

статей 9-ї Міжнарод. наук.-техн. конф., Харків, 17-20 листопада 2020 р. Х.: Друкарня Мадрид. 2020. С. 76–77.

4. Бескоровайный В. В. , Ахмед Ф. Х. Пошукові процедури для систем керування виробничо-збутовими процесами. Информационные системы и технологии: материалы 6-й Международ. науч.-техн. конф., Харьков, 11-16 сентября 2017 г.: тезисы докладов. Х.: ХНУРЕ. 2017. С. 134–135.
5. Thompson K. Sales Automation Done Right: selling in the digital age. – Toronto: SalesWays Press. 2005.

Науковий керівник: Безкоровайний Володимир Валентинович, д.т.н., професор кафедри КІТАМ, професор кафедри системотехніки Харківського національного університету радіоелектроніки.

УДК 004.896

ОПТИМІЗАЦІЯ МОДУЛЯ ВІДДАЛЕНОГО КЕРУВАННЯ МОБІЛЬНИМ РОБОТОМ

Барасій В. В.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Україна, 61166, Харків, пр. Науки 14

E-mail: viacheslav.barasii@nure.ua

Анотація: Виконана формалізація задачі оптимізації модуля віддаленого керування мобільним роботом за множиною показників. Для багатокритеріальної оцінки варіантів з використанням апарату нечітких множин обрано вид функцій загальної корисності та корисності локальних критеріїв. Для ситуацій упорядкування локальних критеріїв за важливістю запропоновано використовувати метод лексикографічної оптимізації.

Ключові слова: мобільний робот, модуль керування, оптимізація.

OPTIMIZATION OF MOBILE ROBOT REMOTE CONTROL MODULE

V. Barasii

Kharkiv National University of Radio Electronics

Ukraine, 61166, Kharkiv, Nauky av.,14

E-mail: viacheslav.barasii@nure.ua

Annotation: The formalization of the task of optimization of the module of remote control of the mobile robot on a set of indicators is executed. For multi criteria evaluation of variants using the apparatus of fuzzy sets, the type of functions of general usefulness and usefulness of local criteria is chosen. For situations of ordering local criteria by importance, it is proposed to use the method of lexicographic optimization.

Key words: mobile robot, control module, optimization.

У сучасному світі все зростаючий інтерес як у плані наукових досліджень, так і практичного застосування становлять дистанційно керовані роботи. Це є наслідком того, що розвиток нових технологій зумовлює можливість застосування роботів у широкому діапазоні сфер діяльності людини, у яких потрібна дистанційна присутність робота-виконавця чи оператора-експерта: у місцях екологічних і техногенних катастроф; для дослідження та знешкодження підозрілих предметів; у місцях масового скупчення людей; використання дистанційно-керованих об'єктів для військових застосувань; використання роботів для збирання космічних конструкцій тощо [1].

У умовах прискорення темпів промислового розвитку, високої конкуренції і, як наслідок, стрімкого скорочення часу виходу пристроїв ринку виникає гостра потреба у оптимізації процесу розробки мобільних роботів. Відповіддю на це стала поява та впровадження нових

гнучких методологій ведення проєктів, заснованих на Scrum та Agile, замість «традиційної» каскадної методології, яка застосовувалась раніше. Дані методології припускають перехід від попереднього планування всіх аспектів майбутньої моделі робота з подальшим їх втіленням до ітераційної розробки. Першою ітерацією є створення мінімально життєздатного продукту (робота, що володіє мінімальним набором функцій, достатнім, щоб задовольнити перших споживачів), який випускається на ринок для оцінки реального попиту та фактичних потреб потенційних користувачів. На наступних ітераціях відбувається доопрацювання та масштабування мінімально життєздатної моделі з наділенням його новим функціоналом [2].

Типова структура системи управління промислового мобільного робота подібна до аналогічної структурою для інших роботів. Основна відмінність полягає у наявності навігаційної системи і переважному використанні бездротового каналу зв'язку з системою керування. З точки зору елементної бази, як і в маніпуляційних роботах, у мобільній робототехніці як пристрій управління тактичного рівня використовуються програмовані логічні контролери та промислові комп'ютери. На відміну від маніпуляційних, в мобільних промислових роботах елементи системи управління розташовуються безпосередньо на самому роботі [2].

Задача проєктування системи дистанційного керування передбачає реалізацію інформаційних процесів, необхідних для виконання визначеного закону керування. В рамках системного підходу процес проєктування передбачає розв'язання комплексу задач, серед яких [3]:

- визначення множини задач проєктування;
- структурний аналіз комплексу задач;
- визначення вимог до системи дистанційного керування;
- розробка алгоритмів керування;
- розробка архітектури системи керування;
- розробка програмного забезпечення тощо.

Процес оптимізації модуля віддаленого керування крокуючим роботом з точки зору прийняття рішень у загальному випадку передбачає розв'язання наступної множини задач [4–5]: визначення мети оптимізації та її формалізація; визначення універсальної множини варіантів побудови модуля; визначення множини допустимих варіантів побудови модуля; виділення підмножини ефективних за множиною показників якості варіантів; упорядкування множини ефективних варіантів побудови модуля; вибір найкращого варіанту.

Задача визначення мети оптимізації та її формалізація у найпростішому випадку полягає в побудові цільової функції на основі одного критерію якості (ціна, маса, надійність, дальність дії тощо) модуля $k(x) \rightarrow \underset{x \in X}{extr}$, яка задається на множині альтернативних варіантів $X = \{x\}$ і набуває дійсних значень. У загальному випадку враховується множина показників (часткових критеріїв) ефективності $k_1(x), k_2(x), \dots, k_m(x)$. При цьому показники, що подаються у вигляді часткових критеріїв $k_j(x), j = \overline{1, m}$, як правило, мають різний фізичний зміст, розмірність, інтервали вимірювання і є суперечливими.

Розв'язання задачі визначення універсальної множини альтернатив здійснюється виходячи зі специфіки задачі або ситуації прийняття рішення у CALS-системі.

Задача визначення множини допустимих варіантів побудови модуля полягає у вилученні з універсальної множини підмножини таких, які не задовольняють вимогам до системи керування. Задля цього потрібно визначати функціональні та вартісні характеристики варіантів $x \in X$. Основними засобами оцінки властивостей $k_j(x), j = \overline{1, m}$ можливих варіантів побудови $x \in X$ є паспортні дані елементів конструкції, аналітичне й імітаційне комп'ютерне моделювання. Для одержання узагальнених оцінок якості варіантів $P(x)$

використовуються методи експертного і багатофакторного оцінювання на основі функцій корисності часткових критеріїв.

Задача виділення підмножини ефективних варіантів полягає у вилученні з множини допустимих неефективних (неоптимальних) варіантів побудови модуля (таких, що гірші одночасно за всіма показниками від інших).

Розв'язання задачі упорядкування множини ефективних варіантів побудови модуля здійснюється на основі парадигми максимізації їх корисності. Для її розв'язання використовуються два підходи: упорядкування варіантів особою, яка приймає рішення (проектувальником) або формування узагальненого критерію ефективності й зведення задачі до задачі багатофакторного оцінювання. При цьому в обох підходах вважається, що кожному з варіантів із множини допустимих (або ефективних) $x \in X$ приписується деяка корисність (цінність) $P(x)$, значення якої й визначають порядок варіантів за цінністю [4–5]:

$$\{\forall x, v \in X : x \sqsubseteq v \leftrightarrow P(x) = P(v); x \succ v \leftrightarrow P(x) > P(v); x \geq v \leftrightarrow P(x) \geq P(v)\}. \quad (1)$$

Однією з найважливіших при проектуванні мобільних роботів є задача оптимізації модуля віддаленого керування. Вона розв'язується виходячи з обмежень задачі з урахуванням множини показників якості (локальних критеріїв) $k_j(x)$, $j = \overline{1, m}$, $x \in X$ (де x – варіант побудови модуля; m – кількість локальних критеріїв; $X = \{x\}$ – множина допустимих варіантів побудови модуля).

Для остаточного вибору варіанту побудови модуля можна скористатись експертним методом, або на основі скалярної оцінки з використанням функції загальної корисності [4–5]:

$$P(x) = \sum_{j=1}^m \lambda_j \xi_j(x), \quad (2)$$

де λ_j – ваговий коефіцієнт критерію $k_j(x)$, $\lambda_j \geq 0$, $\sum_{j=1}^m \lambda_j = 1$; $\xi_j(x)$ – функція корисності критерію $k_j(x)$, $j = \overline{1, m}$.

Функції корисності часткових критеріїв $\xi_j(x)$, $j = \overline{1, m}$ мають задовольняти такі вимоги: бути монотонними і безрозмірними; мати єдиний інтервал зміни (від 0 до 1); бути інваріантними до виду екстремуму часткового критерію (*min* або *max*); дозволяти реалізувати як лінійні, так і нелінійні залежності від значень часткового критерію.

Функції корисності часткових критеріїв доцільно формувати з використанням теорії нечітких множин. Якщо $X = \{x\}$ деяка множина, що визначає набір варіантів побудови модуля керування, то нечітка (розмита) множина G «Кращий варіант побудови модуля віддаленого керування» на множині X задається функцією належності $\xi_G : X \rightarrow [0, 1]$, яка ставить у відповідність кожному елементові $x \in X$ дійсне число ξ_G з інтервалу $[0, 1]$. Число ξ_G визначає ступінь належності нечіткій множині G . Чим ближче до 1, тим вищий ступінь належності x нечіткій множині G . Для дискретних множин $X = \{x\}$ використовується подання нечіткої множини G як множини пар елементів $G = \{ \langle x, \xi_G(x) \rangle \}$. У цьому випадку частковий критерій буде подаватись подається як нечітка множина $k_j = \{ \langle k_j(x), \xi_j(x) \rangle \}$.

Використаємо відносно просту і поширену функцію корисності для обраних часткових критеріїв [4–5]:

$$\xi_i(x) = \left[\frac{k_j(x) - k_j^-(x)}{k_j^+(x) - k_j^-(x)} \right]^{\alpha_j}, \quad j = \overline{1, m}, \quad (3)$$

$k_j(x)$ – значення критерію; $k_j^-(x)$, $k_j^+(x)$ – найгірше та найкраще значення критерію; α_j – параметр, що визначає вид залежності $\xi_j(x)$: (лінійна, випукла вгору чи випукла вниз).

У цьому випадку вибір найкращого варіанту побудови модуля зводиться до пошуку аргументу, що максимізує значення функції узагальненої корисності: $s^o = \arg \max_{s \in S^*} P(s)$.

У випадку, коли інформація щодо важливості часткових критеріїв задана лише системою переваг часткових критеріїв, наприклад, $k_1 > k_2 > \dots > k_m$, будемо використовувати схему вибору компромісного розв'язку шляхом лексикографічної оптимізації (послідовного застосування критеріїв).

Розглянемо кілька широко поширених модулів для мікроконтролера Arduino, залежно від способу передачі. В першу чергу визначимо методи передачі даних, які найчастіше використовуються для управління роботами на відстані, а далі за результатами порівняння деяких з модулів, виділено позитивні та негативні сторони кожного з них [6–7].

При використанні мікроконтролерів Arduino маємо великий вибір готових модулів, які використовуються при передачі даних на відстані. Вони використовують такі методи передачі даних як: Bluetooth, Wi-Fi та радіопередачу.

Серед модулів, які використовують методи передачі даних по Bluetooth можна виділити HC-05. Одне з найкращих рішень для організації двостороннього зв'язку по Bluetooth Arduino-пристрою з планшетом, ноутбуком або іншим пристроєм Bluetooth. Може працювати як Master (здійснювати пошук Bluetooth-пристроїв та ініціювати встановлення зв'язку), так і Slave (відомий пристрій).

Технічні характеристики модуля HC05: напруга живлення: 3,3–5В; споживаний струм: 50мА; радіус дії до 10 метрів.

Серед Wi-Fi модулів можна виділити ESP-32. Мініатюрний Wi-Fi модуль із вбудованим стеком протоколу TCP/IP та керуванням AT-командами. Чіп створений для використання в розумних розетках, Mesh-мережах, IP-камерах, бездротових сенсорах, електроніці, що носить, і так далі.

Характеристики модуля: Wi-Fi 802.11 b/g/n; напруга живлення – 1.8÷ 3.6 В; струм споживання – 220мА; радіус дії до 15 ÷ 25 метрів. Існує можливість значно збільшити відстань роботи, з використанням кастомних зовнішніх антен, завдяки цьому можна збільшити відстань до 400 метрів. Якщо роутер оснастити тарілкою, можна досягти відстані зв'язку у 4 кілометри.

Серед радіомодулів для керування роботом можна використовувати SI4432. Модулі трансівера SI4432 на основі мікросхеми SI4432 дозволяють реалізувати стійкий двосторонній радіозв'язок у діапазоні частот від 240 до 930МГц на відстані до 1км на відкритій місцевості та 100÷300м у приміщенні.

Характеристики модуля: швидкість передачі: 0.123-256 Кбіт/с; напруга живлення: 1.8÷3.6; радіус дії до 1км.

Обрані модулі широко застосовуються в сучасних роботах. Модулі, які використовують радіопередачу працюють на більшій відстані, у порівнянні з Bluetooth і Wi-Fi, проте ці модулі виграють за якістю передачі даних, і можуть працювати на великій відстані з використанням додаткових антен, або якщо у всьому приміщенні є доступ до однієї мережі.

ЛІТЕРАТУРА

1. Белоусов И. Р. Методы моделирования и дистанционного управления движением роботов: автореф. дис. на соиск. ученой степени докт. физ.-мат. наук: [спец.] 01.02.01 «Теоретическая

- механика», Москва. 2013.
- Петров В. Ф. Структура системы дистанционного управления роботами. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/struktura-sistemy-distantsionnogo-upravleniya-robotami/viewer> (дата звернення 15.11.2021).
 - Романов А.М. Обзор аппаратно-программного обеспечения систем управления роботов различного масштаба и назначения. Часть 1. Промышленная робототехника // Russian Technological Journal. – 2019. Т. 7. – №5. – С. 30-46 URL: <https://doi.org/10.32362/2500-316X-2019-7-5-30-46> (дата звернення 15.11.2021).
 - Beskorovainyi V. Combined method of ranking options in project decision support systems // Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries. – 2020. – No. 4 (14). P. 13-20. URL: <https://itssi-journal.com/index.php/itssi/article/view/230> (дата звернення 15.11.2021).
 - Beskorovainyi V. V., Petryshyn L. B., Shevchenko O. Yu. Specific subset effective option in technology design decisions // Applied Aspects of Information Technology. 2020. Vol. 3. No.1. P. 443-455. URL: <https://aait.opu.ua/?fetch=articles&with=info&id=40> (дата звернення 15.11.2021).
 - Обзор: шагающие роботы. URL: <https://triolcorp.ru/blog/post/obzor-shagayushchie-roboty> (дата звернення 15.11.2021).
 - Development of Walking Machines; Historical Perspective. URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/1-4020-2204-2_28 (дата звернення 15.11.2021).

Науковий керівник: Безкоровайний Володимир Валентинович, д.т.н., професор кафедри КІТАМ Харківського національного університету радіоелектроніки.

УДК 621.3.049.77

ЗАСТОСУВАННЯ КОНВЕРГЕНЦІЇ ДЛЯ МЕМС АКТЮАТОРІВ

Гніденко О. Ю., Бадаєв О. С.

Харківський національний університет

радіоелектроніки

Україна, 61166, Харків, пр. Науки 14

E-mail: oleh.hnidenko@nure.ua; oleksandr.badaiev@nure.ua

Анотація: Мікроелектромеханічні актюатори складаються з пристроїв різноманітної фізичної природи, таких як авіа-, гідро-, акусто-, механічна, опто-, електричні і т.д. та його особливих якостей. Конвергенція такого пристрою у єдине ціле являється основним принципом технології мікросистем. Гнучкість має істотне значення у мікродоменах та є базою для систем з розподіленими та зосередженими гнучкими елементами.

Ключові слова: мікроелектромеханічні актюатори, конвергенція, технологія мікросистем, мікромініатюризація.

APPLICATION OF CONVERGENCE FOR MEMS ACTUATORS

O. Hnidenko, O. Badaiev

Kharkiv National University of Radio Electronics

Ukraine, 61166, Kharkiv, Nauky av.,14

E-mail: oleh.hnidenko@nure.ua; oleksandr.badaiev@nure.ua

Annotation: Microactuators consist of devices different physical nature such as air-, hydro-, acoustic-, mechanical, opto-, electrical, etc and its special qualities. Convergence such device in single whole is main principle of microsystems technologies. Flexibility is great value in microdomain and is base for systems with distributed and concentrated flexible elements.

Keywords: microelectromechanical actuators, convergence, microsystems technology, microminiaturization.