

Метод розпізнавання сигналів стандартів DVB-S2 та DVB-S2X на основі ефективного декодування поля PLHEADER

Круглик О. С., Семенов В. Ю.

ТОВ "Дельта СПЕ", м. Київ, Україна

E-mail: olehius2008@ukr.net

Кількість радіоелектронних пристроїв постійно збільшується. Це призводить до жорстких вимог щодо захищеності від шумів та чутливості нових пристроїв зв'язку. Нині існує широкий спектр методів, які використовуються для реалізації пристроїв зв'язку з високим рівнем завадостійкості на основі алгоритмів ефективної демодуляції та декодування. Однією з основних частин процесу прийому цифрового сигналу є визначення того, який саме сигнал поступає на вхід приймача. Цей процес зводиться до сканування частот і відповідно до детектування параметрів сигналів та є важливою складовою систем цифрового радіозв'язку. Детектування сигналу забезпечує подальшу правильну обробку та інтерпретацію прийнятої інформації. В статті розглянуті сигнали, які передаються згідно стандарту DVB-S2 і його розширеної ревізії DVB-S2X. Обидві версії стандарту мають майже однакову структуру на фізичному рівні. Подібність сигналів фізичного рівня призводить, наприклад, до того, що при невірному налаштуванні частоти, приймачем DVB-S2 може прийматися сигнал стандарту DVB-S2X. В такому випадку неможливо забезпечити правильну обробку переданої інформації. Розробка ефективного методу виявлення ревізії та декодування службової інформації фізичного рівня DVB-S2/S2X стандарту вирішує дану проблему і розширює можливості проектування нової цифрової електроніки та систем зв'язку з високою стійкістю до шумів. В даній роботі представлено детектор, який дозволяє визначити до якої ревізії належить переданий сигнал та визначити параметри фрейму. Детектор складається із систем кадрової синхронізації, демодулятора та декодера поля PLSCODE. Запропоновано формули розрахунку біт поля PLSCODE і декодування службової інформації відповідно для стандартів ширококутового оповіщення DVB-S2 та DVB-S2X. Розроблено програмну модель описаного методу. Виконано експериментальні розрахунки ROC кривої та ймовірності пропуску від співвідношення сигнал/шум. Отримані результати моделювання показують ефективність запропонованого методу детектування навіть при негативних співвідношеннях сигнал/шум.

Ключові слова: DVB-S2; DVB-S2X; $\pi/2$ BPSK; сканування сигналу; виявлення сигналу; демодуляція сигналу; PLSCODE декодування; синхронізація кадрів

DOI: [10.20535/RADAP.2021.87.39-45](https://doi.org/10.20535/RADAP.2021.87.39-45)

Вступ

Ширококутове мовлення на основі стандарту DVB-S2 є популярним способом передачі інформації супутниковими каналами зв'язку [1–4]. Розширеною та покращеною версією стандарту DVB-S2 є стандарт DVB-S2X, який забезпечує більшу продуктивність та ефективність ширококутових інтегративних супутникових мереж [4, 5]. Розроблено багато різних методів прийому та демодуляції сигналів стандарту DVB-S2 та DVB-S2X [3], однак досі не приділено достатньо уваги методам їх розпізнавання. Зокрема, така задача виникає при скануванні спектра частот каналів з метою виявлення сигналів вказаних стандартів та правильного декодування переданої корисної інформації. Більше того, фізич-

ний рівень стандартів DVB-S2 і DVB-S2X є доволі схожим. Тому їх детектування, за методом знаходження кореляції заголовків (PLHEADER), задачу розрізнення сигналів цих стандартів не вирішує. У той же час, внаслідок невірного розпізнавання версії стандарту може виникнути ситуація коли модем DVB-S2 приймає сигнал стандарту DVB-S2X, однак передана інформація декодується невірно.

З огляду на вищесказане, в даній роботі пропонується спосіб детектування і класифікації версії DVB-S2/S2X стандарту при мінімальних помилках його розпізнавання відносно попередньої версії DVB-S2. Основна суть методу, що пропонується, полягає в декодуванні поля PLSCODE після знаходження і демодуляції поля PLHEADER. Наведено алгоритм, що реалізує запропонований метод.

Експериментальні результати свідчать про високу роздільну здатність запропонованого методу детектування навіть при негативних співвідношеннях сигнал/шум

1 Аналіз існуючих рішень

Існує багато методів детектування DVB-S2 сигналів. Як правило, вони можуть бути застосовані й для детектування сигналів стандарту DVB-S2X [6–10]. Запропоновані методи використовують знаходження відомої унікальної вставки в сигналі. Згідно до рекомендацій DVB-S2 і DVB-S2X, фрейм фізичного рівня складається із поля PLHEADER та поля кодованих даних XFECFRAME (Рис. 1). PLHEADER складається із полів SOF і PLSCODE. Поле SOF складається із 26 символів і є унікальним, тобто не змінює значення під час передавання та служить для сигналізації початку фрейму. PLSCODE має довжину в 64 символи, може змінюватися і несе в собі інформацію про параметри поля XFECFRAME.

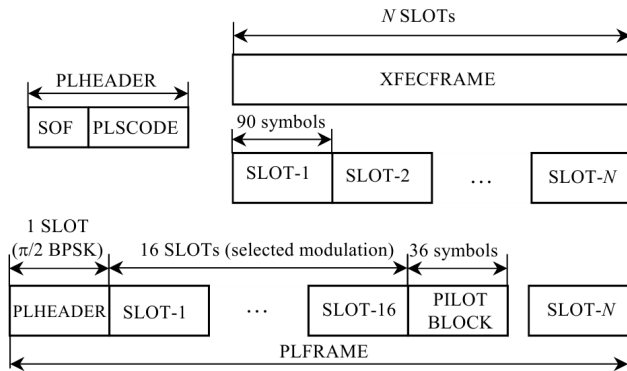


Рис. 1. Структура фрейму фізичного рівня DVB-S2/S2X стандартів

У низці робіт розглядається кадрова синхронізація, що базується на так званому методі інтеграції після виявлення (PDI) [7, 9], а також на методах які виходять із критерію приблизної максимальної правдоподібності (ML) [10]. В основному вони зводяться до знаходження різницевої кореляції з полем SOF чи із повним заголовком PLHEADER, оскільки саме різницева кореляція дає змогу знайти початок фрейму при великих зміщеннях носійної частоти, яке може досягати 20% від символної швидкості. Різницева кореляція згідно до рекомендації ETSI [1] знаходиться за формулою:

$$\Lambda = \left| \sum_{k=1}^{25} r_k r_{k+1}^* C_{SOFk}^* + \sum_{m=1}^{45} R_{2m-1} R_{2m}^* C_{PLSCm}^* \right|, \quad (1)$$

де Λ – коефіцієнт різницевої кореляції, r позначає прийнятий символ SOF, R – отримані символи PLSCODE, C_{SOF} та C_{PLSC} – відповідні диференціальні коефіцієнти, отримані відповідно для SOF і

PLSCODE за наступними виразами:

$$C_{SOFk} = s_k s_{k+1}^* = \pm j, k = 1, 2, \dots, 24, 25, \quad (2)$$

$$C_{PLSCm} = s_{2m-1} s_{2m}^* = \pm j, m = 1, 2, \dots, 44, 45, \quad (3)$$

де s – передані символи поля PLHEADER.

Схема різницевого корелятора показана на Рис. 2.

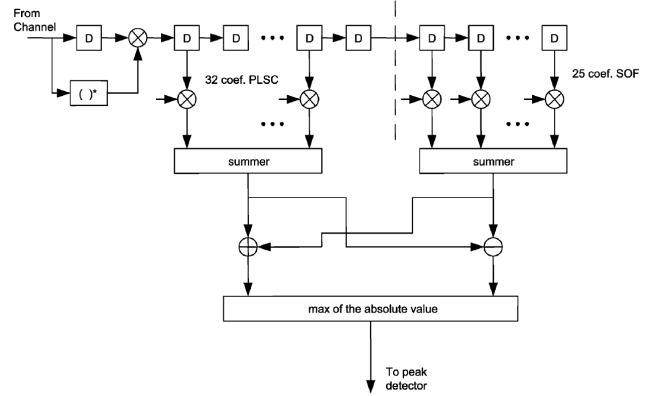


Рис. 2. Різницевий корелятор з полем PLHEADER

За допомогою розглянутих способів можна знайти позицію початку фрейму та визначити, що сигнал відноситься до стандарту DVB-S2 або DVB-S2X. Однак, вказані способи не забезпечують розпізнавання конкретної версії стандарту S2 чи S2X у прийнятому сигналі. В даній роботі пропонується метод детектування та класифікації стандарту, що базується на декодуванні заголовку та використанні специфічних особливостей формування поля PLHEADER.

2 Особливості формування поля PLSCODE

PLS (Physical Layer Signalling) – це поле сигналізації фізичного рівня, яке містить 8 бітів сигналізації (b_0, b_1, \dots, b_7) [4]. Найбільш значущий біт (MSB) b_0 вказує, чи відноситься PLHEADER до звичайного набору MODCOD DVB-S2 ($b_0 = 0$) або до MODCOD, що визначено стандартом DVB-S2X ($b_0 = 1$). Біт b_0 відсутній в рекомендації до стандарту DVB-S2, згідно до якого поле PLS складається лише із 7 біт. Біти сигналізації складаються із поля TYPE (біти b_6, b_7) і поля MODCOD (біти b_1, \dots, b_5). В полі MODCOD міститься інформація про тип модуляції та швидкість кодування фрейму. Поле TYPE несе інформацію про довжину кодованого блоку та наявність або відсутність пілот-символів у фрейму даних. Біти PLS кодуються за схемою, що показана на Рис. 3, де (32,7) code – це генеруюча матриця G (4). На виході схеми кодування формується поле PLSCODE довжиною 64 біти.

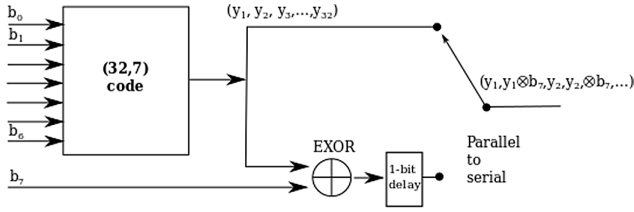


Рис. 3. Схема кодування PLS

$$G = \begin{bmatrix} 10010000101011000010110111011101 \\ 01010101010101010101010101010101 \\ 00110011001100110011001100110011 \\ 00001111000011110000111100001111 \\ 00000000111111110000000011111111 \\ 00000000000000001111111111111111 \\ 11111111111111111111111111111111 \end{bmatrix}. \quad (4)$$

Далі вихідні біти PLSCODE додатково скремблюються наступною двійковою послідовністю:

$$\begin{matrix} 01110001100111011000001111001\dots \\ 0010101001101000010001011011111010. \end{matrix} \quad (5)$$

Поле SOF – це відома послідовність довжиною 26 символів, яка вказує на початок фрейму. Весь PLHEADER (включаючи поле SOF), представлений бітовою послідовністю $(y_1, y_2, \dots, y_{90})$, модулюється в $90 \pi/2BPSK$ символи за правилами:

$$\begin{matrix} I_{2i-1} = Q_{2i-1} = (1/\sqrt{2})(1-2y_{2i-1}), \\ I_{2i} = -Q_{2i} = -(1/\sqrt{2})(1-2y_{2i}), \\ i = 1, 2, \dots, 13, \end{matrix} \quad (6)$$

якщо $b_0 = 0$:

$$\begin{matrix} I_{2i-1} = Q_{2i-1} = (1/\sqrt{2})(1-2y_{2i-1}), \\ I_{2i} = -Q_{2i} = -(1/\sqrt{2})(1-2y_{2i}), \\ i = 14, 15, \dots, 45, \end{matrix} \quad (7)$$

якщо $b_0 = 1$:

$$\begin{matrix} I_{2i-1} = -Q_{2i-1} = -(1/\sqrt{2})(1-2y_{2i-1}), \\ I_{2i} = Q_{2i} = -(1/\sqrt{2})(1-2y_{2i}), \\ i = 14, 15, \dots, 45, \end{matrix} \quad (8)$$

де I – синфазна складова сигналу, Q – квадратурна складова сигналу.

3 Метод детектування DVB-S2/S2X сигналів

Для детектування та класифікації стандартів DVB-S2 та DVB-S2X пропонується метод, який включає в себе знаходження початку фрейму за допомогою обчислення різницевої кореляції [9], демодуляцію PLHEADER [11] і декодування поля PLSCODE, кодування якого описане в другому розділі даної роботи. Функціональна схема запропонованого методу детектування показана на Рис. 4.



Рис. 4. Функціональна схема методу детектування поля PLSCODE

Послідовність поля SOF пропонується декодувати за формулами (9, 10):

$$y_{2i-1} = 0.5(1 - \text{sign}(Q_{2i-1} + I_{2i-1})), \quad i = 1, 2, \dots, 13, \quad (9)$$

$$y_{2i} = 0.5(1 - \text{sign}(Q_{2i} - I_{2i})), \quad i = 1, 2, \dots, 13. \quad (10)$$

Класифікація того, який саме стандарт використовується в переданому сигналі: DVB-S2 або DVB-S2X, зводиться до знаходження біту b_0 . Після класифікації стандарту передавання виконується декодування біт поля PLS. Із формул (7) і (8) можна визначити, що детектування двійкової послідовності PLSCODE (y) розраховується виходячи із двох наступних гіпотез:

1) сигнал передається згідно стандарту DVB-S2:

$$\hat{y}_{2i-1}^{S2} = 0.5(1 - \text{sign}(Q_{2i-1} + I_{2i-1})), \quad i = 14, 15, \dots, 45, \quad (11)$$

$$\hat{y}_{2i}^{S2} = 0.5(1 - \text{sign}(Q_{2i} - I_{2i})), \quad i = 14, 15, \dots, 45; \quad (12)$$

2) сигнал передається згідно стандарту DVB-S2X:

$$\hat{y}_{2i-1}^{S2X} = 0.5(1 - \text{sign}(Q_{2i-1} - I_{2i-1})), \quad (13)$$

$$i = 14, 15, \dots, 45,$$

$$\hat{y}_{2i}^{S2X} = 0.5(1 - \text{sign}(-Q_{2i} - I_{2i})), \quad (14)$$

$$i = 14, 15, \dots, 45,$$

де \hat{y}^{S2} – біти PLSCODE розраховані для стандарту DVB-S2, \hat{y}^{S2X} – біти PLSCODE розраховані для стандарту DVB-S2X. Далі проводиться дескремблювання отриманих послідовностей (10-13) з послідовністю (5).

Із Рис. 3 видно, що на виході схеми кодування непарні біти поля інвертуються при $b_7 = 0$ або дублюються при $b_7 = 1$. Тому вибір правильного варіанту (11, 12) або (13, 14), зводиться до знаходження бітів b_0 та b_7 , які можна розрахувати наступним чином:

$$\begin{cases} b_0 = 1, & L^{S2} > L^{S2X} \\ b_0 = 0, & L^{S2} \leq L^{S2X} \end{cases}, \quad (15)$$

де L^{S2} і L^{S2X} – коефіцієнти похибки класифікації DVB-S2 та DVB-S2X стандартів відповідно, які знаходяться за формулами:

$$L^{S2} = \sum_{i=14}^{45} \hat{y}_{2i-1}^{S2} \oplus \hat{y}_{2i}^{S2} \bmod(16), \quad (16)$$

$$L^{S2X} = \sum_{i=14}^{45} \hat{y}_{2i-1}^{S2X} \oplus \hat{y}_{2i}^{S2X} \bmod(16), \quad (17)$$

Отже, біти вибираються за правилом (18):

$$\begin{cases} y = \hat{y}^{S2X}, & b_0 \neq 0 \\ y = \hat{y}^{S2}, & b_0 = 1. \end{cases} \quad (18)$$

Біт b_7 відповідно знаходиться за формулою (19):

$$\begin{cases} b_7 = 1, & \sum_{i=14}^{45} y_{2i} \oplus y_{2i-1} > 16 \\ b_7 = 0, & \sum_{i=14}^{45} y_{2i} \oplus y_{2i-1} \leq 16. \end{cases} \quad (19)$$

Для завершення декодування послідовності y , а саме знаходження біт b_0, b_1, \dots, b_6 поля PLS, пропонується алгоритм А1, який оснований на властивостях узагальненого коду Ріда-Маллера 1-го порядку [12, 13]. Біт b_6 знаходиться за формулою

$$\begin{cases} b_6 = 1, & L_{b_6} > 16 \\ b_6 = 0, & L_{b_6} \leq 16 \end{cases}, \quad (20)$$

де L_{b_6} обчислюється за формулою:

$$L_{b_6} = \sum_{i=14, 15, \dots, 45} (y_{2i-1} \oplus \sum_{n=2}^6 b_{n-1} g_{n,j}), \quad (21)$$

$$i = 14, 15, \dots, 45, \quad j = 1, 2, \dots, 32,$$

тут $g_{n,j}$ – елементи генеруючої матриці G (4).

В якості критерію прийняття рішення в запропонованому методі використовується значення похибки e_{det} , яка розраховується за формулою (22). Ця похибка може приймати значення від 0 до 1, де значення 0 відповідає максимальній ймовірності того, що отримані дані на виході детектора співпадають з переданими:

$$\begin{cases} e_{det} = (1/L^{S2X} + 1/L_{b_6} + e_{SOF})/3, & b_0 = 1 \\ e_{det} = (1/L^{S2} + 1/L_{b_6} + e_{SOF})/3, & b_0 = 0 \end{cases}, \quad (22)$$

де e_{SOF} – бітова похибка отриманих біт поля SOF.

В якості правила прийняття рішення виконується порівняння похибки (22) із заданим порогом Thr :

$$\begin{cases} e_{det} \leq Thr, & \text{правильне детектування} \\ e_{det} > Thr, & \text{хибне детектування} \end{cases}. \quad (23)$$

Алгоритм А1.

1. На вході використовується послідовність y_{2i-1} , $i = 14, 15, \dots, 45$ (18).
2. $\bar{s}_{\max} = 2y_{2i-1} - 1$, $i = 14, 16, \dots, 44$.
3. Для $k = 1, 2, \dots, 5$ виконуються пункти 4-6 алгоритму А1.
4. Непарні значення \bar{s}_{\max} присвоюються ваговому вектору \bar{w}_1 , парні значення \bar{s}_{\max} присвоюються ваговому вектору \bar{w}_2 .
5. Рахується $\bar{s}_1 = \bar{w}_1 + \bar{w}_2$ та $\bar{s}_2 = \bar{w}_1 - \bar{w}_2$.
6. Якщо $\sum_{n=1}^{32/2^k} |\bar{s}_{1n}| < \sum_{n=1}^{32/2^k} |\bar{s}_{2n}|$, то $\bar{s}_{\max} = \bar{s}_2$ і $b_k = 1$, інакше $\bar{s}_{\max} = \bar{s}_1$ і $b_k = 0$.
7. Розраховується b_6 (20).
8. Знаходиться похибка e_{det} (22).
9. e_{det} порівнюється з заданим порогом Thr (23) і виконується прийняття рішення.

4 Результати експериментальних досліджень

В програмному середовищі моделювання Matlab розроблено код алгоритму детектування. На основі моделювання розраховано криву робочих характеристик приймача, receiver operating characteristic curve (ROC) [14, 15], та залежність ймовірності пропуску, miss detection probability (MDP), в залежності від співвідношення сигнал/шум (SNR). Крива ROC – це графік, що показує ефективність моделі класифікації при всіх можливих порогах класифікації. Ця крива будується на основі розрахунку двох параметрів: правильної позитивної класифікації, true positive rate (TPR), і помилкової позитивної класифікації, false positive rate (FPR). Одним із важливих показників класифікації є розрахунок площі під кривою ROC, area under the curve (AUC). AUC – це глобальний показник здатності детектора розрізняти, наскільки правильно виконується класифікація чи навпаки. При $AUC = 0.5$ (найгірший

випадок) – класифікатор відповідає детектору з випадковим прийняттям рішення, тоді як при $AUC = 1$ класифікатор має досконалу роздільну здатність. Тестування проводилось за наступним алгоритмом:

1. Формуються фрейми фізичного рівня із всіма можливими варіантами PLHEADER, згідно до рекомендації DVB-S2/S2X.
2. До змодельованих даних N разів додається випадковий адитивний білий гаусів шум (АБГШ) для отримання статистичних розрахунків необхідних для побудови ROC і MDP характеристик.
3. Дані з шумом, при фіксованому значенні SNR, подаються на вхід алгоритму детектування (Рис. 4), із всіма можливими значеннями порогу Thr , для розрахунку параметрів, які необхідні при побудові ROC кривої.
4. Вибирається поріг Thr при заданій ймовірності пропуску, яка була розрахована при побудові ROC кривої (див. пункт 3), за класичним критерієм Неймана-Пірсона.
5. При заданому порозі Thr (див. пункт 4), до змодельованих даних додається АБГШ з різними значеннями SNR, далі дані подаються на вхід алгоритму детектування (Рис. 4) і розраховується ймовірність пропуску, MDP.

Згідно до рекомендації DVB-S2, найменший SNR, при якому можливе достовірне приймання даних, рівний -2.35 dB. Для отримання більш переконливих результатів, при побудові ROC кривої в тесті використовувалось значення SNR $= -3$ dB (Рис. 5).

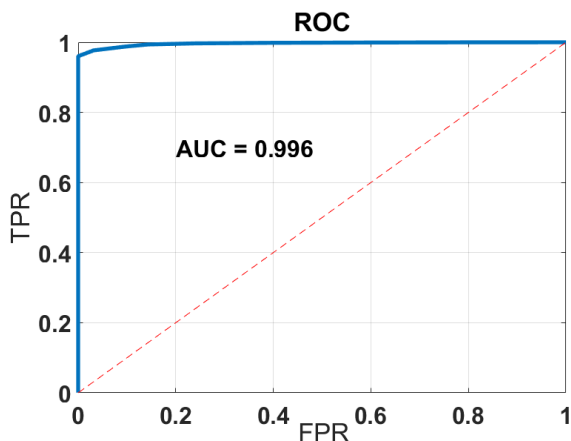


Рис. 5. ROC крива для запропонованого методу детектування при SNR $= -3$ dB

На основі даних ROC кривої (Рис. 5) було розраховано значення $AUC = 0.996$. Отримане значення AUC відповідає високій роздільній спроможності запропонованого методу детектування.

За класичним критерієм Неймана-Пірсона, при фіксованому значенні ймовірності хибної тривоги

false alarm rate (FAR) 1×10^{-2} , вибрано поріг $Thr = 0.38$ (23). Розраховано характеристику MDP при $Thr = 0.38$, графік якої показаний на Рис. 6. Із побудованої залежності MDP від SNR (Рис. 6) видно, що запропонований метод детектування забезпечує ймовірність пропуску 0.156 при SNR $= -6$ dB та ймовірність пропуску меншу за 2.3×10^{-5} при SNR > -2 dB.

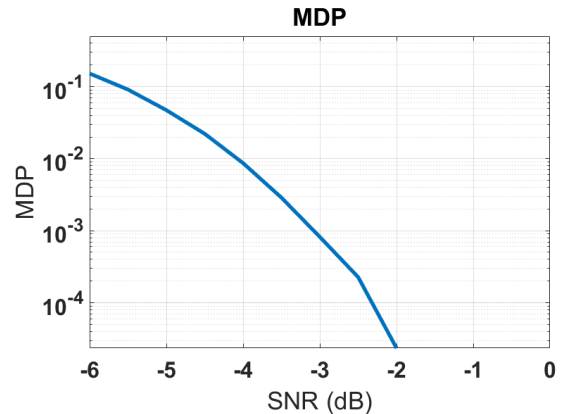


Рис. 6. Залежність MDP від SNR для запропонованого методу детектування

Висновки

Запропоновано метод детектування та класифікації DVB-S2 і DVB-S2X сигналів, ключовими елементами в якому є корелятор, демодулятор та детектор, який визначає ревізію стандарту DVB-S2/S2X та декодує службову інформацію PLSCODE. Детектор дає змогу визначити чи передається сигнал згідно стандарту DVB-S2, або стандарту DVB-S2X. Важливими складовими даного методу детектування є спосіб розрахунку бітів PLHEADER (заголовків) та декодування бітової послідовності поля PLSCODE. Приймання рішення, щодо результатів детектування визначається похибкою, яка розраховується при декодуванні.

Розроблено експериментальну модель даного алгоритму в програмному середовищі Matlab. В моделі розраховано залежність MDP (ймовірності пропуску) від SNR (відношення сигнал-шум), згідно до якої ймовірність пропуску приймає значення 0.156 при SNR $= -6$ dB, а при SNR $= -2$ dB ймовірність пропуску відповідає значенню 2.3×10^{-5} і різко зменшується при збільшенні співвідношення сигнал/шум. Крім того, в якості показника роздільної здатності запропонованого способу, побудовано ROC криву при SNR $= -3$ dB, на основі якої визначено показник $AUC = 0.996$. Отримані експериментальні характеристики MDP, ROC і AUC показують високу ефективність представленого способу детектування, а отже і декодування поля PLHEADER, для сигналів, які передаються за стандартами DVB-S2 і DVB-S2X, навіть при негативних значеннях SNR.

References

- [1] Digital Video Broadcasting (DVB). User guidelines for the second generation system for Broadcasting, Interactive Services, News Gathering and other broadband satellite applications (DVB-S2). (2005). *European Telecommunications Standards Institute (ETSI)*, Vol. 102 376 V1.1.1, pp. 73-85.
- [2] Samir Jasim Mohammed, Zaid Saadi Hussein. (2020). Design and implementation DVB-S & DVB-S2 systems. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, Vol. 20, No. 3, pp. 1444-1452. DOI:10.11591/ijeecs.v20.i3.pp1444-1452.
- [3] Lábský B. and Kratochvíl T. (2010). DVB-S/S2 satellite television broadcasting measurement and comparison. *20th International Conference Radioelektronika 2010*, pp. 1-4, doi: 10.1109/RADIOELEK.2010.5478588.
- [4] Digital Video Broadcasting (DVB). Second generation framing structure, channel coding and modulation systems for Broadcasting, Interactive Services, News Gathering and other broadband satellite applications. Part II: S2-Extensions (DVB-S2X) – (Optional). (2014). *DVB Document A83-2 March 2014*.
- [5] Bachir A. B. Ali, Zhour M. and Ahmed M. (2019). Modeling and Design of a DVB-S2X system. *2019 5th International Conference on Optimization and Applications (ICOA)*, pp. 1-5. doi:10.1109/ICOA.2019.8727700.
- [6] Lee Y.-S., Kook J. (2019). Integrated DVB-X2 Receiver Architecture with Common Acceleration Engine. *Applied Sciences*, Vol. 9, Iss. 19, 3983. doi:10.3390/app9193983.
- [7] Gómez-Casco D., López-Salcedo J. A. and Seco-Granados G. (2019). Optimal Post-Detection Integration Techniques for the Reacquisition of Weak GNSS Signals. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, Vol. 56, No. 3, pp. 2302-2311. doi: 10.1109/TAES.2019.2948449.
- [8] Miyashiro H., Boutillon E., Roland C., Vilca J. and Díaz D. (2016). Improved Multiplierless Architecture for Header Detection in DVB-S2 Standard. *IEEE International Workshop on Signal Processing Systems (SiPS)*, pp. 248-253. doi: 10.1109/SiPS.2016.51.
- [9] Kruhlyk O. S., Pavlenko M. P. (2015). Frame-based synchronization adaptive method for systems based on DVB-S2 standard on FPGA. *Visnyk NTUU KPI Seriya - Radiotekhnika Radioaparato buduvannia*, Vol. 62, pp. 77-86. doi: 10.20535/RADAP.2015.62.77-86.
- [10] Lee D.-U., Kim P., and Sung W. (2009). Robust Frame Synchronization for Low Signal-to-Noise Ratio Channels Using Energy-Related Differential Correlation. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, Vol. 2009, Article number: 345989. doi:10.1155/2009/345989.
- [11] Kruhlyk O. S., Kaliuzhnyi O. Ya., Semenov V. Yu. (2019). Efficient QPSK signal demodulation in channels with unfavorable conditions of radio reception. *Visnyk NTUU KPI Seriya - Radiotekhnika Radioaparato buduvannia*, Vol. 78, pp. 13-18. DOI: 10.20535/RADAP.2019.78.13-18.
- [12] Reed I. (1954). A class of multiple-error-correcting codes and the decoding scheme. *Transactions of the IRE Professional Group on Information Theory*, Vol. 4, No. 4, pp. 38-49. doi:10.1109/TIT.1954.1057465.
- [13] Abbe E., Shpilka A. and Ye M. (2020). Reed-Muller codes: Theory and Algorithms. *Cornell University*.
- [14] Hanley J. A. and McNeil B. J. (1982). The meaning and use of the area under a receiver operating characteristic (ROC) curve. *Radiology*, Vol. 143, No. 1, pp. 29-36. doi:10.1148/radiology.143.1.7063747.
- [15] Khalid S. S. and Abrar S. (2013). Area under the ROC Curve of Enhanced Energy Detector. *2013 11th International Conference on Frontiers of Information Technology*, pp. 131-135. doi:10.1109/FIT.2013.31.

Метод распознавания сигналов стандартов DVB-S2 и DVB-S2X на основе эффективного декодирования поля PLHEADER

Круглик О. С., Семенов В. Ю.

Количество радиоэлектронных устройств постоянно увеличивается. Это приводит к жестким требованиям для новых устройств связи по защите от шумов и повышению чувствительности. В настоящее время существует широкий спектр методов, которые используются для реализации устройств связи с высоким уровнем помехоустойчивости на основе алгоритмов эффективной демодуляции и декодирования. Одной из основных частей процесса приема цифрового сигнала является определение того, какой сигнал поступает на вход приемника. Этот процесс сводится к сканированию частот и соответственно к детектированию параметров сигналов и является важной составляющей систем цифровой радиосвязи. Детектирование сигнала обеспечивает дальнейшую правильную обработку и интерпретацию принятой информации. В статье рассмотрены сигналы, которые передаются согласно стандарту DVB-S2 и его расширенной ревизии DVB-S2X. Обе версии стандарта имеют почти одинаковую структуру на физическом уровне. Сходство сигналов физического уровня приводит, например, к тому, что при неверной настройке частоты приемника DVB-S2, может приниматься сигнал стандарта DVB-S2X. В таком случае невозможно обеспечить правильную обработку передаваемой информации. Разработка эффективного метода обнаружения ревизии и декодирования служебной информации физического уровня стандарта DVB-S2/S2X решает данную проблему и расширяет возможности проектирования новой цифровой электроники и систем связи с высокой устойчивостью к шумам. В данной работе представлен детектор, позволяющий определить, к какой ревизии принадлежит переданный сигнал и определить параметры фрейма. Детектор состоит из систем кадровой синхронизации, демодулятора и декодера поля PLSCODE. Предложены формулы расчета бит поля PLSCODE и декодирование служебной информации соответственно для стандартов широкополосного оповещения DVB-S2 и DVB-S2X. Разработана программная модель описанного метода. Выполнены экспериментальные расчеты ROC кривой и вероятности пропуска от соотношения сигнал/шум. Полученные результаты моделирования показывают эффективность предлагаемого метода детектирования даже при отрицательных соотношениях сигнал/шум.

Ключевые слова: DVB-S2; DVB-S2X; $\pi/2$ BPSK; сканирование сигнала; обнаружение сигнала; демодуляция сигнала; PLSCODE декодирование; кадровая синхронизация

Recognition Method of Signals of DVB-S2 and DVB-S2X Standards on the Basis of Effective PLHEADER Field Decoding

Kruhlyk O. S., Semenov V. Yu.

The number of electronic devices is constantly increasing. This results in strict requirements for noise protection and sensitivity of new communication devices. Currently, there is a wide range of methods used to implement communication devices with a high level of noise protection based on algorithms for efficient demodulation and decoding. One of the main parts of the process of receiving a digital signal is to determine which signal is coming to the input of the receiver. This process is reduced to scanning frequencies and detecting signal parameters and is an important component of digital radio communication systems. Signal detection provides further correct processing and interpretation of the received information. The article considers the signals transmitted according to the DVB-S2 standard and its extended DVB-S2X revision. Both versions of the standard have almost the same structure at the physical layer. The similarity of the physical layer signals leads, for example, to the fact that if the frequency setting is incorrect, the DVB-S2 receiver can

receive a signal of the DVB-S2X standard. In this case, it is not possible to ensure proper processing of the transmitted information. The development of an effective method for detecting the revision and decoding of service information of the physical layer of the DVB-S2/S2X standard solves this problem and expands the possibilities of designing new digital electronics and communication systems with high noise resistance. This paper presents a detector that allows you to determine to which revision the transmitted signal belongs and to determine the parameters of the frame. The detector consists of frame synchronization system, the demodulator and the PLSCODE field decoder. The formulas for calculating the bits of the PLSCODE field and decoding the service information for the DVB-S2 and DVB-S2X broadband notification standards, respectively, are proposed. The software model of the described method is developed. Experimental calculations of the ROC curve and the miss detection probability of the signal-to-noise ratio were performed. The obtained simulation results show the effectiveness of the proposed detection method even at negative signal-to-noise ratios.

Keywords: DVB-S2; DVB-S2X; $\pi/2$ BPSK; signal scanning; signal detection; signal demodulation; PLSCODE decoding; frame synchronization