

Голові разової спеціалізованої вченої ради
Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору
Національної академії наук України
д.т.н., професору Триснюку Василю Миколайовичу

ВІДГУК

офіційного опонента – професора кафедри інформаційної та кібернетичної
безпеки імені професора Володимира Бурячка
факультету інформаційних технологій та математики
Київського столичного університету імені Бориса Грінченка,
д.т.н., професора Крючкової Лариси Петрівни
на дисертаційну роботу
Зайцевої Лілії Ігорівни

**«Інформаційна технологія підвищення достовірності передачі інформації
на основі каскадних конструкцій коригувальних кодів»,**
поданої на здобуття наукового ступеня доктора філософії в галузі знань
«Інформаційні технології» за спеціальністю 122 – «Комп'ютерні науки»

Актуальність теми дисертації.

Дисертаційна робота Зайцевої Лілії Ігорівни присвячена дослідженню актуальних питань підвищення ефективності функціонування безпроводових засобів передачі даних та забезпечення достовірності інформації в умовах апріорної невизначеності за рахунок розроблення методів структурної адаптації турбо кодів та LDPC-кодів з використанням нейронних мереж.

У сучасних безпроводових системах передачі даних проблема забезпечення високої достовірності інформації є однією з ключових, оскільки процес передавання відбувається в умовах впливу різноманітних завад, багатопроменевого поширення сигналів, завмирань, зміни характеристик каналу зв'язку та обмеженого енергетичного ресурсу мобільних пристроїв. Для підвищення ефективності функціонування таких систем застосовуються комплексні технології підвищення завадостійкості, серед яких найбільшого поширення набули методи адаптивного кодування та модуляції, технології ортогонального частотного мультиплексування (OFDM), багатоантенні системи передачі MIMO (Multiple Input Multiple Output), а також методи розширення спектра сигналів.

Одним із основних напрямів підвищення надійності передачі цифрової інформації є використання завадостійкого кодування, яке забезпечує можливість виявлення та виправлення помилок, що виникають у процесі проходження

сигналу через канал зв'язку. На сучасному етапі розвитку телекомунікаційних систем найбільш поширеними кодовими конструкціями є турбо коди, коди з низькою щільністю перевірок на парність (LDPC-коди – Low Density Parity Check Codes) та полярні коди. Зазначені кодові конструкції характеризуються високою коригувальною здатністю та дозволяють наблизити ефективність передачі інформації до теоретичної межі Шеннона.

Недостатньо дослідженим напрямом залишається застосування структурної адаптації турбо кодів та LDPC-кодів із використанням методів штучного інтелекту, зокрема нейронних мереж. Використання нейромережевих підходів дозволяє здійснювати аналіз характеристик каналу зв'язку, прогнозувати рівень завадового впливу та автоматично формувати оптимальну структуру кодової конструкції. Такий підхід дає можливість адаптувати не лише окремі параметри коду, а й змінювати його внутрішню структуру відповідно до поточних умов передачі інформації.

Отже, у дисертації вирішується актуальна науково-прикладна задача, що має важливу наукову, практичну й технічну спрямованість при побудові сучасних безпроводових засобів передачі даних – підвищення рівня достовірності інформації шляхом створення методів структурної адаптації кодових конструкцій турбо кодів та LDPC-кодів із застосуванням нейромережевих технологій в умовах невизначеності характеристик каналу зв'язку.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

1. В роботі **вперше** представлено метод корекції параметрів логарифмічних відношень функцій правдоподібності декодерів турбо коду з використанням нейронних мереж, що дозволить підвищити коригуючу здатність кодових конструкцій паралельного та послідовного турбо коду, і як наслідок, достовірності передачі інформації в умовах впливу завад різного походження, при цьому енергетичний виграш кодування становить 0,1-0,3 дБ в порівнянні із методами, які використовують класичні алгоритми BCJR. Відмінність розробленого методу від існуючих, що визначає його новизну, полягає у врахуванні принципу структурних особливостей конкатенацій турбо кодів, використання параметра невизначеності декодуванням та нейронних мереж для розрахунку вихідних логарифмічних відношень функцій правдоподібності.

2. Вперше запропоновано метод структурної адаптації турбо кодів та LDPC-кодів за рахунок використання графової нейронної мережі. Використання методу структурної адаптації турбо кодів та LDPC-кодів за рахунок використання графової нейронної мережі дозволяє отримати енергетичний виграш кодування, при використанні паралельного з'єднання РСЗК в структурі турбо коду виграш кодування становить 0,6-0,85 дБ порівняно з випадком застосування LDPC-кодів, у випадку послідовного з'єднання РСЗК в структурі турбо коду – 0,3-0,4 дБ порівняно з випадком застосування LDPC-кодів для різної кількості біт в блоці. Це забезпечується динамічною зміною конфігурації паралельної та послідовної конкатенації турбо- та LDPC-кодів залежно від результатів декодування, що дозволяє ефективніше використовувати надлишковість коду та зменшити ймовірність виникнення невиправлених помилок. На відміну від традиційних підходів, де параметри кодера та декодера задаються заздалегідь і залишаються незмінними протягом процесу передачі, запропонований метод передбачає адаптивну зміну структури паралельної та послідовної конкатенації турбо кодів і LDPC-кодів.

3. В дисертаційній роботі вдосконалено метод вибору множин кодових конструкцій для дискретно-неперервного каналу із ймовірнісними кодами. Ефект від впровадження розробленого методу полягає у виборі кодових конструкцій, погоджених з характеристиками кодів та навмисних завад. Застосування отриманих кодових конструкцій дало енергетичний виграш 0,25-1,25 дБ при однаковій пропускній здатності при впливі різних видів навмисних завад. Відмінність розробленого методу від існуючих, що визначає його новизну, полягає в тому, що запропонований метод базується на нових аналітичних співвідношеннях для розрахунку пропускної спроможності дискретно-неперервного каналу зв'язку із ймовірнісними кодами, що засновані на декодуванні за максимумом апостеріорної ймовірності, з урахуванням впливу шуму та навмисних завад.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності.

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Зайцевої Лілії Ігорівни повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 122 «Комп'ютерні науки» та напрямкам досліджень відповідно до освітньої програми Інформаційні технології.

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям інформаційні технології.

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Зайцевої Лілії Ігорівни є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело.

Мова та стиль викладення результатів

Дисертаційна робота написана українською мовою. Матеріал викладено структуровано, послідовно та з використанням коректної наукової термінології.

Структура дисертації є класичною та логічно обґрунтованою, забезпечуючи послідовний перехід від постановки проблеми до її вирішення та верифікації результатів.

Дисертація складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку літератури та додатків. Загальний обсяг дисертації 199 сторінок.

В першому розділі дисертації проведено дослідження сучасного стану систем безпроводової передачі даних, визначено основні фактори, що спричиняють зростання рівня помилок при передаванні інформації, а також розглянуто та узагальнено існуючі методи зменшення похибок у сучасних безпроводових телекомунікаційних системах.

В другому розділі дисертації на основі аналізу методів завадостійкого кодування та декодування вперше розроблено метод корекції параметрів логарифмічних відношень функцій правдоподібності декодерів турбо коду з використанням нейронних мереж.

На відміну від існуючих методів та алгоритмів, цей метод передбачає, що враховано принцип структурних особливостей конкатенацій турбо кодів, використання параметра невизначеності декодуванням та нейронних мереж для розрахунку вихідних логарифмічних відношень функцій правдоподібності. Ефект від впровадження запропонованого методу полягає у підвищенні коригуючої здатності кодових конструкцій паралельного та послідовного турбо коду, і як наслідок, достовірності передачі інформації в умовах впливу завад різного походження, при цьому енергетичний виграш кодування становить 0,1..0,3 дБ в порівнянні із методами, які використовують класичні алгоритми BCJR.

В третьому розділі дисертаційного дослідження проведено дослідження методів кодування/декодування турбо кодів та LDPC-кодів, і за результатами аналізу вперше запропоновано метод структурної адаптації турбо кодів та LDPC-кодів за рахунок використання графової нейронної мережі.

Сутність методу полягає у використанні ітеративних кодів з «м'якими» рішеннями, структурної адаптації за рахунок використання показника невизначеності декодування та графової нейронної мережі. Основною особливістю методу є застосування результатів декодування як зворотного інформаційного впливу для визначення оптимальної конфігурації кодової конструкції. Це дозволяє враховувати поточний стан каналу передачі, рівень завад та ймовірність помилкового приймання інформаційних символів. При цьому здійснюється вибір між різними варіантами каскадного об'єднання кодів, що забезпечує підвищення ефективності використання надлишковості та зменшення ймовірності виникнення не виправлених помилок.

Відмінність запропонованого методу від існуючих, що визначає його наукову новизну, полягає у використанні механізму структурної адаптації комбінованої завадостійкої системи кодування, яка забезпечує динамічний вибір структури обробки інформаційного потоку залежно від результатів попереднього декодування. На відміну від традиційних підходів, де параметри кодера та декодера задаються заздалегідь і залишаються незмінними протягом процесу передачі, запропонований метод передбачає адаптивну зміну структури паралельної та послідовної конкатенації турбо кодів і LDPC-кодів.

Ефект від впровадження полягає в підвищенні достовірності передачі інформації в умовах завад та апіорної невизначеності параметрів каналу зв'язку за рахунок адаптивного вибору структури завадостійкого кодування. Це забезпечується динамічною зміною конфігурації паралельної та послідовної конкатенації турбо- та LDPC-кодів залежно від результатів декодування, що дозволяє ефективніше використовувати надлишковість коду та зменшити ймовірність виникнення не виправлених помилок. Додатково ефект полягає у зниженні обчислювальної складності процесу декодування за рахунок використання графової нейронної мережі. У результаті досягається покращення енергетичної ефективності системи передачі даних, підвищення швидкості обробки інформаційних потоків та розширення області працездатності системи в умовах низького співвідношення сигнал/шум.

В четвертому розділі дисертації проведено отримання аналітичних залежностей для розрахунку пропускну здатності дискретно-неперервного каналу передачі даних із кодovими конструкціями при впливі шумів та навмисних завад. За результатами аналізу вдосконалено метод вибору множин кодovих конструкцій для дискретно-неперервного каналу із ймовірнісними кодами.

Відмінність розробленого методу від існуючих, що визначає його новизну, полягає в тому, що запропонований метод базується на нових аналітичних

співвідношеннях для розрахунку пропускну́ї спроможності дискретно-неперервного каналу зв'язку із ймовірнісними кодами, що засновані на декодуванні за максимумом апостеріорної ймовірності, з урахуванням впливу шуму та навмисних завад.

Ефект від впровадження розробленого методу полягає у виборі кодових конструкцій, погоджених з характеристиками кодів та навмисних завад. Застосування отриманих кодових конструкцій дало енергетичний виграш 0,25-1,25 дБ при однаковій пропускну́ї здатності при впливі різних видів навмисних завад.

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

Оприлюднення результатів дисертаційної роботи

Наукові результати дисертації висвітлені у 8 наукових роботах, у тому числі 6 статей у фахових виданнях України з технічних наук, 2 статті у збірниках, що входять до наукометричної бази Scopus, 2 публікації у матеріалах міжнародних та всеукраїнських конференцій.

Порушень принципів академічної доброчесності у публікаціях не виявлено, що свідчить про належну апробацію результатів.

Таким чином, наукові результати, описані в дисертаційній роботі, повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

При загальній позитивній оцінці дисертаційної роботи, варто виділити такі дискусійні питання та зауваження:

1. В дисертації не досить повно розкрито сутність практичних рекомендацій щодо впровадження отриманих автором наукових результатів.
2. Автором не проведено аналіз практичної складності реалізації отриманих результатів.
3. Автором не наведено перевірку ефективності імітаційної моделі, яка використовувалась для підтвердження основних результатів дисертаційної роботи.
4. Не зрозуміло, які алгоритми декодування застосовувалися при імітаційному моделюванні LDPC-кодів.
5. Не представлено математичний апарат опису матриць перевірки парності алгоритму декодування LDPC-кодів.

Вважаю, що висловлені зауваження не є визначальними і не зменшують загальну наукову новизну та практичну значимість результатів та не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Висновок про дисертаційну роботу

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Зайцевої Лілії Ігорівни на тему «Інформаційна технологія підвищення достовірності передачі інформації на основі каскадних конструкцій коригувальних кодів» виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для інформаційних технологій. Поставлене наукове завдання виконано повністю, здобувач повною мірою оволодів методологією наукової діяльності. Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в п.6–9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44.

Здобувач Зайцева Лілія Ігорівна заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань Інформаційні технології за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки»

Офіційний опонент:

професор кафедри
інформаційної та кібернетичної безпеки
імені професора Володимира Бурячка
Київського столичного
університету імені Бориса Грінченка
доктор технічних наук, професор

