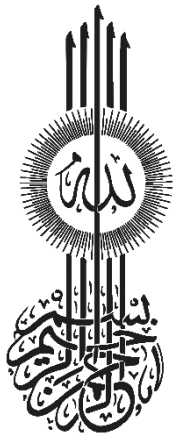
بسم الله الرحمن الرحيم

برمجة الروبوتات باستخدام نظام روز

مقدمة عملية لنظام تشغيل الروبوت

تأليف

Morgan Quigley, Brian Gerkey & William D.Smart

ترجمة

د. محمد فيصل عبدالقادر

أستاذ الروبوتات والذكاء الاصطناعي المساعد

كلية علوم الحاسب التطبيقي فرع المزاحمية

د. هبة بنت عبدالعزيز الجبرين

أستاذ تعلم الآلة والذكاء الاصطناعي المساعد

كلية علوم الحاسب والمعلومات

جامعة الملك سعود

دار جامعة الملك سعود للنشر

KING SAUD UNIVERSITY PRESS

ص.ب ٦٨٩٥٣ - الرياض ١١٥٣٧ المملكة العربية السعودية

ح دار جامعة الملك سعود للنشر، ١٤٤٢هـ (٢٠٢٠م)

فهرسة مكتبة الملك فهد الوطنية أثناء النشر

كيغلي، مورغان

برمجة الروبوتات باستخدام نظام روز: مقدمة عملية لنظام تشغيل الروبوت./ مورغان كيغلي؛ براين جيركي؛ ويليام سمارت؛ محمد فيصل عبدالقادر؛ هبة بنت عبدالعزيز الجبرين.– الرياض، ١٤٤٢هـ

٤١٧ ص؛ ٢١ × ٢٨ سم

ردمك: ٢ – ٩١١– ٥٠٧ – ٦٠٣ – ٩٧٨

١ – الانسان الآلي ٢ –التحكم الآلي ٣– التقنية أ. جيركي، براين (مؤلف مشارك) ب. سمارت، ويليام (مؤلف مشارك) ج. عبدالقادر، محمد فيصل (مترجم) د.الجبرين، هبة بنت عبدالعزيز (مترجم) هـ. العنوان

ديوي ٦٢٩,٨٩ ١٤٤٢/١٤٩٧

رقم الإيداع: ١٤٩٧/ ١٤٤٢

ردمك: ٢ – ٩١١– ٥٠٧ – ٦٠٣ – ٩٧٨

هذه ترجمة عربية محكمة صادرة عن مركز الترجمة بالجامعة لكتاب:

Programming Robots with ROS: A Practical Introduction To The Robot Operating System
By:Morgan Quigley, Brian Gerkey& William D. Smart
© 2015 Morgan Quigley, Brian Gerkey, and William D. Smart. All rights reserved.
وقد وافق المجلس العلمي على نشرها في اجتماعه الثامن عشر للعام الدراسي ١٤٤١هـ المنعقد بتاريخ ٢٠/ ٩/ ١٤٤١هـ الموافق ١٣/ ٥/ ٢٠٢٠م.

جميع حقوق النشر محفوظة. لا يسمح بإعادة نشر أي جزء من الكتاب بأي شكل وبأي وسيلة سواء كانت إلكترونية أو آلية بما في ذلك التصوير والتسجيل أو الإدخال في أي نظام حفظ معلومات أو استعادتها بدون الحصول على موافقة كتابية من دار جامعة الملك سعود للنشر.

Authorized Arabic translation of the English edition of Programming Robots with ROS, ISBN 9781449323899, © 2015 Morgan Quigley, Brian Gerkey& William D. Smart. This translation is published and sold by permission of O'Reilly Media, Inc., which owns or controls all rights to publish and sell the same.

دار جامعة الملك سعود للنشر
KING SAUD UNIVERSITY PRESS

نبذة المترجمين

د. محمد فيصل عبدالقادر ناجي

يعمل د. محمد فيصل أستاذًا مساعدًا ومشرفًا على وحدة الابتكار وريادة تطوير الأعمال في كلية علوم الحاسب التطبيقي بجامعة الملك سعود، ومستشاراً في مجال الروبوتات والذكاء الاصطناعي بمركز أبحاث الربوتات الذكية بجامعة الملك سعود. حصل على شهادتي الماجستير والدكتوراه من جامعة الملك سعود عامي ٢٠١٢م و٢٠١٦م على التوالي. نال جائزة رئيس الجمهورية اليمنية في العلوم التطبيقية عام ٢٠١٣م، كما مُنح العديد من الجوائز البحثية والميداليات العلمية. رئيس وعضو في العديد من المجموعات والمشاريع البحثية في مجال الروبوتات والذكاء الاصطناعي، يرُكز في أبحاثه على استخدام الربوتات والذكاء الاصطناعي لتحسين جودة الحياة وتقديم حلول جديدة ومبتكرة، وله عشرات الأبحاث العلمية المنشورة في المجلات والمؤتمرات العلمية المحكمة، مُنح براءة اختراع من مكتب الولايات المتحدة الأمريكية لبراءات الاختراع والعلامات التجارية عن اختراعه أداة لجني الأشجار، له كتاب مؤلف بعنوان تطوير بروتوكولات مراقبة للمجسات اللاسلكية عام ٢٠١٣م.

د. هبة بنت عبدالعزيز الجبرين

د.هبة الجبرين تعمل أستاذًا مساعدًا في قسم تقنية المعلومات، كلية علوم الحاسب والمعلومات، جامعة الملك سعود. وهي حالياً باحث منتسب لقسم الهندسة الميكانيكية في معهد الماساتشوستس للتكنولوجيا (MIT)، وكذلك تدير فرع مركز أبحاث الروبوتات الذكية للشق النسائي في كليتها. حصلت الدكتورة هبة على شهادتي الماجستير والدكتوراه من جامعة الملك سعود عامي ٢٠٠٩م و٢٠١٥م على التوالي. خلال دراسة الماجستير طورت نظام خبراء ذكي يمكنه اكتشاف الأخطاء في الوصفة الطبية باستخدام تقنيات تنقيب البيانات؛ وخلال الدكتوراه، طورت نظاماً لاستخراج معلومات معرفية يمكن استخدامها كعقل لنظام خبير تعاوني. تركز أبحاث د.هبه حالياً على استخدام أساليب تعلم الآلة لتحسين حركات الروبوتات التعاونية في البيئة المشتركة، وقامت باستخدام نظام روز بكثافة في تطبيقاتها. في السنوات الأخيرة، تمكنت من نشر أعمالها في مجلات ذات علاقة بالروبوتات المستقلة ولا تزال مستمرة في مشاريع الروبوتات التعاونية، وتبحث عن طرق لدمج تعلم الآلة من أجل تطبيق حلول مبتكرة يمكن تطبيقها على مجالات أكثر تعقيداً، بما في ذلك مجالات الصحة والصناعة ٤,٠.

مقدمة المترجمين

في الوقت الحاضر توسعت تطبيقات الروبوت وأصبحت أمرا ضروريًا في الحياة اليومية للبشر. ومن أجل ذلك وضَع كثير من الدول خططًا استراتيجية في مجال الروبوت. على سبيل المثال، أطلقت المملكة العربية السعودية مشروع نيوم بتكلفة تتجاوز النصف ترليون دولار وهو يهدف إلى توظيف عدد من الروبوتات لتتجاوز عدد السكان. إن وجود محتوى عربي متميز في المجالات الروبوتية يعد أمرا ضروريًا لما له من مردود معرفي ومجتمعي كبير لخدمة الاقتصاد المعرفي محليًا وإقليميًا. وعلى الرغم من ذلك، فإن المصادر العربية تكاد تكون معدومة فيما يتصل بأنظمة تشغيل الروبوتات؛ وعلى حد علم المترجمين، لا يوجد أي مصدر رسمي أو كتاب باللغة العربية يتحدث عن نظام تشغيل الروبوت، ومن ثم فإن هذا الكتاب يعد المصدر العربي الأول لنظام تشغيل الروبوت، حيث تم فيه التعريب والتأسيس لمصطلحات جديدة لنظام تشغيل الروبوت.

إن كتاب برمجة الروبوتات باستخدام أنظمة تشغيل الروبوتات، المنشور في دار أورايلي عام ٢٠١٥م والمؤلَّف من قبل الرئيس التنفيذي وكبار مؤسسي مؤسسة الروبوتات المفتوحة المصدر، يعد من أفضل المراجع العلمية لبرمجة الروبوتات ؛ وذلك لكونه مرجعا متكاملا وشاملا لتعلم أنظمة تشغيل وبناء وبرمجة الروبوتات.

يتكون الكتاب من ٢٣ فصلا مقسمة إلى خمسة أبواب:

الباب الأول (الفصل الأول حتى السابع):

يقدم نظرة عامة عن أنظمة تشغيل الروبوتات، وكذلك الإطار العام لبيئة نظام تشغيل الروبوتات ومكوناته الأساسية والروبوتات المدعومة ثم طريقة إنشاء روبوت يمكنه التجول في البيئة المحيطة به.

الباب الثاني (الفصل الثامن حتى الحادي عشر):

يشرح كيفية التحكم بالروبوت عن بُعد، وعن كيفية بناء خرائط عالية الدقة باستخدام بيانات أجهزة الاستشعار في الروبوت، وكيفية ملاحة الروبوت بشكل تلقائي للوصول للهدف، إضافة إلى فهم وبرمجة أجزاء الروبوت كالأذرع ولوح التحكم بحركتها في بيئة معينة.

الباب الثالث (الفصل الثاني عشر حتى الرابع عشر):

يوضح كيفية برمجة واستخدام أجهزة الاستشعار لتنفيذ مهمة معينة وبرمجة الروبوت لتنفيذ مهام مثل الملاحة بين عدة نقاط. وكذلك شرح برمجة الروبوت لنقل البضائع من المستودعات.

الباب الرابع (الفصل الخامس عشر حتى التاسع عشر):

كيفية بناء ودمج أجهزة الاستشعار والمحركات الخاصة بك، إضافة إلى بناء الروبوت الخاص بك ودمجه في نظام تشغيل الروبوتات وإضافة أجهزة الاستشعار للروبوت وبرمجته للملاحة المستقلة، وكيفية بناء أذرع روبوت وإضافة مكتبات برمجية.

الباب الخامس (الفصل العشرون حتى الثالث والعشرين):

يقدم تفاصيل الأدوات الشائعة وكيف ومتى يتم استخدامها، إضافة إلى الأدوات الشائعة الاستخدام في تقنيات تصحيح وتتبع الأخطاء ويستعرض العديد من المصادر المفتوحة للتواصل مع مجتمع نظام تشغيل الروبوتات، وعن كيفية استخدام لغة برمجة أخرى مثل السي بلس بلس.

مقدمة المؤلفين

نظام تشغيل الروبوتروز، هو إطار عمل مفتوح المصدر لجعل الروبوتات تقوم بعمليات معينة. الغرض من نظام روز هو إنشاء منصة برمجية مشتركة للأشخاص الذين يبنون ويستخدمون الروبوتات. يتيح هذا النظام، الأساسي المشترك للأشخاص، مشاركة الكود والأفكار بسهولة أكبر مما يُغني عن قضاء سنوات في كتابة البنية التحتية للبرنامج قبل أن يبدأ الروبوت الخاص بك في الحركة!

كان نظام روز ناجحًا بشكل ملحوظ. في وقت كتابة هذا الكتاب، في التوزيع الرسمي لنظام روز، كان هناك أكثر من ٢٠٠٠ حزمة برمجية، يكتبها ويحتفظ بها حوالي ٦٠٠ شخص. يتم دعم ما يقارب ٨٠ روبوتًا متاحًا تجاريًا، ويمكننا العثور على ما لا يقل عن ١٨٥٠ ورقة أكاديمية تذكر نظام روز. لم يعد هناك حاجة لكتابة كل شيء من نقطة الصفر، خاصةً إذا كنا نعمل مع أحد الروبوتات العديدة التي تدعم نظام روز، ويمكننا قضاء المزيد من الوقت في التفكير في الروبوتات نفسها بدلاً من أجزائها الصغيرة وبرامج تشغيل أجهزتها.

يتكون نظام روزمن عدد من الأجزاء:

أ. مجموعة من برامج التشغيل، التي تسمح لك بقراءة البيانات من أجهزة الاستشعار وإرسال الأوامر إلى المحركات وغيرها من المشغلات، بصيغة مجردة ومحددة جيدًا. يتم دعم مجموعة واسعة من الأجهزة الشائعة، ومن ذلك عدد متزايد من أنظمة الروبوت المتاحة تجاريًا.

ب. مجموعة كبيرة ومتنامية من خوارزميات الروبوتات الأساسية، التي تسمح لك بإنشاء خرائط للعالم، والتنقل حولها، وتمثيل وتفسير بيانات أجهزة الاستشعار، وتخطيط الحركات، والتعامل مع الكائنات، والقيام بالكثير من الأشياء الأخرى. أصبح نظام روز شائعًا جدًا في مجتمع أبحاث الروبوتات، وتتوفر الآن الكثير من الخوارزميات المتطورة في نظام روز.

ج. جميع البنية التحتية الحاسوبية التي تسمح لك بنقل البيانات حولها، وربط المكونات المختلفة في نظام روبوت معقد، ودمج الخوارزميات الخاصة بك. نظام روز موزّع بطبيعته، ويسمح لك بتقسيم عبء العمل عبر أجهزة كمبيوتر متعددة بسلاسة.

د. مجموعة كبيرة من الأدوات التي تجعل من السهل تصوير حالة الروبوت والخوارزميات، وتصحيح السلوكيات الخاطئة، وتسجيل بيانات أجهزة الاستشعار. يُعد تصحيح برامج الروبوت أمراً صعباً، وهذه المجموعة الغنية من الأدوات هي أحد الأشياء التي تجعل نظام روز قويا كما هو.

ه. في النهاية، تشمل منظومة روز الكبرى على مجموعة واسعة من المصادر؛ مثل الويكي التي توثق العديد من جوانب الإطار، وموقع الأسئلة والأجوبة حيث يمكنك طلب المساعدة ومشاركة ما تعلمته مع مجتمع مزدهر من المستخدمين والمطورين.

بناء على ما سبق، لماذا يجب أن تتعلم نظام روز؟ الجواب المختصر هو :لأنه سيوفر لك وقتك. يوفر نظام روز جميع أجزاء نظام برنامج الروبوت التي قد تضطر إلى كتابتها بطريقة أخرى. يتيح لك التركيز على أجزاء النظام التي تهتم بها، دون القلق بشأن الأجزاء التي لا تهتم بها.

لماذا يجب عليك قراءة هذا الكتاب؟ هناك الكثير من المواد على ويكي نظام روز، بما في ذلك البرامج التعليمية التفصيلية للعديد من جوانب النظام. يوجد مجتمع مستخدمين نشط وجاهز للإجابة عن أسئلتك من خلال الموقع http://answers.ros.org. لماذا لا تتعلم نظام روزمن هذه الموارد؟ ما حاولنا القيام به في هذا الكتاب هو وضع الأشياء بطريقه أكثر ترتيبًا، وإعطاء أمثلة شاملة عن كيفية استخدامك لنظام روز للقيام بأشياء مثيرة للاهتمام، باستخدام روبوتات حقيقية ومحاكية. لقد حاولنا أيضًا تضمين نصائح وملاحظات حول كيفية تنظيم الكود الخاصة بك، وكيفية تصحيح الكود المتسبب في جعل الروبوت يقوم بشيء غير متوقع، وكيف يمكن أن تصبح جزءًا من مجتمع نظام روز (ROS community).

يحتوي نظام روز على قدر كافٍ من التعقيد، خاصةً إذا لم تكن مبرمجًا متمرسًا. إن الحوسبة الموزعة، ومسارات التنفيذ المتعددة، والبرمجة المعتمدة على الأحداث، ومجموعة كبيرة من المفاهيم الأخرى تعد من أساسيات النظام. إذا لم تكن على دراية بالفعل ببعض هذه العناصر على الأقل، فيمكن أن يكون تعلم نظام روز شاقا عليك. هذا الكتاب هو محاولة لتبسيط عملية التعلّم قليلاً من خلال تعريفك بأساسيات نظام روز ومنحك بعض الأمثلة العملية لكيفية استخدامه للتطبيقات الحقيقية على روبوتات حقيقية (ومحاكية).

من ينبغي أن يقرأ هذا الكتاب؟

إذا كنت تريد أن تجعل الروبوتات الخاصة بك تقوم بعمليات في العالم الحقيقي، لكنك لا ترغب في قضاء الوقت في إعادة اختراع العجلة، فهذا الكتاب مناسب لك. يتضمن نظام روز البنية التحتية الحسابية التي ستحتاج إليها لتشغيل الروبوتات إضافة إلى خوارزميات روبوتات كافية لجعلها تقوم بعمليات مثيرة للاهتمام بسرعة.

إذا كنت مهتمًا بجوانب محددة، مثل تخطيط المسار، وترغب في استكشافها في سياق نظام روبوت أكبر، فهذا الكتاب مناسب لك. سنعرض لك كيفية جعل الروبوت الخاص بك يقوم بعملية مثيرة للاهتمام باستخدام البنية التحتية والخوارزميات الموجودة في نظام روز وكيفية استبدالها ببعض الخوارزميات الموجودة لديك.

إذا كنت ترغب في الحصول على مقدمة عن التقنيات الأساسية لنظام روز وإلقاء نظرة عامة على بعض الأشياء التي يمكن تنفيذها، لكنك تشعر بالرهبة بعض الشيء بسبب حجم المعلومات على الويكي، فهذا الكتاب مناسب لك. سنعطيك جولة حول التقنيات والأدوات الأساسية في نظام روز و الأمثلة الملموسة للأنظمة الكاملة التي يمكنك البناء عليها والتكيف معها.

من لا ينبغي أن يقرأ هذا الكتاب؟

نحن لا نريد استبعاد أي شخص من قراءة هذا الكتاب، لكنه ربما لا يكون المصدر المناسب للجميع؛ حيث يوجد بعض الافتراضات الضمنية حول الروبوتات التي ستستخدمها. الروبوتات المعنية بالأغلب تستخدم نظام لينكس، ولديها مصادر حسابية مناسبة (على الأقل تعادل جهاز كمبيوتر محمول). لديها أجهزة استشعار متطورة، مثل مايكروسوفت كينكت. لديها قاعدة أرضية، وربما يمكنها التحرك في بيئتها. إذا لم تنطبق على الروبوتات الخاصة بك بعض هذه الخصائص على الأقل، فقد لا تكون الأمثلة في هذا الكتاب ذات علاقة مباشرة بك، على الرغم من أن المعلومات الموجودة عن التقنيات والأدوات الأساسية يجب أن تكون ذات علاقة.

هذا الكتاب هو في المقام الأول عن نظام روز، وليس عن الروبوتات. على الرغم من أنك ستتعلم بعض الشيء عن الروبوتات هنا، لكننا لا نتعمق كثيرًا في العديد من الخوارزميات لنظام روز. إذا كنت تبحث عن مقدمة واسعة للروبوتات، فهذا الكتاب هو الكتاب الذي تبحث عنه.

ماذا ستتعلم

هذا الكتاب يهدف إلى أن يكون مقدمة واسعة لبرمجة الروبوتات مع نظام روز. سيتم تغطية الجوانب المهمة للتقنيات، والأدوات الأساسية التي تشكل جوهر نظام روز، ونعرض لك كيفية استخدامها لإنشاء برامج للتحكم في الروبوتات الخاصة بك. سنعرض لك أمثلة ملموسة حول كيفية استخدامك لنظام روز للقيام ببعض العمليات المثيرة باستخدام الروبوتات الخاصة بك، وتقديم المشورة لك حول كيفية تطوير هذه الأمثلة لإنشاء أنظمتك الخاصة.

بالإضافة إلى المحتويات التقنية، سنبين لك أيضًا كيفية التعرف على منظومة روز، مثل ويكي ومنتدى الأسئلة والأجوبة، وكيف تصبح جزءًا من مجتمع نظام روز العالمي لتشارك بالكود الخاص بك، ومعرفتك المكتشفة حديثًا مع علماء الروبوتات الآخرين في أنحاء بيئة العمل.

المتطلبات الأساسية

هناك بعض الأشياء التي تحتاج إلى معرفتها قبل أن تتمكن حقًا من استخدام محتويات هذا الكتاب. نظرًا لأن نظام روز ذو إطار برمجي، فأنت بحاجة إلى معرفة كيفية البرمجة لفهمه بشكل صحيح. على الرغم من أنه من الممكن البرمجة في نظام روز بعدة لغات، غير أننا في هذا الكتاب سنستخدم لغة البايثون. إذا كنت لا تعرف البايثون فإن الكثير من الأكواد الموضحة في هذا الكتاب لن يكون لها معنى بالنسبة لك. لحسن الحظ، البايثون لغة سهلة التعلم! هناك العديد من الكتب المرجعية الممتازة والمواقع المجانية المتاحة لتعلمها، بدءًا من موقع البايثون الرسمي http://python.org.

يعمل نظام روز بشكل أفضل في بيئة أوبونتو لينكس، وسيؤدي وجود بعض المعرفة السابقة عن لينكس إلى تسهيل العمل بهذا الكتاب. سنحاول تقديم الأجزاء المهمة من نظام لينكس خلال التنقل في هذا الكتاب، ولكن وجود مفاهيم أساسية عن نظام الملفات، ومجموعة الأوامر باش (bash)، ومحرر نصوص واحد على الأقل سوف يساعدك في التركيز على المعلومات الخاصة بنظام روز.

إن فهم أساسيات الروبوتات، رغم أنه ليس ضروريًا تمامًا لتعلم نظام روز، سيكون مفيدًا أيضًا. معرفة شيء عن الرياضيات الأساسية التي تستخدمها الروبوتات، مثل تحول الإحداثيات(Coordinate Transforms) والسلسلة الحركية، سيكون مفيدًا لفهم بعض تقنيات نظام روز التي سنتحدث عنها. مرة أخرى، سنحاول تقديم مقدمة موجزة لبعض هذه المحتويات، ولكن إذا لم تكن على دراية بها فقد ترغب في الاطلاع على كتب أخرى متخصصة بالروبوتات للحصول على بعض المعلومات الأساسية.

الأشكال المستخدمة في هذا الكتاب

يشير هذا الرمز إلى ملاحظة عامة.

يشير هذا الرمز إلى نصيحة أو اقتراح.

يشير هذا الرمز إلى التحذير أو الحذر.

استخدام أمثلة الكود

المحتويات الإضافية (أمثلة الأكواد، التمارين، إلخ) متاحة للتحميل من المستودع الإلكتروني https://github.com/osrf/rosbook.

تم كتابة هذا الكتاب ليساعدك في إنجاز عملك. لذلك، تتوفر الأمثلة الموجودة في المستودع الموضح أعلاه بموجب ترخيص Apache 2.0، الذي يسمح بإعادة استخدام الكود على نطاق واسع جداً.

نحن نرجو إسناد الفضل في هذا الكتاب إلى أصحابه. عادة ما يتضمن الإسناد العنوان والمؤلف والناشر ورقم الـ ISBN. على سبيل المثال: " Programming Robots with ROS byMorgan Quigley, Brian Gerkey, and William D. Smart (O'Reilly). Copyright 2015Morgan Quigley, Brian Gerkey, and William D. Smart, 978-1-4493-2389-9.".

إذا كنت تشعر أن استخدامك لأمثلة الكود يقع خارج الاستخدام العادل أو الإذن المذكور أعلاه، فلا تتردد في التواصل معنا على البريد permissions@oreilly.com.

كيف تتواصل معنا؟

يرجى توجيه التعليقات والأسئلة المتعلقة بهذا الكتاب إلى الناشر:

O'Reilly Media, Inc.
1005 Gravenstein Highway North
Sebastopol, CA 95472

800-998-9938 (من أمريكا أو كندا)

707-829-0515 (دولية ومحلية)

707-829-0104 (فاكس)

يوجد صفحة إلكترونية لهذا الكتاب، حيث نقوم بتوضيح الأخطاء المطبعية، والأمثلة، وأي معلومات إضافية. يمكنك الوصول إلى هذه الصفحة عن طريق الرابط http://bit.ly/prog_robots_w_ros.

للتعليق أو طرح أسئلة تقنية حول هذا الكتاب، أرسل بريدًا إلكترونيًا إلى bookquestions@oreilly.com.

لمزيد من المعلومات حول كتبنا ودوراتنا ومؤتمراتنا وأخبارنا، يمكن الاطلاع على موقعنا من خلال http://www.oreilly.com.

تجدنا في الفيسبوك: http://facebook.com/oreilly

تابعنا على تويتر: http://twitter.com/oreillymedia

شاهدنا على اليوتوب: http://www.youtube.com/oreillymedia

شكر وتقدير

أولًا وقبل كل شيء، نود أن نشكر محررينا في أورايلي ومايك لوكيديس وميغ بلانشيت ودون شانافيل، الذين أظهروا صبرًا غير مألوف معنا في أثناء كتابتنا هذا الكتاب . نود أيضًا أن نشكر كل من قدم لنا تعليقات على المسودات المبكرة للكتاب، وخاصة أندرياس بيلماير وجون بورين وزاك دودز وكات سكوت. جعلت تعليقاتهم واقتراحاتهم هذا كتاب أفضل بكثير.

نقدم الشكر أيضًا لكل من ساعدنا في معرفة كيفية جعل نظام روزيعمل بشكل صحيح على الروبوتات الخاصة بنا. ساعد مايك فيرغسون في أمثلة الجلب؛ أجاب كل من ستيف بيترز ونيت كوينيج وجون هسو من مؤسسة الروبوتات المفتوحة المصدرعلى بعض الأسئلة الصعبة عن أداة المحاكات "جازيبوا". قام كل منوليام وودال وتولي فوت (من مؤسسة الروبوتات المفتوحة المصدر) بالإفادة عن عدد من الأسئلة العامة للتغير في ملفات نظام روز.

نقدم الشكر كذلك إلى ديلان جونز الذي اكتشف خطأ في الكود في اللحظة الأخيرة قبل نشر الكتاب.

في النهاية، نود أن نشكر جميع المؤلفين والمشرفين والمستخدمين في مجتمع نظام روز في جميع أنحاء العالم. بدونهم لما كان لنظام روز أن يكون كما هو اليوم، ولما كنا سنتمكن من كتابة هذه المقدمة.

المحتويات

نبذة المترجمين ..... هـ

مقدمة المترجمين ..... ز

مقدمة المؤلفين ..... ط

شكر وتقدير ..... م

الباب الأول: أساسيات ١

الفصل الأول: مقدمة ٣

لمحة تاريخية ٣

فلسفة ٤

التحميل ٦

ملخص ٧

الفصل الثاني: مفاهيم أساسية ٩

مفهوم الرسم البياني (Graph) في نظام روز ٩

روزكور(roscore) ١١

كاتكن ومساحات العمل وحزم نظام روز ١٣

كاتكن(Catkin) ١٣

مساحات العمل(Workspace) ١٣

حزم نظام روز(ROS Packages) ١٥

روزرن (rosrun) ١٧

الأسماء (Names) ونطاق المسميات(Namespaces) وإعادة التعيين(Remapping) ٢٢

روزلنش (roslaunch) ٢٤

المفتاح Tab ٢٥

تنسيق التحولات: Tf ٢٦

المواضع (Pose) والمواقع (Position) والاتجاهات(Orientation) ٢٦
حزمة tf ٢٧
ملخص..... ٢٩
الفصل الثالث: توبكسTopics ٣١
النشر في توبك ٣١
التحقق من أن كل شيء يعمل على النحو المتوقع..... ٣٣
الاشتراك في توبك..... ٣٦
التحقق من أن كل شيء يعمل على النحو المتوقع..... ٣٦
التوبكس الثابتة Latched Topics ٣٧
تعريف أنواع الرسائل الخاصة بك ٣٨
تعريف رسالة جديدة..... ٤٠
استخدام الرسائل الجديدة ٤٣
متى يجب عليك إنشاء نوع رسالة جديد؟ ٤٥
الدمج بين الناشرين والمشتركين..... ٤٥
ملخص..... ٤٦
الفصل الرابع: الخدمات..... ٤٧
تعريف الخدمة (Service Definition) ٤٧
تنفيذ الخدمة..... ٥٠
التحقق من أن كل شيء يعمل على النحو المتوقع..... ٥١
طرق أخرى لاستعادة القيم من الخدمة..... ٥٢
استخدام الخدمة ٥٣
التحقق من أن كل شيء يعمل على النحو المتوقع..... ٥٤
طرق أخرى لطلب الخدمات ٥٤
ملخص..... ٥٥
الفصل الخامس: الأكشن Action ٥٧
تعريف الأكشن..... ٥٨
تطبيق خادم أكشن بسيط ٦٠
التحقق من أن كل شيء يعمل على النحو المتوقع..... ٦٢

استخدام الأكشن ٦٣
التحقق من أن كل شيء يعمل على النحو المتوقع ٦٤
تطبيق خادم أكشن أكثر تطورا ٦٤
استخدام الأكشن الأكثر تطورا ٦٧
التحقق من أن كل شيء يعمل على النحو المتوقع ٦٨
ملخص ٧٠
الفصل السادس: الروبوتات وأدوات المحاكاة ٧١
الأنظمة الفرعية ٧١
التحريك: المنصة المتحركة ٧١
التحريك: الذراع المناور ٧٤
أجهزة الاستشعار ٧٥
كاميرات مرئية ٧٦
كاميرات العمق ٧٧
الماسحات الليزرية ٧٨
آلات الترميز المحورية ٧٩
الحسابات ٨٠
روبوتات كاملة ٨١
روبوت بي ار تو(PR2) ٨١
روبوت فيتش(Fetch) ٨٣
روبوت روبونات ٢(Robonaut 2) ٨٣
روبوت تورتلبوت(TurtleBot) ٨٤
أدوات المحاكات ٨٥
أداة المحاكات ستيج(Stage) ٨٦
أداة المحاكات جازيبوا ٨٧
أدوات محاكات أخرى ٨٩
ملخص ٨٩
الفصل السابع: وندربوت Wander-bot ٩١
إنشاء حزمة ٩١

قراءة بيانات أجهزة الاستشعار ٩٤
الاستشعار والتحريك: وندربوت ٩٧
ملخص..... ٩٩

الباب الثاني: التجوال باستخدام نظام روز ١٠١
الفصل الثامن: تيلوبوت Teleop-bot ١٠٣
أسلوب التطوير Development pattern ١٠٤
سائق لوحة المفاتيح..... ١٠٤
مولد الحركة..... ١٠٦
خادم المعاملات ١١١
تدرجات السرعة Velocity Ramps ١١٣
دعنا نقد ١١٦
أداة ارفز ١١٨
ملخص..... ١٢٥
الفصل التاسع: بناء خرائط بيئة الروبوتات ١٢٧
الخرائط في نظام روز ١٢٧
تسجيل البيانات بأداة روزباق..... ١٣٠
بناء الخرائط ١٣٢
بدء خادم الخريطة (Map server) والبحث في الخريطة..... ١٣٨
ملخص..... ١٤٠
الفصل العاشر: الملاحة في بيئة الروبوت ١٤١
تحديد موقع الروبوت في الخريطة ١٤١
الحصول على تحديد موقع أولي جيد ١٤٤
ما يجري وراء الكواليس..... ١٤٥
نصائح لتحديد الموضع الأولي بشكل أفضل ١٤٥
استخدام حزمة الملاحة (Navigation Stack) من نظام روز ١٤٦
حزمة الملاحة في نظام روز ١٤٦
الملاحة في ارفز ١٤٦

رؤية ماذا يحدث..... ١٤٧
الملاحة عن طريق الكود ١٥٠
ملخص..... ١٥٢
الفصل الحادي عشر: تشيسبوت ١٥٣
المفاصل والروابط والسلاسل الحركية..... ١٥٤
مجال المفاصلJoint Space ١٥٥
الحركات العكسية ١٥٦
مفتاح النجاح..... ١٥٧
تثبيت وتشغيل روبونات٢ المُحاكي..... ١٥٩
تحريك روبونات٢ من واجهة سطر الأوامر..... ١٦٢
تحريك روبونات٢حول لوح الشطرنج..... ١٦٣
تشغيل اليد..... ١٦٥
نمذجة لوحة الشطرنج ١٦٧
العودة للعب الشطرنج..... ١٧١
ملخص..... ١٧٤
الباب الثالث: الإدراك والسلوك ١٧٥
الفصل الثاني عشر: فولوبوت Follow-bot ١٧٧
الحصول على الصور..... ١٧٧
الكشف عن الخط ١٨٣
تتبع الخط..... ١٨٨
ملخص..... ١٩٠
الفصل الثالث عشر: التجوال في دوريات..... ١٩١
دوريات بسيطة ١٩١
آلات الحالات ١٩٢
آلات الحالة في نظام روز ١٩٤
تعريف آلات الحالة باستخدام سماش ١٩٤
مثال أقرب قليلًا ١٩٨
تعريف آلات الحالة إجرائيًا..... ٢٠٠

التجوال في دوريات باستخدام آلات الحالة ٢٠٣
طريقة أفضل لتنفيذ الدوريات ٢٠٤
ملخص ٢٠٦
الفصل الرابع عشر: روبوت الستوكرومبوت ٢٠٧
بيئة محاكاة غرفة التخزين ٢٠٧
القيادة إلى الصناديق ٢٢٠
التقاط العناصر من الصندوق ٢٢٤
ملخص ٢٣٧
الباب الرابع: جلب الأشياء الخاصة بك إلى نظم روز ٢٣٩
الفصل الخامس عشر: أجهزة الاستشعار والمحركات الخاصة بك ٢٤١
إضافة أجهزة الاستشعار الخاصة بك ٢٤١
جهاز استشعار زائف ٢٤١
تصميم طبقة نظام روز ٢٤٢
التصميم الأول: القياسات الدورية (Periodic measurements) على التوبك ٢٤٣
التصميم الثاني: تدفق القياسات على التوبك ٢٤٥
التصميم الثالث: تدفق القياسات المنشورة بمعدل ثابت ٢٤٦
التصميم الرابع: نشر قياسات جهاز الإستشعار عند الطلب ٢٤٧
إضافة المحركات الخاص بك ٢٤٨
محرك زائف ٢٤٩
تصميم طبقة روز ٢٤٩
التصميم الأول: التشغيل المستمر ٢٥١
التصميم الثاني: التشغيل النادر والفوري ٢٥٢
التصميم الثالث: التشغيل النادر وطويل المدى ٢٥٣
ملخص ٢٥٤
الفصل السادس عشر: روبوتك المتنقل ٢٥٧
تورتويسبوت ٢٥٧
واجهة رسائل نظام روز ٢٥٩
مشغل الأجهزة Hardware driver ٢٦١

نمذجة الروبوت: اليو ار دي اف (URDF) ٢٦٢
المحاكاة في جازيبو ٢٧٠
ملخص ٢٧٦
الفصل السابع عشر: روبوتك المتنقل: الجزء الثاني ٢٧٧
التحقق من التحويلات ٢٧٧
إضافة مستشعر الليزر ٢٨٢
إعداد حزمة الملاحة ٢٨٥
استخدام أداة أرفز لتحديد موقع الروبوت المتنقل وقيادته ٢٩١
ملخص ٢٩٣
الفصل الثامن عشر: ذراع الروبوت الخاص بك ٢٩٥
ذراع الروبوت كوقاربوت (CougarBot) ٢٩٥
واجهة رسائل نظام روز ٢٩٦
مشغل الأجهزة ٢٩٧
نمذجة الروبوت: يو ار دي اف ٢٩٨
المحاكاة في آداة جازيوا ٣٠٢
التحقق من التحويلات ٣١٠
ضبط إعدادات موفيت ٣١٤
استخدام أرفز لإرسال الأهداف ٣١٨
ملخص ٣٢٠
الفصل التاسع عشر: إضافة مكتبة البرامج ٣٢١
اجعل روبوتك يتحدث: مكتبة بيتسكس(pyttsx) ٣٢١
واجهة الأكشن ٣٢٢
المعاملات ٣٢٣
حلقات الحدث ٣٢٤
خادم الكلام Speech server ٣٢٥
عميل الكلام ٣٢٧
التحقق من أن كل شيء يعمل كما هو متوقع ٣٢٧
ملخص ٣٢٨

الباب الخامس: النصائح والحيل البرمجية ٣٢٩

الفصل العشرون: الأدوات ٣٣١

السيد والأصدقاء: روزكور ٣٣١

المعاملات: روسبارام ٣٣٢

التنقل في نظام الملفات: روزسيدي roscd ٣٣٣

تشغيل العقدة: روزرن ٣٣٤

تشغيل عدة عقد: روزلنش ٣٣٤

التحقق من نظام يحتوي على عقد متعددة: روزتست rostest ٣٣٨

الاستكشاف: روزنود وروزتوبك وروزمسج وروزسيرفس وروزسرف ٣٤٠

ملخص ٣٤٣

الفصل الحادي والعشرون: تشخيص سلوك الروبوت ٣٤٥

رسائل السجل: rosout/ وrqt_console ٣٤٥

توليد رسائل السجل: rosout/ ٣٤٦

مستويات المُسجّل ٣٤٨

قراءة رسائل السجل: rqt_console ٣٥٠

التوبك rosout/ مقابل التوبكrosout_agg/ ٣٥١

العقد والتوبكس والاتصالات: rqt_graph و rosnode ٣٥٢

تصور الرسم البياني: rqt_graph ٣٥٢

مشكلة: أسماء التوبكس غير المتطابقة ٣٥٤

مشكلة: أنواع التوبكس و/ أو تدقيق المجموع غير المتطابق ٣٥٤

مشكلة: إعدادات الشبكة غير الصحيحة ٣٥٧

دمج بيانات أجهزة الاستشعار: أرفز ٣٥٩

رسم البيانات: rqt_plot ٣٦٠

تسجيل البيانات وتحليلها: rosbag وrqt_bag ٣٦٢

تسجيل وإعادة تشغيل البيانات: rosbag ٣٦٣

تصوير الحقائب: rqt_bag ٣٦٥

تحليل حقائب نظام روز باستخدام أدوات أخرى:rostopic echo -b ٣٦٥

ملخص ٣٦٦

الفصل الثاني والعشرون: مجتمع نظام روز: مصادر الإنترنت ٣٦٧
آداب التعامل ٣٦٧
موقع ويكبيديا نظام روز ٣٦٨
موقع إجابات نظام روز ٣٦٨
المتعقّب (الأخطاء وطلبات الخواص) ٣٧٠
القوائم البريدية والمجموعات ذات الاهتمامات الخاصة ٣٧٠
إيجاد ومشاركة كود معين ٣٧١
ملخص ٣٧١
الفصل الثالث والعشرون: استخدام لغة السي بلس بلس في نظام روز ٣٧١
متى يجب استخدام لغة السي (أو أي لغة أخرى)؟ ٣٧٣
بناء السي بلس بلس باستخدام الكاتكن ٣٧٤
package.xml ٣٧٤
CMakeLists.txt ٣٧٥
catkin_make ٣٧٥
التحويل بين لغة البايثون ولغة السي بلس بلس ٣٧٦
عقدة بسيطة ٣٧٦
التوبكس ٣٧٧
الخدمات ٣٧٩
ملخص ٣٨١
ثبت المصطلحات ٣٨٣
أولاً: عربي – إنجليزي ٣٨٣
ثانياً: إنجليزي – عربي ٣٩٨
كشاف الموضوعات ٤١٣

قائمة الأشكال

شكل (١-٢). الرسم البياني في نظام روز لمهمة الروبوت "جلب عنصر"- تمثل العقد في الرسم البياني البرامج؛ وتمثل الأسهم مجرى الرسائل التي تنقل بيانات الحساسات وأوامر المحرك وحالة المخطط والبيانات الوسيطة وغيره ١٠

شكل (٢-٢). روزكور يتصل فقط بشكل مؤقت بالعقد الأخرى في النظام ١٢

شكل (٣-٢). رسم نظام روز البياني، مع عقدة واحدة فقط ١٨

شكل (٤-٢). برنامج "Hello, world!" في نظام روز: يرسل المتحدث "talker" رسائل إلى المستمع"listener" ١٩

شكل (٥-٢). برنامج "Hello, world!" مع عقدة التسجيل"logger" ٢٠

شكل (٦-٢). تجسيد برنامجين "Hello, world!" وتوجيههما إلى نفس المستقبل ٢٠

شكل (٧-٢). تجسيد برنامجين "Hello, world!" مع مستمعين اثنين ٢١

شكل (٨-٢). رسم نظام روز البياني لروبوت مهمة "جلب عنصر" ٢١

شكل (٩-٢). يحتوي توبك "image" على "right/image" باستخدام أمر إعادة تعيين النصي ٢٣

شكل (١-٣). مثال توضيحي للخريطة ٣٨

شكل (١-٦). روبوت بي ار تو يعمل في بيئة المحاكاة جازيبوا ٨٢

شكل (٢-٦). روبوت الجلب في بيئة المحاكاة جازيبوا ٨٣

شكل (٣-٦). روبوت روبونات٢ في بيئة المحاكاة جازيبوا ٨٤

شكل (٤-٦). روبوت التورتلبوت في بيئة محاكاة جازيبوا ٨٥

شكل (٥-٦). لقطة شاشة نموذجية لأداة المحاكاة ستيج ٨٧

شكل (٦-٦). لقطة شاشة نموذجية من أداة المحاكاة جازيبوا ٨٨

شكل (١-٧). بيئة تورتلبوت الأولية في محاكي جازيبو. ٩٤

شكل (٢-٧). منظر عمودي للروبوت تورتلبوت وأمامه عائقان ٩٥

شكل (٣-٧). منظر عمودي لنفس مشهد الشكل (٢-٧)، يعرض المسح الليزري المُحاكي المستخرج من بيانات كينكت في التورتلبوت، حيث يمكن رؤية الكائن الواقع مباشرة أمام الروبوت بينما الكائن الأيمن خارج الرؤية. ٩٦

شكل (١-٨). مخططات مباشرة لتدفق أوامر السرعة الخطية والزاوية على مر الزمان باستخدام الأداة اركت_بلوت. ١١٠

شكل (٢-٨). أوامر السرعة في هذا المخطط تتدرج لأعلى وأسفل على مدار فترة زمنية محدودة، وهوما يسمح بتنفيذ المسار فيزيائيًا. ١١٦

شكل (٣-٨). لقطة من بيئة المحاكاة جازيبوا تحاكي التورتلبوت أمام خزانة الكتب. ١١٧
شكل (٤-٨). إعدادات أداة أرفز لعرض روبوت التورتلبوت و كاميرا العميق وبيانات الصورة الثنائية الأبعاد. ١١٨
شكل (٥-٨). الحالة الأولية لأداة أرفز قبل ضبط إعداداتها. ١١٩
شكل (٦-٨). قائمة الإطارات الثابتة ١٢٠
شكل (٧-٨). مربع حوار أرفز يُستخدم لتحديد نوع البيانات الذي تتم إضافته إلى التصور الحالي. ١٢١
شكل (٨-٨). نموذج التورتلبوت بعد إضافته إلى أرفز. ١٢٢
شكل (٩-٨). إضافة بيانات كاميرا عمق الترتلبوت لأرفز. ١٢٣
شكل (١٠-٨). تمت إضافة صورة الكاميرا في الزاوية السفلية اليسرى إلى تصور أرفز، بما يسمح للمشغّل عن بُعد برؤية منظور الشخص الأول وكذلك منظور الشخص الثالث للإطار الرئيس. ١٢٤
شكل (١١-٨). يمكن تغيير ترتيب الألواح في أرفز – يعرض اللوح الأيسر منظور الشخص الثالث لبيانات الكاميرا العميقة، ويعرض اللوح الأيمن مخرجات الكاميرا. ١٢٤
شكل (١٢-٨). تدوير العرض الثلاثي الأبعاد لإنشاء منظور عين الطائر ١٢٥
شكل (١-٩). مثال على خريطة مستخدمة من قبل نظام روز ١٢٨
شكل (٢-٩). خريطة تم تعديلها يدوياً – تم إضافة خطوط سوداء لإيقاف الروبوت من تخطيط المسارات في الممر السفلي بمنتصف الخريطة ١٣٠
شكل (٣-٩). أداة العرض أرفز تظهر عالما بسيطا مع التورتلبوت بداخله ١٣٣
شكل (٤-٩). خريطة تم إنشاؤها من تورتلبوت يقوم بالدوران حول نفسه ١٣٦
شكل (٥-٩). قسم مصغر من الخريطة التي تم إنشاؤها من تورتلبوت يقوم بالدوران حول نفسه ١٣٦
شكل (٦-٩). خريطة أفضل تم إنشاؤها من بيانات جمعت بعناية أكثر وإعدادات معلمات أفضل ١٣٧
شكل (٧-٩). خريطة بنيت باستخدام سلام_جيمابنق وعرضت في أداة أرفز ١٣٩
شكل (١-١٠). شاشة آداة أرفز لتحاكي روبوت تورتلبوت في عالم ستيج ١٤٢
شكل (٢-١٠). شاشة أرفز توضح الروبوت والخريطة وتقديرات نظام تحديد الموقع الاحتمالي للمواضع ١٤٣
شكل (٣-١٠). مثال على تحديد سيء للموقع الأولي، حيث لا تتماشى خطوط بيانات المستشعر مع الخريطة ١٤٤
شكل (٤-١٠). خريطة التكلفة العامة، والتي تظهر مناطق أكثر تكلفة بالقرب من الجدران ١٤٨
شكل (٥-١٠). الروبوت وهو يتحرك، مع توضيح المسار العام الذي تم حسابه ١٤٩
شكل (٦-١٠). التورتلبوت يتحرك إلى هدف الملاحة، مع تمكين جميع الشاشات ١٥٠
شكل (١-١١). المكونات الأساسية لذراع الروبوت المناور: الروابط والمفاصل. ١٥٤
شكل (٢-١١). يؤدي التخطيط السيء للحركة إلى كسر النافذة من قبل الروبوت الموجود على اليسار عوضا عن تنظيفها. ١٥٦
شكل (٣-١١). روبوت روبونات٢ في محطة الفضاء الدولية (حقوق الصورة لناسا) ١٥٨
شكل (٤-١١). التكوين الأولي لمُحاكي روبونات٢. ..... ١٥٩

شكل (٥-١١). مُحاكي روبونات٢ يقوم بالإيماءات ١٦١
شكل (٦-١١). موضع قبل قبض اليد ١٦٦
شكل (٧-١١). موضع قبضة اليد ١٦٧
شكل (٨-١١). لقطة لنافذة جازيبو تحتوي على محاكي الروبونات٢ الذي يلعب الشطرنج ١٧١
شكل (٩-١١). روبوت الروبونات٢ يلعب لعبة الشطرنج ١٧٣
شكل (١٠-١١). في نهاية المطاف تتساقط بعض القطع - يحدث ذلك للجميع ١٧٤
شكل (١-١٢). منظر للتورتلبوت مواجه لحاوية نفايات في نافذة الجازيبو ١٨٢
شكل (٢-١٢) صورة حاوية النفايات من منظور التورتلبوت ١٨٢
شكل (٣-١٢). لقطة من جازيبو تُظهر التورتلبوت في المسار الذي يقوم بتتبعه ١٨٣
شكل (٤-١٢). منظر نموذجي من كاميرا التورتلبوت في أثناء تتبع الخط ١٨٤
شكل (٥-١٢). تمثيل HSV لصورة كاميرا التورتلبوت في أثناء تتبع الخط ١٨٥
شكل (٦-١٢). الصورة الثنائية التي تم الحصول عليها بواسطة فلتر تدرج الألوان على صورة من النوعHSV ١٨٦
شكل (٧-١٢) الصورة الأصلية مع رسم لدائرة حمراء توضح تقدير الخوارزمية لمركز الخط ١٨٨
شكل (١-١٣). رسم بياني لآلة الحالة في روبوت بي ار تو لعملية توصيل المقبس الكهربائي، التي تم إنشاؤها بواسطة عقدة smach_viewer ١٩٣
شكل (١-١٤). عرض لنموذج الصندوق الذي تم وصفه في المثال ١٤ ٣ في نافذة جازيبوا ٢١١
شكل (٢-١٤). علامات نظام الطباعة ألفار التي ترمز للأرقام ٠ و ١ و ٢ ..... ٢١١
شكل (٣-١٤). بيئة محاكاة غرفة التخزين ٢١٨
شكل (٤-١٤). عرض عن قرب لترتيب صناديق التخزين في بيئة المحاكاة، مع إظهار علامات نظام الطباعة ألفار ٢١٨
شكل (٥-١٤). تم وضع روبوت بي أر تو في بيئة محاكاة غرفة التخزين ٢٢٠
شكل (٦-١٤). تم وضع روبوت فيتش في بيئة محاكاة غرفة التخزين ٢٢١
شكل (٧-١٤). خريطة غرفة التخزين المحاكية، والتي سيتم استخدامها لملاحة الروبوت. ٢٢٢
شكل (٨-١٤). يمكن أن تؤدي الملاحة عن طريق الليزر فقط إلى محاذاة غير دقيقة ٢٢٥
شكل (٩-١٤). الرسم التحويل البياني للمشهد الموضح في الشكل (١٠-١٤) ٢٢٨
شكل (١٠-١٤). عرض لنافذتي جازيبوا (يسار) و أداة أرفز (يمين) — مشاهد التقديم متساوية تقريبا ٢٢٩
شكل (١١-١٤). ينشئ نظام أوكتوماب خرائط ثلاثية الأبعاد لمساحة عمل الروبوت، ليستخدمها مخطِّط مسار الذراع ٢٣٣
شكل (١٢-١٤). طرق قبض مختلفة عن طريق موفيت لأشكال متعددة من المحاذاة للروبوت بالنسبة للصندوق ٢٣٤
شكل (١٣-١٤). يمد الروبوت فيتش ذراعه لتسليم عنصر إلى شباك العملاء في مقدمة غرفة التخزين ٢٣٦
شكل (١٤-١٤). بعد اكتمال مرحلة تسليم عناصر البضائع، يعود الروبوت فيتش إلى "موضع الاستعداد" في وسط الصناديق.. ٢٣٦
شكل (١-١٥). واجهة رسومية لجهاز استشعار زائف. ٢٤٢

شكل (٢-١٥). واجهة رسومية للمحرك الزائف الخاص بنا ٢٤٩
شكل (١-١٦). الروبوت إلسي، وهو نسخة من إصدار روبوتات السلحفات المسمّى "تورتويس" والذي بني في عام ١٩٤٠م ٢٥٨
شكل (٢-١٦). عرض هيكل التورتويسبوت ٢٦٤
شكل (٣-١٦). تصوير لهيكل التورتويسبوت مع عجلة التوجيه الأمامية ٢٦٦
شكل (٤-١٦). واجهة المستخدم الرسومية للمفصل.joint_state_publisher ٢٦٦
شكل (٥-١٦). شاشة rqt_graph للعقد المشاركة في تصوير وتشغيل نموذج التورتويسبوت. ٢٦٧
شكل (٦-١٦). تصوير كلي لنموذج التورتويسبوت. ٢٦٩
شكل (٧-١٦). محاكي التورتويسبوت في نافذة الجازيبو ٢٧٣
شكل (٨-١٦). عرض إطار ومفاصل التورتويسبوت في بيئة المحاكاة جازيبو ٢٧٤
شكل (١-١٧). تصوير الروبوت التورتويسبوت مع التحويلات المفقودة ٢٧٨
شكل (٢-١٧). تصوير الروبوت التورتويسبوت مع التحويلات ٢٨١
شكل (٣-١٧). تصوير الروبوت التورتويسبوت مع تصوير التحويلات ٢٨١
شكل (٤-١٧). محاكاة لروبوت التورتويسبوت مع عائق أمام الليزر ليتمكن من رؤيته ٢٨٤
شكل (٥-١٧). تصور لأشعة الليزر من الروبوت تورتويسبوت ٢٨٥
شكل (٦-١٧). خريطة مبنى المكاتب لاستخدامها في الملاحة ٢٨٦
شكل (٧-١٧). الروبوت تورتويسبوت في مبنى المكاتب باستخدام أداة جازيبوا ٢٨٧
شكل (٨-١٧). الخريطة الثابتة المعروضة في أداة أرفز ٢٨٨
شكل (٩-١٧). تحديد الموضع الأولي للروبوت في أداة أرفز ٢٩١
شكل (١٠-١٧). موضع الروبوت في أداة أرفز بعد ضبط الموضع الأولي ٢٩٢
شكل (١١-١٧). تحديد موضع هدف الملاحة في أداة أرفز ٢٩٢
شكل (١٢-١٧). الروبوت يتجه نحو هدفه، مع قرب سحابة جسيمات تحديد الموقع الحمراء لتقديرات أكثر دقة ٢٩٣
شكل (١-١٨). مثال على سلسلة أذرع الروبوت المسماة PIMA من شركة يونيميشن (المصدر) (Wikimedia Commons) ٢٩٦
شكل (٢-١٨). عرض لرابط القاعدة لذراع الروبوت كوقاربوت ٢٩٩
شكل (٣-١٨). عرض للقاعدة، والجذع، والذراع العلوي، والذراع السفلي، واليد في الروبوت كوقاربوت ٣٠٢
شكل (٤-١٨). نافذة أداة جازيبوا يحاكي الروبوت كوقاربوت ٣٠٥
شكل (٥-١٨). نافذة أداة جازيبوا لمحاكاة الروبوت كوقاربوت بعد تشغيل وحدة التحكم ٣٠٨
شكل (٦-١٨). ذراع الروبوت كوقاربوت بعد ضبطه بالإعدادات الجديدة ٣١٠
شكل (٧-١٨). تصوير مباشر في أداة أرفز محاكي لذراع الروبوت كوقاربوت ٣١٢
شكل (٨-١٨). تصوير مباشر في أداة أرفز محاكي لذراع الروبوت كوقاربوت ٣١٣
شكل (٩-١٨). تمثيل بياني لزوايا مفاصل الروبوت كوقاربوت في أثناء تنفيذ المسار ٣١٣

شكل (١٠-١٨). مساعد إعداد موفيت..... ٣١٤
شكل (١١-١٨). تم تحميل نموذج الروبوت كوقاربوت في مساعد إعداد موفيت ٣١٥
شكل (١٢-١٨). خطوة ضبط إعدادات مجموعات التخطيط في مساعد إعداد موفيت ٣١٦
شكل (١٣-١٨). تصوير الروبوت كوقاربوت في أداة أرفز مع تفعيل خيار MotionPlanning ٣١٩
شكل (١٤-١٨). استخدام أداة أرفز لتعريف إعدادات هدف..... ٣١٩
شكل (١-٢١). تسمح لك واجهة المستخدم الرسومية rqt_logger_level بتغيير مستوى مسجّل تصحيح الأخطاء في أي عقدة نظام روز قيد التشغيل..... ٣٤٩
شكل (٢-٢١). تقوم واجهة المستخدم الرسومية rqt_console بجمع وعرض رسائل التصحيح من جميع عقد نظام روز التي قيد التشغيل في نافذة تحكم واحدة..... ٣٥٠
شكل (٣-٢١). يُظهر واجهة المستخدم الرسومية rqt_graph الحالة الحالية للعقد والتوبكس في نظام روز الذي قيد التشغيل ... ٣٥٣
شكل (٤-٢١). تتيح لك الخيارات في rqt_graph الكشف أكثر أو أقل عن نظام روز الذي هو قيد التشغيل..... ٣٥٣
شكل (٥-٢١). يمكن رؤية اتصال مفقود بشكل واضح في rqt_graph ناتج عن أخطاء إملائية في اسم التوبك ٣٥٤
شكل (٦-٢١). عقدتان تقومان بالنشر في مشترك واحد لكنهما تختلفان في نوع الرسالة؛ لابد من التحقق بشأن السبب..... ٣٥٥
شكل (٧-٢١). أداة واجهة المستخدم الرسومية rqt_plot تنتج مخططات ثنائية الأبعاد لأي بيانات رقمية منشورة في نظام روز... ٣٦١
شكل (٨-٢١). أداة واجهة المستخدم الرسومية rqt_plot يمكنها رسم قيم بيانات متعددة في وقت واحد..... ٣٦٢
شكل (٩-٢١). تسمح لك أداة واجهة المستخدم الرسومية rqt_bag بفحص البيانات المسجلة والعمل عليها بشكل مرئي..... ٣٦٥
شكل (١-٢٢). روز ويكي: الصفحة الرئيسة للحصول على معلومات ووثائق حول برنامج نظام روز ٣٦٨
شكل (٢-٢٢). إجابات نظام روز: منتدى الأسئلة والأجوبة لمجتمع نظام روز ٣٦٩

قائمة الجداول

جدول (١-٣). أنواع الرسائل الأولية في نظام روز وكيف يتم التعامل معها وأنواع سي بلس بلس وبايثون المناظرة لها. ٣٩
جدول (١-٥). مقارنة بين التوبك والخدمات والإجراءات ٧٠
جدول (١-١٦). أنواع المفاصل المدعومة من قبل يو ار دي اف ٢٦٥