

УДК 004.934

И. О. Архипов, кандидат технических наук, доцент, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова
М. А. Алёгин, магистрант, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ АЛГОРИТМА ШУМООЧИСТКИ АКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ В СИСТЕМАХ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

Проанализированы параметры алгоритма шумоочистки акустических сигналов, основанного на методе спектрального вычитания. Выявлены наиболее оптимальные для использования в системах передачи речи параметры с точки зрения степени очистки, слухового восприятия и рационального использования ресурсов.

Ключевые слова: сигналы, шумоочистка, спектр, БПФ, анализ.

Шумоочистка акустических сигналов находит широкое применение во многих сферах. К этим сферам можно отнести определение параметров речевого сигнала [1], цифровую телефонию, видеоконференции и голосовые чаты, реставрацию записей со старых носителей, сжатие сигналов [2]. Также шумоочистка может использоваться и при предварительной подготовке речевого сигнала к выполнению над ним других операций (например, распознавание речи или распознавание диктора).

Метод спектрального вычитания (рис. 1) считается одним из наиболее эффективных и широко применяемых для шумоочистки звуковых сигналов [3]. Метод основан на вычитании значений амплитудного спектра шума из соответствующих значений спектра сигнала [3, 4].

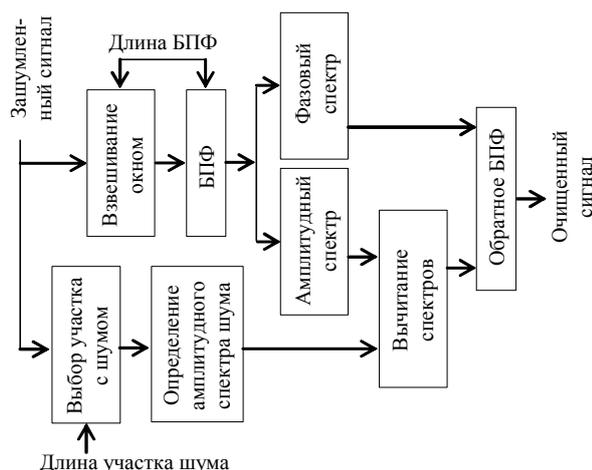


Рис. 1. Шумоочистка методом спектрального вычитания

Особенностью метода является необходимость наличия источника для определения спектра шума. В подавляющем большинстве случаев для этого ис-

пользуются паузы в речи. Поэтому качественная очистка возможна только в случае стационарности шума на периодах оценки его спектра и использования [3, 5]. Однако не только стационарность шума может влиять на качество очистки. Существует несколько параметров, которые необходимо определять при применении метода спектрального вычитания на практике. К ним относятся: длина окна БПФ, тип оконной функции, длина интервала, на котором вычисляется усредненный амплитудный спектр шума, процент перекрытия кадров анализа. Перечисленные выше параметры могут влиять на качество очистки сигнала от шума.

Для определения наилучшего сочетания параметров был проведен ряд экспериментов с различными значениями параметров при различной шумовой загрязненности входных речевых сигналов. Входные данные были представлены в виде wav-файлов с частотой дискретизации 44,1 кГц и разрядностью 16 бит, а для оцениваемых параметров были использованы следующие наборы значений:

1. N – длина окна БПФ (1024, 2048, 4096).
2. Тип окна (прямоугольное, Ханна, Хемминга, Тьюки, синус-окно, Ланцоша, треугольное, Гаусса для σ , равного 0,3, 0,4, 0,5 и 1,2, Бартлетта – Ханна, Блэкмана, Кайзера для β равного 8).
3. Длина интервала, на которой вычисляется усредненный амплитудный спектр шума в кадрах анализа (N , $2N$, $4N$, $5N$, $6N$, $7N$).
4. Процент перекрытия кадров анализа (0 %, 25 %, 50 %, 75 %, 87,5 %).

Первоначально была определена длина интервала анализа для вычисления усредненного амплитудного спектра шума для пяти речевых сигналов с различным уровнем шума при неизменном перекрытии кадров анализа, равном 50 %, и длине БПФ, равной 2048 отсчетов. Далее экспериментально определили величину изменения отношения сигнал/шум для очищенных сигналов по сравнению с исходными.

Основные показатели, полученные в результате проведения данной серии вычислений, представлены в табл. 1.

Таблица 1. Величина изменения отношения сигнал/шум после шумоочистки в зависимости от типа окна и длины интервала вычисления усредненного амплитудного спектра шума

Тип окна	Изменение отношения сигнал/шум после шумоочистки при разных длинах интервала вычисления усредненного амплитудного спектра шума, дБ					
	N	$2N$	$4N$	$5N$	$6N$	$7N$
Прямоугольное	1	2	4	5	5	5
Ханна	3	5	7	8	8	8
Хемминга	3	5	7	8	8	8
Тьюки	1	4	6	7	7	7
Синус-окно	2	5	7	8	8	8
Ланцоша	2	5	7	8	8	8
Треугольное	4	6	8	9	9	9
Гаусса, $\sigma = 0,3$	4	6	7	8	8	9
Гаусса, $\sigma = 0,4$	4	6	7	8	8	9
Гаусса, $\sigma = 0,5$	2	5	7	8	8	8
Гаусса, $\sigma = 1,2$	4	6	7	8	8	9
Бартлетта – Ханна	5	7	9	10	10	10
Блэкмана	4	6	7	8	8	8
Кайзера, $\beta = 8$	1	4	7	7	7	7

Из таблицы были выбраны данные двух наилучших окон (Бартлетта – Ханна и треугольного) и построены графики зависимости степени очистки от отношения длины интервала вычисления усредненного амплитудного спектра шума (рис. 2).

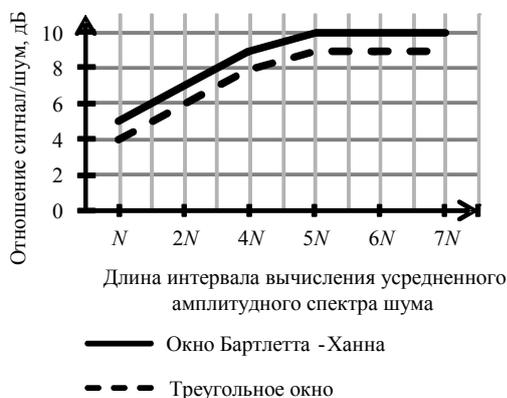


Рис. 2. Величина изменения отношения сигнал/шум после шумоочистки в зависимости от длины интервала вычисления усредненного амплитудного спектра шума для окон Бартлетта – Ханна и треугольного

Из графиков видно, что степень очистки растет при увеличении длины интервала вычисления усредненного амплитудного спектра шума до $5N$ и перестает расти при более длинных интервалах.

На следующем этапе были произведены те же измерения и вычисления для различных длин БПФ, но уже с неизменной длиной интервала вычисления усредненного амплитудного спектра шума, равной 5. Полученные результаты также сведены в таблицу (табл. 2).

Таблица 2. Величина изменения отношения сигнал/шум после шумоочистки в зависимости от типа и длины окна

Тип окна	Изменение отношения сигнал/шум при разных длинах окна БПФ, дБ		
	1024	2048	4096
Прямоугольное	4	5	5
Ханна	8	8	8
Хемминга	8	8	8
Тьюки	6	7	6
Синус-окно	7	8	8
Ланцоша	7	8	8
Треугольное	8	9	9
Гаусса, $\sigma = 0,3$	8	8	8
Гаусса, $\sigma = 0,4$	8	8	8
Гаусса, $\sigma = 0,5$	7	8	8
Гаусса, $\sigma = 1,2$	8	8	8
Бартлетта – Ханна	10	10	10
Блэкмана	8	8	8
Кайзера, $\beta = 8$	6	7	7

Можно заметить, что максимум эффективности для каждого типа окон достигается при размере окна в 2048 отсчетов. Однако разница между значениями, полученными при различных размерах окна, не является существенной. Более того, при использовании наиболее эффективного в целом окна Бартлетта – Ханна, максимальное отношение сигнал/шум наблюдается уже при длине БПФ, равном 1024 отсчета.

Далее были проведены эксперименты по шумоочистке с окном Бартлетта – Ханна для различных значений перекрытия кадров анализа. Как и ожидалось [3], искажения очищенного сигнала на краях временного окна существенно влияют на качество очищенного сигнала при отсутствии перекрытия кадров анализа и при значении перекрытия в 25 %. В случае же значения перекрытия, равного 50, 75 и 87,5 %, отношение сигнал/шум существенно не изменяется.

Для определения качества очищенного сигнала на слух был использован метод экспертных оценок. На прослушивание десяти экспертам были предоставлены три группы сигналов:

- шесть сигналов, очищенных с использованием различной длины интервала вычисления усредненного амплитудного спектра шума и окна Бартлетта – Ханна с размером БПФ, равным 2048 отсчетов;
- три сигнала, очищенных с использованием различной длины БПФ, но с неизменными типом окна и длиной интервала вычисления усредненного амплитудного спектра шума, равной 5;
- пять сигналов, очищенных с использованием показавших наилучшую степень очистки типов оконных функций, с неизменной длиной БПФ, равной 2048, и длиной интервала вычисления усредненного спектра шума, равной 5.

Для каждого набора сигналов необходимо было расположить их в порядке убывания качества звучания. Каждый звуковой образец получал ранг в соответствии с занятой позицией. При этом ранг, равный 1, соответствовал наилучшему звуковому образцу.

Полученные результаты по каждому набору представлены в табл. 3, 4, 5.

Таблица 3. Оценка качества звучания очищенных сигналов в зависимости от длины интервала вычисления усредненного амплитудного спектра шума

Эксперт №	Длина интервала вычисления усредненного амплитудного спектра шума					
	N	$2N$	$4N$	$5N$	$6N$	$7N$
1	6	5	4	2	3	1
2	6	5	4	3	2	1
3	6	5	4	3	2	1
4	6	5	4	3	2	1
5	6	5	2	3	4	1
6	6	5	1	2	3	4
7	6	5	2	1	3	4
8	6	5	4	3	2	1
9	6	5	4	3	2	1
10	6	5	1	2	3	4
Среднее	6	5	3	2,5	2,6	1,9

Из данных, представленных в табл. 3, видно: все без исключения эксперты сошлись во мнении, что при длине интервала вычисления усредненного амплитудного спектра шума, равной 1 и 2, качество звучания является наихудшим. Также можно заметить, что при длине интервала, равной 7, достигается наилучшее качество звучания. Помимо того, в своих комментариях к оценкам многие из опрошенных заявляли, что вообще не чувствуют разницы в звучании при длинах интервала, равных 4, 5 и 6, а расстановка ими последовательности для этих длин является условной.

Таблица 4. Оценка качества звучания очищенных сигналов в зависимости от длины окна БПФ

Эксперт №	Длина окна БПФ		
	1024	2048	4096
1	3	1	2
2	3	2	1
3	3	1	2
4	3	1	2
5	3	1	2
6	3	2	1
7	3	2	1
8	3	1	2
9	3	2	1
10	3	1	2
Среднее	3	1,4	1,6

При рассмотрении данных табл. 4 можно заметить, что мнения всех опрошенных также совпали относительно того, при какой длине окна наблюдается худшее качество. Это довольно интересно, учитывая тот факт, что вычисление отношения сигнал/шум дает одинаковые результаты для различных длин БПФ. Однако, исходя из оценок экспертов, можно сделать вывод, что в использовании длины окна, равной 4096 отсчетов, нет необходимости, так как качество полученного в этом случае сигнала на слух не воспринимается как более высокое.

Из следующей таблицы (табл. 5), напротив, видно, что все эксперты посчитали сигнал, очищенный с использованием окна Бартлетта – Ханна, наиболее качественным.

Таблица 5. Оценка качества звучания очищенных сигналов в зависимости от типа окна

Эксперт №	Тип окна				
	Бартлетта – Ханна	Блэкмана	Гаусса, $\sigma = 0,4$	Гаусса, $\sigma = 1,2$	Треугольное
1	1	2	3	4	5
2	1	3	5	4	2
3	1	2	3	4	5
4	1	2	3	4	5
5	1	2	3	4	5
6	1	5	2	3	4
7	1	5	4	3	2
8	1	2	3	4	5
9	1	5	2	3	4
10	1	5	2	3	4
Среднее	1	3,3	3	3,6	4,1

Выводы

1. Использование метода спектрального вычитания для очистки звуковых сигналов с частотой дискретизации, равной 44,1 кГц, наиболее эффективно при применении окна Бартлетта – Ханна длиной 2048 отсчетов.

2. При длине окна, равной 1024 отсчета, отношение сигнал/шум также остается на высоком уровне, однако качество сигнала на слух ниже, чем при других длинах окна.

3. Длина интервала вычисления усредненного амплитудного спектра шума не должна быть короткой, но и усреднять по очень большому интервалу не имеет смысла, так как высокие результаты достигаются уже при 4-5 длинах окна БПФ, а дальнейшее увеличение длительности этого интервала не позволяет существенно повысить степень шумоочистки и разборчивость очищенной речи.

Библиографические ссылки

1. *Архипов И. О., Гитлин В. Б., Лузин Д. А.* Синхронный с основным тоном двухпроходный алгоритм принятия решения ТОН – НЕ ТОН // Вестник ИжГТУ. – 2008. – № 4. – С. 150–153.
2. *Коробейников А. В., Франченко Р. С.* Межканальная декорреляция для произвольного числа каналов при сжатии без потерь многоканальных сигналов // Вестник ИжГТУ. – 2010. – № 1. – С. 87–88.
3. *Vaseghi Saeed V.* Advanced Digital Signal Processing and Noise Reduction. – John Wiley & Sons Ltd, 2000. – 465 p.
4. *Thiemann Joachim.* Acoustic Noise Suppression for Speech Signals using Auditory Masking Effects. – Montreal : Department of Electrical & Computer Engineering. McGill University, 2001. – 83 p.
5. *Boll S. F.* Suppression of acoustic noise in speech using spectral subtraction // IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing. – 1979. – Vol. 27. – P. 113–120.

I. O. Arkhipov, PhD in Engineering, Associate Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

M. A. Alyogin, Master's Degree Student, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

Complex Analysis of Acoustic Signal Noise Reduction Algorithm Parameters in Data Communication Systems

The article analyzes noise reduction parameters of acoustic signals based on spectral subtraction method. It reveals the most optimal parameters for voice transmission systems in terms of reduction degree, aural perception and resource rational utilization.

Key words: acoustic signals, noise reduction, spectrum analysis, FFT.

УДК 342.5:004

С. А. Рябая, кандидат исторических наук, доцент, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

ЭЛЕКТРОННОЕ ПРАВИТЕЛЬСТВО НА РЕГИОНАЛЬНОМ УРОВНЕ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПРОБЛЕМЫ (НА ПРИМЕРЕ УДМУРТСКОЙ РЕСПУБЛИКИ)

Проанализированы достигнутые результаты готовности регионов Российской Федерации по внедрению технологии электронного правительства. Рассмотрен опыт модернизации государственного и муниципального управления по внедрению данной технологии в Удмуртской Республике.

Ключевые слова: электронное правительство, рейтинг готовности регионов к электронному правительству, модернизация государственного и муниципального управления.

Развитие системы электронного правительства как части государственного управления посредством внедрения информационных компьютерных технологий с учетом административных преобразований, происходящих в России, является неременным требованием для вхождения в глобальное информационное общество. Под электронным правительством понимается новая форма организации деятельности органов государственной власти, обеспечивающая за счет широкого применения информационно-коммуникационных технологий качественно новый уровень оперативности и удобства получения организациями и гражданами государственных услуг и информации о результатах деятельности государственных органов [1]. Понятие «электронное правительство» было введено в политический и научный дискурс специализированными исследовательскими организациями, такими как Организация Объединенных Наций и Организация экономического сотрудничества и развития.

Научные исследования, посвященные формированию, функционированию и развитию электронного правительства в регионах Российской Федерации и России в настоящее время актуальны. К ним относятся работы как зарубежных, так и отечественных авторов. Изучению проблем создания электронного правительства на региональном уровне посвящены исследования С. В. Гиляровской, Е. Г. Цивирко, А. В. Чугунова, Л. Г. Проскуряковой, С. П. Коробовского, О. Чикурова. Методологические подходы к созданию, развитию электронного правительства в регионах и оценке реализации программ электронного правительства рассматривались такими

авторами, как А. Ф. Соколов, А. Э. Калинина, Е. А. Петрова.

Исследования региональных особенностей развития электронного правительства нашли отражение в публикациях Д. С. Агалина, Р. Д. Хунагова, Т. П. Варшаниной, О. А. Плисенко, С. Ф. Пикина, А. Ф. Кизянова, Э. Р. Султановой, Ф. Ю. Лозбишева и др.

Анализ степени разработанности проблемы и проводимых на уровне государственного управления мероприятий позволяет сделать вывод о том, что в современных условиях создается научная, организационная и методологическая база для изучения феномена электронного правительства. Но различные аспекты формирования и функционирования электронного правительства на уровне субъектов Российской Федерации, в том числе и Удмуртской Республики, исследованы недостаточно.

Реформирование государственного управления посредством внедрения электронного правительства – это системная и долгосрочная задача, итогом которой должно стать вхождение России в глобальное информационное общество.

В феврале 2008 г. была утверждена Стратегия развития информационного общества в России – политический документ, являющийся «основой для подготовки и уточнения доктринальных, концептуальных, программных и иных документов, определяющих цели и направления деятельности органов государственной власти, а также принципы и механизмы их взаимодействия с организациями и гражданами в области развития информационного общества в Российской Федерации» [2]. В результате ее