С.Н. Терехин
(Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России;
e-mail: expert_terehin@inbox.ru)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИНЦИПОВ РЕТРАНСЛЯЦИИ СИГНАЛОВ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ ПОЖАРНОЙ ОХРАНЫ

Проведён анализ характеристик навигационного поля глобальных навигационных спутниковых систем. Предложено решение проблемы позиционирования подразделений пожарной охраны МЧС России путём создания наземной аппаратуры навигационных сигналов.

Ключевые слова: радионавигация, псевдоспутник, ретранслятор, навигационные космические аппараты.

S.N. Terehin

USING THE PRINCIPLES OF RELAYING SATELLITE SIGNALS FOR SOLVING THE PROBLEMS OF POSITIONING OF FIRE DEPARTMENTS

Analysis of the characteristics of the navigation field of global navigation satellite systems. Proposed solution to the problem of positioning of fire departments of EMERCOM of Russia by creating a ground-based navigation signals.

Key words: radionavigation, pseudo-satellite, repeater, navigational spacecrafts.

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 5 июля 2011 г.

Радионавигация как самостоятельная область радиотехники насчитывает уже более 60 лет. Однако только в последние 20…25 лет, с появлением ***глобальных навигационных спутниковых систем*** (ГНСС) второго поколения ГЛОНАСС (РФ) и GPS (США) была решена проблема создания глобального непрерывного во времени и пространстве радионавигационного поля, обеспечивающего близкие к теоретическому пределу точности определения координат объектов, в том числе высокодинамичных. Уникальные возможности ГНСС второго поколения, общедоступность сигналов этих систем, а также последовательное внедрение современной интегральной микроэлектроники в ***навигационную аппаратуру потребителей*** (НАП) стимулировали широкое использование приемников сигналов ГНСС в различных областях (коммерческий транспорт, геодезия, получение сигналов точного времени и синхронизация аппаратуры), для которых эти системы первоначально не предназначались [1, 2].

Существенно, что все ГНСС второго поколения (как действующие, так и проектируемые) используют сходные принципы построения и функционирования. Незначительные различия имеются лишь в структуре орбитальной группировки ***навигационных космических аппаратов*** (НКА) и параметрах навигационных сигналов. Данное обстоятельство подтверждает, что научно-

технические решения, положенные в основу этих систем, являются оптимальными или близкими к ним, а сами эти системы на данном этапе представляют собой пик в развитии радионавигации. Дальнейший прогресс в этой области связан, прежде всего, с интеграцией как ГНСС в целом, так и их составных частей, в более сложные информационные системы, а также с использованием различных ***средств функциональных дополнений*** (СФД).

В качестве примера можно привести современные навигационные комплексы, в составе которых на аппаратном и алгоритмическом уровнях интегрируются различные источники навигационной информации (НАП ГНСС, инерциальные навигационные системы, магнитные и гирокомпасы, радиовысотомеры и т.д.). Другим примером могут служить получившие в последние годы широкое развитие дифференциальные системы, причем входящие в них сети опорных (контрольно-корректирующих) станций могут, с одной стороны, рассматриваться как средства функционального дополнения ГНСС, а с другой – как часть более сложной радионавигационной системы (WAAS, EGNOS).

Еще одним перспективным вариантом СФД ГНСС являются системы, использующие принцип ретрансляции (переизлучения) сигналов НКА. Основным элементом рассматриваемых СФД является специальное устройство – ретранслятор, осуществляющее прием сигналов ГНСС, их преобразование и излучение с полным или частичным сохранением информации, содержащейся в сигналах НКА. Сигналы, излучаемые ретранслятором, могут использоваться потребителем для ***координатно-временного обеспечения*** (КВО) как наряду с сигналами, принятыми непосредственно от НКА, так и независимо от последних.

По характеру установки (месту размещения) ретрансляторы подразделяются на:

– бортовые, установленные на борту подвижного объекта;

– наземные, координаты которых известны с высокой точностью.

Наиболее известный вариант применения принципа ретрансляции связан с использованием сигналов ГНСС для ***внешнетраекторных измерений*** (ВТИ).

На начальном этапе развертывания и использования ГНСС, когда массогабаритные и стоимостные характеристики "полномасштабной" НАП исключали возможность её применения на борту малоразмерных невозвращаемых объектов, основным аргументом в пользу применения ретрансляторов были их относительная дешевизна, небольшие вес и габариты. В настоящее время, когда серийно выпускаются инженерные модули НАП весом менее 100 *г* и стоимостью менее 100 *долл*. США, это преимущество в значительной степени утрачено, и для многих приложений наиболее экономичным решением является установка на борту объекта модуля с последующей передачей результатов КВО на приёмный пункт. При этом, поскольку объём передаваемой информации даже при использовании наиболее сложных алгоритмов измерений не превышает нескольких десятков *кбит*/*с*, могут применяться относительно простые и недорогие каналы связи.

Однако, для внешнетраекторных измерений высокодинамичных объектов такое решение приемлемо далеко не всегда из-за присущих "обычной" НАП

аппаратурных и алгоритмических ограничений измеряемых значений скорости и ускорения, времени "горячего" старта и перезахвата рабочего созвездия, недостаточной точности измерения малых относительных расстояний, низкого (порядка 0,1 *с*) темпа обновления информации и ряда других. В частности, исследования, проведенные в [3], показали, что даже в условиях относительно благоприятной динамики объекта ракетно-космической техники установленная на нем двухчастотная НАП с ВТ-кодом обеспечивает определение координат места с точностью (σ) 2,0-2,5 *м*, а определение скорости объекта с точностью (σ) 0,034 *м/с*.

Ретрансляционные методы свободны от указанных выше ограничений, поскольку обработка сигнала на борту объекта сводится к преобразованию спектра принятого сигнала, то есть является практически безынерционной операцией. Определение параметров движения объекта, осуществляемые на приемном пункте, при этом могут проводиться как в реальном времени, так и в режиме постобработки с использованием высокопроизводительных вычислительных средств и специального программного обеспечения, что позволяет повысить их точность и достоверность, по сравнению с вариантом использования бортовой НАП. Поэтому системы ВТИ, построенные по принципу ретрансляции сигналов ГНСС, представляют большой практический интерес. Более подробно методы и принципы ретрансляции сигналов ГНСС в системах ВТИ рассмотрены во второй главе отчета.

Еще один аспект применения ретрансляторов в спутниковой навигации связан с использованием наземного ретранслятора в качестве дополнительной ***опорной радионавигационной точки*** (ОРНТ). Например, ретранслятор, координаты которого известны с высокой точностью, может играть роль "псевдоспутника" [4]. Сеть таких ретрансляторов позволяет дополнять (или даже в значительной степени заменять) в локальной зоне орбитальную группировку НКА, что весьма важно в условиях ограниченной радиовидимости, например, в горных условиях, в закрытых помещениях, расположенных в высотных зданиях и на крупных промышленных объектах.

Помимо перечисленных выше вариантов использования ретрансляторов, в настоящее время исследуются возможности создания радиогидроакустических систем, обеспечивающих высокоточное определение географических координат места и привязку шкалы времени подводных объектов, в том числе под многолетними арктическими льдами [5].

Средства определения местонахождения (позиционирования) подвижных объектов, обладающие высокой доступностью и точностью работы, становятся всё более востребованы в системах управления транспортом, системах мониторинга перемещения персонала и ценного имущества, необходимы для систем специального применения, служб спасения, пожарных подразделений и т.п. Поэтому разработка принципов построения СФД ГНСС с использованием ретранслированных сигналов ГНСС является одной из актуальных задач современной радионавигации.

По имеющимся информационным материалам, в США выполнен и продолжает выполняться ряд программ по созданию систем с использованием ГНСС GPS для полигонных испытаний.

При этом надо отметить следующие общие черты их построения, развития и функционирования:

– реализация системы на базе имеющихся полигонов с максимальным использованием имеющихся средств измерений в комплексе с новыми техническими решениями, предоставляемыми ГНСС;

– поэтапное развертывание систем по мере разработки и модернизации аппаратуры, предназначенной для использования как на борту испытываемых объектов, так и в контрольно-измерительном комплексе;

– постоянное совершенствование аппаратуры системы с целью увеличения точности определения траекторий объектов и расширения номенклатуры средств, контролируемых с высокой точностью;

– высокая степень унификации вновь разрабатываемых и ранее использовавшихся технических решений и методов обработки.

К наиболее заметным системам указанного типа относятся следующие.

Система SATRACK [6] предназначена для полигонных испытаний межконтинентальных баллистических ракет (МБР) подводных лодок TRIDENT. Разработки начаты в 1974 г. по программе повышения точности МБР. Система SATRACK основана на приеме сигналов НКА бортовой аппаратурой МБР, их частотном преобразовании и ретрансляции на пункты приёма с наложением на них телеметрической информации. Положение и скорость пунктов приёма могут быть неизвестны, что делает возможным их реализацию и в мобильном варианте. Последнее обстоятельство обеспечивает испытания МБР, запускаемых в любых точках акватории океана, что особенно важно для выявления влияния местных гравитационных аномалий на точность пусков.

На первом этапе использования системы в 1978 г. по результатам 50 пусков была достигнута точность определения компонент положения и скорости (1σ) соответственно 12 *м* и 0,015 *м/с*. Дальнейшее совершенствование аппаратуры SATRACK и GPS позволило снизить ошибки получения навигационных параметров МБР до 0,6 *м* и 0,003 *м/с*.

Система GPS/SMILS предназначена для определения точек падения головных частей (ГЧ) МБР в ходе их испытаний и основана на приеме акустических сигналов, возникающих при входе ГЧ в воду, с помощью акустических буев, преобразовании этих сигналов аппаратурой буя и передачи их на борт патрулирующего самолета. В состав группы буев, включающей до 15 единиц, предназначенных для измерения скорости звука в воде, её температуры и других данных, включаются буи GTD, содержащие цифровые ретрансляторы сигналов НКА GPS. Сигналы буев принимаются на борту патрулирующего самолета типа BOEING 707, где с помощью многоканального цифрового устройства отслеживаются сигналы НКА, переизлучаемые всеми буями типа GTD. По результатам такого слежения определяется положение буев GTD. В свою очередь, буи GTD генерируют акустические сигналы,

которые принимаются другими буями и передаются на борт самолета, где определяется относительное положение всех буев относительно буев GTD, координаты которых определены по НКА GPS. Буй типа GTD представляет собой цилиндр диаметром около 12 *см* и длиной порядка 84 *см*.

Цифровой ретранслятор, включающий в свой состав и командный приемник для управления буем с самолета, расположен в средней части цилиндра и имеет длину порядка 18 *см*. Питание цифрового ретранслятора, а также акустической аппаратуры, осуществляется с помощью аккумуляторных батарей.

Среднеквадратическая погрешность определения положения буев по результатам испытаний составила около 10 *м*. В режиме относительных измерений эта погрешность была около 3 *м*.

Система TSPI [7] предполагает обоснование, разработку, создание и испытание унифицированного комплекса средств, основанных на использовании ГНСС GPS для испытаний разнообразных подвижных средств ВВС, ВМФ и Армии США.

Область действия системы простирается от поверхности Земли до высот низкоорбитальных искусственных спутников Земли (ИСЗ). Система обеспечивает возможность испытания в глобальном масштабе неограниченного числа подвижных средств. Серийное производство аппаратуры начато в 1987 г. Вследствие использования для проведения испытаний в течение 20 лет нескольких тысяч комплектов бортовой аппаратуры с уменьшением на этой основе числа наземных станций, привлекаемых к испытаниям, предполагается сэкономить до двух миллиардов долларов.

Унифицированный набор бортовой аппаратуры испытываемых объектов включает:

- комплект для объектов с низкой динамикой движения LDIS, предназначенный для пехоты в ранцевом исполнении, наземных подвижных средств и кораблей средних размеров;
- комплект HDIS1 для высокодинамичных объектов типа самолетов, вертолетов и беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) больших размеров;
- комплект HDIS2 малых размеров для ракет и малых БПЛА;
- ретрансляторы малой LPT и большой HPT мощности для испытаний ракет.

Работа осуществляется по сигналам частоты L1 и коду C/A. В отличие от ретрансляторов, комплекты HDIS и LDIS представляют собой аппаратуру с различным числом каналов, по числу одновременно наблюдаемых НКА, которая обеспечивает измерение навигационных параметров, их обработку с целью навигационных определений и передачу результатов на наземные приёмные станции.

На основе комплекта HDIS разработана аппаратура в контейнерном исполнении для размещения на различных испытываемых средствах, содержащая, дополнительно к HDIS, инерциальную навигационную систему, цифровые запоминающие устройства и приемопередатчик для связи с наземной станцией.

Наземная станция оборудована, помимо аппаратуры для обмена информацией с бортовой аппаратурой, дополнительным комплектом НАП для обеспечения дифференциального режима определений по сигналам ГНСС GPS. Навигационные определения могут осуществляться в режиме оценивания их в реальном времени с использованием информации не только от НКА, но и от различных внешних устройств: псевдоспутников, инерциальной системы, высотомера, наземного контрольного приёмника, вырабатывающего дифференциальные поправки, и других.

Среднеквадратические погрешности определения геоцентрических декартовых компонент положения и скорости испытываемого средства при размещении на его борту НАП GPS составили:

- при обработке информации в реальном масштабе времени – 5...16 *м* по координатам, 0,02...0,35 *м/с* по скорости;
- в дифференциальном режиме – 2...13 *м* по координатам;
- при послеполетной обработке – 0,6-3 *м* по координатам, 0,007-0,01 *м/с* – по скорости.

В ходе испытаний, выполненных на авиабазе Неллис, совместно обрабатывались данные существующей наземной системы полигонных измерений TACTS/ACMI и GPS. Результаты испытаний показали, что использование информации от ГНСС GPS существенно увеличивает точность определения высотной компоненты положения испытываемого средства.

Из других известных в настоящее время программ наибольший интерес представляет программа ERIS по созданию средств заатмосферного перехвата ГЧ МБР, разработанная в рамках 1-й фазы программы СОИ. Для отработки компонент системы ERIS при её испытаниях на борту портиворакет и ГЧ ракет-мишеней устанавливаются ретрансляторы сигналов НКА GPS, имеющие объём около 0,7 $дм^3$ и излучаемую мощность 3 *Вт* при потребляемой мощности 25 *Вт*. Эти ретрансляторы принимают сигналы на частоте L1 от всех видимых НКА и переизлучают их в диапазоне частот S (2-3 *ГГц*). Для корректировки частоты собственного опорного генератора ретранслятор излучает пилот-сигнал в этом же диапазоне. Система обработки, находящаяся на наземных станциях слежения включает в себя многоканальный опорный приемник, принимающий сигналы на частотах L1 и L2 от всех видимых НКА и от ретрансляторов. Контрольный процессор обеспечивает вычисление местоположения противоракет и целей с высокими точностями, что крайне необходимо для отработки всей системы перехвата.

Приведенные выше сравнительные оценки достижимых точностей ВТИ объектов ***ракетно-космической техники*** (РКТ) с использованием бортовой НАП и бортового ретранслятора показывают, что при использовании последнего погрешность определения координат места может быть снижена в 3-4 раза, а погрешность определения скорости – на порядок. Тем не менее, приходится констатировать существенное отставание отечественных разработок в этой области от зарубежных аналогов.

Направление создания функциональных дополнений системы ГЛОНАСС на базе ретрансляторов является актуальным и для гражданских потребителей. В связи с этим в проект мероприятий ФЦП "ГЛОНАСС – 2020", направленных на совершенствование НАП и прикладных систем, расширяющих сферу применения ГЛОНАСС, включена опытно-конструкторская работа "Создание ретранслятора для передачи существующих и перспективных навигационных сигналов", шифр "Ретранслятор".

Выводы:

1. Одним из перспективных вариантом СФД ГНСС являются системы, использующие принцип ретрансляции сигналов НКА.

2. Ретрансляция сигнала, являясь безынерционной операцией, снимает с бортовой аппаратуры ограничения по измеряемым значениям скорости и ускорения, времени "горячего" старта и перезахвата рабочего созвездия, точности измерений малых относительных расстояний, темпу обновления информации.

3. Использование принципа ретрансляции сигналов НКА в системах ВТИ объектов РКТ позволяет (в сравнении с бортовой НАП) снизить погрешность определения координат места в 3-4 раза, а погрешность определения скорости – на порядок.

4. Имеет место отставание отечественных разработок в области систем ВТИ с ретрансляторами от зарубежных аналогов более чем на 20 лет.

Литература

1. ***Иванов А.И., Романов Л.М.*** Полигонные навигационные измерения с использованием спутниковой радионавигационной системы NAVSTAR / Зарубежная радиоэлектроника, 1989, № 11. С. 16-29.

2. ***Сетевые*** спутниковые радионавигационные системы / Шебшаевич В.С., Дмитриев П.П., Иванцевич Н.В. и др. 2-е изд., перераб. доп. М.: Радио и связь, 1993. 408 с.

3. ***Анализ*** влияния точности координатно-временной привязки носителя псевдолспутника на характеристики навигационного поля СРНС + ПС / Бабуров В.И., Иванцевич Н.В., Васильева Н.В. и др. // Тр. 13-й международной конференции по интегральным навигационным системам. ЦНИИ "Электроприбор". С.-Пб., 2006.

4. ***JLENS:*** рубеж защиты от крылатых ракет // CNews.ru, 4 апреля 2008 г.

5. ***Методика*** и результаты аттестации канала ретрансляции сигналов СРНС / Власов И.Б., Гребенников А.В., Завгородний Д.В., Мыкольников Я.В., Пудловский В.Б. // Радиолокация, навигация и связь: Сб. трудов международной конференции. Воронеж, 2004. С. 1674-1684.

6. ***Thompson T.*** Performance of the SATRACK/GPS TRIDENT I Missile Tracking System. – IEEE Position, Location and Navigation Symposium. December, 1980. P. 445.

7. ***Wells L.*** Translated GPS Real-Time Tracking – IEEE 1983 National Telesystems Conference. November, 1983. P. 260-264.