

## **МНОГОКАНАЛЬНАЯ КАЛМАНОВСКАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ ПЕРВЫХ РАЗНОСТЕЙ ФАЗОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ УГЛОВОГО ПОЛОЖЕНИЯ ОБЪЕКТА ПО СИГНАЛАМ НАВИГАЦИОННЫХ СПУТНИКОВ**

д.т.н., проф. В.П. Деденок, к.т.н. Г.Г. Писарёнок, О.И. Вотяков

*Представлен метод определения угловой ориентации объектов по фазовым измерениям сигналов СРНС с использованием многоканальной калмановской фильтрации. В качестве искомого оценок используются результаты весового объединения информационных параметров на выходе каждого из каналов. Неинформационные параметры (значения систематических погрешностей, вызванных неоднозначностью фазовых измерений) отслеживаются в каждом из каналов независимо.*

**Постановка проблемы.** Основной проблемой при обработке фазовых измерений одночастотных приемников является разрешение неоднозначности фазовых измерений. Как показал **анализ литературы** [1], применение фильтра Калмана для решения задач угловой ориентации основано как на автономном, так и комплексном использовании информации инерциальных систем навигации (ИСН) и средств спутниковой навигации. В [4] рассмотрена возможность использования в качестве априорных данных кодовых измерений без привлечения ИСН, что существенно сокращает стоимость измерительного комплекса. Кроме того, там же в число оцениваемых параметров включены еще и систематические погрешности GPS-измерений. Однако реализация многопараметрической калмановской фильтрации затруднена в вычислительном отношении из-за операций с матрицами большой размерности. Кроме того, предлагаемый алгоритм работоспособен только при условии неизменности величины систематической погрешности на интервале измерения.

**Целью данной статьи** является разработка многоканального алгоритма калмановской фильтрации первых разностей фазовых измерений по сигналам спутниковых навигационных систем, позволяющего объединять оценки параметров угловой ориентации объектов на выходе каждого канала и отслеживать независимо внутри канала скачкообразные изменения значений неоднозначности фазовых измерений.

Решение поставленной задачи основывается на идее работы [2], в которой показано, что повышение эффективности объединения информации многоканальных измерителей возможно за счет использования схем с обратной связью. При этом по цепи обратной связи целесообразно передавать не всю информацию (отфильтрованные объединенные оценки и корреляционные матрицы погрешностей их определения), а только объединенные оценки, что связано с несоответствием погрешностей оценивания в отдельных фильтрах и погрешностей объединенных оценок. Применение такой схемы фильтрации для определения углового положения объектов по одночастотным измерениям первых разностей фаз имеет определенные достоинства. Во-первых, появляется возможность учета различной для каждого спутника неоднозначности фазовых измерений в алгоритмах обработки соответствующего канала. Во-вторых, при изменении количества спутников в зоне видимости объединенная оценка легко корректируется. Наиболее высокую точность оценивания дает весовое объединение [3].

Каждый из парциальных фильтров может быть построен по схеме, предложенной на рис. 1.

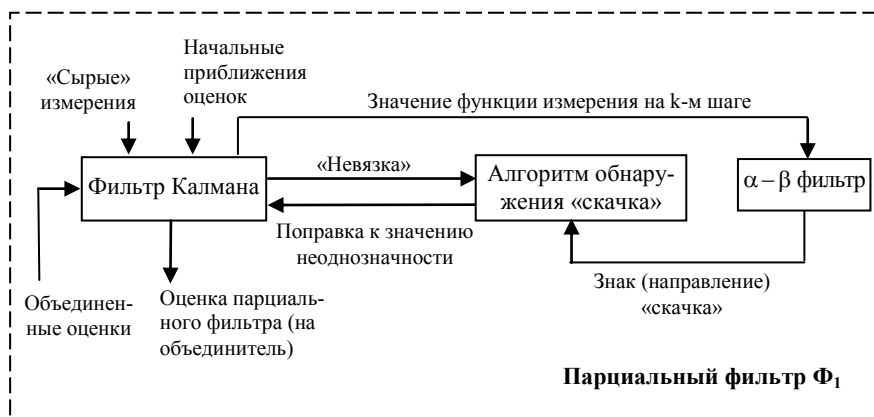


Рис. 1. Схема построения парциального фильтра

В состав модифицированного алгоритма фильтрации включен обнаружитель скачка (целочисленного перескока значения фазовой неоднозначности за счет движения спутника), который основан на анализе последовательности невязок между измеренными и экстраполированными параметрами. Анализ показал, что обнаружение скачка с вероятностью, близкой к единице, возможно в цикле, следующем за циклом его возникновения.

Одновременно с обнаружением скачка алгоритм оценивает и его направление. Эту процедуру предлагается реализовать путем слежения с помощью простого  $\alpha$ - $\beta$  фильтра за углом прихода сигнала от спутника. Величина угла прихода  $U$  вычисляется в фильтре Калмана [4].

Порядок выбора коэффициентов сглаживания  $\alpha$  и  $\beta$  можно предложить следующий. В начале необходимо задать допустимую динамическую погрешность экстраполированного на один цикл измерения параметра  $U$  и исходя из этого определить при наихудших условиях коэффициент  $\beta$ .

Данное правило выбора параметра  $\beta$  обеспечит минимизацию погрешности экстраполяции в рамках допущения о линейности принятой модели. Далее необходимо при известном значении  $\beta$  минимизировать величину погрешности оценивания скорости изменения параметра ( $U$ ).

Графики, представленные на рис. 2, позволяют выбрать оптимальные значения параметра  $\alpha$  при заданных значениях  $\beta$ .

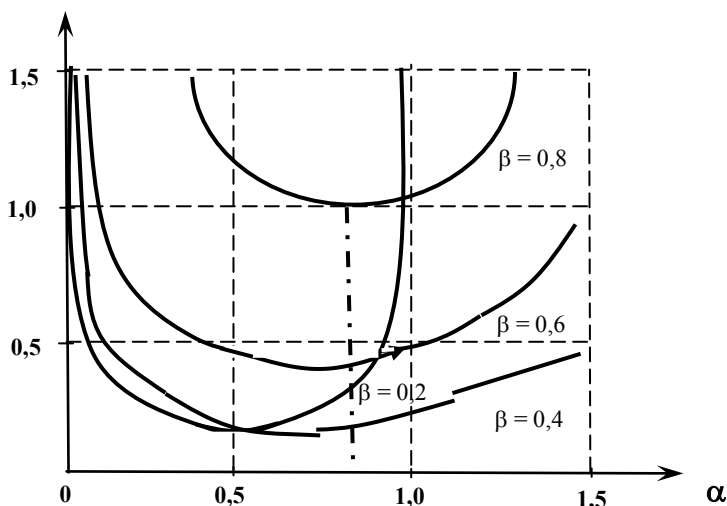


Рис. 2. Выбор оптимального значения параметра  $\alpha$  при заданных значениях  $\beta$

Анализ зависимостей на рис. 2, показывает, что при фиксированном значении  $\beta$  каждая из них имеет ярко выраженный минимум. Таким образом, предлагаемый способ выбора коэффициентов сглаживания обеспечивает при заданных ограничениях на динамическую ошибку экс-

траполированного направления угла прихода сигнала минимизацию ошибок оценивания скорости изменения направления угла прихода сигнала. В итоге с минимальной ошибкой определяется направление скачка фазы.

**Выводы.** Разработан многоканальный фильтр Калмана для оценки параметров углового положения объектов, реализуемый по первым разностям фазовых измерений, в котором весовым усреднением объединяются парциальные оценки информационных параметров. В составе каждого парциального фильтра предусмотрена схема определения момента и знака скачка в значении неоднозначности первых разностей фазовых измерений, происходящая за счет движения спутников по орбитам.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Глобальна система визначення місцеположення (GPS): Теорія і практика / Б. Гофманн-Велленгоф, Г. Ліхтенеггер, Д. Коллінз, переклад з англ., під ред. Я.С. Яцківа. – К.: Наук. думка, 1995. – 380 с.*
2. *Ghang K.S. Evaluang Hierarchical Track Fusion with Information Matrix Filter // Proceeding of 3<sup>rd</sup> International Conference on Information Fusion. – Paris, France – July 10 – 13, 2000. – P. 1 – 7.*
3. *Черняк В.С. Многопозиционная радиолокация. – М.: Радио и связь, 1993. – 416 с.*
4. *Деденок В.П., Вотяков О.И. Определение угловых координат объектов с использованием калмановской фильтрации первых разностей фазовых измерений по сигналам навигационных спутников // Моделювання та інформаційні технології в енергетиці. – К.: ППМЕ. – 2003. – Вип. 22. – С. 56 – 59.*

Поступила 5.04.2004

**ДЕДЕНОК Виктор Петрович**, докт. техн. наук, профессор, начальник Военного научного центра космических исследований. Окончил ВИРТА ПВО в 1975 году. Автор более 200 научных трудов. Область научных интересов – адаптивная обработка информации космических систем.

**ПИСАРЁНОК Георгий Георгиевич**, канд. техн. наук, ст. науч. сотр., ведущий научный сотрудник Военного научного центра космических исследований. Окончил ВИРТА ПВО в 1969 году. Область научных интересов – статистическая обработка информации оптико-электронных и радиолокационных систем.

**ВОТЯКОВ Олег Иванович**, старший научный сотрудник научного центра при ХВУ. Окончил ХВВКИУ РВ в 1986 году. Область научных интересов – системы и комплексы спутниковой навигации и геодезии.