

В. А. Ивонин¹, А. А. Горчакова¹, Л. Е. Шуринов¹, В. В. Демьянов^{1,2}

¹Иркутский государственный университет, физический факультет, г. Иркутск, Российская Федерация

²Иркутский государственный университет путей сообщения, физический факультет, г. Иркутск, Российская Федерация

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА МЕСТООПРЕДЕЛЕНИЯ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ОБРАБОТКИ ОПЫТНЫХ ИСПЫТАНИЙ НАВИГАЦИОННОГО ПРИЁМНИКА

Аннотация. В работе рассмотрена методика контроля доступности определения местоположения объекта на плоскости с заданными требованиями к точности определения локальных координат. Она заключается в том, что нужно, согласно предъявляемым к точности и доступности требованиям, построить круг безопасности и эллипс рассеивания погрешностей определения долготы и широты на плоскости «долгота-широта», потом совместить их центры, и если эллипс не выходит за пределы круга, то, значит, система работает нормально.

В статье приведены результаты исследований, направленных на создание метода контроля доступности определения местоположения в режиме реального времени. Проведённые исследования показали, что данная методика может быть рекомендована к использованию, но для создания метода требуется серьёзная доработка: нужно установить зависимость вероятности слишком большой погрешности от угла наклона эллипса рассеивания и степени его выхода за пределы круга безопасности.

Ключевые слова: спутниковые радионавигационные системы, местоположение, эллипс рассеивания, широта, долгота, навигация, GPS, ГЛОНАСС, системы интеллектуального транспорта, беспилотный транспорт, контроль доступности требуемых навигационных характеристик.

V. A. Ivonin¹, A. A. Gorchakova¹, L. E. Shurinov¹, V. V. Demyanov²

¹ Irkutsk State University, Irkutsk, The Russian Federation

² Irkutsk State Transport University, Irkutsk, The Russian Federation

METHODOLOGY OF QUALITY ASSESSMENT OF POSITIONING BY RESULTS OF PROCESSING EXPERIENCED TESTS OF NAVIGATION RECEIVER

Abstract. The paper discusses the methodology of controlling the availability of determining the location of an object on a plane with specified requirements for the accuracy of determining local coordinates. It consists in the fact that according to the requirements for accuracy and accessibility, it is necessary to build a safety circle and a dispersion ellipse of the errors in determining longitude and latitude on the longitude-latitude plane, then combine their centers. If the ellipse does not go beyond the circle, it means that the system is working fine.

The article presents the results of researches that were aimed at creating a method for monitoring the availability of location determination in real time. Researches have shown that this technique can be recommended for use, but serious development is required to create the method: it is necessary to establish the dependence of the probability of too large error from the angle of inclination of the dispersion ellipse and the degree of its going beyond the safety circle.

Keywords: satellite navigation, positioning, dispersion ellipse, latitude, longitude, navigation, GPS, GLONASS, intelligent transportation system, unmanned vehicles, control of the accessibility of the required navigation characteristics.

Введение

Глобальные спутниковые радионавигационные системы (СРНС), такие как «ГЛОНАСС», «GPS», «GALILEO», «BeiDou» и другие, оказывают всё большее влияние на все сферы человеческой деятельности, обеспечивая высокоточное определение координат и времени для различных потребителей в любой точке Земли и околоземного пространства. Одним из наиболее значимых направлений использования технологий спутниковой навигации являются системы интеллектуального транспорта. Решение таких задач интеллектуального транспорта, как интервальное регулирование движения поездов, автоматизированный заход на посадку воздушных судов, управление движением

беспилотного наземного транспорта в условиях большой плотности и интенсивности движения является принципиально критичным к точности определения местоположения.

Соответственно, критически важной задачей, которая прежде всего должна быть решена для успешного функционирования систем интеллектуального транспорта, является контроль текущей доступности требуемых навигационных характеристик в режиме реального времени с учётом требований конкретных групп пользователей.

В нашей работе рассматривается методика контроля доступности местоопределения объекта на плоскости с заданными требованиями точности определения локальных координат. В качестве основы данной методики предлагается концепция не превышения границ эллипса безопасности при заданной доверительной вероятности предельного уровня погрешности местоопределения. Эллипс безопасности — параметрическое представление фигуры рассеивания погрешностей местоопределения на плоскости в локальной декартовой системе координат в координатах «долгота-широта».

Практическая верификация предложенной методики продемонстрирована на примере обработки данных об измерениях погрешностей определения долготы и широты, полученных с помощью навигационного приёмника, работавшего в режимах «GPS» и «GPS+ГЛОНАСС».

Характеристика экспериментальных данных

Данные о погрешностях определения местоположения были получены с помощью дифференциальной системы навигации [1], расположенной по адресу г. Иркутск, Бульвар Гагарина, 20. Она имеет две антенны. Одна из них работает в диапазоне L1 «GPS» и «ГЛОНАСС». Вторая антенна является двухчастотной: позволяет принимать сигналы «GPS»/«ГЛОНАСС» в диапазонах L1 и L2 и подключена к сплиттерам на два соединения, то есть имеется возможность подключения двух навигационных приёмников.

Наблюдательный стенд оснащён 4 навигационными приёмниками. Два из них — приёмники МНП М7 — одночастотные, принимающие сигналы в диапазоне L1 «GPS» и «ГЛОНАСС». Два других — более современные двухчастотные (L1 и L2) приёмные устройства МНП М9. Приёмники могут работать как по отдельности в системе «GPS» или «ГЛОНАСС», так и при совместном решении навигационной задачи по этим системам. Также приёмники могут принимать и включать в работу сигналы японской системы «QZ» (квази-зенит). Эта система не является самостоятельной глобальной навигационной системой, но её спутники видны (от 1 до 3) и используются в нашем регионе.

Приёмник через соответствующий разъём платы подключён к антенне и по двум каналам последовательных интерфейсов (COM-портов) подключён к серверному компьютеру.

Один из интерфейсов предназначен для взаимодействия с установленной на компьютере управляющей программой «navi.exe» и обменом информацией по специализированному протоколу BINARY. Второй интерфейс передаёт на компьютер тестовую информацию по стандартному протоколу, разработанному ВМС США и получившему название «Протокол NMEA». Протокол работает в различных режимах и, в частности, передаёт результаты решения навигационной задачи: высоту, широту и долготу фазового центра антенны.

Для исследования были выбраны режимы работы «GPS» и «GPS+ГЛОНАСС». Для этих режимов были получены данные в формате «NMEA» в течение примерно 15 минут с интервалом, равным 1 с. Далее данные были преобразованы в списки погрешностей определения высоты, широты и долготы с помощью специально разработанной для этого в ИГУ программы «Soft».

Суть методики

Сначала нужно определить требования, предъявляемые к точности определения местоположения, а также — требования, предъявляемые к доступности требуемых навигационных характеристик. Они содержатся в документе «Радионавигационный план Российской Федерации» [2], в котором для различных задач и видов транспорта написаны эти требования. Оттуда нужно взять СКО определения местоположения и доверительную вероятность.

Далее нужно построить т. н. круг безопасности — окружность с радиусом, равным ранее рассмотренному в «Радионавигационном плане Российской Федерации» СКО. Потом нужно по имеющимся данным о погрешностях определения местоположения построить эллипс рассеивания

(о нём — ниже) при доверительной вероятности, равной той, которая написана в «Радионавигационном плане Российской Федерации» для решения требуемых задач.

Наконец, нужно совместить центры эллипса рассеивания и круга безопасности. Если (рис. 1, слева) эллипс полностью находится внутри круга, то, значит, навигационная система работает нормально и пользоваться ей при движении можно, а если (рис 1, справа) эллипс выходит за пределы круга, то, значит, в том направлении, где эллипс выходит за пределы круга, не рекомендуется двигаться, пользуясь данной системой.

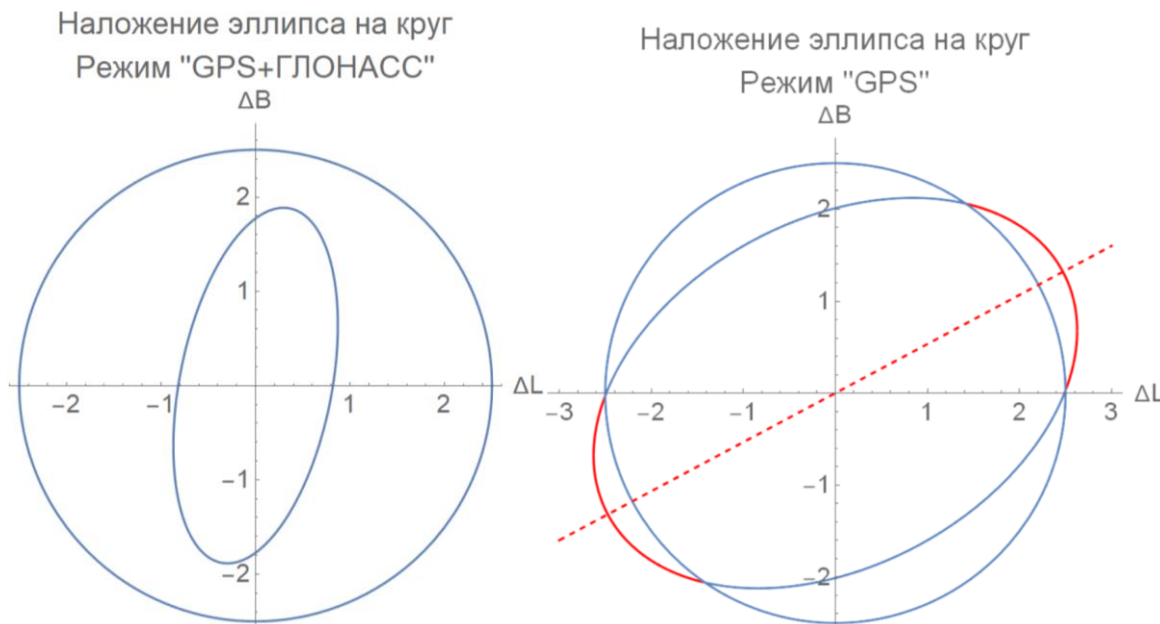


Рис. 1. Наложение эллипса рассеивания на круг безопасности

Методика построения эллипса рассеивания с заданной доверительной вероятностью

Погрешности определения местоположения обычно являются гауссовскими случайными величинами, поэтому, по центральной предельной теореме [3], они подчиняются нормальному закону распределения. Двумерное нормальное распределение погрешностей определения широты и долготы имеет следующий вид (рис. 2):

$$f(\Delta L, \Delta B) = \frac{1}{2\pi\sigma_{\Delta L}\sigma_{\Delta B}\sqrt{1-r^2}} e^{-\frac{1}{2(1-r^2)}\left(\left(\frac{\Delta L-m_{\Delta L}}{\sigma_{\Delta L}}\right)^2 - \frac{2r(\Delta L-m_{\Delta L})(\Delta B-m_{\Delta B})}{\sigma_{\Delta L}\sigma_{\Delta B}} + \left(\frac{\Delta B-m_{\Delta B}}{\sigma_{\Delta B}}\right)^2\right)}, \quad (1)$$

где $f(\Delta L, \Delta B)$ — функция плотности вероятности, ΔL — погрешность определения долготы, ΔB — погрешность определения широты, $\sigma_{\Delta L}$, $\sigma_{\Delta B}$, $m_{\Delta L}$, $m_{\Delta B}$, r — СКО, матожидания и коэффициент корреляции погрешностей определения долготы и широты. Статистические выборочные оценки были вычислены (табл. 1) следующим образом:

$$\begin{aligned} m_X &= \sum_{i=0}^{N-1} \frac{X_i}{N} \\ \sigma_X &= \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^{N-1} (X_i - m_X)^2}{N-1}}, \\ r &= \frac{\sum_{i=0}^{N-1} (X_i - m_X)(Y_i - m_Y)}{\sqrt{\sum_{i=0}^{N-1} (X_i - m_X)^2 \sum_{i=0}^{N-1} (Y_i - m_Y)^2}} \end{aligned} \quad (2)$$

где X , Y — ΔL или ΔB , i — порядковый номер случайной величины, N — количество значений случайной величины.

Таблица 1

Параметры плотности вероятности					
Параметр	r	$\sigma_{\Delta B}$, М	$\sigma_{\Delta L}$, М	$m_{\Delta B}$, М	$m_{\Delta L}$, М
Значение	0,34	0,52	0,24	-0,38	-0,63

Нормированная плотность нормального распределения погрешностей определения местоположения в режиме работы "GPS"

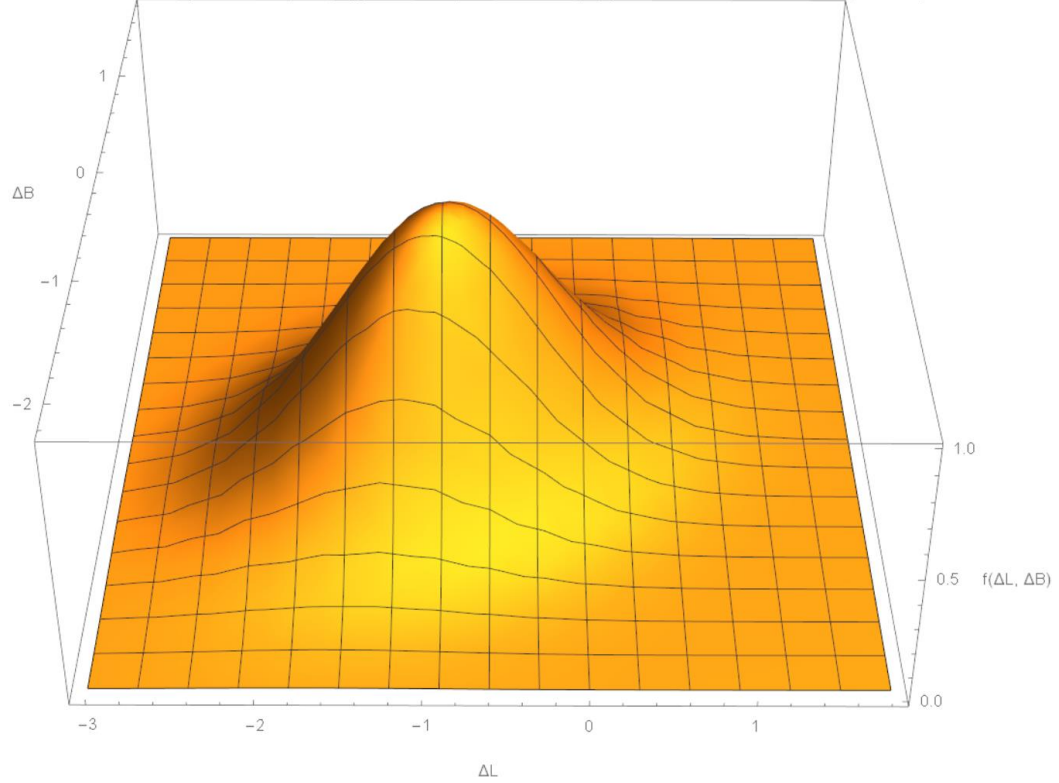


Рис. 2. Нормированная плотность распределения вероятностей погрешностей определения долготы и широты

Рассмотрим поверхность плотности распределения (см. рис. 2), изображающую функцию (1). Она имеет вид холма, вершина которого находится над точкой $(m_{\Delta L}; m_{\Delta B})$.

Проведём сечение этой поверхности плоскостью, параллельной плоскости $\Delta L \Delta B$, на некотором уровне f_{const} , то есть рассмотрим уровень, на котором функция плотности вероятности (1) постоянна. Проведя ряд преобразований, получим уравнение для кривой, описывающей полученное сечение:

$$\frac{(\Delta L - m_{\Delta L})^2}{\sigma_{\Delta L}^2} - \frac{2r(\Delta L - m_{\Delta L})(\Delta B - m_{\Delta B})}{\sigma_{\Delta L}\sigma_{\Delta B}} + \frac{(\Delta B - m_{\Delta B})^2}{\sigma_{\Delta B}^2} = k, \quad (3)$$

где $k = -2(1 - r^2) \ln(2\pi\sigma_{\Delta L}\sigma_{\Delta B}\sqrt{1 - r^2}f_{const})$. Уравнение (3) — уравнение эллипса с центром в точке $(m_{\Delta L}; m_{\Delta B})$, называемого эллипсом рассеивания (рис. 3), а k — его параметр, связанный с вероятностью попадания случайной величины в область, ограничиваемую эллипсом.

Угол α между осью абсцисс и одной из главных полуосей эллипса удовлетворяет уравнению:

$$\operatorname{tg}(2\alpha) = \frac{2r\sigma_{\Delta L}\sigma_{\Delta B}}{\sigma_{\Delta L}^2 - \sigma_{\Delta B}^2}. \quad (4)$$

А сам угол вычисляется по формуле (5):

$$\alpha = \frac{1}{2} \operatorname{arctg} \left(\frac{2\sigma_{\Delta L}\sigma_{\Delta B}}{\sigma_{\Delta L}^2 - \sigma_{\Delta B}^2} \right), \quad (5)$$

дающей два значения угла, различающихся на $\pi/2$ (ближайшая к оси ординат полуось и вторая полуось). В дальнейшем под углом α будем иметь в виду угол между большой полуосью эллипса и осью абсцисс.

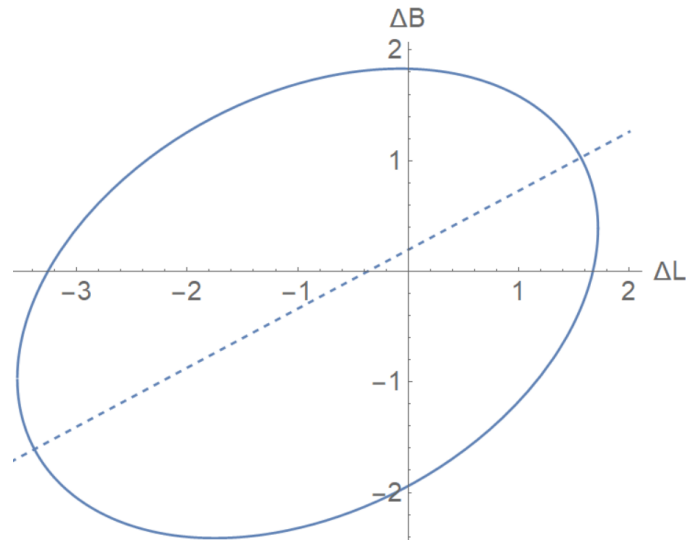


Рис. 3. Эллипс рассеивания погрешностей определения широты и долготы (сплошная) и прямая, проведённая под найденным углом наклона большой полуоси эллипса над осью абсцисс, (пунктирная)

Приведём (3) к каноническому виду [4]:

$$\frac{\xi^2}{\sigma_\xi^2} + \frac{\eta^2}{\sigma_\eta^2} = k, \quad (6)$$

где σ_ξ и σ_η — т. н. главные СКО (7) [5]:

$$\begin{cases} \sigma_\xi^2 = \sigma_{\Delta L}^2 \cos^2(\alpha) + r\sigma_{\Delta L}\sigma_{\Delta B} \sin(2\alpha) + \sigma_{\Delta B}^2 \sin^2(\alpha) \\ \sigma_\eta^2 = \sigma_{\Delta L}^2 \sin^2(\alpha) - r\sigma_{\Delta L}\sigma_{\Delta B} \sin(2\alpha) + \sigma_{\Delta B}^2 \cos^2(\alpha) \end{cases} \quad (7)$$

Теперь получим формулу для определения k с помощью доверительной вероятности. Так как то, что стоит в левой части уравнения (3) — выражение в скобках в показателе степени экспоненты в формуле (1), то для канонического вида (6) будет справедлив следующий закон распределения:

$$f(\xi, \eta) = \frac{1}{2\pi\sigma_\xi\sigma_\eta} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\xi^2}{\sigma_\xi^2} + \frac{\eta^2}{\sigma_\eta^2}\right)}, \quad (8)$$

где $f(\xi, \eta)$ — плотность нормального распределения в канонической форме.

Вероятность попадания случайной точки в произвольную область D можно вычислить путём интегрирования плотности распределения по этой области. В формуле (6) заменим переменные: $u = \frac{\xi}{\sigma_\xi}$, $v = \frac{\eta}{\sigma_\eta}$, и таким образом уравнение эллипса (6) превратится в уравнение окружности [6]:

$$u^2 + v^2 = k. \quad (9)$$

В (9) заменим k на r^2 и будем рассматривать слой:

$$u^2 + v^2 \leq r^2. \quad (10)$$

Плотность вероятности попадания в такой слой такова:

$$f(r) = \frac{1}{2\pi} e^{-\frac{r^2}{2}}. \quad (11)$$

Вероятность попадания в слой:

$$dP(r, dr) = 2\pi r dr f(r) = r e^{-\frac{r^2}{2}}. \quad (12)$$

Тогда вероятность попадания в область (9) (то есть в эллипс (3)):

$$p = \int_0^{\sqrt{k}} e^{-\frac{r^2}{2}} r dr = 1 - e^{-\frac{k}{2}}. \quad (13)$$

Тогда параметр эллипса k можно определить так:

$$k = -2 \ln(1 - p), \quad (14)$$

где p при построении эллипса будет играть роль доверительной вероятности.

Формула (1) представляет из себя поверхность, т. е. что-то трёхмерное. Как всем известно, интеграл от функции плотности вероятности случайной величины в каких-то пределах — вероятность того, что случайная величина будет принимать значения в данных пределах. То есть если рассчитать объём, находящийся между плоскостью ΔLAB и поверхностью, задаваемой

функцией плотности вероятности, то он будет равен единице — полной вероятности. Если же мы проводим сечение, которое является эллипсом, и работаем именно с этим сечением, то вероятность того, что случайные величины попадут в область, ограничиваемую этим эллипсом, численно будет равна объёму, заключённому между этим эллипсом и поверхностью, т. е. речь идёт о части поверхности, лежащей выше уровня сечения (рис. 4), т. к. чем выше — тем меньше сечение, т. е. погрешности определения местоположения не выйдут за пределы эллипса.

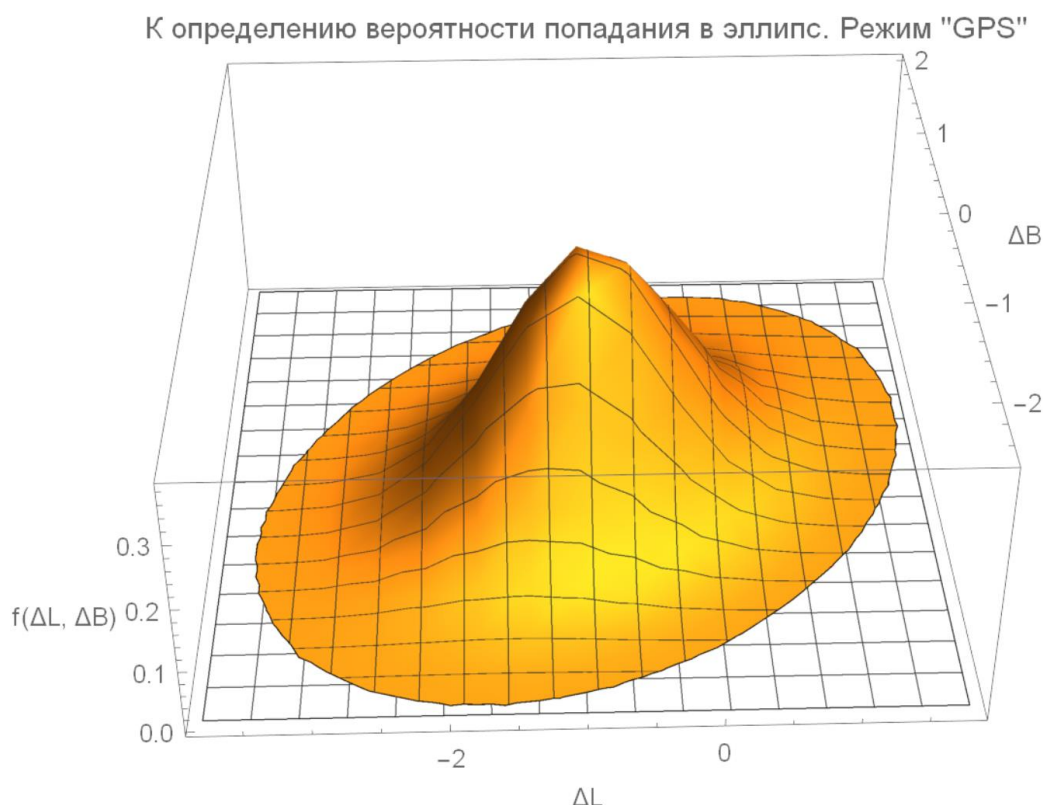


Рис. 4. К определению вероятности попадания в эллипс рассеивания. Оранжевым — нужная часть поверхности плотности вероятностей

Таким образом, выбирая параметр эллипса рассеивания, мы ориентируемся на то, с какой вероятностью нам нужно, чтобы погрешности попали в данный эллипс, т. е. определяя эллипс рассеивания, мы, по сути, выбираем доверительную вероятность.

Применение методики на практике

1. Данные о погрешностях были получены указанным во введении способом в режимах «GPS» и «GPS+ГЛОНАСС».
2. Выборочные статистические оценки (см. табл. 1) были получены с помощью формул (2).
3. Были выбраны основные операционно-технические требования для перспективных систем управления городским автотранспортом в центре города, согласно «Радионавигационному плану Российской Федерации»: СКО — не более 2,5 м при доверительной вероятности, равной 99,7%.
4. Были построены эллипсы рассеивания (см. рис. 3) с доверительной вероятностью, равной 99,7% (см. пункт №3), а затем — нанесены на них облака точек погрешностей определения местоположения (рис. 5) для каждого из режимов. Эллипсы строились с помощью формул (3) и (14).

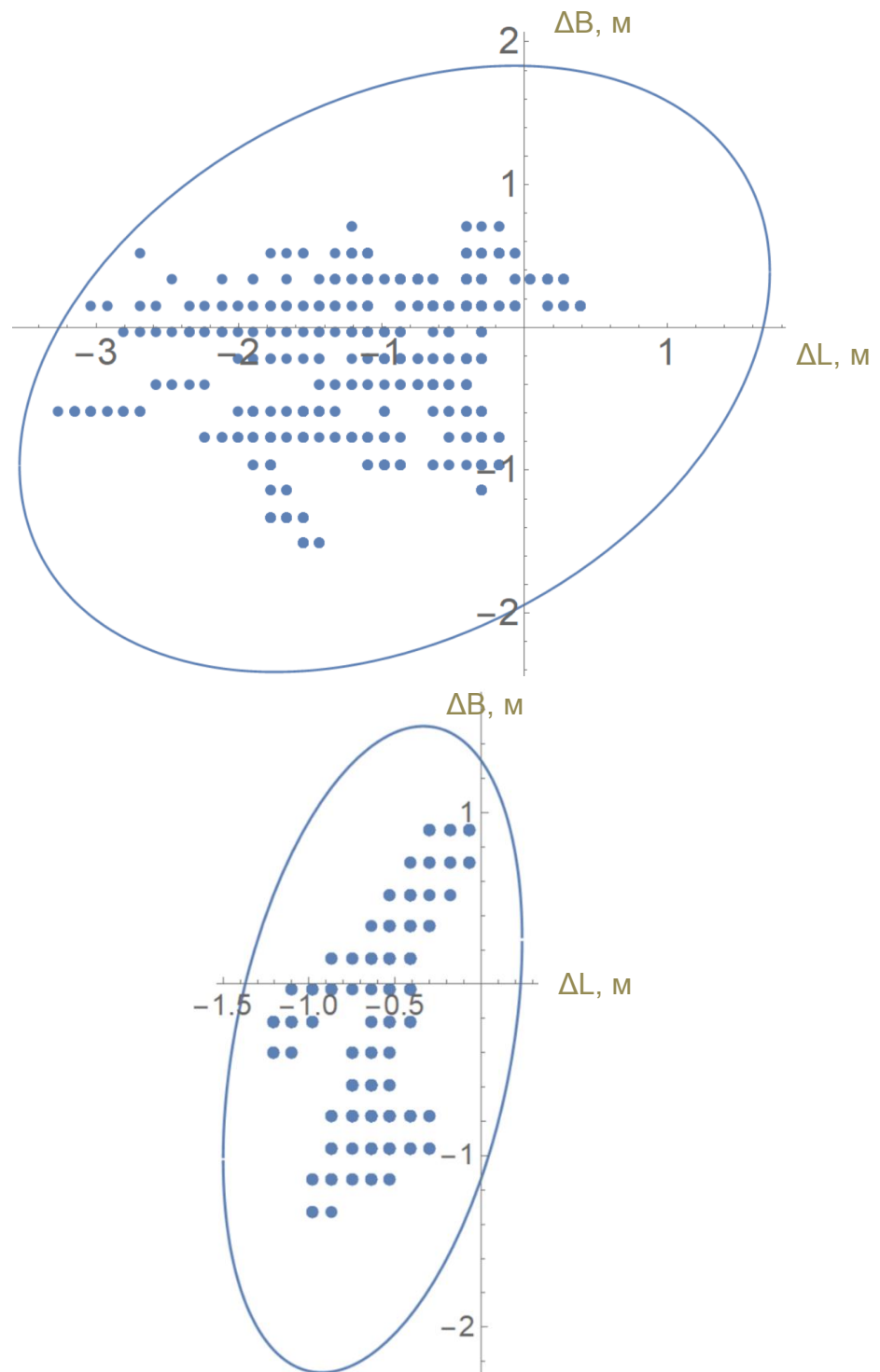


Рис. 5. Облако точек погрешностей и эллипс рассеивания в плоскости « ΔL - ΔB » в режиме «GPS» (сверху) и в режиме «ГЛОНАСС» (снизу)

5. Был построен круг безопасности радиуса 2,5 м (см. пункт №3). Были совмещены центры построенных эллипсов рассеивания для обоих режимов с центром круга безопасности (см. рис. 1). Так как в режиме «GPS» эллипс вышел за пределы круга, по формуле (5) был рассчитан угол наклона большой полуоси эллипса относительно оси абсцисс. Он равен 28° . Этот угол определяет направление, в котором нельзя двигаться, опираясь на показания данной навигационной системы.

Заключение

Был разработан метод контроля доступности требуемой точности определения местоположения, заключающий в наложении эллипса рассеивания погрешностей

определения местоположения на круг безопасности, построенный с такой же доверительной вероятностью.

Метод был апробирован на навигационном приёмнике, работающем в режимах «GPS» и «GPS+ГЛОНАСС», с учётом операционно-технических требований для перспективных систем управления городским автотранспортом в центре города [«Радионавигационный план РФ»] и показал, что этот приёмник удовлетворяет данным требованиям только при работе в совместном режиме.

В статье приведены материалы, касающиеся математико-статистических вопросов обработки данных, полученных с помощью радионавигационного приемника. Форма эллипса рассеяния погрешности напрямую зависит от значения коэффициента корреляции между погрешностью определения широты и погрешностью определения долготы. В случае, если данные величины являются абсолютно некоррелированными, т. е. коэффициент корреляции равен нулю, главные среднеквадратичные отклонения равны друг другу. Тогда весь набор эллипсов рассеяния обращается в круги, и такое рассеивание называется круговым, при котором измеряемые случайные величины являются независимыми при любом выборе прямоугольной системы координат. Оперировать с круговым рассеиванием гораздо проще, чем с эллиптическим, поэтому на практике стремятся приближённо заменять некруговое рассеивание круговым.

Описанная методика может быть рекомендована к использованию в системах управления интеллектуальным транспортом, но для её большей информативности необходимо разработать комплекс мер, позволяющих оценивать вероятность того, что система станет работать с сильно большой погрешностью в случае, когда эллипс рассеивания выходит за пределы круга безопасности, то есть нужно установить зависимость этой вероятности от угла наклона эллипса и от степени его выхода за пределы круга.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шебшаевич В. С., Григорьев М. Н., Кокина Э. Г., Мищенко И. Н., Шишман Ю. Д. Дифференциальный режим сетевой спутниковой радионавигационной системы // Зарубежная радиоэлектроника. 1989. № 1. С. 5–32.
2. Радионавигационный план Российской Федерации: утверждён приказом Минпромторга России от 4 сентября 2019 г. № 3296. — М.: 2019. — 122 с.
3. Миллер Б. М. Теория случайных процессов в примерах и задачах / Б. М. Миллер, А. Р. Панков. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. — 320 с.
4. Ильин В. А. Аналитическая геометрия / В. А. Ильин, Э. Г. Позняк. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. — 224 с.
5. Вентцель С. Е. Теория вероятностей / С. Е. Вентцель. — М.: Изд-во «Наука», 1969. — 576 с.: ил.
6. Двумерное нормальное распределение matlab.ru [Электронный ресурс]. — 2020. — URL: https://matlab.ru/articles/Ver_7.pdf.

REFERENCES

1. Shebshaevich V. S., Grigoryev M. N., Kokina E. G., Mishchenko I. N., Shishman J. D. Differential'nyy rezhim setevoy sputnikovoy radionavigatsionnoy sistemy [Differential mode of a network satellite radio navigation system]. Zarubezhnaya radioelektronika [Foreign electronics], 1989, No. 1, pp. 5–32.
2. Radionavigatsionnyy plan Rossiyskoy Federatsii: utverzhdon prikazom Minpromtorga Rossii ot 4 sentyabrya 2019 г. № 3296 [Radio navigation plan of the Russian Federation: approved by order of the Ministry of Industry and Trade of Russia dated September 4, 2019 No. 3296], 2019, pp. 122.

3. Miller B. M., Pankov A. R. Teoriya sluchaynykh protsessov v primerakh i zadachakh [Theory of random processes in examples and problems], 2007, pp. 320.
4. Ilyin V. A., Poznyak E. G. Analiticheskaya geometriya [Analytic geometry], 2004, pp. 224.
5. Wentzel S. E. Teoriya veroyatnostey [Probability theory], 1969, pp. 576.
6. Dvumernoye normal'noye raspredeleniye [Two-dimensional normal distribution] matlab.ru [Electronic resource]. — 2020. — URL: https://matlab.ru/articles/Ver_7.pdf.

Информация об авторах

Ивонин Владимир Алексеевич — студент 4 курса кафедры «Радиофизики и радиоэлектроники», профиль «Телекоммуникационные системы и информационные технологии», Иркутский государственный университет, г. Иркутск, e-mail: volodyaivonin@gmail.com

Горчакова Анна Александровна — студент 4 курса кафедры «Радиофизики и радиоэлектроники», профиль «Телекоммуникационные системы и информационные технологии», Иркутский государственный университет, г. Иркутск, e-mail: puposha3333@yandex.ru

Шуринов Лев Евгеньевич — студент 4 курса кафедры «Радиофизики и радиоэлектроники», профиль «Радиоэлектронные устройства, методы обработки сигналов и автоматизации», Иркутский государственный университет, г. Иркутск, e-mail: shurinovlev15@gmail.com

Демьянов Владислав Владимирович — д. т. н., доцент, профессор кафедры «Автоматика, телемеханика и связь», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: sword1971@yandex.ru

Authors

Vladimir Alekseevich Ivonin — 4th year student, the Subdepartment of Radiophysics and Radioelectronics, the focus of education “Telecommunication systems and information technology”, Irkutsk State University, Irkutsk, e-mail: volodyaivonin@gmail.com

Anna Alexandrovna Gorchakova — 4th year student, the Subdepartment of Radiophysics and Radioelectronics, the focus of education “Telecommunication systems and information technology”, Irkutsk State University, Irkutsk, e-mail: puposha3333@yandex.ru

Lev Evgenyevich Shurinov — 4th year student, the Subdepartment of Radiophysics and Radioelectronics, the focus of education “Radio electronic devices, signal processing and automation methods”, Irkutsk State University, Irkutsk, e-mail: shurinovlev15@gmail.com

Vladislav Vladimirovich Demyanov — Doctor of Technical Science, Professor, the Subdepartment of Automation, telemechanics and communications, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: sword1971@yandex.ru

Для цитирования

Ивонин В.А. Методика оценки качества местоопределения по результатам обработки опытных испытаний навигационного приёмника [Электронный ресурс] / В.А. Ивонин, А.А. Горчакова, Л.Е. Шуринов, В.В. Демьянов // Молодая наука Сибири: электрон. науч. журн. — 2020. — №2 (8). — Режим доступа: — <http://mnv.ircups.ru/toma/28-20>, свободный. — Загл. с экрана. — Яз. рус., англ.

For citation

Ivonin V.A., Gorchakova A.A., Shurinov L.E., Demyanov V.V. Metodika otsenki kachestva mestoopredeleniya po rezul'tatam obrabotki opytnykh ispytaniy navigatsionnogo priyomnika [Methodology of quality assessment of positioning by results of processing experienced tests of navigation receiver]. *Molodaya nauka Sibiri: ehlektronnyj nauchnyj zhurnal* [Young science of Siberia: electronic scientific journal], 2020, no. 2 (8).