКФС призначена для управління та формування рекомендацій на основі вибірок метаданих з бази даних. Сформовані рекомендації передаються у вигляді сигналів керування виконавчим механізмом фізичного рівня та можуть бути візуалізовані на інтернет-сервісі або передані користувачу ПМП у вигляді сигнальних повідомлень. Основною проблемою в цьому процесі є опрацювання даних на сервері в глобальній мережі, оскільки є досить мало алгоритмів, які здатні синхронізувати дані та опрацювати їх в реальному часі.

Час між отриманням інформації від об'єкту управління та видачею сигналу керування називають часом реакції [2]. МКФС повинна видавати керуючі сигнали у відповідь на інформацію, що поступає з давачів в гарантовані інтервали часу.

Проектування клієнта МКФС зводиться до створенням додатків в готовій операційній системі при великій кількості потужних інструментальних засобів. Тому частина задач вдається вирішити шаблонними способами, особливо, якщо мова йде про розвиток або модифікацію вже готової системи.

Ефективне функціонування системи побудованої на базі трьохрівневої архітектури в першу чергу залежить від раціонального проектування технологічного процесу зчитування, передачі та обробки даних отриманих від давачів фізичного рівня. Ключовим чинником ефективності наведеної архітектури є вирішення питання узгодження технологій взаємодії фізичних та кібер елементів МКФС.

Основні принципи побудови МКФС базуються на понятті елементів системи і зв'язків між ними. Побудова будь-якої МКФС має опиратись на єдині принципи, застосування яких дає змогу уникнути великої кількості помилок при проектуванні системи. У таблиці 1 наведена коротка характеристика таких принципів.

Таблиця 1

Принципи побудови МКФС

Назва принципу	Характеристика
Висока швидкість конфігурації	Швидке визначення та конфігурація елементів МКФС
Адаптивність	Здатність елементів МКФС автоматично змінювати алгоритми

	свого функціонування і (іноді) свою структуру з метою збереження або досягнення оптимального стану при зміні умов фізичного світу
Інтерактивність	Здатність системи відгукуватись на різного роду дії у фізичному світі, що впливають на обчислювальні процеси
Стійкість до атак	Здатність протистояти кібер та фізичним атакам зберігаючи при цьому цілісність даних
Робастність	Здатність системи відновлюватися в разі виникнення помилкових ситуацій як зовнішнього, так і внутрішнього походження
Безпека	Застосування широкого ряду заходів щодо захисту МКФС від несанкціонованого доступу, а також забезпечення доступності та цілісності даних системи
Висока продуктивність	Здатність системи забезпечувати високу обчислювальну потужність
Надійність	Здатність МКФС зберігати в часі у встановлених межах значення всіх параметрів, що характеризують здатність виконувати необхідні функції в заданих режимах і умовах застосування
Інтегрованість	Забезпечення сумісності елементів МКФС щодо управління даними і засобами взаємодії з об'єктами фізичного світу

Необхідно відмітити, що розглянута трьохрівнева архітектура МКФС була використана при практичній реалізації інтелектуального мобільного помічника для абонентів операторів стільникового зв'язку України [18] та інтелектуального мобільного помічника туриста [19].

IV. Висновок

Технології та інструментальні засоби побудови МКФС настільки різноманітні та потужні, що виникає проблема вибору їх застосування в окремих реалізаціях. Складність і неосяжність різних суттєвих аспектів при побудові МКФС вимагає поєднання застосування різнопланових моделей, архітектур, технологій і інструментарію для ефективної програмно-апаратної реалізації таких систем.

У роботі розглянуто особливості побудови та функціонування МКФС із трьохрівневою архітектурою. Запропоновано принципи побудови МКФС.

V. Література

1. Gill H. *National Science Foundation NSF, Perspective and Status On Cyber-Physical Systems // National Workshop on Cyber-Physical Systems*. – 2006.
2. Edward A.Lee. *Cyber-Physical Systems-Are Computing Foundations Adequate // NSF Workshop on Cyber-Physical Systems: Research Motivation, Techniques and Roadmap*. – 2006. – P. 16-17.
3. E. Bales, N. Nikzad, N. Quick, C. Ziftci, K. Patrick, and W. Griswold. *Citisense: Mobile Air Quality Sensing for Individuals and Communities. In Pervasive Health*. – 2012.
4. J. Froehlich, T. Dillahunt, P. Klasnja, J. Manko, S. Consolvo, B. Harrison, and J. Landay. *UbiGreen: Investigating a Mobile Tool for Tracking and Supporting Green Transportation Habits. In Proceedings of the 27th international conference on Human factors in computing systems, pages 1043–1052. ACM, 2009*.
5. T. Saponas, J. Lester, J. Froehlich, J. Fogarty, and J. Landay. *iLearn on the iPhone: Real-Time Human Activity Classification on Commodity Mobile Phones. University of Washington CSE Tech Report UW-CSE-08-04-02*. – 2008.
6. Gay, V.C., Leijdekkers, P. *A Health Monitoring System Using Smart Phones and Wearable Sensors, International Journal of Assistive Robotics and Mechatronic, vol. 8, no. 2, pp. 29-36. 2007*.
7. C. Thompson, J. White, B. Dougherty, and D. Schmidt. *Optimizing Mobile Application Performance with Model-Driven Engineering. In Proceedings of the 7th IFIP Workshop on Software Technologies for Future Embedded and*

Ubiquitous Systems, 2009. 8. *VTrack: Accurate, Energy-Aware Road Traffic Delay Estimation Using Mobile Phones*. Arvind Thiagarajan, Lenin Ravindranath, Katrina LaCurts, Sivan Toledo, Jakob Eriksson, Samuel Madden, Hari Balakrishnan, in *Proc. 14th ACM SenSys*, Berkeley, CA, November 2009. 9. Emiliano Miluzzo, Tianyu Wang, Andrew T. Campbell, "EyePhone: Activating Mobile Phones With Your Eyes", To appear in *Proc. of The Second ACM SIGCOMM Workshop on Networking, Systems, and Applications on Mobile Handhelds (MobiHeld'10)*, New Delhi, India, August 30, 2010. 10. Emiliano Miluzzo, Nicholas D. Lane, Kristóf Fodor, Ronald A. Peterson, Hong Lu, Mirco Musolesi, Shane. B. Eisenman, Xiao Zheng, Andrew T. Campbell, "Sensing Meets Mobile Social Networks: The Design, Implementation and Evaluation of the CenceMe Application", In *Proc. of 6th ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems (SenSys '08)*, Raleigh, NC, USA, Nov. 5-7, 2008. 11. T. Choudhury et al., "The Mobile Sensing Platform: An Embedded System for Activity Recognition," *IEEE Pervasive Comp.*, vol. 7, no. 2, 2008, pp. 32–41. 12. UC Berkeley/Nokia/NAVTEQ, "Mobile Millennium"; <http://traffic.berkeley.edu/> 13. Kuang, Zhejun, et al. "A human sensory architecture for cyber physical systems" *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*. 2013, 48.2. 14. Hanz, Trevor R. *An Abstraction Layer for Controlling Heterogeneous Mobile Cyber-Physical Systems*. - Thesis. - 2013. 40 p. 15. A. Marino, F. Caccavale, L. Parker, and G. Antonelli. *Fuzzy Behavioral Control for Multi-Robot Border Patrol*. In *Proceedings of the 17th Mediterranean Conference on Control and Automation*, Thessaloniki, Greece, June 2009. 16. A. Marino, L. Parker, G. Antonelli, F. Caccavale, and S. Chiaverini. *A Modular and Fault-Tolerant Approach to Multi-Robot Perimeter Patrol*. In *IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO)*, Guilin, China, December 2009. 17. White, Jules; Clarke, S., Dougherty, B., Thompson, C., and Schmidt, D. "R&D Challenges and Solutions for Mobile Cyber-Physical Applications and Supporting Internet Services". *Springer Journal of Internet Services and Applications*. Retrieved 2011-02-21. 18. Шевчук Р.П. Ідентифікація та виконання голосових команд персональними мобільними помічниками із використанням продукційної моделі представлення знань // Вісник Національного університету "Львівська політехніка" "Комп'ютерні системи та мережі".— 2013. — №773. 19. Шевчук Р.П. Персональний мобільний помічник туриста з динамічним відображенням об'єктів на цифровій карті місцевості / Шевчук Р.П., Козут А.В., Бойко Я.В. // Матеріали IV Всеукраїнської школи-семінару молодих вчених і студентів "Сучасні комп'ютерні інформаційні технології". — Тернопіль : ФО-П Шпак В.Б.. – 2014. – С. 167–169.