

ПРЕИМУЩЕСТВА СИЛЬНОСВЯЗАННЫХ АРХИТЕКТУР ПРИ КОМПЛЕКСИРОВАНИИ ПРИЕМНИКОВ ГЛОБАЛЬНЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ И VANET-ПРИЕМОПЕРЕДАТЧИКОВ

Проблемно-ориентированные транспортные сети (Vehicular ad-hoc networks, VANET) – это новый тип сетей, которые найдут применение при решении самых различных задач. При этом вне зависимости от того, будет ли используемый в такой сети беспроводной доступ синхронным или асинхронным (как, например, в разрабатываемом стандарте IEEE 802.11p), требуется синхронизация данных, передаваемых между узлами сети. Более того, для обеспечения работы транспортных служб и корректной переадресации сообщений требуется информация о местоположении объектов. В итоге синхронизация и позиционирование – важнейшие условия функционирования VANET-сети. Одновременно распространение навигаторов, основанных на использовании информации от глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС), создает предпосылки для комплексирования ГНСС-приемников и VANET-приемопередатчиков. Сделан анализ потенциальных преимуществ сильносвязанных архитектур при комплексировании указанных приемников и показано, что дают предложенные структуры для построения интеллектуальных транспортных систем (ИТС).

1. Роль времени и координат в ИТС

Сеть VANET состоит из транспортных средств (ТС), оснащенных беспроводной связью малой дальности действия, которые при взаимодействии образуют распределенную во времени сеть, обеспечивающую обмен данными с другими ТС (или придорожными стационарными узлами инфраструктуры), распо-

Скопиньо Риккардо Мария. Доктор наук, заведующий лабораторией Института Марио Боелла (Турин, Италия).

Коццетти Гектор Агустин. Научный сотрудник, магистр Института Марио Боелла.

Ло Прести Летиция. Профессор Туринского политехнического института.

Статья по докладу на XVII Санкт-Петербургской международной конференции по интегрированным навигационным системам.

ложенными в пределах зоны действия радиосвязи или даже вне ее, если между ТС организована ретрансляционная связь. Внутрисетевые связи можно разделить на связи типа ТС-ТС (в дальнейшем обозначаемые T2T) и ТС-инфраструктура (T2И); которые должны обеспечивать надежную, быструю и защищенную пересылку данных, используемых в различных приложениях, в том числе связанных с безопасностью движения.

Приложения, связанные с безопасностью, призваны обеспечивать водителей сведениями о критических ситуациях с тем, чтобы избежать аварий. При этом объем передаваемой информации относительно невелик, но предъявляются строгие требования к надежности передачи, задержке доставки и распределению пакетов данных. Наоборот, приложения, не связанные с обеспечением безопасности, налагают более строгие требования к полосе пропускания. Их задача – повысить комфортность вождения и эффективность транспортных систем за счет таких услуг, как доступ к Интернету, обновление электронных карт и оплата товаров и услуг в процессе вождения.

Таким образом, различные приложения накладывают противоположные требования к инфраструктуре связи, что значительно усложняет эффективную разработку протоколов связи в VANET-сетях (например, управления доступом к линиям связи, маршрутизации и пересылки данных). Самым простым способом широковещательной передачи сообщений для обеспечения безопасности является их лавинная рассылка, однако, ее применение может привести к таким нежелательным последствиям, как «шторм широковещательных пакетов», при которых ретрансляция избыточных пакетов приводит к многократным конфликтным ситуациям и большим задержкам в передаче данных. Возникающие при этом в VANET-сети задержка сообщений, потеря пакетов и непроизводительные затраты детально рассмотрены, например, в 4.

Для рассылки экстренных сообщений в VANET-сетях требуется использовать не допускающие задержек и потерь данных протоколы управления доступом к линиям связи (УДС). В силу того, что узлы VANET-сети в общем случае перемещаются и меняют взаимное расположение, протокол УДС должен быть децентрализованного типа, что в свою очередь может привести к непредсказуемым задержкам в доступе к линии связи. С другой стороны, такие свойства VANET-сети, как мобильность высокоскоростных узлов, частое изменение ее топологии и малое время связи, значительно ухудшают работу обычных, основанных на топологии, протоколов, разработанных для мобильных проблемно-ориентированных сетей (Mobile ad hoc networks, MANET). Это происходит из-за потерь, вызванных затратами на управление (выявление маршрута, его обслуживание и т.д.), которые необходимы для частого обновления маршрутной информации по всей сети, а также сбоями при передаче данных и нестационарной природой такой связи).

Подытоживая сказанное, можно отметить, что VANET-сеть имеет сложную структуру, где узлы должны обмениваться информацией в децентрализованном режиме, чтобы обеспечить гибкость обмена, однако, в результате они не обеспечивают гарантированный детерминированный доступ к линии связи и варьируемую маршрутизацию вследствие свойств самой сети.

В настоящее время две организации по стандартизации (IEEE – Институт инженеров по электротехнике и электронике и ETSI – Европейский НИИ космической техники, соответственно в США и Европе) разрабатывают основные положения по стандартам VANET-сетей, работающих в диапазоне 5,9 ГГц. В обоих случаях разрабатываемые стандарты представляют собой дополнение к

стандарту WiFi, обеспечивающему беспроводной доступ в транспортных приложениях (Wireless access in vehicular environments, WAVE) и поддерживающему ИТС. Одновременно в ряде разработок 5, 6, 7 рассматривается возможность организации распределенной синхронной VANET-сети с использованием двух различных сегментных подходов к передаче данных (MS-Aloha и STDMA), в настоящее время исследуемых в ETSI как потенциальное решение нового поколения. Для простоты в оставшейся части статьи будем называть приемопередатчик, установленный на ТС, и стационарный узел, обеспечивающие связь малой дальности действия, WAVE-узлом вне зависимости от того, что он собой представляет.

Следует также упомянуть, что аналогичные подходы исследуются и другими коллективами, например, Консорциумом по автомобильной связи (КАС) 3, заинтересованными в получении согласованных результатов и определении необходимого набора интерфейсов. Поступают и предложения, дополняющие уже изложенное и нацеленные на организацию связи без переприема.

Основываясь на стандартах и научной литературе, можно определить следующие тенденции, связанные с использованием времени в VANET-сетях:

- Стандарт УДС IEEE 802.11p основан на алгоритме CSMA – множественного доступа с контролем несущей, который является асинхронным и основывается на концепции случайного времени ожидания. Единственные часы, задействованные при этом – плезиосинхронные бортовые часы;
- В литературе по VANET-сетям в последнее время отмечается значительный интерес к синхронным протоколам УДС, как альтернативе протоколу CSMA, которые исследуются для возможности использования в будущих международных стандартах;
- Несмотря на асинхронный протокол УДС WAVE-узлы обеспечивают и синхронный многоканальный доступ, подразумевающий наличие канала управления (КУ), предназначенного исключительно для данных по безопасности, и один или несколько каналов сервисных (КС), обеспечивающих предоставление услуг с использованием Интернет-протокола. Переключение между КУ и КС-каналами осуществляется с использованием процедур, требующих жесткой синхронизации.

В результате не только при применении синхронных протоколов УДС, но и в случае мультиканальных CSMA-приложений необходима четкая синхронизация с использованием глобального временного обеспечения 15 17. При этом предлагается несколько методов синхронизации, (см., например, 14), однако, как показано в 15, гарантировать нужное качество работы может только ГНСС.

В дополнение следует сказать о том, какую роль играет определение местоположения ТС в VANET-сетях. Принцип географической маршрутизации использует данные о географических координатах объекта. Он основан на концепции маршрутизации сообщения, опираясь на географические координаты пункта назначения, а не на его сетевой адрес. В VANET-сетях геомаршрутизация используется при организации беспроводной сети между ТС, а также между ТС и стационарными станциями, расположенными вдоль дорог. При этом и в том и в другом случае данные об их координатах поставляются ГНСС-приемником.

Геомаршрутизация работает без установления факта соединения, не требуется стабильной связи с подвижным узлом или стационарной станцией. Более того, она полностью децентрализована и основана на концепции проблемно-

ориентированной сети: мобильные узлы обмениваются информацией друг с другом и могут иметь нерегулярный доступ к инфраструктуре. Такой подход идеален для высокодинамичных узлов сети и частых изменений ее топологии.

Геомаршрутизация может использоваться как для одноадресной передачи, где пункт назначения – конкретный узел с известными координатами, так и для циркулярной рассылки данных, когда пункт назначения – это набор узлов в определенной области. Тогда можно сделать следующий вывод: в VANET-сетях, где при геомаршрутизации сообщений используются данные о координатах ТС, чрезвычайно важным является решение задачи позиционирования. Данные о координатах используются как при одноадресной, так и при циркулярной передаче.

Таким образом, учитывая характеристики обмена данными между ТС и ограничения, связанные с необходимостью знать координаты ТС и время, и принимая во внимание популярность ГНСС, резонно предположить возможность комплексирования данных ГНСС-приемника и WAVE-приемопередатчика. Такой подход неоднократно упоминался в литературе и подразумевается во всех решениях, предлагаемых изготовителями автомобилей [3].

Данная статья посвящена структурам, которые позволяли бы оптимальным образом осуществить упомянутое комплексирование в составе так называемого бортового блока (ББ). В дальнейшем в разделе 2 описываются две предлагаемые архитектуры ББ, в разделе 3 проводится их анализ с оценкой возникающих при этом преимуществ при обеспечении услуг, поставляемых ИТС и обсуждаемых в литературе. В разделе 4 в дополнение исследуются некоторые новые сервисные возможности ИТС и показано, что их реализация возможна только при комплексировании блоков ГНСС и WAVE.

2. Связанные архитектуры для бортового блока

Несмотря на то, что интеграция ГНСС и WAVE-приемопередатчиков признана ключевым моментом для обеспечения функционирования VANET-сетей, способы такой интеграции еще не стандартизированы. Очевидно интуитивное решение, при котором ГНСС-приемник является опорным элементом ББ и обеспечивает автомобильный навигатор и WAVE-приемопередатчик данными о времени и координатах, в результате чего имеет место так называемая слабосвязанная архитектура (СЛС-ББ), представленная на рис. 1.

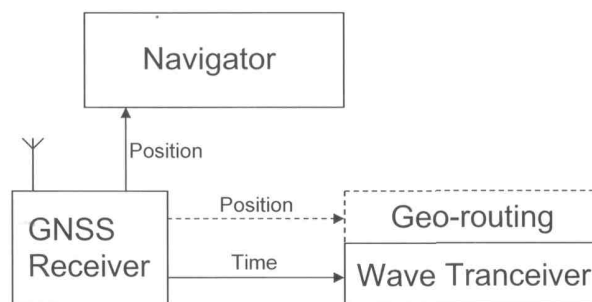


Рис. 1. Слабосвязанная архитектура: GNSS Receiver – приемник ГНСС; Geo-routing – геомаршрутизация; Wave Tranceiver – WAVE-приемопередатчик

Такая архитектура проста, понятна и решает все задачи, которые требуются для основной работы узла:

- координаты, определенные ГНСС-приемником, подаются на навигатор ТС;
- вырабатываемое им же время можно использовать для синхронизации работы WAVE-узла.

Соответственно, такая же архитектура обеспечивает выработку данных о координатах, необходимых для решения задачи геомаршрутизации сообщений.

Более глубокий анализ показывает, что такая архитектура, тем не менее, является слишком консервативной, чтобы обеспечить эффективное использование разнородных данных, доступных на борту ТС (выполнить так называемую междоменную оптимизацию). Чтобы реализовать эту задачу, предлагается сильносвязанная архитектура, изображенная на рис. 2 (СНС-ББ).

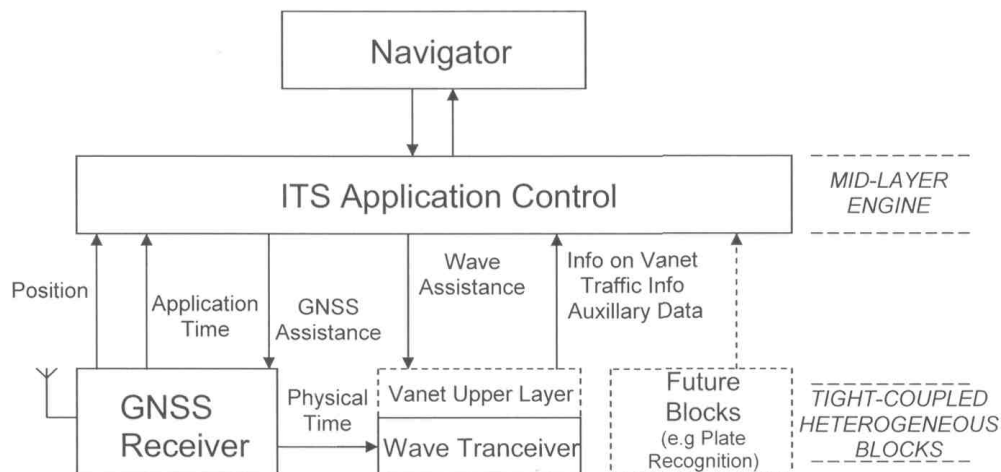


Рис. 2. Предлагаемая сильносвязанная архитектура: обозначение (сверху вниз и справа налево): навигатор; управление ИТС-приложением; блок среднего уровня; координаты; время, используемое приложением; поддержка ГНСС; поддержка Wave; данные Vanet-сети, данные о трафике, вспомогательные данные ГНСС; физическое время; верхний уровень Vanet-сети, Wave-приемопередатчик; блоки услуг будущего (напр. распознавания номера); сильносвязанные разнородные блоки

Преимущества сильносвязанной модели можно суммировать следующим образом:

- *Междоменная оптимизация* осуществляется в блоке среднего уровня, который обрабатывает разнородные данные как единое целое, оптимизируя, группируя и комплексирова их, обеспечивая выработку информации в виде, готовом для использования в основных блоках, например, для поддержки WAVE-приемопередатчика. В блоке среднего уровня возможно произвести сопоставление и выработку интегрированных данных, а также проверку их на согласованность: например, координаты узла могут быть получены не только по данным ГНСС-приемника, но и в результате обработки данных от бортовых датчиков (к примеру, акселерометров) и решения задачи взаимного позиционирования, с использованием информации, полученной WAVE-узлом. В результате процесс позиционирования становится робастным и двунаправленным: вначале данные поступают от сильносвязанных разнородных блоков в блок среднего

уровня, а затем в виде сгруппированных данных – сверху вниз, из блока среднего уровня к разнородным блокам. Происходящее при этом обсуждается в разделе 2.1.

- Несмотря на дополнительный логический блок (блок среднего уровня), связь между блоками становится сильной, так как между ними можно передать больше данных, чем в слабосвязанной архитектуре. При этом структура приобретает гибкость за счет возможности доступа к большему объему информации, например, WAVE-узлы могут пользоваться данными VANET-сети (дорожным трафиком, результатами решения задачи взаимного позиционирования, картами, и т.д.).
- В то время как связь между технологическими блоками становится сильной, навигатор становится верхним блоком, который обеспечивает лишь маршрутизацию ТС, а также визуализацию данных при помощи удобного и гибкого интерфейса. Предполагается, что в дальнейшем навигатор не только передаст функции позиционирования блоку среднего уровня, но и будет выполнять большой набор функций, связанных с отображением дополнительных функций (данные о трафике, загрязнениях окружающей среды, авариях и т.д.), и поддерживать интеллектуальную маршрутизацию (расчет маршрута с наименьшим расходом топлива, с учетом сведений о загрузке трассы т.д.).
- В такую структуру легко интегрируются дополнительные блоки, например распознавания номера, датчики скорости, ускорения и состояния окружающей среды, видеокамеры и т.д. При этом для каждого из них выбирается специальный интерфейс или используется специальная шина. Таким образом, можно интегрировать новое оборудование по принципу автоматической настройки конфигурации типа plug-and-play. При этом требуется лишь умение обращаться с драйверами новых устройств и корректная обработка вырабатываемых ими данных.
- Что касается поддержки ГНСС-приемника, то WAVE-приемопередатчик обеспечивает возможность выдачи соответствующих данных, в том числе дифференциальных поправок. Например, система EDAS доступа к данным EGNOS обеспечивает выдачу сырых данных ГНСС GPS и ГЛОНАСС, а также навигационных данных, собранные сетью станций RIMS классификации и контроля целостности данных и навигационных сухопутных наземных станций NLES. Одновременно система EDAS обеспечивает выдачу корректур, которые обычно получают пользователи от геостационарных спутников EGNOS.
- Наконец, сильносвязанное интегрирование может быть выполнено и на более низком уровне, непосредственно в ГНСС-приемнике (в цепи обратной связи, вводимой для управления GPS-приемником). Эта концепция обсуждается в следующем подразделе, схема представлена на рис. 3 и 4.

2.1. Интеграция архитектур на уровне ГНСС-приемника

До настоящего момента комплексирование ГНСС-приемника и VANET-приемопередатчика обсуждалось только на абстрактном уровне. Известно, что работа ГНСС-приемника может быть улучшена при поступлении в него данных о скорости, времени и координатах от внешнего источника, что дает преимущества при решении в приемнике задач синхронизации и позиционирования в части робастности, точности и устойчивости в сложных условиях. Практический пример такого источника – инерциальные навигационные датчики (ИНД), кото-

рые можно применять для экстраполяции координат ТС, когда сигнал ГНСС недоступен. Могут использоваться и другие датчики.

Такое комплексирование на уровне ББ оказывает определенное влияние на архитектуру ГНСС-приемника. Чтобы лучше пояснить смысл идеи, ниже дается описание для случая интеграции с ИНД, но ту же схему можно применить и для более сложных сигналов, например, поступающих от блока среднего уровня, отображенного на рис. 2.

Достоинства и недостатки ГНСС и ИНД взаимно дополняют друг друга. Данные ГНСС-приемника содержат достаточно большие (в сравнении с погрешностями ИНД на малом интервале), но ограниченные сверху погрешности. Автономная инерциальная навигация, наоборот, дает приемлемые результаты лишь на коротких временных интервалах, а на длинных имеет накапливающуюся погрешность. Корректное комплексирование данных ГНСС-приемника и ИНД-данных дает возможность снизить уровень погрешностей как одной, так и другой системы, и воспользоваться преимуществами каждой из них, причем полученные в итоге данные о координатах оказываются более высокого качества, чем по данным отдельных систем. Таким образом, интеграция ИНД/ГНСС дает пользователю преимущества гибридного решения; поддерживает заданный уровень погрешностей при пропадании сигнала ГНСС, обеспечивает полное навигационное решение с шестью степенями свободы (три линейных и три угловых координаты) с более высокой скоростью выдачи данных, чем у обычного ГНСС-приемника 9, снижает случайную составляющую погрешностей навигационного решения в ГНСС-приемнике и обеспечивает решение задачи в условиях высокой динамики транспортного средства и помех.

Самый простой вариант ИНД/ГНСС-интеграции – несвязанная гибридизация различных элементов. Однако современные технологии используют связанные решения с разным уровнем интеграции: слабая, сильносвязанная, тесносвязанная и ультра-тесносвязанная (глубокая) 10. При несвязанной интеграции происходит простое осреднение результатов независимых решений, полученных с использованием данных от ИНД и ГНСС, на основе ковариационных матриц, вычисленных в каждом автономном решении. В отличие от этого случая, при остальных способах комплексирования требуется знание модели погрешностей инерциального измерительного блока (ИИБ), представляющей собой стохастическое дифференциальное уравнение с параметрами, подлежащими уточнению. При решении задачи комплексирования этими параметрами дополняются основные компоненты вектора состояния (координаты, скорость, углы ориентации), описывающие навигационные данные, вырабатываемые с использованием ИНД. Эти дополнительные параметры будем называть калибровочными компонентами вектора состояния.

При слабосвязанном комплексировании (СЛС-ГНСС) процессор, обрабатывающий данные ИНД, вырабатывает оценки 8 – 9 основных компонент и 6 – 24 калибровочных с их ковариационными матрицами, а процессор ГНСС-приемника оценивает компоненты, связанные с координатами и являющиеся общими для этих двух задач. Инструментом комплексирования данных ИНД и ГНСС обычно, но не всегда служит фильтр Калмана, который улучшает оценку упомянутых ранее компонент. При этом оценка основных компонент дает комплексированное решение навигационной задачи, а оценки калибровочных компонент подаются в процессор обработки ИНД-данных, в результате чего данные на его выходе будут иметь меньший уровень погрешностей. В итоге пропа-

дание сигнала ГНСС удается компенсировать за счет работы корректно откалиброванного ИИБ.

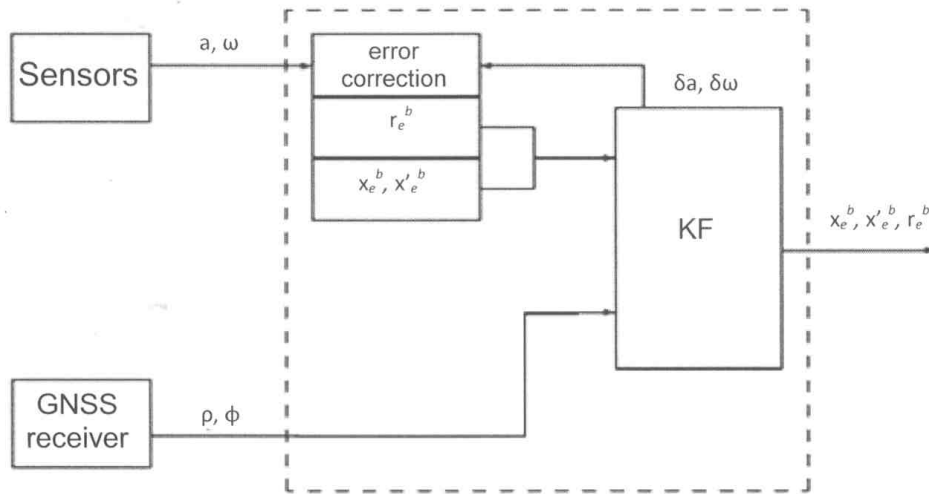


Рис. 3: Сильносвязанная схема

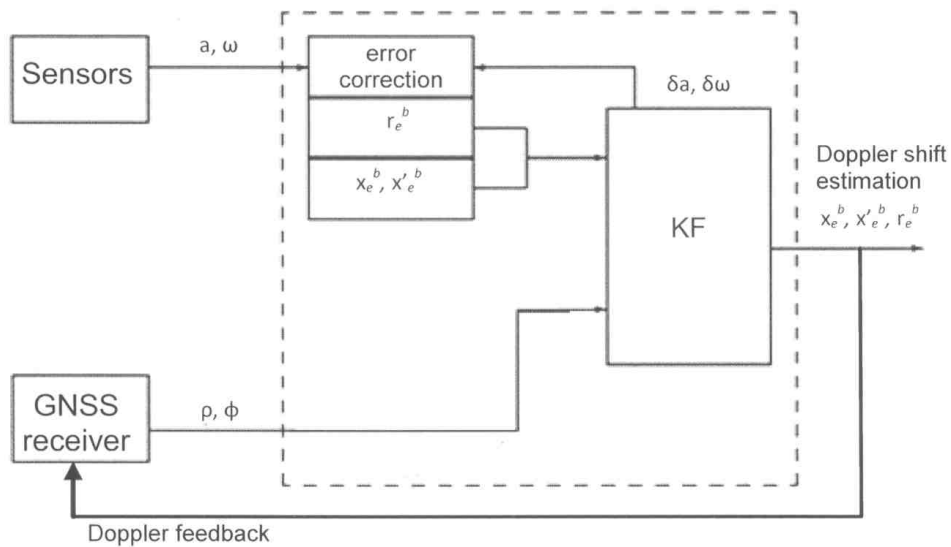


Рис. 4. Тесно- и ультратесносвязанная (глубокая) гибридная схема

На рис. 3 и 4 приняты следующие обозначения: Sensors – датчики GPS receiver – приемник GPS; error correction – коррекция ошибок; KF – фильтр Калмана; Level – уровень; Doppler shift estimation – оценка доплеровского сдвига (Доплера); Doppler feedback – обратная связь по Доплеру

При сильносвязанной (СНС-ГНСС) интеграции ГНСС-процессор исключается из решения задачи интегрирования, а его функции передаются процессору комплексирования данных ИНД и ГНСС, на вход которого подаются оценки основных и калибровочных компонент, вырабатываемые ИНД-процессором, а также вырабатываемые ГНСС-приемником измерения дальностей и/или фазы.

При этом в процессе обработки этих данных, осуществляемой обычно с применением метода наименьших квадратов, учитываются погрешности часов ГНСС-приемника и неопределенности в знании фазы несущей. Преимущество сильносвязанной обработки по сравнению со слабосвязанной следующее: при слабосвязанной обработке для формирования ГНСС-измерений (координат) требуется наличие сигналов как минимум от четырех спутников, а при сильной связи это ограничение отсутствует. Другими словами, в сценариях со слабыми спутниковыми сигналами или их отсутствием использование сильносвязанного подхода приводит к постепенному ухудшению качества навигационного решения, а слабосвязанного – к чисто инерциальному решению. Уровень сильносвязанной системы отображен на рис. 3.

Тесносвязанное (ТС-ГНСС) комплексирование отличается от сильносвязанного наличием информационной обратной связи в ГНСС-приемнике. При таком комплексировании на основании известных или оцениваемых скоростей каждого из спутников и скорости ТС, вырабатываемой ГНСС-приемником на точку расположения его антенны, рассчитываются мгновенные значения их разностей (псевдоскорости), называемые далее «скоростями визирования», которые передаются в ГНСС-приемник. Скорости визирования позволяют оценить доплеровские сдвиги частоты, и, соответственно, корректно определить частоту принимаемого сигнала для настройки контура фазовой автоподстройки ГНСС-приемника.

Ультра-тесносвязанная (или глубокая) интеграция отличается от тесносвязанной вырабатываемыми ГНСС-измерениями, используемыми в навигационном процессоре. Если при тесносвязанном комплексировании используются измерения дальности и фазы, то при ультра- тесносвязанной – некоторые параметры I и Q [1]. Оба типа интеграции представлены на рис. 4.

3. ИТС-сервисы и архитектуры бортового блока

В последних работах (например, [18]) приводится достаточно полный список применений VANET-сетей, рассматриваемых основными консорциумами и органами стандартизации (ETSI, IEEE, KAC) и изученных в рамках ряда европейских исследовательских проектах (SAFESPOT, CVIS, COME2REACT, SEVECOM). В основном все VANET-услуги можно разделить на следующие три группы: 1) услуги для водителей (нацеленные на повышение безопасности), 2) услуги, направленные на повышение качества дорожного движения и 3) деловые и развлекательные приложения.

К первой категории относятся все сообщения обеспечения безопасности, которые призваны снизить количество несчастных случаев на дороге. Среди них следует упомянуть: включение предупредительного светового сигнала при экстренном торможении, предупреждение о медленно движущемся автомобиле, о столкновении на перекрестке, об опасном участке дороги, об игнорировании сигнала светофора, о неправильной смене полосы движения, о столкновении по ходу движения и т.д. Большинство этих сообщений передается в широкоэмитальном режиме (т.е. на все узлы сети, а не на какой-либо конкретный) периодически или инициируются самим событием и занимают время порядка 100 мс. Они могут перекрывать один или несколько интервалов связи.

Для заинтересованных потребителей – водителей данные сообщения являются наиболее важными и требуют простой реализации прямого действия, т.е. должны передаваться в первую очередь и иметь более высокий приоритет, чем

остальные. В соответствии с этой целью дополнительные, более сложные функции (напр. маршрутизации, предусмотренные в MANET-сетях) здесь не предусмотрены. В подобных случаях обычно используются базовые инструменты, которые могут поддерживаться применением ББ со слабосвязанной интеграцией. Может показаться, что услуги по безопасности могут одинаково эффективно предоставляться различными архитектурами, однако, и здесь применение сильносвязанных решений (СНС-ББ и СНС-ГНСС) обеспечивает определенные преимущества.

- В первую очередь можно улучшить и ускорить определение координат за счет использования СНС-ББ, обеспечивающего обработку разнородных данных с учетом вспомогательной и дифференциальной информации, поставляемой WAVE-приемопередатчиком, и СНС-ГНСС, обладающего повышенной точностью. Для конечных пользователей преимущества могут быть огромными, особенно в загруженных городских районах, где тесные улицы и близкие параллельные полосы движения способны сбить с толку ГНСС-приемник, в то время, как предупреждения о столкновении основываются на высокой точности относительного позиционирования ТС.
- Специальные услуги, связанные с топологией сети, например, предупреждение о столкновении на перекрестке и управление движением на нем, также могут быть усовершенствованы за счет использования СНС-ББ. В самом простом случае они строятся на сообщениях, транслируемых стационарными узлами инфраструктуры (И2Т-сообщение). Однако, если один из подвижных узлов, приближающийся к перекрестку, застрял в пробке и осведомлен о происшедшем благодаря СНС-ББ, обладающими точными данными о местоположении, скорости, числе узлов сети и т.д., то он может послать дополнительное сообщение, например, о расчетном времени ожидания.
- Как уже упоминалось, для нормальной работы WAVE-узлов чрезвычайно важна точная и устойчивая синхронизация, что как раз и обеспечивается сильносвязанным ГНСС-приемником 1. Заметим, что между временным обеспечением, используемым протоколом УДС, построенным в соответствии с требованиями IEEE 802.11p, и реализуемым в многоканальной WAVE-архитектуре, имеется существенная разница. Так, если структура, соответствующая IEEE 802.11p, является асинхронной (см. раздел 1), то для WAVE-узла требуется, чтобы мультисканальный доступ к КУ и КС осуществлялся с использованием единого времени: для успешной передачи данных необходим автоматический контроль работы канала вплоть до момента его синхронизации. В результате одно из основных преимуществ протокола CSMA множественного доступа с контролем несущей и предотвращением конфликтов, нацеленного на обеспечение асинхронной работы, теряется из-за указанных требований к синхронизации со стороны WAVE-узла 17.
- Требуется, чтобы сообщения безопасности работали в детерминированном режиме. Это и является основным побудительным мотивом для анализа выполнимости сегментных подходов, которые в настоящее время исследуются научными обществами и органами стандартизации. Однако сегментные подходы типа MS-Aloha 5, 6] опять же могут быть реализованы только при наличии точной и стабильной синхронизации, причем последняя (в том числе и при ослаблении принимаемого сигнала) может быть достигнута, как уже упоминалось, только при использовании сильносвязанных приемников ГНСС (раздел 0).

- Напоследок следует упомянуть о некоторых новых решениях, в которых могут успешно применяться сильносвязанные бортовые блоки. Например, в 12 используется взаимное положение ТС для эффективной передачи сообщений по многоканальным трассам. Главная идея решения такова: при передаче сообщений нужно максимально избегать множественной передачи различными узлами, чтобы не допустить так называемых «штормов широкоэмитерных пакетов». Эта цель реализуется за счет обеспечения передачи самыми дальними узлами, получившими сообщение; с практической точки зрения данное решение основывается на параметрах, способствующих предотвращению при применении CSMA (чем дальше узел, тем короче время ожидания). Однако, как показано на рис. 5, использование лишь информации о взаимном положении ТС способно дезориентировать решение задачи, в то время как наличие контекстных данных может обеспечить решение при любой форме дороги, включая разворот на 180°. Если топология дороги хорошо известна, то для топологии, приведенной на рис. 6, можно сделать правильный вывод: узел С идентифицируется как более дальний, чем В, несмотря на то, что геометрическое расстояние до него меньше.

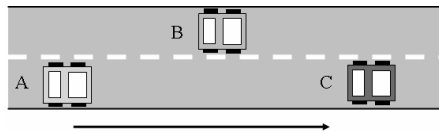


Рис. 5. Однозначная дистанция

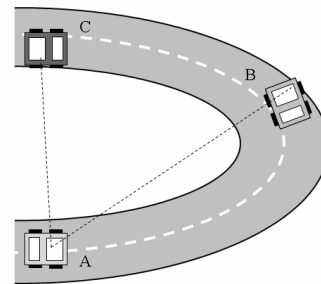


Рис. 6. Метрика неоднозначной дистанции

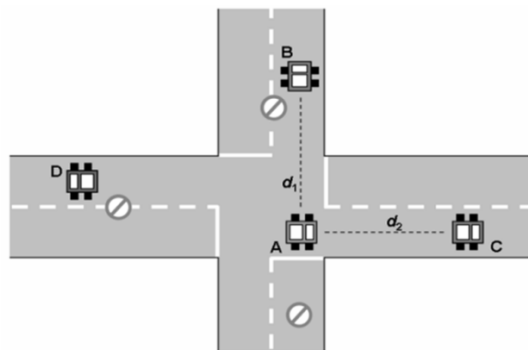


Рис. 7. Концепция Mapcast: только узел С переадресует сообщение от А, так как только узел А находится в подходящем положении

Та же идея подверглась дальнейшей разработке в новой статье 13, где вводится протокол Mapcast, чтобы в решении о передаче сообщений учитывалась топология дороги и содержание сообщения. Суть протокола Mapcast состоит в оптимизации общей нагрузки при передаче данных за счет использования ин-

формации карты: перекрестки, боковые и параллельные улицы становятся ключевыми понятиями в Marcast, и топология дороги оказывается глубоко интегрирована в процесс принятия решения. В Marcast каждое ТС реализует свою часть распределенного алгоритма: дополнительно интегрирует информацию карты, что приводит к выработке улучшенного и учитывающего топологию решения, которое должно быть более продуктивно (ослабляя штормы широковещательных пакетов) и более эффективно (повышая быстроту и надежность решения).

В протоколе Marcast применяются те же принципы, что и в 12, причем дополнительно процесс переадресации ограничен областью применения: например, отдельный тип сообщений может быть привязан к главной улице и к ближайшим перекресткам, тогда эти сообщения не будут распространяться по параллельным улицам. Более того, поскольку передача производится на ограниченной площади, сохраняется полоса пропускания, что особенно важно для обеспечения надежности передачи сообщений по безопасности.

Рассмотрим этот принцип более подробно. Узел А, получивший широковещательное сообщение от S , может принять решение на основе уточненного анализа положения и выбора правильного критерия переадресации: узел проверяет свое положение относительно «источника» S и соотносится с картой (топологией дороги), учитывает тип сообщения и анализирует канал, чтобы проверить, не было ли это сообщение уже передано каким-то другим узлом.

Вторая категория услуг VANET-сети (в соответствии с классификацией, представленной в 18) **включает вспомогательные данные для путешественников**, например, предупреждения об объездах, данные системы автоматического регулирования скорости и электронное взимание пошлины за пользование платными дорогами. Такие услуги имеют средний приоритет (ниже, чем услуги безопасности) и обеспечиваются сообщениями, которые передаются на более низких скоростях. В основном все перечисленные услуги могут быть реализованы в СЛС-ББ.

Однако применение сильносвязанных бортовых блоков и приемников ГНСС улучшает качество вспомогательных услуг так же, как и в случае с услугами безопасности. Кроме того, СНС-ББ обеспечивают еще ряд преимуществ. В частности, особое значение может иметь обеспечиваемая ими пространственно-временная сертификация, которая способна сделать процесс взимания пошлины более безопасным и робастным. Если среди блоков услуг будущего, изображенных на рис. 2, будет логический блок, посвященный взиманию пошлины, финансовые операции могут производиться по взаимной аутентификации с использованием ключей, в зависимости от места и времени, что затруднит намеренное искажение идентифицирующих данных.

Более того, данная архитектура позволяет взимать пошлину в результате обработки данных, собранных на всем маршруте (информация, которой периодически обменивается каждое ТС с неподвижными узлами, и идентифицирующие данные по всем ТС в данном районе). Такие механизмы призваны противостоять возможному мошенничеству клиентов, направленному против владельца инфраструктуры: по узлу А маршрута можно проводить многократные проверки, используя при этом данные о нем, полученные от других узлов (В, С) (рис. 8). При этом злонамеренные действия можно будет предотвратить или легко обнаружить. В результате взимание пошлины будет лишь завершающим действием, подтверждающим оплату.

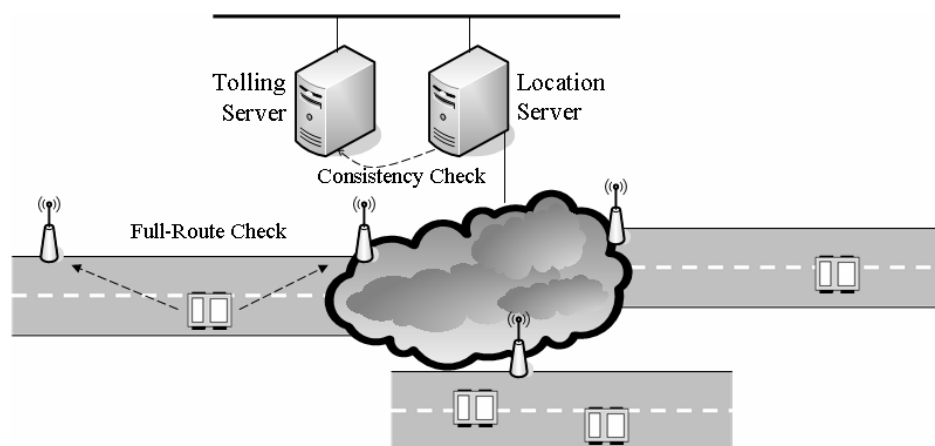


Рис. 8: Робастная система взимания пошлины с использованием сильносвязанного бортового блока:

Tolling server – сервер взимания пошлины; Location server – сервер местоположения;
Consistency check – контроль достоверности; Full-route check – Проверка по всему маршруту

Третья группа приложений VANET-сетей предлагает услуги для пассажиров и водителей, главным образом на основе сообщений стационарных станций, а не обмена ТС-ТС. К таким услугам относятся загрузка карт и данных, удаленная диагностика, маршрутизация с наименьшим расходом топлива; сообщения по которым могут распространяться с использованием одноадресной передачи, циркулярной рассылки или по запросу, большинство из них относится к передаче однонаправленной.

Не вдаваясь в подробности, можно сказать, что преимущества сильносвязанных блоков перед слабосвязанными вновь подтверждаются, как и в случае с услугами безопасности.

3.1. Новые услуги ИТС, реализуемые с помощью СНС-ББ

По мнению авторов, наибольший интерес представляют возможные новые услуги, которые можно реализовать только с помощью СНС-ББ. Во-первых, стоит вспомнить, что, как уже говорилось, предлагаемую архитектуру можно усложнить, так как она предусматривает дополнительные функциональные блоки, поэтому невозможно с точностью определить число новых услуг. Все они, однако, демонстрируют одно важное преимущество сильносвязанных архитектур перед слабосвязанными. Для простоты ниже приводятся два примера.

В первом примере в СНС-ББ интегрирован блок распознавания номера, см. Рис. 9. Один из неразрешенных вопросов в VANET-сети – автоматическое распознавание УДС-адресов. Допустим, одна машина должна послать предупреждающее сообщение другой конкретной машине, например той, которая приближается к ней сзади и не соблюдает дистанцию (что необходимо для безопасного вождения). При циркулярной передаче такого предупреждающего сообщения оно было бы неэффективно и, скорее всего, проигнорировано. С другой стороны, трудно знать априори (или автоматически получить) УДС-адрес получателя.

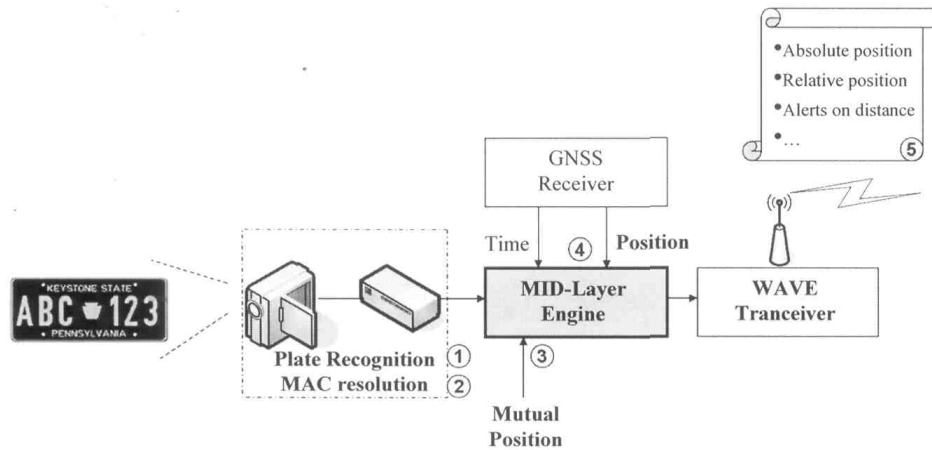


Рис. 9: Распознавание номера и одноадресные предупреждения:
 Plate recognition – распознавание номера; MAC resolution – опознавание УДС-адреса;
 GNSS receiver – ГНСС-приемник; Time – время; Position – координаты;
 Mid-layer engine – блок среднего уровня; Mutual position – дистанция Absolute position – абсолютное положение; Relative position – относительное положение Alerts on distance – предупреждения о дистанции; WAVE transceiver – WAVE-приемопередатчик

Данную проблему можно решить с помощью СНС-ББ при условии, что УДС-адрес можно однозначно рассчитать по номеру машины. Эффективные блоки распознавания номера уже имеются в продаже и могут быть легко интегрированы в сильносвязанную архитектуру.

В принципе (рис. 9), данные о номере (1) могут подаваться в механизм опознавания УДС-адреса (2), чьи данные поступают в блок среднего уровня. В то же время блок среднего уровня может комплексировать информацию по дистанции (3) (поступающую от бортовых датчиков) и по координатам (4). В итоге машина А, едущая впереди узла В, может послать ему дейтаграмму (5), где указаны возможные предупреждения, положение В по отношению к А и оценку координат В.

Такие данные могут также повлиять на робастность позиционирования В: переданная информация может быть интегрирована в контур ГНСС-приемника в соответствии с любой моделью архитектуры (СЛС/СНС-ГНСС). Вся эта цепочка может работать только за счет СНС-ББ.

С другой стороны, возможно сделать навигацию более реалистичным процессом, наполнить ее содержанием. Блок среднего уровня способен также интегрировать разнородные сведения для блока навигации: например (см. Рис. 10), производить комплексирование трехмерных данных от хранящейся на борту карты (благодаря положению (1b)) с видеоданными (1a) от бортовых камер (например, передней и задней) и данными о дорожном движении, авариях, пробках, загрязнении, поступающих от WAVE-блока (1d) и других датчиков (1c).

Такой сценарий стимулирует оригинальную идею о том, чтобы сделать навигатор блоком верхнего уровня, собирающим интегрированные данные, генерируемые блоком среднего уровня.

Как показано на Рис. 10, блок среднего уровня обеспечивает интерфейс конечного пользователя с расширенным набором интегрированных данных, которым невозможно (когерентно и эффективно) управлять без использования

сильносвязанной архитектуры. В таком случае навигатор сможет показывать не только карты и направления, но также события, предупреждения и реальные изображения.

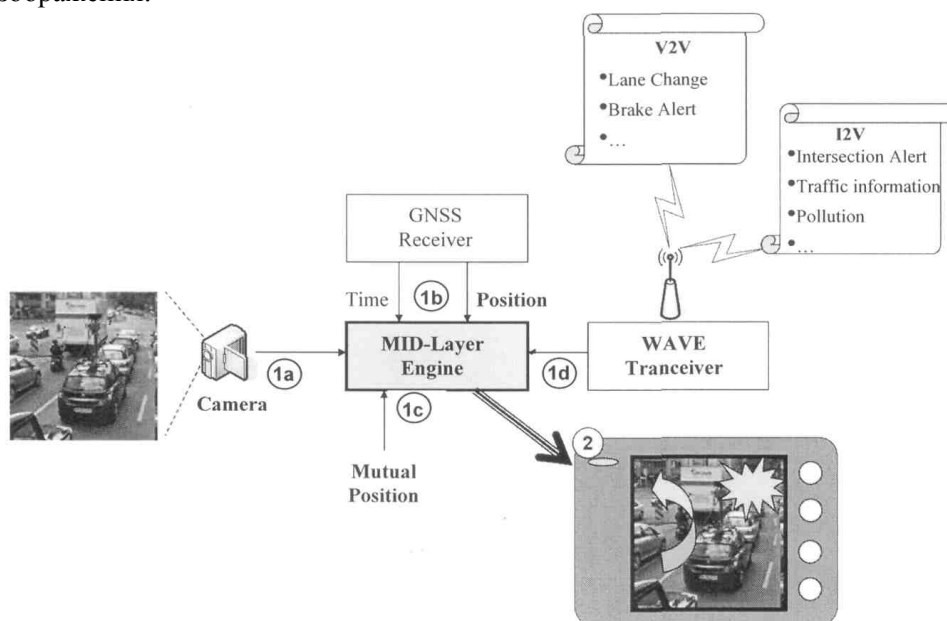


Рис. 10. Навигация с расширенным объемом данных;

Plate recognition – распознавание номера; MAC resolution – опознавание УДС-адреса; GNSS receiver – ГНСС-приемник; Time – время; Position – координаты; Mid-layer engine – блок среднего уровня; V2V – T2T Lane change – смена полосы; Brake alert – предупреждение о торможении; I2V – I2T Intersection alert – предупреждение о перекрестке; Traffic information – сведения о движении; Pollution – загрязнение; Jam – пробки; WAVE transceiver – WAVE-приемопередатчик; Camera – камера

Выводы

В статье представлены различные архитектуры, направленные на интегрирование ГНСС- и WAVE-блоков в ББ будущих транспортных средств. Диапазон решений – от слабо- до сильноинтегрированных моделей, причем последняя применяется как в междоменном контексте, так и ГНСС-слое.

Определены и проанализированы СЛС-ББ, СНС-ББ, СЛС-ГНСС и СНС-ГНСС структуры, а также их эффективность и гибкость при поддержке VANET-услуг. Внимание уделено как услугам, предусматриваемым международными консорциумами и стандартизирующими организациями, так и еще не исследованным.

Анализ показал, что, несмотря на более сложную архитектуру, сильносвязанные решения обеспечивают более эффективные функциональные возможности, что положительно влияет на робастность предоставленных услуг и создает возможности для создания новых услуг, которые в другом случае были бы невозможны.

Работа выполнена при частичной поддержке проекта Easy Rider (Предложение MS01_00003), финансируемого Итальянским министерством развития экономики, в рамках программы Industria 2015. Исследования относятся к п. 1, SPI.WP3.T7 (Интегрированная служебная платформа WiFi-GPS) и были проведены в Институте Марио Боелла и Туринском политехническом институте.

ЛИТЕРАТУРА

1. **IEEE1609-Family** of Standards for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE)
2. **TG IEEE 802.11p** – Wireless Access in Vehicular Environments
3. **CAR 2 CAR** Communication Consortium Manifesto
http://www.car-to-car.org/fileadmin/downloads/C2C-CC_manifesto_v1.1.pdf
4. **N. Wisitpongphan, O.K. Tonguz, J.S. Parikh, P. Mudalige, F. Bai, V. Sadekar**, “Broadcast storm mitigation techniques in vehicular ad hoc networks”, *IEEE Wireless Communications*, vol. 14, no. 6, pp. 84-94, 2007
5. **R.Scopigno, H.A.Cozzetti**, “Mobile Slotted Aloha for Vanets”, *IEEE VTC Fall*, 2009
6. **H.A. Cozzetti, Riccardo M. Scopigno, Luca Casone, Giuseppe Barba**, “Comparative Analysis of IEEE 802.11p and MS-Aloha in Vanet Scenarios”, *IEEE VON* 2009
7. **M.Lenoble, K.Ito, Y.Tadokoro, M.Takanashi and K.Sanda**, “Header Reduction to Increase the Throughput in Decentralized TDMA-based Vehicular Networks”, *IEEE VNC*, 2009.
8. **L.Barrier**, “Robust Position Based Routing in Wireless Ad Hoc Networks with Unstable Transmission Ranges”, *Proc. 5th ACM Workshop Discrete Algorithms Methods for Mobile Comp. Commun.*, 2001.
9. **P. F. Silva, J. S. Silva, A. Caramagno, A. Fernández, J. Diez, M. Wis, I. Colomina, V. Gabaglio**, “IADIRA: Inertial Aided Deeply Integrated Receiver Architecture”, *Proceedings of the ION GNSS*, Forth Worth, Texas, September 2006
10. **S. Godha and M. E. Cannon**, "Integration of DGPS with a Low Cost MEMS – Based Inertial Measurement Unit (IMU) for Land Vehicle Navigation Application", *Proceedings of ION GNSS*, Long Beach, CA, September 21-24, 2004.
11. **Kaplan, Elliot D. and Christopher J. Hegarty**, “Understanding GPS: Principles and Applications”, *Artech House*, 2nd Edition, 2006
12. **C.F.Chiasserini, R.Gaeta, M.Garetto, M.Gribaudo, M.Sereno**, “Efficient Broadcasting of Safety Messages in Multihop Vehicular Networks”, *IPDPS*, 2006.
13. **H.A.Cozzetti, R.Scopigno, L.Casone, G.Barba**, “MapCast: a Map-Constrained Broadcast Solution for VANETs”, *Proceedings of IEEE 6th WiMob*, 2010.
14. **H.Anh, J.Kim, W.Cho, J.Choi, K.Lim, J.Kwak** “A Robust and Low-Complexity Timing Synchronization Algorithm for ADSRC System”, *Proceedings of IFIP WOCN'06*, 2006.
15. **Y.L.Morgan**, “Novel Issues in DSRC Vehicular Communication Radios”, *IEEE Canadian Review*, N.63, Spring 2010.
16. **Stojmenovic**, Position-Based Routing in Ad-Hoc Networks, in *IEEE Communication Magazine*, 2002.
17. **R.Scopigno and H.A.Cozzetti**, “GNSS Synchronization in Vanets”, *IEEE NTMS*, 2009.
18. **P.Papadimitratos, A.deLaFortelle, K.Evensssen, R.Brignolo, S.Cosenza**, “Vehicular Communication Systems: Enabling Technologies, Applications and Future Outlook on Intelligent Transportation”, *IEEE Communication Magazine*, Nov.2009
19. **P.Misra, P.Enge**, “Global Positioning System. Signal, Measurements and Performance”, 2nd Edition, Ganga-Jamuna-Press 2006, ISBN:0-9709544-1-7.

Abstract. Vehicular ad-hoc networks (VANETs) are one emerging type of networks that will enable a broad range of applications such as public safety, traffic management, traveler information support and entertainment.

Whether wireless access may be asynchronous or synchronous (respectively as in the upcoming IEEE 802.11p standard or in some alternative emerging solutions), a synchronization among nodes is required. Moreover, the information on position is needed to let vehicular services work and to correctly forward the messages.

As a result, timing and positioning are a strong prerequisite of VANETs. Also the diffusion of enhanced GNSS Navigators paves the way to the integration between GNSS receivers and VANET transceivers.

This position paper presents an analysis on potential benefits coming from a tight-coupling between the two: the dissertation is meant to show to what extent Intelligent Transportation System (ITS) services could benefit from the proposed architecture.