

Шэнь Цюцзе¹, Гун Шэншо¹, О. О. Варламов^{1,2,3}, Л. Е. Адамова^{1,4}, Е. Г. Баленко⁵

¹Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана
105005, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр.1, Москва, Россия

²АО НИИ Вычислительных комплексов им. М. А. Карцева,
117437, ул. Профсоюзная, д. 108, Москва, Россия

³Институт искусственного интеллекта Российского технологического университета МИРЭА
119454, Проспект Вернадского, д. 78, Москва, Россия

⁴Российский новый университет (РосНОУ),
105005, ул. Радио, д. 22, Москва, Россия

⁵ФГБОУ ВО Донской государственный аграрный университет,
346493, ул. Кривошлыкова, 24, пос. Персиановский, Октябрьский район, Рост. обл., Россия

ДИНАМИЧЕСКОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ ТРАЕКТОРИИ РОБОТА НА ОСНОВЕ СЕМАНТИЧЕСКОГО ОБНАРУЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МИВАРНОЙ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ

Shen Qiujie¹, Gong Shenshuo¹, O. O. Varlamov^{1,2,3}, L. E. Adamova^{1,4}, E. G. Balenko⁵

¹Bauman Moscow State Technical University
105005, 2-ya Baumanskaya st., bld. 5, building 1, Moscow, Russia

²JSC M. A. Kartsev Research Institute of Computing Systems,
117437, Profsoyuznaya st., bld. 108, Moscow, Russia

³Institute of Artificial Intelligence of the Russian Technological University MIREA
119454, Vernadsky ave., bld. 78, Moscow, Russia

⁴Russian New University (RosNOU),
105005, st. Radio, 22, Moscow, Russia

⁵Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Don State Agrarian University,
346493, Krivoshlykova St., 24, Persianovsky Settlement, Oktyabrsky District, Rostov Region, Russia

DYNAMIC ROBOT PATH PLANNING BASED ON SEMANTIC OBJECT DETECTION USING MIVAR EXPERT SYSTEM

Разработан алгоритм динамического планирования маршрута наземного робота на основе семантической технологии обнаружения объектов с целью повышения безопасности людей при работе роботов в больших помещениях. Наше исследование учитывает психологические особенности поведения и перемещения людей в больших помещениях. Алгоритм объединяет данные двухмерного лазерного сканирования с информацией о категориях и положении объектов, выявленных путем обнаружения объектов на изображениях. В зависимости от важности категории объекта алгоритм увеличивает область препятствия на карте, что позволяет роботу избегать важных объектов (например, детей) при планировании маршрута и повышает безопасность движения робота в присутствии людей. В миварной экспертной системе реализован соответствующий прототип алгоритма объединения данных, который может применяться в аэропортах, на железнодорожных станциях, в торговых центрах и других помещениях с целью повышения безопасности людей при работе роботов в больших помещениях.

Ключевые слова: мивар, миварные экспертные системы, понимание образов, траекторное планирование, обнаружение объектов, слияние данных, увеличение препятствий, внутренняя среда, безопасность роботов.

An algorithm for dynamic path planning of a ground robot based on semantic object detection technology is developed to improve human safety when robots operate in large spaces. Our study takes into account the psychological characteristics of human behavior and movement in large spaces. The algorithm combines 2D laser scanning data with information on the categories and positions of objects identified by object detection in images. Depending on the importance of the object category, the algorithm increases the obstacle area on the map, which allows the robot to avoid important objects (e.g., children) when planning a route and improves the safety of the robot in the presence of people. The mivar expert system implements a corresponding prototype of the data fusion algorithm, which can be used in airports, railway stations, shopping malls and other places to improve human safety when robots operate in large spaces.

Keywords: mivar, mivar expert systems, pattern understanding, trajectory planning, object detection, data fusion, obstacle magnification, indoor environment, robot safety.

Введение

В настоящее время, в связи с быстрым развитием искусственного интеллекта (ИИ) и робототехники, автономные мобильные наземные роботы широко применяются в различных внутренних средах и больших помещениях, таких как аэропорты, железнодорожные станции, торговые центры, больницы и другие общественные места. Роботы используются в таких помещениях для выполнения важных задач, таких как вторичная уборка, транспортировка материалов, патрулирование и контроль.

В этих сложных средах с большим потоком людей и множеством препятствий важно обеспечить безопасное и эффективное планирование и выполнение движения для роботов с целью повышения их производительности и предотвращения потенциальных угроз безопасности. Кроме того, необходимо учитывать и психологические особенности отдельных категорий людей, например, детей, которые своим сложным поведением могут затруднять для роботов выполнение движений. Для этого целесообразно применять миварные технологии [1] логического искусственного интеллекта [2]. Миварные сети позволили реализовать логический вывод [3] с линейной вычислительной сложностью [4]. Миварные технологии успешно применяют для комплексного моделирования процессов [5] понимания текста [6] и распознавания изображений [7]; для разработки учебных программ [8], создания активной интернет-энциклопедии [9] и в дистанционном обучении [10]. В медицине применяют миварные базы знаний [11] для диагностики сахарного диабета [12] и подбора лекарственных форм [13]. Важно отметить, что использовать миварные технологии для робототехники было предложено еще в 2004 году [14], затем добавились АСУ Технологическими процессами [15], а с 2016 года исследования расширились в плане создания систем принятия решений [16] автономных роботов [17], определения метрики автономности [18] и интеллектуальности [19] робототехнических комплексов, выполняющих сложные действия в реальном времени [20]. Помимо перечисленных выше направлений [21], миварные технологии [22] используются в следующих областях: подбор фильмов [23] или персонажей в игровом проекте [24], автоматизация решения заявок в службе технической поддержки [25], планирование маршрутов роботов [26], подбор ноутбуков [27], распределение рабочих задач между сотрудниками [28], предоставление рекомендаций по питанию [29], распознавание объектов интерьера [30] и другие области. Таким образом, миварные технологии являются достаточно универсальными для создания различных систем принятия решений роботов.

Известные традиционные алгоритмы планирования пути робота в основном зависят от информации об окружающей среде, получаемой с помощью лазерного сканирования, ультразвуковых датчиков и других сенсоров, и в соответствии с обнаруженными препятствиями планируют и корректируют путь. Однако эти сенсоры не способны различать конкретные типы препятствий, такие как пешеходы, дети, животные, неподвижные предметы и т. д., поэтому невозможно применить дифференцированные стратегии избегания для различных типов препятствий. Некоторые особые типы препятствий, такие как дети, инвалиды и т. д., требуют от робота более широкий безопасный интервал, чтобы предотвратить столкновения или другие несчастные случаи.

Таким образом, цель настоящего исследования заключается в разработке инновационного алгоритма планирования траектории, который интегрирует передовые технологии обнаружения объектов. Данный алгоритм должен увеличить область

препятствий для важных типов препятствий (например, детей), позволяя роботу заранее избегать этих потенциально опасных препятствий и обеспечивать безопасность выполнения работы; в то же время для других распространенных типов препятствий (например, неподвижных объектов) должны сохраняться разумные безопасные интервалы, чтобы избежать излишнего избегания, что приводит к низкой эффективности. Путем внедрения соответствующего прототипа слияния данных в МЭС - этот алгоритм сможет значительно улучшить эффективность и надежность работы роботов внутри помещений, таких как аэропорты, железнодорожные станции, торговые центры и т.д., гарантируя безопасность и надежность выполнения различных задач роботами.

Описание предметной области.

Планирование траектории и навигация роботов всегда были одной из ключевых тем исследований в области робототехники. Традиционные алгоритмы планирования пути в основном учитывают только геометрическую информацию о препятствиях, игнорируя семантические особенности, что в некоторых специфических сценариях может привести к неразумному выбору маршрута. В последние годы, с развитием технологии компьютерного зрения, исследователи начали внедрять семантическую информацию в алгоритмы планирования пути. Некоторые связанные исследования ориентированы на следующие аспекты:

Алгоритмы планирования пути для роботов. Сейчас широко используются алгоритмы планирования пути для роботов, такие как A*, D*, RRT* и другие. A* и D* применяются в основном в статической среде, тогда как RRT* способен адаптироваться к сценариям с динамическими препятствиями. Бенто и др. предложили трехмерный метод планирования пути для робота AR-Drone, объединив алгоритмы D* и RRT [31]. Yuan и др. [32] разработали эффективный алгоритм перепланирования с учетом фактора смещенной цели (EBG-RRT) для исследования планирования траектории для роботов, работающих в динамических средах, с учетом требований реального времени. Эти алгоритмы учитывают только геометрическую информацию препятствий и не могут различать важность разных типов препятствий.

Технология обнаружения объектов. Технология обнаружения объектов в компьютерном зрении способна распознавать категории и расположение объектов на изображениях или видео. Среди классических алгоритмов обнаружения объектов можно выделить DPM [33], основанный на скользящем окне, и серию алгоритмов RCNN [34], основанных на глубоком обучении. В последние годы алгоритмы одноэтапного обнаружения объектов, такие как YOLO и SSD, получили внимание благодаря своей высокой скорости работы. Эти алгоритмы предоставляют семантическую информацию о препятствиях для планирования пути.

Слияние данных от нескольких датчиков. Традиционные алгоритмы планирования пути обычно используют только данные от одного датчика (например, лидара), в то время как слияние данных от нескольких разнородных датчиков позволяет более полно получить информацию об окружающей среде. В работе Ху и коллег [35] предложили расширенный метод слияния мультисенсорных данных на основе фильтра Калмана для объединения данных от радара, камеры и инерциальных измерительных устройств с целью повышения точности позиционирования SLAM. Однако эти методы в основном ориентированы на само слияние данных от датчиков и не применяют семантическую информацию к алгоритмам планирования пути.

Таким образом, имеющиеся исследования не предоставляют алгоритмического каркаса, который бы полностью использовал семантическую информацию для направления планирования пути. В работе предложен новый алгоритм планирования траектории, основанный на семантической (миварной) технологии обнаружения объектов. Путем динамического увеличения области важных препятствий (например, детей) данный алгоритм планирования траектории сможет значительно повысить безопасность и надежность работы робота в сложных внутренних средах.

Обзор предлагаемой системы

Эта система нацелена на разработку инновационного алгоритма планирования траектории, объединяющего технологию обнаружения объектов, с целью повышения безопасности и надежности работы роботов в сложных внутренних средах. Весь каркас системы состоит из двух основных частей: аппаратной и программной.

Аппаратная часть включает в себя двумерный лидарный датчик и RGB-камеру. Лидар используется для получения информации о геометрии препятствий в окружающей среде, а RGB-камера служит для захвата визуальных изображений, предоставляя входные данные для модуля обнаружения объектов. Схема представлена на рис. 1.

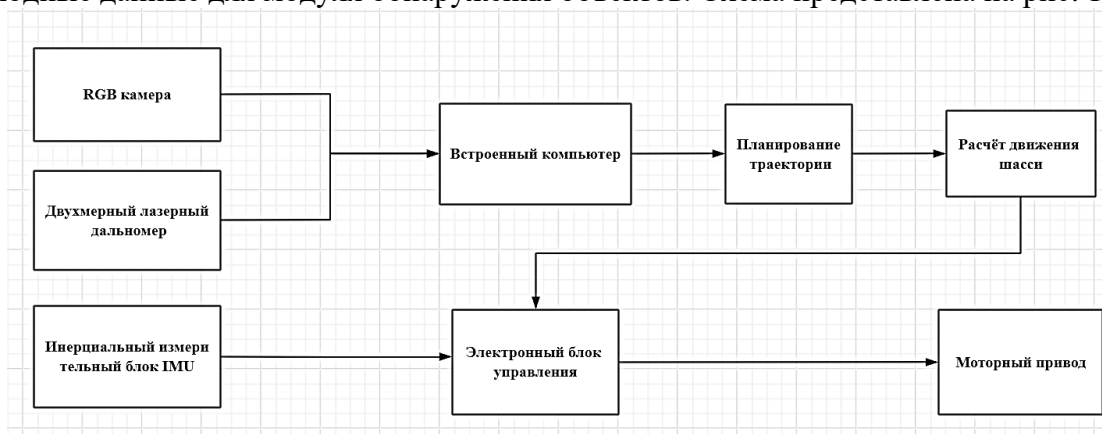


Рисунок 1 – Структура системы управления

Системный модуль программного обеспечения состоит из основных четырех частей: модуль обнаружения объектов, модуль объединения данных, модуль планирования траектории и исполнительный модуль.

Модуль обнаружения объектов использует алгоритмы глубокого обучения, такие как YOLO или Faster R-CNN, для обработки изображений, полученных с камеры, и вывода информации о различных категориях объектов и их положении. Этот модуль использует заранее обученные модели на наборе данных, собранном в помещении, и способен обнаруживать такие типы обычных препятствий, как пешеходы, дети, неподвижные предметы и т.д.

Модуль объединения данных интегрирует информацию о геометрических препятствиях, обнаруженных лидаром, с информацией о семантических препятствиях, полученной из модуля обнаружения объектов, и устанавливает соответствие между препятствиями и категориями объектов. Для одного и того же препятствия модуль выдает информацию о его категории, положении и геометрических размерах.

Модуль планирования траектории на основе объединенной информации о препятствиях предпринимает динамическую стратегию увеличения зоны препятствий для различных категорий препятствий. Для важных категорий препятствий, таких как

дети, область препятствий увеличивается, тогда как для других обычных препятствий, таких как неподвижные предметы, поддерживается разумное безопасное расстояние. Этот модуль основан на классических алгоритмах планирования траектории на основе выборки (например, RRT* и т. д.) для поиска и оптимизации пути, что обеспечивает безопасную и плавную траекторию.

Исполнительный модуль управляет движением робота в соответствии с запланированной траекторией и в реальном времени отслеживает изменения в окружающей среде, динамически корректируя траекторию.

Схема процесса представлена на рисунке 2.



Рисунок 2 – Процесс работы системы

Такая система новая и важная. Её способность заключается не только в интеграции данных из различных сенсоров, но также в использовании семантической информации об объектах из МЭС для оптимизации планирования маршрутов. Путем динамического увеличения значимых типов препятствий роботы могут безопаснее перемещаться в сложных внутренних помещениях, снижая риск столкновений или других несчастных случаев. В то же время система способна поддерживать разумное безопасное расстояние от других распространенных препятствий, избегая излишней осторожности, которая может привести к снижению эффективности. Наш алгоритм имеет широкие перспективы применения и может существенно увеличить эффективность и надежность работы роботов внутри помещений, таких как аэропорты, вокзалы, торговые центры и другие, что принесет людям больше удобства в их повседневной жизни и работе. Как показано на рис. 3-5, алгоритм объединяет информацию об обнаружении объектов и устанавливает модель алгоритма радиолокационных данных и данных обнаруженных объектов в МЭС:

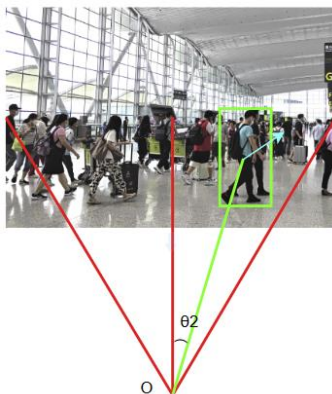


Рисунок 3 – Координаты для обнаружения объектов

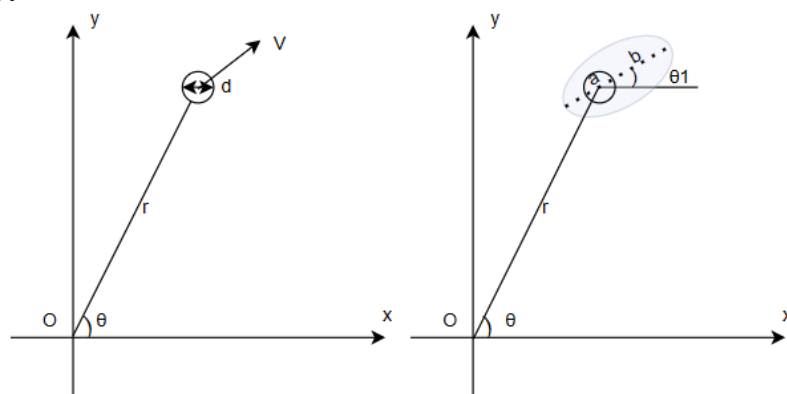


Рисунок 4 – Схематическое изображение расширения диапазона важного объекта

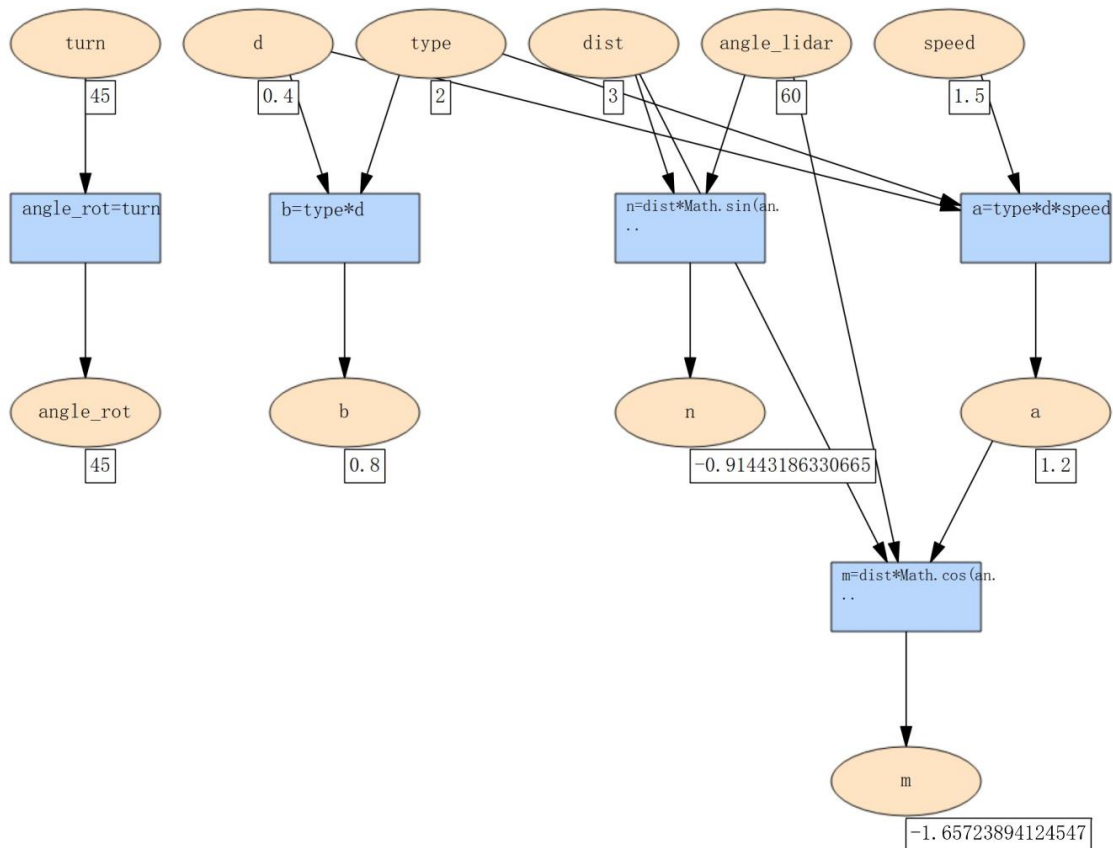


Рисунок 5 – Реализация данного алгоритма в миварной экспертной системе

Где входные данные:

- type - Категория объектов на изображении
- speed - Скорость обнаружения объектов на изображении
- turn - Направление движения объекта, заданное при обнаружении объекта
- angle_lidar - Угол наклона препятствия относительно координат робота
- dist - Расстояние до препятствия относительно координат робота
- d - Размер препятствия

Выходные данные:

- a, b - Параметры эллипса
- m, n - Координаты центра эллипса
- angle_rot - Угол поворота эллипса соответствует направлению движения объекта

Алгоритм выводит данные, соответствующие эллипсу, который можно описать следующим образом:

$$\frac{(x - m + a)^2}{a^2} + \frac{(y - n)^2}{b^2} = 1$$

и угол поворота эллипса α .

Введите тестовые данные, и модель выведет результат улучшения алгоритма (рисунок 6). Этот результат описывает параметры подобранного эллипса после расширения области препятствий в соответствии с категорией. Выходные параметры a, b, m, n и angular_rot соответственно описывают параметры эллипса.

Наименование	Тип
Model 1	
data_camera	
angle_obj	123
speed	123
turn	123
type	123
data_lidar	
angle_lidar	123
d	123
dist	123
result	
a	123
angle_rot	123
b	123
m	123
n	123

Model 1	
data_camera	
angle_obj	60 <input type="checkbox"/>
speed	1.5 <input type="checkbox"/>
turn	45 <input type="checkbox"/>
type	2 <input type="checkbox"/>
data_lidar	
angle_lidar	60 <input type="checkbox"/>
d	0.4 <input type="checkbox"/>
dist	3 <input type="checkbox"/>
result	
a	1.2 <input checked="" type="checkbox"/>
angle_rot	45 <input checked="" type="checkbox"/>
b	0.8 <input checked="" type="checkbox"/>
m	1.6572389412 <input checked="" type="checkbox"/>
n	0.9144318633 <input checked="" type="checkbox"/>

Рисунок 6 – Входные и выходные данные

Заключение

В статье предложен инновационный алгоритм динамического планирования траектории наземных роботов, основанный на технологии обнаружения объектов, с целью повышения безопасности и надежности движения роботов в сложных внутренних помещениях. Основным нововведением данного алгоритма является объединение передовых методов компьютерного зрения для обнаружения объектов с традиционными методами обнаружения препятствий. Путем установления соответствия между препятствиями и категориями объектов алгоритм может динамически увеличивать зону препятствий в зависимости от их типа.

Конкретно, данный алгоритм объединяет данные 2D лидара и RGB камеры с использованием алгоритмов глубокого обучения для обнаружения различных категорий объектов на изображении и их позиций, а затем сочетает их с данными облака точек лидара для получения геометрической и семантической информации о препятствиях. Для важных типов препятствий, таких как дети, алгоритм увеличивает зону препятствий, обеспечивая более безопасное пространство для планирования маршрута робота. Для других обычных препятствий, таких как неподвижные объекты, алгоритм поддерживает разумное безопасное расстояние, избегая излишней консервативности, что может привести к снижению эффективности.

Данный алгоритм был реализован в среде КЭСМИ и протестирован в имитационной среде. Результаты экспериментов показывают, что по сравнению с традиционными алгоритмами геометрического планирования пути, этот алгоритм значительно снижает риск столкновения с важными препятствиями, что существенно повышает безопасность работы робота в плотных людских толпах. В то же время, благодаря разумному уходу от обычных препятствий, этот алгоритм сохраняет высокую эффективность навигации, избегая избыточной консервативности, которая может привести к низкой эффективности.

В общем, этот алгоритм хорошо балансирует безопасность и эффективность навигации робота, демонстрируя большой потенциал комбинации технологий компьютерного зрения и планирования маршрутов робота. В будущем мы планируем развернуть и протестировать этот алгоритм на реальной робототехнической платформе и расширить его на более общие трехмерные среды. Кроме того, мы также будем исследовать более передовые технологии распознавания объектов и прогнозирования движения для дальнейшего повышения производительности и применимости алгоритма.

Список литературы

1. Варламов О.О. Эволюционные базы данных и знаний для адаптивного синтеза интеллектуальных систем. Миварное информационное пространство. М.: «Радио и связь», 2002. 286 с. EDN RWTСOP.
2. Варламов О.О., Антонов П.Д., Чибирова М.О. и др. МИВАР: машино-реализуемый способ автоматизированного построения маршрута логического вывода в базе знаний // Радиопромышленность. 2015. № 3. С. 28-43. EDN: UQEPGD.
3. Владимиров А.Н., Варламов О.О., Носов А.В., Потапова Т.С. Программный комплекс "УДАВ": практическая реализация активного обучаемого логического вывода с линейной вычислительной сложностью на основе миварной сети правил // Труды Научно-исследовательского института радио. 2010. № 1. С. 108-116. EDN: MKQGGT.
4. Варламов О.О., Чибирова М.О., Сергушин Г.С., Елисеев Д.В. Практическая реализация универсального решателя задач "УДАВ" с линейной сложностью логического вывода на основе миварного подхода и "облачных" технологий // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2013. № 11. С. 45-55. EDN: SQKHxz.
5. Варламов О.О., Адамова Л.Е., Елисеев Д.В. и др. Комплексное моделирование процессов понимания компьютерами смысла текстов, речи и образов на основе миварных технологий // Искусственный интеллект. 2013. № 4. С. 15-27. EDN: TZWCPV.
6. Варламов О.О., Майборода Ю.И., Сергушин Г.С., Хадиев А.М. Применение миварных экспертных систем для решения задач понимания текста и распознавания изображений // В мире научных открытий. 2015. № 6 (66). С. 205-214. EDN: TVPWED.
7. Волков А.С., Варламов О.О. О создании двухуровневой нейросетевой структуры для применения в машиностроении // В сборнике: МИВАР'22. Москва, 2022. С. 251-261. EDN: TXESUT.
8. Блохина С.В., Адамова Л.Е., Колупаева Е.Г. и др. Разработка учебных программ с элементами искусственного интеллекта для обучения в области информационной безопасности и защиты персональных данных // Искусственный интеллект. 2009. № 3. С. 328-335. EDN: TIFIGN.
9. Бадалов А.Ю., Варламов О.О., Санду Р.А. и др. Активная миварная интернет-энциклопедия и развитие миварных сетей на основе многомерных бинарных матриц для одновременной эволюционной обработки более 10 000 правил в реальном времени // Искусственный интеллект. 2010. № 4. С. 549-557. EDN: UIMXAV.
10. Подкосова Я.Г., Варламов О.О., Остроух А.В., Краснянский М.Н. Анализ перспектив использования технологий виртуальной реальности в дистанционном обучении // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. 2011. № 2 (33). С. 104-111. EDN: NUAKBV.
11. Ким Х., Чувилов Д.А., Аладин Д.В. и др. Создание базы знаний для миварной экспертной системы диагностики сахарного диабета // Медицинская техника. 2020. № 6 (324). С. 38-41. EDN: EDXBGK.
12. Белоусов Е.А., Попов И.А., Евдокимов А.А. и др. Рекомендательная система диагностики сахарного диабета на основе механизма миварного вывода // Естественные и технические науки. 2021. № 7 (158). С. 169-174. EDN: JSFUSI.
13. Честнова Е.А., Федосеева Е.Ю., Ваганов Д.Д. и др. Разработка базы знаний МЭС по подбору лекарственных форм для антибиотиков и антимикотиков // Естественные и технические науки. 2023. № 5(180). С. 29-33. DOI 10.25633/ETN.2023.05.01. EDN WOZCUJ.
14. Варламов О.О. Системы обработки информации и взаимодействие групп мобильных роботов на основе миварного информационного пространства // Искусственный интеллект. 2004. № 4. С. 695-700. EDN: TIFIQD.
15. Сергушин Г.С., Варламов О.О., Чибирова М.О. и др. Исследование возможностей информационного моделирования сложных систем управления технологическими процессами на основе миварных технологий // Автоматизация и управление в технических системах. 2013. № 2 (4). С. 51-66. EDN: RDWXUT.
16. Варламов О.О., Аладин Д.В., Сараев Д.В. и др. О возможности создания систем принятия решений для автономных роботов на основе миварных экспертных систем, обрабатывающих более 1 млн производственных правил/с. // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2017. № 6-2 (80). С. 54-61. EDN: TIVUDN.
17. Варламов О.О., Лазарев В.М., Чувилов Д.А., Джха П. О перспективах создания автономных интеллектуальных роботов на основе миварных технологий // Радиопромышленность. 2016. № 4. С. 96-105. EDN: UQEVLG.

18. Варламов О.О. Об одном подходе к метрике автономности и интеллектуальности робототехнических комплексов // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2017. № 6-2 (80). С. 43-53. EDN: YWNDPI.
19. Варламов О.О. О метрике автономности и интеллектуальности робототехнических комплексов и киберфизических систем // Радиопромышленность. 2018. № 1. С. 74-86. EDN: YQYQPV.
20. Варламов О.О., Аладин Д.В. Успешное применение миварных экспертных систем для MIPRA - решения задач планирования действий робототехнических комплексов в реальном времени // Радиопромышленность. 2019. № 3. С. 15-25. EDN: EVFEAK.
21. Терехов В.И., Горячкин Б.С. Развитие актуальных научных направлений как продолжение научных школ кафедры «Системы обработки информации и управления» МГТУ им. Н.Э. Баумана // Динамика сложных систем – XXI век. 2023. Т. 17, № 3. С. 25-33. DOI 10.18127/j19997493-202303-04. EDN CLLMCH.
22. Горячкин Б.С., Байбарин Р.Г., Тюлькина Н.В., Запруднов М.С. Эргономический анализ представлений миварной модели // Естественные и технические науки. 2022. № 4(167). С. 162-174. EDN MYQLZN.
23. Андреев А.В., Крайчиков О.Д., Карпов Д.К. и др. БЗ МЭС по подбору фильмов // Мивар'22: Сборник научных статей. Москва: Инфра-М, 2022. С. 115-122. EDN MLVVUM.
24. Бондаренко И.Г., Гришин С.В., Стрихар П.А. и др. МЭС подбора оптимального персонажа в игровом проекте DOTA 2 // Мивар'23. Москва: Инфра-М, 2023. С. 27-32. EDN VIUNEB.
25. Богомолов Д.Н., Умряев Д.Т., Кротов Ю.Н. и др. МЭС для автоматизации решения заявок в службе технической поддержки // Мивар'22. Москва: Инфра-М, 2022. С. 20-28. EDN VEFYTI.
26. Коценко А.А. Разработка методики автоматической генерации миварных баз знаний трехмерного логического пространства // Информация и образование: границы коммуникаций. 2023. № 15(23). С. 304-308. DOI 10.59131/2411-9814_2023_15(23)_304. EDN MLGYNM.
27. Гаврилюк А.Г., Хотин П.Ю., Черната Н.С. и др. БЗ МЭС подбора ноутбуков // Мивар'22: Сборник научных статей. Москва: Инфра-М, 2022. С. 129-136. EDN FZKYHL.
28. Воронцова А.В., Веревкина Д.В., Ванина П.В. и др. МЭС для распределения рабочих задач между сотрудниками // Мивар'23. Москва: ИНФРА-М, 2023. С. 63-73. EDN ZOOLHR.
29. Шевцова Ю.Б., Замула А.И., Мышенков К.С. и др. ГИИС оценки человека по фотографии и выдачи рекомендаций по питанию // Мивар'22. Москва: Инфра-М, 2022. С. 309-314. EDN JIGWRP.
30. Дятленко Е.А., Евдокимов А.А., Никольский Д.Р. и др. МЭС для распознавания объектов интерфейса // Мивар'23. Москва: ИНФРА-М, 2023. С. 87-95. EDN SJMPZG.
31. Bento J. et al. Proximal operators for multi-agent path planning // Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence. 2015. Vol. 29, № 1.
32. Yuan C. et al. An efficient RRT cache method in dynamic environments for path planning // Robotics and Autonomous Systems. 2020. Vol. 131. P. 103595.
33. DPM, a fast, accurate Monte Carlo code optimized for photon and electron radiotherapy treatment planning dose calculations - IOPscience [Electronic resource]. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0031-9155/45/8/315/meta> (accessed: 07.06.2024).
34. Girshick R. Fast R-CNN. 2015. P. 1440–1448.
35. Xu X. et al. A review of multi-sensor fusion slam systems based on 3D LIDAR // Remote Sensing. MDPI, 2022. Vol. 14, № 12. P. 2835.

References

1. Varlamov O. O. Evolutionary databases and knowledge bases for adaptive synthesis of intelligent systems. Mivar information space. Moscow: "Radio and communication", 2002. 286 p. EDN RWTCOP.
2. Varlamov O. O., Antonov P. D., Chibirova M. O., et al. MIVAR: a machine-implemented method for automated construction of a logical inference route in a knowledge base // Radio Industry. 2015. No. 3. Pp. 28-43. EDN: UQEPGD.
3. Vladimirov A. N., Varlamov O. O., Nosov A. V., Potapova T. S. Software package "UDAV": practical implementation of active learning logical inference with linear computational complexity based on a mivar rule network // Transactions of the Radio Research Institute. 2010. No. 1. Pp. 108-116. EDN: MKQGGT.
4. Varlamov O. O., Chibirova M. O., Sergushin G. S., Eliseev D. V. Practical implementation of the universal problem solver "UDAV" with linear complexity of logical inference based on the mivar approach and "cloud" technologies // Devices and systems. Management, control, diagnostics. 2013. No. 11. Pp. 45-55. EDN: SQKHZZ.

5. Varlamov O. O., Adamova L. E., Eliseev D. V. et al. Complex modeling of the processes of understanding the meaning of texts, speech and images by computers based on mivar technologies // *Artificial Intelligence*. 2013. No. 4. Pp. 15-27. EDN: TZWCVPV.
6. Varlamov O. O., Maiboroda Yu. I., Sergushin G. S., Khadiev A. M. Application of mivar expert systems for solving text understanding and image recognition problems // *In the world of scientific discoveries*. 2015. No. 6 (66). P. 205-214. EDN: TVPWED.
7. Volkov A. S., Varlamov O. O. On the creation of a two-level neural network structure for use in mechanical engineering // *In the collection: MIVAR'22. Moscow, 2022*. P. 251-261. EDN: TXESUT.
8. Blokhina S. V., Adamova L. E., Kolupaeva E. G. et al. Development of educational programs with elements of artificial intelligence for training in the field of information security and personal data protection // *Artificial Intelligence*. 2009. No. 3. P. 328-335. EDN: TIFIGN.
9. Badalov A.Yu., Varlamov O.O., Sandu R.A., et al. Active mivar internet encyclopedia and development of mivar networks based on multidimensional binary matrices for simultaneous evolutionary processing of more than 10,000 rules in real time // *Artificial Intelligence*. 2010. No. 4. P. 549-557. EDN: UIMXAV.
10. Podkosova Ya.G., Varlamov O.O., Ostroukh A.V., Krasnyansky M.N. Analysis of prospects for using virtual reality technologies in distance learning // *Issues of modern science and practice. Vernadsky University*. 2011. No. 2 (33). P. 104-111. EDN: NUAKBP.
11. Kim H., Chuvikov D.A., Aladin D.V., et al. Creation of a knowledge base for a mivar expert system for diagnosing diabetes mellitus // *Medical equipment*. 2020. No. 6 (324). P. 38-41. EDN: EDXBGK.
12. Belousov E.A., Popov I.A., Evdokimov A.A., et al. A recommender system for diagnosing diabetes mellitus based on the mivar inference mechanism // *Natural and technical sciences*. 2021. No. 7 (158). P. 169-174. EDN: JSFUSI.
13. Chestnova E.A., Fedoseeva E.Yu., Vaganov D.D., et al. Development of a knowledge base of the MES for the selection of dosage forms for antibiotics and antimycotics // *Natural and technical sciences*. 2023. No. 5(180). P. 29-33. DOI 10.25633/ETN.2023.05.01. EDN WOZCUJ.
14. Varlamov O. O. Information processing systems and interaction of groups of mobile robots based on mivar information space // *Artificial Intelligence*. 2004. No. 4. P. 695-700. EDN: TIFIQD.
15. Sergushin G. S., Varlamov O. O., Chibirova M. O. et al. Study of the possibilities of information modeling of complex process control systems based on mivar technologies // *Automation and control in technical systems*. 2013. No. 2 (4). P. 51-66. EDN: RDWXUT.
16. Varlamov O.O., Aladin D.V., Saraev D.V., et al. On the possibility of creating decision-making systems for autonomous robots based on mivar expert systems processing more than 1 million production rules/sec. // *Bulletin of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2017. No. 6-2 (80). P. 54-61. EDN: TIVUDN.
17. Varlamov O.O., Lazarev V.M., Chuvikov D.A., Jha P. On the prospects for creating autonomous intelligent robots based on mivar technologies // *Radio Industry*. 2016. No. 4. P. 96-105. EDN: UQEVLG.
18. Varlamov O.O. On one approach to the metrics of autonomy and intelligence of robotic complexes // *Bulletin of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2017. No. 6-2 (80). P. 43-53. EDN: YWNDPI.
19. Varlamov O. O. On the metrics of autonomy and intelligence of robotic complexes and cyber-physical systems // *Radio Industry*. 2018. No. 1. P. 74-86. EDN: YQYQPV.
20. Varlamov O. O., Aladin D. V. Successful application of mivar expert systems for MIPRA - solving problems of planning actions of robotic complexes in real time // *Radio Industry*. 2019. No. 3. P. 15-25. EDN: EVFEAK.
21. Terekhov, V.I.; Goryachkin, B.S. Development of Actual Scientific Directions as a Continuation of Scientific Schools of the Department "Information Processing and Control Systems", Bauman Moscow State Technical University // *Dynamics of Complex Systems - XXI Century*. 2023. T. 17, № 3. C. 25-33. DOI 10.18127/j19997493-202303-04. EDN CLLMCH.
22. Goryachkin, B.S.; Baibarin, R.G.; Tyulkina, N.V.; Zaprudnov, M.S. Ergonomic analysis of the mivar model representations (in Russian) // *Natural and Technical Sciences*. 2022. № 4(167). C. 162-174. EDN MYQLZN.
23. Andreev, A.V.; Kraichikov, O.D.; Karpov, D.K., et al. BZ MES on movie selection // *Mivar'22: Collection of scientific articles. Moscow: Infra-M, 2022*.
24. Bondarenko I.G., Grishin S.V., Strihar P.A., et al. MES of optimal character selection in the DOTA 2 game project // *Mivar'23. Moscow: Infra-M, 2023*. C. 27-32. EDN VIUHEB.
25. Bogomolov, D.N.; Umryaev, D.T.; Krotov, Yu. MES for automation of request solving in the technical support service // *Mivar'22. Moscow: Infra-M, 2022*. C. 20-28. EDN VEFYJTJ.

26. Kotsenko, A.A. Development of the methodology of automatic generation of mivar knowledge bases of three-dimensional logical space // Information and Education: communication boundaries. 2023. № 15(23). С. 304-308. DOI 10.59131/2411-9814_2023_15(23)_304. EDN MLGYNM.
27. Gavrilyuk A.G., Khotin P.Y., Chernata N.S., et al. BZ MES of notebook selection // Mivar'22: Collection of scientific articles. Moscow: Infra-M, 2022. С. 129-136. EDN FZKYHL.
28. Vorontsova, A.V.; Verevkina, D.V.; Vanina, P.V. et al. MES for distribution of work tasks between employees // Mivar'23. Moscow: INFRA-M, 2023. С. 63-73. EDN ZOOLHR.
29. Shevtsova Y.B., Zamula A.I., Myshenkov K.S., et al. GIS of human assessment by photo and issuing nutritional recommendations // Mivar'22. Moscow: Infra-M, 2022. С. 309-314. EDN JGWRP.
30. Dyatlenko, E.A.; Evdokimov, A.A.; Nikolskiy, D.R. et al. MES for recognizing interior objects // Mivar'23. Moscow: INFRA-M, 2023. С. 87-95. EDN SJMPZG.
31. Bento J. et al. Proximal operators for multi-agent path planning // Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence. 2015. Vol. 29, № 1.
32. Yuan C. et al. An efficient RRT cache method in dynamic environments for path planning // Robotics and Autonomous Systems. 2020. Vol. 131. P. 103595.
33. DPM, a fast, accurate Monte Carlo code optimized for photon and electron radiotherapy treatment planning dose calculations - IOPscience [Electronic resource]. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0031-9155/45/8/315/meta> (accessed: 07.06.2024).
34. Girshick R. Fast R-CNN. 2015. P. 1440-1448.
35. Xu X. et al. A review of multi-sensor fusion slam systems based on 3D LIDAR // Remote Sensing. MDPI, 2022. Vol. 14, № 12. P. 2835.

RESUME

Shen Qiuji, Gong Shenshuo, O. O. Varlamov, L. E. Adamova, E. G. Balenko Dynamic Robot Path Planning Based On Semantic Object Detection Using Mivar Expert System

There are many works devoted to the issues of dynamic trajectory planning of ground robots. The developed algorithm is based on object detection technology and can improve the safety and reliability of robot movement in complex large indoor spaces. The main innovation of this algorithm is the combination of mivar expert systems and advanced computer vision methods for object detection with traditional obstacle detection methods. By establishing a correspondence between obstacles and object categories, the algorithm based on semantic analysis using mivar expert systems can dynamically increase the obstacle zone depending on their type.

The dynamic trajectory planning algorithm for ground robots combines 2D lidar and RGB camera data using deep learning to detect different categories of objects in the image and their positions, and then combines them with lidar point cloud data to obtain geometric and semantic information about obstacles. For important types of obstacles, such as children, the algorithm increases the obstacle zone, providing a safer space for robot route planning. For other common obstacles, such as stationary objects, the algorithm maintains a reasonable safe distance. The experimental results show that compared with traditional geometric path planning algorithms, our algorithm significantly reduces the risk of collision with important obstacles, which significantly improves the safety of the robot in dense flows of people. At the same time, due to reasonable avoidance of common obstacles, this algorithm maintains high navigation efficiency, avoiding excessive conservatism, which can lead to low efficiency.

The developed algorithm balances the safety and efficiency of robot navigation well, demonstrating the great potential of the combination of computer vision and robot path planning technologies. In the future, we plan to deploy and test this algorithm on a real robotic platform and extend it to more general 3D environments. We will also continue to research new object recognition and motion prediction technologies to further improve the performance and usefulness of the algorithm.

In order to improve the safety of people when robots operate in large spaces, an algorithm for dynamic path planning of a ground robot based on semantic object detection technology using mivar expert systems has been developed. An important feature is that our algorithm takes into account the psychological characteristics of human behavior and movement in large spaces. The mivar expert system implements data fusion. The algorithm can be used in airports, railway stations, shopping malls and other premises to improve human safety when robots operate in large spaces.

РЕЗЮМЕ

Шэнь Цюцзе, Гун Шэншо, О. О. Варламов, Л. Е. Адамова, Е. Г. Баленко
Динамическое планирование траектории робота на основе семантического обнаружения объектов с использованием миварной экспертной системы

Вопросам динамического планирования траектории наземных роботов посвящено достаточно много работ. Разработанный алгоритм основан на технологии обнаружения объектов и позволяет повысить безопасность и надежность движения роботов в сложных больших внутренних помещениях. Основным нововведением данного алгоритма является объединение миварных экспертных систем и передовых методов компьютерного зрения для обнаружения объектов с традиционными методами обнаружения препятствий. Путем установления соответствия между препятствиями и категориями объектов алгоритм на основе семантического анализа с использованием миварных экспертных систем может динамически увеличивать зону препятствий в зависимости от их типа.

Алгоритм динамического планирования траектории наземных роботов объединяет данные 2D лидара и RGB камеры с использованием глубокого обучения для обнаружения различных категорий объектов на изображении и их позиций, а затем сочетает их с данными облака точек лидара для получения геометрической и семантической информации о препятствиях. Для важных типов препятствий, таких как дети, алгоритм увеличивает зону препятствий, обеспечивая более безопасное пространство для планирования маршрута робота. Для других обычных препятствий, таких как неподвижные объекты, алгоритм поддерживает разумное безопасное расстояние.

Результаты экспериментов показывают, что по сравнению с традиционными алгоритмами геометрического планирования пути, наш алгоритм значительно снижает риск столкновения с важными препятствиями, что существенно повышает безопасность работы робота в плотных потоках людей. В то же время, благодаря разумному уходу от обычных препятствий, этот алгоритм сохраняет высокую эффективность навигации, избегая избыточной консервативности, которая может привести к низкой эффективности.

Разработанный алгоритм хорошо балансирует безопасность и эффективность навигации робота, демонстрируя большой потенциал комбинации технологий компьютерного зрения и планирования маршрутов робота. В будущем мы планируем развернуть и протестировать этот алгоритм на реальной робототехнической платформе и расширить его на более общие трехмерные среды. Также будут продолжены исследования новых технологий распознавания объектов и прогнозирования движения для дальнейшего повышения производительности и полезности алгоритма.

В целях повышения безопасности людей при работе роботов в больших помещениях разработан алгоритм динамического планирования маршрута наземного

работа на основе семантической технологии обнаружения объектов с использованием миварных экспертных систем. Важной особенностью является то, что наш алгоритм учитывает психологические особенности поведения и перемещения людей в больших помещениях. В миварной экспертной системе реализовано объединение данных. Алгоритм может применяться в аэропортах, на железнодорожных станциях, в торговых центрах и других помещениях с целью повышения безопасности людей при работе роботов в больших помещениях.

Шэнь Цюцзе, аспирант, ФГБОУ ВО МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва, Россия, shencr0929@gmail.com

Область научных интересов: искусственный интеллект, миварные технологии логического искусственного интеллекта, обработка информации, распознавание образов, кибернетика

Гун Шэншо, аспирант, ФГБОУ ВО МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва, Россия, hiteyeb@163.com

Область научных интересов: искусственный интеллект, миварные технологии логического искусственного интеллекта, обработка информации, распознавание образов, кибернетика

Варламов Олег Олегович, доктор технических наук, профессор, ovar@narod.ru,
1) главный научный сотрудник АО «НИИ «Вычислительных комплексов»»,
2) профессор базовой кафедры № 254 Вычислительных комплексов Института искусственного интеллекта РТУ МИРЭА, г. Москва, Россия
3) профессор кафедры Систем обработки информации и управления МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва, Россия

Область научных интересов: искусственный интеллект, экспертные системы, логика, миварные технологии логического искусственного интеллекта, обработка информации, принятие решений, распознавание образов, понимание естественного языка, кибернетика, автономные робототехнические комплексы

Адамова Лариса Евгеньевна, кандидат психологических наук, доцент, доцент кафедры общей психологии и психологии труда, Российский новый университет (РосНОУ), larisapers@yandex.ru

Область научных интересов: психология, искусственный интеллект, миварные технологии логического искусственного интеллекта

Баленко Елена Георгиевна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, заведующая кафедрой естественнонаучных дисциплин, balenko2008@mail.ru
ФГБОУ ВО "Донской государственной аграрный университет",
Ростовская область, пос. Персиановский

Область научных интересов: физика, искусственный интеллект, миварные технологии логического искусственного интеллекта, обработка информации

Статья поступила в редакцию 17.06.2024.