مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (38) العدد (3) 2016
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (38) No. (3) 2016

تخطيط مسار روبوت متنقل باستخدام V-rep .

الدكتور بسام عطية*
هبه حليوه**

(تاريخ الإيداع 20 / 8 / 2015. قُبِل للنشر في 14/ 6 / 2016)

□ ملخّص □

يشكل تخطيط المسار تحدياً كبيراً أمام إيجاد روبوتات متنقلة ذكية. ويعتبر إيجاد المسار المناسب الخالي من الاصطدامات، وبأقل زمن معالجة وطول مسار ممكن من القضايا البحثية الملّحة حالياً.وتعد طريقة شجرة البحث العشوائي السريعة RRTRapidly exploring random trees من أسرع الطرق التي تقوم بإيجاد مسار مناسب للروبوت كما أنها طريقة سهلة حسابياً ويمكن تطبيقها في بيئات متعددة الأبعاد.

يستعرض هذا البحث خوارزمية RRT ويقدم تطبيقاً لتخطيط مسار حركة روبوت تفاضلي وفق هذه الخوارزمية في بيئتي عمل مختلفتين باستخدام محاكي الروبوتات V-rep. بيّن هذا البحث قدرة الخوارزمية على إيجاد مسار مناسب خلال زمن معالجة قصير نسبياً، كما أظهر قدرة المحاكي V-rep على نمذجة ومحاكاة ثلاثية الأبعاد لحركة الروبوت المتنقل بكفاءة وسلاسة.

الكلمات المفتاحية: تخطيط مسار، روبوت متنقل مستقل،خوارزميات الملاحة،RRT، V-rep.

*أستاذ مساعد – قسم هندسة الميكاترونيك – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – جامعة تشرين – اللاذقية –سورية.
**قائم بالأعمال – قسم هندسة الميكاترونيك – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – جامعة تشرين – اللاذقية –سورية.

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (38) العدد (3) 2016
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (38) No. (3) 2016

Path Planning of Mobile Robot Using V-rep.

Dr. Bassam attieh*
Hiba Hliwa**

(Received 20 / 8 / 2015. Accepted 14 / 6 / 2016)

□ ABSTRACT □

Robot navigation is challenging for building intelligence mobile robots. To find Proper possible path from starting point to target point, that reduces time and distance, avoiding collision with obstacles is a current potential research area. Rapidly exploring random trees (RRTs)is considered as one of the fastest methods to find solutions. Moreover, this algorithm is computationally efficient; therefore, it can be used in multidimensional environments.

This paper reviews the RRT algorithm, and provides application of path planning to differential robot in two different workspaces using Virtual Robot Experimentation Platform(V-REP)simulator. This research clarifies the algorithm's ability to find suitable path in relatively short time, and demonstrated the ability of V-rep to model and 3D simulate of mobile robot's movement efficiently and smoothly.

Keywords: Path Planning, Autonomous Mobile Robot, navigation algorithms, RRT, V-rep.

*Associate Professor, Department of Mechatronics, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.
**Academic Assistant, Department of Mechatronics, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

مقدمة:

يعتبر تخطيط مسار الحركة من القضايا الأساسية في مجال الروبوتات. ويعد العنصر الحاسم في كثير من المهام التي تتطلب البحث عن موقع الهدف والوصول إليه بأفضل طريق وبدون اصطدام بأي عقبات[1]، بالإضافة إلى القدرة على التنقل في بيئة العمل بشكل آلي ودون الحاجة إلى توجيه. وتتنوع الروبوتات التي تحتاج إلى تخطيط لحركتها وتشمل الروبوتات الصناعية والمتنقلة[2].

يعتبر تخطيط الحركة من المتطلبات الأساسية للروبوتات المتنقلة التي تسمح لها بالانتقال إلى الهدف مع تجنب العوائق.ويعد العثور على مسار آمن وقريب من المثالي ويمكن اجتيازه في أقصر زمن ممكنمن أصعب المشاكل في عملية تخطيط الحركة. لذا يجب أن تكون خوارزميات الملاحة navigation algorithms قادرة على تحديد إمكانية حركة الروبوت بين نقطتين في بيئة العمل ومن ثم تحديد كيفية تحريكه للوصول للنقطة المرغوبة [3]. وهذا يتطلب إدراكاً شاملاً لبيئة العمل وموقع الروبوت وخريطة البناء. والانطلاق من تلك المعطيات لتخطيط المسار والتحكم بحركة الروبوت. وتقوم مرحلة الإدراك الشامل لبيئة العمل بفهم كل المعطيات الحسية والبيئة المحيطة بالروبوت. وتستخدم بعدها مرحلة تخطيط الحركة تلك المعلومات في اتخاذ قرار حول المسار الأنسب الذي يجب أن يعبره الروبوت لتحقيق المهمة الموكلة إليه. وأخيراً يتم التحكم بحركة الروبوت لتحقيق هدفه [4] .تُختبر خوارزميات تخطيط الحركة عادة باستخدام محاكٍ للروبوتات،يوفر كل الإمكانيات اللازمة لاختبار قدرة الخوارزمية الموضوعة للوصول إلى الهدف بشكل آمن وسريع لمختلف أنواع الروبوتات وفي بيئات وشروط عمل مختلفة[5].

ويوجد عدد قليل من محاكيات الروبوتات واسعة الانتشار اتجه بعضها لمحاكاة الروبوتات المتنقلة المستقلة في حين اتجهت الأخرى نحو الروبوتات المفصلية الثابتة واستطاعت بعض المحاكيات الجمع بين أنواع الروبوتات المختلفة. وسيستخدم هذا البحث منصة اختبار الروبوتات الافتراضي Virtual Robot Experimentation Platform(V-REP)[6] لما يمتلكه من أدوات تساعد في بناء الروبوت وبيئة العمل المحيطة به وتنفيذ خوارزمية التخطيط الموضوعة واختبار أدائها بالإضافة لشهرته في أوساط الباحثين [7].

أهمية البحث وأهدافه:

يعتبر تخطيط الحركة أحد أهم مهام التحكم الذكي بالروبوتات المتنقلة المستقلة autonomous mobile robot(AMR)[8]. سواء كانت تلك الروبوتات تقوم بمهام تكرارية كعمليات نقل البضائع والمعدات في خطوط التجميع الصناعية أو قيادة السيارة لنفسها في الطرقات [9]،[10]. ويكون الهدف الرئيسي لتلك الروبوتات هو القدرة على قيادة نفسها في بيئة العمل بشكل مستقل تماماً عن أي تدخل بشري.

يهدف هذا البحث لاستعراض إحدى خوارزميات تخطيط المسار شائعة الاستخدام وهي شجرة البحث العشوائي السريعة Rapidly exploring Random Tree(RRT) واختبار قدرتها على إيجاد مسار بين نقطيتين محددتين مسبقاً ومن ثم ربط ذلك المسار بروبوت متنقل ومحاكاة حركته بين هاتين النقطتين.

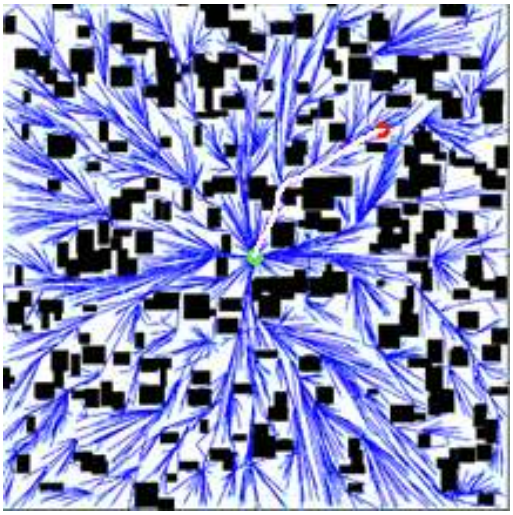
طرائق البحث ومواده:

يستخدم هذا البحث نسخة محاكي V-REP PRO EDU وهي نسخة مفتوحة المصدر ومخصصة للأغراض البحثية. نُفذت كامل عمليات تخطيط المساروحاكاة الروبوت عبر جهاز حاسوب ذو معالج Intel Core i5 بسرعة 1.8GHz وضمن نظام تشغيل Windows 8.1 Enterprise.

ينقسم العمل في هذا البحث إلى عدة أقسام تبدأ بسرد لمحة عامة عن الخوارزمية المتبعة ومن ثم تطبيق تلك الخوارزمية في بيئات عمل مختلفة تتبعها عملية محاكاة ثلاثية الأبعاد لحركة روبوت وفق المسار الناتج وتنتهي باستعراض نتائج تلك المحاكاة.

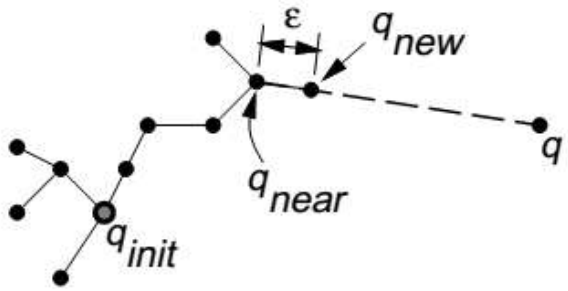
1شجرة البحث العشوائي السريعة Rapidly-Exploring Random Trees(RRT)

هي خوارزمية وبنية معطيات مصممة للبحث الفعال ضمن فضاءات عالية الأبعاد high-dimensional spaces[11]. اعتمدت خوارزمية RRT الأساسية على توسيع شجرة البحث فيها في كل الاتجاهات الممكنة وبشكل عشوائي في كل تكرار لهذه الخوارزمية، وبعد عدد محدد من التكرارات يتم اختبار وجود مسار بين النقطتين المحددتين مسبقاً من عدمه كما هو مبين في الشكل (1) لكن هذه الطريقة تبدو غير فعالة وتحتاج وقتاً طويلاً حتى تستطيع شجرة البحث تغطية كامل مساحة البحث والوصول للهدف.



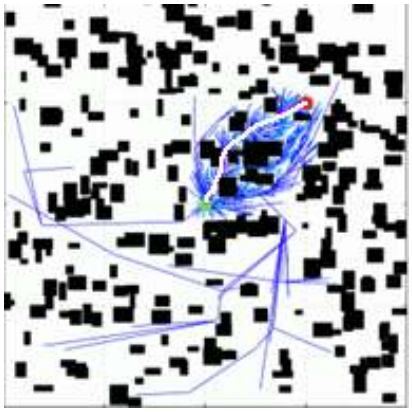
الشكل(1) محاولة الوصول للمسار الواصل بين نقطتين بطريقة RRT الأساسية[12] .

ظهر لاحقاً تحسين لخوارزمية RRT انطلق من فكرة الانحياز للهدف عند إجراء أي عملية توسع جديدة تنطلق عملية البحث في هذه الطريقة من نقطة بداية q_{init} وصولاًلنقطة جديد q_{near} تكون أقرب للنقطة الهدف q. يتم بعدها توليد نقطة جديدة q_{new} تقع على الخط الواصل بين النقطتين q_{near} و q وتكون بعيدة عن q_{near} بمقدار خطوة محددة مسبقاً ϵ كما في الشكل (2).



الشكل(2) توسع عملية البحث[11].

ويتم بشكل دائم التحقق من وصول المسار إلى نقطة الهدف أو الاقتراب منه وعندها تُضاف تلك النقطة للمسار ويحدد ذلك المسار كمسار مفتوح بين النقطتين المحددتين. تصل هذه الخوارزمية بسرعة أكبر للهدف مقارنة بـ RRT الأساسية إلا أن وضع قيمة كبيرة للخطوة ϵ يجعل تلك الطريقة تتصرف بشكل مشابه لـRRT الأساسية [13].



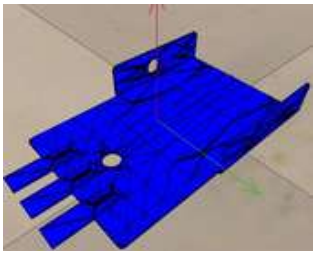
الشكل(3)محاولة الوصول للمسار الواصل بين نقطتين بطريقة RRT مع استخدام انحياز للهدف [12].

1.1 تطبيق خوارزمية RRT باستخدام محاكي V-rep:

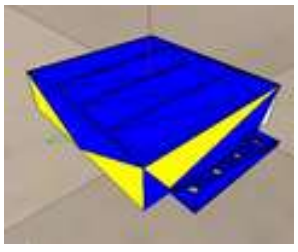
يوفر محاكي V-rep الأدوات اللازمة لمحاكاة الروبوت ابتداء من بناء روبوت وبيئة عمل خاص به و تخطيط مساره وانتهاء باختبار أداء ذلك الروبوت وفق الخوارزمية الموضوعة.

1.1.1 بناء الروبوت وبيئة العمل:

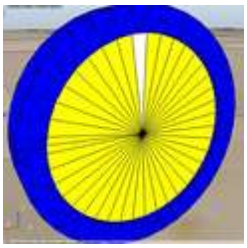
يوفر محاكي V-rep مجموعة من نماذج الروبوتات المختلفة الأشكال والتصاميم والآليات التي يمكن استخدامها لاختبار أنواع مختلفة من برامج التحكم. كما يقدم الأدوات اللازمة لبناء أي روبوت خاص لاحتوائه على مجموعة من الأشكال البسيطة shapes بالإضافة لكافة أنواع الوصلات والمفاصل joints(بدرجات حرية تبدأ من درجة واحدة وصولاً لثلاث درجات حرية) يمكن استخدامها لتمثيل أي نوع من أنواع الروبوتات. وقد قام هذا البحث ببناء روبوت بسيط يتحرك بوساطة عجلتين فقط ويظهر الشكل(4) خطوات بناء الروبوت



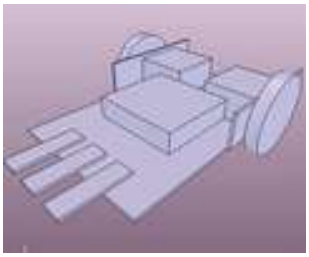
بناء الهيكل العام للروبوت



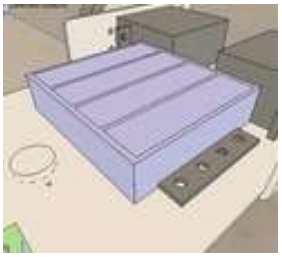
بناء مجسم مكافئ للتغذية



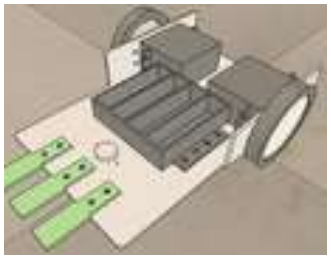
بناء عجلات الروبوت



تجميع الأجزاء



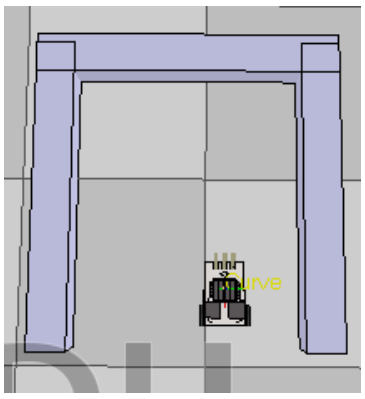
تعريف المشغلات والمفاصل بين الهيكل والعجلات

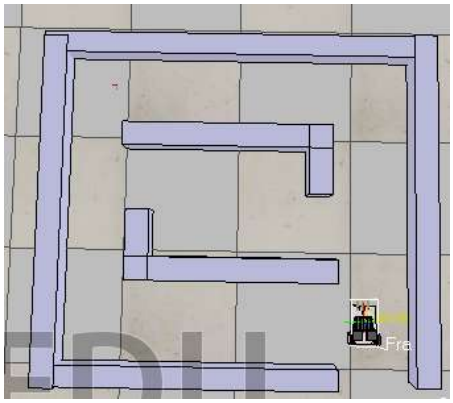


الشكل النهائي للروبوت

الشكل(4) خطوات بناء الروبوت.

بعد بناء الروبوت يتم بناء بيئة العمل الخاص به بما فيها من منافذ وعوائق. وكما في بناء الروبوت يمكن استخدام الأشكال البسيطة في بناء بيئة العمل. وتوفر V-repأيضاً عدداً كبيراً من النماذج والأشكال (جدران وأبواب والأثاث وغيرها) التي يمكن استخدامها لبناء بيئة عمل واقعية بقدر ما يمكن. ويعتمد هذا البحث على نموذجي بيئة عمل موضحتين في الشكل (5).





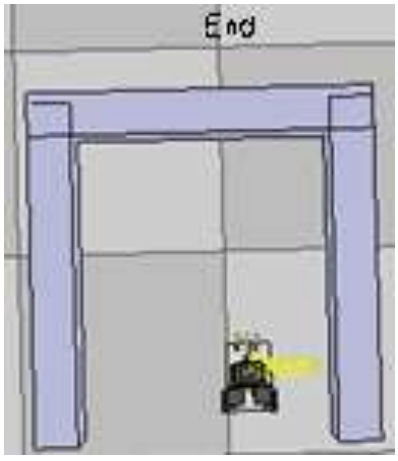
عوائق على شكل صندوق مفتوح أبعاده $0.8 \times 0.8\ m$ **متاهة أبعادها $1.6 \times 1.7\ m$**

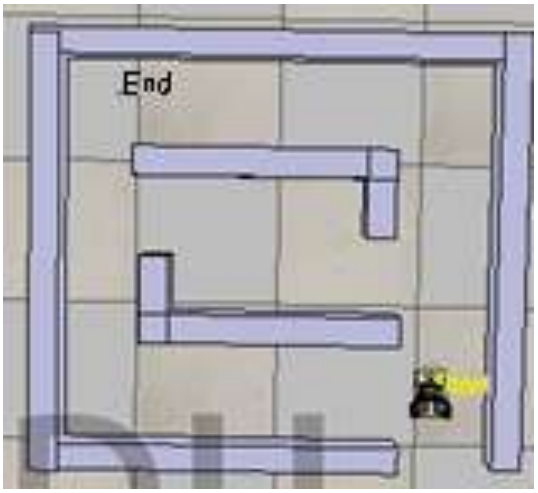
الشكل(5) بيئتا العمل المعتمد عليهما في هذا البحث.

1.1.2 تخطيط مسار الروبوت باستخدام V-rep:

قبل البدء بتطبيق خوارزمية RRT لتخطيط مسار الروبوت لا بد من تحديد نقاط البداية والنهاية التي سيتحرك الروبوت بينهما. تستخدم عادة النقاط الزائفة Dummy (وهي نقاط موجهة) لتحديد مكان واتجاه النقطة المحددة.

يُربط موقع واتجاه نقطة البداية Start مع الموقع والاتجاه الحالي للروبوت، ويحدد موقع واتجاه نقطة النهاية بشكل كيفي في أي مكان من بيئة العمل كما يظهر في الشكل (6).

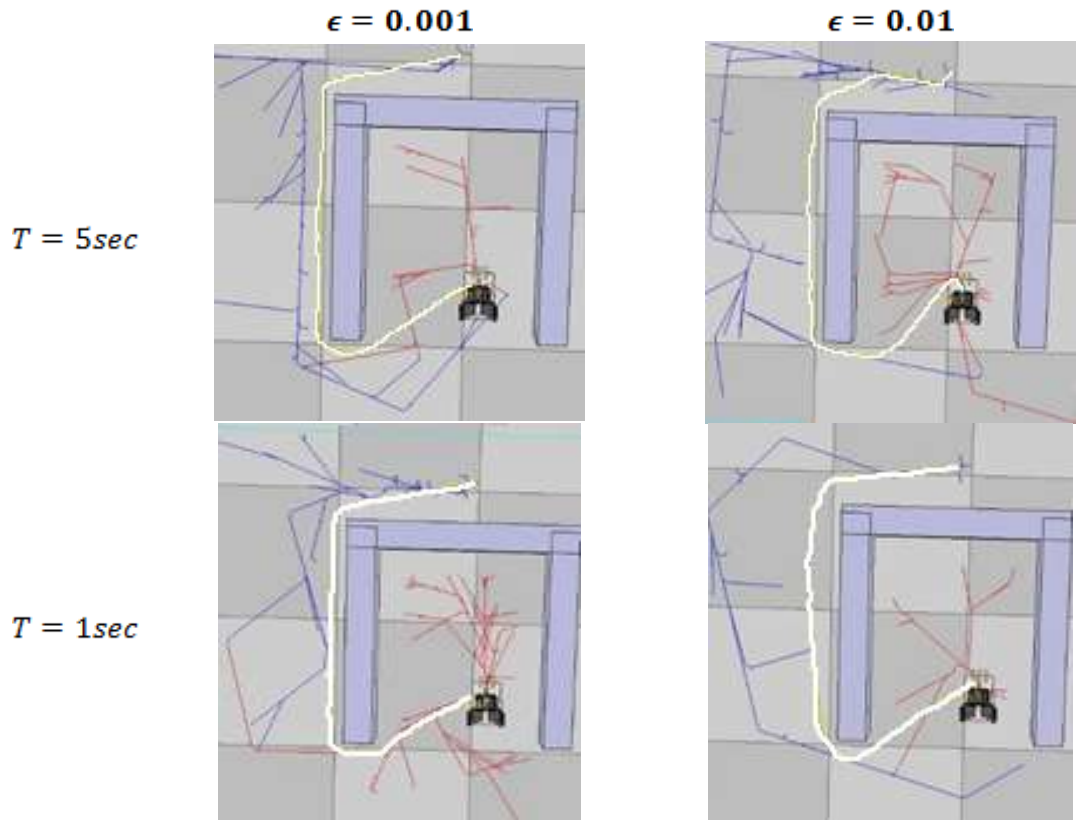




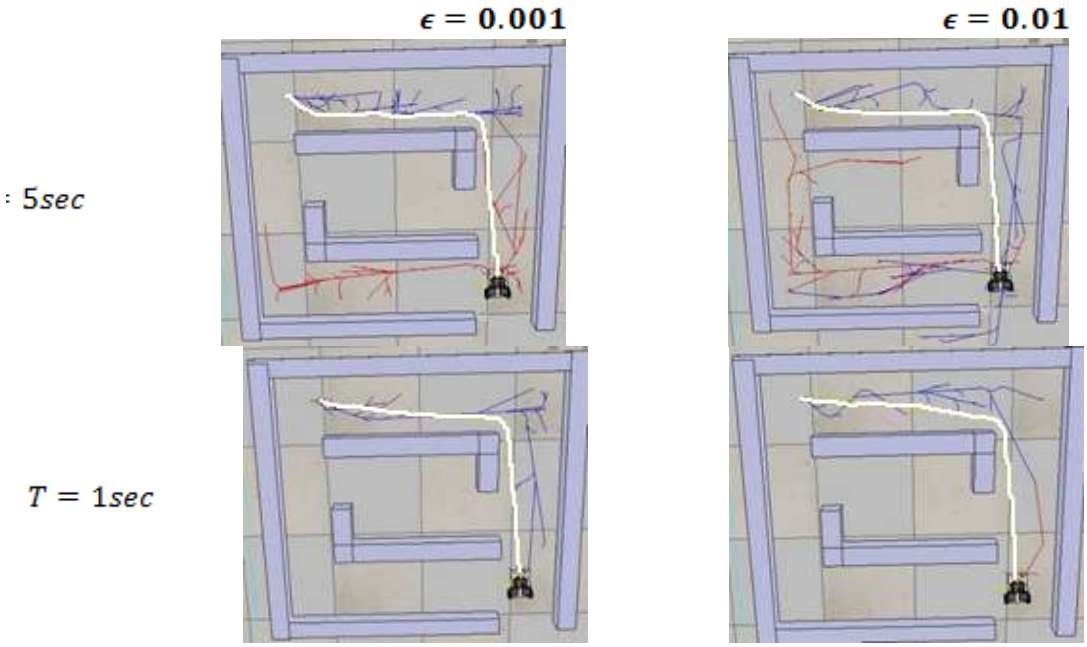
الشكل(6) تحديد نقاط البداية والنهاية لمسار الروبوت.

وللعثور على المسار المطلوب يمكن برمجة خوارزمية RRT باستخدام وحدات حسابية Calculation Module موجودة ضمن V-rep بالإضافة لنصوص مضمنة Embedded scripts تكتب بلغة Lua. وقد تم تطبيق

هذه الخوارزمية في بيئتي العمل المعدتين سابقاً بعدد تكرارات أعظمي 10000 ومن أجل قيم خطوة ϵ وزمن معالجة أعظمي متغير كما يظهر في الشكلين (7) و(8).



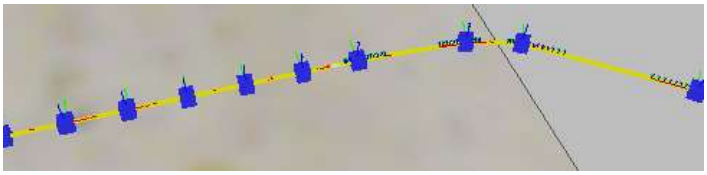
الشكل(7) تخطيط المسار في بيئة العمل الأولى.



الشكل(8) تخطيط المسار في بيئة العمل الثانية.

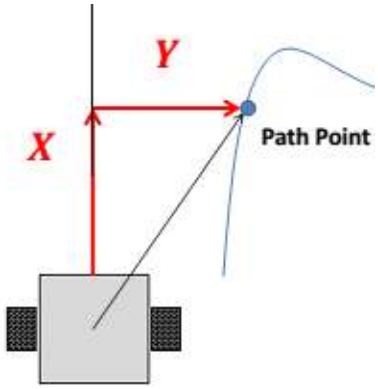
1.1.3 محاكاة حركة الروبوت:

إن اعتماد خوارزمية RRT على ربط نقاط البحث بعضها مع بعض لبناء المسار جعلها طريقة مناسبة لتخطيط حركة مسار الروبوتات. وتظهر تلك النقاط في محاكي V-rep على شكل نقاط زائفة موجهة كما يبدو في الشكل (9).



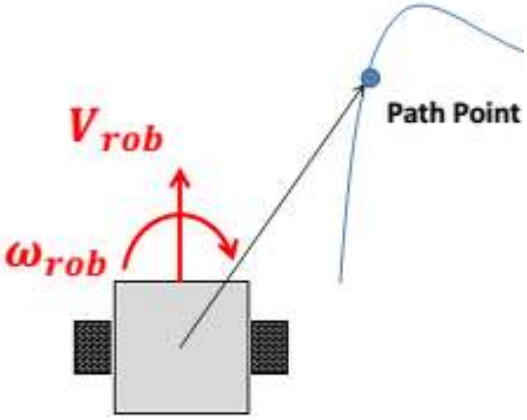
الشكل(9) نقاط المسار.

وحتى يتبع الروبوت المسار المحدد له لا بد من تحديد المكان الحالي للروبوت والنقطة التالية في المسار وإيجاد الإزاحة المطلوبة على المحورين X و Y كما في الشكل (10)



الشكل(10) إيجاد الإزاحة المطلوبة على المحورين X و Y.

تُحسب السرعة الزاوية والخطية للروبوت بسهولة انطلاقاً من أنهما مشتقا كلٍّ من الإزاحة على المحور Y و X على التوالي والتي تظهر في الشكل(11).



الشكل(11) تحديد السرعتين الخطية والزاوية للروبوت.

يمكن بعدها حساب السرعة الزاويةلكل عجلة على حده انطلاقاً من السرعة الزاوية والخطية المطلوبة من العلاقات التالية[14]:

$$\omega_{right} = \frac{V_{rob} + d * \omega_{rob}}{r} \quad (1)$$

$$\omega_{left} = \frac{V_{rob} - d * \omega_{rob}}{r} \quad (2)$$

حيث أن: ω_{right} السرعة الزاوية للعجلة اليمنى.

ω_{left} السرعة الزاوية للعجلة اليسرى.

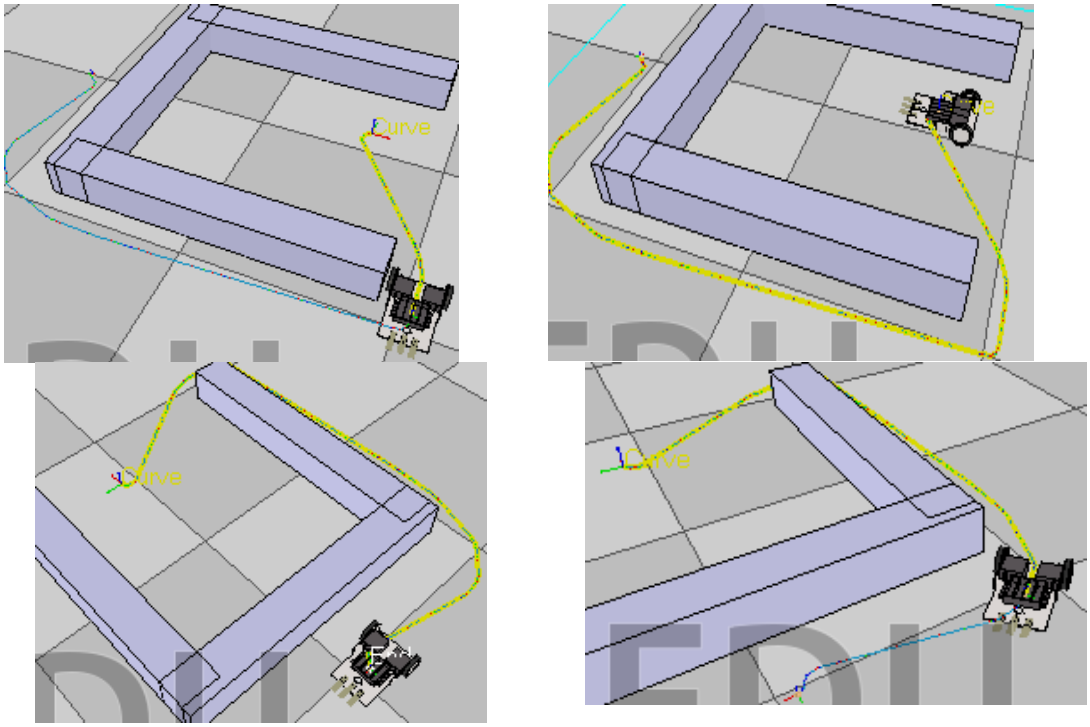
V_{rob} السرعة الخطية للروبوت.

ω_{rob} السرعة الزاوية للروبوت.

d البعد بين مركزي العجلتين $d = 0.6$

rنصف قطر العجلة $r = 0.0275$

وبهذا يمكن بكل سهولة التحكم بالمحركات الموصولة مع عجلتي الروبوت بما يضمن تتبع جيد للمسار المحدد. وقد تمت برمجة أوامر التحكم هذه باستخدام النصوص المضمنة المتوفرة في بيئة المحاكي. وتظهر عملية المحاكاة الناتجة في الشكل (12).



الشكل(12)محاكاة مسار الروبوت للوصل إلى هدفه.

النتائج والمناقشة:

طُبقت خوارزمية RRT في بيئتي عمل مختلفتين وبشكل متكرر بعدد تكرارات أعظمي 10000 ووفق قيم خطوة وزمن معالجة أعظمي مختلفة كما ظهر سابقاً في الشكلين (7) و(8) وبفرض أن السرعة الخطية الأعظمية للروبوت كانت $0.1m/sec$ يمكن عندها تلخيص النتائج وفق الجدول التالي:

الجدول(1) نتائج المحاكاة.

بيئة العمل	زمن المعالجة الأعظمي	الخطوة ϵ	طول المسار(m)	الزمن اللازم لقطع الروبوت للمسار(sec)
الأولى	5	0.01	2.0631 ± 0.04	20.74 ± 5.4
الأولى	5	0.001	2.0449 ± 0.023	20.49 ± 2.75

الأولى	1	0.01	2.1117 ± 0.1	21.15 ± 5.9
الأولى	1	0.001	2.046 ± 0.027	20.51 ± 3.2
الثانية	5	0.01	1.968 ± 0.02	20.74 ± 2.7
الثانية	5	0.001	1.903 ± 0.018	19.63 ± 2.1
الثانية	1	0.01	1.995 ± 0.025	21.05 ± 4.0
الثانية	1	0.001	1.945 ± 0.02	19.865 ± 2.8

وكما يظهر في الجدول(1) فإن قيم أطوال المسارات غير ثابتة ويعود هذا لصلب عملية البحث العشوائي المعتمدة في RRT والتي تؤدي إلى نتائج مختلفة (لكنها متقاربة) في كل مرة تطبق فيها هذه الخوارزمية.

تزداد قابلية إيجاد المسار الأفضل في هذه الطريقة كلما صغرت الخطوة ϵ. كما أن ازدياد مدة المعالجة يؤدي إلى نتائج أفضل.

الاستنتاجات والتوصيات

قدم هذا البحث لمحة عامة عن طريقة شجرة البحث العشوائي السريعة RRT واستعرض كل مراحل نمذجتها ومحاكاتها باستخدام محاكي الروبوتات V-rep.وقد استطاع محاكي V-rep القيام بجميع تلك المهام بكفاءة وسلاسة عالية والقيام بمحاكاة ثلاثية الأبعاد لحركة الروبوت في بيئتي عمل مختلفتين.

إن البحث عن أفضل مسار يمكن أن يسلكه الروبوت للوصول إلى هدفه مازال هاجس الباحثين ومن أكثر الأبحاث نمواً.كما أن التطور الكبير للمحاكي V-rep في الآونة الأخيرة جعله المحاكي والمتحكم بالروبوت المستقر والواسع الاستخدام، والمعتمد عليه بشكل كبير في المجال الأكاديمي كما في المجال الصناعي. والخيار المناسب والسريع لاختبار تقنيات تخطيط مسار الروبوتات المتنقلة[15].

المراجع

[1] N. JETCHEV and M. TOUSSAINT, *Fast Motion Planning from Experience: Trajectory Prediction for Speeding up Movement Generation*, Berlin, Germany: Machine Learning and Robotics Lab, 2013.

[2] M. RANTANEN, *Improving Probabilistic Roadmap Methods for Fast Motion Planning*, TAMPERE: UNIVERSITY OF TAMPERE, 2014.

[3] R. H. ABIYEV, N. AKKAYA, E. AYTAC, I. Günsel and A. Çağman, *Improved Path-Finding Algorithm for Robot Soccers*, Lefkosa, North Cyprus: Journal of Automation and Control Engineering, 2015.

[4] P. RAJA and S. PUGAZHENTHI, *Optimal path planning of mobile robots: A review*, Tamilnadu, India., 2012.

[5] W. S. HARRISON and F. PROCTOR, *Virtual Fusion: State of the Art in Component Simulation/Emulation for Manufacturing*, Elsevier, 2014,1-12.

[6] "V-rep," coppelia robotics, [Online]. Available: http://www.coppeliarobotics.com/. [Accessed 7 2015].

[7] S. IVALDI, V. PADOIS and F. NORI, *Tools for dynamics simulation of robots: a survey* based on user feedback, 2014.

[8] S. ZAHEER and . T. GULREZ, *A Path Planning Technique For Autonomous Mobile Robot Using Free-Configuration Eigenspaces*, International Journal of Robotics and Automation (IJRA), 2015.

[9] J. M. D. B. L. J. Wei, *A behavioral planning framework for autonomous driving*, in Intelligent Vehicles Symposium (IV), 2014.

[10] J. M. S. J. K. J. M. D. R. R. a. B. L. J. Wei, *Towards aviable autonomous driving research platform*, Intelligent Vehicles Symposium (IV), 2013.

[11] S. M. LaValle, *Planning algorithms*, Cambridge university press, 2006.

[12] J. D. Gammell, S. S. Srinivasa and T. D. Barfoot, *Informed RRT*: Optimal Sampling-based Path Planning Focused via Direct Sampling of an Admissible Ellipsoidal Heuristic*, JDG, 2013.

[13] S. A. .. Coenen, *Motion Planning for Mobile Robots: A Guide*, Eindhoven: Eindhoven University of Technology, 2012.

[14] T. Hellström, *Kinematics Equations for Differential Drive and Articulated Steering*, UMINF, 2011.

[15] K. K. Reddy and K. Praveen, *Path Planning Using Vrep*, International Journal of Research in Engineering and Technology (IJRET), Vol.02,N^{o}.1,2013,94-97.