

УДК 527.62:629.05

ПРИМЕНЕНИЕ ТРЁХМЕРНЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ КАРТ – ПОВЫШЕНИЕ УРОВНЯ БЕЗОПАСНОСТИ И КОМФОРТА ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ

А.И. Дохов, профессор, к.т.н., А.М. Лукьянов, ст. науч. сотр., М.Н. Галевич, науч. сотр., Харьковский национальный университет радиоэлектроники

Аннотация. Разработана технология использования высокоточных трёхмерных электронных карт местности в качестве дополнительного условия в задачах автомобильной навигации, что приводит к значительному повышению качества определения параметров движения. Рассмотрено, что обработка навигационной информации от большого количества автомобилей позволяет сформировать трёхмерную карту автомобильных дорог.

Ключевые слова: спутниковая навигация, навигационная задача, поверхность местоположения, трёхмерная карта.

ВЖИВАННЯ ТРИВИМІРНИХ ЕЛЕКТРОННИХ КАРТ – ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ БЕЗПЕКИ І КОМФОРТУ ДОРОЖНЬОГО РУХУ

О.І. Дохов, професор, к.т.н., О.М. Лук'янов, ст. наук. сп., М.М. Галевич, наук. сп., Харківський національний університет радіоелектроніки

Анотація. Розроблено технологію використання високоточних тривимірних електронних карт місцевості як додаткову умову в задачах автомобільної навігації, що веде до значного підвищення якості визначення параметрів руху. Розглянуто, що обробка навігаційної інформації від великої кількості автомобілів дозволяє сформулювати тривимірну карту автомобільних доріг.

Ключові слова: супутникова навігація, навігаційна задача, поверхня місцезнаходження, тривимірна карта.

APPLICATION OF THREE-DIMENSIONAL ELECTRONIC MAPS – INCREASE OF SECURITY LEVEL AND ROAD TRAFFIC COMFORT

A. Dokhov, Professor, Doctor of Technical Science, A. Luk'yanov, senior research fellow, M. Galevich, research fellow, Kharkov national university of radioelectronics

Abstract. The technology using high precision three-dimensional electronic terrain maps as an additional condition in the tasks of automobile navigation that leads to significant improvement of the quality of traffic parameters determination is determined. It has been considered that the processing of navigation information from a large number of cars makes it possible to create a three-dimensional map of highways.

Key words: satellite navigation, navigation task, surface of location, three-dimensional map.

Введение

Качество решения навигационной задачи зависит от факторов, как влияющих на точность измерений, так и определяющих конфигурацию рабочего созвездия (набор видимых навигационных спутников). К первой

группе факторов относятся: искажения радиосигналов в среде распространения, приём сигналов, отражённых от местных предметов, и т.п. Ко второй группе относятся препятствия на пути распространения радиосигналов (горные массивы, высотные дома и

т.д.), приводящие к потере сигналов от спутников.

В плохих условиях наблюдения (высокий шум в измерениях, большие задержки в среде распространения, малое количество наблюдаемых спутников) большое влияние на качество навигационных определений оказывает дополнительная информация, которая позволяет существенно снизить погрешности в определяемых параметрах движения.

Для задачи автомобильной навигации можно использовать следующие дополнительные условия:

- автомобиль движется по поверхности дороги, и высота фазового центра антенны приёмника навигационных сигналов над поверхностью дороги меняется во время движения в незначительных пределах;
- поверхность дороги на отдельном участке может быть функционально описана в виде бикубического полинома в прямоугольной системе координат;
- точность представления поверхности дороги на трёхмерной электронной карте сравнима с вариациями высоты фазового центра антенны приёмника над поверхностью дороги во время движения.

При данных условиях решение навигационной задачи будет отыскиваться на поверхности дороги. Тем самым вместо трёх неизвестных координат будут вычисляться только две, что существенно повысит точность координатных определений. Аналогичный вывод можно сделать и для определения составляющих вектора скорости автомобиля.

Анализ публикаций

В литературе упоминается об использовании комбинированных методов для решения навигационной задачи, использующих, кроме спутниковых навигационных систем, дополнительные измерители координат информации для решения навигационной задачи. Так, в частности в [1], при наличии у потребителя измерителя высоты над Землёй можно вместо измерения четырёх дальностей до спутников ограничиться измерением трёх дальностей.

В качестве методов создания трёхмерных электронных карт используются следующие методы:

- тахеометрическая съёмка (выполняется при помощи теодолитов и тахеометров – электронно-оптических инструментов для измерения расстояний, горизонтальных и вертикальных углов);
- фототеодолитная съёмка (выполняется при помощи фототеодолитов, которые представляют собой конструктивное объединение фотокамеры и тахеометра, обработка информации выполняется по методам стереофотограмметрии – измерение рельефа по совокупности двух изображений объекта, полученных из двух разных точек);
- наземная лазерная съёмка (выполняется трёхмерным лазерным сканером, который измеряет трёхмерные координаты точек окружающей местности при помощи лазерного импульсного безотражательного дальномера, который вращается в вертикальной и горизонтальной плоскостях с получением плотного массива точек);
- аэрофотосъёмка (фотографирование местности с самолёта во всех диапазонах оптического спектра);
- наземно-космическая съёмка (выполняется с использованием специальных транспортных средств и измерительной аппаратуры систем спутниковой навигации).

Все эти способы характеризуются большими финансовыми и организационными затратами.

Таким образом, использование трёхмерных карт местности является частным случаем комбинированных методов решения навигационной задачи. И в данной статье рассматривается механизм использования трёхмерных электронных карт для решения навигационной задачи, а также система и способ получения надёжных и высокоточных электронных карт местности.

Механизм использования трёхмерных электронных карт для решения задачи навигации

Трёхмерная электронная карта содержит информацию о трёх пространственных координатах, что позволяет построить функцию, аппроксимирующую поверхность, на которой находится транспортное средство, и использовать её как поверхность местоположения в решении навигационной задачи.

Уравнение поверхности строится путём интерполяции координат, взятых из матрицы

высот трёхмерной карты. Для обработки выбирается участок трёхмерной карты местности, на которой находится транспортное средство. Данный выбор осуществляется либо путём экстраполяции предыдущего местоположения транспортного средства, либо в результате решения навигационной задачи без привлечения трёхмерной карты.

Непосредственно координаты транспортного средства отыскиваются в результате решения записанной в упрощённом виде системы уравнений (1)

$$\begin{cases} \rho_j = \sqrt{(x_j - x_u)^2 + (y_j - y_u)^2 + (z_j - z_u)^2} + \\ + c(t_u - t_j), \quad j = 1 \dots N, N \geq 4, \\ f(x_u, y_u, z_u) = 0, \end{cases} \quad (1)$$

где N – количество спутников, которые участвуют в решении задачи; (x_j, y_j, z_j) – координаты спутника j , (x_u, y_u, z_u) – координаты приёмника; $t_u - t_j$ – разность показаний часов спутника j в момент излучения и приёмника u в момент приёма сигнала в шкале времени GPS; c – скорость света; $f(x_u, y_u, z_u) = 0$ – уравнение поверхности.

Решение системы уравнений (1) осуществляется с применением взвешенного метода наименьших квадратов, где весовой матрицей является корреляционная матрица шумов навигационных измерений W , имеющая размерность $[N + 1, N + 1]$. Матрица W содержит дисперсии погрешностей измерений псевдодальностей $\sigma_{\rho_i}^2$ и дисперсию погрешности оценивания высоты поверхности движения над поверхностью эллипсоида σ_h^2 . В предположении, что погрешности навигационных измерений не коррелируют между собой, матрица W имеет следующий вид

$$W = \begin{pmatrix} \sigma_{\rho_1}^2 & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_{\rho_N}^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \sigma_h^2 \end{pmatrix}. \quad (2)$$

При определении составляющих вектора скорости в качестве дополнительной информации используется то, что транспортное средство движется сугубо по земной поверх-

ности, а вектор скорости лежит в плоскости, касательной к поверхности движения в точке нахождения транспортного средства (x_u, y_u, z_u) . Дополнительное уравнение в таком случае будет иметь следующий вид

$$\frac{\partial f(x_u, y_u, z_u)}{\partial x} \cdot V_x + \frac{\partial f(x_u, y_u, z_u)}{\partial y} \cdot V_y + \frac{\partial f(x_u, y_u, z_u)}{\partial z} \cdot V_z = 0. \quad (3)$$

Полученные результаты

Оценка эффективности использования трёхмерных карт при решении навигационной задачи была получена путём сравнения известных координат, полученных методом спутниковой геодезии, с их оценками, вычисленными в результате решения навигационной задачи без использования и с использованием трёхмерной электронной карты.

Как видно из рис. 1, введение дополнительного условия уменьшило полную погрешность оценивания координат в плоскости горизонта более чем в два раза. При этом погрешности оценивания координат в направлении Запад–Восток уменьшились, но не значительно. Основное уменьшение погрешностей оценивания координат (в 2,5 раза) отмечается вдоль направления Юг–Север.

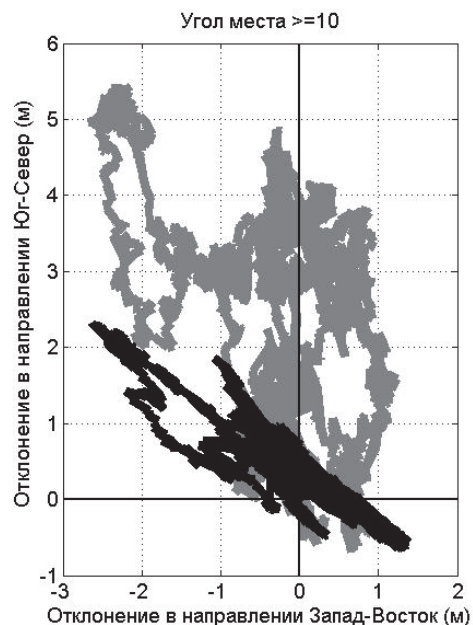


Рис. 1. Отклонение оценок координат в горизонтальной плоскости: — задача без дополнительного условия; — задача с дополнительным условием

Приведенный на рис. 1 результат получен для случая отсутствия затеняющих объектов, т.е. в предположении, что все находящиеся в условиях устойчивой радиосвязи (угол возвышения на горизонте больше 10 угловых градусов) навигационные спутники наблюдаются.

В условиях затенения, когда значительная область небесной сферы закрывается рельефом местности (горы, высотные здания и т.д.) и, соответственно, сокращается количество наблюдаемых навигационных спутников, точность координатных определений снижается. Причём когда наблюдается менее четырёх спутников, решение не может быть получено принципиально. В этом случае использование трёхмерной карты оказывается более эффективным, чем в условиях «открытого неба».

Помимо повышения точности определения параметров движения, дополнительное условие в виде уравнения поверхности движения позволяет сократить число отыскиваемых неизвестных и находить решение при наблюдении лишь трёх навигационных спутников.

На рис. 2 приведены отклонения оценок координат в условиях ограничения видимости углом возвышения тридцать угловых градусов. Т.е. в обработку принята информация только тех навигационных спутников, которые находятся выше тридцати угловых градусов над горизонтом.

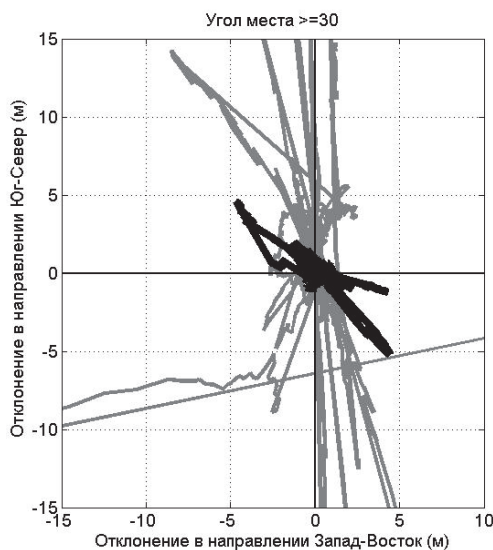


Рис. 2. Отклонение горизонтальных составляющих местоположения: — задача без дополнительного условия; — задача с дополнительным условием

Как видно из рис. 2, решение, которое отыскивалось на поверхности движения, было получено практически всегда, хотя и оказалось менее точным, чем в случае ограничения по углу возвышения десять угловых градусов. Решение без привлечения дополнительного условия во многих случаях не было получено вовсе.

Система для формирования и уточнения трёхмерных электронных карт

В настоящее время существуют цифровые трёхмерные карты местности с достаточно высокой точностью. Эти цифровые карты в разнообразных форматах представлены на рынке картографической продукции. Современные технологии построения электронных цифровых карт основаны на проведении съёмки (сбора информации) местности при помощи метрологического оборудования и последующей обработке измерительной информации. Существующие технологии формирования трёхмерных карт местности предусматривают использование дорогой измерительной аппаратуры, которая требует периодического осмотра и калибровки, и во многих случаях сложных и длительных алгоритмов обработки измерительной информации. При этом трёхмерная карта привязывается к конкретному моменту времени и с течением времени требует уточнения.

Всё сказанное непосредственно относится к трёхмерным картам автомобильных дорог. После проведения дорожных ремонтно-строительных работ необходимо создание (для новых) или уточнение (для отремонтированных) слоёв трёхмерных электронных карт, содержащих информацию о профиле дорог. Это, в свою очередь, требует существенных финансовых и организационных затрат. Поэтому актуальной задачей является упрощение и автоматизация построения трёхмерных электронных карт автомобильных дорог.

Специалистами Харьковского национального университета радиоэлектроники ведётся разработка системы автоматического мониторинга автомобильных дорог и уточнения их цифровой модели. Схема функционирования данной системы изображена на рис. 3.

Суть этой системы в следующем. Для формирования цифровой модели рельефа дороги используются транспортные средства, оснащенные приёмниками сигналов ГНСС.

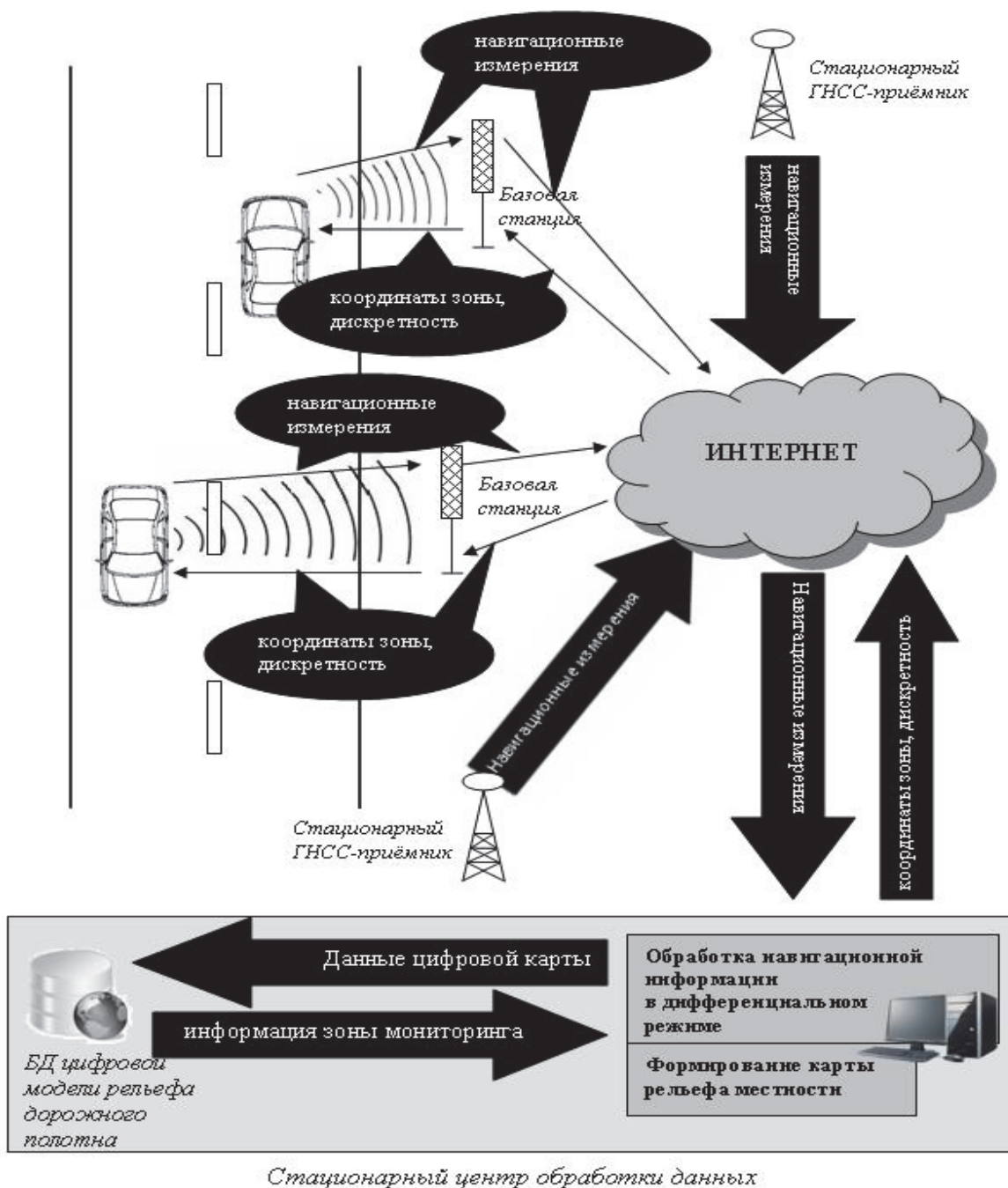


Рис. 3. Система для формирования и уточнения трёхмерных электронных карт

Когда таких транспортных средств большое количество и все они многократно проезжают по автомобильной дороге, регистрируют и предоставляют специализированному центру сбора и обработки навигационную измерительную информацию, то появляется возможность, обработав весь полученный набор данных, получить профиль дорожного покрытия. Во время функционирования системы местность делится на зоны мониторинга, в пределах которых осуществляется сбор навигационной измерительной информации от транспортных средств. Кроме того, загру-

жается измерительная информация перманентных базовых станций, расположенных в регионе мониторинга. Специализированный центр сбора и обработки выполняет обработку полученной от транспортных средств информации в дифференциальном режиме навигационных определений и формирует траектории движения транспортных средств. Точность оценивания параметров траектории каждого транспортного средства зависит от условий наблюдений и может существенно различаться. Однако совместная обработка большого количества данных, получаемых на

протяжении длительного времени, позволяет получить профиль всех активно используемых дорог с точностью единиц сантиметров.

Выводы

Использование трёхмерных электронных карт при определении местоположения и скорости транспортных средств позволяет повысить более чем в два раза точность координатных определений и их надёжность по сравнению с автономным режимом навигации, реализуемым в современных навигационных устройствах. Это позволяет реализовать критические по отношению к точности и надёжности навигации дорожные приложения, которые повышают уровень безопасности и комфорта дорожного движения. Также представляется возможным реализо-

вать механизм формирования или уточнения слоёв электронных карт, содержащих данные о профиле дорожного покрытия.

Литература

1. Харисов В.Н. Глобальная спутниковая радионавигационная система ГЛОНАСС / В.Н. Харисов, А.И. Перов, В.А. Болдин. – М.: ИПРЖР, 1998. – 400 с.

Рецензент: Л.С. Абрамова, доцент, к.т.н., ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 16 марта 2013 г.
