

Программно-аппаратные навигационные решения для мобильных устройств

Г.М. Беркович, Р.А. Будник, В.А. Свириденко

СПИРИТ-Телеком, info@spiritedsp.com

Аннотация — Рассматриваются архитектурные решения для построения спутниковых навигационных приемников на базе hardware подхода, в соответствии с которым приемник строится на основе ASIC реализации (как SoC или SiP), и software подхода, когда реализация приемника ориентирована на универсальный чип (процессор). Обсуждаются достоинства и недостатки. Определяются требования к процессорам для реализации программного подхода. Описываются конкретные реализации программных решений навигационного приемника на базе процессоров Intel для мобильных устройств со специальными свойствами.

Ключевые слова — Архитектура навигационного приемника, аппаратный подход, программный подход.

I. ВВЕДЕНИЕ

За последние 10 лет технические характеристики спутниковых навигационных приемников значительно улучшились. Это обусловлено главным образом развитием технологий, но также и развитием платформ, на базе которых строятся навигационные решения, и развитием микроэлектроники (проектирование и производство СБИС с технологическими нормами 180 нм, 130 нм, 90 нм, 65 нм и менее вплоть до 32 нм (например, для процессоров фирмы Intel)). Все это повысило вычислительные ресурсы и объемы памяти на всех процессорных уровнях, что позволяет использовать сложные в вычислительном отношении параллельные алгоритмы обработки принимаемых навигационных сигналов, которые обеспечивают существенное увеличение чувствительности приемников, прием сигналов в условиях многолучевости и уменьшение времени TTFF, ограниченное снизу только фундаментальными причинами.

В настоящее время платформы, на базе которых строятся навигационные приемники, используют как аппаратный (Hardware - HW), так и программный (Software-SW) подходы. Разумеется, существуют и навигационные решения на базе смешанного (программно-аппаратного) подхода и, возможно, за ним будущее, т.к. он сочетает большей частью достоинства аппаратного и программного подходов и позволяет обеспечить максимальную гибкость.

В данном докладе рассматриваются указанные подходы с позиций выбора и проектирования архитектур приемников для разнообразных пользовательских

приложений. Акцент сделан на двухсистемные приемники (Глонасс+GPS) ввиду полноценного реального использования соответствующих спутниковых навигационных созвездий, хотя это никак не ограничивает общность выводов применительно к другим системам GNSS по мере их ввода в эксплуатацию.

II. АППАРАТНЫЙ ПОДХОД

С появлением радиочастотных (RF) микросхем для фронт-энда (RFFE), произведенных по технологии КМОП, и специализированных цифровых СБИС (ASIC) или цифровых чипсетов, решающих навигационные задачи в основной полосе (baseband), для специальных и коммерческих приложений (в первую очередь для мобильных приборов) основным в реализации навигационных приемников стал аппаратный подход. Главным его достоинством является низкое энергопотребление и относительно малые массогабаритные параметры. А к основным недостаткам относится отсутствие гибкости (как и в любых «защитых» решениях).

Общая структура навигационного многочипового приемника, базирующегося на HW-подходе, представлена на рис.1. Основными его составляющими являются три чипа: RFFE, Baseband-чип и Flash-память. RFFE обеспечивает прием навигационного радиосигнала от навигационных спутников и преобразует высокочастотный сигнал на относительно низкую промежуточную частоту (ПЧ), на которой ПЧ-сигнал можно оцифровывать с использованием АЦП для того, чтобы всю его последующую обработку проводить в цифровой форме. Важным элементом приемника является высокоточный задающий локальный генератор, который базируется на микроосцилляторах TCXO (или даже, в специальных случаях, OCXO).

Представленные на рис. 1 «отдельные» блоки в baseband-части на самом деле часто объединены в один ASIC-чип в GPS-приемниках. Многочиповые решения на базе этого подхода вкупе с малогабаритными антеннами позволили обеспечить выпуск мобильных GPS-навигаторов в больших объемах, а потом интегрировать такие навигационные

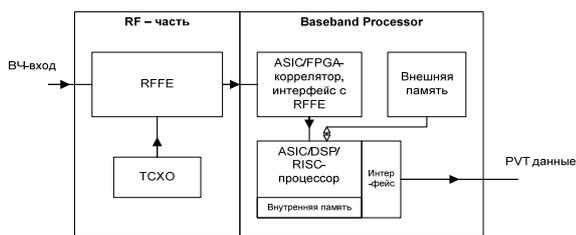


Рис. 1. Приемник на базе HW-подхода

чипсеты в сотовые телефоны и коммуникаторы. В таких приборах общие задачи и отличные от навигации приложения возлагались на центральный процессор, который связывался с baseband-частью навигационного GPS-приемника последовательным интерфейсом.

Примером аппаратного подхода при реализации GPS-приемников являются чипсеты компании SIRF. Часто такое многочиповое решение было представлено в одном корпусе (System in Package – SiP).

Для многосистемных приемников с поддержкой Глонасс ввиду их значительно большей сложности чисто аппаратное решение было представлено в смешанной форме: baseband-часть была разделена на две части. Первая часть базировалась на «чипе-корреляторе» ASIC или FPGA (обычно на 12, 16 или 24 канала), предъявляющем особо высокие требования к вычислительным ресурсам, который одновременно обеспечивал интерфейс с АЦП RFFE, а вторая часть, ответственная за поиск, слежение за сигналом, решение навигационной задачи и интерфейс с внешними устройствами, базировалась на сигнальном (DSP) или RISC-процессоре. При этом до появления RF-чипов для двухсистемных (Глонасс+GPS) приемников радиочастотная часть реализовывалась на дискретных элементах. Такой путь в своих решениях для Глонасс+GPS приемников прошли Ashtech, РИРВ, РНИИКИ, SPIRIT, МКБ Компас, Навис, ИПЗ и другие. Наличие процессора (DSP/RISC) повышает гибкость приемника и частично перекидывает мост к программному подходу. Но при этом надо считаться с увеличением стоимости компонент (ВОМ), повышенным энергопотреблением и большими массогабаритными параметрами, т.е. всем тем, что является достоинством HW-подхода.

III. ПРОГРАММНЫЙ ПОДХОД

Максимальная гибкость в baseband-части приемника (Baseband Processor – BBP) обеспечивается при условии ее реализации исключительно

программными средствами (без использования жестких аппаратных решений). В этом случае алгоритмы поиска сигнала, корреляционной обработки, слежения за сигналом, решения навигационной задачи и реализации протоколов передачи навигационных и временных данных (PVT) во внешний мир обеспечиваются универсальным процессором. Его роль обычно выполняют DSP, RISC или универсальный (GPP) процессор.

Одно из первых SW-решений для навигационного GPS-приемника на базе SW-подхода было реализовано компанией SPIRIT в 2000 г. Сигнальный процессор TI TMS320C67xx не обладал достаточной мощностью для реализации всех навигационных функций, возлагаемых на baseband-часть. Но принцип был проверен. Полный GPS-приемник на базе DSP TI TMS320C55xx был реализован в 2003г. и описан в [1].

С появлением мощного DSP TI TMS320C64xx этот подход был распространен на двухсистемный Глонасс+GPS приемник для специальных приложений (в частности, для работы в условиях сильных тональных или импульсных помех, что потребовало специального проектирования RFFE на дискретных элементах с многозарядным АЦП, обеспечившем достаточную «линейность» аналоговой части приемника, а также многопроцессорного решения для цифровой части приемника).

В «чистом» варианте, неотягощенном дополнительными требованиями и функциями и при использовании RFFE-чипа RFIC 01 от РИРВ-NTLab, baseband-часть двухсистемного приемника, названного DuoStar-1000, строилась только на одном DSP TI TMS320C64xx. Его структура представлена на рис. 2.

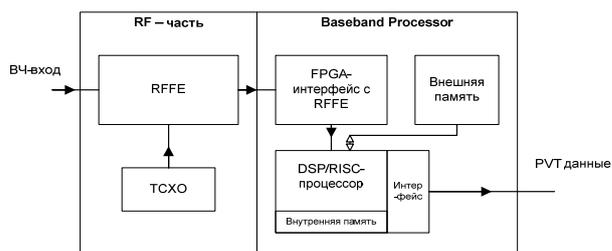


Рис. 2. Приемник на базе SW-подхода

Для обеспечения интерфейса между RFFE и DSP был использован FPGA-чип небольшой сложности. Разная структура сигналов (CDMA для GPS и FDMA для Глонасс) обуславливает особо высокие требования к вычислительным ресурсам и объему памяти процессора в baseband-части из-за практически независимой обработки сигналов Глонасс и GPS. Тем не менее, DSP TI TMS320C64xx хорошо справился с задачами такой цифровой обработки сигналов и вывода навигационных данных

PVT, несмотря на дополнительные функции и технические характеристики, которые более свойственны специальным, а не коммерческим приемникам.

В рафинированном виде программный подход при проектировании многосистемного приемника был реализован на базе платформы Intel Atom – Windows и в больших деталях описан в разделе V.

IV. АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ ПОДХОД

Смешанные (HW & SW) решения для ВВР в той или иной форме существовали на разных стадиях широкого внедрения и развития навигационных приемников. Продвинутое технологическое нормы в проектировании и производстве СБИС (130...90 нм и менее) обеспечили условия для широкого использования аппаратно-программного подхода в разработке навигационных приемников для мобильных устройств. В первую очередь, это касается процессорной части ВВР. В структуре ВВР выделяется «твердая» (hard) часть – машина поиска и корреляционной обработки, память, интерфейсы и «мягкая» (soft) часть на базе процессорного ядра. В качестве последней часто выступает RISC-процессор (рис. 3). В силу известных архитектурных достоинств часто роль процессорного ядра играют процессоры фирмы ARM.

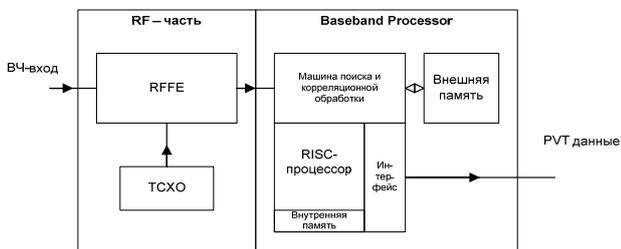


Рис. 3. Структура приемника на базе HW&SW подхода

Первый в мире Глонасс+GPS навигационный OEM-модуль DuoStar-2000, полностью реализованный на интегральных микросхемах и предназначенный для коммерческих приложений, базируется именно на таком HW&SW-подходе. Он был широко анонсирован в мае 2008 г.

В его RF-части использованы микросхемы MAX2769 фирмы Maxim (отдельно для Глонасс и для GPS/Galileo – каналов), а цифровая часть включает Altera FPGA-чип, реализующий функции 24 канального коррелятора и интерфейса с RFFE, TCXO Racon, DSP TI TMS320C55xx и флеш-память, как это показано на рис. 4 [2-4].

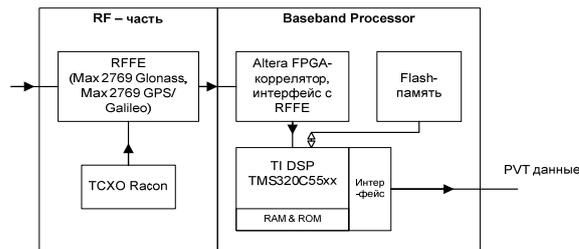


Рис. 4. Структура приемника DS-2000

При всех своих достоинствах (в частности, двухсистемности) он не мог обеспечить низкое энергопотребление и массогобаритные характеристики, близкие к многочиповым или однокорпусным GPS-приемникам, реализованным на базе аппаратного подхода и выпущенных не позднее 2008 г.

Более продвинуто дизайн многочипового двухсистемного (Глонасс+GPS) приемника SPIRIT, реализующего указанный подход для ВВР с технологическими нормами 130 нм или менее, где в качестве RISC-процессора выбран ARM7, благодаря его низкому энергопотреблению и минимальной стоимости лицензирования при обеспечении достаточной вычислительной мощности для реализации функций навигационной машины (слежения за сигналом, решения навигационной задачи, реализации протоколов NMEA, RTCM и проприетарного бинарного протокола для вывода данных PVT), а также функций управляющей программы [5].

Общая структура ВВР этого приемника представлена на рис. 5.

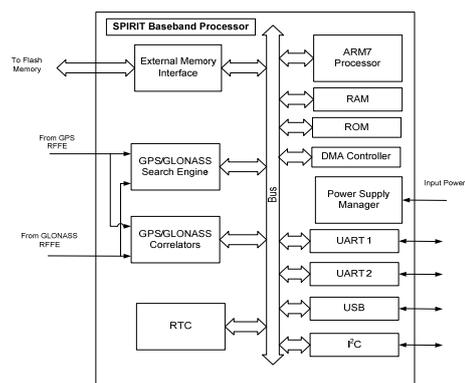


Рис. 5. Структура baseband-части GG-приемника

Полная структура GG-приемника на базе данного ВВР показана на рис.6. Радиочастотная часть может полностью повторять хорошо апробированный RFFE в приемнике DS-2000, но может быть построена и на другом схмотехническом решении.

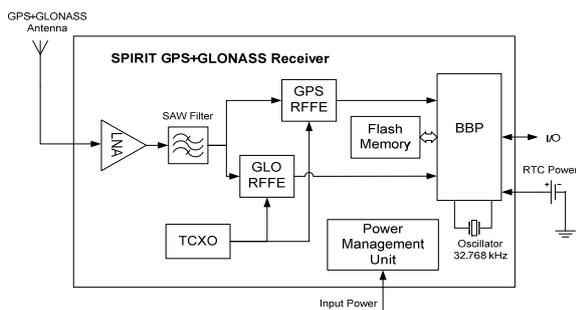


Рис. 6. GG-приемник с BBP на базе ARM7

Предполагается, что в однокорпусном исполнении опционально в SiP может быть включен и блок питания. Характеристики такого приемника таковы:

Число каналов	24
Навигационные сигналы	GLONASS L1, GPS L1, SBAS
Точность	
· Позиция (СЕР)	3 m
· Время (СКО)	50 ns
· Скорость (СКО)	0.05 m/s
TTFF(среднее время) - "Cold start" - "Hot start" - "Reacquisition"	40 s - 5 s - 1 s
Частота выдачи навигац. данных	0.1; 1 Hz
Чувствительность	- 159 dBm (режим слежения)
Питание	3.3 V
Потребление	180 mW
Интерфейсы	USB 2.0, UART, SPI, GPIO, 1PPS
Протоколы	NMEA-0183 (IEC 1162) v. 2.3, BINR, RTCM SC-104 v. 2.2
Размеры	10x10x2 mm
Рабочая температура	-40°C...+85°C

Многочиповое или однокорпусное решение многосистемного приемника на базе данного BBP может быть применено для многообразных приложений (от автомобильных трекеров до мобильных устройств, где востребованы низкие уровни энергопотребления, малые массы и геометрические размеры приемника). Несмотря на реализационные различия и новое ПО, определенная

концептуальная и алгоритмическая преэминентность между DS-2000 и описанным решением имеется.

Но рассмотренные выше решения на базе смешанного подхода предполагали, что функции навигационного приемника полностью реализуются в едином модуле. В связи с наличием CPU в комбинированном мобильном приборе целесообразно часть навигационных функций возложить на CPU, что упростит аппаратную (hard) часть приемника. В нее может входить только RFFE и часть функций BBP (например, машина поиска и корреляционной обработки с последовательным интерфейсом для связи с CPU), что требует интеграции в одном чипе аналоговой (RF) и цифровой компоненты. Это показано на рис. 7.



Рис. 7. Смешанный чип для приемника, в котором частично навигационные функции выполняются CPU

Если же CPU обладает достаточными ресурсами, то такой цифровой процессор может полностью взять на себя функции BBP. Именно такой случай рассматривается ниже и его можно сопоставить с подходом Software Defined Radio (SDR).

V. ПРИМЕР ПРОГРАММНОГО ПРИЕМНИКА

Известно, что энергетические возможности спутникового радиотехнического оборудования и антенн рассчитывались, исходя из возможности обеспечения такого значения напряженности навигационного радиополя вблизи поверхности земли, чтобы мощность радиосигнала на выходе антенны была на уровне -130 dBm. Первые навигационные приемники (конец 80-х - начало 90-х годов) характеризовались чувствительностью -130...-135 dBm. Развитие технологии и повышение мощности процессоров обеспечивало повышение чувствительности на ~1.5...2 dB в год практически по линейному закону «чувствительность в dBm (или dBW) vs. годы». Так коммерческие приемники в 1998...2000 гг. характеризовались чувствительностью, близкой к -150 dBm, а в 2006г. – 160 dBm. Но в 2009г. российская компания SPIRIT впервые нарушила этот закон, увеличив чувствительность поиска, навигации и сопровождения спутников сразу на 10 децибел относительно существующего мирового уровня,

достигнув значения -170 dBm (или -200 dBW) в режиме слежения [6]. Это позволяет успешно принимать такой сильно ослабленный препятствиями (стеклами, стенами, крышей и пр.) радиосигнал даже в помещениях (indoor).

Данный приемник реализован на платформе Intel Atom полностью программно в baseband-части, т.е. на универсальном процессоре (GPP). Для ввода ПЧ-отчетов радиосигнала в BBP на базе процессора Atom через USB 2.0 порт разработан GG-донгл, представляющий RFFE с USB-контроллером (USB-адаптер).

Очевидно, что RF-часть может быть реализована непосредственно на материнской плате мобильного устройства, на которой установлен процессор. Если он удовлетворяет требованию по вычислительной мощности, емкости кэш-памяти и памяти, то можно реализовать портинг ПО на такой процессор. Но, в настоящее время, именно специфика архитектуры Atom'a использована в программной реализации сверхчувствительного приемника SPIRIT.

Повышенная чувствительность достигается когерентным накоплением сигнала при условии, что в помещении скорость перемещения объекта относительно мала. Однако, при этом надо считаться с высоким относительным уровнем электромагнитных помех (EMI) от электронного и электрического оборудования, что требует подавления EMI программным путем. При отсутствии существенного ослабления сигнала (переход в режим outdoor) чувствительность можно автоматически снизить при одновременном обеспечении нормальной работы в условиях большой динамики объекта.

На рис. 8 представлена общая архитектура приемника.

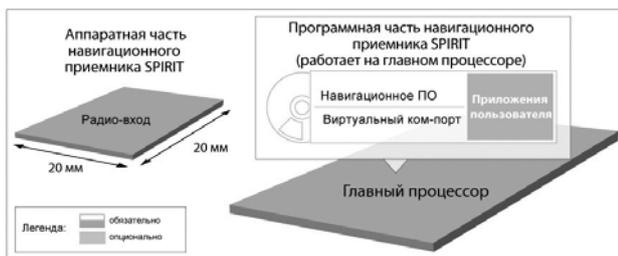


Рис. 8. Общая структура программного приемника

Его характеристики таковы:

- 32 канала и более.
- Точность позиционирования: 3 м (СЕР) в автономном и 1м в дифференциальном режиме
- Чувствительно в режиме холодного старта до -157 dBm.
- Чувствительность в режиме горячего старта (< 1 сек.) и в режиме A-GPS до -164 dBm.

- Чувствительность в режиме навигации до -166 dBm.
- Чувствительность в режиме слежения до -170 dBm.
- Возможные режимы: ГЛОНАСС+GPS, только GPS, только ГЛОНАСС.
- Интерфейс USB version 2.0.
- Простое подключение к нетбукам, ноутбукам и MID-ам.
- Простая инсталляция ПО через USB порт.
- Поддержка Internet aided A-GPS.
- Возможное обеспечение приема сигналов Galileo.

На рис. 9 показаны диаграммы спутникового созвездия при нахождении приемника (режим GPS) в типовом помещении, когда ни один современный коммерческий GPS-приемник (используемый как reference) в сравнительных испытаниях не способен принять ослабленные радиосигналы более, чем от одного –двух спутников (максимум). Разным цветом отображается статус навигационных спутников, сигналы которых принимаются приемником.

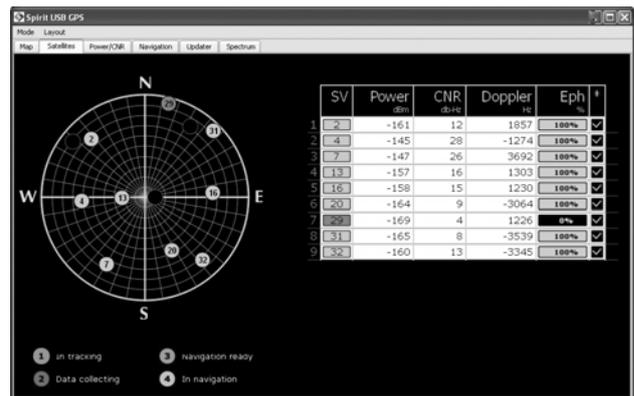


Рис. 9. Отображение спутников, сигналы которых принимаются программным приемником

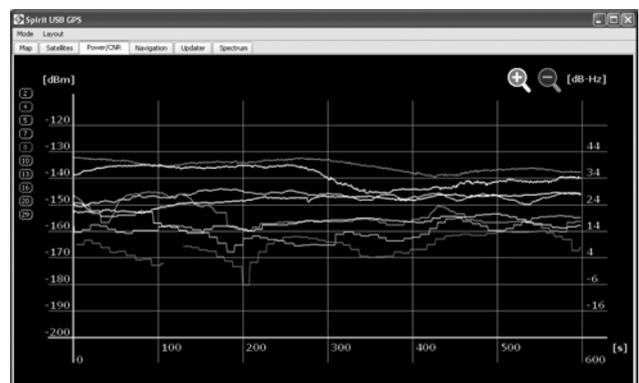


Рис. 10. Визуализация изменения мощности радиосигналов внутри помещения, используемых программным приемником с повышенной чувствительностью

Динамика изменения мощности сигналов, участвующих в навигации и сопровождаемых спутников, которые использует программный приемник с повышенной чувствительностью, функционирующий внутри типового офисного помещения, показана на рис. 10.

Если уровень мощности сигнала опускается ниже определенного порога, то сопровождение соответствующего спутника становится невозможным.

Очевидно, что прием навигационных радиосигналов от спутников разных созвездий (GNSS) существенно повышает надежность навигации в условиях сильного ослабления мощности принимаемых сигналов, а также точность позиционирования ввиду возможности выбора лучшей геометрии по комбинации сопровождаемых спутников. Именно поэтому многосистемность для такого приемника – важный фактор улучшения его основных технических характеристик.

VI. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Современные мобильные приборы (ноутбуки, нетбуки, смартфоны, коммуникаторы, MIDы и др.) имеют в своем составе CPU, на который возлагается поддержка ряда приложений. Добавление навигационной функции к такому прибору может быть автономным (вывод PVT данных) или же для ее реализации достаточно использовать только RFFE с машиной поиска и корреляционной обработки, интегрированными в чип, а все другие навигационные функции передать CPU. В том же случае, когда ресурсы CPU (как в случае с Intel Atom и его клонов) обеспечивают одновременное решение ряда задач, включая и навигацию, целесообразно опираться на принцип SDR, который в настоящее время применительно к навигационным приемникам требует аппаратно реализовать только RFFE.

Возможности программной или смешанной (аппаратно-программной) реализации спутникового навигационного приемника представляются многообещающими. Основными достоинствами при данном подходе являются:

- гибкость, недоступная аппаратным решениям,
- относительно простое портирование на разные аппаратно-программные платформы от разных поставщиков, если их ресурсы достаточны для имплементации основных функций приемника,
- соответствие современному SDR-подходу,
- легкость обновления и оптимизации кода и алгоритмов,

- добавление обработки сигналов любых систем GNSS, не изменяя концепции и программной основы baseband processor'a,
- реализация различных приложений на одном процессоре, что важно для многофункциональной аппаратуры.

Представленное описание программного приемника говорит о способности приема ослабленного или отраженного радиосигнала, что обеспечивает работоспособность навигационного устройства в типовых помещениях и является новым качеством. Последнее открывает возможности спутникового позиционирования «всегда и везде» в рамках нового геоинформационного сервиса (Location Based Service), который бурно развивается и предоставляет пользователю Интернета новый вид и качество информационных услуг, непосредственно связанных с местоположением пользователя. Помимо этого обеспечиваются широкие возможности улучшения технических характеристик навигационной аппаратуры при использовании режима Assisted-GNSS.

Важным обстоятельством является и то, что указанный класс сверхчувствительных приемников для коммерческих приложений является новым для рынка навигационной аппаратуры и представляет собой полностью российский продукт.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Oblakov B. et al. SPIRIT Software GPS Receiver // Proceedings of 2003 International Symposium on GPS/GNSS, November 15 - 18, 2003, Tokyo: Maritime Transport Co-research Center, Tokyo University of Marine Science and Technology. 2003. P. 207-212.
- [2] Беркович Г.М. и др. ГЛОНАСС/GPS/GALILEO приемник. Патент на полезную модель № 83342, 12.12.2008.
- [3] Свириденко В.А., Смирнов П.В. Аппаратно-программное обеспечение для навигационно-связного комплекса декаметрового диапазона // Глонасс/GNSS-Форум-2008. Апрель, 2009.
- [4] Свириденко В.А., Смирнов П.В. Навигационно-связной комплекс для магистральной связи // «Первая миля». 2008, N8. С. 34-39.
- [5] Пресс-релиз SPIRIT по дизайну чипа-приемника. Октябрь, 2009.
- [6] Будник Р.А. Спутниковое позиционирование внутри помещений: решение, приложения и его перспективы // Сборник трудов конференции «Оборудование спутниковой навигации, модули и электронные компоненты». ChipEXPO-2009. Москва, 22 октября 2009.