

УДК 621.391

**Я.В. ЯНСОНС***Военный институт телекоммуникаций и информатизации  
Национального технического университета Украины „КПИ”, Украина***МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ВОССТАНОВЛЕННОГО СИГНАЛА  
НА ОСНОВЕ ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОЙ ЗАЩИТЫ КАДРА РЕЧЕВЫХ ДАННЫХ**

Предлагается новый метод повышения качества восстановленного речевого сигнала. Данный метод основан на создании структуры кадра речи и дифференцированной защиты структурированного кадра, что позволяет максимизировать значение качества принимаемого речевого сигнала. Метод позволяет: разместить, объективно оцененные биты кадра речи на основе действующих рекомендаций ITU-T, в передаваемом кадре в порядке снижения степени их важности в процессе восстановления принимаемого сигнала; распределить биты параметров по областям группирования с различным уровнем защиты; выбрать уровень защиты каждой области, из имеющегося семейства помехоустойчивых кодов, с учетом пропускной способности канала связи. Приведены результаты применения метода для низкоскоростного кодека MELP на скорости 2.4 Кбит/с.

**помехоустойчивость, сжатие речи, кодирование речи, канальное кодирование****Введение**

Передача речевого трафика в системах коммуникации составляет более 50 % всей информации. Значительное снижение доли речевой информации в ближайшее время, по прогнозам специалистов не предполагается.

За последнее время значительно повысились требования предъявляемые к качеству передаваемой речевой информации. Качество речи - параметр, характеризующий оценку звучания речи в испытываемой системе низкоскоростной передачи речи, выраженную в баллах по пятибалльной шкале или в процентах предпочтения при сравнении с эталонным трактом [1].

Качество речи напрямую зависит от достоверности принятых данных.

Достоверность в свою очередь изменяется под влиянием помех действующих в канале передачи.

**Предназначение**

Предлагаемый метод предназначен для повышения качества восстановленного речевого сигнала путем создания канальной структуры кадра речи и

дифференцированной защиты полученной структуры. Под созданием канальной структуры кадра речи понимается следующее:

- определение количества групп, по степени влияния на качество восстановленного сигнала, в рассматриваемом кадре;
- определение наполнения групп (распределение определенных бит параметров по соответствующим группам);
- определение номиналов скоростей выбранного семейства помехоустойчивых кодов для каждой из групп.

**Математическая постановка  
и решение задачи**

Система кодирования речи рассматривается на этапах как кодирования источника так и канального кодирования и семейство кодов  $C_1, \dots, C_z$ , имеющих свои исправляющую способность и вероятность ошибки декодирования.

При заданной пропускной способности канала связи и длине кадра речи осуществляется определение при заданных условиях, количества облас-

тей групування, порядку розподілення біт по областям, а также набора помехоустойчивых кодов для возможности максимизации значения качества речи восстановленного сигнала на приемной стороне.

Рассматриваемый канал связи – дискретный симметричный без памяти (ДСБП).

Помехи – независимые с равномерным распределением.

Каждый код из семейства характеризуется своей скоростью  $\hat{R} = \{r_1, \dots, r_z\}$ , так что  $(r_1 < r_2 < \dots < r_z)$ , в соответствии с выбранной группой кодов  $C_1, \dots, C_z$ .

В случае разбиения кадра речи на  $fr$  подкадров, установим множество кодовых скоростей  $R = (r_i^1, \dots, r_i^{fr}) \in \hat{R}^{fr}$ , где к каждому подкадру  $fr$  применен каналный код  $C_i$ , со скоростью  $r_i^{fr} \in \hat{R}$ , так что  $r_i^I < r_i^{II} < \dots < r_i^{fr}$ .

Выбор количества областей группирования (подкадров) ограничен значением  $fr \leq 3$ , так как, дальнейшее увеличение числа областей приведет к незначительному выигрышу по качеству в сравнении с увеличением сложности реализации. Каждая область требует использования отличного от других помехоустойчивого кода.

Установим  $p(r_i^{fr})$  – вероятность ошибки декодирования подкадра  $fr$ , защищенного кодом  $C_i$ . Так как семейство кодов  $C_1, \dots, C_z$  взято следующим образом со скоростями  $\left\{ \frac{c}{b}, \frac{c+1}{b}, \dots, \frac{b-1}{b} \right\}$ , где  $c$  и  $b$  – положительные целые числа, при этом  $c < b$ , то  $p(r_1^{fr}) < \dots < p(r_z^{fr}) < 1$ .

Допущением является такое применение помехоустойчивых кодов, которое обеспечивает снижение уровня защиты бит параметров исходя из снижения степени влияния на качество восстановленного сигнала.

Для рассматриваемой системы вероятность

ошибки декодирования кратности  $t$  равна

$$P_{n_{fr}}^m(R, t) = C_{n_{fr}}^t \cdot p(r_i^{fr})^t \cdot (1 - p(r_i^{fr}))^{n_{fr}-t}, \quad (1)$$

где  $m$  – количество возможных вариантов размещения  $N$  бит по  $fr$  областям:

$$m(N) = N + 1 \Big|_{fr=2}; \quad (2)$$

$$m(N) = \sum_{j=1}^{N+1} j \Big|_{fr=3}; \quad (3)$$

$C_{n_{fr}}^t$  – число сочетаний из  $n_{fr}$  по  $t$ ;

$$C_{n_{fr}}^t = \frac{n_{fr}!}{t!(n_{fr}-t)!}; \quad (4)$$

$fr$  – количество подкадров основного кадра;

$n_{fr}$  – количество бит в подкадре  $fr$ ;

Обозначим через  $Q^i$  – множество значений качества речи при кратности ошибки  $i$ , так что

$$Q^i = \{Q_{1, \dots, i}; \dots; Q_{1, \dots, N}; \dots; Q_{1, \dots, N-1, N}; \dots; Q_{N-(i-1), N-(i-2), \dots, N-1, N}\}. \quad (5)$$

$Q^i \in \widehat{Q^{t_{max}}}$ , где  $\widehat{Q^{t_{max}}}$  – множество всех возможных значений качества речи при максимальной кратности ошибки  $t_{max}$ .

$Q_{max}$  – максимально возможное значение качества речи кодека при условии отсутствия помех в канале связи.

Значения множества  $\widehat{Q^{t_{max}}}$  и  $Q_{max}$  находятся экспериментально [2, 3].

Множество значений степени снижения качества речи при искажении  $i$  бит  $e^i$ ,  $i=1, \dots, t_{max}$ , определяется следующим образом

$$e^i = \{e_{1, \dots, i} | e_h = Q_{max} - Q_h, h = (1, \dots, i), \dots, (N-(i-1), N-(i-2), \dots, N-1, N)\}. \quad (5)$$

В случае рассмотрения подкадра  $fr$  в роли множества значений степени снижения качества речи при искажении  $i$  бит  $e^i$  рассматривается множество  $e_{fr}^i$ , которое аналогично  $e^i$ . Отличие состоит в том что индексы 1 и  $N$  в группе индексов  $(1, \dots, i), \dots, (N-(i-1), N-(i-2), \dots, N-1, N)$  при  $e$  в

множестве  $e_{fr}^i$ , являются соответственно первым и последним индексами в подкадре  $fr$ .

Обозначим через  $Z_{fr}^i$  – сумму значений группы элементов множества  $e_{fr}^i$  при кратности ошибки  $i$  подкадра  $fr$ .

Тогда для  $e_{fr}^i$

$$Z_{fr}^1 = \sum_{i=1}^{n_{fr}} e_i ; \quad (6.1)$$

$$Z_{fr}^2 = \sum_{i=1}^{n_{fr}} \sum_{j=i+1}^{n_{fr}} e_{i,j} ; \quad (6.2)$$

$$Z_{fr}^3 = \sum_{i=1}^{n_{fr}} \sum_{j=i+1}^{n_{fr}} \sum_{g=j+1}^{n_{fr}} e_{i,j,g} . \quad (6.3)$$

При увеличении  $i$  вычисление  $Z_{fr}^i$  аналогично.

Значение усредненной ошибки качества речи подкадра  $fr$   $e_{fr}^m(t)$ .

$$e_{n_{fr}}^m(t) = Z_{fr}^t / C_{n_{fr}}^t . \quad (7)$$

Таким образом ожидаемое искажение для определенного множества скоростей  $R$ , и варианта размещения бит  $m$  будет иметь следующий вид:

$$F^m(e, R) = \sum_{j=1}^{fr} \sum_{i=1}^t P_{n_j}^m(R, t) \cdot e_{fr}^m(t) . \quad (8)$$

### Исходные данные и результаты

Исходя из поставленной задачи и рассмотренного математического аппарата исходными данными для использования методики будут следующие:

- $N$  – количество бит в кадре речи;
- $fr$  – максимальное количество подкадров основного кадра;
- $\widehat{Q}^t$  – множество всех возможных значений качества речи при максимальной кратности ошибки  $t$ ;
- $t$  – максимальное значение рассматриваемой кратности ошибки в канале связи;
- $P_{KC}$  – вероятность ошибки в канале связи;

–  $C_1, \dots, C_z$  – семейство канальных кодов, характеризующиеся своими исправляющей способностью и скоростью;

–  $p(r_z)$  – вероятность ошибки декодирования канального кода со скоростью  $r_z$ ;

–  $V_{kc}$  – пропускная способность канала связи.

Результат применения метода – канальная структура кадра речи, дифференцированная защита полученной структуры. Полученная структура включает в себя количество областей группирования бит параметров в соответствии со степенью влияния на восстановленный сигнал, распределение конкретных бит по областям, параметры корректирующего кода каждой области. Итоговая структура позволяет получить максимальное качество передаваемого речевого сигнала.

### Пример использования методики

Рассмотрим использование метода на примере кодека речи типа MELP (Mixed Excitation Linear Prediction – линейное предсказание со смешанным возбуждением) на скорости 2,4 Кбит/с [4].

Исходными данными для использования метода являются биты параметров кодека MELP объективно ранжированные в зависимости от степени влияния на качество восстановленного сигнала [1], а также значения качества речевого сигнала при различной степени кратности ошибки канала связи  $t_{max}$ . Кратность рассматриваемой ошибки  $t$  учитывается в пределах двух исходя из снижения значения вероятности ошибки большей кратности для возможных значений ошибки в радиоканале [5]. Примем  $t_{max}=2$ . Канал связи дискретный симметричный без памяти с заданной вероятностью ошибки  $P_{KC}$ . Так как рассматриваются коротковолновые и ультракоротковолновые радиосети примем  $P_{KC} = 0,01 \div 0,02$ .

В качестве семейства кодов рассматриваются сверточные коды со скоростями 1/4, 1/3, 1/2, а также коды полученные путем выкалывания из

базовых кодов со скоростями 1/3 и 1/2 соответственно 3/5, 5/7 и 2/3, 3/4, 4/5.

Были выбраны коды со следующими полиномами для 1/4 – (135 135 147 163), 1/3 – (117 127 155), 1/2 – (133 171). Для кодов с выкалыванием были

взяты матрицы выкалывания: для 2/3 –  $\begin{bmatrix} 11 \\ 10 \end{bmatrix}$ , для 3/4

–  $\begin{bmatrix} 110 \\ 101 \end{bmatrix}$ , для 4/5 –  $\begin{bmatrix} 1101 \\ 1010 \end{bmatrix}$ , для 3/5 –  $\begin{bmatrix} 11 \\ 11 \end{bmatrix}$ , для 5/7 –

$\begin{bmatrix} 101 \\ 110 \\ 111 \end{bmatrix}$  [5 – 7].

Практическая часть заключается в том, чтобы сравнить при заданной пропускной способности канала связи значения качества речевого сигнала в случае применения единого помехоустойчивого кода ко всем передаваемым данным и качества речи полученного при разделении бит параметров на группы с использованием выбранных кодов из заданного семейства. Критерием отбора той или иной группы является минимальное значение ожидаемой ошибки.

Исследования проводились путем имитационного и математического моделирования на ПЭВМ.

На рис. 1 и 2 представлены результаты применения разработанного метода.

Рис. 1 соответствует ситуации при вероятности ошибки в канале связи  $P_{кс}=10^{-2}$ , а рис. 2 –  $P_{кс}=2*10^{-2}$ . Каждому номиналу пропускной способности соответствует значение кодовой скорости при равномерном кодировании.

Диапазон изменения усредненных значений качества сигнала для кодека MELP находится между 0,7 и 2,5 в единицах MOS. С целью упрощения восприятия результатов данный диапазон был масштабирован.

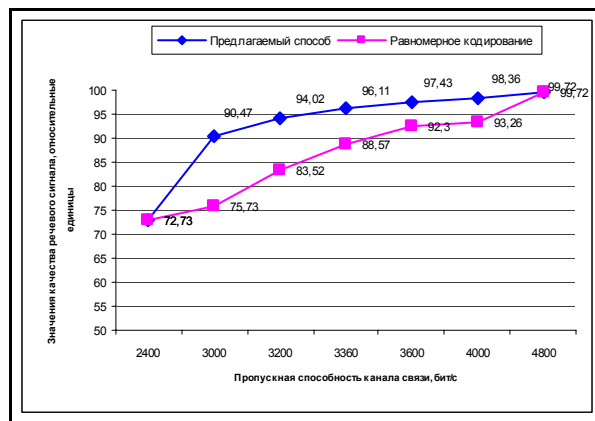


Рис. 1. Сравнение результатов предложенного метода и метода равномерной защиты речевых кадров.  $P_{кс}=1*10^{-2}$

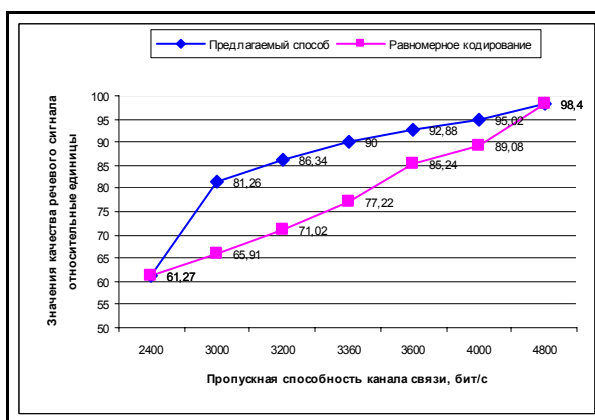


Рис. 2. Сравнение результатов предложенного метода и метода равномерной защиты речевых кадров.  $P_{кс}=2*10^{-2}$

Значения от 0,7 до 2,5 заменены шкалой от 0 до 100.

В табл. 1 представлены для обоих методов кодирования:

- значения качества речевого сигнала в единицах MOS;
- полученный выигрыш, в процентах;
- полоса пропускания канала связи, бит/с;
- варианты размещения бит параметров передаваемого сигнала по областям группирования;
- скорости помехоустойчивых кодов.

Как видно из приведенных результатов предложенный метод позволяет повысить качество принимаемого сигнала на 10-15 % в сравнении с применением единого помехоустойчивого кода ко всей совокупности передаваемых данных.

Таблица 1

Значения для обоих методов кодирования

Пропускная способность канала связи	Значения качества речевого сигнала в единицах MOS				Размещение бит параметров	Кодовые скорости	Размещение бит параметров	Кодовые скорости	Выигрыш	
	$P_{кс}=1*10^{-2}$		$P_{кс}=2*10^{-2}$						$P_{кс}=1*10^{-2}$	$P_{кс}=2*10^{-2}$
	Предлагаемый метод	Равномерное кодирование	Предлагаемый метод	Равномерное кодирование	Предлагаемый метод	Равномерное кодирование				
2400	2,0093	2,0093	1,803	1,803	54	-	54	-	-	-
3000	2,3285	2,0632	2,1628	1,8865	2 30 22	2/3 5/7 -	54	4/5	14,73%	15,35%
3200	2,3924	2,2034	2,2542	1,9784	45 9	5/7 -	54	3/4	10,5%	15,32%
3360	2,43	2,2944	2,3201	2,09006	2 50 2	2/3 5/7 -	54	5/7	7,53%	12,78%
3600	2,4539	2,4539	2,372	2,2344	9 45	1/2 5/7	54	2/3	5,13%	7,64%
4000	2,4705	2,3788	2,4104	2,3036	24 30	1/2 5/7	54	3/5	5,09%	5,93%
4800	2,4951	2,4951	2,4712	2,4712	54	1/2	54	1/2	-	-

### Заключение

Таким образом, предложен метод создания канальной структуры кадра речи, позволяющей максимизировать качество передаваемых речевых данных. Данная структура в отличие от существующих, позволяет определить количество областей группирования передаваемых бит, автоматизировано разместить, объективно оцененные биты кадра речи в передаваемом кадре. Размещение осуществлено в порядке снижения степени важности бит на качество восстановленного сигнала. Выбрать необходимую степень защиты каждого уровня с учетом пропускной способности канала связи.

Применение такой структуры обеспечивает повышение помехоустойчивости принятого речевого сигнала на 10-15 % в отличии от метода равномерной защиты передаваемых данных.

### Литература

- ГОСТ Р 51061-97 Системы низкоскоростной передачи речи по цифровым каналам параметры качества речи и методы измерений.
- Стрюк А.Ю., Янсонс Я.В. Методика исследова-

ования помехоустойчивости параметров кодеков речи с использованием оценок PESQ // Информационные технологии и компьютерная инженерия. – 2007. – № 1(8). – С. 130.

3. Стрюк А.Ю., Янсонс Я.В. Методика исследования помехоустойчивости бит параметров низкоскоростных кодеков речи // Радиоэлектронные и компьютерные системы. – 2007. – № 5. – С. 160 - 165.

4. Supplee L., Cohn R., Collura J., McGree A. A 2,4 kbit/s MELP- New U.S. Federal Standard Proceedings of ICASSP, IEEE. –1997. – P.1591-1594.

5. Харкевич А.А. Борьба с помехами. – М.: Наука, 1965. – 276 с.

6. Todd K. Moon, Error correction codes (Mathematical methods and algorithms). – Hoboken, New Jersey. – John Wiley & Sons, Inc., 2005. – 804 p.

7. Блейхут Р., Теория и практика кодов контролируемых ошибки. – М.: Мир, 1986. – 576 с.

Поступила в редакцию 12.02.2008

**Рецензент:** канд. техн. наук К.О. Польщикова. Военный институт телекоммуникаций и информатизации Национального технического университета Украины «КПИ», Полтава.