

МОДЕЛИРОВАНИЕ АДАПТИВНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИНЕРЦИАЛЬНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЕЙ БИНС

М.И. Ледовской

Рассмотрена возможность использования адаптивной фильтрации для компенсации погрешностей инерциальных измерителей БИНС. Приведен способ получения эталонного сигнала для адаптивного фильтра, а также алгоритм интегрирования уравнений инерциальной навигации с использованием адаптивной фильтрации. Представлена структура Simulink-модели для исследования адаптивного фильтра в составе БИНС и результат адаптивной фильтрации.

Ключевые слова: моделирование, Simulink-модель, адаптивный фильтр, эталонный сигнал, погрешность

Введение

При разработке недорогих навигационных систем гибридного типа (GPS/БИНС, ГЛОНАСС/БИНС) для подвижных объектов (автомобилей) используются дешевые инерциальные измерители БИНС [1]. Это приводит к тому, что интервал получения приемлемого по точности решения БИНС ограничивается несколькими секундами. Причиной данного обстоятельства являются погрешности инерциальных измерителей, которые быстро накапливаются в алгоритме БИНС. Это дрейф нуля, который подвержен влиянию ряда трудно учитываемых факторов, а также шум, уровень которого превышает полезный сигнал инерциальных измерителей.

Получение эталонного сигнала

Решение данной задачи стало возможным, благодаря использованию алгоритма БИНС [3], в котором используется геодезическая система координат OENh и система OXYZ, связанная с подвижным объектом, а источниками сигналов являются три акселерометра и три датчика угловых скоростей.

С целью получения эталонного сигнала выполняются независимые измерения навигационных параметров. В частности, скорость автомобиля измеряется с помощью датчиков ABS, а курс – трехкомпонентным электронным векторным компасом. Эти измерения дают опорные значения скорости $V_{оп}$ и курса $K_{оп}$, относительно которых определяются невязки ΔV , ΔK для значений V и K , вычисленных в алгоритме БИНС. После этого невязки ΔV , ΔK отображаются из системы OENh в систему OXYZ и преобразуются в соответствующие погрешности инерциальных измерителей. Например, исходя из невязок ΔV , ΔK , можно найти приближенные по-

грешности $\Delta n_x, \Delta n_y$, с которыми акселерометры измеряют проекции ускорения подвижного объекта n_x, n_y на оси X, Y соответственно.

Найденные погрешности $\Delta n_x, \Delta n_y$ являются искомыми эталонными сигналами, которые можно использовать в адаптивном фильтре. Для успешной фильтрации достаточно обеспечить корреляцию эталонных сигналов с реальными погрешностями инерциальных измерителей. Поэтому на точность независимых измерений скорости и курса жесткие условия не накладываются.

Адаптивная фильтрация погрешностей инерциальных измерителей с использованием изложенного способа получения эталонного сигнала приводит к необходимости перестройки процесса интегрирования уравнений инерциальной навигации.

Интегрирование уравнений инерциальной навигации

Алгоритм интегрирования уравнений инерциальной навигации с адаптивной фильтрацией погрешностей инерциальных измерителей организуется по принципу «прогноз-коррекция» и состоит из следующих этапов:

- Получение текущих значений ускорений n_x, n_y .
- Пробное интегрирование уравнений инерциальной навигации на текущем шаге с целью прогноза значений скорости V и курса K .
- Получение опорных значений скорости $V_{оп}$ и курса $K_{оп}$ по результатам независимых измерений.
- Вычисление невязок скорости и курса относительно опорных значений:

МОДЕЛИРОВАНИЕ АДАПТИВНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИНЕРЦИАЛЬНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЕЙ БИНС

$$\Delta V = V_{\text{оп}} - V, \quad \Delta K = K_{\text{оп}} - K$$

- Приближенное вычисление погрешностей ускорений $\Delta n_x, \Delta n_y$, вызвавших невязки скорости и курса $\Delta V, \Delta K$.
- Адаптивная фильтрация погрешностей $\Delta n_x, \Delta n_y$.

Повторное интегрирование уравнений инерциальной навигации на текущем шаге с

использованием уточненных значений ускорений n_x, n_y .

Приведенный алгоритм реализован в виде Simulink-блока БИНС, функциональность которого обеспечивается С-кодом по аналогии с [4]. Данный Simulink-блок входит в состав общей Simulink-модели для анализа погрешностей БИНС (рисунок.1).

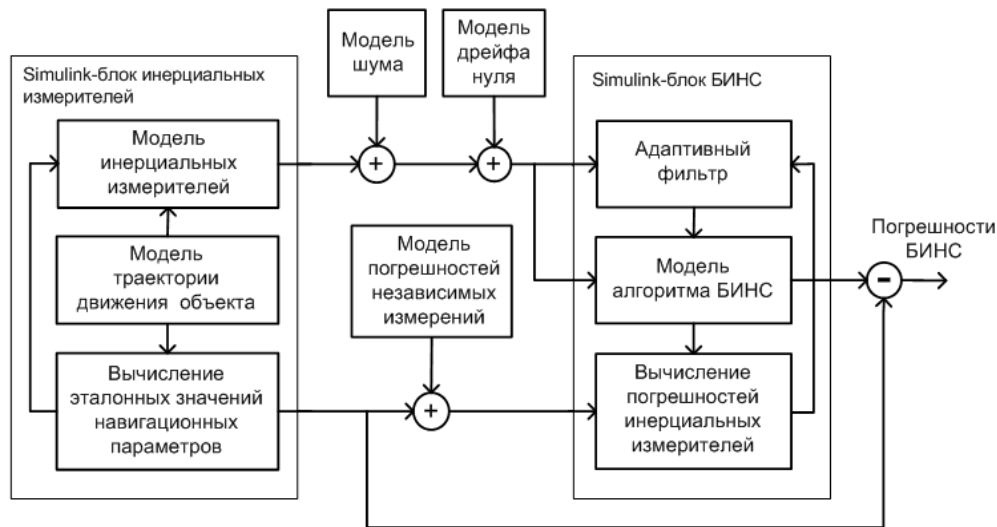


Рисунок 1 - Структура Simulink-модели для анализа погрешностей БИНС

Моделирование адаптивной фильтрации

В качестве адаптивного фильтра в Simulink-блоке БИНС используется RLS-фильтр, реализующий рекурсивный метод наименьших квадратов на растущем окне с экспоненциальным взвешиванием [5]. Алгоритм данного фильтра имеет следующий вид:

$$e(k) = y(k) - u^T(k)H(k-1),$$

$$K(k) = \frac{P(k-1)u(k)}{\lambda + u^T(k)P(k-1)u(k)},$$

$$P(k) = \frac{1}{\lambda} [P(k-1) - K(k)u^T(k)P(k-1)],$$

$$H(k) = H(k-1) + K(k)e(k),$$

где $u^T(k)$ – вектор-строка отсчетов входного сигнала; $y(k)$ – отсчет эталонного сигнала; $e(k)$ – отсчет выходного сигнала, $H(k)$ – вектор-столбец коэффициентов фильтра, $P(k)$ – обратная корреляционная матрица входного сигнала, $K(k)$ – вектор-столбец коэффициентов усиления; $0 < \lambda \leq 1$ – коэффициент экспоненциального взвешивания, учитывающий изменение статистических свойств входного сигнала во времени; k – номер отсчетов. Начальные значения $H(0)$ и $P(0)$ выбираются в

соответствии с рекомендациями, приведенными в [5].

RLS-фильтр используется в Simulink-модели для адаптивной фильтрации погрешностей инерциальных измерителей БИНС. Сигналы инерциальных измерителей формируются в специальном Simulink-блоке модели для заданной траектории движения объекта в виде идеальных значений. Затем к этим значениям добавляются шум и дрейф нуля для имитации реальной погрешности инерциальных измерителей.

В этом же блоке вычисляются эталонные значения навигационных параметров объекта, которые используются для получения результирующей погрешности БИНС. Эти значения используются также в Simulink-блоке БИНС в качестве результатов независимых измерений вместе с добавленной погрешностью.

На рисунке 2 в качестве примера представлены полученные графики ускорения по трем видам: идеальный сигнал n_y в диапазоне от 0 до 5·10–10 м/сек²; сигнал n_y с добавленным шумом и дрейфом нуля; восстановленный сигнал n_y после выполнения адаптивной фильтрации

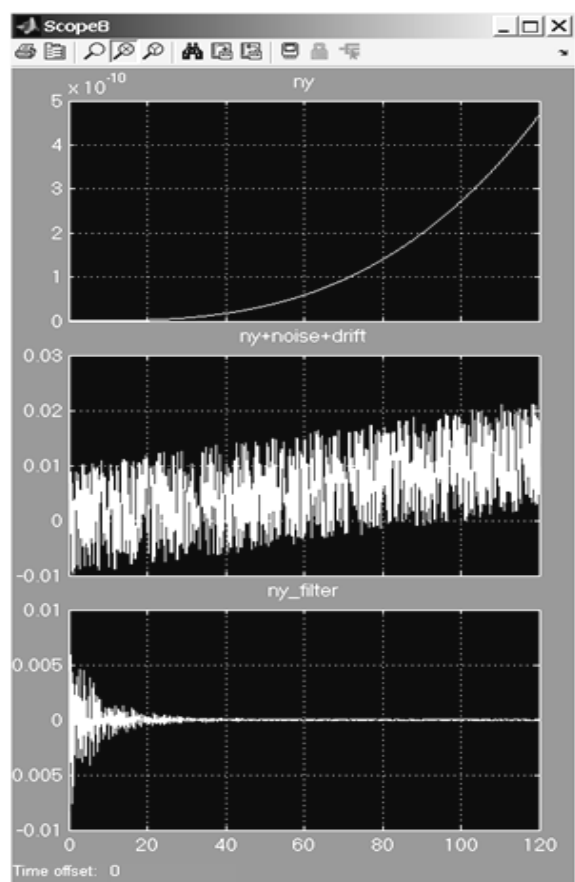


Рисунок 2 – результат адаптивной фильтрации погрешности ускорения ny

Как показывают результаты моделирования, адаптивная фильтрация расширяет интервал получения приемлемого по точности решения БИНС, который в данном случае может составлять минуты.

УДК 681.518.22

МЕТОДЫ АНАЛИЗА МОДЕЛЕЙ ПРОЦЕССОВ СБОРА И ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ НТС ТЕРМОРЕЗИСТОРОВ

А.О. Беляев

Рассматривается подход к разработке измерительного канала температуры информационно-измерительных систем на базе терморезисторов с отрицательным ТКС (НТС) основанный на сквозном моделировании его характеристик. Интегральная модель измерительного канала включает в себя дискретные модели процессов сбора и обработки сигналов чувствительных элементов, и для анализа результатов моделирования должны быть сформулированы методы их оценки

Ключевые слова: терморезистор, НТС, обработка, анализ, измерение, температура

Введение

Использование для создания радиоэлектронной аппаратуры САПР сквозного проектирования предполагает разработку устрой-

Результаты исследований изложенные в данной статье получены при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках реализации проекта "Создание высокотехнологичного производства по изготовлению информационно-телекоммуникационных комплексов спутниковой навигации ГЛОНАСС/GPS/Galileo" по постановлению правительства №218 от 09.04.2010.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Синютин С.А. Комплексный стенд для отладки автомобильной гибридной навигационной системы // Измерение. Контроль. Информатизация: материалы двенадцатой Международной научно-технической конференции. – Барнаул, АлтГТУ, 2011. – С. 131-135.
2. Уидроу Б. Адаптивная обработка сигналов / Б. Уидроу, С.Д. Стирнз. – М.: Радио и связь, 1989. – 440 с.: ил.
3. Щербань И.В. Алгоритм решения навигационной задачи БИНС И.В. Щербань, И.А. Литвяков, С.А. Толмачев // Измерение. Контроль. Информатизация: материалы двенадцатой Международной научно-технической конференции. – Барнаул, АлтГТУ, 2011. – С. 27-30.
4. Ледовской М.И. Моделирование алгоритма инерциальной навигации в MATLAB-SIMULINK // Ползуновский вестник. – 2011. – №3/1. – С. 9-11.
5. Адаптивные фильтры: Пер. с англ./ Под ред. К.Ф.Н. Коузена, П.М. Гранта. – М.: Мир, 1988. – 392 с.: ил.

Доцент **Ледовской М.И.** тел. 8-8634-32-80-25, kafmps@tppark.ru - каф. микропроцессорных систем Технологического института Южного федерального университета в г.Таганроге

ства или прибора в единой информационной среде с промежуточным моделированием его узлов и алгоритмов, с целью сокращения сроков разработки и исключения ряда воз-

ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 2/1, 2012