

## ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ И ТЕКУЩИЕ ПРОБЛЕМЫ АВТОМОБИЛЬНЫХ БЕСПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ VANET

**Е.А. Кучерявый**, доцент Технологического университета (Тампере, Финляндия), к.т.н., PhD

**А.В. Винель**, старший научный сотрудник СПИИ РАН, к.т.н.

**С.В. Ярцев**, инженер СПб ГУП

**Революционный прорыв в технологиях широкополосных беспроводных сетей, обусловленный выходом стандартов семейства IEEE 802.11, позволил начать внедрение новых услуг связи во всевозможных областях. Среди приоритетных направлений развития необходимо отметить организацию связи транспортных средств на дорогах — решение этой задачи должно привести к построению целевых (или смешанных — целевых /инфраструктурных) автомобильных беспроводных сетей. Создание подобных сетей, получивших в англоязычной литературе название Vehicular Ad-hoc Networks (сокращенно VANET), представляется наиболее важной концепцией повышения эффективности и безопасности дорожного движения в будущем, а также увеличения доходов операторов связи. Именно поэтому в настоящее время при поддержке индустрии, государственных и академических институтов в мире активно выполняется несколько научно-исследовательских проектов, направленных на разработку и принятие стандартов автомобильных сетей\*.**

**Введение.** Обеспечение беспроводной связи между транспортными средствами можно с уверенностью считать революционным подходом, имеющим большое значение как для автомобильных производителей, так и для операторов связи. Принимая во внимание постоянный рост автомобильного рынка и усиливающиеся требования к безопасности участников движения, иницируемые, в частности, контролирующими (государственными) органами, потенциал технологий организации связи между автомобилями трудно переоценить. Такие технологии должны стать пригодными для широкого спектра приложений, включая обеспечение безопасности, управление транспортными потоками и комфорт.

На первом этапе должны быть исследованы вопросы, относящиеся к архитектуре, защите информации, маршрутизации, производительности и качеству обслуживания. Требуется тщательное планирование стандартизации интерфейсов и протоколов для того, чтобы гарантировать совместимость оборудования, обеспечение надежной связи транспортных средств от разных производителей. Наличие нескольких конкурирующих технологий приведет к слабому проникновению на рынок и низкой эффективности всей системы в целом. Естественно, что целесообразно внедрять одну общую систему. В конечном счете должна быть предложена продуманная стратегия внедрения, поскольку большинство приложений смогут полноценно работать только после того, как будет достигнуто их проникновение на рынок.

Первым ключевым моментом процесса стандартизации автомобильных беспроводных сетей стало выделение Федеральной комиссией по связи США в 1999 г. диапазона 75 МГц из DSRC (Dedicated Short Range Communications) спектра для осуществления связи «машина — машина» (Vehicle-to-Vehicle,

V2V) и «машина — инфраструктура» (Vehicle-to-Infrastructure, V2I) для приложений, относящихся к безопасности. В том же диапазоне допускается и работа коммерческих приложений при условии, что не происходит интерференции с приложениями обеспечения безопасности. Следующий шаг — разработка модели использования выделенного диапазона DSRC для поддержки приложений безопасности и прочих приложений через сеть VII (Vehicular Infrastructure Integration). Одновременно научное сообщество занимается вопросами разработки и использования связи между транспортными средствами.

**Приложения для автомобильных сетей.** Интеграция сетевого интерфейса, приемника системы глобального позиционирования GPS/ГЛОНАСС, различных сенсоров и бортового компьютера предоставляет возможность построения мощной системы автомобильной безопасности, позволяющей собирать, обрабатывать и распространять информацию. В сети, образованной оборудованными таким образом транспортными средствами, при соответствующей инфраструктуре может быть развернуто большое число приложений.

В общем случае приложения могут быть разделены на четыре основные группы: машина — машина (car-to-car), машина — инфраструктура (car-to-infrastructure), машина — дом (car-to-home) и приложения, основанные на маршрутизации (routing-based). Все они могут относиться либо к безопасности, либо к комфорту (коммерческие).

**Приложения, относящиеся к обеспечению безопасности.** Такие приложения могут быть сгруппированы в три основных класса: помощь водителю (навигация, предотвращение столкновений и смена полос), информирование (об ограничении скорости или о зоне ремонтных работ) и предупреждение (послеаварийные, о препятствиях или состоянии дороги). В силу критичности ко времени подобные приложения обычно требуют прямой связи. Одним из таких приложений могло бы стать уведомление о тревоге, например, об экстренном торможении. В этом случае при дорожно-транспортном происшествии (срабатывании подушек безопасности) или внезапно резком торможении, следующим позади машинам передается уведомление. Такая же информация должна быть также распространена машинами, двигающимися в противоположном направлении, и таким образом, получена автомобилями, которые потенциально могут попасть в аварию.

Другим, более сложным примером является система совместной помощи водителю, использующая обмен данными, например, от сенсоров между машинами. Базовая идея этой системы заключается в расширении поля зрения водителя и дополнительной помощи ему посредством новых автономных приложений. Передавая эту информацию автомобилям, следующим по той же дороге, водители получают информацию об опасностях, препятствиях, транспортном потоке впереди, что в итоге приводит к более эффективному и безопасному вождению. Некоторые приложения этого типа могут функционировать только, если имеется достаточное число автомобилей, оснащенных VANET-системами.

\* Данная работа подготовлена при финансовой поддержке Рособразования в рамках проекта РНП.2.2.2.3.16080 «Исследование перспективных транспортных (VANET) сетей передачи данных». Руководитель проекта — А.В. Винель.

**Коммерческие приложения.** Основная цель коммерческих приложений, приложений комфорта — улучшить удобство пассажиров и повысить эффективность дорожного движения. Для достижения этих целей необходимо определение местоположения ближайших «точек интереса» (points of interest, POI), получение информации о текущей загрузке дорог или погоде, а также интерактивная связь. Здесь могут быть организованы все типы приложений, реализуемых поверх стека протоколов TCP/IP, например, online-игры или служба мгновенных сообщений.

Другой пример приложений — получение данных от коммерческих транспортных средств и дорожной инфраструктуры о предоставляемых услугах (беспроводная реклама). Организации (магазины, закусочные, заправки, отели) могут устанавливать стационарные шлюзы для передачи маркетинговой информации потенциальным проезжающим клиентам. Более того, эти услуги могут быть интегрированы с электронными платежами.

Важная особенность коммерческих приложений состоит в том, что они не должны мешать приложениям безопасности. В этом контексте подходящим решением является приоритезация трафика.

**Открытые научные проблемы в автомобильных сетях.** При внедрении системы автомобильной сети требуется решение нескольких вопросов, часто из различных предметных областей, варьирующихся от разработок приложений до экономических аспектов. Сети VANET могут рассматриваться как частный случай мобильных ad-hoc-сетей (MANET), однако с различными свойствами, к которым относятся:

- стремительные изменения топологии и частая фрагментация, что приводит к маленькому размеру эффективного сетевого диаметра;
- переменный, сильно изменяющийся размер и плотность сети;
- изменение поведения водителя как реакция на данные, получаемые из сети. В свою очередь это ведет к изменениям топологии.

Рассмотрим кратко основные научные проблемы, требующие изучения в VANET-сетях.

**Технология беспроводного доступа.** Существует несколько стандартов беспроводного доступа, которые могли бы быть использованы в качестве основы для организации связи в автомобильных сетях.

*Технологии сотовой связи (2/2,5/3G).* Основные преимущества технологий 2/2,5G — это зона покрытия, 3G обеспечивает большую пропускную способность и эффективное использование спектра. Некоторые проекты по телематике и управлению транспортными средствами уже применяют технологии сотовой связи (например, отчеты по SMS), однако относительно высокая стоимость вместе с ограниченной скоростью и существенной задержкой делают их непригодными для использования в качестве основных средств связи в VANET-сетях.

*Технологии, основанные на IEEE 802.11p.* Институт IEEE работает над изменениями стандарта 802.11, что сделало бы его пригодным для поддержки связи между машинами и дорожной инфраструктурой, или непосредственно между автомобилями, движущимися со скоростями до 200 км/ч на расстояниях до 1000 м. Физический и MAC-уровни основаны на IEEE 802.11a со сдвигом в диапазон 5,9 ГГц (5,850—5,925 ГГц в США). Технология продвигается автомобильной промышленностью в Европе (Car2Car) и в США (VSCC, VII). Затраты

на внедрение оцениваются как относительно низкие в силу больших объемов производства.

*Комбинированный беспроводной доступ.* Одна из наиболее значимых попыток комбинирования вышеупомянутых технологий беспроводного доступа выполняется ISO TC 204 WG16 и называется CALM M5 (Continuous Air Interface for Long and Medium range) — «непрерывный беспроводный интерфейс для больших и средних расстояний». CALM организуется поверх IEEE 802.11p (вместе с группой дополнительных интерфейсов). Поддерживаемые в настоящее время стандарты включают следующие системы: GSM/HSCSD/GPRS (2/2.5G) и UMTS (3G), инфракрасная связь и беспроводные системы в диапазоне 60 ГГц. Использование всех этих интерфейсов в единой системе привело бы к повышению гибкости, избыточности и позволило бы улучшить как производительность, так и надежность функционирования приложений.

**Использование радиоспектра.** Предполагаемый период применения V2V-систем оценивается, по меньшей мере, в 20 лет. Доступность используемого спектра необходимо гарантировать на протяжении этого времени. В США Федеральная комиссия по связи уже выделила полосу шириной 75 МГц в диапазоне 5,9 ГГц (от 5,850 до 5,925 ГГц) для связи C2C и C2I. Как согласовано консорциумами VSC и VII, телекоммуникационная технология, использующая этот спектр, должна быть основана на 802.11 (соответствующие разработки IEEE 802.11p и ISO TC204 уже упоминались).

К сожалению, непрерывный спектр 75 МГц в диапазоне DSRC недоступен в Европе. Поэтому Car2Car было предложено использовать другие частоты — выделить полосу 2—10 МГц в диапазоне 5,9 ГГц (5,875—5,925 ГГц) для применения, в основном, приложениями безопасности. Этот диапазон используется как контрольный канал в США, и его выделение в Европе позволит обеспечить согласованность в мировом масштабе. Та же самая технология затем позволила бы реализовать дополнительную полосу либо в 5 ГГц RLAN диапазоне, либо в 5,8 ГГц IRM диапазоне для коммерческих и не критичных для безопасности приложений [17]. Недавно SEPT/ECC Short Range Device Maintenance Group (SRD/MG) рекомендовала разместить контрольный канал шириной 10 МГц в диапазоне 5,885—5,895 ГГц (для совместимости с подходом США) и второй 10 МГц канал в верхней части ISM диапазона 5,865—5,875 ГГц (для учета радиолокационных служб в диапазоне ниже 5,85 ГГц).

**Широковещание и распространение сообщений.** Предполагаемые приложения потребуют значительного объема информации, которую необходимо передавать в ширококонтинентальном режиме, что приведет к необходимости рассмотрения нескольких способов широковещания. Они включают как узкополосные решения — FM-радио (используемое для RDS/TMC), так и широкополосные цифровые сервисы — DAB, DVB, DVB-H, S-DMB, T-DMB и DDB. Спутниковое широковещание также рассматривается как возможное решение, поскольку оно уже включает информационные службы реального времени о трафике [15].

Широковещание кажется привлекательным решением благодаря низкой стоимости и потенциально большому объему передаваемых данных. Уже существуют несколько служб, основанных на DAB-широковещании и MPEG-протоколе, которые предоставляют информацию о дорожном трафике в реальном времени.

Использование широковещания со знанием местоположения ограничило бы диапазон вещания только необходимой

и ограниченной областью, что снизило бы накладные расходы (предотвращая проблему ширококешательного шторма). Кластеризация является другим подходом для оптимизации процесса распространения сообщений: соседние узлы формируют кластеры и управляемые единицы, ограничивающие зону ширококешания. Например, в [1] предложен метод кластеризации, названный Local Peer Groups (LPGs), в котором узлы организуют статические или динамические кластеры.

**Маршрутизация.** Протоколы маршрутизации для MANET-сетей в последние годы привлекли большое внимание, однако для автомобильных сетей некоторые характеристики сети делают эти протоколы непригодными. Это происходит в силу основного допущения маршрутизации в MANET-сетях: промежуточные узлы всегда могут быть найдены между источником и получателем, и всегда может быть установлено сквозное соединение. Однако периодическое существование сети VANET требует другого подхода, например, идеи «неси и передавай» [2] (carry and forward): если не существует прямого маршрута, то пакет переносится узлом до тех пор, пока он не сможет быть передан узлу, который ближе к конечному получателю.

Концепция «неси и передавай» может быть скомбинирована с одним из трех основных типов алгоритмов маршрутизации, подходящих для автомобильных сетей: передача по возможности (opportunistic forwarding) [3], передача на основе траектории (trajectory based forwarding) [4] и географическая передача (geographic forwarding) [5]. Также может быть разработано гибридное решение, объединяющее два или три различных подхода.

В передаче по возможности сообщение хранится и передается, как только появляется возможность. Этот алгоритм хорошо работает в ширококешательном режиме, но его эффективность снижается, когда получатель представляем собой отдельный узел. Некоторый анализ распространения сообщений на основе передачи по возможности может быть найден в [6]. Географическая передача и передача, основанная на траектории, в контексте автомобильных сетей работают похожим образом, поскольку автомобильный трафик соответствует плану дорог. В первом случае (например, GFG/GPSR, [5]) пакеты передаются к получателю на основе географического положения узла. Этот подход демонстрирует хорошую масштабируемость, но имеет проблемы, связанные с тупиками и отсутствующими маршрутами, даже если маршрут к получателю существует (проблема частично решается маршрутизацией по периметру — perimeter routing).

При маршрутизации на основе траектории дорожная инфраструктура служит в качестве покрывающего направленного графа, в котором узлами являются перекрестки, а дугами — дороги. Сообщения передвигаются по заранее определенным траекториям, и расстояние определяется как расстояние на графе (в отличие от случая с географической маршрутизацией, где используется простое расстояние). Маршрутизация, основанная на траектории, могла бы считаться наиболее естественным алгоритмом передачи для автомобильных VANET-сетей.

**Управление мощностью.** В VANET-сетях такое управление практически не касается энергетической эффективности и в большей степени мощности передатчика — если она слишком высока, то идущая передача в силу интерференции может помешать другой передаче на удаленном узле. Таким образом, чем плотнее сеть, тем меньшая мощность передаваемого сигнала должна быть использована. Эта особенность

также важна с точки зрения решения оптимизационной задачи маршрутизации: каким образом настроить мощность передатчика, чтобы максимизировать суммарную пропускную способность, минимизировав интерференцию?

Здесь могут быть использованы несколько алгоритмов, например, в [7] мощность предлагается настраивать таким образом, чтобы число соседних узлов находилось в установленном диапазоне между минимальной и максимальной границами. С другой стороны, в [8] рассматривается задача улучшения покрытия одношагового ширококешания путем подстройки мощности передатчика. Однако в этой работе предполагается, что все узлы статичны и используют одинаковую мощность передатчика (специально выбранную для всех узлов).

**Безопасность и конфиденциальность.** Безопасность — вопрос, который требует тщательной оценки и рассмотрения при разработке автомобильных сетей связи. Потенциально существуют несколько угроз: фальшивые сообщения, которые могут привести к нарушению движения или даже опасности; сбор закрытой частной информации водителей и т. д. Вопросы, которые должны быть рассмотрены, включают: доверие (транспортные средства должны доверять получаемым сообщениям), устойчивость (устойчивость к интерференции, простота обслуживания) и эффективность, например, аутентификация сообщений в реальном времени.

Конфиденциальность также один из основных вопросов, требующий проработки. Должна быть гарантирована анонимность — сеть не должна применяться для слежки за транспортными средствами или для их идентификации лицами, не имеющими на это полномочий.

Если, так же как в обычных сетях, каждый узел (транспортное средство) будет иметь постоянный MAC-адрес, то это позволит следить за машиной и водителем. По этой причине в IEEE 802.11p предлагается динамическое присвоение MAC-адресов совместно с механизмом выявления одинаковых MAC-адресов.

**Моделирование VANET-сетей.** Дорожное движение обладает особенными свойствами, которые не позволяют легко моделировать его, напрямую применяя подходы, используемые для моделирования MANET. Автомобили не передвигаются случайным образом, а следуют дорожной инфраструктуре: дорожные знаки, сигналы светофоров и другие автомобили влияют на поведение узлов. Узлы перемещаются на высоких скоростях относительно друг друга, динамически изменяется плотность в зависимости от местоположения, недавних событий (например, аварий) или времени суток. Таким образом, можно либо встроить сложную модель дорожного движения в некоторый популярный сетевой симулятор (NS-2, OPNET, GloMoSim) или использовать записи мобильности из другого источника. Они могут быть получены либо на основе измерений реального дорожного трафика, либо из симулятора дорожного движения (например, CORSIM, VISSIM).

Интересная попытка была сделана в [9], где авторам удалось связать симуляторы NS-2 и VISSIM с симулятором приложений на основе Matlab/Simulink. Этот подход позволяет наблюдать, как функциональность VANET-сети влияет на поведение водителей, а следовательно, и на параметры сети. Тем не менее, это решение не оптимально с точки зрения эффективности. Вместо трех различных сред моделирования (выполняющихся на различных операционных системах) наличие одной общей среды для сети автомобильного трафика

и поведения водителей могло бы улучшить вычислительную эффективность и снизить сложность.

**Экономические аспекты.** Технология связи между машинами опирается на сетевой эффект, и для того, чтобы от нее была польза, требуется обеспечить определенный уровень ее вхождения на рынок. Это приводит к обязательной кооперации между производителями автомобилей и другими участниками, такими, как правительственные структуры. Представляется, что когда C2C-технология будет восприниматься как платформа для большого числа приложений, различные группы пользователей смогут быть удовлетворены [10].

Существуют два механизма, приводящих к успешному входу на рынок потребительских технологий: либо от технологии имеется видимая выгода потребителю, либо регулирующие предписания, не оставляющие альтернатив, требуют ее использования. Проблема со вторым механизмом состоит в том, что прежде чем будет издан соответствующий закон, должна быть доказана эффективность технологии. Но в случае автомобильных сетей необходима определенная доля проникновения технологии на рынок до того, как можно будет увидеть какие-то эффекты или улучшения. Таким образом, маловероятно, что развитие рынка автомобильной связи будет происходить таким способом.

Что же касается выгоды потребителю, то возникает другая проблема: если потребитель получает выгоду от технологии только после определенного уровня ее распространения, никто не будет вкладывать средства в эту технологию до тех пор, пока такой уровень не достигнут. Это опять означает, что необходимое проникновение на рынок не может быть достигнуто никогда.

По оценкам, для того, чтобы сделать сеть пригодной для использования, потребуется проникновение, по крайней мере, на 10% рынка. Если предположить, что 50% всех выпускаемых новых автомобилей будут оснащены C2C, то 10%-ное проникновение потребует около трех лет. С учетом того, что в развитых странах автомобили обычно продаются в среднем через 2,5 года после первой покупки, получается, что владелец перепродает автомобиль с технологией, от которой он не получил никакой пользы. И следует заметить, что упомянутые 10% проникновения на рынок — это только лишь нижняя граница [10].

Стратегическая идея — ввести на рынок C2C с помощью приложений «автомобиль-инфраструктура» (C2CI), направленных на повышение комфорта, информирование и развлечения. Связь с инфраструктурой имеет преимущество, состоящее в том, что фиксированные узлы могут устанавливаться независимо от скорости проникновения на рынок автомобильного оборудования. В таком случае все пользователи могли бы получить некоторую функциональность с самого начала. Система должна быть разделена на базовые C2C функции, которые интегрированы во все транспортные средства, и опциональные C2IC приложения. Приложения C2C могут продаваться только при достижении требуемой степени проникновения.

Несмотря на все эти проблемы, потенциал успешного вывода на рынок технологии C2C существует. Однако для этого требуется, чтобы все заинтересованные игроки работали скоординировано, основывая свои концепции на платформе VANET.

**Текущие проекты и стандартизация.** Рассмотрим основные характеристики процесса стандартизации и исследовательские проекты с акцентом на текущие разработки в Европе,

США и Японии. Представляется, что в ходе конвергенции все эти решения приведут к всемирной VANET-платформе.

*В Европе выполняется несколько проектов.* Они объединяют партнеров из индустрии, правительственных агентств и науки. Темы, рассматриваемые в рамках этих работ, включают (помимо других): предупреждения об опасности, запускаемые датчиками опасности (проект Inter-Vehicle Hazard Warning — IVHW), совместное вождение (проекты CarTALK 2000, PROMOTE-Chauffeur и INVENT VLA) и информирование, и предупреждение водителя (проекты PReVENT WILLWARN, SAFEPOT и FleetNet, расширенные в NoW и Car2Car).

Сегодня в Европе работают над тремя приоритетными проблемами: выделение частот, разработка протокола и развертывание инфраструктуры. На данный момент согласовано, что для приложений безопасности будет использован частотный диапазон, близкий к выделенному в США (часть диапазона DSRC). Кроме того, по возможности должна применяться адаптация международных протоколов, в том числе и США.

Рассмотрим проект Network on Wheels (NoW) [11], выполняемый в настоящее время (2004—2008 гг.) исследовательский проект, финансируемый правительством Германии. Его основные партнеры — академические институты, автомобильные производители и производители автоматизации. Задача проекта NoW — разработка системы связи широкого назначения, включающая функциональность ранних проектов Европейского союза (во многом на основе проекта FleetNet). Стандартизация должна выполняться на европейском уровне в сотрудничестве с Car2Car. Радиосистема основана на стандарте IEEE 802.11p, адаптированном для европейского рынка.

Консорциум Car2Car [12] — некоммерческая организация, основанная европейскими производителями автомобилей в 2004 г. с целью повышения дорожной безопасности. Миссией консорциума является создание открытого европейского промышленного стандарта для межавтомобильной связи на основе компонент беспроводных локальных сетей и гарантирование совместимости внутри Европы. Этот проект также включает выработку реалистичных стратегий внедрения и бизнес-моделей для ускорения проникновения на рынок.

*США — VSCC и рабочая группа 802.11p.* С 2002 г. консорциум Vehicle Safety Communication (VSC) работает над разработкой стандартов DSRC, протоколов и приложений, использующихся для связи «автомобиль — автомобиль» и «инфраструктура — автомобиль». Предложения ближайшего будущего включают предупреждения о нарушении правил, о скорости движения и электронные стоп-сигналы. Более отдаленные предложения будут включать подготовку перед неизбежным столкновением, смену полос и совместное предупреждение об аварии впереди, левый поворот и помощь с запрещающими сигналами.

Консорциум VSC принял решение адаптировать существующий стандарт 802.11, т. е. использовать физический уровень 802.11a, в котором применяется мультиплексирование с ортогональным частотным разделением (OFDM) совместно с CSMA/CA MAC-уровнем с некоторыми доработками. Работа происходит в диапазоне 5,9 ГГц DSRC, состоящем из семи 10 МГц каналов, один из которых предназначен для C2C [13].

Стандарт IEEE 802.11p, называемый также «беспроводной доступ для условий транспорта» (Wireless Access for the Vehicular Environment, WAVE), определяет расширения IEEE 802.11,

требуемые для поддержки приложений интеллектуальных транспортных систем. Они включают обмен данными между высокоскоростными транспортными средствами и дорожной инфраструктурой в диапазоне 5,9 ГГц (5,85–5,925 ГГц). Стандарт используется как основа для DSRC-проекта Департамента транспорта США, рассматривающего автомобильные сети связи и, в частности, такие приложения как сбор платежей, услуги безопасности и коммерческие транзакции через автомобили.

По официальным планам рабочей группы IEEE 802.11p, публикация стандарта ожидалась в 2008 г. Технология WAVE часто называется CALM M5, хотя сокращение CALM (Continuous Air Interface for Long and Medium range) идет от ISO TC204 WG 16 [14, 15].

**Япония — AHS и ASV.** В Японии ситуация с разработкой и внедрением автомобильных систем сложнее, главным образом, из-за того, что страна является более технологически развитой, чем США или страны Европейского Союза. Там уже существует большое число бортовых систем для навигации (в большей степени VICS, информация о движении в реальном времени и информационные услуги) и бортовые модули электронного сбора платежей (Electronic Toll Collection, ETC) [16]. Японский подход состоит в том, что общественный сектор, строит базовые сервисы для информирования и безопасности и именно это делает покупку бортовых модулей более привлекательной. Объявленный план второй стадии внедрения интеллектуальных транспортных систем (2007 г.) основан на концепции универсального бортового модуля, поддерживающего все услуги.

Существуют две инициативы, относящиеся к транспортным системам: первая основана на транспортном средстве (vehicle-based, AVH), вторая — на инфраструктуре (infrastructure-based, AVS). Обе инициативы продвигаются Министерством земли, инфраструктуры и транспорта (Ministry of Land, Infrastructure and Transportation, MLIT). Инициатива, пытающаяся связать оба подхода, называется Smartway. Это слово символизирует дорогу или магистраль, в которой значительный объем информации передается между большим числом пользователей, создавая платформу для сервисов ITS. Проект Smartway включает несколько систем, связывающих дорогу и автомобили, большое число сенсоров, таких как радары малой и средней дальности, камеры, ультразвук, инфракрасные каналы и т. д.

Программа ASV расшифровывается как Advanced Safety Vehicle и основывается на C2C. Текущее поколение ASV третье — ASV-3. AHS расшифровывается как Advanced Highway Systems и продвигается ассоциацией ASHRA (Advanced Cruise Assist Highway System Research Association). AHS основывается на технологиях, похожих на ASV, но в отличие от ASV относится только к C2I.

В настоящее время уровень кооперации и интеграции между программами ASV и AVH еще не известен. Неясно также, будут ли эти компоненты продвигаться отдельно или в рамках концепции Smartway. Однако уже решено присвоить 5,9 ГГц диапазона DSRC для автомобильной связи в Японии.

**Заключение.** Выше были перечислены основные проблемы, которые должны быть решены для завершения процесса стандартизации VANET-сетей. Также остаются нерешенными экономические, законодательные и институциональные аспекты. После их решения начнется стадия внедрения, и система станет полностью функциональной в течение нескольких

лет после определенного уровня проникновения на рынок и построения необходимой инфраструктуры.

Технология продвигается автомобильной промышленностью как в США (VSC консорциум, VII инициатива), так и в Европе (Car2Car Communication консорциум). Скорее всего, это приведет к одному универсальному стандарту на основе WLAN / CALM M5 / IEEE 802.11p — транспортной версии IEEE 802.11. Хотя семейство стандартов IEEE 802.11 изначально разрабатывалось для ноутбуков и PDA в общественных зонах доступа в Интернет (hot-spot), эта технология относительно просто изменяется для транспортного использования, перемещаясь в другой частотный диапазон, общий для всех стран. Главное преимущество IEEE 802.11p — дешевизна, обусловленная большими объемами производства, что делает внедрение более легким и ускоряет вхождение на рынок.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Chen W., Cai S.** Ad Hoc Peer-to-Peer Network Architecture for Vehicle Safety Communications // IEEE Communications Magazine. — Apr. 2005.
2. **Davis J., Fagg A., Levine B.** Wearable computers as packet transport mechanisms in highly-partitioned ad-hoc networks // International Symposium on Wearable Computing. — Oct. 2001.
3. **Chen Z.D., Kung H., Vlah D.** Ad Hoc Relay Wireless Networks over Moving Vehicles on Highways // MobiHoc. — 2001.
4. **Niculescu D., Nath B.** Trajectory Based Forwarding and Its Applications // MobiCom. — 2003.
5. **Bose P., Morin P., Stojmenovic I., Urantia J.** Routing with Guaranteed Delivery in Ad-Hoc Wireless Networks // ACM Wireless Networks. — Nov. 2001.
6. **Little T., Agarwal A.** An Information Propagation Scheme for ANETs / 8th International IEEE Conference on ITS. Vienna, Austria. — Sept. 2005.
7. **Caizzone G., Giacomazzi P., Musumeci L., Verticale G.** A Power Control Algorithm with High Channel Availability for Vehicular Ad Hoc Networks // IEEE ICC. — 2005.
8. **Li X., Nguyen T., Martin R.** Using Adaptive Range Control to Maximize 1-Hop Broadcast Coverage in Dense Wireless Networks // IEEE SECON. Santa Clara, CA. — Oct. 2004.
9. **Lochert C., Barthels A., Ceroxantes A. et al.** Multiple Simulator Interlinking Environment for IVC // 2nd ACM's VANET. — 2005.
10. **Matheus K., Morich R., Lbke A.** Economic Background of Car-to-Car Communications / IMA 2004. Braunschweig, Germany. — Oct. 2004.
11. The NOW: Network on Wheels project, official webpage: <http://www.network-on-wheels.de>.
12. Car2Car Communication Consortium, official webpage: <http://www.carto-car.org>.
13. VSCC: Vehicle Safety Communications Project, Task 3 Final Report, Identify Intelligent Vehicle Safety Applications Enabled by DSRC
14. **Franz W.** Car-to-Car Communication — Anwendungen und aktuelle Forschungsprogramme in Europa, USA und Japan / ATA EL Conference. Parma, Italy. — June 2004.
15. European Commission, DG INFSO. INFSO G4/JJ D(2006) 701311 Working Paper on Intelligent Co-operative Systems based on V2V and V2I Communications. — Jan. 2006.
16. ITS Review Japan. Trends in Intelligent Transport Systems (ITS) Research Report, Special Topic Full-Fledged Application of Dedicated Short-Range Radio Communications for ETC. — Spring 2003.
17. **Kosh T.** Technical Concept and Prerequisites of Car2Car Communication / 5th European Congress and Exhibition on ITS. Hannover, Germany. — June 2005.

Получено 1.08.08