

УДК 004.89

**РАСПРЕДЕЛЕННАЯ СИСТЕМА  
МОБИЛЬНЫХ ПОИСКОВЫХ РОБОТОВ***Губанова А. А., Гузаревич А. С.,  
Таридонов Н. Е.*

Донской государственной технической  
университет, Ростов-на-Дону, Российская  
Федерация

[Anatoliya81@mail.ru](mailto:Anatoliya81@mail.ru)

Представлена разработка структуры и алгоритмов функционирования поискового мобильного колесного робота, предназначенного для обнаружения препятствий вблизи себя и определения своих координат. Предложенные алгоритмы ориентированы на создание условий эффективного и качественного управления поисковым роботом за счет разработанного программного обеспечения на их основе.

Разработанная система основана на методе с единым управляющим центром. В качестве такого выступает обычный персональный компьютер, оснащенный соответствующим программным и техническим обеспечением. Разработанная система применима в космической, военной, промышленной областях и имеет общее значение для робототехнической отрасли.

**Ключевые слова:** поисковый робот, система управления, точность позиционирования, измерение расстояний, уточненные координаты

**Введение.** Одним из перспективных направлений в современной науке являются интеллектуальные мобильные системы, в частности, автономные колесные роботы. Новейшие модификации подобных роботов имеют развитую конструкцию ходовой части, бортовое устройство вычислительной техники, навигационную систему маршрутослежения и средства очувствления [1]. Построение

системы управления движением автономного колесного робота предусматривает разработку алгоритмов, моделирования среды, планирования маршрута, контурного управления, обнаружения и обхода статических и подвижных препятствий и т.д. [2]. В настоящее время большое внимание уделяется разработке мобильных машин с высокой приспособляемостью к движению по различным траекториям и поверхностям. Во всем мире в различных отраслях промышленности и сельского хозяйства, для исследования космоса, мирового океана и труднодоступных областей ведутся разработки подобных аппаратов для реализации задач, с которыми не справляются существующие мобильные машины [3,4].

UDC 004.89

**DISTRIBUTED SEARCH SYSTEM FOR  
MOBILE ROBOTS***Gubanova A.A., Guzarevich A.S.,  
Taridonov N.E.*

Don State Technical University, Rostov-on-Don,  
Russian Federation

[Anatoliya81@mail.ru](mailto:Anatoliya81@mail.ru)

The aim of this work is the development of structure and algorithms of search of a mobile wheeled robot designed to detect obstacles in close proximity to itself, and to determine its coordinates. The proposed algorithms are focused on creating conditions for efficient and quality control of the search robot through the developed software based on them.

The developed system is based on the method with a single control center. It is an ordinary personal computer equipped with relevant software and technical support. The developed system is applicable in space, military, industrial fields and is of general importance for the robotic industry.

**Keywords:** search robot, control system, positional accuracy, distances measurement, refined coordinates

**Постановка задачи.** Целью работы является разработка структуры и алгоритмов функционирования поискового мобильного колесного робота, предназначенного для обнаружения препятствий вблизи себя и определения своих координат. Предложенные алгоритмы ориентированы на создание условий эффективного и качественного управления поисковым роботом за счет разработанного программного обеспечения на их основе.

**Структура поискового робота.** В данной статье описывается поисковый робот (ПР), который представляет собой колесную платформу, передвигающуюся по заданному маршруту с активным позиционированием на местности и имеющую открытый интерфейс, позволяющий наращивать возможности мобильного робота. К такому роботу предъявляются требования достаточно высокой точности позиционирования, надежной работы, удобного интерфейса взаимодействия. Таким образом ПР должен:

- работать с учетом различных помех (например, домашние животные, люди, предметы);
- иметь интерфейс сопряжения с управляющим центром (например, с персональным компьютером);
- быть функционально замкнутым узлом (возложенные на него функции должны выполняться преимущественно автономно);
- иметь компактные размеры, небольшой вес;
- иметь достаточно простую конструкцию, состоять из доступных и надежных компонентов;
- иметь открытую архитектуру, что позволит привлечь к созданию дополнительных компонентов сторонних производителей.

С функциональной точки зрения ПР должен:

- 1) Сканировать помещения для составления его карты и поиска заданного объекта.
- 2) Двигаться по маршруту, задаваемому оператором при помощи специализированного АРМ.
- 3) Уточнять координаты текущего местоположения с помощью ультразвуковых датчиков на основании карты помещения.
- 4) Обнаруживать и преодолевать препятствия на пути.

При этом к ПР предъявляются следующие требования:

- точность позиционирования:  $\pm 0,05$  м;
- точность определения направления:  $\pm 3^\circ$ ;
- скорость движения от 0,2 до 1,5 м/с;
- максимальное расстояние от ультразвукового датчика до стен при позиционировании: 10 м;
- минимальное расстояние от ультразвукового датчика до стен при позиционировании: 0,10 м.

Общая структурная схема функционирования ПР представлена на рис.1:

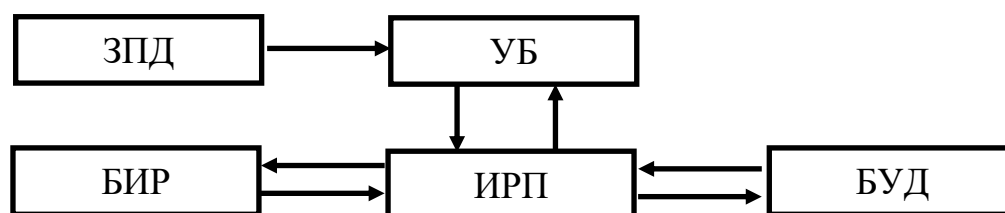


Рис.1. Структурная схема роботизированной платформы

Каждый из этих модулей выполняет определенный набор функций:

- 1) ЗПД (Задание программы движения) обеспечивает:
  - ввод, редактирование и сохранение управляющей информации: карты перемещения, маршрута движения и настроек управления;
  - математическое моделирование движения ПР и слежение за его перемещением;
  - передача управляющей информации в ПР.
- 2) УБ (Блок управления) обеспечивает:
  - расчет теоретического местоположения ПР;
  - расчет направления движения по указанному маршруту и задачу соответствующих скоростей для двигателей ПР;
  - уточнение текущих координат с помощью ультразвуковых датчиков;
  - выдача управляющему центру информации о текущем состоянии мобильного робота.
- 3) ИРП (Интерфейс ПР – RPI) обеспечивает:
  - возможность быстрой модернизации робота с помощью подключения дополнительных плат расширения (до 15 модулей);
  - обмен информацией между блоком управления и платами расширения (ПР);
  - передачу управляющих сигналов на выбранную ПР и предварительную обработку запросов от плат расширения.
- 4) БУД (Блок управления двигателями) исполняется в виде платы расширения и обеспечивает:
  - управление двигателями ПР;
  - контроль работы двигателей с помощью датчиков.
- 5) БИР (Блок измерения расстояний) исполняется в виде платы расширения и обеспечивает:
  - отправка ультразвукового сигнала под заданным углом;
  - прием отраженного ультразвукового сигнала и измерение расстояния до преграды.

Управляющий блок, блок ИРП и датчик программы движения совместно образуют систему управления ПР (СУРПР). Все модули робота взаимодействуют между собой посредством внутреннего интерфейса.

**Контроль за выполнением задания поискового робота.** Для контроля выполнения задания ПР создано программное обеспечение, которое с помощью математического моделирования показывает движения ПР, а именно (рис.2):

- передвижение робота по заданному маршруту, моделирование поворотов;
- вычисление и уточнение «теоретических» и «реальных» координат робота;
- моделирование работы УИР;
- моделирование работы УП;
- влияние помех на уточнение координат;
- наглядная демонстрация движения ПР («реальное» и «теоретическое»), а также показ точек уточнения и другой вспомогательной информации.

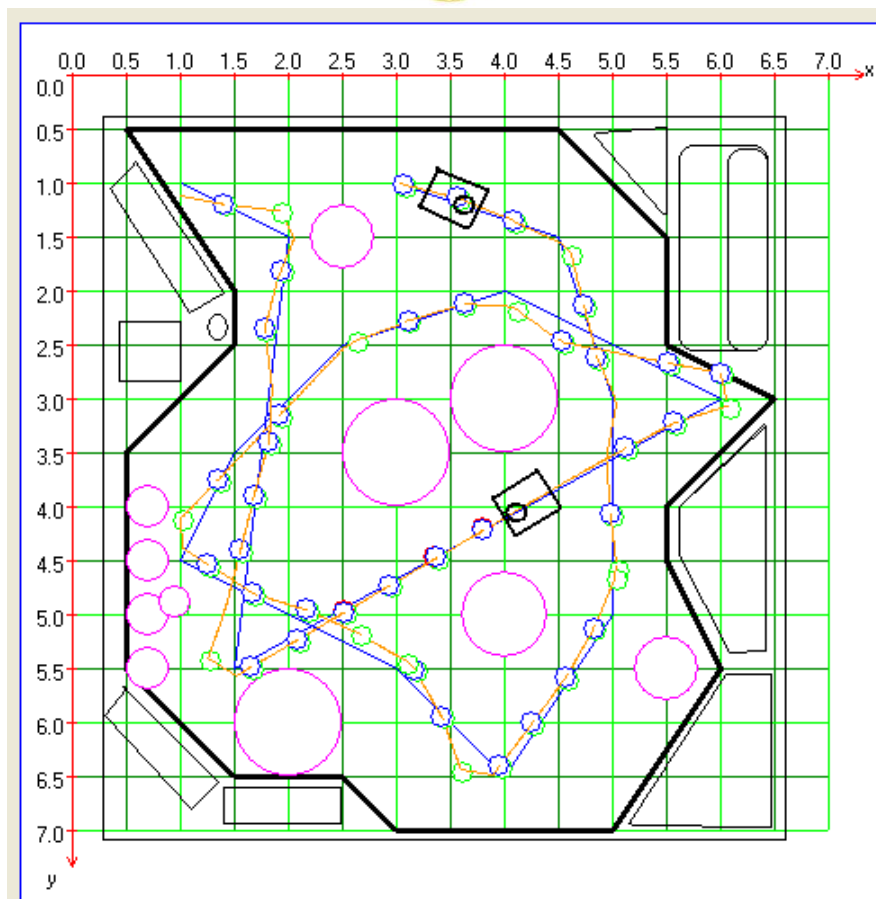


Рис.2. Моделирование движения платформы

Информация, полученная в процессе математического моделирования движения ПР, позволяет определить:

- выходит ли робот на заданную точку и с какой погрешностью;
- насколько сильно отклоняется линия «реального» перемещения ПР от заданного маршрута движения;
- правильно ли уточняются текущие координаты платформы при заданных параметрах;
- насколько велико влияние помех.

Анализируя полученную информацию, оператор делает вывод о пригодности заданного маршрута движения и управляющих настроек, а также о возможности нормального функционирования ПР с учетом возможных помех. При необходимости он делает уточнения. Например, учитывая отклонение ПР от узловых точек отдаляет (приближает) маршрут от стен; учитывая отклонения линии «реального» перемещения от заданного пути увеличивает (уменьшает) частоту уточнения направления, координат (при этом следует учитывать ограничения, накладываемые конструкцией ПР); при неправильном уточнении координат изменяет радиус и шаг зоны уточнения, а также ее глубину и т.п.

Программа ЗПД (задатчик программы движения) обеспечивает гибкие возможности работы с роботом, в частности, предусмотрено дистанционное управление с использованием радиоканала. Подпрограмма функционирования такого управления практически полностью совпадает с алгоритмом работы УБ при автономном ее перемещении. Программа выполняет следующие

основные действия:

- 1) Расчет теоретического местоположения ПР.
- 2) Расчет направления движения по указанному маршруту и вычисление соответствующих скоростей для двигателей.
- 3) Уточнение текущих координат с помощью ультразвуковых датчиков.

Расчет текущего теоретического положения основан на следующем предположении: начальные координаты маршрута движения совпадают с фактическим расположением ПР перед пуском. Таким образом, все последующие координаты вычисляются относительно точки старта. Это ограничение необходимо, так как точное определение текущих координат при помощи ультразвуковых датчиков: во-первых, приводит к усложнению алгоритма уточнения координат на местности с учетом заданной карты; во-вторых, не всегда возможно, например, в прямоугольной комнате показания четырех датчиков могут соответствовать 4 точкам в помещении (см рис.3).

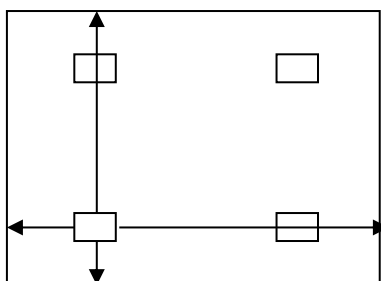


Рис.3. Ошибка позиционирования в прямоугольной комнате

В тоже время ошибка с определением начальной точки приведет к неправильной навигации по маршруту и в конечном итоге ПР не прибывает в заданную точку. Предположение об известности начала отсчета несложно реализовать на практике, если за эту точку взять место зарядки аккумуляторов ПР. Все свое «свободное время» ПР будет проводить в этом месте, а при поступлении управляющего воздействия приступит к выполнению «своих обязанностей», после опять вернется в исходную точку. Причем, с учетом погрешности позиционирования, для гарантированного возврата можно оборудовать это место навигационными маячками.

Теоретический расчет текущих координат осуществляется простым прибавлением к предыдущим координатам величины перемещения, полученного с помощью датчика перемещения с учетом направления движения.

По указанному маршруту вычисляются соответствующие скорости для двигателей. Осуществляется следующим образом:

- 1) Определяется угол вектора-направления от текущей точки к узловой точки маршрута движения.
- 2) В зависимости от значения угла, определяется в какую сторону необходимо повернуть тележку и, соответственно какой из двигателей должен работать с большей скоростью.
- 3) Значения скоростей отсылаются в УП, после чего платформа начинает осуществлять поворот.

4) Управляющая система непрерывно следит за отклонением текущего направления движения ПР от направления на узловую точку. Как только эта разница становится меньше заданной погрешности, система считает, что поворот выполнен и начинает движение по прямой (на оба двигателя подается одинаковая скорость).

Периодически, через промежуток времени заданный в настройке, система уточняет направление движения ПР.

Исходные данные для уточнения координат - информация, полученная от УИР:

- направление от текущей точки до стены (при этом этот вектор должен быть перпендикулярен стене) – задается СУДТ на основании теоретических координат;
- расстояние от текущей точки до преграды.

В данной системе положен следующий способ определения координат (условно можно его назвать метод «синусов», рис.4.)

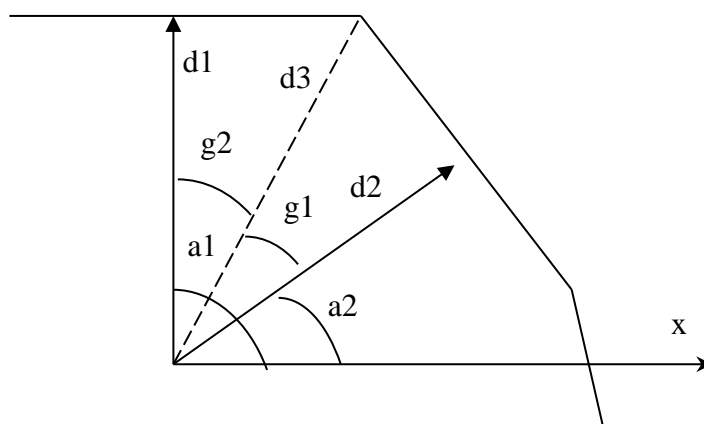


Рис.4. Метод «синусов»

Составляем систему уравнений (1):

$$\begin{cases} d3 = d2 / \cos g1 \\ d3 = d1 / \cos g2 \\ g1 + g2 = a, \text{ где } a = a1 - a2 \end{cases} \quad (1)$$

В этой системе 3 уравнения и 3 неизвестных, следовательно, теоретически ее можно решить. В результате получаем расстояние  $d3$  и угол  $g$  между этим отрезком и осью  $Ox$  (сумма  $g = a2 + g1$ ). Зная координаты угловых точек стен (они хранятся в карте помещения), можно определить текущие координаты.

Результатом работы является массив возможных теоретических точек. Дело в том, что в процессе измерения расстояний могла произойти какая-нибудь ошибка (например, новая преграда) и, следовательно, не вся информация от УИР будет достоверной. Если хотя бы половина из измеренных расстояний будет верна, система с достаточно высокой вероятностью должна определить наиболее правильные координаты.

Выше указанное, более наглядно описывает алгоритм задания программы движения (рис.5.) и алгоритм процедуры уточнения координат (рис.6).

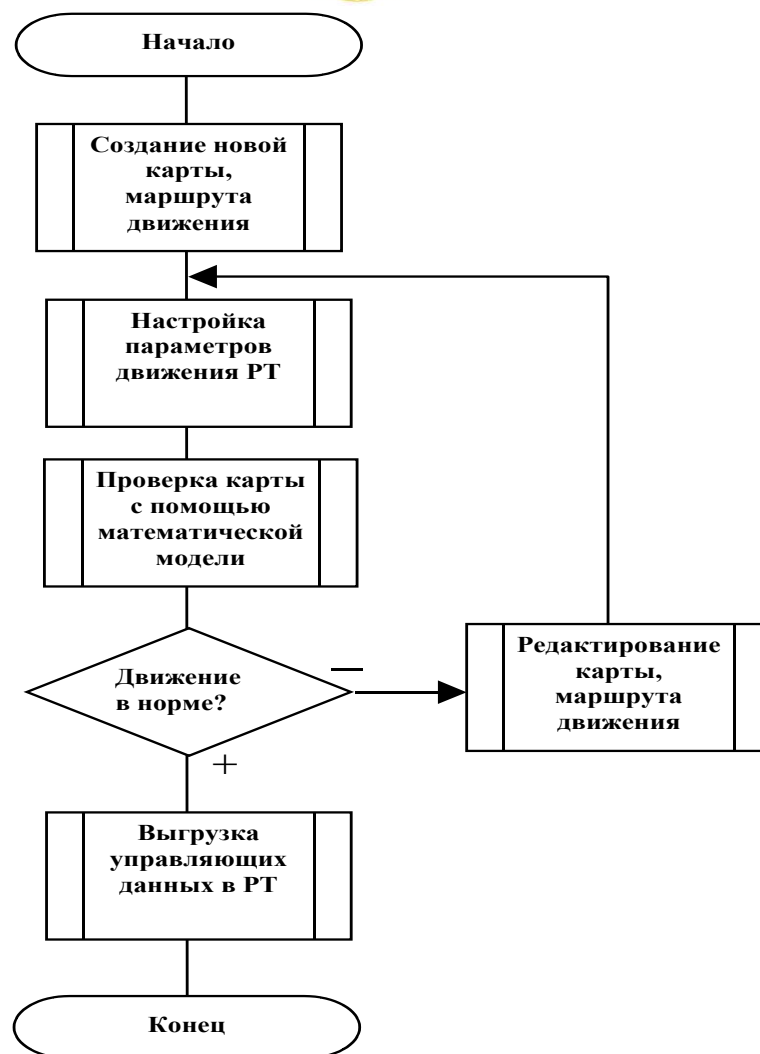


Рис.5. Алгоритм задания программы движения ПР

Далее СУДТ определяет насколько достоверны уточненные координаты (один из способов — сравнение с теоретическими координатами, если разность превышает предел допустимого отклонения — это означает, что выбранная точка неверна) и, если они вызывают сомнения, запускает процедуру `utoch_res`. Она более требовательна к вычислительным затратам, но при этом считает координаты с большой точностью. В отличие от метода «синусов», данный алгоритм просто перебирает все точки в области центром которой является точка с теоретическими координатами текущего положения платформы. Каждая точка оценивается с точки зрения минимума суммарного отклонения расстояний, полученных УИР от теоретических (считаются для каждой точки перебора с помощью известного угла и карты помещения). Для ускорения работы, процедура рекурсивно вызывается несколько раз, каждый раз сужая область уточнения и уменьшая шаг перебора точек.

Если координаты уточнены, то текущие теоретические координаты получают значения уточненных. Таким образом, СУДТ обеспечивает активное позиционирование РП в помещении. Если же координаты уточнить не удалось, то платформа останавливается и загорается индикатор «Ошибка». Движение РП осуществляется до тех пор, пока не будет достигнута последняя точка маршрута. При этом роботизированная платформа останавливается и загорается индикатор «Финиш» (рис.7).

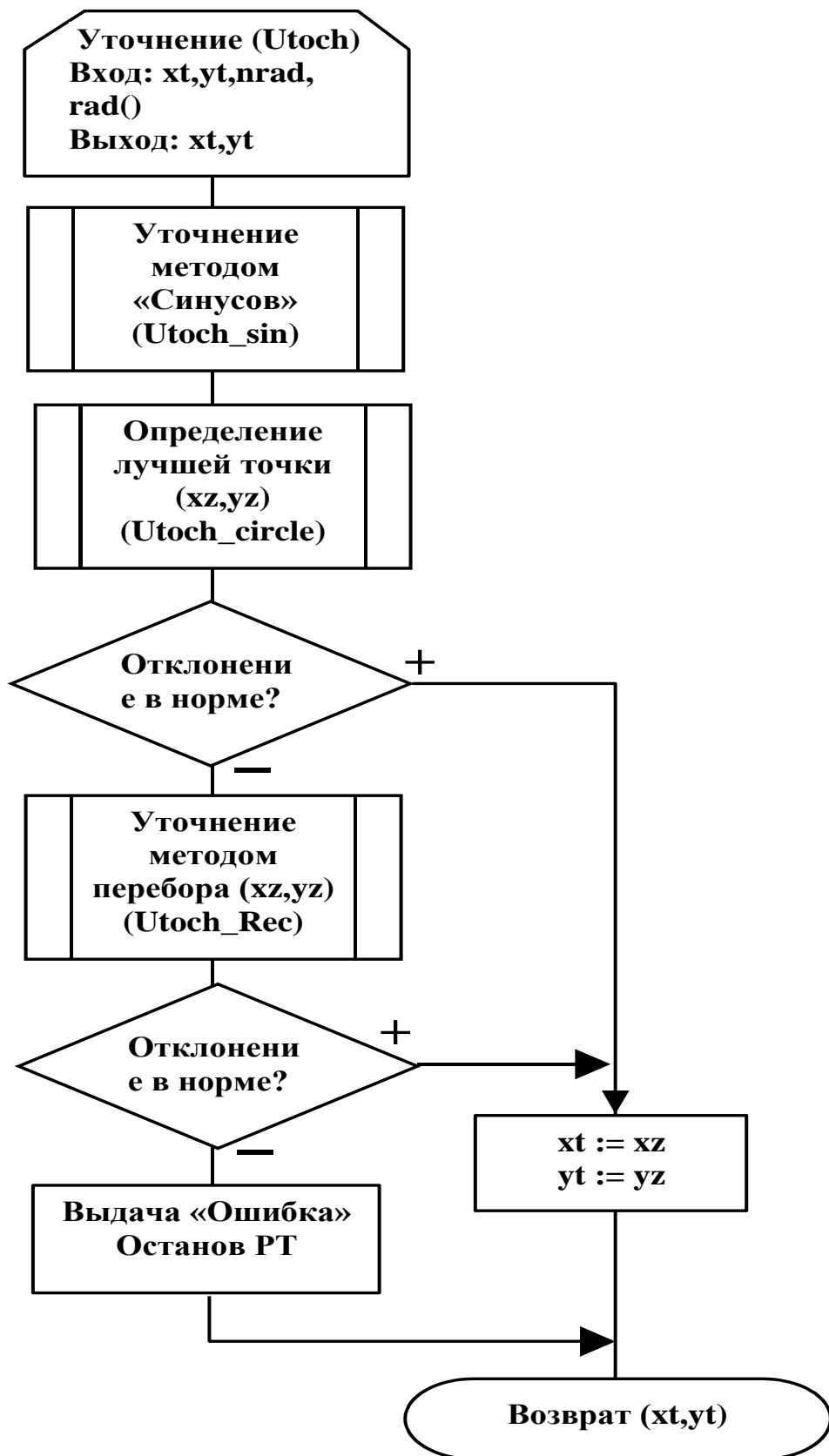


Рис.6. Алгоритм процедуры уточнения координат



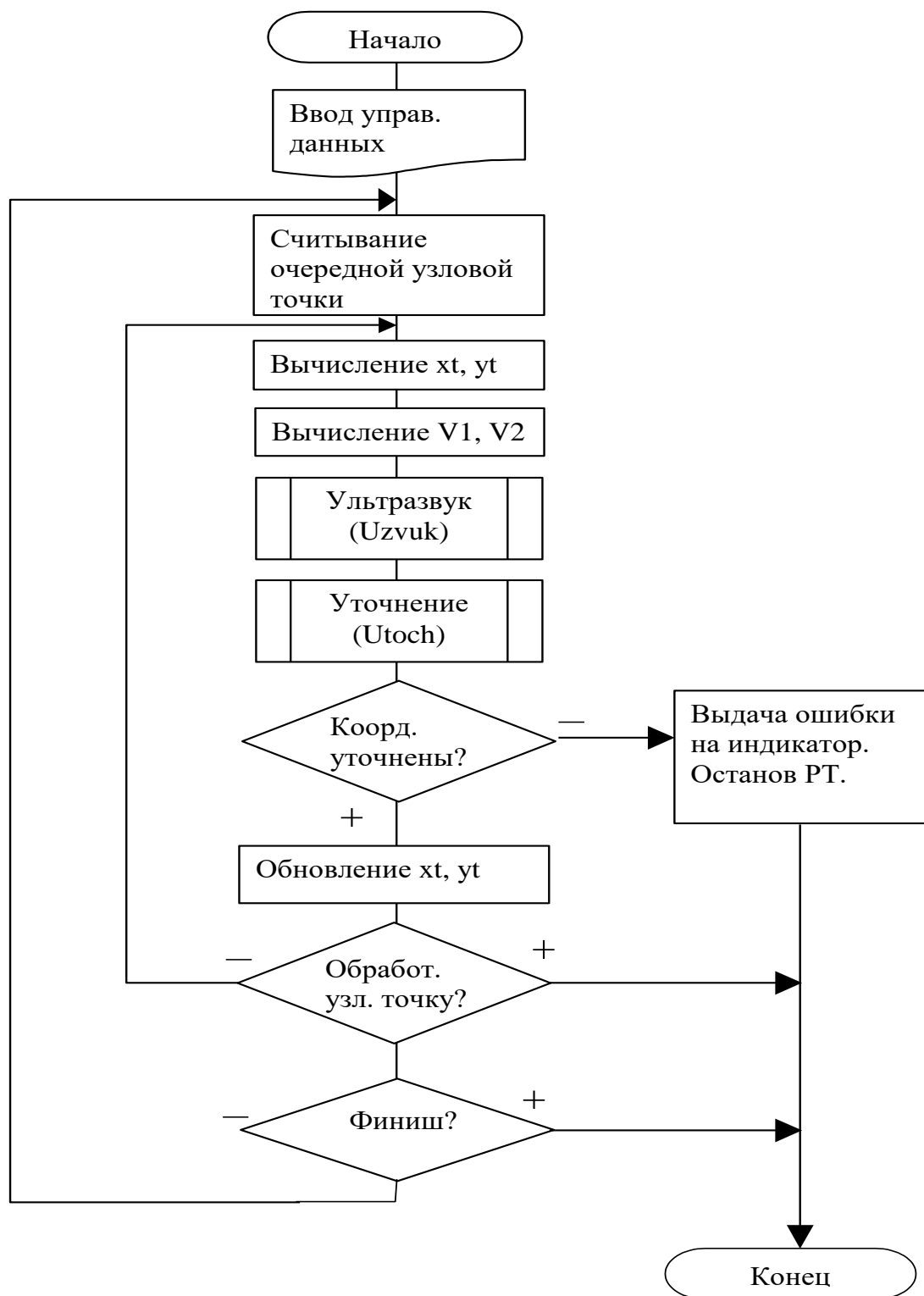


Рис.7. Алгоритм работы основной процедуры

**Заключение.** В ходе исследования разработан алгоритм взаимодействия системы мобильных роботов, осуществляющих сканирование помещения и поиск заданного объекта в нем и представлена структура поискового мобильного робота. Произведено теоретическое обоснование метода управления. Данная разработка позволит с большей точностью и скоростью обследовать помещения в поисках опасных предметов.

**Библиографический список**

1. Иванов, А. А. Основы робототехники: учеб. пособие / А. А. Иванов. — 2-е изд., испр. — Москва : ИНФРА-М, 2017. — 223 с.
2. Тугенгольд, А. К. База данных системы знаний интеллектуального электронного паспорта технологического электронного объекта / А. К. Тугенгольд, А. Ф. Лысенко, О.В. Гончаров // Вестник Донского государственного технического университета. — №7/8 (75) — 2013. — С. 162–167.
3. Беликов, В. В. Автоматические системы транспортных средств: Учебник / В.В. Беляков, Д.В. Зезюлин, В.С. Макаров, А.В. Тумасов. — Москва: Форум: НИЦ ИНФРА-М, 2015. — 352 с.
4. Конюх, В.Л. Проектирование автоматизированных систем производства: Учебное пособие / В.Л. Конюх. — Москва: КУРС: НИЦ ИНФРА-М, 2014. — 312 с.