

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОТОКОЛІВ ЦИФРОВОГО КОДУВАННЯ ДЛЯ ПЕРЕДАЧІ ТЕЛЕМЕТРІЇ У ВУЗЬКОПОЛОСНИХ КАНАЛАХ ДАЛЬНЬОГО РАДІОЗВ'ЯЗКУ

Гайдук К.М., магістрант, ut8iaf@ukr.net

Воропаєва В.Я., к.т.н., доц., viktoriya.voropayeva@donntu.edu.ua

Донецький національний технічний університет, Покровськ, Україна

Для зчитування телеметрії з віддалених приладів, наприклад метеодатчиків, систем контролю обладнання, яке може бути встановлено у віддалених регіонах, в тому числі у морі, де доступ до провідних ліній зв'язку ускладнений технічно, стільникові мережі не працюють стабільно, а супутникові системи – потребують вкладень, що не є виправданими, актуальні системи високо стабільного радіозв'язку на УКХ та навіть КХ.

Прилади та програмне забезпечення для подібних задач виробляються декількома компаніями, проте ціна знаходиться в одному сегменті з супутниковими системами зв'язку [1].

В останні роки, широку популярність у середовищі радіоаматорів, мають цифрові протоколи зв'язку з вузькою спектром та завадостійким кодуванням. Це дозволяє використовувати малу потужність (порядку одиниць, чи десятків ват) для проведення радіообміну з дальніми кореспондентами, у тому числі, на міжконтинентальних трасах, використовуючи іоносферне проходження радіохвиль на КХ та віддзеркалення сигналів від місяця на частотах УКХ. Завдяки тому, що смуга сигналу від 16 до 200 гц, а ширина смуги ПЧ аматорських трансиверів – близько 2,4-2,8 кгц, можливий одночасний прийом сигналів багатьох станцій, які, по суті, утворюють широкомовну мережу.

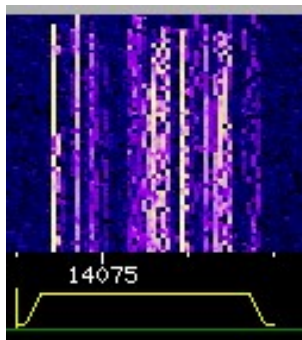


Рисунок 1. Спектр сигналів FT8v2 у смугі 2,4 кГц на частоті 14,074 мГц

Такий принцип передачі даних використовувався NASA для зв'язку з апаратами дослідження далекого космосу “Voyager” [2].

Радіоаматорське програмне забезпечення розповсюджується з відкритим кодом, застосовується за модуляцій SSB, FM. Найбільш розповсюджені протоколи - JT-65 FT-8v2 JT-9

Усі ці протоколи потребують синхронізації часу для точного визначення інтервалів прийому та передачі даних. Основні характеристики [3] наведено у табл.1

Таблиця.1 Основні характеристики протоколів цифрового аматорського зв'язку			
параметр	Мода		
	JT-65	FT-8v2	JT-9
Період,с	60	15	60
час передачі повідомлення,с	46.8	12.64	48,384
кількість інформаційних біт	72	77	72
Код	Ріда-Соломона(63,12)	LDPC(174,91)	
кількість біт після кодування	378	91	206
Модуляція	64-FSK	8-FSK	9-FSK
Синхронізація	одноканальна, 63 тона з максимальним значенням функції автокореляції синхропослідовності	масив Костаса, повторюється послідовність з 7 тонів на початку, в середині та наприкінці повідомлення	Одноканальна, 16 тонів
кількість інформаційних тонів	$378/6 = 63$	$174/3 = 58$	$(206-2)/3 = 68$
загальна кількість тонів	126	$58 + 21 = 79$	84
Смуга одного тону,гц	2.69	6.25	1,7361
смуга сигналу,гц	174.95	50	15.625

Під час випробування цього різновиду зв'язку із вказаними типами кодування, використовуючи потужність близько 25 W, проведені міжконтинентальні сеанси зв'язку в діапазоні 20 м, тому було вирішено дослідити можливість їх використання у приладах телеметрії та автоматики. Адже використання завадостійкого кодування у вузькополосному каналі дозволяє значно знизити потужність радіопередавачів, або дозволити використання багатьма приладами однієї провідної лінії, яка має невелику якість та значну протяжність. Загалом, можливе використання будь-яких каналів зв'язку, що забезпечують потрібну стабільність частоти та ширину каналу. Звичайно, за умови невеликого об'єму даних, що передаються, але гарантувати доставку цих даних.

У зв'язку з цим, було проведено експерименти для виявлення оптимального співвідношення дальності та швидкості передачі. Використані наступні типи протоколів: JT-65 FT-8v2 JT-9

Усі ці протоколи потребують синхронізації часу для точного визначення інтервалів прийому та передачі даних.

Експеримент було проведено за наступними умовами: в діапазоні 20м, на частоті 14.030 мГц, було використано SSB короткохвильовий передавач,

смугою сигналу 2,4 кГц, з трьома рівнями потужності: 2,5,7 ват, який навантажено на чвертьволновий вертикал з 12 противагами, що встановлено на висоті 5,5 метрів, та за умов КСВ антенно-фідерної системи на заданій частоті 1,2. Передавач встановлено в Добропільському районі Донецької області

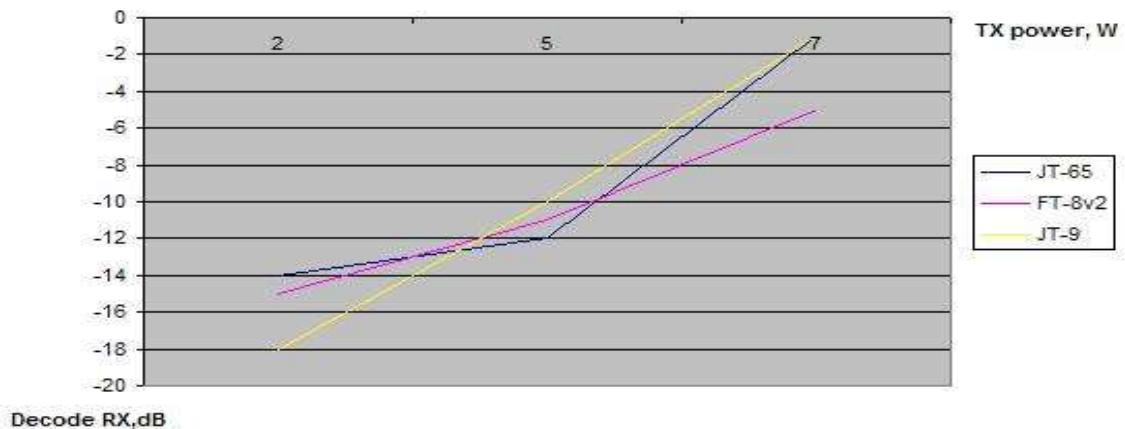
В якості приймача, використано WEB-SDR, що знаходиться у Нідерландах, в Університеті Твенте на факультеті електротехніки, математики та інформатики [4], що за 2176 км від передавача. Даний сервіс дозволяє визначити рівень сигналу в дБ, та побачити його спектр, а також провести декодування на своєму ПК. Кодування та декодування проведене штатним ПЗ WSJT-X. [3]

Час проведення експерименту: 09,00 за UTC

Однаковий об'єм даних передано трьома протоколами, трьома рівнями потужності, в короткий проміжок часу, що забезпечує достатнє наближення погодних, та інших зовнішніх умов. Результати експерименту наведено у таблиці 2 та на рисунку 2.

#	Mode	Pw tx	Signal,dB	Noise, dB	Decod, dB	S/N
1	JT-65	2	-99.4	-99.5	-14	0.9990
2		5	-98.6	-99.5	-12	0.9910
3		7	-94	-98	-1	0.9592
4	FT-8v2	2	-104	-110	-15	0.9455
5		5	-100	-110	-11	0.9091
6		7	-97	-110	-5	0.8818
7	JT-9	2	-102	-110	-18	0.9273
8		5	-99	-110	-10	0.9000
9		7	-95	-110	-1	0.8636

Два з перевірених протоколів забезпечують приблизно однакову швидкість передачі даних – близько 1,2 біт/с, та майже однаковий рівень декодованого сигналу, JT-65 та JT-9, є більш стійкими до високих рівнів шумів., при цьому, з графіку на рис. 2 видно, що при збільшенні потужності передавача, найбільший приріст сигналу на декодері дає протокол JT-9, а тому на дальніх трасах його використання є більш ефективним. В той час, протокол FT-8v2, за незначного пониження рівня декодованого сигналу, дозволяє використовувати в 4 рази менші інтервали між сеансами прийому\передачі, а отже швидкість передачі даних за використання цього протоколу складає 2,5, що є більше ніж в 2 рази вище за вищезгадані протоколи. Виходячи з отриманих даних, для подальших експериментів, в умовах невеликих відстаней та більш стійких каналів – прийнятно використання протоколу FT-8v2, та модифікацій на його основі.



РРисунок 2. Залежність рівня декодованого сигналу від потужності передавача для різних протоколів

Література

1. <https://geocom.in.ua/g9947341-modemy-dlya-rtk>
2. https://voyager.gsfc.nasa.gov/Library/DeepCommo_Chapter3--141029.pdf
3. <https://physics.princeton.edu/pulsar/k1jt/wsjsx.html>
4. <http://websdr.ewi.utwente.nl:8901/>

Анотація

Розглянуто кілька видів протоколів цифрового зв'язку, що використовуються для радіозв'язку на дальніх та міжконтинентальних трасах. Наведено результати експерименту з порівняння ефективності та зроблено висновки про можливість використання у приладах телеметрії.

Ключові слова: цифрові протоколи, пакетний зв'язок, дальній радіозв'язок.

Аннотация

Рассмотрено несколько видов протоколов цифровой связи, который используются для дальней и межконтинентальной трасах радиосвязи. Приведены результаты эксперимента по сравнению эффективности, на основе которых сделаны выводы о возможности использования в устройствах телеметрии.

Ключевые слова: цифровые протоколы, пакетная связь, дальняя радиосвязь.

Abstract

Several types of digital communication protocols used for long distance and intercontinental radio communications are discussed. The results of the experiment on the comparison of efficiency are given and conclusions are made about the possibility of use in telemetry devices.

Keywords: digital protocols, packet data, long distance radio.