

which solution can be based on use of integral calculus. The formula received thus essentially differs from existing for horizontal capacities that is caused by construction features. Calibration tables are drawn up to determine the quantity of product that is in the tanks. For this purpose, the capacity of the tank at each centimeter of its filling height is calculated. Based on knowledge of technical issues in the field of designing industrial containers and the use of mathematical methods of integration, the method of obtaining a general formula for calibration of vertical vessels with elliptical bottoms was developed, the formula itself was developed too and the standard calculations of technical and economic parameters were obtained. Use of the tabular processor allows quickly, conveniently and effectively to carry out the big list of settlement tasks, quickly and flexibly to change calculation conditions and also to post editing to a text part, to receive a desirable type of the end result of the carried-out work. Therefore for realization of the received technique this environment of calculating was chosen.

Keywords: interval calibration; calibration tables, method of integration, technical and economic parameters.

Принято

Рекомендовано

УДК 004.42

Левицька Т.О.¹, Русенко Д.А.²

МОДЕЛЮВАННЯ АЛГОРИТМУ УХИЛЕННЯ ОБ'ЄКТА ВІД ЗІТКНЕННЯ З РУХОМОЮ ПЕРЕШКОДОЮ

Виконано аналіз методів обмеження швидкостей заснованих на концепції швидкісної перешкоди. Розглянуто методи локальних ухилень від динамічних перешкод, при цьому враховано необхідність відзначення, що обхід перешкод є динамічним завданням, воно вимагає розрахунку вектора швидкості агентів в кожен момент часу. Розглянуто концепція швидкісної перешкоди, який погано працює на групі рухомих агентів, де кожен агент активно змінює свій вектор швидкості, для того, щоб уникнути колізії, тому що передбачає, що інші агенти не будуть змінювати свою швидкість. Це створює коливання в русі всіх агентів. Розглянуто особливості застосування цих методів для навігації агентів на карті, представленій навігаційної поверхнею. Розглянут метод взаємних швидкісних перешкод який дозволяє розрахувати необхідні значення швидкостей для конфліктуючих агентів, і дозволяє виконати ухилення, уникаючи зіткнення. Розглянуто вирішення проблеми взаємних танців у методі гібридної взаємної швидкісної перешкодипокликан, шляхом комбінування методу швидкісної перешкоди і методу взаємної швидкісної перешкоди. Взаємне попередження зіткнення є розширенням методів заснованих на векторах швидкості. Основна відмінність від відомих методів, полягає в тому, що взаємне попередження зіткнень розглядає зворотну взаємність між парами віртуальних агентів. Передбачається, що кожен віртуальний агент, намагається уникнути зіткнення з іншим агентом, а не с рухомою перешкодою. Включення взаємності в методах, які засновані на векторі швидкості, як правило, забезпечує більш плавний рух для віртуальних агентів, але також може привести до виникнення різних проблем, таких як заклинювання і блокування.

¹кан.техн. наук, ДВНЗ«Приазовський державний технічний університет», г. Маріуполь, tlevitiisys@gmail.com

²бакалавр, ДВНЗ«Приазовський державний технічний університет», г. Маріуполь, Dimon.rydik@gmail.com

Ключові слова: *перешкода, швидкісна перешкода, ухилення, маршрут, алгоритм, шлях, пошук шляху, методи обмеження швидкостей, навігаційна поверхня, взаємна швидкісна перешкода, гібридна взаємна швидкісна перешкода.*

Вступ. В даний час все більш популярними стають сервісні мобільні роботи. До даного типу можна віднести роботи-екскурсоводи, роботи-пилососи, рухливі інформаційні термінали. Для виконання своїх функцій ці роботи повинні вміти переміщатися по певних траєкторіях в автоматичному режимі. Зазвичай в сучасних роботах для цієї мети використовується навігаційна система, яка визначає власні координати робота, планує траєкторію в поточний момент часу і управляє його рухом. Оскільки реальна середа, в якій знаходиться робот, зазвичай містить рухливі перешкоди (люди, інші мобільні роботи), рух в ній по попередньо заданій траєкторії практично неможливий.

Сьогодні існує досить багато різних алгоритмів та методик пошуку найкоротшого шляху та алгоритмів обходу рухомих перешкод на деякій віртуальній карті. Але всі ці методи працюють самі по собі, вони не розраховані на спільну роботу, або не враховують незначних особливостей один одного. Так, наприклад, методи обходу рухомих перешкод не враховують статичні перешкоди, а методи пошуку шляху не враховують розмірів робота при прокладанні шляху.

З огляду на все перераховане вище, актуальним завданням є комбінування методів пошуку шляху і локальних ухилень на мапі представленої навігаційної поверхнею для створення максимально реалістичної поведінки, логічного і швидкого переміщення роботів на карті.

Для забезпечення оптимального переміщення одного робота по карті досить використовувати навігаційні поверхні для побудови найкоротшого маршруту між поточним становищем робота і пунктом призначення. Однак ситуація значно ускладнюється, коли на карті присутній ще один рухомий об'єкт. У якийсь момент часу траєкторії їх руху приведуть їх в одну і ту ж точку карти, і виникне необхідність у вирішенні конфлікту, що виник.

Метод взаємних швидкісних перешкод дозволяє розрахувати необхідні значення швидкостей для конфлікуючих агентів, і дозволяє виконати ухилення, уникаючи зіткнення. Однак одночасне використання локального ухилення і навігації вздовж найкоротшого маршруту на карті породжує ряд завдань:

- забезпечення навігації вздовж прокладеного маршруту і одночасний аналіз можливих колізій;
- облік обмежень на прохідність карти при розрахунку локального ухилення;
- повторне прокладання маршруту після виконання локального ухилення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Концепція швидкісної перешкоди [1] дозволяє агенту рухатися в просторі без колізій. Цей метод добре працює, коли є один віртуальний агент, який рухається в просторі з великою кількістю рухомих перешкод. Але, на жаль, цей метод погано працює на групі рухомих агентів, де кожен агент активно змінює свій вектор швидкості, для того, щоб уникнути колізії, тому що передбачає, що інші агенти не будуть змінювати свою швидкість. Це створює коливання в русі всіх агентів.

Цю проблему вирішує метод взаємних швидкісних перешкод [2] який побудований на основі концепції швидкісної перешкоди, але дозволяє агентам вирішувати проблему колізій спільно, тобто кожен з агентів виконує частину маневру ухилення, допускаючи, що решту виконає інший агент.

При використанні цього методу, для маневру ухилення, агенти автоматично вибирають однакову сторону, що дозволяє їм благополучно обійти один одного. Але якщо вектор швидкості агента буде сильно відрізнятись від вектора, що вказує в точку призначення, агенти можуть вибрати різні боки для маневру, що призведе до проблеми

названої «взаємні танці» [3]. При її прояві агенти можуть виявитися заблокованими на карті на тривалий час.

«Взаємні танці» вирішує метод гібридних взаємних швидкісних перешкод [4], який змушує агентів вибирати постійно одну і ту ж сторону для маневру ухилення.

Навігаційна поверхня - все прохідний простір карти, що складається з непересічних полігонів. Навігаційна поверхня може містити додаткову інформацію. Наприклад: вартість проходу, або умови проходу для певних класів юнітів. Будувати дороги по ній можна використовуючи центру полігонів, межі, точки полігонів, або кілька цих методів одночасно [5]. Але все одно підсумковий шлях не буде оптимальним. Для створення оптимального шляху застосовують згладжування шляху.

У порівнянні з більш простими методами побудови шляху, такими як вейпоінти або розбиття карти на сітку, навігаційна поверхню забезпечує побудова найкоротшого шляху для агента.

Метою даної статті є дослідження рішення задачі управління рухом мобільного робота (агента) при наявності рухомих (динамічних) перешкод інших агентів.

Виклад основного матеріалу. Розглянемо методи локальних ухилень від динамічних перешкод, при цьому необхідно відзначити, що обходу перешкод є динамічною завданням, тобто вимагає розрахунку вектора швидкості агентів в кожен момент часу t .

Швидкісна перешкода (Velocity Obstacles). Швидкісна перешкода для віртуального агента, створене рухомою перешкодою – це всі вектори швидкостей при русі по яким, через невеликий проміжок часу, відбудеться колізія між агентом і рухомою перешкодою, за умови що перешкода буде рухатися з постійною швидкістю. Це означає, що якщо агент вибере собі вектор швидкості, який знаходиться в області швидкісної перешкоди, то, в майбутньому, між агентом і перешкодою відбудеться колізія. Якщо швидкість буде обрана за межами швидкісної перешкоди - колізія не відбудеться. Геометричне уявлення швидкісної перешкоди $VO_{A/B}$ для агента А по відношенню до агенту В, відповідне конусу, показано на рисунку 1.

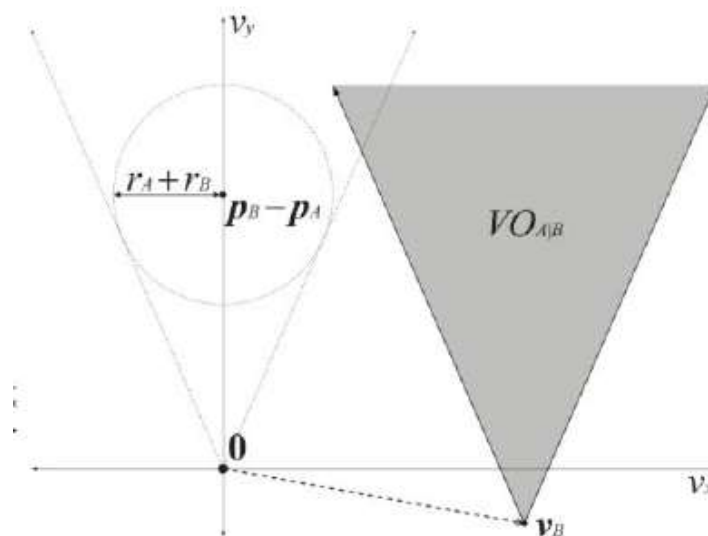


Рисунок 1 - Приклад побудови швидкісного перешкоди для агента А по відношенню до агента В

Цей метод добре працює коли є один віртуальний агент який рухається в просторі з великою кількістю рухомих перешкод. Але, на жаль, цей метод погано працює на групі рухомих агентів, де кожен агент активно змінює свій вектор швидкості, для того, щоб

уникнути колізії, тому що передбачає, що інші агенти не будуть змінювати свою швидкість. Це створює коливання в русі всіх агентів.

Взаємна швидкісна перешкода (Reciprocal Velocity Obstacles). Цей метод направлено на вирішення проблеми коливань, що виникають при використанні швидкісної перешкоди, шляхом дозволу агентам реагувати на зміну вектора швидкості іншими агентами. Замість того, що б один з агентів брав на себе всю відповідальність за вчинення маневру ухилення, метод взаємної швидкісної перешкоди, дозволяє агенту здійснити лише половину ухилення, допускаючи що другу половину зробить інший агент. Геометричне уявлення методу взаємної швидкісної перешкоди $RVO_{A/B}$ для віртуального агента А по відношенню до агенту В показано на рисунку 2.а.

Але і цей метод не є ідеальним. У ньому існує ряд проблем, найбільш значимою з яких є проблема «взаємних танців». Вона проявляє себе тоді, коли агенти сильно відхиляються від наміченої траєкторії руху, внаслідок чого можуть бути заблокованими іншими агентами. На вирішення цієї проблеми спрямовано метод оптимальних взаємних швидкісних перешкод і метод гібридних взаємних швидкісних перешкод.

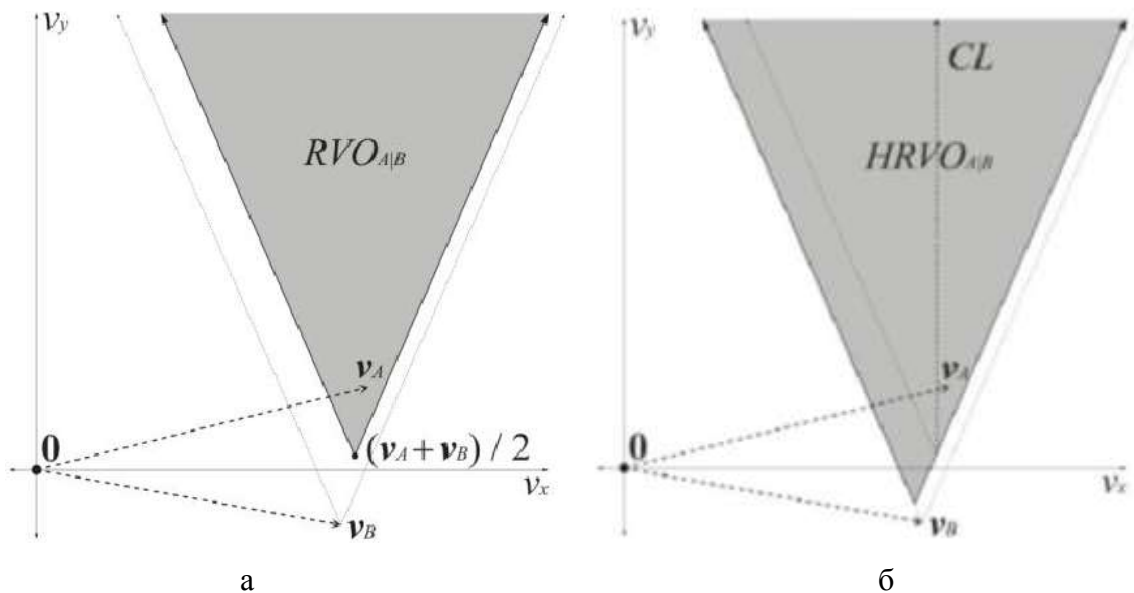


Рисунок 2 - Методи локальних ухилень: а – взаємношвидкісний метод ухилення; б – гібридно-взаємношвидкісний метод ухилення

Гібридна взаємна швидкісна перешкода (Hybrid Reciprocal Velocity Obstacles (HRVO)). Метод гібридної взаємної швидкісної перешкоди покликаний вирішити проблему взаємних танців, шляхом комбінування методу швидкісної перешкоди і методу взаємної швидкісної перешкоди. Гібридний метод бере одну сторону з двох попередніх методів і формує нову швидкісну перешкоду, у якій одна зі сторін збільшена. Це дозволяє змусити агентів вибрати для маневру ухилення однакову сторону. Наприклад, якщо вектор швидкості агента знаходиться з правого боку від центральної лінії швидкісної перешкоди створеного іншим агентом, то цей агент повинен вибрати нову швидкість теж з правого боку від центральної лінії. Така поведінка досягається шляхом збільшення тієї сторони, яку агенту не можна вибирати. Геометричне уявлення методу гібридної взаємної швидкісної перешкоди $HRVO_{A/B}$ для агента А по відношенню до агенту В, включаючи центральну лінію і збільшену частину, показано на рисунку 2.б.

ВИСНОВКИ

У даній роботі розглянуто ряд завдань, вирішення яких дозволило застосовувати метод взаємних швидкісних перешкод для забезпечення локальних ухилень агентів при проходженні по маршруту по карті, представленій навігаційною поверхнею.

Методи засновані на векторах швидкості показали значні поліпшення результатів в локальному ухиленні і поведінці віртуальних агентів, а також поліпшення в швидкості обчислень, в порівнянні з методами, заснованими на векторах сили. Замість того щоб використовувати віртуальні сили, щоб запобігти зіткненням віртуальних агентів, методи засновані на швидкості використовують поточну швидкість кожного віртуального агента в групі, а потім пророкують положення кожного віртуального агента протягом деякого короткого інтервалу часу, припускаючи, що віртуальний агент буде підтримувати практично постійну швидкість протягом цього часу. На основі прогнозування майбутньої позиції інших віртуальних агентів, кожен віртуальний агент прагне вибрати нову швидкість, таку, щоб зіткнення не сталося.

Взаємне попередження зіткнення є розширенням методів заснованих на векторах швидкості. Основна відмінність від відомих методів, полягає в тому, взаємне попередження зіткнень розглядає зворотну взаємність між парами віртуальних агентів. Передбачається, що кожен віртуальний агент, намагається уникнути зіткнення з іншим агентом, а ніс рухомим перешкодою. Включення взаємності в методи засновані на векторі швидкості, як правило, забезпечує більш плавний рух для віртуальних агентів, але також може привести до виникнення різних проблем, таких як заклинювання і блокування.

Список використаних джерел:

1. Motion planning in dynamic environments using velocity obstacles / P. Fiorini, Z. Shiller // Int. Journal of Robotics Research, – 1998. – Vol. 17, N 7, – P. 760-772.
2. Van den Berg J. Reciprocal Velocity Obstacles for real-time multi-agent navigation / J. Van den Berg, M. Lin, D. Manocha // IEEE Int. Conf. On Robotics and Automation, – 2008. P. 1928-1935.
3. Reciprocal collision avoidance and navigation for video games / J. Snape // Game Developers Conf., – 2012.
4. The Hybrid Reciprocal Velocity Obstacle / J. Snape, J. Van den Berg, S. J. Guy, D. Manocha // IEEE Transactions on Robotics, – 2011. – Vol. 27, N 4, – P. 696-706.
5. Shortest paths with arbitrary clearance from navigation meshes / M. Kallmann // Proceedings of the Eurographics SIGGRAPH Symposium on Computer Animation, – 2010.

Левицькая Т.А., Русенко Д.А.

МОДЕЛИРОВАНИЕ АЛГОРИТМА УКЛОНЕНИЯ ОБЪЕКТА ОТ СТОЛКНОВЕНИЯ С ДВИЖУЩИМСЯ ПРЕПЯТСТВИЕМ

Выполнен анализ методов ограничения скоростей основанных на концепции скоростной препятствия. Рассмотрены методы локальных уклонений от динамических препятствий, при этом учтена необходимость празднования, что обход препятствий является динамичным задачей, оно требует расчета вектора скорости агентов в каждый момент времени. Рассмотрены концепция скоростной помехи, плохо работает на группе подвижных агентов, где каждый агент активно меняет свой вектор скорости, для того, чтобы избежать коллизии, так как предусматривает, что другие агенты не будут менять

свою скорость. Это создает колебания в движении всех агентов. Рассмотрены особенности применения этих методов для навигации агентов на карте, представленной навигационной поверхностью. Рассмотрены методы взаимных скоростных препятствий который позволяет рассчитать требуемые значения скоростей для конфликтующих агентов, и позволяет выполнить уклонения, избегая столкновения. Рассмотрены решения проблемы взаимных танцев в методе гибридной взаимной скоростной перешкодипокликан, путем комбинирования метода скоростной препятствия и метода взаимной скоростной препятствия. Взаимное предупреждения столкновения является расширением методов основанных на векторах скорости. Основное отличие от известных методов, заключается в том, что взаимное предупреждения столкновений рассматривает обратную взаимность между парами виртуальных агентов. Предполагается, что каждый виртуальный агент, пытается избежать столкновения с другим агентом, а не с подвижной препятствием. Включение взаимности в методах, основанных на векторе скорости, как правило, обеспечивает более плавное движение для виртуальных агентов, но также может привести к возникновению различных проблем, таких как заклинивание и блокировки.

Ключевые слова: препятствие, скоростная препятствие, уклонение, маршрут, алгоритм, путь, поиск пути, методы ограничения скоростей, навигационная поверхность, взаимная скоростная препятствие, гибридная взаимная скоростная помеха.

Levitskaya T., RusenkoD.

MODELING AN ALGORITHM FOR OBJECT DECLINING FROM COLLISION WITH A MOVING OBSTACLE

The analysis of speed limitation methods based on the concept of speed obstacle is performed. Methods of local evasion from dynamic interferences are considered, at the same time the necessity is noted that bypassing interferences is a dynamic task, it requires calculation of the velocity vector of agents at each moment of time. The concept of high-speed interference, which works poorly on a group of moving agents, where each agent actively changes its velocity vector, is considered to avoid collisions because it assumes that other agents will not change their velocity. This creates fluctuations in the movement of all agents. The peculiarities of application of these methods for the navigation of agents on the map represented by the navigation surface are considered. The method of mutual velocity interference is considered, which allows to calculate the necessary velocity values for the conflicting agents, and allows to perform evasion without avoiding collision. The solution of the problem of mutual dances in the method of hybrid mutual high-speed obstacle is called, by combining the method of high-speed obstacle and the method of mutual high-speed obstacle. Mutual collision prevention is an extension of velocity-based methods. The main difference from the known methods is that mutual collision prevention considers the reciprocal reciprocity between pairs of virtual agents. It is assumed that each virtual agent tries to avoid collision with another agent rather than a moving obstacle. Incorporating reciprocity into velocity vector based methods typically provides smoother movement for virtual agents, but can also lead to various problems such as jamming and blocking.

Keywords: obstacle, obstacle course, evasion, route, algorithm, path, path finding, speed limitation methods, navigation surface, reciprocal obstacle, hybrid reciprocal obstacle.

Рецензент: доцент, канд. техн. наук Міроненко Д.С.

Статья поступила