

Вторичная (траекторная) обработка информации

Обнаружение (автозахват)

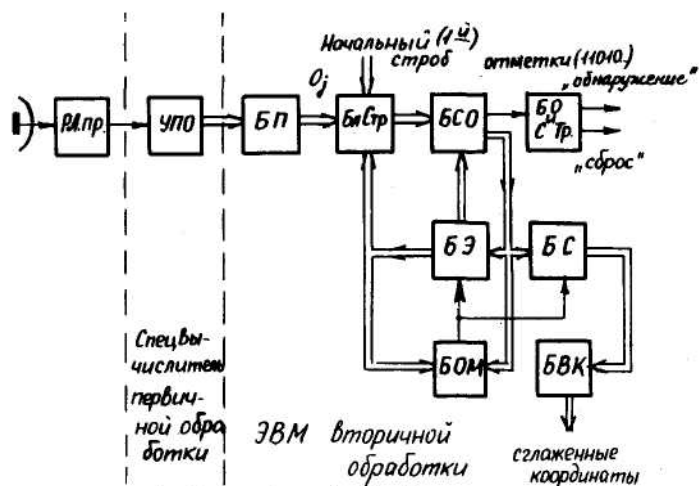
траекторий целей

2) Сглаживание и экстраполяция

координат и параметров движения

— стробирование, обнаружение маневра

Структурная схема алгоритмов вторичной обработки



Модели движения цели

1. Полиномиальная - квазидетерминированная

$$x(t) = \sum_{i=0}^m \theta_i t^i$$

2. Со стационарными независимыми приращениями – стохастические:

$$\Delta x_k = x_k - x_{k-1} = T_0 v_k$$

$$\Delta v_k = v_k - v_{k-1} = T_0 a_k$$

3. С порождающим случайным процессом n_p

$$x_k = \Phi \theta_{k-1} + \Gamma n_{pk}, \quad \theta_{k-1} = (x_{k-1}, v_{k-1}, \dots)^T$$

Сглаживание координат и параметров движения целей

Критерии оптимальности сглаживания (экстраполяции):

- максимального правдоподобия (МП),
- минимума среднеквадратической ошибки.

1. Использование критерия МП

Обозначим

$$x((k-1) \cdot T) = x_k, \quad k = 1, 2, \dots, n, \quad T = T_{\text{обз}}$$

Модель движения – квазидетерминир. 1-порядка:

$$x_k = \theta_0 + \theta_1 \cdot (k-1) \cdot T,$$

где $\theta_0 = x_1, \theta_1 = v$

Функция правдоподобия вектора параметров $\vec{\theta} = (\theta_0, \theta_1)$

$$L(\vec{\theta}) = \prod_{k=1}^n \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp \left[-\frac{(\hat{x}_k - x_k)^2}{2\sigma^2} \right]$$

Максимум функции правдоподобия находим, решая систему уравнений:

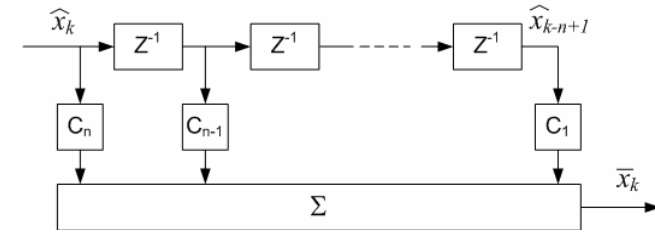
$$\begin{cases} \frac{\partial \ln L}{\partial \theta_0} = 0 \\ \frac{\partial \ln L}{\partial \theta_1} = 0 \end{cases}, \text{ откуда:}$$

$$\bar{\theta}_0 = -\sum_{k=1}^n \frac{6k - 4 - 4n}{n(n+1)} \hat{x}_k,$$

$$\bar{\theta}_1 = \frac{1}{T} \sum_{k=1}^n \frac{12k - 6 - 6n}{n(n^2 - 1)} \hat{x}_k$$

Алгоритм скользящего сглаживания

$$\bar{x}_n = \bar{\theta}_0 + \bar{\theta}_1(n-1)T = \sum_{k=1}^n \underbrace{\frac{6k - 2 - 2n}{n(n+1)}}_{C_k} \hat{x}_k,$$



2. Использование критерия минимума СКО

Фильтр Калмана 2-го порядка

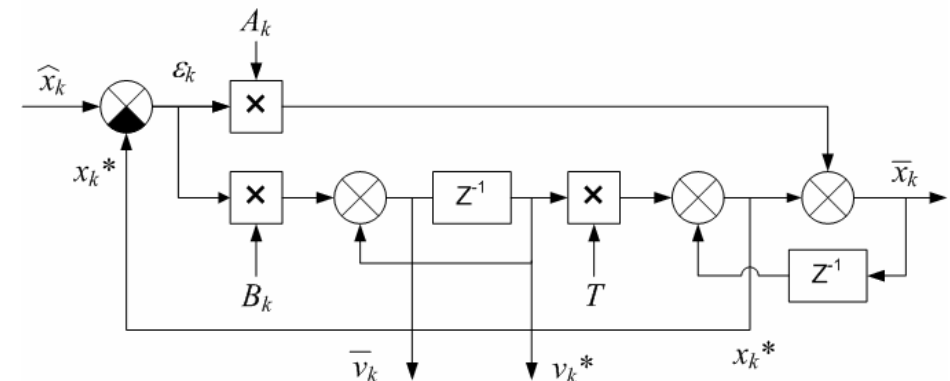
Модель движения:

$$x_k = x_0 + v k T_0$$

Наблюдаемый (измеряемый) процесс:

$$\hat{x}_k = x_k + \xi_k$$

$$\begin{cases} \bar{x}_k = x_k^* + A_k (\hat{x}_k - x_k^*) & \text{— оценка дальности} \\ x_k^* = \bar{x}_{k-1} + \bar{v}_k T_0 & \text{— экстраполированная дальность} \\ \bar{v}_k = \bar{v}_{k-1} + B_k (\hat{x}_k - x_k^*) & \text{— оценка скорости} \end{cases}$$



Обновляющий процесс (ошибка экстраполяции)

$$\varepsilon_k = (\hat{x}_k - x_k^*)$$

Коэффициенты фильтра

$$\begin{cases} A_k = \frac{2(2k-1)}{k(k+1)} \\ B_k = \frac{1}{T_0} \frac{6}{k(k+1)} \end{cases}$$

Фильтр Калмана векторного процесса

$$\vec{\theta}_{k+1} = \Phi \vec{\theta}_k + \vec{n}_{pk} \quad \text{— модель движения}$$

$$\vec{n}_{pk} = \Gamma_k \vec{w}_k \quad \text{— порождающий процесс (возмущающее воздействие)}$$

Φ — матрица экстраполяции $\vec{\theta}_k$

При

$$\vec{\theta}_k = \begin{cases} x_k \\ v_k \\ g_k \end{cases} \quad \Phi = \begin{bmatrix} 1 & T_0 & T_0^2/2 \\ 0 & 1 & T_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\text{Наблюдается процесс} \quad \hat{x}_k = \mathbf{H} \vec{\theta}_k + \vec{n}_k$$

n_k — ошибки измерения,

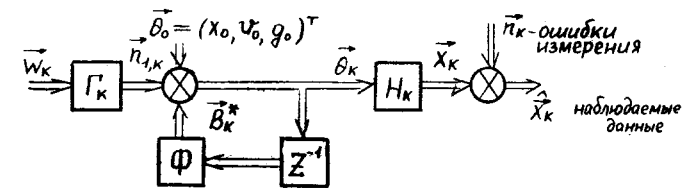
\mathbf{H} — матрица пересчета фильтруемых параметров в измеряемые

$$\text{Для } \hat{x}_k = \hat{x}_k \Rightarrow \mathbf{H} = [1 \ 0 \ 0]$$

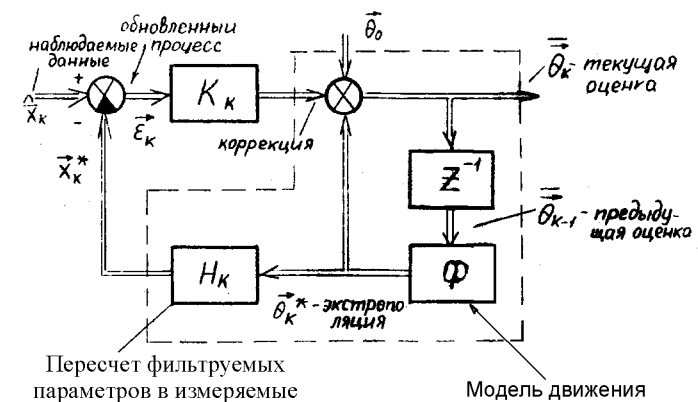
Уравнения дискретного фильтра Калмана

1. $\hat{\theta}_k^* = \Phi \hat{\theta}_{k-1}$ — уравнение экстраполяции оценки
2. $\Psi_k^* = \Phi \Psi_{k-1} \Phi^T$ — корреляционная матрица ошибок экстраполяции
3. $\Psi_k^{-1} = \Psi_{k-1}^{*-1} + \mathbf{H}^T \mathbf{R}^{-1} \mathbf{H}$ — корреляционная матрица ошибок оценивания
4. $\mathbf{K}_k = \Psi_k \mathbf{H}^T \mathbf{R}^{-1}$ — матричный коэффициент усиления фильтра Калмана
5. $\hat{\theta}_k = \hat{\theta}_k^* + \mathbf{K}_k (y_k - \mathbf{H} \hat{\theta}_k^*)$ — основное уравнение фильтрации

\mathbf{R}^{-1} — корреляционная матрица ошибок измерения



Структурная схема модели движения



Пересчет фильтруемых параметров в измеряемые

Модель движения

Структурная схема фильтра Калмана дискретного векторного процесса