

реалізації для передавання мультимедійних даних із забезпеченням високого показника якості отримуваної послуги нині неможливо.

1. ISO/IEC 13818 Information technology / Generic coding of moving pictures and associated video.
2. ETS 300 468: "Digital Video Broadcasting (DVB); Specification for Service Information (SI) in DVB systems".
3. ETR 211: "Digital Video Broadcasting (DVB); Guidelines for the usage of Service Information (SI) in DVB systems".
4. ISO/IEC 13818-3 "Sound".
5. Biryukov, Alex and Khovratovich, Dmitry Related-key Cryptanalysis of the Full AES-192 and AES-256 (англ.) // Advances in Cryptology – ASIACRYPT 2009. – Springer Berlin / Heidelberg, 2009. – Т. 5912. – С. 1-18.
6. Federal Information Processing Standards Publication 197 November 26, 2001 Specification for the ADVANCED ENCRYPTION STANDARD (AES).
7. Столлингс В. Криптография и защита сетей. Принципы и практика. – М.–СПб.–К.: Изд. дом «Вильямс», 2001. – 672 с.

УДК 528.8+621.37+621.39

І.В. Горбатий

Національний університет "Львівська політехніка"

МЕТОД АДАПТИВНОГО ПЕРЕДАВАННЯ ДАНИХ У СИСТЕМАХ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ, СУПУТНИКОВИХ СИСТЕМАХ ЗВ'ЯЗКУ, РАДІОРЕЛЕЙНИХ СИСТЕМАХ ПЕРЕДАВАННЯ ПРЯМОЇ ВИДИМОСТІ

О Горбатий І.В., 2012

Запропоновано метод адаптивного передавання даних у системах дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), супутникових системах зв'язку, радіорелейних системах передавання прямої видимості та інших аналогічних системах із використанням амплітудної модуляції багатьох складових (АМБС). Показано можливість застосування такого методу для підвищення ефективності розглянутих систем.

Ключові слова: супутникові системи зв'язку, зондування Землі.

The method of adaptive data transmission in the remote sensing of Earth (RSE) systems, satellite telecommunication systems, radio-relay line-of-sight transmission systems and others similar systems with the use of amplitude modulation of many components (AMMC) was offered. The possibility of application of such method for the rise of efficiency of the consider systems was shown.

Key words: satellite telecommunication systems, remote sensing of Earth.

Вступ. Найсучасніша у світі система ДЗЗ компанії Digital Globe забезпечує передавання даних ДЗЗ радіоканалом із космічного апарата (КА) WorldView-2 на наземний інформаційний комплекс (НІК) зі швидкістю 800 Мбіт/с [1]. Однак провідні компанії світу працюють у напрямі покращення просторової розрізненості оптичних і радіочастотних засобів ДЗЗ для знімання поверхні Землі, що спонукає до необхідності в майбутньому забезпечити більші швидкості передавання даних ДЗЗ. Сьогодні у таких системах використовують переважно бінарну фазову маніпуляцію (БФМн) і квадратурну фазову маніпуляцію (КФМн) [2]. Актуальним залишається питання підвищення швидкості передавання даних у системах ДЗЗ, а також інших системах передавання даних і, зокрема супутникових системах зв'язку, радіорелейних системах передавання прямої видимості (РРСП ПВ) та інших аналогічних системах. Досягти подальшого підвищення швидкості передавання даних та підвищення ефективності таких систем можливо розробленням

методів, що базуються на застосуванні комбінованих методів модуляції сигналу, та сучасних методів коректуючого кодування.

Мета роботи – розроблення методу адаптивного передавання даних у системах ДЗЗ, супутникових системах зв'язку, РРСП ПВ та інших аналогічних системах із використанням АМБС для підвищення ефективності таких систем.

1. Теоретичні дослідження радіоканалу КА-НІК для передавання даних ДЗЗ із застосуванням різних видів модуляції сигналів. Відомо, що енергетичний запас радіоканалу КА-НІК системи ДЗЗ із космосу найменший при мінімальному допустимому куті піднесення $\delta_{НК, \min}$ приймальної антени НІК і зростає зі збільшенням кута піднесення. Збільшення енергетичного запасу зумовлює можливість застосовувати для передавання даних ефективніші різновиди модуляції сигналу, що забезпечують передавання даних зі швидкістю не 1 біт/с (при застосуванні БФМн) чи 2 біт/с (при застосуванні КФМн) у смузі пропускання каналу шириною 1 Гц, а значно більшою. Це дасть змогу передавати більші обсяги інформації з КА на НІК через радіоканал з обмеженою смугою пропускання. Автор запропонував у системах ДЗЗ із космосу з КА на геостационарних і колових сонячно-синхронних орбітах, супутникових системах зв'язку з КА на геостационарних орбітах, РРСП ПВ, системах зв'язку з літальними апаратами (ЛА), системах зв'язку між ЛА, системах зв'язку між КА та інших аналогічних системах використовувати сучасні різновиди амплітудно-фазової модуляції (АФМ), і, зокрема, квадратуру амплітудну модуляцію (КАМ) [2] та запропоновану АМБС [3, 4]. Найперспективнішими для застосування в системах ДЗЗ і супутникових системах зв'язку є 9-КАМ із трьома, 16-КАМ із чотирма та 25-КАМ із п'ятьма можливими рівнями амплітуди модулюючих сигналів, 7-АМБС із двома, 19-АМБС із трьома та 37-АМБС із чотирма можливими рівнями амплітуди модулюючих сигналів та трьома складовими, 12-АМБС із двома можливими рівнями амплітуди модулюючих сигналів та чотирма складовими. Якщо енергетичний запас достатній, можливо застосовувати різновиди АФМ із більшою кількістю рівнів амплітуди модулюючих сигналів, що забезпечують більшу інформаційну ефективність системи ДЗЗ із космосу. Зауважимо, що у випадку, якщо енергетичний потенціал радіоканалу менший від необхідного для передавання даних із заданою ймовірністю помилки при застосуванні КФМн, доцільно використовувати БФМн.

Дослідження здійснено на прикладі радіоканалу КА-НІК передавання даних ДЗЗ системи ДЗЗ із космосу при роботі з КА Ikonos 2 з параметрами, наведеними в [5], з використанням удосконаленої автором математичної моделі радіоканалів системи ДЗЗ, описаної в [6]. Математичне моделювання здійснене за допомогою персональної електронно-обчислювальної машини (ПЕОМ) та програми MathCAD. У розрахунках прийнято, що приймальна антена НІК має діаметр рефлектора $d_{АНК} = 5,74$ м і при куті піднесення $\delta_{НК} = 7^\circ$ забезпечує відношення потужності сигналу до потужності шуму на вході приймача $h_{вх} = 13,54$ дБ, що відповідає відношенню енергії одного біта інформації до енергетичної спектральної густини білого шуму $\frac{E_{\delta}}{N_0} = 10,53$ дБ, забезпечує значення енергетичного запасу радіоканалу $P_{зан}(t) = 0$ дБ і значення ймовірності бітової помилки $P_{\delta} = 10^{-6}$ у процесі розпізнавання інформації вирішуючим пристроєм з використанням модуляції КФМн та демодулятора з коефіцієнтом пропорційності $a_{дем} = 1$ без коректуючого кодування. Моделювання здійснено при

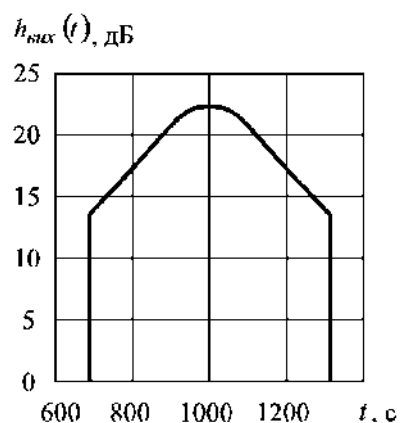


Рис. 1. Залежність відношення потужності сигналу до потужності шуму $h_{вх}(t)$ на виході демодулятора від часу t

коефіцієнт шуму конвертера приймача $N_{ш\text{конв}_{\text{прм}}} = 0,5$ дБ, із використанням передавальної антени КА із квазіоптимальною ДН, синтезованою для цього КА, що забезпечує коефіцієнт підсилення $G_{A2_{\text{КА}}} = 6,3$ дБ у напрямку на НІК при куті піднесення приймальної антени НІК $\delta_{\text{НК}_{\text{мін}}} = 7^\circ$ ($G_{A2_{\text{КА}}} = 3,4$ дБ при куті піднесення $\delta_{\text{НК}_{\text{мін}}} = 90^\circ$), із застосуванням приймальної антени НІК з коефіцієнтом підсилення $G_{A_{\text{НК}}} = 52$ дБ в напрямку на КА, ослабленні в атмосфері з властивостями міжнародної стандартної атмосфери лише за рахунок кисню атмосфери й парів води атмосфери.

Для такого радіоканалу обчислено відношення потужності сигналу до потужності шуму $h_{\text{вих}}(t)$ (дБ) на виході демодулятора (на вході вирішуючого пристрою) залежно від часу t для випадку, коли КА розташований у зеніті НІК у момент часу $t = 1000$ с. Така залежність зображена на рис. 1.

Оскільки відношення потужності сигналу до потужності шуму $h_{\text{вих}}(t)$ на виході демодулятора протягом тривалості сеансу зв'язку перевищує відношення потужності сигналу до потужності шуму $h_{\text{вих}}|_{P_{\delta_3}}$ на виході демодулятора, що забезпечує допустиме задане значення ймовірності бітової помилки $P_{\delta_3} = 10^{-6}$ (при цьому $h_{\text{вих}}(t) = h_{\text{вих}}|_{P_{\delta_3}}$ для моментів часу, де кут піднесення приймальної антени НІК $\delta_{\text{НК}_{\text{мін}}} = 7^\circ$), то для підвищення швидкості передавання даних через такий канал доцільно застосувати наведений нижче запропонований автором метод.

2. Метод адаптивного передавання даних у системах ДЗЗ, супутникових системах зв'язку, РРСП ПВ та інших аналогічних системах із використанням АМБС. Метод адаптивного передавання даних у системах ДЗЗ, супутникових системах зв'язку, РРСП ПВ та інших аналогічних системах із використанням АМБС полягає в адаптивному виборі різновиду модуляції та коректуючого коду, які за певного відношення потужності сигналу до потужності завади в радіоканалі забезпечують найвищу можливу швидкість передавання даних та ефективність системи, а також ймовірність бітової помилки P_{δ_0} , що не перевищує заданої P_{δ_3} для нормальної роботи системи. Для встановлення з'єднання в лінії передавання даних використовують згорткове кодування зі ступенем кодування 1/3 та модуляцію БФМн. У випадку, коли ймовірність бітової помилки декодування P_{δ_0} значно менша від допустимого рівня P_{δ_3} , здійснюють передавання даних із більшою швидкістю v_{δ} , використавши один із різновидів модуляції КФМн, 6(7)-АМБС, 8-ФМн, 16-КАМ, 18(19)-АМБС, 32-КАМ, 36(37)-АМБС, 64-КАМ та згорткового кодування зі ступенем кодування 1/2, 2/3 чи 3/4. У разі перевищення допустимого рівня ймовірності бітової помилки декодування P_{δ_0} для передавання даних застосовують модуляцію з вищою завадостійкістю та коректуючий код із більшою надлишковістю. Управління режимами кодера, модулятора, демодулятора й декодера здійснюють за результатами визначення ймовірності бітової помилки під час приймання даних, при цьому зміну режимів кодера й модулятора здійснюють через лінію управління наземний комплекс – космічний апарат (НК-КА) системи ДЗЗ (лінію передавання даних у зворотному напрямку супутникової системи зв'язку або РРСП ПВ). Для здійснення модуляції й демодуляції в усіх випадках застосовують модулятор та демодулятор АМБС, для кодування – згортковий кодер, для декодування – згортковий декодер із прийняттям м'якого рішення на основі алгоритму Вітербі.

Якщо в моменти часу, коли відношення потужності сигналу до потужності шуму $h_{\text{вих}}(t)$ на виході демодулятора починає перевищувати допустиме задане значення для ефективнішого різновиду модуляції, адаптивно переходить на застосування такої ефективнішої модуляції, то можливо підвищити середню швидкість передавання даних у радіоканалі й, відповідно, кількість

даних, які можна передати каналом. Кількість переданих даних (байт) протягом тривалості сеансу зв'язку обчислено за запропонованим автором співвідношенням:

$$I_{\partial} = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^{n_t} v_{\partial_i} t_i = \frac{1}{8} \int_{t_{n3}}^{t_{k3}} v_{\partial}(t) dt, \quad (1)$$

де n_t – кількість проміжків часу, протягом яких застосовують один із різновидів модуляції сигналу; v_{∂_i} – швидкість передавання даних із застосуванням певного різновиду модуляції, біт/с; t_i – час передавання даних при застосуванні певного різновиду модуляції, с; t_{n3} і t_{k3} – моменти часу початку й кінця сеансу зв'язку між КА й НІК відповідно, с; $v_{\partial}(t)$ – швидкість передавання даних через радіоканал, залежна від часу t , біт/с.

При цьому повинна виконуватись рівність

$$\sum_{i=1}^{n_t} t_i = t_{k3} - t_{n3} = t_{3\partial}, \quad (2)$$

де $t_{3\partial}$ – тривалість сеансу зв'язку, с.

Максимально можливе значення швидкості передавання даних через канал зв'язку $v_{\partial_{\max}}$ (пропускну здатність каналу зв'язку C_K) з нерівномірною АЧХ обчислимо за допомогою виразу [7]:

$$v_{\partial_{\max}} = C_K = \int_{f_n}^{f_v} \log_2(1 + h_{\text{eux}}(t)) df, \quad (3)$$

де f_n і f_v – нижня й верхня граничні частоти смуги пропускання приймача $\Delta F_{\text{нрм}} = f_v - f_n$ відповідно, Гц.

Для досліджуваного каналу передавання даних ДЗЗ системи ДЗЗ із космосу із застосуванням лише КФМн $I_{\partial} = 24,371$ Гбайт. У випадку використання, крім КФМн, широко уживаних 8-ФМн та 16-КАМ, одержимо $I_{\partial} = 34,875$ Гбайт або в 1,431 раза більше порівняно із застосуванням лише КФМн. Якщо використовувати КФМн, 7-АМБС та 19-АМБС, можливо передати $I_{\partial} = 37,851$ Гбайт або в 1,553 раза більше порівняно із застосуванням лише КФМн. Використовуючи КФМн, 7-АМБС, 8-ФМн, 16-КАМ та 19-АМБС, можливо передати $I_{\partial} = 38,440$ Гбайт або в 1,577 раза більше порівняно із застосуванням лише КФМн. Якщо застосувати КФМн, 7-АМБС, 16-КАМ та 19-АМБС, а замість 8-ФМн використати ефективнішу 9-КАМ, кількість переданих даних зростає до величини $I_{\partial} = 39,165$ Гбайт, що в 1,607 раза більше порівняно із застосуванням лише КФМн.

Оскільки інформаційну ефективність системи обчислюють як відношення швидкості передавання даних каналом зв'язку v_{∂} до пропускної здатності каналу зв'язку C_K , то при застосуванні запропонованого методу зростає кількість переданих даних у 1,6 раза та середня швидкість передавання даних v_{∂} у 1,6 раза, а значить, і середня інформаційна ефективність системи в 1,6 раза.

Граничне значення (байт) кількості переданих даних через радіоканал можна обчислити з такого запропонованого автором співвідношення:

$$I_{\partial_{\max}} = \frac{1}{8} \int_{t_{n3}}^{t_{k3}} \left(\int_{f_n}^{f_v} \log_2(1 + h_{\text{eux}}(t)) df \right) dt. \quad (4)$$

У разі застосування смугопропускального фільтра підсилювача ПЧ із рівномірною АЧХ у смузі пропускання цей вираз спрощується:

$$I_{\partial_{\max}} = \frac{\Delta F_{\text{нрм}}}{8} \int_{t_{n3}}^{t_{k3}} \log_2(1 + h_{\text{eux}}(t)) dt. \quad (5)$$

Для такого випадку одержано $I_{\text{д, макс}} = 83,300$ Гбайт, що в 3,418 рази більше порівняно із застосуванням лише КФМн. Наблизитись до такого значення можливо лише при застосуванні складних методів модуляції й коректуючого кодування за великих значень імовірності бітрової помилки.

Залежності швидкості передавання даних через досліджуваний радіоканал КА-НІК при використанні КФМн, 7-АМБС, 9-КАМ, 16-КАМ, 19-АМБС та максимально можливого значення такої швидкості від часу t зображено на рис. 2.

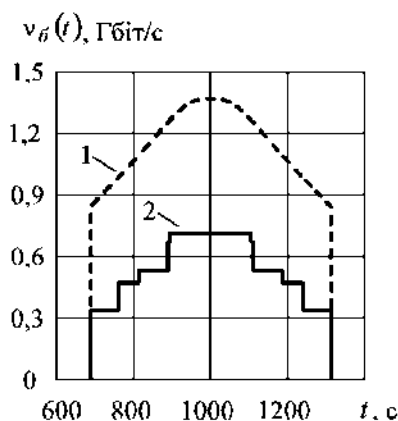


Рис. 2. Залежність швидкості передавання даних через радіоканал КА-НІК від часу t :
1 – максимально можливе значення; 2 – при використанні КФМн, 7-АМБС, 9-КАМ, 16-КАМ та 19-АМБС

Отже, запропонований автором метод адаптивного передавання даних у системах ДЗЗ, супутникових системах зв'язку, РРСП ПВ та інших аналогічних системах із використанням АМБС дає змогу збільшити середню швидкість передавання даних та кількість даних, що можливо передати протягом тривалості сеансу зв'язку через телекомунікаційний канал, за рахунок використання ефективніших різновидів модуляції сигналу та коректуючих кодів із меншою надлишковістю, що забезпечує підвищення ефективності таких систем у 1,6 рази за заданих вище параметрів системи ДЗЗ.

Висновки. Запропоновано метод адаптивного передавання даних у системах ДЗЗ, супутникових системах зв'язку, РРСП ПВ та інших аналогічних системах із використанням АМБС. Результати математичного моделювання показують, що, застосовуючи наведений метод, можливо збільшити середню швидкість передавання даних у 1,6 рази, що дає змогу збільшити середню інформаційну ефективність у 1,6 рази.

1. Веб-сайт компанії Digital Globe [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.digitalglobe.com/downloads/spacecraft/WorldView2-DS-WV2.pdf>. 2. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение : [пер. с англ.] / Б. Скляр. – 2-е изд., испр. – М. : Издательский дом “Вильямс”, 2004. – 1104 с. : ил. 3. Пат. № 91942 Україна, МПК (2009) H04L27/34, H04L27/20, H03D3/00, H04L5/00. Спосіб передавання даних за допомогою інформаційного сигналу, сформованого на основі амплітудної модуляції багатьох складових / І.В. Горбатий. – № a200905785 ; заявл. 5.06.2009 ; опубл. 10.09.2010, Бюл. № 17. – 8 с. 4. Пат. № 91950 Україна, МПК (2009) H04L27/34, H04L27/20, H03D3/00, H04L5/00. Пристрій для передавання даних за допомогою інформаційного сигналу, сформованого на основі амплітудної модуляції багатьох складових / І.В. Горбатий – № a200909567 ; заявл. 18.09.2009 ; опубл. 10.09.2010, Бюл. № 17. – 12 с. 5. Горбатий В. Визначення оптимального діаметра антени приймальної станції для приймання даних із супутників ДЗЗ / В. Горбатий, І.В. Горбатий // Вісник Нац. ун-ту “Львівська політехніка” “Радіоелектроніка та телекомунікації”. – Львів : 2008. – № 618. – С. 192–196. 6. Горбатий І.В. Розробка математичної моделі радіоканалу космічний апарат-приймальна станція та її дослідження на прикладі проекту EgurSat-1 / І.В. Горбатий, В.І. Горбатий // Зб. наук. пр. (Ін-т проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України). – К. : 2008. – Вип. 46. – С. 162-170. 7. Горбатий І.В. Математичні моделі та методи дослідження телекомунікаційних каналів : монографія / І.В. Горбатий. – Львів : СПОЛОМ, 2006. – 156 с.