

В. А. ЛИВНОВ, Ю. А. КОВАЛЬ *д-р техн. наук*

АНАЛИЗ ПОГРЕШНОСТЕЙ И НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЕЙ СИСТЕМЫ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ С УЛЬТРАЗВУКОВЫМ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫМ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ИНФОРМАЦИОННЫМИ КАНАЛАМИ

В настоящее время для определения местоположения объектов в пространстве чаще всего применяются спутниковые навигационные системы (СНС), такие как GPS, ГЛОНАСС, ГАЛИЛЛЕО. Но в некоторых случаях СНС не обеспечивают необходимой точности (например, при локальном позиционировании) или их применение вообще невозможно (при подземном или подводном позиционировании). Причиной малой точности СНС является сравнительно большая длина используемых радиоволн, а также суточные и сезонные изменения условий прохождения волн от спутника до навигатора [1, 2].

Для решения задач, описанных выше, целесообразно использовать ультразвуковые (УЗ) волны для определения местоположения объектов и электромагнитный (ЭМ) канал для синхронизации и обмена информацией. Так как УЗ имеет длину волны на 6 порядков меньшую, чем ЭМ волны той же частоты, это позволяет довести точность системы до нескольких сантиметров. Такая система может быть полезной для тренеров спортивных команд при слежении за движением футболистов или баскетболистов по игровому полю; для наблюдения за перемещением грузов или частей механизмов на производстве; для идентификации участников заседаний или конференций и т.д.

Описываемая в настоящей работе система для позиционирования использует УЗ волны с несущей частотой 40 кГц, позволяющие получить линейную точность менее 1 см [3, 4, 5]. Структурная схема системы приведена на рис. 1 и состоит из следующих модулей.

УЗ метки (3). Это микропроцессорные устройства, имеющие в своём составе УЗ приёмники (3.1). Они устанавливаются на объекте позиционирования. Метки обеспечивают приём УЗ датчиками зонд-сигналов, их обработку и обмен информацией с базовой станцией по ЭМ каналу.

Базовая станция (1). Это центральное связующее звено в системе. Она предназначена для формирования импульсов, которые подаются на УЗ излучатели (1.1 и 1.2) и преобразуются ими в звук (в зонд-сигналы). Также она обеспечивает опрос меток (3) по ЭМ каналу и передачу полученных данных в персональный компьютер (4).

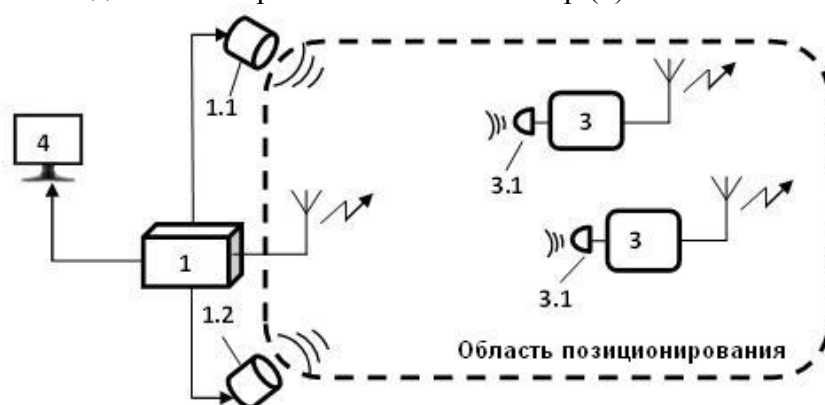


Рис. 1. Структурная схема системы

Персональный компьютер (4). Программное обеспечение для ПК анализирует полученные данные, рассчитывает координаты меток, выводит результаты на экран в графическом и численном виде.

Остановимся подробнее на принципе определения системой координат УЗ меток для того, чтобы выявить все возможные источники погрешностей системы (рис. 2).

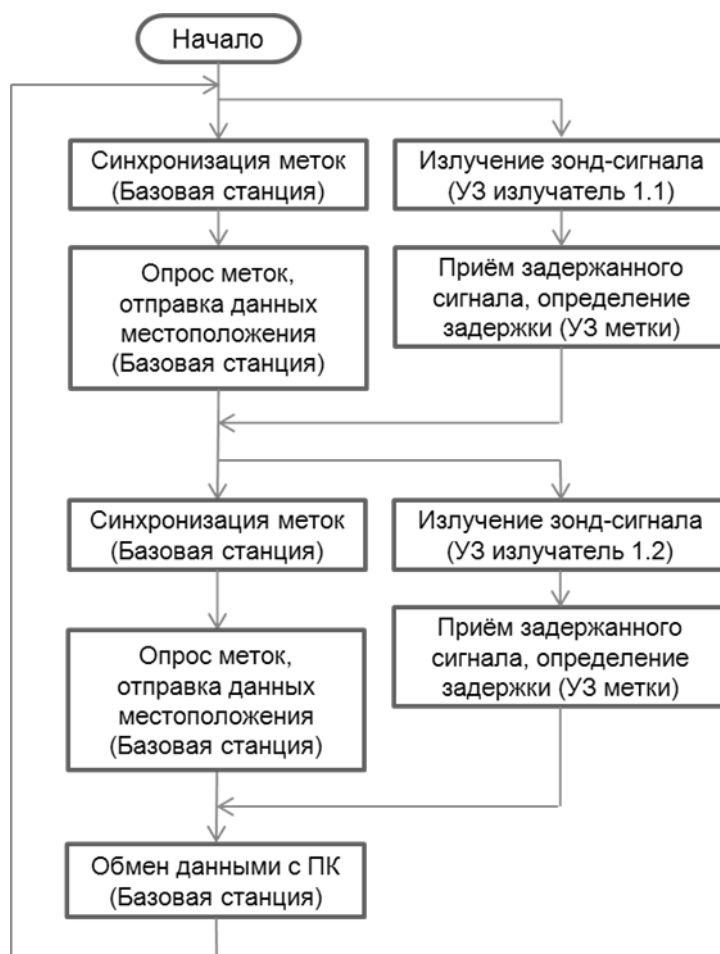


Рис. 2. Алгоритм работы системы

Алгоритм работы системы состоит из двух этапов, на каждом из которых работает один из УЗ излучателей. Каждый этап состоит из двух потоков, протекающих параллельно во времени. Первый поток выполняется в радиоканале, а второй – в УЗ канале.

Вначале базовая станция синхронизирует все УЗ метки с моментом излучения зонд-сигнала путём отправки по радиоканалу специального пакета синхронизации, адресованного всем УЗ меткам. Одновременно с отправкой пакета синхронизации базовая станция формирует зонд-сигнал, который преобразуется первым излучателем в ультразвук. С момента синхронизации запускаются счётчики времени задержки на всех УЗ метках и ожидается приём задержанного зонд-сигнала. В момент приёма переднего фронта зонд-сигнала, счётчик метки останавливается и фиксируется время задержки. До прихода следующего пакета синхронизации приём зонд-сигналов блокируется, для того, чтобы УЗ импульсы, отраженные от стен и других объектов не влияли на работу системы.

Параллельно с приёмом зонд-сигналов происходит опрос меток по радиоканалу. Базовая станция отправляет пакет с адресом опрашиваемой УЗ метки, в ответ метка пересылает пакет с данными, содержащими зафиксированное время задержки зонд-сигнала.

На этом первый этап завершается, и начинается второй этап, который отличается от первого тем, что в нём работает второй УЗ излучатель. В конце второго этапа происходит отправка базовой станцией времени задержки, полученного от всех меток, на ПК. После этого происходит переход к первому этапу, и рабочий цикл замыкается.

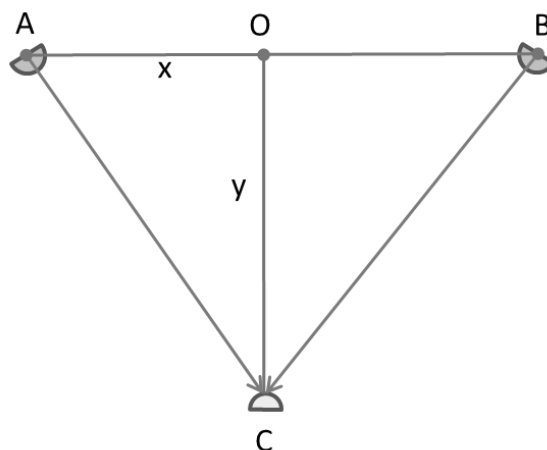


Рис. 3. Принцип определения координат УЗ метки

На рис. 3 схематически изображена ситуация в области позиционирования. Здесь в точках А, В расположены излучатели, в точке С – УЗ метка, АВ – расстояние между излучателями (база). АО=х, ОС=у – декартовы координаты метки, которые необходимо найти.

Расстояние от излучателей до метки (АС и ВС) определяются из переменных времени задержки (dt1 и dt2) по формулам:

$$AC = v_{зв} \cdot dt1 \quad (1)$$

$$BC = v_{зв} \cdot dt2, \quad (2)$$

где $v_{зв} = 343,1 \text{ м/с}$ – скорость звука в воздухе при температуре 20°C.

Из треугольника ABC, у которого известны все стороны, а у=ОС – его высота, находятся величины х и у по следующим формулам:

$$x = \frac{AC^2 - BC^2}{2AB} + \frac{AB}{2} \quad (3)$$

$$y = \sqrt{AC^2 - x^2} \quad (4)$$

Проанализируем возможные источники погрешностей системы.

Так как определение координат объектов выполняется путём измерения расстояния от навигационных точек до движущихся объектов, которое, в свою очередь, зависит от времени задержки УЗ сигнала, то основным источником погрешностей является звуковой канал. Два фактора, такие как движение воздушных масс (ветер) или изменение температуры воздуха влияют на скорость звука в УЗ канале. Величины этих погрешностей медленно изменяются во времени в сравнении с периодом работы системы, поэтому в перспективе их можно учитывать и соответственно корректировать работу системы.

Ещё одним существенным источником погрешности являются шумы, присутствующие в звуковом канале и вносимые самой системой. Так как УЗ приёмник с последующими каскадами усиления являются резонансными устройствами, они существенно затягивают фронт зонд-сигнала, который изначально имеет вид радиоимпульса (рис. 4). Для защиты от многолучёвости временное положение зонд-сигнала определяется по его переднему фронту, поэтому затягивание последнего усиливает влияние шумов на точность системы. Также последнее обстоятельство оказывает негативное влияние на защиту системы от многолучёвости, которая становится ещё одним источником погрешности.

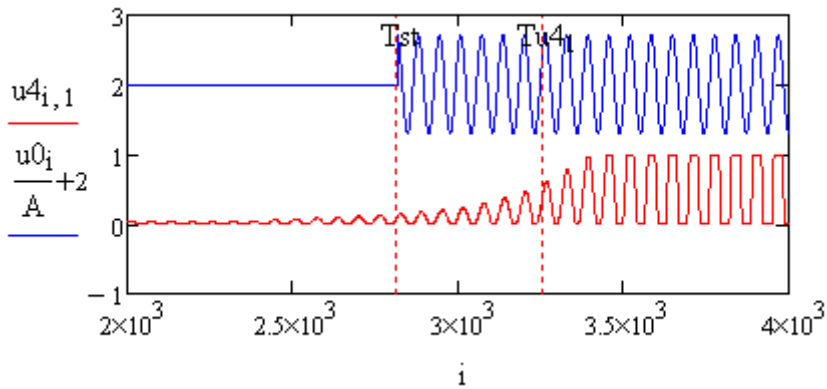


Рис. 4. Вид зонд-сигнала: исходный (сверху) и на выходе усилителя (снизу)

Задержки в системе, погрешности синхронизации, неточности расчётов оказывают менее негативное влияние на точность системы.

Существенную роль играют динамические погрешности, которые проявляются при быстром движении объектов позиционирования. Они возникают из-за того, что в промежутке между работой первого и второго излучателей объект позиционирования успевает переместиться и его координаты определяются неверно. Данную погрешность также возможно устранить в перспективе, учитывая скорость и направление движения объекта в данный момент.

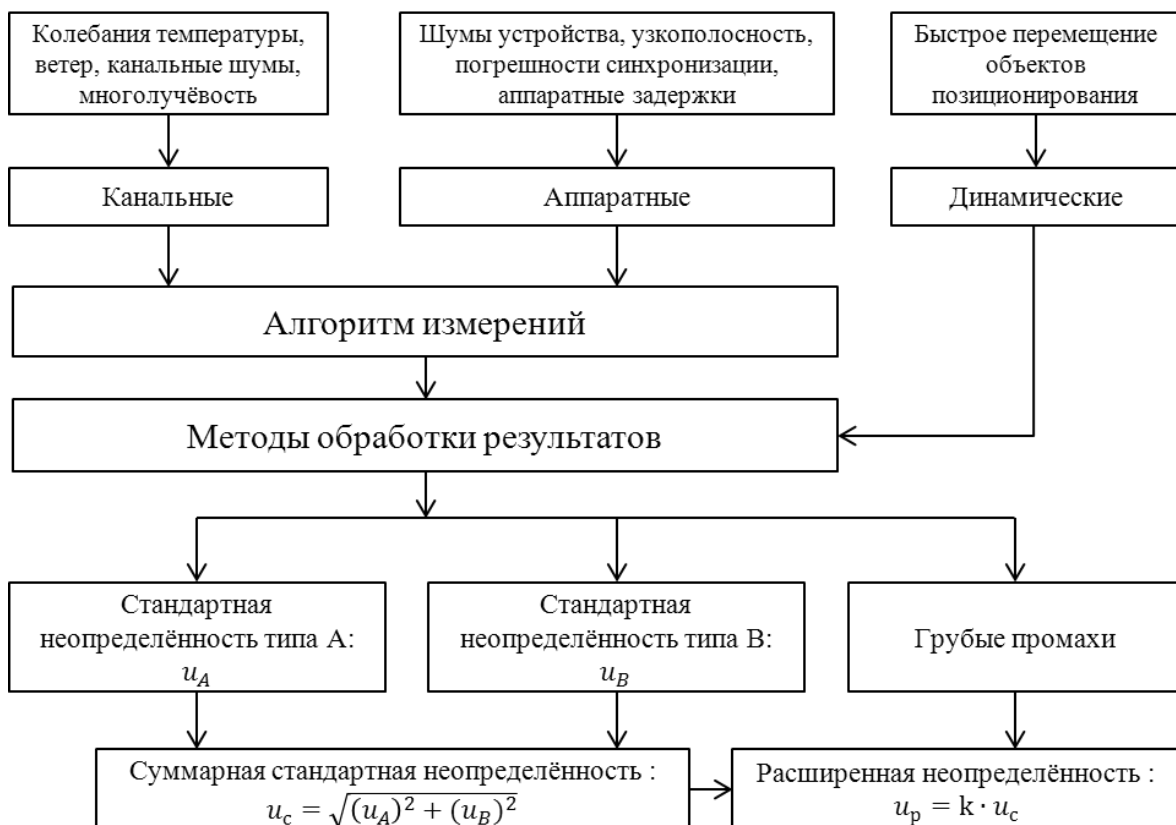


Рис. 5. Структура источников погрешностей системы

Все перечисленные выше источники погрешностей оказывают влияние на точность определения дальности от навигационных точек до объектов позиционирования. После определения координат или оценки траектории движения объектов позиционирования (т.е.

обработки) эти погрешности повлияют на результирующую погрешность системы в соответствии с дальномерным способом определения местоположения.

Систематизация всех источников погрешностей, а также связей между ними выполнена на рис. 5. Там же приведены составляющие неопределенности измерений данной системой.

Стандартная неопределённость типа A (u_A) оценивается экспериментально путем сравнения траекторий движения объекта позиционирования, полученных в ПК с помощью программного обеспечения, и действительной траектории движения. Источниками данной неопределённости будут все шумы, присутствующие в момент измерения, многолучёвость и динамические погрешности. Остальные источники погрешностей будут слагаемыми неопределённости типа B [6].

Список литературы: 1. Соловьев Ю.А. Системы спутниковой навигации. – М. : Эко-Тендз, 2001. – 270 с. 2. V. S. Zhang, T. E. Parker, M. A. Weiss, F. M. Vannicola Multi-Channel GPS/GLONASS Common-View between NIST and USNO // IEEE International Frequency Control Symposium, pp. 598-606, June 2000. 3. Пат. 71860 Україна, МПК (2012.01) G01S 11/00. Спосіб ультразвукового локального позиціонування рухомих об'єктів / Лівнов В.О., Коваль Ю.О., заявник та власник Харк. нац. ун-тет радіоелектр. – № u2012 01318, подано 08.02.2012, опубл. 25.05.2012 бюл. №14. 4. *Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций «РТ-2011»* : Материалы 7-й междунар. молодежной науч.-техн. конф., 11-15 апреля 2011 г. – Севастополь : Изд-во СевНТУ, 2011. – 479 с. 5. *16-й Международный молодежный форум «Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке»*. Сб. материалов. Т. 3. – Харьков : ХНУРЕ, 2012. – 220 с. 6. *РМГ 91-2009*. ГСИ. Совместное использование понятий "погрешность измерения" и "неопределенность измерения". Общие принципы.

*Харьковский национальный
университет радиоэлектроники*

Поступила в редколлегию 12.02.2013