

Определение местоположения в замкнутых пространствах

Н. Н. Степаненко¹, А. С. Маругин², В. К. Орлов³

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет

«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

¹ nadya-stepanenko@mail.ru, ² asm_etu@mail.ru, ³ vkorlov@etu.ru

Аннотация. Объектом исследования являются системы позиционирования в замкнутых пространствах. Так как современные глобальные навигационные системы не работоспособны в замкнутых пространствах, а ряд специальностей требует мониторинга в условиях, опасных для жизни, например, службы МЧС, появляется необходимость создания подходящей системы позиционирования. Создание такой системы подразумевает не только разработку технической части, но и выбор подходящего формата сигнала, работоспособного в условиях данной системы.

Ключевые слова: система позиционирования; определение местоположения; радиомаяк; радио-навигационная система

I. ВВЕДЕНИЕ

За определение координат движущихся объектов в наше время отвечают спутниковые радионавигационные системы (СРНС). Эти системы примечательны своей общедоступностью, глобальностью зоны покрытия, непрерывностью обслуживания, маленькими габаритами приёмноизмерителей, а также точностью определения координат. Однако у них есть существенный недостаток – невозможность использования в замкнутом пространстве.

В тоже время во многих ситуациях требуется контроль местоположения персонала. Как правило, это работники важных промышленных и военных объектов и частей МЧС. Это связано с высоким риском возникновения чрезвычайных ситуаций и необходимо для обеспечения безопасности личного состава, а также для координации действий рабочего состава в экстремальных условиях.

Таким образом, возникает потребность разработки систем, способных определить координаты контролируемых объектов в закрытых пространствах.

II. ТРЕБОВАНИЯ К СИСТЕМЕ

Среди множества требований, которые могут быть предъявлены к системе, предназначенной для контроля работников МЧС в экстренной ситуации, выделим следующие:

- **малогабаритность** – оборудование каждого работника не должно препятствовать свободному передвижению, особенно при действиях в условиях

экстренной ситуации и необходимости обеспечения эвакуации гражданских лиц;

- **гибкость** – система должна быть применима даже в случае отсутствия плана строения;
- **точность** – эта характеристика очень важна, т. к. необходимо иметь возможности обнаружить абонента при нулевой видимости;
- **надёжность** – т. к. система используется в случае чрезвычайной ситуации, то от нее зависит безопасность и даже жизнь людей;
- **простота** – в экстренной ситуации система должна быть доступной и простой в использовании.

III. СТРУКТУРА ИНФОРМАЦИОННО-НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ПЕРСОНАЛА В ЗАМКНУТЫХ ПРОСТРАНСТВАХ

В основе такой системы должно лежать непрерывное навигационное поле. Для определения местоположения целесообразным представляется использование дальномерного метода. В этом случае каждому абоненту предоставляется передатчик радиосигнала. Радиосигнал излучается с какой-то периодичностью, а по образующейся задержке сигнала относительно времени его передачи измерители дальности рассчитывают расстояние до пользователя.

Таким образом, предлагается система, использующая перемещаемые к объекту радиомаяки и приемопередатчики. В случае возникновения ситуации, требующей присутствия служб МЧС, по периметру здания расположат четыре маяка: один ведущий и три «ведомых». Располагать маяки следует на разных уровнях относительно земли. Каждый из них будет оснащен приемником сигнала СРНС. (рис. 1), что позволит определить их координаты.

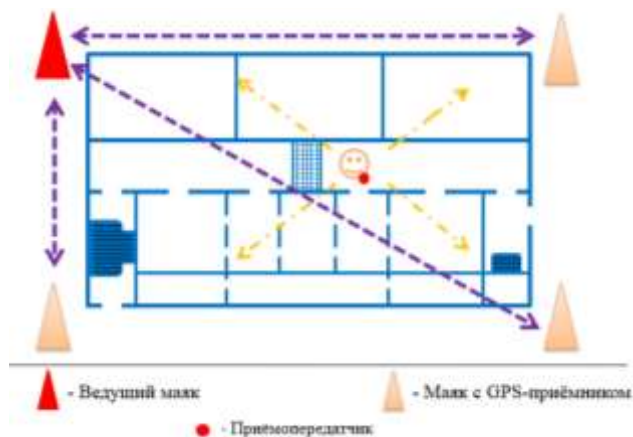


Рис. 1. Расчет дальности от абонента до маяков

Сотрудники службы, имеющие индивидуальные приемопередатчики, при входе в здание синхронизируют их с ведущим радиомаяком. Алгоритм определения местоположения абонента в замкнутом пространстве, по сути, представляет собой решение обратной навигационной задачи. Ведущий маяк передает команды синхронизации шкал на «ведомые» маяки по каналу связи. При относительной нестабильности генераторов на маяках $10^{-6} \dots 10^{-7}$ расхождением шкал за время пребывания служб МЧС в здании можно пренебречь. После завершения синхронизации можно определять местоположение абонентов только по излучаемым ими сигналам. Дальность будет определяться разностью моментов излучения и поступления сигнала и пересчитываться в расстояние по формуле $D_i = c\Delta t_i$, где D_i – расстояния от абонентов до маяков, Δt_i – разность моментов излучения сигнала и прихода сигнала на РМ, c – скорость света.

Координаты абонента будут рассчитываться с использованием трех маяков, расположенных на разных уровнях относительно земли.

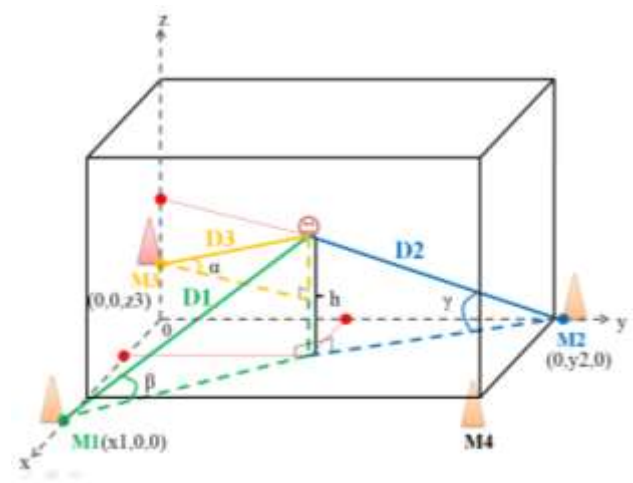


Рис. 2. Определение координат абонента

$$\begin{cases} h = z_3 + D_3 \sin \alpha, \\ h = D_1 \sin \beta, \\ h = D_2 \sin \gamma. \end{cases}$$

IV. АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ПЕРСОНАЛА В ЗАМКНУТЫХ ПРОСТРАНСТВАХ

Таким образом, разработана структура информационно-навигационной системы для контроля местоположения персонала в замкнутых пространствах, алгоритм работы, которой представлен на рис. 3.

Алгоритм определения местоположения персонала в замкнутых пространствах имеет следующий вид:

1. установка четырех РМ по периметру здания на разных уровнях (один ведущий маяк и три ведомых);
2. синхронизация маяков по сигналам СРНС;
3. синхронизация приемопередатчиков абонентов с ведущим РМ;
4. измерение дальности по разности моментов излучения сигнала и прихода сигнала на РМ;
5. определение координат местоположения абонентов в здании;
6. отображение местоположения абонентов на экране оператора.

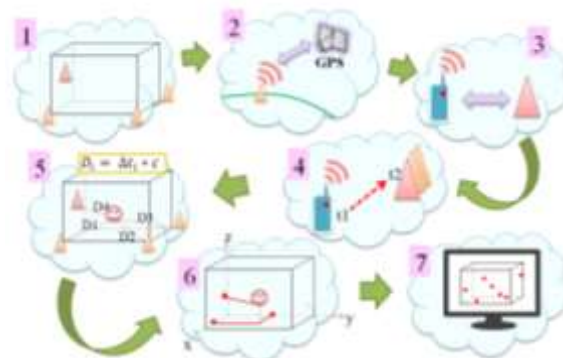


Рис. 3. Алгоритм определения местоположения персонала в замкнутых пространствах

V. ЭНЕРГОПOTЕНЦИАЛ РАДИОЛИНИИ

В настоящее время на рынке систем безопасности наиболее часто используются радиочастотные системы сигнализации, функционирующие в следующих диапазонах частот: 433 и 868 МГц. Однако от использования последнего придется сразу отказаться по причине недопустимо высокого затухания в зданиях со сложной конфигурацией помещений. При использовании частот диапазона 434 МГц необходимый для уверенного приема энергетический запас сохраняется лишь при возникновении на пути распространения не более 2 стен. Более целесообразным представляется использование

диапазона частот, обладающего существенно меньшими потерями при распространении радиоволн и преодолении препятствий – диапазон 100 МГц.

Устойчивое функционирование системы будет обеспечено при энергетическом запасе в 15–20 дБ. Дальность устойчивого радиоканала зависит от четырех основных параметров:

- мощности передатчика абонента системы;
- чувствительности приемного устройства радиомаяков системы, расположенных по периметру здания;
- затухания радиоволн в свободном пространстве;
- поглощения радиоволн при преодолении препятствий (в данном случае – это межэтажные перекрытия и стены здания).

Полагаем мощность передатчиков абонентов системы, находящихся в помещениях внутри здания, одинаковой и равной 10 мВт.

Чувствительность стандартного приемного устройства для анализируемого спектрального диапазона составляет 107 дБм. Отсюда энергетический запас для компенсации затухания получим равным $\mu_0 = 117$ дБ.

Для оценки затухания сигнала в свободном от препятствий пространстве следует воспользоваться зависимостью мощности принимаемого сигнала от дальности в радиолинии:

$$P_2 = \frac{P_1 G_1 G_2 \lambda^2}{(4\pi D)^2},$$

где P_1 и P_2 – соответственно мощность излучаемого и принимаемого сигналов; G_1 и G_2 – коэффициенты усиления антенн передатчика и приемника соответственно; λ – длина волны излучаемого колебания; D – дальность между передатчиком и приемником.

Ориентируемся на наихудшую ситуацию, когда $G_1 = G_2 = 1$, т. е. передающая и приемная антенны имеют круговую диаграмму направленности. В этой ситуации потери на распространение μ_p могут быть вычислены как:

$$\mu_p = 10 \lg \frac{P_1}{P_2} = 10 \lg \frac{(4\pi D)^2}{\lambda^2}.$$

Принимая во внимание, что $\lambda = c/f$ (f – центральная частота диапазона), а максимальная дальность между передатчиком и приемником составит 50 м, после проведения расчетов получим, что затухание радиоволн для диапазона 100 МГц составит $\mu_p = 46$ дБ. Однако к потерям, связанным с распространением в свободном пространстве, следует добавить потери, вызванные прохождением радиоволн через препятствия (железобетонные стены и межэтажные перекрытия). При прохождении через железобетонную стену толщиной

30 см потери в диапазоне 100 МГц составят $\mu_{ст} = 12$ дБ. Устойчивый прием радиосигнала, излучаемого на частоте 100 МГц, достигается в той ситуации, когда электромагнитное колебание преодолевает 4 препятствия (в виде железобетонных стен или перекрытий), что представляется достаточным при реализации системы позиционирования: суммарные потери для $n=4$ препятствий $\mu_{сумм} = \mu_p + 4\mu_{ст} = 94$ дБ. Энергетический запас при этом $\mu_{эз} = \mu_0 - \mu_{сумм} = \mu_0 - \mu_p - n\mu_{ст}$ в данном случае равен $\mu_{эз} = 23$ дБ.

VI. МОДУЛЯЦИОННЫЙ ФОРМАТ СИГНАЛОВ

В качестве исходных посылок, определяющих выбор формата сигнала, выделим следующие:

- Система должна иметь высокую точность местоопределения. Для реализации этого требования необходимо, чтобы сигнал обладал достаточно большой эффективной шириной спектра и обеспечивал достижения приемлемого отношения сигнал/шум на входе устройства обработки $q \gg 1$.
- Сигналы системы должны с максимальной эффективностью использовать отведенный частотный диапазон.
- Система должна сохранять свою работоспособность в условиях интенсивных многолучевых и внутрисистемных помех. Динамический диапазон принимаемых сигналов может быть весьма значительным и достигать 30–40 дБ.
- Выбранный формат навигационного сигнала должен обеспечивать приемлемое (не превышающее в наихудшем случае 1 с) время обновления навигационной информации об объектах, находящихся внутри здания.

Несомненно, высокие тактико-технические показатели системы могут быть реализованы на базе использования широкополосных периодических дискретных сигналов (ДС). Что предопределено требованием доступа в систему в любой момент времени и необходимостью обслуживать большое количество пользователей одновременно, обеспечивая неограниченную пропускную способность, обеспечивая единичное значение пик-фактора.

Под ДС будем понимать сигналы, образованные манипуляцией амплитуд и начальных фаз радиоимпульсов (чипов), повторяющихся с постоянным временным промежутком T . Комплексная огибающая ДС представима в форме:

$$\dot{S}(t) = \sum_i a_i \dot{S}_0(t - iT),$$

где $\dot{S}_0(t)$ – комплексная огибающая стандартного радиоимпульса единичной энергии, $a_i \in \{\pm 1\}$ –

последовательность амплитуд, называемая кодовой последовательностью или просто кодом.

Для уменьшения влияния дисперсионности среды распространения целесообразным представляется применение полосно-эффективных методов управления параметрами ДС. В этой связи весьма интересной оказывается минимальная частотная манипуляция (МЧМ), практически полностью утилизирующая радиочастотный ресурс. Комплексная огибающая элементарного импульса МЧМ колебания представляется в виде:

$$\dot{S}_0(t) = \exp(j \frac{\pi t}{2T}) \cos(\frac{\pi t}{2T}), t \in [-T, T].$$

Это представление позволяет рассматривать МЧМ как специфическую разновидность бинарной ФМ, сохраняя тем самым возможность использовать весьма разнообразный каталог кодовых последовательностей для придания сигналу желаемых корреляционных качеств.

Разработана структура информационно-навигационной системы для контроля местоположения персонала в замкнутых пространствах, определен алгоритм ее работы. Выбран спектральный диапазон сигнала для устойчивой работы системы. Предложен формат сигнала, в качестве альтернативы традиционной бинарной ФМ предложена МЧМ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Michalson W.R., Progni .I.F. Assessing the accuracy of underground positioning using pseudolites. // Proceedings of US Institute of Navigation GPS-2000, Salt Lake City, Utah, 19-22 September 2000. P. 1007-1015.
- [2] Progni I.F., Michalson W.R., Orr J., Cyganski D. A system for tracking and locating emergency personnel inside buildings. // Proceedings of US Institute of Navigation GPS-2000, Salt Lake City, Utah, 19-20 September 2000. P. 560-568.
- [3] Кузнецов К.П., Орлов В.К., Чернявский А.Г., Шелудько Е.А. Принципы построения системы контроля местоположения подвижных объектов в пределах ограниченного пространства // Датчики и системы. № 9. 2002, с. 29-32
- [4] Werb J., Lanzl C. Designing a positioning system for finding things and people indoors // IEEE Spectrum. Sept. 1998. P. 71-78.
- [5] Боуш С.И., Кузнецов К.П., Шелудько Е.А., Чернявский А. Г. и др. Дальномерная акустическая навигационная система. Свидетельство на полезную модель № 97119592/20 (021155)
- [6] Радиотехнические системы: учебник для студ. высш. учеб.заведений / Под ред, Ю.М.Казаринова. М.: «Академия», 2008. 592 с.
- [7] Прокис Дж. Цифровая связь. М.: Радио и связь, 2000. 468 с.
- [8] Ипатов В.П. Периодические дискретные сигналы с оптимальными корреляционными свойствами. М.: Радио и связь, 1992.
- [9] Богданович А.А., Красичков А.С., Маругин А.С., Орлов В.К. Методы контроля местоположения персонала при работе в экстремальных условиях // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2012. № 5.
- [10] Сравнение дальности действия радиоканальных систем в диапазонах 433 и 868 МГц, 2,4 ГГц <http://lib.secuteck.ru/articles2/firesec/sravnenie-dalsravnenie-dalnosti-dejstviya-radiokanalnyh-sistem-v-diapazonah-433-i-868-mgc-2-4-ggc>