

УДК 004.5.

Абалов А.А.

студент

2 курс, отдел Магистратуры

Донской Государственный Технический Университет

Россия, г. Ростов на Дону

Пегливанян В.А.

студент

2 курс, отдел Магистратуры

Донской Государственный Технический Университет

Россия, г. Ростов на Дону

СТАБИЛЬНОЕ И АДАПТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ДЛЯ КОЛЕСНОЙ МОБИЛЬНОЙ ПЛАТФОРМЫ

***Аннотация:** Большинство платформ дифференциального привода оснащены двумя независимыми приводами и роликами. Положение центра тяжести и центра вращения часто не совпадают. Эта разность положений в сочетании с влиянием несбалансированной динамики привода на движение затрудняет надлежащее управление платформой. Мы предлагаем адаптивную нелинейную систему управления, основанную на теории устойчивости Ляпунова, которая значительно улучшает характеристики отслеживания траектории таких платформ. Сравнительные экспериментальные исследования показали, что предложенная адаптивная система управления работает лучше, чем аналогичный метод, представленный в литературе.*

***Ключевые слова:** роботизированный контроль, неголономный контроль, дифференциальный привод.*

***Abstract:** Most platforms have two independent drives and rollers. Often not often. Unbalanced speakers, drive, movement, movement, is determined by the proper control of the platform. We offer an adaptive non-linear control system that*

significantly improves the trajectory characteristics of such platforms. Comparative experimental studies have shown that a similar technique is presented in the literature.

Keywords: *robotic control, no holonomic control, differential drive.*

1. Введение

Стабильное отслеживание траектории является одной из наиболее важных проблем неразвитых мобильных платформ с неголономными ограничениями [1]. За прошедшие десятилетия мобильные колесные платформы, приводимые в действие двумя различными двигателями, были среди наиболее изученных мобильных систем [2-5]. Потенциально широкий спектр приложений оправдывает это интенсивное исследование. Отслеживание эталонной траектории включает разработку закона стабильного управления, который позволяет платформе следовать заданному эталонному пути. Хотя большинство этих работ были успешно протестированы в ходе моделирования, было представлено несколько экспериментальных исследований, чтобы помочь оценить поведение диспетчера. Кроме того, в исследованиях рассматривались простые модели помех, которые могут не встречаться в реальных приложениях для мобильных платформ. Экспериментальная проверка в различных условиях эксплуатации должна обеспечить лучшее понимание практических преимуществ и недостатков каждой предложенной конструкции контроллера.

Помимо отсутствия экспериментальной проверки, большинство подходов к проектированию контроллеров предполагают, что динамика двух приводов полностью скомпенсирована или согласована. Полная компенсация предполагает, что приводы ведут себя одинаково при одинаковых условиях эксплуатации.

2. Модель мобильной платформы с дифференциальным приводом

Мы предлагаем динамическую и кинематическую модель для мобильной платформы, приводимой в действие двумя независимыми электродвигателями, как показано на рисунке 1. Соответствующее описание номенклатуры, используемое в данной статье, выглядит следующим образом:

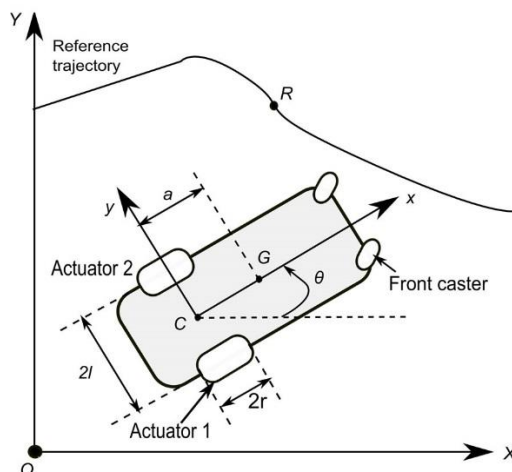


Рисунок 1. Представление навигационной среды: C - средняя точка оси, соединяющей два ведущих колеса. G - положение центра тяжести в системе отсчета платформы.

- C: средняя точка оси, соединяющей два ведущих колеса. Это начало системы отсчета платформы;
- X и Y - соответственно ось абсцисс и ось ординат глобальной привязки;
- G: положение центра тяжести в системе отсчета платформы (C, x, y) ;
- a: позиционная разница между C и G;
- m: платформа и общая масса груза;
- i: платформа и инерция нагрузки относительно C;

Следующие предположения сделаны:

Предположение 2.1. Масса каждого колеса незначительна по сравнению с общей массой платформы и нагрузкой (m).

Предположение 2.2. Колеса вращаются без проскальзывания и, следовательно, отсутствует составляющая скорости, перпендикулярная плоскости колеса.

Предположение 2.3. Приводы полностью скомпенсированы, т.е. все их электромеханические параметры идеально согласованы. Это предположение используется только для формулировки уравнений идеального динамического состояния.

На основе известных уравнений Ньютона-Эйлера и с учетом предположений 2.1, 2.2 и 2.3, уравнения состояния представлены следующими уравнениями [5,32]:

$$\dot{X}_C = v \cos(\theta) \quad (1)$$

$$\dot{Y}_C = v \sin(\theta) \quad (2)$$

$$\dot{\theta} = \omega \quad (3)$$

где v и ω - меры при C линейных и угловых скоростях соответственно. X_C и Y_C положение C в глобальной системе отсчета. Согласно предположению 2.1 сформулировано следующее ограничение:

$$\dot{X}_C \sin(\theta) - \dot{Y}_C \cos(\theta) = 0$$

Выражения (1), (2) и (3) представляют кинематическую модель платформы.

В реальных приложениях предположение 2.1 не всегда верно, и скорости смещения добавляются к v и ω . Следовательно,

$$v = v_T + v_b \quad (5)$$

а также

$$\omega = \omega_T + \omega_b \quad (6)$$

где v_T и ω_T - номинальные линейные и угловые скорости соответственно, когда динамика привода идеально сбалансирована. v_b и ω_b представляет линейные и угловые скорости смещения, вызванные несопадением движущей силы, соответственно. Кинематические выражения (1), (2) и (3) становятся:

$$\dot{X}_C = (v_T + v_b) \cos(\theta) \quad (7)$$

$$\dot{Y}_C = (v_T + v_b) \sin(\theta) \quad (8)$$

$$\dot{\theta} = \omega_T + \omega_b \quad (9)$$

Большинство существующих контроллеров пренебрегали параметрами v_b и ω_b в своей кинематической модели, поэтому отрицательно влияли на способность к отслеживанию.

4. Моделирование и экспериментальные проверки

Эффективность предложенного подхода была проанализирована с помощью моделирования и экспериментально с помощью сравнительных исследований с использованием аналогичного метода, первоначально представленного Канауама [7] и недавно использованного Бугехой [5]. Кинематический контроллер Канауама был разработан без учета разницы в положениях между гравитацией и центрами вращения и с учетом идеального отслеживания скорости. Чтобы использовать этот контроллер в наших сравнениях, мы использовали динамический контроллер раздела 3.3 в качестве его естественного расширения. В оставшейся части этой статьи мы называем его Контроллер слежения Канауама (КТС), в то время как кинематические и динамические контроллеры обозначаются как Улучшенный контроллер слежения (ИТС). Основным результатом, представленным Канауама, являются два следующих стабилизирующих кинематических закона управления:

$$\begin{bmatrix} v_K \\ \omega_K \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_R \cos(\theta_e) + K_x^K x_e \\ \omega_R + v_R K_\theta^K \sin(\theta_e) + v_R K_y^K y_e \end{bmatrix} \quad (10)$$

где v_K и ω_K - линейная и угловая скорости Канауама соответственно; K_x^K , K_y^K и K_θ^K являются положительными постоянными величинами.

4.1. Проверка через моделирование

Целью моделирования является оценка предложенного контроллера перед проведением экспериментов на реальной мобильной платформе. В частности, это исследование покажет, что ИТС работает сравнительно лучше, чем КТС на линейных и криволинейных траекториях, даже когда скорости смещения v_b и ω_b точно не известны. Для моделирования использовалось программное обеспечение Matlab и специальное программное обеспечение для роботизированного промежуточного программного обеспечения под названием Astropolis.

4.1.1. Сценарий моделирования

Мы рассматриваем платформу с разницей в центре $a = 0.25 \text{ m}$. Скорости смещения v_b и ω_b представлены случайными величинами:

$$v_b = N(0 \text{ m/s}, 0.1 \text{ m/s}) \text{ и } \omega_b = N(0.1 \text{ rad/s}, 0.1 \text{ rad/s})$$

где $N(\mu, \sigma)$ представляет гауссовский процесс со средним μ и дисперсией σ^2 . Значение скоростей, используемых в кинематическом контроллере, представлено случайной величиной означает: 0 m/s и 0.1 rad/s .

Динамические параметры контроллера λ_v , λ_ω , γ_v и γ_ω устанавливаются в 1.

Исходя из конфигурации покоя $X(0) = [0, 0, 0]^T$, платформа должна следовать по прямолинейной траектории со скоростью 0.4 m/s . Затем он должен следовать криволинейной траектории 1 m радиуса с $v_R = 0.4 \text{ m/s}$ и $\omega_R = 0.4 \text{ rad/s}$. Все переменные дискретизированы. Отслеживания

среднеквадратичная ошибка (СКО) используются в качестве меры сравнения,

выраженной три мер:

$$MSE_x = \frac{1}{M} \sum_{i=0}^{M-1} (X_R(i) - X(i))^2,$$

$$MSE_y = \frac{1}{M} \sum_{i=0}^{M-1} (Y_R(i) - Y(i))^2,$$

$$MSE_\theta = \frac{1}{M} \sum_{i=0}^{M-1} (\theta_R(i) - \theta(i))^2$$

где M - количество дискретных значений конфигурации за один прогон моделирования.

Используются следующие значения параметров:

- КТС подход: $K_x^K = 1$, $K_y^K = 1$ и $K_\theta^K = 1$. Начальные значения динамического управления являются: $\theta_v^1(0) = 1$, $\theta_v^2(0) = 1$, $\theta_\omega^1(0) = 1$ и $\theta_\omega^2(0) = 1$.

- Подход ИТЦ: $K_x^K = 1$ и $K_y^K = 1$. Начальные значения динамического управления являются: $\theta_v^1(0) = 1$, $\theta_v^2(0) = 0$, $\theta_\omega^1(0) = 1$ и $\theta_\omega^2(0) = 0$.

4.1.2. Результаты симуляции

Траектории, полученные в результате моделирования. Как подход ИТС, так и подход КТС генерируют стабильные траектории. Несмотря на наличие шума на скорости смещения, траектория производства КВТ (сплошная черная кривая) очень близка к исходной траектории (сплошная серая кривая). ИТС работает лучше, чем КТС, как показано в таблице 1. Эта производительность в основном обусловлена кинематическим контроллером, предложенным в этой статье. Напомним, что общей частью между ИТС и КТС является динамический контроллер. Четыре параметра θ_v^1 , θ_v^2 , θ_ω^1 и θ_ω^2 имел близкие значения независимо от кинематического контроллера участвует. Таким образом, единственный способ объяснить разницу в производительности

заключается в поведении кинематического контроллера. На рисунке 5, Ошибки отслеживания x_e , y_e и θ_e полученные с КВТ ниже в среднем, чем ошибки отслеживания, полученных с помощью КТЦ.

4.1.3. Отслеживание линейной траектории на наклонных поверхностях

Таблица 4.

Отслеживание среднеквадратичных ошибок по криволинейным траекториям.

	КТЦ	ИТС
MSE_x	0.2723	0.12564
MSE_y	0.5460	0.0887
MSE_θ	0.0576	0.0557

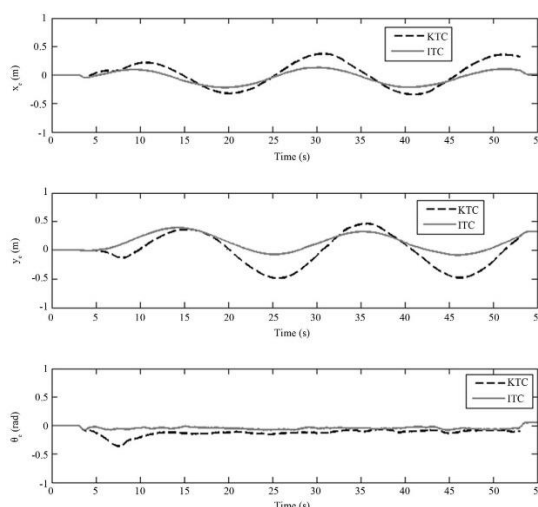


Рисунок 2. Ошибка отслеживания криволинейной траектории в инвалидной коляске с задним приводом.

5. Вывод

Представлены конструкции адаптивных нелинейных кинематических и динамических контроллеров. Кинематический контроллер учитывает разность положений между центром вращения платформы и ее центром тяжести. Кроме

того, он учитывает скорости смещения, вызванные некомпенсированной динамикой привода. Для гладких и ограниченных скоростей глобальная устойчивость и сходимости

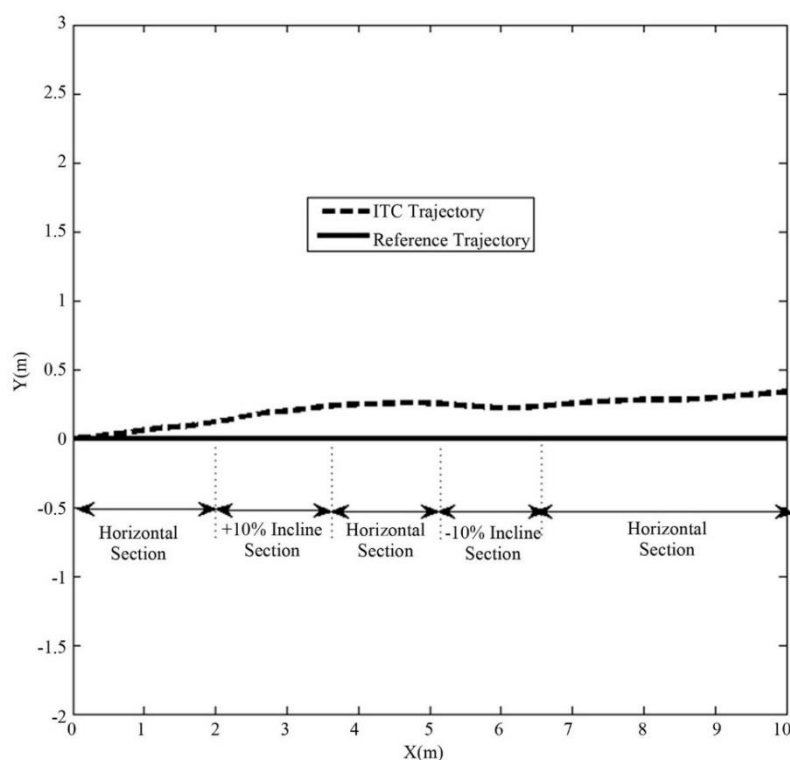


Рисунок 3. Отслеживание траектории на наклонных поверхностях.

Суссо Келувани, Кристиан Уэльет, Пол Коэн (масса и инерция). Его стабильность была установлена с помощью леммы Барбалата. Подход к проектированию контроллера, представленный в этой статье, значительно повышает производительность отслеживания траектории. Моделирование, а также сравнительные эксперименты, выполненные на инвалидной коляске с задним приводом, продемонстрировали стабильность и эффективность предложенного подхода.

Использованные источники:

1. М. Дэн, А. Иноуэ, К. Секигучи и Л. Цзян, «Двухколесное управление движением мобильного робота в динамических средах», Робототехника и компьютерно-интегрированное производство, Vol. 26, № 3, 2010, с. 268-272. [Электронный ресурс]. URL <http://dx.doi.org/10.1016/j.rcim.2009.11.005>

2. W. Yu, OY Chuy Jr., EG Collins Jr. и P. Hollis, «Анализ и экспериментальная проверка для динамического моделирования колесного транспортного средства с бортовым поворотом», IEEE Transactions on Robotics, Vol. 26, № 2, 2010, с. 340-353. [Электронный ресурс]. URL: <http://dx.doi.org/10.1109/TRO.2010.2042540>
3. D.-E. Амедда и Т. Бенмокрейн, «Сравнение классического режима «Pid» и «Sliding Mode»: контроль тяги для мобильного колесного мобильного робота», International Journal of Automation and Control, Vol. 4, № 1, 2010, с. 65-83. [Электронный ресурс]. URL: <http://dx.doi.org/10.1504/IJAAC.2010.029839>
4. Х. Ван и Г. Ли, «Управление движением и отслеживание траектории для мобильного робота через наблюдателя возмущений», WSEAS Transactions on Systems, Vol. 9, № 1, 2010, с. 31-41.
5. М. К. Бугеджа, С. Г. Фабри и Л. Камиллери, «Двойное адаптивное динамическое управление мобильными роботами с использованием нейронных сетей», IEEE Транзакции по системам, человеку и кибернетике, Часть В: Кибернетика, Vol. 39, № 1, 2009, с. 129-141. [Электронный ресурс]. URL <http://dx.doi.org/10.1109/TSMCB.2008.2002851>
6. RW Brockett, «Асимптотическая устойчивость и стабилизация обратной связи», в: RW Brockett, RS Millman и HJ Sussmann, eds., Дифференциальная геометрическая теория управления, Birkhauser, Бостон, 1983, с. 181-208.
7. Э. Ноохи, С. С. Махдави, А. Багани и М. Н. Ахмадабади, «Колесный робот для лазания на колесах: моделирование и управление», Advanced Robotics, Vol. 24, № 8-9, 2010, с. 1313-1343. [Электронный ресурс]. URL <http://dx.doi.org/10.1163/016918610X501453>