

УДК 519.6, 629.3

СИСТЕМА СБОРА ДАННЫХ ДЛЯ РЕКОНСТРУКЦИИ И ДВИЖЕНИЯ МОТОЦИКЛИСТА

Н.И. Базенков

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН
Россия, 117997, Москва, Профсоюзная ул., 65
E-mail: bazenkov@ipu.ru

А.А. Пыжьянов

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН
Россия, 117997, Москва, Профсоюзная ул., 65
E-mail: ipu@isko.moe

Ключевые слова: цифровой двойник, инерциальные датчики, 3д реконструкция, управление мотоциклом, спортивная аналитика.

Аннотация: Существует много транспортных средств, в которых естественной частью объекта управления является управляющий им человек. К ним относятся велосипед, мотоцикл, снегоход и многие другие спортивные снаряды. Математическое моделирование и анализ эффективности управления такими объектами затрудняется тем, что необходимо учитывать движения самого спортсмена, которые часто имеют сложную динамику. При этом потребность в таком моделировании существует у спортсменов, тренеров, организаторов соревнований и производителей данных систем. В докладе представлен проект исследования и экспериментальная система реконструкции движения спортсмена-мотоциклиста при прохождении трассы. Сбор данных осуществляется инерциальными датчиками и спутниковой навигационной системой. Реконструкция движения включает в себя этапы построения трехмерной модели трассы и определения положения мотоциклиста в каждый момент времени. Модель трассы строится с помощью технологии фотограмметрии, а реконструкция и визуализация движения – с помощью открытого программного обеспечения SlimeVR и Blender. Система может использоваться как для сбора аналитики, так и для верификации моделей движения мотоциклиста. При необходимости данная система может быть адаптирована для других объектов управления.

1. Введение

Существует большой класс объектов управления, в которых оператор является существенной частью системы и влияет на ее динамику. Математическое моделирование таких систем затруднено необходимостью учесть поведение человека и его воздействие на объект управления. Многие виды спорта представляют примеры таких объектов: велосипед, мотоцикл, снегоход, горные лыжи, сноуборд и др. При этом моделирование этих видов деятельности является интересной задачей как с практической, так и с научной точки зрения.

Мы представляем экспериментальную систему отслеживания положения мотоциклиста в процессе прохождения трассы. Система создана на основе общедоступного программного и аппаратного обеспечения.

2. Обзор литературы

Математические модели мотоцикла описывают жесткие сочленения и динамику переднего и заднего амортизаторов [1]. Влияние гонщика описывается очень упрощенно, в основном для некоторых частных случаев. Несмотря на то, что появляются работы по автоматическому управлению мотоциклом [2], успехи в этом направлении пока ограничены. Довольно много исследований посвящено энергоэффективности электродвигателей и аккумуляторов для мотоциклов с электродвигателями [3]. Однако на энергопотребление реального мотоцикла сильно влияет стиль и мастерство гонщика, которое сложно учесть при моделировании. Все перечисленные проблемы сохраняются для многих других транспортных средств, например, для снегоходов [4].

Для дальнейшего развития этой области необходимы наборы экспериментальных данных, позволяющие строить статистические модели для тех аспектов вождения, которые трудно поддаются математической формализации: движение по сложной поверхности, например, грязи или снегу, влияние движений гонщика. В частности, для автомобилей уже накоплены существенные массивы данных, позволяющие как строить системы автоматического управления, так и решать частные задачи. Например, в [5] рассматривается задача детекции отвлекающих событий. В [6] данные, полученные с помощью симулятора, используются для определения стиля вождения и детектирования различных событий при управлении мотоциклом. В [7] GPS треки используются для предсказания вероятности аварий. Во всех перечисленных исследованиях не используются данные о положении водителя, которые намного сложнее получить, чем трек с GPS навигатора. Наша работа направлена на то, чтобы сделать такие данные более доступными для исследователей.

3. Система сбора данных

Система создана с целью одновременно решать две задачи: определение координат мотоцикла на трассе и положения гонщика включая его наклон, положение рук и др. Определение координат и скорости мотоцикла выполняется с помощью модуля инерциальной навигации NGIMU [8] с дополнительным приемником GNSS, закрепленного на мотоцикле, как показано на рис. 1. В качестве спутникового приемника используется модуль ublox m8n [9]. Модуль самостоятельно рассчитывает текущую позицию, обмен данными происходит в формате сообщений NMEA. Данные приводятся к частоте 30 Гц для синхронизации с видео с частотой 30 кадров/сек. Координаты сохраняются на датчике в режиме логирования, а затем траектория визуализируется на ПК с помощью библиотеки plotly.



Рис. 1. Модуль навигации NGIMU, закрепленный на мотоцикле.

Поза мотоциклиста реконструируется по показаниям инерциальных датчиков. Аппаратная часть каждого датчика состоит из:

- Инерциального 6-осевого датчика BMI160 [10], который включает в себя акселерометр и гироскоп;
- Микроконтроллера Wi-Fi Lolin D1 mini фирмы Wemos [11] для передачи данных;
- Аккумулятора с контролем заряда 804040 Li-Po [12]

Расположение датчиков показано на рис. 2. Всего используется 13 датчиков: один на голове, по два на плечах, предплечьях, ладонях, бедрах и голених, а также один на груди и один на животе или пояснице.

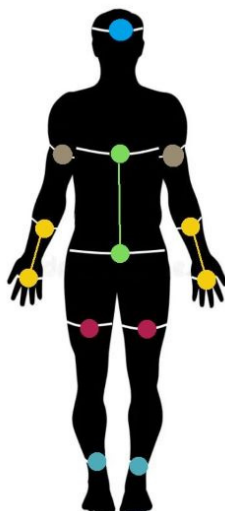


Рис. 2. Расположение инерциальных датчиков на человеке.

Показания датчиков передаются на ПК по беспроводной сети WiFi. Затем данные обрабатываются программным комплексом SlimeVR [13], созданным для отображения позы и движений человека в средах виртуальной реальности. Взаимное расположение датчиков и траектория движения сохраняется в формате BVH (BioVision Hierarchy), который совместим со многими средами 3d моделирования, например, с Blender. На рис. 3 показан результат реконструкции траектории движения по территории ИПУ РАН. В настоящее время сбор данных может осуществляться только на ПК, что сильно усложняет применение системы в полевых условиях. В будущем планируется создать точку сбора данных на базе одноплатного компьютера Raspberry Pi или мобильного телефона.

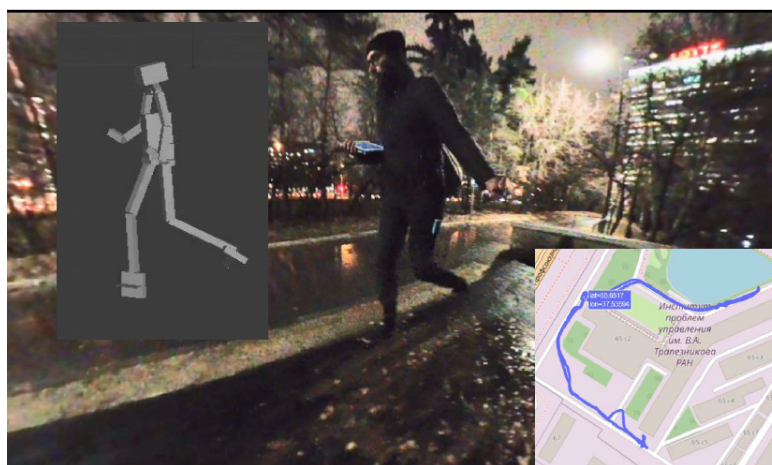


Рис. 3. Реконструкция траектории движения с IMU и GNSS датчиками.

4. Трехмерная реконструкция трассы

Конечная цель нашего проекта – создать инструмент для полноценной визуализации движения мотоциклиста в процессе прохождения трассы. Для этого необходимо иметь 3d модель самой трассы с реалистичными расстояниями, геометрией и перепадами высот. Построение модели объекта по массиву фотографий называется фотограмметрией. Мы использовали программное обеспечение Agisoft Metashape.

Наш основной тестовый полигон – трасса для мотокросса в дер. Жостово Московской области. Протяженность трассы 1700 м., перепад высот 12 м. Для создания модели было записано 40 минут видео с помощью панорамной камеры insta360 one x2. Затем из видеозаписи было получено около 2500 фотографий с частотой 1 кадр в секунду. Построение модели заняло 48 часов на ПК с процессором Intel Core i7-10700 (2.9 ГГц) и видеокартой nVidia GeForce RTX 3060. Стоит отметить, что данный этап должен быть выполнен только один раз для каждого полигона.

Результат показан на рис. 4. Предварительные испытания показывают удовлетворительное качество реконструкции и совмещения траектории движения с трассой. Для оценки качества реконструкции необходимо, во-первых, верифицировать трехмерную модель трассы, а во-вторых, получить траекторию мотоцикла с помощью модуля RTK (Real Time Kinematics), который обеспечивает высокоточное позиционирование по данным спутниковой навигации.

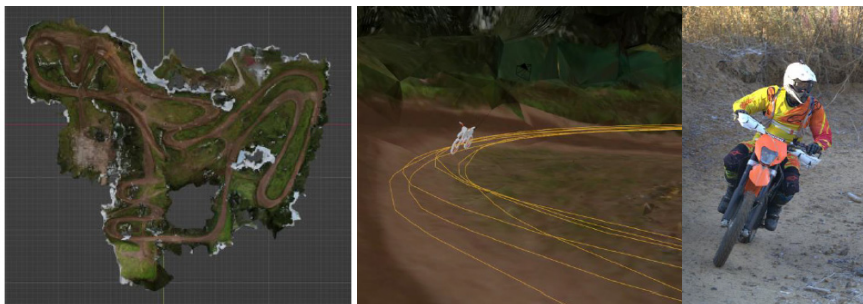


Рис. 4. Трехмерная модель трассы в дер. Жостово и визуализация проезда.

5. Заключение

Мы представляем экспериментальную систему сбора данных для реконструкции движения мотоциклиста в процессе прохождения трассы. Система состоит из модуля инерциально-спутниковой навигации для восстановления положения мотоцикла на трассе и инерциальной системы захвата движений для отслеживания позы спортсмена. Кроме мотоцикла, исследования проводились на электрическом снегоходе, разработанном при участии ИПУ РАН. Система основана на доступных аппаратных и программных решениях, которые могут быть легко воспроизведены другими исследовательскими коллективами. Разработанный программно-аппаратный комплекс может использоваться для сбора исследовательских данных, создания аналитических и рекомендательных систем для тренировок спортсменов.

Развитие исследований планируется в нескольких направлениях. Во-первых, функционал системы можно расширять за счет добавления источников данных, например, характеристик силовой установки мотоцикла или снегохода. Во-вторых, с помощью нашей системы можно формировать исследовательские наборы данных для построения и верификации математических моделей. В-третьих, предложенный подход может быть легко адаптирован для других видов спорта и прикладных областей. В частности, представляет интерес сбор подобных данных для велосипедного или горнолыжного спорта.

Список литературы

1. Cossalter V., Lot V., Massaro M. Motorcycle dynamics // Modelling, Simulation and Control of Two-Wheeled Vehicles. Wiley, 2014. P. 1-42.
2. Zheng X., et al. Dynamic modeling of an unmanned motorcycle and combined balance control with both steering and double CMGs // Mechanism and Machine Theory. 2022. No. 169. P. 104643.
3. Esparza P., Castano-Solis S., Jiménez-Bermejo D., Fraile Ardanuy J., Merino M. Experimental Determination of the Energetic Performance of a Racing Motorcycle Battery-Pack // Processes. 2020. Vol. 8, No. 11. P. 1391. <https://doi.org/10.3390/pr8111391>.
4. Кравчук С., Коргин Н., Ключов Н., Гарин Н. Проектно-образовательный эксперимент в арктическом дизайне: формирование облика инновационного снегоходного транспорта // Техническая эстетика и дизайн-исследования. 2023. Т. 5, № 1. С. 56-68. DOI: 10.34031/2687-0878-2023-5-1-56-68.
5. Su W., et. al. Online distraction detection for naturalistic driving dataset using kinematic motion models and a multiple model algorithm // Transportation research. Part C: Emerging technologies. 2021. No. 130. P. 103317.
6. Bouaouni M.Y., Yahia R.A., Boubezoul A. Driving-Pattern Identification and Event Detection Based on an Unsupervised Learning Framework: Case of a Motorcycle-Riding Simulator // IEEE Access. 2021. No. 9. P. 158456-158469.
7. Outay F., Adnan M., Gazder U., Baqueri S.F., Awan H.H. Random Forest models for motorcycle accident prediction using naturalistic driving based big data // International journal of injury control and safety promotion. 2023. Vol. 2, No. 30. P.282-293.
8. NGIMU: Second generation IMU for real-time wireless and data logging applications <https://x-io.co.uk/ngimu/> (дата обращения 8.01.2024).
9. NEO-M8 series: Versatile u-blox M8 GNSS modules. <https://www.u-blox.com/en/product/neo-m8-series> (дата обращения 8.01.2024).
10. Inertial measurement unit BMI160. <https://www.bosch-sensortec.com/products/motion-sensors/imus/bmi160/> (дата обращения 8.01.2024).
11. Lolin D1 mini WiFi board. https://www.wemos.cc/en/latest/d1/d1_mini.html (дата обращения 8.01.2024).
12. <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/1133270/TPOWER/TP4056.html> (дата обращения 8.01.2024).
13. SlimeVR Server. <https://github.com/SlimeVR/SlimeVR-Server> (дата обращения 8.01.2024).
14. Agisoft Metashape. <https://www.agisoft.com/downloads/user-manuals/> (дата обращения 11.01.2024)