

ТЕНДЕНЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ СОЗДАНИЯ ВЕДОМСТВЕННЫХ СИСТЕМ НАБЛЮДЕНИЯ, НАВИГАЦИИ И СВЯЗИ С ПОДВИЖНЫМИ ОБЪЕКТАМИ

И.Н. ПРЕСНЯКОВ, Л.И. НЕФЕДОВ, С.А. КРИВЕНКО

На основе анализа мирового опыта разработки ведомственных систем, схем построения систем навигации и связи с подвижными объектами (GPS и GSM соответственно) выявлены тенденции и перспективы использования систем глобальной навигации и мобильной глобальной цифровой связи. Детальное рассмотрение систем GPS и GSM позволило отметить следующие общие черты: модель систем можно представить в форме сети; мобильные станции имеют средства передачи данных и определения координат в пространстве; системы построены на основе компьютерно-интегрированных технологий цифровой обработки сигналов. Реализация этих достоинств перспективна, с точки зрения тенденций развития современных компьютерно-интегрированных технологий. Конечная продукция проекта представляет ведомственную интегрированную систему наблюдения, навигации и связи с подвижными объектами, которая позволит повысить точность определения координат в дифференциальном режиме и оперативность передачи информации для принятия управленческих решений.

ВВЕДЕНИЕ

Развитие городских инфраструктур и процесс урбанизации крупных населенных пунктов привели к обострению проблем управления транспортными потоками и оптимизации работы специальных и муниципальных служб городов. Кроме того, увеличивающиеся объемы пассажирских и грузовых перевозок предъявляют повышенные требования к контролю их состояния и контролю состояния и целостности грузов. Особенно важно обладать в реальном времени информацией о местонахождении своих транспортных или мобильных специальных средств, их техническом состоянии и состоянии перевозимых грузов. К числу потребителей ведомственных систем наблюдения, навигации и связи с подвижными объектами принадлежат: службы быстрого реагирования (МЧС, скорая помощь); аварийно-ремонтные и транспортные службы, организации, осуществляющие пассажирские и грузовые перевозки как в пределах городов, так и междугородние и международные перевозки.

1. АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

С 1994 Европейский Союз оплачивал стратегию, нацеленную на прогрессивную Европу, что играет важную роль в следующем поколении спутниковых систем навигации [1]. В документе, датированном 10 февраля 1999 года, определены различные аспекты этой стратегии и значительное значение для проектирования, разработки, развертывания и обслуживания новой гражданской, автономной и всемирной спутниковой системы навигации Galileo. Совет Министров Транспорта в Люксембурге 17 июня 1999 г. подробно описывал обязательство Европы в рамках этой новой стратегической, экономической и технологической программы. Это решение сопровождалось значительной и длительной подготовительной работой, выполненной в Европе национальными космическими аген-

тствами, Европейским космическим агентством и промышленностью. Назначение системы — удовлетворять обширные и очень разнообразные запросы потребителей: воздушного, морского и наземного транспорта и множества других приложений для академической и вузовской науки или широкой общественности [1, 2]. Ситуацию по состоянию на начало XXI века можно охарактеризовать следующим образом. Автомобильная промышленность ориентируется на использование GPS/Galileo. Автомобиль — это мобильность — один из видов транспорта для перемещения из отправного пункта в пункт назначения. Мировая статистика 1999 г.: 500 млн. транспортных средств на дорогах; производство — 56 млн. (Европа 19,4млн.), из них легковых автомобилей — 39,4 млн.; грузовиков (фрагт / поставка) — 14,8 млн., трейлеров — 1,6 млн., пассажирских автобусов 0,2 млн. Европейский Союз сегодня и завтра: число членов 15...34, областей 128...250, жителей 265...360 млн., количество языков 11...20, городские области 75...80 %, рост мобильности 2 % в год, трансевропейская сеть дорог и рационализация мобильности в городских областях. Электронные и телекоммуникационные функции на борту транспортного средства: управление компонентами машин, идентификация машины, проверка и диагноз, связь — прием и передача данных в реальном времени, преобразование текста в речь, Internet, персональное шифрование и выделенные сообщения. Оборудование на борту: радиоприемник, мобильный телефон (UMTS), спутниковый приемник для всех приложений, одометр и гироскоп, база данных и программное обеспечение, система скорой помощи, мультимедийные средства (PC, PDA, DVD, плоский экран), радар, сенсоры и черный ящик. Во время движения экран не должен использоваться, текст должен преобразовываться в речь. Необходим хороший баланс между оборудованием на борту и предусмотренными услугами.

Архитектура системы Galileo разработана так, чтобы гарантировать планетное покрытие и быть способной предоставлять непрерывную услугу в любой точке в мире. Система построена на основе 3 основных сегментов: космический сегмент, земной сегмент и сегмент потребителя.

Архитектура, предложенная для космического сегмента, основана на созвездии, включающем спутники на средней орбите (МЕО — высота приблизительно 20000 km). Это решение, первоначально принятое Соединенными Штатами и Советским Союзом для GPS и систем GLONASS, и выбрано для следующих поколений этих систем. Оно имеет как минимальный технический риск из предложений, так и проверенные эксплуатационные характеристики. Эта космическая архитектура будет объединена подходящей инфраструктурой и системами земного базирования, чтобы обеспечивать комплексную услугу трансъевропейского позиционирования и навигации. Земной сегмент системы выполнит надзор ее целостности, определение орбиты и синхронизацию, а также управление работой системы в целом [1].

Дополнительно к полезной нагрузке навигации, обеспечивающей услуги позиционирования, навигации и точного измерения времени, серьезное место отводится спутникам Galileo, также несущим полезную нагрузку связи, чтобы передавать навигационную информацию. Эта полезная нагрузка должна открывать пути для коммерческих приложений и дополнительных источников дохода, как, например, управление грузовиками, такси и общественным пассажирским транспортом или любое другое мобильное применение.

Дальнейшие перспективы глобальной связи непосредственно связаны с развитием систем мобильной связи третьего поколения. Работы в этом направлении были начаты в 1986 г. Международным союзом электросвязи (ITU). Соответствующая перспективная система мобильной связи была названа FPLMTS (Наземная система мобильной общественной электросвязи будущего); в 1995 г. она была переименована в IMT-2000 (Международная система мобильной электросвязи-2000). Всемирная административная конференция по радиочастотам (WARC-92) под эгидой ITU выделила в 1992 г. для FPLMTS на всемирной основе полосу частот в 230 МГц в диапазоне 2 ГГц. В том числе 170 МГц (1885–1980, 2010–2025 и 2110–2170 МГц) для наземной составляющей системы и 60 МГц (1980–2010 МГц для направления Земля-космос и 2170–2200 МГц для направления космос-Земля) для последующего построения спутникового компонента.

Между тем, работа над созданием стандартов системы IMT-2000 показала, что успешно решаются лишь вопросы создания серии общих рекомендаций. При исследовании путей эволюция сетей 2-го поколения к сетям 3-го поколения проявились серьезные различия в интересах отдельных производителей оборудования разных регионов мира, объединить которые оказалось практически невозможно.

В сложившихся условиях ITU выдвинул концепцию семейства IMT-2000 (рекомендация ITU-T Q.1701), в соответствии с ней разрабатываются аспекты создания сетевой архитектуры, в том числе принципы сигнализации, нумерации, тарификации, сетевых протоколов, речевых кодеков и видеокодеков, приложений (услуг), качественные показатели. Рекомендация ITU-T Q.1701 определяет минимальные требования к части набора функциональных возможностей и открытых интерфейсов. В ходе изучения способов развертывания системы IMT-2000 предложен путь эволюционной доработки существующих базовых станций подвижной связи 2-го поколения (в частности, европейской GSM MAP и американской ANSI-41), в то же время сети радиодоступа потребуют новых решений.

В 1994 г. Европейский Союз одобрил специальную программу исследований и разработок по созданию усовершенствованных технологий электросвязи и служб (ACTS), реализация которой завершена в 1998 г. Одним из основных направлений исследований в программе ACTS стала разработка принципов построения системы, названной UMTS (Универсальная система мобильной связи) [3]. Для координации работ по созданию коммерческих сетей UMTS в 1996 г. была также создана международная организация UMTS FORUM — Ассоциация операторов мобильной связи, изготовителей оборудования и координирующих органов, формирующая совместную позицию по перспективам развития и совершенствования UMTS, обеспечения в дальнейшем передачи изображений, графики, видео и другой широкополосной информации.

Стандарт IMT-2000 определен ITU как открытый международный эталон большой емкости, как подвижная система электросвязи, включающая в себя земной и спутниковый компоненты. Европейский институт стандартов связи (ETSI), при широком участии национальных органов стандартизации, в структуре IMT-2000 разработал детальные стандарты, направленные на удовлетворение перспективных потребностей рынка. UMTS — важная часть более широких инициатив удовлетворения потребностей массового рынка. Так, ETSI в 1998 г. был выбран новый радиointерфейс для UMTS (называемый UTRA), поддержанный существующим GSM-сообществом в форме меморандума о взаимопонимании (MoU). Предполагается, что будет обеспечена возможность передачи данных со скоростью до 2 Мбит/с. Дальнейшее развитие системы предполагается на основе все более совершенных технологий, по мере их доступности. Это позволит перейти от первоначальной скорости передачи в канале 9,6 кбит/с к скорости 144 кбит/с и затем к 384 кбит/с. Изучение рынка показывает, что телефонный обмен (передача речи) останется доминирующей службой UMTS до 2005 г. для фиксированных и подвижных сетей стандарта GSM. В то же время, долгосрочные прогнозы показывают настоятельную потребность части пользователей в диалоговых услугах мультимедиа.

На более поздних стадиях развития UMTS появится потребность и в более высоких скоростях передачи, порядка 155 Мбит/с.

В UMTS предусматривается пакетная передача данных, что дает преимущества в виртуальной связанности сети, альтернативном пути составления счетов, асимметричную пропускную способность. Предусматривается также обеспечение транспортных протоколов типа Internet (IP), что удешевляет пользование системой.

Система UMTS разрабатывается как глобальная система, включающая земные и спутниковые компоненты, поэтому терминалы системы предусмотрены многорежимными устройствами. В дальнейшем их возможности будут расширяться для предоставления новой номенклатуры услуг и работы в различных сетях.

Эти радиосистемы в составе ведомственных систем наблюдения, навигации и связи с подвижными объектами необходимо дополнять инерциальными системами.

В статье [4] сообщается, что впервые выполнено моделирование и проектирование встроенного оптического датчика, базирующегося во многоходовом микрокольцевом лазере, для применения в системах гироскопа. Устройство может полностью быть интегрировано в единственный чип и использовано как на низком уровне чувствительности, например, в наземных транспортных средствах, так и на высоком уровне чувствительности, например, навигация судов, самолетов и космических платформ. Модель включает влияние некоторых физических эффектов, как, например, квантовый шум, блокирование, термический эффект и потери в оптических волноводах. Очень хорошие эксплуатационные характеристики получены с точки зрения квантового предела, обслуживающего области обнаруживаемой скорости, температурного диапазона работы и энергопотребления. Предлагаемая архитектура показывает множество значимых преимуществ по отношению к другим существующим оптическим решениям.

Гироскопы являются фундаментальными инерциальными устройствами, в основном используемыми в авиации, космических кораблях и спутниках. Другие коммерческие приложения — в робототехнике, мобильная безопасность, активное торможение автомобилей, устройства дистанционного контроля, стабилизация оптических систем и улучшенные управляющие модули для потребителей, промышленные, медицинские и военные приложения [5].

Системы навигации, например, наземного транспорта, требуют гироскоп с чувствительностью 10...100 угловых градусов в секунду. Угломерные и курсовые опорные гироскопы, например, самолетов, имеют чувствительность 1 угловой градус в секунду, тогда как точность инерциальных систем навигации, например, в военных самолетах и судах, космических кораблях и спутниках, оценивается величинами 0.01...0.001 угловых градусов в секунду [6].

Космические приложения ориентируются на эксплуатацию во враждебной среде спутников, имеющих

минимальный размер и стоимость, для этого снижают вес, увеличивают компактность, снижают энергопотребление и применяют интеграцию устройств и подсистем. Для этих целей разработан волоконно-оптический гироскоп [7]. Непрерывные научные исследования, направленные на микросистемы для космических приложений, привели к встроенному полупроводниковому гироскопу. В частности, кольцевой лазерный гироскоп, основанный на фосфиде индия (InP), арсениде галлия (GaAs) или кремниевых технологиях, имеет предел шума Шотки 0,029 угловых градусов в секунду [8].

Дальнейшие улучшения должны быть получены уменьшением квантового предела, размера и веса сенсора. Лазерные микрокольцевые сенсоры показывают некоторые значимые преимущества по сравнению с другими конфигурациями (т. е., оптоволоконные гироскопы или стандартный кольцевой лазерный гироскоп), например, более высокая надежность и уменьшенные объем и вес. Кроме того, полностью встроенная оптическая архитектура, включая лазерный источник и фотодетектор, должна уменьшить термические эффекты, размеры и вес.

В статье [4] применены методы цифровой обработки сигналов, основанные, в частности, на преобразовании нелинейной полярной геометрии в линейную геометрию. Этот подход аналогичен методу, примененному в статье [9] при исследовании угломерной системы, основанной на приеме сигналов системы GPS. Впервые, насколько это нам известно, этот метод был описан в работе [10]. Все изложенное выше позволяет сформулировать цель исследования.

2. ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Создание интегрированного ядра ведомственной системы наблюдения, навигации и связи с подвижными объектами на основе анализа мирового опыта разработки ведомственных систем, схем построения систем навигации и связи с подвижными объектами (GPS и GSM соответственно). Ядро должно повысить точность определения координат в дифференциальном режиме и оперативность передачи информации для принятия управленческих решений.

3. МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ ИНТЕГРИРОВАННОГО ЯДРА

Предлагаемое интегрированное ядро основано на использовании фазового интерферометра из четырех антенн с короткой базой. Координаты трех неколлинеарных антенн $A(x_{1A}, x_{2A}, x_{3A})$, $B(x_{1B}, x_{2B}, x_{3B})$, $C(x_{1C}, x_{2C}, x_{3C})$ определяются в прямоугольной системе, начало координат которой смещено в фазовый центр четвертой антенны $D(x_{1D}, x_{2D}, x_{3D})$. Координаты A , B , C в указанной системе находятся как решение системы линейных уравнений

$$\sum_{k=1}^3 a_{ik} x_k = \Delta_k \quad (i=1,2,3), \quad (1)$$

где $a_{ik} = \frac{x_{ki}}{R_i}$ — направляющие косинусы отрезка, соединяющего i -й навигационный спутник с антенной D относительно положительных направлений осей Ox , Oy , Oz соответственно; x_{ki} — k -я координата ($x_{1i} = x_i$, $x_{2i} = y_i$, $x_{3i} = z_i$) i -го спутника в прямоугольной системе координат с началом в точке D ; R_i — расстояние между i -м спутником и антенной D ; Δ_k — измеряемая задержка k -го навигационного сигнала; x_k — k -я координата ($x_1 = x$, $x_2 = y$, $x_3 = z$) измеряемой антенны $A(B, C)$;

$$x_k = \frac{D_k}{D}, \quad (2)$$

где $D = \det[a_{ik}]$ — определитель системы (1); D_k — определитель, получающийся из D при замене элементов a_{1k} , a_{2k} , ..., a_{nk} k -го столбца соответствующими свободными членами Δ_1 , Δ_2 , Δ_3 .

Измеряемая задержка k -го навигационного сигнала определяется как разность между временем приема и временем излучения сигнала GPS. Для обнаружения и приема сигнала фаза кода и несущая частота, формируемые в приемнике, должны соответствовать поступающей фазе кода и несущей частоте до такой степени, чтобы накопленная корреляционная сумма была выше порога обнаружения. Поиск выполняется в плоскости задержки, пока сигнал не будет обнаружен. Как только сигнал обнаружен, кольцо автоматической подстройки несущей частоты и фазы кода замыкается. Аналогичная процедура также применяется в системе мобильной связи GSM, что создает все предпосылки для интеграции потребителей систем GPS и GSM.

Используемая в (1) замена сферической поверхности положения дальномерного метода на плоскость приводит к возникновению методической погрешности δ измерения направляющего косинуса наземного транспортного средства или системы [10]. База интерферометра $|AD|$ определяет точность измерения угловых координат или направляющих косинусов. Это позволяет записать формулу для определения погрешности и выбора базы интерферометра, реализующего предложенный метод, в виде [9]

$$\delta = \sin(|AD|/20000000) + 0,005/|AD|. \quad (3)$$

Уравнение (3) позволяет устранять погрешности, которые накапливаются в гироскопах с течением времени [4]

$$\delta = \Omega_{lock} t_{reg}, \quad (4)$$

где Ω_{lock} — угловая скорость блокирования; t_{reg} — интервал времени измерения и обработки сигнала лазерного гироскопа.

Если в уравнение (3) подставить уравнение (4), то решением полученного трансцендентного уравнения будет функция

$$|AD| = 10^4 t_{reg} - \sqrt{4 \cdot 10^8 t_{reg} - 4 \cdot 10^5} / 2. \quad (5)$$

Результаты расчета сведены в таблицу.

Номер лазерного гироскопа	Интервал обработки данных, t_{reg} , секунд	База, $ AD $, м	Погрешность, δ
1	0,70	7,15	0,0007
2	0,84	5,95	0,0008
3	1,01	4,96	0,0010
4	1,21	4,13	0,0012
5	1,45	3,45	0,0015
6	1,74	2,87	0,0017
7	2,09	2,39	0,0021
8	2,51	1,99	0,0025
9	3,01	1,66	0,0030
10	3,61	1,38	0,0036
11	4,33	1,15	0,0043
12	5,20	0,96	0,0052
13	6,24	0,80	0,0062
14	7,49	0,67	0,0075
15	8,99	0,56	0,0090
16	10,78	0,46	0,0108
17	12,94	0,39	0,0129
18	15,53	0,32	0,0155
19	18,64	0,27	0,0186
20	22,36	0,22	0,0224
21	26,84	0,19	0,0268

Во второй графе таблицы представлен ряд различных интервалов обработки данных, характерных для различных гироскопов, реализующих предложенный метод. Интервал времени обработки данных определяет записанную в третьей графе базу интерферометра, необходимую для компенсации погрешностей измерения угловых координат, накапливаемых гироскопом. Результирующая погрешность приведена в четвертой графе.

Зависимость размера базы от исполнения гироскопа приведена на рис. 1, а результаты моделирования погрешности — на рис. 2.

Анализ приведенных результатов позволяет сделать вывод, что предложенное интегрированное ядро ведомственной системы наблюдения, навигации и связи соответствует очень широкому классу транспортных систем, допускающему применение интерферометра с базой от десятков сантиметров до десяти метров. Ядро, построенное на основе применения систем навигации и связи с подвижными объектам GPS, GSM и лазерного гироскопа, сохраняет высокую эффективность на интервалах времени, свойственных новому семейству лазерных микрокольцевых гироскопов [4], т. е. на интервалах времени от 0,7 до 28 с, при этом погрешность изменяется от 0,0007 до 0,0268.

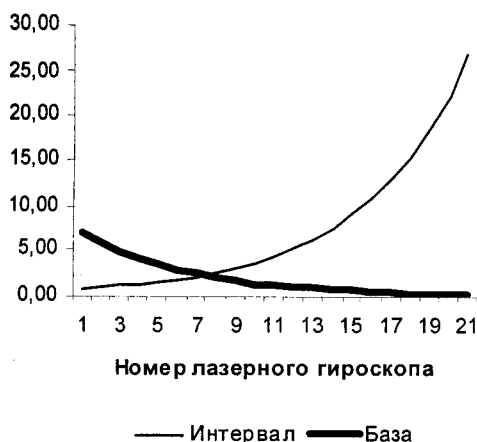


Рис. 1. Зависимость размера базы от исполнения гироскопа

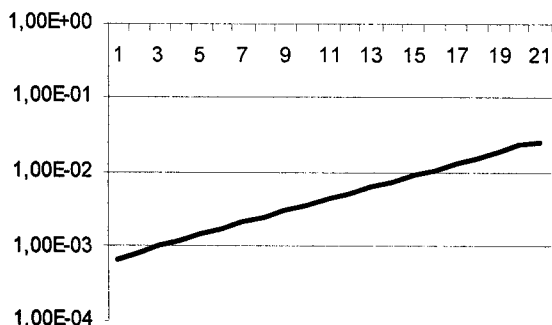


Рис. 2. Результаты моделирования погрешности

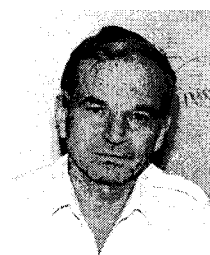
Выводы

Таким образом, предложенное новое интегрированное ядро ведомственной системы наблюдения, навигации и связи с подвижными объектами, является достаточно универсальным для широкого класса систем (типа GPS, Galileo, GSM и др.) и позволяет повысить точность определения координат в дифференциальном режиме и оперативность передачи информации для принятия управленческих решений.

Литература. 1. *LucTytgat, Pascal Campagne*. GALILEO: a new GNSS designed with and for the benefit of all kind of civil users. // ION GPS 2000, 19–22 September 2000. — Salt Lake City, UT. — P. 1363–1365. 2. *Брайан Толл*. Концепция радионавигации Европейской Комиссии: ГНСС и ЕГНОС. // Сборник трудов второй международной конференции «Планирование глобальной радионавигации». — Москва, Международный центр научной и технической информации, 1997. — С. 68–71. 3. *Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); Requirements for the UMTS Terrestrial Radio Access system (UTRA) (UMTS 21.01 version 3.0.1) TR101111* // European

Telecommunications Standards Institute, 1998. p. 68. 4. *Mario N. Armenise, Vittorio M. N. Passaro, Francesco De Leonardis and Michele Armenise*. Modeling and Design of a Novel Miniaturized Integrated Optical Sensor for Gyroscope Systems // IEEE journal of lightwave technology, vol. 19, no. 10, October 2001. — PP. 1476–1494. 5. *S. Valette*, «What microsystems for space» in Proc. Int. Worksh. Innovation for Competitiveness, Annex 1. Noordwijk, The Netherlands, Mar. 19–21, 1997. 6. *W. K. Burns*, «Fiber optic gyroscopes—Light is better» Opt. Photon. News, pp. 28–32, May 1998. 7. *R. B. Smith*, Ed., «Selected papers on fiber optic gyroscopes» in SPIE Milestone Series, 1989, vol. MS 8. 8. *K. Suzuki, K. Takigushi, and K. Hotate*, «Monolithically integrated resonator microoptic gyro on silica planar lightwave circuit» J. Lightwave Technol., vol. 18, no. 1, pp. 66–72, Jan. 2000. 9. *Нефедов Л.И. и др.* Информационное обеспечение управления транспортными ресурсами на основе спутниковых геоинформационных технологий // Автомобильный транспорт / Сб. научн. тр. Вып. 13. — Харьков: Издательство ХНАДУ, 2003. — С. 284–286. 10. *Кривенко С.А. и др.* Применение аппаратуры спутниковой навигации и ориентации в контуре управления подвижными объектами. 3rd ISTC «Unconventional Electromechanical Systems» UEES'97, Alushta, Ukraine, 1997, 19–21 September. PP. 348–350.

Поступила в редколлегия 23.02.2004 г.



Пресняков Игорь Николаевич, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Сети связи» ХНУРЭ. Область научных интересов: современные технологии связи, обработка сигналов, повышение качества и помехозащищенности передачи информации в сетях связи.



Нефедов Леонид Иванович, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Автоматизация и компьютерно-интегрированные технологии» ХНАДУ. Область научных интересов: геоинформационные технологии, системы автоматизированного проектирования, автоматизированные системы управления, компьютерно-интегрированные технологии.



Кривенко Станислав Анатольевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Сети связи» ХНУРЭ. Область научных интересов: контроль технического состояния сетей цифровой мобильной связи, глобальных спутниковых радионавигационных систем.