



Где я?

Он был без сознания, но сразу пришел в себя и, открыв глаза, осведомился: — Где я?.. К черту подробности! На какой планете?

А.Н., Б.Н.Стругацкие.
Страна багровых туч

Сателлоид, а точнее, его электронный мозг отозвался... сообщил с точностью до пятого десятичного знака, какие меридианы звездного купола Галактики он пересекает... кружась по ньютоновским орбитам с поправкой Эйнштейна...

Ст. Лем. Солярис

О чем это мы?

GPS (Global Positioning System) — это система высокоточного определения координат статичных и движущихся объектов. Проект был запущен в 1978 году и вышел на запланированную мощность в 1994-м. Вся система состоит из трех сегментов — космического, управляющего и пользовательского. Космический — 24 спутника, движущихся по шести различным орбитам так, чтобы из любой точки земной поверхнос-

ти всегда были видны не менее четырех. Срок службы каждого спутника — 10 лет, по мере выхода из строя их заменяют. Управляющий сегмент GPS — пять контрольных центров (один из них главный — мастер-центр). Пользовательский сегмент — миллионы персональных GPS-приемников, которые продаются в виде автономных устройств, модулей расширения к портативным компьютерам или же встраиваются в оборудование. Самый дешевый приемник стоит сегодня менее 100 долларов.



где он, но и мог ввести в картографическую систему сразу и координаты, и данные об этом дереве («два дупла, одно жилое, другое офис»). Причем сервисы придумывали в основном гражданские фирмы, увеличением мощности и выбором частот занимались военные, а увеличением точности — и те, и другие.

И кто это у нас в руках такой маленький?

Приемник системы GPS — это радиоприемник и компьютер, способный вычислять свое местоположение по радиосигналам, принимаемым со спутников. Чем больше спутников может отслеживать такой приемник одновременно и чем дальше друг от друга находятся эти спутники на небесной полусфере, тем быстрее пойдет процесс вычисления координат и тем более точными могут быть результаты. Способность приемника обрабатывать сигналы от нескольких спутников определяется числом его каналов. В современных устройствах их обычно 12, то есть приемник может принимать информацию от двенадцати спутников — если он видит их одновременно. При этом лучше находиться под открытым небом — в закрытом помещении или в тесном окружении высотных домов сигнал ослабляется и возникают помехи. Комплект для использования в транспортных средствах чаще всего имеет внешнюю антенну. Облачность не влияет на сигнал, стекло и пластик — тоже не помеха, поэтому GPS-приемник может работать на застекленном балконе, но пишут, что иногда сигнал со спутника может блокировать владелец приемника — своим телом. Ну, если проглотит или спрячет под мышку.

При включении устройства приемник начинает принимать сигналы со спутников и определять, какие из них ему видны. Такое состояние приемника называется «холодным стартом». После выключения приемник некоторое время держит в памяти данные, и в случае повторного включения после небольшого перерыва время пеленга оказывается меньше — «теплый старт», а если перерыв был совсем кратким (скажем, машина проезжала под мостом), то это «горячий старт». В описаниях прием-

ников указывают время пеленга отдельно для холодного (при отключении на несколько минут), теплого (отключение до минуты) и горячего (отключение на десять секунд) стартов.

Система GPS использует частоты 1575,42, 1227,60 и 1176,45 МГц — это длины волн от 20 до 30 см, дециметровый диапазон. Содержит такой сигнал идентификатор спутника, время и позиции всех спутников в течение дня. Приемник, получив со спутников точное время и место отправки сигнала, по задержке прохождения сигналов вычисляет расстояния до спутников (скорость распространения радиоволн известна). Поскольку поверхность Земли и три сферы пересекаются не более чем в одной точке, широта и долгота на поверхности Земли определяются по сигналам трех спутников. При этом компьютер считает, что вы находитесь именно на поверхности Земли. Если вы летите в атмосфере или находитесь в офисе на сотом этаже, то определение будет ошибочным. Но, запеленговав четыре спутника, приемник может также определить и высоту абонента над уровнем моря, то есть точку не на поверхности, а в пространстве. Прием сигналов с большего количества спутников позволяет увеличить точность — выбором оптимальных спутников и усреднением результатов.

Быстрее, выше... это ерунда. Точнее!

Точность определения координат — важнейший параметр GPS. Когда-то точность показаний бытовых (не военных) устройств GPS искусственно ограничивалась 100 метрами, хотя базовые возможности GPS-системы позволяют вычислить координаты с точностью от 5 до 25 м. Однако в мае 2000 года решением президента США были сняты все ограничения по точности, так что теперь ее обычно считают равной 15 м, и она определяется колебаниями скорости распространения сигнала в атмосфере (на Луне и Марсе GPS будет работать существенно точнее). Для дальнейшего же ее повышения необходимо введение дополнительных поправок и усовершенствованных алгоритмов. Нужно ли это? Для празднующегося туриста — нет, а для

Самый маленький — встроен в часы.

Развитие системы все время шло по вполне очевидным направлениям: увеличение мощности и подбор частоты передачи для обеспечения надежной связи в условиях помех и ослабления сигнала (например, в городах и даже в помещениях), передача на нескольких частотах — для уменьшения ошибок, усложнение обработки (опять же для увеличения точности), создание новых сервисов. Например, чтобы лесник, подойдя к дереву, не только знал,

альпиниста, кладоискателя или рыбака, отмечающего, что карась брал именно под этим кустом, — да. Позже мы узнаем, что высокая точность нужна еще и фермеру — а это уже серьезно.

При использовании Differential GPS (DGPS) используются два GPS-приемника, рабочий и эталонный, который постоянно находится в точке с известными координатами. Оба приемника принимают сигнал со спутников одновременно, что дает возможность вычислить поправку и увеличить точность до метра, а иногда до 10 см. Именно так действует служба береговой охраны США, содержащая сеть башен, которые принимают сигналы GPS и передают скорректированные сигналы посредством передатчиков на маяках. Эти поправки могут принять любой желающий на побережье и прилегающей к нему территории страны. Но необходимо иметь специальный приемник «Beacon-on-a-Belt» («Зона побережья») в дополнение к стандартному. Существует другая система, в которой сигналы поправок передают FM-радиостанции. Это платная услуга, ее подписчикам выдается FM-приемник размером с пейджер, работающий вместе с GPS-приемником.

В дополнительном оборудовании не нуждается система внесения поправок, называемая WAAS (Wide Area Augmentation System), ее разработчик — Федеральное управление авиации США. Система охватывает только США и включает 25 наземных станций, отслеживающих сигналы со спутников, а также две мастер-станции (по одной на Западное и Восточное побережье), которые на основе данных от всех остальных вырабатывают поправки. Корректирующая информация постоянно транслируется через один из двух геостационарных спутников и воспринимается GPS-приемниками. Аналогичная система есть в Японии. Существуют и еще более совершенные методы обработки сигнала — они, по некоторым данным, позволяют увеличить точность до 1,5 см (полутора сантиметров).

Об альтернативах

В РФ существует система ГЛОНАСС, она используется военными, ее восемь спутников обеспечивают точность от 50 до 70 м. Есть европейский проект EGNOS, в нем принимаются сигналы с обеих разновидностей спутников — и GPS, и ГЛОНАСС. EGNOS — совместный проект Европейского космического агентства (ESA), Еврокомиссии и «Eurocontrol» — организации, отвечающей за авионавигацию в Европе. Транслируются поправки EGNOS через три геостационарных спутника: «Inmarsat» над Атлантическим и Индийским океанами, «ESA Artemis» — над

Африкой. Помимо них в систему входят более трех десятков центров и станций, которые вычисляют поправки, передают их на спутники и управляют спутниками.

Разработка систем, альтернативных GPS, — вопрос амбиций и престижа. У кого-то есть, а у нас нет — говорят маленькие, но гордые европейцы. Правда, посотрясав воздух речами, делают «свою» систему, которая использует сигналы спутников GPS и ГЛОНАСС. Но вполне возможно, что эффективнее было бы работать вместе. Причем заметьте, что хотя изначально систему GPS делали военные и для военных, но сейчас она обслуживает бизнес и науку, и именно это делает ее надежной — большой бизнес всегда будет ее поддерживать. Вот маленький пример того, как стремление людей к хорошей и безопасной жизни понемногу начинает править миром — и только в этом надежда.

Изошренная обработка

Вычислив координаты, приемник не останавливается на достигнутом. Он может определить максимальную и среднюю скорость движения, указать направление на цель и примерное время, через которое вы там окажетесь, двигаясь с той же скоростью, сообщить, где север и прочие стороны света, указать расстояние до пункта назначения, время ожидаемого восхода и заката солнца и многое другое — это уже зависит от имеющихся в приемнике программ. Данные постоянно обновляются — обычно раз в секунду.

Мощность и частота — это важно, но изошренная обработка позволяет добиться многого при тех же сигналах. Например, захвата спутника за десятую долю секунды вместо двух-трех секунд, прогнозирование местоположения приемника, когда виден хотя бы один спутник, игнорирование паразитных сигналов, образованных отражением основного сигнала от высотных зданий, скал и других поверхностей. Усложнение обработки позволяет работать с ослабленным сигналом, например, в густом лесу. А еще существует режим, в котором электроника приемника «засыпает» на 0,8 с из каждой секунды, а за оставшиеся 0,2 с выполняется собственно поиск спутников, прием данных и вычисления.

Для чего все это

Сначала — маленькое философское отступление. Ранее считалось, что «спрос рождает предложение». На наших глазах меняется одна из основ жизни — предложение начинает рождать спрос. Открывая утром глаза, мы видим новую вещь — инженеры додумались до

нее раньше потребителя! На это, понятное дело, легко возразить, что пять веков назад некий итальянский инженер придумал вертолет — явно раньше, чем заказчик сформулировал тактико-технические данные. Пропуская три страницы дискуссии в журнальном формате (три десятка экранов в формате форума), ответим сразу — эти вещи связаны, причем сложно и тонко, почти как сеть сигнальных реакций в клетке. И в том дело, что инженер — он же и потребитель и голова у него одна, и в том, что на рынок выходит только потенциально популярное изделие, и в том, что удерживается на рынке только нужный товар. Но количество новых вещей, которые мы, потребители, видим — не на кульманах фирм-разработчиков, а на прилавке, — это количество растет. Поэтому мы вправе сказать, что перемены все-таки есть.

Задач, для решения которых надо знать свое или чье-то место, — миллион. Прокладка дорог, строительство, поиск угнанного автомобиля или пропавшего человека, работа «скорой помощи» и пожарников, геологические изыскания, путешествия, туризм и многое другое. Наличие GPS-приемника на машинах «скорой помощи» и пожарных машинах уменьшает время до прибытия на место происшествия в среднем на несколько минут — именно тех, которые для кого-то могут оказаться очень существенными.

А биологи применяют GPS для изучения перемещений диких животных. Правда, только крупных — снежных барсов и медведей гризли. Наверное, чтобы зверюшка не испытывала неудобств от тяжести приемника. Это — очевидные применения. Объем продаж GPS-приемников еще в 1997 году превысил 3 млрд. долл., причем лишь 3% из них приходилось на военные системы, а 97% — на транспорт, бизнес, медицину, спасателей, туристов... Сейчас этот рынок составляет 13 млрд. долл., а прогноз на 2008 год — 21 млрд.

Это все более или менее очевидные применения. Но есть и кое-что похитрее — например, ООН рекомендует использовать приемники GPS для мониторинга колебаний мостов. Или вот — куда уж серьезнее: прогноз землетрясений. Недавно матушка-Земля напомнила Юго-Восточной Азии, что она бывает не в настроении. Есть предварительные данные, что за время от суток до часа в окрестности землетрясения (десятки километров) происходят смещения пород, которые могут быть обнаружены — хотя и на пределе точности GPS. Для надежного установления этого факта надо развернуть в каком-либо сейсмоопасном районе сеть приемников. Параметры такой сети определены в Объединенном институте физики Земли РАН (Москва):

проект получается сложным и дорогой, но реальный. Нечто подобное сейчас делается в Калифорнии и Японии. Может быть, в итоге человечество и получит метод оперативного прогноза землетрясений, к сожалению — действующего лишь с небольшим упреждением.

Любое влияние атмосферы на распространение GPS-сигнала, с одной стороны, усложняет обработку данных и/или уменьшает точность получаемых результатов, с другой же стороны — позволяет исследовать атмосферу. Например, так называемые «крупномасштабные перемещающиеся ионосферные неоднородности», которые возникают во время магнитных бурь, влияют на фазу сигнала GPS. И это позволило не только установить скорость и направление их перемещения, но и обнаружить, что они распространяются с разной скоростью ночью (970 ± 300 м/с) и днем (660 ± 200 м/с) и в разных направлениях: соответственно на юго-восток ($169 \pm 20^\circ$) и юго-запад ($198 \pm 25^\circ$). Этот результат был получен в Институте солнечно-земной физики СО РАН (Иркутск).

Хлеб, мясо, молоко

Рано или поздно человечество научится делать мясо в пробирке, но пока хлеб растет на земле, а корова мычит в коровнике. Мичурин был прав — ждать милостей бесполезно, их надо брать. Но как? Еще недавно американские фермеры шутили: «Раньше для успешного ведения дела хватало крепких рук. Теперь надо иметь образование, чтобы суметь разобраться в советах ученых и выбрать наименее вредный». А что сейчас?

В начале 90-х годов прошлого века в сельском хозяйстве США появилось новое направление, получившее название «высокотехнологичное земледелие» (ВТЗ). Если формулировать предельно кратко, то это обработка больших полей мощной техникой (как раньше), но с учетом особенностей каждого маленького участка. Конгресс США в законе 1998 года определил ВТЗ так: «Интегрированная информационная и производственная система ведения сельского хозяйства, создаваемая с целью долгосрочного повышения эффективности, продуктивности и прибыльности производства с учетом местной специфики и одновременной минимизации воздействия на окружающую среду». При ВТЗ качество почвы, состояние растений, плотность распространения вредителей и другие параметры контролируются с шагом в несколько метров и с этим же пространственным разрешением определяется, сколько высевать зерен, вносить удобрений, использовать пести-

цидов, как орошать.

В древности участки были маленькими, фермер знал свою землю и сравнительно эффективно ее использовал — но ценой большого количества труда. С 20-х годов прошлого века в сельском хозяйстве США началось активное использование тракторов и прочих машин. Производительность труда возросла, фермы укрупнились, но большие поля «стригли под одну гребенку». Следствия: эрозия почв и пыльные бури, загрязнение почвы излишками минеральных удобрений и пестицидов, нанесение вреда окружающей среде. Правительство США старалось снизить воздействие химизации на экологию, были приняты законы, регламентирующие использование химикатов, созданы организации, контролирующие состояние окружающей среды. Но проблемы решают не законы, а прогресс науки.

Основа новых методов — GPS-технология определения координат на местности. Координаты расположения конкретного участка поля позволяют организовать систематический сбор, анализ и использование всей необходимой информации. Информация собирается регулярно, и все данные имеют привязку к конкретной точке. Любая сельхозтехника, вышедшая в поле, «знает», в какой точке находится, и вносит удобрения или пестицида столько, сколько нужно именно этому участку. Любая техника контролирует, что и как она делает: например, комбайн раз в несколько секунд измеряет количество и влажность зерна и заносит эти данные в геоинформационную систему. В эту же систему вводятся результаты анализа почвы, а также результаты дистанционного зондирования — съемки со спутников или аэрофотосъемки. Использование GPS уменьшает потери, например, при уборке с 10% до 5%, а у более опытных комбайнеров до 1,5%. Но стандартная точность GPS недостаточна на поле и в сельском хозяйстве, и поэтому используется дифференциальная коррекция.

Некоторые фермеры начинают применять специальные датчики, устанавливаемые на тракторах и другой сельхозтехнике, которые по визуальным параметрам способны оценивать состояние почвы и растений. Эти технологии появи-

лись совсем недавно и не очень распространены, но сбор информации при высокотехнологичном земледелии необходимо проводить разными способами и приемами, так как нет универсального источника информации, дающего ответы на все вопросы. Однако вся информация должна привязываться к координатам на местности.

Наиболее активно технологии ВТЗ внедряют в производстве сои и кукурузы: от 5 до 10% пахотных земель, занятых под выращивание этих культур, возделывают с применением таких технологий на всех основных этапах производства — тестирование почв, гибкое внесение удобрений, мониторинг урожайности и анализ всей информации с использованием геоинформационных систем. В 2000 году 30% посевных площадей, занятых кукурузой, и 25% — соей, убиралось с применением мониторов урожайности. Следом по масштабам идет производство пшеницы. Уровень внедрения технологий ВТЗ на ней втрое ниже, чем у ранее названных культур. Однако показатели применения неуклонно растут: если в 1996 году лишь 6% посевов пшеницы убиралось с их помощью, то к 2000-му величина этого показателя достигла 10%. Недавно в продаже появились мониторы урожайности для уборки хлопка.

Следующим шагом прогресса будут тракторы или уборочные машины, способные осуществлять полный цикл агротехнических операций без участия человека. Однако до этого еще не менее десяти лет. Но уже сейчас (вернись на секунду к эпиграфу) в работе системы GPS используется теория относительности. Часы на спутниках движутся ускоренно и находятся в более слабом гравитационном поле, чем часы на Земле. И, в соответствии с теорией Эйнштейна, ведут себя иначе. Может быть, пора называть ее не теорией, а практикой?

