

*Слюсарь І.І.ч, к.т.н., доцент, доцент кафедри,  
Слюсар В.І., д.т.н., професор, професор кафедри,  
Антоніо Жасінта Лукенія Гуржсел, студентка,  
Яковенко І.І., студент,  
Полтавський національний технічний університет  
імені Юрія Кондратюка*

## **МІСЦЕ І РОЛЬ TDMA В РАМКАХ КОНЦЕПЦІЇ NGOA**

*В роботі запропоновані нові варіанти множинного доступу з часовим розподілом каналів з врахуванням вимог концепції оптичного доступу наступного покоління. В ході досліджень визначені основні особливості побудови перспективних волоконно-оптичних систем передачі. В якості бази розглядаються гібридні рішення на основі програмної конфігурації обладнання, що забезпечують мультистандартність та уніфікацію. З метою забезпечення розподіленої цифрової обробки та зниження обчислювального навантаження на приймальний тракт запропоноване введення процедури децимації сигналів.*

**Ключові слова:** *ВОСП, децимація, NGOA, N-OFDM, OFDM, PON, SDR, TDMA, TWDM.*

### **Вступ**

Технологія часового мультиплексування (Time Division Multiplexing, TDM) продовжує відігравати провідну роль в телекомунікаційних системах передачі даних. На основі TDM розроблена технологія множинного доступу з часовим розподілом каналів (Time Division Multiple Access, TDMA). Досить поширеним застосуванням TDMA є оптичний доступ. Сучасним прикладом цього є пасивні оптичні мережі (Passive Optical Network, PON). Зростаючі потреби у підвищенні пропускної здатності PON через збільшення кількості абонентів, обсягу відео-контенту та ін. приводять до висновку, що існуючі класичні підходи щодо

організації PON не задовольняють світовим тенденціям розвитку оптичного доступу.

Як наслідок, з погляду на зростання вимог до пропускної здатності, проведений аналіз класичних рішень оптичного доступу з TDMA вимагає нетривіального підходу до побудови волоконно-оптичних систем передачі (ВОСП).

**Мета статті:** обґрунтування шляхів підвищення пропускної здатності ВОСП за рахунок використання нових варіантів TDMA.

### **Основна частина**

Які відомо, в основі TDMA лежить розподіл смуги пропускання на часові інтервали (Time-Slot, TS). Довжина TS залежить від багатьох чинників і параметрів, основними з яких є кількість абонентів і тип застосовуваного обладнання. Існує низка логічних закономірностей: чим більше TS, тим менше буде швидкість трафіку для одного клієнта; чим менше TS – тим ця швидкість вище; з ростом кількості клієнтів пропорційно зростають затримки.

Сучасні мережні рішення мають спеціальний набір програмних інструментів (шейпери, планувальники пакетів, пріоритезація, QoS та ін.), які дозволяють встановити ліміт пропускної здатності для кожного користувача, а також встановити пріоритезацію за типом трафіку. При цьому, найбільш поширеними є схеми мультиплексування з байт-інтерлівінгом, коли каналний інтервал складається з 8 бітів, або з біт-інтерлівінгом, коли на вихід послідовно комутується по одному біту з кожного каналу.

На цей час TDMA є домінуючою технологією для мобільних стільникових мереж і використовується в стандартах GSM, TETRA, DMR, TDMA (ANSI-136), PDC, системах супутникового зв'язку та ін. Наприклад, TDMA дозволяє збільшити ємність смуги частот, яка в стандарті GSM істотно обмежена. Досить поширеним застосуванням TDMA є оптичний доступ. Одним з найбільш популярних його різновидів є PON з TDMA, а саме – GPON.

Останнім часом швидкість передачі даних у GPON виходить на рівень 10 Гбіт/с. Еволюція системи GPON визначає два етапи розвитку: NG-PON1 –

NG-PON співіснує на тій же оптичній розподільчій мережі (Optical Distribution Network, ODN); NG-PON2 – без вимоги співіснування з наявною системою GPON. В свою чергу, NG-PON1 передбачає наступні варіанти: XG-PON1 (швидкість передачі на вхідному напрямку 10 Гбіт/с і 2,5 Гбіт/с - у вихідному напрямку) і XG-PON2 (швидкість передачі 10 Гбіт/с у вхідному та вихідному напрямках).

Більшість операторів і виробників обладнання вважають, що NG-PON2 буде ґрунтуватися на WDM. В цілому, WDM-PON розглядається як довгострокове рішення оптичного доступу. Однак, прямий перехід від GPON до WDM-PON неможливий. Основна різниця між WDM-PON і 10G GPON у тому, що WDM-PON не може використовувати протокол GPON.

З іншого боку, основними положеннями концепції оптичного доступу наступного покоління (Next Generation Optical Access, NGOA) передбачається створення гібридних мереж, в яких комбінуються найбільш вдалі сучасні технології. При цьому, особлива увага приділяється впровадженню конвергентних рішень «радіо поверх оптики». Згідно NGOA, перспективними рішеннями з TDMA є наступні варіанти:

- 40G Serial TDM-PON;
- TWDM Broadcast and select;
- TWDM with lambda split;
- TWDM with lambda switch;
- OFDMA+TDMA PON;
- OFDMA+TDMA+WDMA PON.

В свою чергу, одним з перспективних підходів є використання неортогональної компоновки сигналів в часовій та/або частотній області, в т. ч. й при роботі з радіосигналами. При цьому можливе удосконалення ЦОС ВОСП за рахунок використання надрелеївського розрізнення сигналів за часом приходу.

Такий варіант повинен передбачати синхронний та асинхронний режими роботи, мати можливість використання в обробці комплексного представлення

сигналів і застосування пакетів радіоімпульсів.

Під жорсткою синхронізацією каналу (синхронний прийом) будемо розуміти такий режим, при якому за допомогою синхронізуючої послідовності імпульсів здійснюється прив'язка часового положення інформаційного пакета з точністю до періоду дискретизації АЦП. Фактично це означає, що час приходу кожного із сигналів повідомлень точно відомо на приймальній стороні, природно, за умови, що передавальна сторона оперує сигналами в тій же часовій шкалі, в якій функціонує генератор такту АЦП приймача інформації.

Головна особливість асинхронного режиму прийому на відміну від синхронного полягає в невідомому зсуві першого з імпульсних сигналів пакета відносно сітки тактових імпульсів АЦП. При цьому відносний зсув інших імпульсів у пакетному фреймі покладається точно відомим, що забезпечується когерентною схемою реалізації цифрового передавача повідомлень. Для такого режиму прийому операції виміру амплітудних складових амплітудно-фазомодульованих сигналів прийнятого інформаційного повідомлення повинна передувати оцінка часу приходу першого з імпульсів сигнального пакета.

Задачу синхронізації ВОСП на етапі входження в зв'язок запропоновано вирішувати на основі використання пілот-сигналу та наступної обробки його в приймачі за допомогою процедури «ковзаючого вікна» або багатосигнального виміру часу затримки безпосередньо в межах інформаційного пакету сигналів.

Для рішення цієї задачі існує кілька підходів. Перший базується на оцінці часового положення пілот-сигналу, облямованого захисними інтервалами, за допомогою «ковзаючого вікна», протяжність якого дорівнює тривалості пілот-сигналу. Інший підхід спирається на багатосигнальний вимір часу затримки по самому інформаційному пакеті. У цьому випадку, при обробці відеоімпульсів проводиться оптимальна за методом максимальної правдоподібності оцінка положення у часі першого з імпульсів пакета шляхом перебору з заданим дискретом можливих його значень до досягнення максимуму функції відгуку системи.

Запропонована в роботі адаптація методів часового розподілу каналів

дозволяє підвищити пропускну здатність без розширення задіяного електромагнітного спектру та знизити вимоги до точності системи синхронізації передавального та приймального сегментів ВОСП.

Оскільки інформативним параметром при імпульсно-амплітудній модуляції (PAM) є амплітуда кожного з імпульсних сигналів пакета, запропоновано виконувати оптимальне оцінювання цього параметра для взаємно перекритих у часі відеоімпульсів, спираючись на метод найменших квадратів, який в умовах гаусовських шумів є еквівалентом методу максимальної правдоподібності.

Спираючись на конвергентні рішення NGOA, в роботі розглянуті особливості обробки сигналів у ВОСП не тільки відеоімпульсів, але й радіоімпульсів. Отримані результати охоплюють ситуації демодуляції сигналів QAM при надрелеївському розрізненні їх за часом приходу, що є базою для збільшення пропускну здатності оптичних каналів ВОСП.

Для великої кількості підканалів, доцільним є блокова компоновка сигналу TDMA. На практиці, для підвищення завадозахищеності доцільно в процедурах ЦОС застосовувати схеми внутрішнього та зовнішнього каналного кодування для корекції або виявлення похибок у повідомленнях.

Отримані нові варіанти TDMA можливо реалізувати на основі схематехнічних рішень технології програмної конфігурації обладнання (Software-Defined Radio, SDR), яка здатна забезпечити необхідний рівень уніфікації та розширює номенклатуру режимів роботи в умовах багатостандартності та багатопротокольності. Впровадження SDR передбачає зустрічну роботу ВОСП в режимі звичайного розрізнення сигналів з обладнанням існуючих мереж (наприклад, PON з TDMA – GPON, XG-PON1 та ін.). Для цього необхідна уніфікація цифрової обробки сигналів (ЦОС) з сигналами TDMA, OFDM, QAM, NRZ та ін.

Однак, можливість оперативної зміни сигналу в гібридних рішеннях між OFDM, OFDMA або N-OFDM може призвести до зростання вартості обладнання. Особливо гостро це стосується абонентського сегменту апаратного забезпечення. Найбільш пріоритетним рішенням цієї проблеми є розробка

приймального сегменту ВОСП з розподіленою ЦОС N-OFDM (OFDM), програмною конфігурацією обладнання та використання елементів схемотехніки, що орієнтовані на невисокі темпи оцифровки сигналів.

Як наслідок, з метою забезпечення розподіленої ЦОС та зниження обчислювального навантаження на приймальний тракт прийом реалізується за рахунок процедури децимації сигналів. Її сутність зводиться до сепарації дискретних вибірок напруг за ознакою парності номера надходження та подальшого роздільного накопичення парних і непарних елементів масиву з інверсією знаку від одного відліку до іншого.

В роботі запропоновано кілька модифікацій N-OFDM, які відрізняються наявністю або відсутністю процедури швидкого перетворення Фур'є (ШПФ). При цьому, загальна кількість утворених стробів повинна бути не меншою, ніж розмірність процедури ШПФ. У випадку частотного рознесення підканалів на величину ширини синтезованого фільтру ШПФ, N-OFDM-сигнал перетворюється в OFDM. При цьому необхідно враховувати, що для правильного декодування сигналів необхідно проводити компенсацію паразитних фазових викривлень комплексних амплітуд сигналів, що виникають в наслідок ШПФ.

Під час досліджень встановлено, що з точки зору одержання максимуму продуктивності кращими є модифікації ЦОС без проведення операції ШПФ. Якщо є необхідність застосування існуючих методів компенсації завад, уніфікації ЦОС, наприклад, для режиму роботи з оптичними несучими, що мають лінійну поляризацію (Polarization Division Multiplexing, PDM), або впровадження конвергентних рішень на основі методів просторово-часового кодування за прикладом систем MIMO, доцільним є використання сітки фільтрів ШПФ. Таким чином, з урахуванням наведених вище положень структуру перспективної ВОСП можливо представити у вигляді, що наведений на рис. 1.

### **Висновок**

Розглянуті в роботі варіанти TDMA значно відрізняються від класичних

реалізацій. Однак, запропоновані напрямки створення ВОСП на основі гібридних рішень мають значні переваги. Подальші дослідження спрямовані на визначення потенційних можливостей перспективних систем з TDMA.

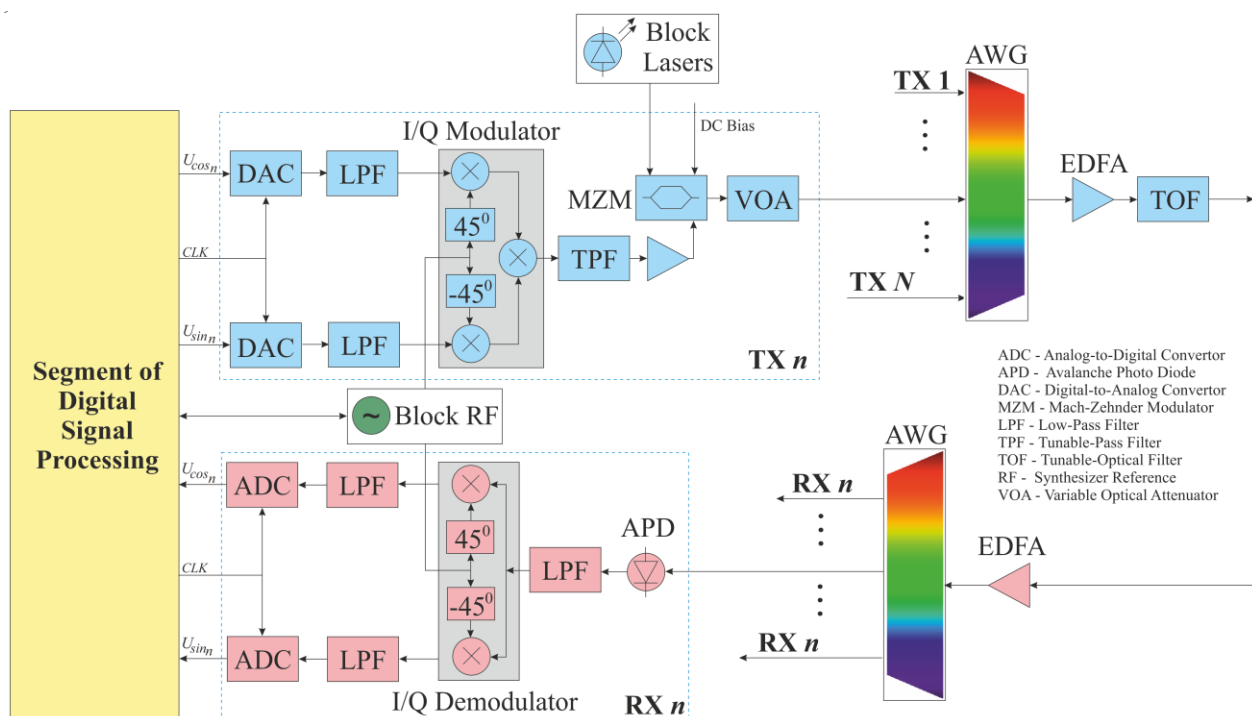


Рис. 1. Приклад 2-волоконної ВОСП з TWDM і забезпеченням рішень «радіо поверх оптики» (OFDM/N-OFDM та ін.)

#### Література

1. Слюсарь І.І. Реалізація надрелеївського розрізнення сигналів TDMA в перспективних ВОСП. / І.І. Слюсарь, В.І. Слюсар, Ж.Л. Антоніо. // Тези доповідей 4-ої міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми інформатизації», 3-4 листопада 2016 р. – ЧДТУ, ВА ЗС АР, УТіГН, ПНТУ, 2016 р. – С. 62, 63.
2. Слюсарь І.І. Реалізація конвергентних рішень NGOA на основі децимації сигналів N-OFDM. / І.І. Слюсарь, В.І. Слюсар, І.І. Яковенко. // Тези доповідей 4-ої міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми інформатизації», 3-4 листопада 2016 р. – ЧДТУ, ВА ЗС АР, УТіГН, ПНТУ, 2016 р. – С. 63, 64.
3. Слюсарь І.І. Особливості використання децимації в оптичних системах передачі з N-OFDM. / І.І. Слюсарь, В.І. Слюсар, І.І. Яковенко. // Тези доповідей 68-ої наукової конференції ПолтНТУ імені Юрія Кондратюка. – Полтава: ПолтНТУ, 2016 р. – Т. 3. – С. 66, 67.
4. Структура передавального сегмента оптичної системи передачі з N-OFDM / І.І. Слюсарь, В.І. Слюсар, О.П. Ільченко, В.П. Матько // Тези доповідей 68-ої наукової

конференції ПолтНТУ імені Юрія Кондратюка. – Полтава: ПолтНТУ, 2016 р. – Т. 3. – С. 61.

5. *Converged Solutions for Next Generation Optical Access* / Ihor Sliusar, Vadym Slyusar, Sergiy Voloshko, Viktor Smolyar // *IEEE Second International Scientific-Practical Conference «Problems of Infocommunications. Science and Technology» (PICS&T2015)*. – Kharkiv. – October 13-15, 2015. – P. 149-152.

6. *Flexible hybrid WDM/TDM PON: Architectures, MAC Protocols and Techno-Economic Evaluation [Electronic resource]* / B. Lannoo etc. // *ACP 2010, Shanghai, China, December 8-12, 2010*. – Last access: [http://www.ict-oase.eu/public/files/ACP2010\\_MediaAccessControl\\_IBBT\\_Flexible\\_hybrid\\_WDM\\_TDM\\_blannoo\[1\].pdf](http://www.ict-oase.eu/public/files/ACP2010_MediaAccessControl_IBBT_Flexible_hybrid_WDM_TDM_blannoo[1].pdf).

7. Слюсар В.И. Неортогональное частотное мультиплексирование (N-OFDM) сигналов. Ч. 1. / В.И. Слюсар. // *Технологии и средства связи*. – 2013. – № 5. – С. 61-65.

8. Слюсар В.И. Сверхрэлеевское разрешение узкополосных импульсов по времени задержки / В.И. Слюсар. // *Радиоэлектроника (Изв. высш. учеб. завед.)*. – 1999. – Т. 42, № 3. – С. 55-62.