

**Система автономного управления движением
машинно-тракторного агрегата
с использованием отечественной элементной базы**

И. Г. Галиуллин

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Казанский (Приволжский) федеральный университет»
420008, Россия, г. Казань, ул. Кремлевская, 18

Аннотация. В данной статье приведены принципы разработки автономного машинно-тракторного агрегата, который может использоваться для решения задач точного земледелия. Подробно представлены архитектура системы с использованием отечественной элементной базы и основные сценарии применения. Разработан упрощенный автопилот – система управления, решающая задачи планирования маршрута и тактического (в реальном времени) управления машинно-тракторным агрегатом при решении класса целевых задач по проезду заданного в виде ключевых точек маршрута. Проведен ряд натурных экспериментов, показывающих эффективность предложенных принципов разработки и представлены результаты работы системы автономного управления движением машинно-тракторного агрегата.

Ключевые слова: машинно-тракторный агрегат, управление транспортным средством, система технического зрения, автономный трактор

Поступила 07.11.2022, одобрена после рецензирования 25.11.2022, принята к публикации 15.12.2022

Для цитирования. Галиуллин И. Г. Система автономного управления движением машинно-тракторного агрегата с использованием отечественной элементной базы // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2022. № 6(110). С. 92–98. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-6-110-92-98

MSC 68T40

Original article

**Autonomous control system for the movement
of a machine-tractor unit using domestic element base**

I.G. Galiullin

Kazan (Volga region) Federal University
420008, Russia, Kazan, 18 Kremlevskaya street

Abstract. This paper presents the principles for the development of an autonomous machine-tractor unit, which can be used to solve the problems of precision farming. The architecture of the system using the domestic element base and the main application scenarios are presented in detail. A simplified autopilot – a control system has been developed that solves the problems of route planning and tactical (real time) control of a machine-tractor unit when solving a class of target tasks for passing a route specified in the form of key points of the route. A number of full-scale experiments were carried out, showing the effectiveness of the proposed development principles; they presented the results of the operation of the autonomous control system for the movement of a machine-tractor unit.

Keywords: machine-tractor unit, vehicle control, vision system, autonomous tractor

For citation. Galiullin I.G. Autonomous control system for the movement of a machine-tractor unit using domestic element base. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2022. No. 6(110). Pp. 92–98. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-6-110-92-98

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время на рынке сельскохозяйственной техники появляется все больше предложений, направленных на трансформацию самоходных машин, позволяющих работать в режиме автономного и беспилотного управления [1].

Появление новых перспективных технологий, стимулирующих автоматизацию и цифровизацию рабочих процессов в сельском хозяйстве, обусловлено постоянной потребностью в оптимизации расходов, повышении эффективности и поиске универсальных решений, существенно упрощающих жизнь фермеров и аграриев.

При этом сегмент сельскохозяйственных тракторов пока не так активно автоматизируется. Отечественным аграриям известны в основном примеры обычных модернизаций с помощью применения оборудования для точного земледелия, в частности, систем автоматического параллельного вождения и подруливания, что не предусматривает комплексной автоматизации и по-прежнему требует наличия оператора непосредственно в кабине или рядом с ней.

Целью исследования является цифровая трансформация процессов по эксплуатации сельскохозяйственной техники, как самоходной, так и сельскохозяйственных машин.

Задачами являются: автоматизация процессов управления техникой, построение маршрута движения машинно-тракторного агрегата с учетом габаритных характеристик и присоединенного к нему сельскохозяйственного орудия, корректирование маршрута с целью построения траектории объезда препятствия и возвращения его на линию первоначального движения, т.е. возвращение на построенную ранее линию параллельно движения с целью минимизации потерь при проведении технологических операций при производстве продукции растениеводства, разработка системы автономного вождения.

СЦЕНАРИИ ПРИМЕНЕНИЯ

Автономный машинно-тракторный агрегат (далее – МТА) при выполнении сельхозработ должен обеспечивать работу в 4 основных режимах [2]:

1. Режим ручного управления.

В этом режиме управление МТА осуществляется водителем. Функции системы управления МТА для данного режима:

- распознавание окружающей обстановки и ориентации на местности, позволяющее определять состояние транспортного средства в текущей обстановке (определение подвижных и неподвижных препятствий, идентификация людей и других транспортных средств и т.д.) [3];
- определение положения транспортного средства;
- индикация информации для водителя об окружающей обстановке, состоянии МТА, положении МТА;
- прием управляющих воздействий (команд) водителя;
- управление движением в режиме ручного управления в соответствии с управляющими воздействиями водителя (движение вперед, движение задним ходом, торможение, управление поворотом колес, управление электроприводами и т.д.);
- управление экстренным торможением в случае возникновения аварийных ситуаций;
- блокировка управляющих воздействий диспетчера;

– осуществление информационного обмена между МТА и диспетчерским пунктом (информация об окружающей обстановке и ориентации на местности, состоянии МТА, сообщения водителя и т.п.);

2. Режим дистанционного управления.

Данный режим подразумевает дистанционное управление МТА диспетчером с помощью пульта либо планшета. Диспетчер имеет возможность управления всеми основными узлами МТА, доступными водителю: рулевое управление, системы ускорения и торможения, система выбора режима движения и т.д. Функции системы управления МТА для данного режима:

- распознавание окружающей обстановки и ориентации на местности, позволяющее определять состояние транспортного средства в текущей обстановке (определение подвижных и неподвижных препятствий, идентификация людей и других транспортных средств и т.д.);
- определение положения транспортного средства;
- информационный обмен между МТА и диспетчерским пунктом (информация об окружающей обстановке и ориентации на местности, управляющие команды диспетчера и т.п.);
- управление движением в режиме дистанционного управления в соответствии с управляющими воздействиями диспетчера (движение вперед, движение задним ходом, торможение, управление поворотом колес, управление электроприводами и т.д.);
- управление безопасным остановом в случае отсутствия связи с диспетчером;
- управление экстренным торможением при возникновении аварийной ситуации.

3. Режим тактического управления.

Данный режим подразумевает диспетчерское управление МТА оператором, ограничивающееся определением маршрута и пункта назначения. Управление движением в заданную точку является задачей системы управления МТА. Функции системы управления МТА для данного режима:

- распознавание окружающей обстановки и ориентации на местности, позволяющее определять состояние транспортного средства в текущей обстановке (определение подвижных и неподвижных препятствий, идентификация людей и других транспортных средств и т.д.);
- определение положения транспортного средства;
- информационный обмен между МТА и диспетчерским пунктом (информация об окружающей обстановке и ориентации на местности, управляющие команды диспетчера и т.п.);
- управление движением в режиме автономного управления в соответствии с заданным маршрутом (движение вперед, движение задним ходом, торможение, управление поворотом колес, управление электроприводами и т.д.);
- управление экстренным торможением при возникновении аварийной ситуации.

4. Режим стратегического управления.

В этом режиме с системы верхнего уровня поступает информация о конечной точке маршрутного задания [4]. Функции системы управления МТА для данного режима:

- распознавание окружающей обстановки и ориентации на местности, позволяющее определять состояние транспортного средства в текущей обстановке (определение подвижных и неподвижных препятствий, идентификация людей и других транспортных средств и т.д.);
- определение положения транспортного средства;
- информационный обмен между МТА и диспетчерским пунктом (информация об окружающей обстановке и ориентации на местности, управляющие команды диспетчера и т.п.);
- управление движением в режиме автономного управления в соответствии с заданным алгоритмом (движение вперед, движение задним ходом, торможение, управление поворотом колес, управление раздаточной коробкой и коробкой отбора мощности, управление прицепного оборудования и т.д.);
- управление экстренным торможением при возникновении аварийной ситуации.

АРХИТЕКТУРА СИСТЕМЫ

В настоящее время широко распространена практика модульного проектирования [5]: некоторые функции или целый класс функций реализованы аппаратно в виде некоторого автономно работающего устройства со своей собственной памятью и блоком обработки (процессором).

Данную архитектуру можно разбить на две основные подгруппы:

- сбор данных о состоянии ТС, окружающих объектов, обработка данных и принятие решений по управлению МТА (высокоуровневый вычислитель);
- блок исполнения управляющих команд.

Электронный блок исполнения управляющих команд построен на базе отечественного контроллера Миландр K1986BE92QI. Электронный блок обеспечивает управление в соответствии с полученными командами, электромеханическими частями трактора и исходя из данных самодиагностики, внешними индикаторами. Прием командных пакетов обеспечивается через USB-Serial адаптер и отправку данных состояния с опрашиваемых датчиков и данных самодиагностики управления и питания. Представлен функционал: опрос и фильтрация значений датчика поворота руля; опрос датчиков положения тормоза и заряда аккумуляторов; опрос одометра и вычисление угловой скорости поворота колеса; опрос состояния аварийной кнопки торможения; анализ состояния управляющих сигналов и датчиков положения механического тормоза и отработка их сбросов при наличии недопустимых значений; прием команд и отправка пакета состояния трактора через USB-Serial адаптер; расчет угла и управление поворотом руля; управление направлением (вперед, назад, нейтраль) и скоростью движения трактора; управление механическим тормозом трактора; управление внешними индикаторами (индикаторы заряда аккумуляторов, индикация приема команд с USB-Serial адаптера); отработка аварийной остановки при нажатии кнопки аварийной остановки [6].

Данные, поступающие для обработки в высокоуровневый вычислитель, используются для решения задач автопилотирования, в особенности построение дальнейшего маршрута МТА, реакция на окружающую обстановку и непосредственно расчет управляющих команд в определенный момент времени. Данный блок обеспечивает удаленное управление МТА, обрабатывает и передает управляющие сигналы от пульта либо планшета в электронный блок управления механизмами управления трактора [7]; принимает на входе местоположение в глобальной системе координат машинно-тракторного агрегата и борозды, полученное в процессе работы лидара по сканированию поверхности поля, рассчитывает необходимые корректировки в движении и необходимое дальнейшее положение машинно-тракторного агрегата в глобальной системе координат [8]; позволяет устанавливать на карте точки в глобальной системе координат и строить маршрут движения машинно-тракторного агрегата для последующей передачи управляющих сигналов электронному блоку управления движения МТА с возможностью установки точек остановки и объезда препятствий [9]; позволяет строить траектории объезда единичного препятствия МТА, принимая на входе местоположение препятствия в глобальной системе координат – строит траекторию объезда, учитывая положение препятствия относительно положения машинно-тракторного агрегата [10].

ПРОВЕДЕНИЕ ИСПЫТАНИЙ И ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Испытания проводились на базе Агробιοтехнопарка ФГБОУ ВО «Казанский ГАУ» с различной окружающей обстановкой и различными сценариями проезда (рис. 1).

Были совершены проезды по 4 сценариям. В таблице 1 представлены результаты испытаний в виде максимальных отклонений (max_{dev}) и средних квадратических отклонений (СКО) маршрутов движения управляемого человеком и автономного МТА друг от друга.

Местоположение МТА фиксировалось GPS/ГЛОНАСС с дифференциальными поправками по базовой станции с точностью до 0,3 м.

Таблица 1. Отклонения между маршрутами автономного МТА и управляемого человеком друг от друга

Table 1. Deviations between the routes of an autonomous MTU and a man-operated one from each other

Номер испытания	Длина маршрута (м)	Максимальное отклонение (м)	СКО (м)
1	46.84	0.232	0.112
2	73.91	0.255	0.204
3	80.26	0.388	0.214
4	43.85	0.216	0.255



Рис. 1. Система автономного управления машинно-тракторным агрегатом

Fig. 1. The system of autonomous control of the machine-tractor unit

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разрабатываемая система автономного вождения является основой для построения цифровой экосистемы эксплуатации машинно-тракторного парка. Система позволяет оптимизировать работу сельскохозяйственных машин.

Разрабатываемая система автономного управления машинно-тракторным агрегатом подходит под классификацию ADAS 4-го уровня в связи с тем, что удовлетворяет требованию автономного вождения в определенных условиях без расчета на оперативное вмешательство человека.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Валиев А. Р., Бинело М., Зиганишин Б. Г., Сабиров Р. Ф., Шафигуллин Г. Т., Галиуллин И. Г. Беспилотный трактор // Вестник НЦБЖД. 2021. № 4(50). С. 69–75.

2. Чикрин Д. Е., Егорчев А. А., Голоусов С. В., Савинков П. А., Кокунин П. А. Создание автономных автомобилей «КАМАЗ» для закрытых территорий // Вестник НЦБЖД. 2018. № 2(36). С. 137–143

3. Егорчев А. А. Верифицируемые системы виртуального моделирования беспилотных транспортных средств: дис. ... канд. техн. наук. 05.13.01. Казань, 2021. 340 с.

4. Чикрин Д. Е. Методологические основы проектирования инфокоммуникационных систем автомобильных транспортных средств высокой степени автоматизации: дис. ... д-ра техн. наук. 05.13.01. Казань, 2021. 399 с.

5. Чикрин Д. Е. Методологии проектирования систем ADAS транспортных средств высокого уровня автоматизации // Всероссийская научно-техническая конференция с международным участием им. проф. О.Н. Пьявченко «Компьютерные и информационные технологии в науке, инженерии и управлении». КомТех-2021. Таганрог, 2021. 25 с.

6. Свид. о гос. регистрации прогр. для ЭВМ 2022665990 Рос. Федерация. Программа низкоуровневого управления системы «Беспилотный трактор КФУ-МТЗ-112» / Чикрин Д. Е., Егорчев А. А., Галиуллин И. Г., Бабушкина А. Д., Колпаков П. Н., Густов Е. С. Заявл. 27.06.2022; зарегистр. 24.08.2022; опублик. 24.08.2022. Бюл. № 9. URL: https://new.fips.ru/register-doc-view/fips_servlet?DB=EVM&DocNumber=2022665990

7. Свид. о гос. регистрации прогр. для ЭВМ 2021667403 Рос. Федерация. Программное обеспечение удаленного управления машинно-тракторным агрегатом / Сабиров Р. Ф., Валиев А. Р., Медведев В. М., Шафигуллин Г. Т., Галиуллин И. Г. Заявл. 20.10.2021; зарегистр. 28.10.2021; опублик. 28.10.2021. Бюл. № 11. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47257375>

8. Свид. о гос. регистрации прогр. для ЭВМ 2021667402 Рос. Федерация. Программный модуль коррекции движения машинно-тракторного агрегата для движения параллельно обработанному участку поля / Сабиров Р. Ф., Валиев А. Р., Медведев В. М., Шафигуллин Г. Т., Галиуллин И. Г. Заявл. 20.10.2021; зарегистр. 28.10.2021; опублик. 28.10.2021. Бюл. № 11. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47257373>

9. Свид. о гос. регистрации прогр. для ЭВМ 2021667510 Рос. Федерация. Программный модуль построения маршрута машинно-тракторного агрегата / Сабиров Р.Ф., Валиев А. Р., Медведев В. М., Шафигуллин Г. Т., Галиуллин И. Г. Заявл. 25.10.2021; зарегистр. 29.10.2021; опублик. 29.10.2021. Бюл. № 11. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47257501>

10. Свид. о гос. регистрации прогр. для ЭВМ 2021668192 Рос. Федерация. Программный модуль объезда единичного препятствия машинно-тракторного агрегата / Сабиров Р.Ф., Валиев А. Р., Медведев В. М., Шафигуллин Г. Т., Галиуллин И. Г. Заявл. 20.10.2021; зарегистр. 10.11.2021; опублик. 10.11.2021. Бюл. № 11. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47258226>

Информация об авторе

Галиуллин Искандер Гаязович, инженер-программист Института вычислительной математики и информационных технологий, Казанский (Приволжский) федеральный университет; 420008, Россия, г. Казань, ул. Кремлевская, 18; isgaliullin@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3583-3478>

REFERENCES

1. Valiev A.R., Manuel O'Binelo, Ziganshin B.G., Sabirov R.F., Shafigullin G.T., Galiullin I.G. Driverless tractor. *Vestnik NCBŽD* [Bulletin of the National Scientific Center for Life Safety] 2021. No. 4(50). Pp. 69–75. (In Russian)

2. Chickrin D.E., Egorchev A.A., Golousov S.V., Savinkov P.A., Kokunin P.A. The development of autonomous vehicle KAMAZ for closed industrial areas. *Vestnik NCBŽD*. [Bulletin of the National Scientific Center for Life Safety]. 2018. No. 2(36). Pp. 137–143. (In Russian)
3. Egorchev A.A. Verifiable systems for virtual simulation of unmanned vehicles. *Candidate of Science Degree thesis*. Kazan, 2021. 340 p. (In Russian)
4. Chickrin D.E. Methodological bases for the design of infocommunication systems of automobile vehicles of high-level automation. *Doctor Degree thesis*. Kazan, 2021. 399 p. (In Russian)
5. Chickrin D.E. Design methodologies for ADAS systems for high-level automation vehicles. *Proceedings of All-Russia Scientific Conference with international participation*. Abstracts of Papers. KomTeh-2021. Taganrog. 2021. 25 p.
6. The Certificate on Official Registration of the Computer Program in Russia. No. 2022665990. *Programma nizkourovnevnogo upravleniya sistemy «Bespilotnyy traktor KFU-MTZ-112»* / Chikrin D. E., Egorchev A.A., Galiullin I. G., Babushkina A.D., Kolpakov P.N., Gustov E.S. 2022.
7. The Certificate on Official Registration of the Computer Program in Russia. No. 2021667403. *Programmnoe obespechenie udalennogo upravleniya mashinno-traktornym agregatom* / Sabirov R.F., Valiev A.R., Medvedev V.M., Shafigullin G.T., Galiullin I.G. 2021.
8. The Certificate on Official Registration of the Computer Program in Russia. No. 2021667402. *Programmnyy modul' korrektsii dvizheniya mashinno-traktornogo agregata dlya dvizheniya parallel'no obrabotannomu uchastku polya* / Sabirov R.F., Valiev A.R., Medvedev V.M., Shafigullin G.T., Galiullin I.G. 2021.
9. The Certificate on Official Registration of the Computer Program in Russia. No. 2021667510. *Programmnyy modul' postroeniya marshruta mashinno-traktornogo agregata* / Sabirov R.F., Valiev A.R., Medvedev V.M., Shafigullin G.T., Galiullin I.G. 2021.
10. The Certificate on Official Registration of the Computer Program in Russia. No. 2021668192. *Programmnyy modul' ob"ezda edinichnogo prepyatstviya mashinno-traktornogo agregata* / Sabirov R.F., Valiev A.R., Medvedev V.M., Shafigullin G.T., Galiullin I.G. 2021. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47258226>

Information about the author

Galiullin Iskander Gayazovich, Programmer engineer, Institute of Computational Mathematics and Information Technologies, Kazan (Volga region) Federal University;
420008, Russia, Kazan, 18 Kremlevskaya street;
isgaliullin@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3583-3478>