

DOI [10.28925/2663-4023.2019.5.7382](https://doi.org/10.28925/2663-4023.2019.5.7382)

УДК 004.7

**Абрамов Вадим Олесійович**

кандидат технічних наук, доцент, доцент

Київський університет імені Бориса Грінченка, Київ, Україна

OrcID: 0000-0002-8026-1475

v.abramov@kubg.edu.ua

## ЗАХИЩЕНІ КАБЕЛЬНІ ІНТЕРФЕЙСИ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ.

**Анотація.** Здійснюється огляд принципів побудови і параметрів інтерфейсів сенсорних мереж, які характеризуються великою кількістю давачів і значною відстанню передавання інформації на центральний пункт або сервер. Основна кількість давачів у системі інтернету речей мають незначну продуктивність. При цьому сенсорній мережі потрібен захист від втручання і перешкод. Вимогам цієї групи сенсорних мереж задовольняють тільки кабельні мережі. Сенсорним мережам найбільш відповідають кабельні промислові мережі. Аналіз і порівняння інтерфейсів промислових кабельних мереж показує, що найбільш адекватним висунутим вимогам є інтерфейс RS-485 та його похідні інтерфейси. Усі кабельні інтерфейси промислових мереж дуже добре задовольняють одним вимогам і не задовольняють іншим. В найбільшій ступені задовольняє вимогам пасивна волоконно-оптична мережа. Для побудови такої мережі зручно використовувати технології створення пасивних волоконно-оптичних мереж (PON). Наразі існує досить велика кількість технологій створення пасивних волоконних розгалужувачів, які можна використати для створення багатоточкової магістральної або кільцевої пасивної волоконно-оптичної мережі. Дуже зручними і ефективними є мережі з волоконними безрозривними давачами, яких теж існує велика кількість для вимірювання різних фізичних параметрів. Для обміну інформацією у цих мережах зручно використовувати протокол інтерфейсу 1- wire, який доповнений використанням частотних сигналів. Такі мережі легкі та компактні будуть на часі на рухомих об'єктах та у небезпечних умовах. Матеріали статті представляють інтерес для проведення навчального процесу у ВНЗ, зокрема у Київському університеті імені Б. Грінченка.

**Ключові слова:** комп'ютерні мережі; сенсорна мережа; інтерфейс; давач; протокол; відстань; швидкість; інтернет речей; системи керування; вбудовані системи; викладання мереж.

### 1. ВСТУП

В даний час набули значного розвитку системи моніторингу, інтернету речей, вбудовані системи управління, найважливішою частиною яких є джерела інформації про об'єкт управління - давачі. Деякі системи мають сотні і тисячі давачів. При цьому найбільш ефективною формою доставки інформації є мережева, так як вона забезпечує спільне використання каналів передачі інформації. Такі сенсорні мережі (СМ) являють собою локальну інформаційну мережу нижнього рівня, що об'єднує велику кількість давачів і мають відносно невеликі розміри. Як правило, більшість давачів має невисоку інформаційну продуктивність, а в мережі зазвичай невеликий обсяг трафіку.

Загальну структуру сенсорної мережі можна представити у вигляді, зображеному на рис.1. До середовища передачі сигналів підключені велика кількість модулів давачів, які обмінюються інформацією з сервером по послідовному інтерфейсу. Доступ до середовища і управління передачею здійснюється через блок доступу. Якщо в середовищі є кілька шляхів передачі, то застосовується маршрутизатор. Він же здійснює маршрутизацію повідомлень від інших давачів.

**Постановка задачі.** Сенсорні мережі обслуговують реальні системи управління, значить працюють в складних умовах промислового виробництва або польових умовах. Для цих умов роботи створені промислові інформаційні мережі. В даний час існує велика

кількість промислових мереж і відповідних інтерфейсів і протоколів. Виникає задача застосувати принципи роботи промислових мереж для сенсорних мереж, які мають свої суттєві особливості.

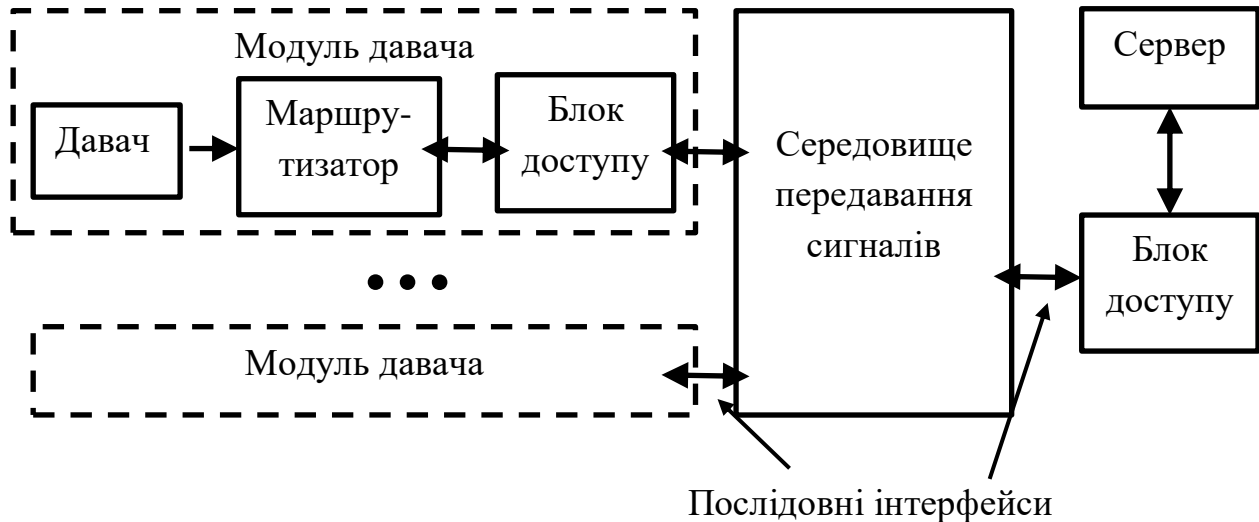


Рис. 1. Структура сенсорної мережі.

Застосування в сенсорних мережах типового для промислових комп'ютерних мереж обладнання, протоколів та інтерфейсів є занадто надмірною. Для сенсорних мереж слід застосовувати більш прості і тому більш ефективні інтерфейси і протоколи.

**Аналіз існуючих рішень.** Дуже популярними в даний час є бездротові інтерфейси на основі радіоканалів. Ці інтерфейси дуже прості, зручні в установці, відносно дешеві. Однак вони в деяких випадках не застосовні для сенсорних мереж: кожному автономному датчику потрібне окреме живлення, схильні до впливу електромагнітних завад, обмежена дальність зв'язку без використання ретрансляторів, висока швидкість радіоканалу є надмірною для більшості давачів, велика кількість радіопередавачів збільшує взаємні перешкоди, низький ступінь скритності і захищеності мережі.

Тому від кабельних ліній не слід відмовлятися, інколи вони є більш вигідними і ефективними, а найголовніше, більш надійними і захищеними. У даній роботі розглядаються тільки кабельні інтерфейси. Аналіз існуючих принципів їх побудови, придатних для побудови сенсорних мереж, дозволяє узагальнити їх основні параметри у вигляді класифікації рис. 2. Нас цікавлять тільки інтерфейси для багатоточкових мереж, які орієнтуються на роботу в мережах з магістральною або кільцевою топологією.

У кабельних мережах застосовується як двопровідний кабель так і волоконно-оптичний. Волоконно-оптичні іноді бувають більш надійними та ефективними. Наприклад, в агресивній або вибухонебезпечних умовах, в умовах захисту від великих електромагнітних полів, при необхідності гальванічної розв'язки лінії зв'язку. Крім того, волокна мають високу пропускну здатність, скритність і захищеність від проникнення.

Велика кількість низькошвидкісних датчиків обумовлює застосування простих і надійних інтерфейсів. У промислових мережах використовують класичний Ethernet з прослуховуванням каналу і випадковим доступом [1]. Його недоліком є необхідність установки складного програмного забезпечення та мережевого обладнання, обмеженість відстані при надмірності пропускну здатності. Для сенсорних мереж цей інтерфейс занадто складний.



Для сенсорних мереж найбільш прийнятними є такі відомі і прості інтерфейси як RS485, I2C, 1-Wire [1]. Вони використовують керований тип доступу під керуванням провідного вузла - майстра. Сигнал в лінію вводиться шляхом зміни параметра лінії, а саме внесення в лінію додаткового навантаження спеціальним ключем - модулятором і зміни умов проходження сигналів. Топологія цих дротових сенсорних мереж, як правило, магістральна. Усі давачі приєднані до одних дротів (стільнікова топологія частіше буває у бездротових мереж). Синхронізація по бітам і байтам здійснюється спеціальним сигналом, переданим по окремому дроту (I2C) або спеціальним сигналом майстра (1-Wire). У загальному випадку, сенсорна мережа є многомастерной мережею з керуванням передачею інформації як методом клієнт-сервер так і методом видавець-передплатник [2, 3].

У таблиці 1 розглянуто основні параметри існуючих технологій, що забезпечують можливість побудови сенсорних мереж. Розглянуті мережі з магістральною многоточечною топологією, з доступом типу ведучий - ведений і адресним вибором вузла. Тип сигналу енергетичний або параметричний.

У системах промислової автоматизації та автоматизації будівель застосовується ряд віддалених пристроїв збору даних, які передають і приймають інформацію через центральний модуль, що надає доступ до даних користувачам і іншим процесорам. Реєстратори даних та зчитувальні пристрої типові для таких додатків. Майже ідеальна лінія передачі даних для цих цілей визначена стандартом RS-485, який пов'язує пристрої збору даних кабелем на основі кручений пари. Цей стандарт часто є основою для розробки інших інтерфейсів, тому він аналізується в першу чергу. Переваги стандарту RS-485: хороша стійкість, велика дальність зв'язку, однополярне живлення +5 В, проста реалізація драйверів, можливість ширококомовної передачі, багатоточковість з'єднання.

З ростом використання сенсорних мереж протоколи існуючих інтерфейсів очевидно будуть змінені. Наприклад, в мережі I2C при числі датчиків більш 127. Замість керованого протоколу при великому числі датчиків і низькому трафіку очевидно більш зручним буде протокол випадкового доступу, який використовується в магістральних мережах Ethernet. Зараз в комутованих мережах випадковий доступ практично не використовується. Однак в сенсорних мережах він може бути вельми ефективний.

Серед параметричних мереж корисним є метод, в якому лінія замикається через обмежуючий опір  $R_0$ . Кожен датчик має свій опір величиною  $R2^N$ , де  $N$  - номер датчика. Таким чином кожен датчик має свою вагу, який допомагає АЦП на вході приймача розділити сигнали.

Струмова петля з частотною модуляцією (HART-протокол) дає змогу підключити кілька промислових давачів [4]. Дані передаються модуляцією струму поверх струмової петлі стандарту 4-20 мА. Передача проводиться байтами в форматі асинхронного інтерфейсу.

CAN (Controller Area Network - "область, охоплена мережею контролерів") являє собою комплекс стандартів для побудови розподілених промислових мереж, який використовує послідовну передачу даних в реальному часі з дуже високим ступенем надійності і захищеності. Центральне місце в CAN займає протокол каналного рівня моделі OSI.

Протокол 1-Wire хороший тим, що не складний в реалізації і вимагає для зв'язку всього два-три дроти (шина даних, земля і при необхідності харчування); однак при цьому він не позбавлений і недоліків - цей протокол досить чутливий до часу і до перешкод. Також 1-Wire не призначена для передачі великих обсягів інформації та для швидкісного обміну даними - максимальна швидкість 9600 бод / с.

**Мета статті.** Дослідження параметрів інтерфейсів сенсорних мереж і вибір ефективного інтерфейсу для мереж, що мають велику кількість давачів і дальність

передавання інформації. Надати відповідний навчальний матеріал для підвищення ефективності вивчення і формування професійної компетентності у студентів ВНЗ при вивченні базових технологій комп'ютерних мереж і дисциплін, пов'язаних з ними.

Таблиця 1.

Стандартні властивості інтерфейсів	RS-485	HART	CAN	PROFI-BUS	Ethernet	I2C	1-W	BOI PON
Допустима кількість передатчиків / приемників	32 / 32	15	110	32 / 32	Не огр	128	Не огр	256
Максимальна довжина кабеля	1200 м	2800м	40-6000 м	1200 м	100 м	---	300 м	20 км
Максимальна швидкість зв'язку	10 Мбит/с	9600 бит/с	10-1000 кбит/с	12 Мбит/с	100 Мбит/с	400 кбит/с	125 кбит/с	>100 Гбайт/с
Тип лінії	витая пара	токова петля, волокно, радіо	витая пара, провод, волокно, радіо	витая пара, провод, волок-но	витая пара	3 провод	витая пара	волокно
Вибір вузла	Адресний	Адресний	Ідентифікатор змісту	Адресний	Адресний	Адресний	Адресний	Адресний
Тип сигналу	диференціальний	Струм, ЧМ, ФМ	диференціальний	диференціальний	диференціальний	Не сіметричний	Не сіметричний	оптич
Повідомлення	---	Байт, фрейм	байт	пакет	кадр	байт	байт	байт
Тип доступу	ведущий-ведомий	ведущий-ведомий	Випадковий з пріоритетом	Багатомастерний маркерний	Випадковий	Багатомастерний	1 ведущий	ведущий-ведомий

## 2. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

На ґрунті аналізу принципів роботи розглянутих інтерфейсів можна розподілити їх на певні групи (рис. 2). З таблиці 1 видно, що розвиток технології PON дозволяє створювати сенсорні мережі зі значно кращими характеристиками [5]. Інтерфейс на основі оптичного волокна (BOI) має значні відмінності від інших інтерфейсів. BOI звертає на себе увагу також в силу своїх особливостей:

- Висока потенційна пропускна здатність волокна забезпечує будь-які сучасні швидкості передачі і необмежену кількість давачів.
- Висока стійкість до зовнішніх електро-магнітних полів, захищеність від несанкціонованого доступу.
- Низьке загасання сигналу і висока дальність передачі без посилення.

• Потенційно низька вартість волокна внаслідок низької вартості сировини для його виробництва.

В силу цих причин технології BOI є дуже перспективними для створення сенсорних мереж. Технологія PON (Passive Optical Network, пасивна оптична мережа) - це технологія абонентського множинного доступу за допомогою волокна. Технологія PON вважається

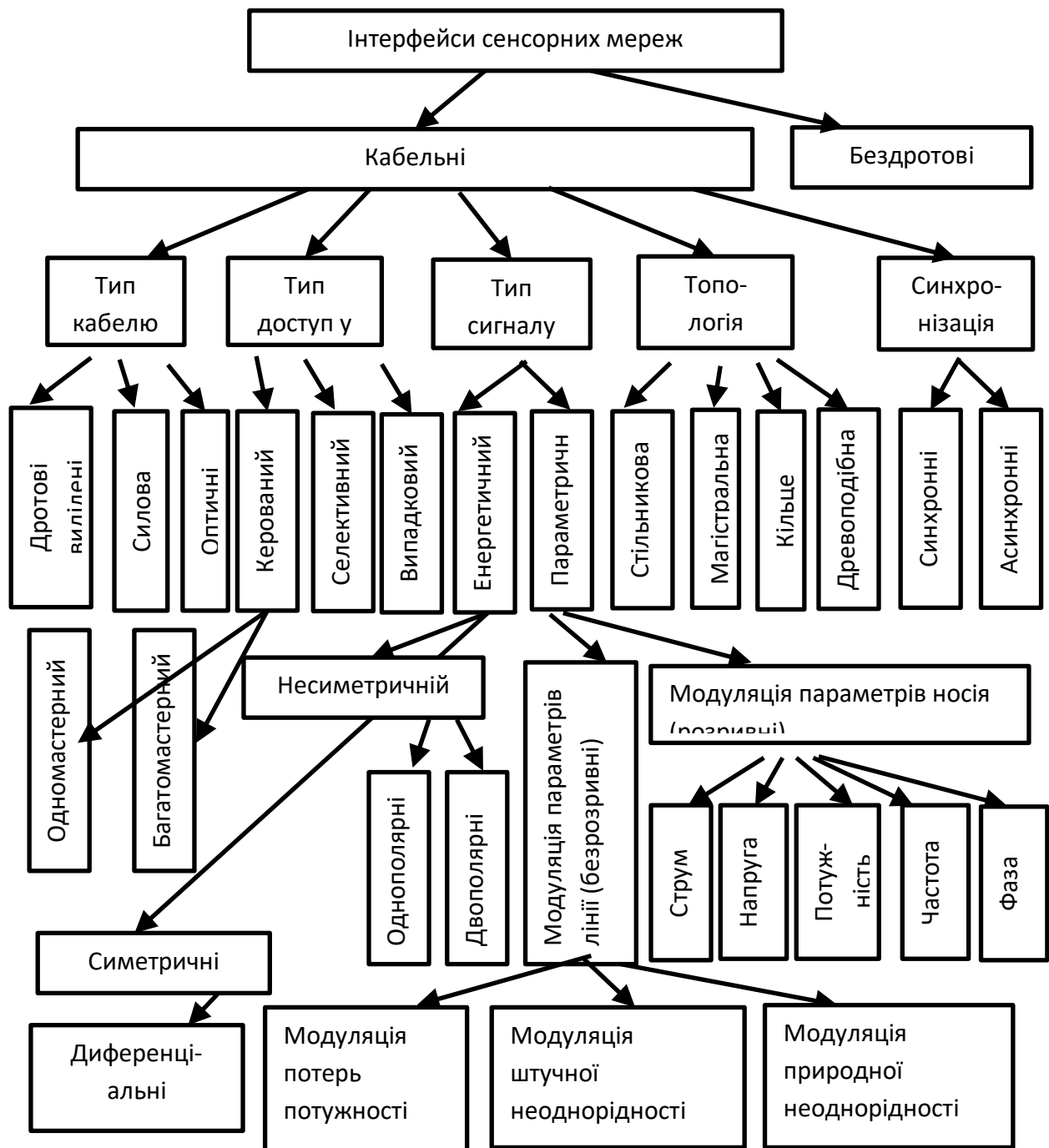


Рис. 2. Класифікація основних властивостей сенсорних мереж.

однією з найбільш перспективних технологій широкосмугового доступу до оптоволоконного каналу. На основі технології PON будуються повністю пасивні оптичні мережі зв'язку деревовидної топології з центральним вузлом. Центральний вузол забезпечує з'єднання з магістральною ділянкою мережі і абонентськими вузлами. На ділянках розгалуження дерева встановлюються пасивні компоненти - сплітери (розгалужувачі), повністю незалежні від живлення і обслуговування.

В даний час розроблені і випускаються всі основні опто-волоконні елементи необхідні для побудови мережі. Створено безліч різних ВО - волоконних розгалужувачів, волоконних давачів, фільтрів, лазерів (Т), фотоприймачів (R) [6, 7]. Типова структура мережі на волоконно-оптичному кабелі з магістральною або кільцевою топологією і енергетичним введенням сигналів (за допомогою лазера або світлодіода) представлена на рис. 3.

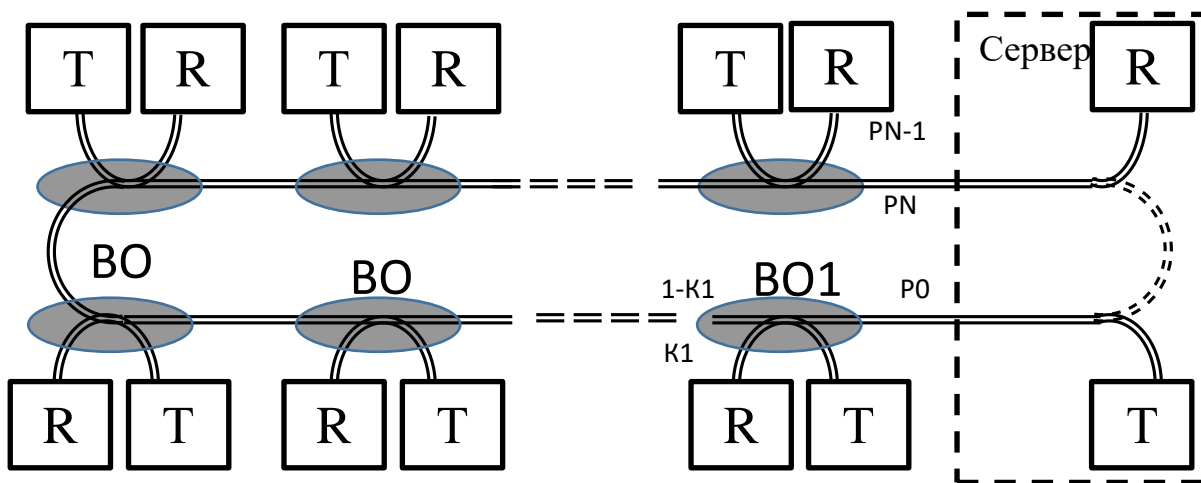


Рис. 3. Приклад волоконної мережі з топологією кільце .

Розгалужувачі виконують роль виведення випромінювання з кабелю до приймача і роль змішувача, що здійснює введення випромінювання від джерела в кабель. Найбільш надійною є волоконно-оптична мережа, яка являє собою кільцеву структуру (рис. 3). У відгалужувачів  $K_n$  частина енергії відводиться до приймача (R), а  $(1 - K_n)$  частина проходить далі. Виходячи з рівномірного розподілу оптичної потужності, тобто рівності потужностей на вході кожного приймача отримуємо коефіцієнти відгалуження  $i$ -го розгалужувача, без урахування втрат в стиках і роз'ємах:

$$K_i = K_{i-1} / (1 - K_{i-1}), \quad K_1 = 1/N, \quad \text{где: } N - \text{кількість розгалужувачів.} \quad (1)$$

Найбільшим недоліком пасивних волоконних мереж є складність створення розгалужувачів і роз'ємів з малими втратами потужності оптичних сигналів. Ці проблеми практично вирішуються різними технологіями створення оптичних розгалужувачів, які включаються в розрив волокна, а також технологіями безразривного введення і виведення сигналів в/з волокна. За принципом безразривного введення влаштовані також волоконні датчики [8].

Оптичне волокно може також безпосередньо служити джерелом сигналів при зміні його параметрів. Існує ряд оптичних ефектів, які можна використовувати для управління оптичним сигналом в волокні. Це такі ефекти як електрооптичний, фотоупругості, ефект

Фарадея, електроірації, ефект Саньяка, електроабсорбції, люмінісценції, раманівського розсіювання, ефект Доплера. Існує велика кількість волоконних давачів, заснованих на цих ефектах, які включаються в волоконну лінію без її розриву.

У волокні можуть створюватися також штучні неоднорідності. Наприклад, такою є решітка Брегга, яка віддзеркалює частину падаючого спектра. Решітка створюється періодичною зміною оптичної щільності центрального сердечника волокна. Зовнішні впливи пропорційні переданої інформації від датчика, керуючи параметрами решітки, модулюють світловий потік в волокні. Параметри решітки змінюються при механічному напрузі волокна, наприклад, шляхом його стиснення або розтягування. Решітку Брегга можна також створити за допомогою поздовжніх акустичних ультразвукових хвиль. На рис 4 зображена сенсорна мережа, яка здійснює збір і передача інформації по волокну від волоконних датчиків на решітках Брегга [9]. Від решітки відбивається частина спектра випромінювання, на яку вони налаштовані. Параметрами решітки керують ультразвукові хвилі.

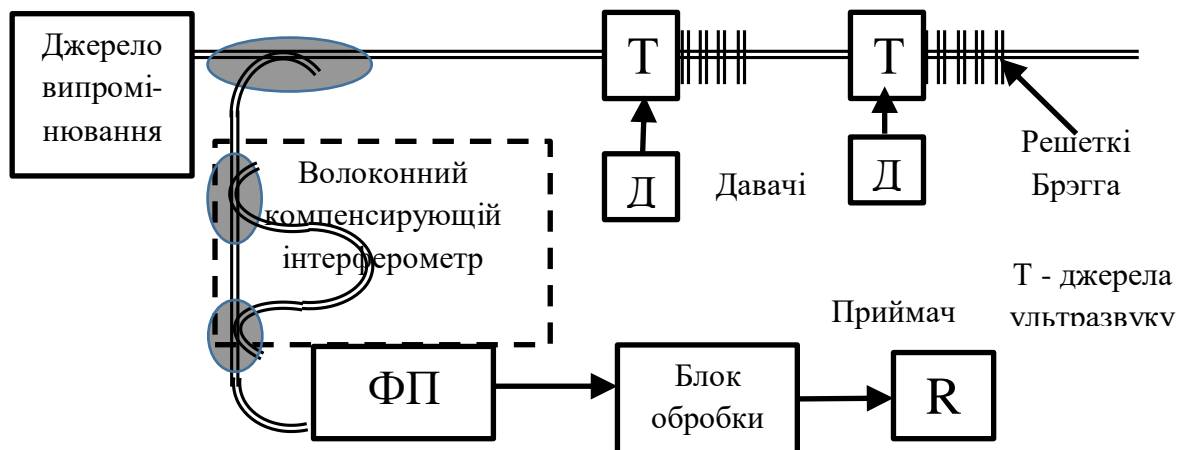


Рис. 4. Сенсорна мережа на базі брегговських решіток.

Найбільш прості оптичні давачі засновані на модуляції потужності (інтенсивності) оптичного випромінювання, яке проходить через них. Це параметричні давачі інтенсивності, які здійснюють параметричний введення сигналів в кабель шляхом модуляції інтенсивності (потужності) оптичного випромінювання в кабелі. У волокні є безліч типів втрат як природних, так і штучно внесених. Природними є поглинання і розсіювання в склі, втрати в стиках, мікро і макроізгибах. Деякими з цих факторів можна управляти, наприклад, змінюючи величину мікроізгибов в залежності від температури, тиску або впливаючи ультразвуком. Вигини також використовуються для виведення світлових сигналів з волокна. Таким чином створюються розгалуживачі без розриву волокна, які одночасно є давачами.

Досить простими є давачі на мікроізгибах волокна. Змінюючи глибину мікроізгибов можна управляти втратами випромінювання в волокні і модулювати, таким чином, випромінювання що проходить. Локальну сенсорну мережу з цими давачами зображено на рис. 5. Втрати випромінювання використовуються також для виведення сигналів. Тоді необхідний коефіцієнт виведення (або втрат) можна також розрахувати на підставі виразу (1). Локальний сервер взаємодіє з центральним сервером через пристрій введення – виведення (УВВ) і системний волоконний кабель.

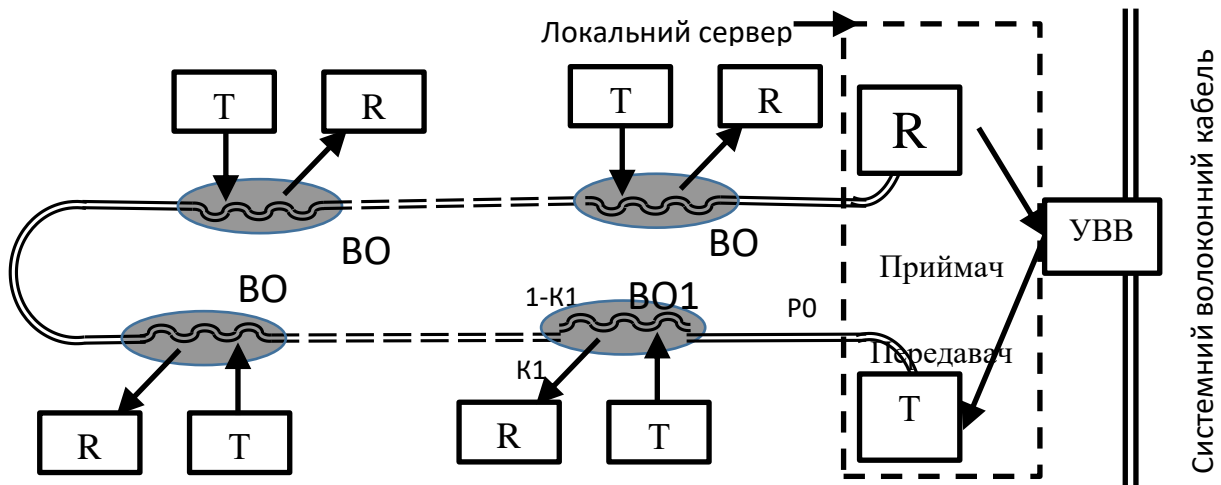


Рис. 5. Приклад локальної волоконної мережі з топологією кільце та волоконними давачами.

У кільцевій волоконній мережі зручно застосувати одномастерний метод управління з часовим поділом сигналів. За основу можна взяти протокол мереж 1 - wire. Для більш швидкого вирішення конфліктів ефективно застосовувати додаткове частотне розділення сигналів. При цьому треба враховувати, що в магістральній мережі з волоконними давачами інтенсивності відбувається мультиплікативне накладення сигналів різних давачів і виникає багато комбінаційних частот. Дослідження показали, що в цьому випадку при обмеженому числі частот можна отримати досить впевнений прийом сигналів. В цьому випадку накладення сигналів від декількох давачів не приведе до втрати інформації. Таким чином, додавання частотного поділу підвищує ефективність сенсорної мережі з часовим поділом [10].

### 3. ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

1. Сенсорні мережі використовують досить широкий діапазон кількості давачів, швидкостей і відстані передачі. Опціонально потрібні певні рівні захисту. Досить часто зустрічаються мережі, що мають велику кількість давачів, великі відстані і високу ступінь захисту. Такі характеристики можуть забезпечити тільки мережі з кабельними лініями зв'язку.

2. Існує велика кількість інтерфейсів, придатних для створення сенсорних мереж на кабельних лініях зв'язку. Усі вони досить близькі за одними параметрами і сильно відрізняються за іншими. Найкращим чином відповідають вимогам волоконно-оптичні лінії. Досить прості й ефективні волоконні мережі з волоконними безрозривними давачами, які використовують протокол мережі 1- wire, доповнений частотним поділом сигналів.

3. Пропоновані мережі завдяки їх малій вазі і габаритам застосовні в області транспорту повітряного, наземного, медицини, автотранспорту. Особливе значення ці мережі мають для безпеки промислових і енергетичних підприємств, включаючи ядерні і нафтогазові. Великим попитом користуються мережі з волоконними термометрами.





4. Отримана інформація представляє певний інтерес для навчального процесу ВНЗ. Вона допоможе студентам глибше розуміти роботу різних інтерфейсів і будову сенсорної мережі.

#### 4. СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1]. Промышленные шины и сетевые стандарты. Промышленные сети. №1, 2013 г.
- [2]. Семенов Б.Ю. Шина I2C в радиотехнических конструкциях. М.: СОЛОН-Пресс, 2004. — 224 с. — ISBN: 5-98003-128-6
- [3]. Елисеев Н.. Интерфейс 1-Wire: устройство и применение. [http://www.electronics.ru/files/article\\_pdf/0/article\\_657\\_119.pdf](http://www.electronics.ru/files/article_pdf/0/article_657_119.pdf)
- [4]. HART-протокол Энциклопедия АСУ ТП [https://bookasutp.ru/Chapter2\\_5.aspx](https://bookasutp.ru/Chapter2_5.aspx)
- [5]. PON - пассивные оптические сети. <https://skomplekt.com/technology/pom/>
- [6]. Волоконно – оптические датчики / под ред. Э.Удда ; Москва , Техносфера , 2008 г.
- [7]. Волоконно - оптическая сенсорика. Румянцев К.Е. / ТаГРТУ, НУЦ "Инженерная экология", 1996г.
- [8]. Липатников К.А., Сахабугдинов А.Ж., Нуреев И.И., Кузнецов А.А., Морозов О.Г., Феофилактов С.В.. Волоконно-оптический датчик вибрации «Виб-А». <https://cyberleninka.ru/article/n/volokonno-opticheskiy-datchik-vibratsii-vib-a>
- [9]. Нуреев И.И. Сенсорные пассивные оптические сети и ключевые вопросы применения в них волоконных брегговских решеток. <https://cyberleninka.ru/article/v/sensornye-passivnye-opticheskie-seti-i-klyuchevye-voprosy-primeneniya-v-nih-volokonnyh-breggovskih-reshetok>
- [10]. Абрамов В. А.. Распределенное управление энергопотреблением рассредоточенных промышленных объектов. Киев. КПИ. 1989 г.

**Vadym O. Abramov**

candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Associate Professor,  
Associate Professor of the Department of Information Technology and Mathematic  
Borys Grinchenko Kyiv University, Kyiv, Ukraine  
OrcID: 0000-0002-8026-1475  
*v.abramov@kubg.edu.ua*

**PROTECTED CABLE INTERFACES OF THE SENSORY NETWORKS OF THINGS INTERNET.**

**Abstract.** The principles of construction and parameters of sensor network interfaces are characterized, which are characterized by a large number of sensors and a considerable distance of information transmission to the central point or server. The majority of sensors on the Internet of Things system have little performance. In this case, the sensor network requires protection against interference and interference. Only cable networks are eligible for this group of sensor networks. Sensor networks are most suitable for cable industrial networks. The analysis and comparison of industrial cable network interfaces shows that the most appropriate requirements are the RS-485 interface and its derivative interfaces. All industrial network cable interfaces are very good at satisfying one requirement and not meeting the other. Passive fiber optic network is the most satisfying. It is convenient to use passive fiber optic (PON) technologies to build such a network. There are currently quite a number of passive fiber splitter technologies that can be used to create a multipoint trunk or ring passive fiber optic network. Networks with fiber-optic encoders, which also have a large number for measuring different physical parameters, are very convenient and efficient. For the exchange of information in these networks, it is convenient to use the 1-wire interface protocol, which is supplemented by the use of frequency signals. Such networks will be lightweight and compact over time on moving objects and in hazardous conditions. The materials of the article are of interest for carrying out the educational process in universities, in particular at the Kyiv University named after B. Grinchenko.

**Keywords:** computer networks; touch network; interface ;, encoder; protocol; distance; speed; internet of things; control systems; embedded systems; teaching networks.

**REFERENCES (TRANSLATED AND TRANSLITERATED)**

- [1]. Industrial buses and network standards. Industrial networks. No 1, 2013
- [2]. Semenov B. Yu. I2C bus in radio engineering designs. M.: SOLON-Press, 2004. -- 224 p. - ISBN: 5-98003-128-6
- [3]. Eliseev N. .. 1-Wire Interface: device and application. [http://www.electronics.ru/files/article\\_pdf/0/article\\_657\\_119.pdf](http://www.electronics.ru/files/article_pdf/0/article_657_119.pdf)
- [4]. HART protocol Encyclopedia of industrial control systems [https://bookasutp.ru/Chapter2\\_5.aspx](https://bookasutp.ru/Chapter2_5.aspx)
- [5]. PON - passive optical networks. <https://skomplekt.com/technology/pon/>
- [6]. Fiber Optic Sensors / Ed. E. Udda; Moscow, Technosphere, 2008
- [7]. Fiber optic sensor. Rumyantsev K.E. / TagGRTU, National Research Center "Engineering Ecology", 1996.
- [8]. Lipatnikov KA, Sakhabutdinov A.Zh., Nureyev II, Kuznetsov AA, Morozov OG, Feofilaktov SV. Fiber-optic vibration sensor "Vib-A". <https://cyberleninka.ru/article/n/volokonno-opticheskiy-datchik-vibratsii-vib-a>
- [9]. Nureyev I.I. Sensory passive optical networks and key issues of using fiber Bragg gratings in them. <https://cyberleninka.ru/article/v/sensornye-passivnye-opticheskie-seti-i-klyuchevye-voprosy-primeneniya-v-nih-volokonnyh-breggovskih-reshetok>
- [10]. Abramov V. A. .. Distributed energy management of dispersed industrial facilities. Kiev. KPI. 1989



This work is licensed under Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License.