

ОСНОВАННЫЙ НА РАДИОСВЯЗИ МЕТОД АНАЛИЗА ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДА В СРЕДЕ СИГНАЛИЗАЦИИ ERTMS

Володин Д.С.¹ Киреев К.В.²

¹Володин Дмитрий Сергеевич – студент четвертого курса факультета информационных технологий и электроники Пензенского Государственного Университета

²Киреев Кирилл Васильевич – студент четвертого курса факультета информационных технологий и электроники Пензенского Государственного Университета

г. Пенза, Российская Федерация

Аннотация: *ERTMS - важный проект, улучшающий трансграничную совместимость по всей Европе с помощью единого стандарта железнодорожной сигнализации. Одним из преимуществ, вытекающих из этой разработки, является стандартизированная радиосигнализация, которую можно отслеживать путем регистрации передачи данных с использованием протокола ETCS между центром радиоблока и поездом. В данной статье представлен метод протокола на основе радиосвязи для достижения цели, которая применяется для изучения характеристик торможения с точки зрения проектирования места встречи.*

Ключевые слова: *ERTMS, ETCS, сигнализация на основе радио, динамика поезда, характеристики торможения.*

RADIO COMMUNICATION-BASED METHOD FOR ANALYSIS OF TRAIN DRIVING IN AN ERTMS SIGNALING ENVIRONMENT

Volodin D.S.¹ Kireev K.V.²

¹Volodin Dmitry Sergeevich – fourth-year student of the Faculty of Information Technology and Electronics of Penza State University

²Kireev Kirill Vasilevich – fourth-year student of the Faculty of Information Technology and Electronics of Penza State University

Penza, Russian Federation

Abstract: *ERTMS is an important project improving cross-border compatibility across Europe with a single railway signalling standard. One of the advantages resulting from this development is standardized radio signaling, which can be monitored by recording data transmission using the ETCS protocol between the radio unit center and the train. This article presents a radio-based protocol method for achieving a goal that is used to study braking characteristics from the point of view of designing a meeting place.*

Keywords: *ERTMS, ETCS, signaling, radio-based, train dynamics, braking characteristics.*

УДК 62-768

Европейская система управления железнодорожным движением (ERTMS) и подключенная европейская система управления поездами (ETCS) являются важным промышленным проектом по улучшению трансграничной совместимости по всей Европе путем создания единого стандарта железнодорожной сигнализации [1]. Для успешного перехода необходимо больше знаний о влиянии этой новой системы сигналов на пропускную способность, планирование сигналов и разработку расписания. В частности, существует пробел в знаниях о влиянии поведения водителя поезда на эти аспекты. Изучение проблем, связанных с поведением машиниста поезда, имеет первостепенное значение до полного развертывания ERTMS, и поэтому важно получить информацию об опыте пилотных линий ERTMS.

В рамках изучения того, как взаимодействуют пропускная способность, сигнальные системы и поведение водителя, предыдущее исследование линейной сигнализации с использованием традиционных методов измерения с GPS показало, что пределы для безусловного торможения ATP высоки и что торможение различается в зависимости от цели сигнала. Кроме того, измерения на пути показывают значительно меньшее ускорение и замедление по сравнению с используемыми инструментами пропускной способности, что приводит к различиям между измеренным и смоделированным временем работы [2]. В исследованиях, проведенных в Великобритании, изучалось влияние поведения водителя поезда на сигнализацию линии, что способствовало пополнению базы

знаний для их национальной системы [3]. Было подчеркнуто отсутствие данных о том, как поезда управляются на линиях ERTMS, и более глубокое понимание поведения машиниста поезда, связанного с новой европейской системой, имеет важное значение для бесперебойного международного сотрудничества.

Переход с линейной сигнализации на сигнализацию внутри кабины вносит серьезные изменения в практику вождения, переключая внимание водителя с линейных сигналов снаружи кабины на информацию внутри [4]. Исследования, изучающие поведение водителя на линиях, оборудованных ERTMS, предполагают влияние как на пропускную способность, так и на управляемость. Например, было показано, что на участках с ERTMS по сравнению с участками с линейной сигнализацией водители, как правило, едут на более низкой скорости относительно разрешенной скорости и что модернизированные шведские линии ERTMS могут быть улучшены с точки зрения управляемости и пропускной способности линии [5]. При разработке ERTMS также было поднято несколько проблем с DMI, и существует неопределенность в том, как машинист взаимодействует с кривыми торможения ETCS. RailSys, один из инструментов оценки пропускной способности, используемых несколькими европейскими менеджерами инфраструктуры, предполагает, что водитель следует разрешенной кривой торможения. Однако это не является обязательным, и схема торможения с таким же успехом может быть связана с менее строгой кривой индикации или с некоторой смесью между ними. Это нерешенная проблема, которая влияет на пропускную способность линии. Все эти результаты указывают на необходимость более глубокого понимания того, как машинист работает в новой среде ETCS, и одним из способов является измерение динамики движения поездов в реальном транспортном потоке.

Измерение динамики поезда с помощью GPS-оборудования с хорошим покрытием сигнала - это метод с высокой частотой дискретизации (обычно 10 Гц) и высокой точностью для скорости и ускорения. Однако сбор данных GPS требует много времени и не является оптимальным для исследования и

измерения схемы движения поездов. Другим традиционным подходом к изучению поведения машиниста поезда является сбор данных о динамике движения поезда с бортового оборудования, что имеет ряд недостатков, таких как трудоемкость с технической, юридической и логистической точек зрения. Одно исследование, проведенное в Великобритании, было сосредоточено на рабочих фазах (ускорение, крейсерское движение, движение накатом и торможение) с вводом данных с бортовых регистраторов данных дизельных составов с несколькими единицами [6]. В этих исследованиях метод измерения не находится в фокусе и, следовательно, не представлен подробно. Сигнализация ERTMS предоставляет новую возможность, когда дело доходит до сбора данных; регистратор юридических данных (JRU) регистрирует события в поезде, стандартизированные стандартом IEEE 1482.1-1999 [7]. Записывает действия машиниста, условия движения поезда и параметры сигнала. Тем не менее, могут возникнуть юридические проблемы, поскольку оператор поезда владеет данными, хранящимися на борту поезда. Еще одним преимуществом ERTMS является стандартизированная радиосигнализация, которую можно отслеживать путем регистрации передачи данных между RBC и поездом. Использование этой возможности для сбора данных означает, что широкий спектр вождения поездов, включая как грузовые, так и пассажирские поезда, может быть проанализирован с точки зрения поведения водителя, планирования сигналов, пропускной способности и другим новым эффективным способом.

В данной статье представлен метод протокола на основе радиосвязи, использующий трафик данных между RBC и поездом. Метод также применяется при исследовании дизайна места встречи. Использование данных этого протокола ETCS для различного анализа не является уникальным, однако широко не используется. Например, трассировки ERTMS использовались для построения сценариев оценки телекоммуникационной системы ERTMS [8].

Мониторинг системы сигнализации является одной из важнейших частей управления данными ETCS [8]. Коммерческие поставщики предлагают системы

для анализа телекоммуникаций, трафика, сети и качества обслуживания, которые включают в себя данные радиосвязи. Метод, представленный в этой статье, использует трассы ETCS для оценки динамики поезда, ориентируясь на измерения скорости и замедления поезда. Насколько известно, ранее не предпринималось попыток использовать эту радиосигнализацию для измерения динамики и поведения движения поезда. Основной целью ETCS является обеспечение безопасности движения поездов, и предлагаемый метод не предлагает никаких изменений в этой области, а позволяет использовать новый способ наблюдения за динамикой движения поездов с помощью протокола ETCS.

Технические уровни ERTMS состоят из Европейской системы управления поездами (ETCS) и поставщика глобальной системы передачи данных для мобильной связи – Railway (GSM-R). Эта концепция представляет собой стандартизованную систему управления поездом и сигнализации, которая включает автоматическую защиту поезда (АТР), контроль скорости поезда и остановку [9]. Практически ETCS представляет собой бортовую компьютерную систему, которая сравнивает максимально разрешенную скорость с фактической скоростью поездов [9]. Для управления скоростью ETCS взаимодействует с путевыми и радиосистемами для обеспечения сигнализации кабины. Технические и эксплуатационные требования к совместимости требуют скоординированных интерфейсов между оборудованием и приложениями и требуют объединения нескольких национальных железнодорожных систем в единую систему.

С точки зрения водителя, маршрут поезда инициируется органом управления движением (МА), сообщение передается от RBC к поезду через GSM-R и представляется в виде данных о скорости и маршруте в интерфейсе управляющей машины (DMI). На основе Eurobalises местоположение поезда вычисляется с помощью системы одометров. В традиционной одометрии расстояние между поездами измеряется путем записи поворотов колес, что означает, что геометрия колес и дорожное полотно влияют на точность. Для

ETCS точность часто повышается за счет объединения нескольких типов датчиков. Синхронизация платформы и инфраструктуры имеет важное значение и выполняется на каждом евробалансе [4].

Были рассмотрены два типа EMU, где корреляция между измерениями GPS и предлагаемым алгоритмом показывает хорошие результаты. Настройка параметров и настройка минимального расстояния между двумя TPRS, d_{min} , влияет на точность. Аспекты настройки должны быть дополнительно изучены для оптимизации с точки зрения точности метода и различных типов поездов. Оба типа поездов EMU, включенных в это исследование, оснащены современными системами одометров. Это означает, что влияние скольжения и сцепления, вероятно, ниже, чем, например, у грузового поезда с одними тахометрами [9]. Кроме того, неопределенность местоположения, вероятно, выше для последнего случая, что снизит точность метода. С помощью алгоритма может быть достигнуто отклонение скорости и ускорения $\pm 1,66$ км/ч и $\pm 0,05$ м/с². Следует отметить, что алгоритм предполагает, что данные о времени движения поезда сообщаются без неопределенности, а опорная скорость GPS рассматривается как истинная скорость поезда. Это упрощение, и влияние этой неопределенности следует дополнительно проанализировать.

С помощью предлагаемого метода базовые данные о динамике для всех типов поездов, работающих на ERTMS, могут собираться с течением времени плавным способом.

Общая идея использовать данные в протоколе ETCS, обрабатывать их и обеспечивать достаточную точность прогнозирования скорости и ускорения оказалась успешной. Описанный метод представляет собой один из подходов к устранению неопределенности в отчетах о местоположении поезда, которая является основной причиной смещения в измерениях скорости и ускорения. Сравнение с традиционным методом GPS позволяет предположить, что метод действителен.

Алгоритм позволяет экономить время, когда речь идет об исследованиях поведения машиниста поезда, когда за несколькими поездами и машинистами

можно следить с течением времени, и выступает в качестве входных данных для исследований, касающихся поведения при ускорении и торможении, связанных с сигнальными точками и кривыми торможения ETCS. Для будущих исследований в области ERTMS машиниста этот метод подразумевает, что входные динамические данные поезда не ограничиваются специально оборудованными людьми в поезде.

Эффективность метода, подчеркнутая путем анализа характеристик торможения с сигнальных точек с различными скоростями выпуска в местах встреч на однопутных путях, показала значительные результаты. Торможение зависит от скорости срабатывания сигнальной точки, и замедление на 43% ниже по отношению к целям со скоростью 15 км/ч по сравнению со скоростью срабатывания 40 км/ч.

Список литературы

1. Apel, N., & Strahl, J. (2011). Basic principles of odometry. In ETCS for engineers (pp. 126–130). Eurail Press;
2. Dhahbi, S., Abbas-Turki, A., Hayat, S., & Moudni, A. E. (2011). Study of the high-speed trains positioning system: European signaling system ERTMS/ETCS. In 4th international conference on logistics (pp. 468–473);
3. Diaz de Rivera, A., Dick, C., & Evans, L. E. (2020). Potential for moving blocks and train feets to enable faster train meets on single-track rail corridors. *Journal of Transport Engineering, Part A: Systems*, 146(8), 1–13;
4. Kecklund, L., & Nordlöf, E. (2015). Challenges and solutions for ensuring good driveability on ERTMS lines. In The fifth international rail human factors conference. London, 14–17 Sept, 2015;
5. Li, G., Hamilton, W. I., Morrisroe, G., & Clarke, T. (2006). Driver detection and recognition of lineside signals and signs at different approach speeds. *Cognition, Technology & Work*, 8, 30–40;
6. Porter, D. (2011). Implementing ERTMS in the UK: Human factors implications for train drivers. In The 12th international rail safety conference. Tokyo, Oct 28–Nov 1, 2013;
7. Pinedo, C., Aguado, M., Lopez, I., & Astorga, J. (2015). Modelling and simulation of ERTMS for current and future. *International Journal of Vehicular Technology*, 2015, 1–11;

8. Murillas, D. H., & Poncet, L. (2016). Safe odometry for high-speed trains. In IEEE international conference on intelligent rail transportation (ICIRT) (pp. 244–248). Birmingham.