

Просмотрите обсуждения, статистику и профили авторов для этой публикации по адресу: <https://www.researchgate.net/publication/282907141>

Эволюционная оптимизация системы регулирования тягового усилия мотоциклов на основе нечеткой логики

Статья в IEEE Transactions on Fuzzy Systems · Октябрь 2015 г.

DOI: 10.1109 / TFUZZ.2014.2370681

ЦИТАТЫ

21 год

ЧИТАЕТ

338

4 автора, включая:



Хуан Кабрера

Университет Малаги

69 ПУБЛИКАЦИИ 940 ЦИТАТЫ

[СМОТРЕТЬ ПРОФИЛЬ](#)



Хуан Кастильо

Университет Малаги

36 ПУБЛИКАЦИИ 423 ЦИТАТЫ

[СМОТРЕТЬ ПРОФИЛЬ](#)



Антонио Ортис

Университет Малаги

32 ПУБЛИКАЦИИ 366 ЦИТАТЫ

[СМОТРЕТЬ ПРОФИЛЬ](#)

Некоторые из авторов этой публикации также работают над этими родственными проектами:



Project

Desarrollo de un sistema avanzado de control de tracción y frenada para motocicleta [Посмотреть проект](#)



Project

Determinación en tiempo real de las características del contacto neumático-calzada mediante algoritmos bioinspirados para la mejora de la seguridad activa en vehículos

[Посмотреть проект](#)

Эволюционная оптимизация системы регулирования тягового усилия мотоциклов на основе нечеткой логики

Кабрера Дж. А., Кастильо Дж. Дж., Карабиас Э. и Ортис А.

Абстрактный Тормозная и антипробуксовочная система основное оборудование для обеспечения безопасности транспортных средств. Первые предотвращают блокировку колес, сохраняя, по возможности, управляемость автомобиля при экстренном торможении. Вторые контролируют пробуксовку колес при приложении к ведущим колесам чрезмерного крутящего момента. Целью данной работы является разработка и внедрение новой модели управления системой контроля тяги, которая будет установлена на мотоцикле, регулирующая пробуксовку тяги и улучшающая динамические характеристики двухколесных транспортных средств. В этой статье представлен новый алгоритм контроля тяги, в котором используется блок управления с нечеткой логикой. Были выполнены две стратегии для создания блока управления. В первом параметры, которые определяют контроллер нечеткой логики, были настроены в соответствии с опытом. Во втором параметры были получены с помощью эволюционного алгоритма (EA) для разработки усовершенствованного контроллера тяги. Было доказано, что использование советника может улучшить алгоритм управления на основе нечеткой логики, получая лучшие результаты, чем те, которые были получены с управлением, настроенным только на опыте.

Индекс терминов Эволюционные вычисления, нечеткое управление, система контроля тяги, безопасность автомобиля.

I. ЯВВЕДЕНИЕ

Появление антиблокировочной тормозной системы (ABS) и антипробуксовочной системы (TCS) стало одним из важнейших достижений в области безопасности транспортных средств. Эти системы развивались с момента их появления, всегда преследуя одну и ту же цель, но с использованием все более сложных алгоритмов и сложных архитектур управления тормозом и крутящим моментом. Также постепенно стало обычным явлением находить системы, которые работают в сочетании с другими функциями безопасности.

Эти системы стали устанавливать на четырехколесные машины, гораздо сложнее разработать их для двухколесных транспортных средств.

Этот абзац первой сноски будет содержать дату, когда вы отправили свой доклад на рассмотрение. Работа частично поддержана Министерством инновационных наук Испании в рамках гранта TRA2011-23261.

Дж. А. Кабрера работает на кафедре машиностроения Университета. of Málaga, c / Doctor Ortiz Ramos s / n 29071 Málaga (ИСПАНИЯ) (телефон: 34-951952371; факс: 34-951952605; электронная почта: jcabrera @ uma.es).

Джей Джей Кастильо работает на кафедре машиностроения Университета. of Málaga, c / Doctor Ortiz Ramos s / n 29071 Málaga (ИСПАНИЯ) (телефон: 34-951952372; факс: 34-951952605; электронная почта: juancas @ uma.es).

Э. Карабиас работает на кафедре машиностроения Университета. of Málaga, c / Doctor Ortiz Ramos s / n 29071 Málaga (ИСПАНИЯ) (телефон: 34-951952381; факс: 34-951952605; электронная почта: esa @ uma.es).

А. Ортис работает с кафедры машиностроения Университета г. Малага, c / Doctor Ortiz Ramos s / n 29071 Málaga (ИСПАНИЯ) (телефон: 34-951952367; факс: 34-951952605; электронная почта: aortizf @ uma.es).

колесная техника. Однако существует большой интерес к разработке и внедрению этих систем на мотоциклах, особенно для повышения активной безопасности этих транспортных средств, как это отмечено в [1]. Хотя антиблокировочные тормозные системы широко используются в двухколесных транспортных средствах, в системах контроля тяги для мотоциклов было разработано несколько попыток. Например, в [2] предлагается система контроля тяги для спортивного мотоцикла с проводным управлением. Предлагается управление скользким режимом второго порядка. Контроллер использует положение электронной дроссельной заслонки в качестве регулирующей переменной. В [3] описана недорогая антипробуксовочная система для мотокросса и супермоторных мотоциклов. Управление осуществляется с использованием разницы в скорости между передними и задними колесами, а крутящий момент регулируется путем создания разрезов в искре зажигания. Аналогичным образом в [4] предлагается система контроля тяги, использующая нечеткое управление скользким режимом для электросамоката с колесным двигателем с прямым приводом. В другой работе обсуждается динамика проскальзывания двигателя мотоцикла, которая будет использоваться в конструкциях антипробуксовочной системы.

[5]. Наконец, полная схема взаимосвязей между элементами и параметрами, задействованными в системах регулирования тягового усилия, приведена в [6].

С другой стороны, было разработано несколько исследований по системам управления торможением для двухколесных транспортных средств. В [7] исследуется линейное регулирование пробуксовки с изменением параметров для двухколесных транспортных средств с электромеханическими тормозами передних колес. Антиблокировочная тормозная система для легких мотоциклов с использованием одноканального привода была разработана в г. [8]. Наконец, преждевременная работа над системами ABS для мотоциклов была проведена в [9].

Неотъемлемой частью систем TCS и ABS является алгоритм управления. Изучение новых алгоритмов представляет большой интерес для исследовательских групп по динамике транспортных средств, существует большое количество статей, посвященных этой теме. Из-за абсолютной секретности производителей коммерческого оборудования алгоритмы управления, с точки зрения пользователя, ведут себя как «черный ящик», который принимает угловую скорость каждого колеса и другие параметры в качестве входных данных для стабилизации и контроля тяги. необходимое действие как выход. В настоящее время разработки моделей управления в основном основаны на методах, которые позволяют адаптировать управление в различных условиях, в которых мотоциклисту приходится выполнять маневры торможения или ускорения.

Основная проблема этих систем - определение скольжения (μ) и коэффициент трения (μ), которые возникают в колесах для работы в пределах оптимальной кривой сцепления шины с дорогой (рис. 1) и, таким образом, получения соответствующего поведения при торможении и

тяговый процесс и устойчивость мотоцикла в поворотах. Кривые, связывающие коэффициент трения и скольжение в процессах тяги или торможения, аналогичны (рис. 1). Целью систем TCS и ABS является максимально возможное поддержание коэффициента скольжения в пределах оптимальной зоны управления, которая характеризуется максимально допустимым коэффициентом трения, как мы можем видеть на рис. 1. Когда коэффициент скольжения превышает скольжение, которое производит При максимальном коэффициенте трения продольные и поперечные силы в шинах резко снижаются. Одним из препятствий в разработке надежных систем TCS и ABS традиционно была оценка в реальном времени характеристик проскальзывания колес в зависимости от коэффициента сцепления для различных типов шин и условий дорожного покрытия [10–12].

Разница между TCS и ABS заключается в динамике процесса управления. Первый использует тормозной момент как управляющую переменную, а второй – тяговый момент. Некоторые TCS могут также использовать задний тормозной и тяговый момент для увеличения времени отклика системы. В этой статье мы сосредоточимся на TCS, поскольку динамика управляющих переменных отличается от ABS и менее изучена в библиографии.

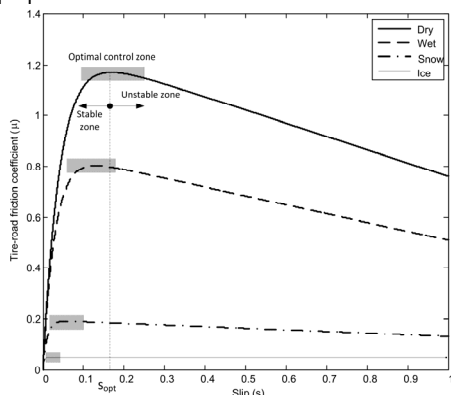


Рис. 1. Кривые коэффициента трения.

После того, как требуемые параметры динамики были получены, еще одним важным аспектом в системах TCS мотоцикла является выполнение управления крутящим моментом, прилагаемым к заднему колесу, для поддержания усилия на заднем колесе на максимальном значении. Среди новых методов управления тяговым процессом – методы управления, основанные на скользящем управлении [2] и нечеткой логике. [3] [4] следует отметить.

Есть много работ, связанных с нечетким управлением торможением и тягой в транспортных средствах. Использование нечеткой логики в автомобильных системах весьма успешно благодаря простоте разработки и надежности управления [11–14]. Фактически, в [15] нечеткая логика рассматривается как одна из возможностей улучшения систем контроля тяги. Целью данной работы является оптимизация функции принадлежности лингвистических переменных и правил «если-то» в нечеткой логике контроля тяги. Процесс оптимизации будет осуществляться с помощью генетического алгоритма, а полученные результаты будут сравниваться с системой контроля тяги, ранее разработанной на основе опыта.

Следует отметить, что некоторые исследователи использовали эволюционные методы для оптимизации нечеткого управления. Сложность использования генетических алгоритмов в оптимизации нечетких блоков заключается в применении генетических операторов к

функции принадлежности. Процессы кроссовера и мутации функций принадлежности могут привести к появлению множества недееспособных людей. Обычно для решения этой проблемы накладываются ограничения на процесс эволюции, что ограничивает поисковые возможности алгоритмов. Например, в [16] указываются текущие рамки и новые тенденции в генетических нечетких системах. Они показывают, что в настоящее время растет интерес к дополнению нечетких систем возможностями обучения и адаптации. Эволюционные алгоритмы – один из наиболее успешных подходов к получению нечетких систем с такими качествами. В [17] генетический алгоритм используется для изучения логических правил и функций принадлежности в контроллере нечеткой логики. Полученный контроллер подтвержден теоретической моделью, следующей за автомобилем.

В целом, ранее предложенные методы оптимизируют правила и функции принадлежности, накладывая на последние определенные ограничения. В этой статье представлен новый метод нечеткой оптимизации, который оптимизирует как функции принадлежности, так и правила практически без ограничений в пространстве поиска.

Следовательно, в этой статье разработана новая нечеткая система контроля тяги с использованием эволюционного алгоритма для ее оптимизации. Все компоненты новой модели управления представлены в разделе 2. Блок управления с нечеткой логикой, основанный на опыте, разработан в разделе 3. Раздел 4 представляет систему управления, оптимизированную с помощью генетических алгоритмов. В Раздел 5 включены результаты моделирования. Наконец, выводы сделаны в разделе 6.

II. CONTROL MODEL BY FUZZY LOGIC

Одна из самых важных переменных в процессах тяги мотоцикла – это продольная сила заднего колеса, F_{x2} . В продольная сила должна быть как можно большей для достижения максимального ускорения. Эта сила пропорциональна вертикальной нагрузке на заднее колесо. Скор пропорциональности называется коэффициентом трения и обозначается.

(1)

При высоком ускорении в шине увеличивается проскальзывание колеса от дороги. Это явление измеряется параметром, называемым продольным скольжением.

1 — (2)

Существование продольная скорость мотоцикла, V
угловая скорость заднего колеса и r радиус заднего колеса.

Коэффициент трения дороги) зависит от скольжения и поверхность (рис. 1). Контроллер должен максимально поддерживать скольжение в области, в которой коэффициент адгезии является самым высоким для любой поверхности. Существует несколько уравнений для выражения взаимосвязи между коэффициентом трения и скольжением для различных условий дорожного покрытия, скоростей, давления и т. Д., Таких как «Волшебная формула» Паццейки [19] и модель Буркхардта [20], как показано на рис.1.

На рис. 2 блок-схема показывает взаимосвязь между элементами, которые были разработаны для предложенного

система контроля тяги. В данной статье рассматривается блок управления (рис. 2 (4)), на котором осуществляется регулирование. Однако включено краткое объяснение эффективности блоков оценки параметров и оптимального скольжения.

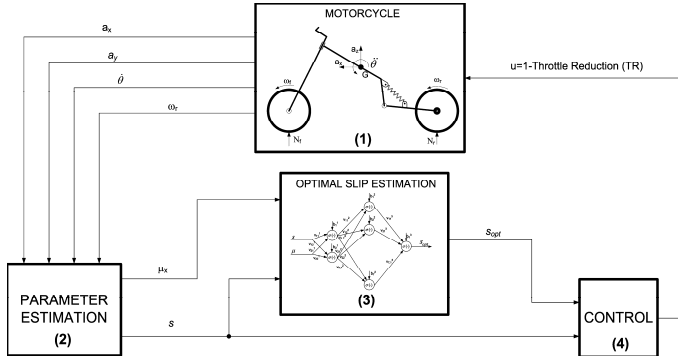


Рис. 2. Блок-схема антипробуксовочной системы.

Для этой работы продольное и вертикальное ускорение ($a_{Икс}$, a_z), тангажа (ϕ) и угловой скорости заднего колеса ($\dot{\phi}$) принадлежащий мотоцикл - это измерения в нашей системе контроля тяги. Эти переменные используются для получения коэффициента скольжения и трения с использованием расширенного фильтра Калмана (ЕКФ). Алгоритм оценки параметров использует продольно-вертикальную модель мотоцикла с тремя степенями свободы для моделирования движения транспортного средства по прямой (рис. 3).

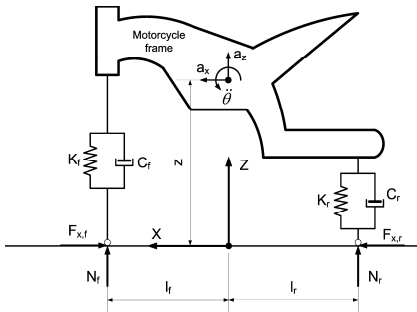


Рис. 3. Модель мотоцикла.

Модель, используемая для оценок, получена из уравнений динамики твердого тела. Вот эти уравнения:

$$\begin{aligned} M \ddot{x} &= F_{x,l} + F_{x,r} \\ M \ddot{z} &= N_r - N_l \\ I_r \ddot{\phi} &= -N_r l_r + N_l l_f \end{aligned} \tag{3}$$
$$\begin{aligned} M \ddot{\phi} &= -\dot{\phi}^2 x - \dot{\phi}^2 z \\ M \ddot{\theta} &= -\dot{\theta}^2 x - \dot{\theta}^2 z \end{aligned} \tag{4}$$
$$\begin{aligned} \dot{x} &= v_x \\ \dot{z} &= v_z \\ \dot{\phi} &= \omega_\phi \\ \dot{\theta} &= \omega_\theta \end{aligned} \tag{5}$$

Где M - масса мотоцикла, продольное ускорение и скорость соответственно, $\dot{\phi}$ - тангаж, $\dot{\theta}$ - вертикальное ускорение, скорость и смещение, ϕ - тангаж, θ - крен, $F_{x,l}$ - продольная сила на заднее колесо (уравнение 1), $F_{x,r}$ - продольная сила на переднее колесо, N_r - это сила сопротивления качению и C - коэффициент аэродинамического сопротивления. N_l и N_r - вертикальная нагрузка на переднюю и заднее колесо соответственно, момент инерции относительно ось тангажа, проходящая через центр масс. Наконец, и l_r и l_f - это расстояния от центра масс до переднего и заднего колес соответственно. Сила сопротивления качению учитывалась следующим образом:

Где μ_x и μ_y являются константами. (6)

Блок оценки параметров на основе ЕКФ (расширенного фильтра Калмана) используется для получения оценки продольной скорости и других параметров, необходимых для определения коэффициента скольжения и сцепления шины с дорогой. ЕКФ предполагает следующую систему.

$$\dot{a} = Aa + Bu + w$$
$$z = Ca + v$$
 (7)

$$a = \begin{bmatrix} v_x \\ v_z \\ \phi \\ \theta \end{bmatrix}$$
 (8)

Где w и v переменные представляют шум в модели и наблюдения соответственно, a - вектор переменных состояния, z - вектор измерения.

Для выполнения оценки необходимо использовать динамические уравнения наших переменных состояния и уравнения, которые связывают меры с переменными. Вектор переменных состояния является a , а вектор измерения равен z .

Динамическая модель, известная как первый порядок "случайная прогулка" был использован для оценки сил $F_{x,l}$, N_r , а также N_l . [21]. Конечно-разностное уравнение продольной динамики мотоцикла было использовано для оценки продольной скорости мотоцикла, $v_{Икс}$. Следовательно, динамические уравнения переменных вектора состояния выглядят следующим образом:

$$\begin{bmatrix} v_x \\ v_z \\ \phi \\ \theta \end{bmatrix}_{k+1} = \begin{bmatrix} 1 & \Delta t & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \Delta t \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_x \\ v_z \\ \phi \\ \theta \end{bmatrix}_k + \begin{bmatrix} \Delta t \\ \Delta t^2/2 \\ \Delta t \\ \Delta t^2/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_{Икс} \\ a_z \\ \dot{\phi} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix}_k$$
 (9)

Уравнения дискретной модели связывают меры с вектором переменных состояния.

$$z_k = \begin{bmatrix} F_{x,l} \\ F_{x,r} \\ N_r \\ N_l \end{bmatrix}_k$$
 (10)

Следовательно, алгоритм ЕКФ оценивает вертикальные силы, продольные силы и скорость. Используя эти оценочные значения, мы можем получить коэффициент скольжения и трения на каждом временном шаге.

$$s = \frac{v_x}{v_{Икс}}$$
 (11)

$$\mu_x = \frac{F_{x,l}}{N_r}$$
 (12)

После того, как мы оценили промах (s) и коэффициента трения (μ_x), блок нечеткой нейронной сети используется для получения оптимальное скольжение ($s_{выбрать}$), т. е. скольжение, при котором коэффициент трения является максимальным для этой поверхности (см. рис. 1). Этот этап включен в блок номер 3 на рис.2.

Для этого на первом этапе рассчитывается тип дороги. На этом этапе мы используем блок нечеткой логики идентификации. Этот блок подробно объясняется в [11]. Затем выход блока идентификации нечеткой логики используется для получения оптимального скольжения (*S_{выбрать}*). Предложенная нами нейронная сеть состоит из трех слоев. Функции активации для первых двух слоев относятся к типу «Симметричный сигмоид», а для последнего слоя - к типу «Линейный». Входными данными нейронной сети являются: тип дороги, коэффициент сцепления () и проскальзывание (), а выходными данными - число, указывающее оптимальное скольжение () дороги на дороге. мотоцикл движется дальше. Чтобы узнать соответствующие веса и смещения, проводится обучение нейронной сети. Для этого потребуется ряд типов дороги, коэффициента сцепления и значений скольжения, для которых известно оптимальное скольжение. Веса и смещения настраиваются на основе этих входных значений.

Таким образом, входами в предлагаемый нами блок управления являются расчетное скольжение (*S*) и оптимальное скольжение (*S_{выбрать}*), а на выходе - редукция дроссельной заслонки (*TR*).

Цель этой работы - разработать этот нечеткий блок управления с помощью опыта и сравнить его с расширенным контроллером для повышения производительности предлагаемой TCS. Для управления нелинейными системами используются методы управления, основанные на нечеткой логике.

Процессы нечеткой логики относительно легко реализовать, поэтому использование этого метода все шире. Кроме того, операция по управлению процессом похожа на интуицию человека и позволяет внедрить знания эксперта. Мы должны учитывать, что процесс, над которым мы работаем, нелинейный и очень сложный. Это связано с тем, что система контроля тяги выполняет уменьшение крутящего момента на заднем колесе или уменьшение дроссельной заслонки и, следовательно, уменьшение пробуксовки. Однако даже когда доступны сложные модели, они не включают все факторы, влияющие на взаимосвязь между срабатыванием и изменением скольжения, поэтому мы должны опираться на знания.

Наше нечеткое управление будет блоком (рис. 4), входами которого являются разность между скольжением и оптимальным скольжением (*ошибка*) и как модифицируется ошибка (*деррор*). На выходе блока значение от 0 до 1 соответствует уменьшению дроссельной заслонки (*TR*), хотя срабатывание в мотоцикле: $u(t) = 1 - TR(t)$ (рис. 2), то есть, когда выходной сигнал блока нечеткого управления равен 0, то дроссельная заслонка мотоцикла заполнена и равна нулю, когда выходной сигнал блока нечеткого управления равен 1, поэтому система управления может ускоряться или замедляться в зависимости от уменьшения газа.

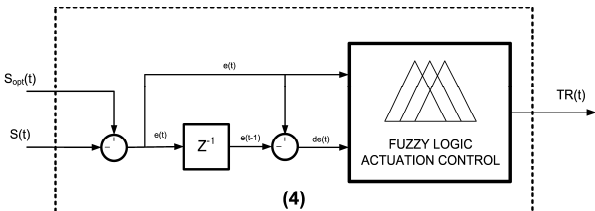


Рис. 4. Блок-схема управления срабатыванием нечеткой логики.

Для предлагаемой системы управления входные параметры показаны в следующих уравнениях: расчетное скольжение и оптимальное скольжение.

(13)

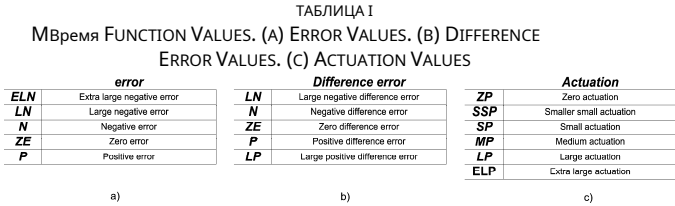
(14)

Уравнение (13) определяет ошибку между оптимальным скольжением, полученным на основе типа дороги, и расчетным скольжением. Ошибка используется, чтобы узнать, находится ли система в стабильной или нестабильной зоне и насколько далеко управление от оптимального. Уравнение (14) определяет разницу ошибок, разницу между ошибкой и ошибкой в предыдущий момент. Переменная разности ошибок указывает на динамику системы. Диапазон ошибок варьируется от [-1; 1], учитывая тот факт, что скольжение варьируется от [0; 1], и поэтому разница в ошибках будет между [-2; 2]. Фактически, если учесть, что оптимальное скольжение меньше 0,2 (рис. 1), диапазон погрешности составляет [-1; 0,2]. По опыту диапазон разницы ошибок можно уменьшить до [-0,4; 0,4]. Выходной сигнал системы будет иметь значение от 0 до 1, равное 0, когда приведение в действие не требуется (нулевой процент уменьшения газа, то есть мотоцикл продолжает тянуть дроссель), и 1 максимальное срабатывание (сто процентное уменьшение газа, то есть, регулятор отключает газ).

После определения входных и выходных переменных мы должны учитывать, что система контроля тяги не должна работать все время. TCS должен сработать только тогда, когда разница между скоростью переднего и заднего колес превышает предварительно определенное значение.

III. CONTROL BASED ON EXPERIENCE

В этом разделе мы описываем контроллер нечеткой логики, который будет использоваться в TCS, настроенный на основе опыта. Функции принадлежности основаны на знаниях опытного оператора, т. Е. наших знаниях о том, как срабатывание приводит к изменениям скольжения. Функции принадлежности для установленных параметров показаны на рис. 5. Как мы видим, функции принадлежности являются треугольными и трапециевидными. Значения для каждой из переменных отражены в таблице I.



В нашей системе вывода правила имеют только оператор and, который определен в [22], а метод центроида использовался на этапе дефаззификации [22-23].

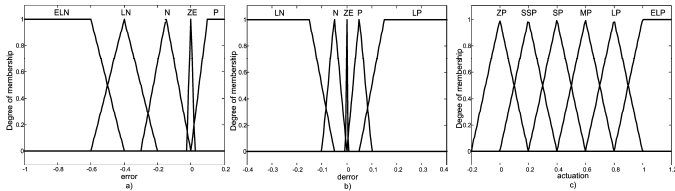


Рис. 5. На основе опыта функции принадлежности. (а) Ввод ошибки. (б) Деррор Вход. (с) Выходной сигнал срабатывания

Следует отметить, что функции принадлежности для

Входная переменная ошибки не симметрична относительно оси Y . Это связано с тем, что оптимальное скольжение не достигает значения более 0,05-0,2, поэтому, согласно уравнению (13), разница между оптимальным скольжением, $s_{\text{выбрать}}(T)$, и промах в тот момент, $s(t)$, может варьироваться только от -0,2 до 0,85. Следовательно, отрицательные значения ошибки будут выше положительных. Однако функции принадлежности к разностным ошибкам являются симметричными, поскольку их диапазон симметричен. Наконец, замечено, что функции принадлежности с нулевым срабатыванием могут принимать значения меньше нуля, что связано с тем, как мы используем метод центроида. Следовательно, существует комбинация входов, центр тяжести которых равен нулю, а выход может принимать нулевое значение. Нечто подобное происходит с максимальным срабатыванием.

После того, как входные и выходные переменные установлены, проводится исследование поведения, требуемого для управления, чтобы определить правила, которые им управляют. Для установления правил управления устанавливаются шесть дифференцированных случаев поведения входных переменных (см. Рис. 6).

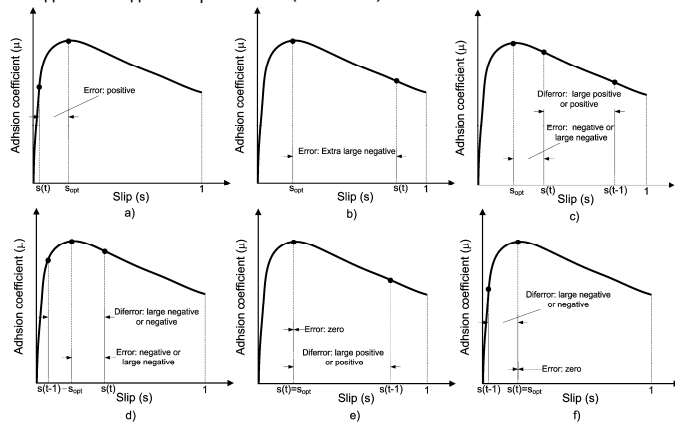


Рис. 6. Ошибка и поведение разницы между ошибками. (a) Положительная ошибка. (b) Сверхбольшая отрицательная ошибка. (c) Отрицательная ошибка и положительная разница ошибок. (d) отрицательная ошибка и отрицательная разница ошибок. (e) Нулевая ошибка и положительная ошибка. (f) Нулевая ошибка и отрицательная разница ошибок.

В первом случае, как видно на рис. 6а, ошибка положительная, и срабатывание будет нулевым (без изменения положения дроссельной заслонки), потому что мы находимся в той части кривой, где мы не достигли оптимального скольжения. Во втором случае (рис. 6b) ошибка является очень большой отрицательной, что означает, что колесо буксует или вот-вот занесет, поэтому мы должны выполнить очень сильное срабатывание или уменьшение дроссельной заслонки. Это два простейших случая для установления правил. Для следующих правил мы должны учитывать разницу в совершенной ошибке. Эти правила определяют поведение, когда мы приближаемся к оптимальному скольжению, то есть когда ошибка равна нулю или когда оптимальное скольжение было незначительно превышено.

Сначала мы установим правила, когда ошибка отрицательная или большая отрицательная. Другими словами, мы превысили предел оптимального скольжения. Чтобы установить правила, мы будем соблюдать рис. 6с-6d.

На рис. 6с ошибка отрицательная или большая отрицательная, а ошибка разности положительная. В этом случае ошибка была больше в предыдущий момент, чем существующая ошибка в этот момент времени. Это означает, что мы исходим из ситуации сильного уменьшения положения дроссельной заслонки и уменьшаем пробуксовку,

это означает, что мы должны перейти на более низкий процент уменьшения дроссельной заслонки в зависимости от того, является ли ошибка большой отрицательной или отрицательной. Если проскальзывание в предыдущий момент такое же, как в этот момент, то есть разница ошибок равна нулю, мы будем поддерживать очень высокий процент снижения газа. Это потому, что нам нужно быстрее уменьшать скольжение.

На рис. 6d показан случай, когда ошибка продолжает быть большой отрицательной или отрицательной, а разница ошибок также отрицательна. В этом случае, в предыдущий момент мы были в зоне, где мы не превысили оптимальное скольжение или мы превысили его, но меньше, чем в текущий момент, поэтому мы применяем нулевое уменьшение дроссельной заслонки, что означает, что если мы превысили оптимальное скольжение больше в настоящее время мы должны увеличить редукцию дроссельной заслонки.

Далее мы установим правила для случая, когда зафиксированная ошибка равна нулю, то есть когда промах в этот момент времени равен оптимальному промаху. Это показано на рис. 6е-6f.

В первом случае, когда ошибка равна нулю и скольжение в предыдущий момент было выше оптимального (рис. 6е), то есть разница ошибок была положительной, то происходит то же самое, что и в предыдущем случае, показанном на рис. 6е. Другими словами, мы были в ситуации, когда уменьшение дроссельной заслонки было большим, и нам удалось уменьшить скольжение, поэтому мы перейдем к более низкому проценту уменьшения дроссельной заслонки, но со значением, которое меньше, чем в случае отрицательной ошибки. Если проскальзывание в предыдущий момент также было оптимальным, тогда мы сохраним нулевое процентное снижение дроссельной заслонки.

Наконец, когда ошибка равна нулю, а проскальзывание в предыдущий момент было ниже предела проскальзывания (рис. 6f), это означает, что мы были в ситуации, когда уменьшение дроссельной заслонки было нулевым, и нам удалось увеличить проскальзывание, поэтому необходимо увеличить редукцию дроссельной заслонки, чтобы избежать неустойчивости системы.

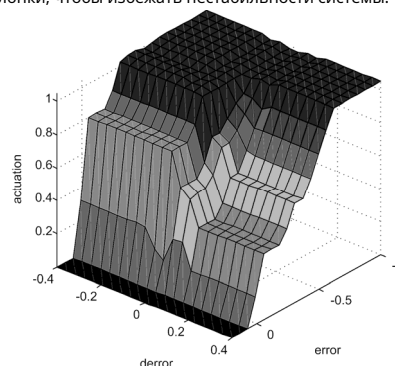


Рис. 7.- Поверхность срабатывания

ТАБЛИЦА II.
ФУЗЗЫ CONTROL RULES
diferror

	LN	N	ZE	P	LP
ELN	ELP	ELP	ELP	ELP	ELP
LN	ELP	ELP	ELP	LP	MP
N	LP	LP	LP	MP	SP
ZE	SP	SSP	ZP	SP	SSP
P	ZP	ZP	ZP	ZP	ZP

После объяснения различных состояний можно установить правила нечеткого контроллера, основанные на опыте.

(см. Таблицу II). Поверхность, которую генерирует система вывода, показана далее (см. Рис. 7).

Работоспособность этого управления подтверждается моделированием, но стабильность теоретически не гарантируется. Оценка устойчивости и устойчивости включена в приложение А.

IV. CONTROL BASED ON ОПТИМИЗАЦИЯ

Как мы видели в предыдущем разделе, разработка нечеткого элемента управления на основе опыта требует огромных знаний о процессе, которым мы должны управлять, и мы должны проводить моделирование и тесты для улучшения и соответствия производительности управления. Необходимо принять важные решения относительно определения входных и выходных переменных, разделения входного и выходного пространства, формы функций принадлежности и метода рассуждений. Эволюционные алгоритмы могут реализовать эту задачу автоматически, хотя они не могут гарантировать, что найденное решение будет оптимальным. Однако это решение может удовлетворить потребности пользователя, не требуя особого понимания проблемы. В этом разделе представлен блок нечеткой логики, функции и правила которого были оптимизированы эволюционными алгоритмами.

В этой работе мы предлагаем метод оптимизации, который оптимизирует правила и функции принадлежности. Нечеткий блок определяется функциями принадлежности для каждой входной и выходной переменных и методом рассуждений (правила и их веса). В нашем случае функции принадлежности для входных переменных ошибки и разности ошибок представляют собой пять треугольных функций и шесть треугольных функций для выходной переменной срабатывания. Правила возникли, когда мы объединили пять функций входных переменных. Правила с одним антецедентом недопустимы, поэтому у нас 25 правил. Следствие каждого правила является функцией выходной переменной.

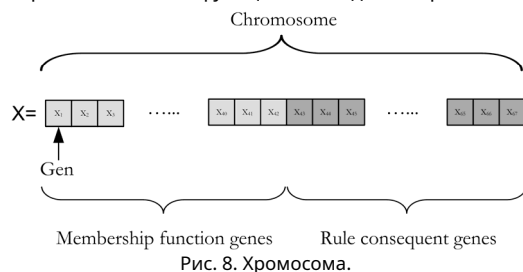


Рис. 8. Хромосома.

Следовательно, полное количество параметров для оптимизации равно 67. Для определения функций и правил принадлежности нам нужно 42 и 25 параметров соответственно. Из-за этого хромосома разделена на два дифференцированных участка, как показано на рис. 8. В первом разделе собраны репрезентативные значения, которые определяют функции принадлежности. Эти значения являются действительными числами. Второй воспроизводит следствие правил. Следовательно, каждый ген этого раздела представляет собой целое число от [0,6], где 0 означает исключение правил, а другие числа указывают на включение правил в одну из шести функций принадлежности выходной переменной.

Схема алгоритма оптимизации представлена на рис. 9. Первым шагом в алгоритме является случайное создание начальной популяции. Как мы указывали выше, хромосома или особь популяции состоит из 67

генов. Первые 42 гена соответствуют определениям функций принадлежности (см. Рис. 8). Переменные ошибки и разности ошибок состоят из пяти треугольных функций принадлежности, а переменные срабатывания - из шести. Следовательно, чтобы определить границы каждой функции принадлежности, нам нужно 13 генов для переменных ошибок и разностей ошибок и 16 генов для переменных срабатывания, как показано на рис.10.

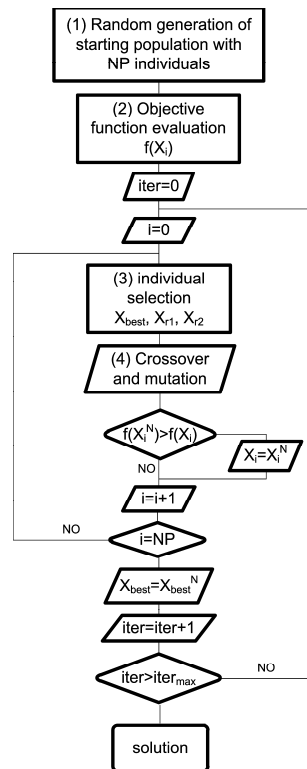


Рис. 9. Генетический алгоритм.

Два гена из группы генов определяют ранг каждой переменной, наименьший и наивысший, а остальные сортируются между этими пределами от наименьшего к наибольшему, поэтому первый ген представляет нижний предел первой функции принадлежности каждой переменной. переменная, а последний ген представляет верхний предел последней функции принадлежности. Остальные гены - это оставшиеся границы функций принадлежности (см. Рисунок 10).

Этот метод определения функций принадлежности гарантирует, что все значения входных и выходных переменных возбуждают по крайней мере одну функцию принадлежности.

$$X_{error} = [X_{r1} \quad X_{r2} \quad \dots \quad X_{r13}] = [-1 \quad -0.9 \quad -0.7 \quad -0.5 \quad -0.4 \quad -0.2 \quad 0 \quad 0.2 \quad 0.4 \quad 0.5 \quad 0.8 \quad 0.9 \quad 1]$$

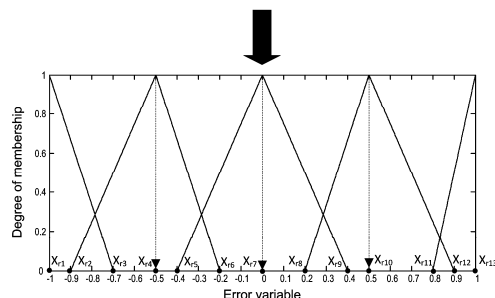


Рис. 10. Пример сгенерированной функции принадлежности.

Однажды начальная популяция *НП* отдельных людей, он может развиваться в новые популяции, в которых его члены найдут лучшее решение проблемы. Для выполнения этого процесса эволюционный алгоритм должен итеративно выполнять операции отбора, воспроизводства, мутации и оценки с компонентами популяции. Эти операции реализуются иначе, чем функции и правила принадлежности.

Второй шаг в нашем алгоритме - оценка целевой функции. Как объяснялось выше, каждый из элементов нашей популяции (хромосома) будет представлять собой блок контроля тяги. Целевая функция - максимально увеличить расстояние, пройденное мотоциклом за 2 секунды моделирования. Модель мотоцикла, описанная в разделе II, используется для получения измерений, необходимых для блока управления, и пройденного расстояния. Кроме того, мы включаем следующее уравнение, моделирующее заднее колесо:

$$J \ddot{\theta} + p \dot{\theta} = T \quad (15)$$

Где J , p - также p - инерционный момент, угловая скорость и радиус заднего колеса соответственно. T крутящий момент, который определяется как:

$$T = \frac{1}{1 + \frac{1}{\eta} \frac{1}{T_e} \frac{1}{\omega_e}} \quad (16)$$

Где T_e - постоянная времени, используемая для моделирования переходного периода при включенном двигателе. K передаточное отношение, η эффективность передачи и T_e крутящий момент двигателя. Крутящий момент двигателя получается из кривой мощности мотоцикла в зависимости от оборотов двигателя (ω_e), положение дроссельной заслонки, ($u(t)$) и включенной передачи (*механизм*). Схема процесса оптимизации представлена на рис.11.

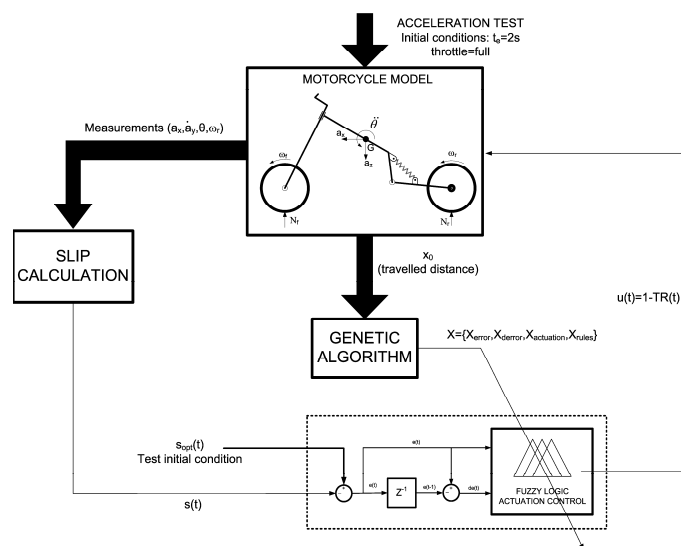


Рис. 11. Схема процесса оптимизации и оценки цели. функция.

После того, как нечеткое управление оптимизировано, более точное моделирование выполняется с помощью хорошо известного программного обеспечения для динамических мотоциклов под названием BikeSim®. Модель мотоцикла, используемая программой Bikesim®, полностью задокументирована в [24], а справочный материал - в [25]. Программное обеспечение Bikesim® можно интегрировать в Simulink®, поэтому мы используем нечеткую логику.

набор инструментов Simulink® и гибкость Matlab® для программирования алгоритма управления. Целевая функция показана в уравнении (21), где *расстояние* Функция вычисляет расстояние, пройденное мотоциклом через модель мотоцикла.

Максимум

(21)

Третий шаг - индивидуальный отбор для размножения. В этой работе мы используем схему, известную как дифференциальная эволюция.

[26]. В этой схеме отбор особей для размножения осуществляется следующим образом: одним из родителей является особь текущего населения (X_i). Чтобы сгенерировать другого родителя, называемого родителем, лучший член текущего Population (X_{best}) и два случайно выбранных члена (X_r и X_s) выбираются и комбинируются согласно уравнению (22). Где Δ измеряет отклонение от лучшего члена.

(22)

Следующий шаг в алгоритме - кроссовер и мутация. В операторе кроссовера два родителя (X_i и X_{best}) выбранные для воспроизводства произвести новое потомство ($X_{i,N}$). В процесс кроссовера, гены родителей и меняются местами с вероятностью (p_c) (рис. 12).

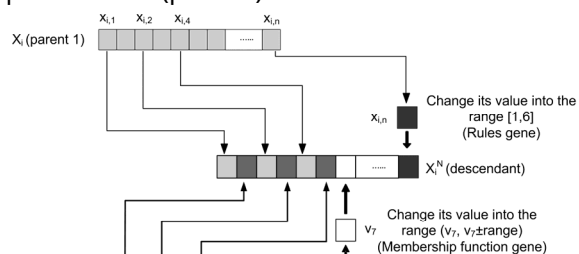


Рис. 12. Оператор кроссовера и мутации.

Одновременно с размножением проводится операторная мутация. Мутация - это оператор, состоящий в случайном изменении гена во время размножения. В исходном алгоритме дифференциальной эволюции [26] оператор мутации не вводился.

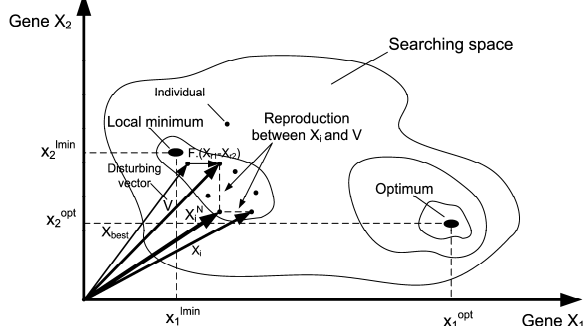


Рис. 13. Дифференциальная эволюция без процедуры мутации.

В данной работе разработана новая процедура мутации оптимизируемых параметров. Мы убедились, что эта процедура является фундаментальной для получения оптимума, когда значения диапазона параметров сильно различаются. Мутация

процедура изменяет только некоторые из этих параметров, позволяя найти правильный оптимум и не останавливаться в локальном минимуме.

Эта проблема была названа застоем в работе Лампинена [27], и она показана на рис. 13.

Вся процедура получения нового потомка в исходном алгоритме дифференциальной эволюции показана на рис. 13. В этом случае есть два разных параметра (гена), и оптимум имеет очень разные значения для этих двух параметров. Как вы можете видеть на рис.13, чтобы получить нового потомка, $Икс N$ я, оператор воспроизводства берет ген $Икс1$ от родителей V а также $Икс2$ форма $Икс я$. Новый потомок кажется хуже чем $Икс я$ потому что расстояние до глобального оптимума больше, но алгоритм не отклоняет его, потому что он имеет лучшее значение целевой функции, поскольку он ближе к локальному минимуму. В этом случае, V а также $Икс я$ пара генерирует $Икс N$ ПОТОМОК, НО ЭТО новая хромосома может не достичь глобального минимума из-за того, что абсолютные значения генов, составляющих ее, сильно различаются, а операции отбора плюс воспроизводства не могут самостоятельно создать нового потомка, чтобы преодолеть долину локального минимума. .

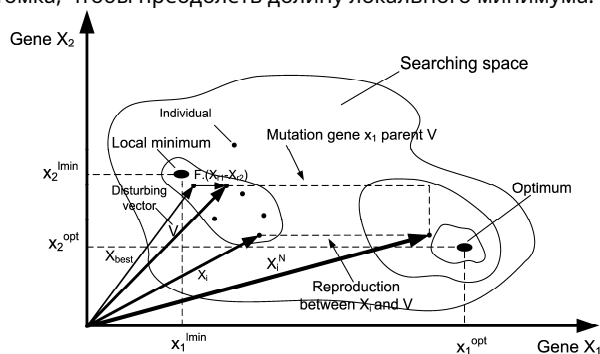


Рис. 14. Дифференциальная эволюция с процедурой мутации.

С помощью процедуры мутации можно решить описанную ранее проблему. Генерация нового потомка с помощью процедуры мутации схематически изображена на рис. 14. Здесь значение одного или нескольких генов V а также $Икс я$ пара изменяется в диапазоне, определяемом пользователем при воспроизведении происходит. Этот факт дает нового потомка, $Икс N$ я, у которого есть другой фитнес от $Икс N$ я потомок учился в предыдущий случай. Это позволяет алгоритму искать людей с более высокой физической подготовкой в следующем поколении. В этой работе мутация определяется следующим образом: в зависимости от вероятности мутации, гены каждого родителя могут быть выбраны для мутации, например, если ген $Икс я$ мутирует и принадлежит генам функции принадлежности ($p \in [1, 42]$) оператор случайным образом выбирает значение из интервала реальных значений ($Икс я$, $Икс я \pm \text{диапазон}$), который добавляется или вычитается из $Икс я$, в зависимости от направления мутации. Но если ген $Икс я$ принадлежит к генам правил ($p \in [43, 67]$), то оператор случайным образом выбирает целое значение от 1 до 6. Мутация выполняется с вероятностью, определяемой как $Депутат$ $[0, 1]$, намного ниже, чем CP . Принцип работы оператора воспроизводства и мутации показан на рис.12.

Поэтому, когда операции выполнены, у нас есть новый элемент. Этот новый человек мог бы заменить его родитель $Икс я$, т. е. если после скрещивания и мутации потомок

() лучше, чем потомок заменяет родителя в новой популяции. Следовательно, новое население не увеличивается и не уменьшается.

(23)

После того, как алгоритм оптимизации был описан, в следующем разделе мы получим оптимизированный блок контроля тяги в различных тестах на ускорение и сравниваем результаты с контролем тяги, основанным на опыте, и с мотоциклом без контроля тяги.

В. ОПТИМИЗАЦИЯ RESULTS

Оптимизация и моделирование были выполнены с использованием различных поверхностей. BikeSim® определяет поверхности с параметром, связанным с его сцеплением. Для лучшего понимания и интерпретации на рис. 15 показаны аппроксимированные кривые сцепления в зависимости от продольного скольжения для различных значений этого параметра. Эти кривые являются приблизительными, поскольку реальное сцепление с дорогой зависит, среди прочего, от скорости, угла скольжения или типа шины.

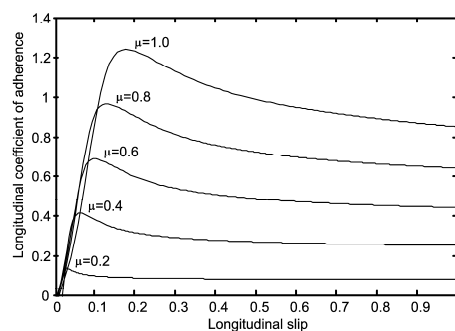
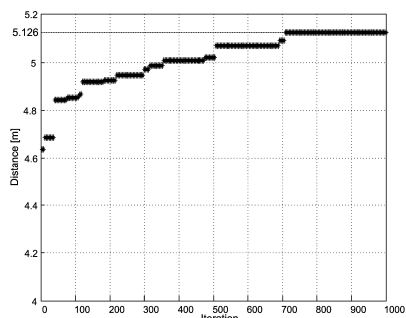


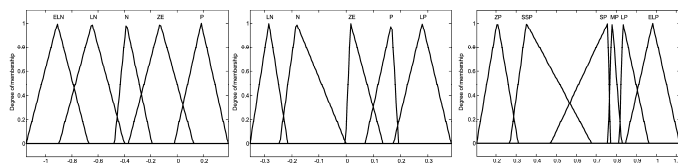
Рис. 15. Продольные кривые сцепления в BikeSim®

Первый нечеткий контроль был оптимизирован для очень скользкой поверхности, определяемой как 4 Дорога. В этом случае Используемый тест на запрограммированное ускорение имеет следующие начальные условия: Используемая модель мотоцикла представляет собой мотоцикл спортивного гоночного стиля с цепным приводом. Более важные значения геометрических параметров можно найти в Приложении В. Параметры моделирования следующие: начальная скорость мотоцикла, $Икс(0) = 0$ м / с, полный газ в течение всего теста, муфта полностью включается через 0,1 с. и время моделирования, $T_s = 2$ секунды. Время моделирования устанавливается таким образом, потому что моделирование требует много времени, а пробуксовка между колесом и дорогой выше в начальные моменты. Целью оптимизированного контроля тяги является выполнение соответствующих сокращений дроссельной заслонки для получения максимального пройденного расстояния. Параметры генетического алгоритма: особи в популяции $NP = 20$, вероятность кроссовера $CP = 0,4$, вероятность мутации $Депутат = 0,1$, параметр возмущения $F = 0,6$ и количество итераций $iter = 1000$.

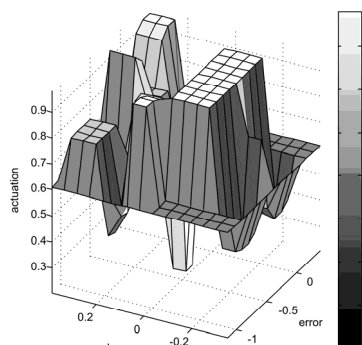
Изменение пройденного расстояния для лучшего человека показано на рис. 16. Как видно, целевая функция изменяется очень быстро в первые 500 итераций и более плавно в следующих итерациях. Максимальное расстояние, достигаемое через 2 секунды моделирования, составляет 5,126 метра.

Рис. 16. Итерационный процесс оптимизации для дороги $\mu = 0,4$.

Оптимизированные функции принадлежности выходных и входных переменных показаны на рисунке 17. Алгоритм оптимизации не имеет ограничений для определения границ входных и выходных переменных, но, как мы можем видеть на рисунке 17, пределы переменных очень велики. аналогично контролю, основанному на опыте.

Рис. 17. Оптимизированные функции принадлежности для дороги с $\mu = 0,4$. (а) Ввод ошибки. (б) Ввод ошибки. (с) Выходной сигнал срабатывания

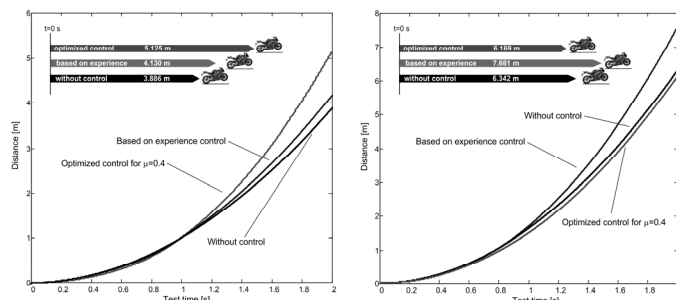
Наконец, правила показаны в Таблице III. В этом случае количество действующих правил 18, что меньше, чем в контроле по опыту. Панель управления представлена на рис.18.

Рис. 18. Поверхность срабатывания для дороги $\mu = 0,4$ ТАБЛИЦА III
OPTIMIZED RULES для road $\mu = 0,4$
diferror

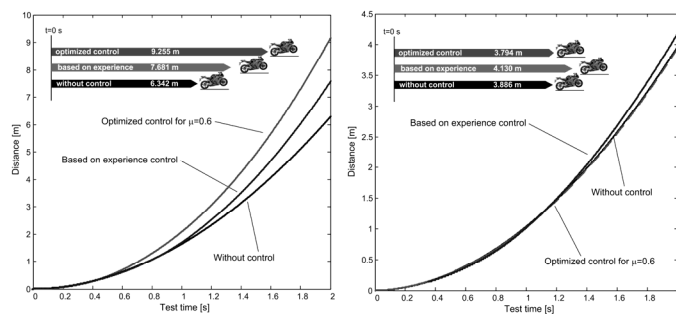
	LN	N	ZE	P	LP
ELN			ELP	SSP	MP
LN	SSP	ELP	LP	LP	
N	MP	ELP	ZP	MP	ELP
ZE	SSP	ELP			MP
P			SP	SP	ELP

Чтобы сравнить характеристики оптимизированного управления, мы проводим тот же тест на ускорение на дорогах с $\mu = 0,4$ и $\mu = 0,6$. Результаты показаны на рис. 19. Как и ожидалось, оптимизированное управление значительно лучше, чем управление, основанное на опыте, и мотоцикл без контроля тяги, когда

дорога $\mu = 0,4$ (рис. 19а), но когда $\mu = 0,6$, скользкая дорога, управление, основанное на опыте, является лучшим контролем, а оптимизированное управление не работает эффективно (рис. 19б). Это связано с тем, что оптимизированное управление было обучено только для дорог с $\mu = 0,4$, и оно специализируется на этом типе покрытия, что снижает его эффективность при тестировании на других дорогах.

Рис. 19. (а) Оптимизированное управление для дороги с $\mu = 0,4$, идущей по дороге с $\mu = 0,4$. (б)Оптимизированное управление для дороги с $\mu = 0,4$, движущейся по дороге с $\mu = 0,6$.

Тот же вывод, к которому мы пришли в предыдущем тесте, происходит, когда управление оптимизируется только на дороге с $\mu = 0,6$ (см. Рис. 20). Опять же, оптимизированное управление дает лучший результат на дороге с $\mu = 0,6$ (рис. 20а), но теряет эффективность при тестировании на других поверхностях, не включенных в тренировку (рис. 20б). Чтобы решить эту проблему, мы должны тренировать наше управление на разных поверхностях или дорогах. Поэтому мы проводим новый тест на ускорение, который имеет те же начальные условия, что и в предыдущем примере. В этом случае испытание на ускорение составляет 2 секунды для обеих дорог, и эволюция пройденного расстояния лучшего человека, показанная на рис. 21, представляет собой сумму полученного расстояния для $\mu_1 = 0,4$ и $\mu_2 = 0,6$ дороги. В данном случае параметрами алгоритма являются: количество особей в популяции. $HP = 20$, вероятность кроссовера $CP = 0,4$, вероятность мутации $Депутат = 0,1$, параметр возмущения $F = 0,6$ и количество итераций $iter = 1000$.

Рис. 20. (а) Оптимизированное управление для дороги с $\mu = 0,6$, идущей по дороге с $\mu = 0,6$. (б)Оптимизированное управление для дороги с $\mu = 0,6$ на дороге с $\mu = 0,4$.

В этом случае пройденное расстояние лучшего человека непрерывно развивается, и максимальное расстояние достигается в 4,780 метра для дорог $\mu = 0,4$ и 8,429 метра для дорог $\mu = 0,6$. Эти значения немного ниже, чем в предыдущих случаях, но очень близки к ним.

В этом случае оптимизированные функции принадлежности выходных и входных переменных показаны на рис. 21. И снова

границы входных и выходных переменных очень близки к пределам переменных, основанных на опыте.

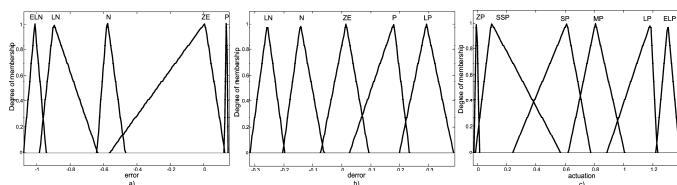


Рис. 21. Функции принадлежности для смешанной оптимизации. (а) Ввод ошибки. (б) Ввод ошибки. (с) Выходной сигнал срабатывания.

Панель управления показана на рис. 22, а правила - в таблице IV. Количество правил - 19.

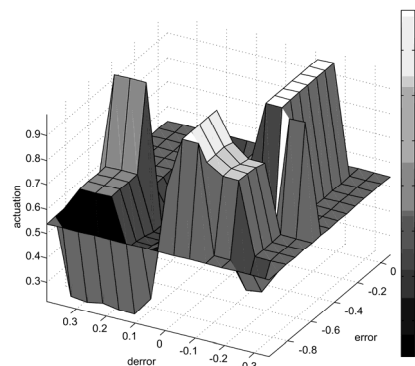


Рис. 22. Поверхность срабатывания: дорога $\mu_1=0,4$ и $\mu_2=0,6$

ТАБЛИЦА IV
Two АНЕЦЕДЕНТНЫЕ ПРАВИЛА: $\mu_1 = 0,4$ и $\mu_2 = 0,6$
diferror

	LN	N	ZE	P	LP
error	SP	LP	ELP	SSP	SSP
LN		LP	ELP	SP	MP
N	ELP	SP			ELP
ZE		ELP	MP	SP	
P	SSP	ZP	SSP	ELP	SP

Сравнение характеристик смешанного оптимизированного управления с управлением, основанным на опыте, и мотоциклом без контроля тяги на обеих дорогах показано на рис.23.

На рис. 23а и 23с испытание проводилось на дороге с $\mu = 0,4$. В этом случае пройденное расстояние и скорость мотоцикла, полученные при смешанном оптимизированном управлении, значительно лучше, чем при управлении, основанном на опыте, и мотоцикле без контроля тяги. Конкретно, смешанное оптимизированное управление улучшает пройденное расстояние на 15,7% и скорость транспортного средства на 28,3% по сравнению с результатами, полученными системой управления на основе опыта, и пройденное расстояние на 23%, а скорость на 40,6% по сравнению с результатами, полученными на мотоцикле без управления. Если испытание проводится на дороге с $\mu = 0,6$ (рис. 23б и 23д), снова смешанный оптимизированный контроль является лучшим контролем. В этом случае оптимизированное управление улучшает пройденное расстояние на 9,7% и скорость на 6,7% от значений, полученных с помощью управления на основе опыта, а также пройденного расстояния на 32,9% и скорости на 42,2% от значений, достигнутых мотоциклом без управления. Таким образом, этот элемент управления работает правильно в обоих случаях.

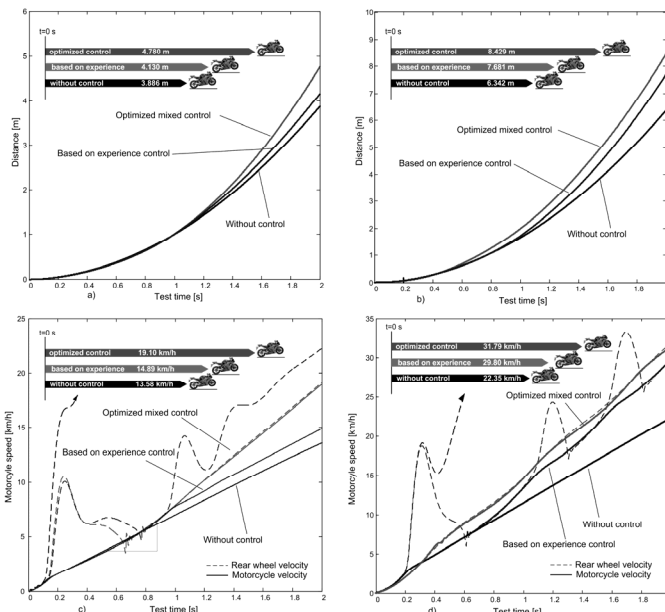


Рис. 23. (а) Сравнение пройденного расстояния на дороге с $\mu = 0,4$. (б) Сравнение пройденного расстояния на дороге с $\mu = 0,6$. (с) Сравнение скорости мотоцикла на дороге $\mu = 0,4$. (д) Сравнение скорости мотоцикла на дороге с $\mu = 0,6$.

Скорость заднего колеса указана на предыдущих рисунках (рис. 23с и 23д). Без контроля скорость заднего колеса быстро увеличивается, вызывая сильное проскальзывание колес в течение всего теста. При использовании основанного на опыте или оптимизированного управления скорость вращения колеса регулируется, что позволяет избежать сильного скольжения и работать близко к оптимальной зоне скольжения.

Были проведены симуляции с использованием различных поверхностей. Параметры моделирования: начальная скорость мотоцикла, $v_{\text{нач}}(0) = 1,39 \text{ м/с}$, полный газ в течение всего испытания, муфта полностью включается через 0,1 с. и время моделирования, $t_s = 2$ секунды. Как видно из Таблицы V, смешанное оптимизированное управление позволяет достичь максимального пройденного расстояния в условиях низкого сцепления. Без контроля расстояния всегда меньше, за исключением поверхности, определенной как $\mu = 0,8$. Это связано с тем, что на этой поверхности сцепление высокое и, следовательно, проскальзывание колеса во время испытания невелико, поэтому управление не должно срабатывать.

ТАБЛИЦА V
ТРАССОЯНИЕ НА РАЗЛИЧНЫХ ПОВЕРХНОСТЯХ

	$\mu=0.2$	$\mu=0.4$	$\mu=0.6$	$\mu=0.8$
Mixed optimized control	5.026 m	7.047 m	11.501 m	13.057 m
Based on experience	4.592 m	6.821 m	10.601 m	13.057 m
Without control	4.588 m	6.587 m	8.987 m	13.057 m

После того, как оптимизированное управление было протестировано на прямолинейном движении на разных поверхностях, мы подвергаем наш элемент управления различным тестам, чтобы проверить его адаптацию к различным маневрам и симуляциям. В первую очередь реализуется тест, при котором мотоцикл совершает резкое изменение траектории. Начальные условия этого испытания следующие: начальная скорость мотоцикла $v_{\text{нач}}(0) = 0 \text{ м/с}$, полный газ в течение всего теста. После движения по прямой в течение 0,5 секунды на руль подается импульс 2 Нм. Этот импульс длится 0,1 секунды, после чего мотоцикл продолжает движение по прямой. В

время моделирования в этом тесте $t_s = 6$ секунд, а дорога $\mu = 0,4$.

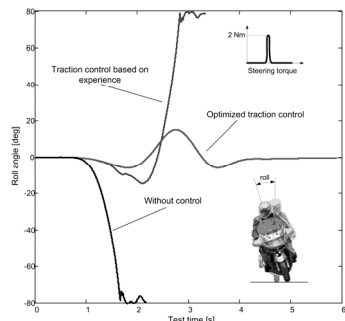


Рис. 24. Угол крена мотоцикла при возникновении внезапного события.

Результат этого испытания показан на рис. 24. На этом рисунке показан угол крена мотоцикла. Оптимизированное управление позволяет преодолевать внезапный крутящий момент, и мотоцикл продолжает движение до конца испытания, но мотоцикл без управления и управления, основанного на опыте, падает и не может продолжать движение. Этот тест имитирует неожиданное событие, которое является обычным явлением, когда гонщик хочет избежать какого-либо препятствия или выбоина толкает мотоцикл в сторону. Оптимизированное управление сохраняет устойчивость, избегая падения на землю.

С другой стороны, проводится новый тест, в котором гонщик пытается выполнить кривую траектории на скользкой дороге. В этом тесте начальная скорость мотоцикла равна $v_{\text{исх}}(0) = 0$ м / с и полный газ в течение всего теста. Через 0,5 секунды при движении по прямой устанавливается угол наклона 20° . Этот угол наклона заставляет мотоцикл двигаться в повороте. Время моделирования в этом тесте составляет $t_s = 6$ секунд, а дорога $\mu = 0,6$. Угол крена мотоцикла показан на рис. 25а. Мотоцикл без управления не может избежать потери управления и падения на дороге только из-за того, что дроссельная заслонка заполнена, когда мы задаем мотоциклу очень жесткий угол наклона. То же самое происходит, когда система контроля тяги, основанная на опыте, пытается управлять дроссельной заслонкой. Поскольку его действия недостаточно, мотоцикл также теряет управление. Но оптимизированный контроль тяги позволяет избежать потери управления и поддерживать мотоцикл на соответствующей траектории (рис. 25б).

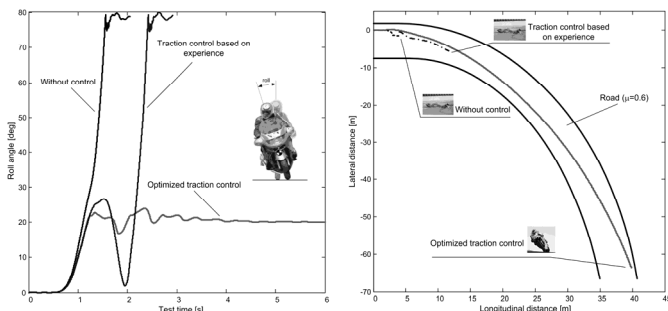


Рис. 25. (а) Угол крена при испытании на угол наклона. (б) Траектория мотоцикла

Как было показано, смешанное нечеткое управление - хороший выбор, если мотоцикл должен быть подготовлен к разным поверхностям или типам дорог. Мы видели, что оптимизированное смешанное нечеткое управление - хороший выбор для повышения безопасности и производительности мотоцикла. Однако другой вариант -

использование различных оптимизированных нечетких элементов управления для разных типов дорог, благодаря чему система контроля тяги выбирает соответствующее оптимизированное нечеткое управление в каждый момент. Это возможно, потому что антипробуксовочная система может определять тип дороги, по которой едет мотоцикл.

Для сравнения нашего контроля мы провели тест, описанный в [2]. Авторы назвали этот тест - прыжком, в котором начальная скорость мотоцикла составляла $v_{\text{исх}}(0) = 14,1$ м / с при полном открытии дроссельной заслонки в течение всего испытания. После пробежки по прямой в течение 6,15 секунды на $\mu = 0,2$ поверхности, мы изменили ее на поверхность $\mu = 0,4$, и испытание закончилось через 10 секунд. Рис. 26 показывает, что предлагаемая нами система управления может гарантировать безопасность даже при очень критических маневрах. Как мы видим, наша система управления поддерживает скольжение очень близко к оптимальному, а время реакции меньше, чем в моделировании, показанном в [2]. По этой причине скорость автомобиля в конце теста лучше с нашим контролем.

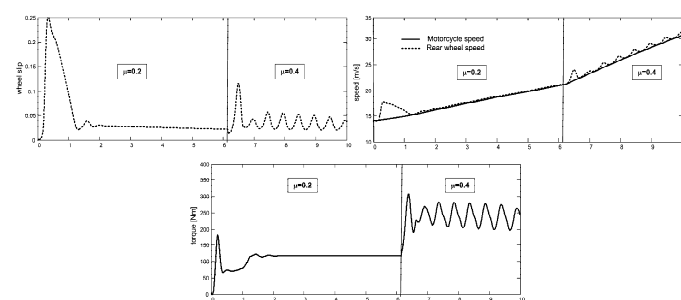


Рис. 26. (Вверху - слева) Относительная пробуксовка заднего колеса. (Вверху справа) (сплошная линия) скорость мотоцикла и (пунктирная линия) скорость заднего колеса. (Внизу) Приводной момент ($u(t) = 1 - TR(t)$).

VI. СВКЛЮЧЕНИЕ

В этой работе была описана новая система контроля тяги для мотоциклов. Новая система повышает безопасность и упрощает управление, поскольку она может предотвратить проскальзывание заднего колеса и связанное с этим отсутствие контроля.

TCS практически не применялись в уличных или гоночных мотоциклах. Когда происходит сильное ускорение или снижение сцепления с дорогой, возникает проблема отсутствия тяги, и это сильно влияет на динамику мотоцикла. Одним из основных последствий является то, что проскальзывание заднего колеса увеличивается, вызывая снижение разгонной способности мотоцикла или снижение устойчивости транспортного средства. Этот факт делает удобной разработку системы для улучшения управления транспортным средством в таких обстоятельствах, то есть когда пробуксовка принимает значения выше оптимальных.

Предлагаемый блок управления основан на использовании нечеткой логики. Входными данными для блока управления являются фактическое скольжение в заднем колесе, которое оценивается с помощью расширенного фильтра Калмана, и оптимальное скольжение, которое получается с помощью нейронной сети.

Были использованы четыре механизма нечеткого вывода. Первый установлен с использованием экспертных знаний об эволюции скольжения в процессах тяги. Остальные три были оптимизированы с помощью эволюционного алгоритма, основанного на дифференциальной эволюции. Алгоритм оптимизации использовался для автоматической генерации оптимальных блоков управления для двух поверхностей отдельно и для обеих поверхностей вместе. Оптимизированные блоки управления

улучшить полученные результаты с помощью метода, основанного на экспертных знаниях. Это позволяет выбрать блок управления, оптимизированный для одной отдельной поверхности, или общий блок управления, оптимизированный для нескольких поверхностей.

Блоки управления были протестированы с помощью BikeSim®. Моделирование проводилось на двух разных поверхностях и в смешанных условиях. Тест включает результаты, полученные с помощью оптимизированной нечеткой TCS и без TCS. Обе системы TCS, основанные на нечеткой логике, дают значительные улучшения, поддерживая скольжение в оптимальном диапазоне и с небольшими колебаниями в скольжении по сравнению с мотоциклом без управления. Наилучшие результаты достигаются с оптимизированными блоками управления, которые значительно улучшают расстояние и устойчивость по сравнению с контроллером, основанным на опыте, и с мотоциклом без TCS. В настоящее время ведется дальнейшая работа над системами TCS, объединяющими управление системой торможения и впрыска.

АПРИЛОЖЕНИЕ А

Важным фактом в системах управления транспортными средствами является определение их устойчивости и надежности. Устойчивость нечеткого управления на основе опыта изучалась в разделе III. В этом приложении производительность контроллеров (основанная на опыте и оптимизированная) была проверена с использованием сопоставления ячеек [28-30]. Пространство состояний разделено на 30x20 ячеек. Стабильность, надежность и эффективность оцениваются для любой возможной начальной ошибки и значений переменных deg . Для оценки был использован тест на ускорение на поверхности с низким сцеплением. Учитываются стабильность и пройденное расстояние в течение первых трех секунд моделирования.

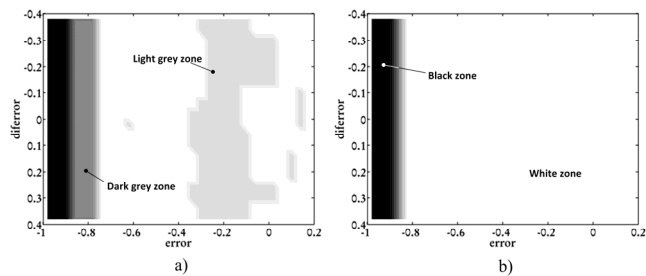


Рис. 27. Отображение ячеек, соответствующее следующему элементу управления: (а) Оптимизировано. (б) На основе опыта.

На рисунке 27 показан результат оценки. Согласно определению ошибки и с учетом оптимального скольжения для этой поверхности 0,12 ошибка не может принимать значения ниже -0,88. Это показано на рисунке черной зоной. Темно-серые зоны - это ячейки, эффективность которых неудовлетворительна, то есть достигнутое расстояние значительно ниже оптимального или во время моделирования достигается полное проскальзывание колес. Равновесие достигается, если управление способно стабилизировать ошибку и разницу в ячейках, окружающих нулевую ошибку и точку разницы. Светло-серые зоны - это клетки, которые достигли стабильного состояния, но не в области равновесия. Наконец, белые зоны указывают на стабильные клетки.

контроль, основанный на опыте. Обе системы стабильны, потому что элементы управления всегда могут перейти в стабильное состояние. Однако оптимизированное управление не всегда достигает области равновесия, как показано на рисунке 27-а.

АПРИЛОЖЕНИЕ В

ТАБЛИЦА VI
МОТОЦИКЛ ПРОПЕРТЫ

Motorcycle geometric and mechanical properties.		Rear suspension properties	
Wheelbase	1.370 m	Spring stiffness	40,000 N/m
Center of mass height (vehicle with rider)	0.621 m	Spring pre-load	1182 N
Center of mass distance from front wheel	0.560 m	Spring travel	0.2 m
Caster angle	27.72°	Damping coefficient	10,000 Ns/m
Rear arm length	0.426 m	Swing arm mass	8 kg
Mass of vehicle with rider	274.6 kg	Front suspension properties	
Front wheel mass	12.7 kg	Spring stiffness	25,000 N/m
Rear wheel mass	14.7 kg	Spring pre-load	933 N
Frame pitch inertia	22 kgm ²	Spring travel	0.12 m
Front wheel moment of inertia	0.484 kgm ²	Damping coefficient	2000 Ns/m ⁷
Rear wheel moment of inertia	0.638 kgm ²	Front fork mass	7.25 kg
Frontal cross section area	0.6 m ²	Tire properties	
Drag coefficient	0.52	Radial stiffness of front tire	130,000 N/m
Lift coefficient	0.085	Radial stiffness of rear tire	141,000 N/m
Pitch coefficient	0.205	Engine properties	
		Opening throttle time constant	0.15 s
		Closing throttle time constant	0.15 s

РЭФЕРЕНЦИИ

- [1] М. Корно, С. Савареси, М. Танелли и Л. Фаббри, «Об оптимальном торможении мотоцикла», Control Engineering Practice, vol. 16, нет. 6. С. 644-657, июнь 2008 г.
- [2] М. Танелли, К. Веккио, М. Корно, А. Феррара и С. Савареси, «Контроль тяги для спортивных мотоциклов с проводным управлением: подход второго порядка со скользким режимом», IEEE Transactions on Industrial Electronics, т. 56, нет. 9, pp. 3347-3356, сентябрь 2009 г.
- [3] П. Кардинале, К. Д'Анджело и М.А. Конти, «Система контроля тяги для мотокросса и Supermotard», представленная на Международном семинаре по интеллектуальным решениям во встроенных системах, Регенсбург, 10-11 июля 2008 г.
- [4] Ч. Бо-Чуан, Ч. Чиа-Син и Х. Шиух-Джер, «Управление нечетким скользким режимом системы регулирования тяги для электросамоката», представленный на Седьмой Международной конференции по нечетким системам и открытию знаний, Яньтай, Шаньдун, 10-12 августа 2010 г.
- [5] М. Массаро, Р. Сартори и Р. Лот, «Численное исследование динамики скольжения двигателя для приложений управления тяговым усилием мотоцикла», Динамика систем транспортных средств, т. 43, нет. 3, стр. 419-432, март 2011 г.
- [6] М. Шин, Дж. Хан, Дж. Юн и М. Суну, «Проектирование сетевой системы контроля тяги с использованием операционной системы реального времени», в Proc. IMechE, Часть D: Журнал автомобильной инженерии, том. 222, стр. 1395-1408, август 2008 г.
- [7] М. Корно, С. Савареси и Г. Балас, «Линейное управление пробуксовкой колес с изменяющимися параметрами для двухколесных транспортных средств», in Proc. 47-й конференции IEEE по решениям и контролю, Канкун, Мексика, 2008 г.
- [8] Т. Вакабаяше, Т. Мацута, К. Тани и А. Охта, «Разработка антиблокировочной тормозной системы с приводом от двигателя для легкого мотоцикла», обзор JSAE, вып. 19, нет. 4, стр. 373-377, октябрь 1998 г.
- [9] R.J. Miennert, «Применение антиблокировочной тормозной системы на переднем колесе мотоцикла», Препринты SAE, т. № 740630, 1974.
- [10] В. Д. Колли, Г. Томасси и М. Скарано, «Управление продольным тяговым усилием одного колеса для электромобилей», IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 21, нет. 3, стр. 799-808, май 2006 г.
- [11] Дж. А. Кабрера, А. Ортис, Дж. Дж. Кастильо и А. Симон, «Управление нечеткой логикой для антиблокировочной тормозной системы, интегрированное в стенд для испытаний шин IMMA», IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 54, нет. 6. С. 1937-1949 г., ноябрь 2005 г.
- [12] Г.Ф. Мауэр, «Контроллер с нечеткой логикой для тормозной системы с ABS», IEEE Transactions on Fuzzy Systems, vol. 3, вып. 4, pp.381-388, ноябрь. 1995 г.
- [13] MVC Rao и В.А. Прахлад, «Настраиваемый контроллер нечеткой логики для систем активной подвески транспортного средства», Нечеткие множества и системы, т. 85, нет. 1, стр. 11-21, январь 1997 г.

- [14] Х. Ду и Н. Чжан, «Нечеткое управление нелинейными неопределенными электрогидравлическими активными подвесками с ограничениями на входе», IEEE Transactions on Fuzzy Systems, vol. 17, нет. 2, стр. 343-356, апрель 2009 г.
- [15] Л. Остин и Д. Морри, «Последние достижения в антиблокировочных тормозных системах и системах контроля тяги» в Proc. IMechE, Часть D: Журнал автомобильной инженерии, вып. 214, pp. 625-638, июнь 2000 г.
- [16] О. Кордон, Ф. Гормид, Ф. Эррера, Ф. ХOFFманн и Л. Магдалена, «Десять лет генетическим нечетким системам: текущая структура и новые тенденции», Нечеткие множества и системы, том. 141, № 1, стр. 5-31, январь 2004 г.
- [17] YC Chiou и LW Lap, «Генетический контроллер нечеткой логики: алгоритм итеративной эволюции с новым методом кодирования», Fuzzy Sets and Systems, vol. 152, нет. 3, стр. 617-635, июнь 2005 г.
- [18] Ф. Чеонг и Р. Лай, «Проектирование иерархического контроллера с нечеткой логикой с использованием подхода дифференциальной эволюции», Applied Soft Computing, vol. 7, вып. 2, стр. 481-491, март 2007 г.
- [19] Х. Б. Пацейка, *Динамика шин и автомобиля*, Оксфорд: Elsevier Ltd., 2006.
- [20] М. Бурхардт, *Fahrwerkstechnik: Radschlupfregelsysteme*, Германия: Vogel-Verlag, 1993.
- [21] Л. Рэй, «Нелинейная оценка силы в шинах и идентификация дорожного трения: моделирование и эксперименты», Automatica, vol. 33, нет. 10, стр. 1819-1833, октябрь 1997 г.
- [22] В. Педрич, *Нечеткое управление и нечеткие системы*, Нью-Йорк: Wiley, 1989 г.
- [23] Х. Дж. Циммерманн, *Теория нечетких множеств и ее приложения*, Лондон: Kluwer Academic Publishers, 1985.
- [24] RS Sharp, S. Evangelou и DJN Limebeer, «Достижения в моделировании динамики мотоциклов», Multibody System Dynamics, vol. 12, No. 3, pp. 251-283, октябрь 2004 г.
- [25] P.C. Шарп и DJN Limebeer, «Модель мотоцикла для анализа устойчивости и управления», Динамика многотельных систем, том. 6, вып. 2, стр. 123-142, сентябрь 2001 г.
- [26] Р. Сторн, К. Прайс, «Дифференциальная эволюция. Простая и эффективная эвристическая схема для глобальной оптимизации в непрерывных пространствах», Journal of Global Optim., Vol. 11, № 4, стр. 341-359, декабрь 1997 г.
- [27] Дж. Лампинен, И. Зелинка, «О застое в алгоритме дифференциальной эволюции», Proc. of MENDEL 2000, Брно, Чехия, 2000, стр. 76-83.
- [28] Дж. Фей и К. Истик, «Анализ нечетких систем, основанных на знаниях, с использованием сопоставления от ячейки к ячейке», в Proc. Of the 5th Международный симпозиум IEEE по интеллектуальному управлению, Филадельфия, Пенсильвания, стр.633,637, том 1, 5-7 сентября 1990 г.
- [29] Дж. Левитас, «Глобальный анализ устойчивости нечетких контроллеров с использованием методов отображения ячеек», Нечеткие множества и системы, том 106, вып. 1, стр. 85-97, август 1999 г.
- [30] М. Папа, Дж. Вуд и С. Шеной, «Оценка устойчивости контроллера с использованием отображения ячеек», Fuzzy Sets and Systems, vol. 121, нет. 1, стр. 3-12, июль 2001 г.



Хуан А. Кабрера получил степень бакалавра машиностроения, магистра информатики и доктора философии. степень в области машиностроения Университета Малаги, Испания. Он доцент кафедры машиностроения в Университете Малаги. Его исследовательские интересы включают моделирование и

управление системами транспортных средств, передовыми системами транспортных средств, генетическими алгоритмами, применяемыми к механизмам и моделям шин, а также многокритериальными эволюционными стратегиями.



Хуан Дж. Кастильо получил степень бакалавра, магистра и доктора философии. степени по механике инжиниринг из Университета Малаги, Испания.

Он доцент кафедры машиностроения в Университете Малаги. Его исследовательские интересы включают динамику транспортных средств, моделирование и управление.

оценку систем и параметров безопасности транспортных средств.



Энрике Карабиас получил BS и

Магистр политехнического университета Мадрида, Испания, и в настоящее время работает над докторской степенью. степень в области машиностроения Университета Малаги, Испания. Он доцент кафедры машиностроения в Университете Малаги. Его исследовательские интересы включают транспортное средство.

динамика, моделирование и управление системами безопасности транспортных средств и оценка параметров.



Антонио Ортис получил степень бакалавра и магистра в области машиностроения в Политехническом университете Мадрида, Испания. Он получил докторскую степень. в Университете Малаги.

В настоящее время он является доцентом кафедры машиностроения в Университете Малаги.

Его исследовательские интересы включают модели шин, генетические алгоритмы и многокритериальные эволюционные стратегии. Также занимается проектированием механизмов и машин.