

МЕТОД ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО АНАЛИЗА ФУНКЦИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ МАСКИРОВАНИЯ РЕЧИ

Владимир Журавлёв, Елена Архипова

Национальный технический университет Украины "КПИ"
проспект Перемоги, 37, Киев, 03056, Украина, тел.: (044) 241-86-55, E-mail: ws_50@mail.zp.ua

Аннотация

Проведен анализ метода цифровой корреляционной обработки тестового речевого сигнала, который позволяет на основе расчета коэффициента корреляции обосновать аналитическую оценку параметра функции эффективности аддитивного маскирования речи. Анализ зависимости функции эффективности маскирования от уровня вокализации фонем контрольного слова позволяет сделать вывод о том, что речевой сигнал на интервале длительности контрольного слова не стационарен по параметру постоянства дисперсии. При анализе функции эффективности маскирования необходимо учитывать спектральную плотность мощности речевого сигнала на квазистационарных интервалах времени вокализованных фонем. Постоянная времени анализа спектральной плотности мощности должна укладываться в интервал квазистационарности, она не может быть менее "слогового интервала", а также превосходить времени информационной активности вокализованной фонемы.

Предложенный метод позволяет применять в качестве тестовых сигналов ключевые слова конкретных дикторов, и, таким образом, адаптировать спектральную плотность мощности маскирующего сигнала для сокрытия информации речевого сигнала ограниченного количества собеседников.

Вступление

При аттестации и проектировании систем технической защиты речевого сигнала (РС) в выделенных помещениях от утечки по акустическим каналам несанкционированного доступа (НСД), основным параметром, определяющим, как показатель эффективности маскирования, так и категорию защиты, служит осредненное на некотором интервале T значение функции $\bar{W}(t), t \in [T]$ словесной разборчивости, которую, в настоящее время, определяют инструментально – расчетным методом [1]. Данный метод предполагает, что тестовый и маскирующий сигналы характеризуются равномерным распределением спектральной плотности мощности (СПМ) $N(\Delta\omega, t)$, т.е. со спектром «белого шума». Акустическое поле сигнала канала утечки предполагают плоским, акустическое сопротивление среды распространения активным, а АЧХ рецептора канала утечки на интервале времени T постоянным. Основываясь на этих допущениях, отношение сигнал – помеха $SN(\Delta\omega, t)$ рассчитывается как логарифм отношения усредненных на интервале времени T акустических давлений, что возможно только для моногармонических анализируемых сигналов при активном входном сопротивлении рецептора звукового давления.

Инструментально-расчетный метод определения эффективности маскирования РС трудоемок, не учитывает информационное содержание РС, содержит много эмпирических коэффициентов, которые не допускают его адаптации под РС конкретного диктора. Анализ основных допущений метода позволяет сделать вывод о его не полной адекватности исследуемым процессам маскирования информации РС.

Основная часть

Условия распространения акустической волны определяются свойствами среды выделенного помещения, рецептор звукового давления (микрофон либо рецептор слуха человека) имеет комплексный характер входного сопротивления. В общем случае рассматриваемые акустические сигналы речи и маскирования не являются плоскими волнами, их фазовая скорость зависит от волнового вектора

$v_f = \frac{\omega}{k}$ [2], поэтому их можно считать диспергирующими. В точке НСД происходит суммирование спектральных плотностей мощности гармонических информационных составляющих сигналов. Исследование функции эффективности маскирования (отношения сигнал/помеха $SN(\Delta\omega, t)$) необходимо производить на интервале времени квазистационарности T_a РС, в течение которого его СПМ не претерпевает существенных изменений. В связи с тем, что временные функции речевого $si(\Delta\omega, t)$ и маскированного $su(\Delta\omega, t)$ сигналов случайны [3] и не имеют функционального характера, предлагается, для оценки тесноты связи между исследуемыми сигналами, применить методы корреляционного анализа СПМ, в частности коэффициент корреляционного отношения Пирсона:

$$W(t) \approx r(t) = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2}}, t \in [T_a], \quad (1)$$

где: x и y – исследуемые СПМ $N(\Delta\omega, t)$ сигналов $su(\Delta\omega, t)$ и $si(\Delta\omega, t)$, определяемые в соответствии с теоремой Винера-Хинчина как преобразование Фурье $N(\Delta\omega, t) = \int_0^{T_a} R_{ss}(\tau) e^{i\omega\tau} d\tau$ от

автокорреляционной функции $R_{ss}(\tau) = \frac{1}{T_a} \int_0^{T_a} s(\Delta\omega, t) s(\Delta\omega, t + \tau) dt$ исследуемых сигналов, $\bar{x}$ и $\bar{y}$ – их

выборочные средние значения, рассчитанные на интервале времени T_a .

Проведены экспериментальные исследования [4], в результате которых доказана информационная эффективность предложенного метода расчета коэффициента корреляции (1) и обоснована аналитическая оценка параметра функции эффективности аддитивного маскирования речи.

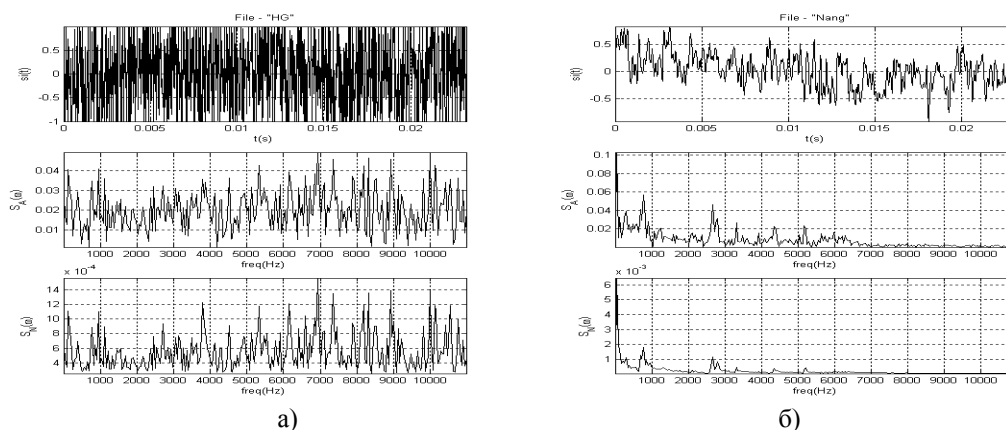


Рис.1. Результаты работы программы анализа амплитудного спектра и СПМ для двух сигналов маскирования: а) "HG" - «белого» шума, который формировался массивом значений стандартной процедуры пакета MatLab; б) "Nang" - сигнал промышленного генератора типа "ANG2200"

На верхних рисунках приведены временные диаграммы сигналов $sn(t)$, на средних – их амплитудные спектры, на нижних – СПМ.

Анализ спектров показывает, что характеристики амплитудных спектров отличаются от СПМ распределением амплитуд спектральных составляющих.

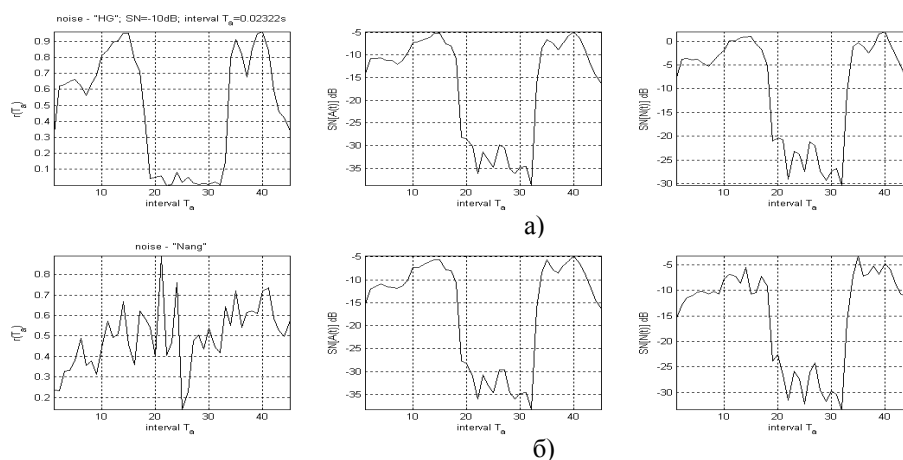


Рис.2. Результаты работы программы анализа точечных параметров эффективности маскирования контрольного слова "лето": а) сигналов маскирования "HG"; б) сигналов маскирования "Nang"

На левых рисунках приведены зависимости коэффициента корреляции $r(t) = f(T_a)$, на средних – зависимость амплитудного отношения сигнал – помеха от временного интервала анализа контрольного слова $SN[A(t)] = f(T_a)$, на правых – зависимость отношения сигнал – помеха СПМ от временного интервала анализа контрольного слова $SN[N(t)] = f(T_a)$.

На графиках видно, что оценка параметра сигнал – помеха завышена, при расчете ее по амплитудному спектру, форма характеристик зависимостей $SN[A(t)] = f(T_a)$ и $SN[N(t)] = f(T_a)$ отличаются друг от друга, что говорит сферичности фронта исследуемых акустических волн. Можно оценить разницу эффективности маскирования для вокализованных и невокализованных фонем.

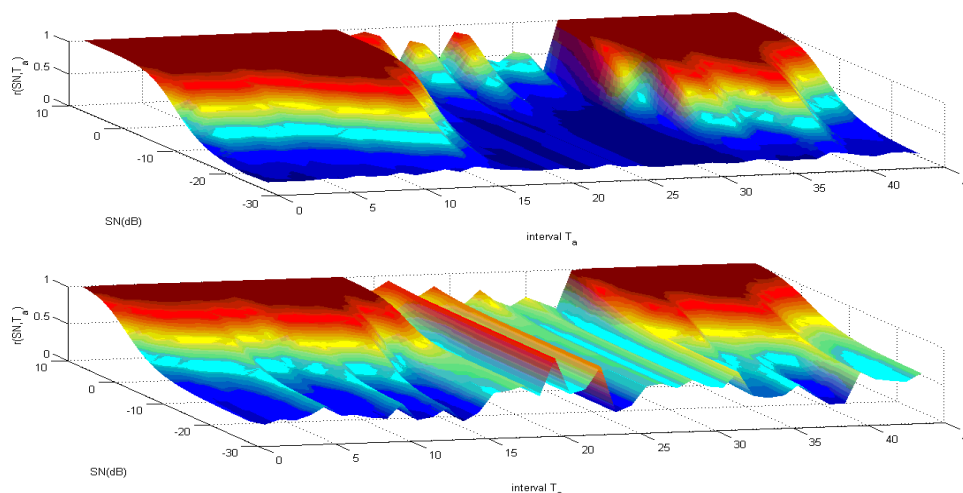


Рис.3. Графики зависимостей значений точечных оценок коэффициента корреляции $r(t) = f(SN, T_a)$ от интегрального значения отношения сигнал - помеха $SN[N(t)]$ от 10 до -30 dB

Проведя анализ графиков можно сделать выводы, что характеристики зависимости коэффициента корреляции $r(t) = f(SN, T_a)$ показывают большую эффективность сигнала "Nang" по сравнению с сигналом "белый шум" во всем диапазоне изменений интегрального параметра сигнал – помеха. Характер изменения зависимости $r(t) = f(SN, T_a)$ для сигнала "Nang" показывает внутренние корреляционные связи сигналов контрольного слова и маскирующего сигнала, особо это проявляется не интервале времени активности фонемы "т".

Выводы

В работе предложен и подтвержден экспериментальными исследованиями метод цифровой корреляционной обработки контрольного фрагмента речи, который устраняет недостатки существующего метода и позволяет на основе расчета коэффициента корреляции сегментов сигнала контрольного слова и сигнала канала утечки рассчитать функцию эффективности аддитивного маскирования речевых сигналов.

Предложенный метод позволяет применять в качестве тестовых сигналов ключевые слова конкретных дикторов, и, таким образом, адаптировать сигналы маскирования для проведения конфиденциальных переговоров ограниченного количества собеседников.

Литература:

- [1] Хорев А.А. Оценка эффективности защиты информации от утечки по техническим каналам// Специальная техника. 2007.– № 1. – С. 51– 64.
- [2] Акустика: Справочник. Под ред. М.А. Сапожкова. – М.: Радио и связь, 1989. – 336 с.
- [3] НД ТЗІ – Р – 001 – 2000. Засоби активного захисту мовної інформації з акустичними та віброакустичними джерелами випромінювання. Класифікація та загальні технічні вимоги. ДСТСЗІ СБ України. – Київ.: – 2000. – 9 с.
- [4] Журавлёв В.Н., Архипова Е.А. Анализ метода расчета параметра эффективности маскирования речи в технических каналах утечки. Радиотехника, информатика, управління.– 2007.– № 15. – С.57 – 64