

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  $\chi^2$  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  $\chi^2$  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:

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

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

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

где  $X(\omega)$  - трансформанта Фурье исходного сигнала,  $Y(\omega)$  - трансформанта Фурье отфильтрованного сигнала,  $\Omega_r$  - 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,  $A_{rN} = \{a_{ra}^r\}$  - 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  $\pi$  разбивается на  $R$  частотных интервалов одинаковой ширины, равной  $\pi/R$ , 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  $\lambda_{kN}^r$  - собственные числа субполосной матрицы  $A_{rN}$ ,  $\alpha'_{kN}$  - 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.

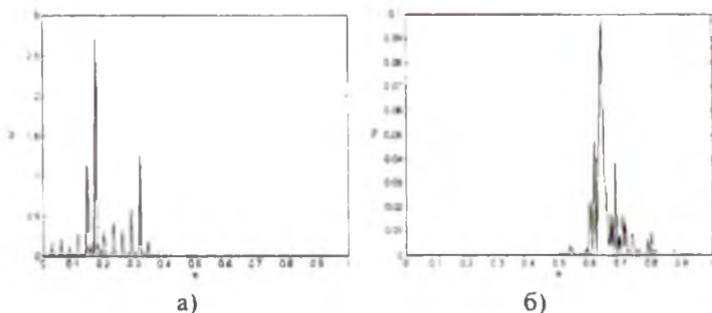


Рисунок 1—Трансформанты Фурье исходных отрезков речевых сигналов: а) соответствующие звуку «а»; б) - звуку «ч»

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.

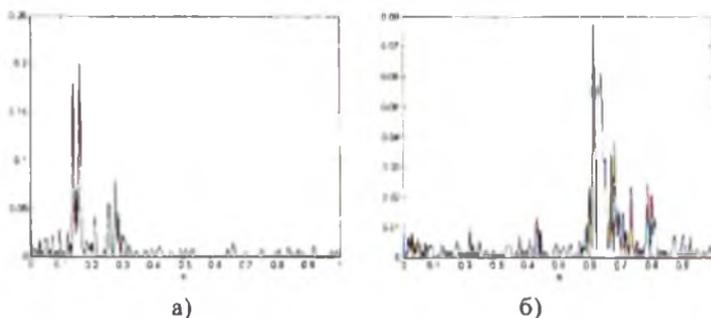


Рисунок 2—Трансформанты Фурье отрезков речевых сигналов: а) соответствующие зашумленному звуку «а»; б) - зашумленному звуку «ч»

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  $\pi$ .

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.

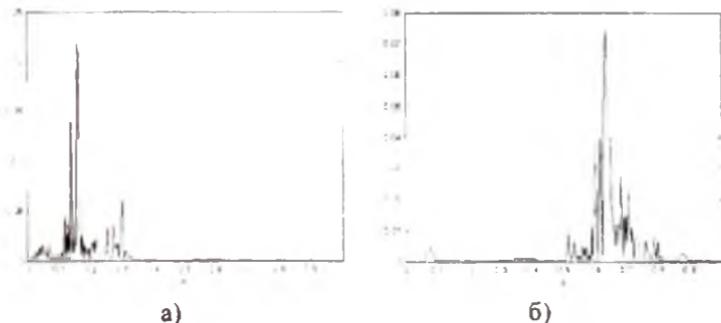


Рисунок 3—Трансформанты Фурье отрезков речевых сигналов: а) соответствующие обработанному звуку «а»; б) - обработанному звуку «ч»

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.