

пакетных коммутаторов следующих поколений (3G, 4G, ...), разработка которых в бурно развивающемся рынке мобильной связи, весьма востребована.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Abbreviations GSM/GPRS. – Copyright (C) Siemens AG 2000.
2. ETSI TC-SMG "Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); General description of a GSM Public Land Mobile Network (PLMN)" (GSM 01.02).
3. ETSI TC-SMG "Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); Mobile Application Part (MAP) specification" (GSM 09.02 version 5.8.0).

Галкин Андрей Георгиевич

Аспирант кафедры СиУТ

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г.Минск

Тел.: (+375 29) 777-65-43

E-mail: ag@mts.by

Конопелько Валерий Константинович

Заведующий кафедрой СиУТ, д-р техн. наук, профессор

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г.Минск

Тел.: (+375 17) 202-00-27

УДК 621.395

ЛИВШИЦ М.З.

ЛИНЕЙНОЕ ПРЕДСКАЗАНИЕ ПРИ ОБРАБОТКЕ СИГНАЛОВ В НЕРАВНОМЕРНЫХ ЧАСТОТНЫХ ШКАЛАХ

Исследуется линейное предсказание в неравномерной частотной шкале и осуществляется его сравнительный анализ с традиционным линейным предсказанием в составе модели широкополосного CELP-кодера.

ВВЕДЕНИЕ

Параметрическое представление спектра с помощью линейного предсказания (ЛП) является одним из распространенных подходов в кодировании речевых и аудио сигналов. По сравнению с непараметрическими подходами, кодирование на основе ЛП обеспечивает большую компрессию спектральной информации, так как огибающая спектра может быть представлена несколькими коэффициентами полюсного фильтра, для которых существуют очень эффективные алгоритмы сжатия. Система кодирования на основе ЛП может быть подстроена таким образом, чтобы ее частотное разрешение близко аппроксимировало критическую шкалу частот. Представление различных реализаций фильтров в [1, 2] показывает возможность применения параметрической оценки спектра и методов линейной фильтрации с учетом неравномерной частотной шкалы (НЧШ).

ДЕФОРМИРОВАНИЕ ЧАСТОТНОЙ ОСИ

Передачная функция всепропускающего фильтра первого порядка определяется следующим образом:

$$z^{-1} \rightarrow D(z) = \frac{z^{-1} - a}{1 - az^{-1}} \tag{1}$$

Фазовая характеристика $D(z)$ определяется как

$$\omega^* = \arg(D(e^{-j\omega})) = \omega + 2 \arctan\left(\frac{a \sin \omega}{1 - a \cos \omega}\right) \text{ для } \begin{cases} z = e^{j\omega} \\ z^* = e^{j\omega^*} \end{cases} \tag{2}$$

Фазовая функция определяет деформацию частотной оси. Условием стабильности фильтра является $|a| < 1$. В зависимости от знака a , растягивается низкочастотный ($a > 0$) или высокочастотный ($a < 0$) диапазон. В работе [3] были получены аналитические выражения, по которым для заданной частоты дискретизации f_s рассчитывается значение коэффициента a , при котором аппроксимируется психоакустическая шкала барков и ERB:

$$a_{Bark} = 0.1957 - 1.048 \cdot \left[\frac{2}{\pi} \arctan\left(0.07212 \frac{f_s}{1000}\right) \right]^{\frac{1}{2}} \tag{3}$$

$$a_{ERB} = 0.7164 \cdot \left[\frac{2}{\pi} \arctan\left(0.09669 \frac{f_s}{1000}\right) \right]^{\frac{1}{2}} + 0.08667 \tag{4}$$

В работе [4] было показано, что значения $a = -0.42$ для $f_s = 16$ кГц хорошо аппроксимирует шкалу MEL. Деформация частотной оси для критических шкал представлена на рис.1.

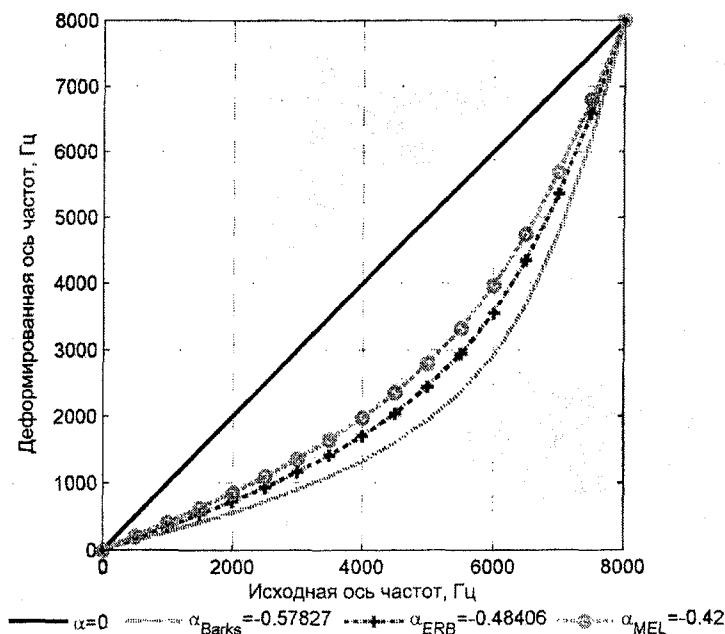


Рис.1. ЛП в НЧШ: деформация частотной оси в соответствии с критической шкалой

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЛЬТРОВ С УЧЕТОМ НЧШ

Фильтр ошибки предсказания или инверсный фильтр с учетом выражения (1) можем записать как

$$A(z) = 1 - \sum_{k=1}^p \alpha_k D(z)^k \quad (5)$$

при этом выражение для синтезирующего фильтра примет вид

$$A^{-1}(z) = \frac{1}{1 - \sum_{k=1}^p \alpha_k D(z)^k} \quad (6)$$

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ

Сравнение ЛП и ЛП в НЧШ в настоящей работе проводилось в составе модели широкополосного CELP-кодера [5]. Тестовый материал с частотой дискретизации $f_s = 16$ кГц и общей длительностью 5 мин. был взят из базы данных TIMIT. Сравнительный анализ моделей и величины спектрального контраста представлен в табл. 1 и табл. 2, соответственно.

Таблица 1 – Сравнение традиционного ЛП и ЛП в НЧШ

Вид линейного предсказания	Качество предсказания Prediction Gain, дБ	Пологость спектра оригинального сигнала SFM_{SRC}	Пологость спектра остаточного сигнала SFM_{RES}	Обедряющая способность инверсного фильтра INV_W , дБ	Качество реконстр. сигнала SNR_{SEG} , дБ
ЛП	21.9689	0.23	0.1103	6.3830	14.5879
ЛП в НЧШ _{Barks}	23.8541	0.23	0.0820	8.9582	12.7856
ЛП в НЧШ _{ERB}	17.6952	0.23	0.1140	6.0964	10.1193
ЛП в НЧШ _{MEL}	22.6598	0.23	0.0829	8.8635	12.7519

Таблица 2 – Оценка спектрального контраста

Вид линейного предсказания	Спектральный контраст SC, дБ			
	Порядок фильтра-предсказателя			
	10	12	14	16
ЛП	28.3919	28.8094	28.8819	28.9442
ЛП в НЧШ _{Barks}	29.6973	29.8754	34.4900	37.6917
ЛП в НЧШ _{ERB}	20.4188	24.3411	27.2825	29.2122
ЛП в НЧШ _{MEL}	28.1518	28.6710	34.0685	36.6723

Пример АЧХ фильтра-предсказателя для традиционного ЛП и ЛП в НЧШ представлен на рис. 2.

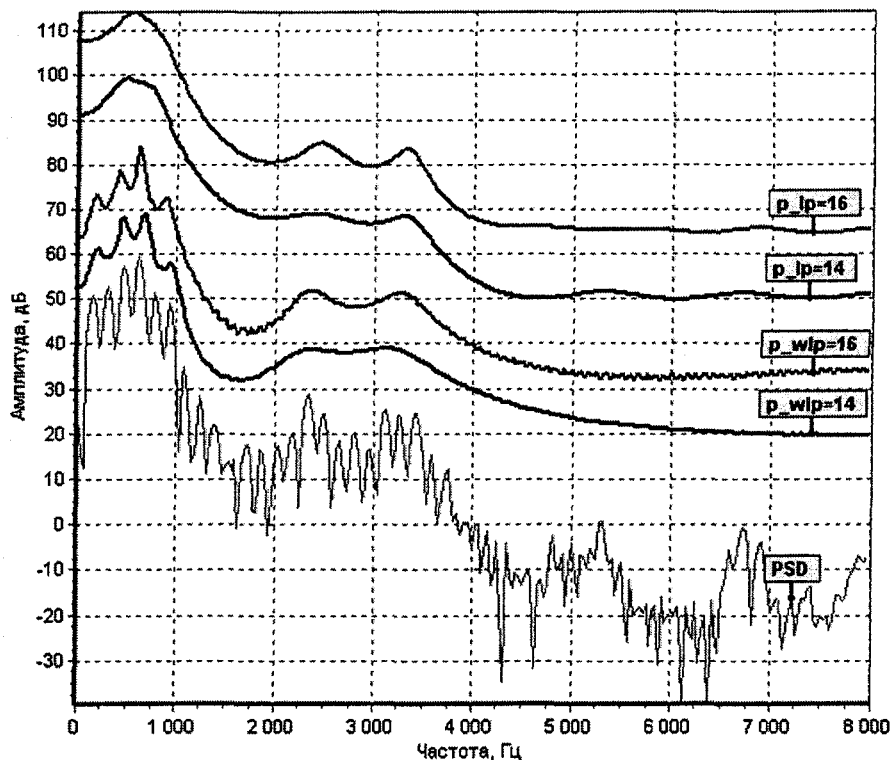


Рис.2. ЛП в НЧШ: сравнение АЧХ традиционного синтезирующего фильтра (с порядком $p_{lp}=14$ и $p_{lp}=16$) и неравномерного, аппроксимирующего шкалу барков ($p_{wlp}=14$ и $p_{wlp}=16$)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ данных табл.1 и табл.2 показывает, что ЛП в НЧШ с меньшим порядком обеспечивает существенный прирост качества по сравнению с традиционным ЛП. Как видно из рис.2, АЧХ фильтра при ЛП в НЧШ в области низких частот более точно описывает спектр анализируемого фрейма сигнала. Таким образом, на основании экспериментальных данных, можно сделать вывод о том, что ЛП в НЧШ может служить основой параметрической системы кодирования аудиосигнала, учитывающей частотно зависимое поведение аудиторной системы человека.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Härmä A. Implementation of recursive filters having delay free loops // Proc. IEEE Int. Conf. Acoustics, Speech, and Signal Processing, Seattle, Washington, May 1998. – Vol.3. – p.1261-1264
2. Härmä A. Implementation of frequency-warped recursive filters // Signal Processing, February 2000. – Vol.80. – No.3. – p.543-548
3. Smith J.O., Abel J.S. Bark and ERB bilinear transforms // IEEE Trans. Speech and Audio Processing, November 1999. – Vol.7. – No.6. – p.697-708
4. Koishida K., Hirabayashi G., Tokuda K., Kobayashi T. A 16kb/s wideband CELP-based speech coder using mel-generalized cepstral analysis // IEICE Trans. Inform. and Systems, April 2000. – Vol.E83-D. – No.4. – p.876-883
5. Лившиц М.З., Петровский А.А. Многоуровневое векторное квантование речевого сигнала по мультиполосной кодовой книге в широкополосном CELP-кодере с психоакустической мотивацией // Цифровая обработка сигналов и ее применение: труды РНТОРЭС им. А.С.Попова. – Вып. VI-1. – М., 2004. – с.119-123