

## ВІДГУК

### офіційного опонента про дисертаційну роботу

Іванова Юрія Юрійовича «Завадостійке декодування турбо-кодів у розподілених комп'ютерних системах», що подана на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук зі спеціальності 05.13.05 – Комп'ютерні системи та компоненти

**Актуальність теми дисертації.** У сучасних системах передавання даних (супутниковий і мобільний зв'язок, бездротовий широкосмуговий доступ, цифрове телебачення, програмовані радіосистеми тощо) використовуються завадостійкі турбо-коди (ТК), які дозволяють ефективно усувати помилки в каналі зв'язку, забезпечувати високу вірогідність передавання даних при малих відношеннях сигнал/шум. Завадостійкі розподілені інформаційні системи працюють з необхідною швидкістю та вірогідністю передавання даних, що безпосередньо пов'язано зі швидкодією декодування. Необхідно враховувати, що процедура декодування є дуже важливою, але трудомісткою, оскільки існуючі методи декодування ТК відрізняються складністю обчислювального процесу, що обмежує швидкодію декодування та ускладнює апаратну реалізацію. Все це обумовлює актуальність дисертаційного дослідження, яке присвячене розробці та вдосконаленню методів і засобів декодування ТК з метою забезпечення необхідної вірогідності передавання даних і зменшення обчислювальної складності процесу декодування.

Основні задачі дисертації відповідають пріоритетному тематичному напрямку наукових досліджень і науково-технічних розробок на період до 2020 року «Нові апаратні рішення для перспективних засобів обчислювальної техніки, інформаційних та комунікаційних технологій» та планам наукових досліджень кафедри автоматки та інформаційно-вимірювальної техніки Вінницького національного технічного університету. Дисертаційне дослідження виконувалось в межах науково-дослідної роботи "Розробка алгоритму роботи турбо-кодека та

впровадження програмного забезпечення для передавання інформації у комп'ютерних системах різного функціонального призначення" (шифр № 41/7, номер державної реєстрації № 0116U004713), в якій автор був відповідальним виконавцем.

**Ступінь обґрунтованості наукових положень.** Теоретичні й практичні здобутки, отримані автором під час проведення дослідження, базуються на сучасних досягненнях у галузі теорії інформації і кодування, регресійного аналізу, теорії ймовірності та математичної статистики, імітаційного моделювання та аналітичних методів дослідження математичних моделей і представлені у вигляді обґрунтованих рішень по удосконаленню методів декодування ТК, аналізу обчислювальної складності та дослідженню їх впливу на ефективність декодування в умовах завад. Оброблення експериментальних даних виконувалося за допомогою пакетів програм MatLab та MathCad з дотриманням умов проведення комп'ютерних експериментів.

**Достовірність та новизна отриманих результатів.** Достовірність результатів дисертаційної роботи забезпечується коректністю постановки задачі, системним підходом при доведенні наукових положень, коректним використанням математичного апарату та комп'ютерного моделювання, а також збігом теоретичних оцінок з практичними результатами, отриманими за допомогою запропонованих методів та моделей. Результати дисертаційної роботи отримали експериментальну перевірку висунутих в них наукових положень при вирішенні реальних практичних завдань, що підтверджується відповідними актами та довідками про впровадження.

Найбільш вагомими науковими результатами, які отримані в дисертації:

1. **Набув подальшого розвитку** метод декодування log-MAP за рахунок використання нової форми кусково-лінійної апроксимації компенсуючої функції у складі логарифма Якобіана, що дозволило зменшити складність декодування при незначному збільшенні ймовірності помилки.

2. **Удосконалено** метод розрахунку метрик для отримання апостеріорних рішень з виходу декодера, який, на відміну від існуючих, використовує рекурсивну форму обчислень при апаратній реалізації модифікованого методу декодування log-MAP та дозволяє спростити процедуру обчислень метрик у ході роботи ітеративного турбо-декодера у розподілених комп'ютерних системах.

3. **Вперше** отримано аналітичні вирази для оцінки складності роботи турбо-декодера для методів декодування SOVA, Bi-SOVA, а також запропонованої модифікації методу log-MAP, що дало можливість розширити спектр вибору моделі турбо-декодера при його програмно-апаратній реалізації залежно від заданих умов.

4. **Вперше** розроблена імітаційна модель системи передачі інформації, яка здатна структурно адаптуватися до різних моделей кодерів та методів декодування та здійснювати гнучке налаштування параметрів турбо-кодів при проведенні експериментів, що дало можливість отримати порівняльні характеристики методів декодування з урахуванням впливу завад.

**Практична цінність.** На основі сформульованих та доведених теоретичних положень розроблені:

- структурні схеми та алгоритми, які дозволяють знизити обчислювальну складність методів декодування турбо-кодів порівняно з класичним методом MAP в 3-7 рази при незначній втраті ефективності декодування даних;
- програмні засоби, які дозволяють оцінити вірогідність інформації при використанні різних методів декодування в залежності від відношення сигнал/шум у каналі передавання даних.

Всі розроблені програмні засоби підкріплені авторськими свідоцтвами, виданими Державним департаментом інтелектуальної власності України.

**Повнота викладення результатів дисертаційної роботи.** Матеріали дисертаційної роботи повністю викладено у 42 наукових працях, серед яких 15 статей у наукових фахових виданнях, 10 статей у виданнях, що входять до міжнародних науково-метричних баз даних, в тому числі 1 стаття в іноземному

видінні, яке входить до НМБД SCOPUS, 16 публікацій у вигляді тез доповідей науково-практичних конференцій, 11 свідоцтв про реєстрацію авторського права на твір (комп'ютерну програму).

Дисертація оформлена згідно з вимогами ДАК МОН України, зміст дисертації відповідає паспорту спеціальності 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти, а автореферат – змісту дисертації.

#### **Недоліки та зауваження щодо змісту дисертації та автореферату:**

1. При формулюванні наукових результатів висувається теза, що запропоновані методи не приводять до втрати ефективності декодування даних, хоча насправді із-за використаної апроксимації така втрата неминуха.
2. У роботі не прописана методика вибору моделі турбо-декодера при його програмно-апаратній реалізації залежно від поставлених умов, на чому наголошується у другому науковому результаті.
3. Не обґрунтовано вибір саме 6 відрізків при проведенні кусково-лінійної апроксимації компенсуючої функції у складі логарифма Якобіана в математичній моделі турбо-декодера.
4. При обчисленні параметрів кусково-лінійної апроксимації компенсуючої функції не оцінена точність запропонованої апроксимації шляхом перевірки запропонованої регресійної моделі на адекватність. Автор обмежився тільки порівнянням із існуючими методами апроксимації компенсуючої функції.
5. При описі експериментів з імітаційною моделлю не наведено відомостей щодо точності отриманих статистичних оцінок характеристик, що досліджувались.
6. У 5-му загальному висновку, який стосується розроблених структурних схем для блоків обчислення метрик, бракує обґрунтованих рекомендацій щодо числа ітерацій декодування, а також запропонованих рішень по контролю якості ітеративного декодування.
7. При аналізі складності для запропонованого методу PL-log-MAP не наведено порівняння із методом log-MAP, який у роботі прийнятий за оригінальний

метод (табл. 3 автореферату).

8. Оскільки в назві роботи наголошується на завадостійкому декодуванні, то доцільно було оцінити вплив дисперсії шуму каналу на ймовірність помилки декодування, так як введення в ітеративний турбо-декодер контролю якості декодування дозволяє зменшити складність декодування за рахунок зменшення кількості ітерацій.

9. Мають місце некоректні висловлювання та помилки:

- комп'ютерним пошуком за методом найменших квадратів;
- на рис. 4.12 (рис. 13 у авторефераті) помилково вказано "для параметра  $Q$  в правому верхньому куті" (наразі треба у лівому верхньому куті);
- неоднозначна назва пристрою перемішування бінарних символів: "інтерлівер" (стор. 19), "пермутатор" (стор. 42), "перемішувач" (стор. 43).

**Висновки.** Вказані недоліки та зауваження суттєво не зменшують загальну позитивну оцінку роботи. Автор досяг поставленої мети щодо зменшення обчислювальної складності декодування даних за рахунок удосконалення каскадної конструкції турбо-декодера у розподілених комп'ютерних системах.

Все це дає можливість стверджувати, що дисертаційна робота є завершеним науковим дослідженням та повністю відповідає вимогам ДАК України до дисертацій на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук, які містяться у пп. 11, 13, 14 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника», а її автор, Іванов Юрій Юрійович, заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата технічних наук зі спеціальності 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти.

Офіційний опонент

проректор з наукової роботи,

професор кафедри інформаційних та комп'ютерних систем

Чернігівського національного технічного університету

доктор технічних наук, професор



 В.В. Казимир