

## OVERVIEW OF ELECTROMAGNETIC INTERFERENCE IMPACT OVER WIRELESS SYSTEMS FOR CONTROL AND DATA ACQUISITION ADOPTING LORA™ TECHNOLOGY

## ОБЗОР НА ВЪЗДЕЙСТВИЕТО НА ЕЛЕКТРОМАГНИТНИ СМУЩЕНИЯ ВЪРХУ БЕЗЖИЧНИТЕ СИСТЕМИ ЗА СЪБИРАНЕ НА ДАННИ, КОНТРОЛ И УПРАВЛЕНИЕ БАЗИРАНИ НА LORA™

**Kamen Valkov, Tsveti Hranov and Ivo Dochev**

K. Valkov is with the Faculty of Telecommunications at Technical University of Sofia, 8 Kl. Ohridski Blvd, Sofia 1000, Bulgaria, e-mail: [valkov.k@gmail.com](mailto:valkov.k@gmail.com)

Ts. Hranov is with the Faculty of Electronic Engineering and Technologies, at Technical University of Sofia, 8 Kl. Ohridski Blvd, Sofia 1000, Bulgaria, e-mail: [chranov@tu-sofia.bg](mailto:chranov@tu-sofia.bg)

I. Dochev is with the Faculty of Telecommunications at Technical University of Sofia, 8 Kl. Ohridski Blvd, Sofia 1000, Bulgaria, e-mail: [idochev@tu-sofia.bg](mailto:idochev@tu-sofia.bg)

**Камен Вълков, Цвети Хранов и Иво Дочев**

К. Вълков факултет по Телекомуникации, Технически Университет София, бул. „Св. Кл. Охридски“ 8, София 1000, България, e-mail: [valkov.k@gmail.com](mailto:valkov.k@gmail.com)

Ц. Хранов факултет Електронна техника и технологии, Технически Университет София, бул. „Св. Кл. Охридски“ 8, София 1000, България, e-mail: [chranov@tu-sofia.bg](mailto:chranov@tu-sofia.bg)

И. Дочев факултет по Телекомуникации, Технически Университет София, бул. „Св. Кл. Охридски“ 8, София 1000, България, e-mail: [idochev@tu-sofia.bg](mailto:idochev@tu-sofia.bg)

**Keywords:** Electromagnetic interference, susceptibility, LoRa™, IoT

*Резюме – Електромагнитните смущения са една от основните причини за възникване на проблеми, от моментни прекъсвания до откази на системи, в безжичните електронни устройства. Този доклад представя обзорен преглед на смущенията възникващи в 868MHz честотен обхват. Докладът се фокусира върху една от новите безжичните технологии LoRa™ специално разработена, за нуждите на постоянно нарастващия IoT. В доклада представен обзор на очакваното влошаване в производителността на безжичната система в резултат от възникване на смущения, разгледани са различни примерни сценарии базирани на публикувани резултати в литературата.*

*Abstract – Electromagnetic interference (EMI) causes a wide spectrum of difficulties including momentary, minor inconveniences to system failures in wireless electronic devices. This paper gives a review of the interference problem in 868MHz ISM Band. It focuses on one of the newly presented wireless technologies LoRa™ a technology especially developed to serve the need of the constantly growing IoT. This paper examines several interference scenario examples and provides an overview of the expected performance deterioration which is resulting from interference based on several published results in literature.*

## 1. УВОД

Все повече хора в своя начин на живот, особено по време на работа, са информационно зависими - да получават актуална информация за околния свят в точния момент. За да задоволят тази нужда различни фирми са се специализирали в производство на многообразни портативни и вградени информационни устройства, като например преносими компютри, таблети, смартфони, мобилни POS терминали, радио-честотни значки за контрол на достъп както и все по популярните интелигентни устройства за носене. В същото време, последните постижения в електрониката – повишаване точността на измервателни сензори, високата степен на интеграцията и електронната миниатюризация са направили възможно производството на различни електронни устройства, разполагащи с достатъчна изчислителна мощ и безжични комуникационни възможности, които създават и обособяват индивидуални интелигентни среди, където множество от сензори и други електронни комуникационни устройства координират създаването на мрежа и обмена на данни в нея [1],[2],[8]. Всички тези безжични устройства трябва да отговарят на специални изисквания към комуникационния протокол, който използват за обмен на данни, както и към електронния им дизайн, някои от тях се отличават с ниска консумация на енергия, често създаване и разпадане на комуникационни връзки в мрежите, които обслужват и др.

Постоянно нарастващият брой на безжични системи за контрол и управление както и увеличаващият се интерес към интелигентните устройства за носене, обслужващи главно нуждите на Интернетта от неща (IoT), са основните предпоставки за проблеми свързани с недостиг на наличния радио честотен спектър и изискват висока ефективност при споделянето му между различни безжични решения и мрежи [7],[11]. Поради своята почти глобална достъпност - 2.4 GHz нелицензираният радио честотен обхват с индустриално, научно и медицинско (ISM) приложение представлява подходяща честотна лента, за безжични решения предназначени за безжични персонални (WPAN) и локални мрежи (WLAN) [4],[5],[10]. В последните години 2.4GHz честотна лента е силно "пренаселена", защото в нея функционират голям брой безжични технологии, някои от най-популярните от тях са: WiFi (IEEE 802.11 a/b/g/N), Zigbee (IEEE 802.15.4) и Bluetooth (IEEE 802.15.1 ) [3],[9],[6]. Поради това, новите устройства се опитват да усвоят различна част от ISM честотната лента например честотните диапазони 868MHz и 433MHz. В последно време все по-предпочитана и полярна за много безжични устройства и решения е 868MHz ISM честотна лента, където намират приложение множество устройства обслужващи основно нуждите на постоянно нарастващият интернет на нещата устройства както и интелигентните мрежи.

В таблица 1 по-долу е направена съпоставка на различни безжични технологии, които работят на тази честота:

Таблица 1.

Безжична Технология	802.11ah	ZigBee	LTE-M	Sigfox	LoRa™
Чувствителност	-106 dBm	-100 dBm	-117 dBm	-126 dBm	-148 dBm
Покритие в I=Закрита, O=Открита среда	O: 700m	O: 150m	2km градска	2km градска	>5km градска
	I: 100m	I: 30m	20km извън градска	20km извън градска	>15km извън градска
Скорост на предаване на данни	100kbps	250 kbps	1 Mbps	600 bps	5,468 bps
Консумация на ток в режим на изпращане на данни - TX	300 mA 20 dBm	35 mA 8 dBm	800 mA 30 dBm	120 mA 20 dBm	40 mA 14 dBm
Консумация на ток в режим на Standby	NC	0.003mA	3.5mA	0.001mA	0.0099mA
Консумация на ток в режим на приемане на данни - RX	50 mA	26 mA	50 mA	10mA	14 mA
Живот на батерийно захранване 2000mAh			18 месеца	90 месеца	120 месеца
Локализация	не	не	200m	не	10m
Устойчивост на смущения	Добра	Лоша	Добра	Лоша	Отлична

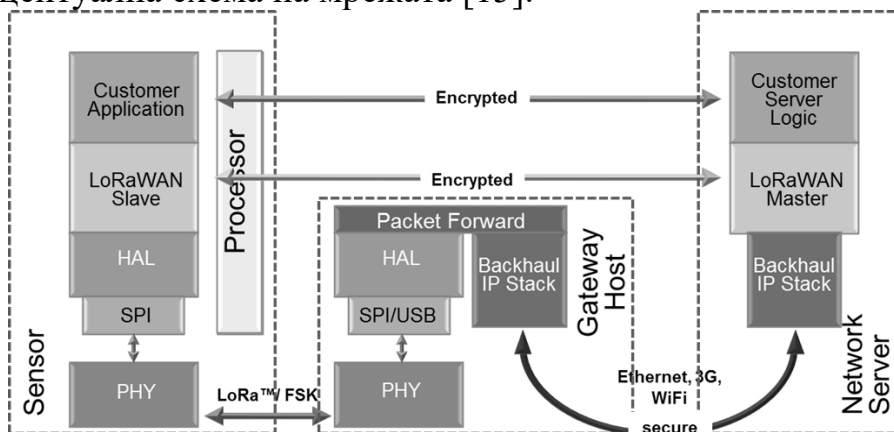
Много от тези безжични радио решения работят в една и съща честотна лента и са хетерогенни в своите хардуерни възможности, безжична технология или протокол на комуникация и се очаква да се припокриват в честотна и времева област, особено в случаите, когато голям брой устройства работят в една и съща околна среда [10].

Настоящият доклад се фокусирана върху LoRa™ като една от новите безжичните мрежи - специално предназначена и разработена за нуждите на IoT. Статията ще даде обзор на технологията в/у която се базира LoRa™ и оценка на очакваните смущения, които може да настъпят м/у нея други безжични устройства, които работят в същата честотна лента.

## 2. LoRa™ ТЕХНОЛОГИЯ

LoRaWAN е Low Power Wide Area Network (LPWAN), която е специално разработена за нуждите на безжични устройства работещи на батерийно захранване. LoRaWAN отговаря на ключовите изисквания на IoT - сигурна двупосочна комуникация, мобилност и локализация. Мрежовата архитектура, която се реализира чрез LoRaWAN е обикновено топология звезда от звезди, в която шлюзове (*gateways*) се явяват прозрачни интерфейс конвертори за крайните устройства и препредават събраната от тях информация към централен сървър [15], [19]. Шлюзовете са свързани към мрежовият сървър посредством стандартна IP комуникация, докато крайните устройства могат да предадат събраната информация до един или до няколко шлюза в зависимост от инфраструктурата. Комуникацията м/у всички крайни устройства е двупосочна,

но също така се поддържа работа в мултикаст режим [15]. На фигура 1 е показана концептуална схема на мрежата [15]:

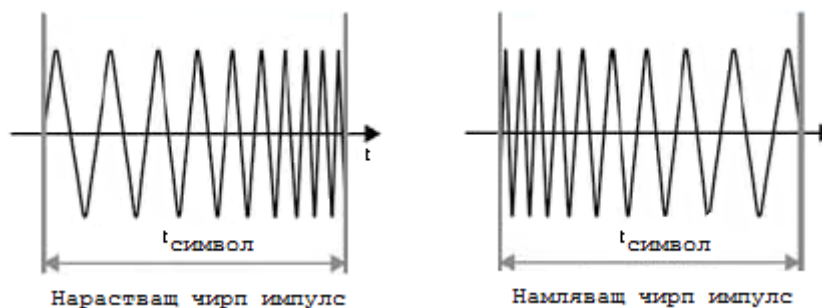


Фигура 1. Концептуална схема на LoRa™

Комуникацията между крайните устройства и шлюзове се обслужва от различни честотни канали и различни скорости на пренос на данните. LoRaWAN може да постигне предаване на данни със скорост от 0,3 Kbps до 50 Kbps. Изборът на скорост на предаване е компромис между разстоянието и големината на данните, които искаме да предадем. LoRa™ предава с различни скорости като използва разширяване на спектъра, по този начин се предотвратяват интерференции м/у отделните устройства и се създава набор от "виртуални" канали, чрез които се увеличава капацитета на шлюзовете. За подобряване на капацитета на мрежата и живота на устройствата на батерийно захранване мрежовият сървър управлява скоростта на предаване както и усилването на RF изхода за всяко крайно устройство поотделно, чрез схема за адаптивно регулиране на скоростта на предаване на данни (ADR) [16], [15].

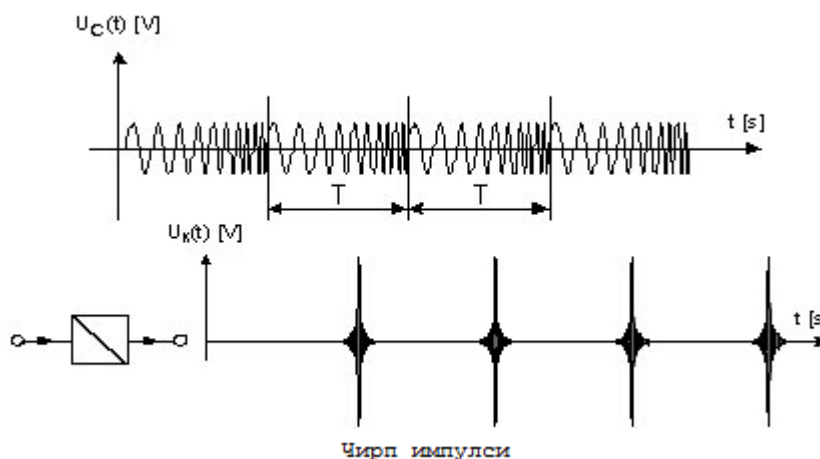
### 3. LoRa™ МОДУЛАЦИЯ

Модулацията на LoRa™ е патентована от Semtech, при нея разширяването на спектъра се постига, чрез генериране на чирп (*chirp*) сигнал, който променя непрекъснато честотата си [16]. Чирп импулсите са показан на фигура 2, по-долу [14]:



Фигура 2. Чирп импулси, намаляващ и нарастващ в честотно отношение

Chirp Spread Spectrum (CSS) модулацията е представена на фигура 3 по-долу [14].

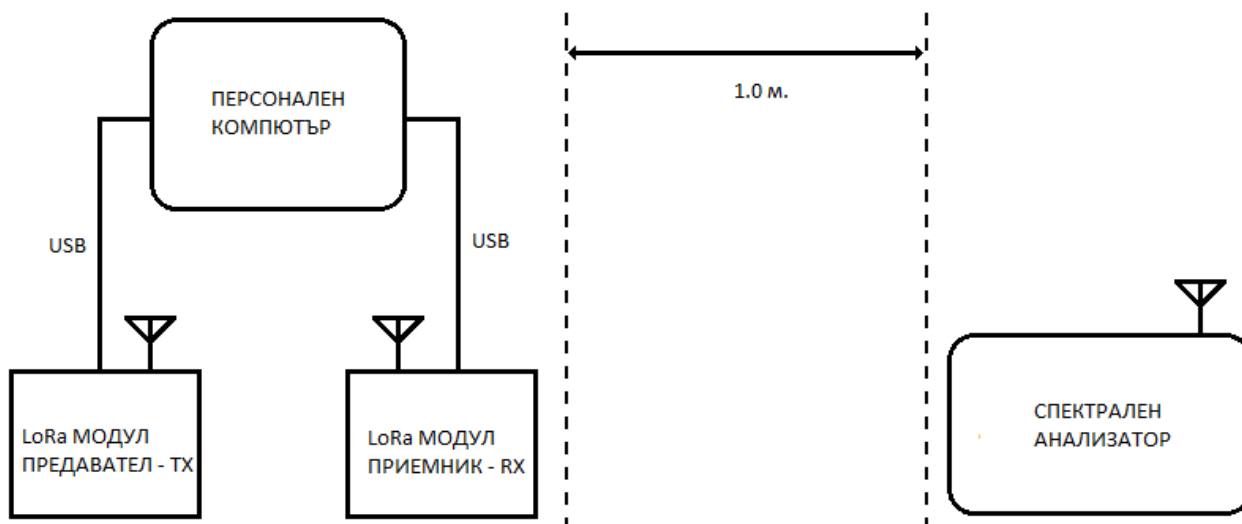


Фигура 3. Чирп разширяване на спектъра (CSS)

Модулационната схема, която ползва LoRa™ заимства от CSS метода, в основата на който се прави компромис м/у скоростта на предаване на данни, чувствителността на приемника, мощността и обхвата, като по този начин се оптимизира производителността на мрежата във фиксирана честотна лента [14],[16]. Едно от предимствата на тази модулация е, че времето и честотното отместване между предавателя и приемника са равни, което значително намаляване на сложността при проектирането на приемника [15],[16].

#### 4. ОПИТНА ПОСТАНОВКА И РЕЗУЛТАТИ

На фигура 3 е представена блокова схема на реализираната опитната постановка:



Фигура 3: Блокова схема на опитната постановка.

Опитната постановка е съставена от: персонален компютър - за настройка и управление предаването на данни м/у комуникационните модули, два радио комуникационни модула - LoRa™ MOTE показани на следващата фигура - 4 и спектрален анализатор, чрез който е снет спектъра на предаваната информация м/у модулите. Разстоянието м/у модулите е 50 см. а разстоянието м/у спектралният анализатор и LoRa™ MOTE модулите е 100 см.



Фигура 4. Радио комуникационни модули - LoRa™ MOTE

Имплементиран и реализиран е алгоритъм за настройка обмена на данни м/у двата радио комуникационните модула, който е описан в таблица 2 [17], [18].

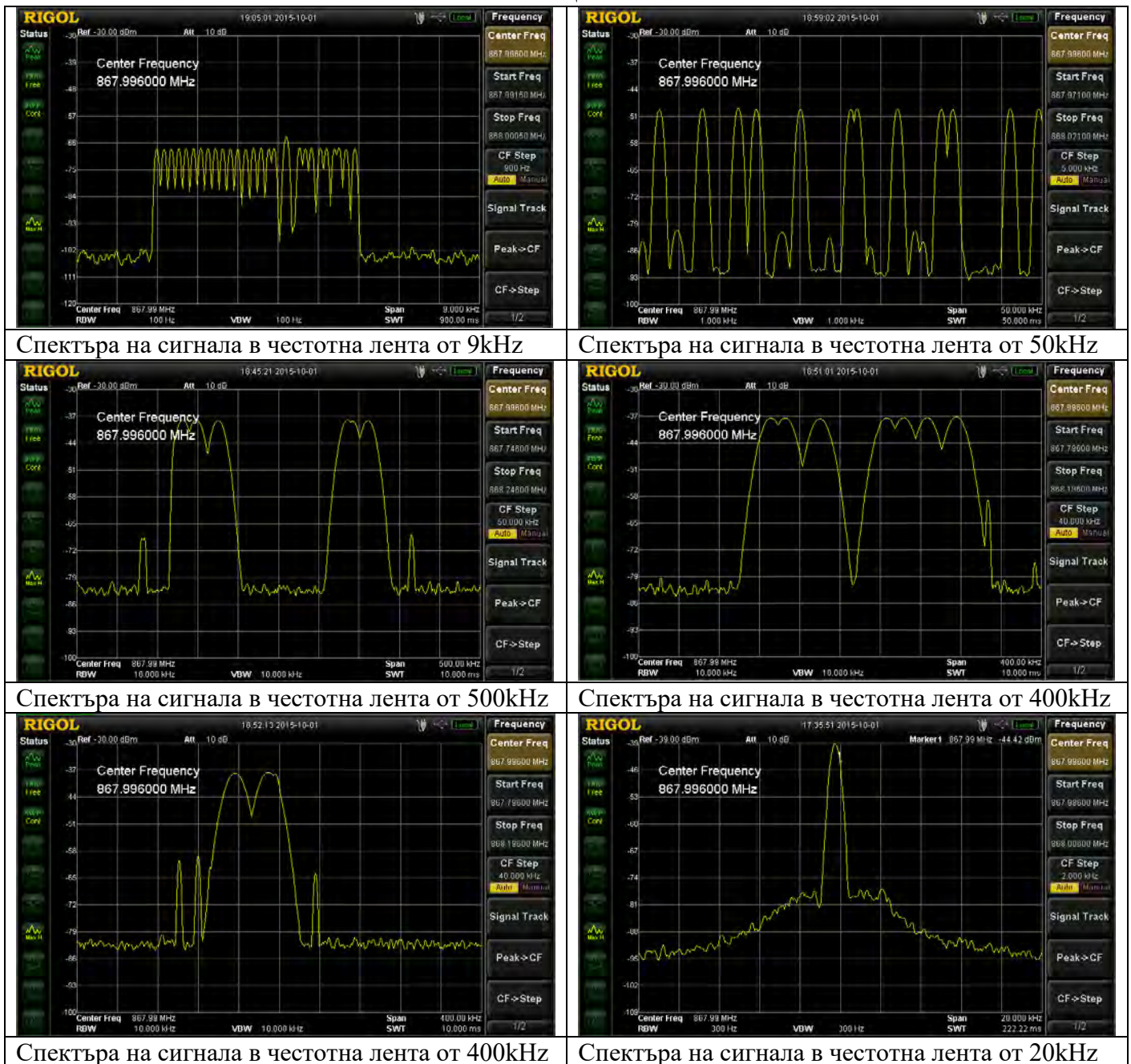
Таблица 2.

Команда	Отговор	Кратка информация
radio set mod lora	ok	// избор на модуляция за предаване на данни.
radio set freq 868000000	ok	// избор на работна честота.
radio set pwr 15	ok	// избор на излъчвана мощност.
radio set sf sf12	ok	// избор на коефициента на разширение на спектъра.
radio set afcbw 125	ok	// избор на автоматична корекция на честотата, [kHz].
radio set rxbw 250	ok	// избор ширина на честотната лента на сигнал, [kHz].
radio set fdev 5000	ok	// избор на отклонение на честотата, [Hz].
radio set prlen 8	ok	// избор на дължината на preamble сигнал.
radio set crc on	ok	// избор за използване на CRC header.
radio set cr 4/8	ok	// избор скорост на кодиране.
radio set wdt 0	ok	//избор на време на задействие на Watchdog брояча.
radio set sync 12	ok	// избор на за използване на LoRa модуляция.
radio set bw 250	ok	// избор на честотна лента, [kHz]
mac pause	ok	//избор на пауза на LoRaWAN.
<b>LoRa модул - предавател</b>		<b>LoRa модул - приемник</b>
radio tx 48656C6C6F	// Hello [HEX]	radio rx 0
radio_tx_ok		ok
		radio_rx_48656C6C6F // Hello[HEX]



Измерените опитни резултати са представени в таблица 3, по долу:

Таблица 3.



На спектралния анализатор са зададени следните параметри: централна честота 867.996 MHz, пропускана честотна лента 10kHz, върхов измервателен детектор. Поради невъзможност за задаване на спектралния анализатор време на измерване на определена честота е зададено графът да изписва максималните стойности на измерени излъчени смущения, по време на сканирането на задания честотен обхват (Max. Hold).

Въз основа на направеното изследване и поместени резултати в таблица 3, може да се съди, че има основание за възникване на сериозни интерференции и загуба на пакети в резултат на работа на едно и също място на различни безжични технологии ползващи модулация с разширяване на спектъра заедно с

устройства базирани на LoRa™ в един и същ честотен обхват - 868MHz. Очакваме LoRa™ да окаже съществено влияние върху пропускателната способност на потребителското LTE оборудване в ситуация на малко разстояние (< 1м.) м/у прямо предавателите и висока концентрация на LoRa™ модеми работещи едновременно на едно и също място. Получените резултати потвърждават предходни публикации в литературата [12],[13],[16],[20].

## 5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ПОСЛЕДВАЩА РАБОТА

Настоящият доклад се отнася до електромагнитната съвместимост - основен и важен проблем в работата на радио средства ползващо един и същ честотен обхват, базирани на различни безжични технологии, описана е процедура, опитната постановка и резултатите от направено изследване в/у система за събиране на данни базирана на LoRa™ и работеща в 868MHz ISM честотен диапазон. Снет е и е представен спектъра на сигнала при предаване на данни с LoRa™ модулация, както в тесноленов режим така и в широколенов - чрез разширяване на спектъра. Направен е обзор върху възможностите за вникване на електромагнитни смущения м/у различни безжични технологии работещи в един и същ честотен обхват и LoRa™, получените резултати и анализ, е много полезен за практиката.

Последваща работа - изследване устойчивостта на система за събиране на данни базирани на LoRa™ относно външни електромагнитни полета.

## 6. ЛИТЕРАТУРА

- [1] N. Golmi. Interference in the 2.4 GHz ISM Band: Challenges and Solutions. *National Institute of Standards and Technology Gaithersburg, Maryland 20899.*
- [2] V. Sulc, R. Kuchta, R. Vrba. IQMESH, Reliable Technology for Wireless Mesh Networks.
- [3] Dr. T. Mangir, L. Sarakbi, H. Younan. Analyzing the Impact of Wi-Fi Interference on ZigBee Networks Based on Real Time Experiments, *International Journal of Distributed and Parallel Systems (IJDPS) Vol.2, No.4, July 2011*
- [4] Atmel AT02845: Coexistence between ZigBee and Other 2.4GHz Products
- [5] P. Hayes, E. Hanada, C. Bakuzonis. Electromagnetic Interference Risk Analysis.
- [6] C. Liang, N. Priyantha, J. Liu, A. Terzis. Surviving Wi-Fi Interference in Low Power ZigBee Networks.
- [7] Crossbow. Avoiding RF Interference Between WiFi and Zigbee.
- [8] S. Gollakota, F. Adib, D. Katabi, S. Seshan. Clearing the RF Smog: Making 802.11 Robust to Cross-Technology Interference.
- [9] Y. Gao, J. Niu, R. Zhou, G. Xing. ZiFind: Exploiting CrossTechnology Interference Signatures for Energy-Efficient Indoor Localization.
- [10] Y. Hou, M. Li, Xu Yuan, Y. Hou, W. Lou. Cooperative Cross-Technology Interference Mitigation for Heterogeneous Multi-hop Networks.
- [11] J. Bernhard, J. Reed, and J. M. Park. Final report of the national science foundation workshop on. enhancing access to the radio spectrum (ears).
- [12] Ofcom, LTE User Equipment Coexistence with 862-870MHz



- [13] Ofcom, Use of Short Range Devices alongside mobile broadband services operating in the 800MHz band
- [14] Chirp Spread Spectrum (CSS), nanotron's Technology, <http://nanotron.com>
- [15] LoRa™ Alliance, [www.lora-alliance.org](http://www.lora-alliance.org)
- [16] Semtech, LoRa™ Modulation Basics, AN1200,22
- [17] Microchip, RN2483 - LoRa Technology Transceiver Module, Datasheet, [www.microchip.com](http://www.microchip.com)
- [18] Microchip, RN2483 - LoRa Technology Module Command Reference, User's Guide,
- [19] Electronic Journal, Low Power, Wide Area, A Survey of Longer-Range IoT Wireless Protocols, <http://www.ejournal.com>
- [20] 3GPP, GERAN – 7.1.5.3.5, pCR “Combined narrow-band and spread spectrum Physical Layer proposal for cellular IoT” for inclusion in TR45 820, <http://www.3gpp.org/>