

STRATEGY FOR PLANNING MOBILE ROBOT TRAJECTORY CONSIDERING ITS MOMENT STATE AND ENVIRONMENT

R. Trifonov, G. Pavlova

Faculty of computer systems and technology, Technical University of Sofia, 8 Kl. Ohridski Bul., Sofia, Bulgaria, e-mail: r_trifonov@tu-sofia, raicheva@tu-sofia.bg

Abstract: Presented research aims to develop strategies for the application of artificial intelligence methods and tools in the conceptual planning of movements and actions of the robot, taking into account its actual state at a localized intermediate moment, specific environment and planned trajectory with complete or partial mobility of the robot.

Key words: mobile robots, conceptual planning, artificial intelligence, moment state

СТРАТЕГИИ ЗА ПЛАНИРАНЕ ТРАЕКТОРИЯТА НА ДВИЖЕНИЕ НА МОБИЛЕН РОБОТ С ОТЧИТАНЕ НА МОМЕНТНОТО МУ СЪСТОЯНИЕ И СРЕДАТА

Р. Трифонов, Г. Павлова

*Факултет Компютърни системи и технологии, Технически университет – София, бул. „Кл. Охридски“
8, София, България, e-mail: r_trifonov@tu-sofia, raicheva@tu-sofia.bg*

Резюме: Настоящото изследване е ориентирано към изграждане на стратегии за приложение на методите и средствата на изкуствения интелект в етапа на концептуалното планиране на движения и действия с отчитане действителното състояние на робота в локализиран междинен момент, конкретна среда и планирана траектория при пълна или частична мобилност на робота.

Ключови думи: мобилни роботи, концептуално планиране, изкуствен интелект, моментно състояние

УВОД

Интеграцията на две изключително динамични области, каквито са роботиката и изкуствения интелект безспорно ще доведе до изключително високи резултати. Сами по себе си те покриват много широки области и интеграцията е сложна и широкообхватна. В основата на развитието им стои човек и по-точно неговото движение и действие (функция на роботите), и интелигентно поведение при изпълнението им (функция на изкуствения интелект). Тъй като и в двете направления не може човек да покрива всички дейности, постигнати от природата, се търсят инженерни аналози на цялата заобикаляща ни среда. С други думи разработват се аналози на живата природа, създаващи условия за движение и действие, които осигуряват най-високи показатели при изпълнение на желано действие.

Настоящото изследване е ориентирано към изграждане на стратегии за приложение на методите и средствата на изкуствения интелект в етапа на концептуалното планиране с отчитане действителното състояние на робота в локализиран междинен момент и определяне на средата като възможност за движение при пълна или частична

мобилност на робота. Няма претенции за изчерпателност, но представя една друга гледна точка за концептуално планиране.

ТЕОРЕТИЧНА ПОСТАНОВКА

Движението и действието на роботите се реализира чрез програмиране. Отделя се изключително много внимание на алгоритмите и езиковата реализация за постигане на определени качествени показатели. Концепцията на изкуствения интелект (ИИ) изгражда принципи на действие на роботите на база структурирани база данни и знания, които пряко не зависят от конкретната конструкция и позволяват да се вземат решения за действие с отчитане на много показатели, както по отношение на средата, така и за моментното състояние на робота. В основата на развитие на тази концепция стои изучаване на действието на човешкия мозък и създаване на негов инженерен аналог [1].

Роботите изпълняват много задачи, което определя изключително голямото им многообразие. Едно от направленията, което даде тласък в развитието им са

индустриалните или стационарни работи. Характерен белег за тях е наличието на неподвижно звено спрямо земята, което ги определя като стационарни. При тях също се ползват методите и средствата на ИИ за движение и действие съобразно изискванията на конкретния технологичен процес, медицинска манипулация и т.н. [2].

Друго направление са мобилните работи, които нямат неподвижно звено спрямо земята. Тук многообразието също е голямо. Копирайки живата природа има аналози на човек, животни, змии, гущери и насекоми (всичко, което се движи по повърхността на земята), птици, самолети, хеликоптери и насекоми (всичко, което се движи във въздуха), риби, параходи и подводници (всичко, което се движи по повърхността и под водата). Няма как да се пропусне многообразието на роботите без аналози в природата – на колела, нанороботи и др. От гледна точка на ИИ те имат много общи изисквания, които лесно се адаптират към конкретните средства.

Мобилните работи за повърхността на земята се движат най-често в неструктуриран и грапав терен, действат в опасна среда, в ограничени пространства, осъществяват спасителни действия и др. Поради това напълно автономните работи трябва да имат значителни когнитивни способности. При изпълнението на своите задачи роботът трябва да определи своето местоположение, да състави обобщен модел (карта) на заобикалящата го среда, използвайки информацията от сензорите си, да планира курс на движение съобразно модела на средата, за да постигне целта си и след това да действа по зададен план за да изпълни задачата си [3].

За да може роботът да вземе адекватно решение за изпълнение на целевата задача, той трябва да може да се локализира и да картографира средата, в която се намира в реално време, да планира оптимална траектория с цел избягване на статични и динамични препятствия съобразно своето вътрешно състояние. Така ситуацията за вземане на решение се свежда до оценка на конкретното състояние на два обекта – външната среда с множеството параметри, които я определят и робота със своята характеристика и моментно състояние. Възможните решения са в три групи:

- Не съществуват проблеми както по отношение на средата, така и за робота (роботът е здрав, осигурен с енергия и в средата за движение няма препятствия) - всички алгоритми за планиране на траектория са допустими и оптимизацията се търси по критерии за качеството на движението. Приложими са „твърди“ програмни реализации;
- Съществуват проблеми, решими чрез методите и средствата на ИИ – съобразно моментното състояние на робота (частична загуба на мобилност, недостатъчна енергия за достигане на целта) се прави планиране на траектория на движение за достигане до крайната цел, ремонтна и/или зареждаща станция. Планираната траектория трябва да бъде съобразена с кинематичните възможности на робота и особеностите на средата за движение (непроходима, проходима при пълна и частична мобилност);
- Невъзможност за движение и действия без ремонт и/или зареждане на робота на място.

ПРОБЛЕМИ В МЕТОДИТЕ ЗА ВАЛИДИРАНЕ НА СРЕДАТА

Съществуват много методи за локализация на робота в определен момент от време, както и за валидиране на средата, в която предстои движението за достигане на целевата позиция. Базови проблеми, които могат да възникнат при определяне на местоположението на робота в пространството и изготвяне на карта на средата, са [4]:

- Машабите на неизвестната средата. На практика, колкото по-голяма е средата, броят на маркерите става по-голям, което обикновено води до увеличаване на изчислителните процедури на алгоритъма;
- Грешка при локализация: Тази грешка обикновено се оценява като стандартно отклонение като функция на броя на маркерите. Измерват се точността на алгоритмите и тяхната отговорност при оценката на позицията на робота;
- Динамика на средата на роботите: Този критерий измерва способността на робота да работи в случай на промени в местоположението на други агенти в околната среда. Това създава голямо предизвикателство за алгоритмите за локализация и планиране на траекторията, тъй като въвежда несъответстващи измервания на сензорите;
- Устойчивост срещу шум (смущения) и несигурност: Алгоритъмът би трябвало да може да функционира добре дори в случай на шумови данни или двусмислени наблюдения и висока несигурност. Смущенията биха могли да се дължат и на злонамерени атаки, които да се опитат да подадат опасни команди на робота.

ПРОБЛЕМИ В МЕТОДИТЕ ЗА ВАЛИДИРАНЕ НА МОМЕНТНОТО СЪСТОЯНИЕ НА РОБОТА

Роботите, като всяко мобилно средство, се нуждаят от техническа поддръжка, тъй като дори при предвидени условия на експлоатация променят характеристиките си във времето. Това в значителна степен се отнася за работи, използвани за движение и действие в екстремни условия. Освен регулярните и предвидени в инструкциите за експлоатация проверки се налагат и извънредни при настъпване на критични ситуации. На база допустими и недопустими повреди се вземат решения как да продължи изпълнението на задачата - отиване до целевата работна позиция или до най-близката ремонтна база, респ. станция за зареждане.

Без претенции за цялостно разписване на проблема, наложителна е оценка за:

- Състоянието на енергийния източник (батерия) и възможност за достигане на целевата позиция с наличната енергия;
- Проверка на сензорно информационната система. При необходимост самодиагностика и/или въвеждане в експлоатация до най-близката ремонтна база;
- Оценка на състоянието на системата за придвижване по управляемите степени на свобода и по-точно способността за коректно отработване на подадените управляващи команди. Оценката приключва с

констатация за движение при проектираната кинематична пълноценност или с частична загуба на мобилност, но с възможност за продължаване на движението до най-близката ремонтна база или до целевата позиция. И последно движението е невъзможно без ремонт в локализираната позиция.

Такъв тип оценка трябва да се извърши и по съоръженията, предвидени за извършване на действията на целевата позиция.

На дистанционна проверка подлежат и средствата за комуникация с оператор и/или други супервайзори. Също така и други системи, които косвено подобряват качеството на движение и действие на робота, като пасивни адаптори, контактните части с грунда и др.

Съществен момент в оценка на състоянието е толерантността към грешките. Той включва триетапен процес: откриване на грешки, диагностика на грешки и възстановяване на грешки [5]. Откриването на грешки идентифицира грешно състояние, докато диагностиката на грешките определя причините за неизправността, включително характера и точното местоположение на грешката. Когато се установят причините и местоположението на повредата, тогава могат да се предприемат мерки за възстановяване, за да се предотврати повторното възникване на повреда.

Това може да бъде направено или чрез деактивиране на повредените компоненти от повторно извикване, или поправяне на дефектното устройство дистанционно или в съответния сервиз.

В роботиката има два подхода, при които обикновено се открива грешката: подход, базиран на модела и базиран на данни. При първия подход се прави модел как трябва да се държи системата и резултатите от наблюдения по време на работа се сравняват спрямо този модел. Отклонение от модела се интерпретира като симптом на грешка. Проблемите с този подход са свързани с това, че конструирането на моделите е трудно и често е невъзможно за системите в реалния свят [6].

За да се реши този проблем е разработен алтернативен подход, наричан подход, основан на данни. Въз основа на данните, получени по време на работа се оценява състоянието и на базата на изчислени отклонения се правят прогнози за работата на системата.

ПОДХОД ЗА ИЗГРАЖДАНЕ НА СТРАТЕГИИ

Обикновено при решаването на какъвто и да е проблем се търсят най-преките пътища за изпълнение. Така стоят нещата и при организиране на движението и действието с мобилни роботи. Често пъти влизайки в подробности за решаване на конкретен проблем, което също е наложително и полезно, се пропускат съществени факти, които опорочават решението и/или намаляват ефекта, а в някои случаи го правят невъзможно за изпълнение. За да се избегнат такива колизии е наложително преди търсене на конкретни решения да се изгради концептуално стратегия, в която по възможност се маркират всички проблеми, които стоят за решение и пренебрегването на които биха опорочили крайния резултат. Това са най-трудните задачи, тъй като предполагат по-широк кръг от знания и поглед към решаване на проблема. Подценяват се често, тъй като видимият ефект трудно се забелязва, но

пренебрегването им води до „хубави“ решения, но практически неприложими [7].

Типизиране на функционалните задачи и нива на съответствие:

Задача 1. Инициализация. Роботът трябва да разполага с глобалната карта за първоначалната позиция, дестинацията, финалното работно пространство и моментното си състояние. Трябва да се направи мониторинг на сензорите, да се провери тяхната функционалност и съгласуваност с инициализираните променливи. Задвижванията трябва да бъдат проверени, като се извърши проверено предварително зададено движение. Трябва да се провери последователността на изпълнение на командите и обратната връзка.

Задача 2. Планиране. На база глобалната карта в 2D или 3D трябва да се планира траектория, по която да се придвижи робота. Тя трябва да бъде енергийно-оптимална, без или с преодолими препятствия, съобразена според пълна или частична мобилност и възможността на робота да преодолява наклони и препятствия. Трябва да се направи оценка на необходимото време и консумацията на енергия за всички задачи, програмирани в рамките на мисията, като се определят граници на безопасност. Ако мощността на робота не е достатъчна, трябва да се вземат мерки преди стартиране на операцията (например дозареждане на батерията).

Задача 3 Движение. Когато стартира изпълнение на задачата за движение към целевата позиция, сензорната система трябва да следи за непредвидени обстоятелства, свързани с всички промени в средата и състоянието на робота.

Задача 4 Действие. Роботът трябва да пристъпи към действие за достигане на целевата позиция и според състоянието си изпълнява напълно или частично задачата.

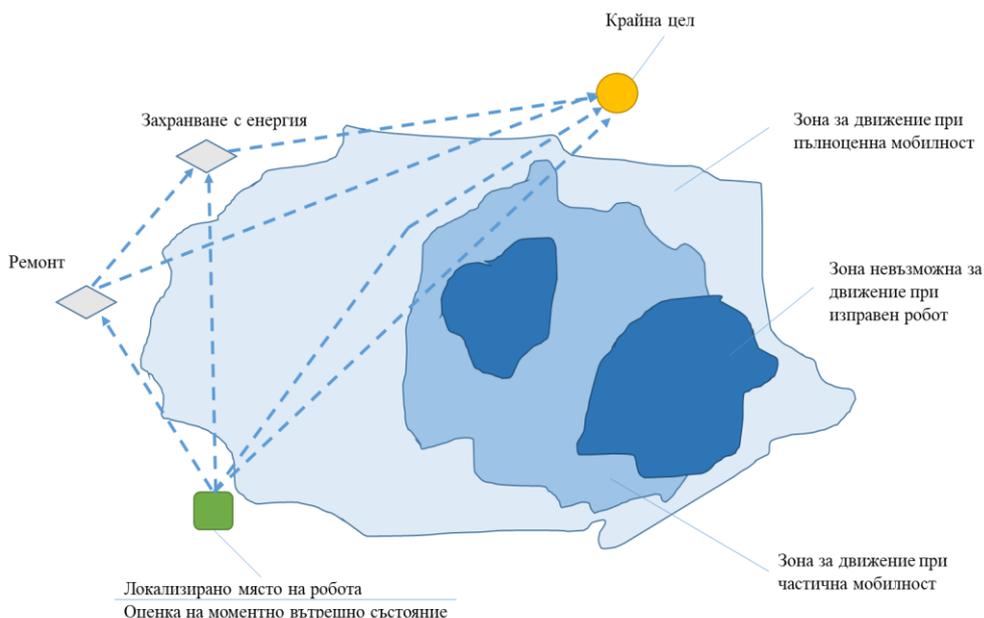
ПРИМЕРНА СЦЕНА НА ДЕЙСТВИЕ В 2D ПРОСТРАНСТВО

Една примерна сцена на действие според предлаганата стратегия е показана на фиг. 1. Локализиране на робота е маркирано. От тази позиция се изгражда стратегия за придвижване до целевата точка, където е предвидено действието. С наличните на робота и външни сензори се картографира средата, в която предстои движението и кое е най-близкото разстояние на възможно придвижване. Определя се състоянието на енергийния източник от гледна точка на параметри за осигуряване с енергия до целевата позиция и ако е достатъчно не се планира допълнително захранване. След това се оценяват моментните кинематични възможности на робота за придвижване и изпълнение на планираното действие. Ако състоянието позволява се планира траектория с преодоляване и/или заобикаляне на препятствия по пътя. Планирането на траекторията е съобразена с мобилността на робота или частичната загуба на мобилност, позволяваща обаче достигане до крайната цел. В противен случай се планира траектория до най-близката ремонтна база или в краен случай се информира. Такава траектория се планира и в случаите, когато е необходимо поправка на устройствата за действие на работната позиция. След ремонта отново се оценява състоянието на източника за захранване и се планира траектория с или без зареждане.

Симулация на модела е направена с робот Хекси на фирмата Аркботикс, снабден с един ултразвуков сензор и сензор за отчитане на напрежението на батерията. . Използва се стандартен SLAM алгоритъм за картографиране на средата. Ултразвуковият сензор дава възможност да бъде направен само 2D модел на средата, което създава проблеми при определяне височината на препятствията. Основната стратегия за управление в режима за заобикаляне на препятствия е, че изборът на

посока на движение е тази, която има най-малък ъгъл на отклонение от целевата посока.

Навигацията се осъществява от три модула: за глобално планиране на маршрута, за локално планиране и за изход от проблемни ситуации. Подаването на сигнал от сензора за отчитане на напрежението означава, че роботът има частична загуба на мобилност и трябва да промени посоката на движение като се насочи към най-близката станция за захранване с енергия.



Фигура 1. Примерна сцена на действие на робот

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предлаганата стратегия за развитие на интелигентни методи в мобилната роботика предполага използването им в концептуалното планиране, което не изключва и другите нива. Целта е да предпази изследователите от решения, които не са съобразени с глобалната действителност и след продължителна работа да се върнат на изходна позиция. Интелектът трябва да предпазва от неразумни действия, а не само да ги констатира. Предстои още много да се работи в това направление за да се типизират задачите и подходите за конкретни решения.

БЛАГОДАРНОСТИ

Научните изследвания, резултат от които са представени в настоящата публикация, са финансирани от Вътрешния конкурс на ТУ-София 2017 г. по проект № 172ПД0001-09

ИЗПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА

[1] Asada, M., K. Hosoda, Y. Kuniyoshi, , "Cognitive developmental robotics: A survey," *IEEE Trans. Auton. Mental Develop.*, vol 1, № 1, p. 12–34, May 2009.

- [2] G. Rzevski, „On Conceptual Design of Intelligent Mechatronic Systems,” *Mechatronics* , vol. 13, p. 1029 – 1044, 2003.
- [3] Hadji, S.E.,S. Kazi, T. H. Hing, „A Review: Simultaneous Localization and Mapping Algorithms for Mobile Robot,” *1st International Conference of Recent Trends in Information and Communication Technologies*, Johor, Malaysia, 12th -14th September, 2014,.
- [4] C. Nafoukip, „Spatial Navigation Algorithms for Autonomous Robotics,” München, 2015.
- [5] Anders Lyhne Christensen, Rehan O’Grady, Mauro Birattari, Marco Dorigo, „Automatic Synthesis of Fault Detection Modules for Mobile Robots,” *Proceedings of the 2nd NASA/ESA Conference on Adaptive Hardware and Systems . IEEE Computer Society*,, 2007.
- [6] A. L. Christensen, „Fault Detection in Autonomous Robots,” PhD thesis, Universit’e Libre de Bruxelles, Brussels, Belgium, 2008.
- [7] Mohammad M. Aref, Reza Oftadeh, Reza Ghabcheloo Jouni Mattila, „Fault Tolerant Control Architecture Design for Mobile Manipulation in Scientific Facilities,” *International Journal of Advanced Robotic Systems*, October 2014.