

# СПОСОБ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ АВТОНОМНОГО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА НА ОСНОВЕ МАШИННОГО ЗРЕНИЯ И РАДИОПЕЛЕНГАЦИИ<sup>1</sup>

## AUTONOMOUS VEHICLE POSITIONING APPROACH BASED ON MACHINE VISION AND DIRECTION FINDING

**M. Nikitenko  
D. Khudonogov  
Ya. Popinako**

*Summary.* The article presents an autonomous vehicle (AV) control approach in closed technological area based on machine vision combined with radio direction finding in case of route loss by control system. The results of signal modulation types comparison are presented to determine objects moving direction with minimum mistakes.

*Keywords:* autonomous transport, autonomous vehicle, machine vision, radio direction finding, moving objects orientation, route, moving route.

**Никитенко Михаил Сергеевич**

Кандидат технических наук, заведующий лабораторией, Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук, г. Кемерово, ltd.mseng@gmail.com

**Худоногов Данила Юрьевич**

Научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук, г. Кемерово, admolv@gmail.com

**Попинако Ярослав Владимирович**

Инженер, Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук, г. Кемерово, popinako@yandex.ru

*Аннотация.* Представлен способ управления автономными транспортными средствами (АТС) на закрытых технологических участках, основанный на машинном зрении, дополненный средствами радиопеленгации в условиях потери управляющей системой пространственной привязки к маршруту. Представлены результаты сравнения видов модуляции сигналов с целью определения направления движения объектов с минимальными отклонениями.

*Ключевые слова:* автономный транспорт, автономное транспортное средство, машинное зрение, радиопеленгация, ориентация подвижных объектов, маршрут, траектория движения.

Вдобывающей промышленности активно развиваются технологии управления автономными транспортными средствами (АТС). Инженерные решения, методы, способы и подходы реализации управления наиболее часто базируются на применении систем машинного зрения, аппаратных средствах определения препятствий, спутниковой навигации, искусственного интеллекта и построении карт маршрутов [1–3].

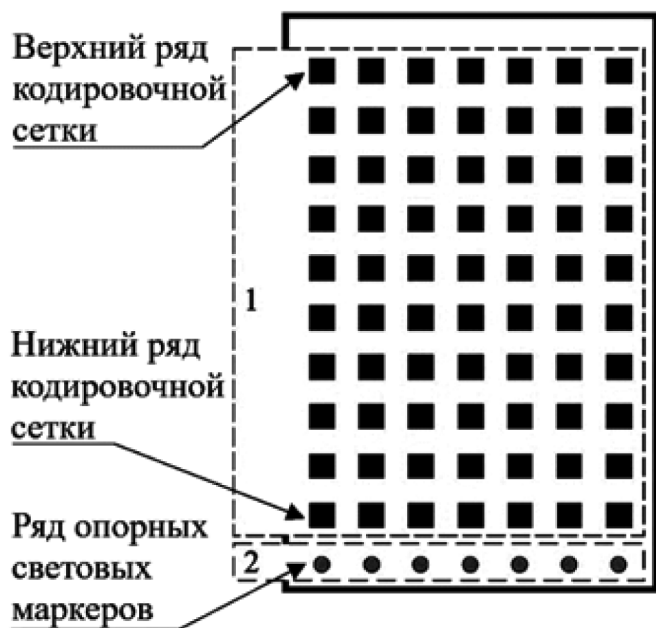
В предшествующих работах [4, 5] авторами был предложен альтернативный подход к применению системы машинного зрения для реализации задачи управления АТС на закрытом технологическом участке, основанный на подсветке траектории движения световыми маркерами в виде совокупности лазерных линий для лока-

лизации зоны интереса и упрощения обрабатываемой видеосцены. Вторым типом светового маркера, предназначенным для ориентирования АТС на закрытом технологическом участке, являются световые информационные табло, сигналы которых определяют дальнейшее направление движения для системы машинного зрения.

### Световое сигнальное табло с кодировочной сеткой и опорными маркерами

Световое информационное табло представляет собой прямоугольный короб с размещенной на передней стороне матрицей световых излучателей в оптических ограничителях, размещенных на одинаковом расстоянии друг от друга по семь штук в горизонтальной пло-

<sup>1</sup> «Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках комплексной научно-технической программы полного инновационного цикла «Разработка и внедрение комплекса технологий в областях разведки и добычи полезных ископаемых, обеспечения промышленной безопасности, биоремедиации, создания новых продуктов глубокой переработки из угольного сырья при последовательном снижении экологической нагрузки на окружающую среду и рисков для жизни населения», утвержденной Распоряжением Правительства Российской Федерации от 11.05.2022 г. №1144-р (Соглашение от 28.09.2022 №075-15-2022-1199)».



скости и по десять штук в вертикальной (7x10), образуя, так называемую, кодировочную сетку. Под нижним рядом кодировочной сетки световых маркеров располагается ряд световых источников, которые являются опорными световыми маркерами и определяют для системы машинного зрения соответствующую вертикаль кодировочной сетки, задающую прямолинейность движения АТС.

Такой эффект достигается алгоритмом распознавания машинным зрением, где при движении АТС определяется совокупность вертикальных световых маркеров сверху вниз, что обеспечивает управление движением АТС при прямолинейном движении. Световой маркер индикации направления движения отображается на световом сигнальном табло и состоит из двух зон: 1 — кодировочной сетки световых маркеров и 2 — опорных световых маркеров. Задача светового маркера индикации направления движения — указать системе машинного зрения визуального распознавания маркеров, в каком направлении двигаться АТС, обеспечивая тем самым изменение направления движения.

Алгоритм позиционирования АТС при движении в рамках закрытого технологического участка предполагает выполнение основного блока алгоритма на базе системы машинного зрения, а также блока алгоритма позиционирования с применением средств радиопеленгации, в качестве дополнения к работе алгоритмов позиционирования АТС в условиях потери управляющей системой на основе машинного зрения пространственной привязки к маршруту. Не исключаются ситуации, в которых световое сигнальное табло не будет попадать в горизонтальную зону видимости камеры АТС. В этом случае радиопеленгация позволит определить направ-

ление на источник радиоизлучения, который устанавливается непосредственно на световом информационном табло, а приемное устройство на борту АТС, обеспечит корректировку его движения.

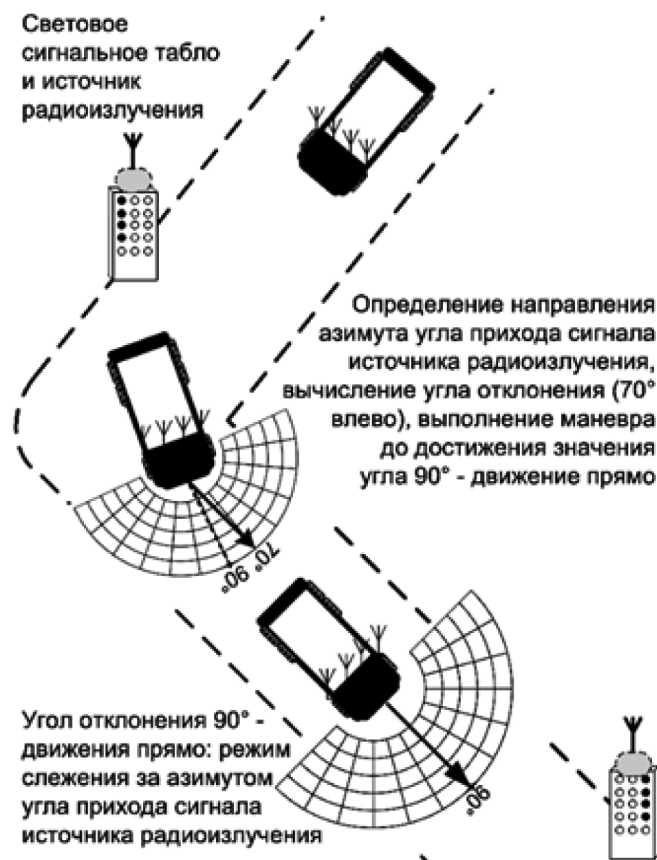


Схема выполнения маневра АТС на основе радиопеленгации

Алгоритмически, такой способ работает следующим образом:

- определить направление азимута угла прихода сигнала источника радиоизлучения;
- выполнить расчёты параметров корректировки движения АТС в соответствии с определённым направлением сигнала;
- установить параметры управления движением АТС: угол поворота колёс и минимальную скорость манёвра;
- перейти в режим слежения за азимут угла прихода сигнала источника радиоизлучения и при достижении заданного градуса прямой видимости продолжать коррекцию движения АТС, то есть удерживать на маршруте движения.

Применение радиопеленгационных методов должно обеспечивать достаточную точность пеленгационной характеристики (определять пеленгационный рельеф). Одним из основных параметров влияния на точностные

характеристики является соотношение сигнал/шум. Следует заметить, что при большом отношении сигнал/шум можно получить приемлемую точность пеленгации даже при широких пеленгационных характеристиках.

Таким образом, применительно к описанному способу радиопеленгации, был использован алгоритм MUSIC (MUltiple Signal Classification), который позволяет определить угловые направления прихода сигналов и определить текущее пеленгационное положение АТС. Однако, в задачах радиопеленгации важно оценивать и вид модуляции сигнала радиоизлучателя.

	АМ	ВРСК	QPSK
Достоинства	Средний уровень сложности разработки	Обрабатывает высокий уровень шума и искажений до принятия демодулятором неверного решения	Скорость передачи выше относительно ВРСК (модулирует 2 бит/символ)
Недостатки	Невысокая помехоустойчивость	1. Не подходит для высокой скорости передачи данных (модулирует 1 бит/символ) 2. Фазовая неоднозначность	Более сложная реализация по сравнению с ВРСК Фазовая неоднозначность
Точность для методов пеленгации	Средний уровень отклонений	Минимальные отклонения	Наибольшие отклонения

В ФИЦ УУХ СО РАН было проведено исследование для трех видов модуляции: амплитудная (АМ); фазовая манипуляция (ВРСК) и квадратурно фазовая манипуляция (QPSK), с целью определения достоинств, недостатков и точностных показателей для методов пеленгации. Результаты исследований приводятся в таблице.

Результаты проведенных исследований показали средний результат по минимальному отклонению для амплитудной модуляции, но очень сильное влияние шума и помех.

По результатам исследований ВРСК и QPSK имеют одинаковое значение коэффициента ошибки и вектора ошибки при отношении сигнал/шум на 40 дБ.

Следует учесть, что для достижения такой же вероятности битовой ошибки, QPSK необходимо использовать удвоенную мощность (поскольку два бита передаются одновременно). Результаты эксперимента показали, что ВРСК имеет угол отклонения меньше, чем QPSK, что делает его более предпочтительным в рамках поставленной задачи.

Таким образом, с учетом полученных данных, представленный способ дополнения системы машинного зрения средствами радиопеленгации в условиях потери управляющей системой пространственной привязки к маршруту позволит своевременно провести корректировку траектории движения АТС на световое информационное табло.

ЛИТЕРАТУРА

1. Клебанов Д.А. Применение автономной и дистанционно-управляемой техники на открытых горных работах // Горная промышленность. 2020. № 6. С. 14-18.
2. Анализ современных систем ориентирования в пространстве / Н.С. Реута, [и др.] // Труды международного симпозиума «Надежность и качество». 2017. Т. 1. С. 151-153
3. Гусев С.И., Елифанов В.В. Система функционирования беспилотного автотранспортного средства // Вестник Ульяновского государственного технического университета. 2019. № 4(88). С. 63-67.
4. Никитенко М.С., Кизилов С.А., Худогов Д.Ю. Анализ подходов к управлению автономными транспортными средствами // Современные наукоемкие технологии. 2022. №12-2. С. 278-283
5. Кизилов С.А., Никитенко М.С. Концепция применения технологий компьютерного зрения для управления автономным транспортом // Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов. 2020. № 6. С. 235-238.
6. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов. СПб.: Питер, 2002. 608 с.
7. Айфичер Э., Джервис Б. Цифровая обработка сигналов. Практический подход. Изд. 2-е. М.: Вильямс, 2004. 992с.

© Никитенко Михаил Сергеевич (ltd.mseng@gmail.com); Худогов Данила Юрьевич (admolv@gmail.com);

Попинако Ярослав Владимирович (popinako@yandex.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»