

GOLOVKO V.A., LAURENTSYEVA S.V. The neural-net analysis of electroencephalogram for epileptic activity detection

The paper presents a neural-net system for epileptic activity detection on the base of EEG signals analysis. The designed system allows to allocate time segments with epileptic activity in the EEG signals and to determine the occurrence of epileptic activity zone. The main advantages of the proposed diagnostic system for the epileptic activity detection are a high classification accuracy equal 99,6% for the low probability of false positives equal to 0,003 and the lack of prior training on the etalon data. Experimental results showing the effectiveness of the developed approach are presented.

УДК 004.896

Дёмин В.В., Дунец И.П., Михняев А.Л.

СОЗДАНИЕ ПЛАТФОРМЫ РОБОТА-ГИДА И АЛГОРИТМЫ ЕГО НАВИГАЦИИ В ДИНАМИЧЕСКОЙ СРЕДЕ

Введение. В настоящее время в мире проекты робота-гида разрабатывают различные крупнейшие корпорации (Sony, Hitachi, Toshiba, General Motors, Siemens и другие [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 году в Республике Беларусь 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 Министерства образования Республики Беларусь в виде гранта «Разработка прототипа интеллектуальной роботизированной платформы для создания робота-гида», 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 определенное число экспонатов (рисунок 1). У робота есть информация о карте помещения, координатах экспонатов и координатах начала движения. Для управления выбором экскурсий 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 прибытии на место – об экспонатах.

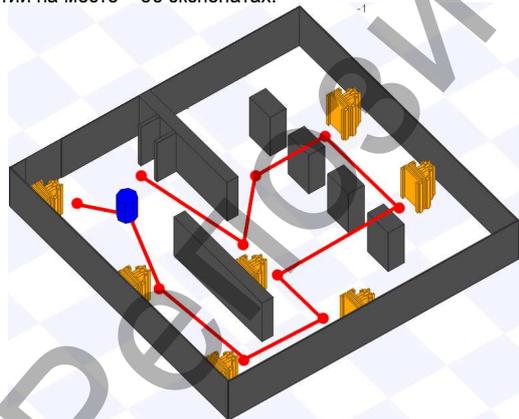


Рис. 1. Модель комнаты-выставки для робота-гида

В настоящий момент изготовлен макет робота-гида и осуществляется разработка программной системы управления роботом. Для разработки и отладки алгоритмов использована система компьютер-

ного 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 опираясь 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 2а. На сегодняшний день также разработан макет робота-гида, приведенный на рисунке 2б. 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 роботом используется дифференциальная схема управления, при которой поворот платформы осуществляется за счет разницы скоростей вращения колес. Максимальная скорость движения робота 1,5 м/с.



а)

Демин В.В., магистрант кафедры интеллектуальных информационных технологий Брестского государственного технического университета.

Дунец И.П., аспирант кафедры интеллектуальных информационных технологий Брестского государственного технического университета.

Михняев А.Л., ассистент кафедрой интеллектуальных информационных технологий Брестского государственного технического университета.

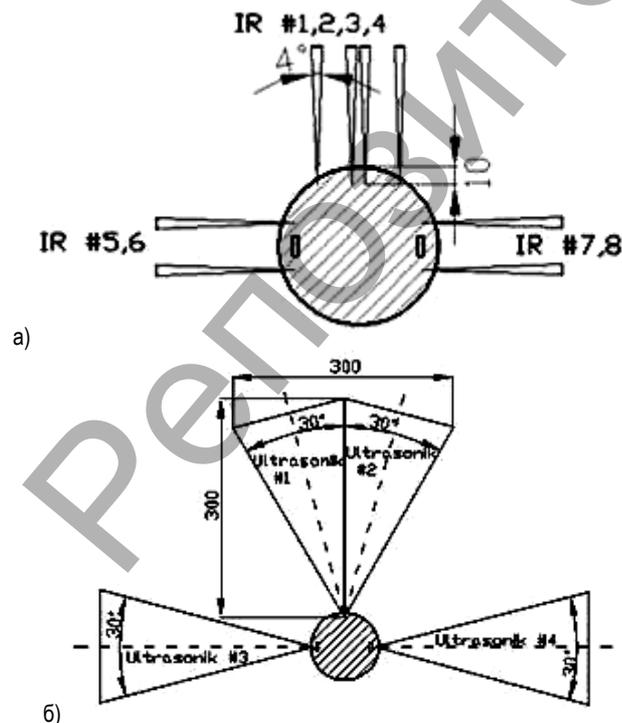
Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

Физика, математика, информатика



б)
Рис. 2. Компьютерная модель робота гида (а) и макет реального робота-гида (б)

2. Сенсорная модель робота. Для определения препятствий используются две сенсорные модели: модель инфракрасных датчиков [7] и модель ультразвуковых датчиков [8, 9] (рисунок 3а, 3б). Каждая из моделей имеет свои недостатки. Использование только одной из моделей делает затруднительным навигацию в динамическом пространстве. 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.



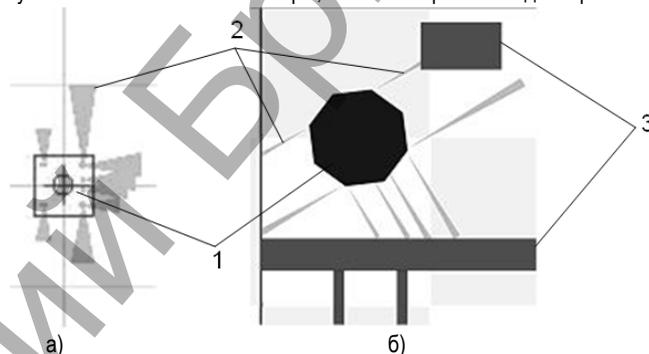
а)
 б)
Рис. 3. Модель инфракрасных сенсоров (а) и ультразвуковых сенсоров (б)

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

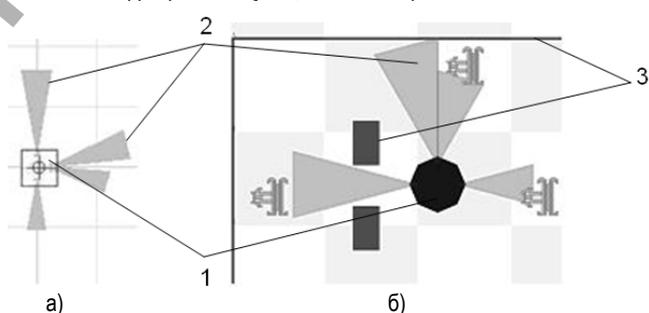
2.1 Обработка данных, поступающих от сенсоров. В процессе обработки данных очень важно знать точную ориентацию робота в пространстве. Знание ориентации робота позволяет получить представление о положении препятствий не только относительно робота (рисунок 4а, 5а), но и также получить их глобальные координаты. На рисунках 4б и 5б 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)
Рис. 4а. 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



а)
 б)
Рис. 5а. 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

2.2 Инфракрасные сенсоры. Один 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:

$$R = \frac{2914}{V + 5} - 1, \quad (2)$$

В случае если дистанция от сенсора до препятствия составляет менее 10 см, происходит сбой в работе сенсора. В случае возникновения такого сбоя, как видно из рисунка 6, препятствие детектируется на более дальней дистанции, чем 10 см. Для устранения этих сбоев сенсоры устанавливаются в глубине корпуса робота.

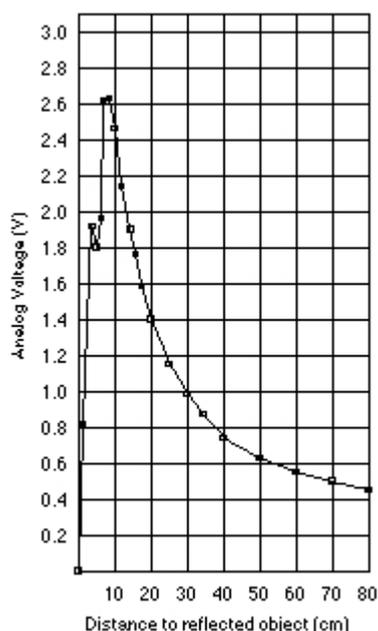


Рис. 6. Выходная характеристика для сенсора GP2Y0A21

Данные сенсоры обладают как положительными, так и отрицательными характеристиками.

Положительные:

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

Отрицательные:

- сбой при измерениях в зависимости от цвета поверхности (черная поверхность имеет угол отражения на 19% меньше, чем белая);
- при малом угле обзора требуется большое количество сенсоров, чтобы исключить возможность пропуска препятствия;
- если препятствие частично попадает в область обзора, то оно детектируется как далеко отстоящее.

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]:

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

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, отображенная на рисунке 7. Угол обзора сенсора составляет порядка 30 градусов.

Положительные характеристики:

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

Отрицательные характеристики:

- широкий угол обзора не позволяет точно определить местоположение препятствия;
- высокая вероятность сбоя в случае, если поверхность препятствия находится под углом к сенсору.

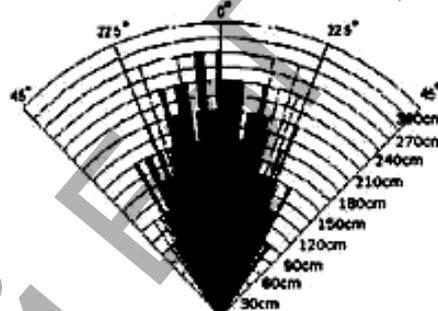


Рис. 7. Диаграмма направленности ультразвукового сенсора SEN136B5B

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 данных, полученных от гироскопа, одометров и управления двигателями, была применена искусственная нейронная сеть [12]. Архитектура сети представлена на рисунке 8.

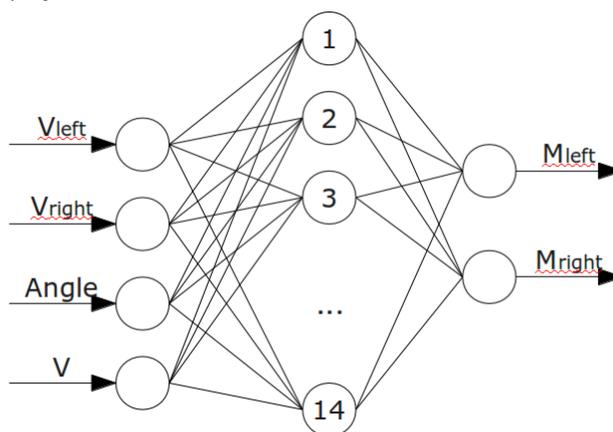


Рис. 8. Архитектура нейронной сети регулятора драйверов двигателя

V_{left} and V_{right} – скорости левого и правого колеса, которые вычисляются на основе данных, полученных от одометров. $Angle$ (угол) вычисляется на основе данных гироскопа. V – это предполагаемая скорость движения робота. M_{left} и M_{right} – величины управляющего сигнала, устанавливаемые на драйверах двигателей левого и правого колеса соответственно, которая задается от 0 до 255.

Обучающая выборка составлена на основе компьютерной модели из 60 образов. В качестве функции активации использовалась сигмоидная функция. Сеть обучалась на основе алгоритма обратно-

го распространения ошибки. Среднеквадратичная ошибка обучения задана в размере одной тысячной. Сеть успешно обучается в среднем за 1500 итераций. После обучения сеть способна задавать необходимые параметры тока, подаваемого на двигатели для разных скоростей, этим самым корректировать путь робота. Эксперименты, поставленные в среде 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 выдерживает заданную скорость, в соответствии обобщающей способности нейронных сетей.

2.5 Представление и интеграция сенсорных данных. Основой для объединения данных с сенсоров является вероятностная карта, состоящая из ячеек. Каждая ячейка представляет собой десять квадратных сантиметров реального пространства. Значения, указанные в ячейках, определяют степень достоверности нахождения препятствия в ячейке и принимают значения в диапазоне от 0 (ячейка свободна) до 1 (ячейка однозначно является препятствием). В работе [8] изложен простой алгоритм для представления окружающей среды на основе вероятностной карты препятствий. Алгоритм интеграции сенсорных данных, предложенный в статье [8], был адаптирован для нескольких типов датчиков:

1. Инициализация ячеек карты значениями «свободны».
2. Считывание данных инфракрасных датчиков, если найдено препятствие – увеличиваются значения ячеек на 0,7, в которые попадает луч.
3. Считывание данных ультразвуковых датчиков. Если найдено препятствие – уменьшаются значения ячеек до препятствия на 50%, которые покрывает ультразвуковой луч. Если не найдено, то на 10%.
4. Если произведена калибровка положения и расчетная позиция отличается от реальной, уменьшаем все значения карты на 15%. Значения для увеличения и уменьшения значений ячеек вероятностной карты подбирались в ходе экспериментов с компьютерной моделью.

3. Разработка алгоритмов навигации. 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. Эта система реализует рефлексы поведения, позволяющие избегать столкновения робота с препятствиями.

Подсистема исполнения отвечает за логику управления среднего уровня. Эта система необходима для того, чтобы выбранные модели поведения робота превращались в управляющий набор команд. Так же при помощи этой системы осуществляется контроль над исполнением текущей команды переданной на управляющие механизмы робота и отвечает за сбор и обработку сенсорных данных (рисунок 9).

Подсистема планирования отвечает за логику управления высокого уровня. Опираясь на накопленные данные об окружающей среде и анализируя текущее состояние сенсорной системы, подсистема планирования формирует модель поведения робота. Один из модулей подсистемы отвечает за коммуникацию с пользователем через графический интерфейс.

Описанная архитектура системы легко разделяется на низкоуровневую и высокоуровневую составляющую. 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 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:

- основные;
- вспомогательные;
- калибрующие;
- блокирующие.

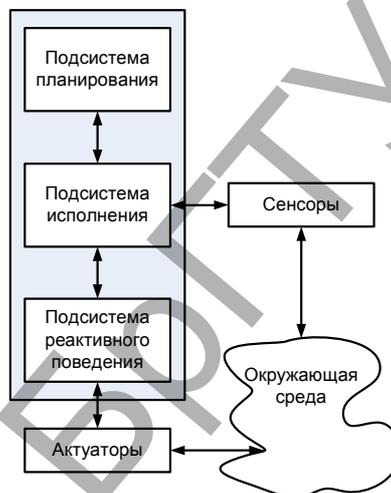


Рис. 9. Архитектура программного обеспечения робота-гида

Основные узлы расположены рядом с важными объектами в помещении: зоной парковки робота, зоной калибровки, экспонатами. Блокирующие узлы не позволяют роботу заезжать на заданную территорию и ограничивают область перемещения. Для инициализации основных и блокирующих узлов с помощью программного обеспечения управления перед запуском робота применяется специализированный оператор. Графическое отображение графа показано на рисунке 10.

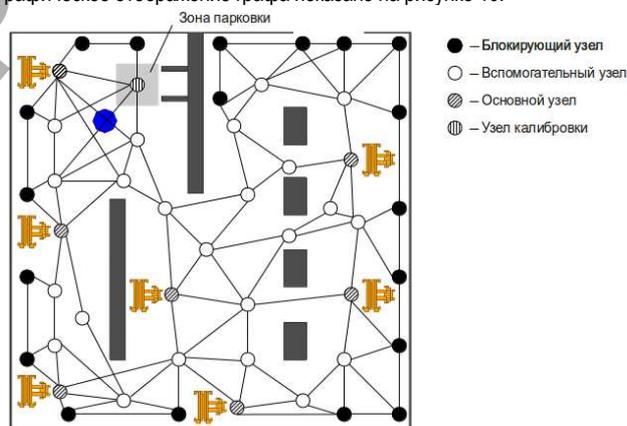


Рис. 10. Графическое отображение графа на модели окружающей среды

Вспомогательные узлы и узлы калибровки робот самостоятельно добавляет в процессе работы. Вспомогательные узлы заполняют пустое пространство и позволяют роботу выбирать оптимальный путь для достижения цели.

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 уточнять положение робота относительно стен и больших объектов на карте.

4. Результаты моделирования. Требование к навигации робота – обеспечить точное перемещение в течение 60 секунд. Для скорости в 1 м/с пройденное расстояние будет представлять собой

60 метров, что позволяет применить такую систему для навигации в закрытом помещении. Допустимая ошибка задана 40 сантиметрами для 60 секунд 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:

- относительно начального положения робота;
- относительно ключевых точек с известными координатами;
- относительно экспонатов.

Такой подход должен решить проблему длительной навигации робота.

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

- систематическая ошибка всех сенсоров;
- выбор размерности и вида карты;
- сопоставление данных сенсоров и данных карты;
- отображение динамических объектов на карте;
- 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 МО РБ «Разработка прототипа интеллектуальной роботизированной платформы для создания робота-гида» №11/116 2011 года и гранта БРФФИ «Двумерная навигация автономного мобильного робота в динамической среде» No. Ф11ЛИТ-003.

DYOMIN V.V., DUNETS I.P., MIHNJAEV A.L. Creation of a platform of the robot-guide and algorithms of its navigation in the dynamic environment

This article considers the model of an autonomous robotic platform used for excursions and presentations. Substantiates the use of sensors, the lowest price range, shows the scheme of their placement on the robot. Navigation algorithms have been described by an autonomous mobile robot in a dynamic environment. Were given the results of the simulation and planning the future direction of work.

УДК 004.5; 621.38

Крючковский В.В., Петров Э.Г., Брынза Н.А.

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ЗАВИСИМОСТИ ВЕЛИЧИНЫ ИНТЕРВАЛОВ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ПОЛЕЗНОСТИ РЕШЕНИЙ ОТ ФОРМЫ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ИСХОДНОЙ ИНФОРМАЦИИ

Введение и постановка задачи. Принятие решений является неотъемлемой частью человеческой деятельности. При этом каждый индивидум и социум в целом заинтересованы в принятии эффективных решений.

По определению, необходимыми условиями эффективности решения являются его своевременность, комплексность и оптимальность [1]. Не умаляя значимости других условий, более подробно остановимся на анализе комплексности решения. Это условие предусматривает как можно более полный учет внутренних (системных) и внешних (метасистемных) факторов, влияющих на последствия (эффективность) реше-

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

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. – 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 no. 4 295-318.
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: учеб. пособие для вузов / Под общ. ред. А.И. Галушкина. – М.: ИПРЖР, 2001. – Кн. 4. – 256 с.
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.

Материал поступил в редакцию 14.12.12

ния. По необходимости, стремление удовлетворить условие комплексности (полноты) решения приводит к двум следствиям:

- увеличению размерности кортежа входных переменных, т.е. к общему усложнению постановки задачи, ее формальной модели и повышению вычислительной сложности;
- росту размерности кортежа выходных переменных, что означает необходимость при выборе оптимального решения учитывать множество частных критериев, т.е. решать задачу не скалярной, а многокритериальной оптимизации вида

Крючковский Виктор Владимирович, к.ф.-м.н., профессор Херсонского национального технического университета, кафедра прикладной математики и математического моделирования, Украина.

Петров Эдуард Георгиевич, д.т.н., профессор Харьковского национального университета радиозлектроники, кафедра системотехники, заведующий кафедрой, Украина.

Брынза Наталья Анатольевна, к.т.н., доцент Харьковского национального университета радиозлектроники, кафедра системотехники, Украина.