

Заключение

Сплав Cu-13Al-3Fe, полученный методом электронно-лучевой плавки, обладает определенной коррозионной стойкостью в 3,5 % растворе NaCl, причем его коррозионная стойкость в основном обусловлена пассивирующей пленкой, образующейся на его поверхности. Однако на поверхности сплава все еще сохраняется определенная степень коррозии, и будущие исследования могут помочь дополнительно оптимизировать состав сплава и процесс его приготовления для повышения его коррозионной стойкости в хлорсодержащих средах.

Список литературы

1. Yu H., Dong S., Huang G. Corrosion behavior of Al-Bronze in 3,5 % NaCl solution / // Journal of Chinese Society for Corrosion and protection. – 2003. – Vol. 23. – P. 345–349.
2. Bai Y., Gai X., Li S., et al Improved corrosion behaviour of electron beam melted Ti-6Al-4V alloy in phosphate buffered saline // Corrosion Science. – 2017. – № 123. – P. 289–296.
3. Пань М., Клопотов А.А., Утьев О.М., Моторин М.П. и др. Изготовление сплавов с памятью формы Cu-Al-Fe методом традиционного сплавления и литья и методом электронно-лучевой плавки // Физическая мезомеханика. Материалы с многоуровневой иерархически организованной структурой и интеллектуальные производственные технологии: тезисы докладов Международной конференции. – Томск, 2024. – С. 512–514.
4. Yan G., Dai A., Niu W., Chen H., Zhu K. Corrosion resistance of novel high Al-bronze alloy Cu-12Al-X in NaCl solution // Special Casting & Nonferrous Alloys. – 2014. – Vol. 34. – P. 416–419.

Сунь Чан (Китай), Брылев О.А. (Россия)

Томский политехнический университет, г. Томск

Научный руководитель: Филипас А. А., ИШИТР, кандидат технических наук, доцент

НАВИГАЦИЯ МОБИЛЬНОГО РОБОТА С ОПРЕДЕЛЕНИЕМ ПРОСКАЛЬЗЫВАНИЯ

Аннотация

В данном исследовании для решения проблемы проскальзывания колесных мобильных роботов в сложной наземной среде предлагается метод обнаружения и компенсации проскальзывания в реальном времени на основе мониторинга тока двигателя. Посредством создания линейной модели коэффициента тока-

проскальзывания в сочетании с трехэтапной экспериментальной проверкой (сбор данных, моделирование параметров и алгоритм компенсации) выявлен закон влияния различных материалов пола (пластик/ковролин/столешница) на характеристики проскальзывания. Экспериментальные результаты показывают, что разработанный алгоритм компенсации с подачей момента вперед позволяет значительно уменьшить смещение траектории.

Ключевые слова: мобильный робот; обнаружение проскальзывания; обнаружение трения; мониторинг тока; определение траектории.

Введение

Мобильные роботы подвержены явлению проскальзывания колес на сложных грунтах (лед, песок, неровное дорожное покрытие), что приводит к смещению траектории и ошибкам позиционирования. Традиционным навигационным системам сложно эффективно реагировать на динамические изменения коэффициента трения, поэтому необходимо разработать методы обнаружения проскальзывания в реальном времени.

Основные методы

1. Модель обнаружения проскальзывания

Установить линейную зависимость между током и коэффициентом проскальзывания: $S = k \cdot I + b$

- Определение состояния проскальзывания по изменению тока двигателя (резкое увеличение тока отражает изменение нагрузки).
- Измерение теоретической скорости с помощью энкодера и получение фактического перемещения с помощью системы технического зрения.

2. Стадия эксперимента

- Сбор данных: запись данных тока, гироскопа и акселерометра на трех поверхностях: пластик/коврик/столешница.
- Моделирование параметров: построение характеристических кривых «коэффициент проскальзывания – ток» для различных поверхностей.

Исследование проскальзывания в мобильных роботах

Исследователи разработали метод классификации типов поверхности для планетоходов, основанный на анализе вибраций, возникающих при взаимодействии колес с грунтом. В работе «Vibration-Based Terrain Classification for Planetary Exploration Rovers» описан подход, при котором вибрации, регистрируемые акселерометром на корпусе робота во время движения, используются для распознавания типов поверхности, таких как песок, гравий или глина. В статье подробно описаны методы оценки и компенсации проскальзывания колес транспортных средств на планетах: на рисунке 1 показана классификация методов оценки проскальзывания, разработанная группой робототехников. Их классификация определялась путем вычисления скорости робота или считывания показаний датчиков: [1]

Исследование проскальзывания и компенсации в мобильных роботах.

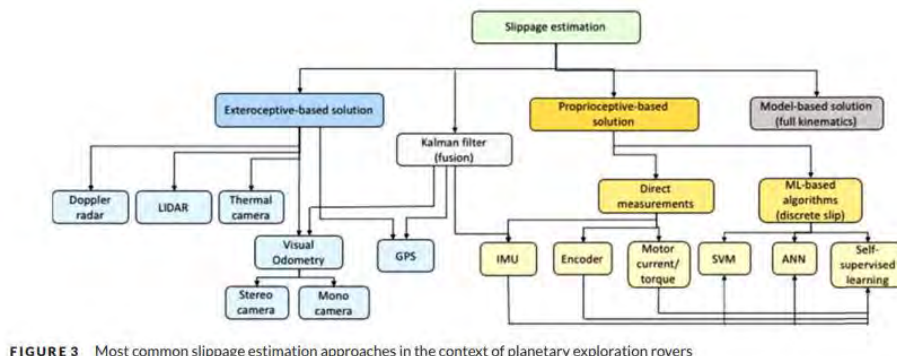


FIGURE 3 Most common slippage estimation approaches in the context of planetary exploration rovers

Рис. 1. Метод оценки проскальзывания

Как показано на рисунке 1, в широком смысле методы оценки проскальзывания можно разделить на две категории. С одной стороны, решения на основе проприоцептивных датчиков оценивают скольжение только тогда, когда робот действительно пересекает конкретную местность, и такой подход может быть связан с высоким риском захвата транспортного средства. Тем не менее, это наиболее точные методы оценки проскальзывания. С другой стороны, решения на основе экстероцептивных датчиков могут предсказать проскальзывание на местности до определенного расстояния перед роботом. Однако, поскольку многие из этих методов используют камеры, их оценки основаны только на верхней поверхности рельефа (текстуре). [2]

Эксперимент и результат

Длина и ширина стола составляют 2,2 м*2,2 м соответственно, что является достаточным пространством для обеспечения движения мобильного робота.

Платформа с регулируемым коэффициентом трения была установлена с различными материалами покрытия (пластик, ковер) для имитации различных условий грунта.

А сверху была установлена камера, которая считывала фактическую скорость движения робота и его фактические координаты на столе для последующего расчета полученных параметров.

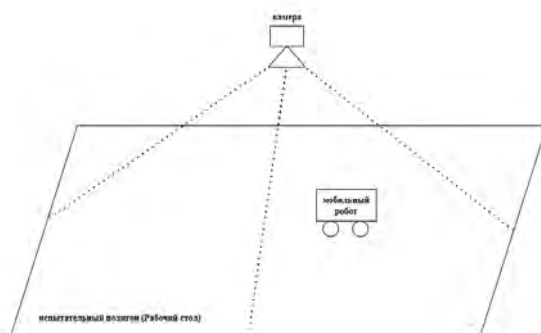


Рис. 2. Экспериментальная установка сцены

Для проведения эксперимента траектория движения мобильного робота задаётся в виде замкнутого контура квадратной формы с длиной стороны 50 см. Фактические значения скорости и положения робота определяются с использованием видеосъёмки и последующей обработки данных с камеры. Одновременно с этим, в процессе выполнения управляющего кода вычисляются теоретические значения скорости и координат. На основе сравнения фактических и теоретических параметров производится расчёт коэффициентов проскальзывания, которые далее используются для анализа характеристик движения мобильного робота по различным типам поверхности.

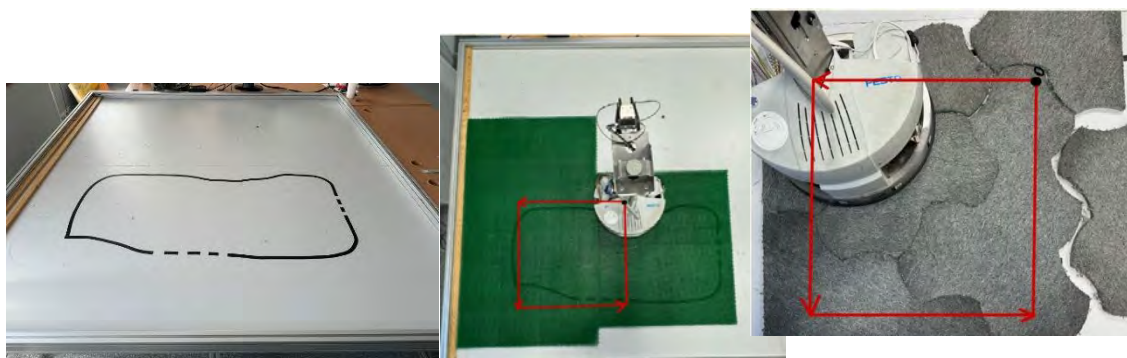


Рис. 3. Движение робота по поверхностям с различным трением

Разработка программы для сбора данных с мобильного робота Robotino

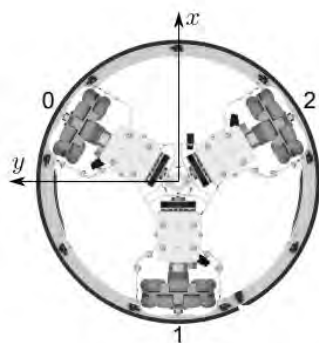


Рис. 4. Система координат робота Robotino V4

Основной задачей данного исследования является обнаружение явления проскальзывания (проскальзывания колес) мобильного робота, препятствующего его движению по заданному маршруту.

Обнаружение проскальзывания мобильных роботов. Это обнаружение достигается путем считывания данных с датчика тока. Отношение эффективной угловой скорости от колеса (ω_{eff}) к угловой скорости колеса, полученной от энкодера (ω_{act}), задается как коэффициент проскальзывания

Установите коэффициент проскальзывания (S):

$$S = 1 - \frac{\omega_{eff}}{\omega_{act}}$$

$$\begin{pmatrix} \omega_{eff1} \\ \omega_{eff2} \\ \omega_{eff3} \end{pmatrix} = \frac{60 * K_{red}}{2\pi * R} = \begin{pmatrix} -\sin(\frac{\pi}{3}) & \cos(\frac{\pi}{3}) & L \\ -\sin(\pi) & \cos(\pi) & L \\ -\sin(\frac{5\pi}{3}) & \cos(\frac{5\pi}{3}) & L \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} \frac{\Delta X}{\Delta t} \\ \frac{\Delta Y}{\Delta t} \\ \frac{\Delta \theta}{\Delta t} \end{pmatrix}$$

где L – расстояние между центром робота и колесом (125 мм); R – половина колеса (40 мм); k – передаточное число (16) [2].

Получение на выходе функции обратной кинематики значения задаются целевыми для каждого из колес функциями `motor.setSpeedSetPoint`.

Далее действительные значения скоростей вращения колес робота, считанные энкодерами подаются на вход функции прямой кинематики `forward_kinematics`. Матрица прямой кинематики была получена в численном виде как обратная матрица обратной кинематики, и выглядит следующим образом:

$$K^{-1} = \begin{pmatrix} -0.577 & 0 & 0.577 \\ 0.333 & -0.667 & 0.333 \\ 2.667 & 2.667 & 2.667 \end{pmatrix}$$

Наконец, рассчитанные таким образом скорости центра робота интегрировались для получения текущих координат.

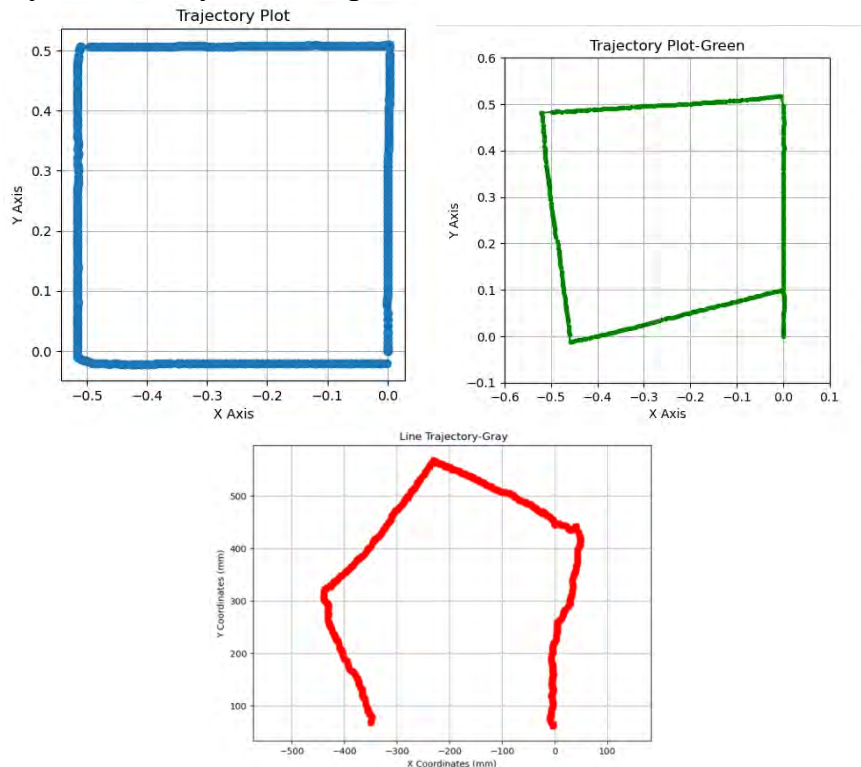


Рис. 5. Фактическая траектория движения робота

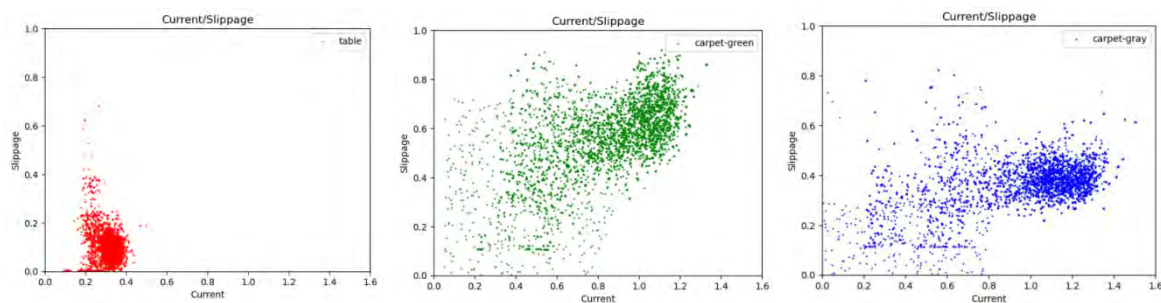


Рис. 6. Коэффициент проскальзывания в зависимости от тока

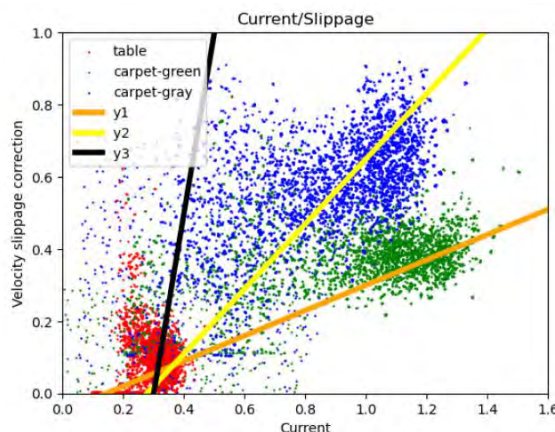


Рис. 7. Линейная зависимость между коэффициентом проскальзывания и током

Линейная зависимость между силой тока и коэффициентом проскальзывания робота была определена с помощью метода дихотомии, а масштабные коэффициенты k_1, k_2, k_3 , для коррекции проскальзывания были получены путем суммирования трех кинематических диаграмм мобильного робота на различных поверхностях:

$$\begin{cases} S_1 = k_1 * I + b_1 \\ S_2 = k_2 * I + b_2 \\ S_3 = k_3 * I + b_3 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} k_1 = 0.34 \\ k_2 = 0.91 \\ k_3 = 5.67 \end{cases}$$

Масштабный коэффициент коррекции проскальзывания k может помочь системе более точно оценить фактическое перемещение или скорость, тем самым уменьшая ошибки расчета положения или скорости из-за проскальзывания. Регулируя масштабный коэффициент для коррекции проскальзывания, мы также можем более эффективно контролировать стабильность и отзывчивость устройства на поверхностях с низким коэффициентом трения.

Кривая на рисунке 7 может быть аппроксимирована линейным уравнением без потери точности. Эта аппроксимация упрощает методы оценки параметров в реальном времени, представленные в следующем разделе. Пересечение линии y_1, y_2, y_3 с осью I имеет большое физическое значение: оно представляет собой начало проскальзывания колеса.

Мы обозначим ток двигателя, связанный с этой точкой I_{slip} , а наклон линейной аппроксимации назовем масштабным коэффициентом для коррекции проскальзывания, ξ . Полное уравнение, определяющее условия проскальзывания для робота, теперь можно записать следующим образом:

$$S_c = \begin{cases} \xi * (1 - I_{slip}), & I > I_{slip} \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}$$

где ξ – масштабный коэффициент для поправки на проскальзывание, а I_{slip} – начало проскальзывания колеса.[3]

Преимущество упрощенной модели в том, что она полностью определяется двумя константами, а также в том, что ее легко реализовать в программном обеспечении и она не требует больших вычислительных затрат. Эта модель закладывает основу для дальнейшей интеграции физических моделей и методов на основе данных в будущем с целью создания нового поколения систем компенсации роботов, которые будут одновременно надежными, адаптивными и безопасными.

Заключение

В данной работе успешно установлена количественная зависимость между коэффициентом проскальзывания и током двигателя. Благодаря точным экспериментальным измерениям исследование показало, что изменение тока двигателя тесно связано со степенью проскальзывания колес робота. Отслеживая значения тока в реальном времени, можно точно предсказать коэффициент проскальзывания, то есть фактическое трение и состояние проскальзывания колес при контакте с землей. Этот вывод особенно важен для улучшения адаптации роботов на различных поверхностях, особенно когда грунтовые условия сложны или нестабильны, например, скользкие, рыхлые или неровные поверхности. Взаимосвязь между током и коэффициентом проскальзывания позволяет системе управления корректировать стратегию движения робота на основе показаний тока, чтобы максимизировать тягу и устойчивость и избежать отклонения траектории из-за проскальзывания.

Список литературы

1. Christopher A. Vibration-based terrain classification for planetary exploration rovers / A. Christopher, C. Brooks, K. Iagnemma // IEEE Transactions on Robotics. – 2005. – Vol. 21, № 6. – P. 1185-1191.
2. Gonzalez R. Slippage estimation and compensation for planetary exploration rovers. State of the art and future challenges / R. Gonzalez, K. Iagnemma. – DOI 10.1002/rob.21761 // Journal of Field Robotics. – 2018. – Vol. 35. – № 4. – P. 564-577.

3. Система обнаружения и компенсации скольжения для мобильного робота в гетерогенной среде / Беляев А.С., Брылев О.А., Иванов Е.А. // IFAC Papers Online 54-13. – 2021. – № 339-344.
4. Lunar Roving Vehicle: Wikipedia. – URL: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Lunar_Roving_Vehicle&oldid=1156844486#cite_note-1.

Сяо Цяньцян (Китай)

Томский политехнический университет, г. Томск

Научный руководитель: Курганов Василий Васильевич, к.т.н., доцент

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА СИМОЮ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ТЕПЛОВОГО ОБЪЕКТА

Аннотация:

В работе проведено сравнение методов идентификации теплового объекта: метода Симою и графического метода касательной. Исследование выполнено на базе эмулятора печи ЭП10 компании Овен. Результаты показали, что графический метод менее трудоемок и обеспечивает сопоставимую точность. Полученные данные могут быть использованы для оптимизации лабораторных работ и промышленных приложений.

Ключевые слова: метод Симою, метод касательных, идентификация, тепловой объект, передаточная функция.

Введение

Современные промышленные процессы требуют точного управления, что невозможно без корректной идентификации объектов. Актуальность исследования обусловлена необходимостью выбора оптимального метода идентификации для объектов с запаздыванием, таких как тепловые системы. Цель работы — сравнить точность и трудоемкость метода Симою и графического метода касательной при идентификации теплового объекта. В работе решены следующие задачи:

1. Теоретический анализ методов идентификации.
2. Экспериментальное сравнение методов на модельном и реальном объектах.
3. Разработка рекомендаций по применению методов.