

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ОЦЕНКА МАСКИРУЮЩЕГО ШУМА В РЕЧЕВОМ ДИАПАЗОНЕ ЧАСТОТ

В.К. Железняк, Р.С. Карасев

Полонкий государственный университет, научно-исследовательская
опытно-экспериментальная лаборатория технической защиты информации
211440, ул. Блохина 29, г. Новополоцк, Республика Беларусь
телефон(ы): + 375(214) 53-53-56; факс(ы): – 375(214) 53-42-63; e-mail: vlad@psu.by

Рассмотрена сравнительная оценка характеристик маскирующих шумов и речевого сигнала. В качестве маскирующего шума проанализирована помеха, полученная на базе диода-генератора шума, и речеподобная помеха, основанная на эффекте реверберации речевого сигнала. Приводятся результаты маскирования речевого сигнала, рассмотренными помехами. Данная автоматизированная оценка может применяться для проектирования и контроля систем защиты от утечки речевой информации.

Ключевые слова: визуализация, маскирующий шум, речеподобная помеха, сигнал.

1 ВВЕДЕНИЕ

Для маскирования речевых сигналов широко используют белый (розовый) шум с ограниченной полосой. Такая защита основана на энергетическом подавлении маскирующим сигналом речевого и не является рациональной, так как характеристики шумового и речевого сигналов различаются. Для сравнительной оценки сигналов не разработаны единые методы, по которым возможно получить объективную оценку. Кроме того, в настоящее время известно множество эффективных способов (например, корреляционный), позволяющих выделить речевой сигнал даже на фоне мощных шумов. При этом первым шагом является выявление самого факта наличия сигнала в анализируемой смеси сигнала и маскирующего его шума. Если известно, что в этой смеси имеется сигнал – рано или поздно сигнал будет выделен. Для обеспечения скрытности необходимо излучать чрезвычайно мощные шумовые или речевые сигналы, подавляющие маскируемые акустические сигналы в каналах утечек, либо максимально подавить признаки речи, т.е. разрушить структуру речевого сигнала.

При оценке и сравнении сигналов нельзя рассматривать их характеристики независимо. Например, спектральная плотность речевого сигнала и розового шума похожа, но, их функция автокорреляции имеет значительные отличия, т.е. позволяет предположить о наличии в сигнале речи. Поэтому при оценке сигналов следует рассматривать совокупность их характеристик.

Современные вычислительные средства позволяют быстро определить необходимые характеристики сигналов, среди которых:

- спектральная плотность мощности;
- функция автокорреляции;
- закон распределения плотности вероятности;
- пик-фактор.

2 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В работах [1, 2] исследованы характеристики маскирующих шумов для речевого сигнала. Однако в этих работах не исследованы характеристики речевого сигнала. Разнообразие математических моделей речевого сигнала обуславливает необходимость автоматизированной оценки характеристик.

Целью работы является исследование характеристик речевого сигнала и сравнение их с характеристиками маскирующего шума с применением автоматизированных методов.

Для сравнения проанализируем помеху, полученную на базе диода-генератора шума ND 102L, и речеподобную помеху, основанную на эффекте реверберации речевого сигнала, а также способность этих помех маскировать речевой сигнал.

3 МЕТОДИКА РЕШЕНИЯ

Звуковая карта персонального компьютера позволяет производить 16-разрядное аналого-цифровое преобразование с частотой от 8 до 192 кГц. Для анализа входного аналогового сигнала принята частота дискретизации 22,05 кГц. Такая дискретизация позволяет анализировать сигналы, имеющие частоту не выше 11,025 кГц, что достаточно для анализа речевого сигнала и маскирующих его шумов, так как охватывает диапазон частот речи от 100 Гц до 10 кГц. Для того чтобы составляющие сигнала, имеющие частоты, большие, чем указанная частота не вносили искажения в дискретизированный сигнал в виде появления «ложных частот», на звуковой карте установлен фильтр нижних частот, через который пропускается входной аналоговый сигнал. Частота среза такого фильтра равна половине частоты дискретизации.

Отсчеты дискретизированного сигнала записываются в представлении 16-разрядных двоичных чисел с плавающей запятой в виде массива данных, представляющего цифровую форму исходного сигнала в ограниченной полосе.

Для получения необходимых характеристик сигналов использовался пакет прикладных программ MATLAB.

4 ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Неравномерность спектральной плотности мощности шума, полученного на базе диода, согласно спецификации на него, должна составлять не более 4 дБ. Полученная спектральная плотность мощности шума с ограниченной полосой отображена на рис.1.

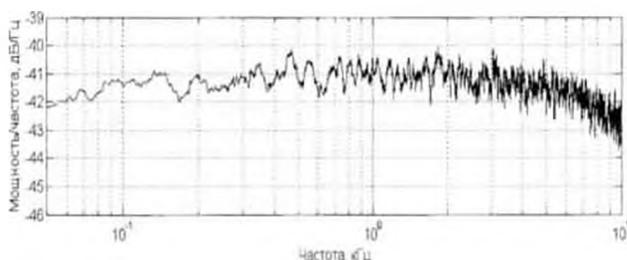


Рис. 1. Спектральная плотность мощности шума

Функция автокорреляции, определяющая степень отличия сигнала и его смещенной во времени копии, для рассматриваемого шума представлена на рис.2.

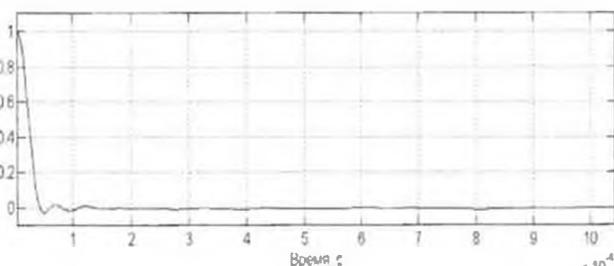


Рис. 2. Функция автокорреляции шума

Нормированная гистограмма распределения вероятностей шума в сравнении с нормальным законом распределения вероятностей (рис.3) отображает сходство рассматриваемого шума с гауссовым.

Пик-фактор исследуемого шума, полученного на основании преобразования Гильберта составляет 3,29.

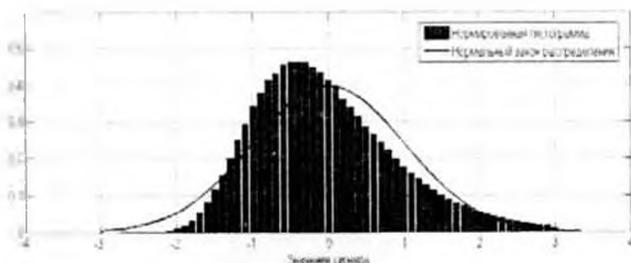


Рис. 3. Нормированная гистограмма распределения вероятностей шума

Для анализа речевого сигнала использована запись фразы «Встретились два приятеля: один толстый, другой

гонкий». Видно, что спектральная плотность мощности речи (рис.4) динамична и значительно отличается от соответствующей характеристики рассмотренного шума.

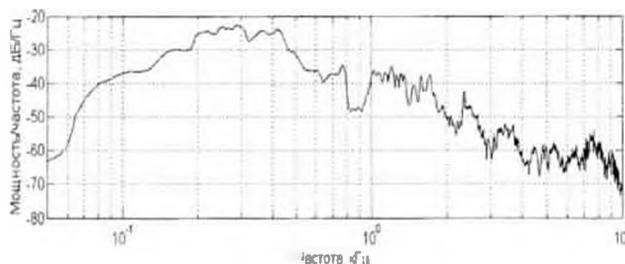


Рис. 4. Спектральная плотность мощности фрагмента речи

Из литературных источников известно, что функция автокорреляции речевого сигнала (рис.5) существенно отличается от функции автокорреляции шума. Анализ рассматриваемых сигналов показывает, что коэффициент корреляции у шума стремится к нулю при $\tau > 2$ мс, в то время как у речевого сигнала – при значительно большей величине.

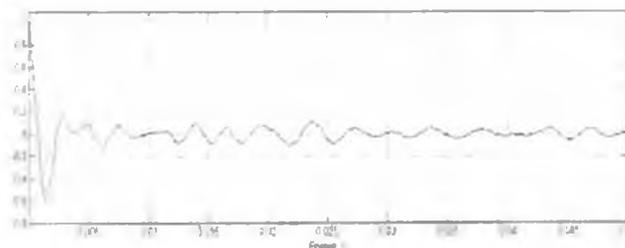


Рис. 5. Функция автокорреляции фрагмента речи

Нормированная гистограмма распределения вероятностей речевого сигнала представлена на рис.6. Пик-фактор анализируемого речевого сигнала составляет 6,28.

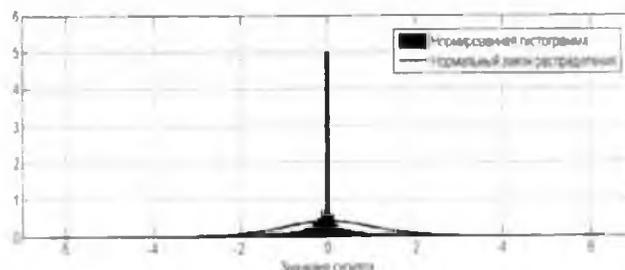


Рис. 6. Нормированная гистограмма распределения вероятностей речевого сигнала

Визуализация выбранного речевого сигнала, микшированного с рассмотренным выше шумом при различных отношениях сигнал/шум (ОСШ), представлена в виде спектрограмм. Рассматриваемый сигнал представлен на рис.7.

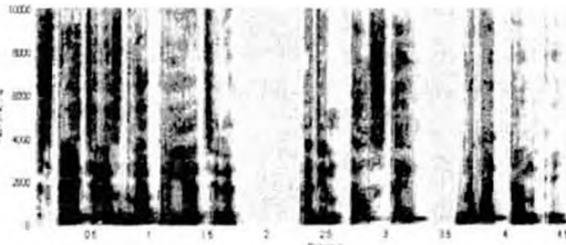


Рис. 7. Спектрограмма речевого сигнала

При анализе микшированного сигнала проводилось также его прослушивание. Выявление речи и ее разборчивость соответствовали изображению на спектрограммах. При ОСШ равной 0 дБ речь отчетливо слышна на фоне шума (рис. 8).

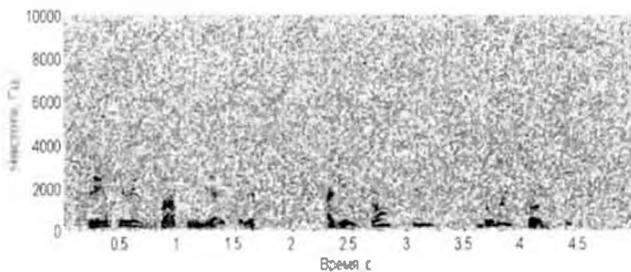


Рис. 8. Смесь речевого сигнала с шумом (ОСШ 0 дБ)

При ОСШ равной минус 12 дБ наличие речи все еще просматривается на спектрограмме (рис. 9), но при прослушивании некоторые фрагменты речи становятся неразборчивыми.

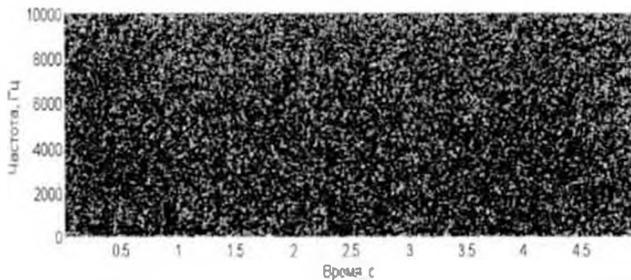


Рис. 9. Смесь речевого сигнала с шумом (ОСШ минус 12 дБ)

В случае уменьшения ОСШ до минус 20 дБ следы речи на спектрограмме (рис. 10) исчезают, при прослушивании речь становится полностью неразборчивой, но определенные признаки присутствия речи остаются заметными. И лишь при достижении ОСШ минус 24 дБ признаки присутствия речи в сигнале не заметны.

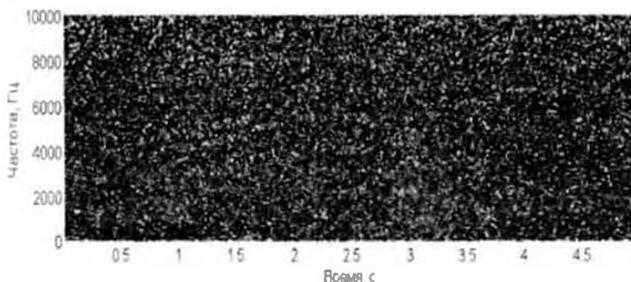


Рис. 10. Смесь речевого сигнала с шумом (ОСШ минус 20 дБ)

Таким образом, для маскирования речевых сигналов, используя маскирующий шум, необходимо, чтобы его мощность была во много раз больше мощности маскируемого сигнала. Предпосылкой этого является тот факт, что все рассмотренные выше характеристики отличаются у маскирующего и маскируемого сигналов.

Рассмотрим в качестве маскирующего сигнала шум, искусственно полученный из речевого сигнала, многократно применяя эффект реверберации.

Спектральная плотность мощности полученной речеподобной помехи (рис. 11.) подобна с соответствующей характеристикой речевого сигнала. В этом есть определенное преимущество – в области низких и высоких частот, где наблюдается спад мощности, при маскировании сигнала не будет «лишнего» зашумления, в отличие от маскирования с использованием рассмотренного выше шума.

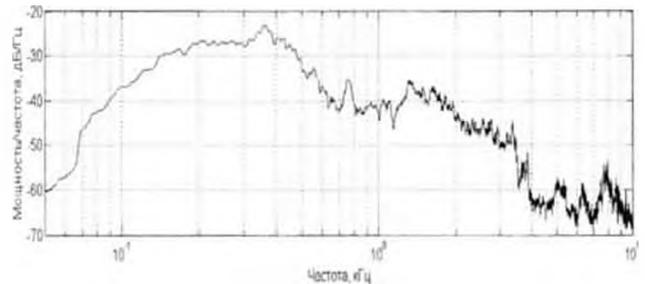


Рис. 11. Спектральная плотность мощности речеподобной помехи

Несмотря на то, что речеподобная помеха является шумом, ее функция автокорреляции (рис. 12.) имеет вид, схожий с функцией автокорреляции речевого сигнала.

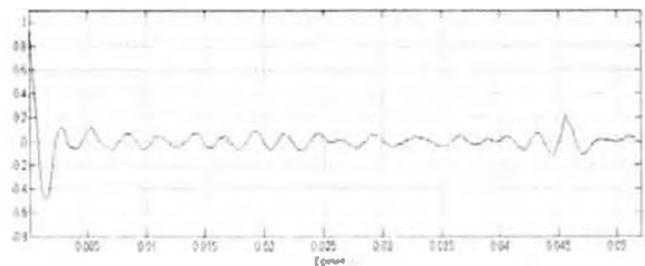


Рис. 12. Функция автокорреляции речеподобной помехи

Нормированная гистограмма распределения вероятностей речеподобной помехи представлена на рис. 13, из которого видно, что закон распределения вероятностей близок к распределению Гаусса.

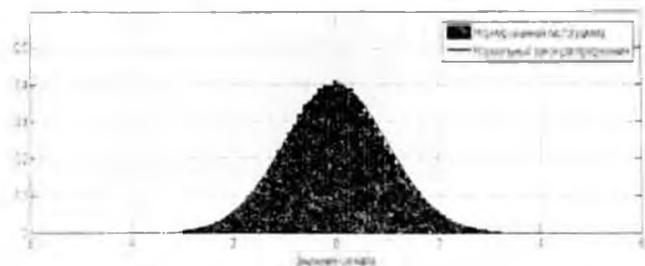


Рис. 13. Нормированная гистограмма распределения вероятностей речеподобной помехи

Пик-фактор помехи составляет 4,35.

Спектрограмма речеподобной помехи (рис. 14.) значительно отличается от спектрограммы рассмотренного выше шума. Основная энергия речеподобной помехи концентрируется в той же полосе частот, что и речевой сигнал.

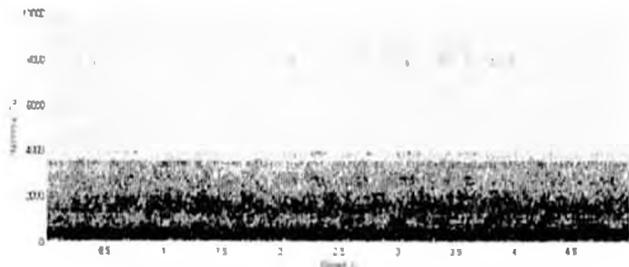


Рис. 14. Спектрограмма речеподобной помехи

Анализ речевого сигнала, микшированного речеподобной помехой, проводился по той же схеме. При ОСШ равной 0 дБ речь так же слышна на фоне шума, что в определенной степени видно на спектрограмме (рис. 15).

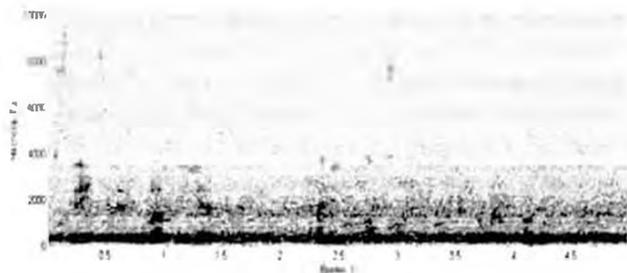


Рис. 15. Смесь речевого сигнала с речеподобной помехой (ОСШ 0 дБ)

При уменьшении мощности речеподобной помехи по отношению к речевому сигналу до ОСШ минус 10 дБ следы речи на спектрограмме становятся неразличимы, а уже при ОСШ минус 12 дБ речевой сигнал маскируется полностью.

5 ВЫВОД

Анализируя полученные результаты, можно утверждать, что характеристики речеподобной помехи и речевого сигнала наиболее близки. Речеподобная помеха предпочтительней по отношению к шумовой помехе для маскирования речевого сигнала. Автоматизированная обработка сигналов позволяет наиболее достоверно оценивать характеристики маскирующего шума практически в реальном масштабе времени, что особенно актуально при оценке защищенности речевых сигналов на объектах информатизации.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Железняк В.К. Защита информации от утечки по техническим каналам: учебное пособие / ГУАП. – СПб., 2006. – 188с.
- [2] Железняк В.К., Раханов К.Я. О селекции измерительных сигналов при оценке разборчивости речи // Комплексная защита информации: материал XIV Международной конференции. – Минск, 2009. С. 95-96.