

Спутники — маяки

Как работает спутниковая система навигации? Сейчас разберемся...

👉 Никита Копа

Заблудился в незнакомом месте, или тебе нужно узнать, как пройти на какую-нибудь улицу? Не беда: достаешь смартфон, включаешь в настройках режим геолокации, заходишь на сайт Google Maps, и через несколько секунд на экране появляется карта со значком твоего местоположения. Каким же образом телефон понимает, где ты находишься? Если ты считаешь, что навигационные спутники «видят», где находится смартфон, и каким-то образом сообщают ему его координаты, то у нас для тебя две новости. Во-первых, ты заблуждаешься, а во-вторых, так же как и ты думают практически все, кто не знает принципов спутниковой навигации.

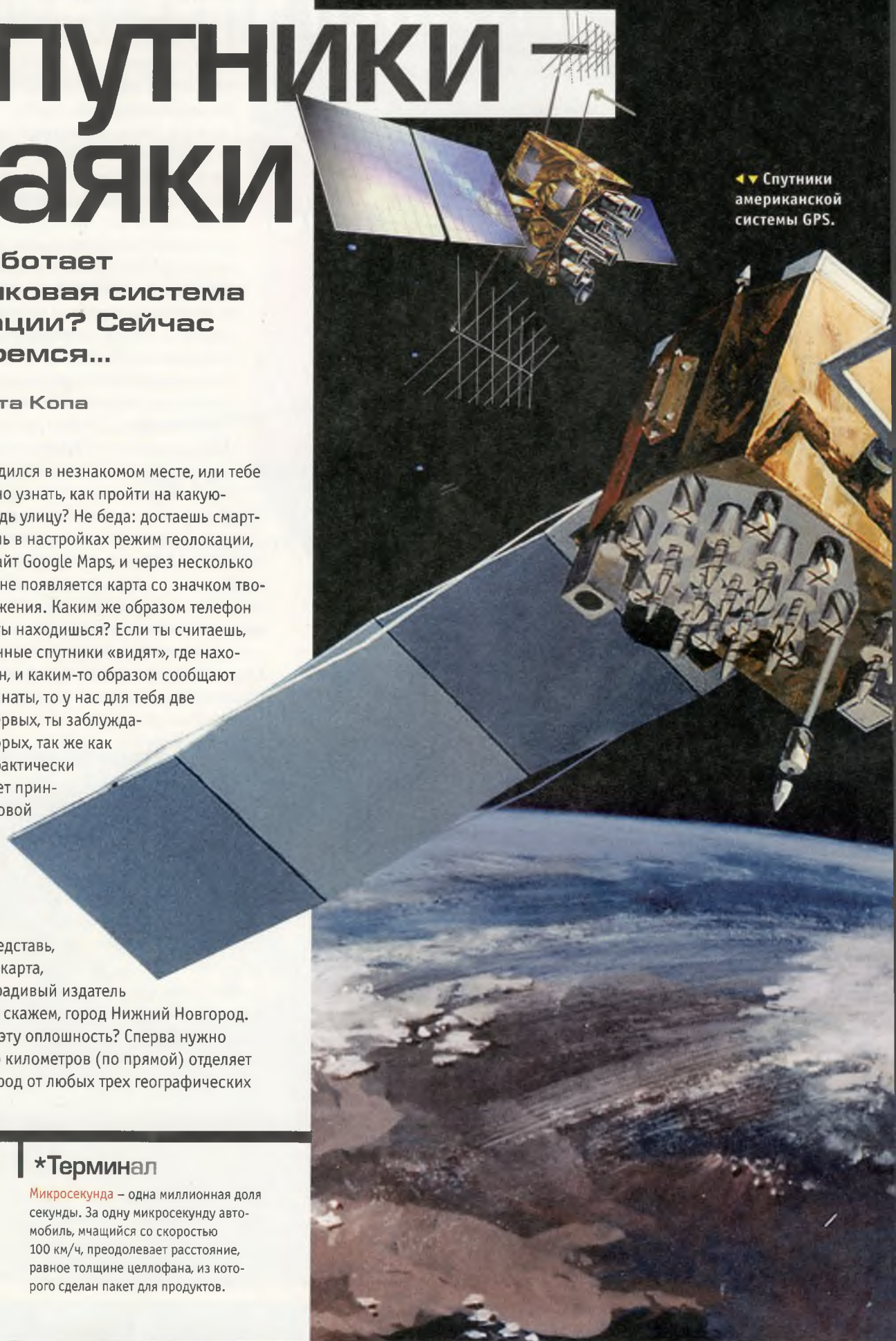
КРУГИ И СФЕРЫ

На самом деле всё хитрее. Представь, что у тебя есть карта, на которую нерадивый издатель забыл нанести, скажем, город Нижний Новгород. Как исправить эту оплошность? Сперва нужно узнать, сколько километров (по прямой) отделяет Нижний Новгород от любых трех географических

*Терминал

Микросекунда — одна миллионная доля секунды. За одну микросекунду автомобиль, мчащийся со скоростью 100 км/ч, преодолевает расстояние, равное толщине целлофана, из которого сделан пакет для продуктов.

◀▶ Спутники американской системы GPS.



ПОЧЕМУ GPS?

Обычно вместо «спутниковой навигационной системы» мы говорим «система GPS». Однако на самом деле это название лишь одной такой навигационной системы, которое происходит от английского словосочетания Global Positioning System (система глобального позиционирования). Эта система спутниковой навигации разработана Министерством обороны США и начала полноценно работать в 1983 году.

объектов, отображенных на карте, пусть это будут, например, города Москва, Казань и Воронеж (см. схему внизу). Кратчайшее расстояние от этих городов до Нижнего Новгорода – 400, 320 и 600 км соответственно. Берем в руки циркуль, и из места на карте, где обозначена Москва, проводим окружность, радиус которой соответствует 400 км на карте. В какой-то точке этой окружности будет находиться Нижний Новгород, но в какой? Устанавливаем иголку циркуля на кружок, которым отмечена на карте Казань, и чертим вторую окружность, чей радиус, в масштабе

**КАКИМ ЖЕ
ОБРАЗОМ
ТЕЛЕФОН
ПОНИМАЕТ,
ГДЕ ТЫ СЕЙЧАС
НАХОДИШЬСЯ?**

карты, будет равен расстоянию от Казани до Нижнего Новгорода, то есть 320 км. Мы почти у цели: эти две окружности пересекутся в двух точках. Теперь, чтобы понять, какую из них выбрать, нужно провести третью окружность с центром в Воронеже и радиусом, соответствующим 600 км на карте. Эта третья окружность пройдет через одну из точек, в которой

пересеклись первые две окружности. В этом месте и нужно нарисовать кружок, подписав его «Нижний Новгород».

Подобный метод можно использовать не только на плоскости (которой является карта), но и в объемном пространстве, нужно лишь заменить ►►

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ОБЪЕКТА МЕТОДОМ ЗАСЕЧЕК



*Терминал

Атомные часы – прибор, определяющий время по колебаниям атомов цезия или руту. Самые точные атомные часы имеют погрешность в одну секунду за 15 миллиардов лет.

• **Спутник ГЛОНАСС второго поколения.**

► окружности сферами. Правда, тут задача чуть усложнится, нам понадобится еще один ориентир, так как пересечение двух сфер дает окружность, три пересекающиеся сферы имеют две общие точки, и только у четырех сфер при пересечении образуется одна-единственная общая точка. Таким образом, всё, что нужно для определения местоположения любой точки в пространстве, – это расстояния до каких-то четырех ориентиров, координаты которых нам хорошо известны.

ЗАДАЧА С ДВУМЯ НЕИЗВЕСТНЫМИ

Надеемся, ты понял, к чему мы клоним? В системе спутниковой навигации роль таких ориентиров играют спутники, движущиеся по орбите вокруг Земли. А всю основную работу выполняет твой смартфон – по расстояниям до спутников высчитывает свое местоположение и накладывает его на карту, сохраненную в памяти или скачанную из интернета.

Но тут возникают два вопроса: во-первых, как узнать, где в данный момент находится спутник-ориентир, а во-вторых, как измерить расстояние от него до смартфона, тем более что сам спутник движется?

Первый вопрос решается просто: благодаря тому, что орбиты всех навигационных спутников известны с высокой точностью, всегда можно рассчитать, где каждый из них будет находиться в тот или иной момент.

Этот расчет проделывают наземные службы, затем информация рассылается



ФОТО: USGS

спутникам, а те периодически передают ее потребителям, в частности твоему смартфону. А вот измерить расстояние до спутника гораздо сложнее. Для этого каждый спутник вместе со своими координатами посылает сигналы точного времени – его спутник «узнает» по установленным на борту **атомным часам***. А так как спутник находится далеко – его орбита пролегает на высоте около 20 000 км, эти сигналы не сразу доходят до Земли. Получив такое «сообщение» и сверив его с показаниями собственных часов, смартфон определяет, сколько времени понадобилось сигналу, чтобы преодолеть дистанцию, лежащую между ним и спутником. А потом умножает это время на скорость распространения радиоволн. Всё, расстояние до спутника вычислено!

• **Работу спутников отслеживают наземные станции во многих уголках мира. В том числе и в удаленных от цивилизации.**

ФОКУСЫ СО ВРЕМЕНЕМ

Серьезная проблема заключается в том, что часы,

встроенные в бытовые приемники спутниковой навигации, – обычные, кварцевые, и их точность, по сравнению с атомными, совсем не велика. А ведь расхождение лишь на одну тысячную долю секунды превращает всю систему в совершенно бесполезную вещь: навигатор ошибался бы более чем на 250 км! К счастью, ученые нашли хитрые способы, помогающие обойти это слабое звено. Например, можно скорректировать показания встроенных в смартфон или навигатор часов, ведь их погрешность одинакова по отношению к точности часов всех спутников. Но самое интересное, что даже если мы поставим на Земле точно такие же атомные часы, как на спутнике, они всё равно будут идти по-разному! Дело в том, что еще в начале прошлого века великий физик Альберт Эйнштейн разработал теорию, в которой, в частности, утверждалось, что на быстро движущихся объектах, а также вблизи массивных тел время замедляется.

И хотя скорость навигационных спутников сравнительно невелика – 14 000 км/ч, тем не менее, теория Эйнштейна дает о себе знать: атомные часы спутников отстают на **7 микросекунд*** (см. Терминал на с. 26) в сутки относительно таких же часов, установленных на земной поверх-



ФОТО: BIN IM GARTEN

ЧТО У НАС?

Отечественная навигационная система, получившая название ГЛОНАСС (Глобальная навигационная спутниковая система), начала разрабатываться еще в Советском Союзе, а вступила в строй в 1995 году. В 2003 году на орбиту

начали выводить спутники нового поколения, и сейчас их сигналы, как и сигналы спутников GPS, практически полностью покрывают земную поверхность. Система ГЛОНАСС не сильно отличается от GPS, точность у нее чуть ниже.

ИСКАЖЕНИЕ СИГНАЛА АТМОСФЕРОЙ



ности. Но с другой стороны, мы ближе к массивной Земле, чем спутники, поэтому время у нас течет медленнее на целых 45 микросекунд в сутки, нежели на далекой орбите. Совместное действие двух этих противоречивых эффектов приводит к тому, что часы спутников опережают земные на 38 микросекунд в день ($45 - 7 = 38$). И как следствие, в показаниях смартфона ежедневно должна накапливаться ошибка в 10 км! Для избавления от этих Эйнштейновских фокусов со временем инженерам приходится чуть замедлять атомные часы спутника, чтобы на орбите они шли так же, как центральные часы системы, расположенные на Земле.

ПОГОНЯ ЗА ТОЧНОСТЬЮ

И какую же точность можно рассчитывать, пользуясь спутниковой навигацией? Считается, что смартфоны могут определять свое местоположение с погрешностью 15 м, однако на открытом месте, где прохождению сигналов не мешают здания

и деревья, смартфон способен на точность 6 или даже 5 м. Впрочем, прогресс не стоит на месте. Сейчас заканчивается выведение на орбиту спутников двух навигационных систем: европейской Galileo (в честь всемирно известного астронома) и китайской «Бэйдоу» (так китайцы называют созвездие Большой Медведицы). Первые европейские спутники были запущены в 2011 году, и в настоящее время 28 аппаратов из 30 уже находятся в космосе. Теоретически эта система позволит определять координаты с точностью до 30 см. Китайцам, как и европейцам, тоже осталось отправить в космос два спутника для полной комплектации своей системы. Она будет еще точнее – с ее помощью ошибка местоположения в районе экватора не будет превышать 10 см! Правда, пока не известно, будет ли такая суперточность доступна всем, или пользоваться ей смогут только военные.

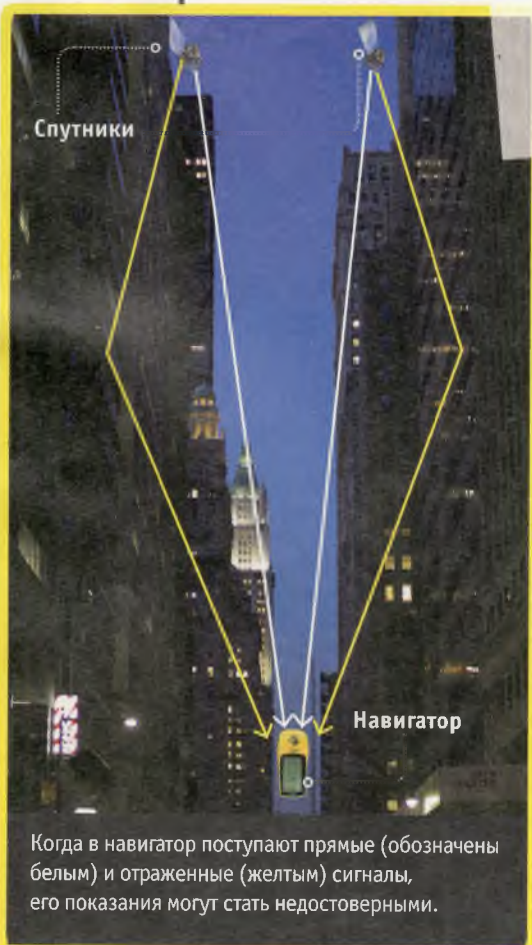
Удивительно! Координаты двух точек на Земле, расстояние между которыми меньше длины карандаша, мы определяем с помощью спутников, летящих на высоте 20 000 км! ■



ФОТО: SHTIRLITZ74

▲ Используя спутниковую навигацию, геотрекер рассчитывает координаты места, где находится птица.

ВЛИЯНИЕ ПОМЕХ НА ТОЧНОСТЬ НАВИГАЦИИ



Когда в навигатор поступают прямые (обозначены белым) и отраженные (желтым) сигналы, его показания могут стать недостоверными.

ОШИБКА В ОПРЕДЕЛЕНИИ КООРДИНАТ НЕ БУДЕТ ПРЕВЫШАТЬ 10 СМ!



ФОТО: B.NAVEZ

▲ С помощью спутниковой навигации можно, например, определить, смещается ли склон вулкана.



ФОТО: HCO

■ Спутниковый навигатор (его антенна – в центре на крыше) входит в стандартную комплектацию этого трактора.