

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МОБИЛЬНЫМ РОБОТОМ. АНАЛИЗ МЕТОДОВ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ВЫБОРА ДВИЖЕНИЯ

Рассматриваются проблемы управления мобильными робототехническими системами, способными перемещаться в сопротивляющихся средах за счет движения внутренних тел, которые взаимодействуют с корпусом робота и не взаимодействуют со средой. Отыскиваются оптимальные периодические движения внутренних тел, при которых периодическое по скорости движение корпуса робота относительно среды происходит с максимальной средней скоростью. Рассмотрены три типа законов сопротивления движению корпуса робота в среде.

Исследован метод потенциалов, который основывается на реализации движения мобильного робота в поле «информационных сил» («притяжение» к целевой точке, «отталкивание» от помех и т.п.). Проанализирована история представлений подобного рода, начиная с «теории поля» К. Левина. Представлены результаты использования метода потенциалов для управления распределенной мобильной системой.

Ключевые слова: мобильный робот, автоматизированная система управления, контроль, математическая модель, диагностический процесс интеллектуальная система диагностики, мобильный робот, оценка качества, база знаний, проектирование системы диагностики.

S.V. MARCHENKOVA

National Aviation University, Kyiv

SYSTEM MANAGEMENT OF THE MOBILE ROBOTS. ANALYSIS METHODS SOLVING PROBLEMS CHOICE OF MOTION

Control problems for mobile robotic systems able to move in resistive media due to the motion of internal bodies that interact with the main body of the robot but do not interact with the medium are considered. The optimal periodic motions of the internal bodies that sustain a velocity-periodic motion of the main body relative to the medium and maximize the average speed are searched for. Three types of resistance to the motion of the robot's main body in the medium are considered.

The method of potentials, which is based on the implementation of mobile robot movement. Analyzed the history of ideas of this kind, starting with "field theory" Lewin. The results of using the method capabilities to manage distributed mobile system.

Keywords: mobile robot, automated system management, monitoring, mathematical model, systems with movable internal bodies, motion in resistive environment, optimal control, mobile robots.

Постановка проблеми

Розглянути проблеми управління мобільними робототехнічними системами, здатними переміщатися в за рахунок руху внутрішніх органів, які взаємодіють з корпусом робота і не взаємодіють з середовищем. Відшукати оптимальні методи руху внутрішніх систем, при яких періодичність по швидкості руху корпусу робота щодо середовища відбуватиметься з максимальною середньою швидкістю. Розглянути закони опору руху корпусу робота в середовищі.

Дослідити метод потенціалів, який ґрунтується на реалізації руху мобільного робота в полі «інформаційних сил» («Тяжіння» до цільової точки, «відштовхування» від перешкод і т.п.). Проаналізувати історію уявлень подібного роду, починаючи з «теорії поля» К. Левіна. Представити результати використання методу потенціалів для управління розподіленою мобільною системою.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Вивченню систем з внутрішніми тілами з цієї точки зору присвячена значна частина монографії [1]. Такі системи можуть рухатися з дуже малими кроками, що дозволяє використовувати їх в пристроях точного позиціонування в скануючих електронних і тунельних мікроскопах, а також в мікро- і нанотехнологічному обладнанні [2-4]. Різні аспекти динаміки мобільних систем з внутрішніми масами і оптимізації їх параметрів розглянуті в [5-9]. Систематичне вивчення проблем оптимального управління періодичними рухами мобільних роботів з внутрішніми тілами розпочато в роботах [10, 11].

Формулювання завдання дослідження

Одна з ключових тенденцій сучасної науки пов'язана зі складністю досліджуваних об'єктів. Якщо раніше дослідники могли аналізувати лише точно описувані явища і процеси з малим числом змінних, то з розвитком теоретичного знання та інформаційних технологій з'явилася можливість дослідження нового класу систем, отримали назву - складні технічні системи.

Для побудови систем автоматичного управління складними нелінійними, погано формалізуються об'єктами часто застосовують пристрої і алгоритми управління, виконані на основі методів нечіткої логіки (фазі-логіки). Ці методи принципово відрізняються від звичайних класичних методів автоматики «людським» підходом і «людськими» прийомами вирішення завдань управління.

Теорія нечітких множин, основні ідеї якої були запропоновані американським математиком Лотфі Заде. Більше 40 років тому, дозволяє описувати якісні, неточні поняття і наші знання про навколишній світ, а також оперувати цими знаннями з метою отримання нової інформації. Засновані на цій теорії методи побудови інформаційних моделей істотно розширюють традиційні сфери застосування комп'ютерів і

утворюють самостійний напрям науково-прикладних досліджень, яке отримало спеціальну назву - нечітке моделювання.

Основне завдання, що ставилася перед УС робота - вироблення стереотипів поведінки при обході стандартних перешкод, розміщених випадковим способом в середовищі. Розташування перешкод підбрано таким чином, щоб робот міг легко потрапляти в нові ситуації, але при цьому щоб зіткнення походили занадто рідко. Спочатку в вус не закладається ніяких апріорних знань, ні про самих перешкоди, ні про будь-які правила їх обходу. Грунтуючись на «емоційної» оцінці стану моделі по відношенню до навколишнього середовища в кожен такт, робот повинен сам зрозуміти, якими показниками яких датчиків відповідають зіткнення з перешкодами і які дії необхідно зробити, щоб їх уникнути.

Загальною передумовою для застосування нечітких систем управління є, з одного боку, наявність невизначеності, пов'язаної як з відсутністю інформації, так і складністю системи і неможливістю або недоцільністю її опису традиційними методами і, з інший - наявність об'єкта, необхідних керуючих впливів, збурень і т.п., а також наявність інформації якісного характеру.

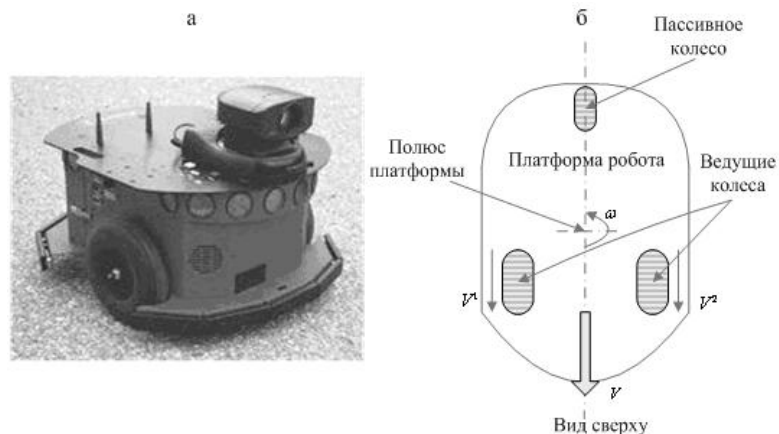


Рис. 1. (а) Зовнішній вигляд мобільного робота P3-DX; (б) мобільний робот P3-DX, вид зверху

Розглянемо проблеми оптимального управління новим класом мобільних механізмів (роботів), здатних переміщатися в чинять опір середовищах без спеціальних рухів (колес, ніг, гусениць). Такі роботи складаються з корпусу, що взаємодіє із зовнішнім середовищем, і рухливо з'єднаних з ним тіл. Рух цих тіл щодо корпусу характеризує внутрішні ступені свободи робота. Будемо називати згадані тіла внутрішніми, хоча конструктивно вони можуть розміщуватися і не всередині корпусу. Внутрішні тіла взаємодіють з корпусом за допомогою сил, що створюються приводами. Прикладені сили до внутрішнього тіла викликають силу реакції, яка діє на корпус, змінюючи його швидкість, що тягне за собою зміну сили опору середовища руху корпусу. Таким чином, керуючи рухом внутрішніх тіл, можна управляти зовнішньою силою, що діє на корпус і як наслідок рухом системи як цілого. Даний принцип руху доцільний для мобільних міні- і мікророботів. Корпус цих роботів може бути зроблений герметичним і гладким, що не містить виступаючих деталей, що дозволяє використовувати їх для неруйнуючої інспекції мініатюрних технічних об'єктів, таких як тонкостінні трубопроводи малого діаметра, а також в медицині. Мобільні системи, що переміщуються та чинять опір в середовищах за рахунок руху внутрішніх органів, привертають увагу не тільки фахівців з робототехніки, але також дослідників і інженерів в областях біомеханіки і точної механіки.

Такий принцип руху, можливо, пояснює локомоцію тварин (зокрема черв'яків і змії), що не мають кінцівок і переміщуються за рахунок перерозподілу маси всередині тіла тварини або зміни його конфігурації. Такі системи можуть рухатися з дуже малими кроками, що дозволяє використовувати їх в пристроях точного позиціонування в скануючих електронних і тунельних мікроскопах, а також в мікро- і нанотехнологічному обладнанні [2-4].

У даній роботі будуються періодичні режими руху внутрішніх органів щодо корпусу і відповідні закони руху корпусу з періодично змінною швидкістю. Дані режими оптимізуються з метою максимізації середньої швидкості руху системи як цілого. Оптимальні управління знайдені для руху в в'язкому середовищі з кусочно лінійним і квадратичним законами опору, а також по шорсткою площині в припущенні, що між площиною і корпусом системи діє сухе кулонове тертя.

Завдання оптимального управління вирішуються при різних обмеженнях на швидкості і прискорення руху внутрішніх органів, а також на амплітуду коливань цих тіл відносно корпусу. Для руху по шорсткою горизонтальній площині розглянуті системи з одним внутрішнім тілом, по рухомих горизонталі, і з двома внутрішніми тілами, одне з яких переміщується по горизонталі, а інше - по вертикалі, що дозволяє управляти величиною сухого тертя за рахунок зміни нормального тиску корпусу на площину. Наявність тіла, по вертикалі рухається, дозволяє значно збільшити швидкість руху системи і знизити втрати енергії на тертя.

Метод потенціалів в задачі вибору шляху для мобільного робота (МР) був запропонований А.К. Платоновим в 1970 році.

При цьому розглядається випадок, коли робот оснащений досить точної навігаційною системою, щоб

її помилками можна було знехтувати, і системі управління відомі як координати робота і вимірювального пристрою, так і орієнтація сектора огляду і напрямок виробляються вимірювань в деякій абсолютній системі координат (АСК). Робот у всіх випадках є точкою з запропонованим вектором орієнтації.

Суть методу полягає в наступному. Припустимо, що мета має деякий позитивний заряд, перешкоди заряджені негативно; місцеположення цілі і перешкод фіксовані. Нехай також є деяка негативно заряджена точка, здатна переміщатися. Помістимо її в вихідну точку. Під дією сил рухома точка буде притягатися до мети і відштовхуватися від перешкод, причому закони руху можуть задаватися, в принципі, різними способами. Логічно припустити, що при деяких обмеженнях на структуру місцевості і закони руху рухомий точки ця точка досягне мети.

Залежно від способу завдання функцій, можна отримати траси з обходом перешкод з тим або іншим ступенем «ризик» (величини наближення до перешкод). Розглянуті нижче алгоритми гарантують від зациклення в разі, коли контури перешкод опуклі. Метод може також використовуватися для випадку, коли перешкоди розбиваються на групи, опуклі оболонки яких не перетинаються.

За кордоном основні посилання робляться на роботи Брукса і Хатіба, які вийшли в світ в 1985 році. Слід зазначити, що в Японії подібні розробки були виконані співробітниками фірми Hitachi, Ltd. в 1984 році. Подібні ж алгоритми використовувалися і при трасуванні друкованих плат в 1967 році (див. [8], в якій дано посилання на більш ранню роботу 1948 року). Для того, щоб простежити еволюцію архетипу основної ідеї методу, нижче наводиться історична довідка про розробки, що мають відношення до методу потенціалів в завдання вибору шляху.

У даній роботі досліджені модифікації алгоритму, викладеного в [1]. При цьому розглянуті наступні напрямки модифікації вихідного алгоритму:

1) Досліджено статична і показова функції відштовхування від перешкод і вплив їх на результуючий шлях мобільного робота (МР). Для оцінки ефективності шляху використовувалася функція відхилення вектора напрямку руху від вектора напрямку на ціль.

2) Проаналізовано можливості використання методу потенціалів для управління розподіленою мобільною системою (РМС). Досліджено п'ять способів організації такого руху:

а) Рух за схемою «ланцюг». В цьому випадку сила тяжіння мети діє на «лідера», і кожен МР «притягується» до попереду йде.

б) Рух типу «гонка за лідером». В цьому випадку всі елементи РМС «притягується» до «лідера», який, у свою чергу, «притягується» до цільової точки.

в) Рух типу «розбіжності». У цьому випадку на МР, розташовані компактною групою або ланцюгом, починає діяти сила відштовхування від «лідера». МР «розбігаються», досліджуючи кожен свою ділянку.

г) Рух типу «сходження». У цьому випадку «лідер» збирає всі елементи РМС в компактну групу.

д) Організація руху типу «вільний пошук». В цьому випадку сила тяжіння до мети відсутній, і кожен елемент РМС рухається в вільному від перешкод напрямку.

Перші два режими використовуються для організації пересування РМС, останні три - для інформаційного дослідження середовища.

Висновки

Розраховано оптимальні періодичні по швидкості руху ряду мобільних систем, переміщуються в чинять опір середовищах з різним законом опору за рахунок руху внутрішніх органів. Показано, що при будь-яких обмежень на переміщення внутрішніх органів щодо корпусу середня швидкість руху системи як цілого може бути як завгодно великий, якщо допускаються чималі відносні швидкості і прискорення внутрішніх тел. Для систем, що рухаються по горизонтальній сухій шорсткою площині, значного збільшення середньої швидкості можна досягти введенням в систему внутрішньої маси, що рухається по вертикалі, що дозволяє керувати силою нормального тиску площині опори на корпус системи.

На основі проведених досліджень отримані наступні результати:

Як функцій відштовхування від перешкод більш ефективно використовувати експоненціальні функції. При цьому виходять безпечніші та гладкі траєкторії, крім того, відсутня необхідність нормування результуючої функції відштовхування від перешкод.

Силу тяжіння до мети слід вибирати постійної, оскільки змінна сила тяжіння до мети веде до ускладнення алгоритмів обчислення функції відштовхування від перешкод, так як вона також стає залежною від розташування поточної точки і цільової.

Метод потенціалів без настройки у вигляді деяких евристик можна використовувати, в основному, для випадку опуклих перешкод. У загальному випадку, при наявності точок стійкої рівноваги результуючих інформаційних «сил» для виходу з цих точок можна використовувати евристику, що стосується зміни напрямку руху на мету, або ж датчик випадкового тяжіння замість тяжіння до цільової точки. В принципі, слід зазначити, що існують потенційні функції, що гарантують відсутність локальних екстремумів, проте подібні функції вимагають організації складних обчислювальних процесів.

Рівняння руху в поле інформаційних сил ефективніше розраховувати по першій похідній, а не по другий, як це робиться в теоретичній механіці.

Всі перераховані вище можливості реалізовані в розробленій версії ППП, який дозволяє

організовувати спільний рух до 12 роботів в складі РМС.

На основі отриманих результатів можна зробити наступні висновки:

Алгоритми, засновані на методі потенціалів, можуть ефективно використовуватися в разі, якщо контури перешкод апроксимувати опуклими багатокутниками або колами. Для більш складних середовищ необхідно проводити подальші дослідження.

Алгоритми, засновані на методі потенціалів, можуть використовуватися для управління РМС як в режимі пересування, так і в режимі дослідження місцевості.

При плануванні переміщення робота системи управління часто потрібно не вся можлива траєкторія руху, а поточний напрямок руху РМ. Метод потенціалів дозволяє досить просто обчислювати цей напрямок. Особливо слід підкреслити, що метод потенціалів дозволяє використовувати для цієї мети «розмиту» наближену інформацію про перешкоди.

Для зменшення коливань рухається точки при обході контуру перешкоди має сенс брати сектор огляду, що перевищує 180 градусів.

Література

1. Zimmermann K., Zeidis I., Behn C. *Mechanics of Terrestrial Locomotion*. Heidelberg: Springer, 2009.
2. Breguet J.-M., Clavel R. Stick and slip actuators: design, control, performances and applications // *Proc. Inter. Symp. on Micromechatronics and Human Science (MHS)*. IEEE, N.Y., 1998. P. 89–95.
3. Schmoedel F., Worn H. Remotely controllable mobile microrobots acting as nano positioners and intelligent tweezers in scanning electron microscopes (SEMs) // *Proc. Inter. Conf. on Robotics and Automation*. IEEE, N.Y., 2001. P. 3903–3913.
4. Vartholomeos P., Papadopoulos E. Dynamics, design and simulation of a novel microrobotic platform employing vibration microactuators // *Trans. ASME. Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control*. 2006. Vol. 128, no. 1. P. 122–133.
5. Нагаев Р.Ф., Тамм Е.А. Вибрационное перемещение в среде с квадратичным сопротивлением движению // *Машиноведение*. 1980. № 4. С. 3–8.
6. Герасимов С.А. Неревверсивное вибрационное движение // *Мехатроника, автоматизация, управление*. 2003. № 3. С. 48–52.
7. Болотник Н.Н., Циммерман К., Зейдис И., Яцун С.Ф. Динамика управляемых движений вибрационных систем // *Изв. РАН. Теория и системы управления*. 2006. № 5. С. 157–167.
8. Герасимов Б.М., Глуцкий В.И., Рабчун А.А. Система поддержки принятия решений в АСУ реального времени // *Искусственный интеллект*. – 2000. – № 3. – С. 39–47.
8. Соболев Н.А., Сорокин К.С. Экспериментальное исследование модели виброробота с вращающимися массами // *Изв. РАН. Теория и системы управления*. 2007. № 5. С. 161–170.
9. Сорокин К.С. Перемещение механизма по наклонной шероховатой плоскости за счет движения внутренних осциллирующих масс // *Изв. РАН. Теория и системы управления*. 2009. № 6. С. 150–158.
10. Черноусько Ф.Л. О движении тела, содержащего подвижную внутреннюю массу // *Докл. РАН*. 2005. Т. 405, № 1. С. 56–60.
11. Черноусько Ф.Л. Анализ и оптимизация движения тела, управляемого посредством подвижной внутренней массы // *Прикладная математика и механика*. 2006. Т. 70, вып. 6. С. 915–941.

References

1. Zimmermann K., Zeidis I., Behn C. *Mechanics of Terrestrial Locomotion*. Heidelberg: Springer, 2009.
2. Breguet J.-M., Clavel R. Stick and slip actuators: design, control, performances and applications // *Proc. Inter. Symp. on Micromechatronics and Human Science (MHS)*. IEEE, N.Y., 1998. P. 89–95.
3. Schmoedel F., Worn H. Remotely controllable mobile microrobots acting as nano positioners and intelligent tweezers in scanning electron microscopes (SEMs) // *Proc. Inter. Conf. on Robotics and Automation*. IEEE, N.Y., 2001. P. 3903–3913.
4. Vartholomeos P., Papadopoulos E. Dynamics, design and simulation of a novel microrobotic platform employing vibration microactuators // *Trans. ASME. Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control*. 2006. Vol. 128, no. 1. P. 122–133.
5. Nahaev RF, Tamm EA Vybratsyonnoe Peremeschenye in environment with kvadratichnym Resistance Movement // *Mashynovedenye*. 1980. № 4. S. 3–8.
6. Gerasimov SA Nereversyynoe vybratsyonnoe // *Mekhatronika motion, automation, management*. 2003. № 3. S. 48–52.
7. Bolotnyk NN, K. Zimmerman, Zeydis I., Yatsun SF Dynamics upravlyаемых movements vybratsyonnyh systems // *Izv. RAS. Theory and management systems*. 2006. № 5. S. 157–167.
8. Gerasimov BN, Hlutsyy VI, Rabchun AA Adoption Support System solutions in real time ACS // *Artificial Intelligence*. - 2000. - № 3. - P. 39–47.
8. Sobolev NA, Sorokin KS Study Eksperymentalnoe model vybrorobota with vrascha-yuschymysya Massa // *Izv. RAS. Theory and management systems*. 2007. № 5. S. 161–170.
9. Sorokin KS Peremeschenye mechanism for naklonnoy rough plane movement at the expense
10. Chernousko FL On motion of PE, soderzhasheho podvyzhnuyu vnutrennyuyu Massa // *Dokl. RAS*. T. 2005. 405, № 1. P. 56–60.
11. Chernousko FL Analysis and optimization of motion pulmonary embolism, a branch posredstvom podvyzhnoy inner Fire-proof compounds // *Applied Mathematics and Mechanics*. 2006. T. 70, Vol. 6. S. 915–941.

Рецензія/Peer review : 27.10.2016 р.

Надрукована/Printed : 10.11.2016 р.

Стаття рецензована редакційною колегією