

ЗАВАДОСТІЙКЕ КОДУВАННЯ У ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИХ ЛІНІЯХ ЗВ'ЯЗКУ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Досліджено основні етапи розвитку волоконно-оптичних ліній зв'язку (ВОЛЗ). Проведено порівняльний аналіз завадостійких кодів, які застосовувались для різних поколінь ВОЛЗ. Показана необхідність внесення коректив в шеннонівську теорію завадостійкого кодування.

Ключові слова: оптичний зв'язок, завадостійке кодування, границя Шеннона.

Abstract

The main stages of development of fiber-optic communication (FOC) are investigated. A comparative analysis of error correction codes were used for different generations of fiber-optic communication was carried out. The necessity of making adjustments to the Shannon's theory of Forward Error Correction is shown

Keywords: optical communication, Forward Error Correction, Shannon limit

Існують різні способи безпомилкової передачі даних в телекомунікаційних системах [1]. Найпростіший спосіб полягає в повторній передачі пакету даних при виявленні в ньому хоча б незначної бітової або байтової помилки.

Однак, такий підхід буде неоптимальним при великій затримці сигналів (наприклад, сигнал від супутника на орбіті Урану надходить через 5 годин), при багатоадресній передачі чи з інших вагомих причин.

Тому в більшості сучасних систем передачі даних використовується завадостійке кодування: на боці передавача до інформаційного повідомлення I додається надлишкове перевіряльне слово W , яке на боці приймача дозволяє виявити або виправити помилки в отриманому кодовому слові $Z=WI$.

Звичайно, процедури кодування, декодування і виправлення помилок теж вимагають витрат часу та складних кодерів і декодерів. Як і в інших технічних галузях, завадостійке кодування побудовано на різноманітних компромісах: вигравш в одних параметрах призводить до програшу в інших параметрах, і навпаки. Яскравим підтвердженням такої парадигми є волоконно-оптичні лінії зв'язку (ВОЛЗ).

Оптичний зв'язок відомий давно, детально розглянемо його розвиток лише за останні десятиріччя [2]. В першу чергу нас цікавлять проблеми безпомилкової передачі даних.

До початку 70-х років минулого століття були вже створені необхідні передумови для широкого промислового впровадження оптичних каналів зв'язку: досягнуто мінімального рівня втрат при передачі в оптоволокну і поява компактного лазера, вихід якого міг модулюватись накладанням корисної інформації.

Основні етапи розвитку ВОЛЗ зручно представляти в термінах поколінь. Вважають, що до першого покоління можна віднести ВОЛЗ в 1975 році, коли була досягнута швидкість передачі 45 Мбіт/с. І це вже було краще, ніж використання традиційного коаксіального кабеля.

У всі роки процес виготовлення оптоволокну вимагав високого рівня розвитку науки і відповідних технологій. На перший погляд могло здатись, що точність технологічних операцій повинна гарантувати відсутність спотворення інформації під час її передавання по оптоволокну. Однак, помилки все ж залишились, хоча їх стало на декілька порядків менше. І для їх усунення було недостатньо кодів CRC [3], які здатні виправити лише поодинокі помилки. Для боротьби з помилками були задіяні найпотужніші завадостійкі коди. Для ВОЛЗ 1-го покоління використовувались коди Ріда-Соломона, ВОЛЗ 2-го покоління – каскадні коди (поєднання кодів

Ріда-Соломона і кодів БЧХ). Зазначені коди успішно виправляють кратні помилки в межах своєї коректувальної здатності. Наприклад, (255,239)-код Ріда-Соломона дозволяє виправити до 64 спотверених бітів із кожних 255 переданих бітів.

Однак, і цього виявилось недостатньо, тому у ВОЛЗ 3-го покоління використали турбо-коди, а у ВОЛЗ 4-го покоління – коди LDPC. Це найсучасніші завадостійкі коди, які, хоч і повільно, але виправляють велику кількість помилок. Але якою ціною була отримана перемога?

Турбо-коди та LDPC-коди працюють по ймовірнісним алгоритмам, що спричиняє їх повільну роботу, ускладнюють кодер і декодер, вимагають дуже великих довжин кодів (наприклад (24015,19212)-код LDPC).

Головною перевагою цих кодів є лише їх близькість до границі Шеннона, тобто максимальне використання пропускної здатності оптичного каналу зв'язку. Однак шеннонівська теорія завадостійкого кодування розрахована на ідеалізований гаусівський канал передачі даних. В оптичних каналах збільшення відношення сигналу до завади не призводить до збільшення пропускної здатності каналу, а викликає посилення нелінійних спотверень, які в свою чергу стають причиною погіршення характеристик лінії [4].

Таким чином, для вирішення практичних проблем необхідно вносити нові корективи в теорію завадостійкого кодування і на новій математичній основі розробляти ефективні завадостійкі коди. Перспективними серед них є ітеративні циклічні коди [1].

Ще один важливий аргумент на користь постійного контролю інформації у ВОЛЗ: можна вдвічі зменшити кількість дороговартісних оптичних підсилювачів [5].

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Семеренко В. П. Теорія циклічних кодів на основі автоматних моделей : монографія. Вінниця : ВНТУ, 2015. – 444 с.
2. Слепов Н. Н. Развитие технологий оптической связи и волокон. *Фотоника*, 2007. № 2. С. 6-9.
3. Семеренко В. П. Теория и практика CRC кодов: новые результаты на основе автоматных моделей. *Східно-Європейський журнал передових технологій*. 2015. Т. 4, № 9 (76). С. 38–48.
4. Шокин Ю. И., Скидин А. С., Федорук М. П. Особенности передачи и обработки информации в сверхскоростных волоконно-оптических линиях связи *Информационно-управляющие системы*. № 2. С. 54-59. 2013.
5. Режим доступу до ресурсу: https://skomplekt.com/technology/volokonno_opticheskie_sistemy_svyazi.htm/

Василь Петрович Семеренко – канд. техн. наук, доцент кафедри обчислювальної техніки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: vasilsemerenko@gmail.com

Олександр Юрійович Войналович – аспірант кафедри обчислювальної техніки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: sashavoinalovich@gmail.com

Ілля Ігоревич Процевич – студент кафедри обчислювальної техніки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: illiaprotsevich@gmail.com

Vasyl P. Semerenko – PhD, Associate Professor, Department of computer technique, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: vasilsemerenko@gmail.com

Oleksandr Y. Voinalovich – Postgraduate student, Department of computer technique, Vinnytsia National Technical University Vinnytsia, e-mail: sashavoinalovich@gmail.com

Illia I. Protsevich – student, Department of computer technique, Vinnytsia National Technical University Vinnytsia, e-mail: illiaprotsevich@gmail.com