

Дёмин В.В., Дунец И.П.

Брестский государственный технический университет

БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ АВТОНОМНАЯ МОБИЛЬНАЯ ПЛАТФОРМА РОБОТА-ГИДА

Описание

В этой статье описываются алгоритмы навигации автономного мобильного робота, использующего датчики нижнего ценового диапазона. Разработанные алгоритмы были использованы при разработке системы навигации робота-гида.

Введение

В настоящее время в мире проекты робота-гида разрабатывают различные крупнейшие корпорации (Sony, Hitachi, Toshiba, General Motors, Siemens и др. [1-3]). Эти устройства с успехом были применены в кинотеатрах (ED Corporation [4]), в Сеульском национальном историческом музее, в Мадридском офисе Santander's Group City [5], региональном археологическом музее Agrigento, Штутгартском институте мануфактуры инженерии и автоматике, форумах и корпоративных офисах (Kaikan Exhibition Hall в Toyota City [6]). Главной сложностью применения таких систем является высокая стоимость и закрытые исходные коды. Это делает экономически непривлекательным использование любой из существующих платформ для создания автоматизированных выставок в небольших экспозициях и музеях. В 2014 г. в РБ будет проводиться чемпионат мира по хоккею. Событие такого масштаба будет способствовать многократному увеличению туристов, посещающих нашу страну. Для увеличения числа посетителей выставки будут нуждаться в технических новшествах. Такими ноу-хау могут стать автоматизированные выставки, где экскурсоводами выступают роботизированные гиды. Идея создания робота-гида получила поддержку, и в настоящий момент ведется разработка макета и программной системы управления роботом.

Главной особенностью робота-гида является взаимодействие с людьми на выставках в закрытом пространстве. В помещении располагается predetermined число экспонатов (рис. 1). У робота есть информация о карте помещения, координатах экспонатов и координатах начала движения. Для управления выбором экскурсии используется сенсорный экран. Каждый посетитель может выбрать интересующий его маршрут. После определения маршрута прокладывается путь к экспонатам. В процессе движения воспроизводится мультимедийная развлекательная информация о выставке и, по прибытию на место, об экспонатах.

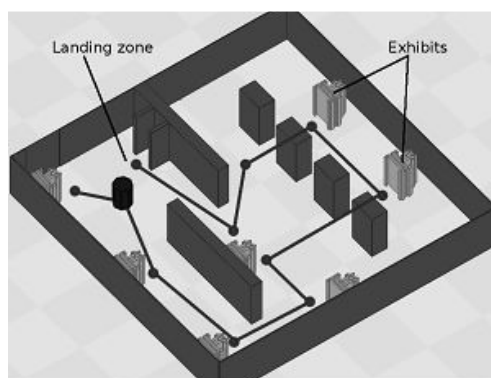


Рисунок 1 – Модель комнаты-выставки для робота-гида

В настоящий момент, изготовлен макет робота-гида и осуществляется разработка программной системы управления роботом. Для разработки и отладки алгоритмов использована система компьютерного моделирования Player/Stage.

Для уменьшения затрат в проекте используются только сенсоры низшего ценового диапазона. Такие сенсоры обладают достаточной точностью, но требуют дополнительной обработки получаемых данных. Для определения препятствий в проекте применяются ультразвуковые и инфракрасные датчики, алгоритмы обработки данных от которых разработаны с опорой на предыдущие исследования, проведенные в СНИЛ «Робототехника» БрГТУ.

1. Платформа робота

Роботизированная платформа разрабатывается в СНИЛ «Робототехника» Брестского государственного технического университета. Внешний вид компьютерной модели робота показан на рисунке 2. На сегодняшний день также разработан макет робота-гида, приведенный на рисунке 3. Макет имеет диаметр 46 см, оснащен одометрами, гироскопом, ультразвуковыми датчиками, инфракрасными датчиками и двумя wi-fi камерами. Для передвижения платформа макета оборудована четырьмя колесами, два из которых свободно вращаются на 360 градусов относительно своей оси, а два оборудованы электроприводами. Каждое из приводных колес оснащено оптическим одометром, позволяющим отсчитывать 64 деления за оборот колеса. Для управления движением робота используется дифференциальная схема управления, при которой поворот платформы осуществляется за счет разницы скоростей вращения колес. Максимальная скорость движения робота – 1,5 м/с.

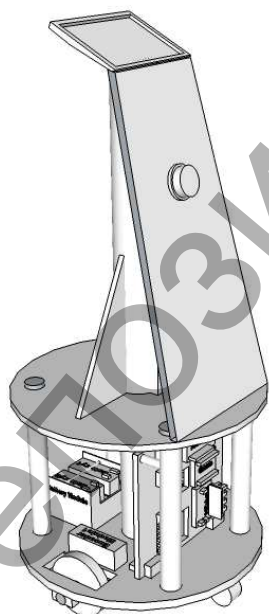


Рисунок 2 – Компьютерная модель робота-гида

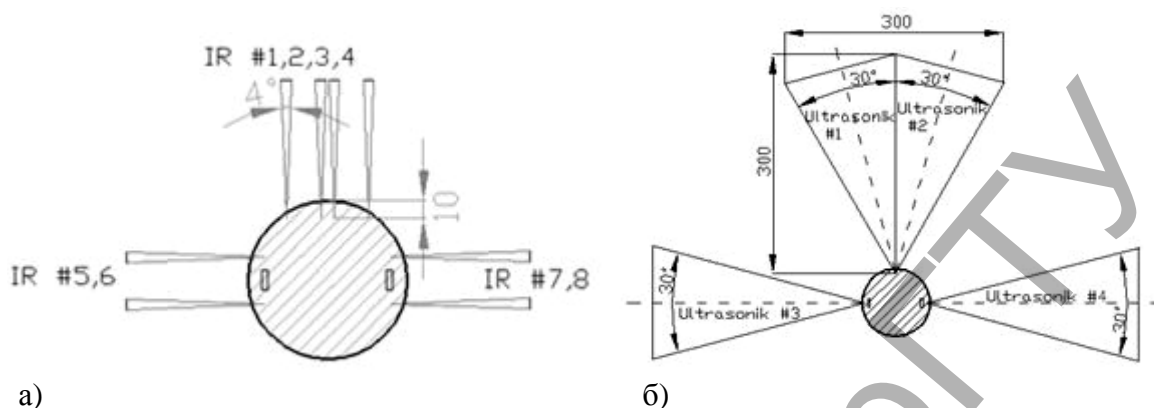


Рисунок 3 – Фотография прототипа платформы робота-гида

2. Сенсорная модель робота

Для определения препятствий используются две сенсорные модели: модель инфракрасных датчиков [7] и модель ультразвуковых датчиков [8, 9] (рис. 4а, 4б). Каждая из моделей имеет некоторые свои недостатки. Использование только одной из моделей делает затруднительным навигацию в динамическом про-

странстве. Комбинирование данных от двух моделей позволяет повысить качество детектирования препятствий. Для повышения надежности работы сенсоров полученные данные подвергаются медианной фильтрации с шириной окна фильтра, равной 5. Значение ширины окна подобрано экспериментально.



а) б)
Рисунок 4 – Модель инфракрасных сенсоров (а) и ультразвуковых сенсоров (б)

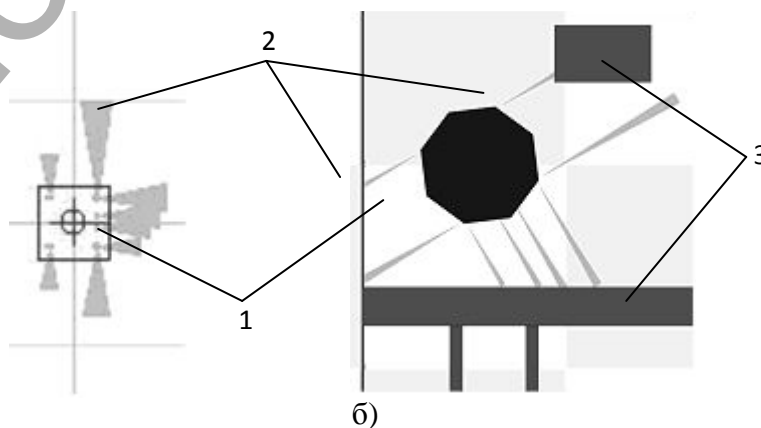
Для проведения экспериментов моделирования были созданы точные модели сенсоров и актуаторов для системы Player/Stage. Для того чтобы приблизить получаемые данные к реальным, была задана систематическая ошибка всех сенсоров в размере 10%.

2.1. Обработка данных поступающих от сенсоров

В процессе обработки данных очень важно знать точную ориентацию робота в пространстве. Знание ориентации робота позволяет получить представление о положении препятствий не только относительно робота (рис. 5а, ба), но также получить их глобальные координаты. На рисунках 5б и 6б представлена графическая интерпретация показаний инфракрасного и ультразвукового сенсоров соответственно.

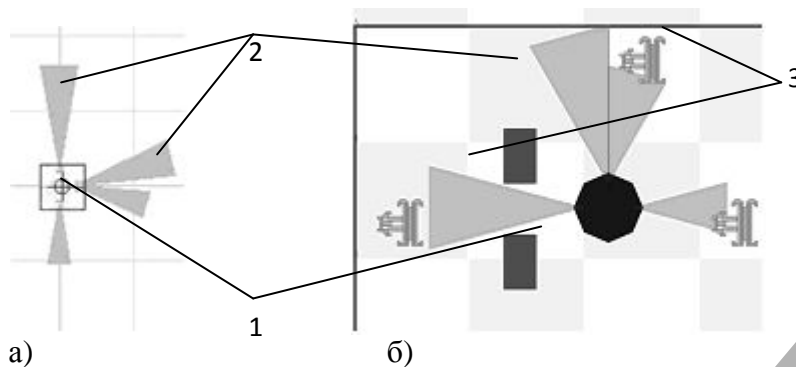
Левое изображение показывает, как выглядит процесс симуляции, а правое показывает данные, поступающие от сенсоров относительно самого робота.

Существует множество точек, где текущие данные от сенсоров будут выглядеть идентично. Это затрудняет локализацию робота при помощи алгоритмов группы SLAM (Simultaneous localization and mapping). Для повышения точности позиционирования робота используются вспомогательные сенсоры, такие как гироскоп и одометры.



а) б)
а – Визуализация данных поступающих от инфракрасных сенсоров относительно робота (а) и модели окружающей среды (б); 1 – робот, 2 – графическое отображение покрытия инфракрасных лучей, 3 – стены препятствий

Рисунок 5



а) – Визуализация данных, поступающих от ультразвуковых сенсоров относительно робота (а) и модели окружающей среды (б); 1 – робот, 2 – графическое отображение покрытия ультразвуковых лучей, 3 – стены препятствий

Рисунок 6

2.2. Инфракрасные сенсоры

Одним из типов сенсоров, которые используются при оснащении робота, являются инфракрасные дальномеры. Для оснащения робота были использованы сенсоры SHARP серии GP2Y0A21 с диапазоном измерений 10-80 см. Принцип их работы основан на измерении угла отражения инфракрасного излучения. Полученный отраженный от препятствия импульс фокусируется с помощью линзы и передается на линейную CCD матрицу. На основе засветки площади матрицы определяется угол отражения и рассчитывается расстояние до объекта. Этот метод является более защищенным от случайных помех возникающих из-за разницы цвета и отражающей способности поверхности материалов препятствий.

Возвращаемое сенсором значение лежит в диапазоне от 0 до 3 В [10]. Считывая показания с помощью аналогового входа микроконтроллера, используя формулу (1), можно провести перерасчет вольт в сантиметры.

Формула пересчета показаний сенсора [10]:

$$R = \frac{m}{V+b} - k, \quad (1)$$

где m , b , k – константы, получаемые из спецификации на сенсор [10], V – значение, получаемое от сенсора, R – расстояние до объекта в см.

После подстановки констант формула (1) примет следующий вид:

$$R = \frac{2014}{V+5} - 1 \quad (2)$$

В случае если дистанция от сенсора до препятствия составляет менее 10 см, то происходит сбой в работе сенсора. В случае возникновения такого сбоя, как видно из рисунка 7, препятствие детектируется на более дальней дистанции, чем 10 см. Для устранения этих сбоев сенсоры устанавливаются в глубине корпуса робота.

Данные сенсоры обладают как положительными, так и отрицательными характеристиками.

Положительные:

- 1) высокая точность измерений;
- 2) малый угол обзора, что позволяет получить точную позицию препятствия в пространстве.

Отрицательные:

- 1) сбой при измерениях в зависимости от цвета поверхности (черная поверхность имеет угол отражения на 19% меньше, чем белая);

2) при малом угле обзора требуется большое количество сенсоров, чтобы исключить возможность пропуска препятствия;

3) если препятствие частично попадает в область обзора, то оно детектируется как далеко отстоящее.

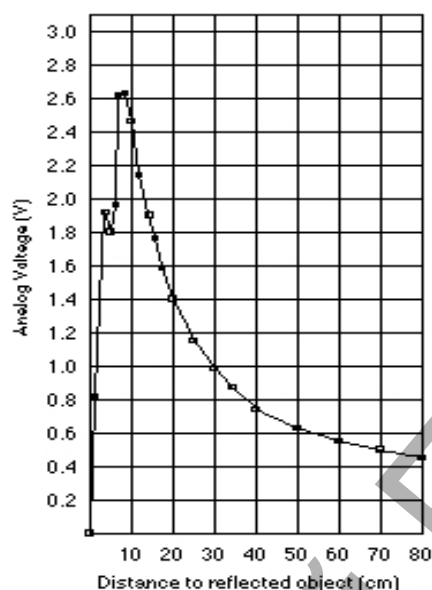


Рисунок 7 – Выходная характеристика для сенсора GP2Y0A21

2.3. Ультразвуковые сенсоры

Второй тип используемых на работе сенсоров – это ультразвуковые сенсоры. Робот оснащен Seeedstudio Ultrasonic SEN136B5B с диапазоном измерений 3-300 см [11]. Принцип работы сенсоров заключается в формировании серии модулированных ультразвуковых импульсов с помощью излучателя и получении отраженного эха при помощи приемника. Подсчет расстояния до препятствия осуществляется на основе исчисления времени получения отраженных импульсов. Формула пересчета показаний сенсора имеет следующий вид[11]:

$$R = \frac{V}{29 * 2}, \quad (3)$$

где V – значение, получаемое от сенсора, 29 мс/см – скорость звука в воздухе, R – расстояние до объекта в см.

Для оценки показаний сенсора используется диаграмма направленности, предоставляемая разработчиками, изображенная на рисунке 8. Угол обзора сенсора составляет порядка 30 градусов.

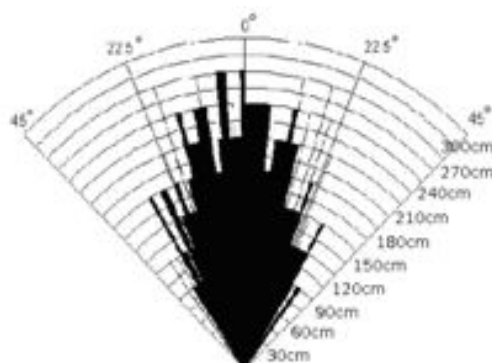


Рисунок 8 – Диаграмма направленности ультразвукового сенсора SEN136B5B

Положительные характеристики:

- 1) высокая точность измерений;
- 2) большая дистанция измерений;
- 3) широкий угол обзора, что позволяет обнаруживать небольшие препятствия.

Отрицательные характеристики:

1) широкий угол обзора не позволяет точно определить местоположение препятствия;

2) высокая вероятность сбоя в случае, если поверхность препятствия находится под углом к сенсору.

2.4. Одометры и гироскоп

Гироскоп и одометры используются в системе автономного позиционирования робота. Данные, получаемые с гироскопа, интегрируются и применяются при оценке угла поворота робота. На основе одометрических данных производится расчет пути пройденным правым и левым колесом, что позволяет оценивать текущую позицию робота.

Для корректировки траектории на основе гироскопа и одометров и управления двигателями была применена искусственная нейронная сеть [12]. Архитектура сети представлена на рисунке 9.

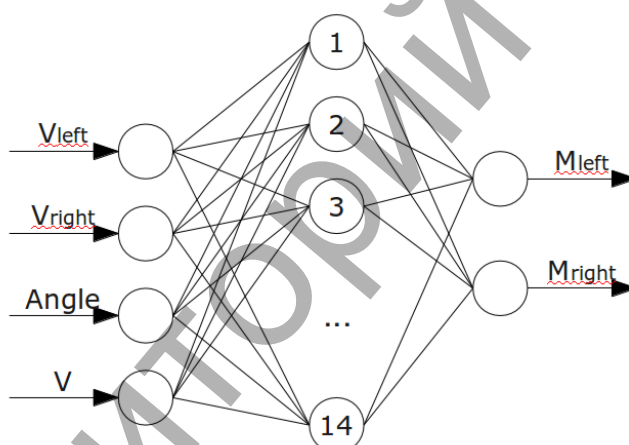


Рисунок 9 – Архитектура нейронной сети регулятора драйверов двигателя

Vleft and Vright скорости левого и правого колеса, которые вычисляются на основе данных, полученных с одометров. Angle вычисляется на основе данных гироскопа. V – это скорость, с которой робот должен ехать. Mleft и Mright – величина управляющего сигнала устанавливаемая на драйверах двигателей левого и правого колеса соответственно, которая задаётся от 0 до 255.

Обучающая выборка составлена на основе компьютерной модели из 60 образцов. В виде функции активации использовалась сигмоидная функция. Сеть обучалась на основе алгоритма обратного распространения ошибки. Среднеквадратичная ошибка обучения задана одна тысячная. Сеть успешно обучается в среднем за 1500 итераций. В результате сеть способна задавать необходимые параметры тока, подаваемого на двигателя для разных скоростей, и корректировать путь робота. Эксперименты моделирования показали, что робот корректирует свой путь и едет ровно по заданной траектории, с минимальной погрешностью. При задании скорости, которая не была учтена в обучающей выборке, робот успешно её выдерживает благодаря обобщающей способности нейронных сетей.

2.5. Объединение сенсорных данных

Основой для объединения данных с сенсоров является вероятностная карта из ячеек. Каждая ячейка представляет собой квадратный сантиметр реального пространства и может принимать значения от 0 до 255. Эти значения показывают степень доверия, что в этой клетке находится препятствие. Основные стадии алгоритма построения карты:

1. Инициализация карты (карта помещения переносится в вероятностную карту робота, задаётся положение и направление робота).

2. Считываются данные ультразвуковых датчиков. Уменьшаются значения ячеек до препятствия, которые покрывает ультразвуковой луч.

3. Считываются инфракрасные сенсоры. Увеличиваются значения ячеек, в которых найдены препятствия.

4. Если произведена калибровка положения робота, обновляется позиция робота и все значения карты уменьшаются на процент погрешности предыдущих координат.

3. Алгоритмы навигации и планирования пути

Программное обеспечение робота состоит из трех связанных подсистем: реактивного поведения, исполнительной и подсистемы планирования движения [13, 14].

Подсистема реактивного поведения отвечает за логику поведения низкого уровня, основанную на обработке данных, поступающих от сенсоров. С помощью этой системы реализуются рефлексыв поведения, позволяющие избегать столкновения робота с препятствиями.

Подсистема исполнения отвечает за логику управления среднего уровня. С помощью этой системы выбранные модели поведения робота превращаются в управляющий набор команд. Также при помощи этой системы осуществляется контроль над исполнением текущей команды, переданной на управляющие механизмы робота, и отвечает за сбор и обработку сенсорных данных (рис. 10).

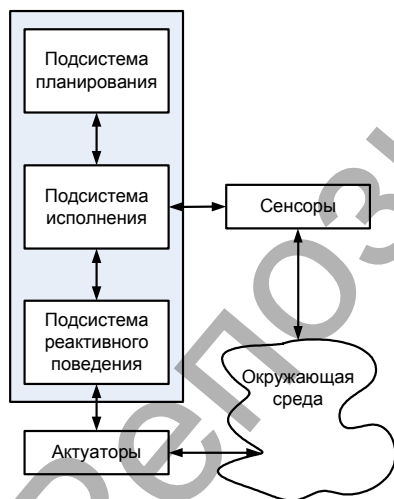


Рисунок 10 – Архитектура программного обеспечения робота-гида

Подсистема планирования отвечает за логику управления высокого уровня. Оперирруя накопленными данными об окружающей среде и анализируя текущее состояние сенсорной системы, подсистема планирования формирует модель поведения робота. Так же один из модулей подсистемы отвечает за коммуникацию с пользователем через графический интерфейс.

Описанная архитектура системы легко разделяется на низкоуровневую и высокоуровневую составляющие. Для реализации низкоуровневой системы используется 8-битные микроконтроллеры, а для высокоуровневой реализации используется портативный ПК. Такое разделение системы позволяет повысить переносимость кода на различные платформы.

Планирование пути роботом производится на основе топологической карты, построенной на основе вероятностной карты ячеек. Такая карта представлена

неориентированным графом. Узлы привязаны к вероятностной карте местности и обладают координатами. Таким образом, существует связь между геометрической картой и топологической картой. Рёбра графа показывают возможность перемещения из одного узла в другой. В процессе работы робот способен добавлять и удалять рёбра, в зависимости от изменения данных на вероятностной карте. Узлы графа подразделяются на 4 типа:

- 1) основные;
- 2) вспомогательные;
- 3) калибровки;
- 4) блокирующие.

Основные узлы расположены рядом с важными объектами в помещении: зоной парковки робота, зоной калибровки, экспонатами. Блокирующие узлы не позволяют роботу заехать на заданную территорию. Основные и блокирующие узлы инициализирует оператор с помощью программного обеспечения управления перед запуском робота. Графическое отображение графа показано на рис. 11.

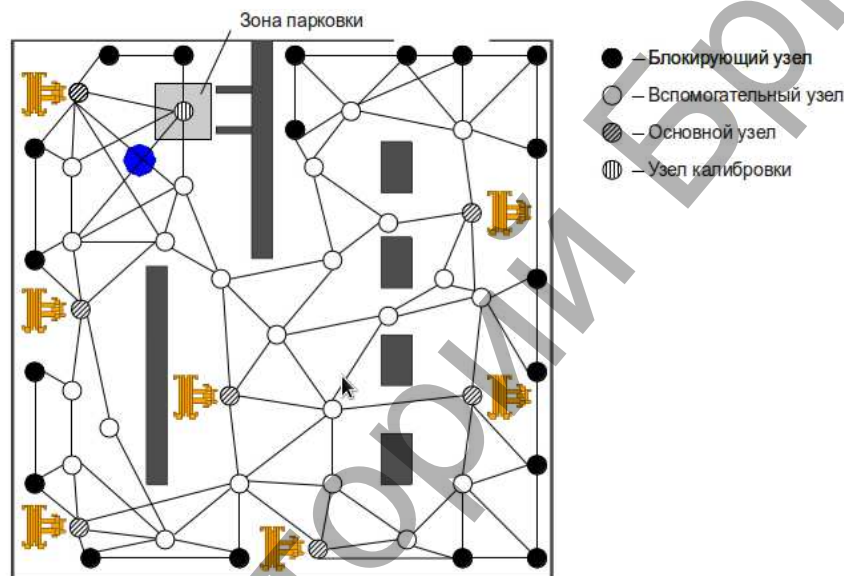


Рисунок 11 – Графическое отображение графа на модели окружающей среды

Вспомогательные узлы и узлы калибровки робот добавляет в процессе работы. Вспомогательные узлы заполняют пустое пространство и позволяют ему выбирать оптимальный путь для достижения цели. Если в узле больше нет необходимости, он удаляется.

Узлы калибровки заложены в систему. Их использование предполагает внедрение SLAM алгоритма, частично описанного в четвёртом разделе. Такие узлы обладают дополнительной информацией о необходимом направлении робота и направлении калибровки для сенсоров. Таким образом, становится возможным уточнение положения робота относительно стен и больших объектов на карте.

4. Результаты моделирования

Требование к навигации робота – обеспечить точное перемещение в течение 60 с. Для скорости в 1,5 м/с пройденное расстояние будет представлять собой 90 м, что позволяет применить такую систему для навигации в закрытом помещении. Допустимая ошибка задана 40-ка сантиметрами для 60 с. движения.

Задавая погрешности в моделировании для сенсорных данных, мы сравнили результаты передвижения с и без предварительной обработки. Используемые алгоритмы позволили уменьшить погрешности до 1-4%.

5. Заключение и будущие работы

Основной задачей проекта робота-гида при обработке данных сенсоров было подготовить данные для использования высокоуровневых алгоритмов, таких как SLAM. Разработанный алгоритм будет использовать три способа калибровки:

- 1) относительно начального положения робота;
- 2) относительно ключевых точек с известными координатами;
- 3) относительно экспонатов.

Такой подход должен решить проблему длительной навигации робота.

Для использования алгоритмов типа SLAM необходимо решать основные пять проблем локализации:

- 1) систематическая ошибка всех сенсоров;
- 2) выбор размерности и вида карты;
- 3) сопоставление данных сенсоров и данных карты;
- 4) отображение динамических объектов на карте;
- 5) планирование пути на основе карты.

Первые три проблемы решены на данном этапе разработки. Дальнейшая разработка гида планирует внедрение высокоуровневых алгоритмов и интеллектуальной системы управления роботом.

Признательность

Эта работа выполнена при поддержке гранта Министерства образования Республики Беларусь №11/116 2011 года и гранта Белорусского Республиканского фонда фундаментальных исследований F11LIT-003.

Литература

1. <http://www.aeato.com/users-manual/sony-aibo-entertainment-robot-user-manual-guide.html>/ Operating instruction ERS-210. Entertainment robot AIBO.
2. http://www.hitachi.com/rd/research/robotics/emiew2_01.html EMIEW2.
3. <http://www.honda-p3.com/robotics-research/shop-robots-toshiba.html>.
4. http://wn.com/FURO_Future_Robot.
5. <http://www.wired.co.uk/magazine/archive/2011/08/start/friendly-bank-bots>.
6. http://www.toyota.co.jp/en/about_toyota/facility/toyota_kaikan/index.html.
7. Chong Seng, Kleeman Lindsay: Mobile-Robot Map Building from an Advanced Sonar Array and Accurate Odometry, the International Journal of Robotics Research, January 1999. – Vol. 18, № 1. – P. 20-36.
8. Kam M., Xiaoxun Zhu, Kalata P. Sensor fusion for mobile robot navigation, proceedings of the IEEE, January 1997.
9. Kleeman Lindsay, Kuc Roman. Mobile Robot Sonar for Target Localization and Classification, the International Journal of Robotics Research, August 1995. – Vol. 14, № 4. – P. 295-318.
10. <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/412635/SHARP/GP2Y0A21YK0F.html>.
11. <http://www.electan.com/datasheets/GP2Y0A21YK.pdf>.
12. Головкин, В.А. Нейронные сети: обучение, организация и применение: учебное пособие. Кн. 4 / Под общ. ред. А.И. Галушкина. – М.: ИПРЖР, 2001.
13. Arras K.O., Philippsen R, Tomatis N., de Battista M., Schilt M., Siegwart R. A navigation framework for multiple mobile robots and its application at the Expo.02 exhibition, proceedings of ICRA '03. IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2003.
14. Bonasso R.P., Firby R.J., Gat E., Kortenkamp D., Miller D., Slack M. Experiences with an Architecture for Intelligent, Reactive Agents, journal of Experimental and Theoretical Artificial Intelligence 9(2), 1997.