

ВІДГУК

офіційного рецензента на дисертаційну роботу

Зайцевої Лілії Ігорівни

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

Актуальність теми дисертації.

Дисертаційне дослідження Зайцевої Лілії Ігорівни присвячене дослідженню актуальних проблем безпроводових засобів передачі даних, їх підвищення ефективності, достовірності інформації в умовах апріорної невизначеності за рахунок розробки методів структурної адаптації турбо кодів та LDPC-кодів з використанням нейронних мереж.

На сьогоднішній день в світі впроваджуються системи безпроводового доступу за технологією 5G. При цьому, комерціалізація 5G починається приблизно з 2020 року. Передбачається, що 6G буде забезпечувати кращі комунікації для людей і речей (технологія IoT), та буде охоплювати тенденцію розумного суспільства.

У роботі К.Шеннона 1948 року показано, що передача даних з малою кількістю помилок по безпроводовому каналу можлива, якщо використовується довгий випадковий завадостійкий (канальний) код. З тих пір були докладені величезні зусилля до пошуку нових методів передачі з метою наближення до пропускну здатності каналу.

В сучасних безпроводових системах передачі даних для забезпечення достовірності інформації застосовуються технології адаптивного кодування, OFDM, MIMO. В якості завадостійких кодів найбільш розповсюджені на даний час турбо коди, коди з низькою щільністю перевірки парності (LDPC-коди) та полярні коди.

Для підвищення достовірності передачі інформації передбачено застосовувати методи структурної адаптації кодових конструкцій та технології штучного інтелекту. Таким чином, актуальним завданням є розроблення методів структурної адаптації турбо кодів та LDPC-кодів на основі нейронних мереж, що дозволить підвищити достовірність передачі інформації, зменшити ймовірність виникнення помилок та забезпечити більш ефективне функціонування сучасних безпроводових систем зв'язку.

Тому у дисертації вирішується актуальна науково-технічна 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 нейромережових 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 було вперше представлено метод корекції параметрів логарифмічних відношень функцій правдоподібності декодерів турбо кода 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 вигравш 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 вигравш кодування, при використанні паралельного з'єднання PC3K в структурі турбо коду вигравш кодування становить 0,6-0,85 дБ порівняно з випадком застосування LDPC-кодів, у випадку послідовного з'єднання PC3K 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 невіправлених 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 вигравш 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.

Отже, в дисертаційній роботі поставлене наукове завдання виконано повністю, здобувач повною мірою оволодів методологією наукової діяльності.

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 співпадиння, 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.

У вступі досліджено сучасний стан 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 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. Метод 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 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.

В четвертому розділі дисертації проведено отримання аналітичних залежностей для розрахунку пропускної здатності дискретно-неперервного каналу передачі даних із кодовими конструкціями при впливі шумів та навмисних завад. За результатами аналізу вдосконалено метод вибору множин кодових 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 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. Ефект від впровадження розробленого методу полягає у виборі кодових конструкцій, погоджених з характеристиками кодів та 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.

Також результати дисертації були апробовані на 2 наукових фахових конференціях.

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 вказується, які коригувальні коди використовуються для передачі інформації каналом зворотнього зв'язку, який теж підлягає впливу завад.
2. В дисертації не вказано, які коди використовуються для каналів передачі даних, а які для каналів управління.
3. Автором не наведено перевірку ефективності імітаційної моделі, яка використовувалась для підтвердження основних результатів дисертаційної роботи.
4. Не наведено математичний апарат опису моделей основних видів завад, які досліджувались в роботі.
5. Для мене головна інноваційна ідея дисертаційної роботи полягає в новій пропозиції використання паралельної та каскадної конкатенації турбокодів та LDPC кодів. У випадку LDPC кодів це дозволяє комбінувати коди з графами, визначеними різними матрицями Танера, було б цікаво перевірити дослідження про вплив топологічних властивостей відповідних базових графів (обгорт, кількість компонентів зв'язності та їх діаметр) на властивості їх поєднання. Ці базові графи можна визначити як індуковані підграфи узагальнених багатокутників Титса, графів Келі великого обгорт, або визначених алгебраїчними рівняннями графів $CD(n, q)$. Ці питання в дисертації не ставилися. Сподіваюсь, що в своїх подальших дослідженнях Лілія Ігорівна займається цим перспективним напрямком наукових досліджень.

Вважаю, що висловлені зауваження не є визначальними і не зменшують загальну високу 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. 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 рецензент:

Завідувач відділу ІТГП НАНУ
доктор фізико-математичних наук,
професор



Василь
Олександрович
УСТИМЕНКО

Підпис завідувача відділу ІТГП НАНУ, доктора фізико-математичних наук,
професора В.О.Устименка засвідчує:

Вчений секретар ІТГП НАН України



Вікторія КЛИМЕНКО