

Міністерство освіти і науки України
Міжнародний гуманітарний університет
Кафедра комп'ютерних наук

Д.М. Розенвассер

ТЕОРІЯ ІНФОРМАЦІЇ ТА КОДУВАННЯ

Методичні вказівки до практичних робіт
для здобувачів вищої освіти,
які навчаються за спеціальностями
галузі «Інформаційні технології»

Одеса 2025

Затверджено Вченою Радою Міжнародного гуманітарного університету.
Протокол № 5 від 20 січня 2025 р.

Розенвассер Д.М. Теорія інформації та кодування. Методичні вказівки до практичних робіт для здобувачів вищої освіти, які навчаються за спеціальностями галузі «Інформаційні технології» [Електронне видання]. Кафедра комп'ютерних наук Міжнародного гуманітарного університету. Одеса, 2025. 22 с.

Дисципліна «Теорія інформації та кодування» спрямована на формування у здобувачів розуміння закономірностей подання, передавання, зберігання та обробки інформації у цифрових системах. У межах дисципліни розглядаються основні поняття теорії інформації, інформаційні характеристики джерел повідомлень і каналів зв'язку, принципи кодування та декодування повідомлень, методи стиснення даних і підходи до виявлення та виправлення помилок під час передавання інформації. Значна увага приділяється математичному опису інформаційних процесів, оцінюванню пропускну здатності каналів зв'язку та принципам побудови завадостійких кодів. Отримані знання є теоретичною основою сучасних технологій передавання та зберігання даних, а також використовуються під час розроблення алгоритмів стиснення інформації, систем передавання даних і механізмів забезпечення достовірності інформаційних повідомлень.

ЗМІСТ

Практична робота 1. Системи збереження та передавання інформації	4
Практична робота 2. Інформаційні характеристики джерел дискретних повідомлень.....	6
Практична робота 3. Методи ефективного кодування джерел дискретних повідомлень	8
Практична робота 4. Джерела неперервних повідомлень та їх кодування	11
Практична робота 5. Інформаційні характеристики каналів зв'язку	13
Практична робота 6. Передавання інформації каналами зв'язку з завадами	15
Практична робота 7. Блокові коректувальні коди	17
РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА	20

Практична робота 1. Системи збереження та передавання інформації

Мета роботи – ознайомитися з базовими поняттями теорії інформації, дослідити структуру систем передавання та збереження інформації, а також проаналізувати роль кодування у забезпеченні ефективності та завадостійкості.

Ключові положення

Інформація є відомостями про об'єкти, процеси або явища, що зменшують невизначеність. Повідомлення є формою подання інформації, придатною для передавання або збереження. Сигнал є фізичною реалізацією повідомлення, що передається через певне середовище. Таким чином, інформація характеризує зміст, повідомлення є способом її подання, а сигнал — матеріальним носієм.

Повідомлення класифікуються за кількома ознаками. За видом розрізняють аналогові та дискретні повідомлення. За характером джерела — детерміновані та випадкові. За способом представлення — текстові, числові, графічні, звукові та комбіновані. Така класифікація визначає особливості подальшого кодування та обробки повідомлень.

Система передавання інформації будується відповідно до узагальненої моделі, яка містить джерело повідомлення, кодування джерела, кодування каналу, канал зв'язку, декодування каналу, декодування джерела та приймач. Джерело формує повідомлення, кодування джерела забезпечує його ефективне представлення, кодування каналу додає надлишковість для захисту від помилок, канал здійснює передавання сигналу, а декодування виконує відновлення початкового повідомлення.

Канал зв'язку є середовищем передавання сигналу та визначає умови його поширення. У комп'ютерних мережах використовуються провідні канали (мідні кабелі, оптоволоконні лінії) та безпроводні канали (радіоканали, Wi-Fi, мобільні мережі). Характеристики каналу впливають на якість передавання інформації.

Кодування повідомлень виконується з метою підвищення ефективності використання каналу та забезпечення завадостійкості. Кодування джерела зменшує обсяг даних, а кодування каналу дозволяє виявляти та виправляти помилки. Декодування забезпечує відновлення інформації на приймальній стороні. Взаємозв'язок цих процесів визначає надійність і ефективність системи передавання.

Практичне завдання

1. Дати визначення понять інформація, повідомлення та сигнал.
2. Пояснити відмінності між інформацією, повідомленням та сигналом.
3. Навести класифікацію повідомлень за видом.
4. Навести класифікацію повідомлень за характером джерела.
5. Навести класифікацію повідомлень за способом представлення.
6. Побудувати узагальнену структурну схему системи передавання інформації.
7. Пояснити призначення кожного блоку структурної схеми.
8. Описати функції кодування джерела.
9. Описати функції кодування каналу.
10. Описати функції декодування каналу.
11. Описати функції декодування джерела.

12. Дати визначення поняття канал зв'язку.
13. Навести основні типи каналів зв'язку, що використовуються у комп'ютерних мережах.
14. Пояснити вплив кодування на ефективність передавання інформації.
15. Пояснити вплив кодування на завадостійкість системи передавання.

Методичні вказівки до виконання практичного завдання

Перед початком виконання роботи необхідно ознайомитися з базовими поняттями теорії інформації та принципами побудови систем передавання даних. Особливу увагу слід приділити правильному розмежуванню понять інформація, повідомлення та сигнал.

На першому етапі необхідно сформулювати визначення основних понять і пояснити їх взаємозв'язок. Доцільно подати результати у вигляді коротких формулювань із прикладами.

Далі слід виконати класифікацію повідомлень за різними ознаками. Рекомендується оформити результати у вигляді структурованого переліку або таблиці.

На наступному етапі необхідно побудувати структурну схему системи передавання інформації. Схема повинна містити всі основні блоки та відображати послідовність передавання сигналу. Для кожного блоку потрібно надати коротке пояснення його функцій.

Під час аналізу функцій кодування та декодування необхідно звернути увагу на їх роль у забезпеченні ефективного використання каналу та підвищенні надійності передавання. Доцільно розглянути приклади, що ілюструють введення надлишковості та її вплив на виправлення помилок.

Описуючи канал зв'язку, слід враховувати його фізичну природу, основні характеристики та сфери застосування. Необхідно навести приклади сучасних технологій, що використовуються у комп'ютерних мережах.

Після виконання всіх завдань необхідно узагальнити отримані результати та зробити висновки щодо ролі кодування у сучасних системах передавання інформації.

Контрольні питання

1. Що таке інформація?
2. Що таке повідомлення?
3. Що таке сигнал?
4. У чому полягає відмінність між інформацією, повідомленням та сигналом?
5. Які існують класифікації повідомлень?
6. Які основні елементи містить система передавання інформації?
7. Яке призначення кодування джерела?
8. Яке призначення кодування каналу?
9. Які функції виконують декодери?
10. Що таке канал зв'язку?
11. Які типи каналів використовуються у комп'ютерних мережах?
12. Як кодування впливає на ефективність передавання?
13. Як забезпечується завадостійкість системи передавання інформації?

Зміст звіту

- назва практичної роботи;
- мета роботи;
- визначення понять інформація, повідомлення та сигнал;
- класифікація повідомлень;
- структурна схема системи передавання інформації;
- опис функцій основних блоків системи;
- характеристика каналів зв'язку;
- пояснення ролі кодування у забезпеченні ефективності та завадостійкості;
- висновки.

Практична робота 2. Інформаційні характеристики джерел дискретних повідомлень

Мета роботи – ознайомитися з кількісними характеристиками інформації, дослідити ентропію джерела дискретних повідомлень, а також проаналізувати надмірність і продуктивність джерела.

Ключові положення

Кількісна міра інформації за Шенноном визначає обсяг інформації, що міститься у повідомленні, залежно від ймовірності появи його елементів. Інформація, що міститься в одному символі, визначається логарифмічною функцією від оберненої ймовірності появи цього символу. Чим менш імовірною є подія, тим більшу кількість інформації вона несе.

Ентропія джерела дискретних повідомлень є середньою кількістю інформації, що припадає на один символ повідомлення. Вона характеризує невизначеність джерела та визначається як математичне сподівання кількості інформації. Ентропія залежить від розподілу ймовірностей символів алфавіту і досягає максимального значення у випадку рівноймовірного розподілу.

Джерела дискретних повідомлень можуть бути без пам'яті та з пам'яттю. Джерело без пам'яті характеризується незалежністю символів, тобто ймовірність появи кожного символу не залежить від попередніх. Джерела з пам'яттю враховують залежності між символами, наприклад марковські моделі, де ймовірність наступного символу залежить від одного або кількох попередніх.

Надмірність джерела визначає ступінь відхилення реальної ентропії від максимально можливої. Вона характеризує наявність надлишкової інформації, що може бути використана для підвищення завадостійкості або стискання даних. Розрізняють абсолютну та відносну надмірність, що дозволяють кількісно оцінити ефективність джерела.

Продуктивність джерела повідомлень визначає кількість інформації, що генерується за одиницю часу. Вона залежить від ентропії джерела та швидкості генерації символів і вимірюється у бітах за секунду.

У випадку рівноймовірного розподілу символів ентропія досягає максимального значення, що відповідає максимальній невизначеності джерела. Це означає, що кожен символ несе однакову кількість інформації, а передбачення наступного символу є неможливим. Такий стан відповідає найбільш ефективному використанню алфавіту.

Практичне завдання

1. Записати формулу кількості інформації, що міститься в одному символі.
2. Пояснити залежність кількості інформації від ймовірності появи символу.
3. Дати визначення ентропії джерела дискретних повідомлень.
4. Записати формулу ентропії $H(X)$.
5. Розглянути приклади джерел повідомлень без пам'яті.
6. Розглянути приклади джерел повідомлень з пам'яттю.
7. Пояснити відмінності між джерелами без пам'яті та з пам'яттю.
8. Дати визначення надмірності джерела.
9. Записати формули абсолютної та відносної надмірності.
10. Дати визначення продуктивності джерела повідомлень.
11. Вказати одиниці вимірювання продуктивності.
12. Проаналізувати зміну ентропії при рівноймовірному розподілі символів.
13. Пояснити фізичний зміст максимальної ентропії.

Методичні вказівки до виконання практичного завдання

Перед виконанням роботи необхідно ознайомитися з основами теорії інформації, зокрема з поняттями ймовірності, кількості інформації та ентропії. Особливу увагу слід приділити логарифмічній природі визначення кількості інформації.

На першому етапі необхідно записати формулу для кількості інформації одного символу та пояснити її зміст. Доцільно розглянути приклади для різних значень ймовірності, щоб продемонструвати зміну кількості інформації.

Далі необхідно записати формулу ентропії та пояснити її як середню кількість інформації. Рекомендується виконати розрахунок ентропії для простого алфавіту з двох або трьох символів.

Під час аналізу моделей джерел повідомлень слід звернути увагу на залежності між символами. Доцільно навести приклади незалежних символів і приклади залежних послідовностей.

Розглядаючи надмірність, необхідно визначити максимальну ентропію для заданого алфавіту та порівняти її з реальною ентропією. На основі цього слід обчислити абсолютну та відносну надмірність.

При визначенні продуктивності джерела необхідно врахувати швидкість генерації символів та ентропію. Доцільно виконати розрахунок продуктивності для заданих параметрів.

На завершальному етапі потрібно проаналізувати випадок рівноймовірного розподілу символів і зробити висновки щодо максимальної ентропії та її значення для ефективності передачі інформації.

Контрольні питання

1. Що таке кількість інформації за Шенноном?
2. Як визначається інформація одного символу?
3. Що таке ентропія джерела?
4. Від чого залежить ентропія?

5. Які існують моделі джерел повідомлень?
6. У чому різниця між джерелами без пам'яті та з пам'яттю?
7. Що таке надмірність джерела?
8. Як визначається абсолютна надмірність?
9. Як визначається відносна надмірність?
10. Що таке продуктивність джерела?
11. У яких одиницях вона вимірюється?
12. Коли ентропія є максимальною?
13. Який фізичний зміст максимальної ентропії?

Зміст звіту

- назва практичної роботи;
- мета роботи;
- формула кількості інформації одного символу та пояснення;
- визначення ентропії та її формула;
- опис моделей джерел повідомлень;
- визначення та розрахунок надмірності;
- визначення продуктивності джерела;
- аналіз випадку максимальної ентропії;
- висновки.

Практична робота 3. Методи ефективного кодування джерел дискретних повідомлень

Мета роботи – ознайомитися з основними методами ефективного кодування джерел дискретних повідомлень, дослідити властивості префіксних кодів та проаналізувати алгоритми статистичного і словникового стиснення.

Ключові положення

Ефективне кодування спрямоване на зменшення середньої довжини кодових слів без втрати інформації. Найпростішими є рівномірні (примітивні) коди, у яких усі символи алфавіту кодуються словами однакової довжини. Принцип їх побудови полягає у використанні фіксованої кількості біт для кожного символу. Основним недоліком таких кодів є неефективне використання статистичних властивостей джерела, оскільки часті та рідкісні символи кодуються однаково.

Перша теорема Шеннона встановлює фундаментальне обмеження для ефективного кодування джерела без пам'яті. Вона стверджує, що середня довжина коду не може бути меншою за ентропію джерела, але існують методи кодування, які дозволяють наблизитися до цього значення з довільною точністю.

Префіксний код є таким кодом, у якому жодне кодове слово не є початком іншого. Це забезпечує однозначність декодування без використання розділювачів. Саме ця властивість робить префіксні коди базовими для ефективного кодування, оскільки дозволяє виконувати послідовне декодування потоку даних.

Нерівність Крафта визначає умову існування префіксного коду для заданих довжин кодових слів. Вона встановлює обмеження на суму величин, що залежать від довжин кодів, і дозволяє перевірити, чи можливо побудувати префіксний код із заданими параметрами.

Алгоритми Шеннона-Фано та Хаффмана належать до статистичних методів кодування. Вони використовують ймовірності появи символів для побудови кодових слів змінної довжини. Алгоритм Шеннона-Фано базується на послідовному розбитті множини символів на підмножини з приблизно рівними ймовірностями. Алгоритм Хаффмана будує оптимальне префіксне дерево шляхом послідовного об'єднання найменш імовірних символів. Хаффманівське кодування забезпечує мінімальну середню довжину коду серед усіх префіксних кодів.

Словникові методи стиснення, такі як LZ77, LZ78 та LZW, базуються на виявленні повторюваних фрагментів у повідомленні. Алгоритм LZ77 використовує ковзне вікно для пошуку повторень у вже обробленій частині даних. Алгоритм LZ78 формує словник фраз під час обробки повідомлення. Алгоритм LZW є вдосконаленням LZ78 і дозволяє будувати словник без явного передавання нових елементів. Основна відмінність між методами полягає у способі організації словника: ковзний словник використовується у LZ77, а статичний або нарощуваний — у LZ78 та LZW.

Практичне завдання

1. Пояснити принцип побудови рівномірних кодів.
2. Визначити недоліки рівномірних кодів.
3. Сформулювати першу теорему Шеннона.
4. Дати визначення префіксного коду.
5. Пояснити властивості префіксних кодів.
6. Записати нерівність Крафта.
7. Пояснити значення нерівності Крафта для побудови кодів.
8. Описати принцип побудови коду Шеннона-Фано.
9. Описати принцип побудови коду Хаффмана.
10. Порівняти алгоритми Шеннона-Фано та Хаффмана.
11. Пояснити принцип роботи алгоритму LZ77.
12. Пояснити принцип роботи алгоритму LZ78.
13. Пояснити принцип роботи алгоритму LZW.
14. Порівняти словникові методи стиснення.
15. Пояснити різницю між ковзним і статичним словником.

Методичні вказівки до виконання практичного завдання

Перед виконанням роботи необхідно ознайомитися з поняттям ентропії та принципами ефективного кодування. Особливу увагу слід приділити взаємозв'язку між ймовірністю символів і довжиною кодових слів.

На першому етапі необхідно розглянути рівномірні коди та визначити їх обмеження. Доцільно навести приклади для невеликого алфавіту.

Далі слід сформулювати першу теорему Шеннона та пояснити її значення для побудови ефективних кодів.

Під час вивчення префіксних кодів необхідно звернути увагу на їх властивість однозначного декодування. Рекомендується перевірити приклади кодів на наявність або відсутність префіксності.

Нерівність Крафта доцільно застосувати для перевірки можливості існування коду із заданими довжинами кодових слів.

При аналізі алгоритмів Шеннона-Фано та Хаффмана необхідно побудувати коди для одного й того ж набору символів і порівняти отримані результати.

Під час дослідження словникових методів необхідно розглянути приклади стиснення коротких повідомлень та простежити процес формування словника.

На завершальному етапі необхідно порівняти ефективність різних методів кодування та зробити висновки щодо їх застосування.

Контрольні питання

1. Що таке рівномірний код?
2. Які недоліки мають рівномірні коди?
3. У чому полягає перша теорема Шеннона?
4. Що таке префіксний код?
5. Чому префіксні коди є зручними для декодування?
6. Що визначає нерівність Крафта?
7. У чому полягає принцип алгоритму Шеннона-Фано?
8. У чому полягає принцип алгоритму Хаффмана?
9. Які переваги має алгоритм Хаффмана?
10. Як працює алгоритм LZ77?
11. Як працює алгоритм LZ78?
12. Як працює алгоритм LZW?
13. У чому різниця між словниковими методами стиснення?
14. Що таке ковзний словник?
15. Що таке статичний словник?

Зміст звіту

- назва практичної роботи;
- мета роботи;
- опис рівномірних кодів та їх недоліків;
- формулювання першої теореми Шеннона;
- визначення префіксного коду;
- нерівність Крафта та її пояснення;
- опис алгоритмів Шеннона-Фано та Хаффмана;
- опис словникових методів стиснення;
- порівняння методів кодування;
- висновки.

Практична робота 4. Джерела неперервних повідомлень та їх кодування

Мета роботи – ознайомитися з моделями джерел неперервних повідомлень, дослідити процес аналого-цифрового перетворення та проаналізувати методи кодування і стиснення неперервних сигналів.

Ключові положення

Джерела неперервних повідомлень формують сигнали, значення яких змінюються безперервно в часі та за рівнем. До основних моделей таких джерел належать детерміновані сигнали (гармонічні коливання, періодичні процеси) та випадкові процеси (шум, мовні сигнали, відеосигнали). У практичних системах найчастіше використовуються стохастичні моделі, що описують статистичні властивості сигналів.

Для неперервних джерел використовується поняття диференціальної (епсильон-) ентропії, яка є аналогом ентропії для дискретних джерел. Вона характеризує середню кількість інформації в неперервному сигналі, але має відмінності, пов'язані з використанням щільності ймовірності замість дискретного розподілу. На відміну від дискретної ентропії, диференціальна ентропія може набувати від'ємних значень і залежить від вибору одиниць вимірювання.

Аналого-цифрове перетворення є основним етапом переходу від неперервного сигналу до цифрового представлення. Воно включає дискретизацію за часом та квантування за рівнем. Дискретизація полягає у відборі значень сигналу через певні інтервали часу, а квантування — у заміні безперервного діапазону значень на скінченну кількість рівнів.

Квантування може бути рівномірним і нерівномірним. При рівномірному квантуванні інтервали між рівнями однакові, що є простим у реалізації, але не завжди ефективним для сигналів із нерівномірним розподілом. Нерівномірне квантування враховує статистичні властивості сигналу, наприклад, у мовних сигналах використовується логарифмічне квантування, що забезпечує кращу якість при тій самій кількості рівнів.

Кодування з лінійним передбаченням базується на використанні кореляції між сусідніми значеннями сигналу. Поточне значення прогнозується на основі попередніх, а кодується лише різниця між реальним і передбаченим значенням. Це дозволяє зменшити надмірність і підвищити ефективність стиснення.

Стиснення зображень може виконуватися без втрат або із втратами. Методи без втрат (наприклад, PNG, TIFF із стисненням) забезпечують точне відновлення даних. Методи із втратами (наприклад, JPEG) допускають певне спотворення сигналу, але дозволяють значно зменшити обсяг даних. Вибір методу залежить від вимог до якості та обсягу інформації.

Практичне завдання

1. Описати основні моделі джерел неперервних повідомлень.
2. Навести приклади детермінованих і випадкових сигналів.
3. Дати визначення диференціальної ентропії.
4. Пояснити відмінності між диференціальною та дискретною ентропією.
5. Описати процес аналого-цифрового перетворення.
6. Пояснити сутність дискретизації за часом.
7. Пояснити сутність квантування за рівнем.

8. Порівняти рівномірне та нерівномірне квантування.
9. Навести приклад нерівномірного квантування.
10. Пояснити принцип кодування з лінійним передбаченням.
11. Описати особливості стиснення зображень без втрат.
12. Описати особливості стиснення зображень із втратами.
13. Навести приклади алгоритмів для обох типів стиснення.
14. Порівняти ефективність різних методів кодування.

Методичні вказівки до виконання практичного завдання

Перед виконанням роботи необхідно ознайомитися з поняттям неперервного сигналу та його статистичними характеристиками. Особливу увагу слід приділити відмінностям між дискретними та неперервними джерелами.

На першому етапі необхідно розглянути моделі джерел неперервних повідомлень і навести приклади сигналів із різних галузей застосування.

Далі слід проаналізувати поняття диференціальної ентропії та пояснити її фізичний зміст. Доцільно порівняти її з ентропією дискретного джерела.

Під час вивчення аналого-цифрового перетворення необхідно послідовно розглянути процеси дискретизації та квантування. Рекомендується проілюструвати ці процеси графічно.

При аналізі квантування необхідно порівняти рівномірний та нерівномірний підходи, а також пояснити переваги використання нерівномірного квантування для певних типів сигналів.

Досліджуючи кодування з лінійним передбаченням, необхідно звернути увагу на використання залежностей між значеннями сигналу та ефект зменшення надмірності.

На завершальному етапі слід порівняти методи стиснення зображень без втрат та із втратами, оцінити їх переваги та обмеження.

Контрольні питання

1. Що таке джерело неперервних повідомлень?
2. Які моделі неперервних сигналів існують?
3. Що таке диференціальна ентропія?
4. Чим вона відрізняється від дискретної ентропії?
5. Що таке аналого-цифрове перетворення?
6. У чому полягає процес дискретизації?
7. У чому полягає процес квантування?
8. Які існують види квантування?
9. У чому різниця між рівномірним і нерівномірним квантуванням?
10. Що таке лінійне передбачення?
11. Які переваги має цей метод кодування?
12. Що таке стиснення без втрат?
13. Що таке стиснення із втратами?
14. Які алгоритми використовуються для стиснення зображень?

Зміст звіту

- назва практичної роботи;
- мета роботи;
- опис моделей джерел неперервних повідомлень;
- визначення диференціальної ентропії;
- опис процесу аналого-цифрового перетворення;
- порівняння методів квантування;
- опис кодування з лінійним передбаченням;
- аналіз методів стиснення зображень;
- висновки.

Практична робота 5. Інформаційні характеристики каналів зв'язку

Мета роботи – ознайомитися з основними моделями каналів зв'язку, дослідити інформаційні характеристики каналів та проаналізувати пропускну здатність і швидкість передавання інформації.

Ключові положення

Канал зв'язку є середовищем або системою, через яку передається сигнал від джерела до приймача. Залежно від властивостей сигналу та завад розрізняють різні моделі каналів. До основних належать дискретний канал без пам'яті, у якому кожна передача символу є незалежною, та неперервний канал із адитивним шумом, де сигнал спотворюється шумовою складовою. Особливим випадком є канал з адитивним білим гауссовим шумом, який широко використовується для моделювання реальних систем зв'язку.

Взаємна інформація є мірою кількості інформації, яку прийнятий сигнал містить про переданий. Вона характеризує ступінь залежності між вхідним і вихідним сигналами каналу та визначається на основі спільного та умовного розподілів імовірностей.

Швидкість передавання інформації визначає кількість інформації, що передається через канал за одиницю часу. Вона залежить від ентропії джерела, характеристик каналу та способу кодування.

Пропускна здатність каналу є максимальною швидкістю передавання інформації, при якій можливе передавання з довільно малою ймовірністю помилки. Вона визначається властивостями каналу та рівнем шумів.

Теорема Шеннона для неперервного каналу з адитивним білим гауссовим шумом встановлює граничну пропускну здатність такого каналу. Вона визначається через смугу пропускання каналу та відношення потужності сигналу до потужності шуму. Збільшення цього відношення або ширини смуги призводить до зростання пропускну здатності.

У каналі без завад пропускна здатність визначається лише технічними параметрами та обмежується швидкістю передавання сигналу. У каналі з завадами пропускна здатність зменшується через вплив шуму, що обмежує можливість безпомилкового передавання інформації.

Практичне завдання

1. Описати основні моделі каналів зв'язку.
2. Пояснити особливості дискретного каналу без пам'яті.
3. Пояснити особливості неперервного каналу з адитивним шумом.
4. Дати визначення взаємної інформації.
5. Записати формулу взаємної інформації $I(X;Y)$.
6. Пояснити фізичний зміст взаємної інформації.
7. Дати визначення швидкості передавання інформації.
8. Пояснити фактори, що впливають на швидкість передавання.
9. Дати визначення пропускної здатності каналу.
10. Сформулювати теорему Шеннона для каналу з шумом.
11. Записати формулу пропускної здатності каналу з АБГШ.
12. Пояснити вплив смуги пропускання на пропускну здатність.
13. Пояснити вплив рівня шуму на пропускну здатність.
14. Порівняти канал без завад і канал із завадами.

Методичні вказівки до виконання практичного завдання

Перед виконанням роботи необхідно ознайомитися з поняттям каналу зв'язку та його характеристиками. Особливу увагу слід приділити впливу шумів на процес передавання інформації.

На першому етапі необхідно розглянути основні моделі каналів зв'язку та визначити їх особливості. Доцільно навести приклади реальних систем, що відповідають кожній моделі.

Далі слід записати формулу взаємної інформації та пояснити її зміст. Рекомендується розглянути випадок повністю незалежних сигналів та випадок повної залежності.

При аналізі швидкості передавання необхідно врахувати як властивості джерела, так і характеристики каналу. Доцільно розглянути приклади зміни швидкості при різних умовах.

Під час дослідження пропускної здатності необхідно звернути увагу на її граничний характер. Особливу увагу слід приділити теоремі Шеннона та її практичному значенню.

Доцільно проаналізувати формулу пропускної здатності для каналу з адитивним білим гауссовим шумом та пояснити вплив основних параметрів.

На завершальному етапі необхідно порівняти канал без завад і канал із завадами та зробити висновки щодо обмежень реальних систем зв'язку.

Контрольні питання

1. Що таке канал зв'язку?
2. Які існують моделі каналів?
3. Що таке дискретний канал без пам'яті?
4. Що таке неперервний канал із шумом?
5. Що таке взаємна інформація?
6. Як вона визначається?
7. Що таке швидкість передавання інформації?
8. Що таке пропускна здатність каналу?
9. У чому полягає теорема Шеннона?

10. Яка формула пропускної здатності каналу з АБГШ?
11. Як впливає смуга пропускання на пропускну здатність?
12. Як впливає шум на передавання інформації?
13. Чим відрізняється канал без завад від каналу із завадами?

Зміст звіту

- назва практичної роботи;
- мета роботи;
- опис моделей каналів зв'язку;
- визначення взаємної інформації та її формула;
- визначення швидкості передавання інформації;
- визначення пропускної здатності каналу;
- формулювання теореми Шеннона;
- аналіз впливу шуму на канал;
- порівняння каналів із завадами та без завад;
- висновки.

Практична робота 6. Передавання інформації каналами зв'язку з завадами

Мета роботи – ознайомитися з методами передавання інформації у каналах із завадами, дослідити цифрові види модуляції та проаналізувати їх завадостійкість і ефективність.

Ключові положення

Передавання інформації у каналах із завадами супроводжується спотворенням сигналу, що зумовлює необхідність використання ефективних методів модуляції та демодуляції. Основними видами цифрової модуляції є фазова маніпуляція (PSK), частотна маніпуляція (FSK) та амплітудно-фазова маніпуляція (QAM). Вони відрізняються способом представлення цифрових символів у сигналі та мають різні характеристики завадостійкості та спектральної ефективності.

Оптимальна демодуляція базується на використанні статистичних критеріїв прийняття рішень. Критерій максимуму апостеріорної ймовірності передбачає вибір сигналу з максимальною ймовірністю за умови наявних спостережень. Критерій максимуму правдоподібності є окремим випадком і використовується, коли всі символи рівноймовірні. Обидва критерії дозволяють мінімізувати ймовірність помилки приймання.

Потенційна завадостійкість сигналів характеризує граничну здатність системи забезпечувати правильне приймання при наявності шумів. Вона визначається властивостями сигналів та методом їх обробки і оцінюється через ймовірність помилки при заданому відношенні сигнал/шум.

Сигнали різних видів модуляції мають різну завадостійкість. BPSK забезпечує найвищу завадостійкість серед простих схем, оскільки використовує максимальну відстань між сигналами у сигнальному просторі. QPSK має подібну завадостійкість при більшій швидкості передавання. Сигнали 8-PSK та 16-QAM забезпечують вищу спектральну

ефективність, але є більш чутливими до шумів, що призводить до зростання ймовірності помилки.

Енергетичні втрати виникають при використанні неоптимальних методів демодуляції і проявляються у необхідності збільшення енергії сигналу для досягнення тієї ж ймовірності помилки. Це може бути пов'язано з наближеними алгоритмами приймання або спрощенням реалізації системи.

Ширина спектра сигналу залежить від виду модуляції та швидкості передавання. Більш складні види модуляції дозволяють передавати більше інформації в тій самій смузі частот, але потребують кращих умов приймання. Таким чином, існує компроміс між спектральною ефективністю та завадостійкістю.

Практичне завдання

1. Описати основні види цифрової модуляції.
2. Пояснити принцип роботи PSK, FSK та QAM.
3. Порівняти характеристики різних видів модуляції.
4. Дати визначення критерію максимуму апостеріорної ймовірності.
5. Дати визначення критерію максимуму правдоподібності.
6. Пояснити відмінності між цими критеріями.
7. Дати визначення потенційної завадостійкості.
8. Порівняти завадостійкість BPSK, QPSK, 8-PSK та 16-QAM.
9. Пояснити причини відмінностей у завадостійкості.
10. Дати визначення енергетичних втрат.
11. Навести приклади втрат при неоптимальній демодуляції.
12. Пояснити залежність ширини спектра від виду модуляції.
13. Проаналізувати компроміс між завадостійкістю та спектральною ефективністю.

Методичні вказівки до виконання практичного завдання

Перед виконанням роботи необхідно ознайомитися з принципами цифрової модуляції та характеристиками каналів із завадами. Особливу увагу слід приділити поняттю відношення сигнал/шум.

На першому етапі необхідно розглянути основні види цифрової модуляції та пояснити, як здійснюється передавання символів у кожному випадку.

Далі слід проаналізувати критерії оптимальної демодуляції. Доцільно розглянути приклади прийняття рішень у шумовому середовищі.

Під час аналізу завадостійкості необхідно порівняти різні види модуляції за ймовірністю помилки. Рекомендується пояснити ці відмінності через геометричне розташування сигналів у сигнальному просторі.

При розгляді енергетичних втрат необхідно звернути увагу на вплив неоптимальних алгоритмів обробки сигналів.

Аналіз ширини спектра слід виконувати з урахуванням швидкості передавання та типу модуляції. Доцільно пояснити, як збільшення кількості рівнів сигналу впливає на спектральні характеристики.

На завершальному етапі необхідно зробити висновки щодо вибору оптимального виду модуляції залежно від умов передавання.

Контрольні питання

1. Які існують види цифрової модуляції?
2. У чому полягає принцип PSK?
3. У чому полягає принцип FSK?
4. У чому полягає принцип QAM?
5. Що таке критерій максимуму апостеріорної ймовірності?
6. Що таке критерій максимуму правдоподібності?
7. Що таке потенційна завадостійкість?
8. Яка модуляція має найвищу завадостійкість?
9. Як змінюється завадостійкість при збільшенні кількості рівнів сигналу?
10. Що таке енергетичні втрати?
11. Як вони виникають?
12. Від чого залежить ширина спектра сигналу?
13. У чому полягає компроміс між завадостійкістю та ефективністю?

Зміст звіту

- назва практичної роботи;
- мета роботи;
- опис видів цифрової модуляції;
- пояснення критеріїв демодуляції;
- аналіз завадостійкості сигналів;
- опис енергетичних втрат;
- аналіз спектральних характеристик;
- висновки.

Практична робота 7. Блокові коректувальні коди

Мета роботи – ознайомитися з принципами побудови блокових коректувальних кодів, дослідити методи виявлення та виправлення помилок, а також проаналізувати властивості кодів Хеммінга і циклічних кодів.

Ключові положення

Блокові коректувальні коди застосовуються для підвищення надійності передавання інформації шляхом додавання контрольної надлишковості. Основними параметрами таких кодів є довжина кодового слова, кількість інформаційних символів, кількість перевірочних символів та кодова відстань. Кодова відстань визначає здатність коду виявляти та виправляти помилки.

Виявлення помилок полягає у встановленні факту наявності помилки у прийнятому кодовому слові. Виправлення помилок передбачає визначення та корекцію спотворених символів. Для цього необхідна достатня кодова відстань, яка забезпечує можливість однозначного відновлення переданого слова.

Код Хеммінга є класичним прикладом блокового коду, що дозволяє виправляти одиничні помилки. Його побудова базується на введенні контрольних бітів у певні позиції

кодового слова. Декодування здійснюється шляхом обчислення синдрому, який вказує на позицію помилки.

Систематичний код є таким кодом, у якому інформаційні символи входять до кодового слова без змін, а контрольні символи додаються до них у визначеному порядку. Це спрощує процес кодування та декодування, оскільки інформаційна частина зберігається у явному вигляді.

Циклічні коди є підкласом блокових кодів, у яких будь-який циклічний зсув кодового слова також є кодовим словом. Вони реалізуються з використанням алгебраїчних методів, зокрема операцій над многочленами. Породжуючий многочлен визначає структуру коду та використовується для формування кодових слів і перевірки їх правильності.

Кодові границі встановлюють теоретичні обмеження на параметри кодів, зокрема співвідношення між довжиною коду, кількістю інформаційних символів і здатністю виправляти помилки. Вони використовуються для оцінювання ефективності кодів та вибору оптимальних параметрів.

Практичне завдання

1. Визначити основні параметри блокового коду.
2. Пояснити роль кодової відстані.
3. Порівняти процеси виявлення та виправлення помилок.
4. Описати принцип побудови коду Хеммінга.
5. Пояснити процес декодування коду Хеммінга.
6. Дати визначення систематичного коду.
7. Навести приклад систематичного коду.
8. Пояснити принцип роботи циклічних кодів.
9. Дати визначення породжуючого многочлена.
10. Пояснити роль породжуючого многочлена у кодуванні.
11. Дати визначення кодових границь.
12. Пояснити їх значення для оцінювання кодів.

Методичні вказівки до виконання практичного завдання

Перед виконанням роботи необхідно ознайомитися з основами теорії коректувальних кодів. Особливу увагу слід приділити поняттю кодової відстані та її впливу на здатність коду виявляти і виправляти помилки.

На першому етапі необхідно визначити параметри блокового коду та пояснити їх фізичний зміст. Доцільно навести приклади кодів із різними параметрами.

Далі слід розглянути відмінності між виявленням і виправленням помилок. Необхідно пояснити, як кодова відстань визначає ці можливості.

Під час вивчення коду Хеммінга необхідно розглянути схему розташування контрольних бітів та алгоритм обчислення синдрому. Доцільно виконати приклад кодування та декодування.

Розглядаючи систематичні коди, слід звернути увагу на збереження інформаційної частини повідомлення у кодовому слові.

Під час аналізу циклічних кодів необхідно ознайомитися з операціями над многочленами та пояснити роль породжуючого многочлена у формуванні коду.

На завершальному етапі слід розглянути кодові границі та пояснити їх значення для оцінювання ефективності кодів.

Контрольні питання

1. Які параметри має блоковий код?
2. Що таке кодова відстань?
3. У чому різниця між виявленням і виправленням помилок?
4. Як будується код Хеммінга?
5. Як здійснюється декодування коду Хеммінга?
6. Що таке систематичний код?
7. Наведіть приклад систематичного коду.
8. Що таке циклічний код?
9. Що таке породжуючий многочлен?
10. Яку роль він відіграє?
11. Що таке кодові границі?
12. Для чого вони використовуються?

Зміст звіту

- назва практичної роботи;
- мета роботи;
- опис параметрів блокових кодів;
- пояснення процесів виявлення та виправлення помилок;
- опис коду Хеммінга;
- визначення систематичних кодів;
- опис циклічних кодів;
- пояснення кодових границь;
- висновки.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

Основна

1. Розенвассер Д.М., Соловська І.М. Теорія інформації та кодування: навчально-методичні рекомендації для самостійної роботи здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) в галузі знань 12 Інформаційні технології, денної та заочної форми навчання [Електронне видання]. Кафедра комп'ютерних наук Міжнародного гуманітарного університету. Одеса, 2025. 23 с.
2. Іващенко П.В. Основи теорії інформації: навч. посіб. Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2015. 56 с.
3. Іващенко П.В., Перекрестов І.С., Розенвассер Д.М. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисциплін «Теорія зв'язку», «Інформаційні радіосистеми» і «Теорія інформації». Частина 1, 2. Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2013. 160 с.
4. Приходько С. І., Трубочанінова К. А., Батаєв О. П. Основи теорії інформації та кодування: Навч. посібник. – Харків: УкрДУЗТ, 2017. – 109 с., табл. 51.

Допоміжна

5. Подлевський Б.М., Рикалюк Р.Є Теорія інформації, Львів, ЛНУ імені Івана Франка, 2016, 339 с.
6. Тулякова Н. О. Теорія інформації: Навчальний посібник. - Суми: Видво СумДУ, 2008. 212 с.
7. Банкет В. Л., Іващенко П.В., Іщенко М.О. Завадостійке кодування в телекомунікаційних системах: навч. посіб. з вивчення модуля 4 дисципліни ТЕЗ. Одеса: ОНАЗ ім. О. С. Попова, 2011. 100 с.
8. V.Pedyash, A. Mazur, D. Rozenvasser Evaluation of quality parameters of an intensity-modulated optical transmission system // Springer, Odesa, Ukraine, 2021, Pages 21-37.
9. Denys Rozenvasser and Kateryna Shulakova Estimation of the Starlink Global Satellite System Capacity //Proceedings of International Conference on Applied Innovation in IT. Volume 11, Issue 1, pp. 55-59. – 2023.
10. Педяш, В., Мазур, Г., & Розенвассер, Д. (2023). Визначення довжини ділянки 3R регенерації ВОСП з поляризаційним мультиплексуванням. Measuring and computing devices in technological processes, (4), 177–182.
11. Rusu, O., Rozenvasser, D., Vakarchuk, A. (2025). Determination the Conversion Power of the Most Popular Switching Converters for Computer Systems. In: Dovgyi, S., Siemens, E., Globa, L., Kopyika, O., Stryzhak, O. (eds) Applied Innovations in Information and Communication Technology. ICAIIT 2024. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 1338. Springer, Cham. pp. 231-245.
12. Yona, L., Pedyash, V., Rozenvasser, D., Mazur, A., Bairamova, Y. (2025). Estimation of the Repeater Span Length of OTH Transmission System with QAM Modulation. In: Dovgyi, S., Siemens, E., Globa, L., Kopyika, O., Stryzhak, O. (eds) Applied In-novations in Information and Communication Technology. ICAIIT 2024. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 1338. Springer, Cham. pp. 431-443.

Інформаційні ресурси

13. Бібліотека Міжнародного гуманітарного університету: офіційний сайт. Режим доступу: <https://mu.od.ua/naukova-biblioteka>

14. Національна бібліотека України імені В. І. Вернадського: офіційний сайт. URL: <http://www.nbuv.gov.ua/>

Навчальне видання

Розенвассер Денис Михайлович

ТЕОРІЯ ІНФОРМАЦІЇ ТА КОДУВАННЯ

Методичні вказівки до виконання практичних робіт для здобувачів вищої освіти,
які навчаються за спеціальностями галузі «Інформаційні технології»

Українською мовою