УДК 514.18

ПРО ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ, ЗА ВИТРАТАМИ РЕСУРСІВ, ТРАЄКТОРІЇ ПЕРЕМІЩЕННЯ РОБОЧОЇ ТОЧКИ МАНІПУЛЯТОРА

Конопацький Є.В., к.т.н.,
Донбаська національна академія будівництва і архітектури (Макіївка)
Верещага В.М., д.т.н.,
Мелітопольський державний педагогічний університет імені Богдана Хмельницького (Мелітополь)
Брустінов В.М. к.т.н.
Таврійський державний агротехнологічний університет (Мелітополь)
Мелітопольська школа прикладної геометрії
Тел. (0623) 22-24-67

Анотація **– запропонована, в інформаційному плані, геометрична послідовність оптимізації, в сенсі збереження ресурсів, траєкторій переміщення ланок дволанкового маніпулятора.**

Ключові слова **– формалізоване геометричне моделювання, БН-числення, оптимізація траєкторій, маніпулятор.**

Постановка проблеми. На перший погляд здається, що розв'язок, щодо визначення оптимальної, за витратами ресурсів, траєкторії переміщення робочої точки маніпулятора, може бути досягнутий через отримання рівнянь поверхонь, які утворює робоча точка у процесі одночасного переміщення усіх ланок маніпулятора у відповідних напрямах їхніх ступенів свободи, з наступним довільним вибором на цій поверхні двох точок, одна з яких – початкова, інша – кінцева, та визначенням між ними геодезичної лінії, що належить цій складеній поверхні. Отримана таким чином лінія між обраними точками буде найкоротшою, але, здебільшого, у процесі переміщення робочої точки маніпулятора уздовж цієї лінії не завжди приводить до мінімізації ресурсу на її переміщення.

Таким чином, проблема оптимізації процесу переміщення маніпулятора, у сенсі мінімізації витрат часу, енергії, обчислювальних ресурсів тощо, є актуальною. Розв'язання проблеми зменшення витрат ресурсів на виконання роботи маніпулятора, під час теперішньої енергетичної та економічної кризи, може значно зменшити видатки на виробництво.

Аналіз останніх досліджень. Проблема визначення та мінімізації енергії різних механічних систем у динамічних процесах давно приваблювала людство [1]. Застосований Лагранжем варіаційний принцип визначення кінетичної та потенційної енергії дозволяє також визначити і траєкторії руху окремих ланок механізму. Ці питання на прикладі багатоланкового маятника були розглянуті у роботах [2, 3, 4], рух якого описується за допомогою системи диференціальних рівнянь відносно кутів нахилу ланок до вертикальних прямих. Ці диференціальні рівняння складаються за допомогою рівнянь Лагранжа II роду, у яких використовуються два види похідних, а цей процес важко піддається програмній реалізації і трудомісткість виводу рівнянь Лагранжа є дуже високою, а їхній запис у явній формі занадто громіздкий для практичного використання. Тому не може бути широко застосованим для досліджень траєкторії маніпулятора. Окрім того, для опису роботи механічної системи у режимі реального часу, через використання диференціальних рівнянь є таким, який важко реалізувати, тому що їх розв'язок потребує використання обчислювальних методів, а це викликає певні труднощі і потребує витрат значної кількості обчислювальних ресурсів. У зв'язку з цим, пошук нових методів розв'язання питання оптимізації переміщення маніпулятора не втрачає своєї актуальності.

Питаннями визначення оптимальної траєкторії переміщення робочої точки маніпулятора з початкового її положення у кінцеве – точку-ціль займається професор Лі В.Г., варіанти розв'язку яких запропоновано у роботах [5,6]. Суть його досліджень полягає у наступному. Оптимальна траєкторія переміщення робочої точки відшукується серед усіх локальних оптимумів у просторі пошуку. При цьому, у якості критеріїв оптимальності пропонується: оцінка ефективності діяльності оператора, час переміщення, кількість руху робочих органів. Авторами [5,6] робиться висновок, що розв'язок може бути знайдений шляхом повного перебору усіх можливих розв'язків і, при цьому, вказується на виникнення ряду труднощів у процесі розв'язання:

1) значне збільшення обчислювальних операцій та витрат машинного часу;

2) відсутність цілісного алгоритму пошуку оптимальної траєкторії через необхідність покрокового розрахунку похідних цільової функції;

3) неусталена робота алгоритму у погано обумовлених зонах та можливість його зациклювання.

При цьому, недоліки, що випливають з робіт [2-4], в тій чи іншій мірі, притаманні і дослідженням, проведеним у роботах [5,6], тому що ці дослідження теж побудовані на складанні, розв'язанні та дослідженні диференціальних рівнянь. І взагалі, у роботі [5] зроблений висновок, що задачу знаходження оптимальної траєкторії переміщення робочої точки маніпулятора не можливо розв'язати геометричними методами, вона потребує принципово нових технологій, таких як апарат генетичних алгоритмів моделювання, методи еволюційного моделювання та біонічного пошуку, у яких процес пошуку розв'язку подається як динамічна процедура що передбачає послідовно, на кожному кроці пошуку, у відповідності до виниклих обставин, кожного разу утворювати новий розв'язок шляхом вибору особистостей.

На нашу думку, з цим можна було б погодитись у разі використання методів традиційної математики, але якщо, для визначення оптимальної траєкторії руху робочої точки маніпулятора у кінцеву точку-ціль, застосувати методи узагальненої тригонометрії та гоніометрії [7,8], розроблених на основі точкового числення Балюби-Найдиша [9,10], то виникає можливість розв'язати цю задачу геометричними методами. Цьому і буде присвячено запропонована у цій статті геометрична послідовність оптимізації траєкторії руху робочої точки маніпулятора.

Навіщо необхідно задачу знаходження оптимальної, з точки зору витрат ресурсів, траєкторії, розв'язувати методами формалізованого геометричного моделювання?

Формалізоване геометричне моделювання [11] передбачає, для встановлення функціональних залежностей, використання тільки математичного апарату точкового числення Балюби-Найдиша (БН-числення), який побудовано на використанні точкових рівнянь або їх систем, чи сукупностей, що відображають послідовність геометричних побудов. В результаті цього, за розв'язком, представленим у БН-численні не втрачається геометрична сутність. Окрім того, розв'язок точкових рівнянь здійснюється через використання розрахункових алгоритмів, програмна реалізація яких виконується практично миттєво, що дозволить використовувати роботу маніпулятора у режимі реального часу, а це є дуже важливим.

Формування цілей статті. Для дволанкового маніпулятора описати послідовність розробки формалізованої геометричної моделі щодо автоматичного визначення оптимальної, у сенсі мінімальної витрати ресурсів, траєкторії переміщення, у тривимірному просторі, робочої точки у кінцеву точку-ціль.

Основна частина. Процес знаходження оптимальної траєкторії необхідно розпочинати з визначення конструкції шарнірів, що з'єднують сусідні ланки маніпулятора, з метою встановлення кількостей степенів свободи та меж переміщення кожної з ланок у відповідних напрямках. Оптимальну траєкторію треба шукати, у визначених конструкцією межах. Далі треба визначити чи знаходиться кінцева точка-ціль у зоні досяжності маніпулятора і, виходячи з цього, встановити зону його усталеної роботи. Після цього необхідно встановити площину оптимального положення шарніра, що з'єднує першу та другу ланки, яка повинна включати пряму, що з'єднує початкове положення робочої точки з точкою-ціллю. При цьому, в залежності від наявних степенів свободи у шарнірі, виникають до виконання додаткові кути налаштування для переміщення відповідної ланки у робоче положення, з якого її можна переміщувати у кінцеве положення.

Таким чином, врахувавши те, що кожна ланка маніпулятора, відносно точки її закріплення, описує, у тривимірному просторі, сферу або її сегмент, і при цьому, першу ланку необхідно просто ввести у площину оптимального положення з мінімальною кількістю кутів повороту, а для другої треба знайти криву на відповідній сфері, для якої кількість кутів поворотів повинна бути мінімальною. В результаті, розв'язок зводиться до знаходження, на сегменті сфери, що утворює друга ланка, кривої з мінімальною сумою кутів поворотів необхідної для досягнення кінцевої точки – точки-цілі. Звідси випливає те, що на сегменті сфери (рис. 1), що утворює друга ланка, треба побудувати сітку з кіл у меридіональному напрямі, які проходять через точки $B_Н$ та $B_К$ і з кіл – ортогональних до перших (рис.1).

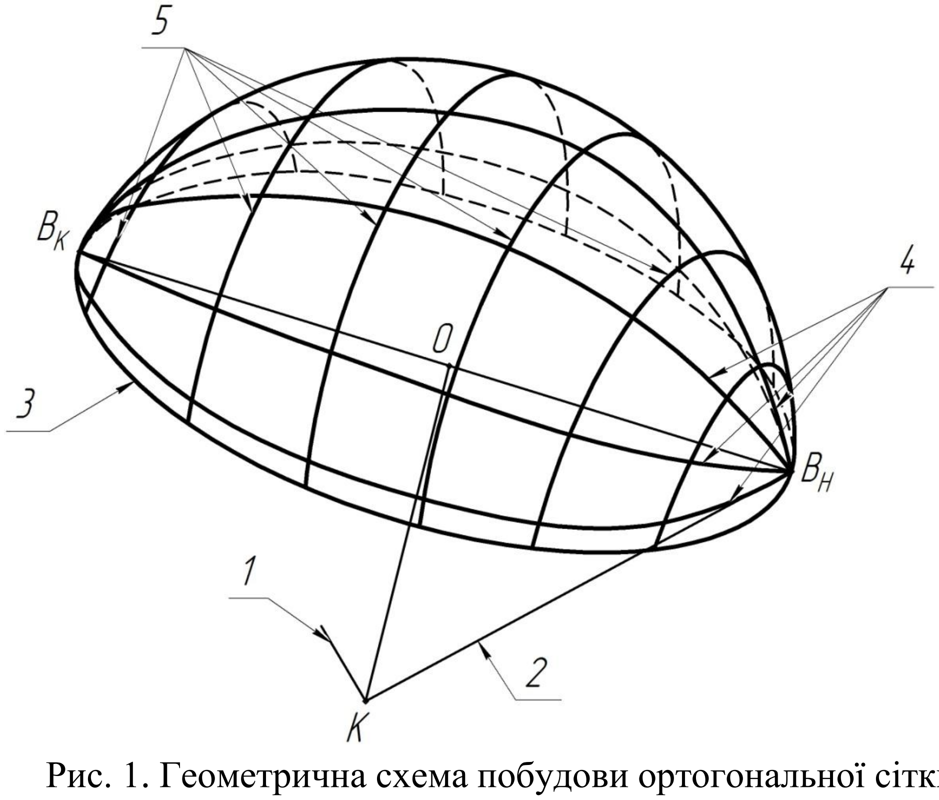
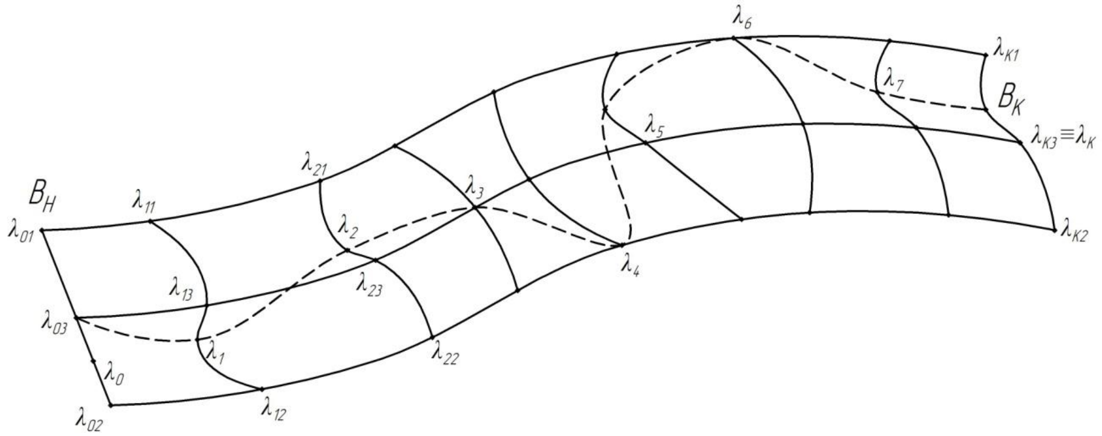


Рис. 1. Геометрична схема побудови ортогональної сітки на сегменті сфери.

На рис. 1 позиція: 1 – перша ланка у кінцевому положенні; 2 – ВК – друга ланка, що є твірною прямого кругового конусу з вершиною у точці К; 3 – основа прямого кругового конусу – коло, що проходить через точки $B_Н$ та $B_К$; 4 – меридіональні кола, що проходять через точки $B_Н$ та $B_К$; 5 – ортогональні кола, площини яких розташовані перпендикулярно до прямої $B_НB_К$; $B_Н$ – точка початкового положення робочої точки другої ланки маніпулятора; $B_К$ – кінцева точка-ціль, що визначає кінцеве положення робочої точки другої ланки; О – центр круга основи прямого кругового конусу; ОК – висота конуса ОК $\perp$ $B_НB_К$.

Отримані точки перетину, ортогональних 4 та 5 ліній, що утворюють сітку на поверхні сегмента сфери, назвемо вузловими. Дискретно визначимо у них значення сумарних кутів повороту ланки 2, якщо її переміщувати уздовж усіх меридіональних кіл 4 від початкової точки B_H у кінцевому – B_K. Далі, уздовж кожного кола 5 окремо просумуємо отримані дискретні значення сум кутів – λ_{ij}. Потім, серед отриманих сум кутів, обираємо два поряд розташованих меридіональних кола 4, для яких суми сум кутів будуть мінімальними. Між цими двома, обраними меридіональними колами 4, посередині проводимо третє і для нього також визначаємо суми кутів λ_{ij} у вузлових точках, які це коло утворить, перетинаючи кола 5. Таким чином, на кожному із ортогональних кіл 5, отримаємо три точки, за допомогою яких утворимо неперервні опірні криві, у вигляді точкових рівнянь, які використаємо для побудови декількох сегментів поверхонь відгуку типу лупа [11], що з'єднуються між собою за нульовим порядком гладкості, утворюючі полосу (рис. 2).

На отриманій полосі, що складається із окремих сегментів (рис. 2) будуємо лінію найменшого ухилу.



де $\lambda_{01} = \lambda_{02} = \lambda_{03} = 0$.

Рис. 2. Лінія найменшого ухилу.

Лінія найменшого ухилу $\lambda_0\lambda_1\lambda_2 \ldots \lambda_K$, що побудована на поверхні відгуку відносно сум кутів поворотів λ_{ij}, яка створена послідовним з'єднанням, за нульовим порядком гладкості, поверхонь типу лупа, і представляє лінію, проходження уздовж якої робочої точки маніпулятора, буде відбуватися з мінімальною витратою ресурсів.

Висновки. У запропонованій статті розглянуто послідовність розв'язання геометричними методами, з використанням точкового числення Балюби-Найдиша, задачі оптимізації, в сенсі збереження ресурсів, траєкторії переміщення робочої точки дволанкового маніпулятора, що забезпечить усталену роботу маніпулятора у режимі реального часу. Така можливість є важливою у випадку, коли робоча точка маніпулятора знаходиться у постійному русі, інструмент якої виконує якусь роботу, наприклад, зварювання шву між двома одиницями. Робота маніпулятора-зварювальника відбувається у режимі реального часу, при цьому, важливим є дотримання технології зварювання. Наприклад, зварювання чотириста тонних деталей корпусу корабля відбувається в результаті переміщення робочої точки маніпулятора уздовж просторової кривої, де сотні тисяч разів безперервно повторюється задача, що розв'язується у цій статті. Одночасне відслідковування переміщення без відхилення від лінії зварювання, дотримування технології зварювання та оптимізація переміщень ланок маніпулятора в режимі реального часу є дуже складною технічною задачею, яку можна, на наш погляд, розв'язати тільки за допомогою формалізованого геометричного моделювання цього процесу. Формалізоване геометричне моделювання (ФГМ) відбувається із застосуванням точкового числення Балюби-Найдиша. Подальший розвиток ідеї оптимізації траєкторії, викладеної у цій статті, можна поширювати на три-, чотири-ланкові і т.д. маніпулятори. Технологічно високорозвинені країни такі як Китай, Південна Корея, Японія тощо вже опанували ці питання, але їхні технології вартують дуже дорого тому в Україні необхідно їх розробляти для здешевлення виробництва продукції з метою підвищення конкурентоспроможності.

Література:

1. *Salisbury K.L.* The multiple pendulum problem via Maple / K.L. Salisbury, D.G. Knight // International Journal of Mathematical Education in Science and Technology – Philadelphia, 2002 / - Vol. 33. - №3. – P. 747-755.
2. *Куценко Л.М.* Геометричне моделювання коливань багатоланкових маятників / Л.М. Куценко, І.Ю. Адашевська – Харків: НТМТ, 2008. – 176 с.
3. *Адашевська І.Ю.* Геометричне моделювання коливань багатоланкових маятників механічних систем. Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.01.01 / І.Ю. Адашевська – Київський національний університет будівництва і архітектури – Київ, 2006. – 20 с.
4. *Куценко Л.М.* Опис руху N-ланкового маятника за допомогою операторів системи MAPLE / Л.М. Куценко, Р.М. Колочавін // Прикладна геометрія та інженерна графіка: міжвідомчий науково-технічний збірник. –Вип. 90. – К.: КНУБА, 2012.– С.166-172.
5. *Ли В.Г.* Поиск рациональных траекторий движения манипулятора в виртуальной среде на базе генетических алгоритмов моделирования / В.Г. Ли, А.В. Комар // Прикладна геометрія та інженерна графіка: міжвідомчий науково-технічний збірник. – Вип. 89. – К.: КНУБА, 2012.– С.240-244.
6. *Ли В.Г.* Алгоритм определения оптимального положения рабочих

органов манипулятора ERA / В.Г. Ли, А.В. Комар // Прикладна геометрія та інженерна графіка: міжвідомчий науково-технічний збірник. – Вип. 91. –К.: КНУБА, 2013. – С.152-155.
7. *Верещага В.М.* Геометричний сенс узагальнених тригонометричних функцій / В.М. Верещага, І.Г. Балюба, Є.В. Конопацький // Прикладна геометрія та інженерна графіка / Праці Таврійського державного агротехнологічного університету – Вип. 4. – Т. 55 – Мелітополь, 2012. – С.42-47.
8. *Конопацький Є.В.* Теорема синусів у багатовимірному просторі / Є.В. Конопацький, В.М. Верещага // Прикладна геометрія та інженерна графіка: міжвідомчий науково-технічний збірник. – Вип. 91. – К.: КНУБА, 2013. – С.131-136.
9. *Найдыш В.М.* Алгебра БН-исчисления / В.М. Найдыш, И.Г. Балюба, В.М. Верещага // Прикладна геометрія та інженерна графіка: міжвідомчий науково-технічний збірник. – Вип. 90. – К.: КНУБА, 2012.– С.210-215.
10. *Балюба І.Г.* Точечное исчисление геометрических форм и его место в ряду других существующих исчислений / И.Г. Балюба, Б.Ф. Горягин, Т.П. Малютина, И.П. Давыденко, Е.В. Конопацкий // Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво: міжвузівський збірник. – Вип. №6. – Луцьк: ЛНТУ, 2011. – С. 24-29.
11. *Кучеренко В.В.* Формалізовані геометричні моделі нерегулярної поверхні для гіперкількісної дискретної скінченої множини точок: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.01.01 / В.В. Кучеренко. – Дніпропетровськ, ДНУ ім. Олеся Гончара, 2013. – 24 с.

ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ ОПТИМАЛЬНОЙ, ПО РАСХОДУ РЕСУРСОВ, ТРАЕКТОРИИ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ РАБОЧЕЙ ТОЧКИ МАНИПУЛЯТОРА

Е.В. Конопацкий, В.М. Верещага, В.М. Брустинов

***Аннотация* – предложена, в информационном плане, геометрическая последовательность оптимизации расходования ресурсов, траекторий перемещения звеньев двухзвенного манипулятора.**

DETERMINATION OF OPTIMUM, FOR COST RESOURCES MOVEMENT TRAJECTORY SET POINT MANIPULATOR

E. Konopatsky, V. Vereshaga, V. Brustinov

Summary

We proposed, in terms of information, the geometric sequence optimization in the sense of resource conservation, trajectories move links two-link manipulator.