

МНОГОУРОВНЕВАЯ ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ГИРОСКОПОВ В БЕСПЛАТФОРМЕННЫХ ИНЕРЦИАЛЬНЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ*

Ю. Н. Коркишко¹, В. А. Федоров²

ООО НПК «ОПТОЛИНК», 124498, Москва, Зеленоград, проезд 4806, д.5
Тел. (495) 651-0960, Факс(495) 651-0961, e-mail: opto@optolink.ru

А. В. Черnodаров³, А. П. Патрикеев⁴

Военно-воздушная инженерная академия им. Н.Е. Жуковского,
125190, Россия, Москва, ул. Планетная, 3
Тел. (495) 155-1808, e-mail: chernod@mail.ru

С. Е. Переляев⁵

Московский институт электромеханики и автоматики, 125319, Россия, Москва,
Авиационный переулок, 5, e-mail: aomica@aviapribor.ru

Аннотация

Ключевые слова: волоконно-оптический гироскоп, обработка сигналов, защита от сбосв, полиномиально-временная фильтрация, оценка погрешностей

Работа посвящена проблеме реализации аналитических подходов к повышению точности и надежности волоконно-оптических гироскопов (ВОГ) в автономных режимах функционирования бесплатформенных инерциальных навигационных систем. Предлагаемое решение проблемы опирается на приведение задачи цифровой обработки сигналов ВОГ к полиномиально-временной конструкции и настройке такой конструкции на функционирование в условиях априорной неопределенности и возможных аномальных измерений. Приводятся результаты экспериментальных исследований, подтверждающие эффективность применения предлагаемого подхода.

Введение

Современное состояние бесплатформенных навигационных систем характеризуется внедрением измерительных модулей на базе волоконно-оптических гироскопов (ВОГ). По сравнению с кольцевыми лазерными гироскопами ВОГ не требуют высоковольтного питания и наличия вибрационной подставки. Однако, актуальной остается задача повышения точностных характеристик ВОГ в реальных условиях эксплуатации.

Современный уровень развития бортовой электроники позволяет оценивать и компенсировать погрешности ВОГ в режиме реального времени в процессе первичной обработки сигналов. Для этого могут привлекаться программно-математические средства, применяемые ранее только для вторичной обработки информации при комплексировании навигационных систем (НС). Такие средства опираются на модели ошибок НС и калмановскую фильтрацию шумов наблюдений. Анализ исследований в области комплексной первичной обработки сигналов инерциальных чувствительных элементов указывает на возможность практической реализации аналитических подходов к повышению точностных характеристик ВОГ в автономных режимах функционирования бесплатформенных инерциальных навигационных систем (БИНС).

Цель работы – повышение точностных характеристик БИНС на основе оценки и компенсации инструментальных дрейфов ВОГ на уровне первичной обработки сигналов.

Структура системы первичной обработки сигналов волоконно-оптических гироскопов

Достижение поставленной в работе цели базируется на приведении задачи цифровой обработки сигналов к калмановской конструкции и настройке такой конструкции на функционирование в условиях априорной неопределенности и возможных аномальных измерений. Системы оценивания калмановской структуры включают контуры прогноза параметров и их коррекции на основе обработки наблюдений. Реализация контура прогноза предусматривает наличие моделей изменения выходных сигналов ВОГ между сеансами формирования наблюдений. Такие модели предлагается строить в режиме реального времени с помощью ортогональных полиномов Чебышева по скользящей выборке отсчетов сигналов ВОГ.

¹ Доктор физико-математических наук, профессор, генеральный директор.

² Доктор физико-математических наук, профессор, технический директор.

³ Кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник.

⁴ Кандидат технических наук, начальник лаборатории

⁵ Доктор технических наук, главный научный сотрудник

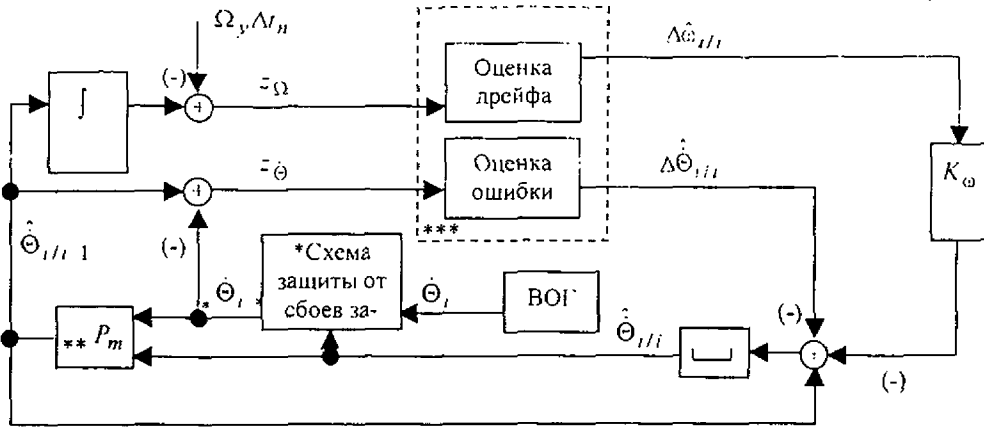


Рис. 1

Учитывая сглаживающие свойства полиномов Чебышева, представляется возможным на этапе прогноза выполнять также предварительную фильтрацию шумов. В развитие работы [1] предлагается процедура робастного прогноза, позволяющая обнаруживать и исключать из обработки отсчеты сбойных сигналов. Такая процедура основана на сравнении диагностического параметра с его табулированным допуском. Диагностический параметр формировался в виде отношения квадрата невязки прогноза к её дисперсии. Дисперсия вычислялась относительно опорной фазовой траектории, определяемой по сглаженным сигналам. Необходимость защиты БИНС на базе ВОГ от аномальных сигналов связана с высокой чувствительностью волоконно-оптических измерителей угловой скорости вращения к внешним возмущениям. Коррекция прогнозного сигнала и оценка инструментальных дрейфов ВОГ реализуется на основе обработки наблюдений. В качестве наблюдений предлагается использовать невязку между прогнозируемым и реальным сигналами ВОГ, а также соответствующие инварианты. В процессе начальной выставки БИНС инвариантом является, например, приращение угла поворота измерительного блока в инерциальном пространстве, в рабочем режиме – приращение выходного сигнала ВОГ соответствующего порядка.

Структурная схема предлагаемой системы многоуровневой обработки сигналов в инерциальном измерительном блоке представлена на рис. 1, где обозначены: $\hat{\Theta}_i$ – отсчеты выходного сигнала ВОГ;

$\hat{\Theta}_{lli} = \sum_{k=0}^m \hat{q}_k P_k(t_i)$ – прогнозируемое значение выходного сигнала ВОГ; $P_k(t_i)$ – нормированные

ортогональные полиномы Чебышева; \hat{q}_k – весовые коэффициенты; P_m – модуль адаптивного полиномиального сглаживания. Адаптация обеспечивается на основе рекуррентного сглаживания ретроспективной выборки отсчетов сигналов ВОГ по результатам обработки наблюдений; $\Delta\hat{\Theta}_{lli}; \Delta\hat{\omega}_{lli}$ – оценки ошибок определения угловой скорости ВОГ и его инструментального дрейфа на i -м шаге после обработки наблюдений; $z_\Omega; z_\Theta$ – сигналы наблюдений; K_ω – масштабный коэффициент; $(-)$ – задержка на один такт; $\Omega_y \Delta t_n$ – угол поворота (инвариант) оси o_y ВОГ в инерциальном пространстве за время $\Delta t_n = t_i - t_{i-n}$ при неподвижном относительно Земли основании; (*) – первый уровень обработки сигналов; (**) – второй уровень обработки сигналов; (***) – третий уровень обработки сигналов.

Анализ результатов исследований

Объектом исследований являлась система БИНС-1000 на базе ВОГ ОИУС-1000 [2] разработки НИК «ОПТОЛИНК» (Зеленоград). Случайные дрейфы некалиброванных ВОГ такого типа – сотые град/ч.

Некоторые результаты эксперимента по снижению указанных инструментальных погрешностей ВОГ ОИУС-1000 представлены на рис. 2, 3. На рис. 2 показаны: выходной сигнал (график светлого цвета) угл. с/с «вертикального» гироскопа БИНС-1000; сглаженный с помощью адаптивно-робастной полиномиальной процедуры сигнал (график темного цвета) того же гироскопа. Сглаживание выполнялось с частотой сдвига сигнала ВОГ 1 кГц. На рис. 3 показан реальный инструментальный дрейф ВОГ (график светлого цвета, град/ч), определяемый как среднее значение смещения «нуля» на временных интервалах в 10 с; оценка (график темного цвета) инструментального дрейфа указанного гироскопа (его автокорре-

лированной составляющей), полученная при обработке наблюдений $z(t)$ с частотой 1 Гц. Анализ полученных результатов показал, что полиномиальное сглаживание с контуром защиты от аномальных сигналов позволяет не менее, чем на порядок, уменьшить шумовую составляющую угловой погрешности ВОГ. В то же время автокоррелированная («накапливаемая») составляющая дрейфа ВОГ оценивается с помощью фильтра Калмана с точностью, не хуже, чем 0.001 ± 0.005 град/ч.

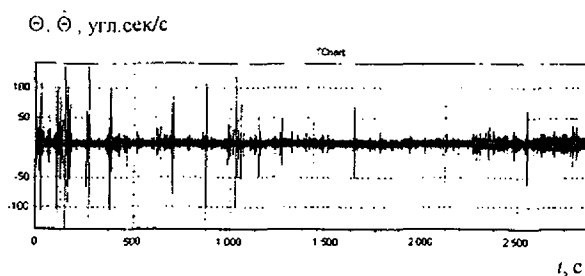


Рис. 2

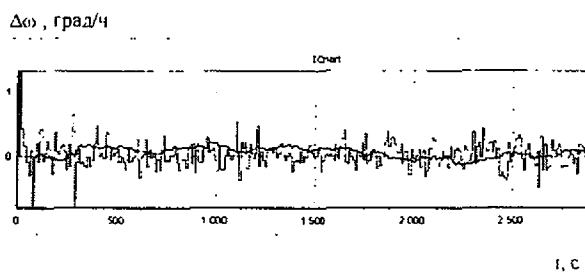


Рис. 3

Заключение

Результаты исследований подтверждают эффективность объединения в едином технологическом цикле следующих процедур многоуровневой обработки сигналов ВОГ: адаптивно-робастного полиномиального сглаживания сигналов; оптимального оценивания инструментальных дрейфов ВОГ с помощью фильтра Калмана. При таком подходе шумовые составляющие погрешностей ВОГ «подавляются» на этапе сглаживания сигналов, а автокоррелированные (систематические) – на этапе оценивания дрейфов с учетом информации о моделях шумов и инвариантах.

Литература

1. Чернодаров А.В., Переляев С.Е. Контроль и оценка состояния инерциальных чувствительных элементов при комплексной первичной обработке сигналов // Материалы XIV Санкт-Петербургской межд. конф. по интегрированным навигационным системам. – СПб: ЦНИИ «Электронприбор», 2007, с. 93-95.
2. Коркишко Ю.Н., Федоров В.А., Прилуцкий В.Е., Пономарев В.Г., Марчук В.Г., Морев И.В., Кострицкий С.М., Палерин Е.М., Несенюк Л.П., Буравлев А.С., Лисин Л.Г. Волоконно-оптический гироскоп навигационного класса точности // Материалы XIV Санкт-Петербургской межд. конф. по интегрированным навигационным системам. – СПб: ЦНИИ «Электронприбор», 2007, с. 141-150.