

ТРАЄКТОРНЕ КЕРУВАННЯ ВИМІРЮВАЛЬНИМ РОБОТОМ

Розглянуто метод обходу траєкторії складної просторової поверхні при контролі геометричних параметрів деталей вимірювальними роботами.

Ключові слова: вимірювальний робот, нейронна мережа, система керування, синергетичний регулятор.

Вступ. Сучасне інтелектуальне керування рухами та процесами вимірювання геометричних розмірів деталей складної геометрії вимірювальним роботом (ВР) зводиться до визначення за допомогою розроблених математичних моделей об'єкту управління та інтелектуальної системи керування такого регулюючого впливу, щоб максимально наблизитись до бажаного результату.

Інтелектуальні системи керування потребують постійного аналізу поточної ситуації з урахуванням попередніх виконаних дій і можливістю корегування своїх дій під впливом нової поточної інформації та під впливом дестабілізуючих факторів, що впливатимуть на роботу ВР.

Побудова методології інтелектуального керування ВР включає в себе принципово нові підходи до розробки методів і алгоритмів систем керування, що дозволить істотно підвищити швидкодію та точність виконання поточних операцій щодо траєкторного переміщення рухомих складових частин ВР так і власне всього робота в цілому. Все це дасть змогу вийти на новий виток розвитку робототехніки, підвищити стабілізацію і якість розпізнавання складних перешкод в процесі експлуатації ВР.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Вивченню впливу неврахованих дій на планований рух робота, визначення умов обмеженості та стійкості збурених фазових траєкторій, побудові корегуючого управління, параметричній оптимізації слід приділити суттєву увагу при моделюванні та проектуванні ВР.

В останній час в цих напрямках ведуться постійні дослідження і завдяки сучасним досягненням мікроелектроніки є значні якісні зміни. До ВР стали включати складні мікропроцесори та сигнальні процесори, які забезпечують автоматичне управління процесом вимірювання, обробкою даних, керують приводами, фактично надають цим засобам «інтелектуальних» якостей.

Розглянемо ієрархічну структуру системи управління ВР, що забезпечує виконання процедури стратегічного планування нейромережевого глобальних траєкторій його переміщень у апіорі неформалізованій зовнішньому середовищі з метою організації управління роботом на тактичному рівні відпрацювання цих траєкторій допомогою синергетичного регулятора позиційно-траєкторного типу.

Для цього розглянемо алгоритми стратегічного планування рухів робота, питання структурної організації нейромережевого планувальника, а також процедури апроксимації різних перешкод геометричними образами заданого класу.

Однією з важливих проблем організації адаптивної поведінки ВР, що функціонують у складному апіорі неформалізованому природному середовищі, є проблема автоматичної прокладки маршруту та ефективного його виконання роботом. У роботах [1, 2] запропоновано біонічний метод вирішення даної проблеми на базі нейромережевих систем управління.

Суть методу полягає в тому, що в процесі взаємодії ВР з неформалізованій зовнішнім середовищем, в його нейромережевій системі управління періодично перед початком виконання кожної елементарної дії виконавчими пристроями, відтворюється план середовища, що формується за допомогою сенсорної системи. Цей план повинен відображати поточну мету завдання і поточне місце робота в момент прийняття рішення про взаємне розташування кінцевої мети, перешкод, самого робота і вільних для руху ділянок середовища з урахуванням труднощів їх подолання. Потім цей план відображається в станах нейроелементів фізично реалізованих бортовою нейромережею і на ній відшукується градієнт функціонала, що визначається безліччю можливих траєкторій досягнення мети. Після цього нейромережевою системою приймається конкретне рішення і формується керуючий вплив на приводи робота, які відпрацьовують вектор елементарного переміщення в середовищі, що спрямований вздовж вектора антиградієнта функціоналу, знайденого на плані середовища в нейромережевій системі управління. Дані дії повторюються автоматично до досягнення роботом кінцевої мети.

Постановка задачі. Розробити метод та систему керування вимірювальним роботом при обході поверхні деталі.

Розв'язання задачі. Розглянемо таку ієрархічну систему управління ВР, в якій глобальні маршрути необхідних переміщень адаптивного робота, формуються нейромережевим планувальником стратегічного рівня на основі біонічного методу, а локальні траєкторії формуються в спецобчислювачі (СО) і реалізуються синергетичним регулятором [3]. При цьому, глобальні маршрути необхідних переміщень формуються нейромережевою системою прийняття рішень, а контури перешкод, при необхідності, витягуються з плану прохідності середовища у вигляді їх бінарних зображень і потрапляють в бортовий СО, де апроксимуються кривими другого порядку і представляються у вигляді

призначених для відпрацювання локальних траєкторій. За допомогою синтезованих в структурі регулятора управліннь, локальні траєкторії або точки позиціонування в фазовому просторі робота трансформуються і стають асимптотично стійкими в цілому рішеннями замкнутих систем.

Таким чином, запропонований підхід дозволяє збільшити точність виконання системою приводів ВР спланованих на нейромережевому стратегічному рівні маршрутів і тим самим підвищити ефективність не тільки планування, але і виконання спланованих дій робота.

Нехай ВР повинен рухатися до цільового об'єкту (ЦО) минаючи перешкоду (П). Середа попередньо не формалізована і автоматично формалізується бортовою системою управління ВР в двох системах координат: в незв'язаній з роботом декартовій системі Ox_1x_2 і жорстко прив'язаної до корпусу ВР координатній системі Oy_1y_2 . У нерухомій системі Ox_1x_2 вектор X_{Pi} визначає поточне положення характерної точки робота на місцевості в момент дискретного часу t_i (час змінюється квантами Δt ($t_i = t_{i-1} + \Delta t$)), вектор X_P визначає положення перешкод, а вектор $X_{Ц}$ визначає характерну точку ЦО.

У зв'язаній з корпусом ВР рухомій системі координат Oy_1y_2 вектори Y_{Pi} визначають положення точок перешкод, вектори Y_{Ci} визначають положення вільних для переміщення ВР точок зовнішнього середовища (ЗС), вектори $Y_{Цi}$ визначають ЦО, а вектор Y_0 визначає положення початку координат рухомої системи Oy_1y_2 в нерухомій системі Ox_1x_2 . Відзначимо, що в загальному випадку одна або кілька перешкод, а також кінцева мета робота, можуть довільно і незалежно від робота переміщатися в ЗС.

Для вирішення поставленого завдання ВР, подібно живій істоті, повинен сприймати ЗС, тобто "бачити" свою мету і перешкоди. Перед кожним елементарним актом руху він повинен будувати план прохідності ЗС, "подумки" виділяти на цьому плані оптимальний маршрут і рухатися вздовж нього протягом кожного проміжку часу Δt . У моменти часу $t_{i+1} = t_i + \Delta t$ ці дії повинні повторюватися до досягнення мети, якщо вона взагалі досяжна.

Очевидно, що структура управління такого МР передусім повинна містити сенсорну систему, що здійснює сприйняття безлічі точок $\{x_i\}$ ЗС у вигляді множини $\{\bar{Y}_i\}$ дискретних векторів \bar{Y}_i у дискретизованій на ділянці руху $\Delta y_1 \Delta y_2$ системи координат $O\bar{y}_1\bar{y}_2$. Вона повинна містити також систему формування поточного плану прохідності ЗС, що формується у вигляді дискретної вектор-функції

$$\bar{W}_i = \bar{W}[\bar{Y}_0, L(\bar{Y}_i), \bar{Q}, \bar{Y}_y],$$

де $L(\bar{Y}_i)$ – дискретна функція, що визначає труднощі подолання відповідних векторів \bar{Y}_i дискретних ділянок ЗС, причому

$$\bar{L}(\bar{Y}_i) = \begin{cases} \infty, & \text{якщо } \bar{Y}_i \in \{\bar{Y}_{n_i}\}, \\ \bar{L}(\bar{Y}_{C_i}), & \text{якщо } \bar{Y}_i \in \{\bar{Y}_{C_i}\} \end{cases}$$

$\bar{L}(\bar{Y}_{C_i})$ – значення, що визначають труднощі подолання ВР вільних ділянок \bar{Y}_{C_i} ЗС, наприклад, за витратами часу, енергії тощо; \bar{Q} – шаблон сусідства дискретних ділянок $\Delta y_1 \Delta y_2$, що визначає безліч допустимих ребер зв'язку між ними (наприклад, у випадку квадратних ділянок \bar{Q} включає чотири ортогональні зв'язки ($\bar{Q} = 4$), в разі трикутних ділянок $\bar{Q} = 3$ та ін.). Риски над векторами і функціями вказують на те, що вони мають дискретні значення.

Наступним елементом структури даної системи є плануюча нейропроцесорна мережа (НПМ), що складається з зв'язаних за принципом близькодії у відповідності до шаблону Q цифрових нейропроцесорних елементів (НПЕ). На інформаційні входи НПЕ надходять значення дискретного плану \bar{W}_i . Відображення \bar{W}_i на НПМ організовано так, що між НПЕ мережі і дискретними ділянками ЗС в кожен період Δt дискретного часу t_i встановлюється взаємно-однозначна відповідність, при якій кожній ділянці руху робота $\Delta y_1 \Delta y_2$ (вектору \bar{Y}_i) відповідає тільки один цифровий нейроелемент НПМ. Кожен з цих елементів пов'язаний з оточуючими НПЕ просторовими зв'язками за шаблоном сусідства Q , крім того, елемент має функціональний вхід \bar{W}_i і виконує на інтервалі Δt одну з трьох операцій:

- виробляє передачу на свій вихід одиничних сигналів, що прийшли на його просторові входи від сусідніх НПЕ, якщо відповідна йому дискретний ділянка вільна для руху ВР, тобто $Y_i \in \{Y_{Ci}\}$. Причому, передача здійснюється з затримкою, величина якої прямо пропорційна відповідному значенню функції $\bar{L}(\bar{Y}_{Ci})$;

- блокує передачу будь-якого одиничного сигналу, що прийшов на його просторові входи, якщо відповідна йому дискретна ділянка ЗС містить перешкоду;

- генерує на своєму вході поодинокі сигнали, якщо у відповідній йому ділянці Y_i ЗС міститься ЦО, тобто $Y_i \in \{Y_{Ci}\}$.

Вектору Y_0 поставлений у відповідність $2n$ -процесорний ансамбль НПЕ, що виконує функції багатостабільного тригера. Цей ансамбль цифрових нейропроцесорних елементів (АЦНЕ) має $2n$ входів, що відповідають кількості точок квантування осі $-y_1, 0, y_1$. Перед початком кожного i -го акту планування процесорні елементи нейромережі скидаються в нульовий стан, тоді на входи ансамблю надходять нулі і, отже, нулі присутні і на його $2n$ виходах.

Нехай в момент часу t_i на функціональні входи НПЕ надходять значення \bar{W}_i . Ці значення автоматично налаштовують цифрові НПЕ мережі на виконання відповідних операцій протягом чергового тимчасового інтервалу Δt . Так, НПЕ, відповідний Y_{Ci} , починає генерувати поодинокі сигнали. НПЕ, відповідний Y_{Ci} , пропускає їх із затримкою, відповідно до значень $\bar{L}(\bar{Y}_{Ci})$, а процесори НПМ блокують проходження даних сигналів.

В результаті такого самонастроювання і завдяки постійним просторовим зв'язкам між НПЕ відповідно до шаблонів сусідства Q , від цільового НПЕ через відкриті процесори до АЦНЕ почнуть розповсюджуватися оточуючі заблоковані НПЕ імпульси. Очевидно, що першим до входів АЦНЕ прийде той імпульс, який рухався за найкоротшим з допустимих шляхів. Напрямок приходу цього імпульсу, а саме, напрямом ΔT_{li}^{OPT} першого кроку визначається НПМ, яка знаходить оптимальну траєкторію руху МР $T_i^{OPT} = Y_0 \rightarrow \Delta T_{li}^{OPT} \rightarrow \Delta T_{2i}^{OPT} \rightarrow \dots \rightarrow Y_{Ci}$, фіксує її і виконує функції багатостабільного тригера АЦНЕ.

Певний напрямок одиничного вектора на плані середовища в НПМ:

$$U_i^{PC} = \left| \Delta T_{li}^{OPT} \right|^{-1} \Delta T_{li}^{OPT}$$

і використовується як оптимальний напрямок переміщення ВР у ЗС на тимчасовому інтервалі Δt_i .

У відомих варіантах нейропроцесорних керуючих систем результати глобального планування, пов'язаного з відшукуванням одиничного вектора U_i^{PC} , використовуються і на тактичному рівні, де потрібно було б щоб $U_i^{PC} = U_i^{BC}$.

Дійсно, після завдання або розрахунку модуля ρ_i вектора швидкості ВР на кроці Δt_i , його виконавча система відпрацьовує у ЗС крок переміщення

$$\Delta X_{Pi} = \rho_i U_i^{PC} \Delta t_i.$$

В результаті такого переміщення МР потрапляє в наступну точку ЗС:

$$X_{p(i+1)} = X_{Pi} + \Delta X_{Pi}.$$

Якщо точка $X_{p(i+1)} = X_{Ц}$, то здійснюється зупинка ВР, якщо умова не виконується, то збудження НПМ гаситися і в процесорні елементи заносяться нові значення плану середовища \bar{W}_{i+1} та описані дії повторюються знову.

Прагнення до поліпшення якості відпрацювання планованих в НПМ траєкторій, приводить до висновку про доцільність введення у розглянуту нейромережеву систему управління ВР додаткового рівня, що включає регулятор, синтезований методами теорії синергетичного управління.

Синтез позиційно-траєкторного регулятора проводиться відповідно до синергетичних підходів в теорії управління [4]. Суть даного підходу полягає в трансформації бажаних фазових траєкторій, в фазовому просторі ВР. Тобто, при початкових відхиленнях ВР від цільового стану або зовнішніх збуреннях певного класу, робот, в силу використовуваних алгоритмів керування, гарантовано переводиться в заданий стан, забезпечуючи виконання поставленого перед ним завдання. Синтезований регулятор забезпечує асимптотичну стійкість в цілому планованих траєкторій, що дозволяє припустити наявність властивостей робастності замкнутої системи, тобто малої чутливості до зміни параметрів об'єкта управління. Аналітичні вирази для різних алгоритмів керування ВР представлені в [3]. Математичні залежності, використовувані СО для формування набору коефіцієнтів $K = \{N_1^i, N_2^i, N_3^i, V, M_e, C, A\}$ позиційно-траєкторного регулятора наведені нижче. Ієрархічна структура нейромережевої системи управління з позиційно-траєкторним регулятором і СО може бути представлена в наступному вигляді:

1. $t_i = t_{i-1} + \Delta t$; $X_{Pi} \rightarrow \{\bar{Y}_i\} \rightarrow \bar{L}(\bar{Y}_i)$;
2. $\bar{L}(\bar{Y}) \rightarrow \bar{W}_i = W[\bar{Y}_0, \bar{L}(\bar{Y}_i), Q, \bar{Y}_y]$;
3. $\bar{W}_i \rightarrow \{T^r(\bar{W}_i)\}; J(T_i^r)$;
4. $J(T_i^{OPT}) = \min_r \sum_l \bar{L}_l^r(\bar{Y}_{Ci}) |\Delta T_{li}^r| \rightarrow \Delta T_{li}^{OPT}$;
5. $U_i^{PC} = |\Delta T_{li}^{OPT}|^{-1} \Delta T_{li}^{OPT}$;
6. $U_i^{BC} = U_i^{PC}$, формування набору коефіцієнтів $K = \{N_1^i, N_2^i, N_3^i, V, M_e, C, A\}$;
7. Визначення регулятором вектора U_i з обліком U_i^{BC} ;
8. Переміщення робота в середовищі під дією керуючого вектора U_i ;
9. Якщо $X_{p(i+1)} = Y_0 = Y_{Ц}$, то зупинка, інакше перехід на п. 1.

Слід зазначити, що введення рівня тактичного управління дозволяє збільшити значення Δt і, відповідно, істотно зменшити обчислювальні витрати на реалізацію рівня стратегічного планування.

Висновки. Розроблено новий метод обходу траєкторії складної просторової поверхні для підвищення достовірності контролю геометричних параметрів деталей комп'ютеризованими вимірвальними роботами.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Ростовцев А.М. Математически нечеткие подходы к контролю качества / А.М. Ростовцев // Измерительная техника. – 2009. – №3. – С.18-19.
2. Чернухин Ю.В. Нейропроцессорные сети / Ю.В. Чернухин. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 1999. – 439 с.
3. Рубанов В.Г. Интеллектуальные системы автоматического управления. Нечеткое управление в технических системах / В.Г. Рубанов, А.Г. Филатов. – Белгород: Изд-во БГТУ им. Шухова, 2005. – 171 с.
4. Колесников А.А. Синергетическая теория управления / А.А. Колесников. – М.: Энергоатомиздат, 1996. – 343 с.
5. Пшихопов В.Х. Аналитический синтез синергетических регуляторов для позиционно-траекторных систем управления мобильными роботами В.Х. Пшихопов. – СПб.: БХВ, 2008. – 311 с.
6. Жданов А.А. Об одной методологии автономного адаптивного управления / А.А. Жданов, С.В. Арсеньев, В.А. Половников // Труды Института системного программирования РАН, 2000. – Т. 1. – С.66-83.

Без рецензії.

д.т.н., проф. Квасников В.П.

ТРАЕКТОРНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫМИ РОБОТАМИ

Рассмотрен метод обхода траектории сложной пространственной поверхности при контроле геометрических параметров деталей измерительными роботами.

Ключевые слова: измерительный робот, нейронная сеть, система управления, синергетический регулятор.

V. Kvasnikov

TRAJECTORY CONTROL MEASURING WORK

The method of tracking of the complicated sculpted surface trajectory on the detail geometrical parameters control by measuring robot is considered.

Keywords: measuring robot, neural network, control system, synergetic regulator