

ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ СУПУТНИКОВОГО ЗВ'ЯЗКУ

Вадим Слюсар¹, Сергій Третьяченко², Сергій Волошко³

¹Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України
пр. Повітрофлотський, 28, Київ, 03049, Україна, тел.: (044)-520-12-84, E-Mail: swadim@inbox.ru

^{2,3}Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації

Національного технічного університету України „КПІ”

вул. Зінківська, 44, Полтава, 36012, Україна,

²тел.: 8(050)8632472, E-Mail: slk@mail.ru, ³тел.: 8(066)5556589, E-mail: woloshko@mail.ru

Сучасна епоха глобалізації змушує провідні космічні держави поєднувати зусилля в напрямку подальшого розвитку наукомістких і ресурсомістких технологій в області телекомунікацій. Підтвердженням цьому є спроби здійснити проект глобальної інформаційно-космічної системи “НЕО” для глобального обміну інформаційними потоками через супутники різних держав та різного призначення.

Останнім часом широкий розвиток отримала концепція мережево-центричної війни (NET-CENTRIC WAR OPERATIONS, NCWO) [1], сутність якої полягає в об'єднанні сенсорної і бойової підсистем із метою підвищення швидкості керування та забезпечення повної синхронізації бойових дій. Необхідним аспектом реалізації даної концепції вважається впровадження нових систем керування, розвідки, комп'ютерного моделювання, оперативного бойового забезпечення та ін. У цьому відношенні незмінним лідером по проведенню революційних змін у військово-технічній сфері залишаються США.

При створенні перспективних засобів супутникового зв'язку в умовах удосконалення форм інформаційної боротьби та підвищення вимог до ефективності систем зв'язку військового призначення значну увагу слід спрямувати на застосування технології цифрового діаграмоутворення (ЦДУ) [2], методів ортогональної та неортогональної дискретної частотної модуляції сигналів (OFDM, N-OFDM) [3].

В якості основного інформаційного середовища для реалізації NCWO у США розглядається супутниковий зв'язок. Так, у складі об'єднаного програмного керування (Milsatcom Joint Program Office, MJPO), що входить до центру ракетно-космічних систем (SMC) США, реалізується програма системи об'єднаного керування і контролю (Command and Control System Consolidated, CCS-C). Вона повинна забезпечити зниження витрат на утримання каналу загального користування існуючої військової систем супутникового зв'язку (BCC3) США (Military Satellite Communications, MILSATCOM) і передбачає контроль тридцяти телекомунікаційних супутників систем військового призначення: Defense Satellite Communications System III (DSCS III), Military Strategic and Tactical Relay Satellite (Milstar), Advanced Extremely High Frequency (AEHF), Wideband Gapfiller Satellite (WGS).

До BCC3 Milstar (США) входять 2 космічних апарати (КА) першого покоління із низькошвидкісним обладнанням (Low Data Rate, LDR), що забезпечує передачу даних по 192 каналах із швидкістю від 72 до 2400 біт/с., а також 4 – другого (Milstar II), обладнаних LDR та ретрансляційним комплексом середньошвидкісної передачі даних (Medium Data Rate, MDR) із пропускнуною здатністю від 4,8 кбіт/с до 1,544 Мбіт/с по кожному з 32-х каналів. До складу MDR входять антени, діаграма спрямованості яких при виявленні перешкоди змінюється автоматично, утворюючи провал у напрямку перешкоди, що підвищує завадостійкість. У системі для передачі сигналу “вгору” використовується частота 44,5 ГГц, для передачі “вниз” – 20 ГГц. Система міжсупутникового зв'язку працює на частоті 60 ГГц. Користувальницький сегмент Milstar містить у собі термінали зв'язку всіх родів військ армії США, які встановлені на підводні човни, кораблі, літаки і наземні транспортні засоби.

Базовою для NCWO є система супутникового зв'язку АЕНФ, яка призначена для керування військами на ТВД у тактичній і стратегічній ланках управління. Спочатку програма АЕНФ передбачає розробку 2 КА. Далі планується удосконалення і заміна супутників існуючої системи зв'язку військового управління MILSATCOM, а також модернізація її наземної інфраструктури для підвищення надійності та стійкості в інтересах підтримки і забезпечення системи АЕНФ. Виведення першого супутника проведено в 2006 р., а завершення розгортання у повному обсязі планується закінчити до 2011 р.

Космічне угруповання системи АЕНФ складається з 2 спеціалізованих КА на геостационарних орбітах і одного допоміжного супутника, обладнаних фазованими антенними решітками (ФАР) діапазону надвисоких частот (НВЧ). Планується забезпечити зв'язком 6000 терміналів на швидкостях від 75 біт/с до 8 Мбіт/с. Це дозволить у реальному часі передавати відео-, картографічні дані, інформацію для наведення на цілі та ін. Час реконфігурації системи складає одиниці хвилин. Бортова обробка сигналів забезпечує гнучкий оптимальний розподіл ресурсу між користувачами. Крім збереженої сумісності з протоколами супутникових систем LDR і MDR, передбачається можливість забезпечення більш високих швидкостей передачі даних, що дозволить узгодити АЕНФ з перспективними проектами систем лазерного зв'язку, мобільною бездротовою мережею оперативно-тактичного зв'язку (Joint Tactical Communication System, JTCS), радіомережею Rapidly Deployable Radio Network (RDRN) та ін.

До складу BCC3 DSCS III (США) входять 14 КА. Вона характеризується швидкою адаптацією експлуатаційних режимів для терміналів множинного доступу з CDMA, FDMA і TDMA. DSCS III забезпечує

утворення 6-и незалежних високоякісних дуплексних НВЧ-каналів. Три приймальних і п'ять передавальних антен забезпечують роботу зі змінною за шириною діаграмою спрямованості.

З огляду на NCWO, одним із перспективних проєктів є розроблювана Пентагоном лазерна система зв'язку для обміну даними між супутниками й літаками (Transformational Satellite Communications, TSAT) на основі нового протоколу IPv6. Її пропускна здатність складатиме 10 Гбіт/с із можливістю забезпечення зв'язком одночасно до 1500 одиниць мобільної військової техніки. Для порівняння, у діючій підсистемі аналогічного призначення в рамках проєкту MILSTAR II пропускна здатність складає не більше 2 Мбіт/с, і відсутня можливість обслуговування рухомих об'єктів. Розпочати функціонування TSAT планується до 2016 р. на базі 8 КА. Враховуючи дію атмосфери на якість лазерного зв'язку, взаємодія КА з НС буде здійснюватись по НВЧ-каналі зі швидкістю до 2 Гбіт/с.

Зазначимо, що зростання вимог до можливого трафіку користувальницького сегменту створило умови для ініціювання під егідою офісу MILSATCOM Terminal Programs Office (МТРО, США) програми "Air Force Terminal" з розробки абонентських терміналів. Зокрема, на заміну терміналів із швидкістю обміну даними 2,4 кбіт/с (Command Post Terminal, CPT) планується сімейство вдосконалених терміналів із швидкостями передачі до 8 Мбіт/с для забезпечення оперативного дуплексного зв'язку і мережних послуг за пріоритетом (Family of Advanced Beyond-Line-of-Sight Terminals, FAB-T), а також в інтересах ВПС США – терміналів зі швидкостями до 1,544 Мбіт/с (Secure Mobile Anti-jam Reliable Tactical Terminal, SMART-T). Одночасно МТРО створює нові термінали лазерного зв'язку в рамках Network-системи (Transformational Satellite Communications, TSAT) із пропускною здатністю 1,2 Гбіт/с.

Важливе місце в розвитку NCWO займає система зв'язку із повітряно-супутниковим сегментом (Unmanned Aerial Vehicles and Local Multipoint Distribution Service, UAV-LMDS, США), сутність застосування якого пояснює рис. 1. Система призначена для надання послуг цифрового зв'язку та забезпечує інтеграцію систем управління, зв'язку, розвідки і РЕБ в єдиний комплекс.

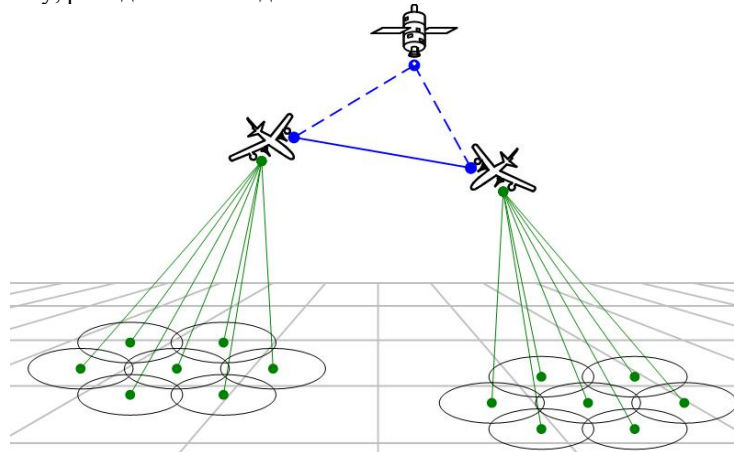


Рис.1. Сутність застосування повітряно-супутникового сегменту

Функціонування UAV-LMDS засновано на застосуванні безпілотних повітряних апаратів (БПА), обладнаних ФАР та рупорними антенними решітками. БПА знаходяться на висоті близько 18 км і обслуговують визначені області земної поверхні. Передбачається зв'язок також між БПА. Якщо наземний користувач виходить за межі зони обслуговування конкретного БПА, інформація передається між БПА і далі наземному користувачу. У випадку неможливості зв'язку між сусідніми БПА передбачене використання супутникових ретрансляторів Intelsat, PanAmSat, Milstar.

Подальший розвиток інформаційної підсистеми в рамках NCWO варто очікувати в напрямку практичної реалізації ЦДУ і цифрової обробки на основі методу OFDM та його модифікацій. Підтвердженням цьому є розглянуті далі проєкти військового та подвійного призначення.

Проєкти з застосуванням технології цифрового діаграмоутворення

Технологія ЦДУ нерозривно пов'язана з використанням цифрових антенних решіток (ЦАР), на основі яких реалізується одночасний прийом множини сигналів у широкому просторовому секторі з подальшим виміром параметрів кожного з них. Цифрове підсумовування сигналів при такій просторово-часовій обробці дозволяє нарощувати миттєвий динамічний діапазон систем зв'язку, що є передумовою для реалізації їхньої високої завадозахищеності [4].

Впровадження супутникових ЦАР дозволяє збільшити ефективність використання енергетичного та частотного ресурсу. Використання наземних станційних ЦАР, зокрема, полегшує процедуру входження у зв'язок за рахунок відмови від спрямованого стеження традиційними антенами та дозволяє стійко супроводжувати рухомі об'єкти окремими променями діаграми спрямованості [5].

Серед проєктів з ЦДУ слід назвати вже реалізований проєкт CC3 THURAYA, який фінансується компанією Thuraya Satellite Telecommunication (OAE). До складу космічного сегменту THURAYA входять КА на геостационарній орбіті зі встановленою на борту приймально-передавальною ЦАР L-діапазону.

Антенна решітка утворена зі 128 дипольних елементів і забезпечує одночасне формування до 300 променів. Приймальний та передавальний сегменти ЦАР представлені на рис. 2.

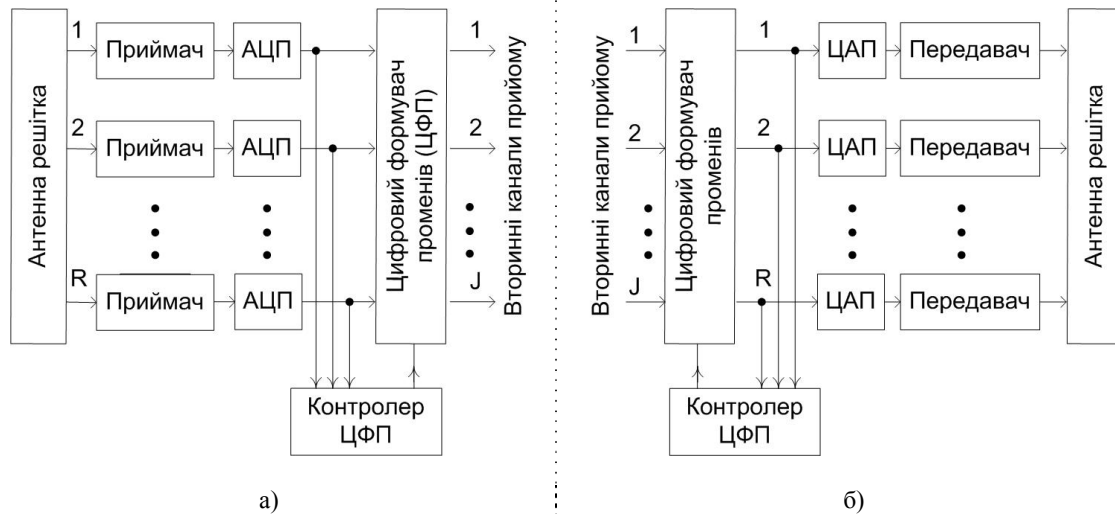


Рис.2. Приймальний (а) та передавальний (б) сегменти ЦАР супутника-ретранслятора Thuraya

За рахунок ЦДУ та перенацілення променів система спроможна адекватно реагувати на зміну інформаційного навантаження. При цьому в бортовому спецобчислювачі реалізуються функції виділення каналів зі змінною смугою пропускання, декодування сигналів у стандартах FDMA та TDMA, їхньої квадратурно-фазової модуляції та демодуляції, що дозволяє забезпечити комутацію понад 25 000 дуплексних каналів зв'язку, розрахованих на обслуговування 1,75 млн. абонентів одночасно.

Особливістю проекту квазістаціонарної ССЗ компанії Mitsubishi Electric (Японія) є здатність забезпечення за рахунок ЦАР кожним із трьох супутників системи до 100 000 каналів двостороннього зв'язку. При цьому формування численних променів діаграми спрямованості дозволяє більш раціонально використовувати ресурс ретрансляторів.

Цифрову адаптивну антенну решітку передбачається встановити й у комплексі супутникового зв'язку "Марс" (РФ) дециметрового діапазону в мобільному варіанті, яка в різних модифікаціях може застосовуватися у космічному та наземному сегментах телекомунікаційних систем, а також у радіолокаторах різного призначення.

На створення антени з цифровим формуванням променів в інтересах ширококутового супутникового зв'язку спрямований також проект SANTANA (Smart Antenna Terminal), розпочатий у липні 2003 року та профінансований Міністерством освіти і досліджень Німеччини. У проекті приймають участь Гамбурзький технічний університет, Інститут комунікації та навігації, Інститут високочастотної та НВЧ техніки, а також підприємства EADS Astrium, IMST, DLR, INF, VIcon та ін. Метою проекту є розробка демонстратора активної ЦАР Ка-діапазону. Проект складається з двох етапів. У ході першого були розроблені, створені та досліджені 16-елементні приймальний та передавальний модулі ЦАР. На другому етапі за рахунок використання сукупності базових модулів створений демонстратор 4-модульної (64-елементної) приймально-передавальної ЦАР, дослідження якої тривають. Подальші дослідження в проекті SANTANA плануються спрямувати на систему інтеграцію, у ході якої передбачається створення та дослідження 16-модульної (256-елементної) приймально-передавальної супутникової ЦАР (рис. 3).

З огляду на використання повітряного сегменту в перспективних системах супутникового зв'язку заслуговує на увагу проект HALO-Network фірми Angel Technologies Corporation (США) із стратосферною базовою станцією мегаполісної радімережі, що розміщується на спеціальному літаку Proteus каліфорнійської фірми Scaled Composites, Згідно проекту ЦАР повинна замінити рухому антену. Літак Proteus знаходиться на висоті 18-20 км і рухається за кільцевою траєкторією з діаметром кола 10-15 км. Він має охоплювати послугами ширококутового цифрового зв'язку сотні тисяч наземних користувачів на площі великого мегаполісу з радіусом 120-150 км.

Важливе значення має впровадження ЦАР у систему супутникової радіонавігації GPS (США), яка набула поширення по всьому світу, а її приймальні індикатори стали продуктами масового попиту. Перспективи розширення комерційного ринку навігаційної апаратури виявилися настільки вражаючі, що США здійснили модифікацію системи під цивільні потреби.

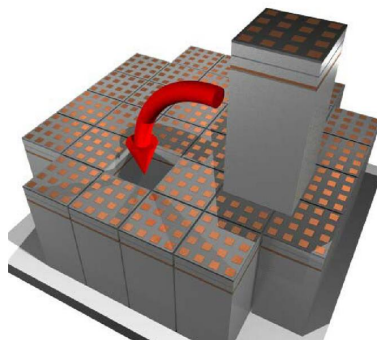


Рис.3. Модульний принцип формування 256-елементної ЦДР

Проекти з застосуванням технології ортогональної частотної дискретної модуляції

Найбільш придатними для ВССЗ вважаються широкосмугові сигнали (ШСС), які забезпечують значні швидкості передачі, підвищену завадостійкість та енергетичну прихованість. Пріоритетним для ВССЗ із ЦДУ є використання ШСС на основі OFDM. Цей метод використовується у стандартах HIPERLAN/2, IEEE 802.11, IEEE 802.16 [6], тощо. Сутність методу OFDM полягає в розподілі всієї смуги частот на множину підканалів фіксованої ширини, які можна розглядати як набір систем із QAM.

До ключових переваг методу OFDM варто віднести поєднання високої швидкості передачі разом із протидією міжканальній інтерференції – явищу, що є наслідком багатопроменевого поширення. При цьому відсутність частотної залежності каналів забезпечується ортогональністю несучих сигналів. Використання OFDM сигналів забезпечує підвищення показників порогових співвідношень сигнал/шум та енергетичну ефективність сигналу на біт інформації у порівнянні з традиційними методами модуляції. Крім того, наявність низькошвидкісних субканалів робить OFDM особливо зручною для реалізації її в ЦАР з точки зору обробки інформації у реальному масштабі часу [5].

Одним із OFDM-проектів в інтересах збройних сил США є MinuteMan, який фінансується Office of Naval Research (ONR) і здійснюється з 2000 р. Electrical Engineering Department and Computer Science Department of UCLA (США). Мета проекту - розробка системи радіозв'язку та обміну даними сил флоту з безпілотними повітряними, надводними і наземними апаратами.

До речі, фірма Nova Engineering пропонує вже комплекти зв'язку для ВМС США, які використовують принцип OFDM та випускаються серійно (HDR LOS Radio Modem). У сухопутних військах НАТО незабаром з'явиться система зв'язку, що використовує військову версію протоколу 802.11g (OFDM), її виробництво освоїла нідерландська фірма MobiComm.

Наведений перелік проектів і програм, що спираються на застосування технологій ЦДУ та OFDM, є далеко не повним і постійно розширюється.

Крім того, при створенні перспективних засобів супутникового зв'язку зростає кількість досліджень, спрямованих на впровадження технологій просторово-часової і просторово-поляризаційної обробки сигналів. В останні роки все більшого поширення набуває застосування модуляції OFDM (N-OFDM) в сукупності з випромінюванням сигналів подвійної поляризації.

Отже, удосконалення сучасних засобів зв'язку шляхом впровадження технологій ЦДУ та OFDM – закономірний історично-діалектичний процес розвитку. Використання зазначених технологій є визначним явищем у розвитку ВССЗ, здатним кардинально вплинути на якість ведення ефективних бойових дій в епоху мережево-центричних та інформаційних війн.

Література:

- [1] Слюсар І.І., Третяченко С.О., Сомов С.В. Перспективи розвитку космічних систем зв'язку в рамках концепції мережево-центричної війни // Зб. наук. пр. – Харків: ХУПС. – 2005. – № 6 (46). – С. 140–147.
- [2] Слюсар В.И. Цифровое формирование луча в системах связи: будущее рождается сегодня // Электроника: Наука, Технология, Бизнес. – 2001. – № 1. – С. 6 – 12.
- [3] Филиминов А.Ю. Алгоритмы модуляций технологий xDSL // Сети ЭВМ и телекоммуникации. – <http://lecture.by.ru/articles/xdsl>.
- [4] Зубарев Ю.Б., Кривошеев М.И., Красносельский И.Н. Цифровое телевизионное вещание. Основы, методы, системы. – М.: НИИР. – 2001. – 568 с.
- [5] Третяченко С.О. Розробка пропозицій щодо удосконалення системи багатоканального зв'язку // Заключний звіт про НДР “Удосконалення, розробка та модернізація систем та комплексів багатоканального зв'язку”. Шифр “Кварк”. – Полтава: ПВІЗ, 2002. – С. 7 – 52. – інв. 208-Н.
- [6] Рошан П., Лизри Д. Основы построения беспроводных локальных сетей стандарта 801.11. – М.: Вильямс, 2004. – 304 с.