

Научная статья  
УДК 630.52:587/588

## ПРОБЛЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ РАССТОЯНИЯ И КООРДИНАТ ПО ТЕХНОЛОГИИ RFID

Валерий Владимирович Шипилов<sup>1</sup>, Сергей Петрович Санников<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Уральский государственный лесотехнический университет,  
Екатеринбург, Россия

<sup>1</sup> shipilovvv@m.usfeu.ru

<sup>2</sup> sannikovsp@m.usfeu.ru

**Аннотация.** В работе рассмотрены проблемы поредения координат и расстояния при выборочной рубке лесозаготовительной машиной (ЛЗМ) деревьев, отведенных для спиливания, помеченных RFID-метками. Разработаны расчетная и структурные схемы определения координат. Показана иллюстрация влияния рельефа местности на ошибку расчета координат и алгоритм расчета.

**Ключевые слова:** технологии RFID, измерение, расстояние

**Для цитирования:** Шипилов В. В., Санников С. П. Проблемы измерения расстояния и координат по технологии RFID // Эффективный ответ на современные вызовы с учетом взаимодействия человека и природы, человека и технологий = Effective reaction to modern challenges of the interaction between human and nature, human and technologies : материалы XVII Международной научно-технической конференции. Екатеринбург : УГЛТУ, 2026. С. 361–369.

Original article

## PROBLEMS OF MEASURING DISTANCE AND COORDINATES USING RFID TECHNOLOGY

Valery V. Shipilov<sup>1</sup>, Sergey P. Sannikov<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Ural State Forest Engineering University, Ekaterinburg, Russia

<sup>1</sup> shipilovvv@m.usfeu.ru

<sup>2</sup> sannikovsp@m.usfeu.ru

**Abstract.** The paper considers the problems of reducing coordinates and distance during selective cutting by a forest machine (FM) of trees designated for cutting marked with RFID tags. Computational and structural schemes for determining coordinates have been developed. An illustration of the influence of terrain on the error in calculating coordinates and the calculation algorithm is shown.

**Keywords:** RFID technologies, measurement, distance

**For citation:** Shipilov V. V., Sannikov S. P. (2026) Problemy` izmereniya rasstoyaniya i koordinat po technologii RFID [Problems of measuring distance and coordinates using RFID technology]. Effektivnyi otvet na sovremennye vyzovy s uchetom vzaimodeistviya cheloveka i prirody, cheloveka i tekhnologii [Effective reaction to modern challenges of the interaction between human and nature, human and technologies] : materials of the XVII International Scientific and Technical Conference. Ekaterinburg : USFEU, 2026. P. 361–369. (In Russ).

При развитии технологии выборочной заготовки лесоматериалов машинным способом возникла проблема, которая заключается в том, что оператору нужно найти отведенное дерево в рубку, не выходя из кабины лесозаготовительной машины (ЛЗМ) [1, 2]. В большинстве регионов, включая и Свердловскую область, лесозаготовка производится в зимнее время. Под снегом необходимо найти метку, поставленную на комле ствола дерева возле самой земли. К такому дереву нужно подъехать ЛЗМ, дотянуться манипулятором, при этом не повредив подросток и кустарник.

Нами предлагается автоматизировать этот процесс путем установки радиочастотных меток на деревьях, отведенных в рубку. Радиочастотная метка, устанавливаемая на дерево, может быть пассивная или активная.

Для этого ЛЗМ должна обладать системой поиска такой метки в лесу. Такая система должна различать нужные радиочастотные метки из множества других, которые находятся на данном участке леса, вычислять координаты метки и прокладывать путь перемещения ЛЗМ к этому дереву с меткой. Поэтому система является автоматизированной навигационной на плоскости участка леса.

Сделав анализ существующих навигационных систем, систем расчета координат и расстояния до объекта с меткой пришли к выводу, что есть ряд проблем, которые требуют определенных исследований и конструктивных решений. Первое, что можно отметить, – для лесозаготовительной отрасли таких систем не существует, поэтому необходимо разработать такую систему для ЛЗМ.

Цель данной работы – исследование проблем измерения расстояния и координат электромагнитными волнами по технологии RFID. Для решения поставленной цели определили следующие задачи:

- 1) определить метод, подходящий для решения поставленной цели;
- 2) разработать расчетные и структурные схемы;
- 3) разработать алгоритм решения поставленной задачи.

#### **Материалы и методы средств исследования**

В работе применен анализ методов измерения расстояния и определения координат объекта с радиочастотной меткой, установленной на дереве, а также проводилось изучение технологии поиска радиочастотной метки по ее индивидуальному номеру среди множества ей подобных меток в лесу. В работе применили метод *абстрагирования* по выявленным отдельным

признакам точности измерения расстояния, которые не подходили для автоматизированного управления манипулятором ЛЗМ. В результате использовали метод *обобщения* по использованию радиочастотной технологии RFID.

### **Результаты и обсуждение**

Определением координат и измерением расстояния на местности занимаются многие специальности, такие как геодезисты, строители, лесники моряки, летчики и многие другие. В зависимости от поставленных задач используют тот или иной инструмент, который наиболее удобен для данной профессии. Оператору лесозаготовительной машины (ЛЗМ) тоже приходится определять расстояние при наведении пильной головки на манипуляторе ЛЗМ.

Мы предлагаем для наведения манипулятора использовать RFID метки, расположенные на деревьях, выполняющие роль беспроводных датчиков. Каждая метка имеет свой идентификационный номер, а система, установленная на ЛЗМ, в радиусе действия радиосигнала опрашивает RFID метки и вычисляет расстояние до той, которая расположена на спиливаемом дереве.

### *Классификация методов вычисления расстояния и определения координат*

Системы для определения координат положения объекта подразделяются на космические системы и наземные. Кроме популярных систем позиционирования и навигации США и России, таких как GPS (Global Positioning System – Глобальная система позиционирования) и ГЛОНАСС (Глобальная навигационная спутниковая система), существуют национальные системы, такие как Бэйдоу (Китай), Galileo (Европа), IRNSS (Индия), QZSS (Япония) и некоторые другие системы [3].

Все космические системы навигации и позиционирования работают аналогичным образом. Спутники систем навигации периодически посылают в сторону поверхности земли пакеты своих данных с координатами, синхронизированными по времени. Приемники этих систем на Земле принимают пакеты данных и вычисляют свои координаты по долготе и широте. Приемники должны быть датчиками, данные с них передаются по каналу связи оператору ЛЗМ.

Недостаток космических систем навигации и позиционирования заключается в том, что приемники должны работать без перехода в режим ожидания (спящий режим).

Наземные системы определения координат объекта разнообразны по конструкции, принципам работы, методам математического вычисления. В геодезии для построения карт и планов применяют метод триангуляции (полигонометрии), основанный на теореме синусов:  $a/\sin\beta_1 = b/\sin\beta_2$ . Здесь  $a$ ,  $b$ ,  $c$  – это стороны одного из сети треугольников [4]. Если базовая сторона  $b$  (известная величина), то, чтобы определить сторону  $a$ , воспользуемся

теоремой синусов и получим  $a = b (\sin \beta_1 / \sin \beta_2)$ . Для триангуляционного метода необходимы инструменты. Традиционно используются геодезические приборы (нивелиры, теодолиты, тахеометр), но в последнее время применяют приемники ГЛОНАСС и GPS. Есть предположение использовать радиоволны для измерения сторон треугольника на местности.

Метод триангуляции используют в радиолокационных системах для определения координат летящего объекта [5]. В данных системах могут использоваться не только электромагнитные волны лазерного диапазона, но и радиоволны с направленными и фазированными антеннами [6, 7].

Радиочастотный метод лучшим образом подходит для решения наших задач. К обоснованию данному методу относится тот факт, радиоволны способны проникать сквозь древесину ствола дерева и листву.

#### *Использование технологии RFID в лесу для определения координат*

При выборочной рубке деревьев ЛЗМ необходимо проложить маршрут проезда к данному дереву, а для оптимизации решения данной задачи следует определить расстояние, азимут. Радиочастотный метод измерения координат, отмеченный в работе [7], наилучшим образом подходит в системе ЛЗМ–RFID-метка.

Структурная схема поиска RFID-меток, установленных на деревьях, показана на рис. 1. Направленные антенны *Ant.1* и *Ant.2*, установленные на ЛЗМ, сканируют пространство в некотором секторе относительно точки положения пространства леса. Расстояние до обнаруженных RFID-меток вычисляются в контроллере.

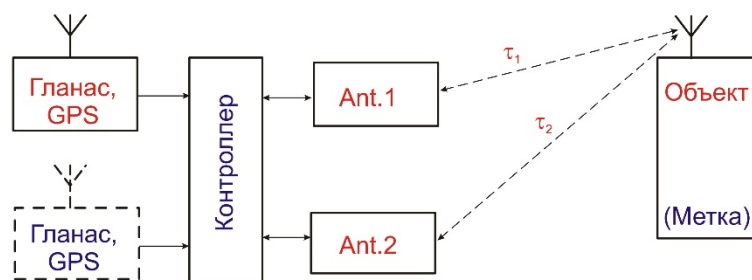


Рис. 1. Структурная схема поиска RFID-меток на участке леса

Модули ГЛОНАСС и/или GPS необходимы для определения первоначальной координаты расположения ЛЗМ с антенны *Ant.1* и *Ant.2*. Для ориентации сторон света необходим электронный компас, на рис. 1 условно не показан. Модулей может быть два (или один) для каждой антенны. Мы считаем, что вполне достаточно одного модуля, работающего со спутниковой навигационной системой ГЛОНАСС или с системой позиционирования GPS [3].

Антенны *Ant.1* и *Ant.2*, вращающиеся или «качающиеся» в определенном секторе, зависят от разработчика системы сканирования и поставленной задачи. Вращающиеся антенны используются для построения круговой диаграммы на местности. Для этого необходима ориентация по компасу.

Для сканирования сектора перед ЛЗМ или на некоторый угол от продольной ее оси используют «качающиеся» антенны с определенным углом отклонения. Такая антенна выдает данные только в секторе сканирования и можно построить диаграмму направленности на участке леса с расположенными там RFID-метками. Для данной системы ориентация по компасу не обязательна. Если ориентация по компасу осуществляется, то это способствует лучшей привязке к электронным картам, построению маршрута следования ЛЗМ.

Схема, поясняющая принцип сканирования RFID-меток на стволах деревьев, показана на рис. 2.

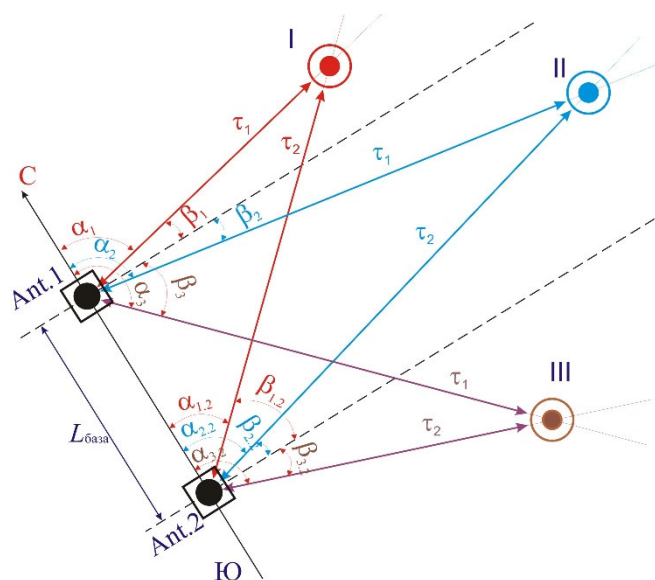


Рис. 2. Схема сканирования RFID-меток, расположенных на деревьях

Антенны *Ant.1* и *Ant.2* расположены на базовом расстоянии  $L_{\text{база}}$ , величина которой определяется поперечными габаритами ЛЗМ и используемыми радиочастотами RFID-меток. Радиочастотный диапазон RFID-меток представлен в таблице [7].

Таблица частот RFID-меток

| Тип метки   | Частотный диапазон   | Конкретные частоты  | Стандарты                             |
|---|----------------------|---|---------------------------------------|
| LF (Low Frequency)<br>(низкая частота)              | 125,0...134,2<br>кГц | 125 кГц,<br>134,2 кГц                                       | ISO 11784/11785,<br>ISO 14223         |
| HF (High Frequency)<br>(высокая частота)            | 13,56 МГц            | 13,56 МГц   | ISO 14443,<br>ISO 15693,<br>ISO 18092 |
| UHF (Ultra High Frequency) (ультра высокая частота) | 860...960 МГц        | 866...868 МГц<br>(Россия/Европа),<br>902...928 МГц<br>(США) | ISO 18000-6C                          |
| NFC (подтип HF)                                     | 13,56 МГц            | 13,56 МГц   | ISO 14443,<br>ISO 18092               |
| Активные метки<br>(Россия)                          | 433 МГц              | 433,92 МГц  | Проприетарные<br>протоколы            |

Из приведенных данных в таблице худшим оказывается использование RFID-меток типа LF с диапазоном 125,0...134,2 кГц, т. к. они работают на взаимном магнитном поле катушек антенн. Остальные типы меток вполне приемлемы.

Из рис. 2 видно, что антенны *Ant.1* и *Ant.2* ориентированы по компасу, что обеспечивает упрощенный расчет координат меток I, II и III, по углам отклонения  $\alpha$  и  $\beta$ . Расстояние вычисляется по времени  $\tau_1$  и  $\tau_2$  прохождения радиосигнала от антенны до RFID-метки и обратно.

Вычисление расстояния по времени распространения радиосигнала можно свести к формуле

$$\Delta S = (\Delta t c) / 2,$$

где  $\Delta S$  – расстояние в метрах;

$\Delta t$  – время прохождения волны;

$c$  – скорость света (299 792 458 м/с).

Более подробно сделано построение расчетной модели в работе [8], а также в работе Т. Кривченко [9], в которой сделан полный анализ специальной навигационной микросхемы nanoLOC.

В приемопередатчик микросхемы nanoLOC встроен контроллер MAC-уровня, который формирует передаваемые данные в пакеты обмена, поддерживает механизм случайного доступа к среде (CSMA/CA – Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance – сетевой протокол для управления передачей данных в общей среде) и механизм временного разделения (TDMA – Time Division Multiple Access – разделение каналов по временное), реализует функцию коррекции ошибок передаваемых данных

(FEC – Forward Error Correction – прямое исправление ошибок) и обеспечивает аппаратное 128-битное шифрование. Работает на частоте 2,4 ГГц.

Для расчета координат необходимы данные угла отклонения  $\sin\alpha$  и  $\sin\beta$ , зависимости от выбранной системы координат и время распространения радиоволн  $\tau_1$  и  $\tau_2$  методом триангуляции. Возникает вопрос о точности определения координат с расчетом расстояния до RFID-метки. Рельеф местности в лесу не идеален, ЛЗМ может стоять не горизонтально, а по некоторым уклоном, как это показано на рис. 3.

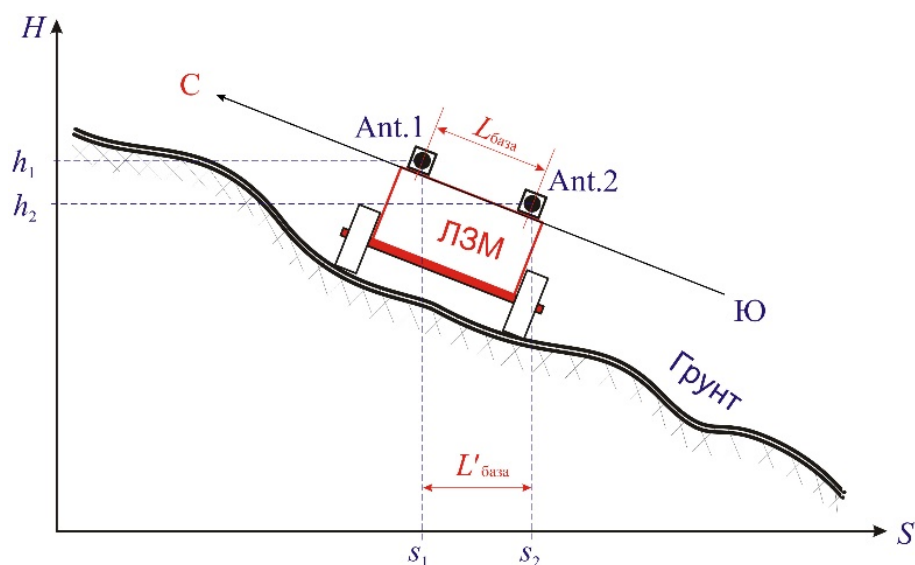


Рис. 3. Влияние уклонов на точность измерения расстояния до RFID-метки

Если при измерении расстояния до RFID-метки используется метод триангуляции, который основан на теореме синусов, то базовый размер  $L_{\text{база}}$  играет существенную роль. Так, при расположении ЛЗМ под уклоном  $L_{\text{база}}$  и  $L'_{\text{база}}$  отличаются друг от друга. В этом случае необходимо скорректировать величину уклона расположения ЛЗМ при расчетах координат и расстояния для RFID-метки.

Таким образом, в работе сделан анализ методов и средств для поредения координат и расчета расстояния между двумя точками на плоскости. Триангуляционный метод определения координат для управления лесозаготовительной машиной при выборочной рубке деревьев вполне приемлем с учетом коррекции на рельеф местности и условий распространения радиосигнала в лесу от *Ant.* до RFID-метки и обратно к *Ant.*

Разработана структурная схема поиска RFID-меток на участке леса с учетом обоснования типа меток по радиочастотному диапазону. Представлена схема сканирования RFID-меток, расположенных на деревьях, и иллюстрация влияния рельефа участка леса на погрешность измерения.

Представлены формулы расчета расстояния по времени и соотношение сторон треугольника по теореме синусов для построения алгоритма расчета координат и расстояния.

#### *Список источников*

1. Макаренко А. В. Эффективность применения лесозаготовительных машин с манипулятором на лесосеке // Известия вузов. Лесной журнал. 2023. № 4. С. 120–135.
2. Перспективные направления развития технологических процессов лесосечных работ / И. В. Григорьев, О. И. Григорьева, А. И. Никифорова, В. М. Глуховский // Труды БГТУ. 2016. № 2. С. 109–116.
3. Хрусталеv Д. GPS – взгляд изнутри. Спутниковая навигация и принципы построения приемников GPS и ГЛОНАСС // Компоненты и Технологии. 2001. № 6. С. 118–120.
4. Обзор алгоритмов триангуляции неявно заданной поверхности / Н. В. Бугров, В. И. Голубев, А. Ю. Дижевский [и др.] // Международная конференция MEDIAS. 2012. С. 1–23.
5. Кудж С. А., Цветков В. Я. Тринитарные системы // Российский технологический журнал. 2019. Т. 7, № 6. С. 151–167.
6. Метод калибровки измерителя на основе фазовой триангуляции для измерений в условиях ограниченного объема с преломлением оптических сигналов / В. О. Зуев, С. В. Двойнишников, И. К. Кабардин, В. В. Рахманов // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2022. С. 86–93.
7. Таблица RFID-меток: частоты, дальность, стоимость и применение 2025 // INNER : [сайт]. URL: <https://clck.ru/3QX43K> (дата обращения: 29.07.2025).
8. Измерение координат источников радиоизлучения многопозиционной пассивной разностно-дальномерной системой произвольной конфигурации / Б. В. Матвеев, В. П. Дубыкин, Д. Ю. Крюков [и др.] // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2014. Т. 10, № 5. С. 114–119.
9. Кривченко Т. Программно-аппаратные методы измерения расстояния по времени распространения радиосигнала при помощи приемопередатчика nanoLOC // Беспроводные технологии. 2012. № 3. С. 48–53.

#### *References*

1. Makarenko A. V. The effectiveness of the use of forest machines with a manipulator in the cutting area // News of universities. Forest Journal. 2023. No. 4. P. 120–135.

2. Promising directions for the development of technological processes of logging operations / I. V. Grigoriev, O. I. Grigorieva, A. I. Nikiforova, V. M. Glukhovskiy // Proceedings of BSTU. 2016. No. 2. P. 109–116.
3. Khrustalev D. GPS – an inside look. Satellite navigation and principles of building GPS and GLONASS receivers // Components and Technologies. 2001. No. 6. P. 118–120.
4. An overview of algorithms for triangulating an implicitly defined surface / N. V. Bugrov, V. I. Golubev, A. Yu. Dizhevskiy [et al.] // International Conference MEDIAS. 2012. P. 1–23.
5. Kudzh S. A., Tsvetkov V. Ya. Trinitarian systems // Russian Journal of Technology. 2019. Vol. 7, No. 6. P. 151–167.
6. A method of calibrating a meter based on phase triangulation for measurements in conditions of limited volume with refraction of optical signals / V. O. Zuev, S. V. Dvoinishnikov, I. K. Kabardin, V. V. Rakhmanov // Interexpo Geo-Siberia. 2022. P. 1–8.
7. Table of RFID tags: frequencies, range, cost and application 2025 // INNER : [website]. URL: <https://clck.ru/3QX43K> (date of accessed: 29.07.2025).
8. Measurement of coordinates of radio emission sources by a multi-position passive difference-rangefinder system of arbitrary configuration / B. V. Matveev, V. P. Dubykin, D. Yu. Kryukov [et al.] // Bulletin of the Voronezh State Technical University. 2014. Vol. 10, No. 5. P. 114–119.
9. Krivchenko T. Software and hardware methods for measuring the distance over the propagation time of a radio signal using a nanoLOC transceiver // Wireless Technologies. 2012. No. 3. P. 48–53.