

ANALYSIS OF LOCATION METHODS FOR IMPROVING THE USE OF THE ELECTROMAGNETIC SPECTRUM

Slavov S. Delyan, Atanasova K. Alexandra, Dimov S. Dimitar

Communication Networks and Systems Department, Artillery, Air Defense Communication and Information Systems Faculty, National Military University „V. Levski”, Shumen, Bulgaria

slavovd@yahoo.com _atanasova_aleksandra@abv.bg, dimcata99@abv.bg

АНАЛИЗ НА МЕТОДИТЕ ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НА МЕСТО- ПОЛОЖЕНИЕ ЗА ПОДОБРЯВАНЕ ИЗПОЛЗВАНЕТО НА ЕЛЕКТРОМАГНИТНИЯ СПЕКТЪР

Делян С. Славов, Александра К. Атанасова, Димитър С. Димов

Катедра „Комуникационни мрежи и системи“, факултет „Артилерия, противовъздушна отбрана, комуникационни и информационни системи“, гр. Шумен, България

slavovd@yahoo.com , atanasova_aleksandra@abv.bg, dimcata99@abv.bg

Abstract: *This paper analyses the advantages and disadvantages of the basic principles of radio direction finding and the most commonly used direction finding methodologies. The substantiated conclusions can be useful in the development of new radio-communication systems, possessing very high information transmission rate and low latency.*

Keywords: *Direction finding, Watson-Watt, Doppler direction finding, Correlative interferometry*

І УВОД

Съвременните комуникационни системи се характеризират с високи скорости на предаване на информацията и ниска латентност. Тези важни работни характеристики се постигат чрез използване на различни технологии [3] за множествен достъп до ограничения природен ресурс - радиочестотния спектър. В тази връзка следва да се отбележи, че усвояването на „нови“ честотни ленти на този етап се ограничава до зони с малък радиус. Ето защо ефикасното използване на традиционните честотните ленти, определени от регулаторните органи, е актуален научно-приложен проблем.

От друга страна, редица изследвания в областта на радиочестотния спектър показват, че традиционното статично разпределение не осигурява необходимата гъвкавост и ефективно използване, поради което в някои части от него се наблюдава свръх използване, а в други неизползвани или слабо натоварени части. Най-общо тези места се класифицират [4], като:

- Пространствени дупки – представляват разликата в използването на някои честоти от първични потребители в даден географски регион.
- Времеви дупки – представляват използваемостта на честотните ресурси за определени часове от денонощието.
- Спектрални дупки – представляват дупки или бели места в спектъра, които могат да се дължат на вида на използваната модулация от първичните потребители, дефинирани защитни интервали с цел избягване на интерференция в клетъчни мрежи и др.

За да е възможно изчисляването на конкретни параметри в мрежа с централизирана йерархия, някои приложения на безжичните когнитивни мрежи изискват сензорните възли да са наясно с тяхното положение спрямо сензорната мрежа. В литературата този проблем за определяне на местоположението или позицията на потребител се нарича локализация.

В тази връзка проблемът с определянето на местоположението или посоката на излъчване на даден потребител е ключов по отношение на услугите, базирани на местоположение.

В настоящия доклад по-подробно ще бъдат разгледани методите за откриване на източници на електромагнитни излъчвания и съставяне на карта на местността показваща посоката на излъчване.

II. ОПРЕДЕЛЯНЕ ПОСОКАТА НА ИЗТОЧНИК НА ЕЛЕКТРОМАГНИТНО ИЗЛЪЧВАНЕ

Най-общо под термина „определяне на посока“ се отнася до използването на специализирани инструменти, антени и методи за определяне на физическото или географското местоположение на излъчвател, тоест източник на радиочестотна енергия.

Изискванията за точност варират според различните приложения. Например, намирането на бедстващ кораб при добро време в открито водно изисква точност от няколко стотин метра, докато филтрирането на източници на радиочестотни смущения изисква точност от няколко метра или по-малко. Допълнително усложняване на задачата за определяне на местоположението е наличието на източници на скрито излъчване или използващи сложни сигнали в широка честотна лента.

През последните години се наблюдава бурно развитие на безжичните мрежи, базирани на когнитивно радио, което позволява използването на различни подходи за определяне на местоположението.



Фиг. 1. Класификация на методите за определяне на местоположение [2]

Основните методи за определяне на местоположението на неизвестните предаватели са трилатерация (използва три известни разстояния) и триангулация (базира се на информацията за една отсечка (база) и прилежащите към нея ъгли).

Триангулацията е просто математическо изчисление, чиято точност е изцяло функция от точността на определените ъгли използвани за нейното изчисляване. Първоначално процеса се е

извършвал ръчно посредством мобилна антена, приемник и оператор при което се търси най-силното ниво на сигнала, но тогава има силна зависимост от човешкия фактор – умения на оператора и получаването на неверни резултати вследствие на многолъчевото разпространение.

В съвременния етап на развитие на безжичните комуникации се използват автоматични способи, при които недостатъците на ръчния способ се елиминират и позволява постигане на висока точност.

Методите за определяне на посока се базират на основните параметри на едно хармонично трептене (амплитуда, честота или фаза.)

Предвид на изложеното, оценката на някои или няколко от параметрите на постъпващите в антената сигнали е важна от гледна точка на задачата за определяне на местоположение. Известни са следните подходи [5]:

➤ Мощност на приетия сигнал (RSS- Received Signal Strength) - силата на постъпилия в приемната антена сигнал;

➤ Време на пристигане (ToA). Разстоянието между предавателя и приемника се равнява на “времето на полет”, т.е. времето за предаване на сигнали, които се разпространяват със скоростта на светлината (за вакуум). Разстоянието може да се определи чрез измерване на времето на пристигане (ToA – Time of Arrival) на сигнала в приемника, когато съществува синхронизация между предавателя и приемника;

➤ Разлика във времето на пристигане (TDoA-Time Diference of Arrival) – използва се разликата във времената на приетите сигнали от различни точки с предварително известни координати;

➤ Ъгъл на постъпване (AoA) - представлява техника за обработка на сигнала, която извършва оценка на местоположението на постъпващите от кореспондента електромагнитни вълни; Определяне на ъгъла (азимута) на посоката на разпространение на носещата честота на източника на радиочестотната енергия се използва при метода AoA.

➤ Време за пълно разпространение (RToF) – измерва се времето за разпространение по линията предавател – приемник – предавател и е аналогично на ToF, при което се измерва времето по линията предавател – приемник, а предимството се изразява във възможността на (RToF) за по-точно определяне на времето при по-големи допустими отклонения в синхронизацията на приемника [7].

➤

1. Мощност на приетия сигнал

Под ниво на мощността ще се разбира измерване на нивото на получената радиочестотна енергия за дадено местоположение. От теоретична гледна точка определяне на интензитета на електрическото поле може стане според формула (1) на идеалния радиопредавател. При това локализацията на излъчвател се извършва чрез просто преместване на приемника и измерване на полученото радиочестотно ниво, като се отбелязва местоположението и създава карта 0 на отчетените точки, както е показано на фиг. 1.

$$E = \frac{\sqrt{30 P_t G_t}}{d} F, \quad (1)$$

където P_t и G_t са съответно мощността и усилването на антената, d е разстоянието, а F отразява затихванията на електромагнитните вълни в средата за разпространение.



Фиг. 1: Локализация на излъчвател чрез определяне интензитета на електрическото поле

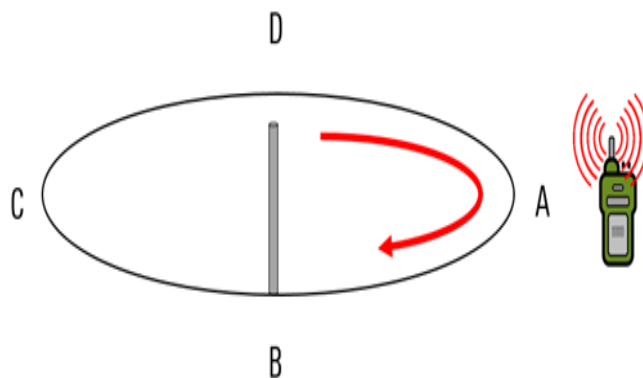
Строго погледнато този метод не използва определяне на посоката, от която постъпват сигналите на излъчвателя.

2. Определяне на посока чрез ефекта на Доплер

Доплеров ефект се нарича промяната на приеманата от наблюдателя честота и дължина на вълната, когато източникът и/или наблюдателят (приемникът) се движат по направление един към друг. Честотата се увеличава, когато източникът и наблюдателят се доближават и намалява, когато се отдалечават [6]. Този ефект може да бъде използван за определяне на посоката, ако такова отместване потвърди приближаване или отдалечаване от източника на сигнал. За целта е необходимо приемника (по-точно антената) да се премести по такъв начин, че да се създаде измеримо Доплерово отместване.

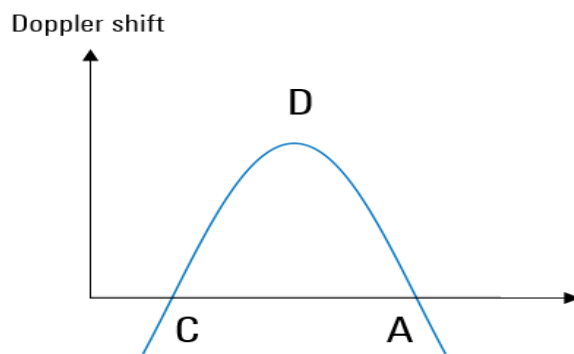
Предизвикателства по отношение на този подход са как да се определи дали предавателят е неподвижен и дали е възможно и практично приемникът да бъде преместен така, че да се създаде Доплеров ефект.

Решение на този проблем е използването на антена, монтирана на въртящ се диск (фиг. 2).



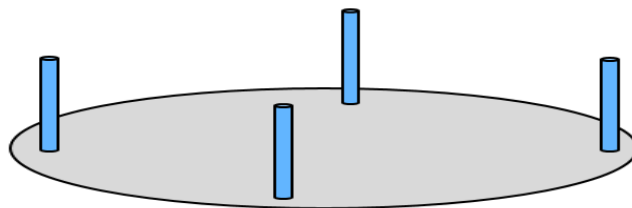
Фиг. 2: Антена, монтирана на въртящ се диск

Докато дискът се върти, антената се приближава и отдалечава от предавателя. В позиции A и C (фиг. 2) антената е неподвижна спрямо предавателя - тоест антената нито се движи към предавателя, нито се отдалечава от него. Това означава, че Доплеровото отместване е нула в позиции A и C. В позиция B има максималната скорост, отдалечаваща се от предавателя, а в позиция D, има максимална скорост, движеща се към предавателя. Създава се така наречената Доплерова синусоида, която има максимум, когато антената е в позиция D, с нулеви пресичания в позиции C и A. Второто нулево пресичане в точка A представлява позицията или ъгъла, който сочи към предавателя.



Фиг. 3: Доплерова синусоида

Проблем при практическата реализация на посочения способ е твърде високата скорост на въртене, необходима за създаване на измерим Доплеров ефект. Възможно редуциране на този проблем е използване на по – голям брой антени обикновено четири и бързо превключване между тях. Всяка от антените се използва за генериране на поредица от Доплерови импулси и използва тази информация, за да синтезира Доплерова синусоида (фиг. 4).



Фиг. 4: Синтезиране на Доплерова синусоида с четири антени

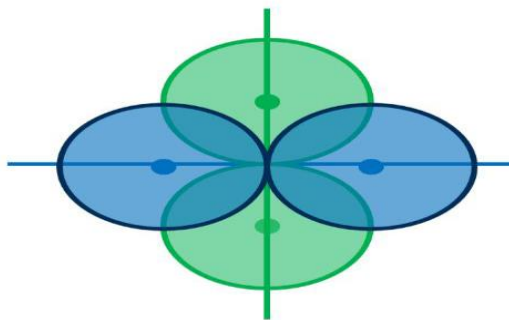
Възможно е да бъде създадена антенна решетка с повече от четири антенни елемента и изходната синусоида ще бъде по-точна, но само ако се увеличи и диаметъра на антенната решетка. За покриване на по-широки честотни диапазони е необходим набор от различни по размер антени за ВЧ и СВЧ.

Определянето на посока на излъчване чрез ефекта на Доплер е с относително ниска цена в сравнение с други автоматични методи, но са подходящи за само за непрекъснати сигнали, но не и шумоподобни сигнали. Недостатък е и зависимостта от вида на поляризацията и поради тези причини най – често не се използват самостоятелно или само за груба оценка.

3. Уотсън-Ват

Методът е предложен от сър Робърт Александър Уотсън-Ват и се базира на информацията, съдържаща се в амплитудата на носещите честоти и антена, състояща се от четири еквилидистантни директорни антени [6], при което е възможно създаване диаграми съставлящи осем фигури.

Максимална чувствителност се постига при постъпване на входни сигнали по оста на антените и минимална чувствителност при перпендикулярно разположените на тази ос антени. За постигане на оптимална чувствителност трябва да се намери компромис между разстоянието между елементите и е възможно получаване на неопределеност при постъпване на сигнали при азимуты $45^\circ, 135^\circ, 225^\circ, 315^\circ$ тъй като се получават еднакви стойности по двете оси.



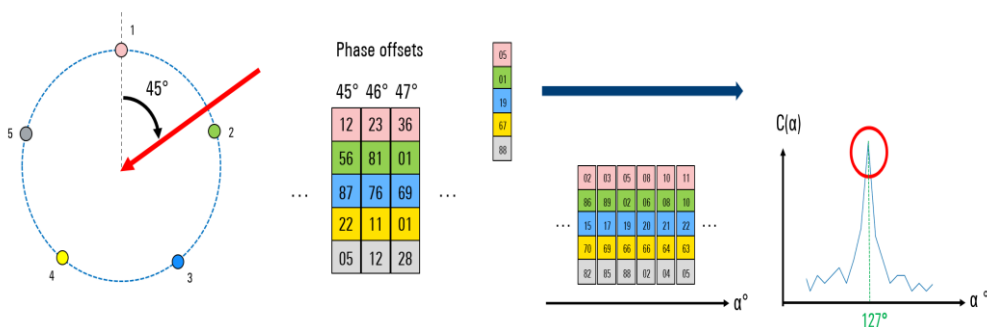
Фиг.5: Еквидистантни директорни антени, използвани при метода Уотсън-Ват

Основни недостатъци на метода Уотсън-Ват са силната зависимост от нивата на смущенията и бързо влошаване на точността при разлика във височината на приемната антена и предавателни антени.

4. Корелационни интерферометри

Методите, базиращи се на корелационни интерферометри, използват информацията относно промяната на фазата на получения сигнал и определят ъглите чрез изчисляване на разликите във фазата на получените сигнали, като обикновено се използват нечетен брой антенни елементи, подредени в кръг.

За да бъдат обяснени принципите на корелативната интерферометрия ще бъде даден пример с антена решетка с пет елемента поставени в кръг, като антена 1, е обозначена като референтен канал. Когато сигнал постъпи в антенна решетка под даден ъгъл, например 45 градуса, измереният сигнал ще бъде изместен по фаза при всеки от петте антенни елемента. Извършва се процес на калибриране за всеки референтен ъгъл от 0 до 360 градуса с определена стъпка. Корелацията между измерените фазови отмествания и калибрираните или идеалните фазови отмествания се изчислява за всеки ъгъл, при което е възможно определянето на пик, от който може да се изведе ъгълът на приемане.



Фиг. 6. Определяне на ъглите чрез корелация с референтни фазови стойности

При този метод е възможно създаване на антенни решетки с малки размери и възможност за покриване на много широки честотни диапазони над 1 GHz, но това е за сметка на намаляване на точността в условия на отражения и многолъчево разпространение, които предизвикват вариации във фазата на получения сигнал.

От критично значение е точността при изработване и разполагане на елементите и спазване на допустимите отклонения.

Въпреки сложността за изработка на интерферометрични антени решетки и високи разходи този метод осигурява следните предимства:

- много висока точност - тъй като се сравняват фазовите разлики на множество елементи едновременно този метод предлага много висока защитеност от многолъчевост в сравнение с другите методи;
- Не се влияе от поляризацията на приеманите сигнали;
- Не се влияе от разликата между нивото на предавателната и приемна антени.

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Информацията за разположението на източниците на електромагнитно излъчване е от ключово значение за подобряване използването на електромагнитния спектър. Методите за определяне на местоположение на базирани се на ъгъла на постъпване в антената (информацията за изменение на фаза, амплитуда или честота) имат значителни предимства пред тези за измерване на приетата мощност, но трябва да се отчитат и характеристиките на изследваните сигнали, влиянието, което средата оказва (многолъчевост), тяхната сложност и разходи за внедряване. Възможно е подобряване на точността и някои ограничения при използване на хибридни методи за оценка.

References

- [1] Ангелов К., (2018), „Енергетично индуцирани смущения при услугите от службата за стереофонично радиоразпръскване“, Габрово, Международна научна конференция „Унитех“
- [2] Беджев Б., Неделчев, М.,(2020), „Подход за приложение на информацията за пространственото разположение на потребителите за подобряване на използването на електромагнитния спектър“, Шумен, Международна научна конференция „Отбранителни технологии 2020“, ISSN 2367-7902, стр.253-259
- [3] Неделчев М. (2019), „Анализ на взаимодействията на мрежовите функции в 4G и 5G мрежите посредством софтуерно дефинирани мрежи“, Велико Търново, Годишник на НВУ „Васил Левски“, част I, ISSN 1312 6148
- [4] Неделчев М. (2019), „Обзор на техниките за следене на честотния спектър“, Велико Търново, Годишник на НВУ „Васил Левски“, част I, ISSN 1312 6148
- [5] IEEE Communications Surveys & Tutorials,(2016) ,“ *Recent Advances in Indoor Localization: A Survey on Theoretical Approaches and Applications*“, <https://www.researchgate.net/publication/311167066>
- [6] Rohde & Schwarz ,“*An Introduction to Direction Finding Methodologies*“, <https://www.rohde-schwarz.com/direction-finding>
- [7] Spectrum Monitoring with Hybrid AOA/TDOA Geolocation,(2014), White Paper, https://cdn.rohde-schwarz.com/us/campaigns_2/a_d/Spectrum-Monitoring-with-Hybrid-AOA-TDOA-Geolocation.pdf

БЛАГОДАРНОСТИ

Тази статия е резултат от работата по проект „Анализ и приложения на методите за оценка натовареността на електромагнитния спектър“, финансиран от Национален Военен Университет – Велико Търново, Факултет “Артилерия, ПВО и КИС”.