

Винахід відноситься до техніки електрозв'язку і може бути використаний в модемних лініях зв'язку та інших телекомунікаційних системах, які застосовують імпульсний метод кодування інформації.

Відомий спосіб М-арної амплітудно-імпульсної модуляції сигналів (M-ary Pulse Amplitude Modulation, M-PAM) [1], який полягає в тому, що інформаційні вибірки перетворюють в символи М-арного алфавіту, кожному з М можливих значень яких заздалегідь присвоюють один з дозволених рівнів амплітуди імпульсного сигналу, далі по отриманій у такий спосіб сукупності т-бітових символів формують на передачу послідовність імпульсних сигналів відповідних амплітуд, в приймачі виконують декодування інформаційних символів шляхом співставлення амплітуди прийнятих сигналів з множиною її дозволених рівнів.

Спосіб М-арної амплітудно-імпульсної модуляції дозволяє здійснювати багаторівневу передачу сигналів і тим самим підняти перепускную здатність каналів зв'язку в межах їх смуги пропускання.

Недоліком такого способу є те, що можливості суттєвого підвищення перепускної здатності каналів зв'язку в ньому обмежені через невикористання комплексної (біквадратурної) форми запису сигналів, а також необхідністю корегування довжини імпульсів та періоду їх слідування у часі, що вимагає розширення смуги пропускання ліній зв'язку. Такий підхід пов'язаний з необхідністю постійного оновлення фізичних каналів зв'язку й відкидає можливість застосування розгалужених на сьогоднішній день вузькосмугових ліній обміну інформацією.

Відомий спосіб часового ущільнення вузькосмугових каналів зв'язку, який полягає в тому, що для передачі інформаційного повідомлення здійснюють амплітудно-фазове кодування імпульсних радіосигналів, при якому дискретним значенням квадратурних складових амплітуди сигналів ставиться у відповідність та чи інша кодова комбінація інформаційних символів, а в приймачі формують квадратурні складові амплітудно-фазомодульованих сигналів, вимірюють квадратурні складові їх амплітуд та за отриманими оцінками декодують прийняте інформаційне повідомлення [2].

Цей спосіб, у порівнянні з М-арною амплітудно-імпульсною модуляцією, дозволяє удвічі збільшити пропускную здатність каналу зв'язку, завдяки квадратурній модуляції сигналів. Однак, суттєве підвищення пропускної здатності зв'язкової магістралі в ньому все ж обмежене необхідністю корегування довжини імпульсів та періоду їх слідування у часі, тобто вимагає традиційного розширення смуги пропускання ліній зв'язку. Такий підхід спирається на оновлення фізичних каналів зв'язку й відкидає можливість подальшого застосування вузькосмугових ліній обміну інформацією.

Найбільш близьким за сутністю до винаходу, що заявляється, є спосіб часового ущільнення вузькосмугових каналів зв'язку [3], який полягає в тому, що для передачі інформаційного повідомлення здійснюють амплітудно-фазове кодування імпульсних радіосигналів однакової частоти, при якому дискретним значенням квадратурних складових амплітуди сигналів ставиться у відповідність та чи інша кодова комбінація інформаційних символів, рознесення імпульсних сигналів багатоімпульсного кодованого повідомлення у часі здійснюють в передавачі з урахуванням їх подальшого надрелеївського розрізнення, огинаючи кожного з імпульсних сигналів формують у відповідності до встановленого закону її зміни, при цьому кожен з імпульсів багатоканального пакету має фіксовану позицію у часі відносно першого з імпульсів пакету, яка має бути відома приймачній стороні, далі здійснюють передачу замодульованих радіосигналів, в приймачі формують квадратурні складові сигналів шляхом аналогового перемноження прийнятої сигнальної суміші та опорного сигналу, після формування квадратурних складових сигналів здійснюють їх аналого-цифрове перетворення, вимірюють квадратурні складові амплітуд кожного з імпульсів багатоімпульсного пакету, за оцінками яких декодують прийняте інформаційне повідомлення.

Спосіб-прототип та наведені в [3] варіанти його конкретної реалізації забезпечують можливість багаторазового підвищення перепускної здатності каналів зв'язку без розширення їх смуги пропускання шляхом використання в якості носія інформації багатоімпульсного пакету, що складається з взаємно перекритих у часі імпульсів.

Недолік способу-прототипу полягає в тому, що при високих частотах дискретизації в межах одного імпульсу може бути отримана значна кількість відліків АЦП, обробка всієї сукупності яких вимагає помітних витрат часу. Вибірковий же метод залучення до виміру лише частки з відліків АЦП, наприклад, шляхом проріджування даних або обмеженням розгляду тільки їх певної кількості призводить до втрат енергії сигналу. Тому виникає необхідність подолання протиріччя: з одного боку доцільно залучати до обробки всі відліки АЦП, а з іншого - необхідно поставити у відповідність темпу надходження сигнальних відліків продуктивність подальших систем обробки даних, наприклад, шляхом проріджування інформаційного потоку.

З урахуванням сказаного, технічне завдання, вирішуване заявленим винаходом, полягає в підвищенні пропускної здатності каналів зв'язку при обмеженій ширині смуги їх пропускання без надмірного зростання щільності інформаційного потоку та енергетичних втрат при його проріджуванні на етапі декодування повідомлень у випадку високих частот дискретизації сигналів.

Сутність винаходу полягає в тому, що після аналогово-цифрового перетворення сигналів виконують їх додаткове стробування в жорстко фіксованих часових інтервалах (стробах) шляхом періодичного підсумовування заданої кількості відліків аналого-цифрового перетворювача (АЦП) та формування з них сумарних квадратурних відліків напруг сигналів, за якими далі здійснюють вимір квадратурних складових амплітуд кожного з імпульсів багатоімпульсного пакету, причому протяжність інтервалів додаткового стробування задають незмінною й меншою за інтервал рознесення у часі сусідніх імпульсів.

Один з варіантів конкретної реалізації заявленого способу відрізняється тим, що в приймачі формують квадратурні складові напруг сигнальної суміші шляхом аналогового перемноження прийнятої сукупності сигналів та опорного сигналу тієї ж частоти, що й несуча прийнятих радіоімпульсів, а додаткове стробування відліків АЦП отриманих у такий спосіб квадратурних складових напруг відеоімпульсів U_s^c , U_s^s здійснюють шляхом їх накопичення за виразом:

$$\tilde{U}_t^c = \sum_{s=1}^N U_s^c, \quad \tilde{U}_t^s = \sum_{s=1}^N U_s^s, \quad (1)$$

де N - кількість накопичуваних у стробі відліків АЦП (парне число),

t - номер інтервалу додаткового стробування відліків АЦП.

Якщо зняти обмеження на співпадання частоти опорного сигналу та несучої прийнятої сигнальної суміші, то отримаємо варіант заявленого способу, який відрізняється тим, що додаткове стробування відліків АЦП здійснюють шляхом їх накопичення за виразом:

$$\begin{aligned} \tilde{U}_t^c &= \sum_{s=1}^N (U_n^c \cdot \cos(\omega \cdot \Delta t \cdot n) + U_n^s \cdot \sin(\omega \cdot \Delta t \cdot n)) \\ \tilde{U}_t^s &= \sum_{s=1}^N (U_n^s \cdot \cos(\omega \cdot \Delta t \cdot n) - U_n^c \cdot \sin(\omega \cdot \Delta t \cdot n)) \end{aligned} \quad (2)$$

де N - кількість накопичуваних у стробі відліків АЦП (парне число),

ω - частота несучої радіоімпульсів,

Δt - період дискретизації АЦП,

t - номер інтервалу додаткового стробування відліків АЦП.

Можливий варіант, коли аналого-цифрове перетворення сигналів здійснюють з періодом дискретизації, кратним непарному числу чвертей періоду центральної для інформаційного пакету частоти, а додаткове стробування відліків АЦП здійснюють шляхом їх накопичення за виразом:

$$\begin{aligned} \tilde{U}_t^c &= \sum_{s=1}^N \left(U_n^c \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2} \cdot n\right) + U_n^s \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2} \cdot n\right) \right) \\ \tilde{U}_t^s &= \sum_{s=1}^N \left(U_n^s \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2} \cdot n\right) - U_n^c \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2} \cdot n\right) \right) \end{aligned} \quad (3)$$

В усіх випадках будемо нехтувати можливими відхиленнями законів зміни огинаючих імпульсів в квадратурних складових.

Реалізація операцій заявленого способу може здійснюватись за умов асинхронного або жорстко синхронізованого з передаючою стороною прийому сигналів. Оскільки для надрелеївського розрізнення сигналів необхідно мати інформацію щодо їх положення у часі, виміру квадратурних складових амплітудно-фазомодульованих сигналів у приймачі передуює вимір положення у часі першого з імпульсів прийнятого пакету, оцінку якого застосовують для визначення квадратурних складових амплітуд сигналів прийнятого інформаційного повідомлення.

Незалежно від обробки радіо- чи відеоімпульсів у випадку додаткового стробування відліків АЦП слід застосовувати оптимальну за методом максимальної правдоподібності оцінку положення у часі першого з імпульсів пакету. Відповідну оцінку z_1 для першого з імпульсів розраховують шляхом перебору з заданим дискретом можливих її значень до досягнення максимуму функції:

$$F_M = \begin{vmatrix} 0 & W_1^* & W_2^* & \dots & W_M^* \\ W_1 & Q_{11} & Q_{12} & \dots & Q_{1M} \\ W_2 & Q_{21} & Q_{22} & \dots & Q_{2M} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ W_M & Q_{M1} & Q_{M2} & \dots & Q_{MM} \end{vmatrix} = \max, \quad (4)$$

$$W_t = \sum_{t=0}^{T-1} (U_t^c + jU_t^s) G_t(z_m), \quad Q_{mm} = Q_{nm} = \sum_{t=0}^{T-1} G_t(z_m) G_t(z_n),$$

$$Q_{mm} = \sum_{t=0}^{T-1} G_t^2(z_m),$$

$$G_t(z_m) = \begin{cases} \sum_{s=t-N-z_m}^{(t+1)N-1} K(s+z_m) & \text{при } 0 \leq s+z_m < s+z_m + \tau, \\ 0, & \text{при } s+z_m < 0, s+z_m + \tau \leq s+z_m, \end{cases}$$

t - поточний номер стробу вимірювальної вибірки, $t=0, \dots, T-1$,

T - кількість стробів у вимірювальній вибірці,

z_m - відомий зсув t -го імпульса в періодах дискретизації АЦП відносно початку першого з стробів, в яких існує сигнальний пакет, $z_m = z_1 + \Delta_m$,

Δ_m - зсув t -го імпульсу відносно першого в пакеті,

$K(s+z_m)$ - нормована до свого максимуму дискретна огинаюча m -го імпульса в s -му з періодів дискретизації, відрахунок яких ведеться відносно початку першого з сигнальних стробів,

τ - тривалість імпульсу в відліках АЦП,

N - довжина інтервалу додаткового стробування (стробу) у відліках АЦП,

U_t^c, U_t^s - t -й з M залучених для обробки відліків косинусної чи синусної

квадратурної складової напруги сигнальної суміші, отриманої після додаткового стробування відліків АЦП за виразами (1) - (3).

Жорстко синхронізований режим реалізації заявленого способу передбачає, що синхронізацію передавального і приймального пристроїв здійснюють таким чином, щоб позиція у часі першого з імпульсів пакета інформаційного повідомлення була відома на приймальній стороні не тільки у відліках АЦП, а й в інтервалах додаткового стробування. При цьому мають бути синхронізовані як тактова послідовність АЦП, так і положення у часі інтервалів додаткового стробування його відліків.

Вимір квадратурних складових амплітуд кожного з M імпульсів багатоімпульсного пакету у приймачі може здійснюватись по M відлікам цифрової напруги сигналів за формулами:

$$\hat{a}_m^{c(s)} = \frac{\det_m^{c(s)}}{\det},$$

де $m=1, 2, \dots, M$,

$$\det = \begin{vmatrix} G_1(z_1) & G_1(z_2) & G_1(z_3) & \dots & G_1(z_M) \\ G_2(z_1) & G_2(z_2) & G_2(z_3) & \dots & G_2(z_M) \\ G_3(z_1) & G_3(z_2) & G_3(z_3) & \dots & G_3(z_M) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ G_M(z_1) & G_M(z_2) & G_M(z_3) & \dots & G_M(z_M) \end{vmatrix},$$

$\det_m^{c(s)}$ - частковий визначник, отриманий з $\det$ заміною m -го стовпчика вектором вільних членів

$$[B^c] = [U_1^c U_2^c U_3^c \dots U_M^c]^T \text{ або } [B^s] = [U_1^s U_2^s U_3^s \dots U_M^s]^T,$$

M - кількість імпульсів в інформаційному повідомленні,

U_t^c, U_t^s - t -й з M залучених для обробки відліків косинусної чи синусної квадратурної складової напруги сигнальної суміші, отриманої після додаткового стробування відліків АЦП,

z_m - відоме місцезнаходження m -го імпульсу у часі в періодах дискретизацій АЦП, $z_m = z_1 + \Delta_m$.

При необхідності оптимальної оцінки квадратурних складових амплітуд сигналів інформаційного повідомлення може здійснюватись оптимальний за методом найменших квадратів вимір квадратурних складових амплітуд кожного з M імпульсів багатоімпульсного пакету у приймачі по $T \geq M$ відлікам цифрових напруг сигнальної суміші за формулою:

$$\hat{a}_m^{c(s)} = \frac{\det_m^{c(s)}}{\det},$$

де $m=1, 2, \dots, M$,

$$\det = \begin{vmatrix} \sum_{t=0}^{T-1} G_t^2(z_1) & \sum_{t=0}^{T-1} G_t(z_1)G_t(z_2) & \dots & \sum_{t=0}^{T-1} G_t(z_1)G_t(z_M) \\ \sum_{t=0}^{T-1} G_t(z_1)G_t(z_2) & \sum_{t=0}^{T-1} G_t^2(z_2) & \dots & \sum_{t=0}^{T-1} G_t(z_2)G_t(z_M) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \sum_{t=0}^{T-1} G_t(z_1)G_t(z_M) & \sum_{t=0}^{T-1} G_t(z_2)G_t(z_M) & \dots & \sum_{t=0}^{T-1} G_t^2(z_M) \end{vmatrix}$$

$\det_m^{c(s)}$ - частковий визначник, отриманий з $\det$ заміною t -го стовпчика вектором вільних членів

$$[B^c] = [W_1^c W_2^c W_3^c \dots W_M^c]^T \text{ або } [B^s] = [W_1^s W_2^s W_3^s \dots W_M^s]^T, \text{ де } \dot{W}_t = \sum_{t=0}^{T-1} (U_t^c + jU_t^s)G_t(z_m), z_m = z_1 + \Delta_m.$$

Точність виміру амплітудних складових багатоімпульсного пакету сигналів визначається відношенням сигнал/шум, рознесенням імпульсних сигналів за часом, законом зміни дискретної функції огинаючої та тривалістю інтервалів додаткового стробування відліків АЦП.

З метою поліпшення ефективності застосування заявленого способу в реальних умовах доцільно враховувати наявність завад на лінії зв'язку. Відповідні варіанти способу, що заявляється, можуть відрізнитись тим, що перед передачею модульованих сигналів здійснюється оцінка завадової обстановки на лінії зв'язку при відсутності сигналу передавача шляхом оцінки квадратурних складових завадових сигналів, після чого відповідно змінюють рівень модульованого сигналу.

Для врахування рівня завад перевідбиття в лінії пропонується варіант заявленого способу, який відрізняється тим, що рівень завад перевідбиття в лінії оцінюють по тестовому сигналу передавача, квадратурні складові амплітуд якого мають фіксовані і відомі на приймальній стороні значення, після оцінки квадратурних складових амплітуд тестового сигналу здійснюють відповідну адаптацію рівня модульованих сигналів інформаційного повідомлення, причому у якості тестового сигналу застосовують багатоімпульсний пакет з мінімум двома імпульсами ненульової амплітуди, а завадова обстановка оцінюється по співвідношенню оцінок амплітуд та відхиленню їх від еталонних значень.

Практична реалізація заявленого способу зводиться до застосування у приймачі інформаційного повідомлення цифрового сигнального процесора чи програмованих матриць логічних елементів, наприклад, від

фірми Xilinx, за допомогою яких мають виконуватись передбачені заявленим способом операції над отриманими в результаті аналого-цифрового перетворення відліками цифрових напруг сигналів. В якості АЦП можуть застосовуватись мікросхеми фірми Analog Devices. На передавальній стороні для формування багатоімпульсної сигнальної суміші доцільно залучити цифровий сигнальний процесор та цифро-аналоговий перетворювач, які теж можуть бути взяті з номенклатури фірми Analog Devices.

Джерела інформації:

1. Скляр Бернارد. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. Изд. 2-е, испр. - М.: Издательский дом "Вильямс", 2003. - С. 119-122.

2. Степаненко О. Некоторые подробности о модемах// Компьютеры + Программы. - №9(83). - 2001. - С. 20-24.

3. Патент України №48659А, МПК[^] H01J 3/00, H04L 5/22. Спосіб часового ущільнення вузькосмугових інформаційних каналів// Слюсар В.І., Уткін Ю.В. - Заявка №2001117511 від 05.11.2001. - Надрук. 15.08.2002. - Бюл. №8. - прототип.