

ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК

ISSN 2072-8921

№ 4 ФГБОУ ВО «Алтайский
государственный
технический университет
им. И.И. Ползунова»
2015

Том 2



ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 4 Т.2 2015

Свидетельство о регистрации издания ПИ №77-13250.
Журнал издаётся с 2002 г. Выдано министерством РФ по делам печати,
телерадиовещания и СМК 29 июля 2002 г.

Главный редактор
д.т.н., проф. Ситников А.А.

Зам. главного редактора
д.т.н., проф. Максименко А.А.

Редакционная коллегия:
акад. Г.В. Сакович,
д.х.н., проф. А.Л. Верещагин,
д.г.н., проф. Ю.И. Винокуров,
д.т.н., проф. С.В. Лебедевас (Литва),
д.т.н., проф. В.Б. Маркин,
д.т.н., проф. А.П. Марченко (Украина),
д.т.н., проф. Л.А. Маюрникова,
д.т.н., проф. О.И. Пятковский,
д.т.н., проф. В.А. Синицын,
д.х.н., проф. А.И. Хлебников,
д.т.н., проф. М.П. Шетинин,
д.т.н., проф. А.Г. Якунин
проф. Р. Бессон (Франция)

РАЗДЕЛ 1. ТЕХНОЛОГИЯ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ

А.А. Выборнов, Л.В. Анисимова
Влияние интенсивной гидротермической
обработки зерна на процессы, протекающие в
ячменной муке при хранении, и показатели ее
безопасности.....4

И.К. Нестеренко, Л.В. Анисимова
Разработка мучной композитной смеси-
концентрата на основе ячменной муки и пря-
ностей.....9

*С.В. Новоселов, Е.А. Машенская, Н.В. Гор-
ников*
Методика оценки и выбора идеи функ-
ционального продукта питания составляюще-
го новацию.....14

М.С. Бочкарев, Е.Ю. Егорова
Качество и потенциал пищевого исполь-
зования жмыхов масличного сырья, перера-
батываемого в Алтайском крае.....19

Е.Ю. Егорова

Перспективы использования вторичных
сырьевых ресурсов маслособойного и масло-
экстракционного производств в Алтайском
крае.....23

РАЗДЕЛ 2. ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО- ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

Д.А. Розаткин, Д.Г. Лапитан

Ориентация автономного мобильного
робота в помещении при помощи объектно-
ориентированной карты местности с элемен-
тами модели мира.....27

А.В. Зате́й

Синтез схем предварительного распре-
деления ключей с использованием взаимно
дополняющих условий их корректности.....32

*А.Ю. Тужилкин, А.А. Захаров, А.Л. Жиз-
няков*

Нахождение соответствий на изображе-
ниях с использованием спектра графов для
задач трехмерной реконструкции.....37

*С.М. Смольский, В.А. Филатов, В.А. Фе-
доров, Е.С. Викторина*

Измерение физиологических параметров
человека неконтактным методом с примене-
нием миллиметровой доплеровской радиоло-
кации.....40

Л.И. Худоногова, С.В. Муравьев

Обеспечение отказоустойчивости алго-
ритмов передачи данных в беспроводных
сенсорных сетях.....44

*С.С. Титов, Э.А. Мецлер, А.А. Павленко,
В.А. Архипов*

Экспериментальная установка определе-
ния среднего объемно-поверхностного диа-
метра частиц дисперсных сред.....47

РАЗДЕЛ 2. ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

УДК 004.896

ОРИЕНТАЦИЯ АВТОНОМНОГО МОБИЛЬНОГО РОБОТА В ПОМЕЩЕНИИ ПРИ ПОМОЩИ ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННОЙ КАРТЫ МЕСТНОСТИ С ЭЛЕМЕНТАМИ МОДЕЛИ МИРА

Д.А. Рогаткин, Д.Г. Лапитан

Разработан способ и аппаратно-программный модуль автономного мобильного робота для ориентации в помещении комнатного типа. Использован вероятностный алгоритм ориентации с учетом погрешностей измерений датчиков расстояния и одометрии и возможностью распознавания помещений по их характерным метрическим признакам, заложенным во внутреннюю модель мира робота.

Ключевые слова: автономный мобильный робот, модуль ориентации, объектно-ориентированная карта, координаты робота, датчик расстояния, модель мира.

ВВЕДЕНИЕ

Разработка системы навигации и ориентации автономного мобильного робота (АМР) в помещениях в условиях отсутствия их специальной подготовки (нанесения меток, установки дополнительного навигационного оборудования и т.п.) является одной из типовых и ключевых задач современной сервисной робототехники [1, 2]. Например, для сервисных медицинских роботов около 75 % всех функций сконцентрировано на задачах ориентации и перемещения в помещении коридорно-комнатного типа [3]. Эта задача весьма универсальна для АМР, полна, конечна и является, поэтому, хорошей моделью для экспериментальной проверки положений любой инженерной теории АМР. Кроме того, задача навигации и ориентации АМР в пространстве является сопряженной к задаче распознавания карты местности. Особенно интересно это сопряжение в свете лидирующей сегодня парадигмы объектно-ориентированного описания карты местности и среды обитания роботов целом, когда роботу необходимо «отдавать себе отчет», в каком помещении (комнате) он находится в данный момент времени [4]. Разработанный модуль ориентации [5] с элементами модели мира (ММ) позволяет решать такие задачи.

ОСНОВНАЯ ИДЕЯ

Рассматривалось перемещение АМР в помещении коридорно-комнатного типа по поверхности одного этажа в отсутствие в поле зрения АМР других перемещающихся объек-

тов (людей, механизмов). В качестве примера помещений рассматривался коридор с одной смежной комнатой. Любое другое количество помещений и их конфигурация легко обобщаются на основе этого примера. При автономном передвижении АМР должен уметь определять свое местоположение на карте с заданной точностью. Соответственно, в памяти АМР должна существовать план-карта помещения и правила перемещения по ней – некая ММ. Принцип ее формирования также составлял предмет исследования в данной работе. Основной трудностью в такой задаче является решение двух проблем: (1) реальные сенсорные системы АМР работают с погрешностью измерений, поэтому АМР должен учитывать их наличие; (2) при потере ориентации, например, из-за ошибок определения координат, АМР должен уметь восстанавливать свое местоположение на карте без использования какой-либо дополнительной информации, не внесенной в описание его ММ.

Для решения этих проблем была выполнена разработка вероятностного объектно-ориентированного алгоритма на основе показаний датчиков расстояний (ультразвуковых (УЗ) дальномеров) и датчиков перемещений (одометрии). Была проведена адаптация разработанного алгоритма для использования в составе современной встраиваемой системы. Вероятностный подход к локализации робота состоит в следующем. Так как дальномеры и датчики одометрии имеют погрешности измерений, показания этих датчиков можно представить в виде случайных величин, распределение которых зависит как от конструкции

самих датчиков, так и от положения АМР на карте местности. Положение робота не может быть известно точно, однако можно представить его в виде вероятностного распределения с плотностью “ p ”, заданного на некотором пространстве “ X ”. В случае ориентации на плоскости $X \subset \mathbb{R}^3$: положение АМР однозначно задаётся двумя декартовыми координатами и углом поворота θ . В этом случае плотность распределения $p=p(x,y,\theta)$. Пусть АМР находится в точке $(x,y,\theta) \in X$. Тогда показание, например, дальномера z – случайная величина с распределением $p=p(z|x,y,\theta)$. Обновление априорной плотности распределения p после получения показаний дальномера z определяется по известной формуле Байеса:

$$\tilde{p}(x,y,\theta) = \frac{p(z|x,y,\theta)p(x,y,\theta)}{\int_x p(z|x,y,\theta)p(x,y,\theta)dx dy d\theta} = \alpha \cdot p(z|x,y,\theta)p(x,y,\theta)$$

В практических применениях интеграл в знаменателе вычислять не требуется, а α находится из условия нормировки:

$$\int_X \tilde{p}(x,y,\theta) dx dy d\theta = 1$$

Повторяя измерение n раз, получим:

$$\tilde{p}(x,y,\theta) = \alpha(n) p^n(z|x,y,\theta)$$

При $n \rightarrow \infty$ предельная мера концентрируется в малой окрестности множества:

$$\arg \max_{x,y,\theta} p(z|x,y,\theta)$$

Естественно полагать, что максимум $p(z|x,y,\theta)$ достигается в точках, при измерении из которых истинное расстояние до препятствия не сильно отличается от z . Таким образом, показания z всегда уточняют положение робота в пространстве, и в случае если робот неподвижен, проводя измерения достаточно большое количество раз, можно определить расстояние до стен с любой заданной достоверностью оценки.

Эти же датчики используются для идентификации номера помещения по карте, в котором находится АМР. Для этого каждому помещению для целей идентификации присваиваются его характерные идентификационные признаки на плоскости – длина L и ширина W , которые АМР может легко измерять и определять при движении, если в его аппаратную часть включить 4 датчика расстояния – вперед-назад и вправо-влево.

АППАРАТНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ

Аппаратная реализация модуля ориентации АМР показана на рисунке 1. Модуль 1 размещается на тележке робота 2, содержащей электромоторы с системами одометрии 3а и 3б. Модуль содержит 4 стандартных УЗ датчика расстояния 4а, 4б, 4в, 4г типа

HCSR04, расположенных на тележке так, чтобы имела возможность измерения расстояний до предметов и стен в помещении в 4-х взаимно перпендикулярных направлениях. Также модуль содержит бортовой компьютер 5 для вычислений и управления УЗ датчиками расстояния и движением тележки, в который заложена геометрическая карта-план помещений в виде матрицы смежности и условий перехода, а также алгоритм управления перемещением робота. Выходы УЗ датчиков и системы одометрии подключены ко входам бортового компьютера 5а, а выходы компьютера 5б подключены ко входам устройств запуска УЗ датчиков на измерение и управления моторами.

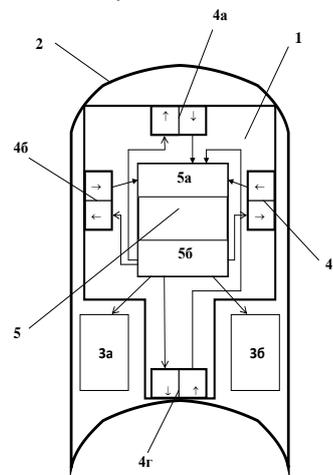


Рисунок 1 – Конструкция модуля системы ориентации АМР

Карта-план помещений (ММ) представляет собой список объектов – комнат и коридоров – с присвоенными им отличительными признаками: условными номерами, шириной W и длиной L в метрах, номером соседнего помещения с которыми данное помещение соединено входом, а также левыми $\{X;Y\}_L$ и правыми $\{X;Y\}_R$ координатами входа в помещение относительно декартовых осей X и Y , расположенных по двум примыкающим друг к другу стенкам помещения – передней (X) и левой (Y) соответственно. Сказанное поясняет рисунок 2. Каждое из двух помещений в этом примере – комната 1 и коридор 2 – имеют свою систему координат $\{X_1;Y_1\}$ и $\{X_2;Y_2\}$, а также свою ширину и длину $\{W_1, L_1\}$ и $\{W_2, L_2\}$.

Проход 3 из коридора 2 в комнату 1 задается координатами $\{X_{1L};Y_1=0\}_L$ и $\{X_{1R};Y_1=0\}_R$ в системе координат комнаты 1, которые легко пересчитываются в систему координат коридора 2, т.к. известны W_2 и смещение D_{1-2} координаты $\{X_1=0\}$ относительно $\{X_2=0\}$. Комната и коридор могут дополнительно содержать мебель 4, координаты которой на карте не задаются. Тележка АМР 5 в начальный момент времени осуществляет свое движение, напри-

ОРИЕНТАЦИЯ АВТОНОМНОГО МОБИЛЬНОГО РОБОТА В ПОМЕЩЕНИИ ПРИ ПОМОЩИ ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННОЙ КАРТЫ МЕСТНОСТИ С ЭЛЕМЕНТАМИ МОДЕЛИ МИРА

мер, по коридору 2 вправо со скоростью V (рисунок 2). При этом в памяти АМР в качестве текущей переменной выступает номер помещения, в котором находится АМР (№2 в данном случае), а длина (L_2) и ширина (W_2) этого помещения известны устройству из карты помещений.

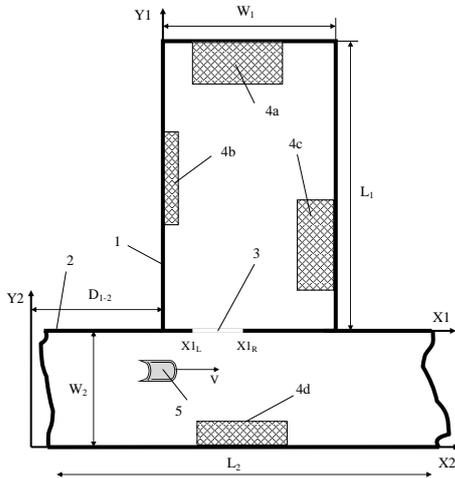


Рисунок 2 – Принцип формирования объектно-ориентированной карты помещений

ОПИСАНИЕ АЛГОРИТМА

В случае простого прямолинейного движения тележки робота (рисунок 3а) бортовой компьютер постоянно в цикле выдает сигнал запуска измерений на каждый датчик и опрашивает все свои датчики, получая информацию о расстояниях до стен вперед (r_f), назад (r_b), вправо (r_r) и влево (r_l). Поскольку каждое измерение r_i не может быть выполнено абсолютно точно и обычно содержит некоторую погрешность (неточность) измерений Δr_i , текущие координаты тележки АМР в системе координат $\{X_2; Y_2\}$ для уменьшения ошибки ориентации определяются как среднее арифметическое по результатам 2-х измерений. 1-е измерение:

$$X2_1 = r_b \pm \Delta r_b; Y2_1 = r_r \pm \Delta r_r \quad (1),$$

где Δr_b и Δr_r – возможные (типичные) погрешности измерений расстояний назад (b) и вправо (r) (определяются при испытаниях тележки робота, содержащей модуль ориентации); 2-е измерение:

$$X2_2 = W_2 - (r_l \pm \Delta r_l); Y2_2 = L_2 - (r_f \pm \Delta r_f) \quad (2),$$

где Δr_l и Δr_f – возможные (типичные) погрешности измерений расстояний вперед (f) и влево (l) (также определяются при испытаниях тележки робота); и усреднение:

$$X2 = (X2_1 + X2_2) / 2 \quad (3)$$

$$Y2 = (Y2_1 + Y2_2) / 2 \quad (4).$$

При этом дополнительно в каждом цикле измерений контролируются соотношения:

$$L_2 - \Delta L_2 \leq r_b \pm \Delta r_b + r_r \pm \Delta r_r \leq L_2 + \Delta L_2 \quad (5)$$

$$W_2 - \Delta W_2 \leq r_l \pm \Delta r_l + r_r \pm \Delta r_r \leq W_2 + \Delta W_2 \quad (6),$$

где ΔL_2 и ΔW_2 – допустимые погрешности измерений геометрических размеров помещений (задаются разработчиком робота). Проверка условий (5) и (6) постоянно «подтверждает» тележке АМР ее местоположение на карте – факт нахождения в коридоре 2 с геометрическими размерами L_2 и W_2 . Размерами самого робота в данном алгоритме пренебрегаем. Считаем, что все расстояния датчиками определяются с учетом известных габаритов робота, т.е. все расстояния отсчитываются от центра масс робота.

Далее, если роботу требуется перейти в помещение 1, то в один из моментов времени своего движения он окажется в положении справа от прохода (рисунок 3б). Проход в рамках описания данного алгоритма предполагается всегда свободным, т.е. дверь отсутствует. В этот момент времени показания боковых УЗ датчиков расстояния АМР в сумме перестанут удовлетворять условию (6). Это произойдет даже в случае, если справа от устройства по «глухой» стене окажется какой-либо небольшой предмет-препятствие 4d, меняющий показания r_r (см. рисунок 3б). Все равно сумма расстояний r_r и r_l окажется много больше ширины коридора $W_2 + \Delta W_2$. Это будет означать, что слева от тележки робота обнаружен проход в помещение 1. В этом случае модуль ориентации запоминает текущие величины расстояний $r_r = r_1^*$ и $r_l = r_2^*$, поворачивает тележку влево на 90° так, что становятся верными вместо них значения $r_b = r_1^*$ и $r_f = r_2^*$ и центрует свое положение по оси X по центру прохода, основываясь на известных координатах прохода $\{X1_L; Y1=0\}_L$ и $\{X1_R; Y1=0\}_R$. Координата $X2$ робота в этом случае будет определяться простым соотношением:

$$X2 = D_{1-2} + (X1_L + X1_R) / 2 \quad (7).$$

После этого АМР въезжает в помещение 1 на глубину S (рисунок 4) и контролирует и определяет глубину S по показаниям r_b и r_f аналогично алгоритму по формулам (1)–(4).

Сам момент пересечения линии прохода 3 определяется тележкой АМР по резкому уменьшению, а затем резкому увеличению показаний боковых УЗ датчиков расстояний – в момент пересечения прохода они в сумме покажут его ширину. В этот момент времени координата $Y1$ тележки робота принимается равной нулю ($Y1=0$) и запоминаются показания $r_b = r_3^*$ и $r_f = r_4^*$.

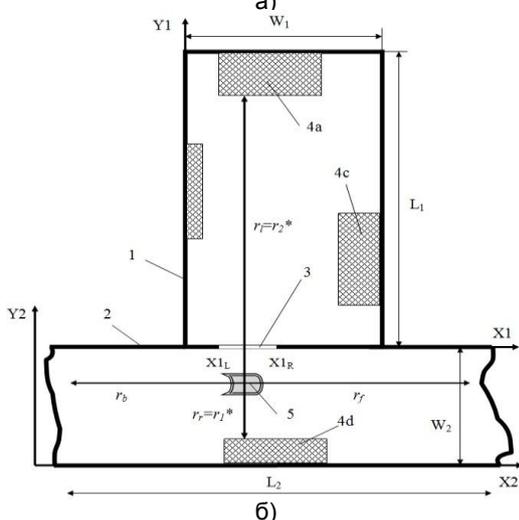
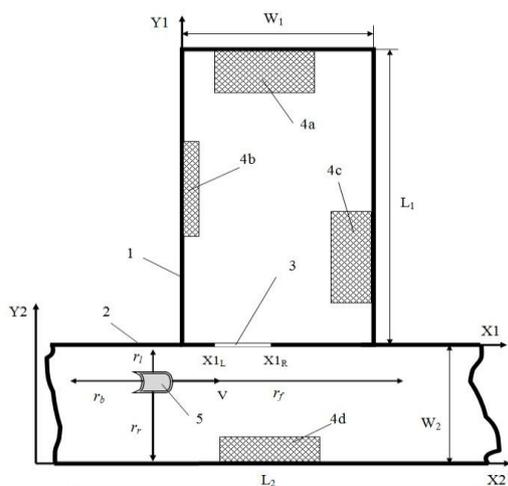


Рисунок 3 – Принцип измерения роботом расстояний до стен в объектно-ориентированной карте помещений: а) в положении робота в начале его движения по комнате 2; б) в положении робота напротив прохода 3 в комнату 1

Следующим этапом роботу необходимо определить значение своей координаты Y_1 , т.к. только из смещения S (см. рисунок 4) нельзя прямо вычислить координату Y_1 , а значение координаты X_1 уже известно из условия входа тележки АМР в комнату 1 прямо по центру прохода 3, т.е. из (7) прямо следует:

$$X_1 = (X_{1L} + X_{1R}) / 2 \quad (8)$$

Координата Y_1 тележки с роботом определяется снова как среднее арифметическое из двух измерений и вычислений:

измерение 1: $Y_{1_1} = (r_b \pm \Delta r_b) - r_3^*$, где $(r_b \pm \Delta r_b)$ – текущий результат измерений расстояния назад;

измерение 2: $Y_{1_2} = r_4^* - (r_f \pm \Delta r_f)$, где $(r_f \pm \Delta r_f)$ – текущий результат измерений расстояния вперед;

$$Y_1 = (Y_{1_1} + Y_{1_2}) / 2 \quad (9)$$

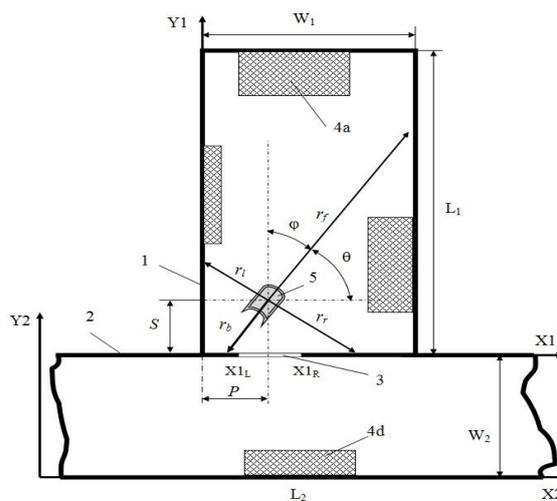


Рисунок 4 – Угловое сканирование комнаты роботом для ее идентификации в объектно-ориентированной карте помещений

Далее роботу необходимо проверить размеры комнаты 1 по показаниям УЗ датчиков расстояния и сравнить их с известными значениями из карты по аналогии с проверкой соотношений (5) и (6), чтобы убедиться, что он действительно находится в комнате 1. Однако может оказаться, что сзади, спереди и/или сбоку от тележки с роботом, как показано на рисунке 4, находятся еще и другие предметы мебели или другие препятствия/предметы, не позволяющие АМР сразу измерить размер помещения с заданной точностью. Тогда тележка с роботом 5 начинает поворачиваться вокруг своей оси, например, вправо на угол φ (см. рисунок 4), производя измерения и вычисляя размер комнаты из простых геометрических формул. Сравнивая вычисленные размеры с известными из карты размерами в зависимости от угла поворота робота можно, проводя сканирование по углу φ , получить совпадение с размерами из карты с заданной точностью, или не получить совпадений никогда, если тележка АМР находится в другом помещении. Здесь при сканировании по углу φ может быть несколько вариантов измерения расстояний. Однако все эти варианты очевидны, набор их конечен, поэтому все вычисления для всех вариантов легко могут быть выполнены бортовым компьютером АМР. Например, для рисунка 4 ширина комнаты, определяемая как

$$W_1 = (r_f \pm \Delta r_f) \cos(\theta) + (r_b \pm \Delta r_b) \cos(\varphi) \quad (10)$$

где $\varphi + \theta = 90^\circ$, даст правильный результат в пределах допустимой заданной погрешности ΔW_1 . Длина комнаты, определяемая как

$$L_1 = (r_f \pm \Delta r_f) \cos(\varphi) + (r_b \pm \Delta r_b) \cos(\theta) \quad (11)$$

даст правильный результат в пределах допустимой заданной погрешности ΔL_1 . В слу-

чае наличия препятствия на пути какого-либо направления измерений, размеры, вычисленные с помощью этого направления, окажутся несовпадающими с размерами помещения, указанными на карте. В этом случае принимается решение о номере комнаты по вычислениям по другим размерам, либо тележка робота поворачивается на другой угол, проводя новые вычисления, до получения надежных совпадений, либо до полного своего поворота вокруг оси на 360° . В последнем случае, если не удалось получить при полном повороте достоверных совпадений ни в каких измерениях, делается вывод об ошибке текущего номера помещения.

Этот же алгоритм простых геометрических расчетов позволяет тележке АМР, если она «потеряла» ориентацию, полностью определить заново свои координаты (x, y) и угол поворота (φ) в любом помещении, зная только номер помещения, в котором она находится, и его линейные геометрические размеры (ширину W и длину L). Это выполняется по следующему алгоритму. На основании показаний УЗ датчиков расстояния составляется функция ошибки $E(x, y, \theta)$, определенная для каждой точки комнаты и каждого угла поворота робота φ с учетом $\varphi + \theta = 90^\circ$. Функция ошибки представляет собой сумму квадратов отклонений показаний датчиков r_f, r_b, r_r, r_l от истинных расстояний до стен R_f, R_b, R_r, R_l по направлениям измерений:

$$E(x, y, \theta) = (R_f - r_f)^2 + (R_l - r_l)^2 + (R_b - r_b)^2 + (R_r - r_r)^2 \quad (12)$$

Истинные расстояния до стен определяются из общих геометрических соотношений следующим образом:

$$\begin{aligned} R_f &= \min \left(\frac{L \cdot I_{[0, \pi]}(\theta) - y}{\sin(\theta)}, \frac{W \cdot I_{\left[-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}\right]}(\theta) - x}{\cos(\theta)} \right) \\ R_l &= \min \left(\frac{L \cdot I_{[0, \pi]} \left(\theta + \frac{\pi}{2} \right) - y}{\sin \left(\theta + \frac{\pi}{2} \right)}, \frac{W \cdot I_{\left[-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}\right]} \left(\theta + \frac{\pi}{2} \right) - x}{\cos \left(\theta + \frac{\pi}{2} \right)} \right) \\ R_b &= \min \left(\frac{L \cdot I_{[0, \pi]}(\theta + \pi) - y}{\sin(\theta + \pi)}, \frac{W \cdot I_{\left[-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}\right]}(\theta + \pi) - x}{\cos(\theta + \pi)} \right) \\ R_r &= \min \left(\frac{L \cdot I_{[0, \pi]} \left(\theta + 3 \frac{\pi}{2} \right) - y}{\sin \left(\theta + 3 \frac{\pi}{2} \right)}, \frac{W \cdot I_{\left[-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}\right]} \left(\theta + 3 \frac{\pi}{2} \right) - x}{\cos \left(\theta + 3 \frac{\pi}{2} \right)} \right) \end{aligned} \quad (13),$$

где $I_{[a, b]}(\theta)$ – индикатор множества $[a, b]$ такой, что:

$$I_{[a, b]}(\theta) = \begin{cases} 1, \theta \in [a + 2\pi k, b + 2\pi k], k \in Z, \\ 0, \theta \notin [a + 2\pi k, b + 2\pi k], k \in Z. \end{cases}$$

где Z – множество всех целых чисел.

Далее одним из известных численных методов, например, методом градиентного

спуска [6], находится минимум функции ошибки по (12) при каком-то конкретном наборе координат. Эти координаты

$$(\bar{x}, \bar{y}, \bar{\theta}) = \arg \min_{x, y, \theta} E(x, y, \theta) \quad (14)$$

и являются решением задачи определения координат тележки робота в любой заданной комнате с помощью данного алгоритма.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, разработанный модуль ориентации функционально позволяет с заданной точностью, достаточной для практического применения, определять координаты тележки АМР на карте местности и ее угловое положение при перемещении тележки робота по горизонтальной поверхности в заданном помещении коридорно-комнатного типа. Также алгоритм позволяет роботу распознавать помещения и позиционировать свою тележку в них в терминах объектно-ориентированной модели помещения, как элемента общей ММ робота.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 14-08-01127.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Васильев, С. Н. Интеллектуальное управление динамическими системами. / С. Н. Васильев, А. К. Жерлов, Е. А. Федосов, Б. Е. Федунцов. – М.: Физико-математическая литература, 2000. – 352 с., ил.
2. Крючков, Б. И. Концептуальные подходы к применению сервисных роботов: общность проблем внедрения (на примерах пилотируемой космонавтики и высокотехнологической медицины) / Б. И. Крючков, А. А. Карпов, А. В. Поляков, Д. А. Рогаткин, В. М. Усов // Биотехносфера. – 2013. – № 6(30). – С. 48–59.
3. Рогаткин, Д. А. Концепция мобильных автономных сервисных роботов для медицины / Д. А. Рогаткин, Д. Г. Лапитан, Л. Г. Лапаева. // Биомед. Радиоэлектроника. – 2013. – № 5. – С. 46–56.
4. Рогаткин, Д. А. Среда обитания сервисных медицинских роботов в клинике / Д. А. Рогаткин, Д. Г. Лапитан. // Ползуновский вестник. – 2013. – № 2. – С. 233–238.
5. Патент на полезную модель РФ №139571, от 19.12.13. Устройство ориентации и навигации тележки мобильного робота при его перемещении по горизонтальной поверхности в заданном помещении / А. Д. Рогаткин, Д. Г. Лапитан; заявитель и патентообладатель Рогаткин А. Д.; опублик. 20.04.14. Бюл. № 11. – 2 с.
6. Гилл, Ф. Практическая оптимизация / Ф. Гилл, У. Мюррей, М. Райт; пер. с англ. – М.: Мир, 1985. – 509 с., ил.

Рогаткин Д.А. – д.т.н., доцент, ГБУЗ МО МОНИКИ им. М.Ф. Владимирского, лаборатория медико-физических исследований, e-mail: rogatkin@monikiweb.ru.

Лапитан Д.Г. – научный сотрудник, ГБУЗ МО МОНИКИ им. М.Ф. Владимирского, лаборатория медико-физических исследований, тел. (495)6818984, e-mail: lapitandenis@mail.ru.