

Магістрант Гара К.В.

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»**

АЛГОРИТМИ ЕХОЗАГЛУШЕННЯ В СИСТЕМАХ КОНФЕРЕНЦ- ЗВ'ЯЗКУ В СЕРЕДОВИЩІ IP- ТА TDM-ТЕЛЕФОНІЇ

Abstract

Kirill Gara, student

Echo cancellation algorithms in IP and TDM voice conferencing solutions

This paper covers various algorithms and solutions of echo cancellation in voice conferencing. There are several algorithms proposed and analyzed. Among them there are blind signal restoration, infinite impulse response, finite impulse response filters and least mean squares filter usage as an optimizer for both previous.

Вступ

Однією з важливих проблем під час створення системи конференц-зв'язку у конвергованій мережі є наявність відлуння (або ехо), що виникає у синхронних мережах передачі голосу, аналогових лініях та, навіть, на кінцевих пристроях користувачів. За великої кількості присутніх користувачів у конференції проблема стає надзвичайно гостро.

Під час впровадженні системи конференц-зв'язку, важливо спиратися на потужні та якісні DSP (Digital signal processing) ресурси системи (програмні або апаратні). Серед інших задач DSP ресурси займаються і задачею ехозаглушення. Цей аспект, проблеми і можливі шляхи реалізації DSP для ехозаглушення і розглядаються у цій статті.

Постановка задачі

У статті проводиться дослідження особливостей алгоритмів ехозаглушення, що використовуються для якісного відновлення голосових сигналів.

Розглядається варіант додання до системи конференц-зв'язку власної розробки, можливостей та функціональності ехозаглушення на основі адаптивного НІХ (Нескінченної Імпульсної Характеристики, Infinite impulse response, IIR) фільтра.

Методи та підходи до розв'язання поставленої задачі

Аналітично ревібруючий сигнал, прийнятий мікрофоном, можна представити у вигляді [1]

$$x(t) = u(t) + \sum_{j=1}^J a_j u(t - T_j), \quad (1)$$

де $u(t)$ - вихідний сигнал,

α_j - амплітуда j -го відзвуку,

T_j - час запізнювання j -го відзвуку щодо прямого сигналу.

Приміщення досить вичерпно характеризується імпульсною характеристикою [1]

$$g(t) = \sum_{j=1}^J \alpha_j \delta(t - T_j), \quad (2)$$

де $\delta(t - T_j)$ - дельта функція, $\alpha_0 = 1$, $T_0 = 0$.

Завдання відновлення вихідного сигналу можна розв'язати, створивши інверсний фільтр, комплексний коефіцієнт передачі якого, в ідеальному випадку, повинен визначатися виразом [2]

$$A(j\omega) = \frac{1}{F(j\omega)} \quad (3)$$

Сліпе вирівнювання, засноване на критерії максимальної правдоподібності

Для того, щоб показати роботу алгоритму, у якості моделі сигналу, прийнятого мікрофоном, прийнемо наступну [1, 2]

$$x(n) = \sum_{j=1}^J a_j u(n - j) + \eta(n) \quad (4)$$

Тут модель, описана формулою (1), доповнена шумом $\eta(n)$, який складається з теплового шуму, створюваного, наприклад, мікрофоном, шуму, створюваного іншими, заважаючими джерелами акустичних сигналів, що перебувають у цьому ж приміщенні або поза ним. Якщо розглядати окремо сигнали, сприйняті мікрофоном від кожного джерела, що заважає, то внаслідок проходження кожного сигналу через акустичний простір повинен збільшитися інтервал кореляції прийнятого сигналу.

Однак, якщо розглядати сукупність сигналів, отриманих мікрофоном, то інтервал кореляції сукупної шумової складової буде зменшуватися з ростом числа джерел, тому що для кожного джерела, що заважає, амплітуди відбитих сигналів і їх тимчасові затримки носять випадковий характер [2]. Щільність розподілу ймовірностей шуму $\eta(n)$ зі збільшенням

кількості джерел, що заважають, буде збігатися до гауссової відповідно до центральної граничної теореми. Для спрощення аналізу алгоритмів "сліпого" відновлення сигналів даного класу припустимо, що кількість джерел, що заважають, досить велика для того, щоб вважати шумову складову δ -корельованим гаусовим випадковим процесом. У цьому випадку відліки шумової складової статистично незалежні.

У відсутності вихідного дискретного сигналу $u^{(n)}$ спільна щільність розподілу ймовірностей доступного для спостереження фрагмента сигналу $x(b), n \in [0 \dots N]$, з урахуванням статистичної незалежності відліків шумової складової, буде мати вигляд

$$p(x(0), x(1) \dots x(N)) = p(x) = \exp\left[-\frac{1}{2\delta} \sum_{n=0}^N \eta^2(n)\right] \quad (5)$$

$$\alpha^{(m)} = R^{(m)-1} P^{(m)}_{ux} \quad (6)$$

Отримавши m -ту оцінку вектора вагових коефіцієнтів імпульсної характеристики маємо [3]

$$\sum_{n=0}^N (x(n) - \alpha^{(m)} u^{(m)})^2 \rightarrow \min \quad (7)$$

Таким чином, застосування критерію максимальної правдоподібності для "сліпого" відновлення вихідного сигналу вимагає значних обчислювальних ресурсів. Описані способи оцінки імпульсної характеристики (а відповідно й вихідного сигналу) знайшли застосування саме в цифрових системах зв'язку, коли число комбінацій M вектора u значно менше числа комбінацій, що виникають при відцифровці мовних сигналів, де число комбінацій буде визначатися довжиною вектора u порядком АЦП при однакових розмірах вектора даних N .

Вирішення задачі на основі адаптивного НІХ фільтра

Для вирішення поставленої задачі шляхом впровадження програмного цифрового фільтра доцільно використовувати так звані СІХ (Скінченої Імпульсної Характеристики, Finite Impulse Response, FIR) або НІХ фільтри. Розглянемо інверсний НІХ-фільтр, порядок якого може бути менший в порівнянні з порядком інверсного СІХ-фільтра для одержання тих самих величин ехозаглушення. Крім того, НІХ-Фільтр забезпечує кращу збіжність у порівнянні з КІХ-Фільтром [3, 4]. Структурна схема фільтра показана на рис. 1.

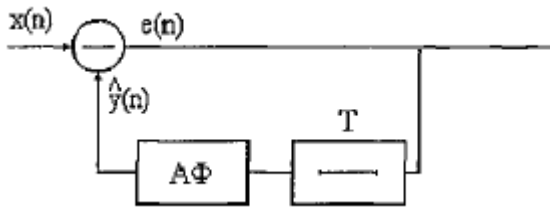


Рис. 1. Адаптивний інверсний НІХ-фільтр

Сигнал на виході буде визначатися наступним виразом

$$e(n) = x(n) - \sum_{i=0}^I a_i e(n-i-T), \quad (8)$$

де a_i – коефіцієнт фільтра, I – порядок фільтру.

Застосуємо критерій мінімізації середньоквадратичного відхилення (СКВ) сигналу на виході адаптивного інверсного фільтра. Однак зі збільшенням порядку адаптивного НІХ-фільтра ця функція збіжна до унімодальної. З огляду на це, можна застосувати алгоритм градієнтного пошуку для знаходження оптимальних вагових коефіцієнтів, не хвилюючись, що буде знайдений локальний мінімум СКВ вихідного сигналу й неоптимальний вектор вагових коефіцієнтів.

Коефіцієнти адаптивного фільтра можуть бути розраховані за формулою

$$a_i(n+1) = a_i(n) + \mu M[e(n)\beta_i(n)], \quad (9)$$

де через $\beta_i(n)$ позначимо значення похідних від сигналу на виході по коефіцієнту a_i в даний момент часу. Загальне число фільтрів в системі зростає з одного до $I+1$, один з яких адаптивний. Алгоритм отримання коефіцієнтів досить просто реалізувати на ЕОМ.

Слід зазначити, що НІХ фільтр вимагає постійної перевірки умов сталості. Виходом з даної ситуації є перетворення НІХ-фільтра, спроектованого за канонічною схемою, в ґратчасту структуру [2,3].

На користь застосування ґратчастої структури свідчать декілька фактів:

1. При адаптації коефіцієнтів ґратки за допомогою LMS алгоритму оптимальні значення коефіцієнтів можуть бути знайдені за менше число ітерацій у порівнянні з кількістю ітерацій, необхідних для знаходження коефіцієнтів НІХ-фільтра, побудованого за канонічною схемою. Тому що коефіцієнти ґраток з різними індексами незалежні один від одного, то можна збільшити швидкість збіжності, якщо для кожного коефіцієнта ґратки підібрати свій коефіцієнт збіжності.

2. Ґратчаста структура завжди стійка, якщо $|k_i| < 1$. Ця умова робить перевірку на стійкість НІХ-фільтра, побудованого за ґратчастою структурою, простим завданням.

Отриману систему зручно застосовувати, коли величина декорелюючої затримки становить один відлік і цієї затримки досить (наприклад, для відновлення δ -корельованих сигналів).

Висновки

У підсумку варто зазначити, що було проаналізовано найбільш оптимальними, з точки зору програмної реалізації, алгоритмами ехоzagлушення. Серед них було обрано найкращий підхід на даний момент (адаптованих НІХ-фільтр), теоретично розглянуті варіанти вдосконалення цього підходу (перехід до гратчастої структури). Було вивчено та пристосовано методи LMS та NLMS для адаптації коефіцієнтів. Загалом, обрано чіткий архітектурний вектор створення DSP ресурсів ехоzagлушення конференц-сервера.

Після зроблених порівняльних висновків можна сказати, що система ехоzagлушення для сервісів ІР телефонії та серверу конференц зв'язку опиратиметься на найкращі теоретичні засади та найперспективніші науково-технічні розробки.

Література

1. *Выходец А.В., Гитлиц М.В., Ковалгин Ю.А.* Радиовещание и электроакустика: Учебник для вузов/: Радио и связь, 1989. – 432с.
2. *Шелухин О.И. Лукьянцев Н.Ф.* Цифровая обрботка и передача речи. – М.: Радио и Связь, 2000. – 797с.
3. *Baccarelli E., Galli S.* A new approach based on “soft statistics” to the nonlinear blind deconvolution of unknown data channel // IEEE Trans. On Sig. Proc. – 2001.-vol. 49.-P.1481-1491.
4. *Abend K. Fritchman B.* Statistical detection for communication channels with intersymbol interference // Proc. IEEE. – 1970.- vol.58.-P779-758.