

ПОБУДОВА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ СМАРТ-ПІДПРИЄМСТВА З ВИКОРИСТАННЯМ СЛАБКИХ СИГНАЛІВ

Іван Цмоць, Ганна Назаркевич

*Національний університет “Львівська політехніка”,
вул. С. Бандери 12, Львів, Україна*

ivan.h.tsmots@lpnu.ua,
hanna.y.nazarkevych@lpnu.ua

Розроблено систему управління смарт підприємства. Для підвищення конкурентоспроможності підприємства, будемо управління, яке базується на використанні слабких сигналів, що дасть можливість гнучко і оперативно керувати підприємством. Побудовано чотирирівневу структуру підприємства, яка базується на зборі даних та управлінні виконавчими механізмами, контролю та управління технологічними процесами; управлінні виробництвом, управлінні підприємством. Адаптивне управління з використанням слабких сигналів полягає в короткотерміновому прогнозуванні управління. Адаптивне управління смарт-підприємством орієнтоване на роботу в умовах зростання нестабільності зовнішнього середовища та передбачає використання слабких сигналів для виявлення додаткових шансів, нарощування запасу гнучкості, збільшення часового ресурсу на прийняття і реалізацію відповідних мір на загрози.

Keywords: смарт-підприємство, адаптивне управління, короткотермінове прогнозування

Вступ

На сьогоднішній день підприємства використовують аналітику великих даних і інтелектуальні системи для вирішення актуальних бізнес-процесів [1], щоб підвищити конкурентоспроможність та ефективність рішень. Це дослідження застосовує систему планування ресурсів підприємства [2] на основі хмарних обчислень і систему електронної комерції між компаніями. Інтеграція інтелектуальної ERP-системи (Enterprise Resource Planning – Управління ресурсами підприємства) [3] з електронною комерцією може досягти очікуваних переваг обох. Це зменшує витрати та підвищує ефективність роботи, тим самим підвищуючи конкурентоспроможність підприємств. У порівнянні з іншими традиційними методами запропонована система може зробити управління бізнесом більш ефективним, сприяти оптимізації структури витрат, підвищити точність замовлень продажів і покращити час реагування.

Структура системи управління смарт-підприємства

Базова структура системи управління смарт-підприємства з використанням слабких сигналів наведена на рис.1, де TCP/IP – стек протоколів обміну, ETL – (Extract, Transform, and Load) виймання, перетворення та завантаження, SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition — диспетчерське управління і збір даних), SoC – система на кристалі (System-on-a-Chip), МК – мікроконтролер (Micro Controller Unit, MCU), PLC –

Programmable Logic Controller (програмований логічний контролер), IC – інтелектуальний сенсор (Смарт Sensors), BM – виконавчий механізм (actuator), IBM – інтелектуальний виконавчий механізм (Смарт actuator), IRP – Intelligent Resource Planning (системи інтелектуального планування), ERP - Enterprise Resource Planning (планування ресурсів підприємства) і MRP – Material Requirements Planning (системи планування потреб в матеріалах), СППР – система підтримки прийняття рішень, MES – Manufacturing Execution Systems (системи управління виробничими процесами), DCS - Distributed Control System (розподілена система керування).

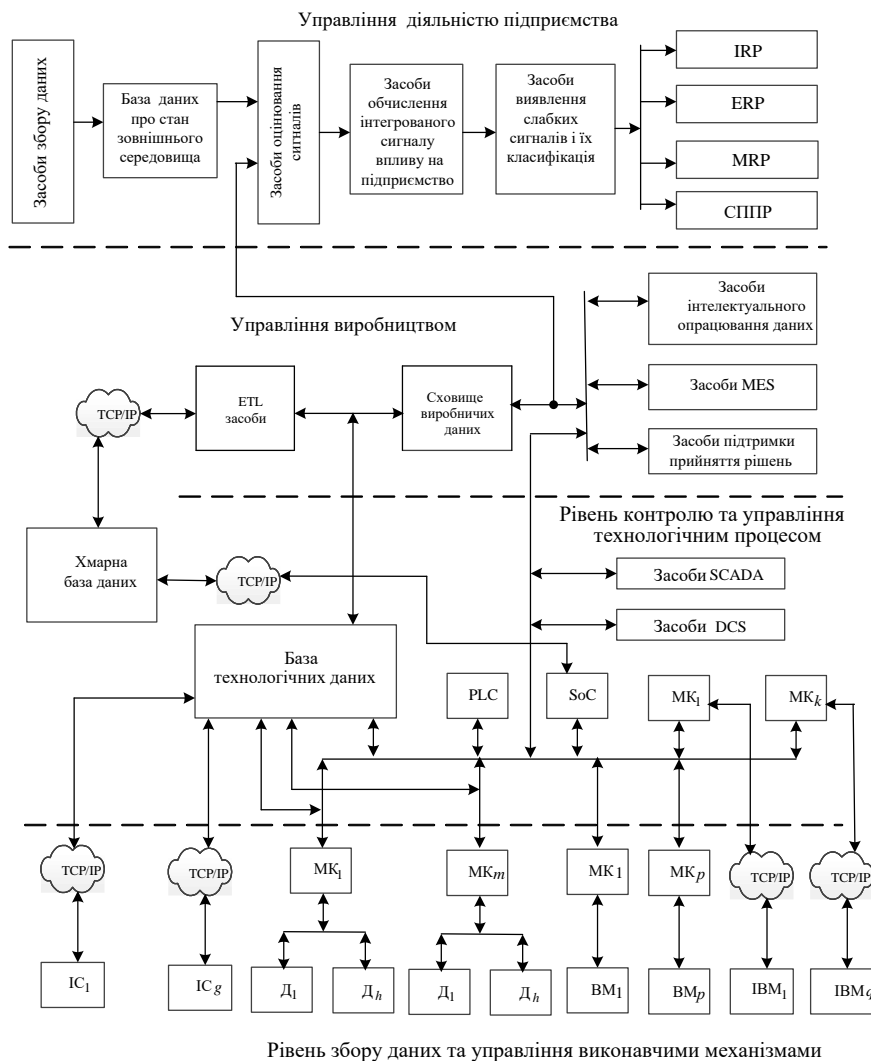


Рис. 1. Базова структура системи управління смарт-підприємства з використанням слабких сигналів

Базова структура системи управління смарт-підприємства [4] з використанням слабких сигналів є чотирирівневою та включає такі рівні:

- збору даних та управління виконавчими механізмами;
- контролю та управління технологічними процесами;
- управління виробництвом;
- управління підприємством.

Специфіка кожного рівня СУ визначається програмно-апаратними засобами. На кожному ієрархічному рівні СУ розв'язуються задачі відповідного рівня складності.

Рівень збору даних та управління виконавчими механізмами [5]. На цьому рівні формується первинна інформація, яка попередньо опрацьовується, накопичується та надходить на засоби контролю. З використанням даної інформації формуються сигнали для управління виконавчими механізмами та технологічними процесами. Засоби збору технологічної інформації вибираються на етапі проектування. Більш складна ситуація спостерігається на підприємствах, що вже функціонують. На вказаних підприємствах, особливо на підприємствах малого та середнього бізнесу, як правило, не планувалося розгортання систем збору та обробки інформації внаслідок великої їх вартості у минулому. Проведений аналіз типових виробничих технологічних процесів діючого виробництва дозволяє сформулювати низку особливостей, які необхідно враховувати при створенні системи управління смарт-підприємством:

- для моніторингу параметрів технологічного процесу бажано застосовувати технології, що забезпечують оперативність та простоту розгортання;
- кількість точок вимірювання параметрів може змінюватися, а отже, система повинна мати відкриту архітектуру з можливістю масштабування;
- апаратна частина системи повинна розроблятися на основі сучасних типових рішень для забезпечення простоти та низької вартості;
- необхідне широке застосування базових телекомунікаційних протоколів.

Для попереднього опрацювання даних із давачів і управління виконавчими механізмами доцільно використовувати максимально прості апаратні засоби, виконані у вигляді готових промислових компонентів, які реалізуються на базі мікроконтролерів, систем на кристалі (SoC) [6], PLC та програмованих логічних інтегральних схем (ПЛІС) [7]. На даному рівні управління широко використовується розподілена система введення/виведення та децентралізована обробкою даних з використанням програмних засобів DCS.

Рівень контролю та управління технологічним процесом [8]. Цей рівень на управління передбачається як достатньо автономний, який при відсутності зв'язку з верхнім рівнем здатний тривалий час без втрати інформації працювати автономно. Для забезпечення управління технологічними процесами та контролем за параметрами обладнання використовується система SCADA, основною функцією якої є створення інтерфейсу оператора та збір даних про технологічний процес.

Рівень управління виробництвом [9]. На даному рівні управління використовується програмні засоби MES, які забезпечують синхронізацію, координацію, аналіз та оптимізацію випуску продукції. Програмно-апаратні засоби на цьому рівні орієнтовані на опрацювання інтенсивних потоків даних за складними алгоритмами. В якості апаратних засобів можуть використовуватися робочі станції оператора на RISC- або Intel-платформах [10] та промислові комп'ютери такі як Mitsubishi Electric, BECKHOFF, Eaton, AXIOMTEK, які відповідають промисловим умовам експлуатації з підвищеними

вимогами до міцності та надійності. Задачі цього рівня такі: збір даних з периферійних контролерів і мікроконтролерних систем; збереження даних; опрацювання даних; опрацювання відео-потоків, розпізнавання зображень і сцен в системах технічного зору; синхронізація роботи розподілених підсистем; візуалізація та відображення ходу виконання технологічного процесу; формування управлінських рішень.

Особливостями задач, які розв'язуються на рівні управління виробництвом є:

- великий обсяг і різноманітність даних;
- суперечливість та неповнота даних;
- постійність і висока інтенсивність надходження вхідних даних;
- великий обсяг обчислень з переважанням обчислювальних операцій над логічними при опрацюванні відео-потоків, розпізнавання зображень і сцен в системах технічного зору;
- постійне ускладнення алгоритмів опрацювання та підвищення вимог до точності результатів;
- можливість розпаралелення опрацювання даних як у часі, так і у просторі.

На рівні управління виробництвом актуальною задачею є формування інтегрованої системи обміну та накопичення інформації з розосереджених систем.

Рівень управління підприємством [11]. На даному рівні управління здійснюється планування та аналіз виробничої діяльності організації з використанням програмних засобів IRP, ERP, MRP та формування управлінських рішень на основі виявлення слабких сигналів. Управління за слабкими сигналами будується на спостереженні та своєчасному виявленні слабких сигналів, прийнятті завчасних дій для використання потенційних можливостей, або усунення загроз. Своєчасне виявлення слабких сигналів збільшує час на прийняття та реалізацію управлінських рішень. Раннє виявлення слабких сигналів забезпечує підприємству завчасне нарощування часового запасу для використання потенційних можливостей, або усунення небезпек на ранніх стадіях їх зародження. На основі аналізу виявлених слабких сигналів менеджери приймають управлінські рішення, які направлені на усунення небезпек, або використання потенційних можливостей. Визначальне значення при управлінні за слабкими сигналами мають аналітики, які аналізують інформацію про зовнішню і внутрішню середовище, правильно її класифікують і роблять розрахунки використання потенційних можливостей, або часу надходження загрози і наслідки.

Розроблення методу адаптивного управління смарт-підприємством з використанням слабких сигналів.

Концепція адаптивного управління смарт-підприємством з використанням слабких сигналів ґрунтується на діагностиці всього, що відбувається в середині підприємства, досліджуванні зовнішніх процесів і на основі цього планування майбутнє. Особливістю адаптивного управління з використанням слабких сигналів є аналіз можливих наслідків управління шляхом використання прогнозу [12]. Адаптивне управління смарт-підприємством орієнтоване на роботу в умовах зростання нестабільності зовнішнього середовища та передбачає використання слабких сигналів для виявлення додаткових шансів, нарощування запасу гнучкості, збільшення часового ресурсу на прийняття і реалізацію відповідних мір на загрози. Адаптивне управління підприємством ґрунтується на припущенні того, що будь-які несприятливі явища або перспектива росту можливостей виникають не раптово. Слабкі сигнали це ранні і неточні ознаки настання

важливих подій, які з часом стають більш достовірним та перетворюються на сильні сигнали. Головною задачею адаптивного управління з використанням слабких сигналів є забезпечення внутрішньої стабільності підприємства в умовах постійно змінного зовнішнього середовища [13]. Схема адаптивного управління підприємством з використанням слабких сигналів наведена на рис. 2.

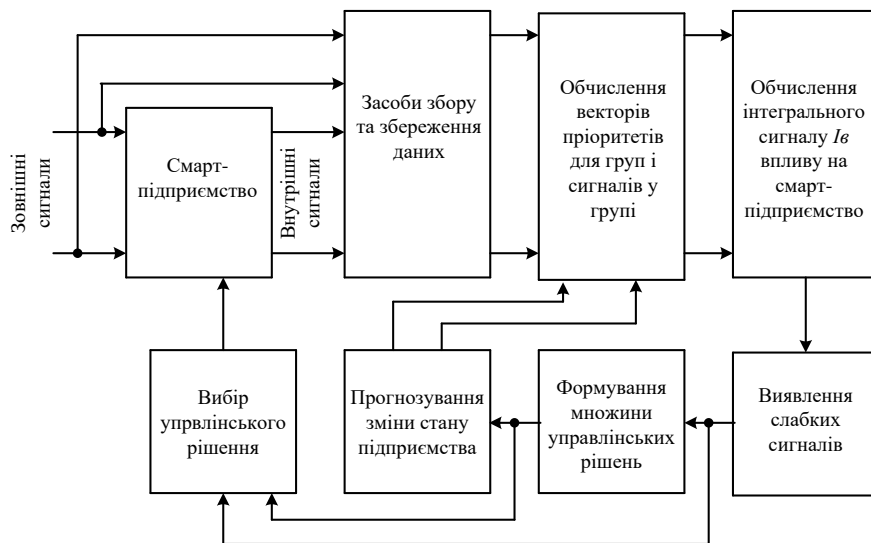


Рис.2. Схема адаптивного управління підприємством з використанням слабких сигналів

Основними компонентами системи адаптивного управління підприємством за слабкими сигналами є: засоби збору та збереження даних; засоби обчислення векторів пріоритетів для груп і сигналів у групі; засоби обчислення інтегрального показника впливу на смарт-підприємство [13]; засоби виявлення слабких сигналів; засоби формування множини управлінських рішень [14]; засоби прогнозування стану підприємства [15]; засоби вибору управлінського рішення [16].

Етапи реалізації методу адаптивного управління смарт-підприємством з використанням слабких сигналів. Адаптивне управління смарт-підприємством [12] з використанням слабких сигналів передбачає виконання таких етапів:

- збирання, зберігання та аналіз інформації про зовнішнє та внутрішнє середовище смарт-підприємства;
- декомпозиція оточуючого середовища смарт-підприємства на групи та сигнали впливу, побудова трирівневого дерева ієрархій, обчислення векторів пріоритетів для другого та третього рівнів;
- обчислення інтегрального сигналу впливу I_e на смарт-підприємство шляхом скалярного множення вектора пріоритетів $A_n = \{a_{en}, a_{cn}, a_{pn}, a_{bn}, a_{rn}, a_{kn}, a_{mn}\}$, обчисленого на другому рівні, на вектор глобальних пріоритетів $G = \{e_{maxn}, c_{maxn}, p_{maxn}, b_{maxn}, r_{maxn}, k_{maxn}, m_{maxn}\}$, який формується на третьому рівні;
- виявлення слабких сигналів, які сигналізують про потенційні загрози або можливості, здійснюється шляхом порівняння порогової величини ε з різницею

h_j між біжучим і прогнозованим значенням інтегрального сигналу впливу на смарт-підприємство;

- аналіз слабких сигналів і формування множини варіантів управлінських рішень.
- прогнозування зміни стану смарт-підприємства для кожного варіанту управлінського рішення;
- обчислення інтегрального сигналу впливу I_e на смарт-підприємство для кожного варіанту управлінського рішення;
- вибір на основі аналізу різниці h_j між біжучим і прогнозованим значенням інтегрального сигналу впливу на смарт-підприємство найкращого варіанту управлінського рішення;
- використання прогнозу та аналізу можливих наслідків реалізації управлінського рішення підвищує ефективність адаптивного управління смарт-підприємством на основі слабких сигналів.

Розробка програмних засобів виявлення слабких сигналів для адаптивного управління смарт-підприємством.

Розроблена програма оцінювання сигналів впливу на смарт-підприємство та виявлення слабких сигналів. Вікно користувальницького інтерфейсу програми оцінювання сигналів впливу на смарт-підприємство наведено на рис. 3.

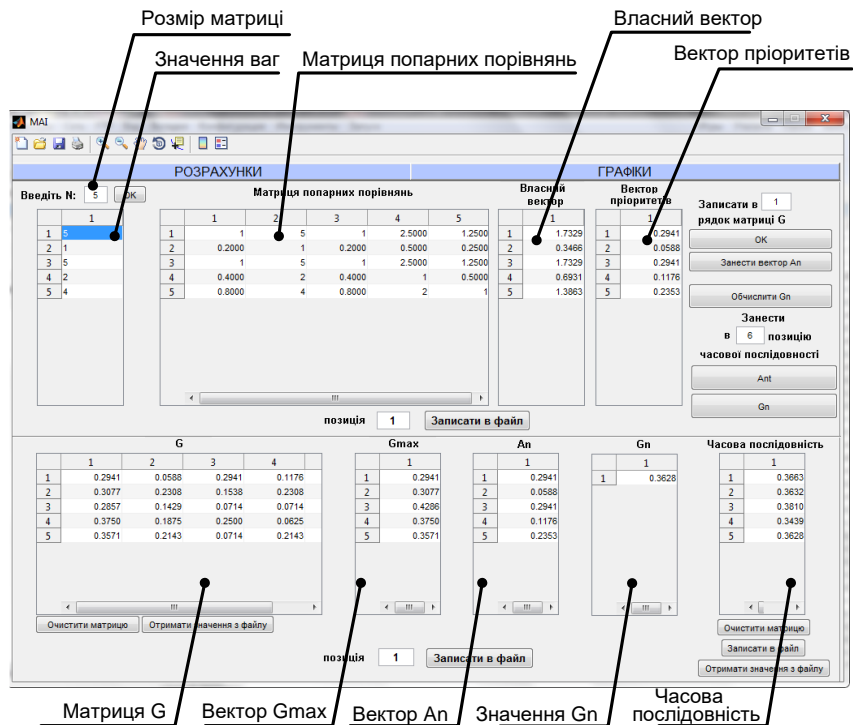


Рис.3. Вікно користувальницького інтерфейсу програми оцінювання сигналів впливу на смарт-підприємство

Після введення значень всіх рядків отримуємо матрицю попарних порівнянь A_{n-n} (рис. 4).

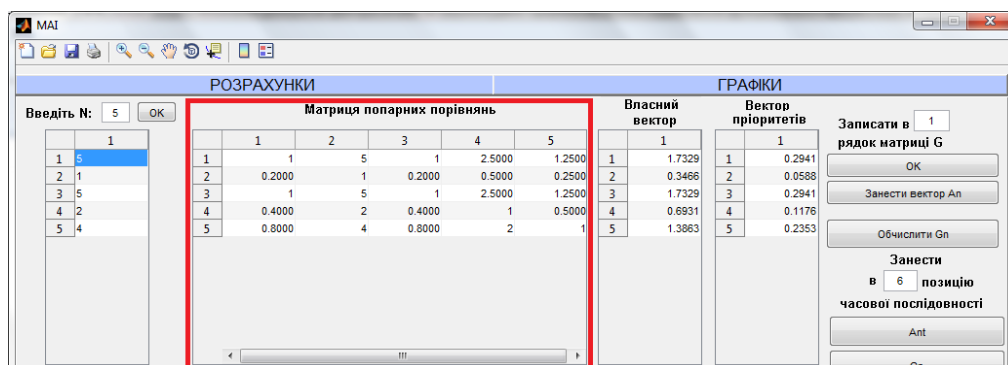


Рис.4. Відображення результатів обчислення матриці попарних порівнянь.

На основі матриці попарних порівнянь A_{n-n} обчислюємо власний вектор і вектор локальних пріоритетів. Результати такого обчислення виводяться в поле значень власного вектора та вектора пріоритетів A_n (рис. 5).

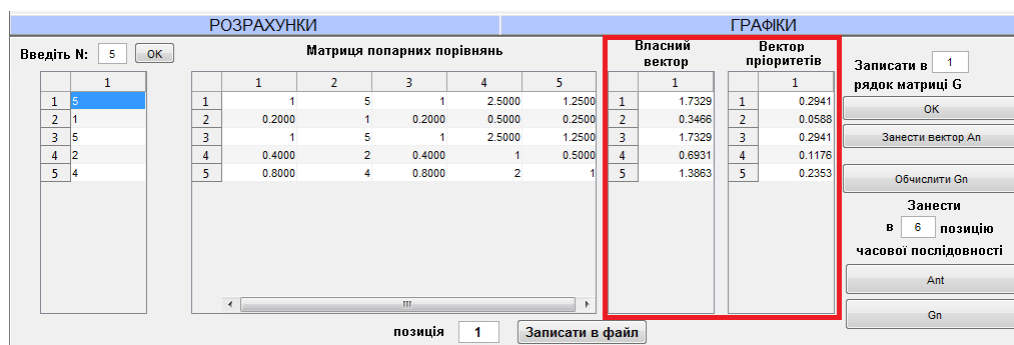


Рис.5. Відображення результатів обчислення власного вектору і вектору пріоритетів.

Після обчислення вектору пріоритетів A_n , його значення заноситься у відповідне поле для подальшої обробки за допомогою кнопки «Занести вектор A_n ». Значення A_n можна занести в матрицю часових послідовностей за допомогою кнопки «Ant».

Всі обчислення можна зберегти у текстовий файл і файл формату Microsoft Office Excel, за допомогою кнопки «Записати в файл», на певну позицію у файлі (якщо обчислення виконуються більше одного разу). Результат експорту даних у програму Microsoft Office Excel наведений на рис. 6.

energzkv.xls [Режим совместимости] - Microsoft Excel

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	5			0,185185	0,151515	0,087719	0,092593	0,833333	0,108696		0,214132		0,02193	
2	2,7		5,4	1	0,818182	0,473684	0,5	4,5	0,586957		1,15631		0,118421	
3	3,3		6,6	1,222222	1	0,578947	0,611111	5,5	0,717391		1,413268		0,144737	
4	5,7		11,4	2,111111	1,727273	1	1,055556	9,5	1,23913		2,4411		0,25	
5	5,4		10,8	2	1,636364	0,947368	1	9	1,173913		2,312621		0,236842	
6	6		1,2	0,222222	0,181818	0,105263	0,111111	1	0,130435		0,256958		0,026316	
7	4,6		9,2	1,703704	1,393939	0,807018	0,851852	7,666667	1		1,97001		0,201754	
8														
9	8		1	8	1	2,666667	1,333333	1	8		2,171335		0,228571	
10	1		0,125	1	0,125	0,333333	0,166667	0,125	1		0,271417		0,028571	
11	8		1	8	1	2,666667	1,333333	1	8		2,171335		0,228571	
12	3		0,375	3	0,375	1	0,5	0,375	3		0,814251		0,085714	
13	6		0,75	6	0,75	2	1	0,75	6		1,628501		0,171429	
14	8		1	8	1	2,666667	1,333333	1	8		2,171335		0,228571	
15	1		0,125	1	0,125	0,333333	0,166667	0,125	1		0,271417		0,028571	
16														
17	2		1	0,666667	1	2	0,4	0,5	0,666667		0,781339		0,1	
18	3		1,5	1	1,5	3	0,6	0,75	1		1,172009		0,15	
19	2		1	0,666667	1	2	0,4	0,5	0,666667		0,781339		0,1	

Рис.6. Результат експорту даних у програму Microsoft Office Excel.

MAI

РОЗРАХУНКИ

Введіть N: 5

Матриця попарних порівнянь

	1	2	3	4	5
1	1	5	1	2.5000	1.2500
2	0.2000	1	0.2000	0.5000	0.2500
3	1	5	1	2.5000	1.2500
4	0.4000	2	0.4000	1	0.5000
5	0.8000	4	0.8000	2	1

Власний вектор

	1
1	1.7329
2	0.3486
3	1.7329
4	0.6931
5	1.3863

Вектор пріоритетів

	1
1	0.2941
2	0.0588
3	0.2941
4	0.1176
5	0.2353

Записати в 1 рядок матриці G

Занести в 5-ю позицию часовой последовательности

Ant

Gn

Матриця G

	1	2	3	4
1	0.2941	0.0588	0.2941	0.1176
2	0.3077	0.2308	0.1538	0.2308
3	0.2857	0.1429	0.0714	0.0714
4	0.3750	0.1875	0.2500	0.0625
5	0.3571	0.2143	0.0714	0.2143

Gmax

	1
1	0.2941
2	0.3077
3	0.4286
4	0.3750
5	0.3571

Ant

	1
1	0.2941
2	0.0588
3	0.2941
4	0.1176
5	0.2353

Gn

	1
1	0.3628

Часова послідовність

	1
1	0.3663
2	0.3632
3	0.3810
4	0.3439
5	0.3628

Рис.7. Формування часової послідовності значень інтегрованих сигналів впливу на смарт-підприємство

Наступним кроком процесу реалізації програми є обчислення вектора глобальних пріоритетів G , який формується із елементів, що є максимальними значеннями у векторах пріоритетів відповідно $E_n = \{e_{1n}, e_{2n}, e_{3n}, e_{4n}, e_{5n}, e_{6n}, e_{7n}\}$, $C_n = \{c_{1n}, c_{2n}, c_{3n}, c_{4n}, c_{5n}, c_{6n}, c_{7n}\}$, $P_n = \{p_{1n}, p_{2n}, p_{3n}, p_{4n}, p_{5n}, p_{6n}, p_{7n}\}$, $B_n = \{b_{1n}, b_{2n}, b_{3n}, b_{4n}, b_{5n}, b_{6n}, b_{7n}\}$, $R_n = \{r_{1n}, r_{2n}, r_{3n}, r_{4n}, r_{5n}, r_{6n}, r_{7n}\}$, $K_n = \{k_{1n}, k_{2n}, k_{3n}, k_{4n}, k_{5n}, k_{6n}, k_{7n}\}$ і $M_n = \{m_{1n}, m_{2n}, m_{3n}, m_{4n}, m_{5n}, m_{6n}, m_{7n}\}$. Після отримання вектора глобальних пріоритетів G виконується обчислення інтегрального сигналу впливу на підприємство шляхом скалярного множення вектора глобальних пріоритетів G на вектор пріоритетів A_n . Запуск результату даного множення (інтегрального сигналу впливу на підприємство) здійснюється за допомогою кнопки «Обчислити G_n ». Значення інтегрального сигналу впливу на підприємство записується в поле G_n . На основі обчислених значень інтегрального сигналу впливу на підприємство формується послідовність часового ряду (рис. 7).

Висновки

У дослідженні розроблено управління смарт підприємством. Управління підприємством ґрунтується на керуванні слабкими і сильними сигналами, які дають можливість гнучко і оперативно формувати управління. За допомогою побудованої чотирьохрівневою структури, є можливість формування даних та управлінні виконавчими механізмами, контролю та управління технологічними процесами; управлінні виробництвом та підприємством. Адаптивне управління з використанням слабких сигналів полягає в короткотерміновому прогнозуванні управління. Розроблена програма оцінювання сигналів впливу на смарт-підприємство та виявлення слабких сигналів. Розроблено часову послідовність значень інтегрованих сигналів впливу на смарт-підприємство. Розроблено матрицю попарних порівнянь та обчислено власний вектор і вектор пріоритетів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Andrews T., Curbera F., Dholakia H., Golland Y., Klein J., Leymann F., Weerawarana S. Business process execution language for web services. 2003.
- [2] Гребенович С. О., Сініцина Р. Б. Прогнозування рівнів майбутніх продажів для систем планування ресурсів підприємств / NaUKMA Research Papers. Computer Science, 3, 2020.
- [3] Кулажський В. І., Берестов Д. С., Кульчицький О. С. Криптографічний захист інформаційних ресурсів в ERP-системі. // Збірник наукових праць Центру воєнно-стратегічних досліджень Національного університету оборони України імені Івана Черняхівського, (3), 2014. С.50-53.
- [4] Яцишина І. Суть та особливості смарт-підприємств (Nature and features of smart factory) // Наукові записки Національного університету «Острозька академія». Серія «Економіка»: науковий журнал, №11 (39), 2018. С.14-18.
- [5] Цмоць І. Г., Стрямець С. П., Зербіно Д. Д. Багаторівнева система управління технологічними процесами. // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки, № 4, 2016. С.139-145.
- [6] Dolmeta A., Mirigaldi M., Martina M., Masera G. Implementation and integration of Keccak accelerator on RISC-V for CRYSTALS-Kyber // In Proceedings of the 20th ACM International Conference on Computing Frontiers, 2023, May. Pp. 381-382.
- [7] Kundu S., Hossain M., Mandal S. (2023). Modeling of silicon microring resonator-based

- programmable logic device for various arithmetic and logic operation in Z-domain // *Optical and Quantum Electronics*, № 55(2), P.175.
- [8] *Beerepoot I., Di Ciccio, C., Reijers H. A., Rinderle-Ma S., Bandara W., Burattin A., Zerbato F.* (2023). The biggest business process management problems to solve before we die // *Computers in Industry*, 146, 103837.
- [9] *Rusch M., Schöggel J. P., Baumgartner R. J.* Application of digital technologies for sustainable product management in a circular economy: A review. *Business Strategy and the Environment*, 32(3), 2023, P.1159-1174.
- [10] *Brohet M., Regazzoni F.* A Survey on Thwarting Memory Corruption in RISC-V. *ACM Computing Surveys*, 2023.
- [11] *Лутавва Я. Л.* Підвищення ефективності системи управління підприємством, 2023.
- [12] *Рагозін А.* Формування системи управління "розумного підприємства", 2023.
- [13] *Teslyuk V., Tsmots I., Teslyuk T., Kazymyra I.* Methods for the Efficient Energy Management in a Smart Mini Greenhouse. *Computers, Materials & Continua*, 70(2), 2022.
- [14] *Nazarkevych H., Nazarkevych M., Kostyak M., Pavlysko A.* Designing an Information System to Create a Product in Terms of Adaptation // *Developments in Information and Knowledge Management Systems for Business Applications: Volume 7* (pp. 153-169). Cham: Springer Nature Switzerland, 2023.
- [15] *Nazarkevych H., Tsmots I., Nazarkevych M., Oleksiv N., Tysliak A., Faizulin O.* Research on the effectiveness of methods adaptive management of the enterprise's goods sales using machine learning methods // 2022 IEEE 17th International Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT), 2022, November, Pp. 539-542. IEEE.
- [16] *Назаркевич М., Назаркевич Г.* (2023). Адаптивний метод управління підприємством на основі нейронних мереж. *Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security*, (1), 93-99.

CONSTRUCTION OF A SMART ENTERPRISE MANAGEMENT SYSTEM USING WEAK SIGNALS

Ivan Tsmots, Hanna Nazarkevych

*Lviv Polytechnic National University,
12 Bandery St., UA-79013, Lviv, Ukraine*

ivan.h.tsmots@lpnu.ua,
hanna.v.nazarkevych@lpnu.ua

An approach to building a smart enterprise management system based on the use of weak signals is proposed. The organization of a smart enterprise consists in the use of cyber-physical production, which ensures precise adjustment to the needs of the consumer and is based on the use of big data. The application of achievements in e-commerce provides an opportunity to increase the competitiveness of the enterprise and make the enterprise successful. Adaptive management of a smart enterprise using weak signals assumes that the weaker the signal is perceived and identified from the surrounding environment, the more time the enterprise has for

making and implementing appropriate management decisions. The structure of the smart enterprise management system using weak signals includes levels of data collection and management of executive mechanisms; control and management of technological processes; production management and enterprise management. The study is devoted to the development of software tools for adaptive management of a smart enterprise. For this, the collection, storage and analysis of information about the smart enterprise environment, division into groups and influence signals, construction of a three-level tree of hierarchies, calculation of priority vectors, calculation of the integral signal of the influence of I_v on the smart enterprise by scalar multiplication of the priority vector and detection of weak signals have been implemented. on the basis of which management policy is built. Adaptive management of a smart enterprise is oriented to work in conditions of increasing instability of the external environment and involves the use of weak signals to identify additional chances, increase the margin of flexibility, increase the time resource for the adoption and implementation of appropriate measures against threats. The time sequence of the values of the integrated signals of influence on the smart enterprise has been developed. A matrix of pairwise comparisons was developed and the eigenvector and priority vector were calculated.

Keywords: smart enterprise, adaptive management, short-term forecasting.

Стаття надійшла до редакції 01.11.2023

Прийнята до друку 24.11.2023