

Параллельная обработка с экстраполяцией в многосенсорных системах измерения координат воздушных объектов

М. Альмахмуд, email: malmahmud04@gmail.com

Е.А. Богословский, email: qro76@yandex.ru

ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г.
Воронеж)

© Альмахмуд М., Богословский Е. А., 2022

Введение

На практике часто имеется возможность получения информации об оцениваемом параметре одновременно из нескольких источников. Такая ситуация характерна для высоконадежных резервированных измерительных систем, многосенсорных систем (МСС) измерения координат воздушных объектов (ВО), включающих в себя одновременно несколько радиолокационных станций (датчиков), комплексных систем навигации, использующих информацию многих датчиков и т.п.

Совместная обработка всей имеющейся информации позволяет повысить точность оценивания, однако она сопровождается увеличением требуемого объема вычислений. В настоящее время много внимания уделяется созданию алгоритмов совместной обработки информации в МСС на основе фильтра Калмана (ФК).

На рис. 1 представлена структурная схема параллельного метода объединения информации от M датчиков (D_1, \dots, D_M), где ПК – преобразователь координат, УОТ – устройство объединения траекторий.

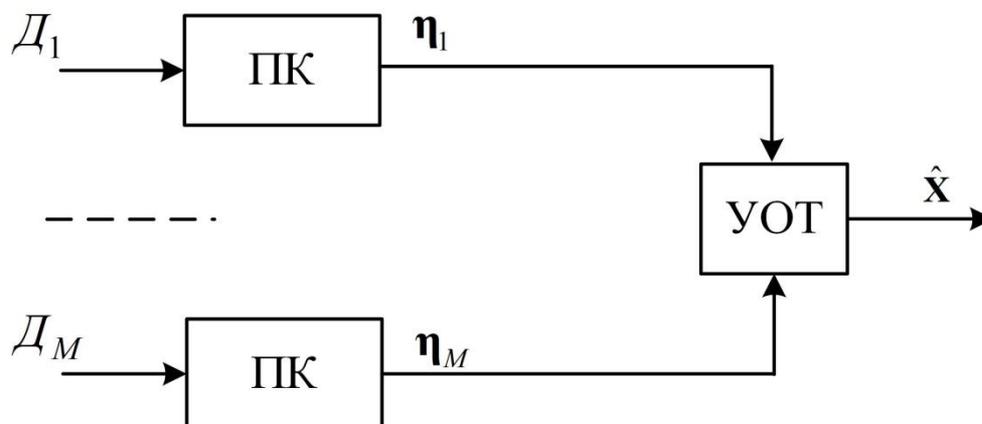


Рис. 1 Структурная схема параллельного метода

где η_k^j – вектор измерения j -го датчика в момент времени k .

Функциональная схема УОТ показана на рис. 2.

где \mathbf{n}_k^j – матрица измерений системы j -го датчика; W – усиление ФК.

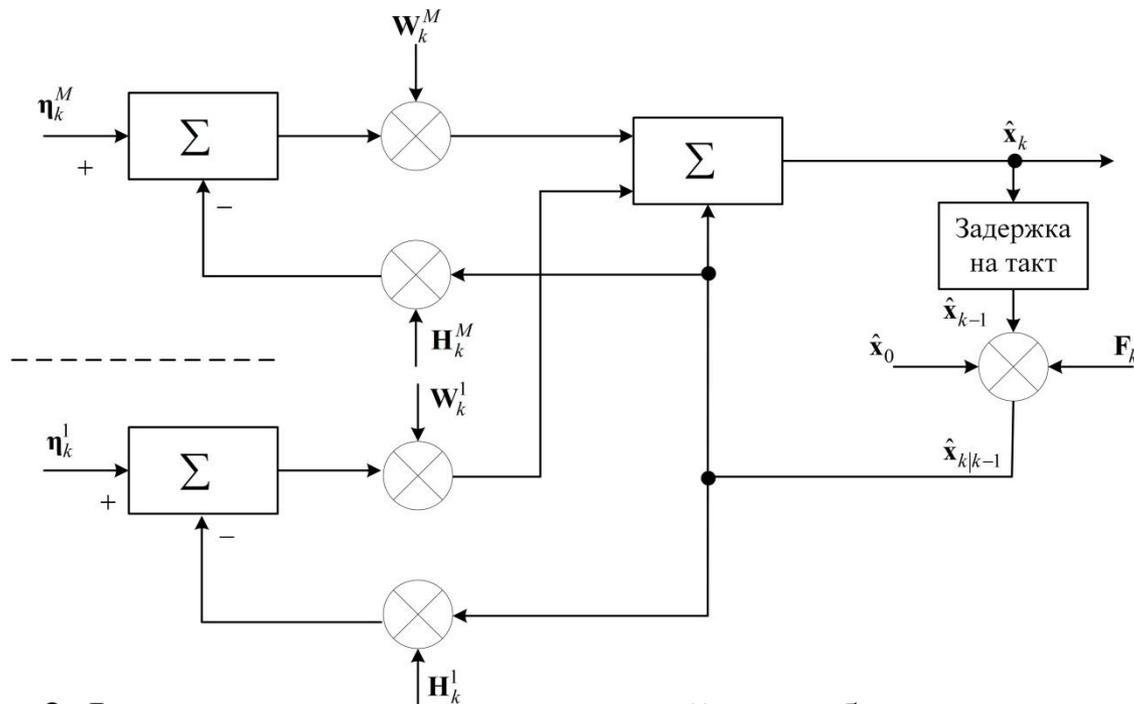


Рис. 2 Функциональная схема устройства объединения траекторий

Для повышения устойчивости сопровождения и точности оценки параметров движения ВО предлагается использовать способ, заключающийся в получении экстраполированных значений информации от датчиков МСС между отсчетами измерений. Для этой цели в каждую ветвь схемы, представленной на рис. 1, необходимо включить экстраполятор (Э), как это показано на рис. 3. В схеме на рис. 3 буквой С обозначен сумматор.

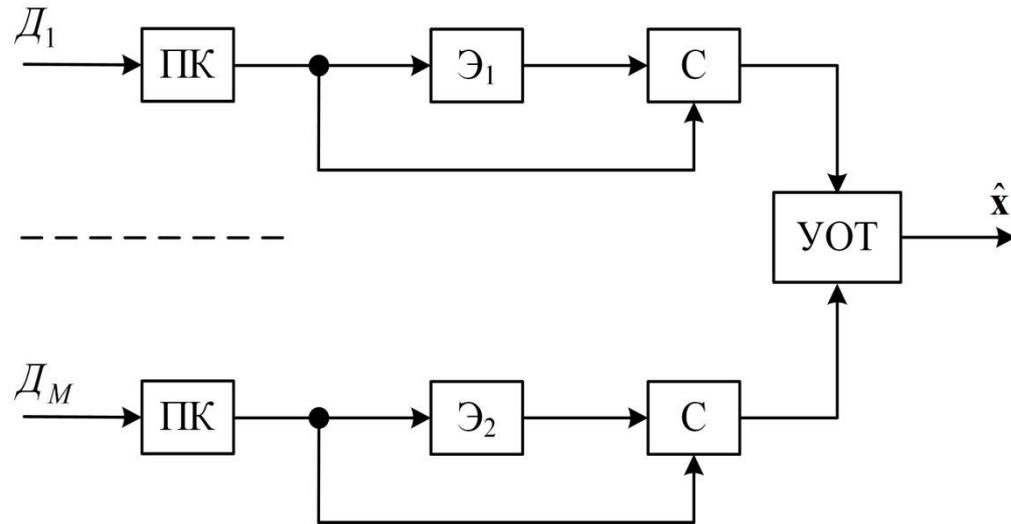


Рис. 3 Структурная схема параллельного метода с экстраполяцией

Структурная схема экстраполятора представлена на рис. 4. На этой схеме ВС – вычислитель скорости; ВЭ – вычислитель экстраполяции; Δt_i – темп обновления информации (время между отсчетами радиолокационной информации (РЛИ)); Δt_k – время между рассчитываемыми экстраполированными значениями. Структурная схема экстраполятора от ветви к ветви не изменяется.

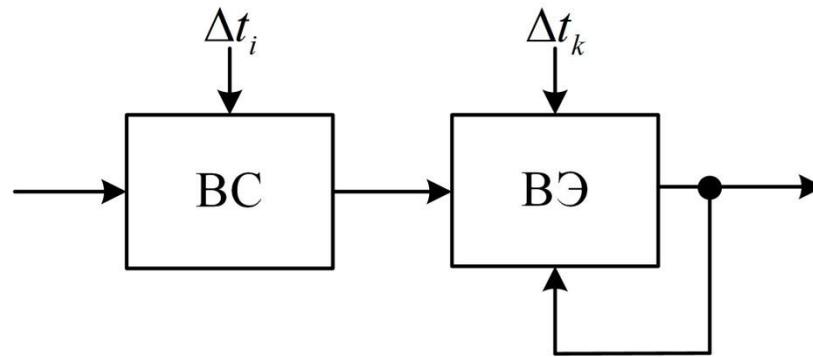


Рис. 4 Структурная схема экстраполятора

В работе предлагается использовать другой метод объединения информации с использованием $\alpha - \beta$ - фильтра, при тех же условиях и допущениях, представленных выше.

Опираясь на классическое описание $\alpha - \beta$ - фильтра, могут быть получены следующие уравнения

$$\hat{\mathbf{X}}_k^j = \mathbf{A}_k^j \hat{\mathbf{X}}_{k-1}^j + \mathbf{\Gamma}_k^j \mathbf{Z}_k^j, \quad j = 1, \dots, M; \quad (1)$$

$$\hat{\mathbf{X}}_k = \mathbf{A}_k \hat{\mathbf{X}}_{k-1} + \mathbf{\Gamma}_k \frac{\sum_{j=1}^M \hat{\mathbf{X}}_k^j}{M}, \quad j = 1, \dots, M, \quad (2)$$

где $\hat{\mathbf{X}}_k = [\hat{x} \quad \hat{v}_x \quad \hat{y} \quad \hat{v}_y \quad \hat{z} \quad \hat{v}_z]^T$ – оценка вектора состояния;
 \mathbf{A}_k^j – переходная матрица; $\mathbf{\Gamma}_k^j$ – матрица усиления фильтра ($\mathbf{z}_k^j = [\zeta_{x,k}^j \quad \zeta_{y,k}^j \quad \zeta_{z,k}^j]^T$ – вектор измерения; α_k и β_k – коэффициенты усиления фильтра; T – время обновления информации; $\zeta_{x,k}^j, \zeta_{y,k}^j, \zeta_{z,k}^j$ – измеренное положение ВО).

Функциональная схема УОТ, которая функционирует в соответствии с (1–2), показана на рис. 6.

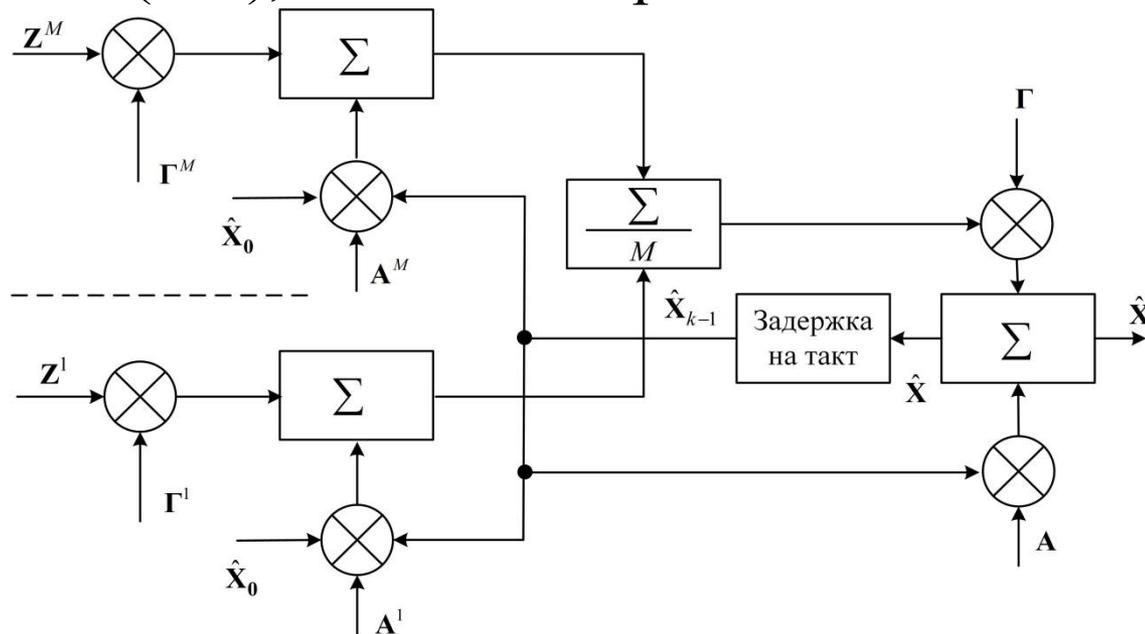
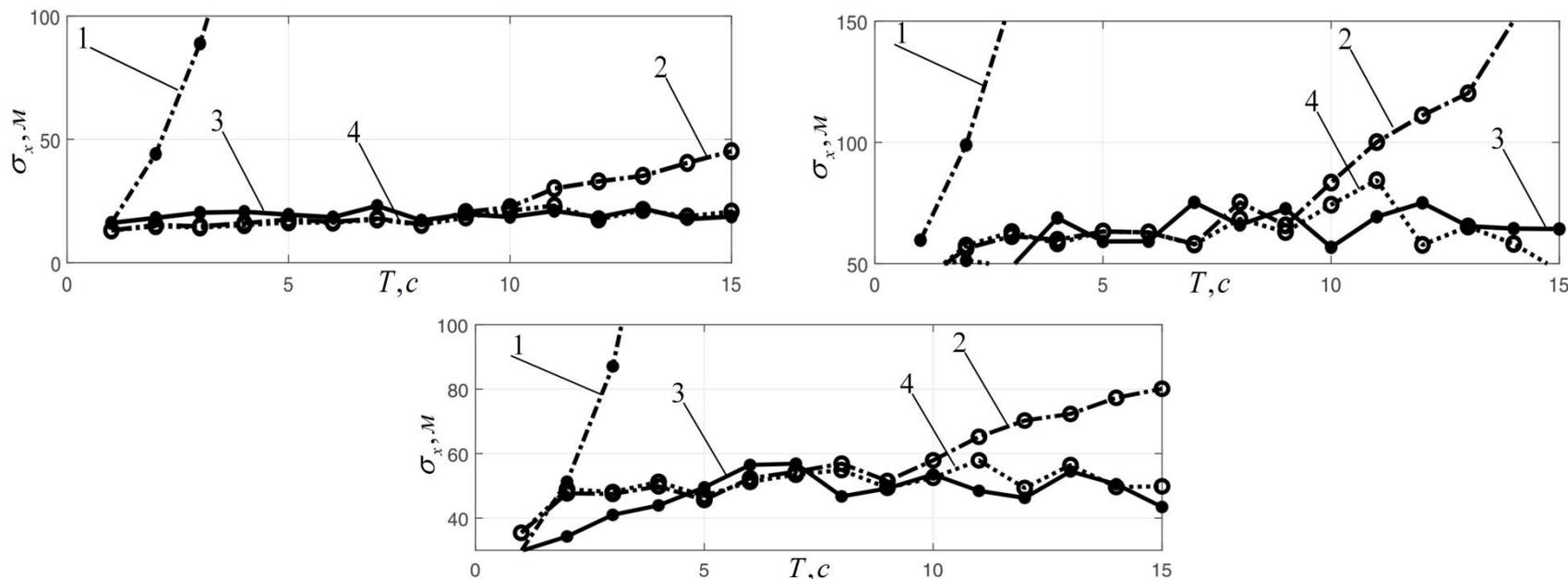


Рис. 6 Функциональная схема устройства объединения траекторий

На рис. 7, представлены сводные результаты моделирования для ФК и $\alpha - \beta$ - фильтра.



1 – без экстраполяции с $\alpha - \beta$ - фильтром; 2 – без экстраполяции с ФК; 3 – с экстраполяцией с $\alpha - \beta$ - фильтром; 4 – с экстраполяцией с ФК

Рис. 7 СКО координаты x в зависимости от времени обновления информации T

Анализ рис. 7 позволяет сделать вывод о том, что ФК и $\alpha - \beta$ - фильтр с экстраполяцией имеют близкую точность оценивания, причем последний при определенных условиях имеет преимущество в точности перед ФК. При этом без экстраполяции $\alpha - \beta$ - фильтр существенно уступает ФК в точности получаемой оценки.

Проведен анализ количества операций, необходимых для исследуемых алгоритмов с экстраполяцией, который показал, что при реализации метода с ФК и экстраполяцией количество операций описывается следующим уравнением:

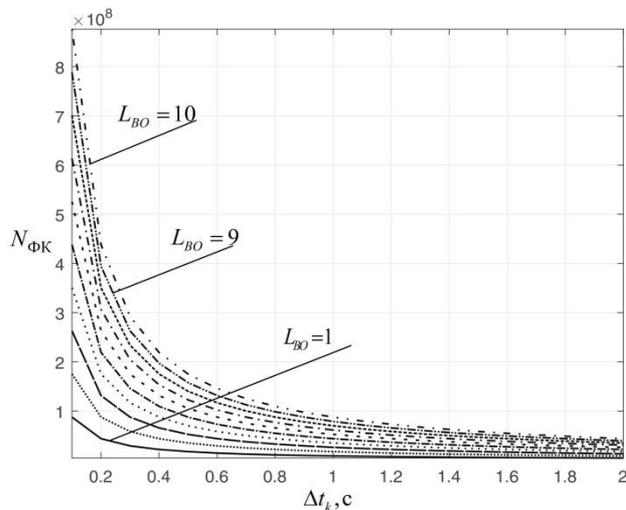
$$N_{\text{ФК}} = N_i L_{\text{ВО}} K_{\text{д}} (21 + 24\gamma) + \mu^{-1} (4959 + 6142 K_{\text{д}}) ,$$

а при реализации метода с $\alpha - \beta$ - фильтром и экстраполяцией – уравнением:

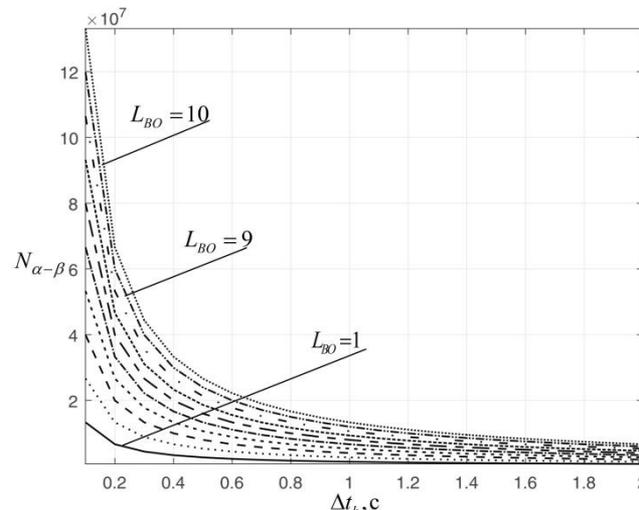
$$N_{\alpha-\beta} = N_i L_{\text{ВО}} K_{\text{д}} (21 + 24\gamma) + \mu^{-1} (1250 K_{\text{д}} + 114) .$$

где $N_i = T_D \Delta t_i^{-1}$ – общее количество обращений к памяти при выполнении экстраполяции; T_D – общее время прохождения ВО зоны ответственности системы УВД; L_{BO} – количество сопровождаемых в зоне ответственности ВО; K_D – количество датчиков МСС; $\gamma = (\Delta t_i - \Delta t_k) \Delta t_k^{-1}$; $\mu = \Delta t_i \Delta t_k^{-1}$.

На рис. 8 а, б представлены зависимости $N_{\Phi K} = f(L_{BO}, \Delta t_k)$ и $N_{\alpha-\beta} = f(L_{BO}, \Delta t_k)$ соответственно.



а



б

Рис. 8 Зависимости $N_{\Phi K} = f(L_{BO}, \Delta t_k)$ и

$$N_{\alpha-\beta} = f(L_{BO}, \Delta t_k)$$

Результаты, приведенные на рис. 8, свидетельствуют о том, что параллельная обработка информации в МСС с применением ФК и $\alpha - \beta$ - фильтра с экстраполяцией, исходя из мощностей современных вычислительных средств, вполне возможна в реальном масштабе времени. Кроме того, наблюдается значительное уменьшение количества вычислительных операций при применении $\alpha - \beta$ - фильтра.

Заключение

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о том, что параллельный метод обработки информации в МСС вполне может быть реализован в реальном масштабе времени. При этом возможно использование известных фильтров, таких как ФК и $\alpha - \beta$ - фильтр. Применение этих двух фильтров при экстраполяции координат ВО дает близкие по качеству оценки результаты, но последний более привлекателен тем, что требует меньших вычислительных затрат.

Спасибо за внимание!