

КОМПАНДИРОВАНИЕ РЕЧЕВОГО СООБЩЕНИЯ ПО РЕКОМЕНДАЦИИ МСЭ-Т G.711 МЕЖДУНАРОДНОГО СОЮЗА ЭЛЕКТРОСВЯЗИ

Горелов Г.В.¹, Осницкий В.И.¹, Трусов К.С.¹, Ромашкова О.Н.²

¹ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет путей сообщения», Россия, e-mail: g.gorelov@mail.ru;

²«Московский городской педагогический университет», Россия, e-mail: ox-rom@yandex.ru

Наиболее значительным достижением в области телекоммуникаций, которое будет использоваться человечеством в необозримой перспективе, является создание основного цифрового канала (ОЦК), характеристики которого определяют режим преобразования речи человека в цифровую форму и регламентированы в начале 80-х годов прошлого столетия рекомендацией МСЭ-Т G.711 Международного союза электросвязи. Одним из основных достоинств ОЦК является неравномерное квантование речевого сообщения (компандирование по «А-закону», используемое в Европе, и компандирование по «μ-закону», используемое в Северной Америке, Японии и т.д.). Для иллюстрации работы компандера G.711 применена реальная модель речевого сообщения, полученная авторами. Иллюстрировано существенное преимущество алгоритма компандирования в ОЦК по сравнению с алгоритмом равномерного квантования сообщения по уровню.

Ключевые слова: компандер ОЦК, речевое сообщение, результат компандирования.

COMPANDING OF VOICE MESSAGES ON THE RECOMMENDATION ITU-T G. 711 OF THE INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION

Gorelov G.V.¹, Osnitsky V.I.¹, Trusov K.S.¹, Romashkova O.N.²

¹"Moscow state University of railway engineering", Moscow, Russia, e-mail: g.gorelov@mail.ru;

²"Moscow State Pedagogical University", Moscow, Russia, e-mail: ox-rom@yandex.ru

The most significant achievement in the field of telecommunications, which will be used by mankind in the immense perspective, is the creation of basic digital channel (BDC) which characteristics affect the transformation of human speech into digital form and regulated in the early 80-ies of ITU-T G. 711 of the International Telecommunication Union. One of the main advantages of the BDC is non-uniform quantization of verbal communication (companding "A-law" as used in Europe and companding «μ-law" as used in North America, Japan, etc.). To illustrate the operation of the compander G.711 used a real model of verbal communication obtained by the authors. Illustrated a significant advantage in the BDC companding algorithm compared to uniform quantization algorithm in terms of the message.

Keywords: compander BDC, voice message, the result of companding.

Наиболее значительным достижением в области телекоммуникаций, которое будет использоваться человечеством в необозримой перспективе, является создание основного цифрового канала (ОЦК), характеристики которого определяют режим преобразования речи человека в цифровую форму и регламентированы в начале 80-х годов прошлого столетия рекомендацией МСЭ-Т G.711 Международного союза электросвязи [1-4].

Одним из основных достоинств ОЦК является неравномерное квантование сообщения (компандирование по «А-закону», используемое в Европе, и компандирование по «μ-закону», используемое в Северной Америке, Японии и т.д.).

Представляется целесообразным уже на младших курсах привлечь внимание будущих специалистов в области телекоммуникационных технологий к проблемам реализации ОЦК.

Статья основана на результатах такой работы в Московском государственном университете путей сообщения со студентами 3-го курса, обучающимися по специальности 190901.65 (специализации: 190901-65.3 «Телекоммуникационные системы и сети железнодорожного транспорта» и 190901-65.4 «Радиотехнические системы на железнодорожном транспорте») в рамках дисциплины «Теория передачи сигналов».

Поскольку ОЦК определяет режим преобразования речи человека в цифровую форму, постольку студент должен знать основные характеристики речевого сообщения и в том числе его плотность распределения вероятностей.

Органы речи у людей разных языковых групп одинаковы. Но есть отличия в фонетике. Используем результаты наших работ по экспериментальному нахождению плотности распределения вероятностей речевого сообщения на русском, английском, испанском, вьетнамском, казахском, мьянманском и т.п. языках [5-10].

Плотность распределения вероятностей речевого сообщения

Плотность распределения вероятностей $w(x)$ речевого сообщения $x(t)$ на любом языке хорошо описывается гиперэкспоненциальным распределением (для каждого языка со своими параметрами α и β):

$$w(x) = R[e^{-\alpha|x|} + e^{-\beta|x|}] \quad (1)$$

Например, для речевого сообщения на русском языке с среднеквадратическим отклонением σ_x значения коэффициентов: $R = \frac{0,64}{\sigma_x}$; $\beta = \frac{19,33}{\sigma_x}$; $\alpha = \frac{1,3}{\sigma_x}$ [5, 9].

При построении графика плотности распределения вероятностей речевого сообщения можно воспользоваться областью значений аргумента $-3 \leq \frac{x}{\sigma_x} \leq 3$ (правило трех сигм), но больший интерес представляет область значений, обладающих для речи наибольшей информативностью, например, область $-0,3 \leq \frac{x}{\sigma_x} \leq 0,3$. Графики п.р.в. для этих областей приведены на рис. 1 и 2.

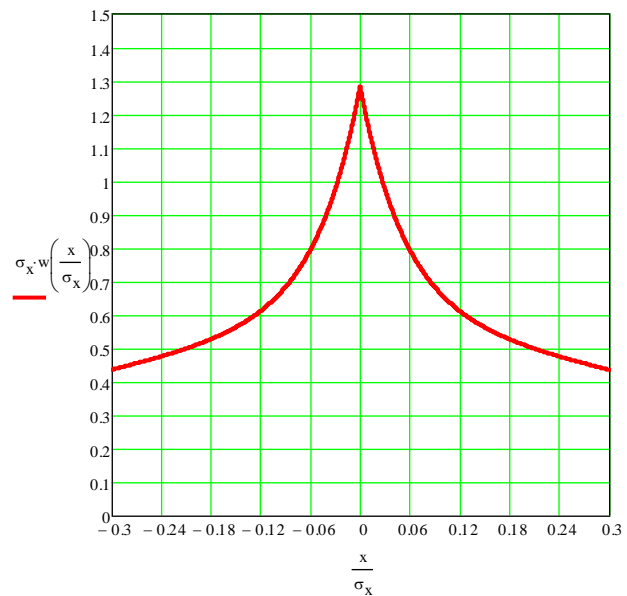
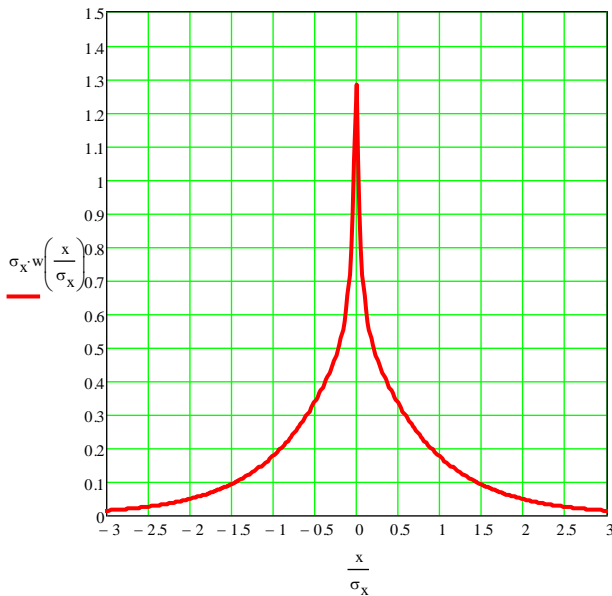


Рис.1. ПРВ для области $-3 \leq \frac{x}{\sigma_x} \leq 3$ Рис.2. ПРВ для области $-0,3 \leq \frac{x}{\sigma_x} \leq 0,3$

Механизм компрессирования, реализуемый ОЦК

В ОЦК реализуется неравномерное квантование – логарифмическое компандирование по формулам «А» и «μ», описывающим зависимость $y(x)$, где y – значение сигнала на выходе компандера, x – значение сигнала на его входе. Для μ-закона ($\mu = 255$) и А-закона ($A = 87,56$) используются формулы (2) и (3а и 3б) соответственно.

$$y(x) = \frac{\ln(1 + \mu|x|)}{\ln(1 + \mu)}, \quad \text{при } -1 \leq x \leq 1 \quad (2)$$

$$y(x) = \begin{cases} \frac{A|x|}{1 + \ln A}, & \text{при } 0 \leq |x| \leq \frac{1}{A} \\ \frac{1 + \ln(A|x|)}{1 + \ln A}, & \text{при } \frac{1}{A} \leq |x| \leq 1 \end{cases} \quad (3a)$$

$$y(x) = \begin{cases} \frac{A|x|}{1 + \ln A}, & \text{при } 0 \leq |x| \leq \frac{1}{A} \\ \frac{1 + \ln(A|x|)}{1 + \ln A}, & \text{при } \frac{1}{A} \leq |x| \leq 1 \end{cases} \quad (3b)$$

Нами будут использованы и обратные зависимости

$$x(y) = \frac{1 - e^{y \ln(1+\mu)}}{\mu}, \quad \text{при } -1 \leq y \leq 1 \quad (4)$$

$$x(y) = \frac{y + y \ln A}{A}, \quad \text{при } -\frac{1}{1 + \ln A} \leq y \leq \frac{1}{1 + \ln A} \quad (5a)$$

$$x(y) = \frac{e^y + e^{y \ln A - 1}}{A}, \quad \text{при } \frac{1}{1 + \ln A} \leq y \leq 1 \quad (5b)$$

С их использованием получаем значения размеров шагов неравномерного квантования, которые обеспечивает компрессор ОЦК (табл. 1).

Таблица 1

і-й уровень квантования	Значение сигнала u_i на выходе компрессора при μ - и А-	Значение сигнала x_i на входе компрессора при	Шаг квантования $X_i - X_{i-1}$ при μ -	Значение сигнала x_i на входе компрессора при А-	Шаг квантования $X_i - X_{i-1}$ при А-

ния	законах (в долях от $3\sigma_x$)	μ - законе (в долях от $3\sigma_x$)	законе (в долях от $3\sigma_x$)	законе (в долях от $3\sigma_x$)	законе (в долях от $3\sigma_x$)
1	1/128 = 0,00781	0,0001736	0,0001736	0,0004883	0,0004883
2	2/128 = 0,01563	0,0003549	0,0001813	0,0009765	0,0004883
3	3/128 = 0,02344	0,0005442	0,0001893	0,001465	0,0004883
4	4/128 = 0,03125	0,000742	0,0001977	0,001953	0,0004883
5	5/128 = 0,03906	0,0009484	0,0002065	0,002441	0,0004883
6	6/128 = 0,04688	0,001164	0,0002156	0,002929	0,0004883
7	7/128 = 0,05469	0,001389	0,0002251	0,003418	0,0004883
8	8/128 = 0,0625	0,001624	0,0002351	0,003906	0,0004883
...
75	75/128 = 0,5859	0,09712	0,004284	0,0994	0,00416
76	76/128 = 0,5938	0,1016	0,004474	0,1037	0,004342
...
127	127/128 = 0,9922	0,9574	0,04076	0,9574	0,0401
128	128/128 = 1	1	0,04256	1	0,04185

График, иллюстрирующий механизм квантования (для примера использования μ -закона), представлен на рис. 3.

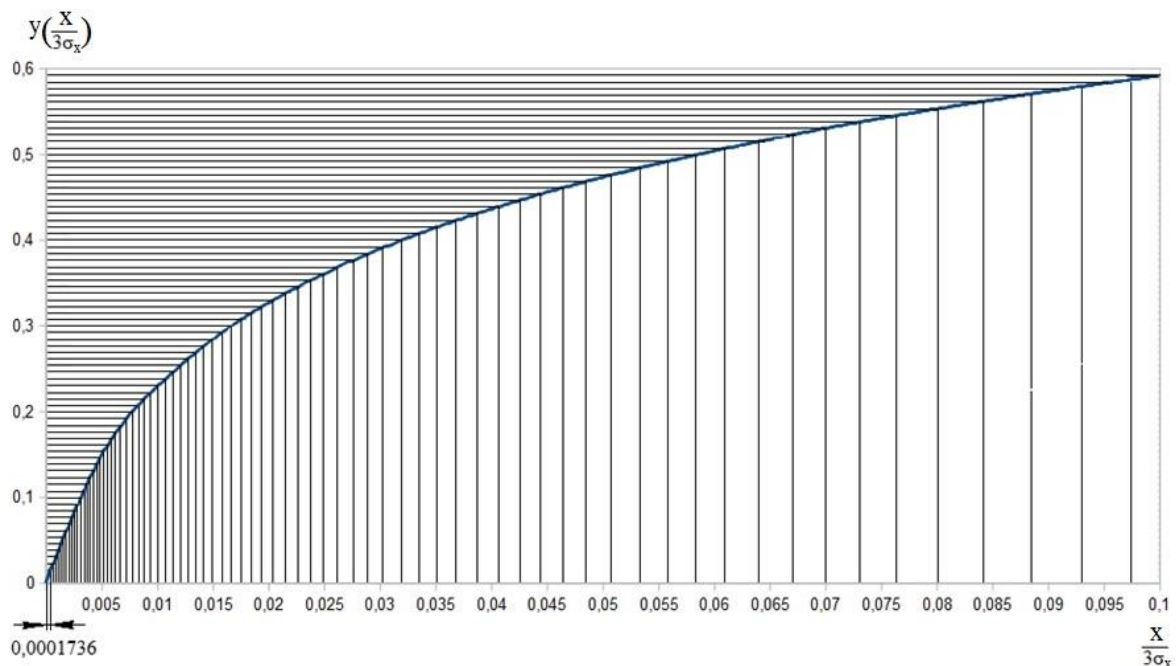


Рис. 3. Иллюстрация механизма квантования

Данные табл. 1 дают представления о возможностях компрессора с чисто математической точки зрения (без учета процессов компрессирования в ОЦК).

Результаты реального компрессирования с учетом процессов сегментирования представлены в табл. 2.

Таблица 2

Номер i уровня квантования	Номер сегмента	Шаг квантования при μ - законе (в долях от $3\sigma_x$)	Шаг квантования при A - законе (в долях от $3\sigma_x$)
1	1	0,0002451	0,0005156

2	1	0,0002451	0,0005156
3	1	0,0002451	0,0005156
4	1	0,0002451	0,0005156
5	1	0,0002451	0,0005156
6	1	0,0002451	0,0005156
7	1	0,0002451	0,0005156
8	1	0,0002451	0,0005156
9	1	0,0002451	0,0005156
10	1	0,0002451	0,0005156
11	1	0,0002451	0,0005156
12	1	0,0002451	0,0005156
13	1	0,0002451	0,0005156
14	1	0,0002451	0,0005156
15	1	0,0002451	0,0005156
16	1	0,0002451	0,0005156
...			
75	5	0,003922	0,00398
76	5	0,003922	0,00398
...			
113	8	0,03137	0,03096
114	8	0,03137	0,03096
115	8	0,03137	0,03096
116	8	0,03137	0,03096
117	8	0,03137	0,03096
118	8	0,03137	0,03096
119	8	0,03137	0,03096
120	8	0,03137	0,03096
121	8	0,03137	0,03096
122	8	0,03137	0,03096
123	8	0,03137	0,03096
124	8	0,03137	0,03096
125	8	0,03137	0,03096
126	8	0,03137	0,03096
127	8	0,03137	0,03096
128	8	0,03137	0,03096

Изменение плотности распределения вероятностей речевого сообщения в результате компрессирования. Эффект от неравномерного квантования, реализуемого ОЦК

В результате компрессирования по μ -закону и Λ -закону формула (1) для определения п.р.в. принимает вид (формулы 6 и 7а, 7б соответственно).

$$w(x) = \frac{1}{\sigma_x} \sqrt{\frac{\alpha^3 + \beta^3}{2(\alpha + \beta)^3}} \left[e^{-\alpha \frac{\ln(1+\mu|x|)}{\ln(1+\mu)}} + e^{-\beta \frac{\ln(1+\mu|x|)}{\ln(1+\mu)}} \right], \quad \text{при } -1 \leq |x| \leq 1 \quad (6)$$

$$w(x) = \begin{cases} \frac{1}{\sigma_x} \sqrt{\frac{\alpha^3 + \beta^3}{2(\alpha + \beta)^3}} \left[e^{-\alpha \frac{|x|}{1+\ln A}} + e^{-\beta \frac{|x|}{1+\ln A}} \right], & \text{при } 0 \leq |x| \leq \frac{1}{A} \quad (7a) \\ \frac{1}{\sigma_x} \sqrt{\frac{\alpha^3 + \beta^3}{2(\alpha + \beta)^3}} \left[e^{-\alpha \frac{1+\ln(|x|)}{1+\ln A}} + e^{-\beta \frac{1+\ln(|x|)}{1+\ln A}} \right], & \text{при } \frac{1}{A} \leq |x| \leq 1 \quad (7b) \end{cases}$$

Графики плотности распределения вероятностей сообщения в области $-\mathbf{0,3} \leq \frac{x}{\sigma_x} \leq \mathbf{0,3}$ значений аргумента, для результатов компрессирования по μ - и A -законам, приведены на рисунках 4 и 5 соответственно.

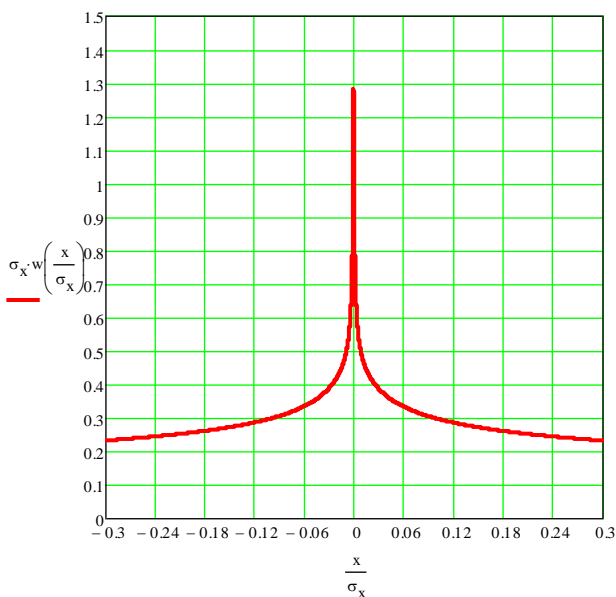


Рис. 4. П.р.в. для μ -закона в области аргумента $-\mathbf{0,3} \leq \frac{x}{\sigma_x} \leq \mathbf{0,3}$

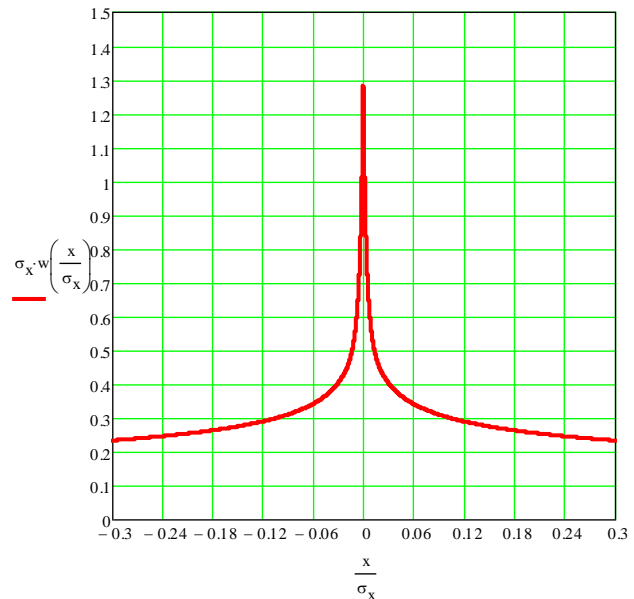


Рис. 5. П.р.в. для A -закона в области аргумента $-\mathbf{0,3} \leq \frac{x}{\sigma_x} \leq \mathbf{0,3}$

Сопоставление графиков рисунков 2, 4 и 5 иллюстрирует существенное преимущество алгоритма компрессирования в ОЦК по сравнению с алгоритмом равномерного квантования сообщения по уровню.

Заключение

В работе рассмотрены вопросы функционирования основного цифрового канала, характеристики которого определяют режим преобразования речи в цифровую форму и регламентированы рекомендацией МСЭ-Т G.711 Международного союза электросвязи. Для иллюстрации работы компрессора G.711 применена реальная модель речевого сообщения, полученная авторами. Иллюстрировано существенное преимущество алгоритма компрессирования в ОЦК по сравнению с алгоритмом равномерного квантования сообщения по уровню.

Список литературы

1. Горелов Г.В., Фомин А.Ф., Волков А.А., Котов В.К., Ромашкова О.Н. Теория передачи сигналов на железнодорожном транспорте. М.: Транспорт, 2013.
2. Горелов Г.В., Ромашкова О.Н., Петров А.А., Толмачев П.Н., Толстошеин А.В., Юрченко Д.Ю. Современные телекоммуникационные технологии. Моделирование / под ред. Г.В.Горелова. М.: МИИТ, 2009.
3. Горелов Г.В. и др. Телекоммуникационные технологии на железнодорожном транспорте. М.: УМК МПС РФ, 1999.
4. Горелов Г.В. Нерегулярная дискретизация сигналов. М.: Радио и связь, 1982. 256с.
5. Горелов Г.В., Ромашкова О.Н., Чан Туан Ань. Качество управления речевым трафиком в телекоммуникационных сетях. М.: Радио и связь, 2001.
6. Горелов Г.В., Ромашкова О.Н., Пчелинцев А.В. Аналитическая оценка качества кодеков стандарта G.711 // Телекоммуникации. 2001. № 5.
7. Горелов Г.В., Вин Хан, Ромашкова О.Н. Спектральная плотность мощности и корреляционная функция сообщения устной мьянманской речи // Проектирование и технологии электронных средств. 2010. № 3. С.49-51.
8. Горелов Г.В., Бахтиярова Е.А. Вероятностные характеристики сообщения устной казахской речи // Телекоммуникации. 2007. № 9. С.8-10.
9. Горелов Г.В., Бахтиярова Е.А., Карпов А.В. Вероятностные характеристики речевого трафика // Мир транспорта. 2007. № 1. С. 22-25.
10. Горелов Г.В., Клепцов Г.И., Попов И.Л. Пакетная передача речи в сетях подвижной связи железнодорожного транспорта // Мир транспорта. 2014. № 3 (52). С. 50-55.

Рецензенты:

Зыков В.И., д.т.н., профессор, профессор кафедры СЭАСС Академии ГПС МЧС России, лауреат премии Правительства РФ в области науки и техники, г. Москва;

Алексеев В.М., д.т.н., профессор, профессор ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет путей сообщения» (МИИТ), г. Москва.