**Лабораторна робота № 7**

**Оптимальне нерівномірне кодування методом Хаффмана**

***Мета роботи****:* дослідження властивостей нерівномірних кодів і методів їх отримання програмним шляхом.

**1. Підготовка до виконання роботи**

1.1. Опрацювати необхідний теоретичний матеріал в рекомендованому переліку літератури.

1.2. Опрацювати методичні вказівки до проведення лабораторної роботи, уяснити мету роботи та принцип її виконання.

1.3. Вивчити технічні описи приладів, що входять до складу лабораторного робочого місця, а також спеціалізованого пакету прикладних програм ПЕОМ.

1.4. Виконати необхідні попередні розрахунки.

1.5. Відповісти на питання самотестування, готовності до виконання роботи.

1.6. Для кожного пункту третього розділу проробити та запропонувати свій варіант методики досліджень в загальному вигляді із обґрунтуванням використання конкретної моделюючої програми із пакету прикладних програм. Варіант методики досліджень узгодити із викладачем.

1.7. Вибрати тип і структуру моделюючих сигналів та розрахувати конкретні їх параметри і діапазони їх можливих значень. Підготувати програму модель із урахуванням проведених розрахунків та узгодити її з викладачем.

1.8. Проаналізувати можливість розширення досліджень стосовно особливостей процесів дискретизації радіосигналів. Запропонувати варіанти додаткових досліджень та відповідні методики їх проведень в доповнення програми розділу 3.

**2. Короткі теоретичні відомості**

Задачею ефективного кодування є такий спосіб обробки дискретного сигналу, при якому середня кількість одиниць інформації на елементарне повідомлення настільки мала, наскільки це принципово можливо. При цьому потрібно так записати повідомлення, щоб по запису можна було відновити їх без втрат і помилок. К. Шенноном (ClaudeElwoodShannon) було доведено (1948 р.), що завжди можна побудувати таку систему ефективного кодування дискретного джерела, при якій середня кількість двійкових знаків на символ джерела як завгодно близька, але не менша за ентропію джерела на повідомлення.

В системі нерівномірного кодування кодові слова мають різну довжину *mi*, яка залежить від повідомлення*xi*,що кодується. Такий код характеризують середньою довжиною кодових слів:



Код вважається оптимальним, якщо *.*Якщо в повідомленнях джерела кодують не кожний символ, а блоки *x*' ∈ *Xn*, то оптимізаційна задача формулюється таким чином: мінімізувати , де *n* – довжина блоку *x*' (слова). Доведена теорема, згідно з якою середня довжина оптимального нерівномірного коду міститься в інтервалі



При невеликих об’ємах нерівномірний код може наочно представлятися у вигляді кодових дерев, як показано на рис. 1.



*Рис. 1. Кодове дерево*

Вузли дерева, що відходять від кореня на *i* ребер, утворюють ярус порядку *i*. Порядком вузла називають номер його ярусу. Порядком дерева називають максимальний з порядків його вузлів. Вузол, з якого не виходить жодного ребра, називається кінцевим. Якщо кодові слова відповідають тільки кінцевим вузлам, то код є префіксним. Для існування префіксного двійкового коду необхідно і достатньо виконання нерівності

,

яку називають нерівністю Крафта. У 1952 р. Д. Хаффман (DavidA. Huffman) знайшов нескладний спосіб оптимального кодування, який забезпечує отримання мінімальної середньої довжини кодових слів з усіх можливих для заданного джерела. Ключовим моментом в алгоритмі побудови оптимального коду є процесс утворення кодових слів за наступним принципом: повідомленню з мінімальною імовірністю ставиться у відповідність найдовше кодове слово.

Якщо двійковий код оптимальний, то кодове дерево повинно мати наступну обов’язкову властивість. З кожного внутрішнього вузла, а також з кореня, завжди повинні вийти 2 ребра. В іншому випадку єдине ребро можна було б «стиснути» в цей неповний вузол і тим самим скоротити середню довжину кодового слова. Процесс побудови кодового дерева починається від кінцевих вершин, яким на першому етапі привласнюються номери повідомлень, що кодуються разом з їх імовірностями. Другий етап, що складається з повторюваних операцій, виконуєтьс доти, поки не буде отримано корінь кодового дерева. На початку цього етапу відшукують пару вершин *vi, vj*, які не мають вхідних ребер і мають мінімальні імовірності *р*(*vi*) і *р*(*vj*). Потім додають нову вершину *vk* і з’єднують її парою ребер з *vi* і *vj*. Імовірність *р*(*vk*) знаходять як *р*(*vk*) = *р*(*vi*) + *р*(*vj*).

Після завершення цього кроку кількість вузлів, що не мають вхідних ребер, зменшується на одиницю. Якщо таких вузлів залишиться два, то вузол, що знову додається, буде коренем.

Ефективність кодування визначається надмірністю. Її мірою служить величина *D*, що показує, на скільки добре використовуються знаки данного джерела:



де *H*(*X*) *–*ентропія джерела, яке вибирає повідомлення з ансамблю з *L* елементів; *H*max(*X*) = log2*L* – максимально можлива ентропія такого ансамблю.

Якщо надмірність джерела дорівнює нулю, то створюванні повідомлення є оптимальні в сенсі найбільшої кількості інформації, що передається. Для передачі певної кількості інформації *I* при відсутності перешкод в цьому випадку необхідно *k*1 = *I* / *H*max(*X*) знаків.

Оскільки ентропія повідомлень, створюваних реальним джерелом, що має надмірність, менше максимальної, то для передачі тієї ж кількості інформації *I* знаків потрібно більше, а саме: *k*2 = *I* / *H*(*X*) > *k*1. Тому говорять також про надмірність знаків у повідомленні або просто про надмірність повідомлення, характеризуючи її тим же самим параметром *D:*



**3. Порядок виконання роботи**

3.1.Обрати файл для кодування/декодування, наприклад, будь-який файл .bmp або .txt з папки Windows та скопіювати його в робочу директорію програми.

3.2. Виконати програму «Huffman.exe» (рис. 2). Пересвідчитися, що декодований файл «unpacked.bmp» співпадає з оригіналом. Записати в звіт довжину вхідного та закодованого файлів, а також виведені на екран результати роботи програми.



*Рис. 2. Приклад робочого вікна програми*

3.3. Розрахувати фактично отриману середню довжину кодового слова, яка обчислюється за формулою:

*m*ф = *Nc* / *N*,

де *Nc* – довжина закодованої послідовності (в бітах); *N* – кількість закодованих повідомлень, тобто довжина вхідного файлу в байтах.

3.4. Розрахувати надмірність вхідного файлу і надмірність закодованої послідовності.

3.5. Розрахувати коефіцієнт стиснення інформації, що дорівнює відношенню довжини закодованої послідовності (в бітах) до довжини вхідного файлу (також в бітах).

3.6. Розглянути ансамбль повідомлень *X*2, елементами якого є двобайтні числа від 0 до 65535. Переробити програму для роботи з послідовністю з двох байт. Знов виконати пп.4-7 для кодування того ж самого файлу, але вже не побайтно, а послідовностями по 2 байта.

3.7. Повторити кодування-декодування і розрахунки (пп.3.1–3.6) ще для декількох будь-яких файлів та дослідити залежність ефективності кодування методом Хаффмана від типу зображення та його структури та насиченості елементами.

3.8. Виконайте дослідження ефективності методів стиснення відео- та аудіофайлів за допомогою одного з конверторів Media Coder, Freemake Video Converter, Convertio (або аналогічного за характеристиками) в залежності від типу та структури файлів.

**4. Обробка результатів досліджень**

4.1. За результатами досліджень заповнити таблицю стиснутих зображень та побудувати залежності параметрів кодованих зображень від їх властивостей за прикладом.

Розрахункові формули:

1. 
2. *m*ф = *Nc* / *N*,
3. *DВХ=1-H(X)/Hmax(X)*
4. *Hmax(X)=log2L*
5. *Dз=1-mmin/mф*
6. *Kс=Nc/(8\*N)*
7. *mт=H(X)*

**Приклад:**

Вхідні файли Декодовані файли



*Таблиця*

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 1.bmp | | 2.bmp | | 3.bmp | |
| X | X2 | X | X2 | X | X2 |
| Розмір початкового файлу, N байт | 389208 | | 5 602 | | 21 926 | |
| Розмір закодованого файлу, Nс бит | 2934872 | 2926864 | 44568 | 44464 | 174817 | 174606 |
| Ентропія ансамблю, H(X) | 7.501 | 7.501 | 7.916 | 7.916 | 7,95 | 7,95 |
| Надмірність ансамбля, Dвх | 0.062 | 0.531 | 0.011 | 0.505 | 0,00625 | 0,53125 |
| Теоретична середня довжина слова, mт | 7.501 | 7.501 | 7.916 | 7.916 | 7,95 | 7,95 |
| Фактична середня довжина слова, mф | 7.541 | 7.520 | 7.956 | 7.937 | 7,97 | 7,96 |
| Ентропія закодованої послідовності | 7.954 | 15.969 | 7.953 | 15.965 | 7.980 | 15.980 |
| Надмірність закодованої послідовності, Dз | 0.006 | 0.0019 | 0.006 | 0.002 | 0,0025 | 0,00126 |
| Коефіціент стиснення інформації, Кс | 0.943 | 0.940 | 0.994 | 0.992 | 0,99 | 0,995 |

Висновки: в ході роботи були проведені досліди з нерівномірного кодування методом Хаффмана однобайтним та двобайтним кодами. Для кодування було обрано два графічні та текстовий файли. Кодування-декодування файлів виконано безпомилково.

4.2. Виконати аналіз отриманих результатів та порівняти їх з теоретичними положеннями.

4.3. Результати досліджень оформити у вигляді звіту з наступним його захистом.

**Контрольні запитання**

1. Наведіть необхідну і достатню умову існування коду з властивістю однозначного декодування.

2. Визначте недоліки оптимальних нерівномірних кодів.

3. Визначте шлях отримання нерівномірного коду, в якому витрата бітів на одне повідомлення буде якомога близькою до мінімально можливої.

4. Чи можливо декодувати залишок повідомлення, якщо початок передачі невідомий?

5. Визначте мету та місце застосування методики Хаффмана в сучасних цифрових телевізійних технологіях.