

Дисперсия выходной переменной определяется выражением

$$M[y(m) - \bar{y}(m)]^2 = CX_m C^T.$$

Вероятность нахождения вектора состояний x внутри эллипсоида

$$(x - \bar{x})^T X_m^{-1} (x - \bar{x}) = \chi^2 \quad (1)$$

подчиняется χ^2 распределению с n степенями свободы, где n - размерность вектора состояний. Поверхность (1) называют эллипсоидом правдоподобия. Значение вероятности нахождения вектора состояния внутри эллипсоида правдоподобия (1) удобно вычислять как значение функции χ^2 распределения $P\{(x - \bar{x})^T X_m^{-1} (x - \bar{x}) \leq \chi^2\} = P[\chi^2] = F[\chi^2, n]$.

Совокупность таких эллипсоидов правдоподобия образует «трубку» равновероятностного уровня $P[\chi^2]$, характеризующую поведение системы при случайных воздействиях. В каждый из моментов времени m вероятность нахождения траектории движения внутри «трубки» равна $P[\chi^2]$. Характер изменения объема эллипсоида правдоподобия во времени $V_m(m)$ связан с динамическими свойствами системы (со сходимостью процессов). Значение эллипсоида правдоподобия в установившемся режиме $V(m)$ характеризует точностные показатели системы [3]. Объем эллипсоида правдоподобия со временем стремится к установившемуся значению, а значит, система устойчива при воздействии шумов.

В докладе приведен численный пример расчета эллипсоидов правдоподобия для дальномерного и угломерных каналов посадочного локатора для различных значений возмущающих воздействий.

Литература

1. Дудник П.И., Чересов Ю.И. Авиационные радиолокационные устройства, М.:ВВИА им проф. Н.Е. Жуковского, 1986.
2. Брайсон А., Хо Ю-Ши. Прикладная теория оптимального управления. М.: Мир, 1972.
3. Григорьев В.В., Козис Д.В., Коровьяков А.Н, Литвинов Ю.В. Анализ поведения автоматических радиодальномеров при случайных возмущениях. Известия Вузов. Приборостроение. №7, 2010.

Жиляков Е.Г., Курлов А.В., Болдышев А.В. СУБПОЛОСНАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ РЕЧЕВЫХ СИГНАЛОВ В ЗАДАЧАХ ШУМООЧИСТКИ

Белгородский государственный университет, Белгород, Россия

Zhilyakov E.G., Kurlov A.V., Boldyshev A.V. SUBSTRIP FILTERING OF SPEECH SIGNALS IN PROBLEMS NOISE REDUCTION

Belgorod State University, Belgorod, Russia

Речевые сообщения являются одной из наиболее часто используемых естественных для человека форм информационного обмена. В области цифровой обработки речевых сигналов особое внимание уделяется задачам, связанным с шумочисткой и повышением разборчивости речевых сообщений, полученных в неблагоприятной помеховой обстановке [1]. Примером могут быть диктофонные записи в условиях определенных помех или же записи речевого сигнала, полученные по каналам связи низкого качества.

В связи с этим, создание методов и алгоритмов обработки речевых данных, позволяющих улучшить разборчивость и очистить от шумов речевые сообщения является актуальной задачей.

В основе предлагаемого метода очистки речи от шумов используется тот факт, что энергия звуков речи сосредоточена в малом количестве частотных интервалах [2]. Установлено, что для отрезков сигнала, содержащих звуки речи выполняется неравенство

$$W'_{NR} = f_{NR}^m / R \leq 0,5, \quad (1)$$

а для отрезков сигнала, порожденными только шумами

$$W'_{NR} = f_{NR}^m / R > 0,7, \quad (2)$$

где W'_{NR} - частотная концентрация энергий звуков речи, $f_{NR}^m = \min d_{NR}^m$ - минимальное количество частотных интервалов, в которых сосредоточена заданная доля энергии звукового отрезка, R - количество частотных интервалов N - значение длительности обрабатываемого отрезка речевого сигнала.

Процедура фильтрации речевого сигнала осуществляется в соответствии с принципом минимизации погрешности приближения к идеальному случаю:

$$Y(\omega) = \begin{cases} X(\omega), & \omega \in \Omega, \\ 0, & \omega \notin \Omega, \end{cases} \quad (3)$$

$$\Omega_r = [-V_{r-1}, -V_{r-1}) \cup [V_r, V_r). \quad (4)$$

$$\frac{1}{2\pi} \int_{\omega \in \Omega} |X(\omega) - Y(\omega)|^2 d\omega + \frac{1}{2\pi} \int_{\omega \notin \Omega} |Y(\omega)|^2 d\omega = \min, \quad (5)$$

где $X(\omega)$ - трансформанта Фурье исходного сигнала, $Y(\omega)$ - трансформанта Фурье отфильтрованного сигнала, Ω_r - заданный частотный интервал.

Фильтрация информационных частотных интервалов определяется выражением:

$$\bar{x}_N = \sum_{r \in R_1} A_{rN} \cdot \bar{x}_N, \quad (6)$$

где \bar{x}_N - вектор значений выходного отфильтрованного речевого сигнала, \bar{x}_N - вектор значений анализируемого речевого сигнала, $r \in R_1$ - информационные частотные интервалы, $A_{rN} = \{a_{rs}^r\}$ - фильтрующая субполосная матрица с элементами вида

$$\alpha'_i = \begin{cases} \frac{\sin[V_r(i-k)] - \sin[V_{r-1}(i-k)]}{\pi(i-k)}, & i \neq k \\ \frac{V_r - V_{r-1}}{\pi}, & i = k \end{cases}, \quad (7)$$

$$V_r = \pi, V_0 = 0,$$

где V_{r-1} , V_r - границы частотного интервала.

Таким образом, необходимо определять информационные частотные интервалы, где сосредоточена подавляющая доля энергий. Под информационными компонентами будем понимать компоненты, попадающие в частотные интервалы, сумма долей энергий которых составляет 0,92 от общей доли энергии содержащейся во всех частотных интервалах. Остальные компоненты, принимаются за неинформационные.

Ось частот от 0 до π разбивается на R частотных интервалов одинаковой ширины, равной π/R , в каждом интервале определяются доли энергии. Доли энергий определяются как $P_{rN_doi} = P_{rN} \sum_{i=1}^N |x_i|^2$, $r=1, \dots, R$. Для вычисления долей энергий в заданных частотных интервалах используется представление [2]:

$$P_{rN}(\bar{x}) = \bar{x}_N^T A_{rN} x_N. \quad (8)$$

Для ускорения вычислений долей энергии используется выражение

$$P_{rN} = \sum_{k=1}^N \lambda_{kN}^r (\alpha'_{kN})^2, \quad k=1, \dots, N; r=1, \dots, R, \quad (9)$$

где λ_{kN}^r - собственные числа субполосной матрицы A_{rN} , α'_{kN} - скалярные произведения анализируемого вектора и соответствующего ортогонального собственного вектора $\alpha'_{kN} = (\bar{q}'_{kN}, \bar{x}_N)$, $\lambda_{kN}^r \bar{q}'_{kN} = A_{rN} \bar{q}'_{kN}$, $k=1, \dots, N; r=1, \dots, R$

Количество элементов J_r в выражении (7) определяется из условия

$$J_r = \left\lfloor \frac{V_r - V_{r-1}}{\pi} \cdot N \right\rfloor + 2, \quad (10)$$

где, N - длительность анализируемого отрезка речевого сигнала.

Процедура определения информационных и не информационных частотных компонент заключается в следующем. Вычисленные на основании выражения (9) доли энергии для каждого частотного интервала r , ранжируются по убыванию

$$P_{r_1, N} \in \{P_{rN}, r=1, \dots, R\}; P_{(r_2), N} < P_{(r_1), N}, r=1, \dots, R, \quad (11)$$

при этом номера частотных интервалов запоминаются.

Частотные интервалы, сумма долей энергий которых составляет значение 0,92, принимаются за информационные, а частотные интервалы, не входящие в эту сумму долей энергий, принимаются за неинформационные. В результате получаем номера частотных интервалов $r \in R_1$, отнесенных к информационным.

Для проверки работоспособности предложенного метода было проведено компьютерное моделирование. Для анализа были взяты речевые сигналы, порождаемые звуками «а» и «ч», вырезанные из незашумленного фрагмента сигнала с частотой дискретизации 8000 Гц и разрядностью 16 бит. Звуки выбраны исходя из того, что у звука «а» подавляющая доля энергии сосредоточена в низкочастотной области, а у звука «ч» в высокочастотной. Трансформанты Фурье исходных отрезков речевых сигналов, соответствующих звуку «а» и звуку «ч» показаны соответственно на рисунке 1,а и 1,б.

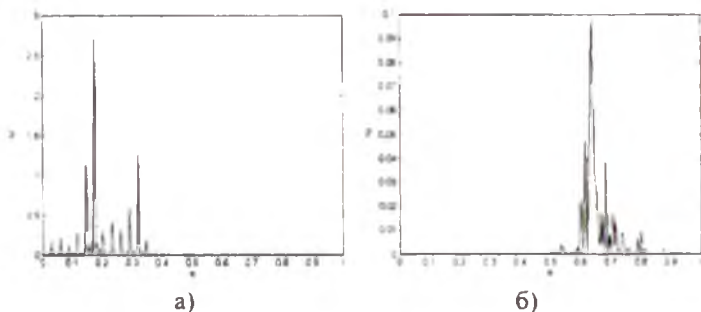


Рисунок 1—Трансформанты Фурье исходных отрезков речевых сигналов: а) соответствующие звуку «а»; б) - звуку «ч»

Из рисунка 1 а видно, что на интервале $\pi = 0.4, \dots, 1$ значение энергии близко к нулю, а в области $\pi = 0, \dots, 0.4$ сосредоточено подавляющее количество энергии, что соответствует звуку «а». На рисунке 1,б эта область соответствует значению $\pi = 0.5, \dots, 0.9$. Далее к фрагментам речевого сигнала был добавлен псевдослучайный белый шум с равномерным распределением. Отношение шум /сигнал составляет 0.6 раза.

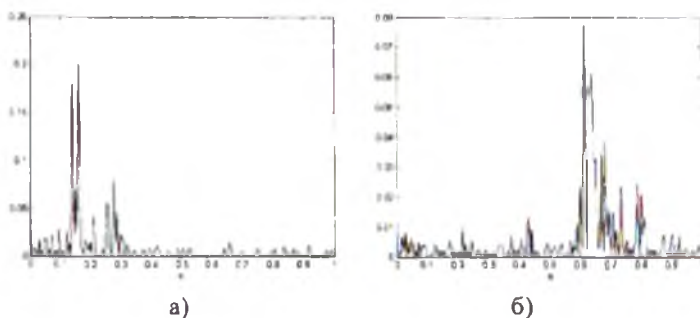


Рисунок 2—Трансформанты Фурье отрезков речевых сигналов: а) соответствующие зашумленному звуку «а»; б) - зашумленному звуку «ч»

Трансформанты Фурье отрезков речевых сигналов соответствующие зашумленному звуку «а» и звуку «ч», показаны на рисунке 2,а и 2,б

соответственно. Добавление шума приводит к возрастанию энергии частотных компонент на всем интервале частот от 0 до π .

Затем, к зашумленным фрагментам сигналов применялась процедура, определяемая соотношением (6). Трансформанты Фурье отрезков речевых сигналов, соответствующие звуку «а» и звуку «ч» после фильтрации показаны на рисунке 3,а и 3,б соответственно.

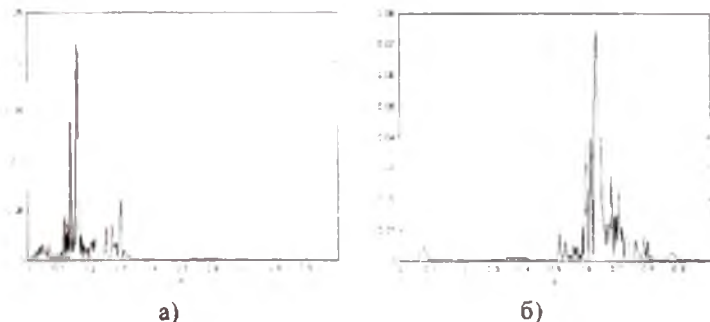


Рисунок 3—Трансформанты Фурье отрезков речевых сигналов: а) соответствующие обработанному звуку «а»; б) - обработанному звуку «ч»

Несмотря на то, что на частотные компоненты полезного сигнала, принимаемые как информационные, воздействие не оказывается, после обработки зашумленного отрезка речевого сигнала с помощью предложенного метода в значительной степени удается снизить уровень частотных компонент, обладающих малой энергией и соответствующих неинформационным компонентам сигнала. Этот эффект наблюдается как в высокочастотной (рисунок 3,а) так и низкочастотной (рисунок 3,б) областях спектра.

Эффект шумоочистки достигается независимо от частотного диапазона, в котором сосредоточены информационные компоненты, что позволяет говорить об адекватности использования предлагаемого метода в задаче очистки речевых сигналов от шумов.

Литература

- 1 Чучупал В.Я. Цифровая обработка зашумленных речевых сигналов [Текст] / В.Я. Чучупал, А.С. Чичагов, К.А. Маковкин. - Вычислительный центр РАН, М.1998г.-52 с.
- 2 Жилияков Е.Г. Вариационные методы анализа и построения функций по эмпирическим данным: монография. Белгород: Изд-во БелГУ, 2007. – 160 с.