

УДК 004

## Управление пропускной способностью голосового канала связи через обработку и бинаризацию изображений динамических сонограмм

Устинов Роман Андреевич

Аспирант,  
независимый эксперт;  
e-mail: public-ura@yandex.ru

### Аннотация

В данной работе предложен новый подход к управлению пропускной способностью, который основан на преобразовании волны речевого сигнала в полутоновое изображение с последующим применением к нему методов сегментирования значимых для слухового восприятия участков и бинаризации. Задача управления пропускной способностью каналов голосовой связи является одной из значимых задач обеспечения безопасности РИ от угроз доступности информации. Для ее решения требуется разработка новых и эффективных подходов к защите РС от данного класса угроз. Одним из таких подходов является предложенная и рассмотренная технология образного анализа акустического (речевого) сигнала «звук (речь) – полутоновое изображение – бинарное изображение – обработка и защита – бинарное изображение – полутоновое изображение – звук (речь)». Преимущество данной технологии обусловлено тем, что ее применение позволяет для решения задач защиты и обработки РС существенно сократить объем передаваемой информации, предоставляет возможность использования богатого и хорошо апробированного арсенала методов обработки бинарных изображений.

### Для цитирования в научных исследованиях

Устинов Р.А. Управление пропускной способностью голосового канала связи через обработку и бинаризацию изображений динамических сонограмм // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2018. Том 8. № 8А. С. 426-436.

### Ключевые слова

Угрозы доступности речевой информации, бинаризация изображений, динамические сонограммы, графический образ речевого сигнала, управление пропускной способностью речевого канала.

## Введение

Обеспечение информационной безопасности акустической (речевой) информации (РИ) при ее передаче по голосовым каналам связи не потеряла своей актуальности, несмотря на широкий спектр существующих методов и средств защиты РИ. Такое положение дел обусловлено тем, что голосовая коммуникация (традиционная телефония, сотовая и/или спутниковая связь видеоконференцсвязь, IP-телефония и т.д.) до сих пор остается наиболее востребованным способом обмена информацией между взаимодействующими субъектами. Чем ценнее передаваемая информация, тем выше вероятность, что на нее непосредственно и/или на информационные системы, участвующие в ее обработке (передача, прием, хранение и т.д.) тем или иным способом будет осуществлено информационно-техническое воздействие (ИТВ) злоумышленника.

### Материалы и методы

Одним из видов такого воздействия являются атаки, направленные на уменьшение пропускной способности или полное блокирование канала голосовой связи. Ярким примером таких атак может служить постановка активных организованных радиопомех. Причем помехи должны носить случайный характер, так как известные помехи легко распознаются.

Известно, что при ограничении динамического диапазона постановщика помех  $|x| \leq x_{max}$ , где  $x_{max}$  – амплитуда помехи, наибольшая неопределенность относительно ее параметров достигается при равномерном распределении помехи, т.е.

$$W_x = \frac{1}{2x_{max}} \quad (1)$$

В случае ограничения средней мощности передатчика (дисперсии помехи)  $\sigma_x^2 \leq \sigma^2$  наибольшая неопределенность относительно ее параметров достигается при нормальном распределении помехи, т.е.

$$W(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left[-\left(\frac{x^2}{2\sigma^2}\right)\right] \quad (2)$$

Таким образом, очевидно, что в процессе ведения ИТВ как мощность, так и амплитуда помех могут меняться. Следовательно, при меньшей интенсивности помех можно обойтись меньшей избыточностью (основной метод сохранения достоверности передачи информации в условиях действия помех) с повышением скорости передачи информации и наоборот. Отсюда и возникает задача управления пропускной способностью канала связи при изменении общей помеховой обстановки в пространстве речевых коммуникаций. [Скляр, 2004; Куприянов, Сахаров, 2007].

### Подходы к противодействию угрозам информационно-технического воздействия на пропускную способность каналов связи

В общем случае ИТВ на пропускную способность каналов голосовой связи относятся к угрозам доступности РИ. Как уже было отмечено выше, существует большой выбор хороших

зареккомендовавших себя методов противодействия данному типу угроз. Однако процесс постоянного развития технических возможностей злоумышленников требует разработки новых решений, которые смогли бы обеспечить необходимый уровень защиты РИ на максимально возможный период времени.

Угрозы доступности РИ напрямую связаны с особенностями построения каналов голосовой связи, а также вопросами помехозащищенности и пропускной способности. Традиционными способами противодействия атакам, направленным на нарушение доступности, в том числе и доступности РИ, являются:

- внесение избыточности, как правило, в технические компоненты информационной системы на различных этапах обработки РИ [Цирлов, 2018; Козлачков, Дворянкин, Василевская, 2018, 108; Дворянкин, 2003];
- повышение уровня мощности передаваемого сигнала;
- использование помехоустойчивого кодирования.

Однако указанные традиционные методы оказываются не всегда эффективны, дороги в реализации. Более того существует ряд специфических задач, где они вообще не могут быть применимы.

В таком случае необходим поиск новых подходов к противодействию угрозам доступности РИ, которые позволят, не внося значительных изменений в технические компоненты информационной инфраструктуры и не увеличивая ее вычислительной мощности, управлять пропускной способностью канала голосовой связи (КГС), оперируя исключительно параметрами описаний самих речевым сигналом. Важным свойством таких подходов должна быть их адаптивность, то есть возможность соответствовать изменяющейся пропускной способности КГС в зависимости от интенсивности ИТВ.

Указанными свойствами обладает подход к реализации адаптивного сжатия/восстановления графических образов РС, основанный на применении достаточно перспективной и хорошо зарекомендовавшей себя технологии преобразования и обработки акустической (речевой) информации «звук – изображение – звук» [Дворянкин, 2003; Калужин, 2001; Устинов, 2017, 78; Дворянкин, Козлачков, Харченко, 2007, 20; Дворянкин, 2015, 37]. Данная технология основана на использовании одного из основных методов цифровой обработки сигналов – кратковременного спектрального Фурье-анализа (КФА).

Первая часть преобразования «звук-изображение» позволяет на основе КФА корректно рассчитать и получить изображение узкополосных динамических сонограмм (ДС). Основные параметры и ограничения такого расчёта указаны в работе [Дворянкин, 2003].

Изображение ДС обычно рассчитывают в координатах время-частота-яркость (цвет), как правило, в градациях серого цвета (полутоновое). Интенсивность цвета соответствует амплитуде или мощности спектра речевого сигнала в определенный момент времени и на определенной частоте.

Вторая часть преобразования: «изображение – звук», – тоже основана на КФА и предназначена для синтеза речевого сигнала по имеющемуся изображению ДС. Между этими двумя частями анализа и синтеза общей технологии образного анализа акустических (речевых сигналов) можно вставлять различные блоки обработки полутоновых изображений, пригодные для решения той или иной задачи из области защиты и обработки речевой информации.

Для повышения степени безопасности РИ от угроз доступности информации предлагается усовершенствовать существующую технологию образного анализа РС «звук – изображение – обработка – изображение – звук». Улучшение характеристик защищенности РС можно достичь

за счет использования не всех значений спектра РС на изображении спектрограммы, а только той его части, в которой содержится основная энергетическая составляющая сигнала, прежде всего отвечающая за речевую разборчивость. Кроме того, само изображение ДС целесообразно преобразовать из полутонового в черно-белое (бинарное) для последующей обработки которого можно использовать годами наработанный эффективный аппарат обработки бинарных изображений (оконтуривания, распознавания, сжатия и т.п.).

**Бинаризация полутоновых изображений динамических сонограмм**

Под бинаризацией полутоновых изображений здесь будем понимать преобразование полутонового изображения динамической сонограммы в бинарное изображение, то есть в такое цифровое растровое изображение, в котором каждый пиксель представлен только одним из двух цветов (черный или белый). Понятно, что должен существовать механизм и обратного преобразования – от бинарного к полутоновому изображению, без потери качества восприятия последнего.

### Результаты и обсуждения

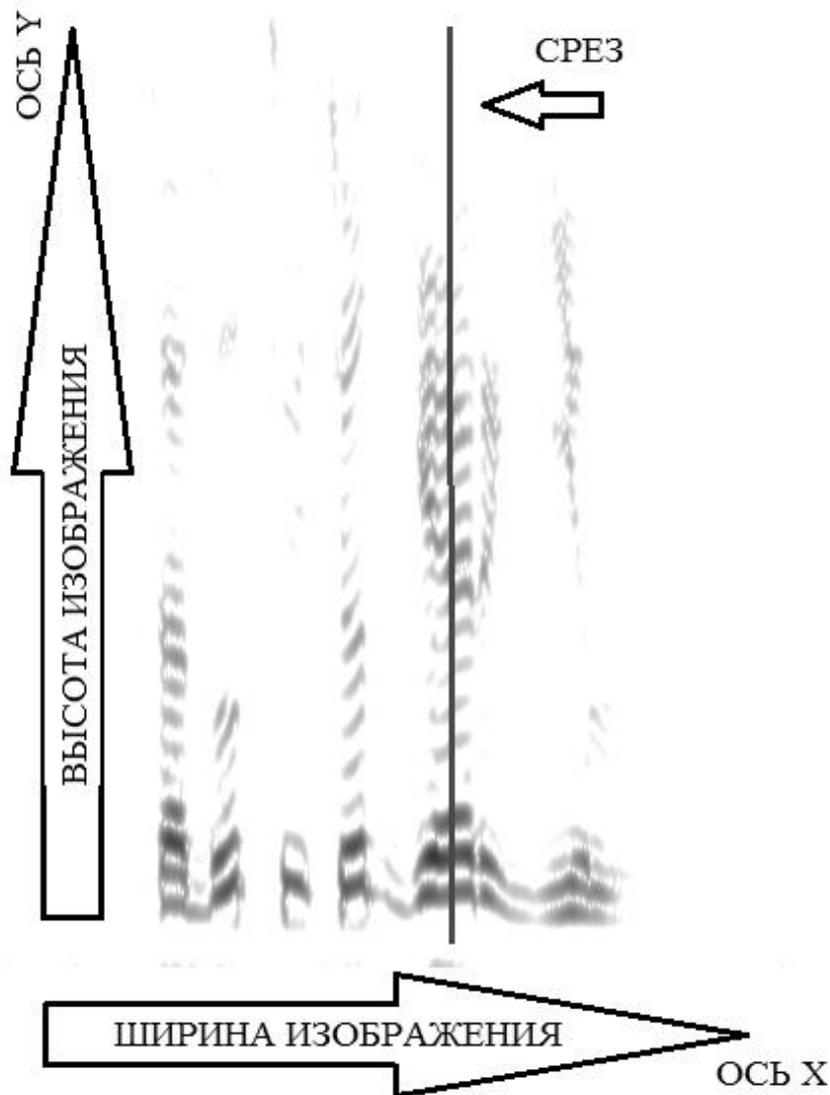
На практике различают два подхода к бинаризации полутоновых изображений: глобальный и локальный (адаптивный). Указанные подходы основаны на задании порога бинаризации, однако в первом случае порог устанавливается для всего изображений, а во втором – для некоторой окрестности. В зависимости от результата сравнения значения яркости анализируемого пикселя с пороговым выбирается и его цвет [Исрафилов, 2017, 47].

Однако указанные методы бинаризации изображений не в полной мере могут быть использованы в предлагаемой усовершенствованной технологии обработки РС «звук (речь) – полутоновое – бинарное изображение – обработка – бинарное - полутоновое изображение – звук (речь)», так как получившееся в результате бинаризации черно-белое изображение ДС не всегда позволяет корректно осуществить обратный переход к полутоновому изображению, что в свою очередь приводит к невозможности правильного синтеза РС.

Для решения данной задачи был разработан новый метод бинаризации, который учитывает особенности речеобразования и слухового восприятия и заключается в следующем:

1. Полученное в результате КФА полутоновое изображение РС или его графический образ подвергается предварительной обработке, с целью устранения определенной информационной избыточности за счет попиксельного удаления энергетической составляющей спектрально-временного описания РС ниже заданного порога, что в целом не влияет на остаточную в изображении речевую разборчивость. Проведенные эксперименты показали, что этот порог составляет порядка, 20-30 % от общей энергетики частотно-временного среза или одного столбца полутонового изображения.
2. Полутоновое изображение РС с оставшимися 70-80 % энергии на один столбец (срез) подвергается дальнейшей обработке – бинаризации. Так в каждом вертикальном срезе исходного предобработанного полутонового изображения (набор пикселей с одинаковой координатой на оси  $x$  или времени) (рис. 1) оставляем только лишь локальные максимумы спектральной огибающей. Далее на места (позиции) локальных максимумов на срезе вставляем отрезки черного цвета, длина которых логарифмически связана со значения интенсивности замещаемого локального максимума (0-255). Пиксели или позиции на срезе, где нет локальных максимумов,

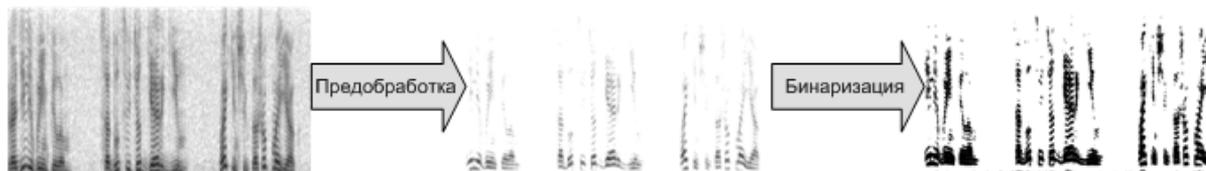
замещаются белым цветом. Таким образом, из полутонового изображения динамической ДС формируется бинарное изображение, содержащее идентичную информацию о спектральной огибающей РС, отвечающей за речевую разборчивость в полном соответствии с Гильбертовской гармонической моделью РС, проработанной в работе [Дворянкин, 2003].



**Рисунок 1 – Визуальный пример получения точек локальных максимумов**

Из полученного таким образом бинарного изображения может быть восстановлено исходное полутоновое, с сохранением всех основных параметров для качественного синтеза, а именно амплитуд, частот и фаз узкополосных сигналов, суперпозиция которых представляет исходный РС по его звучанию. Подробно процедуры синтеза рассмотрены в работе [Дворянкин, 2003].

В общем виде описанные этапы предобработки и бинаризации полутоновых изображений представлены на рисунке 2.

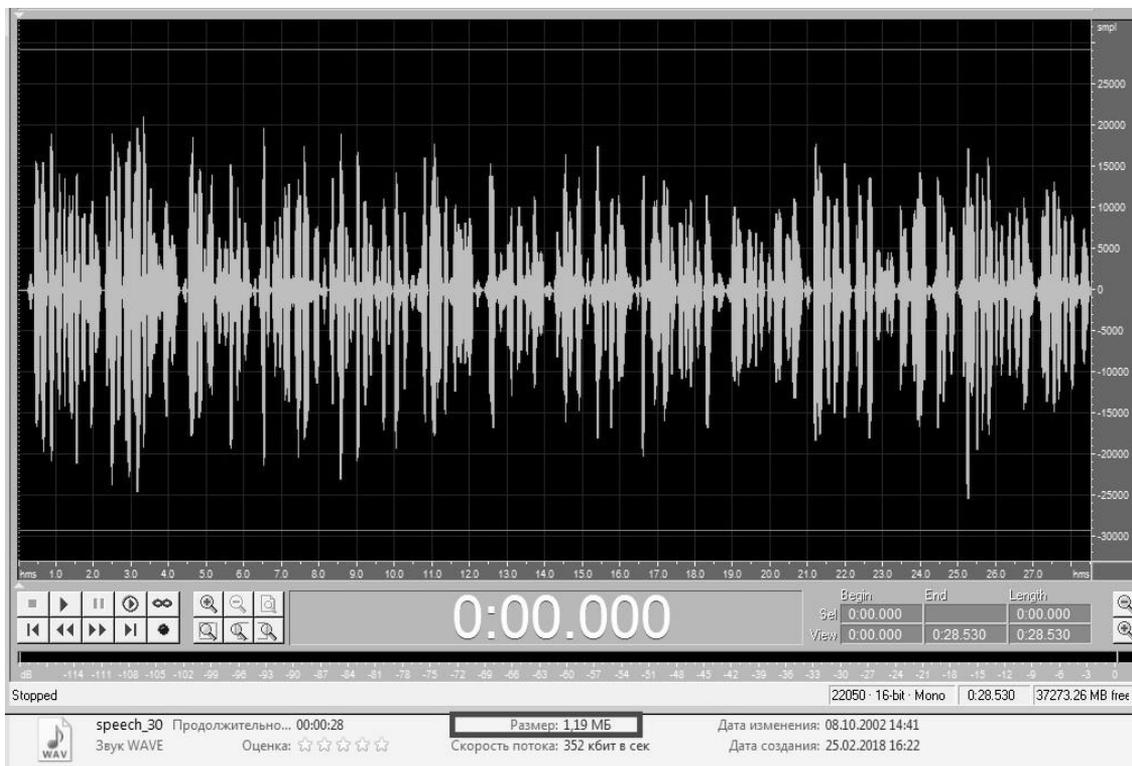


**Рисунок 2 – Иллюстрация процесса получения графических образов динамических сонограмм**

Еще раз отметим, что полученное бинарное изображение является обратимым и, выполняя обратное преобразование, достаточно легко получить полутонное изображение, по параметрам которого далее синтезируется РС, идентичный по звучанию с исходным, если над графическим образами которого никаких действий не производилось. Как будет показано дальше, использование такого бинарного изображения РС позволяет получить ряд существенных преимуществ при решении определенных задач обеспечения безопасности и защиты РИ.

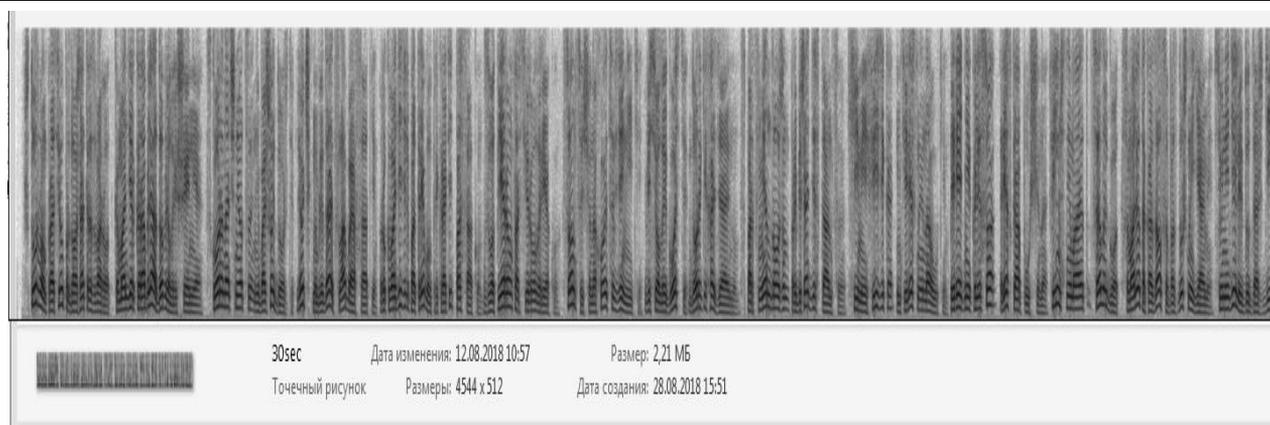
Использование бинарных изображений динамических сонограмм для управления пропускной способностью каналов голосовой связи

Рассмотрим следующий случай. Необходимо передать по каналу голосовой связи речевое сообщение длиной 30 секунд. На рисунке 3 представлена волновая форма данного сообщения с объемом занимаемой им памяти примерно в 1,2 Мб. Речевое сообщение представлено в формате \*.wav.



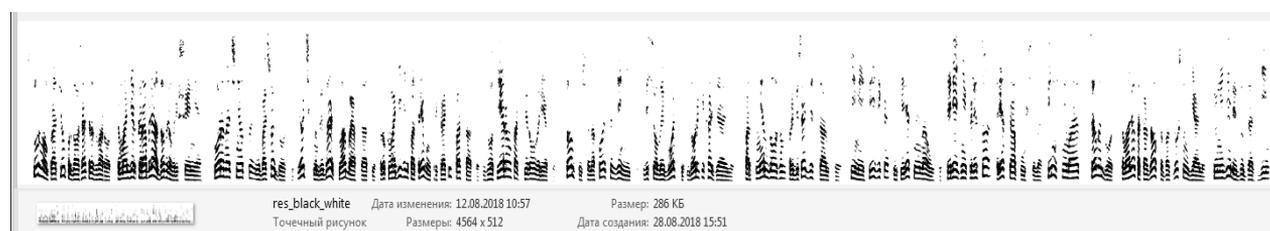
**Рисунок 3 – Пример формирования речевого сообщения**

В соответствии с предложенным подходом от волновой формы звукового сигнала с использованием КФА переходим к его графическому представлению (рис. 4).



**Рисунок 4 – Графическое представление РС**

Затем, применяя процедуры предобработки и бинаризации к графическому полутоновому изображению РС, получим его черно-белый бинарный аналог, что проиллюстрировано (рис. 5).



**Рисунок 5 – Пример бинарного изображения РС**

Полученное бинарное описание РС позволяет с использованием достаточно простых алгоритмов конвертации и сжатия-восстановления графических изображений эффективно адаптироваться к текущей пропускной способности КГС. Примеры применения данных алгоритмов к исходному полутоновому и полученному из него бинарному изображению РС представлены на рисунке 6.

На рисунке 6 черным цветом выделены исходные (полутоновое и бинарное) изображения в формате \*.bmp, красным – наиболее эффективные результаты их преобразования. Наибольший эффект сжатия исходного полутонового изображения достигается при его конвертации в формат \*.flif. Этот же метод показал свою эффективность и при конвертации бинарного изображения ДС.

Для черно-белого изображения более лучшие результаты удалось достичь, используя его преобразование в формат \*.jpg. Данный формат хорошо зарекомендовал себя для сжатия факсимильных изображений, но на практике показал свою эффективность и при сжатии других типов бинарных изображений.

Очень близкий результат к формату \*.jpg показало преобразование в формат \*.tif с параметрами сжатия **CCITT Group 4** (G 4), который также использовался для сжатия факсимильных черно-белых изображений.

В таблице 1 приведено сравнение коэффициентов и степени сжатия известных форматов при их применении к бинарному изображению ДС. Коэффициент сжатия рассчитывается по формуле [Дворянкин, 2015, 35]

$$R = \frac{L_{исх}}{L_{сж}} \tag{3}$$

где  $L_{исх}$   $L_{исх}$  – объем данных исходного изображения, а  $L_{сж}$  – объем сжатых данных.  
 Степень сжатия  $r$ , характеризующая относительное уменьшение объема данных:

$$r = \frac{L_{исх} - L_{сж}}{L_{исх}} \times 100\% \tag{4}$$

Имя	Дата изменения	Тип	Размер
исходное полутоновое изображение.bmp	12.08.2018 10:57	Точечный рисунок	2 274 КБ
исходное полутоновое изображение.flif	25.09.2018 21:32	Файл "FLIF"	343 КБ
исходное полутоновое изображение.gif	25.09.2018 21:25	Рисунок GIF	735 КБ
исходное полутоновое изображение.jif	25.09.2018 21:33	Файл "JIF"	697 КБ
исходное полутоновое изображение.jp2	25.09.2018 21:35	Файл "JP2"	681 КБ
исходное полутоновое изображение.jpg	25.09.2018 21:27	Рисунок JPEG	1 617 КБ
исходное полутоновое изображение.png	25.09.2018 21:27	Рисунок PNG	673 КБ
исходное полутоновое изображение.tga	25.09.2018 21:38	FastStone TGA File	1 977 КБ
исходное полутоновое изображение.tif	25.09.2018 21:28	Рисунок TIFF	1 041 КБ
исходное полутоновое изображение.webp	25.09.2018 21:38	Yandex Browser W...	658 КБ

Имя	Дата изменения	Тип	Размер
исходное черно-белое изображение.bmp	25.09.2018 21:42	Точечный рисунок	287 КБ
исходное черно-белое изображение.flif	25.09.2018 21:45	Файл "FLIF"	18 КБ
исходное черно-белое изображение.gif	25.09.2018 21:44	Рисунок GIF	49 КБ
исходное черно-белое изображение.jbg	25.09.2018 21:45	Файл "JBG"	17 КБ
исходное черно-белое изображение.jif	25.09.2018 21:45	Файл "JIF"	50 КБ
исходное черно-белое изображение.jp2	25.09.2018 21:46	Файл "JP2"	685 КБ
исходное черно-белое изображение.png	25.09.2018 21:44	Рисунок PNG	48 КБ
исходное черно-белое изображение.tga	25.09.2018 21:48	FastStone TGA File	286 КБ
исходное черно-белое изображение.tif	25.09.2018 21:44	Рисунок TIFF	24 КБ
исходное черно-белое изображение.webp	25.09.2018 21:48	Yandex Browser WEBP Document	35 КБ

**Рисунок 6 – Пример применения алгоритмов конвертации изображений к изображениям графических сонограмм**

**Таблица 2 – Сравнение алгоритмов конвертации бинарного изображения**

Формат исходного изображения	$L_{исх}$ , Кбайт	Форматы конвертации	$L_{сж}$ , Кбайт	R	r, %
*.bmp (1 bpp)	287	flif	18	15,94	93,73%
		gif	49	5,86	82,93%
		jbg	17	16,88	94,08%
		jif	50	5,74	82,58%
		jp2	685	0,42	-138,68%
		png	48	5,98	83,28%
		tga	286	1,00	0,35%
		tif (G 4)	24	11,96	91,64%
webp	35	8,20	87,80%		

Результаты, представленные в таблице 1, наглядно доказывают, что наилучшая степень сжатия бинарного изображения достигается при его конвертации в формат \*.jbg. Сопоставимый результат показал формат \*.flif. Однако преобразование \*.jbg по сравнению с \*.flif является менее ресурсоемким, с точки зрения затрачиваемого времени.

Таким образом, оценена и проверена возможность использования для управления пропускной способностью КГС предложенного способа преобразования РС в графическое изображение. Разработанный способ позволяет эффективно управлять пропускной способностью КГС, в зависимости от ее значения в канал передается РС без каких-либо изменений или полутоновое изображение спектрограммы данного РС, а в случае серьезного снижения пропускной способности – бинарное изображение спектрограммы РС в исходном формате или в формате \*.jbg.

### Заключение

Задача управления пропускной способностью каналов голосовой связи является одной из значимых задач обеспечения безопасности РИ от угроз доступности информации. Для ее решения требуется разработка новых и эффективных подходов к защите РС от данного класса угроз.

Одним из таких подходов является предложенная и рассмотренная технология образного анализа акустического (речевого) сигнала «звук (речь) – полутоновое изображение – бинарное изображение – обработка и защита – бинарное изображение – полутоновое изображение – звук (речь)». Преимущество данной технологии обусловлено тем, что ее применение позволяет для решения задач защиты и обработки РС существенно сократить объем передаваемой информации, предоставляет возможность использования богатого и хорошо апробированного арсенала методов обработки бинарных изображений.

Весьма перспективным использование данной технологии видится для защиты РИ от угроз целостности информации. Так, например, ее можно использовать для создания аудиомаркеров, цифровых водяных знаков и/или в технологии речевой подписи для подтверждения подлинности документов на электронных и бумажных носителях, установления личности участников переговоров, аутентификации клиентов в дистанционном банковском обслуживании.

Также бинарные изображения, полученные в результате обработки исходных полутоновых изображений динамических сонограмм, могут применяться в приложениях речевой стеганографии для создания новых маскираторов речи.

### Библиография

1. Дворянкин С. В. Речевая подпись. Учеб. пособие / Под ред. А. В. Петракова. – М.: РИО МТУСИ. – 2003.
2. Дворянкин С.В., Дворянкин Н.С. Способ установления подлинности речевых сообщений, передаваемых по каналам сотовой связи // Спецтехника и связь. – 2015. – № 4. – 32-39 с.
3. Дворянкин С.В., Козлачков С.Б., Харченко Л.А. Оценка защищенности речевой информации с учетом современных технологий шумоочистки // Вопросы защиты информации. – № 2. – 2007. – 18-21 с.
4. Исрафилов Х. С. Исследование методов бинаризации изображений // Вестник науки и образования. – 2017. – № 6. – 43-50 с.
5. Калужин Р.В. Адаптивное сжатие акустических сигналов и речи в автоматизированных системах защиты и обработки оперативно-розыскной информации: автореф. дис. ... канд. тех. наук. Моск. ин-т МВД РФ. – Москва. – 2001.

6. Козлачков С.Б., Дворянкин С.В., Василевская Н.В. Фонетическая функция А.А. Пирогова и помехоустойчивость канала речевой коммуникации. Речевые технологии. – 2018. – № 1-2. – 105-110 с.
7. Куприянов А. И., Сахаров А. В. Теоретические основы радиоэлектронной борьбы. М.: Вузовская книга. – 2007.
8. Осокин А.Н. Алгоритм сжатия данных RLE / Методические указания для проведения лабораторной работы по курсу «Теория информации» для подготовки бакалавров по направлению 230100 Информатика и вычислительная техника. URL: <http://cok.opredelim.com/docs/1000/index-609442.html> (дата обращения: 25.09.2018).
9. Скляр Бернад. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. Изд. 2-е, испр.: Издательский дом «Вильямс». – 2004.
10. Устинов Р.А. Особенности современных систем защиты речевой информации. Безопасность информационных технологий. – 2017. – № 4 (78). – 71-79 с.
11. Цирлов В.Л. Основы информационной безопасности автоматизированных систем. Краткий курс. URL: <http://ss-sks.narod.ru/is/lit01.pdf> (дата обращения: 18.09.2018).

## Management of the ventilation ability of the voice communication channel through the processing and binarization of images of dynamic sonograms

**Roman A. Ustinov**

Postgraduate,  
Independent expert;  
e-mail: [public-ura@yandex.ru](mailto:public-ura@yandex.ru)

### Abstract

In this paper, a new approach to bandwidth control is proposed, which is based on the transformation of a speech signal wave into a half-tone image with the subsequent application to it of methods of segmentation of areas significant for the auditory perception and binarization. The task of bandwidth control of voice communication channels is one of the significant tasks of ensuring the security of information sources from threats to information availability. Its solution requires the development of new and effective approaches to protecting the RS against this class of threats. One of such approaches is the proposed and reviewed technology of figurative analysis of the acoustic (speech) signal “sound (speech) - halftone image - binary image - processing and protection – binary image - halftone image - sound (speech)”. The advantage of this technology is since its application allows to significantly reduce the amount of transmitted information for solving problems of PC protection and processing, provides an opportunity to use a rich and well-tested arsenal of binary image processing methods.

### For citation

Ustinov R.A. (2018) Ekonomicheskiye aspekty upravleniya propusknoy sposobnost'yu golosovogo kanala svyazi cherez obrabotku i binarizatsiyu izobrazheniy dinamicheskikh sonogramm [Management of the ventilation ability of the voice communication channel through the processing and binarization of images of dynamic sonograms]. *Ekonomika: vchera, segodnya, zavtra* [Economics: Yesterday, Today and Tomorrow], 8 (8A), pp. 426-436.

### Keywords

Threats to the availability of speech information, image binarization, dynamic sonograms, graphic image of a speech signal, voice channel bandwidth control.

---

## References

1. Dvoryankin, S.V. (2003), Speech signature. Training manual / Ed. A.V. Petrakova [Rechevaya podpis'. Ucheb. Posobiye / Pod red. A. V. Petrakova], M.: RIO MTUSI.
2. Dvoryankin S.V., Dvoryankin N.S. Sposob ustanovleniya podlinnosti rechevykh soobshcheniy, peredavayemykh po kanalam sotovoy svyazi [The method of establishing the authenticity of voice messages transmitted over cellular communication channels]. Spetsstekhnika i svyaz' – Special equipment and communication, 2015, no. 4, pp. 32-39.
3. Dvoryankin S.V., Kozlachkov S.B., Kharchenko L.A. Otsenka zashchishchennosti rechevoy informatsii s uchetom sovremennykh tekhnologiy shumoochistki [Assessment of voice information security with regard to modern noise-cleaning technologies], Voprosy zashchity informatsii – Information Protection Issues, no. 2, 2007, pp. 18-21.
4. Israfilov KH. S. Issledovaniye metodov binarizatsii izobrazheniy [Investigation of methods for image binarization], Vestnik nauki i obrazovaniya – Science and Education Bulletin, 2017, no. 6, pp. 43-50.
5. Kaluzhin R.V. (2001) Adaptivnoye szhatiye akusticheskikh signalov i rechi v avtomatizirovannykh sistemakh zashchity i obrabotki operativno-rozysknoy informatsii: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk. Mosk. in-t MVD RF [Adaptive compression of acoustic signals and speech in automated systems of protection and processing of operational-search information: author. dis. ... Cand. those. sciences. Mosk. In-t Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation]. Moskva.
6. Kozlachkov S.B., Dvoryankin S.V., Vasilevskaya N.V. Foneticheskaya funktsiya A.A. Pirogova i pomekhoustoychivost' kanala rechevoy kommunikatsii [Phonetic function A.A. Pirogov and voice communication channel noise immunity], Rechevye tekhnologii – Speech technology, 2018, no. 1-2, pp. 105-110.
7. upriyanov, A.I., Sakharov, A.V. (2007), Theoretical Foundations of Electronic Warfare [Teoreticheskiye osnovy radioelektronnoy bor'by], M.: University book.
8. Osokin A.N. Algoritm szhatiya dannykh RLE / Metodicheskiye ukazaniya dlya provedeniya laboratornoy raboty po kursu «Teoriya informatsii» dlya podgotovki bakalavrov po napravleniyu 230100 Informatika i vychislitel'naya tekhnika
9. Sklar Bernard, (2004), Digital communication. Theoretical foundations and practical application. Ed. 2nd, Rev. .: Williams Publishing House [Teoreticheskiye osnovy i prakticheskoye primeneniye. Izd. 2-ye, ispr.: Izdatel'skiy dom «Vil'yams»].
10. Ustinov R.A. Osobennosti sovremennykh sistem zashchity rechevoy informatsii [Features of modern voice information protection systems], Bezopasnost' informatsionnykh tekhnologiy – Security information technology, 2017, no. 4 (78), pp. 71-79.
11. Tsirlov V.L. Osnovy informatsionnoy bezopasnosti avtomatizirovannykh sistem. Kratkiy kurs. URL: <http://ss-sks.narod.ru/is/lit01.pdf>