

ТАТУР М. М.

КОНЦЕПЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МОБИЛЬНЫМ РОБОТОМ НА ПЛАТФОРМЕ СЕРИЙНОГО МИНИ-ТРАКТОРА «БЕЛАРУС 132»

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники ООО
«Интеллектуальные процессоры»*

Анонсируется инновационный проект по созданию опытного образца многофункционального робототехнического комплекса. Отличительная особенность проекта – максимально использование комплектующих и программного обеспечения отечественного производства. В мобильном роботе применена концепция многоуровневой системы управления, согласно которой основная вычислительная нагрузка ложится на бортовой компьютер. Это позволит сократить объемы передаваемых данных по беспроводной линии связи и повысить оперативность разработки алгоритмов управления верхнего уровня.

Введение

Робототехнический мобильный комплекс – это машина, которая может перемещаться в пространстве и выполнять определенные функции, обусловленные ее специализацией. Разработка и построение мобильных робототехнических комплексов развивается в двух направлениях: первое основано на создании уникальных (механизированных) платформ, второе – на применении серийных шасси или изделий в целом. Примерами робототехнических комплексов на специализированных шасси могут служить: изделие «Адунок» [1] военного назначения (Беларусь), многофункциональные роботы для силовых служб QinetiQ (Великобритания) [2], мобильный робот для тушения пожаров (Россия) [3]. Большинство автоконцернов создают свои роботизированные концепткарры, которые без водителя могут ездить по дорогам и даже «соблюдать» правила дорожного движения. Как правило, такие машины-роботы создаются для апробации новых технологий, а отдельные опции затем внедряются в серийные автомобили. Так, в повседневную жизнь уже вошли автоматическая трансмиссия, круиз-контроль, направление движения, старт-стоп двигателя, парктроник, распознавание дорожных знаков, предотвращение лобового столкновения с препятствием и др., которые являются составными функциями комплексной системы управле-

ния мобильного робота. Однако, отечественных мобильных робототехнических комплексов серийного или мелкосерийного производства, доступных для массового применения в сельском, коммунальном хозяйствах и/или силовых ведомствах, пока нет. В настоящей работе анонсируется проект создания отечественного мобильного робота на базе шасси серийного отечественного мини-трактора и излагается концепция управления таким роботом.

Робототехнический комплекс на базе шасси отечественного мини-трактора

В 2013 году консорциум Белорусских компаний и организаций, в том числе: Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники; Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси; НИИ пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций МЧС; ОАО «НИИ ЭВМ»; НТЦ «ЛЭМТ» БелОМО; РУП Сморгонский агрегатный завод»; Научно-технологический парк БНТУ «Политехник» и ООО «Интеллектуальные процессоры» (координатор), выступили с инновационным проектом создания отечественного производства робототехнических мобильных комплексов на базе серийных сельскохозяйственных машин. Инициатива была поддержана Инновационным фондом Минского городского исполнительного комитета, а про-

ект включен в Государственную программу инновационного развития республики Беларусь на период 2011–2015 г. г. [4].

Создаваемое изделие позиционируется как многофункциональный робототехнический комплекс для использования в условиях, связанных с риском для здоровья и жизни водителя и обслуживающего персонала: в чрезвычайных ситуациях – при ликвидации угроз взрывов, отравлений, при тушении пожаров; в земледелии – при опрыскивании полей ядохимикатами и др. Специфика целевого использования робототехнического комплекса будет определяться устанавливаемым специальным навесным оборудованием и соответствующим программным обеспечением.

Особенность проекта состоит в максимальном использовании комплектующих и программного обеспечения отечественного производства, что позволит сократить себестоимость конечной продукции. В качестве мобильной платформы было выбрано шасси мини-трактора «Беларус-132» производства РУП «Сморгонский агрегатный завод» (рис. 1).

Шасси комплектуется бензиновым двигателем (HONDA GX390). Мощность и тяговое усилие, изначально рассчитанные на вспахивание почвы, вполне достаточны, чтобы обеспечить перемещение грузовой тележки весом до 500 кг или расчистки завалов с применением штатного навесного оборудования. 3D-модель робототехнического комплекса приведена на рис. 1.

В состав комплекса, помимо серийного шасси, входят следующие системы и агрегаты: видеосистема для обеспечения вождения; мехатронная система управления движением; бортовой компьютер; система телекоммуникации с выносным пультом управления; штатное навесное оборудование (например, отвал); специальное навесное оборудование (напри-



Рисунок 1. - Общий вид робототехнического комплекса на базе шасси «Беларус 132»

мер, на экспериментальном образце робототехнического комплекса установлен радиоуправляемый ствол для пожаротушения от компании «Импреса»).

Шарнирно-сочлененная рама шасси мини-трактора «Беларус -132Н» обеспечивает исключительную маневренность робота с наименьшим радиусом поворота – 2,5 метра, что может стать ключевым фактором при применении комплекса в условиях переполненных транспортом городских улиц, в лесу, в тоннелях и даже в больших помещениях. В отличие от серийного изделия, в робототехническом комплексе изменено основное направление движения, т. е. мобильный робот будет двигаться «задом-на-перед». При этом двигательная часть будет находиться в более защищенной зоне, не будет мешать обзору видеосистемы и работе специального навесного оборудования.

Вес робототехнического комплекса составляет около 400 кг при габаритах 120×120×180 см. Массогабаритные характеристики позволяют транспортировать его в грузовом микроавтобусе со средней колесной базой либо на обычном одноосном прицепе, производства Сморгонского агрегатного завода.

Концепция системы управления мобильным роботом

При разработке концепции управления мобильным роботом необходимо решить ряд принципиальных вопросов, в том числе: определить стратегию (основные способы) позиционирования и навигации мобильного робота; внести ограничения и детализировать режимы управления, в особенности, полуавтоматическое и/или автоматическое; определить перечень основных алгоритмов и связать с режимами управления; распределить реализацию алгоритмов по вычислительным модулям.

1. Позиционирование мобильного робота в пространстве это – получение информации о его координатах в текущий момент времени относительно некоторой системы отсчета. Позиционирование необходимо как для оператора и так и «самого» робота, чтобы вырабатывать команды на дальнейшие действия. Позиционирование может осуществляться как в абсолютных координатах (например, с привязкой к географическим картам, в том числе цифровым картам ГИС) или относительно не-

которой заданной точки в пространстве (или на местности).

Под навигацией будем понимать в простейшем случае – выбор направления движения, а в более сложных вариантах – прокладывание маршрута, определение скорости прохождения отдельных участков и т. п. Направление – это горизонтальный угол, измеряемый по часовой стрелке от 0 до 360 градусов, между начальным направлением (обычно на северный или магнитный полюс) и некоторой заданной прямой.

Для позиционирования и навигации мобильных роботов обычно применяют следующие источники информации, в различных сочетаниях: видеосистемы; эхолокационные датчики; радиолокационные датчики; компасы различных видов; акселерометры; глобальную систему позиционирования (GPS).

В анонсируемом проекте на начальном этапе применяется минимальная комплектация источников информации о внешней среде, т. е. только видеосистема для обеспечения вождения. Она представляет собой стереопару аналоговых камер с фиксированным фокусным расстоянием, что позволит алгоритмически вычислить приблизительное расстояние до объектов, расположенных в центральной части поля зрения. Также, предусмотрена дополнительная камера, размещаемая на поворотной платформе (в нашем случае – на лафетном стволе). Очевидно, что в данном варианте комплектации источников информации позиционирование возможно относительно некоторой заданной точки, например, точки начала движения, а также видимых ориентиров. Таким образом, элементами позиционирования и навигации (для данного проекта) являются:

- начало движения – из центра полярной системы координат;
- движение осуществляется по прямой с постоянной скоростью до заданной точки, в которой возможен поворот, разворот с указанием нового ориентира;
- в ходе движения вычисляются координаты: дальность от точки начала движения, дальность до ориентира, дальность до радиуса действия.
- текущие относительные координаты и др. параметры движения выводятся на монитор оператора.

Для более сложных вариантов позиционирования и навигации необходимо применять дополнительные источники информации (электронный компас, GPS, систему углового слежения-пеленгатор, внешнюю по отношению к роботу видеосистему и др.). По мере развития проекта, мобильный робот опционально будет оснащаться глобальной и инерциальными системами позиционирования и навигации.

2. В техническом задании на разработку робототехнического комплекса заложены следующие режимы вождения:

- дистанционное управление (оператором) по радиоканалу на расстоянии до 500 метров и проводному (технологическому) каналу – до 10 метров;
- полуавтономное управление с навигацией посредством бортовой видеосистемы.

Дистанционное управление оператором осуществляется посредством внешнего компьютера (ноутбука) и пульта управления. Ноутбук в основном предназначен для отображения видеоданных с камер, информации о позиционировании и навигации, а также служебной информации с датчиков робототехнического комплекса. К ноутбуку подключены система беспроводной приемо-передачи данных Wi-Fi и пульт дистанционного управления, на котором установлен джойстик и ряд кнопок-переключателей для выбора режимов функционирования пульта. Этот же пульт может быть подключен непосредственно к мехатронной системе по проводному каналу для обеспечения технологических действий, например, для отладки алгоритмов управления нижнего уровня, осуществления погрузки/разгрузки робототехнического комплекса и др.

Варианты полуавтономного управления тесно связаны со способами и техническими средствами позиционирования и навигации: так, оператор указывает ориентир (осуществляет «захват цели») и выбирает режим движения, в том числе скорость и трансмиссионную передачу. Для данного проекта мобильного робота рассматриваются следующие (типичные) варианты управления движением.

- Движение на ориентир, находящийся вне радиуса действия робота.
- Движение (возврат с разворотом) из точки останова в точку начала движения.

○ Движение (возврат задним ходом «вслепую») из точки останова в точку старта.

Движение по программе и нескольким ориентирам.

3. Алгоритмы управления являются производными от способов позиционирования, навигации и конкретизированных вариантов/режимов управления движением, т. е. от спецификации функций. С другой стороны, состав и математическая суть разрабатываемых алгоритмов будут во многом определяться аппаратной платформой, на которой планируется их реализация, включая интерфейсы и средства телекоммуникаций. Так, например, в настоящем проекте выделено три основных уровня вычислительных модулей: внешний компьютер (ноутбук); бортовой компьютер; многоканальный контроллер исполнительных устройств (мехатроники) и, дополнительно, пульт дистанционного управления, который может рассматриваться как дополнительный уровень (модуль). Для каждого модуля необходимо определить спецификацию функций, команд для их инициализации, служебных (информационных) данных и межмодульных интерфейсов.

При определении спецификации функций для каждого модуля принимался в расчет целый ряд технических условий, конструктивных ограничений, обсуждение которых выходит за рамки настоящей статьи. Заметим лишь, что в системе управления рассматриваемым робототехническим комплексом невозможно и/или нецелесообразно «скопировать» действия водителя обычного трактора даже в режиме дистанционного управления оператором. Так, часть манипуляций, таких как управление сцеплением, газом, торможением, подруливанием будут осуществляться регуляторами нижнего и верхнего уровней. Как результат комплексного решения был сформирован следующий перечень функций, реализуемых в соответствующих вычислительных модулях.

Пульт дистанционного управления. Оператор, посредством пульта вырабатывает следующие команды управления: «Подготовка к запуску двигателя»; «Запуск двигателя начальный»; «Выбор параметров вождения: номер передачи, полный привод»; «Выбор направление движения: вперед/назад»; «Начать движение»; «Поворот вправо/влево»; «Остановиться»;

«Останов двигателя»; «Указание ориентира и выдача команды «Захват»; «Выбор типового варианта полуавтономного управления и команды «Старт». Данный перечень может быть скорректирован по ходу развития НИОКР.

Внешний компьютер (ноутбук) предназначен для отображения: видеоданных с различных камер (выборочно, с неподвижной стереопары, с видеокамеры, размещенной на поворотной платформе); служебной информации (курсора/окна для выбора объекта захвата, сигнала подтверждения захвата, дальности до захваченного объекта); информации о позиционировании объекта и текущей информации о его навигации, выбранном режиме движения, а также для трансляция команд/данных с пульта на бортовой компьютер посредством беспроводной системы приема-передачи данных.

Бортовой компьютер реализует алгоритмические блоки видеопроцессора и автопилота. Видеопроцессор осуществляет: прием данных с различных видеокамер и временное хранение; сжатие видеоданных с определенного канала и выдача на внешний компьютер; прием указателя на захват объекта, команды захвата, «захват» указанного объекта с выдачей сигнала захвата на внешний компьютер; определение дальности до захваченного объекта с выдачей на внешний компьютер; сопровождение захваченного объекта. Автопилот осуществляет: вычисление данных позиционирования и навигации и выдача на внешний компьютер; прием команд управления с пульта дистанционного управления с выдачей на контроллер мехатроники; хранение типовых программ управления движения, дешифрация команд с пульта и с датчиков для инициации этих программ.

Многоканальный контроллер исполнительных устройств. Этот вычислительный модуль является компонентом мехатронной части робототехнического комплекса и может работать как от команд пульта, так и команд, формируемых Автопилотом. Число каналов контроллера определяется числом исполнительных устройств. Основное назначение алгоритмов и программ этого модуля – детализация команд верхнего уровня и их реализация с учетом механической специфики ходовой части мобильного робота. Например, команда верхнего уровня «Запуск двигателя» должна про-

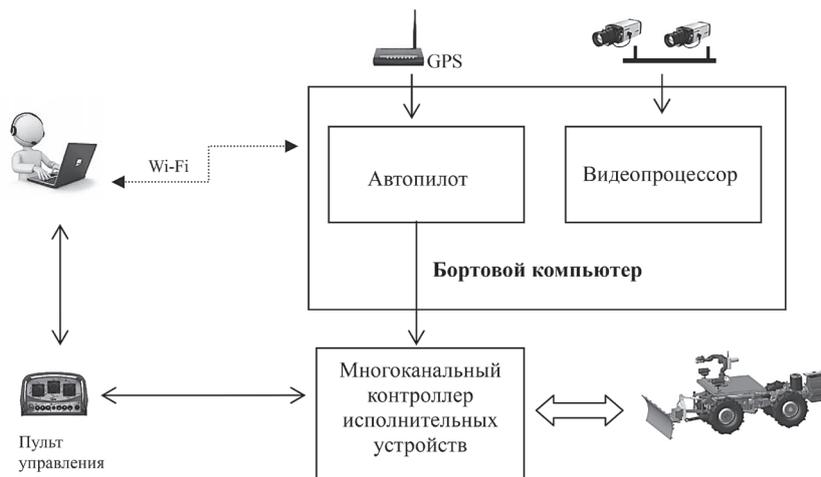


Рисунок 2. - Блок-схема системы управления мобильным роботом

верить установку трансмиссии на нейтральную передачу, установить требуемый уровень «педали» газа, выдать команду на пуск стартера, при получении сигнала с датчика о запуске, снизить уровень газа и т. д. Для некоторых команд верхнего уровня в микроконтроллере будут реализовываться алгоритмы регуляторов. Например, команда верхнего уровня «Начало движения» должна «выжать» сцепление, установить трансмиссию на заданную передачу, «отпустить» сцепление с учетом нагрузки на шасси и добавить газ. С учетом сделанных замечаний, упрощенная схема системы управления, распределенная по конструктивным вычислительным модулям, приведена на рис. 2.

Особенность предлагаемой системы управления состоит в том, что алгоритмы и, соответственно, программы управления представлены в двух уровнях.

Верхний уровень управления реализуется посредством оператора (с пульта управления) и/или бортового компьютера. Нижний уровень программ и регуляторов реализуется многоканальным контроллером исполнительных устройств. Нижний уровень будет консервативным, т. е. жестко привязанным к конструктивным особенностям механического шасси,

исполнительных устройств (актуаторам) и электронной части контроллера. В то же время верхний уровень будет доступен разработчику для гибкого применения авторских решений как в концептуальном, так и техническом плане. В целом это должно сократить сроки и стоимость разработки новых вариантов робототехнических комплексов различными авторскими коллективами для оригинальных приложений.

Заключение

В настоящей работе анонсирован проект создания одного из первых отечественных мобильных робототехнических комплексов, рассчитанных на серийное производство и промышленное внедрение. Одной из основных целевых функций проекта является обеспечение ценовой доступности продукта. По результатам уже выполненных этапов проекта стоимость мобильного робота ожидается в пределах 20–50 тысяч долларов, в зависимости от опциональной комплектации и навесного оборудования. Это становится возможным за счет максимального использования комплектующих отечественного производства (как серийного, так и заказного), а также применения концепции многоуровневой системы управления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Адунок [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.adunok.by. Дата доступа 27.04.2014.
2. QinetiQ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.qinetiq.com. Дата доступа 27.04.2014.
3. В Забайкалье на боевое дежурство заступил робот-пожарный [Электронный ресурс]/ МЧС России – Режим доступа: <http://www.mchs.gov.ru/dop/info/smi/news/item/3824166/>. Дата доступа 27.04.2014.
4. Тагур, М. М. Перспективы и проблемы создания отечественных мобильных робототехнических комплексов // Вестник БрГТУ: Физика, математика, информатика. – Брест. 2014.- № 5.- С. 32–35.

Поступила 12.05.15

Tatur M.

CONCEPT OF MANAGEMENT SYSTEM PLATFORM MOBILE ROBOT BASED ON SERIAL TRACTOR «BELARUS 132»

It is announced an innovative project to create a prototype multi-robotic system. A distinctive feature of the project – the maximum use of components and software of domestic production. The mobile robot used the concept of multi-level management system, according to which the majority of workload is on-board computer. This will reduce the amount of data transmitted over a wireless link, and increase the efficiency of the development of algorithms for higher-level control.