УДК 621.391

ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОСТОРОВОЇ ОБРОБКИ СИГНАЛІВ НА ЛІНІЯХ ЦИФРОВОГО РАДІОРЕЛЕЙНОГО ЗВ'ЯЗКУ

Авдєєнко Г.Л., Чижевська А.В., Якорнов Є.А.
Інститут телекомунікаційних систем НТУУ «КПІ», Україна
E-mail: nyutka_i_am@ukr.net

Theoretical investigation of spatial signal processing on digital microwave lines

A new technical solution for reuse radio frequency resources is presented. The results of simulation of digital microwave line with introduced spatial signal processing for different frequency bands are summarized.

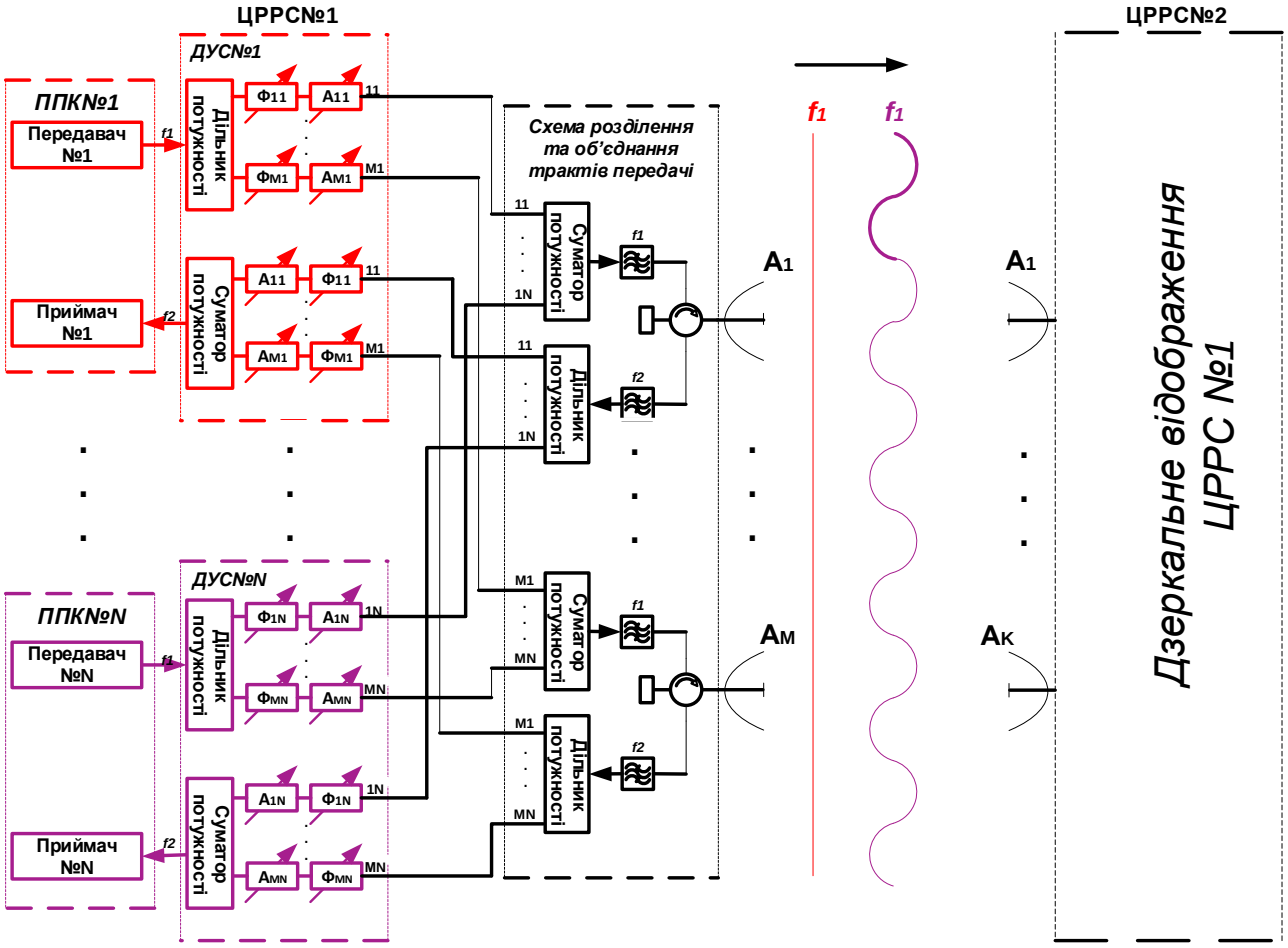
Незважаючи на масштабне розгортання волоконно-оптичних ліній передачі, радіорелейний зв'язок в більшості країн світу на даний момент залишається важливою складовою телекомунікаційних мереж різного рівня.

Однією із актуальних задач, які ставлять перед собою розробники цифрових радіорелейних ліній зв'язку (ЦРЛЛЗ), враховуючи сучасні тенденції розвитку безпроводових мереж зв'язку, є підвищення їхньої продуктивності шляхом розширення об'єму інформації, який може бути переданий по цим лініям. Проте найбільш традиційні та поширені рішення часто приводять до необхідності розширення робочої смуги радіочастот, що є небажаним в умовах обмеженості радіочастотного ресурсу. Це призводить до того, що доцільно здійснювати пошук нових способів повторного використання виділених смуг радіочастот в діапазоні НВЧ для систем цифрового радіорелейного зв'язку. Тому для вирішення даної задачі пропонується на ЦРРЛЗ ввести просторову обробку сигналів на передачу і прийом по кривизні фронту електромагнітної хвилі (за умови роботи ЦРРС в зоні Френеля), використання якої повинне забезпечити повторне використання радіочастотного ресурсу цієї лінії.

Структурна схема, яка пояснює основні принципи реалізації пропонуємого технічного рішення, приведена на рис. 1. Суть полягає в тому, що в цифрових радіорелейних станціях (ЦРРС) для кожного ППК вводиться діаграмоутворююча схема (ДУС), проводиться модернізація антенно-фідерної системи з точки зору введення розрідженої антенної решітки (РАР) та схеми розділення та об'єднання трактів передачі. Оснащення ЦРРС додатковим обладнанням дозволить одночасно передавати по ЦРРЛЗ при однаковій поляризації, в однаковій смузі частот $f_{1.min}\ldots f_{1.max}$ сигнали від *N* передавачів ЦРРС №1, відокремлювати ці сигнали один від одного в приймальному тракті ЦРРС №2 та навпаки (одночасне передавання в одній й тій самій смузі радіочастот $f_{2.min}\ldots f_{2.max}$ на одному й тому ж самому виді поляризації радіосигналів від *N* передавачів ЦРРС №2 та їхнє відокремлення один від одного в приймальному тракті ЦРРС №1).

Як результат, зрозуміло, що ключовими елементами є ДУС, які являються формувачами кривизни фазових фронтів в передавальній частині ЦРРС №1 (№2) та просторовими фільтрами фазового фронту ЕМХ того чи іншого

передавача в приймальній частині ЦРРС №2 (№1). Головною характеристикою ДУС є деякий набір вагових коефіцієнтів $\dot{w}_i = w_i \cdot e^{j\Phi_i}$, які відображають налаштування фазообертачів та атенюаторів. Відповідно набір вагових коефіцієнтів в ДУС і для передавальної, і для приймальної сторін, має бути таким, що забезпечує найефективніше відділення радіосигналів різних передавачів одне від одного на приймальній стороні.



ППК - приймально-передавальний комплект
M – кількість передавальних антен;
K – кількість приймальних антен;
N – кількість передавачів та приймачів в складі ЦРРС, тобто кількість сигналів в системі

Рис. 1. Структурна схема одноінтервальної ЦРРЛЗ з використанням просторової селекції сигналів

Виходячи з вищесказаного, для синтезу оптимального вектору вагових коефіцієнтів (ВВК) ДУС приймальної ЦРРС, який забезпечуватиме оптимальну просторову обробку сигналів, був використаний критерій мінімуму середньоквадратичної помилки [1]. В результаті математичних перетворень, вираз для розрахунку ВВК і-ої ДУС приймальної сторони був зведений до рівняння Вінера-Хопфа:

$$\mathbf{W}_{i.прм} = \mathbf{R}_{yy}^{-1} \cdot \mathbf{R}_{yd}^{(i)}, \qquad (1)$$

де $\mathbf{R}_{yy}^{-1}$ - обернена кореляційна матриця вхідних сигналів РАР; $\mathbf{R}_{yd}^{(i)}$ - взаємокореляційна матриця вхідного сигналу РАР приймальної ЦРРС і опорного сигналу $d_i(t)$ при селекції і-го радіосигналу.

Синтез ВВК ДУС передавальної ЦРРС базується на тому факті, що що в антенній решітці максимальна ефективність просторової селекції радіосигналів досягається за умов, коли останні приходять з різних кутових напрямків [2]. Враховуючи це, ВВК передавальної сторони розраховується таким чином, щоб у дискретних точках розкриву приймальної РАР, в яких розміщені направлені антени, відповідні сумарні багатопроменеві сигнали створювали ефект того, що радіосигнали різних передавачів як би мають плоский фазовий фронт (хоча на справді на трасі поширення хвиль на ЦРРЛЗ вони мають форму фазових фронтів, відмінну від пласкої) і приходять до приймальної РАР під різними кутами.

Використовуючи приведені теоретичні викладки, було проведене моделювання одноінтервальної ЦРРЛЗ, яка обладнана елементами просторової обробки сигналів, та розраховані показники ефективності застосування такого технічного рішення для різних діапазонів частот (згідно з «Планом використання радіочастотного ресурсу України») за умови, що відстань між ЦРРС $d_0 = 4000м$ (див. табл. 1). Кількість ППК, тобто кількість радіосигналів, рівна 3. І, оскільки, принципи роботи блоків просторової обробки сигналів однакові, тому дане моделювання проведене тільки для одного з них – для блоку просторової обробки сигналів №2 (ДУС №2).

Таблиця 1. Результати моделювання

	Робоча частота ствола ЦРРЛЗ, (ГГц)								
	8			**15**			**20**		
	Міжантенна відстань РАР приймальної ЦРРС, (м)								
	2	**6**	**10**	**2**	**6**	**10**	**2**	**6**	**10**
Коефіцієнт ослаблення корисного сигналу №2, (дБ)	≈0	≈0	-0,05	≈0	≈0	≈0	≈0	≈0	≈0
Коефіцієнт придушення сигналу №1, (дБ)	70	85	45	91	98	98	83	103	92
Коефіцієнт придушення сигналу №3, (дБ)	71	87	61	90	98	98	92	102	92
Коефіцієнт придушення (підсилення) власних шумів, (дБ)	-3,5	-18	≈0	-2,8	-0,3	-0,25	-1,2	≈0	-0,3
Відношення сигнал/(завада+шум), (дБ)	**37**	**40**	**22**	**43**	**46**	**46**	**47**	**48**	**48**

Отже, змінюючи міжантенну відстань РАР приймальної ЦРРС для певного діапазону частот можна домогтися як покращення, так і погіршення показників ефективності просторової обробки сигналів. При цьому, загалом, технічне рішення підтверджує свою дієздатність тим, що 8 із 9 розрахованих відношень сигнал/(завад+шум) перевищує мінімальне необхідне значення 25 дБ (для QAM64).

Література

1. Монзинго Р. А., Миллер Т. У. Адаптивные антенные решетки: введение в теорию. Перев. с англ. под ред. В. А. Лексаченко – М.: Радио и связь, 1986. – 448 с.
2. Ширман Я. Д., Манжос В. Н. Теория и техника обработки радиолокационной информации на фоне помех. – М.: Радио и связь, 1981. – 416 с.