

Т.В. Теслюк, аспірант кафедри АСУ, НУ “Львівська політехніка”,
І.Г. Цмоць, д.т.н., проф., зав. кафедри АСУ, НУ “Львівська політехніка”,
В.Ф. Ємець, д.т.н., проф. кафедри ІСТ, НУ “Львівська політехніка”,
А.Я. Зелінський, к.т.н., ст. викл. кафедри ІСТ, НУ “Львівська політехніка”,
В.Я. Коваль, асистент. кафедри ІСТ, НУ “Львівська політехніка”.

МЕТОД СИНТЕЗУ СТРУКТУР КОМПОНЕНТІВ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ

Abstract. The method of structural synthesis of elements of the multi-level system of control of technological processes (BSSMT) was improved, which made it possible to take into account different types of interfaces of the basic components and software products. The basic structure of the component and the algorithm for the synthesis of the components of the BPMT are constructed. The software of the synthesis system, which is based on the use of the freely used Octave environment, is developed and the research results are presented.

Анотація. Вдосконалено метод структурного синтезу елементів багаторівневої системи управління технологічними процесами (БСУПТ), що дало змогу врахувати різні види інтерфейсів базових складових та програмних продуктів. Побудовано базову структуру компонента та алгоритм синтезу компонентів БСУПТ. Розроблено програмне забезпечення системи синтезу, яке базується на використанні вільно використововуваного середовища Octave та наведено результати досліджень.

Вступ

Складність сучасних технічних систем зростає з кожним роком. Особливого значення, в таких умовах, набуває автоматизація процесу розроблення складних об'єктів і систем. З іншої сторони, задача структурного синтезу є однією з найскладніших проектних процедур, яку необхідно розв'язати в процесі побудови технічних систем. В процесі синтезу використовується досвід розробників, необхідно враховувати параметри технічного завдання, сучасний розвиток технологій та ін. Відповідно, в силу своєї складності - цей етап розроблення характеризується низьким рівнем формалізації та автоматизації. Тому, розроблення методу та програмних засобів автоматизації структурного синтезу є актуальним завданням для області сучасних інформаційних систем.

В процесі автоматизованого синтезу технічних систем в залежності від області застосування, можуть використовуватися різні методи та підходи [1, 2]. Одним з найбільш відомих – є морфологічний метод [3, 4]. Цей метод дає можливість автоматизувати відповідну проектну процедуру. З іншої сторони – він є надзвичайно затратним: потребує побудови базових елементів, з яких складається структура, визначення базових структур, побудов I-АБО дерева, визначення правил синтезу структур [5], а в кінцевому випадку – потребує

розв'язання задачі багатокритеріальної оптимізації [6, 7]. Відповідно, на практиці цей метод використовується дуже рідко. Метод, який описаний в роботі [8], досить часто використовується на практиці, але його недоліком є те, що він не враховує інтерфейси програмних та апаратних модулів, що є надзвичайно важливим завданням в процесі синтезу сучасних технічних систем та дасть змогу підвищити ефективність автоматизації синтезу компонентів багаторівневої системи управління енергоефективністю регіону.

Розроблення методу синтезу компонентів багаторівневої системи управління технологічними процесами (з урахуванням інтерфейсів та програмних модулів)

Синтез компонентів багаторівневої системи управління технологічними процесами включає у себе декілька етапів. На першому етапі необхідно вибрати множини базових елементів, які задовольняють початковим умовам.

На наступному етапі необхідно синтезувати варіанти з'єднання базових компонентів та посортувати їх за порядком задоволення базовим умовам. На виході методу синтезу [9] є сформована множина комп'ютерних компонентів, компонентів зв'язку, давачів та актюаторів, які відповідають початковим умовам (вимогам технічного завдання) і посортовані у порядку зростання цільової функції.

Наступним кроком є синтез множин елементів, які формують необхідний компонент. З цією метою необхідно враховувати розмірність периферії та інтерфейси комунікації елементів.

Синтезовані елементи формують на основі одного комп'ютерного компонента, який відповідає за роботу системи. Елементи зв'язку, давачі та актюатори мають бути під'єднанні до комп'ютерного компонента з урахуванням кількості інтерфейсів і їхнього типу.

На першому етапі вибору апаратно-програмних компонентів БСУТП формуємо перелік додаткових критеріїв, які описують перелік інтерфейсів для апаратно-програмних компонентів. Перелік критеріїв властивостей інтерфейсів для апаратно-програмних компонентів наведений в таблиці 1.

На другому етапі формується попередній перелік компонентів кожен із яких має значення інтегрованої оцінки ефективності E_{IKkj} , E_{IKzj} або E_{IKdj} . Дані значення будуть використовуватись для порівняння сформованих систем між собою.

На третьому етапі відбувається підбір конфігурацій системи так, щоб у вибірці кількість комп'ютерних компонент була рівна 1, а кількість давачів, актюатрів, модулів зв'язку відповідала початковим умовам: $K_k = \{K_{k1}, K_{k2}, \dots, K_{kn}\}$ — множина комп'ютерних компонент; $S = \{S_{k1}, S_{k2}, \dots, S_{kn}\}$ — множина давачів; $A = \{A_{k1}, A_{k2}, \dots, A_{kn}\}$ — множина актюаторів; $C_m = \{C_{m1}, C_{m2}, \dots, C_{mn}\}$ — множина модулів зв'язку; $K_k' \sqsubseteq K_k$ — сформована підмножина комп'ютерних компонентів потужністю 1. $K \sqsubseteq K'$; $S' \sqsubseteq S$ — сформована підмножина давачів; $A' \sqsubseteq A$ — сформована підмножина актюаторів; $C_m' \sqsubseteq C_m$ — сформована підмножина модулів зв'язку.

Перелік додаткових критеріїв для компонент

Назва критерію	Позначення
Загальна кількість аналогових портів j -ї апаратно-програмної компоненти	A_j
Загальна кількість GPIO цифрових портів j -ї апаратно-програмної компоненти	$GPIO_j$
Загальна кількість I2C цифрових портів j -ї апаратно-програмної компоненти	$I2C_j$
Загальна кількість SPI цифрових портів j -ї апаратно-програмної компоненти	SPI_j
Загальна кількість допоміжних портів j -ї апаратно-програмної компоненти	O_j

Кількість портів має задовольняти наступним умовам:

$$\Sigma K a \geq \Sigma S'j a + \Sigma A'j a + \Sigma C m'j a, \quad (2)$$

$$\Sigma K GPIO \geq \Sigma S'j GPIO + \Sigma A'j GPIO + \Sigma C m'j GPIO,$$

$$\Sigma K I2C \geq \Sigma S'j I2C + \Sigma A'j I2C + \Sigma C m'j I2C$$

$$\Sigma K SPI \geq \Sigma S'j SPI + \Sigma A'j SPI + \Sigma C m'j SPI,$$

$$\Sigma K O \geq \Sigma S'j O + \Sigma A'j O + \Sigma C m'j O.$$

На четвертому етапі відбувається обчислення значень цільової функції для синтезованої системи. Цільова функція є адитивна і враховує вплив кожного із компонент на загальний стан системи. Для того, щоб враховувати вплив кількості використаних елементів на загальний результат, необхідно проміжне значення поділити на загальну кількість використаних елементів.

$$Q_j = (KEi + \Sigma S'nEi + \Sigma A'mEi + \Sigma cm'pEi) / (1 + n + m + p). \quad (3)$$

На п'ятому етапі відбувається вибір синтезованих компонентів БСУТП з множини із N компонентів із максимальним значенням інтегрованої оцінки ефективності Q_j . Для цього значення оцінок альтернатив Q_j сортується по спаданню.

Дане вдосконалення, на відміну від існуючих, дає можливість врахувати в процесі синтезу компонент БСУТП кількості інтерфейсів, їхній тип та наявного програмного забезпечення.

Програмна реалізація засобів вибору елементної бази апаратно-програмних компонентів з врахуванням техніко-економічних обмежень

Розроблений вище алгоритм має лінійну структуру та складається із 2-ох послідовних підпрограм:

- підпрограма вибору елементної бази для синтезу компонент систем управління технологічними процесами, яка відповідає за завантаження варіантів компонент із бази даних, їхню попередню фільтрацію згідно із заданими техніко-економічними показниками, обчислення інтегрованої оцінки ефективності для кожного компоненту та сортування результатів по спаданню оцінки ефективності.

- підпрограма синтезу структури компонент систем управління технологічними процесами, яка отримує на вхід варіанти компонент із першої підпрограми. Після цього відбувається генерації варіантів об'єднання елементів у єдиний компонент. Ці варіанти фільтруються за сумісністю по інтерфейсам. Варіанти, які пройшли перевірку зберігаються та для них обчислюється загальна оцінка ефективності. Варіанти сортуються по спаданню загальної оцінки ефективності.

Для реалізації програми для вибору елементної бази використано середовище Octave — це є базкоштовний аналог середовища Matlab [10]. Приклад фрагменту реалізованого коду зображено на рис. 1.

В процесі дослідження розробленого методу та реалізованого програмного забезпечення сформовано вимоги до синтезованого пристрою. Необхідно синтезувати пристрій, який складається з мікроконтролера та елементу пам'яті. Необхідно підібрати варіант, який відповідає наступним умовам:

1) Модуль пам'яті має містити принаймні 1.5 одиниць пам'яті та не коштувати більше за 3.5 одиниць (одиниці – нормоване значення параметра системи).

2) Мікроконтролер має мати тактову частоту більше за 24 одиниці та ціну не більше за 6 одиниць.

3) Синтезований елемент має бути сумісний по програмно-апаратним інтерфейсам.

Для прикладу існують наступні варіанти модулів пам'яті. Дані представлені у вигляді матриці (обсяг пам'яті, ціна, ідентифікатор – подані в нормованому виді).

A =	1.0000	2.0000	1.0000
	2.0000	3.0000	2.0000
	1.0000	3.0000	3.0000
	1.7500	2.5000	4.0000
	3.0000	6.0000	5.0000
	2.0000	4.0000	6.0000
	1.6000	2.5000	7.0000
	2.2500	4.0000	8.0000
	1.7500	3.0000	9.0000
	2.2500	3.7500	10.0000
	3.0000	5.0000	11.0000
	1.0000	4.0000	12.0000

Програма виводить проміжні результати, у яких відображаються відфільтровані компоненти згідно із умовою 1.

B =	2.0000	3.0000	2.0000
	1.7500	2.5000	4.0000
	1.6000	2.5000	7.0000
	1.7500	3.0000	9.0000

Для порівняння варіантів між собою використовуються вагові коефіцієнти, які вказують на відносну важливість кожного із компонентів. У

нашому випадку мінімізація ціни є важливішою.

$$weightCoef = \begin{matrix} 2 & 3 \end{matrix}$$

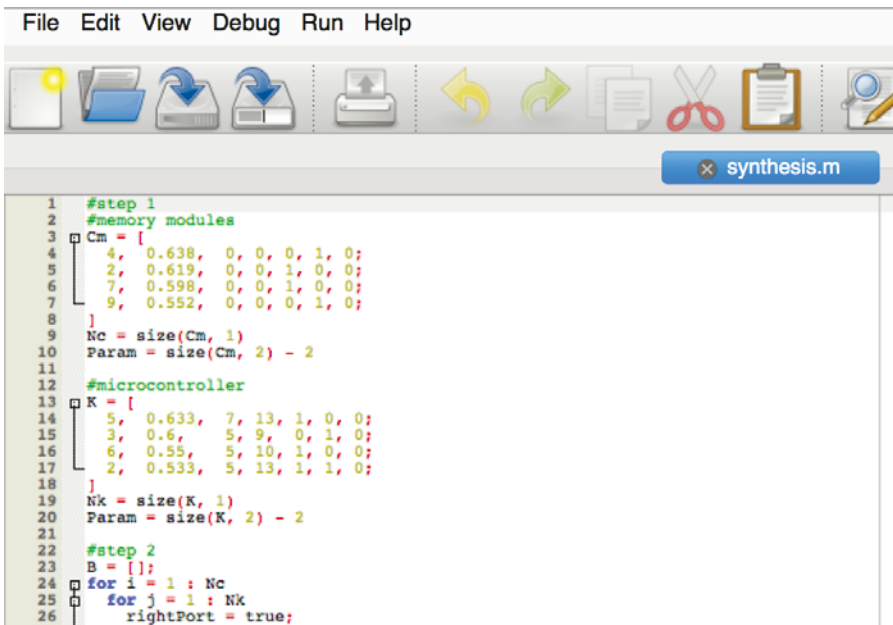


Рис. 1. Приклад середовища та фрагменту програми математичного програмування Octave

На наступних етапах значення альтернатив нормалізуються та обчислюється комплексна характеристика для кожної із альтернатив. У нашому прикладі отримано наступні результати (значення цільової функції та ідентифікатор альтернативи).

$$C = \begin{matrix} 0.61905 & 2.00000 \\ 0.63810 & 4.00000 \\ 0.59810 & 7.00000 \\ 0.55238 & 9.00000 \end{matrix}$$

Альтернативи сортуються за значенням цільової функції по спаданню. Відповідно, кращим варіантом при даній вибірці – є варіант №4 із значенням обсягу пам'яті 1.75 і ціною 2.5.

$$C = \begin{matrix} 0.63810 & 4.00000 \\ 0.61905 & 2.00000 \\ 0.59810 & 7.00000 \\ 0.55238 & 9.00000 \end{matrix}$$

Також було проведено вибір мікроконтролерів із наступного набору (тактова частота у відносних одиницях, ціна у відносних одиницях та ідентифікатор).

A = 16.0000 2.0000 1.0000
32.0000 6.0000 2.0000
24.0000 4.0000 3.0000
64.0000 10.0000 4.0000
32.0000 5.0000 5.0000
24.0000 4.5000 6.0000
18.0000 3.0000 7.0000
8.0000 1.0000 8.0000

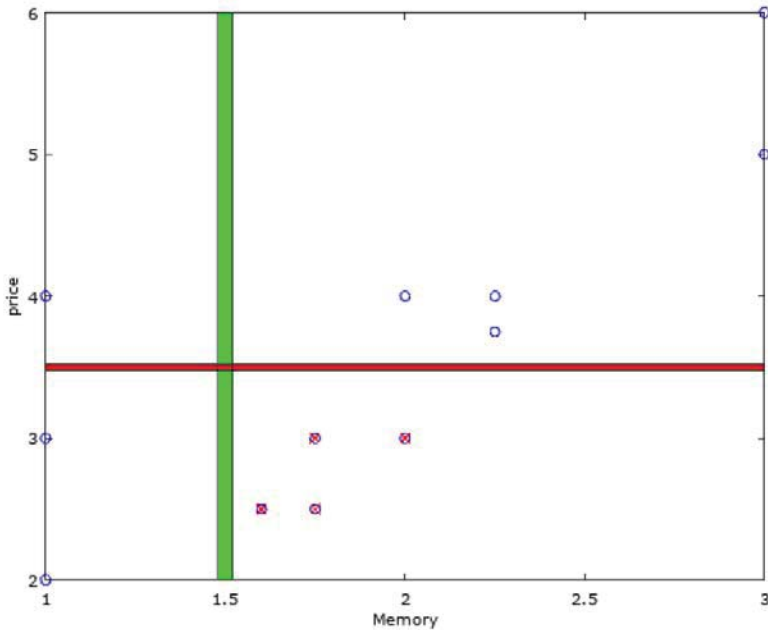


Рис. 2. Результати пошуку елементу пам'яті

Дані фільтруються згідно із умовою 2. Як результат отримано наступну підмножину.

B = 32.0000 6.0000 2.0000
24.0000 4.0000 3.0000
32.0000 5.0000 5.0000
24.0000 4.5000 6.0000

Процедура обчислення цільової функції для кожного із компонентів є ідентична. Наприкінці отримано наступні відсортовані результати.

C = 0.63333 5.00000
0.60000 3.00000
0.55000 6.00000
0.53333 2.00000

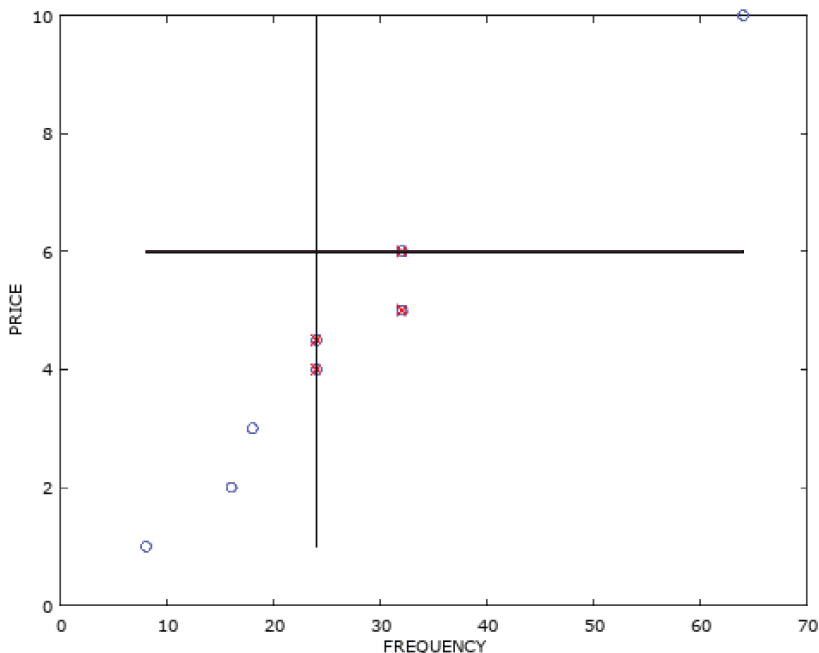


Рис. 3. Результати пошуку мікроконтролерів

Відповідно, кращим варіантом при даній вибірці – є варіант №5 із значенням тактової частоти 32 і ціною 5.

На наступному етапі із вибраної елементної бази та варіантів контролерів генеруються варіанти поєднання компонентів із урахуванням інтерфейсів.

Дані про вибрані елементи пам'яті доповнюються інформацією про порти компонентів (ідентифікатор, значення цільової функції, кількість портів A, GPIO, I2C, SPI, O).

$C_m =$

4.00000	0.63800	0.00000	0.00000	0.00000	1.00000	0.00000
2.00000	0.61900	0.00000	0.00000	1.00000	0.00000	0.00000
7.00000	0.59800	0.00000	0.00000	1.00000	0.00000	0.00000
9.00000	0.55200	0.00000	0.00000	0.00000	1.00000	0.00000

Дані про вибрані мікроконтролери доповнюються інформацією про наявні порти (ідентифікатор, значення цільової функції, кількість портів A, GPIO, I2C, SPI, O).

$K =$

5.00000	0.63300	7.00000	13.00000	1.00000	0.00000	0.00000
3.00000	0.60000	5.00000	9.00000	0.00000	1.00000	0.00000
6.00000	0.55000	5.00000	10.00000	1.00000	0.00000	0.00000
2.00000	0.53300	5.00000	13.00000	1.00000	1.00000	0.00000

На наступному етапі формуються варіанти поєднання елементів пам'яті та контролерів. В той же час, всі варіанти, які не відповідають вимогам по сумісності інтерфейсів, відкидаються. Після цього формується загальна матриця із описом сумісних компонентів (ідентифікатор мікроконтролера, значення цільової функції мікроконтролера, ідентифікатор компоненту пам'яті та його значення цільової функції).

$B =$

3.00000	0.60000	4.00000	0.63800
2.00000	0.53300	4.00000	0.63800
5.00000	0.63300	2.00000	0.61900
6.00000	0.55000	2.00000	0.61900
2.00000	0.53300	2.00000	0.61900
5.00000	0.63300	7.00000	0.59800
6.00000	0.55000	7.00000	0.59800
2.00000	0.53300	7.00000	0.59800
3.00000	0.60000	9.00000	0.55200
2.00000	0.53300	9.00000	0.55200

Для кожного із синтезованих компонентів обчислюється узагальнене значення ефективності.

$C =$

0.61900	3.00000	0.60000	4.00000	0.63800
0.58550	2.00000	0.53300	4.00000	0.63800
0.62600	5.00000	0.63300	2.00000	0.61900
0.58450	6.00000	0.55000	2.00000	0.61900
0.57600	2.00000	0.53300	2.00000	0.61900
0.61550	5.00000	0.63300	7.00000	0.59800
0.57400	6.00000	0.55000	7.00000	0.59800
0.56550	2.00000	0.53300	7.00000	0.59800
0.57600	3.00000	0.60000	9.00000	0.55200
0.54250	2.00000	0.53300	9.00000	0.55200

Значення сортуються по спаданню значення ефективності синтезованого компоненту.

$C =$

0.62600	5.00000	0.63300	2.00000	0.61900
0.61900	3.00000	0.60000	4.00000	0.63800
0.61550	5.00000	0.63300	7.00000	0.59800
0.58550	2.00000	0.53300	4.00000	0.63800
0.58450	6.00000	0.55000	2.00000	0.61900
0.57600	2.00000	0.53300	2.00000	0.61900
0.57600	3.00000	0.60000	9.00000	0.55200
0.57400	6.00000	0.55000	7.00000	0.59800
0.56550	2.00000	0.53300	7.00000	0.59800
0.54250	2.00000	0.53300	9.00000	0.55200

В даному випадку, найкращою альтернативою є використання мікроконтролера під індексом 5 та модуля пам'яті під індексом 2.

0.62600 5.00000 0.63300 2.00000 0.61900

Висновки

Розроблено метод синтезу програмно-апаратних компонентів, який враховує типи інтерфейсів та програмних модулів, що дає змогу підвищити якість технічних рішень і зменшити час розроблення елементів БСУПТ.

Розроблено програмне забезпечення вибору елементної бази системи та синтезу БСУПТ, яке ґрунтується на використанні вільно використовованого середовища Octave. Наведено результати синтезу компонента багаторівневої системи управління технологічними процесами системи керування енергоефективністю регіону, який складається із мікроконтролера та елементу пам'яті.

1. *Згуровский М.З., Панкратова Н.Д.* Технологическое предвидение. – К.: ИВЦ “Видавництво“ Політехніка”, 2005.
2. *Катренко А.В.* Системний аналіз об'єктів та процесів комп'ютеризації : Навчальний посібник. – Львів: “Новий світ– 2000”.
3. *Zwicky F., Wilson A.G.* New Methods of Thought and Procedure. –Contributions to the Symposium on Methodologies, Pasadena, May 22-24, 1967.
4. *Одрин В. М.* Метод морфологического анализа технических систем . – М.: ВНИИПИ, 1989.
5. *Теслюк В.М., Керницький А.Б., Зелінський А.Я., Сергієнко В.Р.* Застосування морфологічного методу для синтезу множини альтернативних рішень MEMC // Моделювання та інформаційні технології. Зб. наук. пр. ІППМЕ ім.Г.Є.Пухова НАН України. – Київ, 2011, Вип. 62. – С.105 – 112.
6. *Denysyuk P., Teslyuk V., T. A. AlOmari, Teslyuk T.* Development and study of subsystem for solution of tasks of multicriterial optimization // Proceedings of the 5th International Conference on Perspective Technologies and Methods in MEMS Design, MEMSTECH 2009, Lviv – Polyana, Ukraine, 2009, pp. 166–167.
7. *Штойер Р.* Многокритериальная оптимизация: теория, вычисления и приложения. - М.: Радио и связь, 1992.
8. *Брахман Т.* Многокритериальность и выбор альтернативы в технике.- М.: Радио и связь, 1984.
9. *Tsmots I., Teslyuk T., Optyak Y.* Selection of Hardware Features and Synthesis of Multilevel Control System Components of Energy Efficiency of Production Prozesse // Proceedings of the 5th International Conference on Perspective Technologies and Methods in MEMS Design, 18 - 22 April 2018 Polyana, Lviv, Ukraine. 2018 – P.186-190.
10. *Алексеев Е. Р., Чеснокова О. В.* Введение в Octave для инженеров и математиков М. : ALT Linux, 2012 — 368 с.

Поступила 22.02.2018р.