

TEHNICA EVITĂRII OBSTACOLELOR UTILIZÂND ROBOȚI REDUNDANȚI

AVOIDANCE OBSTACLES TECHNIQUE USING REDUNDANT ROBOTS

Aurel FRATU, Mariana FRATU
Universitatea "Transilvania" din Brașov

Rezumat. O structură de control pentru un robot redundant trebuie să asigure evitarea obstacolelor în spațiul de lucru, în timpul deplasării efectorului final de-a lungul traiectoriei predefinite. Oprirea mișcării trebuie făcută în punctul critic al traiectoriei, cel mai apropiat de obstacol, situat pe suprafața unei sfere imaginare, numită sferă de influență care înconjoară obstacolul. Algoritmii de control a mișcării robotului trebuie să permită identificarea punctelor critice ale traiectoriei de mișcare și a distanței critice față de obstacol. În articolul de față, în vederea testării algoritmilor de control, autorii propun folosirea metodei modelării și simulării comportamentale. Pe modelul virtual al robotului redundant se testează comportamentul său într-un mediu virtual de operare.

Cuvinte cheie: Algoritmi de evitare a obstacolelor, mediu virtual de operare, mediu real de operare

1. Introducere

Controlul mișcării robotului presupune planificarea traiectoriei de mișcare, etapă în care se face un compromis între timpul și precizia de poziționare. În cazul robotului industrial, ambele performanțe sunt esențiale pentru a îndeplini cu succes o sarcină robotică, ce poate fi inclusă într-un mediu de producție. Analiza acestor performanțe a fost realizată la nivelul unui robot virtual.

Mișcarea unui robot virtual într-un spațiu virtual a fost cercetată în sensul dobândirii de către acesta a capacității de adaptare la condiții specifice, fără intervenția omului. Pentru a atinge acest obiectiv, în cazul unui robot real, se pot folosi o serie de strategii, cum ar fi strategia cartografierii spațiului, strategia scanării suprafețelor, strategia metodelor iterative și altele.

În cazul metodelor iterative, algoritmul de planificare a traiectoriei de mișcare construiește traiectoria bazându-se pe un set de poziții spațiale, iar sistemul de control inteligent transpune această traiectorie în poziții spațiale ocupate de robot.

Prin metodele iterative se pot ajusta performanțele sistemului robot la un nivel care îi va permite să se adapteze la situații noi. Procesul de ajustare continuă, potrivit protocolului stabilit, până se obține acuratețea dorită.

Abstract. A control structure for a redundant robot must assure the obstacles avoidance in a workspace, during motion of the end-effector, along a pre-selected trajectory. The stopping motion must be done in the path critical point closest to the obstacle, situated on the imaginary sphere surface, namely sphere of influence surrounding the obstacle. The robot control algorithms of robot motion, must allow the identifying the critical points of the motion path and critical distance until obstacle. In this paper, for testing the control algorithms, the authors propose the using of the modeling and behavioral simulation method. On the virtual robot model one test is behavior inside virtual operating environment.

Key words: Obstacles avoidance algorithms, virtual operating environment, real operating environment

1. Introduction

The robot motion control supposes the motion path planning, step in which it needs the compromise between the time and precision of the positioning task. In the case of the industrial robot, both performances are essentials to perform with success a robotic task, which can be included into a productive environment. The analysis of these performances has been realized at the virtual robot level.

The virtual robot's movement inside virtual space has been researched trying to give them the capability to adaptation at specific conditions without human interference. To achieve this goal, in the real robot case, one can be use several strategies, including spatial cartography strategy, area sweeping strategy, iterative methods strategy, etc.

In the case of iterative methods, the planning algorithm of the motion path builds the path based on a set of spatial positions, and the intelligent control system transpose this path into space positions occupied by robot.

With iterative methods one can adjust the robot performances at a level such it allow to adapt at a new situation. The adjusting process continues, conform the protocol established, till one obtain the accuracy needed.

2. Tehnica evitării obstacolelor - parte componentă a soluțiilor de software integrat

Soluțiile de software integrat includ abilitatea de evitare a obstacolelor pentru diferite tipuri de sisteme mobile, de la jucării-robot la roboți autonomi sofisticăți.

Tehnica evitării obstacolelor este o tehnică de control în timp real, care utilizează calități proprii roboților redundanți. Termenul „evitarea obstacolelor” semnifică un set de tehnici software care permit sistemelor mobile, cum sunt roboții mobili și roboții manipulatori, să își ajusteze traiectoria de mișcare în acord cu mediul înconjurător [1]. Suportul software utilizat pentru măsurarea distanțelor până la obstacole și soluțiile de control a actuatorilor, oferă sistemelor mobile reflexe de evitare inteligentă a obstacolelor, chiar când obstacolele sunt ele însele în mișcare.

În domeniul aplicațiilor cu roboți există adesea obstacole între robot și adresele țintă. Roboții încearcă să evite coliziunea, prin planificarea unei traiectorii în jurul obstacolelor. Datorită complexității ridicate a acestui proces, algoritmi de ocolire a obstacolelor utilizează controlul în buclă închisă, cu ajutorul căruia roboții replanifică continuu pozițiile lor în jurul obstacolelor. În situația în care un obstacol blochează calea directă către ținta finală, robotul ocolește o parte a obstacolului până când găsește poziția din care se poate deplasa direct către ținta finală.

Robotul pornește și merge drept către ținta finală. Când întâlnește un obstacol interpus la o anumită distanță, între el și ținta finală, robotul vizează o țintă intermediară, aproape de obstacol. Robotul merge în jurul obstacolului pe drumul scurt, fără să ajungă în contact cu obstacolul.

Utilizând controlul reactiv, robotul reevaluează continuu poziția țintă, își recalculează continuu traiectoria și trece prin apropierea obstacolului. Când întâlnește următorul obstacol, robotul vizează ținte adiționale intermediare, până când obține o traiectorie neobstrucționată către ținta finală [2].

Robotii pot întâlni în drumul lor alți roboți. Dacă roboții adversari nu utilizează tehnica evitării obstacolelor, coliziunile cu aceștia sunt inevitabile.

3. Generarea mișcării în câmp potențial artificial

Principiul generării mișcării într-un câmp potențial artificial este foarte simplu: mișcarea robotului este obținută din aplicarea unei forțe de atracție, generate de către o funcție obiectiv și a unei

2. The obstacles avoidance techniques - component part of the embedded software solutions

Embedded software solutions include obstacle avoidance ability various types of mobile systems, from toys-robot to sophisticated autonomous robots.

Obstacles avoidance technique is a real time control technique, which utilizes the inherent qualities of redundant robots. The term "obstacles avoidance", describes a set of software techniques that allow mobile systems, such as the mobiles robots and manipulators robots, to adjust their motion trajectory according to their surroundings [1]. The software support used for the distances measurement to the obstacles and actuator control solutions, gives autonomous systems the reflexes to avoid the obstacles intelligently, even when those obstacles are in motion themselves.

In the robotic application field, there are often obstacles between the robot and its goal location. The robots try to avoid collision by planning a path around the obstacles. Due to the highly complexity of this process, the obstacle avoidance algorithms uses closed-loop control by which the robots continually replan their positions around obstacles. In the event that an obstacle blocks the direct path to the final goal, the robot surrounds one side of the obstacle, until it finds the position such that it can move directly to its final target.

The robot starts and goes straight towards its final target. When the robot comes across an obstacle intercalated a certain distance of itself and of final target, it aims at an intermediate target nearly the obstacle. The robot goes around the obstacle on the short way, unless it reach at the touch with the obstacle.

Using reactive control, the robot continually re-evaluates its target position, continually recomputes its path until it pass nearly the obstacle. When comes across future obstacle, the robot aims at additional intermediate targets until it obtains an unobstructed path to the final target [2].

The robots can occasionally get against other robots. If opponent robots do not use obstacle avoidance technique, collisions with these are inevitable.

3. Artificial potential field motion generation

The principle of the generating of the motion inside artificial potential field is extremely simple: the robot motion is derived from the application of an attractive force, generated by the goal function

forțe de respingere, generată de către obstacol [3].

Funcția potențial artificial, definită pentru o poziție arbitrară X a robotului, este de forma:

$$U(X) = U_g(X) + U_r(X), \quad (1)$$

unde $U_g(X)$ este potențialul de atracție, produs de funcția obiectiv pentru poziția arbitrară X , iar $U_r(X)$ este potențialul de repulsie, indus de către obstacol la poziția X .

Forța rezultantă F este atunci:

$$F(X) = F_g(X) + F_r(X). \quad (2)$$

Forța rezultantă este dată de:

$$F(X) = -\nabla U(X) \quad (3)$$

Forța atractivă $F_g(X)$ este forța care ghidează robotul către țintă, iar forța de repulsie $F_r(X)$ este forța indusă de către obstacol.

Odată calculată, forța rezultantă $F(X)$ este apoi simplu transformată în semnale de comandă care asigură mișcarea robotului.

Dificultatea, în cazul acestor metode, constă în definirea potențialului de atracție, respectiv de repulsie. Această metodă nu dă rezultate bune în cazul roboților care au constrângeri cinematice [4].

Constrângerile cinematice au o implicație importantă, și anume: viteza robotului fiind impusă, trebuie să ne asigurăm că în orice moment există suficient spațiu liber în fața robotului, astfel încât următoarea secvență de mișcare să fie posibilă. Acest lucru face ca robotul să evite întoarcerile bruște și să treacă aproape de obstacole. La nivelul arhitecturii de control, aceasta se face prin acordarea corectă a parametrilor de câștig ai controlerelor.

Cele mai multe funcții potențial de repulsie, propuse în literatură, depind numai de distanța până la obstacol. Un inconvenient major al metodelor bazate pe funcții potențial este că obstacolul poate influența deplasarea robotului, chiar dacă robotul se mișcă într-o direcție paralelă cu acesta. Acest lucru poate conduce la mișcări neregulate, în special în cazul în care descrierea mediului este poligonală.

4. Evitarea obstacolelor într-un mediu cu constrângeri

Informațiile despre mediul de operare al robotului se obțin de la senzorii imbarcați și de la senzorii externi, incluși în bucle externe de control. Informațiile senzoriale permit dirijarea robotului către țintele stabilite, prin ocolirea zonelor periculoase. În **mediul de operare real** se utilizează diferite sisteme senzoriale, cum sunt sistemele cu raze infraroșii, cu ultrasunete și

and of repulsive force, generated by the obstacle [3].

The artificial potential function defined at the arbitrary robot position X , is of the form:

$$U(X) = U_g(X) + U_r(X), \quad (1)$$

where $U_g(X)$ is the attractive potential produced by the goal at the position X , and $U_r(X)$ the repulsive potential induced by the obstacle at the position X .

The resultant force F is then:

$$F(X) = F_g(X) + F_r(X). \quad (2)$$

The resultant force F is calculated with:

$$F(X) = -\nabla U(X) \quad (3)$$

The attractive force, $F_g(X)$ is the force which guides the robot to the goal and the repulsion force, $F_r(X)$ is the force induced by the obstacle.

Once computed, the force $F(X)$ is then simply transformed into input command signals, which assure the robot motion.

The difficulty with such methods consists in the definition of the attraction, respectively repulsion potential. This method, do not work quite well for robots that have kinematics constraints [4].

This kinematics constraints has an important implication: the robot's speed being imposed, must be sure that at any time there is enough free space in front of the robot such that the next motion sequence will be possible. These things make the robot to avoid sharp turns and get by close to obstacles. At the level of control architecture, it is made, by tuning properly the controllers' gain parameters.

Most of the proposed repulsive potential functions in the literature only depend on the distance to the obstacle. A major drawback of potential functions is that obstacle can to have an influence on the robot even if the robot is moving in a direction parallel to them. This thing can lead to irregular motions, especially in the case where the environment description is polygonal.

4. Obstacles avoidance in the environment with constraints

The information about the robot's operating environment is derived from its onboard sensors and external sensors, included in the external control loops. The sensorial information enables the steering of the robot, to the designated target and out of difficult areas.

In **the real operating environment** one supports any environment sensors systems, including

sistemele video.

Evitarea obstacolelor în spațiul 3D poate fi realizată cu arhitecturi simple de control reactiv. Pentru identificarea obstacolelor orizontale și verticale sunt necesare misiuni de explorare.

În general, sistemele de control ale roboților redundanți reclamă anumite mijloace de detectare a obstacolelor din drum și o capacitate de manevră pentru evitarea lor.

În vederea realizării misiunii de evitare a obstacolelor într-un spațiu 3D, conexiunile dintre sistemele de detectori și sistemele de actuatori ai robotului sunt optimizate prin algoritmi specifici [5].

Mediul virtual de operare constă într-un spațiu virtual cu obstacole orizontale și verticale, utilizat în experimente virtuale. În timpul experimentelor virtuale robotul trebuie să evite obstacolele și să urmeze un coridor liber. De asemenea, robotul este expus la constrângeri constante, care de asemenea trebuiesc simulate. În vederea stabilizării și menținerii poziției sale, robotul trebuie să compenseze influențele externe, prin comenzi corespunzătoare.

5. Aplicații

În figurile de mai jos sunt prezentate exemple de sisteme mobile virtuale care operează în medii virtuale.

Autorii lucrării de față au realizat două sisteme robot virtuale folosind sistemul de programare vizuală BORLAND-Delphi. Primul sistem mobil virtual operează în spațiul virtual 2D, presărat cu obstacole, figura 1. Al doilea sistem robot virtual operează în spațiul virtual 3D, mărginit de pereți, figura 2. Cele două sisteme virtuale pot fi folosite la explorarea mediilor virtuale și servesc, ca instrumente de lucru, la stabilirea punctelor critice ale traiectoriilor de mișcare și a distanțelor critice dintre sistemele robot mobile și obstacole.

infrareds, ultrasounds, and video systems.

The obstacles avoidance in 3D-space, can be achieved with simple reactive control architectures. Several exploration missions are necessary for identify the horizontals and verticals obstacles.

Generally, the control systems of redundant robots require some means of detecting obstacles in its path, and a capability of manoeuvre, to avoid them.

In order to achieve the obstacle avoidance in the 3D-space, the connections between the detectors systems and the actuators systems are optimised by specific algorithms [5].

The virtual operating environment consists in a virtual space with horizontal and vertical obstacles, used in virtual experiments. During the virtual experiments the robot has to avoid the obstacles and follow a free corridor. Also, the robot is exposed to a constant constraints that must also be simulates. In order to stabilize and maintain its position, the robot has to compensate the external influences by corresponding commands.

5. Applications

In the figures below, is presented the virtual mobile systems which operate into virtual environments.

The authors of this paper has realised two virtual robot systems, using the visual programming system BORLAND Delphi. The first virtual mobile system operates into 2-D virtual space populated with obstacles, Figure 1. The second, virtual robot system operates into 3-D virtual environment constrained by walls, Figure 2. Both virtual systems can be used to the exploration of the virtual environments and serve, as working instruments, to establish the critical points of the movement path and of the critical distances between mobile robot systems and obstacles.

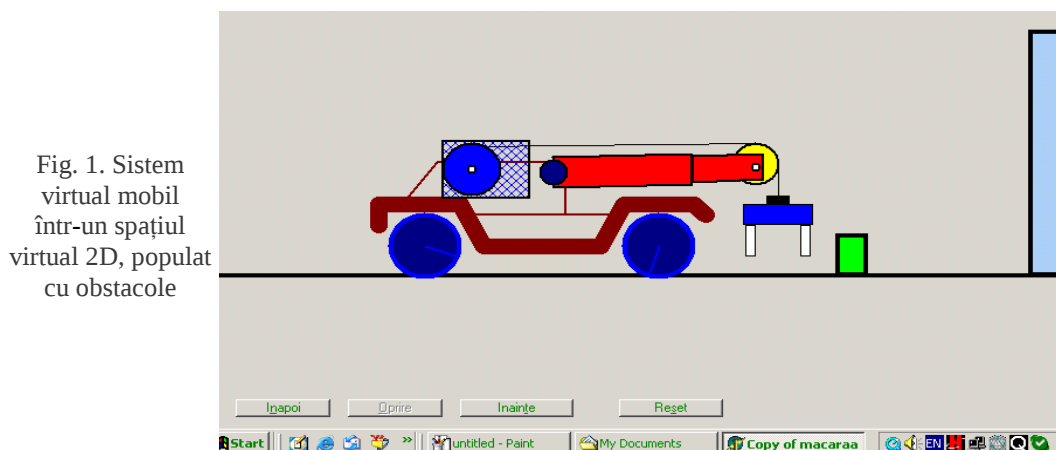


Fig. 1. Sistem virtual mobil într-un spațiu virtual 2D, populat cu obstacole

Fig. 1. Virtual mobile system inside 2D virtual space, populated with obstacles

Fig. 2. Sistem robot virtual într-un mediu virtual 3D

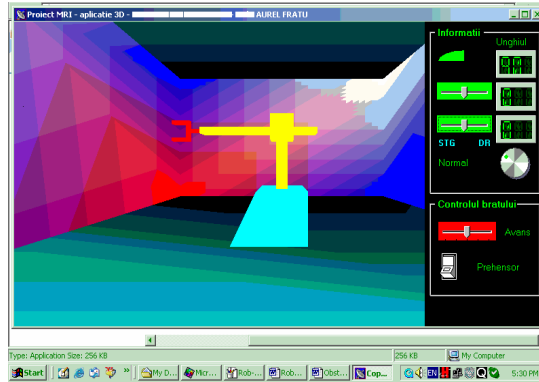


Fig. 2. Virtual robot system inside 3D virtual environment

6. Concluzii

Evitarea obstacolelor este o trăsătură cheie a roboților redundanți, care le permite să se miște autonomi în jurul obstacolelor.

Soluțiile software sunt în general independente față de structura senzorială utilizată pe robot și în mediul exterior. Soluțiile de evitare a obstacolelor sunt utilizate în combinație cu maparea dinamică a zonei, planificarea traiectoriei și alte sisteme de control specifice în navigație. Configurația de control trebuie să ofere soluția oportună, pentru a beneficia de utilizarea redundanței în astfel de situații.

Evitarea obstacolelor pe durata poziționării efectorului final este inclusă, în mod obișnuit, în nivelul de programare a sarcinii sistemelor robot. Evitarea obstacolelor în timp real este dificil de realizat datorită cantității vaste de date care trebuie să fie comunicate între unitatea de procesare de nivel înalt și servosistemele robotului.

Unele strategii de explorare experimentate pentru mediului de operare virtual pot fi recomandate pentru explorarea mediului de lucru real.

Strategia de evitare a obstacolelor oferă roboților mobili reflexe specifice vieții și le permite să navigheze într-un mod inteligent.

Bibliografie

- Shi, J., Tomasi, C.: *Good features to track*. Proceedings of IEEE International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR '94), p. 593-600, ISBN 0-8186-5825-8, Seattle, Wash, USA
- Alami, R. et al.: *An architecture for autonomy*. The International Journal of Robotics Research, Vol. 17(4), April, 1998, p. 315-337, ISSN 0278-3649, SAGE Publications Publisher, London, UK
- Jagannathan, S., Lewis, F. L., Kai, L.: *Motion control and obstacle avoidance of a mobile robot with an onboard manipulator*. The Journal of Intelligent Manufacturing, Vol. 5, No. 4, August, 1994, p. 287-302, ISSN 0956-5515, Springer Netherlands Publisher, Nederland
- Choi, S., Jin, T., Lee, J.: *Obstacle avoidance algorithm for visual navigation using ultrasonic sensors and a CCD camera*. The Journal of Artificial Life and Robotics, Vol. 7, No. 3, September, 2003, p. 132-135, ISSN 1433-5298, Springer Japan Publisher,
- Pfeifer, R., Gómez, G.: *Interacting with the real world: design principles for intelligent systems*. The Journal of Artificial Life and Robotics, Vol. 9, No. 1, April, 2005, p. 1-6, ISSN 1433-5298, Springer Japan Publisher,
- Fratu, A., Fratu Mariana: *Artificial Intelligence and the appearance of Intelligent Robots*. Hermeneutica Historiae et Philosophiae Technicae, Liber III, Anno 2005, p. 150-154, ISBN 973-635-744-9, Romanian Academy Publisher, Brasov, Romania

Lucrare primită în ianuarie 2007
și în formă revizuită în februarie 2007

6. Conclusions

Obstacle avoidance is a key feature of redundant robots, which allows to move around the obstacles autonomously.

The software solutions are in generally independent of the sensor hardware used on robot and in external environment. The obstacle avoidance solutions are used in combination with area dynamic mapping, trajectory planning and other control systems specific for navigation. Configuration control must provide a convenient technique, to benefit of utilizing the redundancy in such situations.

Conventional, obstacle avoidance during end-effector positioning is included in the task programming level of the robotic systems. Real time obstacle avoidance is difficult to achieve, because of the vast amounts of data that would have to be communicated between the high level processing unit and the robot servo systems.

Some exploration experimented strategies for of the virtual environment can be usefully for the real work environment exploration.

Obstacles avoidance strategy gives mobile robots life-like reflexes and allows them to navigate intelligently.

References

Received in January 2007
and revised form in February 2007