

УДК 004.02

КОДУВАННЯ ФОРМИ МОВНОГО СИГНАЛУ НА ПЛІС

О.О. КВАСОВ, В.М. БОНДАРЕНКО, Н.О. БОНДАРЕНКО

Національний технічний університет України «КПІ»

Сформульовано вимоги до параметрів системи для кодування мови, одержано модель універсального декодера мовних сигналів, розроблено алгоритм універсального декодера АДІКМ і алгоритм, який реалізує метод АДІКМ кодування мовного сигналу на ПЛІС

Постановка завдання

Особливості функціонування каналів для передачі мовних даних і, перш за все, мережі Інтернет, висувають ряд специфічних вимог до мовних кодеків (вокодерів). Для кодування мовного сигналу в системах ІР-телефонії доцільним і природним є застосування кодеків із змінною швидкістю кодування. В основі кодека мови зі змінною швидкістю лежить класифікатор вхідного сигналу, що визначає ступінь його інформативності і, таким чином, задає метод кодування і швидкість передачі мовних даних.

Мета роботи

Метою роботи є реалізація кодека мови зі змінною швидкістю на ПЛІС.

Об'єкти та методи дослідження

Всі методи цифрового кодування мови можна розділити на дві категорії: кодери форми сигналу і кодери джерела. У свою чергу схеми кодування мови [1] можуть бути розділені на три основні класи (рис. 1). Хоча існують і інші, три виділені класи є найбільш дослідженими. Основне завдання цих схем кодування – проаналізувати вхідний сигнал, видалити надлишковість і відповідним чином закодувати інформативні частини сигналу. Для зниження швидкості цифрового потоку доводиться розробляти все більш складні методи усунення надлишковості.

Сформулюємо основні вимоги до параметрів системи кодування мови:

1. Швидкість – це діапазон необхідних швидкостей передачі. Для систем з більш низькою бітовою швидкістю потрібна менша смуга частот, з цієї причини вони забезпечують більш високу ефективність використання спектру та потужності.

2. Якість. Критерій, що використовується при порівнянні – наскільки добре звучить мова в ідеальних умовах – так звана чиста мова, без помилок передачі, тільки при кодуванні (зауважимо, однак, що в реальності ці ідеальні умови зустрічаються нечасто). Слід зазначити, що якість є суб'єктивним результатом вимірювання та оцінювання.

3. Порогова ймовірність помилки на біт. Більш високе значення порогової помилки веде до більш робастної структури системи, а, отже, до більш низьких вимог до співвідношення сигнал / шум і збільшення ємності мережі.

4. Затримки кодування системи передачі мови – це чинник, пов'язаний з характеристикою якості системи. Затримка кодування складається з алгоритмічної затримки, обчислювальної затримки та затримки в процесі передачі.

5. Складність і споживання енергії. У міру винаходу все більше «витончених» алгоритмів неминуче зростає складність обчислень.

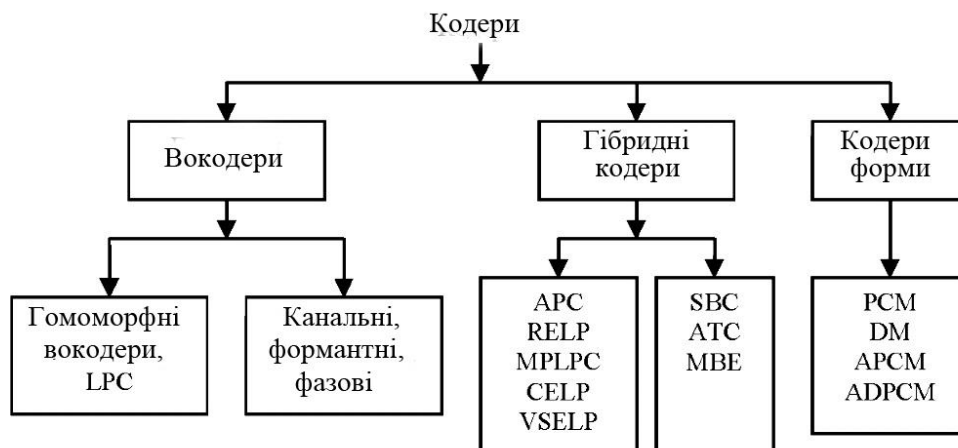


Рис. 1. Ієрархія систем кодування мовних сигналів

6. Обробка інших звукових сигналів. Канали зв'язку, призначені для передачі мовних сигналів, нерідко використовуються для передачі іншого роду сигналів, таких як сигнали від модему, факсу та ін. Статистичні параметри форми і спектр таких сигналів зовсім відмінні від відповідних параметрів мови, але, незважаючи на це, алгоритм обробки повинен оперувати з різними видами сигналів [2].

Якість мови та швидкість передачі – два конфліктуючих фактори. Чим нижче швидкість мовного кодера, тобто вище ступінь компресії сигналу, тим більше страждає якість – в даному випадку ступінь достовірності. Визначити та оцінити спотворення мови важче. Причина полягає в тому, що мовний сигнал сприймає не пристрій, а людина. На жаль, відсутність моделей сприйняття не дозволяє розробити об'єктивні методи оцінки спотворень мови. У таблиці наведено основні характеристики та усереднені експертні оцінки (УЕО) для алгоритмів кодування.

Порівняльний аналіз алгоритмів кодування

Кодер	Швидкість, кбіт/с	Затримка, мс	Продуктивність процесора, MIPS	УЕО
ІКМ з компандуванням	64	0,5	0,2	4,3
ДІКМ	40	1	3	4,1
АДІКМ	32	1	5,6	4,1
Вокодер LD-CELP	16	5	16	3,6
Вокодер GSM RPE	13	15	10	3,8
Вокодер CELP	8	20	15	3,7
Вокодер LPC	2,4	20	10	2,5

На основі одержаних даних можна стверджувати, що найбільш підходить алгоритм кодування АДІКМ – адаптивна диференціальна імпульсно-кодова модуляція (ІКМ).

Переваги систем з АДІКМ:

- 1) висока оцінка якості мовного сигналу;
- 2) зниження швидкості імпульсно-кодової модуляції (ІКМ) потоку до 32 кбіт / с;
- 3) мала затримка сигналу, отже малий джиттер (<5мс);

- 4) допускається відсутність аналогової передобробки сигналу;
- 5) існує можливість реалізації алгоритму на ПЛІС;
- 6) невисокі вимоги до продуктивності програмованих мікросхем;
- 7) підтримка цифрових протоколів передачі.

Недоліком систем з АДІКМ є наявність в системі додаткових пристроїв (спеціалізованих кодеків АДІКМ), що призводить до подорожчання системи [3].

Принципи побудови систем кодування мови на основі АДІКМ

Встановлено, що в мовних сигналах переважають низькочастотні компоненти, що повільно змінюються. Це означає, що різниця між сусідніми відліками сигналу відносно мала, тобто набагато менше абсолютної величини самих відліків. Таким чином, оцифрований мовний сигнал можна представити не відліками, а різницями сусідніх відліків, які менші за величиною і, отже, потребують менше біт для свого представлення. Щоб точніше передати скачки рівня гучності сигналів і усунути ефект пропорційного збільшення числа біт, необхідного для подання різниці величин сусідніх відліків при збільшенні гучності низькочастотних компонент і незмінному спектральному складі, застосовується адаптація. Тут під адаптацією мається на увазі, що кодування (квантування) різниці сусідніх відліків проводиться з урахуванням рівня гучності та динаміки зміни рівня гучності (амплітуди) оцифрованого мовного сигналу і його спектрального складу.

У найпростішому випадку крок квантування різниці величин сусідніх відліків пропорційний середній (або максимальній) амплітуді сигналу на даному часовому проміжку. В іншому варіанті АДІКМ крок квантування збільшується, якщо кілька разів поспіль різниця сягала 16 (за виділення 4 біт для квантування різниці), і зменшується, якщо різниця кілька разів поспіль була менше ніж, скажімо, 4.

Модель універсального декодера АДІКМ

Розглядаючи рекомендації мовних кодеків G.721, G.726, G.727 можна зробити висновок, що кількість параметрів, які визначають конкретну модель кодека, суворо обмежено, а значення їх дискретні. Аналізуючи функції помилок адаптивного передбачувача та інверсного адаптивного квантувача можна показати, що метод перебору дозволяє знайти такі значення параметрів декодера, при яких функції помилок мали б яскраво виражені мінімуми. Ці значення параметрів і будуть забезпечувати мінімальну кількість перевищень віртуального порогу [4]. Це положення дозволило, на основі аналізу математичної моделі стандартного декодера АДІКМ, розробити математичну модель універсального декодера, який при апріорній невизначеності методу кодування дозволяв би методом пробного декодування ідентифікувати алгоритм і декодувати прийняту АДІКМ - послідовність згідно з цим алгоритмом.

Функціонування моделі полягає в тому, що виробляється модифікація постійних параметрів декодера, які, по суті, і визначають тип кодека АДІКМ.

До таких параметрів відносять:

- коефіцієнти інверсного квантувача;
- вагові коефіцієнти рівнів квантування – M ;
- значення порядку передбачувача – n ;
- значення коефіцієнтів обмеженої пам'яті – w [5].

Дана математична модель передбачає наявність схеми підрахунку кількості перевищень

віртуального порогу і модифікації постійних параметрів декодера. На основі запропонованої математичної моделі було розроблено алгоритм роботи універсального декодера АДІКМ. Сутність даного алгоритму полягає в наступному: спочатку встановлюються параметри декодера від початку хибні, та проводиться декодування АДІКМ послідовності заданої довжини. Потім підраховується кількість перевищень рівня віртуального порогу. Якщо ця кількість складає більше 1,5% від загального обсягу вибірки, то здійснюється модифікація сукупності параметрів, які визначають яку-небудь конкретну модель кодека, тобто здійснюється перебір всіх відомих стандартних декодерів. Якщо стандартний декодер визначити не вдалося, тоді з сукупності параметрів, які визначають декодер, вибирається один, визначається напрям зміни його значення, це значення змінюється та здійснюється пробне декодування тієї ж послідовності з метою визначення кількості перевищень віртуального порогу. Далі вибраний параметр знову модифікується і послідовність декодується заново. Якщо кількість перевищень віртуального порогу в другому випадку перевищить кількість перевищень в першому, то напрямок подальшої зміни обраного параметра змінюється на протилежний. Модифікація параметру і пробне декодування здійснюється кілька разів з метою знаходження мінімальної кількості перевищень віртуального порогу K . Значення параметру, при якому величина K буде мінімальна, фіксується. Аналогічні процедури здійснюються для фіксації всіх інших параметрів. Після визначення значень всіх параметрів здійснюється декодування всієї послідовності.

Таким чином, робота даного алгоритму здійснюється у два етапи. На першому етапі визначається будь-який декодер з стандартного набору. На другому етапі, при неможливості визначення стандартного декодера, пошук справжніх значень параметрів декодера здійснюється методом перебору. Для практичної реалізації запропонованого алгоритму може бути використана в якості базової схема стандартного АДІКМ - декодера, побудована за принципом системи зі змінною структурою.

Реалізація алгоритму кодування АДІКМ на ПЛІС

Реалізуємо алгоритм кодування АДІКМ, сумісний з рекомендацією G.726, на мікросхемі ПЛІС [6, 7]. Для цього змодельуємо аналог АДІКМ - процесора TP11368 фірми National Semiconductor на мікросхемі ПЛІС (рис. 2).



Рис. 2. Спрощена структурна схема АДІКМ процесора на ПЛІС

Для зручності використання та конвертування проекту опис структури ПЛІС виконаємо на мові опису Verilog. Вбудовані компілятори дають можливість використовувати даний алгоритм як для ПЛІС фірми Xilinx, так і для мікросхем ПЛІС фірми Altera. Оскільки час, який витрачається на кодування та декодування (8 і 5 тактів), значно менший, ніж час роботи каналів в АДІКМ - процесорі TP11368 (операції виконуються по 123 такти кожна), то кодером, побудованим на основі ПЛІС, можна обробляти більш каналів, що підкреслює економічну доцільність такого підходу.

Висновки

У ході виконаних досліджень алгоритмів кодування мови отримані наступні результати:

1. На основі порівняльного аналізу існуючих кодерів мовного сигналу та вимог, які пред'являються до системи кодування мови, в якості алгоритму кодування обрана адаптивна диференціальна імпульсно-кодова модуляція.

2. Запропоновано методику адаптивного декодування сигналу та можливість створення універсального декодера АДІКМ, який дозволяв би методом пробного декодування ідентифікувати алгоритм і декодувати прийняту АДІКМ - послідовність згідно з цим алгоритмом.

3. Реалізовано алгоритм кодування мовних сигналів і програмне забезпечення на мові опису апаратних засобів Verilog, що дає можливість використовувати даний алгоритм як для ПЛІС фірми Xilinx, так і для мікросхем ПЛІС фірми Altera. При цьому операція кодування виконується за 8 тактів частоти тактового сигналу (16 МГц), а декодування – за 5 тактів.

Запропоновані рішення в області кодування мовних сигналів дозволяють поліпшити якісні показники кодування мовних сигналів на основі систем зі змінною структурою.

ЛІТЕРАТУРА

1. Росляков А.В., Самсонов М.Ю., Шибяева И.В. IP-телефония. – М.: Эко-Трендз, –2003. –252 с.
2. Ворсано Д. Н. Кодирование речи в цифровой телефонии // Сети и системы связи. – 1996. – №8. – 227 с.
3. Зюко А.Г., Банкет В.Л., Лехан В.Ю. Методы низкоскоростного кодирования при цифровой передаче речи // Зарубежная радиоэлектроника. – 1986. – №11. – с. 53–70.
4. Коротаев Г.А. Анализ и синтез речевого сигнала методом линейного предсказания // Зарубежная радиоэлектроника. – 1990. – №3. – 252 с.
5. Aikoh S., Nishitani T., Ozawa K., Marita R. A 32 kbit/s toll quality ADPCM codec using a single chip processor // Speech. Sig. Process. – France, –1982. – Vol. 2. – 963 p.
6. ITU-T Recommendation G.721 32 kbit/s Adaptive ADPCM. – 1990. – 43 p.
7. ITU-T Recommendation G.726 40, 32, 24, 16 kbit/s Adaptive Embedded ADPCM. – 1990. – 68 p.