

Мобильная лаборатория для испытаний железнодорожной техники

Институт транспортной системотехники (ITS) Исследовательского центра авиации и космонавтики Германии (DLR) с начала 2009 г. для испытаний и измерений применяет смонтированную на автомобиле лабораторию RailDriVE на комбинированном ходу. Лаборатория имеет автомобильную и железнодорожную ходовые части и оснащена различными датчиками для определения места нахождения, системами связи и вычислительной техникой. Мобильная лаборатория может быть использована для решения широкого круга задач.

Исследовательский центр авиации и космонавтики Германии (DLR) в течение многих лет проводил и проводит исследования в области транспорта, касающиеся обеспечения мобильности, охраны окружающей среды, ресурсосбережения и повышения безопасности движения. Получает развитие и

область позиционирования объектов. В основном внимание уделяется проблемам, выходящим за пределы отдельных видов транспорта. При этом существует возможность использования методических подходов и инфраструктуры, созданных для других областей деятельности DLR. Сюда следует отнести,



Рис. 1. Мобильная лаборатория RailDriVE на рельсах

например, испытательную площадку GATE в г. Берхтесгадене, служащую для оценки на базе европейской системы спутниковой навигации Galileo влияния транспортных систем на окружающую среду, и морскую испытательную инфраструктуру SEA GATE в порту Росток, также относящуюся к системе Galileo. Кроме того, существует возможность применения для метрологических целей автомобиля ViewCar, оснащенного измерительными средствами, для анализа вероятностных процессов и поведения водителя в процессе движения.

Центр располагает различным оборудованием и транспортными средствами, позволяющими изучать проблемы позиционирования движущихся и стационарных объектов с целью их безопасной и надежной эксплуатации.

Отделения института ITS размещаются в Брауншвайге и Берлине, где работает около 100 ученых различных специальностей в области автомобилестроения и железнодорожных систем, а также транспортного менеджмента.

Основные возможности автомобиля-лаборатории

В дополнение к имеющемуся оборудованию для научных исследований институт получил мобильную лабораторию RailDriVE (Rail Driving Validation Environment) для исследования железнодорожных систем (рис. 1).

При разработке опытной мобильной лаборатории, способной определять местоположение железнодорожных объектов, были поставлены следующие требования:

- отсутствие проблем при преследовании к месту проведения работ. В ходе работ, выполняемых на железнодорожной линии, машина должна иметь возможность движения по рельсам. Поскольку работы могут проводиться на разных железнодорожных линиях,

потребовалось обеспечить возможность движения лаборатории по автомобильным дорогам;

- простота процедуры допуска для работ на железнодорожных линиях. Этот процесс должен быть также дешевым в связи с тем, что пробег мобильной лаборатории, как правило, незначительный;

- удобство и простота управления — минимальные требования к персоналу, проводящему экспериментальные поездки как на автомобильном, так и на рельсовом ходу;

- гибко используемое оснащение, широкая область применения — круг решаемых задач не должен быть ограничен, поэтому необходимо было обеспечить возможность его расширения в соответствии с меняющимися условиями за счет установки дополнительного оборудования.

Для опробования датчиков и всей системы позиционирования не требуется высокая скорость движения. Управлять автомобилем на рельсовом и безрельсовом ходу может водитель, имеющий для вождения автомобиля по шоссе удостоверение на право вождения класса 3 или класса С1, а для движения по рельсам, прежде всего по подъездным путям, — разрешение на управление вспомогательным подвижным составом, соответствующее действующим требованиям Правил технической эксплуатации железных дорог (рис. 2).

Подготовку такого автомобиля к экспериментам можно проводить в мастерских, не имеющих подъездных железнодорожных путей. После окончания подготовки автомобиль может передвигаться по шоссе к участку железнодорожной линии, подлежащему исследованию. Преимуществом мобильной лаборатории является и то, что во время отстоя она не занимает железнодорожный путь. Кроме того, машина может работать как на неэлектрифицированных, так и на электрифицированных линиях.



Рис. 2. В кабине RailDriVE при движении на рельсовом ходу

Технические средства лаборатории

Датчики

Датчики, установленные в мобильной лаборатории, позволяют определять следующее:

- расположение объекта относительно базовых точек путем измерений пути и скорости;
- направление движения;
- точное (так называемое абсолютное) место расположения объекта и ряд других параметров.

Для измерений пути и скорости использованы импульсный колесный датчик (рис. 3), радар Доплера, оптический датчик и система вихретоковых датчиков. Импульсный колесный датчик считает обороты колеса; по их числу, зная длину окружности колеса, можно рассчитать пройденный отрезок пути. Дополнительно этот датчик определяет направление движения. В радаре использован эффект Доплера, позволяющий установить сдвиг между частотами посланного и отраженного сигналов. Этот сдвиг пропорционален скорости движения.

В оптическом датчике, отслеживающем состояние поверхности

головки рельса, применены частотные фильтры — оптические устройства, которые могут измерять скорость относительного перемещения поверхности с помощью фильтрующего эффекта решетки. Это делает возможным измерение скорости и позволяет определять направление движения рельсового подвижного состава.

Система вихретоковых датчиков обнаруживает металлические неоднородности в конструкции пути — например, рельсовые скрепления. С помощью сигналов от двух датчиков, в идеальном случае идентичных и расположенных на расстоянии l друг от друга,



Рис. 3. Импульсный колесный датчик пройденного пути и скорости

проводится взаимная корреляция для определения отрезка времени T , за которое пройдено расстояние l . Скорость рассчитывают по формуле

$$v = l/T.$$

Определить абсолютное местонахождение объекта можно с помощью приемника и антенны глобальной системы спутниковой навигации GNSS (Global Navigation Satellite System). Ее накопитель, кроме того, позволяет отслеживать местонахождение объекта в течение нескольких часов. Модемы радиосвязи и сети GSM могут быть использованы для приема корректирующих сигналов от базовых станций, что повышает точность позиционирования.

Точно определить местонахождение объекта дает возможность и система вихретоковых датчиков, обнаруживающих, например, стрелочный перевод. Используя цифровую карту участка, можно путем соответствующих измерений определить отклонение объекта от выбранной базовой точки. Применение в комплексе данного способа обнаружения стрелочного перевода и рассмотренных методов измерения пути позволяет непрерывно отслеживать абсолютное местонахождение объекта. Приемопередатчики, расположенные на пути, и антенны, с помощью которых с них могут считываться данные, также поставляют информацию об абсолютном местонахождении объекта. Кроме того, с этой целью можно использовать и видеокамеры, регистрирующие нахождение движущегося подвижного состава в определенных точках.

К датчикам, выдающим информацию о направлении движения, относится также инерционный измерительный модуль. Он определяет ускорение, ориентацию и колебания подвижного состава в трех координатах. Отдельным датчиком наклонов можно регистрировать все важные геометрические и

топологические параметры положения пути.

Для получения дополнительной информации о нахождении подвижного состава применяют также термометры и барометры. По изменениям показаний температуры можно, в частности, судить о въезде поезда в тоннель. Показания барометра могут служить в качестве информации о высоте нахождения единицы подвижного состава над уровнем моря.

Все многообразие датчиков позволяет определить как абсолютное положение подвижного состава на рельсах, так и нахождение его относительно базовых точек при различных внешних условиях.

Дополнительное оснащение

Лаборатория располагает различными техническими средствами, которые обеспечивают ее надежное и разностороннее применение в полевых условиях.

Так, чтобы перечисленные датчики и вычислительные устройства могли работать независимо от автомобильной аккумуляторной батареи, в кузове автомобиля установлен комплект аккумуляторов, обеспечивающий энергообеспечение примерно 7,5 кВт·ч. Аккумуляторы могут подзарядиться во время поездки от генератора или на стоянке от внешнего источника электроснабжения.

Для регистрации и обработки сигналов датчиков, а также визуализации полученных результатов в кузове, оборудованном кондиционером, имеется автоматизированное рабочее место с компьютером.

Ходовая часть передвижной лаборатории дополнительно оснащена реверсивной передачей, обеспечивающей возможность движения с заданной скоростью в обоих направлениях. Следующая особенность — подъемно-поворотное устройство, которое позволяет поднимать, опускать и

поворачивать автомобиль. Оно используется для установки автомобиля на рельсы и снятия с них, а также для изменения направления движения.

Размещение оборудования

В экспериментальном автомобиле-лаборатории установлено следующее оборудование (рис. 4): радар, оптический и импульсный колесный датчики, антенна и приемник GPS, инерционный измерительный модуль, датчик наклонов, вихретоковые датчики, радиоантенна, антенна, воспринимающая сигналы приемопередатчиков, и несколько видеокамер.

Для проведения отдельных экспериментов автомобиль может быть подготовлен достаточно быстро. Это достигается установкой устройств, принадлежащих DLR, или специализированных датчиков, предоставляемых клиентом. Установленные датчики могут работать как части систем, а также применяться для базовых измерений. Предусмотрена возможность установки дополнительных устройств, например лазерного сканера для распознавания объектов.

Выходные сигналы всех систем записываются; еще в процессе движения автомобиля проводится анализ сигналов отдельных датчиков, их объединение и сравнение с цифровыми картами. Полученный результат может быть графически визуализирован.

Области применения

Испытания и оценка систем позиционирования и связи

Важная область применения автомобиля-лаборатории на комбинированном ходу — испытания или проверка совместной работы многих датчиков, осуществляющих позиционирование, т. е. предоставляющих различную информацию о

местоположении объекта. Все датчики вместе образуют систему позиционирования. Данные (сигналы от датчиков) после обработки оператором на специально оборудованном автоматизированном рабочем месте выводятся на экран, что позволяет постоянно контролировать, а также оценивать качество получаемых сигналов. Далее выполняются предварительная обработка и объединение данных; полученный в итоге результат определяет место, в котором находится объект, более точно, чем при использовании данных от отдельных датчиков. Разработка подобных алгоритмов по объединению данных от разных датчиков является одной из важнейших задач института ITS.

Важную роль в этой связи играет также картографическая корректировка (способ Map-Matching), при которой место расположения объекта проецируется на путь. Абсолютная привязка единицы подвижного состава к конкретному пути используется для уточнения результатов позиционирования. При наличии второго или третьего путей способ Map-Matching позволяет правильно выбрать нужный, что имеет важное значение для обеспечения безопасности движения.

Рассмотренным способом можно проверить работоспособность новой системы позиционирования при использовании имеющихся или новых датчиков. Особенно важно, что в любых погодных и климатических условиях (например, дождь, подтопление пути, снег и лед на пути и в междупутье), а также в некоторых других сложных ситуациях мобильная лаборатория без затруднений может, двигаясь по шоссе, достичь места, где должны проводиться измерения.

Для оценки системы позиционирования в отношении ее точности, эксплуатационной готовности и надежности используется опорная система, осуществляющая идентификацию с помощью радиочастот

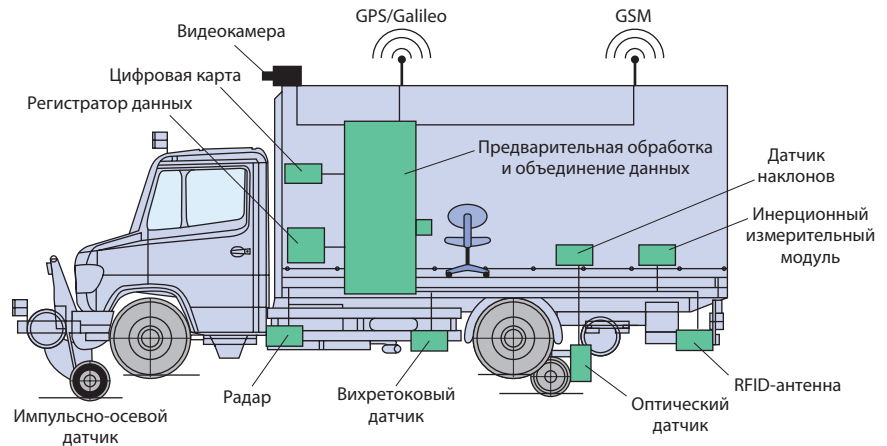


Рис. 4. Схема размещения оборудования мобильной лаборатории RailDriVE

(RFID), радара и предварительно составленной в цифровом виде характеристики участка пути (цифровой карты). Тем самым предоставляется возможность проводить в реальных условиях эксплуатации испытания новых компонентов, например, для европейской системы управления движением поездов (ETCS) с целью проверки их качества в заданных рамочных условиях и упрощения процесса получения допуска к эксплуатации.

Кроме того, лаборатория RailDriVE используется для опробования в будущем европейской системы спутниковой навигации Galileo применительно к железнодорожным и автомобильным перевозкам. При этом речь идет о разработках, которые предоставляют дополнительные или большие возможности, чем уже используемая система GPS, например, в отношении применимости для решения важных задач в области безопасности.

При испытаниях компонентов автомобиля-лаборатории, предназначенных для позиционирования, обязательным было опробование устройств связи для передачи данных пользователю. Разумеется, прежде всего рассматривались системы беспроводной связи. В центре внимания находилась адаптированная к применению на железнодорожном транспорте система

радиосвязи GSM-R. Однако поскольку в обозримом будущем часть железнодорожных линий в Германии (в том числе некоторые региональные) не предполагается оснащать этой системой, справедливо было привлечь и при необходимости опробовать альтернативные методы связи. Для подобных исследований в среднесрочной перспективе средства связи лаборатории будут дополнены необходимыми компонентами.

Комплексное использование систем позиционирования и связи сделало возможными испытания и подтверждение надежности системы предотвращения столкновений, а также системы обеспечения безопасности движения. Например, в рамках внутреннего для DLR проекта разработана система предотвращения столкновений RCAS (Railway Collision Avoidance System). Через соответствующие средства связи лаборатория RailDriVE, играющая роль поезда, должна обмениваться с RCAS информацией о своем местонахождении, определенном с помощью GPS, векторе скорости, тормозном коэффициенте и заданном маршруте следования. Основываясь на этой информации, RCAS должна оценивать ситуацию и обеспечивать заблаговременную остановку поезда в случае возникновения опасности столкновения.

Мобильная лаборатория, укомплектованная приемниками с антеннами глобальной навигационной спутниковой системы GNSS нового поколения и модемом связи, может быть использована как базовая станция системы D-GNSS или как движущийся объект (Rover), местоположение которого нужно определить.

В последнем случае для более точного позиционирования применяется базовая станция-приемник, которая находится в геодезически точно определенной точке. Поскольку погрешности позиционирования полевого и базового приемников одинаковы, исходя из разницы между реальным местоположением базового приемника и рассчитанным с помощью GPS, можно определять корректирующее значение для уточнения места нахождения позиционируемого движущегося объекта.

С помощью базовой станции D-GNSS, функции которой выполняет мобильная лаборатория, точное положение базовой точки можно определять методом итераций до тех пор, пока не будет достигнута требуемая степень точности. При этом возможность хищения или повреждения в результате несанкционированного доступа приемника GNSS исключается. В случае отдельно расположенного на пути стационарного приемника несанкционированный доступ возможен.

Прием и проверка цифровых карт участков линий

Лаборатория со всеми ее датчиками пригодна для решения любых задач трассировки линий, в частности для создания, приема и проверки цифровых карт участков. При этом можно не просто фиксировать трассу линии с высоты птичьего полета и проверять имеющиеся карты, но и с помощью датчика наклонов регистрировать все элементы продольного профиля пути.

Результаты трассировки могут найти разное применение. Так, цифровая карта важна при объединении данных, например поступивших от датчика позиционирования и полученных с помощью метода Map-Matching, т. е. в известном смысле карту можно рассматривать как дополнительный пассивный датчик. Ее также можно использовать как основу при составлении графиков движения поездов, формировании банка данных об инфраструктуре, включая диагностические данные и информацию, необходимую для проектирования.

Проектирование систем управления и обеспечения безопасности движения

Для проверки проектных решений с целью оптимизации применения систем управления и обеспечения безопасности движения лабораторию RailDrive можно использовать еще до окончания укладки пути. При этом объединяют возможности систем моделирования и метрологической базы лаборатории.

По окончании установки на линии систем управления и обеспечения безопасности движения лаборатория может быть использована в процессе приемки линии. При сдаче в эксплуатацию линий, оборудованных системой ETCS, что сопровождается согласованием логических и технических связей приемопередатчиков, а также мест их расположения на линии, требования, предъявляемые к проектной документации и процедуре допуска, могут быть значительно упрощены в случае использования мобильной лаборатории. В рамках соответствующих измерительных поездок определяются и документируются местоположение и другие детали компонентов систем СЦБ и управления движением поездов (например, приемопередатчиков, сигналов, линейных электронных модулей,

изолирующих стыков, счетчиков осей). Местоположение может указываться как в абсолютной форме, так и в относительной (расстояние в километрах от ближайшей базовой точки с абсолютными координатами). Дополнительно с помощью специальной антенны ВТМ возможно считывание данных с путевых приемопередатчиков.

Помимо контроля правильности размещения элементов системы СЦБ и управления движением поездов, лаборатория RailDrive позволяет проводить контроль работоспособности ее отдельных компонентов и пригодности к использованию их в условиях железнодорожной эксплуатации.

Совместное применение лаборатории моделирования и RailDrive

В лаборатории железнодорожного моделирования RailSiTe (Rail Simulation and Testing) института ITS воспроизводится полная цепочка компонентов системы СЦБ и управления движением поездов. Здесь можно проверять отдельные компоненты или системы применительно к будущим условиям работы. Проверку и сертификацию новых систем позиционирования обе лаборатории могут вести совместно: проверку работы датчиков проводит лаборатория RailDrive, технологическую и эксплуатационную оценку системы дает лаборатория RailSiTe. Проверка системы позиционирования включает в себя также контроль выдачи информации о местоположении объекта различными датчиками. В реальных условиях информация передается от лаборатории RailDrive, находящейся в движении, в лабораторию RailSiTe и используется последней для уточнения результатов испытаний.

Зарегистрированную лабораторией RailDrive информацию о местоположении можно применять для замены чисто программного

моделирования динамики движения поездов, выполняемого лабораторией RailSiTe. При взаимодействии этих лабораторий в режиме реального времени информация о единице подвижного состава, смоделированная в RailSiTe, синхронно передается в RailDriVE. Эту операцию выполняет моделирующий бортовой модуль ETCS-OBU, который с помощью своих интерфейсов передает информацию в RailDriVE и через GSM соединяется с другими системами лаборатории RailSiTe. Таким образом, взаимодействие обеих лабораторий обеспечивает возможность проверки инструментов моделирования.

Потенциальные пользователи

Одной из важнейших задач DLR является предоставление научно-исследовательских систем третьим лицам. Лаборатория RailDriVE имеет модульную конструкцию и может быть адаптирована к индивидуальным требованиям возможных заказчиков. В качестве первого шага она может быть ориентирована на опробование важных для безопасности железнодорожной эксплуатации систем позиционирования. Ее потенциальными потребителями могут быть:

- изготовители систем СЦБ и управления движением поездов, которые могут испытывать системы позиционирования, отдельные датчики и другие компоненты разрабатываемых устройств с помощью лабораторий RailDriVE и RailSiTe. Это облегчает интеграцию в систему конкретных элементов и их проверку, что способствует упрощению и ускорению процедуры допуска к эксплуатации;

- компании — операторы железнодорожной инфраструктуры (применение лаборатории RailDriVE для создания и ведения цифровых карт различного назначения и, кроме

того, для опробования новых систем позиционирования, вводимых в эксплуатацию). Лаборатория также может быть полезна при выполнении и приемке проектов СЦБ и управления движением поездов;

- компании-перевозчики (применение мобильной лаборатории RailDriVE при опробовании отдельных датчиков позиционирования или при объявлении тендеров на поставку систем позиционирования, совместимых с ETCS);

- изготовители подвижного состава (применение RailDriVE при разработке концепций унифицированных и стандартных систем позиционирования для подвижного состава различного назначения);

- разработчики и изготовители систем позиционирования (применение RailDriVE в качестве испытательной базы в ходе разработки и для проверки датчиков).

Мобильная лаборатория несомненно будет полезна в процессе систематизированной разработки требований к получению разрешения на применение систем позиционирования и сопряженных с ними технических средств, а также стандартов, используемых в процедуре приемки проектов СЦБ и управления движением поездов.

Лаборатория RailDriVE может быть также адаптирована для научных исследований с целью проверки применяемых алгоритмов позиционирования, опробования новых сочетаний датчиков и новых технологий.

Выводы и перспективы

В целом лаборатория RailDriVE предоставляет возможности для заблаговременной разработки и опробования в реальных условиях инновационных способов позиционирования. Применительно к существующим системам она дополнительно может быть использована

как инструмент для их анализа и проверки.

Концепция лаборатории позволяет применять ее при разработке алгоритмов и функций новых систем позиционирования, а также при проверке функций или алгоритмов уже существующих систем. RailDriVE может сопровождать весь процесс разработки: от идеи до выпуска образца и далее — до создания разрешенного к применению продукта. На ранних стадиях разработки системы позиционирования лабораторию можно использовать для проверки реализуемости системы или быстрого изготовления ее образца, на более поздних стадиях — в качестве базовой и тестовой системы для опробования и получения разрешения на применение.

В рамках проектирования путевых устройств и средств СЦБ и управления движением поездов лаборатория способна обеспечивать поддержку всего процесса разработки, но основная ее роль заключается в опробовании и приемке проекта.

Широкий спектр применений экспериментально-измерительной лаборатории на комбинированном ходу дополняется увязкой информации о местоположении объекта со статусными сообщениями, передаваемыми в лабораторию железнодорожного моделирования, причем с помощью RailDriVE этот процесс выполняется в динамике. В ходе постоянного усиления оснащенности мобильной лаборатории возможности ее применения непрерывно увеличиваются, заинтересованные пользователи и заказчики могут получить в распоряжение инновационный, надежный инструмент, созданный на базе новейшей техники.

По материалам Института транспортных систем (ITS) исследовательского центра DLR (www.dlr.de) и портала Gauss (www.gauss-portal.de).