

АДАПТАЦИЯ КОДЕКОВ РЕЧЕВЫХ СИГНАЛОВ НА ОСНОВЕ ТЕОРЕМЫ В.А. КОТЕЛЬНИКОВА И МОДИФИКАЦИИ АЛГОРИТМА ХУРГИНА-ЯКОВЛЕВА К ШУМАМ В КАНАЛЕ СВЯЗИ

Дмитриев В.Т., к.т.н., доцент, зав. кафедрой РЭС РГРТУ, e-mail: vol77@rambler.ru

ADAPTATION OF CODECS OF SPEECH SIGNALS ON THE BASIS OF THEOREM V.A. KOTELNIKOV AND MODIFICATIONS OF THE KHURGIN-YAKOVLEV ALGORITHM TO NOISE IN THE COMMUNICATION CHANNEL

Dmitriev V.T.

An algorithm for adapting primary codecs to noise and distortion in a communication channel is proposed. Algorithms of adaptation of primary codecs of speech signals are considered. Adaptation algorithms are proposed under the influence of interference in the communication channel in order to ensure the optimal ratio of the quality of the restored speech at the minimum transmission rate based on the theorem of V.A. Kotelnikov and the proposed modification of the Khurgin-Yakovlev algorithm.

It is shown that the use of a modification of the Khurgin-Yakovlev algorithm with separate coding of signal samples and derivative allows to increase the quality of the restored speech by 0.5 ... 1.2 points according to GOST R 50840-95 compared to similar non-adaptive codecs based on V.A. Kotelnikov or the possibility of reducing the required transmission rate by 15 ... 30 % for software-defined radio systems for receiving, transmitting and processing information.

Key words: speech signals, primary codec, software-defined systems, codec adaptation, reception and transmission of information, signal processing, acoustic noise, interference, communication channel.

Ключевые слова: речевые сигналы, первичный кодек, программно-конфигурируемые системы, адаптация кодека, прием и передача информации, обработка сигналов, акустические шумы, помехи, канал связи.

Введение

В радиотехнических системах приема, передачи и обработки информации необходим рациональный выбор алгоритмов первичного кодирования речевых сигналов (РС), обладающих возможностью более гибкой перестройки скорости передаваемой информации как с целью сохранения качества восстановленной речи на приеме, так и с целью поддержания постоянной скорости при необходимости изменения параметров помехоустойчивого кодека при действии помех различной интенсивности в канале связи.

В настоящее время распространение адаптивных кодеков РС обусловлено переходом на системы с коммутацией пакетов, которые не требуют применения первичных кодеков с постоянной скоростью передачи, как в системах с коммутацией каналов. Это обстоятельство обуславливает актуальность адаптивных кодеков РС, которые имеют набор скоростей передачи и обладают возможностью их адаптивной перестройки. К таким кодекам можно отнести кодеки AMR, обеспечивающего возможность перестройки скорости от 4,7 до 12,2 кбит/с, кодек стандарта G722.2 при скоростях передачи РС от 1,2 до 2,4 кбит/с, кодек стандарта G729.1 при скоростях передачи от 8 до 32 кбит/с и многие другие стандарты и алгоритмы первичного кодирования РС [1...4]. Наиболее широкое распространение данные стандарты получили в системах сотовой связи, как в наиболее ди-

Предложен алгоритм адаптации первичных кодеков к шумам и искажениям в канале связи. Рассмотрены алгоритмы адаптации первичных кодеков речевых сигналов. Предложены алгоритмы адаптации при действии помех в канале связи с целью обеспечения оптимального соотношения качества восстановленной речи при минимальной скорости передачи на основе теоремы В.А. Котельникова и предложенной модификации алгоритма Хургина-Яковлева.

Показано, что применение модификации алгоритма Хургина-Яковлева при отдельном кодировании отсчетов сигнала и производной позволяет увеличить качество восстановленной речи на 0,5...1,2 балла согласно ГОСТ Р 50840-95 по сравнению с аналогичными неадаптивными кодеками на основе теоремы В.А. Котельникова или возможность снижения требуемой скорости передачи на 15...30 % для программно-конфигурируемых радиосистем приема, передачи и обработки информации.

намично развивающейся области телекоммуникационных технологий [5, 6].

Для более гибкой адаптации первичных кодеков РС для систем приема, передачи и обработки информации возможно использование модификации алгоритма Хургина-Яковлева, рассматривающее представление сигнала в виде прореженных отсчетов сигнала и его производных [7, 8]. Применение данного представления позволит повысить помехоустойчивость передаваемой информации и качество восстановленной речи на приеме, обеспечит возможность параллельной обработки, а также более простую реализацию синтезирующих фильтров. В [8] показано, что при использовании данного представления возможно более гибко изменять скорость передачи в системах передачи РС за счет отдельного кодирования прореженных отсчетов сигнала и производной.

Цель данной статьи является разработка алгоритма адаптации первичных кодеков РС на основе теоремы В.А. Котельникова и модификации алгоритма Хургина-Яковлева к помехам и искажениям в канале связи.

Методы адаптации кодеков речевых сигналов с переменной скоростью

Рассмотрим основные методы построения адаптивных кодеков РС с переменной скоростью передачи информации. Наиболее простой из них за счет использования алгоритма VAD [3], действие которой основано на выявлении и исключении пауз в разговоре. Применение данного алгоритма позволяет сократить скорость передачи до 30 %. При этом в течении времени разговора передаются различное количество бит и для выравнивания скорости передачи необходима задержка нескольких кадров.

При воздействии помех в канале связи возможна совместная адаптация алгоритмов первичного и помехоустойчивого кодирования. Совместная адаптация двух данных кодеров обеспечит не только выбор оптимального соотношения скорость/качество необходимого для пользователей данных сетей, но и возможности улучшения качества речи в данных системах при действии различного рода помех за счет подбора наилучших сочетаний кодеков. Адаптация параметров первичного и помехоустойчивого кодера к помехам и искажениям в канале связи обеспечивает повышение помехоустойчивости передаваемого по каналу связи речевого трафика при незначительных изменениях скорости передачи, а также сохранение приемлемого качества восстановленной речи в случае действия помех в радиосистемах приема, передачи и обработки информации.

Необходимо найти оптимальное сочетание между алгоритмом первичного и помехоустойчивого кодирования при перегрузках, возникающих в сетях связи, чтобы снизить нагрузку на канал связи и исключить потери пакетов при незначительном снижении качества речи на выходе системы связи. Задача выбора такого сочетания впервые обоснована как оптимизационная задача выбора первичного и канального кодирования в [9]. Возможные варианты решения данной проблемы при высоких скоростях передачи проанализированы в работах [10, 11]. При этом необходимо выбрать наиболее помехоустойчивый алгоритм первичного кодирования.

Рассмотрим алгоритм адаптации первичного кодера к помехам в канале связи, когда при увеличении вероятности ошибок в канале связи возможно частично компенсировать качество восстановленной речи за счет применения алгоритмов первичного кодирования с большей избыточностью или с большей сложностью реализации, обеспечивающий лучшее качество на выходе.

Адаптация первичных кодеков речевых сигналов на основе теоремы В.А. Котельникова к помехам в канале связи

Для построения адаптивных первичных кодеков на основе теоремы В.А. Котельникова необходимо провести исследование воздействия помех в канале связи, обеспечивающих вероятность ошибки $P_{ош}$ на качество

речи на выходе первичных кодеков и осуществить выбор алгоритмов кодирования обеспечивающих наилучшее качество в рамках определенных диапазонов скоростей передачи. Для разработки соответствующих рекомендаций проведены исследования известных кодеков РС при действии помех и искажений в канале. В качестве модели искажений принята известная в литературе модель, когда биты передаваемой информации искажаются с вероятностью $P_{ош}$ по случайному закону. Для оценки качества речи использовались десять тестовых акустически взвешенных фраз, приведенных в ГОСТ Р 50840-95 [12]. Речевой материал был записан десятью дикторами (3 женщины и 7 мужчин). Запись РС осуществлялась в специальном помещении кабинетного типа (с размерами 5,7*2,9*3 м и временем реверберации порядка 350 мс) при наличии естественного фонового шума слабого уровня. Для записи использовался профессиональный диктофон Olympus LS-10 (Linear PCM recorder), обеспечивающий возможность записи РС в формате WAV со следующими параметрами: частота дискретизации – 44,1 кГц; разрядность квантования – 16 бит; тип кодирования – ИКМ. Диктофон был установлен на расстоянии 0,5 м перед диктором на уровне его лица. Для исследований выбраны наиболее часто используемые в настоящее время кодеки: LBRAMR (1 кбит/с), LBRAMR (1,2 кбит/с), ММВЕ (1,2 кбит/с), LBRAMR (2 кбит/с), LBRAMR (2,4 кбит/с), ММВЕ (2,4 кбит/с), RMMBE (2,4 кбит/с), ICELP (4,8 кбит/с), G.723.1 (5,3 кбит/с), ICELP (6 кбит/с), G.723.1 (6,3 кбит/с), G.726 (32 кбит/с), G.726 (40 кбит/с), G.722 (48 кбит/с), G.722 (56 кбит/с), G.722 (64 кбит/с). В ходе экспериментальных исследований проведена оценка качества РС на выходе различных групп кодеков: низкоскоростных (1...2,4 кбит/с), среднескоростных (4,8...8 кбит/с) и высокоскоростных (16...64 кбит/с). Выбраны алгоритмы первичного кодирования, обеспечивающие лучшее качество восстановленной речи на выходе кодера для своей группы. При приблизительно равных оценках качества восстановленной речи (порядка 0,1...0,2 баллов согласно ГОСТ Р 50840-95) предпочтение отдавалось алгоритмам кодирования с наименьшей скоростью передачи. Результаты экспериментальных исследований алгоритмов первичного кодирования для программно-конфигурируемых радиосистем приема, передачи и обработки информации приведены в табл. 1-3.

Таблица 1. Алгоритмы первичного кодирования РС, обеспечивающие наибольшее качество речи при действии помех в канале связи для низкоскоростных кодеков

$P_{ош}, \%$	Кодек, наиболее устойчивый к помехам
0	LBRAMR 1 кбит/с.
1	LBRAMR 1 кбит/с.
2	ММВЕ 1.2 кбит/с.
3	ММВЕ 2.4 кбит/с.
5	ММВЕ 2.4 кбит/с.

Проведено исследование первичных кодеков при действии равномерно распределённых ошибок, действующих на битовый поток на выходе. Показано, что наиболее устойчивые к действию ошибок в канале связи являются для высокоскоростных кодеков кодеки на основе ИКМ и АИКМ, а для среднескоростных кодеков

кодеки на основе алгоритма CELP. Низкосортные кодеки в равной степени подвержены значительному воздействию ошибок в канале связи и требуют применения помехоустойчивого кодирования с достаточной избыточностью для устранения ошибок в канале связи. Кроме того, в случае загрузки в радиосети, необходимо применение алгоритмов адаптации для снижения скорости передачи с целью снижения потерь пакетов. При этом необходим переход с первичных кодеков обеспечивающих среднюю скорость передачи РС на алгоритмы низкоскоростного кодирования РС при незначительной потере качества восстановленного сигнала. Поэтому в таких системах необходимо применять для адаптации низкоскоростные кодеки, обеспечивающие высокое качество восстановленной речи на выходе системы.

Таблица 2. Алгоритмы первичного кодирования РС, обеспечивающие наибольшее качество речи при действии помех в канале связи для среднескоростных кодеков

Р _{ош} , %	Кодек, наиболее устойчивый к помехам
0	ICELP 6 кбит/с.
1	G.729a 8 кбит/с.
2	G.729a 8 кбит/с.
3	G.729a 8 кбит/с.
5	G.729a 8 кбит/с.

Таблица 3. Алгоритмы первичного кодирования РС, обеспечивающие наибольшее качество речи при действии помех в канале связи для высокоскоростных кодеков

Р _{ош} , %	Кодек, наиболее устойчивый к помехам
0	G.726 40 кбит/с.
1	G.726 24 кбит/с.
2	G.726 24 кбит/с.
3	G.726 24 кбит/с.
5	G.726 24 кбит/с.

На рис. 1 представлена структурная схема предложенного алгоритма совместной адаптации первичного

кодека РС к помехам в канале связи для программно-конфигурируемых радиосистем приема, передачи и обработки информации. РС поступает на вход Микрофона (М) системы передачи, а затем в аналого-цифровом преобразователе (АЦП) происходит переход в цифровую форму.

Затем РС поступает на алгоритм определения параметров шума и оценки зашумленности речи, в которых осуществляется определение паузы в РС, в рамках которых осуществляется определение вида акустического шума (широкополосный, узкополосный, импульсный), а также оценка энергетике шума. Затем сигнал поступает на первичный кодер, алгоритм кодирования и его параметры определяются в устройстве управления (УУ) на основе данных получаемых в блоке определения параметров шума и оценки зашумленности речи, а также в блоке оценки качества на выходе первичного кодера. При смене алгоритма первичного кодирования возможна также замена алгоритма помехоустойчивого кодирования. На приеме происходит анализ качества восстановленной речи. В соответствии с данной информацией в УУ в приемнике принимается решение о изменении алгоритма первичного кодера или его параметров, которое по обратному каналу передается на передающую сторону. Предложенная схема позволяет выявлять изменения и характер трех основных мешающих факторов: акустических помех, искажений в первичном кодеке и искажения в канале связи. Результирующее качество восстановленной речи во многом определяется воздействием данных факторов на РС и снижение качества РС на выходе системы передачи $\Delta k_{\text{вых}}$ в общем виде можно представить следующей формулой $\Delta k_{\text{вых}} = \Delta k_{\text{код}} + \Delta k_{\text{акп}} + \Delta k_{\text{кс}}$, где $\Delta k_{\text{акп}}$ – изменение качества речи под воздействием акустических помех, $\Delta k_{\text{код}}$ – изменение качества речи при кодировании РС первичным кодеком, $\Delta k_{\text{кс}}$ – изменение качества речи при передаче РС в канале связи. Данная схема обеспечивает возможность обеспечения хорошего качества восстановленной речи

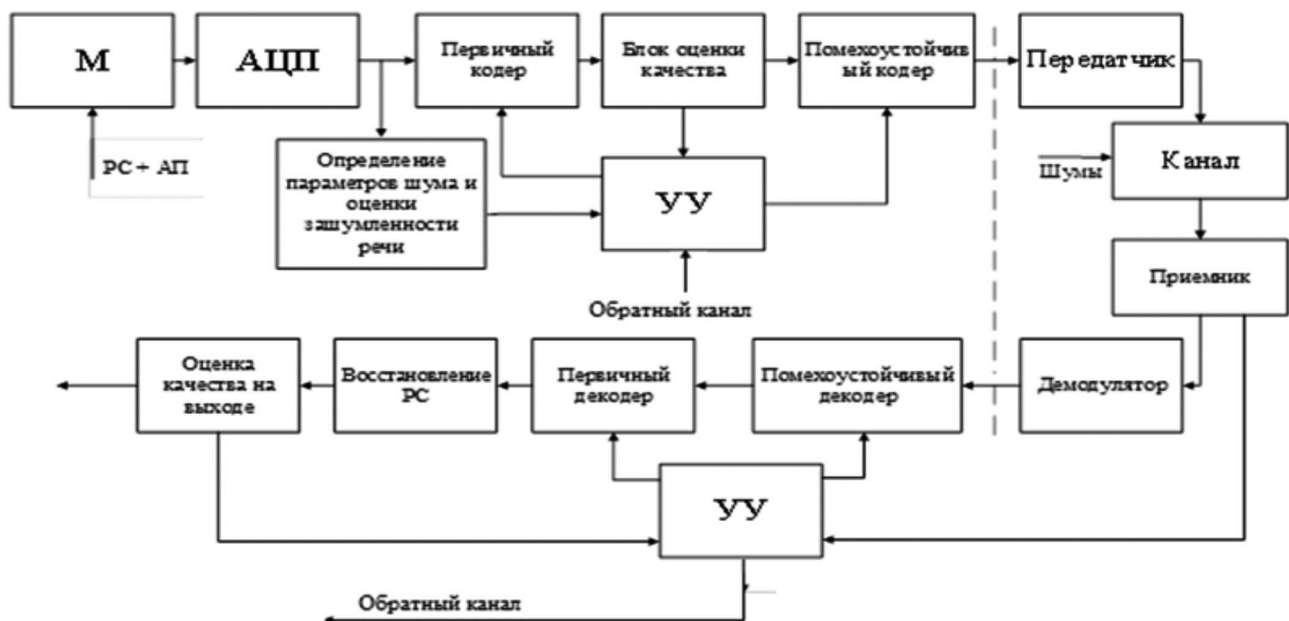


Рис. 1. Структурная схема адаптации программно-конфигурируемых первичного к искажениям в канале связи

на выходе декодера при воздействии помех в канале связи при изменении их параметров в течении времени передачи за счет перестройки параметров кодера и самого алгоритма первичного кодирования.

После адаптивного помехоустойчивого декодера в адаптивном первичном декодере происходит восстановление переданного РС. На выходе декодера происходит оценка качества восстановленной речи на приемной стороне по объективным алгоритмам оценки качества речи [13, 14].

В результате проведенных исследований показано, что при использовании липридеров целесообразно использовать комплексный алгоритм оценки качества восстановленной речи, с учетом известных на приемной стороне искажений, видом используемого первичного кодека, а также учитывает модифицированный критерий на основе функции спектральной динамики [14, 15]:

$$MFOSD = \tag{1}$$

$$= \sum_{m=2}^M \sum_{g=1}^G \beta_g \sum_{n=1}^{N_{b,g}} (|Y(f_n, g, N_{seg} m)| |Y(f_n, g, N_{seg} (m-1))| - |X(f_n, g, N_{seg} m)| |X(f_n, g, N_{seg} (m-1))|),$$

где M – количество сегментов РС, β_g – коэффициент «значимости» спектральных составляющих g -й критической полосы, $X(f_n, g, m)$ и $Y(f_n, g, m)$ – g -я критическая полоса спектра сегмента m с длиной N_{seg} исходного и декодированного РС.

Для оценки широкого класса кодеков необходимо использовать комплексного алгоритма оценки, основанного на применении трех основных критериев. В случае применения кодеков формы наилучшие оценки обеспечивает критерий ОСШ (SNR), в случае использования

вокодеров модификации критерия $MESC$, а в случае использования современных липридеров и полувокодеров критерий $MFOSD$ [13]:

$$k = \alpha k_1 SNR + \beta k_2 MESC + \gamma k_3 MFOSD, \tag{2}$$

где k_1, k_2, k_3 – нормировочные коэффициенты, для нормировок методов объективной оценки, α, β, γ – коэффициенты, с помощью которых осуществляется оценка различного вклада каждого из методов SNR, BSD и $FOSD$. α, β, γ изменяются в пределах $[0, 1..1]$ с шагом 0,1. При этом необходимо выполнить условие: $\alpha + \beta + \gamma = 1$. Показано [13], что предложенный алгоритм обеспечивает корреляцию с субъективными оценками, полученными согласно ГОСТ Р 50840-95 с точностью до 0,5 баллов.

Применение модификации алгоритма Хургина-Яковлева при адаптации кодеков речевых сигналов

Для увеличения качества восстановленного РС в первичных кодеках предложено использовать модификацию алгоритма Хургина-Яковлева [8], который обеспечивает представление РС в виде прореженных отсчетов сигнала и производной, что дает возможность параллельной обработки и передачи в сетях связи. Также возможно применение кодеков на основе предложенного алгоритма при адаптации к ошибкам в канале связи по схеме представленной на рис. 2 для программно-конфигурируемых радиосистем приема, передачи и обработки информации. Как видно из представленной схемы происходит разложение согласно предложенному алгоритму для двухканальной системы $N = 2$ для которой ошибка восстановления является приемлемой при $T = K$ этапов разложения данного алгоритма.

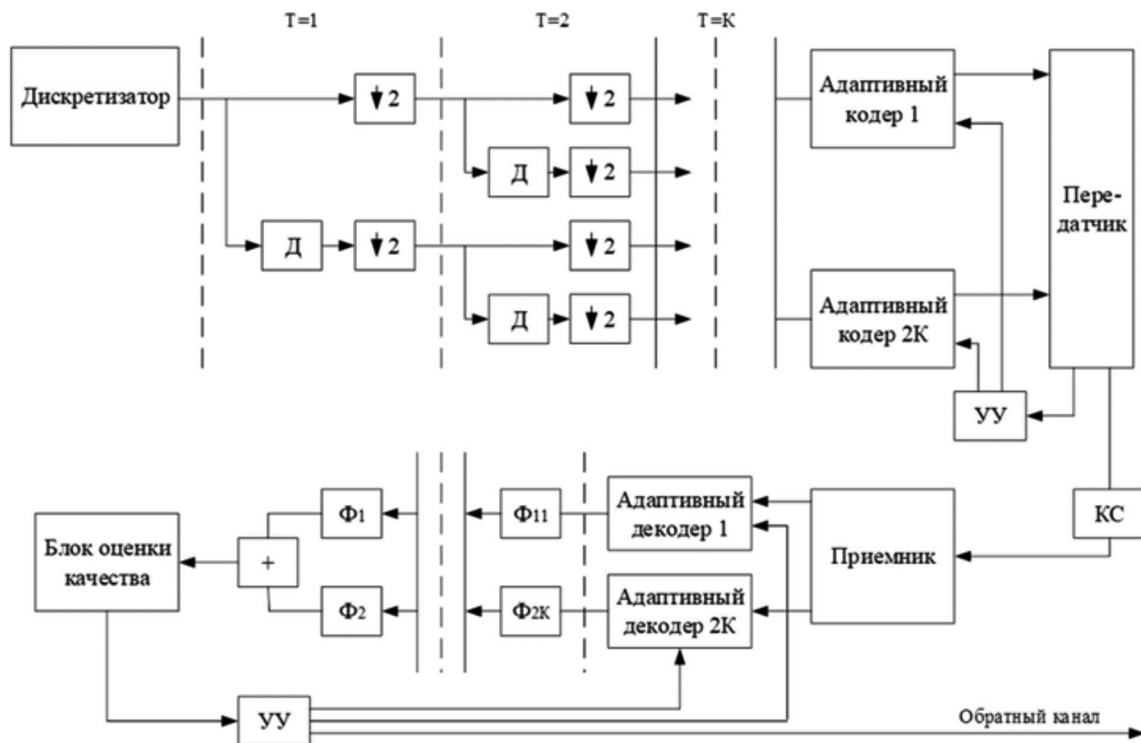


Рис. 2. Структурная схема адаптации программно-конфигурируемого первичного кодека на основе модификации алгоритма Хургина-Яковлева к искажениям в канале связи



В результате получается $2K$ канала, при этом для каждого канала возможно использовать индивидуальный первичный кодек. Как показано в результате экспериментальных исследований скорость передачи первичных кодеков прямо пропорциональна доли энергии элементов разложения $C_1 / C_2 / \dots / C_n = E_1 / E_2 / \dots / E_n$. Согласно данному правилу возможно зафиксировать скорость первого кодека, а скорости других кодеков уменьшаются пропорционально энергетике элементов разложения. При этом общая скорость на выходе системы кодеков может быть записана в виде следующего равенства $C_{\Sigma} = (C_1 + C_1 \cdot E_2 / E_1 + \dots + C_n \cdot E_{2K} / E_1) / 2K$, тогда с учетом что $E_1 / E_n > 1$, $C_{\Sigma} / C_1 < 1$, т.е. удается получить выигрыш в скорости передаваемой информации за счет применения предложенного алгоритма при незначительном уменьшении качества.

В ходе экспериментальных исследований проведена оценка качества РС на выходе различных групп кодеков на основе предложенной модификации: низкоскоростных (1...2,4 кбит/с), среднескоростных (4,8...8 кбит/с) и высокоскоростных (16...64 кбит/с). Выбраны отдельные алгоритмы первичного кодирования, обеспечивающие лучшее качество восстановленной речи на выходе кодека для кодеков своей группы. Результаты экспериментальных исследований алгоритмов первичного кодирования на основе предложенного алгоритма для программно-конфигурируемых радиосистем приема, передачи и обработки информации приведены в табл. 4-6.

Таблица 4. Алгоритмы первичного кодирования РС с наилучшим качеством при действии помех для низкоскоростных кодеков на основе модификации алгоритма Хургина-Яковлева

Рош, %	Кодек, наиболее устойчивый к помехам
0	LBRAMR 1 кбит/с.
1	LBRAMR 1 кбит/с.
2	LBRAMR 2.4 кбит/с.
3	ММВЕ 2.4 кбит/с.
5	ММВЕ 1.2 кбит/с.

Таблица 5. Алгоритмы первичного кодирования РС с наилучшим качеством при действии помех для среднескоростных кодеков на основе предложенного алгоритма

Рош, %	Кодек, наиболее устойчивый к помехам
0	ICELP 6 кбит/с.
1	G.729a 8 кбит/с.
2	G.729a 8 кбит/с.
3	G.729a 8 кбит/с.
5	G.729a 8 кбит/с.

В [16] показано, что применение модификации алгоритма Хургина-Яковлева относительно известных кодеков, построенных на основе теоремы В.А. Котельникова обеспечивает выигрыш в качестве восстановленной речи на 0,1...0,5 баллов согласно ГОСТ Р 50840-95 за счет раздельного кодирования отсчетов сигнала и его

первой производной и частичной компенсации шумов квантования при восстановлении сигнала в декодере.

Таблица 6. Алгоритмы первичного кодирования РС с наилучшим качеством при действии помех для высокоскоростных кодеков на основе предложенного алгоритма

Рош, %	Кодек, наиболее устойчивый к помехам
0	G.726 40 кбит/с.
1	G.726 24 кбит/с.
2	G.726 24 кбит/с.
3	G.726 24 кбит/с.
5	G.726 24 кбит/с.

В [17] показано, что снижение качества речи при уменьшении разрядности квантования производной гораздо меньше, чем при аналогичном снижении разрядности прореженного сигнала. Кодек прореженной производной может обеспечивать скорость передачи на 30 % меньше по сравнению с кодеком прореженного РС. Таким образом, результирующая скорость суммарного потока для кодека на основе модификации алгоритма Хургина-Яковлева уменьшается на 15 %.

Таким образом, применение предложенного алгоритма адаптации в программно-конфигурируемых радиосистемах приема, передачи и обработки информации на основе модификации алгоритма Хургина-Яковлева, позволит повысить исправляющую способность применяемого помехоустойчивого кодирования без существенного уменьшения качества восстановленного РС при действии помех.

Заключение

Проанализированы алгоритмы адаптации алгоритмов первичного кодирования при действии помех в канале связи с целью обеспечения оптимального соотношения качества восстановленной речи при минимально возможной скорости передачи в программно-конфигурируемых радиосистемах приема, передачи и обработки информации, алгоритмы первичного кодирования РС на основе теоремы В.А. Котельникова и модификации алгоритма Хургина-Яковлева, обеспечивающие наибольшее качество речи при действии помех в канале связи, для низкоскоростных, среднескоростных и высокоскоростных кодеков.

Предложены алгоритмы адаптации первичного кодека к помехам и искажениям в канале связи за счет применения более помехоустойчивых алгоритмов первичного кодирования на основе теоремы В.А. Котельникова и модификации алгоритма Хургина-Яковлева.

Применение предложенной модификации алгоритма Хургина-Яковлева в структуре адаптивного кодека, позволяет увеличить качество восстановленной речи на 0,5...1,2 балла согласно ГОСТ Р 50840-95 при действии помех в канале связи, по сравнению с аналогичными неадаптивными кодеками на основе теоремы В.А. Котельникова или возможность снижения скорости передачи на 15...30 % для программно-конфигурируемых радиосистем приема, передачи и обработки информации.

Литература

1. ITU-T Recommendation G.722. 7 kHz audio-coding within 64 kbit/s, 1988.
2. ITU-T: Recommendation G.729. C source code and test vectors for implementation verification of the G.729 8 kbit/s CS-ACELP speech coder. – Geneva, 1996.
3. ITU-T Recommendation G.729 Annex A. Reduced complexity 8 kbit/s CS-ACELP speech codec, 1996.
4. Jean-Marc Valin Speex: A Free Codec For Free Speech. [Электронный ресурс]. URL: <https://arxiv.org/pdf/1602.08668.pdf>
5. Басов О.О., Рыболовлев А.А. Анализ степени адаптации современного парка кодеков речи. Цифровая обработка сигналов и ее применение. Доклады 9-й международной конференции. С. 157-160.
6. Афанасьев А.А., Басов О.О., Богачев Г.В. Особенности системы с переменной структурой для кодирования речевых сигналов. 6-я Международная конференция и выставка «Цифровая обработка сигналов и ее применение». Доклады 1. М.: 2004. С. 76-79.
7. Хургин Я.И., Яковлев В.П. Фinitные функции в физике и технике. М.: Наука. 1971. 408 с.
8. Кириллов С.Н., Дмитриев В.Т. Реализационные возможности и помехоустойчивость процедуры восстановления сигналов на основе алгоритма Хургина-Яковлева. Радиотехника. 2003. №1. С. 73-75.
9. Бабкин В.В., Ланнэ А.А., Шантала В.С. Оптимизационная задача выбора речевого и канального кодирования. Материалы международной конференции DSPA-2005. Москва 2005. С. 345-347.
10. Помехоустойчивые кодеки – будущее цифровой телефонии [Электронный ресурс]. URL: <https://www.osp.ru/nets/1997/10/142940/>
11. Кириллов С.Н., Дмитриев В.Т., Крысяев Д.Е., Попов С.С. Исследование качества передаваемой речевой информации при различном сочетании алгоритмов кодирования источника и канала связи в условиях действия помех. Вестник РГРТУ 2008 № 1 (Выпуск 23). С. 53-56.
12. ГОСТ Р 50840-95. Передача речи по трактам связи. М.: Госстандарт России, 1995. 180 с.
13. Дмитриев В.Т., Константинова Алгоритм комплексной оценки качества речи в канале связи. Вестник РГРТУ. 2016. № 56. С.42-47.
14. Кириллов С.Н., Дмитриев В.Т. Комплексный алгоритм объективной оценки качества декодированного речевого сигнала при действии акустических помех. Труды СПИИРАН 2018. №1. С. 34-55.
15. Кириллов С.Н., Дмитриев В.Т., Картавенко Я.О. Алгоритм объективной оценки качества декодированного речевого сигнала на основе изменения спектральной динамики критических полос спектра. Вестник РГРТУ. 2011. № 37. С. 3-7.
16. Дмитриев В.Т. Помехоустойчивость кодеков речи на основе алгоритма Хургина-Яковлева. Вестник РГРТА № 12, 2003 С.133-136.
17. Кириллов С.Н., Дмитриев В.Т. Устойчивость первичных кодеков речевых сигналов на основе представления Хургина-Яковлева к действию акустических шумов. Вестник РГРТУ. 2019. № 3. С.17-25.

НОВЫЕ КНИГИ

Фильтрация и спектральный анализ радиосигналов. Алгоритмы. Структуры. Устройства. Под ред. Ю.В. Гуляева: Монография.

М.: Изд-во Радиотехника, 2020 г. – 504 с.: ил.

Рассмотрены устройства на поверхностных и объемных акустических волнах. Приведены принципы построения акустооптических Фурье-процессоров, даны методики их описания и характеристики. Синтезированы алгоритмы многоканальных частотных дискриминаторов, имеющих широкую дискриминационную характеристику с большой зоной линейности, что повышает точность измерения частоты радиосигналов, а также стабильность работы следящих измерителей частоты при интенсивных воздействиях помех. Обобщены результаты математического моделирования и экспериментальных исследований волноводных СВЧ-фильтров и мультиплексоров X-диапазона частот на основе прямоугольных и круглых волноводов. Показано, что устройства предназначены для работы в составе негерметизированных радиоэлектронных комплексов спутниковых систем космической связи. Исследованы двумерные периодические структуры в виде перфорированных тонких металлических экранов, малые размеры и масса которых делают их технологически привлекательными в технике миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов.

Представленные известные и оригинальные авторские решения по широкому спектру вопросов проектирования устройств селекции могут быть полезны широкому кругу научных работников и инженеров, специализирующихся в области проектирования фильтров и аналоговых Фурье процессоров.

