

ПРОСЛЕДЯВАНЕ И ПОЗИЦИОНИРАНЕ НА ПОДВИЖНИ ОБЕКТИ В ЗАКРИТИ ПРОСТРАНСТВА

Светлин Стефанов, Емилия Димитрова

Svetlin.b@abv.bg

edimitrova@bitex.bg

*Висше транспортно училище „Тодор Каблешков”
гр. София, ул. „Гео Милев” 158
РЕПУБЛИКА БЪЛГАРИЯ*

***Ключови думи:** навигационни системи, позициониране, локализация на подвижен железопътен състав*

***Резюме:** С развитието на републиканската железопътна мрежа като част от европейския проект за единна Европа е необходимо внедряване на система за контрол управление на железопътния трафик, която позволява трансгранична оперативна съвместимост. За осигуряване на по-висока скорост на движение се налага да бъдат изградени редица тунели, вследствие на което се появява необходимост от проследяване и позициониране на подвижния железопътен състав в закрити пространства.*

В настоящия доклад са разгледани и анализирани възможностите за проследяване на подвижен състав при преминаването му през закрити пространства чрез използване на различни методи за измерване на разстоянието: по ниво на сигнала, фаза на сигнала и време на разпространение на сигнала. Проследяването на подвижния състав в тунелите ще осигури определянето на точното местоположение. При възникване на аварийни състояния и критични ситуации ще може да се реагира бързо и адекватно поради наличието на информация за точната локация на подвижния състав.

Локалната система за позициониране ще бъде допълнение към Европейската система за управление на железопътния трафик (ERTMS) и ще допринесе за по-висока безопасност и надеждност при движението на подвижния състав в закрити пространства.

ВЪВЕДЕНИЕ

Наред със сателитни системи за глобално позициониране, има нужда и от системи за локално позициониране, които се използват, когато сателитни сигнали не са налични и за решаване на проблеми, изискващи определяне само на относителни разстояния.

Основната операция в локалните системи за позициониране е измерване на разстоянието безжично. Тази задача традиционно се изпълнява от радиолокационни станции, които се използват за радио засичане на обекти чрез анализ на радиовълните, отразени от самия обект. Традиционните радары използват основно пасивно отражение на радиосигналите. Те не са подходящи за масово използване, защото са скъпи и използват специално разпределени честоти. Съвременните безжични технологии предлагат решения за масово приложение. Те използват честотни диапазони, за които не

е необходимо специално разрешение. В същото време на обектите за наблюдение се поставят приемо-предавателни устройства, които улесняват задачата за позициониране. Те използват един от следните методи за измерване на разстоянието:

- По ниво на сигнала;
- По фаза на сигнала;
- По време на разпространение на сигнала.

Направен е сравнителен анализ на различни системи за позициониране в закрити пространства с цел определяне най-подходящия вариант.

МЕТОД ЗА ИЗМЕРВАНЕ НА РАЗСТОЯНИЕ ПО НИВО НА СИГНАЛА

Този метод е най-достъпен, защото почти всички приемо-предаватели измерват нивото на входния сигнал и връщат параметър Received Signal Strength Indicator RSSI [1, 2]. Безжичните мрежови интерфейсни карти използват RSSI за наблюдение на силата на радио сигнала и за проверка на други устройства, предаващи по същия канал. Ако сигналът падне под определено ниво, повечето устройства ще се опитат да открият и да се свържат към нова точка за достъп с по-силен сигнал [3]. Този метод е най-малко точен и е базиран на инфраструктурата на Wi-Fi точки за достъп. Използва се и друг стандарт за измерване на разстояние BLE (Bluetooth Low Energy), за да бъде подобрена точността на системите за локализация, но често се налага извършването на трудоемки операции за калибрирането на всеки обект [2].

МЕТОД ЗА ИЗМЕРВАНЕ НА РАЗСТОЯНИЕ ПО ФАЗА НА СИГНАЛА

Приемо-предавателите работят на честота 2,4 GHz и са снабдени с фазово измервателно устройство (фиг. 1). Задачата на метода е да бъде измерена фазовата разлика на пристигащия сигнал при две различни честоти. За да се увеличи точността на измерването, тази операция се повтаря многократно в честотния диапазон 2,4 ÷ 2,448 GHz и след това резултатите от всички измервания се осредняват по формулата:

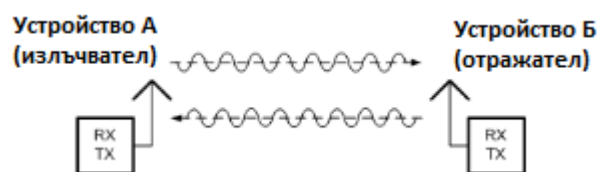
$$(1) \quad D = \frac{c}{4 \cdot \pi} \cdot \frac{-1 \cdot \sum_{n=1}^{N-1} \Delta\varphi_n}{(N-1) \cdot \Delta f}$$

където:

$\Delta\varphi_n$ – фазова разлика;

Δf – честота на сигнала;

N – брой измервания.



Фиг. 1. Връзка между приемо-предавателните устройства
(и двете устройства са снабдени с модули за приемане RX и модули за излъчване TX)

Времето за измерване е в периода 45 ÷ 140 ms в зависимост от броя на избраните честоти за усредняване. Този метод е подходящ за използване при преместване на малък брой обекти. Точността е от 0,50 до 2,00 m в зависимост от околната среда. Най-голяма грешка в позициониране внася многостранното разпространение на сигнала. Тази грешка може да се компенсира до определена степен с пространствено разнесени антени или с кръгово поляризиращи антени [2].

МЕТОД ЗА ИЗМЕРВАНЕ НА РАЗСТОЯНИЕ ПО ВРЕМЕТО ЗА РАЗПРОСТРАНЕНИЕ НА СИГНАЛА

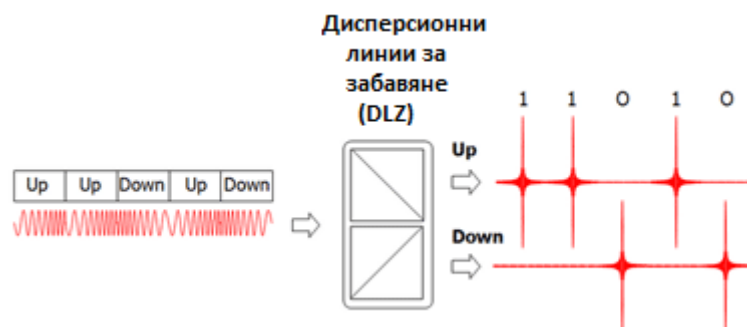
Този метод може да намали времето за измерване и да повиши точността, като намали грешката. При него грешката се намалява с увеличаване ширината на спектъра на сигнала. Технологията се използва в комуникациите, радарите, измерването на разстоянието и позиционирането. Това се осигурява чрез предаване на къси импулси, широколентов характер. Идеалният импулс (вълна с ограничена амплитуда и безкрайно кратка продължителност), както показва анализът на Фурие, осигурява безкраен пропускателен диапазон. Сигналят UWB (Ultra-Wide Band) не е като модулирани синусоиди, но наподобява серия от импулси [4]. Има два типа приемо-предаватели, които са описани в стандарта IEEE 802.15.4-2011. Това са кодиращи приемо-предаватели, които работят в обхвата 2,4 GHz, и приемо-предаватели UWB, които работят в обхвата 3,5 ÷ 9,5 GHz. UWB приемо-предавателите имат най-широката лента 500 или 1000 MHz и свеждат грешката до около 10 cm [2].

Предимства на технологията: надеждна работа, висока точност, устойчивост на многослойно затихване.

Ограничения: сложността на създаването на предавател със значителна мощност (типичната мощност е 50 μ W, най-мощната е 10 mW) [4].

Съществуват и недостатъци, като ограничение на мощността, която може да използват [2].

Тези устройства осъществяват CSS (Chirp Spread Spectrum - ISO24730-5) кодиране. Модулацията е патентована от Semtech, при нея разширяването на спектъра се постига чрез генериране на чирп (chirp) сигнал, който променя непрекъснато честотата си [5]. В основата на този метод се прави компромис между скоростта на предаване на данни, чувствителността на приемника, мощността и обхвата, като по този начин се оптимизира производителността на мрежата във фиксирана честотна лента [6]. Тези приемници използват входен съгласуващ филтър и преобразуват LF (Low Frequency) импулсите в много тесни SYNC импулси и определят времето на пристигане с точност до наносекунда. Това дава възможност за определяне на разстояния до 30 cm. Поради многопътното разпространение на сигнала, на практика грешката достига до 1 – 2 m [2].



Фиг. 2. Чирп кодиране. Up – импулс за повишаване на честота.
Down – импулс за понижаване на честота

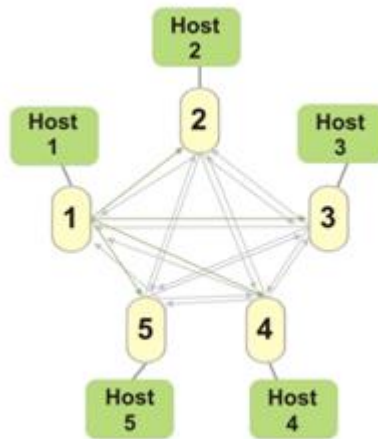
ЛОКАЛНИ СИСТЕМИ ЗА ПОЗИЦИОНИРАНЕ

Могат да се разграничат два основни типа локални системи за позициониране:

- системи с измерване на относителни разстояния между възлите и
- системи за определяне на абсолютни координати [2].

Локална система за позициониране може да бъде изградена във форма на пчелна клетка (фиг. 3). Тя осигурява приблизително 50 измервания в секунда [2]. Може да се използва както за изграждане на системи за измерване на относителни разстояния между

възлите, така и в система за определяне на абсолютни координати. Възможно е също така да се изградят комбинирани системи за локализация, в които абсолютните координати на всички мобилни обекти се определят на сървъра за локализация, докато самите мобилни възли могат допълнително да измерват разстоянията помежду си [7].



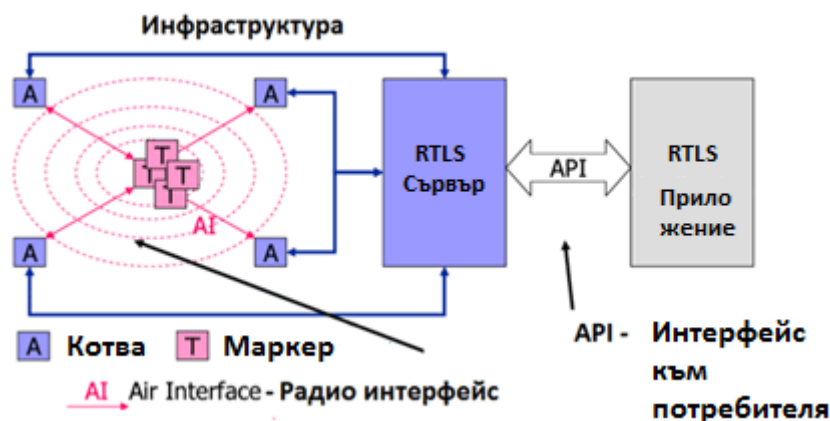
Фиг. 3. Примерна топология на система за позициониране с относителни координати (Host - приемник)

При системите за определяне на абсолютни координати винаги има неподвижни възли (котви) с известни координати, които са референтни точки.

Позиционирането с технологията „близко поле“ (Near-field Electromagnetic Ranging – NFER) използва предаватели на етикети и един или повече приемници. В NFER системите котвите, намиращи се на разстояние, измерват фазовите отношения между ЕН компонентите на електромагнитното поле, излъчвано от етикета (Е и Н са съответно електрическа и магнитна, открити са от Hertz и формулирани от Maxwell) [9]. Тъй като фазовата разлика варира от 90° в близост до излъчващата антена до 0° при разстояние от половин вълна, дължината на полувълната определя радиуса на системата. При честота от 1 MHz дължината на вълната е 300 m, а радиусът на действие е 150 m, при честота 10 MHz – съответно 30 и 15 m. Действителната точност на позициониране е около метър на разстояние до 30 m. Сравнително ниската честота на радиовълните улеснява преминаването им в сложни производствени среди. Радиовълните обикалят препятствия и трудно се отразяват. Следователно технологията NFER има предимства в конфигурация на помещението с много препятствия. Недостатъкът на системата NFER е свързан с ниската ефективност на антената. За ефективна работа антената трябва да е съизмерима с дължината на вълната. В действителност размерът е стотици пъти по-малък, което изисква увеличаване на мощността на предавателя и съответно размерите и теглото на етикетите [4].

Системата за локално разположение RTLS (Real-time Locating Systems) използва най-икономичния метод за изчисляване на позицията, който се основава на разликата във времената на пристигане на сигналите (TDoA), фиг. 4.

Мобилен маркер с даден интервал излъчва идентификационен сигнал, а синхронизираните котви записват времето на пристигане и изпращат резултатите на сървър. Използвайки тези данни и система от уравнения, може да се изчисли както времето на излъчване на сигнала от маяка, така и координатите на мобилния маркер [2].



Фиг. 4. Примерна топология на системата за локално разположение RTLS

ИЗВОДИ

При изграждането на железопътен участък с внедряване на ERTMS е предвидено инсталирането на оптичен кабел по цялата линия. Няма да представлява трудност да се изгради система за позиционирането на влака в тунелите, защото може да се използва вече инсталирания кабел.

Проследяването на подвижния състав в тунелите ще осигури определянето на точното местоположение.

При възникване на аварийни положения или критични ситуации [8] ще може да се реагира бързо и адекватно поради наличието на информация за точната локация на подвижния състав.

Локалната система за позициониране ще допълва ERTMS и допринася за високата безопасност и надеждност при движението на подвижния състав в закрити пространства.

След анализ на разгледаните системи най-подходящата за използване е RTLS (Фиг. 4). От икономическа гледна точка е най-евтината за изграждане. Лесна е за изпълнение като топология и е ефикасна при работа.

ЛИТЕРАТУРА:

- [1] Dimkina E., Dimitrov V., Cherneva G., Examination of Synchronization of Communication Chaotic Systems by Simulink Simulation, 5th Int. Conf. EpsMsO, Athens, Greece, 3-6 July, 2013, Proceedings, Vol. I, ISBN: 978-618-80527-1-0, pp. 218 – 221
- [2] <http://www.wless.ru/technology/?tech=11>
- [3] <http://bg.whycomputer.com/Network/100205999.html>
- [4] <https://habr.com/ru/post/157619/>
- [5] Semtech, LoRaTM Modulation Basics, AN1200,22
- [6] Chirp Spread Spectrum (CSS), nanotron's Technology, <http://nanotron.com>
- [7] http://wless.ru/technology/?action=details&id=582&pf=tech&pf_id=11&prod=13&tech=11&type=52
- [8] Dimitrov V., L. Popov, Identification of significant movement parameters of trains powered by electric locomotive series 45, Acad. Journal Automatics and Informatics, Issue 2/2018
- [9] https://en.wikipedia.org/wiki/Near-field_electromagnetic_ranging

TRACKING AND POSITIONING OF MOVING OBJECTS IN INDOOR PLACES

Svetlin Stefanov, Emiliya Dimitrova

Todor Kableshkov University of Transport

Sofia, 158 Geo Milev Str.

THE REPUBLIC OF BULGARIA

Keywords: *navigation systems, positioning, localization of a railway rolling stock*

Abstract: *With the development of the national railway network as part of the European project for a united Europe, it is necessary to implement a control system for railway traffic management, which allows cross-border interoperability. In order to ensure a higher speed of movement, it is necessary to build a number of tunnels, as a result of which there is a need to track and position the rolling stock in closed spaces.*

This report examines and analyzes the possibilities for tracking the rolling stock as it passes through indoor spaces using different distance measurement methods: by signal level, signal phase and signal propagation time. Tracking the railway rolling stock in the tunnels will ensure the determination of the exact location. In case of emergencies and critical situations it will be possible to react quickly and adequately due to the availability of information about the exact location of the rolling stock.

The local positioning system will be a complement to the European Rail Traffic Management System (ERTMS) and will contribute to higher safety and reliability in the movement of rolling stock as it passes through indoor spaces.