

УДК 621.391.26

АДАПТИВНА ФІЛЬТРАЦІЯ МОВНИХ СИГНАЛІВ ПРИ НАЯВНОСТІ
КОРЕЛЬОВАНИХ ПЕРЕШКОД З ВИПАДКОВОЮ ЗМІНОЮ
ІМОВІРНІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Партала М.О, Жук С.Я.

За допомогою апарату змішаних марківських процесів у дискретному часі синтезовано оптимальний і квазіоптимальний алгоритми адаптивної фільтрації мовних сигналів при наявності корельованих перешкод з випадковою зміною імовірнісних характеристик.

Вступ. Постановка задачі

При рішенні ряду прикладних задач фільтрації мовних сигналів імовірнісні характеристики різних видів перешкод можуть бути отримані заздалегідь, невідомим залишається лише вид перешкоди, яка має місце в даний момент часу та моменти переходу від одного виду перешкоди до іншого. Адекватним математичним апаратом для опису розглянутих перешкод є моделі у вигляді лінійних дискретних динамічних систем з випадковою структурою:

$$z(k) = F_{jz}(k, k-1)z(k-1) + G_{jz}(k)n(k), \quad j = \overline{1, M}, \quad (1)$$

де $z(k)$ – вектор стану перешкоди; $F_{jz}(k, k-1), G_{jz}(k)$ – відомі матриці; $n(k)$ – некорельована послідовність гаусівських векторів $N(0, I)$; $z(0)$ – початковий вектор стану перешкоди $N(\mathbf{x}(0), \mathbf{P}_z(0))$; M – число різних видів перешкод.

Для опису структури моделі перешкоди (1) використовується ланцюг Маркова $\gamma_j(k)$, $j = \overline{1, M}$ з матрицею імовірностей переходів $\Pi_{ij}(k, k-1)$ і початкових імовірностей $p_i(0)$, $i, j = \overline{1, M}$. Модель (1) дозволяє надати перешкоду у вигляді процесу з випадковою структурою, імовірнісні характеристики якого відомі з точністю до M гіпотез і змінюються стрибком у випадкові моменти часу.

Для опису мовного сигналу $x(k)$ широко використовуються марківські гаусівські моделі у вигляді [1]:

$$x(k) = F_x(k, k-1)x(k-1) + G_x(k)\omega(k), \quad (2)$$

де $x(k)$ – вектор стану, що включає відліки мовного сигналу; $F_x(k, k-1), G_x(k)$ – відомі матриці; $\omega(k)$ – некорельована послідовність гаусівських векторів $N(0, I)$; $x(0)$ – початковий вектор стану $N(\mathbf{x}(0), \mathbf{P}_x(0))$.

Матриці $F_{jz}(k, k-1), G_{jz}(k)$, $j = \overline{1, M}$, $F_x(k, k-1), G_x(k)$ в рівняннях (1), (2) визначаються на підставі імовірнісних характеристик перешкод і мовного сигналу відповідно.

Рівняння спостереження мовного сигналу (2) при наявності перешкоди (1) можна надати у вигляді:

$$y(k) = H_x(k) + H_z(k)z(k) + v(k), \quad (3)$$

де $y(k)$ – вектор спостереження; $H_x(k)$, $H_z(k)$ – відомі матриці; $v(k)$ – некорельована послідовність у загальному випадку гаусівських векторів $N(0, R(k))$.

Синтез оптимального алгоритму

Оптимальне рішення задачі фільтрації мовного сигналу $x(k)$ при наявності спостереження (3) полягає в обчисленні апостеріорної щільності імовірності (ЩІ) $P(x(k)/Y(k))$, де $Y(k) = y(1), \dots, y(k)$ – послідовність спостережень. Відповідно до методики, наведеної в [2], можна показати, що гаусівська послідовність $x(k)$, процес із випадковою структурою $z(k)$ і ланцюг Маркова $\gamma_j(k)$ спільно утворюють змішаний марківський процес у дискретному часі, а оптимальний алгоритм фільтрації розширеного змішаного процесу має вигляд:

$$P(x(k), z(k), \gamma_j(k) / Y(k)) = P(y(k) / x(k), z(k)) \times \\ \times \sum_{i=1}^M \Pi_{ij}(k, k-1) \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \Pi(x(k) / x(k-1)) \Pi(z(k) / z(k-1), \\ \gamma_j(k)) P(x(k-1), z(k-1), \gamma_i(k-1) / Y(k-1)) dx(k-1) dz \times \\ \times (k-1) / P(y(k) / Y(k-1)), \quad (4)$$

де $P(x(k), z(k), \gamma_j(k) / Y(k))$ – спільна апостеріорна ЩІ змішаного процесу $(x(k), z(k), \gamma_j(k))$; $P(y(k) / x(k), z(k))$ – однокрокова функція правдоподібності мовного сигналу й перешкоди, яка визначається на підставі рівняння (3); $\Pi(x(k) / x(k-1))$, $\Pi(z(k) / z(k-1), \gamma_j(k))$ – умовні ЩІ, які визначаються на підставі рівнянь (2), (1) відповідно; $P(y(k) / Y(k-1))$ – умовна ЩІ, яка визначається як:

$$P(y(k) / Y(k-1)) = \sum_{j=1}^M \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} P(y(k) / x(k), z(k)) \sum_{i=1}^M \Pi_{ij}(k, k-1) \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \Pi(x(k) / x(k-1)) \times \\ \Pi(z(k) / z(k-1), \gamma_j(k)) P(x(k-1), z(k-1), \gamma_i(k-1) / Y(k-1)) dx(k-1) dz(k-1) dx(k) dz(k). \quad (5)$$

Початкові умови мають вигляд:

$$P(x(0), z(0), \gamma_i(0)) = N(\mathbf{x}(0), \mathbf{P}_x(0)) \cdot N(\mathbf{z}(0), \mathbf{P}_z(0)) \cdot P_i(0), i = \overline{1, M}.$$

Рівняння (4) описує рекурентний алгоритм обчислення апостеріорної ЩІ змішаного процесу. На підставі цього алгоритму, шляхом застосування критерію Байєса, можуть бути отримані оптимальні оцінки мовного сигналу й перешкоди для необхідної функції втрат. Оптимальний фільтр, що реалізує алгоритм (4), відноситься до класу пристроїв зі зворотними зв'язками між каналами.

Синтез квазіоптимального алгоритму

Практична реалізація оптимального алгоритму (4) у реальному масштабі часу стикається зі значними обчислювальними витратами. Відповідно до методики, наведеної в [2], а також з огляду на лінійні властивості моделі (1)...(3), квазіоптимальний алгоритм спільної фільтрації мовного сигналу

$x(k)$, перешкоди з випадковою структурою $z(k)$ і дискретного компонента $\gamma_j(k)$, можна надати у вигляді:

$$w_j^*(k) = \sum_{i=1}^M \Pi_{ij}(k, k-1) w_i(k-1); \quad (6)$$

$$\begin{bmatrix} x_j^*(k) \\ z_j^*(k) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_x & 0 \\ 0 & F_{jz} \end{bmatrix} \sum_{i=1}^M \Pi_{ij}(k, k-1) w_i(k-1) \begin{bmatrix} \xi_i(k-1) \\ \xi_i(k-1) \end{bmatrix} / w_j^*(k); \quad (7)$$

$$\begin{bmatrix} P_{jx}^*(k) \Lambda_j^*(k) \\ \Lambda_j^{*T}(k) P_{jz}^*(k) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_x & 0 \\ 0 & F_{jz} \end{bmatrix} \left(\sum_{i=0}^M \Pi_{ij}(k, k-1) w_i(k-1) \right) \left\{ \begin{bmatrix} \hat{\xi}_{ix}(k-1) \hat{\xi}_{ix}(k-1) \\ \hat{\xi}_{iz}^{*T}(k-1) \hat{\xi}_{iz}(k-1) \end{bmatrix} + \right. \\ \left. + \begin{bmatrix} \xi_i(k-1) - \xi_j(k-1) \\ \xi_i(k-1) - \xi_j(k-1) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \xi_i(k-1) - \xi_j(k-1) \\ \xi_i(k-1) - \xi_j(k-1) \end{bmatrix}^T \right\} \begin{bmatrix} F_x & 0 \\ 0 & F_{jz} \end{bmatrix}^T / w_j^*(k) + \begin{bmatrix} G_x G_x^T & 0 \\ 0 & G_{jz} G_{jz}^T \end{bmatrix}; \quad (8)$$

$$\begin{bmatrix} \xi_j(k) \\ \xi_j(k) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_j^*(k) \\ z_j^*(k) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} K_{jx}(k) \\ K_{jz}(k) \end{bmatrix} (y(k) - H_x x_j^*(k) - H_z z_j^*(k)); \quad (9)$$

$$\begin{bmatrix} K_{jx}(k) \\ K_{jz}(k) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_{jx}^*(k) & \Lambda_j^*(k) \\ \Lambda_j^{*T}(k) & P_{jz}^*(k) \end{bmatrix} \cdot [H_x H_z]^T \cdot D_j^{-1}(k); \quad (10)$$

$$\begin{bmatrix} \hat{\xi}_{jx}(k) & \hat{\xi}_{jz}(k) \\ \hat{\xi}_{jz}^{*T}(k) & \hat{\xi}_{jz}(k) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_{jx}^*(k) & \Lambda_j^*(k) \\ \Lambda_j^{*T}(k) & P_{jz}^*(k) \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} K_{jx}(k) \\ K_{jz}(k) \end{bmatrix} \cdot [H_x H_z] \cdot \begin{bmatrix} P_{jz}^*(k) & \Lambda_j^*(k) \\ \Lambda_j^{*T}(k) & P_{jz}^*(k) \end{bmatrix}; \quad (11)$$

$$W_j(k) = P(y(k) / \gamma_j(k), Y(k-1)) W_j^*(k) / P(y(k) / Y(k-1)), \quad (12)$$

де $x_j^*(k), z_j^*(k), P_{jx}^*(k), P_{jz}^*(k)$ - математичні очікування й кореляційні матриці умовних екстрапольованих ЩІ $P(x(k) / \gamma_j(k), Y(k-1)), P(z(k) / \gamma_j(k), Y(k-1))$; $\xi_j(k), \xi_j(k), \hat{\xi}_{jz}(k), \hat{\xi}_{jz}(k)$ - математичні очікування й кореляційні матриці умовних апостеріорних ЩІ $P(x(k) / \gamma_j(k), Y(k)), P(z(k) / \gamma_j(k), Y(k))$; $\Lambda_j^*(u)$ - матриця взаємної кореляції векторів $x(k), z(k)$ за умови $\gamma_j(k), Y(k-1)$; $\hat{\xi}_{jz}(k)$ - матриця взаємної кореляції векторів $x(k), z(k)$ за умови $\gamma_j(k), Y(k)$; $K_{jx}(k), K_{jz}(k)$ - матричні коефіцієнти підсилення каналів фільтрації мовного сигналу й перешкоди j -го каналу квазіоптимального пристрою; $W_j^*(k), W_j(k)$ - екстрапольована й апостеріорна імовірності $\gamma_j(k)$; $P(y(k) / \gamma_j(k), Y(k-1))$ - умовна ЩІ, що визначається за формулою

$$P(y(k) / \gamma_j(k), Y(k-1)) = (2\pi)^{-\frac{m}{2}} \det(D_j(k))^{-\frac{1}{2}} \exp(-0,5 \|y(k) - H_x x_j^*(k) - H_z z_j^*(k)\|_{D_j^{-1}(k)});$$

$D_j(k)$ - матриця - $D_j(k) = H_x P_{jx}^* H_x^T + 2H_x \Lambda_j^* H_z^T + H_z P_{jz}^*(k) H_z^T + R_v$;

$P(y(k) / Y(k-1))$ - обчислюється за формулою

$$P(y(k)/Y(k-1)) = \sum_{j=1}^M P(y(k)/\gamma_j(k), Y(k-1)) W_j^*(k).$$

Початкові умови мають вигляд $\xi_i(0) = \xi(0)$; $\hat{\xi}_{ix}(0) = \hat{\xi}_x(0)$; $\xi_i(0) = \xi(0)$; $\hat{\xi}_{iz}(0) = \hat{\xi}_z(0)$; $W_i(0) = P_i(0)$; $\hat{\xi}_i(0) = 0$; $i = \overline{1, M}$. З метою скорочення виразів (7)...(11) у позначеннях для $F_x(k, k-1)$, $F_{z_j}(k, k-1)$, $G_x(k)$, $G_{z_j}(k)$, $H_x(k)$, $H_{z_j}(k)$ опущена залежність від дискретного часу.

У квазіоптимальному алгоритмі (6)...(12), поряд з фільтрацією мовного сигналу $x(k)$ і перешкоди $z(k)$ також визначаються екстрапольовані й апостеріорні імовірності виду перешкоди $\gamma_j(k)$. При цьому рівняння фільтрації дискретного й безперервного компонентів є взаємозалежними. Квазіоптимальний алгоритм забезпечує полігаусівську апроксимацію апостеріорної $P(x(k), z(k)/y(k))$ й екстрапольованої $P(x(k), z(k)/y(k-1))$ ЩП безперервного компонента. Квазіоптимальний фільтр, що реалізує алгоритм (6)...(12) містить M каналів і відноситься до класу пристроїв зі зворотними зв'язками між каналами. Структурна схема одного каналу квазіоптимального фільтра показана на рис. 1. Кожен канал квазіоптимального пристрою включає два взаємозалежних канали фільтрації мовного сигналу $x(k)$ і перешкоди $z(k)$, які погоджені з відповідним значенням дискретного компонента $\gamma_j(k)$, $j = \overline{1, M}$.

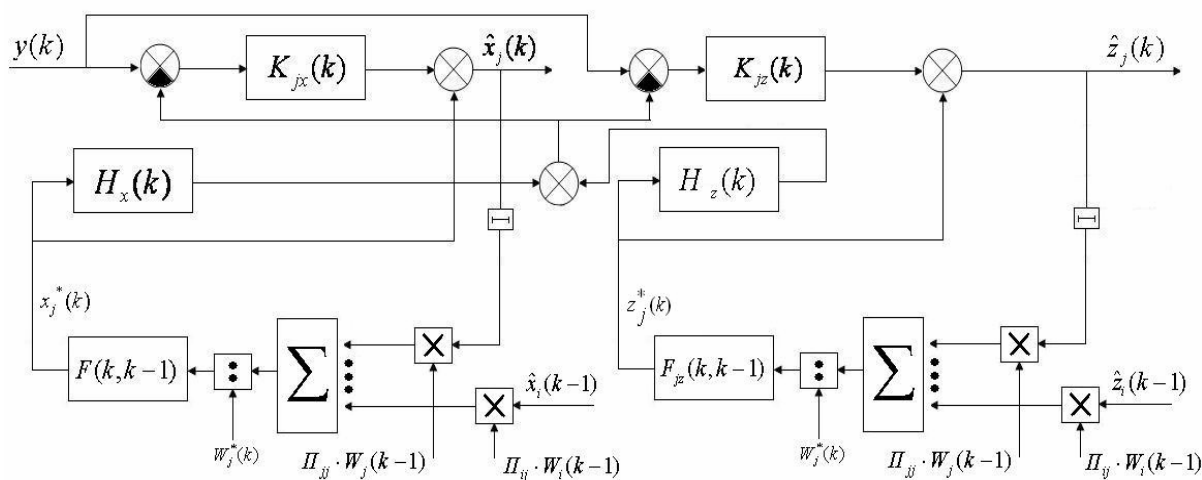


Рис.1

Висновки

Для ситуації, за якої сукупність видів перешкод відома апіорі, а невідомим залишається лише вид перешкоди, що має місце в даний момент часу і в моменти переходу від одного виду перешкоди до іншого синтезовано алгоритми адаптивної фільтрації мовних сигналів при наявності корельованих перешкод з випадковою зміною імовірнісних характеристик.

Література

1. Рабинер Л.Р., Шафер Р.В. Цифровая обработка речевых сигналов.-М.,1981.-496 с.
2. Жук С.Я. Синтез цифровых обнаружителей-измерителей смешанных марковских

процессов//Известия вузов СССР.Радиоэлектроника. – 1989. – Т.32.-№11.– С.31-37.

Партала М.О., Жук С.Я. Адаптивная фильтрация речевых сигналов при наличии коррелированных помех со случайной сменой вероятностных характеристик На основе аппарата смешанных марковских процессов в дискретном времени синтезированы оптимальный и квазиоптимальный алгоритмы адаптивной фильтрации речевых сигналов при наличии коррелированных помех со случайной сменой вероятностных характеристик.	Partala M.O., Zhuk S.Y. Adaptive filtration of speech signals in the presence of correlated noise with random variation of probabilistic characteristics On the base of mixed Markoff process in discrete time optimal and quasioptimal algorithms is designed for adaptive filtration of speech signals in the presence of correlated noise with random variation of probabilistic characteristics.
--	---