

Кирилович В.А., д.т.н, доц., проф. кафедри А та КІТ ім. проф. Б.Б. Самотокіна
 Білоцький О.Д., магістрант, гр. АТ-24м, ФКІТМР
 Державний університет «Житомирська політехніка»

ОСОБЛИВОСТІ НЕЧІТКОГО БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОГО ВИБОРУ РОБОТИЗОВАНИХ МЕХАНОСКЛАДАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЙ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДОЛОГІЇ TOPSIS ТА ПРОЦЕДУР НОРМАЛІЗАЦІЇ НОРМ

Задача вибору роботизованих механоскладальних технологій (РМСТ) за своєю змістовною сутністю та за своєю нечіткою (розмитю) постановкою відноситься до задач нечіткого багатокритеріального вибору альтернатив. Загалом її зміст зводиться до упорядкування початково неупорядкованої дискретної множини локальних критеріїв (ДМЛК) вибору $S = (S_j | \forall j = \overline{1, m})$ в упорядковану множину $S_{<} = \langle S_j | \forall j = \overline{1, m} \rangle$.

Загальною змістовною особливістю розв'язування таких задач є те, що кінцеве рішення априорі та апостеріорі невідоме. Змістом вибору є процес оптимізації, особливістю якого в свою чергу є процес як такий, що методично обумовлено упорядковує вище згадані елементи ДМЛК.

В даній роботі в якості множини альтернатив аналізуються попередньо отримані результати розв'язування задачі вибору РМСТ за методиками, що розроблені в Державному університеті «Житомирська політехніка», а саме: **M1** – методика найгіршого випадку – **WMS**; **M2** – методика квазікращого випадку – **QBMS**; ${}^m\mathbf{M3}_1$ – методика серединного випадку з медіанним методом визначення серединного параметру – ${}^m\mathbf{MMS}$; ${}^a\mathbf{M3}_2$ – методика серединного випадку із середньоарифметичним методом визначення серединного параметру – ${}^a\mathbf{MMS}$; ${}^\sigma\mathbf{M3}_3$ – методика серединного випадку з середньоквадратичним методом визначення серединного параметру – ${}^\sigma\mathbf{MMS}$; ${}^o\mathbf{M3}_4$ – методика серединного випадку з середньгеометричним методом визначення серединного параметру – ${}^o\mathbf{MMS}$. Таким чином, потужність (кількість) аналізованої множини альтернатив $n=6$.

Основою попередньої реалізації аналізованих методів, що є альтернативами для даної постановки задачі, є строге ранжування елементів ДМЛК, визначених методом експертного анкетування. Для коректності виконання цих та інших досліджень використана одна і та ж матриця експертного анкетування з незмінною кількістю експертів, незмінною кількістю елементів ДМЛК та незмінними оцінками експертів в анкеті первинного ранжування (тут не розглядається).

Узгодженість вхідних альтернатив за Спірменом (ρ) між результатами рішень за всіма парами зазначених вище альтернатив, тобто рішень, отриманих за кожним із зазначених вище методів, варіюється між практично узгодженими альтернативами $\rho_{M1-aM3_2} = -0.0839$ та $\rho_{M1-oM3_4} = -0.0839$ та повною узгодженістю альтернатив $\rho_{aM3_2-oM3_4} = 1.0000$.

В той же час показник узгодженості всіх «вхідних» шести аналізованих результатів за коефіцієнтом кореляції Кендалла показує помітну узгодженість між альтернативами $W=0,5970$. Одночасно це є свідченням відсутності повної або близьку до повної узгодженості між оцінками експертів або близьких до цього кількісних оцінок, як і є своєрідним «дозвільним» моментом щодо продовження досліджень.

Для цього запропоновано використати методологію TOPSIS. Її назва визначена абревіатурою «Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution», яку можна перевести на українську мову як «Методика упорядкування пріоритетів за подібністю до ідеального рішення». Методологія TOPSIS входить до моделей багатокритеріального прийняття рішень (multi-criteria decision making - MCDM).

Методологія TOPSIS заснована на наступному принципі (концепції): обрана альтернатива повинна мати найкоротшу геометричну відстань від позитивного ідеального рішення та найдовшу геометричну відстань від негативного рішення. Тому методологія TOPSIS дає рішення, яке є не тільки найбільш близьким до гіпотетично найкращого, але і найвіддаленішим від гіпотетично найгіршого.

Кроки К розрахунку за методологією TOPSIS наступні: **K1_{TOPSIS}** – визначення відповідних критеріїв прийняття рішення; **K2_{TOPSIS}** – отримання нормалізованої матриці рішень; **K3_{TOPSIS}** – отримання зваженої нормалізованої матриці; **K4_{TOPSIS}** – виведення позитивно-ідеального (найкращого) V_j^+ та негативного (найгіршого) V_j^- рішення; **K5_{TOPSIS}** – обчислення міри поділу кожної альтернативи з позитивно-ідеального та негативно-ідеального рішень; **K6_{TOPSIS}** – визначення відносної близькості альтернативи до позитивно-ідеального рішення; **K7_{TOPSIS}** – упорядкування (класифікація) альтернатив в порядку зменшення виходячи із загальних показників результативності.

Вказані процедурні кроки TOPSIS мають на меті забезпечити повне ранжування кінцевого набору можливих альтернатив від найгіршого до найкращого.

Після розрахунків за методологією TOPSIS та переведення чисельних результатів в ранги, отримано таку послідовність вхідних альтернатив: M1 – 6-ий ранг; M2 – 5; ^mM3₁ – 1; ^aM3₂ – 2,5; ^σM3₃ – 4; ^σM3₄ – 2,5. Тут оцінка 1 – має найменший пріоритет, а 6 – найвищий. Упорядкована послідовність методик є такою: M1 – WMS; M2 – QBMS; ^σM3₃ – ^σMMS; ^mM3₁ – ^mMMS; ^σM3₄ – ^σMMS; ^aM3₂ – ^aMMS.

Як видно, найкращою альтернативою в цьому випадку є альтернатива M1, що отримана за методом найгіршого випадку.

Так як TOPSIS не єдина методологія, яка має на меті розв'язування подібних задач, виникає запитання на яку методологію спиратись при прийманні кінцевого рішення. Тому подальші дослідження щодо даної задачі вибору можна трактувати як дослідження вищого рівня, так як при цьому розглядаються не звичайні вхідні альтернативи, отримані як результат експертного опитування методом анкетування, а вихідні рішення за методологіями, що трактуються як вхідні альтернативи.

Тому основною відмінною особливістю даного дослідження є наступне: після розв'язування задачі за методологією TOPSIS виконуються процедури нормалізації норм за такими різними методами як: метод векторної нормалізації (VN), лінійної нормалізації Weitendorf (WLN), Juttler's-Rorth нормалізації (JKN) та нелінійної нормалізації (NLN).

Нормалізація норм дає змогу визначити пріоритетну методологію, яка з використаних методологій дає кращий результат в конкретній досліджуваній області. І саме після цього аналізувати результат за обраною методологією, яка в свою чергу представляє процес та результат нечіткого багатокритеріального вибору альтернатив, що виконуються на множині попередньо отриманих результатів з використанням розроблених та аналізованих методів розв'язування подібних задач.

Результати, що отримані на множині аналізованих вхідних альтернатив (n=6) із використанням методології TOPSIS, є наступні:

$$\langle S_j | \forall j = \overline{1, m} \rangle_{\text{TOPSIS}} = \frac{0.77424}{M1 (WMS)}, \frac{0.25308}{M2 (QBMS)}, \frac{0.19767}{{}^mM3_1 ({}^mMMS)}, \frac{0.20477}{{}^aM3_2 ({}^aMMS)}, \frac{0.20692}{{}^\sigma M3_3 ({}^\sigma MMS)}, \frac{0.20477}{{}^\sigma M3_4 ({}^\sigma MMS)}$$

Результати реалізації процедур нормалізації норм представлені в таблиці 1.

Таблиця 1

Ranking Performance For Different Normalization Procedures

MCDM метод	Нормалізація норм	Методи (альтернативи)						r _s (Sum)	Mean r _s
		M1 (WMS)	M2 (QBMS)	^m M3 ₁ (^m MMS)	^a M3 ₂ (^a MMS)	^σ M3 ₃ (^σ MMS)	^σ M3 ₄ (^σ MMS)		
TOPSIS	VN	0.85022	0.27791	0.21707	0.22487	0.22723	0.22487	2.02217	1.73017
	WLN	1.00000	0.09609	0.00000	0.01232	0.01604	0.01232	1.13677	
	JKN	1.00000	0.32687	0.25531	0.26448	0.26726	0.26448	2.37840	
	NLN	1.00000	0.10684	0.06518	0.06995	0.07143	0.06995	1.38335	

Величина **Mean r_s** = 1.73017 отримана як середнє арифметичне отриманих параметрів **r_s(Sum)** і є кінцевим результатом реалізації процедур нормалізації результатів, отриманих за методологією TOPSIS. В подальшому це рішення може порівнюватись з аналогічними кінцевими значеннями процедур нормалізації за умови використання інших методологій, наприклад, PROMETHEE II, GRA тощо.

Такий комплексний підхід розширює інваріантність досліджень щодо розв'язування задач вибору у виробничій та невиробничій галузях діяльності людини, зміст яких зводиться до задач нечіткого багатокритеріального вибору альтернатив.

Рішан І.В., студ., гр. АТК-29, ФКІТМР
Логвінчук І.Р., студ., гр. АТК-29, ФКІТМР
Богдановський М.В., ст. викл. кафедри А та КІТ ім. проф. Б.Б. Самотокіна
Державний університет «Житомирська політехніка»

МОЖЛИВОСТІ КОМБІНУВАННЯ СЕНСОРІВ ВІДСТАНІ ДЛЯ НАВІГАЦІЇ МОБІЛЬНОГО РОБОТА

Стандарти промислової революції 4.0 передбачають високий ступінь автоматизації всіх процесів, що супроводжують виробництво та сервіс. На практиці це означає створення автономних систем та об'єктно-орієнтованих процесів, спрямованих на досягнення високої продуктивності та функціональності. Перспективним напрямком розвитку згаданої революції є створення мобільних роботів, як мехатронних пристроїв, що в своєму складі містять ефективну інформаційно-вимірювальну систему для оцінки параметрів оточуючого середовища. Однією з основних задач автономної роботи мобільного робота є навігація у просторі. Через апріорну неможливість точного визначення просторового стану мобільного робота при експлуатації, інформаційно-вимірювальна система спирається на показники датчиків для відтворення положення та орієнтації в рамках поставленої задачі. Задача планування вільного руху потребує застосування датчиків відстані. Серед їх типів за фізичним принципом вимірювання відстані, можна виділити оптичні, ультразвукові, лазерні, радіохвильові, магнітні, ємнісні тощо. При виборі потрібно враховувати потреби формування інфраструктури через створення системи позначок, види перепон для пересування, умови експлуатації, вартість та інші показники. Популярними та недорогими рішеннями, що використовуються для виявлення перепон є ультразвукові та інфрачервоні (оптичні) датчики. Основними недоліками їх експлуатації є виражена залежність точності вимірювання від шорховатості поверхні у випадку ультразвукових датчиків, нерівномірність вимірювання у вузькому секторі, нелінійність прямих та непрямих характеристик від відстані, теплові та світлові наводки у випадку інфрачервоних датчиків. Враховуючи недоліки, для задачі планування вільного руху датчики даного типу застосовуються для обмеження руху в поточному напрямі, для гарантування якого пропонується комбінування ультразвукового HC-SR04 та інфрачервоного SHARP GP2Y0A21YK для компенсації взаємних, виражених недоліків вимірювання порогової відстані для пересування.

Управляюче-вимірювальна система для навігації мобільного робота побудована на базі плати відлагодження мікроконтролера STM32 NUCLEO-F446RE. Для проведення експерименту із комбінованою схемою датчиків відстані було виконано поверхневий їх монтаж на макетній платі. Спираючись на часову діаграму роботи HC-SR04 було реалізовано циклічну процедуру надсилання сигналів тригера та отримання луни із застосуванням апаратного таймеру для вимірювання часу та з компенсацією програмної затримки при формуванні. Розрахунок відстані виконувався за регламентованою формулою:

$$\text{Відстань_см} = \text{час_повернення_луни} / 58.$$

Для калібрування датчика GP2Y0A21YK було проведено «чистий» експеримент з використанням білого листа паперу в діапазоні регламентованої відстані від 5 до 80 см. Враховуючи яскраво виражену нелінійну характеристику датчика «відстань / вимірений_аналоговий_сигнал», було проведено апроксимацію методом найменших квадратів за п'ятьма рівновіддаленими точками на інтервалі із підбором порядку поліному за середньоквадратичною похибкою. В результаті було обрано поліном 3 порядку із середньоквадратичною похибкою на рівні 0.34 із абсолютною похибкою вимірювання до 1 см.

Розрахунок відстані за апроксимуючою формулою:

$$\text{Відстань_см} = -329.65 * \text{АП}^3 + 646.5 * \text{АП}^2 - 433.49 * \text{АП} + 112.76,$$

де АП – аналоговий сигнал з датчика GP2Y0A21YK.

Програма для розрахунку відстаней від двох датчиків була створена на мові C++ із використанням процедурної парадигми в програмному середовищі MBED OS. Для аналізу часових характеристик, архівування даних та подальшої фільтрації грубих помилок було створено віртуальний прилад у програмному середовищі LabVIEW 11.0. із використанням FBD-компоненту VISA для доступу до послідовного (COM) порта. За результатами проведених експериментів із різними об'єктами та умовами освітленості було оцінено нерівномірне зниження точності вимірювання відстані до об'єктів з розвиненою поверхнею та можливість побудови підпорядкованого, порогового фільтру для коротких відстаней.

Кирилович В.А., д.т.н, доц., проф. кафедри А та КІТ ім. проф. Б.Б. Самотокіна
Шубенко Р.В., магістрант, гр. АТ-24м, ФКІТМР
Державний університет «Житомирська політехніка»

ВИКОРИСТАННЯ НЕЧІТКОГО БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОГО ВИБОРУ АЛЬТЕРНАТИВ: СЕРЕДИННИЙ ВИПАДОК ЯК ОСНОВА РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ЗАДАЧ НЕЧІТКОГО ВИБОРУ НЕВИРОБНИЧОЇ ГАЛУЗІ

Задачі нечіткого багатокритеріального вибору альтернатив відносяться до задач векторної або багатокритеріальної оптимізації. Вони виникають у випадках, коли виявляються залежності між окремими складовими процесів та явищ, які раніше апріорі здавалися незалежними. При цьому процес вибору проходить в багатьох випадках на дискретній множині локальних критеріїв (ДМЛК). Важливою особливістю даних задач є необхідність оцінювати критерії та визначати зв'язки між ними. Головною змістовною особливістю задач багатокритеріальної дискретної оптимізації є перетворення неупорядкованої множини локальних критеріїв $S_{(j)}$ в упорядковану множину $S_{<j>}$ методом реалізації кінцевої множини методично обумовлених кроків. Метою даної роботи є підтвердження працездатності та інваріантності розробленого авторами нового методу нечіткого багатокритеріального вибору альтернатив у невиробничій галузі на прикладі проведення дослідження під умовною назвою «Ідеальний викладач очима студентів».

В Державному університеті «Житомирська політехніка» як продовження досліджень даного напрямку (раніше удосконалено метод найгіршого випадку, розроблено метод квазі-кращого випадку) розроблено новий метод розв'язування задач нечіткого багатокритеріального вибору альтернатив: серединний випадок. Його зміст зводиться до упорядкування елементів ДМЛК на основі різних розрахунків так званого серединного параметру, а саме медіанний, середньоарифметичний, середньгеометричний та середньгеометричний. Вказане визначило розробку одноіменних методик серединного випадку та відповідно визначило множину їх розв'язків: ${}^mS_{<j>}$, ${}^aS_{<j>}$, ${}^gS_{<j>}$ та ${}^oS_{<j>}$.

Для перевірки працездатності розробленого методу нечіткого багатокритеріального вибору альтернатив серединного випадку проведено строге експертне опитування методом анкетування серед студентів ДУ «Житомирська політехніка», що в даному випадку виступали як експерти, на тему «Ідеальний викладач очима студентів», тобто аналізувалась працездатність методу у невиробничій сфері. Результати анкетування за далеко не повною ДМЛК (склад елементів цієї множини вимагає окремих досліджень, що виходять за рамки даного дослідження) занесені до матриці експертного опитування (табл. 1).

Таблиця 1

Результати строгого експертного опитування

Множини експертів (E) / критеріїв (S)	ДМЛК $S_{(j)}$													
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14
E1	11	3	8	7	10	1	6	13	12	5	4	9	14	2
E2	14	6	12	13	11	10	2	3	4	5	1	8	9	7
E3	11	1	12	4	10	2	9	8	6	5	7	13	14	3
E4	13	2	6	10	5	4	9	8	3	11	7	12	14	1
E5	13	8	9	3	14	4	2	7	11	5	6	10	12	1
E6	14	6	7	8	9	1	4	10	12	5	3	11	13	2
E7	12	1	11	6	3	5	7	8	10	9	14	4	13	2
E8	14	5	10	6	13	4	8	7	3	2	9	12	11	1

Коефіцієнт конкордації Кендала, що визначає ступінь узгодженості суджень експертів за результатами експертного опитування (табл. 1), становить $W=0.544$. Ця величина вказує з одного боку на помітну узгодженість між вхідними даними, але характеризує далеко не повну їх узгодженість, а з іншого - не

протирічить можливості використання інших методів розв'язування даної задачі. Оброблені результати експертного анкетування за таблицею 1 розробленим методом нечіткого багатокритеріального вибору альтернатив середнього випадку різними методиками занесено у табл. 2. Коефіцієнт конкордації для отриманих результатів в свою чергу склав $W=0.993$, що свідчить про високу узгодженість між результатами. В той же час попарне порівняння узгодженості за коефіцієнтом рангової кореляції Спірмена ρ між отриманими результатами ${}^mS_{<j>}$, ${}^aS_{<j>}$, ${}^oS_{<j>}$ та ${}^oS_{<j>}$ показало найбільшу узгодженість для пари $\rho({}^oS_{<j>} - {}^oS_{<j>}) = 1.000$ та найменшу для пари $\rho({}^mS_{<j>} - {}^aS_{<j>}) = 0.982$. Тобто отримані результати мають майже повну узгодженість. Таким чином, студенти як експерти бачать ідеального викладача, віддаючи перевагу послідовності критеріїв, представлених в кожному стовпчику таблиці 2, послідовність яких відрізняються від неупорядкованих елементів ДМЛК за таблицею 1.

Таблиця 2

Результати розв'язування задачі «Ідеальний викладач очима студентів»

Методи N з/п	${}^mS_{<j>}$	${}^aS_{<j>}$	${}^oS_{<j>}$	${}^oS_{<j>}$
1	$\frac{0.18394}{S1}$	$\frac{0.17949}{S1}$	$\frac{0.17852}{S1}$	$\frac{0.18045}{S1}$
2	$\frac{0.17992}{S13}$	$\frac{0.17808}{S11}$	$\frac{0.17720}{S11}$	$\frac{0.17899}{S11}$
3	$\frac{0.17935}{S5}$	$\frac{0.17731}{S13}$	$\frac{0.17662}{S13}$	$\frac{0.17798}{S13}$
4	$\frac{0.17419}{S11}$	$\frac{0.17719}{S5}$	$\frac{0.17663}{S5}$	$\frac{0.17775}{S5}$
5	$\frac{0.17284}{S4}$	$\frac{0.16850}{S4}$	$\frac{0.16756}{S4}$	$\frac{0.16943}{S4}$
6	$\frac{0.16892}{S12}$	$\frac{0.16597}{S12}$	$\frac{0.16551}{S12}$	$\frac{0.16643}{S12}$
7	$\frac{0.16160}{S3}$	$\frac{0.16585}{S8}$	$\frac{0.16537}{S8}$	$\frac{0.16633}{S8}$
8	$\frac{0.16103}{S8}$	$\frac{0.15739}{S3}$	$\frac{0.15648}{S3}$	$\frac{0.15829}{S3}$
9	$\frac{0.15162}{S9}$	$\frac{0.15496}{S9}$	$\frac{0.15451}{S9}$	$\frac{0.15542}{S9}$
10	$\frac{0.14048}{S10}$	$\frac{0.14415}{S10}$	$\frac{0.14356}{S10}$	$\frac{0.14476}{S10}$
11	$\frac{0.13864}{S6}$	$\frac{0.13473}{S6}$	$\frac{0.13389}{S6}$	$\frac{0.13557}{S6}$
12	$\frac{0.12352}{S7}$	$\frac{0.12134}{S7}$	$\frac{0.12079}{S7}$	$\frac{0.12189}{S7}$
13	$\frac{0.11128}{S2}$	$\frac{0.10957}{S2}$	$\frac{0.10913}{S2}$	$\frac{0.11002}{S2}$
14	$\frac{0.10274}{S14}$	$\frac{0.09941}{S14}$	$\frac{0.09869}{S14}$	$\frac{0.10012}{S14}$

Кожен чисельник (термін є умовним) для кожного із рішень, представлених як стовпчик з відповідним позначенням розробленої методики (табл. 2), є нечіткою оцінкою кожного S_j -го критерію. Процес ранжування критеріїв виконується за зменшенням відповідних величин чисельників. При цьому жовтим кольором виділені елементи ДМЛК (знаменник, термін є умовним), що співпадають для аналізованих рішень за розробленими методами середнього випадку ${}^mS_{<j>}$, ${}^aS_{<j>}$, ${}^oS_{<j>}$, ${}^oS_{<j>}$.

Оброблені дані та отримані результати за розробленим методом багатокритеріального вибору альтернатив середнього випадку різними методиками підтверджують той факт, що даний метод може застосовуватись у різних галузях досліджень, він є інваріантним щодо кількості експертів, кількості, природи та шкал вимірювань кожного із критеріїв. Цей метод є універсальним, і може застосовуватись при розв'язуванні задач виробничої та невиробничої галузі діяльності людини. Розроблений метод перевірено при розв'язуванні відповідних задач виробничої галузі, а саме при автоматизованому виборі роботизованих механоскладальних технологій ($n=10$, $m=12$) та при упорядкуванні визначених критеріїв при розробці програмних продуктів ($n=18$, $m=9$) на етапі їх тестування. Метод підтвердив свою працездатність та інваріантність щодо вказаних вище параметрів.

Кирилович В.А., д.т.н, доц., проф. кафедри А та КІТ ім. проф. Б.Б. Самотокіна
Кравчук А.Р., аспірант, ФКІТМР
Державний університет «Житомирська політехніка»

ПРОБЛЕМИ ВИКОРИСТАННЯ ПРОГРАМНИХ ПРОДУКТІВ ДЛЯ АТЕСТАЦІЇ МЕТРИКИ ПРОМИСЛОВИХ РОБОТІВ

Характерною особливістю виробничого сьогодення в багатьох галузях виробництва є їх автоматизація. Особливої актуальності набуває технологічна підготовка (ТПг) роботизованих механоскладальних виробництв (РМСВ), в яких широко використовуються промислові роботи (ПР) як універсальні засоби гнучкої автоматизації. Частиною ТПг РМСВ є *атестація* метрики ПР, що зводиться до визначення певних кількісних та якісних параметрів геометричних характеристик робочих зон (РЗ) ПР. Прикладом останнього є визначення РЗ, в якій затискний пристрій (ЗП) зберігає певну орієнтацію. Наразі компанії-виробники ПР такої важливої для ефективної ТПг РМСВ інформації щодо своєї продукції не надають.

Головними критеріями функціоналу програмних продуктів, що використовуються при атестації метрики ПР, є можливість багаторазового розв'язування прямої та зворотної задачі кінематики, планування траєкторій та визначення координат опорних точок. Компанії-виробники ПР дотримуються тенденції розробки програмних продуктів, які можливо використовувати лише з їх власною продукцією. Це зумовлено специфікою технологій, які використовуються при виготовленні та експлуатації ПР. Тому використання програмного забезпечення від компаній-виробників є суттєво обмеженими у частині реалізації процесу атестації метрики ПР будь-якого конструктивно-технологічного виконання. Однак програмні середовища, розроблені компаніями для програмування власних ПР, фактично частково генерують закриту інформацію про метрику ПР під час планування траєкторії переміщення ЗП ПР. Окрім спеціалізованих програмних продуктів від компаній-виробників ПР існують інші програмні середовища для планування траєкторій переміщення ПР, виявлення колізій, програмування мехатронних пристроїв та проведення інших досліджень. Одним з таких програмних засобів є *RoboDK*. Даний планувальник траєкторій має інтуїтивно зрозумілий та простий *GUI (Graphical User Interface)*, а також функціональні можливості щодо виконання процесу атестації метрики ПР. З використанням *RoboDK* авторами проведено ряд дослідів щодо визначення геометричних характеристик РЗ робота *Braccio TinkerKit*. Послідовність процесу атестації складається з декількох етапів: I етап – розробка та підготовка 3D-моделі ПР за допомогою програмного комплексу *SolidWorks*, або аналогічної за функціоналом програми; II етап – імплементація та налаштування готової 3D-моделі в програмний продукт *RoboDK*; III етап – виконання процесу атестації метрики маніпуляційної системи аналізованого ПР на базі попередньо завантаженої 3D-моделі та візуалізація отриманої інформації.

Практика проведення таких досліджень показала, що I, II та III етапи мають ряд недоліків, причиною яких є особливості функціональних можливостей програмного продукту *RoboDK*. Деякі з цих недоліків мають вагомий вплив на проміжні результати, а отже і на достовірність кінцевих результатів дослідження. Головним недоліком етапу I є вимога до підтримуваних форматів 3D-моделей ПР, а саме форматів *stl* та *obj*. Проблема конвертації переносу даних з одного програмного продукту до іншого присутня в багатьох аспектах техніки, але при конвертації 3D-моделі у формати *stl* та *obj* мають місце геометричне спрощення та втрата частини даних. Також неможливим є конвертування технологічного складання ланок маніпуляційної системи ПР (*assembly* – в термінах *RoboDK*) в названі формати. Вище описане тягне за собою проблеми імплементації та налаштування 3D-моделі під час етапу II, а саме неможливість завантажити 3D-модель одним цілісним файлом як технологічне складання (*assembly*) та некоректне масштабування при завантаженні компонента 3D-моделі ПР у *RoboDK*. Наслідком цього є процес покрокового завантаження компонентів 3D-моделі ПР, їх спряження між собою та подальше налаштування, наприклад, вісь та кут обертання ланки. На даному етапі визначення колізій також виконується в ручному режимі. Етап III має низький рівень автоматизації процесу атестації метрики. При цьому проведення атестації, запис отриманої інформації, її обробка та візуалізація цілком та повністю покладена на дослідника, мають місце систематичні похибки, помилки та неточності.

Як підсумок можна стверджувати, що головними недоліками програмного продукту *RoboDK* при проведенні атестації метрики ПР є проблеми конвертації, імплементації та налаштування 3D-моделі ПР, низький рівень автоматизації досліджуваного процесу та проблеми виведення отриманої інформації. Аналіз вище описаних проблем використання *RoboDK* як основного програмного продукту для проведення атестації метрики ПР вказав на доцільність використання іншого програмного продукту, а саме *CoppeliaSim*. На даному етапі досліджень визначено, що процес атестації метрики ПР в *CoppeliaSim* можливо повністю автоматизувати при проведенні процесу атестації як такого, візуалізувати отримані результати та частково автоматизувати процес запису та виведення отриманої інформації. Це можливо завдяки підтримки *CoppeliaSim* скриптів (*script*) мов програмування *Lua* або *C/C++*. Крім того, ця функціональна особливість надає більше можливостей у подальших дослідженнях атестації метрики ПР перш за все в частині автоматизованого визначення РЗ ПР із збереженням певної орієнтації ЗП при наявності та відсутності сторонніх об'єктів у РЗ, а також у частині візуалізації отриманих даних.

ВИКОРИСТАННЯ РОБОТІВ SCARA КІНЕМАТИКИ В УМОВАХ ВИРОБНИЦТВА

З приходом нових потужних автоматизованих виробничих комплексів та верстатів на основі ЧПУ швидкість виготовлення продукції значно зростає. Тим самим змістивши погляд компаній на інші менш складні і трудомісткі процеси. Так, наприклад, після введення в експлуатацію нового швидкого обладнання з великим процентом повторюваності деталей постає питання більш швидких процесів подачі заготовки, та забору нових деталей. Задля таких цілей підприємства починають використовувати різноманітні автоматизовані системи на базі промислових маніпуляторів та роботів.

Різні аспекти застосування промислових роботів розглядаються, як правило, в рамках типових проектів промислового виробництва: виходячи з наявних вимог, вибирається оптимальний варіант, в якому конкретизований необхідний для даної задачі тип роботів, їх кількість, а також вирішуються питання інфраструктури живлення: силові провідники, подача охолоджуючої рідини – у разі використання рідинного охолодження елементів оснащення та інтеграції у виробничий процес: забезпечення заготовками/напівфабрикатами і повернення готового продукту в автоматичну лінію для передачі наступній технологічній операції. Сьогодні у виробництві застосовується багато роботів-маніпуляторів, які між собою поділяються на безліч різновидів, одним з яких є роботи з SCARA кінематикою.

SCARA (Selective Compliance Articulated Robot Arm) – це кінематика, заснована на важільній системі, що забезпечує переміщення кінцевої ланки в площині за рахунок обертового приводу важелів механізму. Класичний SCARA механізм складається з двох важелів, з'єднаних в одній точці, і 2-х незалежних приводів, один з яких встановлений в з'єднанні 2-х важелів і обертає їх один відносно одного, а другий встановлений в основі першого важеля і обертає його відносно робочої площини робота.

Окремим випадком механізму SCARA є 5-ти важільний механізм SCARA, в якому для переміщення кінцевої точки використовуються 4 важеля і 2 обертових привода в основі з неспівпадаючими осями. Тобто робот вільно рухається по осях X і Y, а також в більшості моделей різних виробників також може рухатися по осі Z за рахунок обертання ходового гвинта. Як правило, роботи SCARA мають робочий простір циліндричної форми, при цьому відмінності полягають в діаметрі і глибині циліндра. Загальна довжина першого і другого маніпуляторів визначає діаметр кола, в той час як довжина ходу по осі Z визначає глибина циліндра. У більшості областей застосування робочий простір робота SCARA обмежується передній і бічними сторонами. Простір позаду не зможе використовуватися, якщо з задньої частини виходять кабелі та пневматичні шланги.

До основних переваг роботів з даною кінематикою можна віднести швидкість переміщення, точність та повторюваність дій. SCARA роботи показують дуже високі швидкості переміщення. Номінальні робочі швидкості переміщення залежать від потужності приводу і параметрів кінематичних передач. У загальному випадку, роботи SCARA характеризуються більш високою швидкістю в порівнянні дельта-роботами. Механізм SCARA характеризується високою повторюваністю результатів переміщення без зміни точності. Це означає, що роботи SCARA можуть виконувати послідовні ідентичні операції без найменших відхилень. Основним же недоліком виступає обмежене навантаження на робочий орган маніпулятора. Допустиме навантаження складається з двох складових - ваги робочого інструмента і ваги вантажу. У разі використання механіки SCARA, навантаження прикладається до робочої області, що знаходиться на кінці витягнутого робочого плеча механізму. Це призводить до деяких обмежень по навантаженню і необхідності збільшувати міцність і жорсткість елементів механізму.

Серед найпоширеніших дій, виконуваних промисловими SCARA роботами, можна назвати наступні: завантаження/розвантаження технологічних машин, верстатів; маніпулювання деталями (наприклад: укладання, сортування, транспортування і орієнтація); переміщення деталей та заготовок від верстата до верстата або від верстата до систем змінних піддонів; збір механічних та електричних деталей; операції склеювання та з'єднання різних деталей і виробів тощо.

Більшість підійомно-транспортних операцій, а також операцій по збірці невеликих виробів, що включають в себе переміщення деталі з точки А в точку В, ідеально підходять для роботів SCARA, оскільки дані операції, як правило, включають в себе переміщення деталі по осях XY та Z. Операції по закручуванню гвинтів також прекрасно підходять для даних роботів, так як їх можна з легкістю виконувати завдяки осі обертання. Також маніпулятор може брати деталі і підносити їх до дозуючого пристрою, або дозуючий інструмент може бути прикріплений до валу робота.

Отже, роботи-маніпулятори з SCARA кінематикою є хорошим рішенням для автоматизації допоміжних технологічних операцій. Вони незамінні для точної обробки, складання і переміщення різних матеріалів і компонентів.

Гриневич М.С., магістр, ФКІТМР
Ткачук А.Г., к.т.н., доц., зав. кафедри А та КІТ ім. проф. Б.Б. Самотокіна
Державний університет «Житомирська політехніка»

АЛГОРИТМІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ МОБІЛЬНОЇ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ «РОБОТ-ГЕКСАПОД»

Сьогодні спостерігається активний розвиток мобільної робототехніки, що розширює способи та сфери свого застосування. Одним із популярних напрямів мобільної робототехніки займається розробкою та створенням біонічних роботів, що певним чином відображають будову та рухи живих істот. При розробці таких роботів велика увага приділяється способу їх переміщення в просторі.

Мобільні роботи також можуть бути автономними, які здатні самостійно керуватися у неконтрольованому середовищі без додаткових електромеханічних приладів. Взагалі мобільні роботи є гнучкими та швидкими у впровадженні тому, що вони можуть легко адаптуватися та рекомендувати свої параметри налаштувань про можливі шляхи вирішення завдань, які будуть поставлені перед роботом.

Гексапод – це програмована мобільна платформа, яка складається шести рухомих ніжок, які кріпляться до тіла робота, схожий за своєю побудовою імітує клас павукоподібних.

Одним із мотивуючих факторів, який часто надається для розвитку роботів павуків, є те, що вони мають більшу здатність переступати через перешкоди ніж колісні та гусеничні засоби. Це особливо важливо в таких небезпечних середовищах, як шахтні поля, або там, де важливо зберегти положення робота. Однією з головних переваг мобільних роботів є їх можливість впровадження комп'ютерного зору, за допомогою якого дозволяє точно спостерігати за своїм оточенням, вміння уникати перешкоди та розпізнавати об'єкти у реальному часі.

Загалом було обрано класичну конструктивну реалізацію робота, яка передбачає 6 кінцівок із трьома ступенями рухомості. Вони приводяться в рух завдяки 18 серводвигунам, які на схемі позначені М.Серводвигуни контролюються завдяки мікроконтролеру Arduino, що на схемі позначений EJYC.

До мікроконтролера Arduino під'єднано датчик газу QE, датчик температури TE та акселерометр GE, а також ультразвуковий датчик відстані EJE.

Інші два серводвигуни відповідають за стабілізацію камери EIR на основі показів з акселерометра GE по двом координатам. Камера EIR під'єднана до міні-комп'ютера Raspberry Pi ECSYAETK, для здійснення трансляції відео та отримання таким чином даних про навколишнє середовище.

З комп'ютера ECSYAETK надходить управляючий сигнал на міні-комп'ютер Raspberry Pi ECSYAETK, який в свою чергу управляє мікроконтролером Arduino. Оператор за допомогою клавіатури або кнопок на html сторінці вводить команди, що будуть передані на Raspberry Pi, а той передаватиме їх на мікроконтролер, і в залежності від отриманого символу буде виконуватись відповідна дія. Зчитування даних з датчиків відбувається постійно, і транслюється на моніторі оператора.

Для дистанційного керування роботом було вирішено розробити веб-інтерфейс (рис. 1).

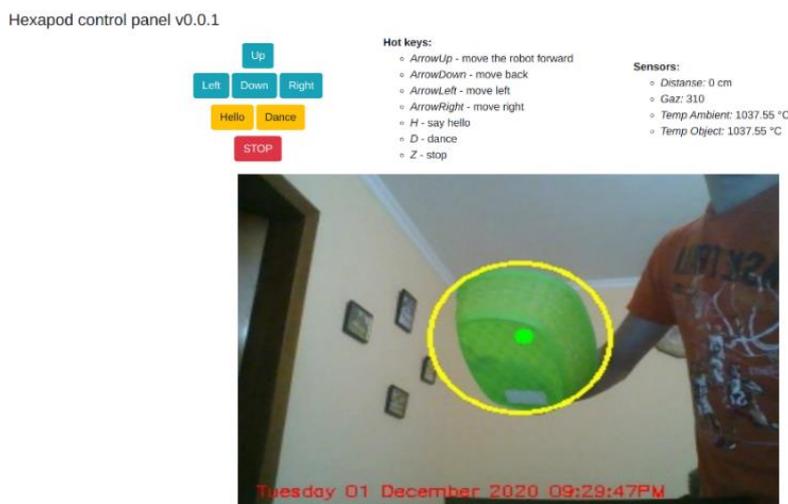


Рис. 1. Веб-інтерфейс для дистанційного керування робота-гексапода

Алгоритмічне забезпечення – це сукупність алгоритмів вирішення математичних задач функціонального наповнення. Алгоритмічне забезпечення включає засоби опису узагальнених процедур функціонування і моделювання об’єктів, а також засоби детального опису рішення конкретних задач і перетворення даних.

При роботі з біонічними роботами питання правильної побудови алгоритму роботи і алгоритму переміщення постає як ніколи гостро. Алгоритми рухів гексапода (рис. 2) були розроблені на основі рухів мурахи, що зводяться до елементарних операцій.

Кінцівки розділяються на дві групи 024 та 135, які утворюють трикутник. При русі одна група ніг 024 підіймається, друга група ніг 135 залишається опорою на поверхні та відштовхує тіло павука вперед. Перша група 024 робить крок вперед в повітрі та опускає ніжки на землю, а друга пара ніг 135 підіймаються в повітря та змінює кутове положення при основі. Перша пара ніг 024 відштовхує тіло вперед та друга пара 135 опускає ніжки на поверхню. Цей загальний алгоритм також розбивається для кожної з ніг окремо, оскільки вони складаються з 3 рухомих ланок. Кожній з таких ланок відповідає серводвигун, яким, ми, по суті, і керуємо.

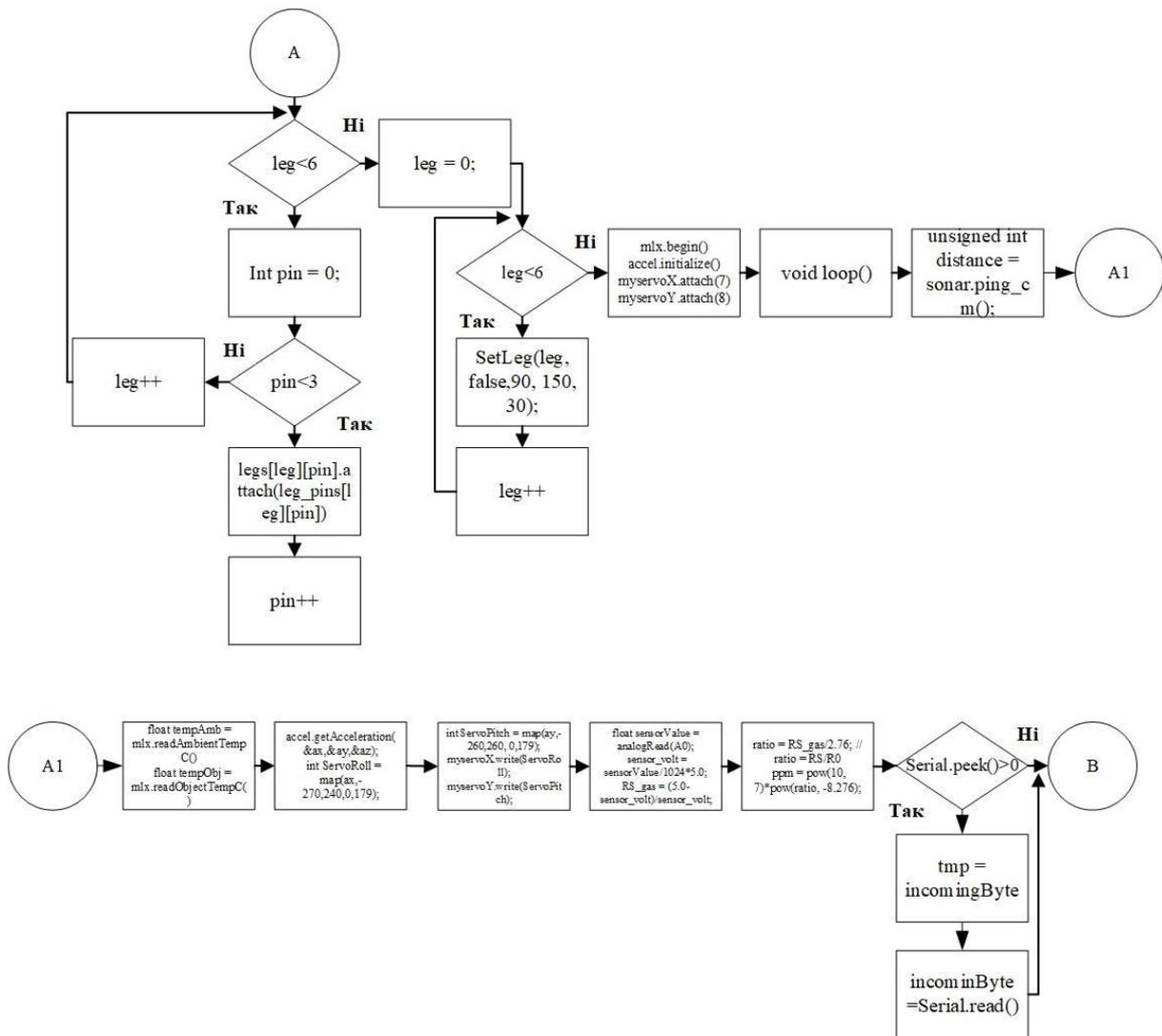


Рис. 2. Алгоритми рухів робота при викликах функцій повороту

Оскільки було реалізовано частково ручне управління роботом, постала необхідність у виконанні роботом певних дій. Так, якщо оператор хоче, щоб робот здійснив поворот або відійшов назад, він має змогу викликати певну функцію, що містить в собі відповідний алгоритм.

Розроблено також програмне забезпечення мобільної автоматизованої системи «робот-гексапод» для відстеження об’єкта за допомогою OpenCV.

Хмельницький Я.В., магістрант, гр. АТ-24м, ФКІТМР
Коваль А.В., к.т.н., доц., доц. кафедри А та КІТ ім. проф. Б.Б. Самотокіна
Державний університет «Житомирська політехніка»

АВТОНОМНА РАДІОЛОКАЦІЙНА СИСТЕМА З ДИСТАНЦІЙНИМ КЕРУВАННЯМ НА БАЗІ SDR

Сьогодні радіо зв'язок досить широко застосовується у системах дистанційного керування, телефонії, для забезпечення доступу до Інтернет тощо. Зі збільшенням кількості приладів та систем, які використовують певні смуги радіо частот, виникла проблема із завантаженістю радіо частотного ресурсу та виникненню радіо смогу, який створює завади для роботи цих приладів.

Радіо смог – це електромагнітне забруднення, забруднення радіоспектра - поширення радіохвиль поза виділених для них діапазонів або з перевищенням дозволеного рівня. Зокрема, є важливою проблемою в радіоастрономії, радіо спорті, та ін.

Якщо поставити задачу організувати радіо зв'язок на КХ у будівлі офісного центру, чи моніторингу радіочастотного спектру від 100 kHz до 30 МГц. Для цього необхідно встановити антени для приймання та передачі сигналів, наприклад, антена типу «Inverted-V», яка буде встановлена на даху будівлі чи поруч із нею. Але S-Метр (в техніці радіозв'язку вимірювач сили радіосигналу в умовних балах шкали S) показує силу завад понад рівень S6 (дуже високий рівень завад), що унеможливує організацію радіо зв'язку на даній позиції, тому що техніка в будівлі створює такий рівень радіо завад, що розповсюджуються на досить велику відстань від будівлі. На даний момент не існує технологій для боротьби з таким рівнем радіо завад, окрім ідентифікації джерела та його вимкнення (але це, як правило, не можливо). Проте є альтернатива, це реалізація віддаленого керування за технологією SDR.

Software-defined radio (SDR) – система радіозв'язку, в якій програмне забезпечення використовується як для модуляції, так і для демодуляції радіосигналів. При використанні SDR персональний комп'ютер стає ядром любительської радіостанції, завдяки чому практично весь обсяг робіт із обробки сигналу перекладається на програмне забезпечення, яке запускається на персональному комп'ютері або керує роботою деяких конкретних спеціалізованих мікропроцесорних пристроїв, призначених для обробки сигналу. Мета такого підходу – створити систему, яка може приймати і передавати практично будь-які радіосигнали за допомогою програмного забезпечення, що є гнучким і адаптивним. Приблизний інтерфейс програмного забезпечення наведено на рисунку 1.

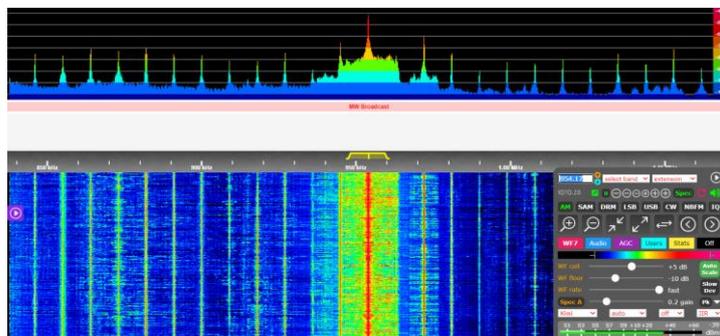


Рис. 1. Зовнішній вигляд прикладу інтерфейсу програмного забезпечення

У режимі приймання SDR може забезпечити вищу ефективність, ніж при використанні традиційних аналогових методів, оскільки при цифровій обробці сигналів їх фільтрація близька до ідеальної. Крім того, за допомогою програмних алгоритмів можуть бути реалізовані такі функції, які дуже складно отримати при аналоговій обробці. Ідеальна реалізація SDR-приймача – це підімкнення антени безпосередньо до аналого-цифрового перетворювача (АЦП), сполученого з потужним комп'ютером. У такому разі програмне забезпечення, запущене на комп'ютері, забезпечувало б обробку потоку даних, що поступав, і перетворювало б їх в необхідну форму. Ідеальний SDR-передавач функціонував би аналогічно. Однією з основних переваг дистанційно керованої системи є можливість її встановлення в місцях, де рівень радіо завад нижчий рівня S3, що не буде перешкоджати роботі радіосистеми для моніторингу радіочастотного ресурсу, або реалізації радіо зв'язку. Також дану систему можна використовувати для керування радіокерованим обладнанням дистанційно.