



МРНТИ 28.23.15

Обзорная статья

<https://doi.org/10.32523/2616-7263-2025-151-2-237-249>

## Разработка алгоритмов управления мобильным роботом на основе условий Аккермана

А.К. Тулешов<sup>1</sup>  Ж. Т. Айтуганова<sup>2,3</sup>  А.Ж. Абекова<sup>1,2\*</sup>   
А.Е. Исмайылов<sup>4</sup> 

<sup>1</sup>Институт механики и машиноведения имени академика У.А.Джолдасбекова

<sup>2</sup>Казахский Национальный университет им. Аль-Фараби, Алматы, Казахстан

<sup>3</sup>Алматинский технологический университет, Алматы, Қазақстан

<sup>4</sup>Казахский национальный женский педагогический университет, Алматы, Казахстан

*E mail: abekova310792@gmail.com*

**Аннотация.** В данной работе рассматривается система управления мобильным роботом на основе дифференциальных уравнений движения и условий Аккермана. Основная цель исследования заключается в разработке алгоритма, который позволяет роботу эффективно перемещаться к заданной целевой точке, управляя при этом углом поворота и линейной скоростью. Работа начинается с определения необходимых формул для вычисления расстояния до цели и угла поворота, что позволяет роботу ориентироваться в пространстве. Затем описываются методы, позволяющие управлять углом поворота колес и расчетами скорости с учетом расстояния до целевой точки. Для обеспечения плавного и безопасного движения создается итеративный контроллер, который обновляет состояние робота (координаты и ориентацию) на каждом шаге времени. Важной частью работы является реализация алгоритма в виде программного кода в среде MATLAB, включая графическую визуализацию траектории движения робота с помощью встроенных инструментов. Результаты исследования показывают, что предложенный подход позволяет роботу эффективно маневрировать и адаптироваться к изменениям в окружающей среде, обеспечивая высокую точность движения и безопасность выполнения задач.

**Ключевые слова:** Мобильный робот, система управления, алгоритм управления, позиционирование, управление по целевой точке, параметры движения, радиус и угол поворота

Поступила 07.06.2025. Доработана 16.06.2025. Одобрена 19.06.2025. Доступна онлайн 30.06.2025

\* автор по корреспонденции

## **Введение**

С увеличением интереса к автоматизации логистики и промышленности грузовые мобильные роботы становятся важными инструментами для повышения производительности и сокращения издержек. Эффективное управление их движением становится критически важным. Условия Аккермана обеспечивают оптимальное поведение при поворотах, что особенно актуально для роботов, которые работают в ограниченных пространствах, таких как склады и производственные площадки. Это позволяет эффективно и безопасно передвигаться между стеллажами и другими препятствиями. Применение условий Аккермана помогает повысить точность навигации и уменьшить вероятность столкновений, обеспечивая безопасное движение в сложных и динамичных средах.

Автономные мобильные колесные роботы становятся всё более совершенными мехатронными системами, в которых применяются электронные системы управления и алгоритмы, направленные на улучшение их маневренности[1]. Снижение затрат на обслуживание и управление за счет улучшения маневренности и снижения риска повреждений или аварий, что в свою очередь будет способствовать более устойчивому развитию бизнеса. Эти аспекты подчеркивают значимость разработки и внедрения систем управления рулевыми механизмами с учетом условий Аккермана в современных грузовых мобильных роботах.

Разработка систем управления рулевыми механизмами грузовых мобильных роботов на основе условий Аккермана становится актуальной и востребованной задачей. Применение этой модели управления позволяет значительно повысить маневренность, точность и безопасность передвижения роботов в ограниченных и динамичных условиях. Условия Аккермана обеспечивают оптимальное управление движением, что критически важно для эффективной работы в складских и производственных средах. В условиях растущей конкуренции на рынке автоматизации логистики внедрение таких технологий может привести к снижению затрат, улучшению качества обслуживания и более эффективному использованию ресурсов.

Таким образом, учет условий Аккермана в проектировании систем управления становится неотъемлемой частью развития мобильных роботов, что открывает новые горизонты для автоматизации и оптимизации логистических процессов.

Цели работы является разработка и внедрение эффективной системы управления рулевым механизмом грузовых мобильных роботов на основе принципов условий Аккермана для повышения маневренности, точности навигации и безопасности в процессе выполнения задач в ограниченных и динамичных средах.

## **Методология**

1. Анализ существующих подходов к управлению рулевыми механизмами мобильных роботов, включая оценку их преимущества и недостатки.

2. Исследование основ условий Аккермана и их применение к моделированию поведения рулевых механизмов.

3. Разработка алгоритмов управления, основанных на условиях Аккермана, которые обеспечивают оптимальное поведение робота при выполнении маневров.

4. Проведение симуляций и экспериментальных испытаний для оценки эффективности предложенной системы управления в реальных условиях.

5. Оценка результатов и внесение рекомендаций по дальнейшему улучшению систем управления на основе полученных данных.

Условия Аккермана — это математическая модель, предназначенная для определения идеального угла поворота колес автомобиля в зависимости от радиуса поворота. Эта модель учитывает, что внутренние и внешние колеса должны поворачиваться под разными углами при выполнении маневра.

Следует отметить, что в общем случае плоское движение без скольжения эквивалентно существованию мгновенного центра вращения, расположенного на пересечении перпендикуляров к линейным скоростям точек движущейся тележки[2].

Для решения поставленных задач разработать математические модели описания движения мобильного робота, работающего по условиям Аккермана, можно использовать следующие уравнения:

Кинематическая модель робота может быть представлена в виде системы дифференциальных уравнений, которые описывают изменение координат робота ( $x, y$ ) и ориентации ( $\theta$ )(рис.1) [3]:

$$\begin{aligned}\dot{x} &= v \cdot \cos(\theta) \\ \dot{y} &= v \cdot \sin(\theta) \\ \dot{\theta} &= \frac{v}{L} \cdot \operatorname{tg}(\delta)\end{aligned}\tag{1}$$

где:

- $x$  и  $y$  - координаты робота в плоскости.
- $\theta$  - ориентация робота.
- $v$  - линейная скорость робота.
- $L$  - расстояние между осями колес (колесная база).
- $\delta$  - угол поворота передних колес относительно оси робота.

- Радиус поворота ( $R$ ): Радиус поворота определяет, насколько круто может поворачивать робот. Он может быть выражен через угол поворота и длину колесной базы:

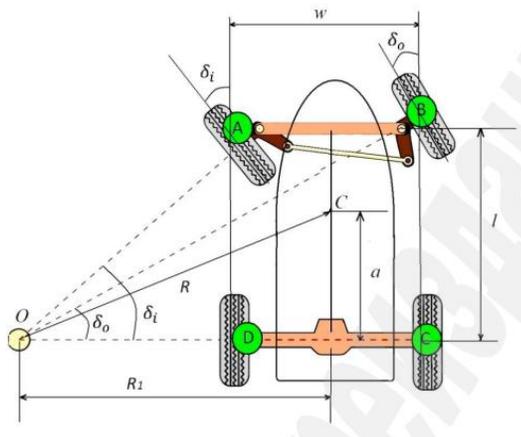
$$R = \frac{L}{\operatorname{tg}(\delta)}\tag{2}$$

где:

- $R$  - колесная база (расстояние между передними и задними осями).
- $\delta$  - угол поворота передних колес.

Угол поворота ( $\delta$ ): Угол, под которым поворачиваются передние колеса, влияет на радиус поворота и маневренность робота. Увеличение угла поворота позволяет уменьшить радиус поворота, что важно для маневрирования в ограниченных пространствах. На основании уравнений нам необходимо уравнения управления параметрами, которые позволяют разработать алгоритмы управления для мобильного робота, которые могут

основываться на текущем положении и ориентации робота, а также целевой позиции. Системы управления могут адаптироваться к меняющимся условиям и обеспечивать точное и безопасное маневрирование по заданным траекториям, что особенно важно в логистических и складских операциях.



**Рисунок 1. Кинематическая схема четырехколесного транспортного средства**

Для управления мобильным роботом, особенно в контексте роботов, работающих по условиям Аккермана, можно использовать несколько различных методов управления. Ниже рассматриваются основные типы управления:

1. Позиционирование и управление по целевой точке

Для перехода от текущих координат робота  $(x, y)$  к целевой точке  $(x_{target}, y_{target})$  можно определить по следующей формуле:

Вычисление расстояния до целевой точки:

$$d = (X_{target} - X)^2 + (Y_{target} - Y)^2 \quad (3)$$

Вычисление угла поворота к целевой точке:

$$\theta_{target} = \arctg\left(\frac{Y_{target}-Y}{X_{target}-X}\right) \quad (4)$$

Угол поворота для управления роботом:

$$\Delta\theta = \theta_{target} - \theta \quad (5)$$

2. Управление углом поворота

Для управления углом поворота передних колес можно использовать:

Угол поворота колеса:

$$\delta = \arctg\left(\frac{L \cdot \tg(\Delta\theta)}{R}\right) \quad (6)$$

где:

-  $L$  - длина колесной базы,

-  $R$  - радиус поворота.

### 3. Управление скоростью

Скорость может быть рассчитана в зависимости от расстояния до целевой точки и заданной максимальной скорости  $v_{max}$ :

$$v = k \cdot d \quad (7)$$

где:

-  $k$  - коэффициент, определяющий, насколько быстро робот должен двигаться к целевой точке (значение должно быть в диапазоне от 0 до 1).

### 4. Итеративное управление

Каждый шаг управления можно описать через систему уравнений, которые обновляют состояние робота  $(x, y, \theta)$  на основании рассчитанных значений скорости и угла поворота:

$$\begin{aligned} x_{new} &= x + v \cdot \cos(\theta) \cdot \Delta t \\ y_{new} &= y + v \cdot \sin(\theta) \cdot \Delta t \\ \theta_{new} &= \theta + Lv \cdot \operatorname{tg}(\delta) \cdot \Delta t \end{aligned} \quad (8)$$

где  $\Delta t$  – временной шаг.

### 5. Пример контроллера

С использованием методов управления можно создать контроллер, который будет выполнять следующие шаги:

1. Вычисляет расстояние и угол к целевой точке.
2. Определяет, какой угол следует взять для поворота колес.
3. Устанавливает скорость робота в зависимости от расстояния до цели.
4. Обновляет положение робота на каждом шаге времени на основе рассчитанных параметров.

Таким образом, управление мобильным роботом требует вычисления целевых координат и углов, а также определения скорости и угла поворота. Эти формулы описывают основные принципы управления и могут быть реализованы в программном обеспечении для автономного движения робота.

Понимание математической модели движения робота и ключевых параметров, таких как радиус и угол поворота и т.д., позволяет создать эффективные модели управления на основе условий Аккермана, что значительно улучшает маневренность и безопасность грузовых мобильных роботов.

Условия Аккермана легко интегрируются с системами автоматизации и управления, что позволяет использовать их в роботах с искусственным интеллектом и автонавигаторах

Таким образом, применение условий Аккермана в рулевых механизмах грузовых мобильных роботов способствует повышению их производительности и безопасности в ходе операций.

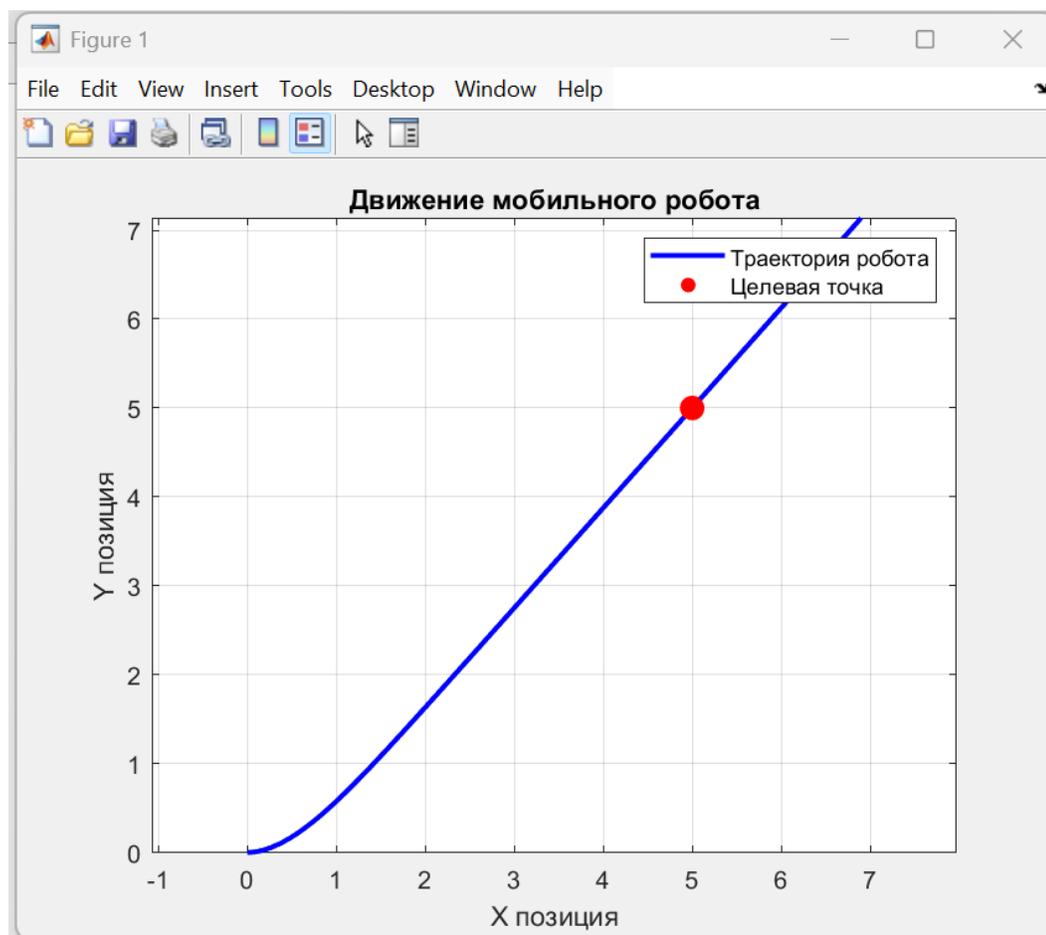


Рисунок 2. Движение мобильного робота

## Результаты и Обсуждение

1. Форма траектории. График показывает, что робот движется по плавной криволинейной траектории. Это связано с тем, что он не сразу ориентируется в направлении цели, а постепенно корректирует курс.

2. Коррекция движения. Начальная фаза движения демонстрирует активное изменение угла ориентации, так как робот сначала стремится развернуться в сторону цели, а затем уже двигается в её направлении.

3. Код использует кинематическую модель дифференциального привода, что позволяет реалистично моделировать движение мобильного робота.

4. Метод *ode45* успешно решает систему дифференциальных уравнений, описывающих движение, обеспечивая плавную траекторию.

5. Итоговый график демонстрирует траекторию движения и целевую

точку, что позволяет анализировать эффективность управления.

В целом, график подтверждает работоспособность модели, однако требует уточнения параметров управления для точного достижения цели.

Код алгоритма движения мобильного робота в MATLAB:

```
% Параметры
L = 0.5; % Расстояние между осями колес
v = 1.0; % Линейная скорость робота
x_target = 5.0;
y_target = 5.0; % Целевая точка

% Определение модели динамики
function dstate = model(~, state, x_target, y_target, v, L)
    x = state(1);
    y = state(2);
    theta = state(3);

    % Вычисления
    d = sqrt((x_target - x)^2 + (y_target - y)^2);
    Q_target = atan2(y_target - y, x_target - x);
    delta = Q_target - theta;

    % Ограничение угла поворота
    if delta > pi
        delta = delta - 2 * pi;
    elseif delta < -pi
        delta = delta + 2 * pi;
    end

    % Определение управления
    sigma = v * delta; % Управление (производная)

    % Кинематическая модель
    dxdt = v * cos(theta);
    dydt = v * sin(theta);
    dthetadt = (v / L) * tan(delta);

    dstate = [dxdt; dydt; dthetadt];
end

% Начальные условия
initial_state = [0.0; 0.0; 0.0]; % [x, y, theta]
time = linspace(0, 10, 100); % Время от 0 до 10 секунд

% Решение ОДУ
```

```
[t, solution] = ode45(@(t, y) model(t, y, x_target, y_target, v, L), time, initial_state);
```

```
% Извлекаем результаты
```

```
x = solution(:, 1);
```

```
y = solution(:, 2);
```

```
% Построение графика
```

```
figure;
```

```
plot(x, y, 'b', 'LineWidth', 2);
```

```
hold on;
```

```
scatter(x_target, y_target, 100, 'r', 'filled');
```

```
xlabel('X позиция');
```

```
ylabel('Y позиция');
```

```
title('Движение мобильного робота');
```

```
legend('Траектория робота', 'Целевая точка');
```

```
grid on;
```

```
axis equal;
```

```
hold off;
```

Этот код показывает, как можно использовать МАТЛАБ для реализации задачи управления мобильным роботом с использованием моделей, основанных на условиях Аккермана и решением ОДУ.

## Заключение

В данной работе был рассмотрен алгоритм управления мобильным роботом, основанный на математическом моделировании и применении методов навигации. Исследование показало, что правильный выбор формул и подходов к управлению позволяет роботу эффективно и точно перемещаться к заданной цели. Разработанные алгоритмы способствуют точному вычислению расстояния и углов поворота, а также обеспечивают корректное определение линейной скорости робота, что является критически важным для его автономного функционирования.

В ходе работы была реализована система управления, которая обновляет положение и ориентацию робота на основе полученных значений. Осуществленная визуализация движения с помощью встроенных средств МАТЛАБ подтверждает возможность успешного выполнения поставленных задач в реальном времени.

Полученные результаты подчеркивают важность интеграции теоретических основ и практической реализации в разработке автономных систем. Использование представленных формул и методов может быть адаптировано для различных областей применения, включая логистику, исследовательские миссии и промышленные процессы.

Таким образом, данная работа открывает перспективы для дальнейших исследований в области робототехники и совершенствования систем управления мобильными роботами. Описанные подходы могут служить основой для разработки более сложных алгоритмов, включающих элементы адаптивного управления и машинного обучения.

## Вклад авторов

Тулешов А.К.: Проведение анализа условий Аккермана как основы для разработки алгоритмов управления. Разработка теоретических подходов к реализации алгоритмов управления мобильными роботами.

Ж.Т.Айтуганова.: Оценка применимости условий Аккермана для реальных задач навигации и управления. Оптимизация алгоритмов с учетом специфики движущихся платформ.

Абекова А.Ж, Исмайлов А.Е.: Проведение численных экспериментов и анализа их результатов. Интеграция теоретических разработок в прикладные системы управления. Оценка устойчивости и точности предложенных алгоритмов на симуляционных моделях.

## Список литературы

1. Татиевский Д. Н. Синтез управления для 4ws модели автомобиля-робота для движения по программной траектории . DOI: 10.15587/2312-8372.2019.180504
2. Иоффе М.Л. Принцип Аккермана и его реализации в современных автомобилях . Известия высших учебных заведений. Машиностроение #9(738) 2021.
3. Берестова С.А., Мисюра Н.Е., Митюшов Е.А. Кинематическое управление движением колесных транспортных средств // Вестник Удмуртского университета Математика.Механика.Компьютерные науки 2015.Т.25.Вып.2
4. Kütük M., Halicioğlu R., Dülger L. C. Kinematics and Simulation of a Hybrid Mechanism [Text] // MATLAB/SimMechanics «Journal of Physics»: Conference Series. – 01.2016. – Vol 574. – P. 215.
5. Ichikawa K., Murata C., Takahashi T. Nonsimultaneous press forming using 4-axes direct drive digital servo press [Text] // [Procedia Engineering]. Proceedings of the 11th International Conference on Technology of Plasticity. – 2014.
6. Hollerbach J.M. Dynamic Scaling of Manipulator Trajectories [Text] // Trans ASME, J. Dyn. Systems, Measurement and Control. –1984. – P.102-106.
7. Rooney R.H., Shapiro E.Y. The use modal control to minimize errors in the analytical reconstruction of flight control sensor signals [Text] // Proc. IEEE Nat, Aerospace and Electron. Conf. NAECON 1982. Dayton, Ohio, 1982. New York. – 1982. – № 4.
8. Luh J. Y. S., Walker M.W., Paul R. P. On Line – Computational Scheme for Mechanical Manipulators [Text] // Trans. ASME, J. Dyn. Systems, Measurement and Control. – 1980. – Vol. 120. – P. 69-76.
9. Lee C. S. G., Lee B. H., Nigam R. Development of the Generalized d’Alembert Equations of Motion for Mechanical Manipulators [Text] // Proc.2nd Conf. Decision and Control, San Antonio, Tex. – 1983. – P. 1205-1210.
10. Walker M.W., Orin D.E. Efficient Dynamic Computer Simulation of [Text] // Mechanisms Trans. ASME, J. Systems, Measurement and Control. – 1982. – Vol. 104. – P. 205-211
11. Murata C., Endou J., Futamura S. Development of direct drive digital servo press [Steel Grips-Journal and related materials] [Text] // Supplement 10 th Metal Forming. – 2004. – P. 371–374.
12. Murata C., Machira T., Futamura S., Endou J. Intelligent control system for direct drive digital servo press [Text] // Proceeding of the 5th International Conference on «Intelligent Proceeding and Manufacturing of Materials»// – IPMM. – № 05. – 2005.

13. Hasegawa K., Endou J., Inada A., Kawachi N. Effect of control of press with eccentric force [Text] // Steel Research International. Special Edition: 13<sup>th</sup> Metal Forming. – 2010. – Vol.81-9. – P. 690–693.
14. Tatievsky D. N. Control synthesis for the 4ws model of a robot car for movement along a software trajectory. DOI: 10.15587/2312-8372.2019.180504
15. Ioffe M.L. The Ackerman principle and its implementation in modern cars. News of higher educational institutions. Mechanical Engineering #9(738) 2021
16. G. R. Pennock and A. Israr, "Kinematic analysis and synthesis of an adjustable six-bar linkage," Mechanism and Machine Theory, vol. 44 (2), pp. 306-323, 2009.
17. R.-C. Soong, "Analysis of novel geared linkage mechanisms," Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing, vol. 8 (3), 2014.
18. B. Liu, Y. Ma, D. Wang, S. Bai, Y. Li and K. Li, "Kinematic Design of a Seven-bar Linkage with Optimized Centrodes for Pure-rolling Cutting," Mathematical Problems in Engineering, pp. 1-11, 2017.
19. Jomartov and A. Tuleshov, "Vector method for kinetostatic analysis of planar linkages," Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering, vol. 40, pp. 55-69, 2018.
20. A. Tuleshov, A. Jomartov and M. Kumatova, "Annotations of reports of the 7th All-Russian Congress on fundamental problems of theoretical and applied mechanics, August 19-24," in Model dvizheniia krivoshipnogo pressa na baze rychazhnogo mekhanizma 4-go klassa: [The model of the movement of the crank press based on the lever mechanism of the 4th class], Ufa, 2019.

**А.К. Тулешов<sup>1</sup>, Ж. Т. Айтуганова<sup>2,3</sup>, А.Ж. Абекова<sup>1,2</sup>, А.Е. Исмайылов<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Ө.А. Жолдасбеков атындағы механика және машинатану институты, Алматы, Қазақстан

<sup>2</sup>Әль-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

<sup>3</sup>Алматы технологиялық университет Алматы, Қазақстан

<sup>4</sup>Қазақ мемлекеттік қыздар университеті, Алматы, Қазақстан,

### **Аккерман шарттарына негізделген мобильді роботты басқару алгоритмдерін әзірлеу**

**Аңдатпа.** Бұл жұмыс қозғалыстың дифференциалдық теңдеулеріне және Аккерман шарттарына негізделген мобильді роботты басқару жүйесін қарастырады. Зерттеудің негізгі мақсаты роботтың айналу бұрышы мен сызықтық жылдамдығын басқара отырып, берілген мақсатты нүктеге тиімді жылжу мүмкіндігін беретін алгоритмді жасау болып табылады. Жұмыс роботтың кеңістікте жүруіне мүмкіндік беретін нысанаға дейінгі қашықтықты және айналу бұрышын есептеу үшін қажетті формулаларды анықтаудан басталады. Содан кейін мақсатты нүктеге дейінгі қашықтыққа негізделген дөңгелектің мен жылдамдық есептеулерін басқару әдістері сипатталады. Бірқалыпты және қауіпсіз қозғалысты қамтамасыз ету үшін әрбір уақыт қадамында робот күйін (координаталар мен бағдарларды) жаңартып отыратын итеративті контроллер жасалады. Жұмыстың маңызды бөлігі Matplotlib кітапханасының көмегімен робот траекториясының графикалық визуализациясын қоса алғанда, Python бағдарлама коды түріндегі алгоритмді

жүзеге асыру болып табылады. Осылайша, жұмыс логистика, ауыл шаруашылығы және ғылыми зерттеулер сияқты әртүрлі салаларда автономды роботтарды жасау үшін пайдалы болуы мүмкін практикалық қолдануда бақылаудың теориялық аспектілерін іске асыруды көрсетеді. Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, ұсынылған тәсіл роботқа тиімді маневр жасауға және қоршаған ортадағы өзгерістерге бейімделуге мүмкіндік береді, қозғалыстың жоғары дәлдігін және тапсырмаларды орындау кезінде қауіпсіздікті қамтамасыз етеді.

**Түйін сөздер:** Мобильді робот, басқару жүйесі, басқару алгоритмі, позициялау, мақсатты нүкте бойынша басқару, қозғалыс параметрлері, радиусы және айналу бұрышы

**A.K. Tuleshov<sup>1</sup>, Zh.T. Aituganova<sup>2,3</sup> Abekova A.J<sup>1,2</sup>, Ismayilov A.E<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> U.A. Joldasbekov Institute of Mechanics and Engineering, Almaty, Kazakhstan

<sup>2</sup> Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

<sup>3</sup> Almaty Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan

<sup>4</sup> Kazakh State Womans Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan

### **Development of mobile robot control algorithms based on ackerman conditions**

**Abstract.** In this paper, we consider a control system for a mobile robot based on differential equations of motion and Ackerman conditions. The main purpose of the research is to develop an algorithm that allows the robot to move efficiently to a given target point, while controlling the angle of rotation and linear velocity. The work begins with determining the necessary formulas for calculating the distance to the target and the angle of rotation, which allows the robot to navigate in space. Then are described that allow you to control the angle of rotation of the wheels and speed calculations taking into account the distance to the target point. To ensure smooth and safe movement, an iterative controller is created that updates the robot's state (coordinates and orientation) at each time step. An important part of the work is the implementation of the algorithm in the form of Python program , including graphical visualization of the robot's trajectory using the Matplotlib library. Thus, the work demonstrates the implementation of theoretical aspects of management in practical application, which can be useful for the development of autonomous robots in various fields such as logistics, agriculture and research. The results of the study show that the proposed approach allows the robot to effectively maneuver and adapt to in the environment, ensuring high accuracy of movement and safety of tasks

**Keywords:** Mobile robot, control system, control algorithm, positioning, target point control, motion parameters, radius and angle of rotation

### **References**

1. Tatievsky, D. N. Control synthesis for a 4WS model of a robotic vehicle following a programmed trajectory. DOI: 10.15587/2312-8372.2019.180504
2. Ioffe, M. L. The Ackermann principle and its implementation in modern vehicles. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedeniy. Mechanical Engineering*, No. 9(738), 2021.
3. Berestova, S. A., Misyura, N. E., Mityushov, E. A. Kinematic control of the movement of wheeled vehicles. *Bulletin of Udmurt University. Mathematics. Mechanics. Computer Science*,

2015, Vol. 25

4. Kütük M., Halicioğlu R., Dülger L. C. Kinematics and Simulation of a Hybrid Mechanism [Text] // MATLAB/SimMechanics «Journal of Physics»: Conference Series. – 01.2016. – Vol 574. – P. 215.
5. Ichikawa K., Murata C., Takahashi T. Nonsimultaneous press forming using 4-axes direct drive digital servo press [Text] // [Procedia Engineering]. Proceedings of the 11th International Conference on Technology of Plasticity. – 2014.
6. Hollerbach J.M. Dynamic Scalloping of Manipulator Trajectories [Text] // Trans ASME, J. Dyn. Systems, Measurement and Control. –1984. – P.102-106.
7. Rooney R.H., Shapiro E.Y. The use modal control to minimize errors in the analytical reconstruction of flight control sensor signals [Text] // Proc. IEEE Nat, Aerospace and Electron. Conf. NAECON 1982. Dayton, Ohio, 1982. New York. – 1982. – № 4.
8. Luh J. Y. S., Walker M.W., Paul R. P. On Line – Computational Scheme for Mechanical Manipulators [Text] // Trans. ASME, J. Dyn. Systems, Measurement and Control. – 1980. – Vol. 120. – P. 69-76.
9. Lee C. S. G., Lee B. H., Nigam R. Development of the Generalized d'Alembert Equations of Motion for Mechanical Manipulators [Text] // Proc.2nd Conf. Decision and Control, San Antonio, Tex. – 1983. – P. 1205-1210.
10. Walker M.W., Orin D.E. Efficient Dynamic Computer Simulation of [Text] // Mechanisms Trans. ASME, J. Systems, Measurement and Control. – 1982. – Vol. 104. – P. 205-211
11. Murata C., Endou J., Futamura S. Development of direct drive digital servo press [Steel Grips-Journal and related materials] [Text] // Supplement 10 th Metal Forming. – 2004. – P. 371–374.
12. Murata C., Machira T., Futamura S., Endou J. Intelligent control system for direct drive digital servo press [Text] // Proceeding of the 5th International Conference on «Intelligent Proceeding and Manufacturing of Materials»// – IPMM. – № 05. – 2005.
13. Hasegawa K., Endou J., Inada A., Kawachi N. Effect of control of press with eccentric force [Text] // Steel Research International. Special Edition: 13<sup>th</sup> Metal Forming. – 2010. – Vol.81-9. – P. 690–693.
14. Tatievsky D. N. Control synthesis for the 4ws model of a robot car for movement along a software trajectory. DOI: 10.15587/2312-8372.2019.180504
15. Ioffe M.L. The Ackerman principle and its implementation in modern cars. News of higher educational institutions. Mechanical Engineering #9(738) 2021
16. G. R. Pennock and A. Israr, "Kinematic analysis and synthesis of an adjustable six-bar linkage," Mechanism and Machine Theory, vol. 44 (2), pp. 306-323, 2009.
17. R.-C. Soong, "Analysis of novel geared linkage mechanisms," Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing, vol. 8 (3), 2014.
18. B. Liu, Y. Ma, D. Wang, S. Bai, Y. Li and K. Li, "Kinematic Design of a Seven-bar Linkage with Optimized Centroids for Pure-rolling Cutting," Mathematical Problems in Engineering, pp. 1-11, 2017.
19. Jomartov and A. Tuleshov, "Vector method for kinetostatic analysis of planar linkages," Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering, vol. 40, pp. 55-69, 2018.
20. Tuleshov, A. Jomartov and M. Kuvatova, "Annotations of reports of the 7th All-Russian Congress on fundamental problems of theoretical and applied mechanics, August 19-24," in Model: model of the movement of the crank press based on the lever mechanism of the 4th class], Ufa, 2019.

### Сведения об авторах:

*Амандық Тулешов Қуатович*, д.т.н.академик Институт механики и машиноведения имени академика У.А.Джолдасбекова, улица Шевченко, 29, 050002 г.Алматы, Казахстан. [aman\\_58@mail.ru](mailto:aman_58@mail.ru)

*Айтуганова Жамила Темірбевна*, докторант Казахский Национальный университет им. Аль-Фараби, проспект Аль-Фараби 71,050040, Алматинский технологический университет, Төле би 100, 050061 zhamila

*Абекова Айдана Жумагалиевна*, докторант, научный сотрудник, Институт механики и машиноведения имени академика У.А.Джолдасбекова, улица Шевченко, 29, 050002 Алматы Қазақстан, [abekova310792@gmail.com](mailto:abekova310792@gmail.com)

*Исмайылов Амангелді Есіркегенович*, к.т.н., Казахский Национальный Женский Педагогический Университет, улица Гоголя 114/8, Алматы 050000, г.Алматы, Казахстан

*Амандық Тулешов Қуатович*, т.ғ.д., академик, Ө.А. Жолдасбеков атындағы механика және машинатану институты, Шевченко көшесі 29, 050002 Алматы, Қазақстан, аман.

*Айтуганова Жамила Темірбевна*, докторант, Эль-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Аль-Фараби даңғылы 71,050040, Алматы технологиялық университет, Төле би көшесі 100, 050061 [zhamila\\_a77@mail.ru](mailto:zhamila_a77@mail.ru)

*Абекова Айдана Жумагалиевна*, докторант, ғылыми қызметкер, Ө.А. Жолдасбеков атындағы механика және машинатану институты, Шевченко көшесі 29, 050002 Алматы, Қазақстан, [abekova310792@gmail.com](mailto:abekova310792@gmail.com)

*Амангелді Есіркегенович*, к.т.н., Қазақ мемлекеттік қыздар университеті, Гоголя көшесі 114/8, Алматы 050000 Алматы, Қазақстан

*Amandyk Tuleshov*, doctor of technical sciences, U.A. Joldasbekov Institute of Mechanics and Engineering, Shevchenko street 29, 050002 Almaty, Kazakhstan, aman

*Aituganova Zhamila Temirbayevna* - doctoral student, Al-Farabi Kazakh National University, Al-Farabi 71,050040 Almaty Almaty Technological University, Tole bi 100, Almaty, Kazakhstan [zhamila\\_a77@mail.ru](mailto:zhamila_a77@mail.ru)

*Abekova Aidana Zhumagalieva*,\_doctoral student, researcher, U.A. Joldasbekov Institute of Mechanics and Engineering, , Shevchenko street 29, 050002 Almaty, Kazakhstan, [abekova310792@gmail.com](mailto:abekova310792@gmail.com)

*Ismayilov Amangeldi Esirkegenovich*, c.t.s, Kazakh State Womans Pedagogical University, 114/8 Gogol Street Almaty, 050000 Kazakhstan, box



**Copyright:** © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).