

هندسة وكيل الروبوت المتنقل على أساس الوحدات التنافسية

د. زكرياء توكال

المدرسة العليا للأساتذة

تاريخ الإرسال 20 فبراير 2022

تاريخ القبول: 25 ماي 2022

الكلمات المفتاحية: العميل، الروبوت المتنقل، البنية الهندسية، السلوك التفاعلي، السلوك الاستراتيجي، السلوك التكتيكي، السلوك التنافسي، الوحدة النمطية، الاضطراب.

الملخص Abstract: في تطبيقات الروبوتات المتعددة، يزداد تعقيد بنية التحكم في الروبوت بشدة بسبب تفاعلاته مع كل من البيئة والروبوتات الأخرى. ولذا فإن هذا النوع من التطبيق يجب اعتباره مجموعة من وكلاء من حيث المعالجة والتواصل والتعاون والتنسيق وصنع القرار، بدلاً من اعتباره منظمة مركزية ومتجانسة، حيث تكون الاستقلالية غير محققة والتفاعلات بين الروبوتات المختلفة معطلة. يسمح هذا النهج بإعادة توزيع عملية صنع القرار، مما يؤدي إلى منظمة ديناميكية وتفاعلية وموزعة. بناءً على هذا النموذج، نقترح نموذجاً لبنية التحكم في الروبوت، والذي يعرض ميزات تداولية وتفاعلية، من أجل مراعاة تفاعلات الروبوت مع البيئة من ناحية، وتأثير هذه التفاعلات على قرارات الروبوتات الأخرى من ناحية أخرى، تعتمد هذه البنية على التجزئة في وحدات سلوك التنافسية. تسمح تفاعلات هذه الوحدات بإعطاء الروبوت سلوكيات تفاعلية وتداولية وهجينة. تم تنفيذ البنية المقترحة بلغة برمجة ++C، باستخدام تقنيات خيوط المعالجة المتعددة تحت نظام التشغيل (Windows). يتم تمثيل كل وحدة إما ككائن تنافسي أو كغلاف لكائنات تنافسية.

Title: Architecture of mobile Robot

Agent Based on Competitive Modules

Abstract: In multi robots applications, the complexity of a robot's control architecture increases strongly due to its interactions with both the environment and the other robots. We believe that this kind of application has to be considered, as a set of processing, communicating and decision-making agents, rather than as a centralized and monolithic organization, where autonomy is underachieved and interactions between the different robots are underemployed. This approach allows a redistribution of the decision-making, leading to a dynamic, reactive and distributed organization. Based on this paradigm, we propose a model of robot control architecture, which exhibits deliberative and reactive features, in order to take into account, on the one hand, the interactions of the robot with the environment, and on the other hand, the impact of these interactions on the decisions of the other robots. This architecture is based on decomposition in modules of competitive behavior. The interactions of these modules allow to endow the robot with reactive, deliberative and hybrid behaviors. The

proposed architecture has been implemented in C++ programming language, using multi-threading techniques under Windows. Each module is represented either as a competitive object or as an encapsulation of competitive objects.

Keywords: Agent, mobile robot, Architecture, Reactive behaviour, Strategic Behaviour, Tactic Behaviour, , Strategic Behaviour, Competitive Behaviour, Module, Disturbance.

المدخل Introduction: كما هو معلوم فإن بنى التحكم في الروبوتات المتنقلة هي في الغالب أنظمة معقدة بسبب الضرورة الملحة لضمان تعايشية بين آليات إدارة المعرفة وقيود التفاعل. ومن خلال دراسة الموجود يتضح أن هناك تنوع ملحوظ في الحلول المقترحة لحل مشكلة التحكم في هذه الروبوتات حيث أنها خصصت كل واحدة منها لإنجاز نوع معين من التطبيقات. وعليه، فإن البنى التفاعلية تساعد في دراسة سلوك الروبوت الناشئ من سلوكياته البدائية [4] [3] [2] والتي لا تسمح بتخطيط العمليات ولا تسمح بالتفكير التفصيلي [1]. على العكس من ذلك، فإن البنى التداولية، تضيف على الروبوت مهارات التفكير التي تمنحه القدرة على وضع الخطط من أجل بلوغ الهدف.

التحكم في الروبوت لكون أن الروبوت يتفاعل مع كل من بيئته والروبوتات الأخرى. لذا يجب اعتبار مثل هذا التطبيقات على أنه مجموعة من عمليات صنع القرار والمعالجة والاتصالات، بدلاً من مجموعة مركزية ومتجانسة، حيث يتم ترك مساحة صغيرة للاستقلالية ويتم إعطاء أهمية قليلة للتفاعلات بين الروبوتات المختلفة. يسمح هذا النهج الموجه توجيه نحو الوكيل بإعادة توزيع عملية صنع القرار على المستويات المختلفة للمجموعة مما يؤدي بالتالي إلى منظمة موزعة وديناميكية وتفاعلية. على أساس هذا النموذج، نقترح في هذا البحث المفاهيم التي التفكير في المواقف المعقدة وقدرات تفاعلية من أجل احترام الأجل النهائية. وبشكل أكثر تحديداً، فهو يعتمد على التجزئة في وحدات التنافسية تضمن المهارات المشار إليها سابقاً. تم تنظيم هذا البحث على النحو التالي: في الجزء الأول، سنعرض الهندسة والبنية العامة التي سنتطرق من خلالها إلى وصف الخصائص المطلوبة لهندسة الروبوت المتنقل في سياق متعدد الروبوتات التي تعتمد أساساً على مفهوم وحدات السلوك. أما الجزء الثاني، فنقدم فيه النتائج التي حققناها من حيث التصميم الهندسي ومن حيث نتائج المحاكاة في عملية تطبيق البنية الهندسية المعتمدة (بنية عامل "الروبوت") من أجل إجراء مهمة استكشاف مشتركة بين الروبوتات. في الجزء

في سياق التطبيقات التي تقحم مجموعة من الروبوتات المتنقلة، يزداد تعقيد بنية ستسمح بنمذجة هذه المنظمة من وجهة نظر محلية (مكون وكيل "الروبوت") ووجهة نظر شاملة (التفاعلات بين الروبوتات) يتضمن بعداً تداولياً وتفاعلياً، من أجل النظر، من ناحية، في تفاعلاته مع البيئة، ومن ناحية أخرى، تأثير هذه التفاعلات على قرارات الروبوتات الأخرى. نظراً لمقدار قيود تطبيق يخص مجموعة من الروبوتات، فإن البنية المقترحة للتحكم تستند إلى مفهوم وحدات السلوك التنافسي يمنح هذه الهندسة الروبوت قدرات التداولية من أجل

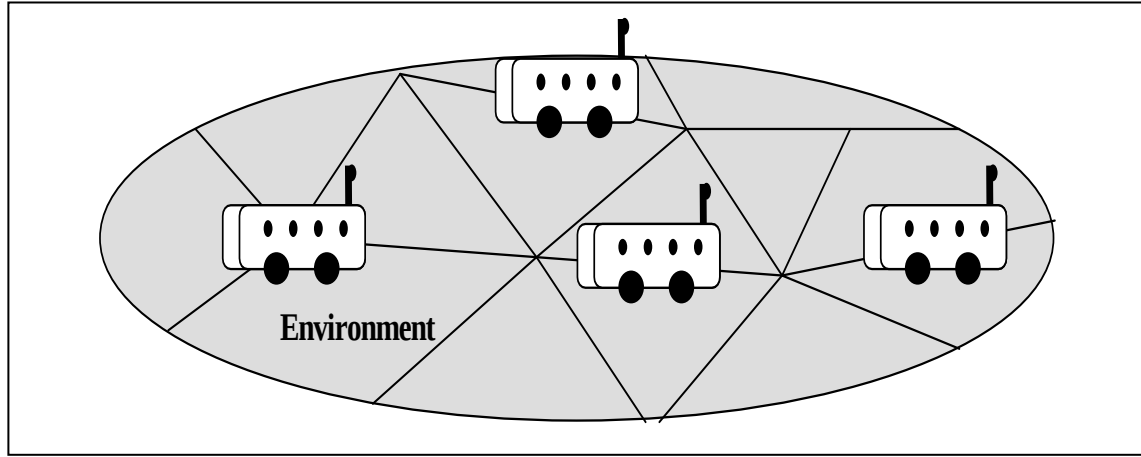
الثالث، سنقوم بإجراء عملية تقييم للمقترحات الهندسية والخوارزمية التي اعتمدناها من أجل انجاز مهمة الاستكشاف مع ذكر الجوانب الإيجابية والسلبية لهذه الدراسة. ونهني بحثنا بخلاصة عامة نبين فيها أهمية هذا العمل المنجز والآفاق المستقبلية لهذه الدراسة.

1. الهندسة والبنية العامة:

Architecture and General Structure

1.2. هندسة الروبوت المتحرك في التطبيقات المتعددة الروبوتات

في هذه الفقرة، سنحاول أن نسلط الضوء على تحديد إطار عمل من أجل تحقيق التحكم في منظمة تضم عدة روبوتات متنقلة تخضع لقيود شديدة: بيئة معروفة جزئياً، اقتران بين خطط مهام الروبوتات (الشكل 1).



الشكل 1: مثال تطبيق في سياق متعدد الروبوتات

(التي تعتبر وكلاء متموقعين) لإدارة الصراعات التي يمكن أن تنشأ بسبب الاضطرابات. كان الهدف هو جدولة عمليات الروبوت المضطرب في الوقت الفعلي، من أجل تقليل انتشار الاضطرابات تجاه الروبوتات الأخرى. لقد درسنا هذه المشكلة تحت قيد الأسبقية بين العمليات التي لا تنتهي إلى نفس خطة العمليات. تم تجسيد هذه الأعمال من خلال الاقتراح والتحقق من صحة نموذج التعاون القائم على آليات التفاوض بين الروبوتات. في هذه الورقة، نقترح مفاهيم تسمح بنمذجة وكيل الروبوت في تنظيم يضم عدة روبوتات. الهدف هو اقتراح نموذج عام للهندسة المعمارية، يدمج البعد التداولي والتفاعلي، من أجل التحكم في كل روبوت، مما سيسمح بالنظر، من ناحية، في مراعاة تفاعلاته مع البيئة، وعلى من ناحية أخرى، تأثير هذه التفاعلات على قرارات الروبوتات الأخرى هدفنا هو تطوير نظام تحكم يمتلك الخصائص التالية:

في مثل هذا السياق، نميز بين نوعين من التفاعل لكل روبوت: التفاعلات مع بيئته ومع الروبوتات الأخرى. في الحالة الأولى، يمكن أن يطرأ على البيئة أحداث غير معروفة مثل ظهور عثرات أو عوائق قد تجبر كل روبوت على اتخاذ سلوك نموذجي يسمح له بالوصول إلى الهدف دون الاصطدام بأي عائق بعائق أو روبوت آخر. في الحالة الثانية، يمكننا التمييز بين عدة أنواع من التفاعل: الوصول إلى الموارد المكانية، ومعالجة الاضطراب المتزامن ومشاركة التفاعل. كمثال على ذلك مجموعة ذكية من الروبوتات تستخدم لاستكشاف بيئة معروفة جزئياً بشكل مثالي من خلال مشاركة المناطق المعروفة. في الحالة الثانية، يمكننا التمييز بين عدة أنواع من التفاعل: الوصول إلى الموارد المكانية، والتزامن في معالجة الاضطراب ومشاركة التفاعل. كمثال نموذجي على ذلك، مجموعة ذكية من الروبوتات تستخدم لاستكشاف بيئة معروفة جزئياً بشكل مثالي من خلال مشاركة المناطق. قمنا بدراسة مشكلة التعاون بين العديد من الروبوتات المتنقلة

النمطية: يتم تحقيق نمطية بنية التحكم للروبوت المتحرك من خلال التحلل في الوحدات التي يمكن تطويرها وتنفيذها وإدراكها بشكل منفصل. إن القدرة على إعادة التمثيل والتوسيع هما خاصيتان تسمحان لأي نظام قيادة بالتطور من خلال إضافة وظائف جديدة ومنح مرونة التكيف.

التفاعل مع البيئة: من المفترض أن يكون الروبوت المتحرك قادرًا على إدارة الأحداث الخارجية الغير المتزامنة في الوقت الحقيقي من أجل احترام ديناميكيات البيئة. يمكن أن يكون للحدث الخارجي عدة أصول: وجود عقبة غير متوقعة، أو انهيار مفاجئ، أو طلب من روبوت آخر، وما إلى ذلك. يستلزم الوقت الحقيقي قيودا تتعلق بتأخيرات في الرد وعلى تدفق بعض المعلومات. تعتمد هذه القيود على نوع المعدات وطريقة إدارة هذه الأحداث. وبالتالي، يجب أن يتضمن نظام القيادة فكرة الأولوية والعجالة في معالجة الحدث.

السلوكيات الذكية: ينتج الذكاء عن الإدراك والاستدلال والقدرة على العمل. الإدراك يترجم المعلومات المكتسبة إلى معرفة عن البيئة. يُنشئ نظام اتخاذ القرار خطط العمليات التي تصف الإجراءات التي يجب القيام بها من أجل الوصول إلى أهداف المهمة والتفاعل في مواجهة الأحداث غير المتزامنة. يرتبط مقدار الذكاء ارتباطًا وثيقًا بالأنواع المختلفة من البيئات التي يجب أن يتطور فيها الروبوت، بالإضافة إلى درجة صعوبة المهام التي يجب أن يقوم بها. في سياق تطبيق متعدد الروبوتات حيث ترتبط الروبوتات بخطط

المهام، يمكن وضع ذكاء الروبوت في عدة مستويات. الأول يرتبط بالبيئة المحلية للروبوت. وبالتالي، في حالة وجود بيئة غير معروفة، لا غنى عن منح الروبوت سلوكًا ذكيًا يسمح له بتجنب العقبات التي يواجهها على مساره. لكي يمكنه من التحكم المباشر في هذا المسار.

يتعلق المستوى الثاني من الذكاء بمتانة المجموعة، والتي تمثل قدرة النظام على إدارة الاضطرابات والأعطال. وبالتالي، يمنح هذا المستوى من الذكاء للروبوت بعض القدرات لتكييف سلوكه في حالة الاضطراب من خلال التعاون مع الروبوتات الأخرى. على سبيل المثال، في بعض الحالات، يمكن أن يؤدي الاضطراب إلى تأخير في تنفيذ العملية وبالتالي فإنه بعض الروبوتات الأخرى في حالة استثنائية. يمكن أن يؤدي مثل هذا الموقف المتناقض إلى انتشار الاضطراب إلى الروبوتات الأخرى، مما يؤدي إلى تجميد المجموعة تمامًا. هذا يجبر الروبوت المضطرب على أن يكون له سلوك تعاوني، مما يسمح له بالتفاوض مع الروبوتات الأخرى على خطة عمليات جديدة. يفرض مثل هذا السلوك على الروبوتات الأخرى تغيير سلوكها، من أجل معالجة طلبات الروبوت المضطرب. علاوة على ذلك، كل روبوت لديه تصور محدود عن المنظمة لأن المعرفة موزعة. وبالتالي، من الضروري تزويد نظام التحكم بآلية تسمح له بإدارة هذه المعرفة الموزعة والجزئية حتى يكون له منطق شامل متماسك من أجل القيام بإجراءات أكثر دقة.

(الفضاء الحسي الكامل) ويكون تأخير الرد فيه محدودًا؛

- السلوك التداولي القائم على المعرفة: مثل أن يقوم عامل الروبوت بوضع أو تعديل خطة مهام، اعتمادًا على الغاية المستهدفة والنموذج الذهني للنظام الخاضع للرقابة. يسمح هذا النموذج بتقييم تأثيرات الخطة المعدلة على الروبوت نفسه، وعلى بيئته (الروبوتات الأخرى). علاوة على ذلك، فإن المعلومات تكون شاملة ويتم حفظها في شكل تمثيل للبيئة (مرحلة النمذجة). وأيضًا يكون تأخير الرد مرة أخرى محدودًا.

اعتمادًا على دقة وحدة السلوك، يمكن أن تحتوي هذه الوحدة النمطية على سلوك إجرائي (ردود أفعال على المحفز أو المؤثر)، أو سلوك معرفي حيث أن المعرفة يمكن أن تشمل القواعد والاستدلالات، والمعرفة التصريحية أو الإجرائية المعرّبة تكون خاصة بمجال المعرفة للوحدة النمطية. في حالة النظام القائم على القواعد، يمكن أن يعتمد الاستقراء، على نوع السلوك، على محرك الاستدلال القائم على المنطق برتبة +0، أو برتبة 1، أو المنطق الغامض، إلخ.

3.1.2. حالة وحدة السلوك

تتميز الوحدة بحالتها (نشطة، غير نشطة، في انتظار حدث)، مما يضمن بطريقة ما المنافسة بين الوحدات. فتكون نشطة إذا كانت تعالج البيانات، وتكون غير نشطة إذا لم يتم إنشاؤها بعد، وتنتظر حدثًا إذا كانت في وضع الاستعداد. عندما تكون الوحدة نشطة، يمكن أن تتعامل مع رسائلها وطلباتها بعدة طرق:

من أجل تلبية الخصائص الموصوفة سابقًا والضرورية لإعداد نموذج معماري عام لوكيل الروبوت المتنقل، فإننا اعتمدنا مفهوم وحدات السلوك التنافسي الذي جاء ذكره في البحث الأول [7]. هذه الوحدة السلوكية تتلخص فيما يلي:

- مكون يؤمن وظيفة محدّدة في بنية التحكم لتحقيق الهدف الشامل للمهمة المشتركة بين الروبوتات؛

- تتميز بوظيفتها، ونوعها، وحالتها، وتفاعلها مع الوحدات الأخرى؛

- يمكنها تجميع وحدات سلوك أخرى.

2.1.2 دقة وحدة السلوك

اعتمادًا على مدى تعقيد الوحدة النمطية، يمكن أن يتخذ نشاطها أحد الأشكال الثلاثة التالية:

- السلوك التفاعلي الناتج عن ردة فعل على المؤثر يمكن اعتبارها فورية وبسيطة وذلك باستخدام معلومات جزئية أو كاملة نادرًا ما يتم حفظها. تعتبر عملية التحكم في التغذية الراجعة (تجنب العوائق، متابعة الجدار، إلخ) أو الإجراءات الانعكاسية أمثلة جيدة. تتصرف الوحدة النمطية في هذه الحالة كحالة آلية محدودة بدون إسقاط الإجراءات في المستقبل؛

- السلوك التداولي القائم على قواعد الذكاء الاصطناعي حيث تعتمد الوحدة على استخدام القواعد والإجراءات المحفوظة وتسمى أيضًا عملية اتخاذ القرار، المرتبطة بسياق حالة التطبيق. في هذه الحالة، تستخدم الوحدة البيانات التي تمثل الوضع الحالي للعامل

-المعالجة الفورية: عند وصول رسالة عاجلة أو حدث قادم من وحدة أخرى، تعمل الوحدة الموجهة على الفور على تنشيط الإجراءات المحفوظة المرتبطة بهذه الرسالة أو الحدث.

- معالجة مؤجلة: عند حدوث رسالة أو حدث عادي، يمكن أن يتأخر العلاج المرتبط به كما هو محدد بواسطة آلية قائمة على الأولوية. مثال على ذلك، خادم الاتصالات المرتبط بوحدة الاتصال هو مثال نموذجي للحالة التي يمكن فيها تنفيذ هذه الآليات حيث أنه ينبغي أن يكون قادرًا على النظر في عدة طلبات متزامنة فيحدث نوع من المنافسة التي تمنح لكل وحدة قدرًا معينًا من الاستقلالية التي تسمح للوحدة بالتحكم في معالجة الرسائل المستلمة.

4.1.2. التفاعلات بين وحدات السلوك.

تحتوي وحدة السلوك على واجهة تسمح لها بالتواصل مع الوحدات النمطية الأخرى، من أجل إنجاز مهمتها. يمكن التمييز بين نوعين من الاتصالات في التفاعل بين وحدتين: الأولى تتكون من تبادل الرسائل من خلال صندوق بريد. الثاني يعتمد على تبادل المعرفة عن طريق المشاركة في سبورة مركزية.

5.1.2. تجميع وحدات السلوك.

في بعض المواقف، قد تحتاج وحدة السلوك إلى خبرة العديد من وحدات السلوك الأخرى. ينتج عن هذا تنشيط سلوك واحد أو عدة سلوكيات، والتي سترتبط بتحقيق نشاط واحد. يُنظر إلى آلية التنشيط هذه على أنها خدمة تطلبها وحدة ما. إن استدعاء خدمات الوحدات النمطية الأخرى يرتبط بمعاملات داخلية

وخارجية على جانب الوحدة النمطية المستدعاة. على سبيل المثال، وحدة تسلسل العملية لعامل "الروبوت" تعتبر نموذجًا في تجميع وحدات السلوك الذي يعتمد على مبدأ تغليف السلوكيات. تستخدم هذه الوحدة النمطية خدمات التفكير ووحدات الاتصال مثل وحدة التنقل، التي تجمع بين الإدراك، والمنطق، وسلوكيات التحرك التي تحتاج إلى قواعد تحكم من أجل تحديد آليات الاتصال بين هذه الوحدات.

6.1.2. السلوك الفوقي

من بين جميع وحدات السلوك، يتم تحديد وحدة خاصة تسمى السلوك الفوقي أو وحدة الإشراف. تتحمل هذه الوحدة دور تحديد سلوك الروبوت وفقًا لحالته الداخلية ووفقًا لما يحيط به فينتج عن هذا التحديد استدعاء وحدة التفكير، باستخدام القواعد الوصفية.

1.2. البنية العامة لهندسة الروبوت

المتنقل

بالنسبة لتوليف عامل "الروبوت" وتنفيذه، يعتمد نهجنا على طريقة تقسيم المعمارية إلى وحدات سلوك تنافسية، وعلى دمج العناصر في هذه الوحدات [7]. تسمح البنية المقترحة بثلاثة أنواع من التفاعل: التفاعل الانعكاسي والتفاعل التكتيكي والتفاعل الاستراتيجي. يتمحور حول الوحدات الأساسية التالية:

وحدة الإدراك: تسمح بجمع البيانات الواردة من أجهزة الاستشعار المختلفة التي تزود الروبوت المتنقل (عداد المسافات، ومستشعرات الأشعة تحت الحمراء، وأجهزة

استشعار الموجات فوق الصوتية)، وإرسالها إلى وحدة السلوك التكتيكي.

وحدة الاتصال: يتم تكليف وحدة الاتصال بين الروبوتات بوضع تركيبة البيانات التي سيتم إرسالها إلى المشرف على وكيل الروبوت، والتحقق من سلامة التراكيب البيانية المستلمة. يستخدم نموذج اتصال من نوع خادم العميل وحدة الإجراء: تضمن تنفيذ أوامر تحريك الروبوت المتنقل وتتمثل مهمتها في إصدار أوامر التحكم في مشغلات (محركات) الروبوت.

وحدة التفكير: تمثل مركز اتخاذ القرار للقدرات المختلفة للعامل "الروبوت" وفقاً لوحدة السلوك المشغلة، تحدد هذه الوحدة استجابة مناسبة للوضع الحالي للعامل "الروبوت" وتخضع استجابة الوكيل للدراسة الفنية ونوع دقة وحدة السلوك. في الغالب، يتم استدعاء وحدة التفكير أثناء التفاوض الذي يتبع طلباً تم إرساله بواسطة روبوت مضطرب، عبر وحدة الاتصال. أثناء التنقل مثلاً، يتعين على العامل "الروبوت" تحديد مسار بدون تصادم للانتقال من مكان إلى آخر.

وحدة الأمان: تسمح هذه الوحدة بمنح العامل "الروبوت" أهلية الاستجابة للمحفزات مثل على شكل سلوك تفاعلي انعكاسي. يؤدي هذا السلوك الطبيعي إلى إيقاف طارئ للعامل "الروبوت" عندما يكون الأخير بجوار عقبة غير متوقعة. يؤدي هذا إلى حدوث تأخير قصير جداً في إنجاز المهمة الحالية، بالقدر الذي يحتاجه التفكير المناسب لإجراء تفاعل انعكاسي. يتم الحصول على هذه الخاصية بفضل اتحاد قوي

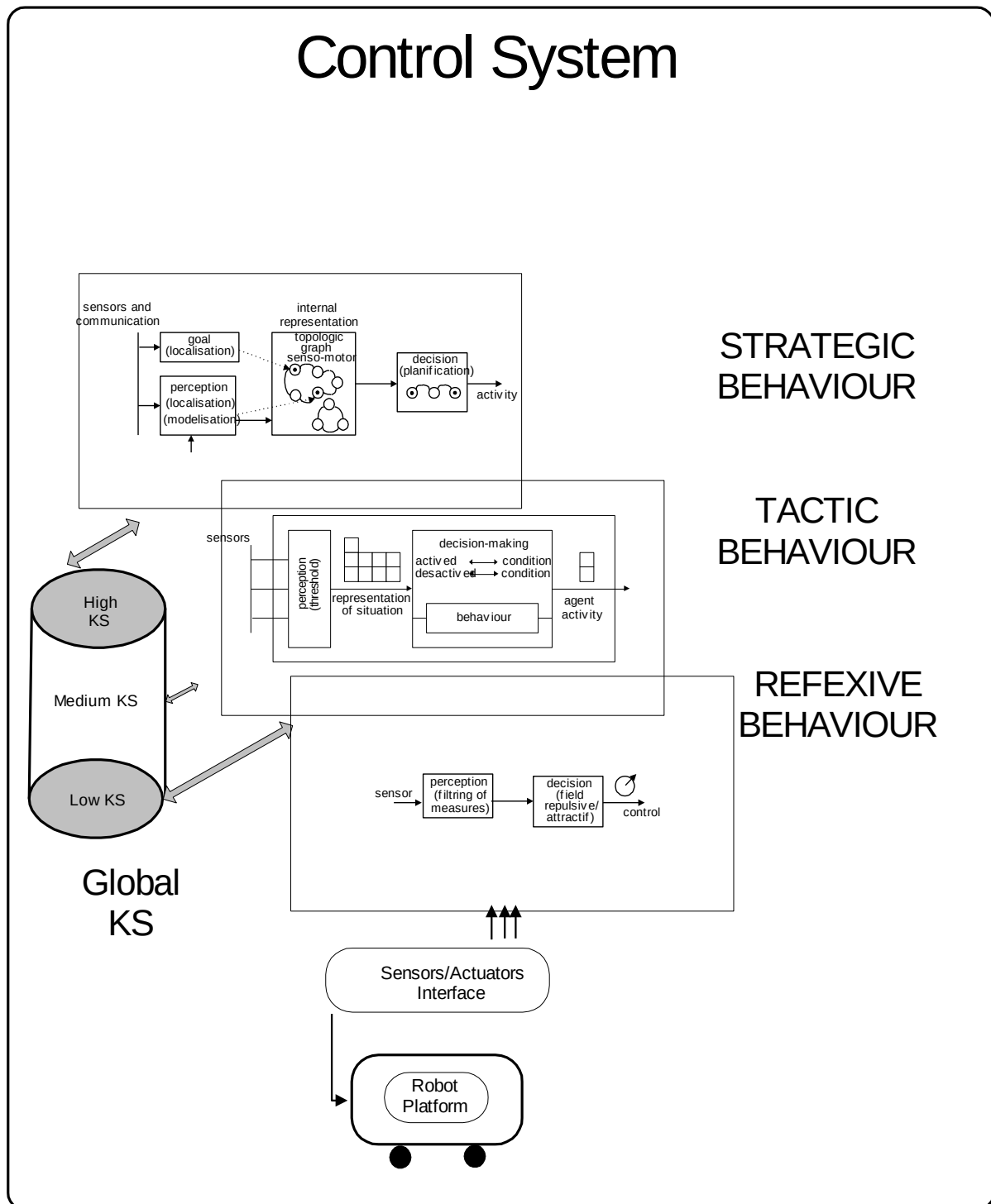
بين المشغلات وأجهزة الاستشعار من خلال وظيفة نقل بسيطة (Transfert Function).

وحدة التنقل: تحكم سلوك العامل "الروبوت" في إنجاز المهام الأولية (تحرك من نقطة إلى نقطة). تتمتع بالقدرة على الرد بمهارة في محيط غير معروف. تتكون كل مهمة من تحديد مسار محسوب غير تصادمي عن طريق استدعاء وحدة التفكير. تنفذ هذه الوحدة تفاعلاً تكتيكياً، لأنها تسمح بتطوير مسار عبر في الوقت الحقيقي دون تصادم عن طريق الحوسبة على قاعدة معرفية، انطلاقاً من معلومات المستشعرات.

- وحدة التفاوض (السلوك الاستراتيجي): يتم استدعاء وحدة السلوك الاستراتيجي هذه بواسطة وحدة الجدولة في حالة حدوث اضطراب حيث تقوم بتحديد أولوية العمليات داخل الروبوت المضطرب. يتم تحديد الأولوية بعد المداولات حول قاعدة المعرفة القادمة من المعلومات المستخرجة من العملاء "الروبوتات الأخرى". طريقة عملها تعادل السبورة الموزعة حيث يتم تمثيل كل مصدر معرفة بواسطة وكيل "روبوت" تكون وحدة التحكم في السبورة على نفس مستوى الروبوت المضطرب. يتم تفعيل مصادر المعرفة والتحكم فيها من خلال الأولوية الديناميكية أو الثابتة.

-وحدة المشرف: تحدد هذه الوحدة الفوقية -سلوك العامل "الروبوت". حيث أنها تتكفل بإدارة تدفق البيانات، بقدر الاضطرابات. كما أنه تدير الأحداث غير المتزامنة القادمة من البيئة. علاوة على ذلك، فإنها تسمح بتكييف السلوك المناسب من خلال تجميع العديد من

- وحدات السلوك أمام المواقف الخاصة. وأيضا ضمان تنشيط وحدة السلوك، ونقل التحكم إليها.
- تعايش ثلاثة مستويات من التفاعل: رد الفعل، والتكتيك، والاستراتيجي.
- وجود تواصل على محورين متعامدين: الأول أفقي ومرتبطة بالاتصالات بين العملاء. تسترشد هذه الاتصالات ببنية التنظيم لمجموعة الروبوتات، هذه البنية مسؤولة عن مخطط تفاعل النظام. المحور الثاني عمودي ويرتبط بالاتصالات بين الوحدات النمطية لنفس الروبوت، وبعد هذا المحور ضرورياً لأداء نظام موزع على عدة مستويات من التجريد، من أجل التمكن من تقسيم الأحداث عند المدخل (آلية نشر تركيبة واحدة من المعلومات إلى مجموعة من وكلاء السلوكيات)، وعلى العكس من ذلك، لتكون قادراً على دمج سلوكيات المستوى الذري (الأدنى) في سلوكيات عالية المستوى. الشكل التالي يوضح بنية التحكم في النظام.
- وحدة التسلسل: تحكم الاضطرابات الناتجة عن الجدولة في الوقت الفعلي. تستخدم هذه الوحدة طريقتين: الأولى تتمثل في إعداد جدول قائمة على استكشاف مجريات الأمور، باستخدام المعلومات المحلية المتاحة على مستوى العامل المضطرب. أما الثانية، فتقوم بتنفيذ آلية التفاوض مع العملاء الآخرين، قصد تقليل انتشار الاضطراب إليهم ويتم هذا بإعداد جدول زمني جديد واستدعاء وحدة التفاوض.
- تمتاز هذه العمارة بمزايا واضحة يمكن تلخيصها على النحو التالي:
- ضمان سلوك استراتيجي يظهر خلال مراحل التفاوض
- ضمان مستويين من النموذج التعاوني: تعاون تكتيكي وتعاون استراتيجي.



الشكل 2: نظام التحكم في عامل الروبوت

2. الهندسة المحققة

1.3. مقدمة

لبناء نموذج التنفيذ الخاص بهذا العمل، اخترنا حلاً موجهاً نحو مفهوم الكائنات، لسببين رئيسيين:

يقدم النهج الكينوني بعض المزايا الرائعة لتحقيق نظام تحكم قائم على السلوكيات ويسمح على وجه التحديد بتغليف السلوكيات الموروثة من النظام المتبقي. لا يتعين على صاحب البرنامج معرفة تفاصيل كل وحدة سلوك ويمكنه بسهولة تعديلها وتحسينها. علاوة على ذلك، يمكن إنشاء وحدة نمطية جديدة بسهولة باستخدام مبدأ وراثة وحدة موجودة. وبالتالي، تبرز الأهمية من حيث سهولة صيانة مثل هذه الوحدات في حال اعتماد هكذا مفهوم.

السبب الثاني يرتبط بتنفيذ أنظمة متعددة العوامل أو الوكلاء، والتي من أجلها تم تنفيذ غالبية النماذج المفاهيمية والنظرية بفضل العناصر التنافسية. يمكن اعتبار الكائن التنافسي عنصراً أساسياً لتنفيذ الوحدات التنافسية. في نهجنا، يتم تنفيذ الوحدة بشكل طبيعي ككائن، أو تغليف لكائنات تنافسية. تتمتع كل وحدة باستقلالية محدودة، طالما أن أنشطتها لا تقتصر على استقبال وإرسال الرسائل. في الواقع، يجب أن تكون وحدة السلوك المخصصة للتحكم في الروبوت قادرة على التحكم في كل هذه الأنشطة (الإدراك، والاستدلال، والتواصل، ...) ردًا على طلبات الرسائل.

إذا كان مفهوم الوحدة النمطية وإيجابيات مبدأ الموجه كائنات من دواعي تصميم البرمجية وإعادة استخدامها، فإن التنافس والتفاعل اللازمين للسلوكيات المختلفة يحتاجان إلى تنفيذ بعض الآليات. يصبح من الضروري بعد ذلك تحديد وحدات معالجة التي يمكن تنفيذها بشكل مستقل ومتزامن (عملية، مهمة، خيط (thread)...)، للأسباب التالية:

- يتم تقسيم التطبيق إلى عدة وحدات تنافسية يمكن مقارنتها بوحدات المعالجة؛
- يجب أن تكون الوحدات النمطية المختلفة قادرة على التواصل معاً؛
- يجب أن تستجيب الوحدات النمطية للأحداث الخارجية غير المتزامنة؛
- يجب معالجة بعض الطلبات المرسله من الوحدة مع إمكانية حصول تأخير يتوافق مع ديناميكية الروبوت؛
- يجب أن تكون بعض وحدات المعالجة قادرة على العمل على وحدات أخرى (الإنشاء، التعليق، الاستيقاظ، ...) من أجل تحسين موارد النظام؛
- تحتاج وحدات المعالجة إلى جدولة، مع اعتبار معيار الأولوية.

لا يرتبط عادةً الانقسام إلى وحدات معالجة متوازنة بنموذج الموجه كائنات، ويفرض توزيعاً محدداً للفئات (Class) بين وحدات المعالجة. بشكل عام، يتم تمثيل كل وحدة معالجة بواسطة فئة، يمثل مثيلها (Instance) التنفيذ (على سبيل المثال، عملية أو مهمة أو خيط

(Thread)). هناك طريقة أخرى للمتابعة تتمثل في ربط وحدة تنفيذ بكل مثيل لكائن.

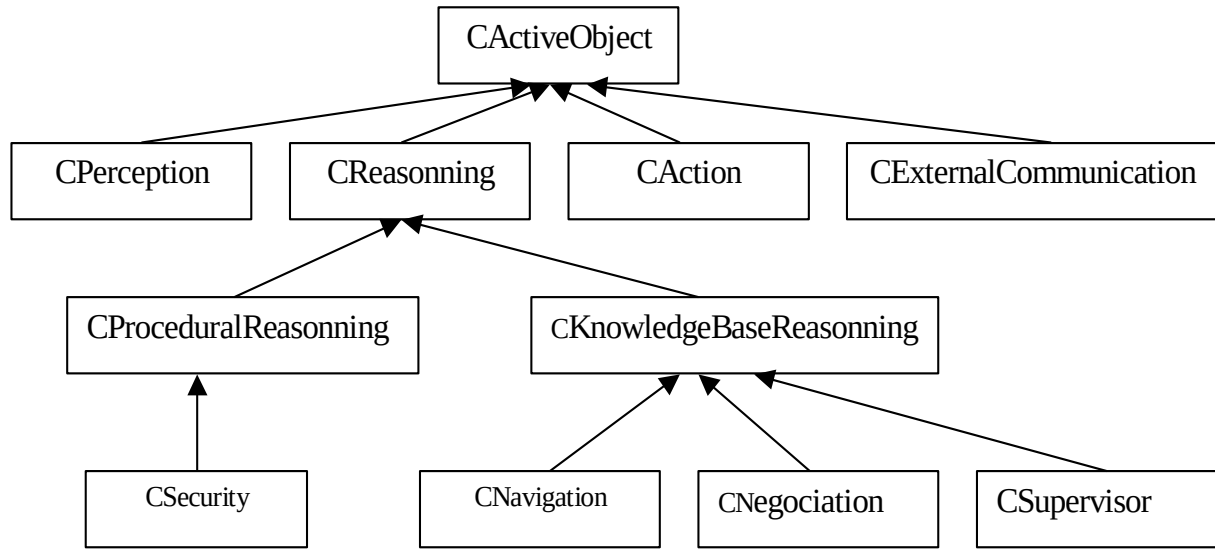
أدت المعايير السابقة (موجه كائنات والمنافسة) إلى اختيار جهاز حاسوبي كأساس للأجهزة، واستخدام نظام تشغيل متعدد المهام (Windows) حيث يتم تنفيذ طبقة الكائن في ++ C. في الواقع، يمنح Windows بعض التسهيلات لإدارة خيوط المعالجة المتعددة، ويحتوي النواة الخاصة به على الآليات التي تسمح بإدارة التنافس والتزامن والاتصال بين وحدات النظام. تعد نواة (kernel) نظام التشغيل Windows مسؤولة عن جدولة الخيوط التنفيذية (مقاطعة أو استباق الخيوط ذات الأولوية الأعلى)، ومزامنة العملية، وإدارة استثناءات الأجهزة. هناك بعض كائنات النواة kernel يتم تصديرها على مستوى المستخدم (API) ويتم التعامل مع نوعين من الكائنات: كائنات الإرسال وكائنات التحكم، هذه الأخيرة تتحكم في كائنات الإرسال من أجل إرسال عمليات النظام ومزامنتها (أجهزة ضبط الوقت، والأحداث، والاستبعاد المتبادل، والإشارة (Semaphore)، والخيوط). تتحكم كائنات التحكم في عمليات النواة دون التأثير على كائنات الإرسال (استدعاء الإجراء

غير المتزامن والمقاطعات والعملية وملفات التشخيص).

يستخدم نموذج عامل الروبوت الذي سيعرض في الفقرة التالية آليات خيوط المعالجة المتعددة التي يوفرها نظام التشغيل (Windows). تقوم هذه المهام بتنفيذ الوحدات النمطية للهندسة المعمارية ويتم تنفيذها في الغالب في خيط تنفيذي الذي يوفره Windows. يتيح ذلك استخدام آليات الوقت الحقيقي المرتبطة به، مما يسمح بتخصيص مستويات الأولوية التي يتولى نظام التشغيل المسؤولية عنها، أو مقاطعتها أو مزامنتها مع الإشارات. تكون الاتصالات بين الوحدات غير متزامنة، وذلك باستخدام الرسائل. في هذا التنفيذ، ويتم توزيع وكلاء الروبوت على محطات منفصلة.

2.3. نموذج الفئة

في منهجنا، يتم تنفيذ الوحدات باستخدام كائنات تعتبر عناصر نشطة مستقلة. إن فكرة المهمة أو العملية أو الخيط، التي تتدخل لتنفيذ مفهوم تنافس المعالجات، لا تنتج من نموذج موجه كائنات. جميع الكائنات (الملموسة أو المجردة) التي تشارك في بنية وكيل "الروبوت" هي أمثلة لفئات ++ C. الشكل التالي يظهر تمثيل التنظيم الهرمي للفئات الرئيسية.



الشكل 3: التسلسل الهرمي للفئة المعمارية لعامل "الروبوت"

- كائن (مثيل لفئة (CSecurity) التي تعتبر الفئة الفرعية لفئة الفرعية لـ ((CKnowledgeBaseReasoning) الذي يصف سلوك العميل أثناء مرحلة نشاط الرد الانعكاسي.

- كائن (مثيل من فئة (CSupervisor) التي تعتبر الفئة الفرعية لفئة الفرعية لـ ((CKnowledgeBaseReasoning) الذي يصف السلوك الفوقي لعمل "الروبوت"

- الكائنات التي تصف وحدات السلوك الأساسية لعمل "الروبوت" (الإدراك، الإجراء، والاتصال الخارجي).

فيما يتعلق بالتفكير، فإن الفئات الأكثر عمومية هي:

- ((CKnowledgeBaseReasoning)، التي تصف الوحدات الإجرائية. تستخدم وحدة الأمان معالجة إشارة لمراقبة

يحتوي كل مثيل لفئة (CActiveObject) (كائنات نشطة) على واجهة اتصال على شكل مثيل فئة (CInternal Communication) تسمح هذه الفئة بتنفيذ آلية من نوع خادم-عميل للاتصال بين الكائنات النشطة. تصف فئة (CActiveObject) السلوك والإجابة على الطلبات التي يتم إرسالها إليها بواسطة كائن نشط آخر. وفيما يخص تطبيقنا، يعتبر عامل "الروبوت" مثيل من فئة (CAgentRobot) يتكون كل مثيل لـ (CAgentRobot) من:

- كائن (مثيل لفئة (CNavigation) التي تعتبر الفئة الفرعية لفئة ((CKnowledgeBaseReasoning) حيث يصف سلوك الوكيل أثناء مرحلة التنقل.

- كائن (مثيل لفئة (CNegotiation) التي تعتبر الفئة الفرعية لفئة الفرعية لـ ((CKnowledgeBaseReasoning) الذي يصف سلوك العميل أثناء مرحلة التفاوض.

• وحدات الاستشعار ووحدة محاكاة قيادة الروبوت؛

• وحدة المعاينة؛

• أرشفة وحدة مهمة كل روبوت.

يتكون التطبيق الذي تم تحقيقه من استكشاف منطقة بواسطة العديد من الروبوتات. يتم تقديم خطط العمليات إلى الروبوتات عند بدء تشغيل التطبيق بواسطة روبوت رائد، وقد تظهر عمليات اقتران بين مختلف الروبوتات. قد تظهر قيود الأسبقية بين العمليات المخصصة للروبوتات، وبالتالي، فإن أي تأخير في تنفيذ عملية ما يمكن أن يؤدي إلى تعارض مع روبوت آخر. يعتبر نموذج تطوّر بيئة أي من الروبوتات غير معروف في بداية المهمة. من أجل محاكاة حدوث اضطراب أثناء تقدم خطة تشغيل مهام الروبوت، قمنا بمحاكاة ظهور العوائق على مسار الروبوت. في هذه الحالة يكون سلوك الروبوت، الذي يعد بالضرورة من نوع تجنب العقبات، سيؤدي إلى تأخير في خطة المهام المسندة للروبوت العالق، وبالتالي يحصل تعارض أو نزاع. من أجل التحقق من صحة وحدة سلوك التفاوض، قمنا بتنفيذ سيناريوهات مختلفة، تمثل الحالات المختلفة لعمل "الروبوت"، مما سمح لنا باستخراج ظاهرة المظهر.

وجود عوائق أو عقبات بجوار الروبوت وإحداث عملية التوقف المنعكس.

- (CKnowledgeBaseReasoning)،

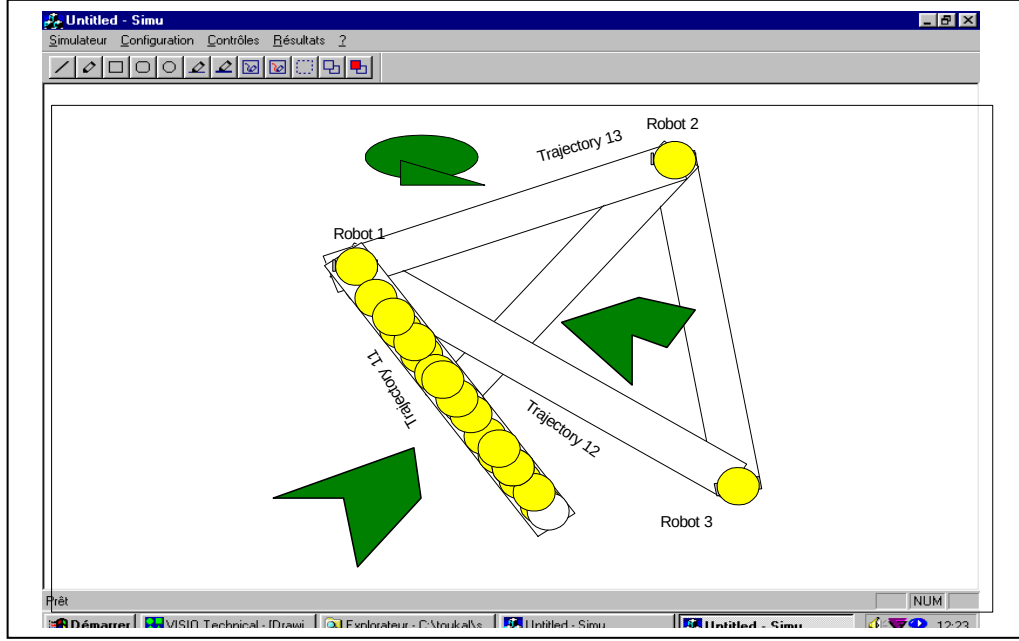
التي تنفذ الوحدات المرتكزة على المعرفة. تستخدم وحدة التنقل فئة (CKnowledgeBaseReasoning) للاستدلال على قاعدة قواعد المنطق الغامض للتحكم في تنقل الروبوت. بالطريقة نفسها، تستخدم وحدة التفاوض فئة (CKnowledgeBaseReasoning) لإعادة جدولة العمليات، بدءًا من قاعدة المعرفة القائمة على استكشاف مجريات الأمور.

3.3. منصة محاكاة متعدد الروبوتات

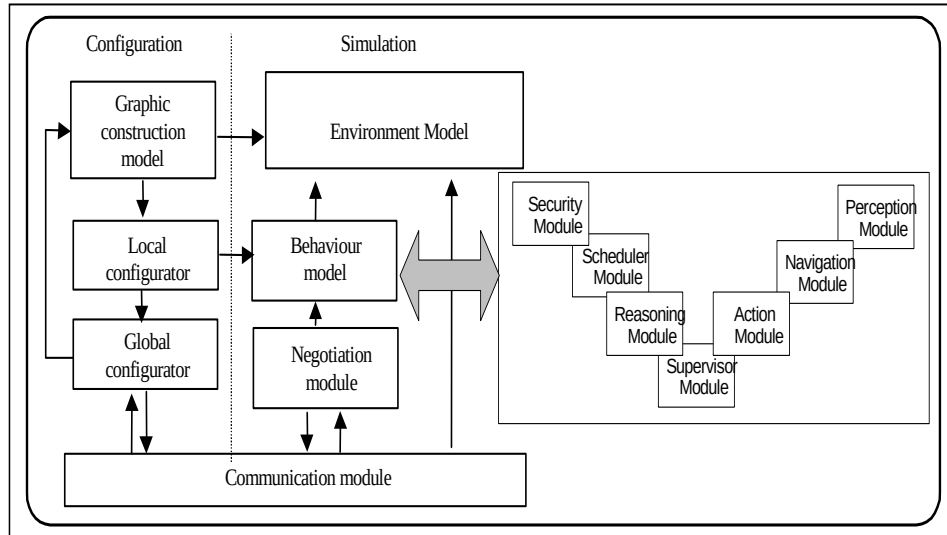
لتنفيذ النماذج الموصوفة سابقًا والتحقق من صحتها، تم تطوير منصة محاكاة (الشكل 4). بفضل بيئة المحاكاة المصاغة في بيئة Microsoft Visual c++، من الممكن تحديد مهام كل روبوت، لتصوير ودراسة سلوك الروبوتات. تتكون بيئة المحاكاة من الوحدات التالية:

- وحدة تخزين الكائنات: العوائق، الروبوتات، الخصائص، والبيانات المرتبطة بها؛
- وحدة إدخال وتعديل البيانات؛

الشكل 5. شاشة محاكاة: روبوت، عقبة، ومسارات



يظهر الشكل التالي ملخص منصة المحاكاة المعتمدة من اجل تنفيذ خوارزميات التفاوض القائمة على طرق الاستكشاف (Heuristics) التي سنبينها في البحث المقبل لأنها تحتاج إلى بحث مستقل.



الشكل 6. ملخص نظام المحاكاة

1.3 . تحقيق نموذج التعاون المقترح

للتحقق من نموذج التعاون المقدم في الفصل السابق، ندرس في هذا الجزء اثنين من

السيناريوهات الخاصة بمجموعة من الروبوتات التي تعمل على إظهار الجوانب المختلفة للنموذج المقترح (الجدولة المحلية، والجدولة مع التفاوض وقيود نشر متعددة). يتعلق التطبيق الذي يتم تنفيذه باستكشاف المناطق وذلك بمشاركة مجموعة من الروبوتات. بالنسبة لكل سيناريو، يتم عرض النتائج التي تم الحصول عليها ثم تحليلها من أجل إظهار الاهتمام بالنتيجة المقترح. أخيرًا، نحدد بعض وجهات النظر لتعميم النتيجة. ولكن قبل عرض السيناريو سنقوم بتقديم بعض التعريفات الأساسية لفهم سيناريو الاضطراب الذي يحدث على مستوى أي وكيل من وكلاء المجموعة.

1.1.3.3. تعريفات

Op_{ij} : تمثل العملية للوكيل i

Pe_{ij}: اضطراب حدث أثناء تنفيذ العملية j

للكيل i ، حيث يتم تقييم تأثيره على هذا

الوكيل من خلال حساب Re_i الذي يمثل

التأخر الزمني الناتج من خطة عمل الوكيل.

P'e_{ik}: الاضطراب الناتج من الوكيل k

بسبب الاضطراب المصدري الذي حدث في

خطة عمليات الوكيل i

Ep_{ik}: الأجل النهائي للأسبقية للعملية k

في خطة الوكيل i وهذا يخص العمليات من

نوع سابق.

Te_{ik}: مدة تنفيذ العملية k لخطة الوكيل.

CPIn_jm: قيد الأسبقية بين العملية ذات

الترتيب n (من نوع سابق) للوكيل i وعملية

ذات الترتيب m للوكيل i (من نوع لاحق)

قيد الأسبقية: تخضع عمليتان لقيد

الأسبقية إذا كان لا يسمح البدء في تنفيذ

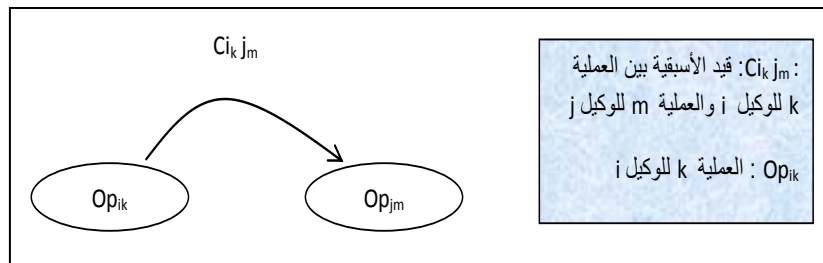
إحدهما حتى يكتمل تنفيذ الأخرى. غالبًا ما

يتم تمثيل علاقات الأسبقية بين العمليات في

شكل رسم بياني موجه غير دوري حيث تمثل

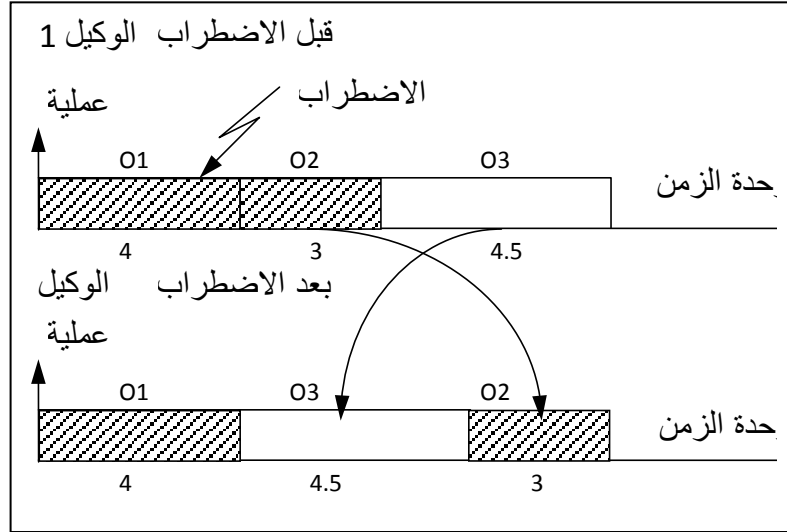
العقد العمليات وتمثل الحواف علاقات

الأسبقية.

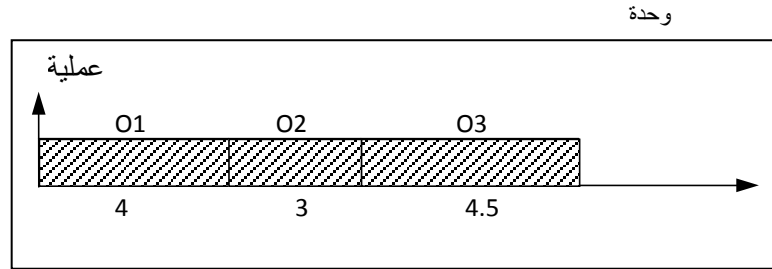


الشكل 7: قيد الأسبقية

في حال حدوث اضطراب يسبب تأخيرا في مدة انجاز عملية ما لوكيل ما فإن النظام يتخذ قرارا وذلك من خلال قيام بإجراء يسمح بتحريك عملية (من بين عمليات الخطة المسندة للوكيل) ذات المرتبة "i"، إلى المرتبة "j" كما يظهر في المثال التالي:

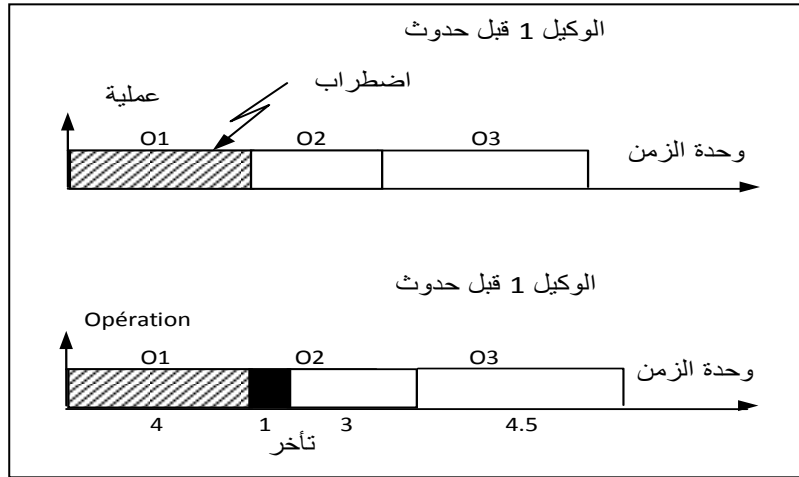


في المثال الموضح في الشكل 2.5، كان على الوكيل 1 في البداية إجراء العمليات 1 و 2 و 3 بالترتيب. وبعد حدوث اضطراب أثناء أداء العملية 1، يتخذ الوكيل قرار تنفيذ العملية 3 قبل العملية 2. **الحالة الطبيعية:** في وقت معين، يُقال إن الوكيل "i" يوجد في حالة طبيعية إذا تم تنفيذ جميع العمليات التي سبقت هذه اللحظة دون حدوث اضطراب.



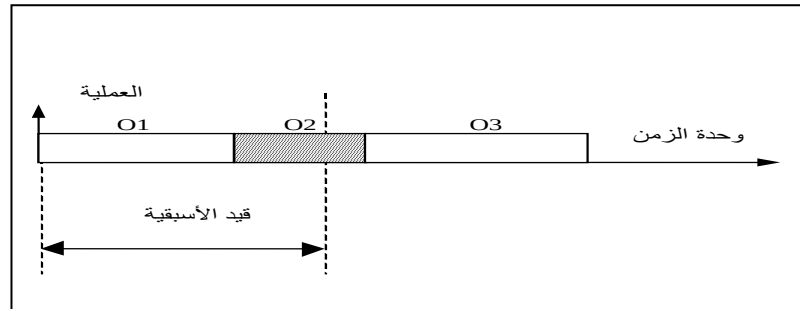
الشكل 9: حالة عادية لخطة عمليات

الحالة الاستثنائية: يكون الوكيل i في حالة استثناء إذا حدث اضطراب أثناء تنفيذ إحدى عملياته، كما هو في الشكل التالي.



الشكل 10: حالة استثنائية لخطّة عمليّات

الأجل النهائي للأسبقية: يحدّد إجمالي الفاصل الزمني المسموح به لتنفيذ عمليّة من نوع "سابق" في خطّة العمليّات لوكيل ما. يبدأ هذا الفاصل الزمني من وقت بدء نشاط المهمة الكاملة المسندة للتنظيم. وبالتالي فالعمليّة (من نوع لاحق) التابعة لوكيل آخر والمرتبطة بالأوّل، يبدأ الوكيل المسؤول عنها في تنفيذها، مباشرة بعد انتهاء الأجل.



الشكل 11: أجل الأسبقية

(1) سيناريو علاج مشكلة الجدولة محلياً

في السيناريو الأول، تتكون المنظّمة هنا من أربعة وكلاء كل وكيل يمثل ربوت متحرك حيث تظهر خطط عمليّات كل واحد منها كما هو في الشكل 7. يتعرض الوكيل 1 لاضطراب Pe11 مما يؤدي إلى تأخير $R = 20$. يؤدي هذا الاضطراب إلى قيام وكيل 1 بإعادة ترتيب عمليّات خطته محلياً. وخطّة العمليّات الجديدة التي تم الحصول عليها بهذه الطّريقة موضّحة في نفس الشكل.



الشكل 12: خطة العمليات بعد إعادة الجدولة محلياً

(2) سيناريو علاج مشكلة الجدولة توافقيا

يشكل هذا السيناريو كما هو في الشكل 8 تغييرا بالنسبة للسيناريو السابق حيث يتم فقط تغيير قيمة التأخير الناتج عن الاضطراب Pe11. على عكس من السيناريو السابق، تؤدي قيمة التأخير إلى قيام الوكيل 1 بإعادة ترتيب خطته من خلال حل منسق وتوافقي.

حالة اضطراب مع إيجاد حلّ توافقي	
الوكيل 1	الوكيل 2
العمليات وحدة الزمن	العمليات وحدة الزمن
الوكيل 3	الوكيل 4
العمليات وحدة الزمن	العمليات وحدة الزمن
الاضطراب	النتيجة



الشكل 13: خطة العمليات بعد إعادة الجدولة توافقيا

الخلاصة:

لقد اقترحنا في هذه الورقة نموذجًا عامًا للهندسة المعمارية لوكيل الروبوت، في سياق تطبيق متعدد الروبوتات، الذي يفرض حدوث تفاعل قوي بين العملاء. تظهر بنية السلوك المعتمدة على الوحدة النمطية ثلاثة مستويات من التفاعل: ردة الفعل الانعكاسي، والتكتيكي، والاستراتيجي. فالمستوى الاستراتيجي، الذي يبرز من خلال مرحلة مفاوضات وكلاء الروبوتات، يسمح بظهور سلوك شامل قوي للمجموعة. يعتمد هذا السلوك على رؤيتين: محلية (عميل الروبوت)، وشامل (عملاء الروبوتات الآخرين). لتنفيذ هذه البنية، تم تعيين كل وحدة سلوك ككائن نشط تنافسي وتم استخدام هذا النموذج من الهندسة البرمجية للقيام بعملية استكشاف منطقة بواسطة العديد من الروبوتات عن طريق تصميم نظام محاكاة. لغرض التحقق من وحدات السلوك الخاصة بالروبوت، ولا سيما وحدة التفاوض، قمنا بتنفيذ سيناريوهات مختلفة وبتطبيق

الخوارزمية الاستكشافية من أجل تمثيل حالات مختلفة لعامل الروبوت. الأول منها يتعلق بحالة تقتضي حلاً محلياً دون اللجوء إلى تبادل المعلومات بين الوكلاء، أما الثاني يمثل حالة من الحل التفاوضي الذي يستند إلى تبادل المعلومات بين الوكلاء المتضررين من الاضطراب الزمني الحاصل. هذا الأخير، أدى إلى استخراج ظاهرة الانبثاق (Emergence). من بين التطبيقات المثيرة للاهتمام في المستقبل المنظور، يمكننا إقحام قيود جديدة إضافة إلى قيود الأسبقية بين العمليات من خلال دمج معايير متعددة في وحدات التفاوض والجدولة. ويمكن أيضاً دراسة إمكانية إدراج آلية التعلم (Learning Mechanism) من أجل إبراز سلوكيات انبثاقية معينة للمجموعة.

المراجع (References)

- [1] [Anderson, 1990] T. L. ANDERSON and M. DONATH. *Animal behavior as a paradigm for developing robot autonomy*. Robotics and autonomous systems, 6(1-2)

- : 145-168, June 1990.
- [2] [Brooks, 1991] R.A. BROOKS, *Intelligence without representation*. Artificial intelligence, vol. 47, 1991, pp. 139-159.
- [3] [Cuervo, 1998] J. CUERVO, Une architecture de contrôle et de commande pour la conduite d'un robot mobile autonome: architecture de commande orientée comportements. Thèse de doctorat de l'université d'Evry Val d'Essonne France, 1998.
- [4]: [Ferber, 1995] J.Ferber, *Les systèmes multi-agents : vers une intelligence collective*, InterEditions, ISBN : 2-72-96-0572-X.
- [5] [Hentout, 2008] A. Hentout, B. Bouzouia, Z. Toukal .*Multi-agent Architecture Model for Driving Mobile Manipulator Robots*. The International Journal of Advanced Robotic Systems, Vol. 5, No. 3 (2008), ISSN 1729-8806, pp. 257-268
- [6] [Hentout, 2008] A. Hentout, B. Bouzouia; Z. Toukal. *Modeling of Agent-based Architecture for Driving Mobile Manipulator Robots*. The 2008 IEEE SMC International Conference on Distributed Human-Machine Systems (DHMS 2008), March 9–12, 2008, Athens, Greece.
- [7] [Toukal, 2008] Z. Toukal. *Multi-behavioral structure for scheduling tasks within a flexible industrial production cell*. مجلة العلوم والتكنولوجيا، العدد الأول، 2019