

*Алиагаев А. Р., магистрант,  
Астраханский государственный университет  
Научный руководитель: Ключарёв А. Ю.,  
к. т. н, доцент, Астраханский государственный университет*

## **СИСТЕМЫ ЛОКАЛЬНОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ДЛЯ МОБИЛЬНОЙ ФРЕЗЕРНОЙ ПЛАТФОРМЫ**

*Аннотация: В этой статье рассмотрены существующие технологии локального позиционирования, которые могут быть применимы к решению задачи определения координат мобильной фрезерной платформы на колёсной базе. Приведено описание базовых принципов работы систем позиционирования различных технологий. Объяснено преимущество использования ультразвуковых систем позиционирования по сравнению с другими технологиями.*

*Ключевые слова: система локального позиционирования, ультразвуковое позиционирование, радиочастотная технология, инерциальная навигационная система, система технического зрения.*

*A. R. Aliagaev, Master's student,  
Astrakhan State University  
Supervisor: A. Y. Klyucharev,  
PhD, Associate Professor, Astrakhan State University*

## **LOCAL POSITIONING SYSTEMS FOR MOBILE MILLING PLATFORMS**

*Annotation: This article discusses the existing local positioning technologies that can be applied to solving the problem of determining the coordinates of a mobile milling platform on a wheelbase. The basic principles of the positioning systems of various technologies are described. The advantage of using ultrasonic positioning systems in comparison with other technologies is explained.*

*Keywords: local positioning system, ultrasonic positioning, radio frequency technology, inertial navigation system, technical vision system.*

## **Введение**

Мобильная фрезерная платформа (МФП) автоматически перемещается по материалу и обрабатывает его вдоль заданного контура. Система управления контролирует траекторию движения МФП, но без обратной связи по координате обеспечить точное перемещение невозможно. Для решения задачи определения координат и ориентации МФП в процессе её рабочего цикла необходимо разработать систему локального позиционирования (СЛП), работающую в реальном времени.

Для решения задачи позиционирования МФП на ЛСП налагаются определённые требования, а именно:

- точность определения координат должна быть высокой и лежать в пределах точности обработки материала рабочим инструментом МФП в зависимости от типа выполняемых работ;
- радиус действия должен быть не меньше максимальных размеров обрабатываемых материалов;
- скорость обновления координат должна быть достаточной для управления МФП в режиме реального времени, зависит от скорости перемещения МФП по обрабатываемому материалу.

Наивысшую точность позиционирования даёт технология ультразвукового позиционирования, о которой речь пойдёт в следующих главах.

Приведем краткий обзор существующих технологий локального позиционирования.

### **1. Технологии локального позиционирования**

Локальное позиционирования отличается от систем глобального позиционирования тем, что первые имеют привязку к конкретному участку местности, помещению, оборудованию и т.д.

Существуют различные технологии локального позиционирования, в том числе работающие в режиме реального времени. Основные используемые группы технологий — это: [0-4]

- радиочастотные технологии,
- инерциальные навигационные системы (ИНС),
- технологии на базе систем технического зрения (СТЗ)
- акустические технологии (в том числе ультразвуковые)

СЛП, построенные на *радиочастотной технологии*, для определения местоположения используют радиоволны. Как правило СЛП строятся на основе уже существующих беспроводных сетей передачи данных и инфраструктуры, таких как: Wi-Fi (семейство стандартов IEEE 802.11), Bluetooth (стандарт IEEE 802.15.1), ZigBee (стандарт IEEE 802.15.4).

*Инерциальные навигационные системы* в качестве СЛП как правило используются совместно с другими технологиями. ИНС представляет собой связь инерциальных датчиков – акселерометра, гироскопа и иногда магнетометра. Интегрирование по времени показаний этих датчиков даёт координаты отслеживаемого объекта относительно начального положения.

СЛП на базе *систем технического зрения* [4] представляют собой программно-аппаратный комплекс, главным элементом которого является видеочамера, снимающая окружающее пространство. Положение определяется по отношению к естественным или искусственным ориентирам – по смещению ориентиров на текущем кадре определяется смещения отслеживаемого объекта.

*Акустические* СЛП для определения местоположения используют звуковые волны. Архитектура таких систем схожа с системами на радиочастотных технологиях. Здесь также присутствуют базовые станции – маяки, относительно которых определяется местоположение искомой точки – подвижного объекта, который оснащён акустическим приёмником или передатчиком.

Наибольшее распространение получили СЛП на базе радиочастотных технологий. Это связано с тем, что инфраструктура беспроводных систем распространена и работает на свойствах радиоволн, которые с тем же успехом могут быть использованы для позиционирования объектов. В настоящий момент решений на основе радиочастотных технологий составляет от нескольких метров до десятков сантиметров, что достаточно для ряда применений, но не подходит для использования в системах точного позиционирования.

В настоящее время ультразвук получил широкое распространение в технике, в измерительных приборах, в средствах неразрушающего контроля, в медицине и др. [5]. Применение ультразвука в качестве физической основы работы высокоточных систем позиционирования вполне оправдано, так как точность позиционирования сравнима с точностью ультразвуковых дальномеров и равна порядку нескольких миллиметров.

## 2. Методы измерений параметров сигнала, связанных с позицией

Подавляющее большинство СЛП построены на основе технологий, в которых используются свойства распространения сигналов. Природа таких сигналов может быть электромагнитная – радиочастотные технологии, и механическая (звук) – акустические технологии. Архитектура таких систем позиционирования имеет в составе два класса устройств:

- опорные узлы (reference nodes) – **маяки**, относительно которых строится система координат (СК) системы позиционирования, в ней определяется положение искоемых точек;
- мобильный узел (location device) – **метка**, искомая точка, координаты которой требуется оценить по той информации, которая получена в процессе работы с сигналами СЛП.

На стороне приёмников фиксируются такие параметры сигнала, как: время прихода сигнала (на передатчиках время отправки), уровень сигнала и его направление по отношению к приёмной антенне. Отсюда сформулированы

базовые методы оценки местоположения по измеренным параметрам сигнала. В литературе эти методы получили название RSS, AOA, TOA и TDOA [6].

RSS (Received Signal Strength) – метод, основанный на измерении уровня принимаемого сигнала. По уровню сигнала можно оценить расстояние между передатчиком и приёмником если задана адекватная модель распространения сигнала с данной среде.

AOA (Angle of Arrival) – метод на основе измерения угла прибытия сигнала на приёмное устройство. Сигнал падает на поверхность приёмной антенны, конструкция которой позволяет определить направление пришедшего сигнала. Для двумерного случая достаточно двух маяков, чтобы определить положение метки измерив угол, под которым пришёл сигнал от метки на маяки.

Основным недостатком метода AOA является сложность конструкции приёмных антенн.

TOA (Time of Arrival) и TDOA (Time Difference of Arrival) – методы, основанные на измерение другой характеристики распространения сигнала – времени распространения. Для метода TOA фиксируются моменты времени приёма сигнала передатчиками, и также время отправки передатчиком. Таким образом рассчитывается время прохождения сигнала от передатчика к приёмнику (например, от метки к маяку), и если между ними есть прямая видимость можно оценить расстояние между меткой и маяком, если известна скорость распространения сигнала в данной среде. Зная расстояние между меткой и несколькими маяками, можно определить положение метки относительно маяков.

Преимуществом методов TOA и TDOA перед другими методами – RSS и AOA в том, что с увеличением расстояния между передатчиком и приёмником не растёт дисперсия измеренной величины, то есть времени [7]. В результате выше стабильность показаний и случайная ошибка позиционирования не растёт с увеличением дистанции, как это бывает в методах на основе измерения уровня и угла прихода сигнала RSS и AOA.

Недостатком является необходимость в прямой видимости между маяками и меткой. Также к недостаткам относятся техническая сложность синхронизации и измерения времени на небольших расстояниях в случае применения радиочастотных технологий в силу скорости распространения радиоволн.

### **3. Ультразвуковые системы позиционирования (УСП)**

СЛП на базе ультразвука относится к системам акустического позиционирования и в качестве сигнала используются ультразвуковые волны. Ультразвук (УЗ) – упругие колебания и волны, частота которых превышает верхнюю границу слышимого диапазона 15-20 кГц. УЗ-волны по своей природе не отличаются от упругих волн слышимого диапазона и инфразвуковых волн. В газах и жидкостях распространяются только продольные волны, а в твёрдых телах – продольные и сдвиговые (поперечные). Распространение УЗ в воздухе ограничено акустическим сопротивлением среды, выраженным в виде коэффициента «классического» поглощения звука, который пропорционален квадрату частоты [8, с. 11]. Например, поглощение ультразвука частоты 50 кГц в воздухе составляет 2 дБ/м, т.е. при прохождении ультразвука 1 метра его амплитуда убывает в 1,26 раза [9, с. 194]. Передать УЗ на большие расстояния невозможно, таким образом радиус действия УСП ограничен несколькими метрами. При этом необходимо использовать УЗ наименьшей возможной частоты, которая бы отвечала техническим требованиям.

Архитектура УСП описывается общим видом для СЛП, использующей свойства распространения сигнала (см. п. 2). Имеются базовые узлы – *УЗ-маяки* (далее – маяки) и мобильные узлы – *УЗ-метки* (далее – метки). Количество маяков должно быть не менее трёх. Количество меток в общем случае может быть несколько. При работе УСП должна соблюдаться прямая видимость между маяками и метками.

УСП обладают наивысшей точностью позиционирования по сравнению с СЛП на базе других технологий. Это связано с тем, что время распространения звукового сигнала можно измерить с высокой точностью, чего практически невозможно сделать в радиочастотных СЛП. Поэтому в УСП целесообразно использовать временные методы TOA и TDOA.

### **Заключение**

Технологии локального позиционирования в реальном времени развиваются, их сфера применения как для потребительского сектора, так и для промышленности растёт. В основном распространены системы позиционирования на базе радиочастотной технологии, но они дают низкую точность позиционирования, недостаточную для управления движением МФП. Наибольшую точность, при сравнительно низкой сложности, дают системы позиционирования на основе звуковых волн ультразвукового диапазона, и именно эта технология легла в основу данной системы позиционирования.

Ультразвуковые системы позиционирования интересны для построения СЛП высокой точности с небольшим объёмом рабочего пространства. Использование звуковых волн для оценки местоположения значительно снижает требования к аппаратной части средств обработки сигнала, что в свою очередь упрощает и удешевляет разработку СЛП.

### Использованные источники:

1. Москаленко Т. А., Киричек Р. В. Методы позиционирования робототехнических систем внутри помещения на базе телекоммуникационных технологий // Информационные технологии и телекоммуникации. 2016. Том 4. № 1. С. 37–45.
2. Минахметов Р.М., Рогов А.А., Цымблер М.Л. Обзор алгоритмов локального позиционирования для мобильных устройств // Вестник ЮУрГУ. Серия: Вычислительная математика и информатика. – 2013. – № 2. – С. 83–96.
3. Радиочастотные технологии локального позиционирования в здравоохранении / Д. С. Брагин, И. В. Поспелова, И. В. Черепанова, В. Н. Серебрякова // Изв. вузов России. Радиоэлектроника. 2020. Т. 23, № 3. С. 62–79. doi: 10.32603/1993-8985-2020-23-3-62-79
4. Юдин Д.А., Проценко В.В., Постольский Г.Г., Кижук А.С., Магергут В.З. Система технического зрения для автоматического ориентирования и позиционирования мобильного робота // Робототехника и техническая кибернетика. – 2014. - № 1. – С. 70-75
5. Воробьев Е. А. Теория ультразвуковых колебаний как основа построения и применения технических средств получения информации: Учеб. пособие / СПбГУАП, СПб., 2002. 54 с.: ил.
6. D. Munoz, F. Bouchereau Lara, C. Vargas, R. Enriquez-Caldera. Position Location Techniques and Applications. - Academic Press, 2009. – 296 p.
7. Методы спутникового и наземного позиционирования. Перспективы развития технологий обработки сигналов. Под ред. Д. Дардари, Э. Фаллети, М. Луизе. Москва: Техносфера, 2012. – 528 с.
8. Ультразвук. Маленькая энциклопедия. Глав. Ред. И. П. Голямина. – М.: «Советская энциклопедия», 1979. – 400 с., илл.
9. Красильников В. А. Звуковые и ультразвуковые волны в воздухе, воде и твёрдых телах. – 3-е изд., пер. и доп. – М.: Физматлит, 1960. – 560 с