

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ
ХАРЬКОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

**ПРОБЛЕМЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ
СОВМЕСТИМОСТИ ПЕРСПЕКТИВНЫХ
БЕСПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ СВЯЗИ
(ЭМС – 2018)**

Сборник научных трудов четвертой международной
научно-технической конференции
Харьков 22 -23 мая 2018 г.

Харьков 2018

УДК 621.37/.39

Проблемы электромагнитной совместимости перспективных беспроводных сетей связи (ЭМС-2018): Сборник научных трудов четвертой международной научно-технической конференции, Харьков 22-23 мая 2018 г. / М-во образования и науки Украины, Харьковский национальный университет радиоэлектроники. – Харьков: ХНУРЭ, 2018. – 69 с.

В сборник включены научные доклады участников четвертой Международной научно-технической конференции «Проблемы электромагнитной совместимости перспективных беспроводных сетей связи» (ЭМС-2018).

Издание подготовлено кафедрой инфокоммуникационной инженерии

61166, Украина, Харьков, просп.Науки, 14.
Тел./факс: +380 (57) 702-13-20,
+380 (57) 702-55-92.

E-mail: ems.conference.kture@gmail.com

© Харьковский национальный
университет радиоэлектроники, 2018

Председатель организационного комитета конференции:

Агеев Д.В. член-корреспондент АН ПРЭ, профессор, д.т.н., профессор кафедры инфокоммуникационной инженерии ХНУРЭ, член комитета IEEE, г. Харьков, Украина.

Организационный комитет ЭМС-2018:

Коляденко Ю.Ю. профессор, д.т.н., профессор кафедры инфокоммуникационной инженерии ХНУРЭ, г. Харьков, Украина.

Серков А.А. академик АН ПРЭ, профессор, д.т.н., заведующий кафедрой систем информации НТУ «ХПИ», член комитета IEEE, заслуженный изобретатель Украины, г. Харьков, Украина.

Шостко И.С. член-корреспондент АН ПРЭ, профессор, д.т.н., профессор кафедры инфокоммуникационной инженерии ХНУРЭ, г. Харьков, Украина.

Невлюдов И.Ш. академик АН ПРЭ, заведующий кафедрой компьютерно-интегрированных технологий, автоматизации и мехатроники ХНУРЭ, г. Харьков, Украина.

Москалец Н.В. доцент, к.т.н., доцент кафедры инфокоммуникационной инженерии ХНУРЭ, г. Харьков, Украина.

Токарь Л.А. доцент, к.т.н., доцент кафедры инфокоммуникационной инженерии ХНУРЭ, г. Харьков, Украина.

Сычова О.В. ассистент кафедры компьютерно-интегрированных технологий, автоматизации и мехатроники ХНУРЭ, г. Харьков, Украина.

Программный комитет

Корсун В.И. генеральный директор Украинского государственного центра радиочастот г.Киев, Украина.

Калюжный Н.М. академик АН ПРЭ, технический директор НТЦ АН ПРЭ, к.т.н., с.н.с. научного центра ХНУРЭ, г. Харьков, Украина.

Кравченко В.И. академик АН ПРЭ, лауреат Государственной премии Украины в области науки и техники, профессор, д.т.н., директор НИПКИ «Молния»

- Серков А.А.** НТУ «ХПИ» г.Харьков, Украина.
академик АН ПРЭ, профессор, д.т.н.,
заведующий кафедрой систем информации НТУ
«ХПИ», член комитета IEEE, заслуженный
изобретатель Украины, г.Харьков, Украина.
- Чурюмов Г.И.** академик АН ПРЭ, профессор, д.ф.-м.н.,
профессор кафедры физических основ
электронной техники ХНУРЭ, член комитета
IEEE г.Харьков, Украина.
- Климаш М.М.** академик Академии Связи Украины и
Международной академии информатизации,
профессор, д.т.н., заведующий кафедрой
телекоммуникаций Национального
университета «Львовская политехника», лауреат
Государственной премии Украины в области
науки и техники, г.Львов, Украина.
- Титаренко Л.А.** член-корреспондент АН ПРЭ, профессор, д.т.н.,
профессор института компьютерной инженерии
и электроники Зеленогурского университета,
г.Зелена-Гура, Польша.
- Пономаренко Н.Н.** профессор, д.т.н., профессор кафедры передачи,
приема и обработки сигналов Национального
аэрокосмического университета им. Н. Е.
Жуковского, г.Харьков, Украина.
- Безрук В.М.** академик АН ПРЭ, академик Академии связи
Украины, д.т.н., профессор, заведующий
кафедрой информационно-сетевой инженерии
ХНУРЭ, г.Харьков, Украина.
- Водолазский М.В.** директор, Украинский государственный центр
радиочастот. Харьковский филиал. г.Харьков,
Украина.
- Гаркуша С.В.** профессор, д.т.н, проректор по научной работе
«Полтавский университет экономики и
торговли», г.Полтава, Украина.
- Гепко И.А.** профессор, д.т.н., начальник отдела научного
обеспечения научно-методического
департамента Украинского государственного
центра радиочастот г.Киев, Украина.
- Ерохин В.Ф.** профессор, д.т.н., заведующий кафедрой
применения средств специальных
телекоммуникационных систем Института

- специальной связи и защиты информации НТТУ «КПИ», г.Киев, Украина.
- Лошаков В.А.** академик АНПРЭ, д.т.н., профессор, профессор кафедры инфокоммуникационной инженерии ХНУРЭ, лауреат Государственной премии Украины в области науки и техники, г.Харьков, Украина.
- Сундучков К.С.** профессор, д.т.н., лауреат Государственной премии Украины в области науки и техники, зам. директора по научным вопросам Научно-исследовательского института телекоммуникаций НТУУ «КПИ», г.Киев, Украина.
- Урывский Л.А.** академик АН ПРЭ, профессор, д.т.н., зав. Кафедры телекоммуникационных систем Института телекоммуникационных систем Национального технического университета Украины «КПИ», г.Киев, Украина.

**ПРОБЛЕМА ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СУМІСНОСТІ ПРИ ВПРОВАДЖЕННІ
В УКРАЇНІ МЕРЕЖ РАДІОТЕХНОЛОГІЇ LTE**

У СМУГАХ ЧАСТОТ 880...915 МГц та 925...960 МГц

Лебедєв В.О., Костенко І.Л., Поздняк В.П., Павліченко О.А.

Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба

61023, м. Харків-23, вул. Сумська, 77/79, (057) 704-96-01,

E-mail: info@hups.mil.gov.ua

This article discusses the methods and ways of solving the problem of electromagnetic compatibility during the introduction of fourth generation mobile systems in Ukraine in the frequency bands 880...915 MHz and 925...960 MHz based on the criteria for the protection of radar and radionavigation electronic airborne communications structures for special users in the planning of radio engineering networks LTE 900 in Ukraine

Впровадження в Україні систем мобільного зв'язку четвертого покоління (LTE) проводиться на підставі Указу Президента України №445/2015 про "Про забезпечення умов для впровадження системи рухомого (мобільного) зв'язку четвертого покоління" та Розпоряджень Кабінету Міністрів України "Про затвердження плану заходів щодо впровадження системи рухомого (мобільного) зв'язку четвертого покоління" від 11 листопада 2015 р. № 1232-р.

Радіотехнологія рухомого (мобільного) зв'язку четвертого покоління LTE є наступною після 3G покоління мобільного зв'язку і працює на базі IP-технологій. Основна відмінність LTE від попередніх – висока швидкість передачі даних. Теоретично вона складає до 326,4 Мбіт/с на приймання (DL - download) і 172,8 Мбіт/с на передавання (UL - upload) інформації. При цьому в міжнародному стандарті вказані цифри в 173 і 58 Мбіт/с, відповідно. Даний стандарт зв'язку четвертого покоління розробило і затвердило Міжнародне партнерське об'єднання 3GPP (3rd Generation Partnership Project). Головна особливість стандарту LTE в тому, що так само, як і в мережах 3G, головною ланкою в LTE можна назвати технологію кодування і передачі даних OFDM-MIMO.

Найбільш поширеним варіантом передачі даних у наш час є саме FDD технологія. Режим FDD (Frequency Division Duplex) – дуплексний канал з частотним розділенням сигналу. У цьому випадку в момент з'єднання мобільного пристрою з базовою станцією використовується дві різні частоти для передачі даних (табл. 1), одна з яких використовується для сигналу DL, а інша – для сигналу UL. Завдяки цьому підвищується якість зв'язку.

Для впровадження системи рухомого (мобільного) зв'язку четвертого покоління LTE в Україні виділені частотні діапазони, які наведені у табл. 1.

Таблиця 1 – Діапазони робочих частот обладнання стандарту LTE, які виділені для України

№ band (діапазону)	Діапазон робочих частот UL, МГц	Діапазон робочих частот DL, МГц	Режим
1	1920 – 1980	2110 – 2170	FDD
3	1710 – 1785	1805 – 1880	FDD
7	2500 – 2570	2620 – 2690	FDD
8	880 – 915	925 – 960	FDD
20	832 – 862	791 – 821	FDD
28	703 – 733	758 – 788	FDD
32	1427-1452	1492-1518	FDD
33	1900 – 1920	1900 – 1920	TDD

Четвертая международная научно-техническая конференция
Проблемы электромагнитной совместимости перспективных беспроводных сетей
связи

№ band (діапазону)	Діапазон робочих частот UL, МГц	Діапазон робочих частот DL, МГц	Режим
38	2570 – 2620	2570 – 2620	TDD
40	2300 – 2400	2300 – 2400	TDD
68	698 – 728	753 – 783	FDD

Смуги частот 880...915 МГц та 925...960 МГц (8 band) є привабливими для власників систем мобільного зв'язку четвертого покоління за своїми технічними показниками і за своєю економічністю – з одного боку, але з іншого боку ця смуга частот використовується радіоелектронними засобами (РЕЗ) повітряної радіонавігаційної служби (ПРНС) спеціальних користувачів. Отже, виникає проблема забезпечення електромагнітної сумісності (ЕМС) РЕЗ мереж радіотехнології четвертого покоління LTE (LTE 900) та РЕЗ ПРНС спеціальних користувачів. Методи аналізу ЕМС між РЕЗ спеціальних та загальних користувачів досліджено у роботах [1 - 2].

Аналіз зайнятості і стану використання смуг радіочастот 790-862 МГц, 880...910 і 925...955 МГц радіоелектронних засобів (РЕЗ) спеціальних користувачів проводиться шляхом класифікації діючих та запланованих РЕЗ спеціальних користувачів у зазначених смугах радіочастот на підставі Регламенту радіозв'язку ІТУ RR-2015, Національної таблиці розподілу смуг радіочастот України, Плану використання радіочастотного ресурсу України та аналізу рекомендацій Міжнародного союзу електрозв'язку (ІТУ), документів Європейського інституту телекомунікаційних стандартів (ETSI), рекомендацій Європейських конференцій адміністрацій служб зв'язку та пошти (СЕРТ).

У смузі радіочастот 880...910 і 925...955 МГц працюють та заплановані до подальшого використання наступні РЕЗ спеціальних користувачів:

- радіотехнічна система ближньої навігації RSBN “Ground-to-Air” type 1;
- радіотехнічна система ближньої навігації RSBN “Ground-to-Air” type 2;
- радіотехнічна система ближньої навігації RSBN “Ground-to-Air” type 3;
- радіотехнічна система ближньої навігації RSBN “Ground-to-Air” type 4;
- радіотехнічна система ближньої навігації RSBN “Ground-to-Air” type 5;
- радіотехнічна система ближньої навігації RSBN “Ground-to-Air” type 6;
- радіотехнічна система ближньої навігації RSBN “Ground-to-Air” type 7;
- пристрої контролю інструментальних систем посадки (ІСП) дециметрового діапазону хвиль (instrument landing system);
- пристрої контролю радіотехнічної системи ближньої навігації (RSBN “Air-to-Ground”);
- радіолокаційні станції (RLS 1 type 1, RLS 1 type 2, RLS 1 type 3, RLS 1 type 4);
- радіолокаційні станції управління повітряним рухом повітряної радіонавігаційної служби.

При визначенні умов забезпечення ЕМС між РЕЗ спеціальних користувачів і РЕЗ систем мобільного зв'язку четвертого покоління LTE 900 у смугах радіочастот 880...915 МГц та 925...960 МГц доцільно використовувати критерій захисного відношення, який враховує особливості застосування РЕЗ спеціальних користувачів. Для РЕЗ спеціальних користувачів захисне відношення визначається шляхом проведення практичних експериментальних вимірювань для кожного класу завади [3]. Данні про захисні відношення РЕЗ спеціальних користувачів у подальшому використовуються для розрахунку норм частотно-територіального РЕЗ мереж радіотехнології четвертого покоління та РЕЗ ПРНС спеціальних користувачів

Проведення аналізу норм частотно-територіального рознесення у смугах частот 880...910 і 925...955 МГц свідчить, що територіальне рознесення між РЕЗ спеціальних користувачів та РЕЗ радіотехнології рухомого (мобільного) зв'язку четвертого покоління становить:

Четвертая международная научно-техническая конференция
Проблемы электромагнитной совместимости перспективных беспроводных сетей
связи

- для пристрою контролю RSBN “Air-to-Ground”: 250...700 м відносно базової станції LTE 900;
- для пристроїв контролю ІСП: 3,6...7,3 км відносно базової станції LTE 900;
- для виносного пристрою контролю RSBN “Air-to-Ground”: 0,4...2,2 км відносно базової станції LTE 900;
- для RLS 1 type 1 (ПЛС УПР ПРНС): 17...34 км відносно АТ LTE 900;
- для RLS 1 type 2: 13...28 км відносно АТ LTE 900;
- для RLS 1 type 3: 17...34 км відносно АТ LTE 900;
- для RLS 1 type 4: 15...32 км відносно АТ LTE 900;

Для RSBN “Ground-to-Air” type 1, RSBN “Ground-to-Air” type 2, RSBN “Ground-to-Air” type 3, RSBN “Ground-to-Air” type 4, RSBN “Ground-to-Air” type 5, RSBN “Ground-to-Air” type 6, RSBN “Ground-to-Air” type 7 територіальне рознесення відносно БС LTE 900 складає від 100км до 380 км у залежності від типу бортового обладнання РСБН.

Повітряні судна, які обладнані даними РЕЗ повітряної радіонавігаційної служби, виконують завдання за призначенням по всій території України, тому при плануванні мережі радіотехнології рухомого (мобільного) зв'язку четвертого покоління застосовувати територіальне рознесення між бортовими RSBN “Air-to-Ground” та БС LTE 900 не має сенсу, але необхідно враховувати частотне рознесення.

Аналіз норм частотно-територіального рознесення у смугах частот 880...910 і 925...955 МГц призводить до суттєвих обмежень на впровадження в Україні системи рухомого (мобільного) зв'язку четвертого покоління.

За результатами проведення наземних випробувань та теоретичного обчислення норм забезпечення умов ЕМС між РЕЗ повітряної радіонавігаційної служби спеціальних користувачів та РЕЗ радіотехнології рухомого (мобільного) зв'язку четвертого покоління у смугах радіочастот 880...910 і 925...955 МГц при впровадженні РЕЗ LTE 900 в Україні можна зробити такі висновки:

а) спільне використання смуги радіочастот 925...955 МГц можливе за умови виконання наступних захисних критеріїв:

частотного рознесення 3,1 МГц між центральною частотою робочого каналу БС стандарту LTE 900 та частотою приймання RSBN “Ground-to-Air”;

територіальних обмежень на розташування БС LTE 900 на відстані:

1 км відносно RSBN “ Air-to-Ground ”;

3 км відносно виносного контрольного пристрою RSBN “Air-to-Ground”;

8 км відносно ІСП дециметрового діапазону хвиль;

б) спільне використання смуги радіочастот 880...910 МГц абонентськими терміналами LTE 900 та РЕЗ спеціальних користувачів можливе за умови виконання наступних захисних критеріїв:

встановлення територіальних обмежень на розташування БС LTE 900 відносно RLS 1 type 1 (ПЛС управління повітряним рухом повітряної радіонавігаційної служби) на відстані 39 км з урахуванням додатково радіусу зони покриття БС;

встановлення територіальних обмежень на розташування БС LTE 900 відносно RLS 1 type 2 на відстані 33 км з урахуванням додатково радіусу зони покриття БС;

встановлення територіальних обмежень на розташування БС LTE 900 відносно RLS 1 type 3 на відстані 39 км з урахуванням додатково радіусу зони покриття БС;

встановлення територіальних обмежень на розташування БС LTE 900 відносно RLS 1 type 4 на відстані 37 км з урахуванням додатково радіусу зони покриття БС.

ВИСНОВКИ

Для виключення впливу РЕЗ радіотехнології рухомого (мобільного) зв'язку четвертого покоління, що працюють у смугах радіочастот 880...910 і 925...955 МГц, на РЕЗ спеціальних користувачів необхідно дотримуватися наступних територіальних обмежень на розташування БС LTE 900 для 1, 2 та 6 частотних каналів шириною 5 МГц на території України вводяться обмеження за частотними каналами та регіонами.

Четвертая международная научно-техническая конференция
Проблемы электромагнитной совместимости перспективных беспроводных сетей
связи

Застосування 3, 4, 5 частотних каналів РЕЗ LTE 900 шириною 5 МГц (935...940 МГц, 940...945 МГц, 945...950 МГц) за результатами розрахунків норм забезпечення ЕМС між РЕЗ ПРНС спеціальних користувачів та РЕЗ радіотехнології LTE 900 не мають частотних та територіальних обмежень для впровадження системи рухомого (мобільного) зв'язку четвертого покоління в Україні, але потребують проведення льотних випробувань щодо визначення групового впливу випромінювання базових станцій фрагменту мережі РЕЗ радіотехнології рухомого (мобільного) зв'язку четвертого покоління на бортову апаратуру радіотехнічної системи ближньої навігації у смугах радіочастот 880...915 МГц і 925...960 МГц.

Для більш ефективного впровадження радіотехнології рухомого (мобільного) зв'язку четвертого покоління необхідно провести рефармінг смуг радіочастот 880...915 МГц і 925...960 МГц за регіонами України.

Список літератури:

1. Нормативний документ Адміністрації державної служби спеціального зв'язку та захисту інформації України «Методика проведення розрахунків електромагнітної сумісності та норми частотно-територіального рознесення радіоелектронних засобів у смугах радіочастот, які підлягають конверсії (1920-1935/2110-2125, 1950-1965/2140-2155, 1965-1980/2155-2170), а також у смугах радіочастот, які плануються для застосування за результатами конверсії». – Київ.: Адміністрація державної служби спеціального зв'язку та захисту інформації України, 2015.

2. Феоктистов Ю.А., Матасов Л.И. и др. Теория и методы оценки электро-магнитной совместимости радиоэлектронных средств/Под ред. Феоктистова Ю.А. – М.: Радио и связь, 1998.

3. Макаров С.А., Павліченко О.А., Поздняк В.П. Експериментальне вимірювання захисних відношень засобів повітряної радіонавігаційної служби відносно мережі зв'язку четвертого покоління у смузі частот 925...960 МГц//Проблемы электромагнитной совместимости перспективных беспроводных систем связи (ЭМС - 2017): Сборник научных трудов третьей международной научно-технической конференции, 23-24 мая 2017 г. – Х.: ХНУРЭ, 2017. – С. 34.

**ОСОБЛИВОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ В УКРАЇНІ МЕРЕЖ РАДІОТЕХНОЛОГІЇ
ЧЕТВЕРТОГО ПОКОЛІННЯ**

У СМУГАХ ЧАСТОТ 880...915 МГц та 925...960 МГц

Висоцький О.В., Макаров С.А., Павліченко О.А., Сокол О.О.

Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба
61023, м. Харків-23, вул. Сумська, 77/79, (057) 704-96-01,

E-mail: info@hups.mil.gov.ua

The peculiarities of implementation of fourth generation mobile communication systems in the frequency bands 880 ... 915 MHz and 925 ... 960 MHz are considered in Ukraine. The frequency channels of LTE 900 radioelectronic devices, which do not have frequency and territorial constraints on the results of theoretical calculations of norms of electromagnetic compatibility and ground tests, are given. The necessity of carrying out flight tests for determination of conditions of joint operation of radio-electronic means of radio technology of the fourth generation and radio-electronic means of the air radionavigation service of special users is determined.

Вступ. Впровадження в Україні систем рухомого (мобільного) зв'язку четвертого покоління у смугах частот 880...915 МГц та 925...960 МГц проводиться на підставі Указу Президента України №445/2015 про "Про забезпечення умов для впровадження системи рухомого (мобільного) зв'язку четвертого покоління" та Розпоряджень Кабінету Міністрів України "Про затвердження плану заходів щодо впровадження системи рухомого (мобільного) зв'язку четвертого покоління" від 11 листопада 2015 р. № 1232-р, Плану використання радіочастотного ресурсу України, затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 09.06.06 № 815.

За результатами виконання науково-дослідної роботи (scientific and research work) "Relative to the study of the distribution of radio frequency resource of Ukraine and the elaboration of proposals for the implementation of the 4th generation mobile communication system (LTE) in the 694-790 MHz; 790-862 MHz; 862-880 MHz; 880-910 MHz; 925-955 MHz; 1427-1452 MHz; 1492-1518 MHz; 1710-1785 MHz; 1805-1880 MHz; 1900-1920 MHz; 1920-1980 MHz; 1980-2000 MHz; 2110-2170 MHz; 2300-2400 MHz; 2500-2690 MHz radio frequency bands", виконаної європейською консалтинговою компанією "Analysys Mason Limited" та Державним підприємством "Науково-дослідний інститут радіоелектронної техніки" (стосовно електромагнітної сумісності радіоелектронних засобів (РЕЗ) технології LTE 900 та РЕЗ спеціальних користувачів у частотних діапазонах 790-862 МГц, 880-910, 925-955 МГц, 2340-2400 МГц, 2500-2690 МГц), визначено можливість використання 3, 4, 5 частотних каналів РЕЗ LTE 900 шириною 5 МГц (890...895/935...940 МГц, 895...900/940...945 МГц, 900...905/945...950 МГц) на підставі розрахунків норм забезпечення електромагнітної сумісності (ЕМС) між РЕЗ повітряної радіонавігаційної служби спеціальних користувачів та РЕЗ радіотехнології LTE 900, які виконані відповідно до Методики проведення розрахунків електромагнітної сумісності радіоелектронних засобів спеціальних користувачів і радіоелектронних засобів радіотехнології рухомого (мобільного) зв'язку четвертого покоління у смугах радіочастот 880 – 910 і 925 – 955 МГц (наказ Адміністрації Державної служби спеціального зв'язку та захисту інформації України від 24.05.2017 року № 304).

РЕЗ повітряної радіонавігаційної служби спеціальних користувачів забезпечують належний рівень безпеки польотів, тому для впровадження в Україні систем мобільного (рухомого) зв'язку четвертого покоління у смугах частот 880...915 МГц та 925...960 МГц необхідно провести льотні випробування щодо визначення групового впливу випромінювання базових станцій мережі РЕЗ радіотехнології рухомого (мобільного) зв'язку четвертого покоління на бортову апаратуру радіотехнічної системи ближньої навігації у смугах радіочастот 880...915 МГц і 925...960 МГц.

Четвертая международная научно-техническая конференция
Проблемы электромагнитной совместимости перспективных беспроводных сетей
связи

Сутність досліджень. Смуги частот 880...915 МГц та 925...960 МГц (8 band) є привабливими для власників систем мобільного зв'язку четвертого покоління за показниками ємності та покриття. У даних смугах радіочастот працюють та заплановані до подальшого використання наступні РЕЗ повітряної радіонавігаційної служби (ПРНС) спеціальних користувачів: бортове обладнання радіотехнічних систем ближньої навігації RSBN "Ground-to-Air"; інструментальні системи посадки (ІСП) дециметрового діапазону хвиль (instrument landing system); наземне обладнання радіотехнічних систем ближньої навігації (RSBN "Air-to-Ground"); радіолокаційні станції управління повітряним рухом, які забезпечують вирішення завдань літаководіння, навігації та управління повітряним рухом.

Під час проведення наземних випробувань впливу випромінювання РЕЗ фрагменту мережі радіотехнології рухомого (мобільного) зв'язку четвертого покоління у складі 3 (трьох) базових станцій LTE 900, розгорнутого ПрАТ «Київстар», на наземну апаратуру РЕЗ ПРНС спеціальних користувачів впливу не виявлено.

Для практичної перевірки результатів теоретичних досліджень щодо можливості використання 3, 4, 5 частотних каналів РЕЗ LTE 900 шириною 5 МГц при впровадженні в Україні систем мобільного (рухомого) зв'язку четвертого покоління у смугах частот 880...915 МГц та 925...960 МГц необхідно проведення льотних випробувань для визначення групового впливу випромінювання базових станцій LTE 900 на бортову апаратуру радіотехнічної системи ближньої навігації (РСБН) у смугах радіочастот 880...915 МГц і 925...960 МГц.

Льотні випробування проводяться методом натурних випробувань шляхом визначення ознак завадового впливу випромінювання РЕЗ LTE 900 на РЕЗ бортової апаратури РСБН та зміни параметрів випромінювання РЕЗ стандарту LTE до моменту зникнення ознак впливу на показники якості функціонування РСБН.

Льотні випробування проводяться відповідно до методик спеціальних льотних перевірок РСБН з використанням літака-лабораторії та спеціального обладнання, встановленого на літаку та розгорнутого фрагменту РЕЗ мережі LTE 900. Льотні випробування повинні включати:

випробування щодо визначення впливу випромінювання базових станцій стандарту LTE 900 на РСБН при визначені дальності дії до радіомаяка при роботі бортового обладнання РСБН в режимі НАВІГАЦІЯ;

випробування щодо визначення впливу випромінювання базових станцій стандарту LTE 900 на РСБН при визначені азимуту і дальності на борту літака при роботі бортового обладнання РСБН в режимі НАВІГАЦІЯ;

випробування щодо визначення впливу випромінювання базових станцій стандарту LTE 900 на РСБН при визначені дальності дії та положення курсу та глісади при роботі бортового обладнання РСБН в режимі ПОСАДКА.

Висновки.

1. За результатами теоретичних розрахунків норм частотно-територіального рознесення між РЕЗ повітряної радіонавігаційної служби спеціальних користувачів та РЕЗ радіотехнології LTE 900, які виконані відповідно до Методики проведення розрахунків електромагнітної сумісності радіоелектронних засобів спеціальних користувачів і радіоелектронних засобів радіотехнології рухомого (мобільного) зв'язку четвертого покоління у смугах радіочастот 880 – 910 і 925 – 955 МГц, а також відповідно до результатів проведення наземних випробувань впливу випромінювання РЕЗ LTE 900 на наземну апаратуру РЕЗ ПРНС 3-й, 4-й та 5-й частотні канали РЕЗ LTE 900 шириною 5 МГц (890...895/935...940 МГц, 895...900/940...945 МГц, 900...905/945...950 МГц) не мають частотних та територіальних обмежень для впровадження системи рухомого (мобільного) зв'язку четвертого покоління в Україні.

Четвертая международная научно-техническая конференция
Проблемы электромагнитной совместимости перспективных беспроводных сетей
связи

2. Для впровадження в Україні систем мобільного (рухомого) зв'язку четвертого покоління у смугах частот 880...915 МГц та 925...960 МГц необхідно провести льотні випробування.

ПРОЕКТУВАННЯ МЕРЕЖІ НА ОСНОВІ ВОЛЗ

Жуленко М.О.

Харківський національний університет радіоелектроніки
61166, Харків, пр.Науки, каф.Інфокомунікаційної інженерії, тел. (057) 702-13-
20,

E-mail: zhulenko.maryna@nure.ua

Purpose - network design based on FTTB technology in Kharkiv using data transmission equipment D-link DES-1210 and Cisco ME4924.

In the thesis work the construction of FTTB network ATC Kharkiv 72 to 19 houses. The calculations that the construction and assembly of fiber optic equipment. Established schemes of connection schemes designed fiber optic configuration designed equipment in each building and the PBX.

Вступ

Інформація завжди грала надзвичайно важливу роль в житті людини.

Це пов'язано з такими процесами інформатизації як розвиток сфери масових комунікацій. Глобальні й локальні комп'ютерні мережі, засоби стільникового зв'язку, система телебачення і радіомовлення, будучи компонентами інформаційної структури суспільства, забезпечують разом з цим і комунікацію між людьми.

Зв'язок є вирішальним чинником в досягненні успіху між конкуруючими комерційними підприємствами і забезпечує економічне зростання та процвітання будь якого району. Сучасні телекомунікаційні мережі створені для задоволення потреб населення в послугах телефонного зв'язку і передачі даних та відео інформації.

В даний час в Україні, як і в інших країнах, оператори зв'язку поступово зміщують акцент з використання мідної мережевої інфраструктури на оптичну. Саме тому все більш популярними стають технології виду FTTx (Fiber To The ... - «волокно до...»).

Рада з мереж FTTH (Council of FTTH), міжнародна організація, що займається розвитком технологій оптоволоконного зв'язку та розширенням можливостей доступу до оптоволоконних мереж, стандартизувала два типи понять: FTTH - Fiber To The Home (доведення волокна до квартири); FTTB - Fiber To The Building (доведення волокна до будинку).

Основні теоретичні положення технології FTTx

Fiber To The X або FTTx (англ. fiber to the x - оптичне волокно до точки X) - це загальний термін для будь-якої телекомунікаційної мережі, в якій від вузла зв'язку до певного місця (точка X) доходить волоконно-оптичний кабель, а далі, до абонента - мідний кабель (можливий і варіант, при якому оптика прокладається безпосередньо до абонентського пристрою). Таким чином, FTTx - це тільки фізичний рівень. Однак фактично це поняття охоплює і велика кількість технологій каналного і мережевого рівня. З широкою смугою систем FTTx нерозривно пов'язана можливість надання великої кількості нових послуг.

У сімейство FTTx входять різні види архітектур:

- FTTH (Fiber to the Node) – волокно до мережного вузла;
- FTTC (Fiber to the Curb) – волокно до мікрорайону, кварталу або групи будинків;
- FTTB (Fiber to the Building) – волокно до будинку;
- FTTH (Fiber to the Home) – волокно до житла (квартири або окремого котеджу).

FTTH використовується в основному як бюджетне і швидко впроваджуване

рішення там, де існує розподільна "мідна" інфраструктура і прокладка оптики нерентабельна. Всім відомі пов'язані з цим рішенням труднощі: невисока якість надаваних послуг, обумовлене специфічними проблемами лежать в каналізації мідних кабелів, істотне обмеження по швидкості і кількості підключень в одному кабелі.

Архітектура FTTC – це покращений варіант FTTN, позбавлений частини властивих останньому недоліків. Архітектура FTTC в першу чергу призначена для операторів, які використовують технології xDSL або PON, і операторів кабельного телебачення: реалізація цієї архітектури дозволить їм з меншими витратами і збільшити кількість обслуговуваних користувачів, і виділяється кожному з них смугу пропускання. Цей тип підключення часто застосовується невеликими операторами Ethernet-мереж. Це пов'язано з більш низькою вартістю мідних рішень і з тим, що монтаж оптичного кабелю вимагає високої кваліфікації виконавця.

Архітектура FTTB отримала найбільше поширення, оскільки при будівництві мереж FTTx на базі Ethernet - це, найчастіше, єдина технічно можлива схема побудови мережі. Крім того, в структурі витрат на створення Ethernet-мережі різниця між варіантами FTTC та FTTB відносно невелика. Також не слід забувати, що операційні витрати при експлуатації мережі FTTB нижче, а пропускна здатність вище.

Особливості технології FTTB.

1. Підвищена надійність. Як відомо з практики, найбільше число відмов припадає саме на ВОЛЗ, а на коаксіальні мережі. Зважаючи на наявність каскадно включеного не більше одного підсилювача (наприклад, підсилювач на під'їзд), ймовірність збою є нижчою.

2. Простота побудови паралельних цифрових мереж є найважливішим гідністю технології FTTB. При цьому під паралельну цифрову мережу виділяється окреме оптичне волокно (замість жили під реверсний канал).

3. Зниження шумів досягається за рахунок малого числа абонентів, що підключаються до одного ОУ. Більш того, при використанні колективних кабельних модемів (СМ), шуми (основні джерела шумів у реверсному каналі), що виходять від абонентів, фактично виключаються, тому що СМ включається на вході будинкового підсилювача, у складі якого відсутня підсилювач реверсного каналу.

4. Більш високі швидкості цифрових потоків в реверсному напрямку при незмінному числі частотних каналів зобов'язані виключно числа upstream-приймачів (приймачі реверсного напрямку), встановлюваних у складі головної станції кабельних модемів (СМТS). Збільшення числа upstream-приймачів (отже, і збільшення сумарних швидкостей в реверсному напрямку) при збереженні відносини несуча/шум (С/Ν) стало можливим завдяки зниженню числа абонентів, навантажуюємо на один ОУ.

5. Простота реалізації нових цифрових технологій, які накладаються на вже існуючі FTTB мережі. Класичним прикладом може служити нова перспективна технологія EтH (Ethernet to the Home), розроблена компанією Teleste (Фінляндія) та отримує все більше і більше поширення по всьому світу. Рішення EтC, яке забезпечує доставку кадрів Ethernet на коаксіальному телевізійному кабелю будинкових розподільних мереж не вимагає прокладки додаткового кабелю, наприклад UTP, і забезпечує доступ до мережі Ethernet на абонентській розетці, підключеної до коаксіальному кабелю оператора КТБ. До речі, технологія EтH від компанії Teleste, і дозволяє операторам FTTC мереж обійтися без прокладання ВОЛЗ до будинку при будівництві Ethernet мереж.

6. Можливість використання економічних ОУ досягається за рахунок того простого факту, що вслід за ОУ встановлюється потужний домовик підсилювач, отже, до вихідного каскаду ОП (а саме величиною його максимального вихідного рівня і визначається цінова політика ОУ) не пред'являється жорстких вимог як за коефіцієнтом посилення, так і по вихідному рівню. Робота при низьких вхідних оптичних потужностях досягається завдяки тому факту, що наступний домовик підсилювач фактично не вносить

вкладу в зниження S/N з-за його високого вихідного рівня. Саме робота при низьких вхідних оптичних потужностях допускає використання малого числа оптичних передавачів (отже, зменшується вартість ВОЛЗ в цілому) при великому числі ОУ.

7. Доступ до мережі зі швидкістю до 100 Мбіт/с.
8. Не потрібно додаткове обладнання (модем).
9. Висока якість передачі даних.

Варіант доступу ФТТН є найбільш витратним, але в той же час і найбільш перспективним, серед всіх типів доступу ФТТх. На перший погляд, будівництво мережі ФТТН – це дуже трудомісткий і, відповідно, дорогий процес, але досвід підказує, що основні витрати при розгортанні мережі ФТТН припадають на будівельні роботи, а вартість самого оптоволоконного кабелю становить відносно невелику частину. Це означає, що у разі необхідності проведення будівельних робіт кількість прокладається оптоволоконного кабелю вже не має великого значення.

Якщо ФТТН є перспективною, але відносно дорогою технологією, ФТТВ є оптимальною технологією, найбільш зручною для українських міст середнього і великого розмірів

Висновки

Всі види технологій ФТТх відрізняються головним чином тим, наскільки близько до користувача терміналу підходить оптичний кабель. На даний момент інтенсивно зростає інтерес до розгортання оптичних мереж доступу з прокладанням кабелю до будівлі (ФТТВ), а також безпосередньо до абонента (ФТТН).

У даній роботі була спроектована мережа на базі технології ФТТВ у м. Харків, були розглянуті питання вибору комутаційного обладнання, розрахунок обладнання, будівництво ВОЛЗ, розроблена схема організації зв'язку.

Розрахунки показали, що технологія ФТТВ є оптимальною технологією, найбільш зручно застосовувати, цю технологію в разі розгортання мережі у багатоквартирних будинках і бізнес-центрах середнього класу. Українські оператори зв'язку розгортають мережі ФТТВ поки тільки у великих містах, але в перспективі використання даної технології повсюдно.

Список літератури:

1. Стеклов В.К., Беркман Л.Н. Телекомунікаційні мережі. Київ, "Техніка", 2001.-526 с.
2. Стеклов В.К., Беркман Л.Н. Проектування телекомунікаційних мереж. Київ, "Техніка", 2003. – 923 с.
3. ФТТх: Где оптимальное место для «х» // Журнал «Сети и системы связи» № 9, сентябрь 2003. – С. 14-18.
4. Амиров Ю.Д. Научно-техническая подготовка производства. М., "Экономика", 1989. – 254 с.

АНАЛИЗ ПРОТОКОЛОВ БЕСПРОВОДНОЙ СЕНСОРНОЙ СЕТИ

Захаров Ю.В., Шостко И.С.

Харьковский национальный университет радиоэлектроники
61166, Харьков, пр. Науки 14, каф. каф. Инфокоммуникационной инженерии,
тел. (057) 702-13-20)

e-mail: yurii.zakharov@nure.ua; факс (057) 702-13-20

The paper analyzes technologies (protocols), that are used in wireless sensor networks. It also helps with selection of wireless modules that are ideal for solving the problems in the work. When using the multi-criteria optimization of each role of the private criterion is evaluated, taking into account its impact on the properties of the system as a whole.

Введение

При разработке БСС, возникает задача оптимального выбора технологий, протоколов и функциональных возможностей входящих в её состав модулей. Для решения этой задачи применяют алгоритмы многокритериальной оптимизации. В данном случае для решения поставленной задачи предлагается использовать метод сведения многокритериальной задачи к однокритериальной [1]. Теоретической основой такого подхода есть теория полезности, в соответствии с которой предполагается, что существует некоторая обобщённая оценка ценности или полезности для эксперта, принимающего решение.

Основная часть

Основная проблема для пользователя, решившего применить беспроводные решения, заключается в правильном выборе технологии и аппаратного решения из всего многообразия предложений, существующих на рынке. В данной работе проанализированы разные технологии (протоколы) БСС, в частности:

- DASH7 – стандарт организации БСС.

- Z-Wave – технология беспроводной радиосвязи, используемая для организации БСС. Основное назначение сетей Z-Wave – дистанционное управление бытовой техникой и различными домашними устройствами, обеспечивающими управление освещением, отоплением и другими устройствами для автоматизации управления жилыми домами и офисными помещениями.

- Insteon – комбинированная (частично проводная и частично беспроводная) сенсорная сеть. Для передачи информации используется радиосигнал на частоте 902-924 МГц, обеспечивающий передачу данных на дальности до 45 метров в условиях прямой видимости со средней скоростью 180 бит/с.

- EnOcean – технология организации БСС, использующая сверхминиатюрные датчики с генераторами электроэнергии, микроконтроллерами и приемо-передатчиками.

- ISA100.11a – стандарт организации промышленных сенсорных сетей, сетей датчиков и приводов. Для передачи используется низкоскоростная беспроводная связь с использованием элементов с низким энергопотреблением. Отличительная особенность ISA100.11a от других сенсорных сетей: 1) ориентированность на промышленное использование и, соответственно, специфические требования к прочности, помехозащищенности, надежности и безопасности, 2) возможность эмуляции средствами технологии ISA100.11a протоколов уже существующих и проверенных проводных и беспроводных сенсорных сетей. Обмен данными осуществляется на частоте в районе 2,4 ГГц и скорости порядка 250 кбит/с.

- WirelessHART – протокол передачи данных по беспроводной линии связи, разработанный HART Communication Foundation для передачи данных в виде сообщений. HART – протокол обмена данными для взаимодействия с полевыми датчиками.

- MiWi – протокол для организации сенсорных и персональных сетей с низкой скоростью передачи данных на небольшие расстояния, основанный на спецификации IEEE802.15.4 для беспроводных персональных сетей.

- 6LoWPAN – стандарт, обеспечивающий взаимодействие малых беспроводных сетей (частных сетей или сетей датчиков) с сетями IP по протоколу IPv6.

- One-Net – открытый протокол для организации БСС и сетей автоматизации зданий и распределенных объектов.

- Wavenis – беспроводная технология передачи данных, использующая частоты 433/868/915 МГц и обеспечивающая передачу на расстояние до 1000 м на открытом пространстве и до 200 м в помещении, при скорости до 100 Кбит/с. Технологию Wavenis используют для организации персональных сетей и сетей датчиков, так как сверхнизкое потребление приемо-передающих устройств позволяет им работать автономно до 15 лет от одной батарейки.

- RuBee – локальная беспроводная сеть, которая, в основном, используется как сеть датчиков. Для передачи данных в RuBee используются магнитные волны, и передача осуществляется на частоте 131 КГц, что обеспечивает скорость всего лишь 1200 бод в секунду на расстояниях от 1 до 30 метров.

- ZigBee – технология организации беспроводных сенсорных и персональных сетей. Технология ZigBee обеспечивает невысокое потребление энергии и передачу данных на нелицензируемой частоте 2.4 ГГц (для различных стран частота может отличаться) со скоростью до 250 Кб/с, на расстояние до 75 метров в условиях прямой видимости.

При выборе технологии для разрабатываемого проекта предлагается руководствоваться следующими факторами:

- Объем данных: некоторым потребителям требуется собирать мегабиты данных в секунду, другим необходимо всего лишь несколько раз в сутки включать и выключать отдельные устройства.

- Время отклика: когда устройство является частью цепи, получение команды в заданный момент является существенным критерием. Требуемое время реакции может составлять несколько микросекунд.

- Надежность отклика: будет ли сообщение получено наверняка и, если нет, какова вероятность обнаружения ошибок? Здесь при выборе технологии важную роль играют помехи.

- Дистанция связи: расположены ли узлы сети на большой территории или сосредоточены в одном месте? Дистанция может составлять от долей метра для сенсоров, расположенных в автомобиле до нескольких километров для датчиков в туннелях метрополитена, шахтах и т.д. Охватываемое расстояние задает потребляемую мощность и зачастую определяет, можно ли использовать не требующую лицензирования технологию связи.

- Число узлов связи: требуется ли связь только между двумя узлами, или в ней участвует множество узлов.

- Время автономной работы. Энергопотребление её элементов.

Стоит отметить, что нет универсальной технологии (протокола), применимой во всех сферах. В каждой области применения есть свои особенности, которые следует учитывать при выборе технологии (протокола). Для каждой сферы применения можно определить свои значимые критерии выбора протокола, среди которых: диапазон рабочих частот, максимальная скорость передачи данных, радиус действия, энергопотребление, защищенность протокола, помехозащищенность, открытость протокола, сложность реализации, способность самоорганизовываться.

Общим требованием к любой БСС, является минимальное энергопотребление её элементов, поэтому этот показатель в данной работе всегда будет минимизироваться, остальные же показатели будут варьироваться в зависимости от функционального назначения БСС.

Рассмотрим три сценария использования проектируемой БСС, для которых будут подбираться модули:

1. Удаленный сбор показаний со счетчиков расхода газа, электричества, воды. В этом случае, дополнительным показателем будет минимальная стоимость модулей.

2. Мониторинг основных показателей медицинской телеметрии. Здесь важна высокая производительность микроконтроллера и скорость передачи данных.

3. Система слежения за миграцией животных. В этом случае, дополнительным критерием будет высокий энергетический потенциал приемопередатчика (максимальная дальность связи).

Из перечисленных выше технологий (протоколов) для всех приведенных сценариев подходит ZigBee [2]. Если требуется перекрыть большую площадь и данные поступают с большого числа устройств (1 и 3 сценарий), то наиболее оптимальным для БСС будет применение ZigBee. Эта технология поддерживает сложные топологии сетей, в которых данные могут идти в центр сбора данных не только напрямую, но и через промежуточные узлы. За счет этого дальность связи может быть весьма значительной, несмотря на короткий радиус действия отдельных устройств. В сети теоретически может быть объединено до 65 тыс. устройств, поскольку возможна 16-разрядная адресация узлов ($2^{16} = 65536$). В расширенном варианте разрядность адресов может быть увеличена до 64.

Узлы ZigBee могут активироваться менее чем за 15 мс (для сравнения — при использовании Bluetooth задержка активации может достигать 3 с). Это важно для 2 сценария.

Другой спецификой стандарта ZigBee является детальное описание сервисов пользовательского уровня, направленное на обеспечение совместимости оборудования разных производителей. С этой целью под конкретные целевые приложения были разработаны профили, например: Smart Energy, Home Automation, Healthcare и другие.

Безопасность БСС обеспечивается механизмами, закрывающими ее для добавления новых устройств, идентификаторами сети, а также надежными алгоритмами шифрации. Энергопотребление ZigBee-модулей – одно из достоинств стандарта: при развертывании сетей большого размера дополнительные затраты на расход энергоресурсов минимальны. Правовые аспекты использования беспроводного оборудования стандарта ZigBee также решены: определена допустимая мощность для персональных радиосетей на

основе технологии ZigBee (2400–2483,5 МГц) – 100 мВт для применения внутри зданий, складских помещений и производственных территорий. Использовать ZigBee (100 мВт) вне помещений разрешено для сбора информации телеметрии в составе автоматизированных систем контроля и учета ресурсов или систем охраны. Пропускная способность стандарта является достаточной в сферах его применения (автоматизация производства и логистики, промышленная автоматизация технологических процессов (АСУ ТП), диспетчеризация в системах ЖКХ, коммерческий учет энергоресурсов (АСКУЭ), системы сигнализации и безопасности и т. п.).

Характеристики беспроводных модулей ZigBee от разных фирм производителей, показаны в табл. 1.

Результаты решения задачи оптимального выбора модулей, которые бы соответствовали основным требованиям, предъявляемым к БСС [1]:

1. Для удаленного сбора показаний со счетчиков расхода газа, электричества, воды службой жилищно-коммунального хозяйства: Оптимальное соотношения минимального энергопотребления и низкой стоимости оказалось у модулей № 2 и 6: CC 2530 от Texas Instruments и ATmega256/128/64RFR2 от производителя Atmel.

2. Мониторинг основных показателей медицинской телеметрии: Оптимальное соотношение высокой производительности микроконтроллера и скорости передачи данных у модуля №1 Programmable XBee-PRO ZB от Digi. Так же высокую производительность микроконтроллера продемонстрировал модуль №4: MRF24J40 MD/ME от Microchip.

Система слежения за миграцией животных: Высокий энергетический потенциал и низкое энергопотребление приемопередатчика у модуля №6 ATmega256/128/64RFR2 от Atmel.

Таблица 1 – Характеристики модулей

	1	2	3	4	5	6
Производитель	Digi	Texas Instruments	Jennic	Microchip	Mesh Logic	Atmel
Название модуля	Programmable XBee-PRO ZB	CC 2530	JN5139-xxx-M00/01/03	MRF24J40 MD/ME	MLM-LSR P100 ProFLEX01-R2	ATmega256/128/64RFR2
Поддерживаемые протоколы	ZigBee PRO 2007	IEEE 802.15.4/ RF4CE/ ZigBee	ZigBee	ZigBee, MiWi	IEEE 802.15.4, ZigBee®, 6LoWPAN	ZigBee
I_{0Tx} , мА	220	29	37	140	149	14,5
I_{0Rx} , мА	62	24	37	32	30	12,5

Четвертая международная научно-техническая конференция
Проблемы электромагнитной совместимости перспективных беспроводных сетей
связи

I_{osleep} , мкА	4	0,4/1	1,3/2,6	10	3	0,6
Prmin, dBm	-102	-97	-96	-104	-98	-100
Ptmax, dBm	10	+4,5	+1	+19	+20	3,5
U, В	2,7-3,6	2 – 3,6	2,7-3,6	3-3,6	2-3,3	1,8-3,6
Fproc, МГц	50.33	16	16	40	18	16
Cost, \$	27	3,25	5,87	13.12	46	5.15

Выводы. Предлагается алгоритм выбора технологии и аппаратного решения для разных сценариев использования проектируемой БСС. Проведенный анализ технологий (протоколов) показал, что при проектировании БСС необходимо:

- определить требования к БСС диапазон рабочих частот, максимальная скорость передачи данных, радиус действия, энергопотребление, защищенность протокола, помехозащищенность, открытость протокола, способность самоорганизации модулей и т.д.;

- присвоить каждому из требований весовой коэффициент (степень важности для проектируемой БСС);

- применив алгоритмы многокритериальной оптимизации выбрать технологию (протокол) из существующих на рынке беспроводных решений;

- проанализировать предложения популярных в настоящее время производителей, представляющих на рынке аппаратуру (комплектующие) для выбранной технологии (протокола) БСС;

- для модулей с поддержкой выбранной технологии (протокола) БСС выписать характеристики (параметры), влияющие на выполнение заданных требований;

- присвоить каждому из параметров весовой коэффициент (степень важности);

- применив алгоритмы многокритериальной оптимизации определиться с производителем комплектующих для БСС.

Список литературы:

1. Шостко И.С. Применение метода многокритериальной оптимизации при проектировании беспроводных сенсорных сетей / И.С. Шостко, Ю.Э. Куля // Оралдың ғылым жаршысы (Казахстан). – 2014. – №46 (125). – С. 110-120.

2. ZigBee Alliance. Open, Global Standards [Electronic recourse]. - Mode of access: www. URL: <http://www.zigbee.org>. – 17.07.2009. – Title from the screen.

**АНАЛИЗ СРЕДСТВ ВЫСОКОГО УРОВНЯ
ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНО-СОВМЕСТИМЫХ
СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ**

Куля Ю.Э.

Харьковский национальный университет радиоэлектроники 61166, Харьков,
пр. Науки, 14, каф. Инфокоммуникационной инженерии ИКИ, тел. (057) 702-13-
20,

E-mail: yuliia.kulia@nure.ua

Recent technological advances enabled the creation of Wireless Sensor Networks (WSN). There is a need for simulation systems, which should allow users to choose the best protocols for each applied problem.

Технологии беспроводной связи сегодня переживают подлинный бум развития [1]. Во-первых, это связано с прочным входом в нашу жизнь микроконтроллеров, которые, управляют различными технологическими процессами и оборудованием. Во-вторых, в различных отраслях промышленности, сельского хозяйства, жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ), в военной сфере назревает необходимость в организации надежных систем контроля и дистанционного управления распределенными объектами с помощью беспроводной сенсорной сети (БСС). Эта тенденция обусловлена усложнением технологических процессов на производстве, расширяющимся объемом данных, которых нужно контролировать в сегментах безопасности, обороны и логистики. С развитием микроэлектронных технологий появляются новые практические задачи и теоретические проблемы, связанные с применениями сенсорных сетей в промышленности, жилищно-коммунальном комплексе, домашних хозяйствах.

При разработке сенсорных сетей (СС) большое значение имеют системы моделирования [2]. Системы моделирования сенсорных сетей позволяют разрабатывать аппаратное и программное обеспечение для сенсорных датчиков со значительно меньшими затратами, чем в случае использования реальных устройств. Также они позволяют выбирать оптимальные решения для конкретной прикладной задачи, определять параметры работы сети (задержки при доставке данных, расход энергии и надежность). Но для получения корректных результатов такие системы должны моделировать низкоуровневые детали работы сети, что усложняет их реализацию.

В связи с этим существует проблема правильного выбора средства высокого уровня для моделирования СС.

Среди множества существующих средств имитационного моделирования СС стоит выделить такие проекты как TinyOS, TOSSIM, OMNET++ и Castalia, NS-2, и др. Далее рассмотрим их более детально

В проект TinyOS входит система моделирования TOSSIM [3]. Она позволяет моделировать работу произвольной программы для сенсорной сети, написанной на языке nesC. Это позволяет разработать приложение с использованием TOSSIM и потом использовать его в реальной сети. В системе TOSSIM поведение сенсоров моделируется достаточно подробно – например, моделируется передача каждого бита по радиоканалу. Основным недостатком этой системы моделирования является тесная привязка к TinyOS, что не позволяет моделировать сенсорные сети, не основанные на этой платформе.

OMNeT++ (Objective Modular Network Testbed in C++) – среда имитационного моделирования дискретных событий и состояний с открытым исходным кодом, основанная на компонентах, которая становится всё более популярной. Основная область применения – моделирование сетей передачи данных и бизнес процессов. Компоненты OMNeT++ написаны на языке C++.

OMNeT++ имеет модульную структуру, архитектура которой показана на рис.1. Библиотека компонентов моделирования состоит из простых и составных модулей, написанных на C++.

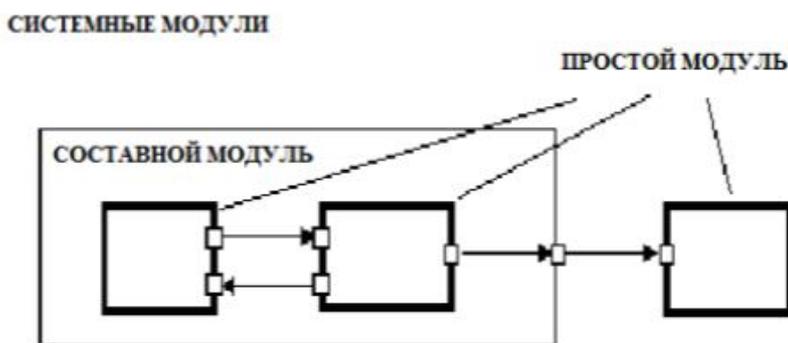


Рисунок 1- Модули OMNeT++

Castalia – симулятор сетей с низким энергопотреблением. Особенностью данного симулятора является то, что команда разработчиков ставила перед собой задачу реализовать модели не только уровней передачи данных, но и смоделировать физические процессы, данные о которых собираются в узлах. В результате получается, что беспроводные сенсоры связаны между собой не только беспроводными каналами связи, но и физическим процессом, параметры которого они измеряют. Преимуществом модели Castalia в том, что команда разработчиков изначально ставила перед собой задачу смоделировать все аспекты работы беспроводных сенсорных сетей, её исходный код является открытым и, что особенно важно, среда моделирования на основе, которой она построена, имеет также открытый исходный код и распространяется бесплатно для некоммерческого использования [4].

NS-2 (The Network Simulator) – объектно-ориентированный программный продукт, ядро которого реализовано на языке C++. Данная система [5] разработана в университете Беркли в сотрудничестве с компанией Хегох. На базе NS-2 возможна организация наглядной демонстрации функционирования протоколов и сетевых механизмов. Применение языка программирования позволяет описать заголовки пакетов и особенности взаимодействия компонентов с максимальной степенью детализации в соответствии со стандартами, что повышает реалистичность моделей.

Выводы

Проанализировав вышеперечисленную информацию про средства моделирования, можно сказать, что обнаружены различия в их реализации, такие как, невозможность воспроизводить сценарии моделирования одного симулятора в другом. Поэтому выбор оптимального средства имитационного моделирования СС будет зависеть от дальнейшей области применения данных сетей.

Список литературы:

1. Гепко И.А. Современные беспроводные сети: состояние и перспективы развития / И.А. Гепко, В.Ф. Олейник, Ю.Д. Чайка, А.В. Бондаренко / под ред. В.Ф. Олейника. – К.: ЕКМО, 2009. – 672 с.
2. A.Krölller, D.Pfisterer, C.Buschmann, S.P. Fekete, S.Fischer. Shawn: A new approach to simulating wireless sensor networks, Design, Analysis, and Simulation of Distributed Systems 2005, Part of the SpringSim 2005 12
3. P. Levis, N. Lee, M. Welsh, and D. Culler. TOSSIM: Accurate and Scalable Simulation of Entire TinyOS Applications, Proceedings of the First ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems (SenSys 2003).
4. https://www.researchgate.net/publication/301851843_GreenCastalia-UserManual/
5. The ns Manual/Ed.: Kevin Fall, Kannan Varadhan. – The VINT Project, 2006. – 414 p.

РОЗГОРТАННЯ МЕРЕЖ WiMAX

Петров Д.К.

Харківський національний університет радіоелектроніки
61166, Харків, пр.Науки, каф.Інфокомунікаційної інженерії, тел. (057) 702-13-
20,

E-mail: dymytr.petrov@nure.ua

Object of research – broadband wireless technology 802.16.

Purpose – to design an information network based on technology WiMAX to provide broadband Internet access.

In Attestation paper analyzes WiMAX network construction for the implementation of broadband Internet access, the features of the technology that the calculations for the deployment of 802.16-based network, and the user's choice of equipment and base stations.

Вступ

WiMAX (англ. Worldwide Interoperability for Microwave Access) – телекомунікаційна технологія, розроблена з метою надання універсального бездротового зв'язку на великих відстанях для широкого спектру пристроїв (від робочих станцій і портативних комп'ютерів до мобільних телефонів). Заснована на стандарті IEEE 802.16, який також називають Wireless MAN. Назва «WiMAX» було створено WiMAX Forum – організацією, яка була заснована в червні 2001 року з метою просування та розвитку технології WiMAX. Форум описує WiMAX як «засновану на стандарті технологію, яка надає високошвидкісний бездротовий доступ до мережі, альтернативний виділеним лініям і DSL».

WiMAX підходить для вирішення наступних задач:

- з'єднання точок доступу Wi-Fi один з одним і іншими сегментами Інтернету;
- забезпечення бездротового широкосмугового доступу як альтернативи виділеним лініям і DSL;
- надання високошвидкісних сервісів передачі даних і телекомунікаційних послуг;
- створення точок доступу, не прив'язаних до географічного положення.

WiMAX дозволяє здійснювати доступ в Інтернет на високих швидкостях, з набагато більшим покриттям, ніж у Wi-Fi мереж. Це дозволяє використовувати технологію в якості «магістральних каналів», продовженням яких виступають традиційні DSL та виділені лінії, а також локальні мережі. В результаті, подібний підхід дозволяє створювати масштабовані високошвидкісні мережі в масштабах цілих міст. Широкосмугові бездротові мережі передачі інформації стають одним з основних напрямків розвитку телекомунікаційної індустрії. А для країн, в яких велика територія поєднується з невисокою щільністю населення, бездротові мережі мають особливе значення.

Методи модуляції та архітектура 802.16

Технологія WiMAX має найвищі в класі Broadband Wireless Access (BWA) енергетичні параметри каналу зв'язку, що забезпечує задану високу швидкість передачі даних (пропускну здатність) на найбільшій дальності та навпаки, на заданій дальності мережа WiMAX має найвищу пропускну здатність. Тим самим, системи WiMAX забезпечують найвищу щільність потоку даних, вимірювану пропускною здатністю в Mbps в перерахунку на один км дві території покриття. Висока пропускна здатність систем WiMAX досягається за рахунок можливості підтримки на великих дальностях високої символної швидкості унаслідок високої енергетики системи.

У системах WiMAX застосовується квадратурна амплітудно-фазова модуляція QAM, а також фазова модуляція QPSK і BPSK. На сьогоднішній день QAM є однією з найефективніших методів модуляції, що дозволяє досягати максимально можливих швидкостей передачі даних.

Квадратурна амплітудно-фазова модуляція QAM застосовується практично повсюдно, в тому числі в Wi-Fi і preWiMAX системах з чіпсетом стандарту IEEE 802.11a/g. При цьому в системах WiMAX застосовується високошвидкісна модуляція 64QAM і 16QAM, яка може підтримуватися на значно більш високих дальностях в порівнянні з Wi-Fi і preWiMAX системами з аналогічним типом модуляції 64QAM і 16QAM за умовою використання OFDM сигналів однакової потужності.

У системах WiMAX застосовується широкосмуговий Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) сигнал, утворений з безлічі рознесених по частотному спектру вузькосмугових сигналів. Застосування OFDM сигналу забезпечує системі WiMAX найвищу в класі BWA спектральну ефективність (швидкість передачі даних в одному Герці смуги частотного спектра), можливість роботи поза прямої видимості, найвищі енергетичні параметри зв'язку забезпечують високу дальність зв'язку, можливість ефективного обслуговування мобільних абонентів. Спектральна ефективність системи оцінюється максимальною можливою швидкістю передачі даних (кількість переданих біт/с) системи в одиниці смуги займаних частот в один Герц. Висока спектральна ефективність системи WiMAX досягається за рахунок розподілу передачі інформації по паралельних підканалах піднесуч сигналу OFDM.

Базова станція (БС, BS - Base Station) розміщується в будівлі або на вищій і здійснює зв'язок з абонентськими станціями (АС, SS - Subscriber Station) за схемою – точка-багатоточка (Point to Multipoint - PMP). Можливий сітковий режим зв'язку (Mesh – сітка зв'язків -точка - точка - РТР), коли будь-які клієнти (АС) можуть здійснювати зв'язок між собою безпосередньо, а антенні системи, як правило, не є спрямованими. БС надає з'єднання з основною мережею і радіоканали до інших станцій. Радіус дії БС може досягати 30 км (в разі прямої видимості) при типовому радіусі мережі 6-8 км. АС може бути радіотерміналом або повторювачем, який використовується для організації локального трафіку. Трафік може проходити через кілька повторювачів, перш ніж досягне клієнта. Антени в цьому випадку є спрямованими.

Канал зв'язку припускає наявність двох напрямків передачі: висхідний канал (АС - БС, uplink) і низхідний (БС - АС, downlink). Ці два канали використовують різні частотні діапазони які неперекриваються при частотному дуплексі та різні інтервали часу при тимчасовому дуплексі.

Найпростіший спосіб представлення архітектури мереж WiMAX полягає у їх описі як сукупності БС, які розташовуються на дахах висотних будівель або вишках, і клієнтських приймально-передавачів.

Радіомережа обміну даними між БС і АС працює в СВЧ-діапазоні від 2 до 11 ГГц. Така мережа в ідеальних умовах може забезпечити технічну швидкість передачі інформації до 75 Мбіт/с і не вимагає того, щоб БС перебувала на відстані прямої видимості від користувача.

При більш детальному розгляді мережу WiMAX можна описати як сукупність бездротового і базового (опорного) сегментів. Перший описується в стандарті IEEE 802.16, другий визначається специфікаціями WiMAX Forum. Базовий сегмент об'єднує всі

аспекти, які не відносяться до абонентської радіомережі, Зв'язок базових станцій – один з одним, зв'язок з локальними мережами (в тому числі, інтернетом) і т.п. Базовий сегмент ґрунтується на IP-протоколі і стандарті IEEE 802.3-2005 (Ethernet). Однак саме опис архітектури в частині, що не відноситься до бездротової клієнтської мережі, міститься в документах WiMAX Forum, об'єднаних під загальною назвою «Network Architecture».

Обов'язковою є умова підтримки архітектурою протоколів IPv4 та IPv6. Мережі WiMAX повинні бути легко масштабованими, гнучко змінюваними та ґрунтуватися на принципі декомпозиції (будуватися на основі стандартних логічних модулів, що об'єднуються через стандартні інтерфейси). Властивості масштабованості і гнучкості необхідно забезпечувати за такими експлуатаційними характеристиками, як щільність абонентів, географічна протяжність зони покриття, частотні діапазони, топологія мережі, мобільність абонентів. Мережі WiMAX повинні підтримувати взаємодію з іншими бездротовими (3GPP, 3GPP2) або дротяними (DSL) мережами. Велике значення має здатність забезпечувати різні рівні якості обслуговування QoS.

Висновки

Використання інформаційної технології WiMAX дозволяє надати відносно дешево покриття бездротовим широкосмуговим доступом в Інтернет. Як показали розрахунки, використання даної технології буде ефективно при покритті великій території. При використанні бездротового доступу оператор може заощадити, як на трудові резерви, так і при розгортанні базових станцій потрібен тільки монтаж і установка, що незрівнянно позначиться на собівартості послуг, що надаються.

В роботі запропоновано і обґрунтовано метод поширення WiMAX з удосконаленими функціями та робочими характеристиками.

Для досягнення більш високого енергетичного потенціалу ліній зв'язку (link budget), зменшення згасання сигналів і кращого покриття мікро-спотів (micro-spot), використані різні технології рознесення. Прибуткова бізнес-модель WiMAX з більш високим покриттям користувачів, задоволеністю користувачів і поліпшене енергетичні потенціали ліній зв'язку (link budget) WiMAX може бути досягнута при використанні передових антенних технологій (MIMO і AAS): MIMO A/B & STC.

В роботі запропонована в використання нова мережна архітектура SI3000 Light ASN, заснована на простій ієрархії зі сконфігурованими однорідними (commodity) мережними елементами, забезпечує структуру між базовою мережею CSN і радіомережею WiMAX.

Список літератури:

1. Компьютерные сети. 5-е изд. Таненбаум Э., Уэзеролл Д. — СПб.: Питер, 2012. — 960 с.
2. Сети беспроводного доступа WiMAX. Рашич А. В. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011. — 179 с.
3. Широкополосные беспроводные сети передачи информации. Вишневський В.М., Ляхов А.И., Портной С.Л., Шахович И.В. – М.: Техносфера, 2005. — 591 с.
4. Энциклопедия WiMax – путь к 4G. Вишневський В.М., Портной С.Л., Шахович И.В. – М.: Техносфера, 2009. — 472 с.

**КООРДИНИРОВАННАЯ ПЕРЕДАЧА ДАННЫХ ПО СХЕМЕ eICIC
СТАНДАРТА LTE-A**

Дробяз С. А.

Харьковский национальный университет радиоэлектроники
(61166, Харьков, пр.Науки,14, каф. Инфокоммуникационной инженерии, тел. (057)
702-13-20)

e-mail: serhii.drobiaz@nure.ua факс (057) 702-13-20

eICIC introduces concept of "Almost blank subframe" (ABS). ABS subframes do not send any traffic channels and are mostly control channel frames with very low power.

В схеме eICIC стандарта LTE-A борьба с внутриканальными помехами от макростанций осуществляется с помощью управления мощностью передаваемых макростанцией сигналов. Для этого на части временных ресурсов (подкадров) активность макростанций существенно ограничивается во всей полосе частот. Ограниченная активность макростанций, сигналов пониженной мощности или полное прекращение передачи данных (пилотные поднесущие продолжают передаваться). При этом обслуживание пользователей пикостанциями разрешается во всех подкадрах без ограничений. В подкадре с ограниченной активностью (Almost Blank Subframe, ABS) пикостанция может осуществлять передачу данных пользователям, наиболее сильно подверженным воздействию внутриканальных помех со стороны макростанций. Для этого пикостанции используют информацию об активности макростанций в каждом подкадре. На стороне пикостанции эта информация становится известной после оптимальной настройки функционирования всех станций радиосети в результате прямых измерений, либо в результате обмена специальными сообщениями с макростанциями ближайших сот.

В случае, когда порядок следования подкадров с ограниченной активностью (мощностью) не согласован между соседними макростанциями, пользователи ближайших пикостанций попеременно испытывают внутриканальные помехи от разных соседних макростанций. На рис. 1а проиллюстрирована ситуация, когда для двух соседних макростанций порядок следования подкадров с ограниченной активностью не совпадает, в результате чего пользователи ближайшей пикостанции продолжают принимать непреднамеренные внутриканальные помехи в течение данных подкадров. Особенно сильно влиянию этих помех подвержены пользователи, абонентское соединение которых было переключено с макро- на пикостанции после расширения зон обслуживания пикостанций с помощью процедуры CRE. В некоторых ситуациях это может даже препятствовать переключению абонентских соединений с макро- на пикостанции из-за невозможности безошибочного приёма данных от пикостанций.

Для более эффективной защиты пользователей пикостанций от помеховых сигналов макростанций порядок следования подкадров с ограниченной активностью синхронизируется для макростанций во всей радиосети. Таким образом, достигается практически полное устранение помех от всех макростанций в подкадрах с ограниченной активностью (см. рис. 1б). Благодаря этому перераспределение абонентских соединений с помощью эффективного расширения зон покрытия пикостанций можно проводить без учёта возможных помех со стороны макростанций. В итоге, синхронная передача подкадров в схеме eICIC способствует более эффективному выравниванию частотной загруженности каналов базовых станций. Заметим также, что взаимные непреднамеренные помехи всегда существуют в обычных подкадрах. Однако их влияние на пропускную способность системы существенно уменьшается благодаря планированию передачи данных в этих подкадрах пользователям, не испытывающим сильные внутриканальные помехи от макростанций.

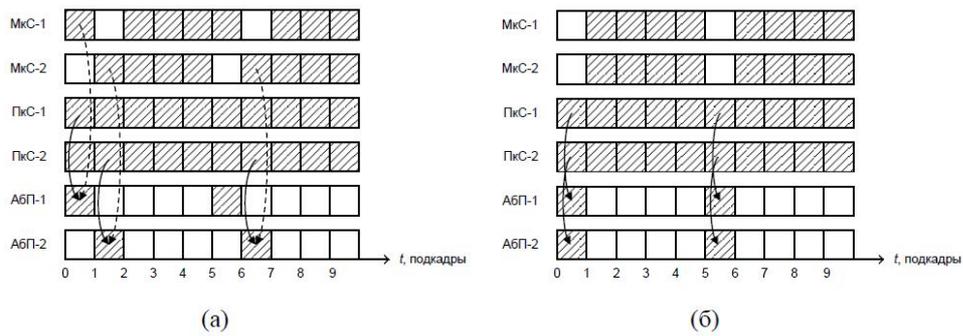


Рисунок 1 – Несогласованный (а) и согласованный (б) порядок следования подкадров с ограниченной активностью (ABS) для двух макростанций МкС-1 и МкС-2 и пикостанций ПкС-1 и ПкС-2. Штриховкой обозначены подкадры, в которых эти станции передают данные обслуживаемым абонентам. Для абонентов АБП-1 и АБП-2, обслуживаемых пикостанциями ПкС-1 и ПкС-2 соответственно, штриховкой показаны подкадры в которых эти пользователи принимают данные. Подкадры с ограниченной активностью макростанций показаны без штриховки.

На рис. 2 представлены кривые интегральных распределений значений величины ОСШП (усреднённых по частоте) для пользователей пикостанций в обычных подкадрах и в подкадрах с ограниченной активностью макростанций. Кривые были получены путём численного моделирования неоднородной сотовой сети. Из приведённых на рисунке кривых видно, что при применении схемы eICIC помеховая обстановка для пользователей в обычных подкадрах и подкадрах с ограниченной активностью макростанций существенно различается (на 5-7 дБ). Поэтому для выбора оптимальных параметров передачи сигналов, в системе мобильной сотовой радиосвязи LTE-A предусматривается вычисление приёмником пользователя и передача на обслуживающую базовую станцию двух значений ОСШП, соответствующих подкадрам разных типов. В зависимости от типа текущего подкадра эти значения используются для оптимального выбора модуляции и скорости помехоустойчивого кодирования, наиболее подходящих к текущей помеховой обстановке для данного пользователя пикостанции.

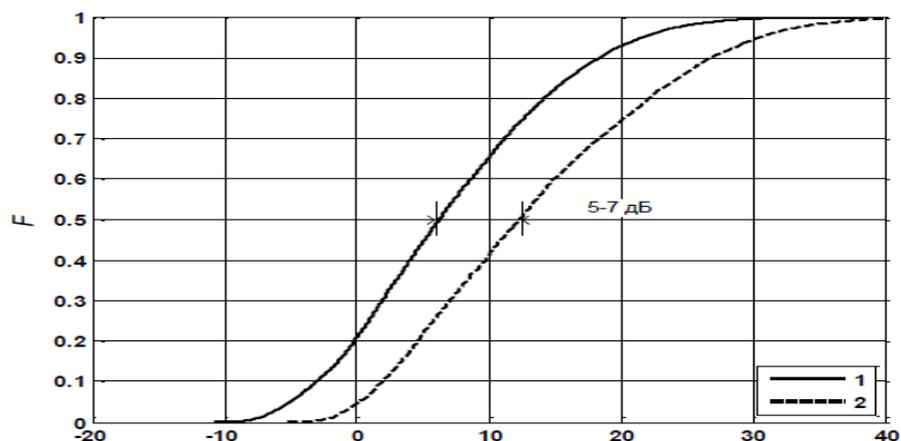


Рисунок 2 – Интегральные распределения F среднего значения $\bar{\gamma}$ величины ОСШП для пользователей пикостанций в обычных подкадрах (кривая 1) и в подкадрах с ограниченной активностью макростанций (кривая 2).

Четвертая международная научно-техническая конференция
Проблемы электромагнитной совместимости перспективных беспроводных сетей
связи

Список литературы:

1. МСЭ. Мир в 2013 г. Факты и цифры, касающиеся ИКТ [Электронный ресурс]. – 2013. – 8 с. – Режим доступа:
<http://www.itu.int/en/ITUUD/Statistics/Documents/facts/ICTFactsFigures2013-r.pdf>
2. Stocker, A.C. Small-cell mobile phone systems // IEEE Transactions on Vehicular Technology. – 1984. – V. 33, No. 4. – P. 269-275.

**АНАЛИЗ МЕТОДА ОПТИМИЗАЦИИ ЧАСТОТНОГО РЕСУРСА В
КОГНИТИВНЫХ РАДИОСЕТЯХ**

Гримова Н. А.

Харьковский национальный университет радиоэлектроники
(61166, Харьков, пр.Науки,14, каф.Инфокоммуникационной инженерии, тел. (057)
702-13-20)

e-mail: nataliia.roi@nure.ua факс (057) 702-13-20

An algorithm for frequency resource allocation in cognitive radio networks with frequency reuse. Using of this method allows reduce bandwidth in 2 and 3 times.

Концепция когнитивного радио может быть охарактеризована как радио с изучением возможностей, т.е. как радио, которое в состоянии получить знания о радио среде и корректировать свои эксплуатационные параметры и протоколы соответственно. Свойство когнитивности подразумевает способность радиосистемы решать следующие задачи: переход от одного стандарта к другому; использование нескольких стандартов; перестройку частоты; возможность участия в динамическом распределении спектра; возможность к вторичному использованию спектра; динамическую оптимизацию емкости; регулировку антенн; реконфигурацию транспортной сети. Таким образом, оптимизация распределения частотного ресурса в когнитивных радиосетях является актуальной научной задачей.

В работе предложен алгоритм распределения частотного ресурса в когнитивных радиосетях с повторным использованием частот. Задача минимизации полосы частот формулируется следующим образом. Известно, на данный текущий момент расположение в пространстве N абонентских станций (АС) в зоне обслуживания базовой станции (БС) в виде матрицы взаимных расстояний $\|d_{ij}\|, i, j = 1, 2, \dots, N$. Условия совместного использования АС в зоне обслуживания БС определяются функцией частотно-территориального разноса (ЧТР), которая представляет собой монотонно убывающую функцию допустимой расстройки рабочих частот АС Δf от их взаимного удаления d :

$$\Delta f = g(d). \quad (1)$$

Каждой i -й АС требуется присвоить рабочую частоту $f_i, i = 1, 2, \dots, N$ так, чтобы при выполнении условий электромагнитной совместимости (ЭМС) занимаемая ими полоса частот

$$\Delta F = \max_{1 \leq i \leq N} f_i - \min_{1 \leq i \leq N} f_i \quad (2)$$

была минимальной, а ее минимальное значение соответствовало бы заданной частоте f_{\min} :

$$f_{\min} = 2f_{cp} - \max_{1 \leq i \leq N} f_i. \quad (3)$$

По известной матрице $\|d_{ij}\|$ и заданной функции ЧТР (1) условия ЭМС АС в зоне обслуживания БС можно записать в виде матрицы допустимых частотных расстроек между АС $\|\Delta f_{ij}\|$, элементы которой ограничивают выбор рабочих частот с помощью соотношений

$$|f_i - f_j| \geq \Delta f_{ij}, (\Delta f_{ij} = g(d_{ij}), i, j = 1, 2, \dots, N, i \neq j). \quad (4)$$

Тогда в области, определяемой ограничениями (3) и (4), необходимо найти такие значения переменных f_i , при которых целевая функция (2) принимает наименьшее

значение. Алгоритм разработан на основе использования метода локальной оптимизации. В данном случае условием локальной оптимальности является то, что присваиваемая очередной АС рабочая частота должна быть ближайшей к присвоенной на предыдущем шаге частоте при условии соотношений (4).

В работе проведен анализ эффективности алгоритма распределения частотного ресурса в когнитивных радиосетях для сети LTE.

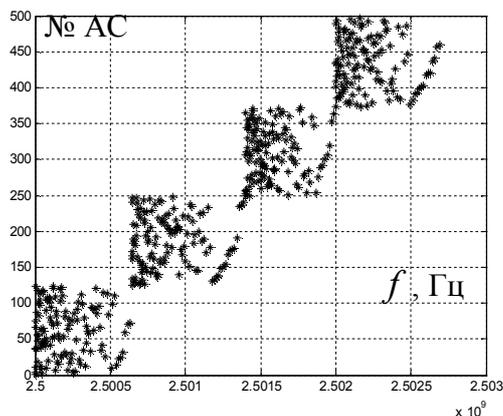


Рис. 1. Присвоение частот АС сети LTE

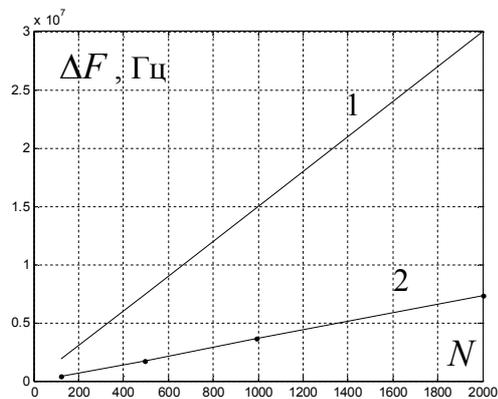


Рис. 2. Зависимость ΔF от N сети LTE

Произведено распределение частотного ресурса между АС в диапазоне от 2,5 до 2.5027 ГГц с соответствующим присвоением им частот. Пример такого присвоения частот показан на рис.1. При этом, как видно из рис.1 в пределах свободного частотного диапазона выделено 496 дополнительных канала. На рис. 2. представлена зависимость ширины полосы частот ΔF от количества обслуживаемых АС N сети LTE. Кривая 1 соответствует случаю распределения частотного ресурса без использования предложенного метода, а кривая 2 с использованием предложенного метода. Анализ показал, что использование данного метода позволяет в 2 -3 раза сократить полосу частот. Также можно сделать вывод о том, что с ростом числа одновременно обслуживаемых АС эффективность метода повышается.

Наиболее важной задачей в перспективных радиосетях является обеспечение качества связи. Таким образом, алгоритм распределения частотного ресурса в сети мобильной связи с обеспечением качества связи является актуальной научной задачей.

В данное время, АС сетей радиосвязи проводится выделение частотного ресурса (выделение каналов связи) по алгоритмам обеспечения экстремального Q_{36}^{\max} или необходимого $Q_{36}^{\text{необх}}$ значения качества связи для приоритетных или равноправных каналов связи (КС). Критерием эффективности КС выступает качество связи Q_{36} с допустимыми потерями достоверности:

$$Q_{36} \left(P_{\text{ном}} \leq P_{\text{ном}}^{\text{дон}} \right) \text{ або } Q_{36} \left(P_{\text{пр}} \geq P_{\text{пр}}^{\text{мин}} \right), \text{ де } P_{\text{ном}} \text{ и } P_{\text{ном}}^{\text{дон}} -$$

соответственно вероятность ошибочного приема сигнала и допустимая вероятность ошибочного приема сигнала, $P_{\text{пр}}$ и $P_{\text{пр}}^{\text{мин}}$ - вероятность правильного приема сигнала и минимально допустимая вероятность правильного приема сигнала.

Для приоритетных КС управления частотным ресурсом сводится к назначению АС частоты f из доступного частотного ресурса $f = 1, \bar{n}$ через показатель отношения

мощности сигнала АС к мощности помехи. Общая постановка задачи оптимального распределения частотного ресурса в равноправных КС формулируется следующим образом. Нужно найти вектор распределения ресурса $f^n = \{f_1, \dots, f_M\}$ между M АС, при котором будет обеспечено максимально возможное качество связи во всех сложившихся КС.

При децентрализованном использовании частотного ресурса такие задачи решаются с целью максимизации среднего числа КС, обслуживаемых с требуемым качеством. Это может привести к тому, что в одни КС выделяется ресурс, обеспечивающий возможность правильного приема, что значительно превышает требуемые значения, а в других - ресурс, который не обеспечивает качество связи. Предложено оптимальное распределение частотного ресурса на радиосети осуществлять по критерию гарантированного качества связи, в большинстве случаев обеспечит максимальную равномерность качества в группировке равноприоритетных АС. Для решения задачи оптимального распределения частот в группировке АС принято критерий вида:

$$f^n = \max_m \min_n Q_{зв}^{(mn)} \left(P_{np}^{(mn)} \geq P_{np}^{\min} \right), n = \overline{1, N}, m = \overline{1, M},$$

где $Q_{зв}^{(mn)}$ качество связи в КС, создана m -й АС на n -й частоте.

При такой постановке задачи, назначение частот в группировке АС при одинаковых требованиях к качеству связи осуществляется по максимумному критерию, то есть в качестве критерия принимается максимум качества связи в КС, образованном АС в худшей СЗО. Задача назначения частот заключается в следующем. Пусть на радиосеть, состоящую из M АС, выделено N частот. Причем необходимо соблюдать условия $N \geq M$. При назначении n -й частоты m -й АС в образованном КС обеспечивается вероятность правильного приема $P_{np}^{(mn)}$. Нужно найти такой вариант назначения частот, при котором будет обеспечиваться максимальная вероятность правильного приема в КС с АС, $t_j n j h f z$ имеет плохое состояние с точки зрения ЭМС. Обозначим F через матрицу распределения частот, элементы которой f_{mn} принимают значения 0 или 1 и определяются из следующих условий:

$$f_{mn} = \begin{cases} 1, & n - a \text{ частота, яка закріплена за } m - ю \text{ АС;} \\ 0, & \text{в іншому випадку.} \end{cases}$$

Тогда из множества $\{F\}$ необходимо найти такую матрицу присвоения частот $F^* = \{f_{mn}^*\}$ при которой достигается $F^* = \max_{\{F\}} \min_m P_{np}^{(mn)}(f_{mn}^*)$ оптимальный вариант присвоения частот ($P_{np}^{(mn)}(f_{mn}^*)$ - вероятность правильного приёма в КС, которая находится в худших условиях при назначении m -й АС n -й частоты). Для решения этой задачи рассчитывают значения вероятности правильного приёма, которые подаются в виде матрицы:

$$P_{np}^{(mn)} = \begin{pmatrix} P_{np}^{11} & P_{np}^{12} & \dots & P_{np}^{1N} \\ P_{np}^{21} & P_{np}^{22} & \dots & P_{np}^{2N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{np}^{M1} & P_{np}^{M2} & \dots & P_{np}^{MN} \end{pmatrix}.$$

Алгоритм распределения частотного ресурса сети приведем в виде такой последовательности операций:

1. С элементов матрицы строится вариационный ряд:

$$P_{ij}^{(1)} > P_{ke}^{(2)} > \dots > P_{pq}^{(\gamma)} > \dots > P_{rd}^{(v)}, \quad r = \overline{1, M}; \quad d = \overline{1, N}.$$

2. На первом шагу принимается $\gamma = M$.

3. Складывается матрица $F_{ij}^{(\gamma)}$, учитывая

$$F_{ij}^{(\gamma)} = \begin{cases} 1, & P_{ij} - P_{ij}^{(\gamma)} \geq 0; \\ 0, & P_{ij} - P_{ij}^{(\gamma)} < 0. \end{cases}$$

4. Определяется число M^* независимых единичных элементов матрицы $F_{ij}^{(\gamma)}$, то есть таких, которые никакие два из указанных элементов не лежат в одном и том же рфяду и в одном и том же столбце этой матрицы: если $M^* < M$, то $\gamma = \gamma + (M - M^*)$ перейти к п.3; если $M^* = M$, то перейти к п.5.

5. Складывается матрица назначений сформированных КС при назначении частот.

Список литературы:

1. Ермаков А.И. Алгоритмы оптимизации выделяемой полосы частот для группы однотипных радиоэлектронных средств по условиям обеспечения их ЭМС/Ермаков А.И., Соловьев Н.В.// Радиотехника. Научно-техн. и теор. журнал. - М.: Радио и связь. – 1983. - №3.
2. Коляденко Ю.Ю. Анализ алгоритмов управления частотным ресурсом в системах сотовой связи /Коляденко Ю.Ю. - Международная научная конференция «Интеллектуальные системы принятия решений и прикладные аспекты информационных технологий» (ISDMIT'2006). – Евпатория. - 2006 г. С.56-57.

ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ КАЧЕСТВА ПЕРЕДАЧИ ТРАФИКА В СЕТЯХ LTE

Кадацкая О.И, Ндулуе Виктор Изучукву, Сабурова С.А.
Харьковский национальный университет радиоэлектроники
61166 г. Харьков, пр. Науки, 14, ХНУРЭ, факультет ИК, E-mail:
d_ts@nure.ua

Abstract. VoLTE (Voice over LTE) is a solution to transfer voice packets over the LTE network, with low latency and high QoS (Quality of Service). Used to calculate the different QoS Performance Indicators such as Delay, Packet loss Rate (PLR), Jitter and MOS (mean Opinion Score) which were taken as performance metrics.

Ключевые слова: LTE, VoLTE, MOS, система QoS, параметры, качество.

Введение

Высокое качество обмена данными, в том числе голосовыми, в беспроводных сетях подразумевает, в первую очередь, стабильность и высокую скорость передачи информации. Работа над улучшением качества мобильных сетей ведётся постоянно и надо отметить, за последние несколько лет в этой области было достигнуто немало успехов. Становятся доступными всё более новые и совершенные стандарты связи, к примеру, Long Term Evolution (LTE), стандарт 4G. Согласно спецификации, максимальная скорость, которую могут обеспечить сети 3G, составляет 42 Мб/с, однако в реальности она редко превышает 2-3 Мб/с, сеть же четвёртого поколения уже сейчас позволяет передавать данные на скорости порядка 20 Мб/с. Сеть LTE/4G полностью совместима с 3G на базе UMTS/HSPA и CDMA, что позволяет внедрять её без существенной реконструкции инфраструктуры. Но есть у LTE и свои недостатки, из которых едва ли не основным является отсутствие поддержки телефонной голосовой связи, для совершения звонков пользователь должен переключаться на 3G.

IP-телефония обладает универсальностью, доступностью, гибкостью.

Основная часть

VoLTE представляет собой технологию передачи голоса через LTE-сеть, позволяющую совершать звонки с высокой скоростью, пользуясь при этом всеми преимуществами, которые предоставляет сеть четвёртого поколения. Все голосовые вызовы, инициируемые в сети LTE, осуществляются в 2G/3G сетях в режиме коммутации каналов (CS-Voice). Для реализации такой возможности применяется CS Fallback (CSFB, Voice Redirection). Среднее время установления вызова при использовании CSFB составляет 3-6 сек, по завершению звонка телефон переключается на LTE. Однако, при использовании CSFB создается излишняя нагрузка на мобильную сеть, увеличивается время соединения, в LTE же звонки совершаются внутри самой сети. Для работы CSFB необходимо перекрытие радиосетей LTE и GSM/UMTS. Также необходима поддержка CSFB на абонентском оборудовании и на MSC-коммутаторах мобильной связи. На MSC реализуется специальный интерфейс в сторону оборудования LTE/EPC, который предназначен для пейджинга абонентских устройств и управления их переключением между сетями LTE и GSM/UMTS, а также для доставки входящих и исходящих SMS.

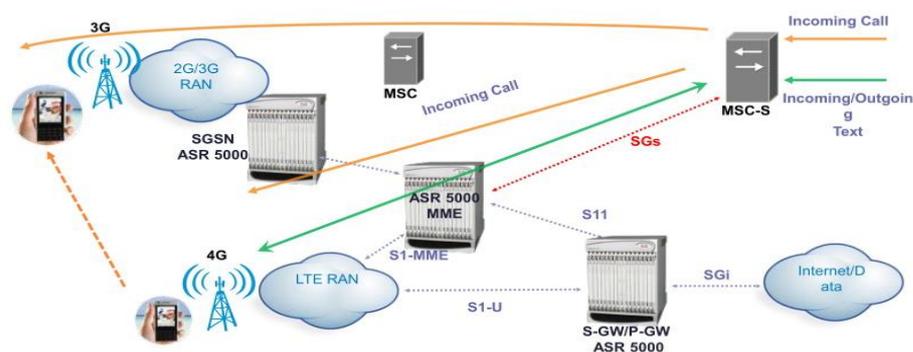


Рисунок 1. Технология Circuit-Switched Fallback

Недостатки технологии CSFB:

- необходима модернизация MME и MSC для сигнализации и SMS;
- перекрытие зон GERAN/UTRAN и E-UTRAN;
- увеличение задержки установления голосового соединения;
- снижение скорости передачи данных до скоростей 2,5G/3G;
- необходимо время возвращения мобильного терминала в сеть LTE после окончания разговора.

В сетях LTE доставку производят с помощью сквозных каналов с соответствующим качеством обслуживания (Quality of Service, QoS). Кроме этого, организуемые для передачи трафика сквозные каналы, подразделяются на 2 группы в соответствии с типом выделяемого ресурса: GBR (Guaranteed Bit Rate) и Non-GBR.

В качестве проверки производительности сети VoLTE рассмотрим различные параметры QoS, такие как MOS, задержка E2E, скорость потерь пакетов и джиттер пакетов.

1. Расчеты MOS для VoLTE- вызовов

Значение R может быть рассчитано с использованием уравнения (1), что является упрощенной формой E-модели[1], учитывающей только влияние на значение R-фактора кодеков и потерь пакетов:

$$R = 100 - I_e - (95 - I_e) \times V_{pl} / (V_{pl} + P_{pl}), \quad (1)$$

где: I_e - потери пакетов от эха в сети,

V_{pl} - коэффициент устойчивости потери пакетов,

P_{pl} - индикатор PLR. Значения I_e и V_{pl} относятся к скорости передачи битов кодеков.

Оценочная MOS в масштабе 1-5 получена на основе R-фактора с использованием следующих преобразований:

MOS	R-factor
1	$R \leq 0$
$1 + 0.035R + 7 \cdot 10^{-6}R(R-60)$	$0 \leq R \leq 100$
4.5	$R > 100$

2. Расчет задержки E2E

Задержка E2E - очень важный фактор QoS, который оказывает большое влияние на QoS VoLTE. Уравнение, используемое для расчета задержки E2E :

Задержки E2E VoLTE = задержка сети + задержка кодирования / декодирования
* задержка сжатия / декомпрессии + задержка буфера джиттера
(4).

Значение задержки буфера джиттера составляет около 30 мс, что зависит от производителя мобильного устройства, вся задержка обработки для мобильного устройства составляет от 80 мс до 100 мс. Задержка E2E может быть рассчитана путем добавления задержки сети в дополнение к среднему времени мобильной обработки, которое составляет почти 85 мс. Для достижения качества передачи голоса, не хуже, чем голос с коммутацией каналов, задержка E2E для обслуживания VoIP должна быть меньше 250 мс[2]. Принимая во внимание задержку обработки пакета и задержку распространения в базовой сети около 100 мс, запас задержки, оставшейся для сети радиодоступа, должен составлять около 150 мс. Предполагая, что оба конечных пользователя являются пользователями E-UTRAN, допустимая задержка для планирования и буферизации MAC должна быть строго в пределах 80 мс.

3. Оценка скорости потери пакетов и джиттер

Скорость потери пакетов VoLTE - еще один важный фактор QoS . PLR обычно относится к проценту пакетов, которые теряются при переходе от отправителя к получателю в сети. В идеале не должно быть потерь пакетов. Однако, пользователи VoLTE по-прежнему удовлетворены, если этот процент составляет максимум от 1% до 2% в зависимости от требований 3GPP . Это означает, что по крайней мере, от 99% до 98% от общего количества передающих пакетов должны успешно прибыть в конечный пункт назначения. Рекомендуется, чтобы джиттер 25 мс был приемлемым значением для измерения задержки.

Применяя программный пакет Wireshark, можно определить скорость потери пакетов и джиттер, исходя из интерфейса S1-U , используя журнал сообщений RTCP для трассировки вызовов VoLTE. Необходимо сообщение INVITE отправить из VoLTE UE в P-CSCF в основной сети IMS для инициирования вызова VoLTE. Сообщение «200 ОК» отправляется из P-CSCF в UE, на который отвечает вызов, отсюда начинается отсчет отправки двухсторонних данных для расчета PLR «Скорость потери пакетов». Вызов VoLTE завершается отправкой BYE из UE. Потери, соответствующие потокам, анализируются для отображения всех пакетов RTP с их порядковым номером, и если их немного, отображается соответствующая ошибка. Чтобы получить PLR и джиттер пакетов VoLTE RTCP, можно выполнить следующие шаги:

- открыть файл p-cap, декодировать все UDP-пакеты как RTP, активировать любой пакет UDP -> Decode as -> RTP.

- как только получены все пакеты RTP, осуществляется переход по адресу: Telephony -> RTP -> показать все потоки.

Определяем потери, соответствующие потокам, и анализируем потоки с большой потерей пакетов, выбрав поток и активировав «Анализировать», после чего отображаются все пакеты RTP с их порядковым номером.

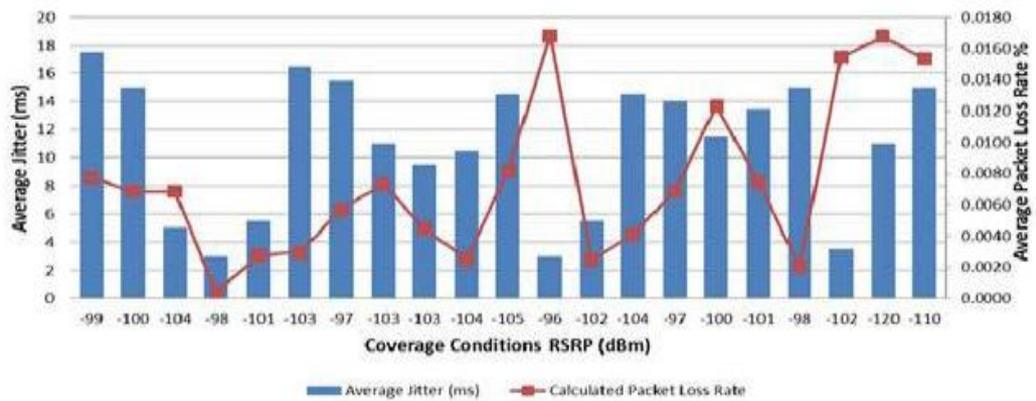


Рисунок 2. Джиттер и потери пакетов VoLTE для плохих условиях беспроводной связи

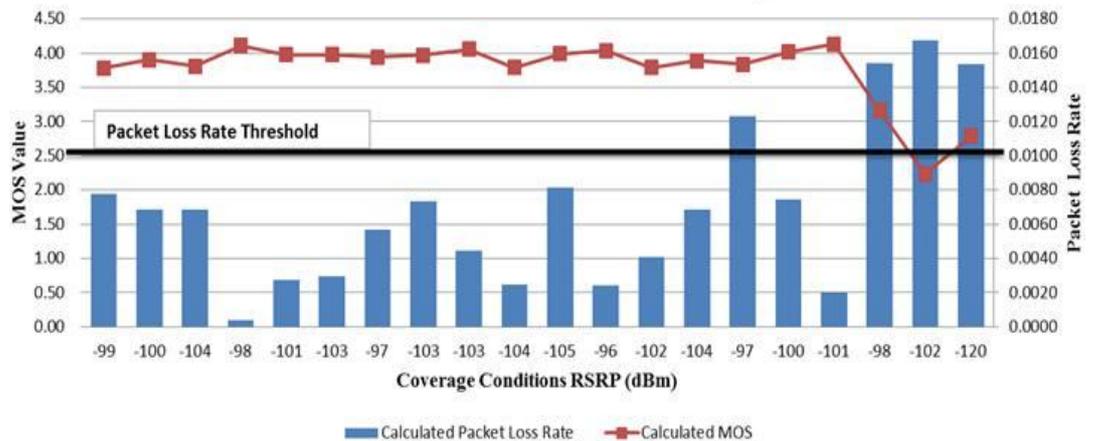


Рисунок 3. Скорость потери пакетов (PLR) в условиях плохого покрытия

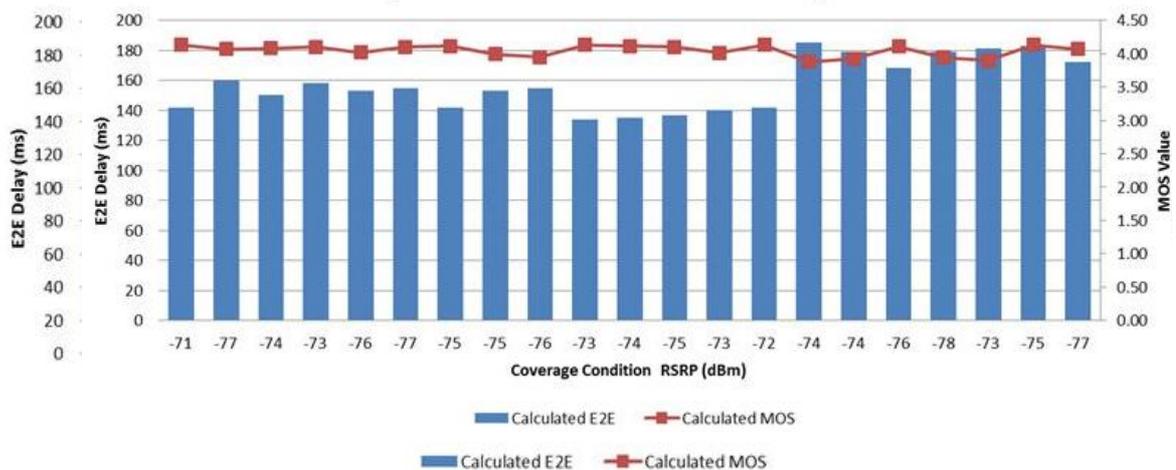


Рисунок 4. Влияние PLR и условий покрытия беспроводной сети на качество MOS вызова VoLTE

Моделирование выполняется для ЧНН при охвате загруженных сайтов eNodeB с использованием RB (Radio Block) более 99%. Многочисленные вызовы VoLTE продолжительностью не менее 2 минут выполнялись в разных условиях

покрытия LTE от «-70 дБм» до «- 85 дБм» для хороших условий беспроводной связи и достигли диапазона «-95 дБм» до «-110 дБм» для плохих условия покрытия. Различные вызовы VoLTE осуществлялись во время движения с разной скоростью, начиная с 20Km / h, до достижения 100Km / h. Были собраны и проанализированы результаты случайных вызовов VoLTE.

Значения MOS рассчитываются с использованием коэффициента R, для кодека WB-AMR(23,85 Кбит/с). Задаваясь допустимыми расчетными значениями для параметров QoS, большая часть значений PLR будет меньше 1%. Значения джиттера пакетов (рис 2.) увеличились при плохих условиях покрытия, но все еще меньше 25 мс. На рисунке 3 показано отношение рассчитанных значений MOS к PLR в условиях плохого покрытия, среднее значение MOS равно 3,91, что отражает хорошее качество передачи голоса даже для плохих условий покрытия. Когда числовое значение PLR увеличилось выше 1%, соответствующие значения MOS резко снизились до более низких значений, которые отражают низкое качество голоса. Показана зависимость (рис. 4) между задержкой и качеством голоса в разных условиях покрытия LTE.

Выводы

В работе рассматриваются технологии CSFB и VoLTE для передачи голоса в сетях 4G, получены значения параметров QoS. Представлена методика расчета, анализ и оценка качества голоса для соединения end-to-end. Построены графики зависимости оценки MOS. Показаны графики скорости потери пакетов и джиттер пакетов для разных условий покрытия, из которых следует, что PLR увеличивается для плохих условиях беспроводного покрытия, среднее значение MOS равно 3,91, что отражает хорошее качество передачи голоса даже для таких условий. Показана зависимость между средней задержкой и качеством голоса в разных условиях покрытия LTE, среднее значение MOS 4,05 составляет 157,7 мс при хороших условиях покрытия для вызовов VoLTE с использованием кодека WB-AMR со скоростью 23,85 Кбит / с, что указывает на очень хорошее качество вызовов VoLTE.

Технология VoLTE, основанная на IP Multimedia Subsystem (IMS), используется для передачи голоса как потока данных по сети LTE. Однако внедрению данной технологии препятствует ряд проблем, это высокие затраты на установку IMS платформы, отсутствие качественного LTE покрытия, малое количество устройств с поддержкой данной функции.

Список литературы:

1. ITU-T G.107, "The E-Model, a computational model for use in transmission planning", June 2015.
2. 3GPP TS 22.173 V14.1.0. "IP Multimedia Core Network Subsystem (IMS) Multimedia Telephony Service and supplementary services". Stage 1 (Release 14), March 2016.

МЕТОДОЛОГИЯ ИСПЫТАНИЙ УСТОЙЧИВОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ К ДЕЙСТВИЮ МАГНИТНОГО ПОЛЯ МОЛНИИ

Князев В.В., Чернухин А.Ю., Шаламов С.П.

Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт «Молния»
Национального технического университета «ХПИ»

61013, Харьков, ул. Шевченко, 47 тел. (057) 7076868, E-mail: knyaz2@i.ua

The object of the study is the effect of the magnetic field accompanying lightning on technical means, which are based on electronic, radio-electronic and electrotechnical components. The aim of the work is the methodology for determining the stability of technical means to the effect of a magnetic field of lightning in accordance with the requirements of the standard MIL-STD-464C:2010. The paper presents the results of the preparation of the equipment for testing the stability of the technical means.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность рассмотрения вопросов, связанных с методологией проведения испытаний устойчивости технических средств, которые содержат в своей основе электронные, радиоэлектронные и электрические компоненты, к действию сторонних электромагнитных полей, обуславливается рядом объективных обстоятельств. Так, с одной стороны, активное расширение сферы применения электронных компонент, снижение уровня устойчивости этих компонент в результате использования слаботочной элементной базы, а также все более ответственные функции (управления, принятия решений и т.п.), которые возлагаются на устройства, содержащие эти компоненты. С другой стороны, уровень электромагнитного "загрязнения" окружающего пространства неуклонно возрастает. Естественным источником мощных электромагнитных помех, является молния. С молнией связаны сверхсильные импульсные электрические токи (сила тока достигает 300 кА), сильные электрические и магнитные поля.

Объектом исследования является воздействие магнитного поля, сопровождающего молнию, на технические средства, содержащие в своей основе электронные, радиоэлектронные и электротехнические компоненты.

Цель работы – методология определения устойчивости технических средств к воздействию магнитного поля молнии в соответствии с требованиями стандарта MIL-STD-464C [1], основанная на обобщении результатов математического моделирования и физических экспериментов. Необходимость разработки методологии обусловлена тем, что в стандарте [1] указаны требования к скорости нарастания напряженности магнитного поля, а реализация испытаний не описана. Выбор амплитудно-временных параметров напряженности магнитного поля должен осуществляться с учетом физики реальных природных явлений и возможностей испытательного оборудования лаборатории. В научной литературе авторами не найдены публикации, решающие данную задачу.

Под уровнем устойчивости к электромагнитной помехе (уровень помехоустойчивости) понимается максимальный уровень определенной электромагнитной помехи, воздействующей на конкретное техническое средство, при котором оно сохраняет способность функционировать с требуемым качеством.

МЕТОДОЛОГИЯ ИСПЫТАНИЙ

Решаемыми задачами являются: разработка методологии определения устойчивости технических средств (ТС) к воздействию магнитного поля молнии, и адаптация методологии к конкретной задаче, в соответствии с требованиями стандарта MIL-STD-464C [1], который одобрен для использования всеми департаментами и агентствами Министерства обороны США. В настоящее время, этот стандарт, как правило, используется при формировании технических требований к объектам вооружения и военной техники, поставляемых по зарубежным контрактам. Стандарт содержит два раздела: основную часть и приложение. Основная часть стандарта

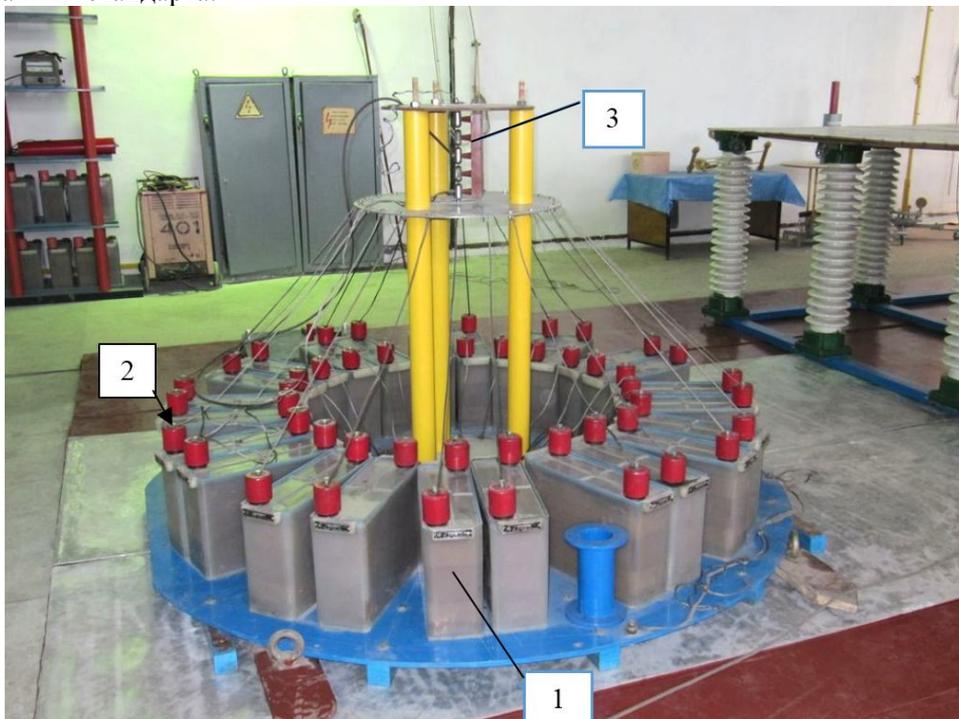
определяет базовый набор требований. В приложении содержится обоснование, руководство и извлеченные уроки для каждого требования, позволяющего Заказчику адаптировать базовые требования к конкретному случаю. Стандарт [1] устанавливает требования к параметрам окружающей электромагнитной среды и критерии проверки для авиационных, морских, космических и наземных систем, включая соответствующие боеприпасы.

Стандарт [1] устанавливает, что скорость нарастания напряженности магнитного поля при имитации разряда молнии «облако-земля» должна быть $2,2 \cdot 10^9 \text{ Ам}^{-1}\text{с}$. Это значение определяется в предположении, что канал молнии вертикален по отношению к поверхности грунта, сила тока молнии 200 кА, а расстояние до канала не менее 10 м. Считается, что если расстояние будет меньше, то с высокой вероятностью молния ударит в ТС. Расчет напряженности осуществляется на основе закона Ампера. Из табл. А-11 [1], следует, что импульс тока имеет максимальную скорость нарастания $1,4 \cdot 10^{11} \text{ А/с}$ (при силе тока $2 \cdot 10^5 \text{ А}$). Разделив это значение на $(2\pi R, R=10 \text{ м})$ 62,8 получаем $2,23 \cdot 10^9 \text{ Ам}^{-1}\text{с}$, значение, указанное ранее. Алгоритм расчета уровня напряженности магнитного поля важен, поскольку позволяет определить предельные параметры для ТС, с учетом его технических особенностей (габаритных размеров, окружающих объектов, систем молниезащиты). Следует отметить, что указанное выше значение скорости нарастания напряженности магнитного поля является максимально возможным, исходя из приведенных в стандарте формул, описывающих временную зависимость силы тока в канале молнии. Это значение достигается в момент времени $t = 0 +$. В реальности, ток не возрастает в момент «включения» скачком, и всегда имеет участок плавного нарастания. Следовательно, по мнению авторов, при определении параметров напряженности магнитного поля, которые должны быть реализованы для целей испытаний устойчивости ТС, целесообразно исходить из значения средней скорости нарастания, получаемой в результате деления $\Delta I_{0,1-0,9}$ на $\Delta t_{0,1-0,9}$, когда значения соответствуют интервалу времени 0,1 – 0,9 от максимального значения напряженности. В этом случае, значение скорости нарастания напряженности магнитного поля на расстоянии 10 м будет равно $8,9 \cdot 10^8 \text{ Ам}^{-1}\text{с}$, что в 2,5 раза меньше, чем требуется в стандарте [1]. Учитывая, что сделанное утверждение пока не регламентируется стандартом, для экспериментальных исследований реализовано значение $2,23 \cdot 10^9 \text{ Ам}^{-1}\text{с}$.

Для моделирования процесса необходимо минимизировать индуктивность системы полеобразования используя виток с током. Соотношение между силой тока в витке, его размерами и длительностью фронта (скоростью нарастания) определяется для каждой конкретной технической реализации. Для экспериментальных исследований в НДПКИ «Молния» НТУ «ХПИ» был применен генератор импульсных токов ГИТ-70, внешний вид которого представлен на рисунке 1. Максимальное напряжение генератора 100 кВ, сила тока 70 кА. Схема установки, с размерами токового витка показана на рисунке 2.

Генератор ГИТ-70 настроен на формирование импульса тока формой 8/20 мкс. Определим требуемую величину силы тока в полеобразующем контуре. Все приведенные в стандарте [1] значения привязаны к импульсу тока силой 200 кА. Напряженность магнитного поля, порождаемого таким током, на расстоянии 10 м, равна 3,18 кА/м. В случае, когда длительность фронта напряженности магнитного поля по уровням 0,1-0,9 равна 8 мкс, вместо регламентируемых стандартом [1] 2,85 мкс, следует пропорционально увеличить значение напряженности магнитного поля в 2,8 раза. Следовательно, испытания ТС необходимо проводить при напряженности магнитного поля равной 8,92 кА/м. Расчетным путем установлено, что 25 кА является достаточным уровнем силы тока в полеобразующем витке. Для выбора точки установки испытываемого ТС, проведено компьютерное моделирование распределения напряженности магнитного поля в пространстве, в том числе вдоль выбранной линии 1 (см. рис. 2). Результаты моделирования представлены на рисунке 3.

Нужный уровень ориентировочно достигается на расстоянии 0,45 м. При проведении экспериментальных исследований применялась сила тока $(25 \pm 0,05)$ кА. Осциллограмма напряженности магнитного поля в точке 0,45 м по линии 1 (см. рис. 2), представлена на рисунке 4. Напряженность магнитного поля равна 8,69 кА/м, следовательно, напряженность магнитного поля в выбранной точке соответствует требованиям стандарта.



- 1 – конденсатор ИК-100-0,4 У4 (24 штуки);
- 2 – демпфирующий резистор;
- 3 - многозачерный коммутатор МЗК-100

Рисунок 1 – Внешний вид ГИТ-70

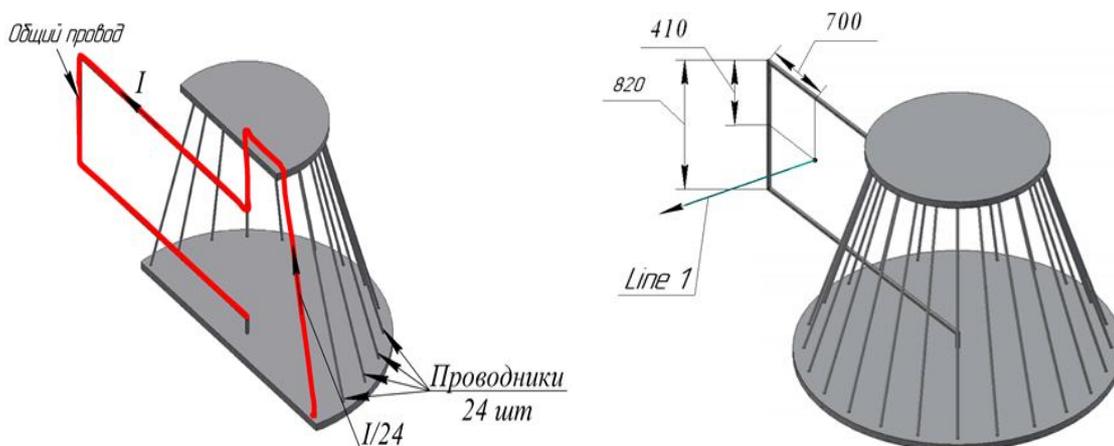
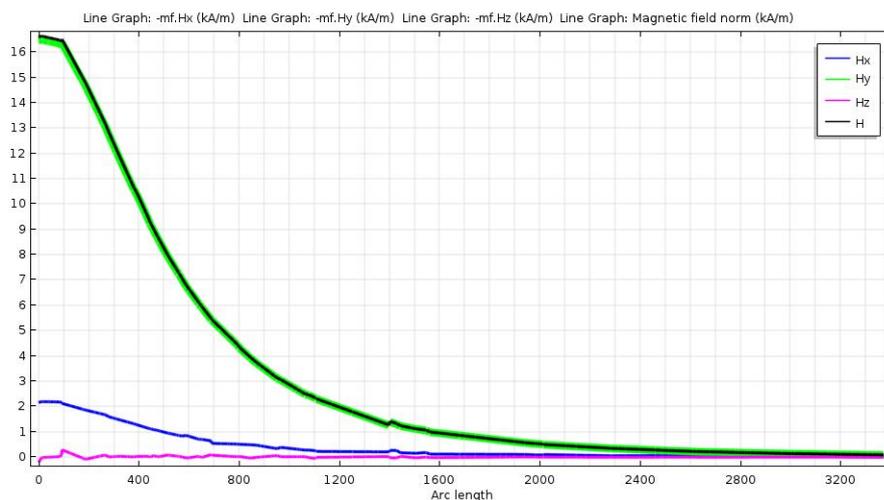
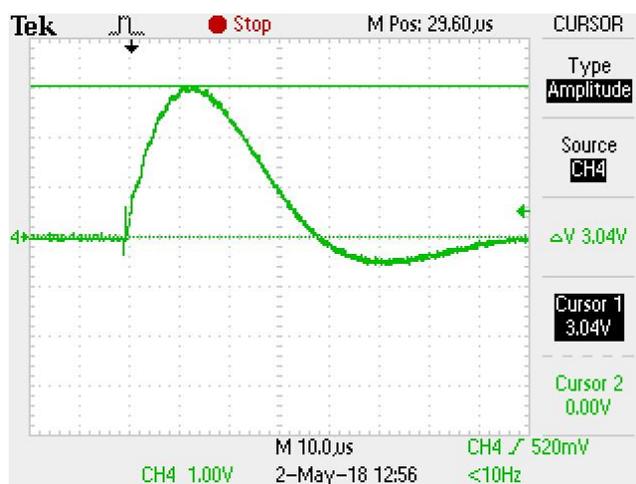


Рисунок 2 – Схематическое изображение установки для создания магнитного поля молнии



По оси ординат: 1 кА м^{-1} / клетку; по оси абсцисс: 100 мм/клетку.

Рисунок 3. – Распределение компонент магнитного поля вдоль Line 1.



Коэффициент чувствительности измерителя ИНМП 2С равен $0,00035 \text{ В А}^{-1} \text{ м}$

Рисунок 4. Осциллограмма тока в точке 0,45 на линии 1

Молния – это сложное явление. Формы сигналов, представленные в стандарте [1], плод усилий технического сообщества по моделированию природной обстановки для целей конструирования и верификации. Использование данных форм сигналов не обязательно гарантирует, что конструкция ТС будет адекватной в случае природной молнии.

ВЫВОДЫ

Представленная методология рекомендуется к использованию при проведении исследований устойчивости технических средств к воздействию магнитного поля молнии в соответствии с параметрами табл. 8 стандарта MIL-STD-464C [1].

Список литературы:

1. MIL-STD-464C:2010 Department of defense interface standard. Electromagnetic Environmental Effects Requirements for Systems.

ПЕРВИЧНОЕ ЧАСТОТНО-ТЕРРИТОРИАЛЬНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ СЕТИ WIMAX2

Шептунов А.С.

Харьковский национальный университет радиоэлектроники
61166, Харьков, пр. Науки, 14, каф. Инфокоммуникационной инженерии, тел. (057)
702-13-06

e-mail: oleksandr.sheptunov@nure.ua, тел. (066)3160980

The report examines frequency-territorial planning of cellular network algorithms, researches nuances of application of newest technologies of WIMAX to time-tested cellular network designing algorithms. In the end analysis of meeting the challenges of resource allocation optimization was made. The chapter one gives short review of WirelessMAN-Advanced standard, in which its properties, that define planning and utilizing features, was shown. The chapter two gives description of plan and sequencing at BWA cellular network designing, demands on source data and standard algorithms of searching data calculation, standard formulas using at calculations.

Введение

Планирование любой сети доступа сводится к основным задачам, основанных на том, что нагрузка создается совокупностью пользователей, а обслуживание производится базовыми станциями. Частотное и территориальное планирование сети WIMAX во многом подобно планированию сети GSM, HSPA, LTE. В работе рассмотрены алгоритмы частотно-территориального планирования сотовой сети, основные алгоритмы решения задач электромагнитной совместимости, исследованы нюансы применения технологий WIMAX к существующим алгоритмам проектирования сотовой сети.

Прежде всего была приведена постановка задачи частотно-территориального планирования в данном случае, начальные данные, свойственные стандарту, требования стандарта. Далее описан алгоритм решения задачи и пример частотно-территориального планирования по данному алгоритму. В конце работы рассмотрена задача определения параметров оборудования базовых станций.

Первичное частотно-территориальное планирование сети WIMAX2

Прежде всего готовятся исходные данные для планирования: частоты разрешенных радиоканалов, желательные пункты БС, характеристики оборудования БС и т. д. В настоящее время в стандарте используются частоты от 2 до 6 ГГц, причём технология не имеет единого частотного плана для мира или даже континента. Поэтому при выборе диапазона частот необходимо учитывать существующие условия и законы страны. Данные территории включают: площадь зоны покрытия, численность населения для выбранного района и тип местности. При построении сети полагают, что распределение абонентов в зоне обслуживания постоянное и равномерное, размеры сот одинаковы, а местность однотипная.

Планирование сети в первом приближении выполняется поэтапно:

1. Определение пространственных параметров сети.
2. Оценка параметров базовых станций.
3. Оценка пропускной способности при заданном профиле трафика.
4. Частотное планирование.

В силу указанных допущений, пространственные параметры сети определяются параметрами соты. Исходные параметры БС, конкретизируют для каждой ячейки. Структура кластеров определяется по принципу: максимальный охват минимальным количеством БС.

Величину зоны радиосвязи с подвижными объектами рассчитывают, исходя из минимальной величины сигнал/шум на входе приемника, при которой обеспечивается

заданное качество обслуживания. Для дальности беспроводной связи (R_c) также существуют определённые соотношения [1].

В расчетах были использованы параметры оборудования БС: антенна MA-WE58-7EL фирмы MARS, базовая станция Huawei DBS3900. Абонентская станция представлена как типичный USB-Stick модем.

Была рассчитана R_c при совпадении максимумов диаграмм направленности БС и АС: при QPSK (1/2), $R_c = 1,87$ км; при QAM-16 (1/2), $R_c = 0,835$ км; при QAM-64 (1/2), $R_c = 0,373$ км.

При несовпадении максимумов ДН R_c была такая же, но в 10 раз меньше. Для проверки корректности результатов была рассчитана мощность принимаемого абонентской станцией сигнала [2]. На расстоянии между АС и БС равном 18 км она равна -52 дБ, что вполне соответствует нормам. На расстоянии 1,8 км он составляет более, чем -30 дБ.

Ёмкость ячейки определяется не столько количеством подключенных устройств, сколько пропускной способностью (BW), запрашиваемой каждым из них. Пропускная способность канала связи зависит от ширины канала, модуляции и наличия MIMO. Для расчёта полосы пропускания нужно определить количество OFDM-символов в кадре, вид модуляции, размер циклического префикса (CP), скорость помехоустойчивого кодирования. Было рассчитано, что для CP=1/16 и частотного дуплексирования в канале шириной 10 МГц число OFDM-символов в кадре равно 51, следовательно их количество в кадре – 36720. Это число делится на три, поскольку используется свёрточное турбокодирование (обязательно для спецификации) и умножается на 2, 4 или 6 в зависимости от модуляции. При QAM-64 BW = 73440 Мбит/с. Использование MIMO увеличивает скорость в кратное число раз. Это основные особенности, которые необходимо учитывать при оценке скорости. Требования к скорости определяют выбор размера частотного канала.

Выводы

Даже первоначальное планирование сети представляет из себя сложный процесс: выбор размерности кластера, определение пространственных параметров сети, составление энергетического бюджета линий и определение параметров базовых станций, составление частотно-территориального плана. И только после этого выполняется оптимизация параметров сети, составление окончательного частотно-территориального плана и определение всех параметров сети. Можно заключить, что все этапы планирования, включая даже подготовку исходных данных, могут повторяться и перевыполняться в итеративном процессе планирования. В результате расчетов первоначального планирования появляется возможность оптимизировать этот план: необходимо вернуться на предыдущий шаг.

Список литературы:

1. И.С. Шостко, Таха Алмакадма, Ю.Э. Соседка Метод оценки дальности достоверной передачи сообщений в телекоммуникационных системах сверхширокополосного радиодоступа. // Системи озброєння і військова техніка, 2012, № 4(32)
2. Абилов А. В. Распространение радиоволн в сетях подвижной связи: Теоретический материал и задачи для практических занятий. ИГТУ. – Ижевск, 2001

ПЕРВОНАЧАЛЬНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ LTE

Бублик А.А.

Харьковский национальный университет радиоэлектроники
(61166, Харьков, пр.Науки,14, каф. Инфокоммуникационной инженерии,
тел. (057) 702-13-20)
e-mail: andrii.bublyk@nure.ua, тел. (066)706-59-16

The sphere of telecommunication develop rapidly in Ukraine. The main requirement for design of such network is the choice of the most favorable and qualitative technology of data transfer. This article analyzed the method of frequency-territorial planning and complexity arising from its implementation. The planning results are strongly influenced by systemic factors, increasing the complexity and ambiguity of the solution of the problem of constructing a radio network.

В последнее время в сфере мобильных телекоммуникаций все больше внимания стали уделять технологиям 4-го поколения, которые более отвечают современным требованиям по характеристикам качества, скорости передачи данных и предлагаемым услугам. Одной из таких технологий является технология LTE (Long-Term Evolution).

На сегодняшний день вопросы частотно-территориального планирования в сетях мобильной связи стандарта LTE являются наименее разработанными и требуют дальнейшего исследования. В частности, важно решение задачи начального приближения, когда вся сеть делится на одинаковые фрагменты, применительно к которым находятся распределения базовых станций по зонам обслуживания, параметры базовой сети и распределение частотного ресурса.

Решение задачи построения сети мобильной связи стандарта LTE предполагает использование метода приближений в соответствии с алгоритмом частотно-территориального планирования.

Алгоритм частотно-территориального планирования состоит из таких этапов:

1. Определение пространственных параметров сети

В процессе определения пространственных параметров сети производится оценка бюджетов потерь, радиусов «ближней» и «дальней» зон, определение мощностей передатчиков для «ближней» и «дальней» зон и определение числа БС в однородной сети. Бюджет потерь определяет максимально-допустимые потери на трассе распространения радиоволн (MAPL).

Бюджет потерь не зависит от выбранной модели потерь распространения сигнала, но должен учитывать направление связи по линии «вверх» и линии «вниз», поскольку в мобильных системах ограничивающей по дальности связи является линия «вверх», т. к. мобильная станция, в отличие от базовой, обладает меньшей мощностью передатчика и имеет ненаправленную антенну. Оценка бюджета потерь начинается с конкретизации требуемого (допустимого) отношения с/ш на входе приемников в линиях «вверх» и «вниз». Полученное значение MAPL используется в дальнейшем для нахождения максимального радиуса соты (максимально возможного расстояния между приемником и передатчиком).

При планировании сети окончательное значение MAPL определяется с учетом запасов на интерференцию, затенение и проникновение в здание/автомобиль. Запас на интерференцию зависит от числа повторно используемых частот и загрузки в соте. Запас на затенение учитывает затухание сигнала вследствие движения абонентского терминала, т. к. при этом часто теряется прямая видимость между абонентской и базовой станциями.

При определении мощности передатчиков в «ближней» и в «дальней» зонах используются статистические и дифракционные модели расчета средних потерь на трассе

распространения. На основе полученного значения максимально допустимого радиуса соты производится расчет площади соты и находится число базовых станций в однородном фрагменте сети.

2. Выбор типа частотного кластера.

Построение сети LTE целесообразно осуществлять на основе частотных кластеров, представляющих собой группу примыкающих друг к другу сот, в которой при использовании всего частотного ресурса сети однозначно может быть решена задача достижения максимальной емкости сети при соблюдении приемлемого уровня внутрисистемных помех.

В сетях LTE используют только дробное и мягкое повторное использование полос частот каналов, данные технологии, при правильном планировании позволяют увеличить емкость сети. При мягком повторном вся полоса частот разделена на фиксированное количество полос. При дробном повторном использовании полос для обслуживания абонентов, которые находятся вблизи базовой станции используется общая полоса частот. Другие возможные полосы используются абонентами, удаленными от базовой станции (находящимися на краю соты).

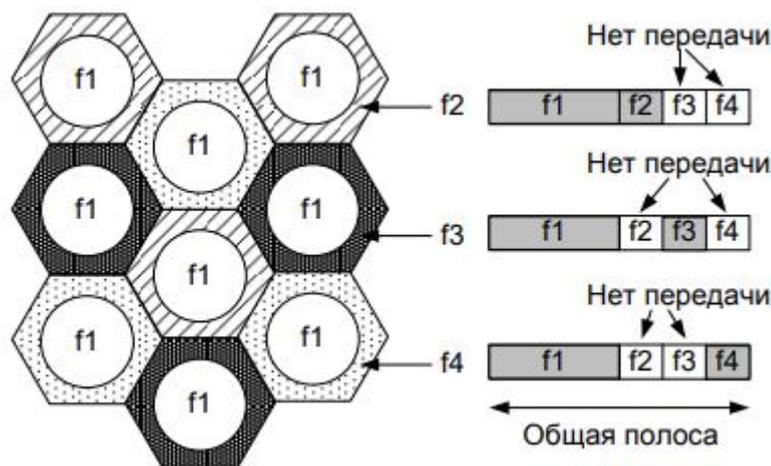


рис. 1. Фрагмент сети на основе несекторизованного кластера размером $C = 3$ с дробным повторным назначением частот

3. Частотное планирование

Частотное планирование включает решение следующих задач:

- 1) назначение полос частот секторам базовых станций;
- 2) распределение идентификаторов PCI (physical cell identity – физический идентификатор соты);
- 3) планирование преамбулы при случайном доступе в канале PRACH (Physical Random Access Channel – физический канал случайного доступа);
- 4) планирование пилотных сигналов.

Назначение полос частот секторам базовых станций производится в соответствии с частотным кластером, использованным при построении однородного фрагмента сети по аналогии с частотным назначением в стандарте GSM. В стандарте LTE определено 504 уникальных идентификатора соты PCI, которые рассчитываются на основе первичного и вторичного сигналов синхронизации.

4. Оценка пропускной способности при заданном профиле трафика

На этом этапе оцениваются параметры, влияющие на скорость стандарта LTE. Ряд ключевых особенностей делает LTE привлекательной технологией для операторов и пользователей: использование MIMO, OFDMA/SC-FDMA значительно повышает

Четвертая международная научно-техническая конференция
Проблемы электромагнитной совместимости перспективных беспроводных сетей
связи

спектральную эффективность, увеличивает скорость передачи данных; плоская и IP-ориентированная архитектура, оптимизированная под передачу пакетных данных, значительно снижает время отклика сети, что позволяет говорить о динамическом управлении качеством обслуживания (QoS).

На результаты планирования существенное влияние оказывают системные факторы, указывая на неоднозначность решения задачи построения сети радиодоступа LTE для каждого конкретного случая.

Список литературы:

1. Системы и сети радиодоступа 4G: LTE, WiMAX / А.Е. Рыжков, М.А. Сиверс, В.О. Воробьев, [и др.]; – СПб.: Линк, 2012. – 226 с.
2. Сети мобильной связи. Частотно-территориальное планирование: учеб. Пособие / В.Ю. Бабков – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 224 с.
3. Сети мобильной связи LTE/LTE Advanced: технологии 4G, приложения и архитектура / В.О. Тихвинский, С.В. Терентьев, В.П.Высочин; – М.: Ид «медиа Паблишер», 2014. – 384 с.

ОПТИМІЗАЦІЯ ФАЙЛООБМІНУ В ПІРІНГОВИХ МЕРЕЖАХ

Петров О.М.

Харківський національний університет радіоелектроніки
61166, Харків, пр.Науки, каф.Інфокомунікаційної інженерії, тел. (057) 702-13-20,
E-mail:: oleksandr.petrov1@nure.ua

The peer network is based on the equality of participants and is characterized by the fact that its elements can be interconnected. One area of application of data network technology is file sharing. The task of optimizing file sharing can be considered as a scheduling problem. It examines the tasks in which it is necessary to order or, in other words, to determine the sequence of performance of a set of works.

Вступ

З розвитком технологій необхідність мати доступ до величезної кількості інформації, що лежить на інших комп'ютерах, спочатку породила локальні мережі. Це допомогло на деякий час, але об'єднати таким чином велику кількість комп'ютерів виявилось неможливо. Можливість же доступу до файлів, можливо наявних у кого-то ще, була дуже приваблива. Тому була запропонована система, що дозволяє приймати і передавати файли з кожного комп'ютера, з яким є зв'язок і на якому є певне програмне забезпечення. Такі системи отримали назву P2P або пірінгових (peer-to-peer) мереж.

Пірінгова мережа будується на основі інтернет-з'єднання, використовуючи особисті протоколи передачі даних. P2P технології покращують масштабність системи при низьких затратах реалізації. На відміну від традиційної клієнт-серверної архітектури, піри в мережі виступають в якості клієнта (ліч-скачує) і сервера (сід-роздає). Піри не тільки скачують файл з мережі, а й роздають завантажений файл іншим користувачам в мережі. Частина файлів обмінюються через прямі з'єднання між пірами. Іншою важливою властивістю пірінгових мереж є – можливість упорядкованості фрагментів, переривання, входжень і виходів з мережі в будь-який момент часу.

Так як в даний час Інтернет отримує все більшу і більшу поширеність, використання пірінгових мереж є більш актуальним з кожним днем.

В праці розв'язується задача оптимізації файлообміну в пірінгових мережах.

Основні терміни, вихідні величини та рішення задачі теорії розкладу

Задачу оптимізації файлообміну, можна розглядати як задачу теорії розкладів. Вона - є частиною дослідження операцій та досліджує задачі, в яких необхідно впорядкувати або, іншими словами, визначити послідовність виконання сукупності робіт.

Основним поняттям теорії розкладів - є поняття операції. Операцію можна розглядати як елементарну задачу, що підлягає виконанню. Кожна операція характеризується:

- 1) індексом приналежності до певної роботи;
- 2) індексом приналежності до певної машини;
- 3) числом, що представляє собою тривалість операції.

По першому індексу всі множини операцій розбиваються на систему непересічних підмножин, які називаються роботами. Розбиття вихідної множини по-другому індексу призводить до взаємно непересічних підмножин операцій, що відносяться до певних машин.

Для кожної роботи задається послідовність складових її операцій (що визначається технологічним процесом). Таке часткове впорядкування операцій здійснюється завданням відносини порядку. Якщо операція X повинна бути здійснена раніше, ніж Y, то кажуть, що X передре Y. Це записується у вигляді: $X < Y$ або $Y > X$. Співвідношення порядку транзитивне, якщо $X < Y$, $Y < Z$, то $X < Z$. Будемо вважати, що операція X безпосередньо передре операції Y і записувати це у вигляді $X << Y$ або $Y >> X$, якщо $X < Y$ і немає операції Z, такої, що $X < Z < Y$.

Часто буває зручно представляти згадані співвідношення у вигляді орієнтованого

графа. Вершины (вузли) графа зображають операції, а дуги - відношення безпосереднього передування. Дві вершини пов'язані відношенням порядку, якщо існує шлях між ними.

Машиною будемо називати пристрій, здатний виконати все, що пов'язано з деякою операцією, системою обслуговування - множина всіх машин, які використовуються для виконання деякої множини операцій. Сукупність машин, робіт (операцій) і дисциплін призначення операцій відповідним машинам називається процесом обслуговування.

Складання розкладу для процесу обслуговування означає, що для кожної операції на тимчасовій осі задається ділянка, коли ця операція повинна виконуватися відповідної машиною.

Тобто складання розкладу може розглядатися як завдання впорядкування операцій, які виконуються кожною машиною.

Розглянемо величини, які використовуються в подальшому як критерії оцінки розкладів, та співвідношення між ними.

Спочатку розділимо вихідні та шукані величини задачі. Перші визначаються специфікою розв'язуваної задачі, інші є результатом складання розкладу. Щоб підкреслити цю різницю, під час визначення цих величин рядкові латинські літери, а при позначенні шуканих - прописні. Наприклад: x, y, z та X, Y, Z .

Постановка задачі в теорії розкладів починається з опису системи машин і множини робіт. Для найпростішого процесу обслуговування система машин повністю описується їх числом. Нехай система складається із m машин, занумеруємо їх $1, 2, \dots, m$. Занумеруємо також роботи числами від 1 до n , і нехай:

r_i - момент готовності (момент появи або момент надходження) роботи. Ця величина являє собою момент надходження i -ї роботи в систему з деякого зовнішнього джерела.

r_i є мінімально можливий час початку першої з операцій роботи i , $i=1, \dots, n$;

d_i - плановий (директивний) строк. Ця величина являє собою момент, до якого i -та робота повинна бути виконана. Іншими словами, d_i являє собою директивний час закінчення операції, заданий деякими зовнішніми по відношенню до даної системи причинами.

Допустима тривалість проходження роботи в системі дорівнює $a_i = d_i + r_i$. Досить задати дві з трьох величин r_i, d_i, a_i . Теоретично байдуже, які дві з них задані, а яка знаходиться з наведеного співвідношення, тому для кожної роботи всі вони вважаються заданими.

Задача теорії розкладу вважається заданою, якщо визначені:

- 1) належні виконанню роботи та операції;
- 2) кількість та типи машин, виконуючих операцію;
- 3) порядок проходження машин;
- 4) критерії оцінки розкладів.

Загальна задача теорії розкладу записується так: $n/m/G/F_{\max}$ - впорядкувати n робіт у довільній системі із m машин так, щоб мінімізувати максимальну тривалість проходження роботи.

Пошук оптимального або близького до оптимального розкладу здійснюється за допомогою одного з 4-х підходів (математичного програмування; комбінаторного; евристичного; статичного (імовірнісного)).

У роботі був обраний перший підхід - математичного програмування, в термінах лінійного цілочисельного і динамічного програмування для 3х пірів та чотирьох програм. Була сформульована задача лінійного цілочисельного програмування.

Цільова функція - це середньозважений час початку зчитування фрагментів. Кожна машина в один момент часу може виконувати не більше однієї роботи, з цього випливає, що для кожної пари робіт виконується лише одна з нерівностей:

- 1) Виконання робіт j передувє виконанню робіт i .

2) Виконання робіт і передуює виконанню робіт j .

Таке обмеження типу «або - або» не можна описати в рамках звичайного лінійного програмування і вимагає введення цілочисельних змінних. Введемо цілочисельну змінну Y_{ij} , яка може приймати значення 1 або 0. Якщо Y приймає значення 0, виконується перша умова, якщо 1 то друга.

Також в роботі вирішена задача динамічного програмування, яку можна інтерпретувати як задачу про найкоротший шлях на графі, де довжини дуги - це тривалість виконання роботи.

Для задачі про найкоротший шлях використовується рекурсивне рівняння Беллмана:

$$f_n(s) = \min[c_{sj} + f_{n-1}(j)], n = 1, \bar{k} \quad (1)$$

де k - число етапів на шляху початкової вершини в кінцеву;

c_{sj} - вартість по дузі (S, j) ;

$f_n(s)$ - вартість, що відповідає стратегії мінімальних завмирань для шляху з пункту s , якщо до кінцевого пункту залишилося n етапів;

$j_n(s)$ - рішення, що дозволяє досягти;

f - значення цільової функції;

S - значення залежить від стану системи, індекс n вказує, скільки етапів залишається до кінця шляху.

На основі вихідних даних: матриці розподілу програм по пірама та матриці тривалостей зчитування фрагментів будується мережевий граф, де кожна вершина описує процес виконання конкретного фрагменту на конкретному пірі, а довжини дуг визначають тривалість такого зчитування. Був сформований граф виконання робіт, а також граф кожного з етапів виконання роботи.

Рішення задачі динамічного програмування виконується в кілька етапів. Використовуючи оптимальне рішення на кожному етапі, знаходимо найкоротші шляхи, як послідовність вершин графу. Отримані послідовності вершин являють собою порядок скачування фрагментів програм на кожній із машин.

Висновки

Вирішена задача планування файлообміну в пірінговій мережі з трьома пірами та чотирма програмами з використанням методів лінійного цілочисельного та динамічного програмування. Задача лінійного цілочисельного програмування потребує набагато більшого часу на етапі підготовки, аніж задача динамічного програмування, але її реалізація набагато легше.

З результатів моделювання випливає, що як середньозважений час зчитування файлів, так і умовний середній оптимальний час зчитування файлів практично не залежить від закону розподілу значень вагових коефіцієнтів цільової функції і від закону розподілу значень тривалостей зчитування фрагментів файлів пірами і залишається постійним. Цей результат має практичне значення в тому, що на практиці не потрібно аналізувати невідомий закон розподілу випадкових тривалостей обробки фрагментів файлів пірами на підставі статистики, достатньо знати середнє вибіркоче. Крім того, показано, що моделі та методи теорії розкладу – адекватні при рішенні задач в області поліпшення якісних показників пірінгових мереж.

Як показав імітаційний аналіз використання оптимізації дозволило зменшити час зчитування файлів в 2 рази.

Список літератури:

1) Гордон В. С. Задачи теории расписаний с заданным частичным порядком / В. С. Гордон, А. Б. Долгий. // Автоматика и телемеханика. – 2010. – №10. – С. 15–27.

Четвертая международная научно-техническая конференция
Проблемы электромагнитной совместимости перспективных беспроводных сетей
связи

- 2) Финкова М. В. Пиринговые сети / М. В. Финкова. – СПб: Наука и техника, 2006. – 277 с.
- 3) Поповский В.В. Математические основы управления и адаптации в телекоммуникационных системах: учебник / В. В. Поповский, В. Ф. Олейник. – Харьков: СМІТ, 2011. – 362 с.
- 4) Математичні основи теорії телекомунікаційних систем: навч. Посібник / [В. В. Поповський, С. О. Сабурова, В. Ф. Олійник та ін.]; під заг. ред. В.В. Поповського. – Харків: СМІТ, 2006. – 564 с.

**УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫЙ АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ ДОСТУПОМ К
ОБЛАЧНЫМ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫМ РЕСУРСАМ**

Муляр Б.П.

Харьковский национальный университет радиоэлектроники
(61166, Харьков, пр. Науки, 14, каф. Инфокоммуникационной инженерии, тел. (057)
702-13-20)

e-mail: bohdan.muliar@nure.ua факс (057) 702-13-20

The conducted researches have shown, that recently there is a growing demand for cloud computing.

Для решения оптимизационной задачи повышения оперативности обработки информационных пакетов, в интеллектуальных узлах коммутации при их передаче в «облачные» антивирусные системы предлагается усовершенствовать алгоритм управления доступом к соответствующим «облачным» телекоммуникационным ресурсам. В основу данного алгоритма положена процедура вычисления виртуального времени обработки информационных пакетов, отличается от известных учетом фактора введение дополнительного уровня приоритетности для информационных пакетов метаданных. При этом указанные информационные пакеты получают высокий приоритет обработки в интеллектуальных узлах коммутации класса r_1 .

В табл. 1. представлены допустимые значения среднего времени и джиттера времени обработки информационных пакетов разного уровня приоритетности в интеллектуальных узлах коммутации.

Таблица 1 Допустимые значения среднего времени и джиттера времени обработки информационных пакетов разного уровня приоритетности

Уровень приоритета	$r_3 = J+1, R$	$r_2 = 2, J$	$r_1 = 1$
$T_{доп i}$, мс	100-800	50-150	1-10
$J_{доп i}$, мс	47-53	10-30	1-5

Структурная схема алгоритма управления доступом к «облачным» телекоммуникационным ресурсам представлена на рис. 1.

На первом этапе в рассматриваемой структурной схеме осуществляется проверка нахождения пакетов на входе интеллектуального узла коммутации. При их отсутствии - алгоритм переходит в режим ожидания поступающих пакетов.

В случае, когда на вход интеллектуального узла коммутации информационные пакеты поступили (всех уровней приоритетности или только отдельных) необходимо выполнить выбор с каждой очереди буфера памяти интеллектуального узла коммутации по одному пакету $r_1 = 1$, $r_2 = 2, J$ и $r_3 = J + 1, R$ уровня приоритетности для определения «Эталонного» информационного пакета с соответствующим уровнем приоритетности. Это позволит сократить время обработки информационных пакетов метаданных при обеспечении заданных показателей оперативности обработки информационных пакетов других уровней приоритетности.

На четвертом шаге рассматриваемом алгоритме определяется значение VST и VFT. Далее приступаем к выполнению процедур выявления информационного пакета для обработки в обслуживающем устройстве интеллектуального узла коммутации. При этом учитывается следующее: на вход буферного устройства может поступать N пакетов (N - количество очередей в системе) r_1, r_2 и r_3 уровней приоритетности.

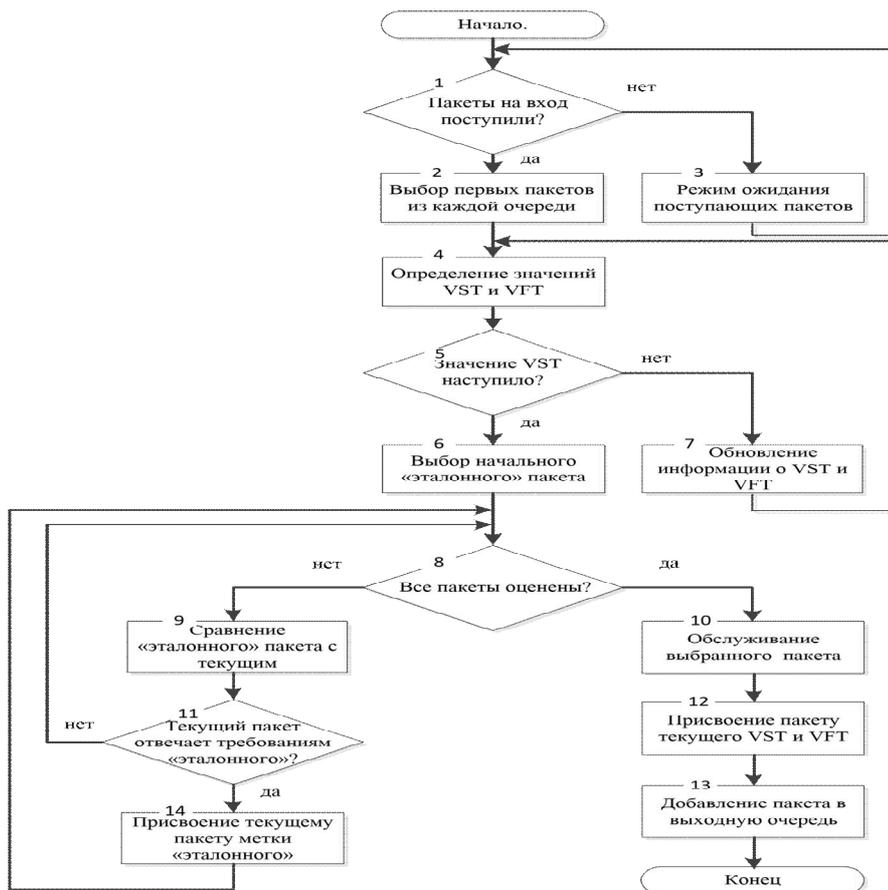


Рисунок 1 - Структурная схема алгоритма управления доступом к «Облачным» телекоммуникационным ресурсам

Если значение VST наступило, то на шаге 6 из информационного потока выбирается первый («эталонный») пакет, с некоторым $N_{\text{приор}}$, а также значением виртуального времени обслуживания в очереди - VFT.

Далее на этапе 9 структурной схемы проводится сравнение «эталонного» информационного пакета с другими поступивших на данный момент времени.

При этом решение о присвоении «эталонного» приоритета информационного пакета принимается по следующим критериям:

- 1) минимальное значение виртуального времени обслуживания в очереди ($VFT = \min$)
- 2) принадлежность информационного пакета в очереди с максимальным приоритетом ($r1 > r2 > r3$).

Следует заметить, что условие присвоения «эталонного» приоритета на шаге 14 выполняется не в полном объеме, а с некоторыми исключениями, определенными заранее заданным показателем, например показателем $P_{\text{присв}}$ - вероятности присвоения приоритета. Данный показатель может быть определен эмпирическим путем. При этом процедура управления с помощью данного показателя является отличительной чертой данного алгоритма управления доступом к «облачным» телекоммуникационным ресурсам. Данные исключения необходимы для обеспечения качества обслуживания информационных пакетов других (низших) приоритетов.

Информационные пакеты можно сравнивать попарно, при этом в начальный момент времени первый избранный информационный пакет условно имеет высокий уровень приоритетности.

Четвертая международная научно-техническая конференция
Проблемы электромагнитной совместимости перспективных беспроводных сетей
связи

Если условие, которое определяется на этапе 5, не наступил, то на этапе 7 алгоритма происходит обновление информации о VST и VFT.

На шаге 10 происходит переход непосредственно к процедурам обработки информационных пакетов. На шаге 12 информационного пакета присваиваются текущие значения VST и VFT с целью дальнейшего сопровождения информационного пакета в пункт назначения.

Далее на этапе 13 информационный пакет добавляется в исходную очередь и заканчивается процесс его обработки в интеллектуальном узле коммутации.

Таким образом, разработан алгоритм управления доступом к «облачным» телекоммуникационным ресурсам отличительной чертой которого является введение нестандартных условий принятия решения о присвоении «эталонного» приоритета информационного пакета на основе дополнительного показателя - вероятности присвоения приоритета. Это позволило решить задачу минимизации времени обработки информационных пакетов метаданных при их передаче в «облачные» антивирусные системы при обеспечении заданного качества обслуживания других информационно телекоммуникационных услуг.

Список литературы:

1. Арипов М.Н. Проектирование и техническая эксплуатация сетей передачи дискретных сообщений. 1988г. 360с

2. Бабанин Д.В. Модели распространения компьютерных вирусов на основе цепей Маркова // Математическое и программное обеспечение вычислительных систем: межвуз. сб. науч. тр. / Под ред. А.Н.Пилькина. 2009. 156 с. - С. 89-93.

ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ КАЧЕСТВА ВИДЕОКОНФЕРЕНЦСВЯЗИ

Кадацкая О.И, Сабурова С.А., Тега Аджаді Айоделе
Харьковский национальный университет радиоэлектроники
61166 г.Харьков, пр.Науки,14, ХНУРЭ, факультет ИК, E- mail:
d_ts@nure.ua

Abstract. The efficient QoS assessment of VoLTE service is a crucial item for LTE networks operators. Studies' were built on simulation tools ,this study provided detailed methods to calculate the required parameters QoS.

Ключевые слова: 4G, коммутация пакетов, голос, LTE, видео, мультимедийная информация, QoS, параметры, качество

Введение

Для обеспечения гарантированного качества обслуживания (QoS) голосовые вызовы традиционно поддерживались по технологии с коммутацией каналов (CS), где для передачи голосового трафика установлен выделенный канал (или схема). Однако эта схема становится больше недействительной, поскольку мобильная сеть быстро продвигается к Long Term Evolution (LTE), стандарт 4-го поколения (4G), который поддерживает только технологию с коммутацией пакетов (PS). В результате голосовое обслуживание должно мигрировать из CS в PS из-за этого фундаментального, необратимого изменения в сетевой архитектуре LTE. Чтобы облегчить голосовую связь, каждый вызов VoLTE также поддерживает отдельный сеанс сигнализации.

VoLTE (Voice over LTE) обозначается как окончательное голосовое решение для мобильных пользователей 4G LTE. Он пытается перенести традиционную голосовую службу с коммутацией каналов (CS) на коммутационную (PS) с коммутацией пакетов. Каждый вызов VoLTE поддерживает два сеанса связи: один на плоскости данных и другой на плоскости управления. Сеанс контрольной плоскости должен обмениваться сообщениями сигнализации вызова через популярный протокол инициации сеанса (SIP). Сеанс обработки данных обрабатывает доставку голосовых пакетов через Интернет-протокол передачи в реальном времени (RTP), он устанавливается по требованию сеансом контрольной плоскости. Для обеспечения качества вызова, сопоставимого с типичными вызовами CS, используют множественные классы обслуживания (например, гарантированную скорость передачи битов и различные приоритеты), предлагаемые LTE. Оба сигнала и голос VoLTE доставляются через канал данных LTE, который обслуживает обычные службы передачи данных, но им предлагают более высокий приоритет, чем услуги передачи данных. В операции VoLTE задействованы две подсистемы в сетях LTE.

Для оценки параметров качества передачи видео и голосового трафика используется алгоритм, который оценивает параметры качества передачи голоса, качество передачи видео и интегрированное качество передачи мультимедийного трафика. Она описывает вычислительную модель для соединения «точка-точка» при передаче мультимедийного трафика по IP-сетям.

Модель оценки качества мультимедийной информации состоит из функций качественной оценка: видео, голоса, мультимедийной информации. Входные параметры: качество видео и голоса. Потерю качества из-за задержки рассматривают только при измерении качества интеграции видео и речи.

Выходные параметры модели: качество мультимедийного трафика (MMq),
 качество видео трафика (Vq), качество аудио трафика (Sq).

1. Основные методы расчета, анализа и оценки параметров качества услуг
 речи

Параметры качества голоса зависят от индекса Q [2]:

$$Q = 93.193 - Idte - Ieff, \quad (1)$$

где: $Idte$ – искажения, вызванные эхом говорящего,

$Ieff$ – искажения, вызванные кодированием речи.

Индекс Q эквивалентен R-фактору E-модели оценки качества голоса [1].

Искажения, вызванные эхом говорящего, определяются как:

$$Idte = \left[\frac{94.769 - Re}{2} + \sqrt{\frac{(94.769 + Re)^2}{4} + 100} - 1 \right] \times (1 - e^{-T_s}), \quad (2)$$

$$Re = 80 + 2.5 \times (TERV - 14), \quad (3)$$

$$TERV = TELR - 40 \times \log \frac{1 + \frac{T_s}{10}}{1 + \frac{T_s}{150}} + 6 \times e^{-0.3 \times T_s^2}. \quad (4)$$

В вышеприведенной формуле $TELR$ характеризует уровень громкости эха говорящего, а T_s – сквозную задержку речевых данных.

Искажения, вызванные кодированием голоса определяются как:

$$Ieff = Ie_s + (95 - Ie_s) \times \frac{Ppl_s}{Ppl_s + Bpl_s}, \quad (5)$$

где:

Ie_s – искажения, вносимые речевым кодеком,

Ppl_s – уровень потери пакетов,

Bpl_s – устойчивость к потере речевых пакетов.

Качество голоса Sq определяется как функция качественного индекса Q :

$$\begin{aligned} \text{Для } Q < 0: & \quad S_q = 1, \\ \text{Для } 0 < Q < 100 & \quad S_q = 1 + 0.035 \times Q + Q \times (Q - 60) \times (100 - Q) \times 7 \times 10^{-6}, \quad (6) \\ \text{Для } Q > 100 & \quad S_q = 4.5. \end{aligned}$$

2. Основные методы расчета, анализа и оценки параметров качества услуг видео

Параметр качества видео V_q рассчитывается по формуле:

$$V_q = 1 + I_{coding} \times \exp\left(-\frac{P_{plv}}{D_{Pplv}}\right), \quad (7)$$

где I_{coding} – качество видео, подверженное искажению кодирования, со скоростью передачи информации (B_{rv} [кбит/сек]), частотой кадров в секунду (F_{rv} [fps]) и коэффициентом устойчивости к потере пакетов D_{Pplv} , выражает вероятность потери пакетов (P_{plv} [%]).

Качество видео, подверженное искажению кодирования, выражено как:

$$I_{coding} = I_{ofr} \times \exp \left\{ - \frac{(\ln(F_{rv}) - \ln(O_{fr}))^2}{2 \times D_{FrV}} \right\}, \quad (8)$$

где: I_{ofr} – максимальное качество видео для выбранной скорости передачи (B_{rv}),

F_{rv} – частота кадров в секунду,

D_{FrV} – показатель устойчивости качества видео к уменьшению частоты кадров в секунду,

O_{fr} – оптимальная частота кадров

3. Основные методы расчета, анализа и оценки параметров качества интеграции услуг мультимедийных данных

Качество интеграции мультимедиа MM_q зависит от качества речевого трафика S_q , качества видео трафика V_q , задержки речевого трафика T_s , и задержки видео трафика T_v . Рассчитывается MM_q как

$$MM_q = m_1 MM_{SV} + m_2 MM_T + m_3 MM_{SV} \times MM_T + m_4, \quad (9)$$

где MM_{SV} – качество интегрированных мультимедийных данных, MM_T – усредненная задержка мультимедийного трафика, коэффициенты m_1, m_2, \dots, m_4 зависят от размера дисплея. MM_q может принимать значения от 1 до 5 и характеризуется как оценка MOS для интегрированного мультимедийного трафика.

Качество интегрированных мультимедийных данных представлено выражением:

$$MM_{SV} = m_5 S_q + m_6 S_q + m_7 S_q V_q + m_8. \quad (10)$$

Коэффициенты m_5, m_6, \dots, m_8 зависят от размера дисплея. MM_{SV} может принимать значения от 1 до 5.

Усредненная задержка мультимедийного трафика выражается как:

$$MM_T = \max \{AD + MS, 1\}, \quad (11)$$

AD характеризует абсолютную задержку мультимедийного трафика, а MS характеризует синхронизацию аудио и видео потоков.

Проведение эксперимента и оценка результатов

Построена модель сети с коммутацией пакетов в режиме «точка-точка» для оценки качества передачи речи и видео) и при интеграции мультимедийных данных. Используются программные пакеты генерирования (IxChariot) и мониторинга (Wireshark) на ПК. Выбраны речевой кодек G.729 и видеокодек MPEG-4 с разрешением QVGA (320x240). Используются рекомендации ITU-T G.1070 для выбора величин с постоянными и переменными значениями (таблица 1), допустимые значения для данной модели.

Таблица 1. Величины, применяемые для оценки качества речи и видео

Величина	Обозначение	Используемые значения	Диапазон значений	Единицы измерения
Bpl_s	Устойчивость к потере речевых пакетов	1, 10, 40	1...40	-
Ppl_s	Вероятность потери речевых пакетов	0, 5, 15, 30	0...30	%
T_s	Задержка речевых данных	50, 150, 400	0...500	мс

Четвертая международная научно-техническая конференция
Проблемы электромагнитной совместимости перспективных беспроводных сетей
связи

Ie_S	Искажения, вносимые речевым кодеком	10	0...50	-
P_{plV}	Вероятность потери видео пакетов	0, 5, 15, 30	0...30	%
F_{rV}	Частота кадров в секунду	5, 10, 20, 30	-	кадр/с
B_{rV}	Скорость передачи видео	1, 2, 10	-	Мбит/с
T_V	Задержка видео данных	50, 150, 400	0...500	мс

Параметр искажений, вносимых речевым кодеком, взят из рекомендации ITU-T G.107 как эталонный для исследуемого кодека G.729. Используются эталонные значения коэффициентов для оценки качества видео и интегрированного мультимедийного трафика (табл.2).

Данные эталонные коэффициенты рассчитаны и применимы только к модели, в которой используется кодек MPEG-4 для сжатия видео с разрешением QVGA (320x240), интервалом в 1 с между ключевыми кадрами и размеров видео дисплея 4.2 дюйма. Оценка качества речи, видео и интеграции мультимедиа сводятся к оценке MOS по шкале от 1 до 5. В таблице 3 показаны выборочные результаты расчета MOS при изменении входных параметров исследуемой модели.

Таблица 2. Эталонные коэффициенты модели оценки качества ITU-T G.1070

Коэффициенты для видео	Значения	Коэффициенты для мультимедиа	Значения
$v1$	1.431	$m1$	-0.4457
$v2$	0.02228	$m2$	-0.6638
$v3$	3.759	$m3$	0.4042
$v4$	184.1	$m4$	2.321
$v5$	1.161	$m5$	-0.3255
$v6$	1.446	$m6$	0.3309
$v7$	$0.388 \cdot 10^{-3}$	$m7$	0.1494
$v8$	2.116	$m8$	0.5457
$v9$	467.4	$m9$	$-0.3235 \cdot 10^{-3}$
$v10$	2.736	$m10$	3.915
$v11$	15.28	$m11$	$-0.1377 \cdot 10^{-2}$
$v12$	4.17	$m12$	0
-	-	$m13$	$-0.1095 \cdot 10^{-2}$
-	-	$m14$	0

Существует небольшая погрешность модели при практически идеальных условиях для передачи мультимедиа (максимальная экспериментальная оценка MOS для интегрированного мультимедиа потока составила 3.6 при отсутствии потери пакетов, высокой скорости передачи видео трафика и малой задержке). Установлено, что качество речи при равной задержке и потере пакетов получает меньшую оценку MOS.

Таблица 3. Выборочные результаты расчетов оценок MOS при изменении входных параметров исследуемой модели

№	B_{plS}	P_{plS} %	T_s мс	P_{plV} %	F_{rV} кадр/с	B_{rV} Мбит/с	T_V мс	MOS для речи	MOS для видео	MOS для мультимедиа
1	1	30	400	30	5	1	400	2.984	3.157	1.985
2	1	15	150	30	10	1	400	3.564	3.699	2.483

3	10	5	150	15	10	2	150	4.022	3.655	2.687
4	10	5	50	5	20	2	150	4.088	4.239	3.257
5	40	0	50	0	30	10	50	4.103	4.467	3.594

При моделировании трафика исследованы потоки RTP и RTCP пакетов, а также построены графики зависимости оценки MOS от времени (рис.1) при различных параметрах сети. Поскольку параметры сети постоянно меняются, оценка MOS в разные промежутки времени также неоднозначна. Для графика зависимости оценки MOS от времени были установлены следующие параметры сети (рис.1): доля потерь речевых пакетов (15 %); задержка речевых пакетов (150 мс); доля потерь видео пакетов (30 %); частота кадров в секунду (10); задержка видео пакетов (400 мс).

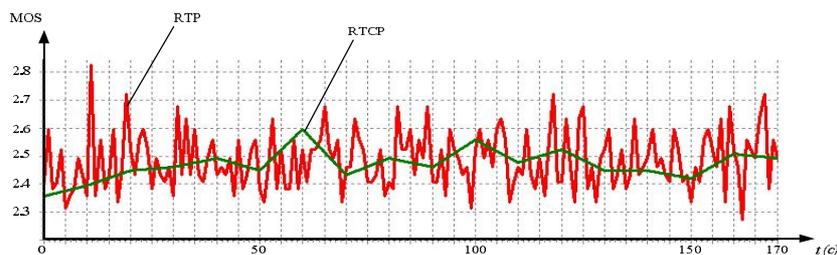


Рисунок 1. Зависимость оценки MOS от времени при существенных искажениях в сети

Выводы

Представлена методика расчета, анализ и оценка качества мультимедиа для соединения «точка - точка» в соответствии со спецификацией G.1070. Построен график зависимости оценки MOS от времени (рис.1) при различных параметрах сети.

Анализ и оценка полученных результаты показали, что нормативы MOS при соответствующем обеспечении качества интеграции мультимедиа значительно меньше оценки MOS качества услуг в отдельности: речи или видео. Из графиков видно, что при возникновении существенных искажений в сети (средней задержки более 150 мс и средней потери пакетов более 20%) необходимо при оценке качества речи по рассмотренной ранее E-модели переделить реальный класс обслуживания и при необходимости решать задачи последующего повышения классов обслуживания.

**ПРОБЛЕМЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ЭКОЛОГИИ.
ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЙ КОНТРОЛЬ УРОВНЕЙ ЭМП И ЗАЩИТА ОТ ЭМП**

Шендрик О.О.

Харьковский национальный университет радиоэлектроники
61166, Харьков, пр.Науки, каф.Инфокоммуникационной инженерии, тел. (057) 702-13-20, E-mail: oksana.shendryk@nure.ua; факс (057) 702-13-20.

Electromagnetic ecology is called the cumulative radiation of all transmitting devices on a given territory and the effect of this radiation on living organisms. It is well known that the development of life on earth occurs against the background of electromagnetic radiation of both cosmic and terrestrial origin. However, prolonged and intensive exposure to the electromagnetic field leads to persistent disturbances and diseases. This is why the topic of electromagnetic ecology has become popular today.

Впервые термин «электромагнитная экология» был применен в 1992 г. Ю.М. Сподобаевым. в его статье «Проблемы электромагнитной экологии». Но в те времена с понятием «экология» ассоциировались преимущественно медико-биологические проблемы окружающей среды. На сегодня термин «электромагнитная экология» прочно вошел в лексикон специалистов различного профиля. Введение термина в широкий обиход шло параллельно с развитием нового научного направления — электромагнитной экологии, в рамках которого сегодня успешно сотрудничают специалисты как технического, так и медико-биологического, педагогического, информационно-технологического и других профилей.

В последние несколько десятилетий применение устройств, которые излучают ЭМП, значительно возросло. Начало освоения человеком ЭМП связано с использованием диапазона длинных волн (длина волны 1...10 км), что было обусловлено развитием радиосвязи и радиовещания в этом диапазоне. Затем бурными темпами стало развиваться телевидение, и диапазон используемых длин волн стал расширяться в сторону их укорочения. С развитием радиолокации и радионавигации активно стали осваиваться диапазоны метровых, дециметровых и сантиметровых волн. В настоящее время трудно назвать такую область науки, техники, народного хозяйства, где бы ни использовалась радиоэлектронная аппаратура, в том числе излучающая ЭМП.

В настоящее время наблюдается ухудшение экологической ситуации по электромагнитному фактору. Это следует связывать, в первую очередь, с преобладанием ведомственных, чисто коммерческих и потребительских подходов к вопросам использования ЭМП.

Излучающие технические средства и объекты размещаются на крышах жилых домов и вблизи зон массового пребывания людей без анализа уже существующей электромагнитной обстановки, прогнозирования ЭМП размещаемых средств. Как правило, для размещения излучающих технических средств используются одни и те же удобные с точки зрения массового обслуживания места установки антенн. Несмотря на регламентации и ограничения по использованию технических средств, излучающих в окружающую среду ЭМП, в коммерческих целях иногда реализуется не сертифицированная по гигиеническим параметрам и параметрам электромагнитной совместимости аппаратура.

Нормирование ЭМП — сложный процесс, включающий различные виды медико-биологических исследований (гигиенические, клинико-физиологические, экспериментальные), технические работы, сопровождающие физическое моделирование полей, электродинамическое моделирование воздействий ЭМП на биологические объекты, экономическое обоснование работ по нормированию, социальные исследования и др. Принципы построения нормативно-методической документации и предельно допустимые уровни были установлены на основе результатов фундаментальных исследований, проведенных в середине 70-х — начале 80-х годов. За прошедшие

Четвертая международная научно-техническая конференция
Проблемы электромагнитной совместимости перспективных беспроводных сетей
связи

десятилетия произошли необратимые изменения в отрасли, выражающиеся не только в наращивании сетевых емкостей, но и в качественном преобразовании технологий. Основные тенденции в эволюции телекоммуникаций:

- Активно расширяются сети связи с повсеместным использованием новых архитектурных решений.
- Стремительно увеличивается количество операторов, обслуживающих одну и ту же территорию.
- Активно внедряются новые телекоммуникационные услуги — на основе как традиционных сетей, так и новых (например, сети LTE).
- Осваиваются новые и перераспределяются ранее используемые участки радиочастотного спектра.
- Изменяются спектральные характеристики излучаемых сигналов.
- Появляются принципиально новые телекоммуникационные технологии массового обслуживания населения (в частности, спутниковое радиовещание).
- Активно внедряются беспроводные технические решения на всех уровнях систем передачи данных, включая клиентские.
- Происходит интеграция телекоммуникационных систем и иных систем массового обслуживания (так, услуги спутникового позиционирования и навигации предоставляются с использованием функционала сотовых сетей) .

Все это определяет необходимость возобновления работ по исследованию воздействия ЭМП на биосистемы и человека с целью развития комплекса регламентаций и корректировки предельно допустимых уровней, которые учитывали бы тенденции развития телекоммуникационных систем.

Сейчас уже никто не сомневается, что электромагнитный мониторинг окружающей среды должен сопровождаться электродинамическим моделированием излучающих систем. Причем моделирование необходимо практически во всех диапазонах частот, включая промышленные частоты, по всем составляющим поля, на произвольных расстояниях от излучателей, для всего многообразия излучающих систем, под которыми понимаются как антенные системы, так и любые устройства, создающие ЭМП.

Рассмотрим инструментальный контроль уровней ЭМП. Несмотря на большой объем информации, расчетные методы часто не могут заменить инструментальный контроль, который является единственным средством, позволяющим в условиях статистически неоднородной среды оценить биологическую опасность ЭМП, и причина тому — невозможность учета в моделях излучения всего многообразия влияющих факторов.

Различают два отличающихся своими целями вида инструментального контроля: это инструментальный контроль расчетного прогноза и профилактический санитарный инструментальный контроль. Инструментальный контроль расчетного прогноза ЭМП имеет своей целью оценить достоверность расчетного прогноза, при необходимости его скорректировать, выявить и обосновать неучтенные факторы в условиях реального размещения объекта. Правильная постановка задачи и ее решение позволяют значительно сократить объем трудоемких экспериментальных работ. Методики инструментального контроля расчетного прогноза, разрабатываемые в соответствии с методиками расчетного прогнозирования, не только включают в себя перечень и эксплуатационные требования к измерительной аппаратуре, но и учитывают особенности и предпосылки, заложенные в основу расчета. В качестве иллюстрации здесь уместно назвать инструментальный контроль ЭМП базовых станций сотовой связи, при котором весьма сложно контролировать излучаемую мощность из-за изменчивости трафика и скрытности действий оператора. Или другой пример — инструментальный контроль магнитных полей, зависящих от токовых нагрузок элементов, их создающих.

Профилактический инструментальный контроль санитарно-гигиеническими службами предполагает проверку уровней поля в любых точках, в том числе в зонах, не поддающихся расчетному прогнозированию. Отдельную сложную проблему представляет инструментальный контроль ЭМП вблизи переизлучающих конструкций и в замкнутых объемах, к которым следует отнести и помещения. Игнорирование очевидного существования двух видов инструментального контроля приводит, как правило, к недооценке и отрицанию расчетных методов электромагнитного мониторинга, с одной стороны, а с другой — к гиперболизации инструментального контроля окружающей среды, неправильной трактовке результатов измерений и, как следствие, к ошибочному заключению о состоянии окружающей среды по электромагнитному фактору.

Быстрые темпы развития элементной базы радиотехники и применение новейших технологий за последние десятилетия позволили резко поднять уровень современной измерительной аппаратуры. В настоящее время на рынке измерительной аппаратуры присутствует множество образцов зарубежной техники, удовлетворяющей практически любым требованиям к контролю ЭМП в широких частотных и динамических диапазонах. Обычно они представлены в виде удобных по компоновке и пригодных к любым климатическим условиям панорамных анализаторов спектра.

Рассмотрим способы защиты от ЭМП. Наиболее действенным способом защиты населения от ЭМП антропогенного происхождения является создание правильно построенной системы электромагнитной безопасности страны и использование научно обоснованных принципов и методов управления электромагнитной безопасностью. Управление системой электромагнитной безопасности — весьма сложный процесс, он требует решения множества различных проблем, согласования подходов и проведения объемных научно-исследовательских работ, осуществляемых коллективами ученых и специалистов различных министерств и ведомств. Из этого следует необходимость при решении проблем электромагнитной безопасности придерживаться принципа системности. Непрерывный технический прогресс и соответственно прогресс в области телекоммуникаций, радиотехнологий и энергетики сопровождается неослабным вниманием к состоянию электромагнитной обстановки со стороны как населения и производственного персонала, так и контролирующих организаций, что определяет еще один из основных принципов — непрерывность при управлении электромагнитной безопасностью и мониторингом. Процессы электромагнитного мониторинга и безопасности должны быть юридически и организационно всесторонне обеспеченными, поскольку в них вовлекается больше участников, и осуществляются они в интересах всего общества. Из этого следует принцип легитимности мероприятий управления электромагнитной безопасностью, сопровождающийся подготовкой и утверждением соответствующей регламентирующей и методической документации. Движущей силой процесса электромагнитной безопасности и мониторинга являются требования к общей экологической безопасности населения, а также потребности рынка телекоммуникационных услуг и энергетических систем. При этом объективно возникающие межведомственные и социальные противоречия должны регулироваться органом, наделенным достаточными полномочиями. Из этого вытекает принцип обязательной государственной поддержки и контроля мероприятий по электромагнитной безопасности, а также важнейший принцип безопасности. Данные об электромагнитной обстановке, как правило, представляют собой массивы значительного объема. При этом весьма существенным обстоятельством, отличающим такие данные от результатов, получаемых в иных формах экологического мониторинга, является «генетическая» привязанность к географическим координатам. Действительно, области опасных ЭМП, очевидно, оказываются локализованными вблизи мест расположения технических средств-источников, а результирующая электромагнитная обстановка образует сложную пространственную картину, привязанную к рельефу местности.

Четвертая международная научно-техническая конференция
Проблемы электромагнитной совместимости перспективных беспроводных сетей
связи

Проблемы электромагнитной экологии и безопасности населения являются актуальными и весьма значимыми, их последовательное решение непременно сопутствует целям обеспечения благоприятных условий развития инфокоммуникационных технологий (ИКТ), гармонизации технического, экономического и социального аспектов ИКТ. Учитывая специфику ИКТ, функционирующих как интегрированная инфраструктура, гармоничное решение задач электромагнитной экологии возможно лишь в комплексе, причем целеопределяющие, стратегические и методические функции должны быть сосредоточены там, где накоплен опыт и имеется потенциал по соответствующим компетенциям. Предстоит серьезная многоплановая разработка новой концепции, методологических основ и структуры нормативно-методической базы по вопросам электромагнитной безопасности как телекоммуникационных технических средств, так и энергетических систем.

АДАПТАЦИЯ ПОЛЯРИЗАЦИОННОГО БАЗИСА АНТЕНН БАЗОВОЙ СТАНЦИИ С ОРТОГОНАЛЬНОЙ ПОЛЯРИЗАЦИЕЙ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ

Мартынчук А.А., Колесников А.Н.
Kharkiv National University of Radio Electronics, UKRAINE, Kharkiv, 14 Nauki Ave.
E-mail: alexmartynchuk@ukr.net

The problem of controlling the polarization basis of antenna systems for radiation in the interest of increasing noise immunity from active noise interference is considered.

ВВЕДЕНИЕ

Повышение помехозащищенности базовых станций в условиях воздействия нежелательных внешних излучений либо активных шумовых помех представляет собой важную научно-техническую задачу. Обработка ортогональных по поляризации сигналов на фоне помех, мощность которых может быть в десятки раз больше мощности самого сигнала, а пространственные и спектральные различия могут быть малы, возможно, если использовать поляризационные различия сигналов и помехи.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Пусть некоторый информационный поток $S(t)$ в кодере передатчика разделен на два $S(t) = (S_1(t) \ S_2(t))^T$ подпотока, которые одновременно излучаются передающей антенной на вертикальной $S_1(t)$ и на горизонтальной $S_2(t)$ поляризации (рис. 4.1).

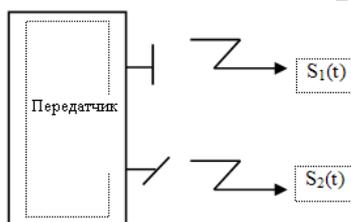


Рис. 1 - Излучение ортогональных радиоволн

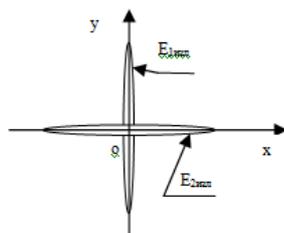


Рис. 2 - ПД излучаемых радиоволн

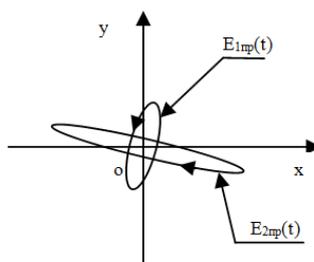


Рис. 3 - ПД принимаемых радиоволн

Излучаемые сигналы в свободном пространстве реальных поляризационно-ортогональных излучателей передающих антенн ввиду их конечной развязки по поляризации характеризуются параметрами поляризационных диаграмм (ПД), такими как угол эллиптичности α и угол ориентации β поляризационного эллипса (рис. 2).

ПД принимаемых радиоволн ввиду изменяемых условий распространения радиоволн мобильных систем, влияния переотражений, многолучевости, погодных условий, могут сколь угодно отличаться от идеальных линейно-поляризованных (рис. 3) и являются частично поляризованными.

Поэтому, целесообразным является полный поляризационный прием таких радиоволн (рис. 4) в многоканальном приемнике.

Сигналы с ортогональным кодированием выделяются в четырех каналах многоканального приемника, один из которых представлен на рис. 5.

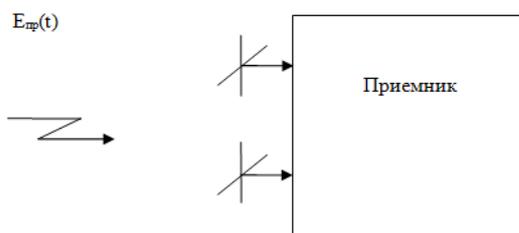


Рис. 4 - Поляризационно-ортогональные антенны приемника

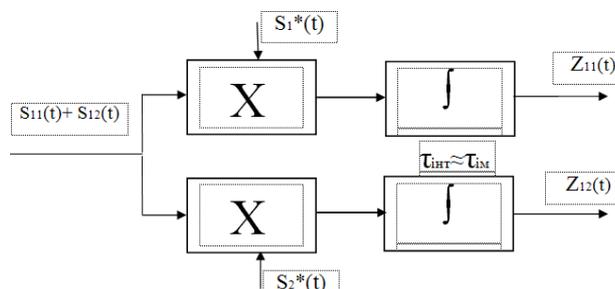


Рис. 5 - Выделение ортогональных радиоволн в одном поляризационном канале

В каждом из поляризационных каналов происходит разделение основных $z_{11}(t)$ либо $z_{22}(t)$ и перекрестных, $z_{12}(t)$ либо $z_{21}(t)$ по поляризации составляющих ортогональных радиоволн. В результате дальнейшей адаптивной к поляризационным изменениям обработки полученного поляризационного вектора радиоволн выделяются составляющие $S_1(t)$ и $S_2(t)$ в декодере, и происходит формирование выходного информационного потока $S(t)$.

Процесс подавления помех и обнаружения сигнала можно рассматривать как единый этап обработки входных информационных векторов. Под входным информационным вектором понимается поляризационный вектор \vec{S} в некотором поляризационном базисе (ПБ).

МЕТОДИКА АДАПТАЦИИ ПОЛЯРИЗАЦИОННОГО БАЗИСА

Область изменения каждой из составляющих поляризационного вектора случайного векторного пространства исчерпывающе описывается n-мерной плотностью распределения $P(\vec{S})$. Поскольку, в общем случае, на измерение поляризационного вектора (ПВ) воздействует большое число независимых случайных величин, то $P(\vec{S})$ приближается к нормальному:

$$P(\vec{S}) = (2\pi|M|)^{-1/2} \exp\left(-\frac{1}{2}(\vec{S} - \vec{m})^T M^{-1}(\vec{S} - \vec{m})\right), \quad (1)$$

где \vec{m} - вектор средних значений; M^{-1} - матрица, обратная ковариационной матрице M , $|M| \neq 0$.

Выборки нормально распределенного случайного вектора имеют тенденцию попадать в одну область [1]. Центр этой области определяется вектором средних значений \vec{m} , а форма - ковариационной матрицей M . Из соотношения (1) следует, что элементы случайного вектора \vec{S} образуют n-мерный эллипсоид равной плотности вероятностей с уравнением:

$$(\vec{S} - \vec{m})^T M^{-1}(\vec{S} - \vec{m}) \leq d^2, \quad d > 0. \quad (2)$$

Главные оси этого эллипсоида задаются собственными векторами ковариационной матрицы или ковариационно-поляризационной матрицы (КПМ), а длины полуосей - ее собственными значениями [1,2]. Все это позволяет ввести в рассмотрение область локализации [3], отражающую основные статистические свойства ПВ как случайных векторов.

Получение оценки КПМ происходит путем адаптивного оценивания по пространству и времени одного углового направления. Можно записать оценку КПМ на i-тый временной отсчет:

$$\hat{M} = \frac{1}{2(TL-1)} \sum_{i=1}^T \sum_{j=1}^L \vec{S}_{ij} \vec{S}_{ij}^T, \quad (3)$$

где T, L - размеры "скользящего окна" по времени и пространству, определяемые интервалами стационарности параметра помехи.

Здесь и в дальнейшем КПМ помехи предполагается невырожденной вследствие влияния как внешних, так и внутренних шумов приемных устройств.

Основываясь на том, что наличие сигнала и помехи в анализируемом элементе разрешения сопровождается изменением параметров ОЛ поляризационного вектора (3), можно осуществить выделение сигналов и подавление помех.

Считаем, что условные плотности распределения вероятностей независимых ПВ при наличии и отсутствии сигнала описываются нормальными законами:

$$P_1(\vec{S}) = \left((2\pi|M_1|)^{-1/2} \exp\left\{-\frac{1}{2}(\vec{S} - \vec{m}_1)^T M_1^{-1}(\vec{S} - \vec{m}_1)\right\} \right) \cdot P_0(\vec{S}) = \left((2\pi|M_0|)^{-1/2} \exp\left\{-\frac{1}{2}(\vec{S} - \vec{m}_0)^T M_0^{-1}(\vec{S} - \vec{m}_0)\right\} \right). \quad (4)$$

Оптимальная весовая обработка смеси сигнала и помехи будет в том случае, если вектор весовых коэффициентов \vec{W} вычисляется по формуле Винера - Хопфа:

$$\vec{W} = M^{-1} \cdot \vec{b}_c, \quad (5)$$

где \vec{b}_c - весовой вектор сигнала.

Результатом поляризационной обработки является

$$v = \vec{S}^{T*} \vec{W} = \vec{S}^{T*} \dot{M}^{-1} \vec{b}_c. \quad (6)$$

В целом обработка (6) предполагает адаптивное обучение по помехе (3) и обеспечивает независимость ошибок канала от интенсивности помехи и позволяет использовать поляризационно - статистические отличия ПВ сигнала цели и помехи.

Управление поляризационным базисом передающих антенн должно осуществляться из условия минимизации помех путем адаптивного обучения и ортогонализации областей локализации сигнала и помехи, при которой обеспечивается наибольшая эффективность обнаружения. Имеем:

$$\dot{Q} = 90^\circ + j0, \quad (7)$$

где \dot{Q} - комплексный вектор между соответствующими собственными векторами КПМ сигнала и помехи.

Поскольку ранг КПМ полностью поляризованной помехи равен единице и имеет единственный собственный вектор, то ОЛ - одномерна. Ориентация области локализации в комплексном поляризационном пространстве будет определяться только первым собственным вектором

$$\vec{b}_{1\bullet} = \begin{pmatrix} b_1 + jb_1^{\circ} \\ b_2 + jb_2^{\circ} \\ b_1 + jb_1^{\circ} \\ b_2 + jb_2^{\circ} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \alpha_{\bullet} \cos \beta_{\bullet} - j \sin \alpha_{\bullet} \sin \beta_{\bullet} \\ \cos \alpha_{\bullet} \sin \beta_{\bullet} + j \sin \alpha_{\bullet} \cos \beta_{\bullet} \\ \cos \alpha_{\bullet} \cos \beta_{\bullet} - j \sin \alpha_{\bullet} \sin \beta_{\bullet} \\ \cos \alpha_{\bullet} \sin \beta_{\bullet} + j \sin \alpha_{\bullet} \cos \beta_{\bullet} \end{pmatrix}, \quad (8)$$

где b_1, b_2 и b_1°, b_2° - действительные и мнимые составляющие проекций первого собственного вектора помехи на орты КПП; $\alpha_{\bullet}, \beta_{\bullet}$ - углы эллиптичности и ориентации эллипса поляризации помехи. Адаптивная оценка поляризационных параметров помех позволяет получить некоторые поляризационные параметры α_{\bullet} и β_{\bullet} на интервале наблюдения помехи. Пусть собственный вектор КПМ сигнала имеет вид:

$$\vec{b}_{1c} = \begin{pmatrix} \cos \alpha_c \cos \beta_c - j \sin \alpha_c \sin \beta_c \\ \cos \alpha_c \sin \beta_c + j \sin \alpha_c \cos \beta_c \\ -\cos \alpha_c \sin \beta_c - j \sin \alpha_c \cos \beta_c \\ \cos \alpha_c \sin \beta_c + j \sin \alpha_c \cos \beta_c \end{pmatrix}, \quad (9)$$

где α_c и β_c - углы эллиптичности и ориентации эллипсов поляризации излучаемых сигналов.

Обеспечим равенство нулю скалярного произведения векторов(8) и (9), т.е.

$$\left(\vec{b}_{1\bullet}, \vec{b}_{1c} \right) = 0. \quad (10)$$

Решая (10) относительно α_c и β_c , имеем:

$$\alpha_c = \frac{1}{2} \arcsin \left(\frac{2((b_1 - b_2)(b_1^{\circ} + b_2^{\circ}) + (b_1 + b_2)(b_1^{\circ} - b_2^{\circ}))}{(b_1^{\circ} - b_2^{\circ})^2 + (b_1 - b_2)^2 + (b_1^{\circ} + b_2^{\circ})^2} \right) \\ \beta_c = \frac{1}{2} \arctg \left(\frac{2((b_1^{\circ} + b_2^{\circ})(b_1^{\circ} - b_2^{\circ}) + (b_1 - b_2)(b_1 + b_2))}{(b_1^{\circ} + b_2^{\circ})^2 + (b_1^{\circ} - b_2^{\circ})^2 + (b_1^{\circ} + b_2^{\circ})^2 - (b_1 - b_2)^2} \right). \quad (11)$$

Управление параметрами α_c и β_c определяет адаптацию поляризационного базиса передающей антенны, при котором будет обеспечиваться ортогональность областей локализации ПВ сигнала и помех.

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Оценка эффективности методики адаптации поляризационного базиса проводилась методом статистических испытаний. Полезный сигнал моделировался для двух независимых поляризационно-ортогональных каналов. Внешнее нежелательное излучение представляло собой модель полностью, частично или хаотически поляризованную помеху. При этом КПМ помехи с различными поляризационными параметрами (углами эллиптичности α_n , ориентации β_n и индексом поляризации) были получены с использованием математической модели АПП.

Для оценки результатов проводимой оптимизации использовались следующие показатели:

Коэффициент подавления помех

$$K_n = \frac{P_{n_{\text{вых}}}}{P_{n_{\text{вх}}}}, \quad (12)$$

где $P_{n_{\text{вх}}}, P_{n_{\text{вых}}}$ - мощности помехи до оптимизации и после нее соответственно, определяемые как след соответствующих им КПМ.

Коэффициент выигрыша в мощности сигнала

$$K_{\theta_c} = \frac{P_{c_{\text{вых}}}}{P_{c_{\text{вх}}}}, \quad (13)$$

где $P_{c_{\text{вх}}}, P_{c_{\text{вых}}}$ - мощности сигнала до оптимизации и после нее соответственно, определяемые как след соответствующих им КПМ.

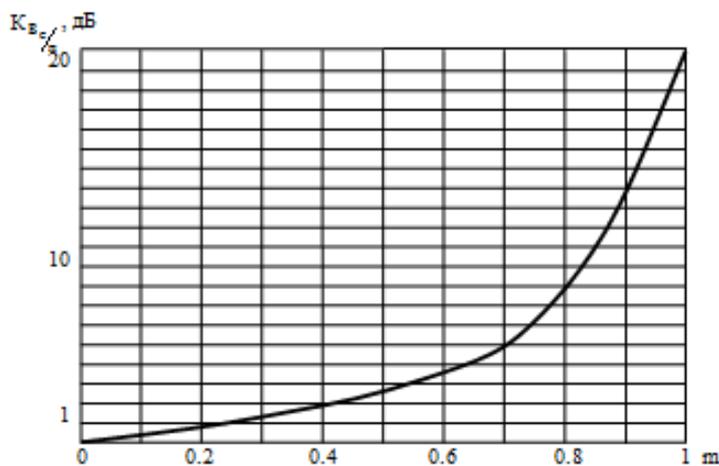


Рис. 6 - Зависимость коэффициента выигрыша в отношении сигнал/помеха от индекса поляризации

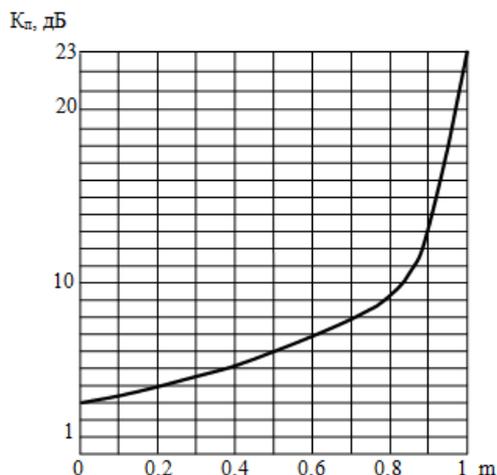


Рис. 7 - Зависимость Кп от индекса поляризации

Коэффициент выигрыша в отношении сигнал/помеха

$$K_{\text{с/ш}} = \frac{P_{\text{с}_{\text{вых}}} / P_{\text{п}_{\text{вых}}}}{P_{\text{с}_{\text{вх}}} / P_{\text{п}_{\text{вх}}}} \quad (14)$$

Оптимальные параметры по критерию минимума мощности помехи являются ортогональными поляризационным параметрам воздействующих АШП: $\beta_{R1,R2} = \beta_n + 90^\circ$ и $\alpha_{R1,R2} = -\alpha_n$. Полученные результаты оптимизации представлены на рис. 6 и 7. С увеличением индекса поляризации m величина коэффициента подавления возрастает. С уменьшением мощности помехи по отношению к шумам K_n падает. Так при $q_{n/ш}^2 = 80$ дБ будет $K_n = 67$ дБ, а при $q_{n/ш}^2 = 20$ дБ уже $K_n = 23$ дБ.

Использование управления параметрами поляризационного базиса антенной системы на излучение позволит получить энергетический выигрыш в отношении сигнал/помеха до 14 дБ при индексе поляризации частично поляризованной помехи около 0,8. Исследование алгоритма управления параметрами поляризационного базиса антенной системы на излучение показало, что ортогонализация только первых собственных векторов ОЛ ПВ сигнала и помехи может повысить показатели качества передачи каналов.

ВЫВОДЫ

Результаты исследования указывают на высокую эффективность использования адаптации поляризационного базиса антенн базовой станции с ортогональной поляризацией для обеспечения электромагнитной совместимости в условиях воздействия активной помехи и возможность работы канала связи.

Список литературы:

1. Martynchuk A.A., Loshakov V.A., Oliver L.M/. Development of a trans-horizon communication system based on dual polarization MIMO architecture // "Проблемы электромагнитной совместимости перспективных беспроводных сетей связи (EMC-2015)". – Харьков: ХНУРЭ, 2015.
2. Popovskii V., Loshakov V., Filipenko O., Martynchuk O., Drif A./ Results of development tropospheric communications system / 2015 Second International Scientific Practical Conference "Problems of Infocommunications. Science and Technology". –Kharkiv, ANPRE, 2015.

Четвертая международная научно-техническая конференция
Проблемы электромагнитной совместимости перспективных беспроводных сетей
связи

Алфавитный список

Б	Л	Ч
Бублик А.А. 44	Лебедев В.О. 5	Чернухин А.Ю. 38
В	М	Ш
Висоцкий О.В. 9	Макаров С.А. 9	Шостко И.С. 15
Г	Муляр Б.П. 51	Шаламов С.П. 38
Гримова Н. А. 29	Мартынчук А.А. 63	Шептунов А.С. 42
Д	Н	Шендрик О.О. 59
Дробяз С. А. 26	Ндулуе Виктор 33	
Ж	П	
Жуленко М.О. 12	Поздняк В.П. 5	
З	Павліченко О.А. 5, 9	
Захаров Ю.В. 15	Петров Д.К. 23	
К	Петров О.М. 47	
Костенко І.Л. 5	С	
Куля Ю.Э. 20	Сокол О.О. 9	
Кадацкая О.И. 33, 54	Сабурова С.А. 33,54	
Князев В.В. 38	Т	
Колесников А.Н. 63	Тега Аджаді Айоделе 54	