

Экспериментальное исследование влияния многолучевого распространения радио-волн на точность измерения дальности на пересеченной местности

77-30569/255301

11, ноябрь 2011

Филатов А. А., Крючков И. В., Нефедов С. И., Михеев В. А.

УДК 621.396.969.11

НИИ РЭТ МГТУ им. Н.Э.Баумана

andrey-rus-sky@yandex.ru

kryuchkov@bmstu.ru

nefedov@bmstu.ru

miheev-foto@yandex.ru

Задача локального позиционирования, т.е. определения координат разнесенных в пространстве объектов в некоторой местной системе, встречается во многих приложениях, таких как телекоммуникации, радиоастрономия, многопозиционная радиолокация, логистика, строительство и т.д.

В настоящее время для решения задач локального позиционирования широкое применение находят спутниковые радионавигационные системы (СРНС) с применением дифференциальной обработки сигналов. Известно, что дифференциальные фазовые методы обработки сигналов СРНС позволяют достигать миллиметрового уровня точности при определении взаимных расположений и наносекундной точности взаимной временной синхронизации [1]. Однако такая точность достигается только в условиях, когда влияние многолучевости незначительно. Это обеспечивается выбором антенн, созвездий и работой на открытых участках.

В ряде случаев применение глобальных СРНС для локального позиционирования нежелательно по ряду причин. В таких случаях необходимо применять локальные системы позиционирования (ЛСП). Наиболее часто на практике применяются дальномерные или разностно-дальномерные системы, в которых измеряются задержки распространения сигналов между пунктами. Работа происходит, как правило, вблизи подстилающей поверхности и в условиях влияния окружающих предметов. В такой ситуа-

ции многолучевое распространение сигналов будет оказывать существенное влияние на работу системы, чем в случае с СРНС.

В [1] упоминается, что использование широкополосных сигналов (ШПС) для измерения задержек может являться одним из методов защиты от многолучевости. По нашим оценкам, для достижения точности измерений на уровне единиц-десятков сантиметров требуются полосы сигналов в несколько сотен мегагерц, что значительно больше ширины спектра сигналов в современных СРНС.

Вопросы влияния многолучевости подробно рассмотрены в зарубежных источниках, но, в основном, применительно к радиосвязи, позиционированию в помещениях и СРНС [2,3,4]. В отечественной литературе данная проблема не получила отражения на должном уровне.

Поэтому настоящая работа посвящена экспериментальной оценке точности ЛСП с ШПС для разнесенной радиотехнической системы (РРС) при влиянии многолучевости на пересеченной местности.

В работе использована экспериментальная установка с шириной полосы $\Pi = 500 \text{ МГц}$, показанная на рис. 1.

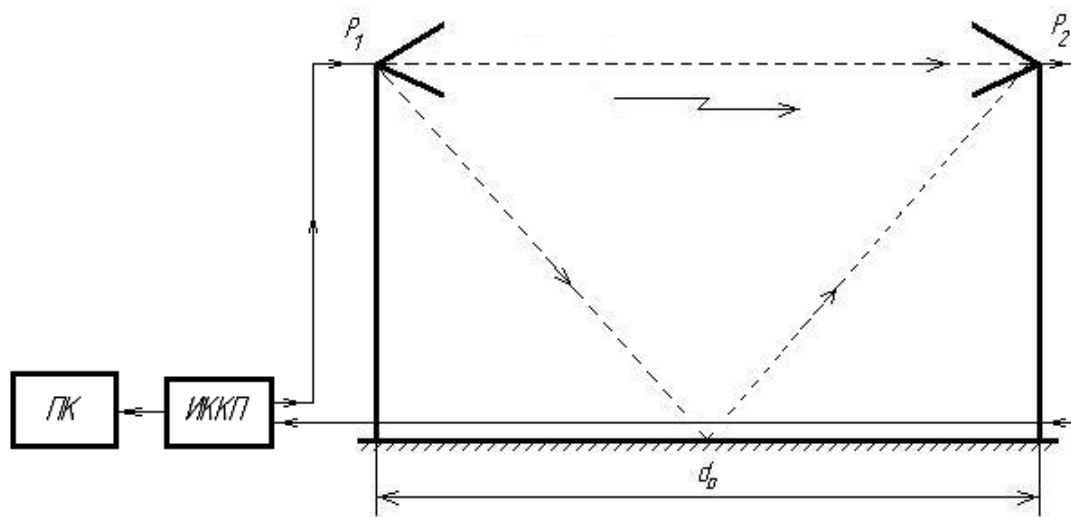


Рис. 1. Схема экспериментального измерения расстояния между позициями.

Система состоит из двух антенн и измерителя комплексных коэффициентов передачи (ИККП), к которому антенны подключены гибкими коаксиальными кабелями для возможности перемещения. Антенны, конструкция которых показана на рис. 2, закреплены на вертикальных стойках на высоте не менее 2 м. Работа ИККП контролируется персональным компьютером (ПК).

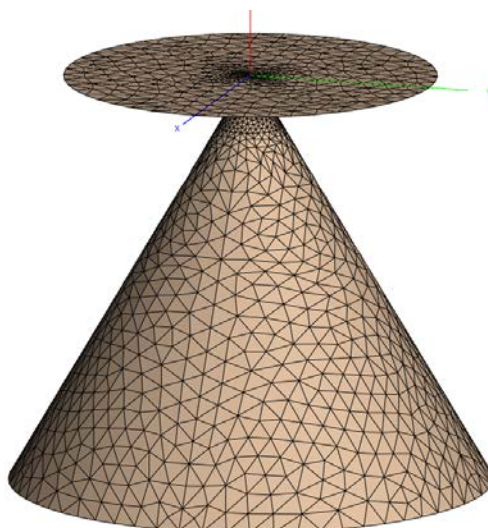


Рис. 2. Общий вид дискоконусной антенны.

При измерениях с помощью ИККП регистрируется комплексная амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) канала передачи, образованного передающей и приемной антеннами, трассой распространения и соединительными кабелями. Затем из комплексной АЧХ канала с помощью обратного преобразования Фурье рассчитывается импульсная характеристика (ИХ) канала, по которой определяется задержка сигнала.

Одна из антенн P_1 – передающая – излучает в эфир специальный сигнал позиционирования (СП), поступающий с соответствующего выхода ИККП. Вторая антенна P_2 принимает данный СП, который регистрируется ИККП и далее ПК. Как отмечено выше, был предложен СП с полосой $\Pi = 500$ МГц. Данная полоса выбрана для того, чтобы обеспечить разрешение по дальности $\delta d = 1/\Pi = 60$ см. Синтез СП происходит в ИККП последовательно на каждой из частот диапазона Π с шагом $\Delta f_c = 0,5$ МГц. Отметим, что величина Δf_c определяет возможный диапазон измерения расстояния (задержек СП, [4]) между позициями. В данном случае интервал однозначного определения дальности составляет 600 м. Для возможности работы с ШПС были разработаны специальные широкополосные антенны (дискоконусы, см. рис. 2, 3) в диапазоне (500...1000) МГц, а также проверена возможность высокочастотного (ВЧ) тракта пропускать СП без искажений в данном диапазоне частот.

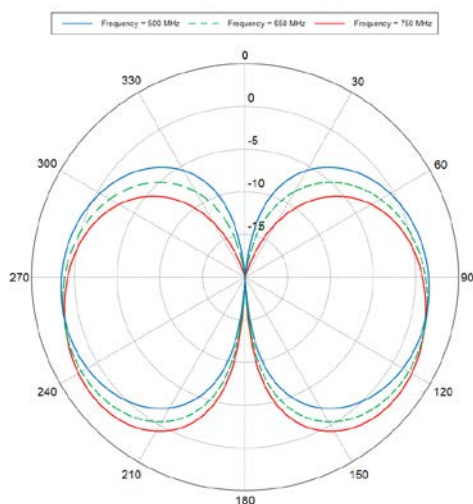


Рис 3а. Диаграмма направленности.

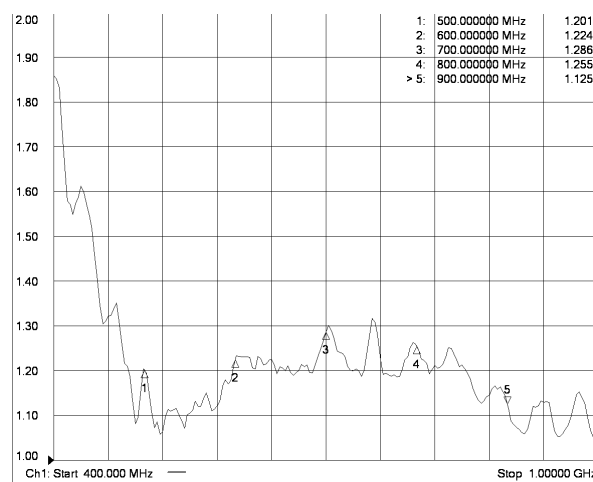


Рис. 3б. Коэффициент стоячей волны
дискоконусной антенны

На рис 4а. представлена огибающая комплексной АЧХ канала передачи СП, а на рис 4б. – огибающая комплексной ИХ.

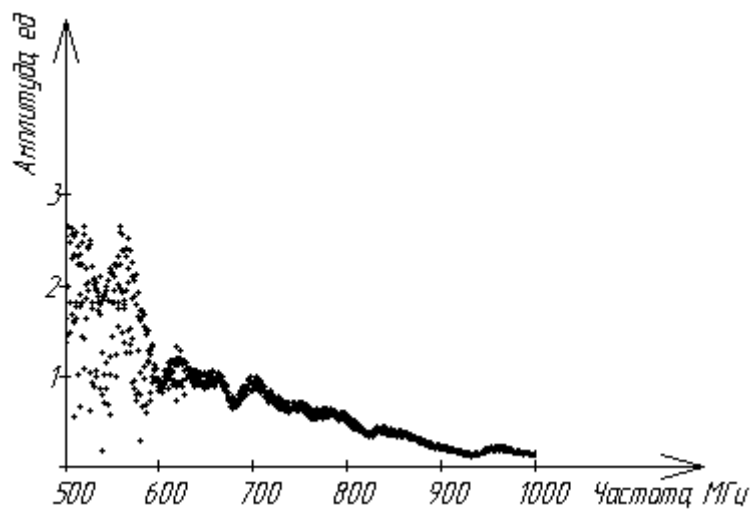


Рис. 4а. Пример АЧХ канала распространения СП.

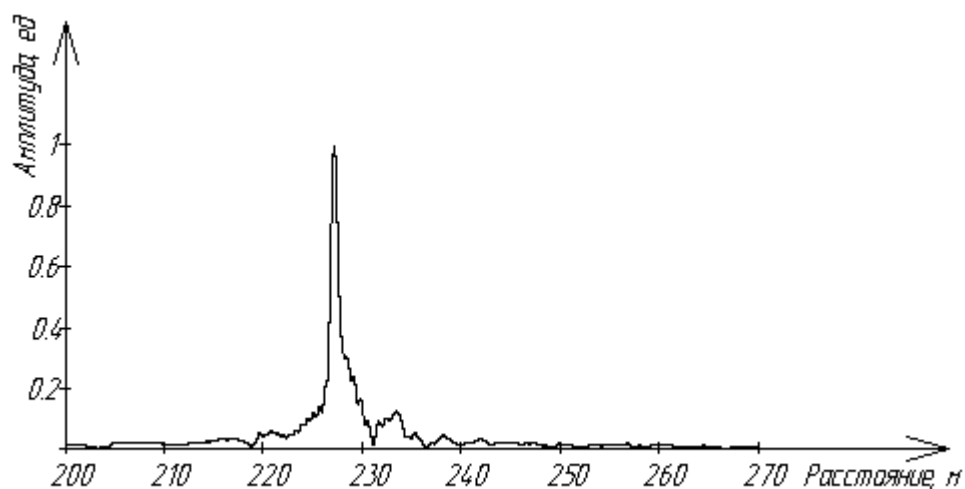


Рис. 46. Пример ИХ канала распространения СП.

Из рис. 4а следует, что АЧХ неравномерна. Это связано прежде всего с затуханием в ВЧ трактах, а также с АЧХ используемых ВЧ усилителей. Кроме того, максимум СП во временной области соответствует общей электрической длине l_0 (в данном случае $l_0 \approx 227$ м) между входом и выходом ИККП, а не расстоянию d_0 между фазовыми центрами антенн позиций P_1 и P_2 . Следовательно, для устранения указанных недостатков необходимы специальные меры. Предложим, один из возможных алгоритмических вариантов.

Пусть перед проведением экспериментов проводятся специальные калибровочные записи СП. Одна из позиций, например, P_1 фиксирована, а другую – P_2 – последовательно размещают на различных ракурсах относительно P_1 строго на одном и том же расстоянии d_k (рис. 5).

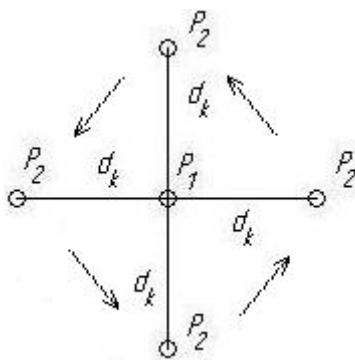


Рис. 5. Последовательность калибровочных записей СП.

На рисунке 5 показано четыре возможных положения позиций. В общем случае их может быть N . При этом получено N реализаций СП в частотной области $\dot{E}_1(f)$, $\dot{E}_2(f)$, ..., $\dot{E}_N(f)$. Требуемый калибровочный сигнал (КС) можно представить в виде (1). Заметим, что операция (1) позволяет учесть влияние близлежащих объектов в структуре многолучевости, а также усреднить их вклад по ракурсам.

$$\dot{E}_k(f) = \frac{\sum_{m=1}^N \dot{E}_m(f)}{N} \exp(j \cdot 2\pi \frac{d_k}{c} f), \quad (1)$$

где

d_k – калибровочное расстояние

f – частота;

$j = \sqrt{-1}$ – мнимая единица;

c – скорость света в вакууме.

Умножение на экспоненту в (1) необходимо для исключения из электрической длины l_s расстояния между фазовыми центрами антенн, в данном случае – калибровочной длины d_k . Далее КС (1) может быть использован для устранения электрической длины тракта в экспериментальных записях $\dot{S}$ по следующему алгоритму:

$$\dot{S}'(f) = \frac{\dot{S}(f)}{\dot{E}_k(f)} \quad (2)$$

Из (2) следует, что в результате комплексного деления происходит не только устранение электрической длины ВЧ тракта ($l_s - d_k$), но и амплитудная коррекция в выделенной полосе частот Π (рис. 4а). Результат калибровки показан на рис. 6.

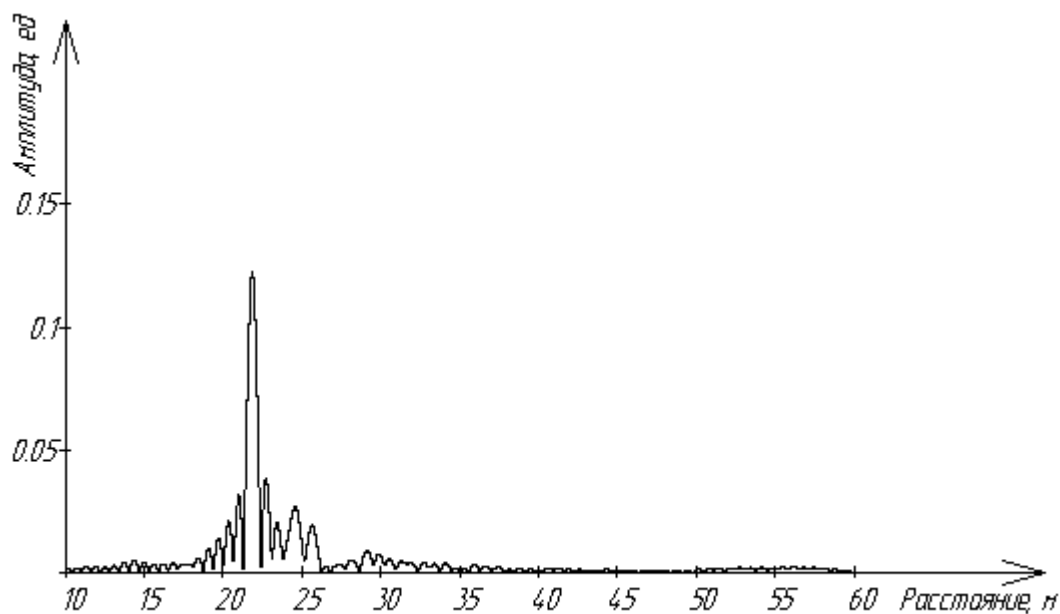


Рис. 6. Огибающая АЧХ канала после калибровки принимаемого СП.

На рисунке 6 показана огибающая ИХ канала передачи после калибровки. Из рисунка 6 видно, что во временной области наблюдается функция типа $\sin(x)/x$ (см. рисунки 4б, 6). В результате компенсации электрической длины получена оценка расстояния между антеннами $d_0 \approx 22$ м.

Типовые ИХ канала передачи для различных типов трасс с учетом калибровки (1)-(2) представлены на рис. 7. Можно отметить, что в условиях многолучевости отдельные лучи могут превышать уровень боковых лепестков ИХ вида $\sin(x)/x$. В условиях сильного влияния многолучевости (рис. 7в) неизвестно, какой из лучей является прямым. Эксперименты показали, что в густом лесном массиве прямой луч может вообще не наблюдаться.

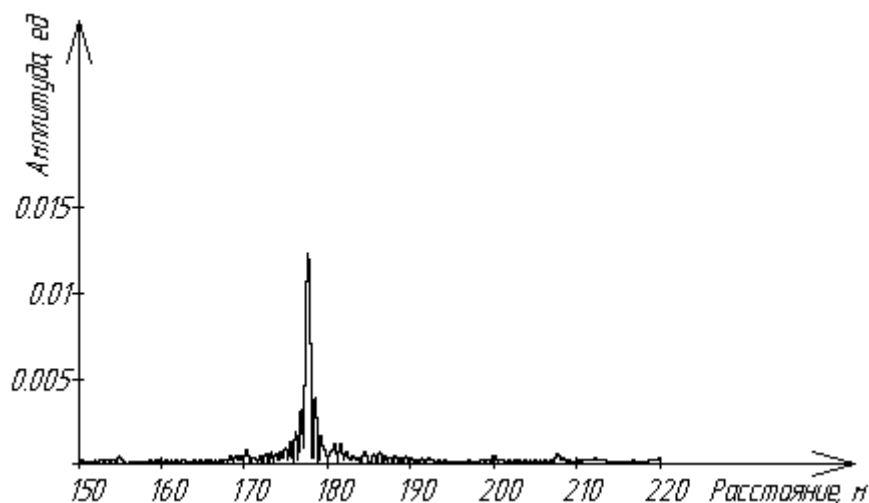


Рис 7а. Пример огибающая ИХ канала в открытом поле ($d_0 \approx 177$ м).

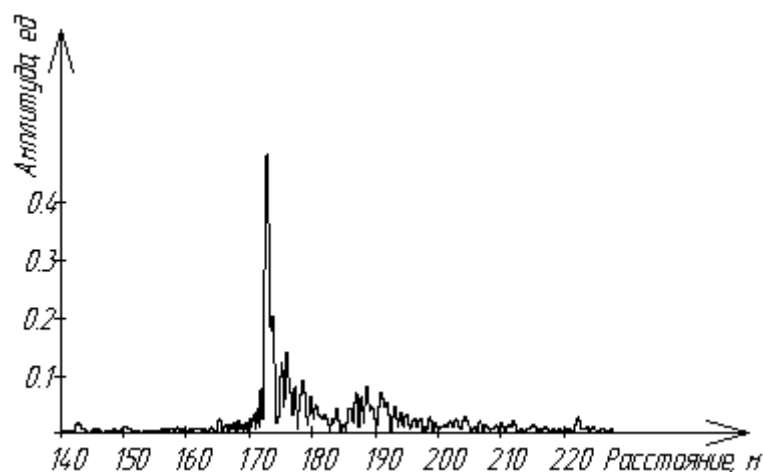


Рис. 7б. Пример огибающей ИХ канала на трассе с редкими препятствиями.

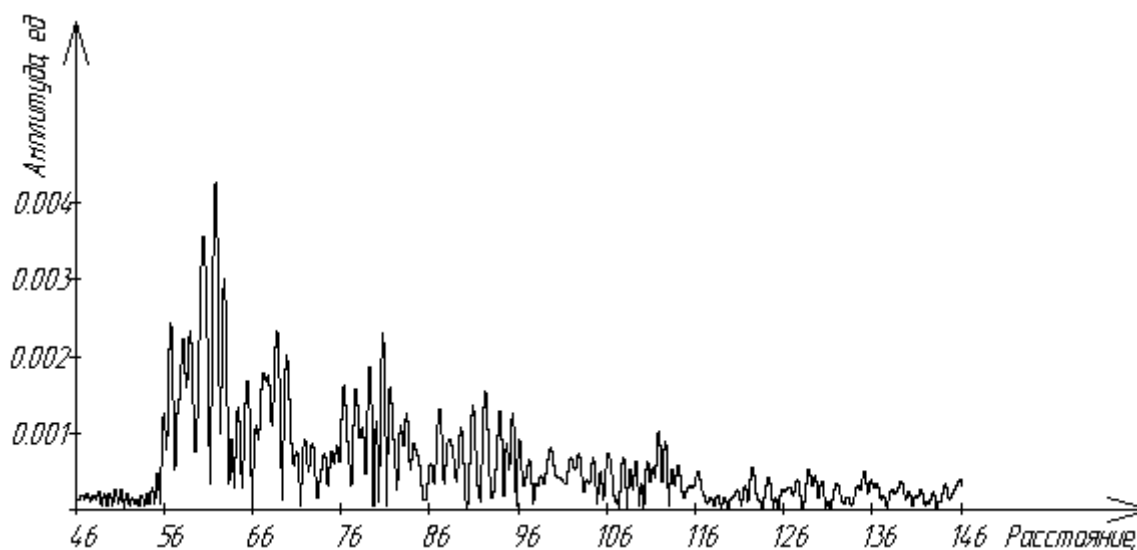


Рис. 7в. Пример огибающей ИХ канала в лесу ($d_0 \approx 56$ м).

Результаты оценок точности определения дальности между двумя позициями РРС для коротких трасс, а также смещения этих оценок приведены в таблице. Измерения расстояния осуществлялось по прямому лучу (максимуму огибающей ИХ), а контроль – по лазерному дальномеру с точностью измерения дальности не хуже 1,5 мм. При этом погрешность измерения истинного расстояния между фазовыми центрами антенн, ограниченная жесткостью механических опор, равна не более 2 см.

Результаты измерения расстояния между позициями.

Описание трассы	Смещение, см	СКО, см
Поле на дальностях от 14 м до 177 м	16	6
Местность с редкими препятствиями на дальностях от 11 м до 172 м	12	8
Лес на дальностях от 34 м до 67 м	-3	20
По всем трассам	9	12

Всего было проведено 70 измерений на трассах точка-точка. Результаты справедливы для отношения сигнал-шум не хуже 20 дБ.

Таким образом, в результате экспериментов получены оценки точности измерения дальности в ЛСП с использованием ШПС на коротких трассах. Показано, что в условиях пересеченной местности многолучевость может оказывать существенное влияние на точность измерений.

На основе экспериментальных данных можно сделать вывод, что позиционирование в лесной местности даже при использовании ШПС может быть затруднительным без применения специальных методов борьбы с многолучевостью. Существенный выигрыш по точности при измерениях расстояния на пересеченной местности может дать расположение фазовых центров антенн как можно дальше от подстилающей поверхности, а в случае при работе в лесном массиве – установка антенн над кронами деревьев; использование широкополосных сигналов с полосой от нескольких сотен мегагерц и более.

Список литературы

1. Филатов А.А., Крючков И.В., Нефедов С.И., Михеев В.А. Экспериментальное исследование точности определения дальности для разнесенной радиотехнической системы на местности // Радиолокация, навигация, связь: Труды XVII международной научно-технической конф. Воронеж. 2011. Т. 3. С. 1709 - 1717.
2. ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования / Под ред. А.И. Перова, В.Н. Харисова. Изд. 4-е, перераб. и доп. – М.: Радиотехника, 2010. – 800 с.

3. Weill L. Multipath Mitigation Using Modernized GPS Signals: How Good Can It Get, ION GNSS 2005, Long Beach, CA.
4. J.Barnes, C.Rizos, M.Kanli, A.Pahwa. A positioning technology for classically difficult GNSS environment from Locata, IEEE San Diego, 2005.
5. E.D.Zand. Measurement of TOA using frequency domain techniques for indoor geolocation. A thesis of the Worcester Polytechnic Institute, 2003.

Experimental research of multipath radio-wave propagation's influence on the accuracy of range measurement on rough terrain

77-30569/255301

11, November 2011

Filatov A.A., Kryuchkov I.V., Nefedov S.I., Miheev V.A.

Bauman Moscow State Technical University

andrey-rus-sky@yandex.ru

kryuchkov@bmstu.ru

nefedov@bmstu.ru

miheev-foto@yandex.ru

In this article methods of range measurement between two points of local positioning system. General overview of positioning problem in conditions of multipath was presented. Model of equipment for investigation of diverse radio system positioning accuracy was proposed. Experiment for investigation of positioning accuracy and method for determining the distance using the experimental data were described. The results of experimental estimation of accuracy when measuring the distance between elements for different types of tracks were included in the article.

Publications with keywords: [global positioning system](#), [local positioning system](#), [global navigation satellite system](#), [multipath](#), [spaced radiotechnical system](#), [channel complex gain-frequency characteristic](#), [channel impulse response](#), [wideband signal](#), [mean square deviation](#)

Publications with words: [global positioning system](#), [local positioning system](#), [global navigation satellite system](#), [multipath](#), [spaced radiotechnical system](#), [channel complex gain-frequency characteristic](#), [channel impulse response](#), [wideband signal](#), [mean square deviation](#)

Reference

1. Filatov A.A., Kriuchkov I.V., Nefedov S.I., Mikheev V.A., in: Proceedings of XVII international scientific and technical conference on Radiolocation, Navigation and Communication, Voronezh, Vol.3, 2011, pp. 1709-1717.
2. In: A.I. Perov, V.N. Kharisov (Ed.), GLONASS. Principles of construction and operation, Moscow, Radiotekhnika, 2010, 800 p.
3. Weill L., Multipath Mitigation Using Modernized GPS Signals: How Good Can It Get, ION GNSS 2005, Long Beach, CA.

4. J.Barnes, C.Rizos, M.Kanli, A.Pahwa, A positioning technology for classically difficult GNSS environment from Locata, IEEE San Diego, 2005.
5. E.D.Zand, Measurement of TOA using frequency domain techniques for indoor geolocation, A thesis of the Worester Polytechnic Institute, 2003.