

РАЗДЕЛ I. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ СИНТЕЗА И АНАЛИЗА ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

УДК 681.3:519.6

МОДЕЛИРОВАНИЕ АЛГОРИТМА ИНЕРЦИАЛЬНОЙ НАВИГАЦИИ В MATLAB-SIMULINK

М.И. Ледовской

В статье рассмотрены цели и задачи моделирования алгоритма инерциальной навигации в MATLAB-Simulink. Предложены Simulink-блоки на основе С-кода алгоритма. Приведены Simulink-модели для воспроизведения погрешностей алгоритма, а также результаты моделирования.

Ключевые слова: программа микроконтроллера, моделирование алгоритма, Simulink-блок, Simulink-модель, погрешности алгоритма

Введение

Создание гибридных навигационных систем ГЛОНАСС/БИНС для автотранспортных средств приводит к необходимости моделирования алгоритмов, которые предназначены для реализации в микроконтроллере бесплатформенной инерциальной навигационной системы (БИНС) [1]. Эффективным средством решения данной задачи является система моделирования MATLAB с пакетом расширения Simulink. В этой системе обеспечивается удобство моделирования входных сигналов БИНС и графического представления результатов.

Однако использование языка MATLAB-Simulink приводит к тому, что моделирование алгоритма и разработка программы микроконтроллера на языке С выполняются последовательно друг за другом. К тому же исходный алгоритм может со временем уточняться, что требует повторного моделирования в системе MATLAB-Simulink и последующего отображения вносимых изменений в С-код микроконтроллера. В результате увеличивается общее время разработки БИНС.

В настоящей работе предлагается совместить во времени моделирование алгоритма и разработку программы микроконтроллера. Для этого в качестве главной цели моделирования выдвигается разработка С-кода алгоритма. Эта цель достигается путем сквозной программной реализации алгоритма на языке С, начиная с этапа моделирования, до получения исполняемого кода в среде программирования микрокон-

троллера. Другие цели моделирования, рассмотренные ниже, реализуются с учетом обеспечения указанной главной цели.

Тестирование алгоритма

Как известно [2], алгоритм инерциальной навигации сводится к задаче Коши для системы обыкновенных дифференциальных уравнений. Первоначально алгоритм программируется на языке С в среде Visual C++, где создается консольное приложение с использованием библиотеки MFC для графического представления результатов работы программы (рисунок1).

Для тестирования алгоритма имитируется круговое движение объекта из точки старта с известными координатами. По завершении каждого круга в момент выхода объекта на долготу точки старта фиксируется ошибка алгоритма. Она определяется путем сопоставления счисляемого значения широты места объекта с широтой точки старта. С целью минимизации вычислительной погрешности в программе реализуется метод численного интегрирования Рунге-Кутты 4-го порядка, формат данных – «двойное вещественное», шаг интегрирования – 0,01 сек. В частности, при радиусе круга 50 км и скорости 180 км/час ошибка алгоритма после выполнения первого круга движения объекта в пересчете на меры длины составила 1,6 м.

При реализации алгоритма в микроконтроллере достаточно использовать метод численного интегрирования более низкого порядка точности и более короткий формат данных, что требует соответствующего

РАЗДЕЛ I. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ СИНТЕЗА И АНАЛИЗА ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

обоснования. Это является причиной рассмотрения следующих целей моделирования.

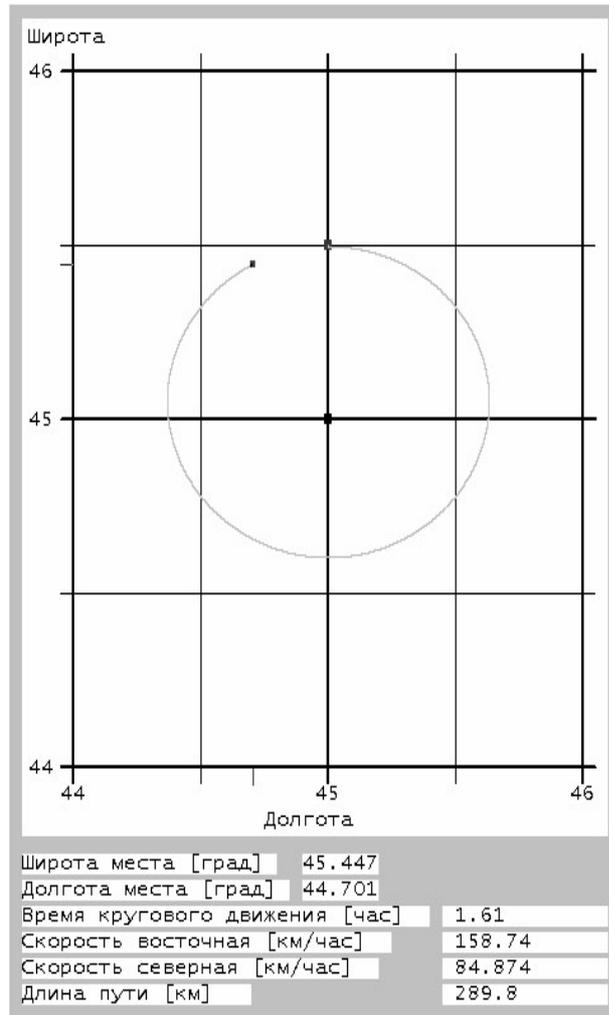


Рисунок 1 – Процесс тестирования алгоритма

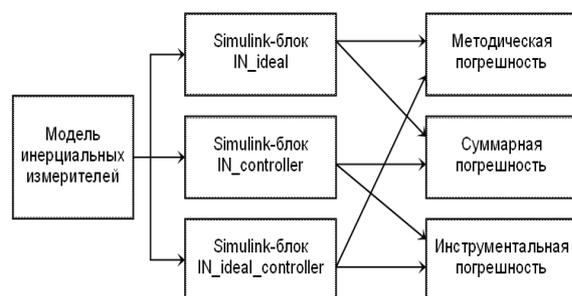


Рисунок 2 – Структура Simulink-модели для экспериментального анализа методической и инструментальной погрешностей алгоритма

Обоснование выбора формата данных, метода и шага численного интегрирования для микроконтроллера

Эти цели достигаются путем экспериментального анализа погрешностей алго-

ритма в системе MATLAB-Simulink: методической погрешности ε_m и инструментальной погрешности ε_i (рисунок 2). Однако с учетом главной цели вместо стандартных блоков библиотеки Simulink для реализации алгоритма используются Simulink-блоки собственной разработки. Как известно [3], Simulink позволяет создавать блоки, функциональность которых обеспечивается готовым С-кодом. Кроме того, имеется возможность перекомпилировать С-код после внесения изменений. В нашем случае достаточно воспользоваться С-кодом алгоритма, который получен в среде программирования Visual C++.

Разработке подлежат следующие Simulink-блоки, реализующие алгоритм инерциальной навигации на языке С:

Simulink-блок IN_ideal – эталонная модель алгоритма, где используется метод Рунге-Кутты 4-го порядка и формат данных «двойное вещественное», что позволяет обеспечить $\varepsilon_m \approx 0$ и $\varepsilon_i \approx 0$ соответственно;

Simulink-блок IN_controller – модель алгоритма, реализуемого в микроконтроллере. Здесь используется метод интегрирования низкого порядка точности, например, формула трапеций и формат данных «короткое вещественное», что приводит к появлению погрешностей ε_m и ε_i соответственно.

Блок используется для анализа инструментальной погрешности ε_i путем сопоставления результатов с блоком IN_ideal_controller (см. ниже), а также суммарной вычислительной погрешности $\varepsilon_b = \varepsilon_m + \varepsilon_i$ – с блоком IN_ideal;

Simulink-блок IN_ideal_controller – вспомогательная модель алгоритма. В этом блоке используется метод интегрирования такой же, как в блоке IN_controller, что вызывает погрешность ε_m , и формат данных «двойное вещественное», обеспечивающий $\varepsilon_i \approx 0$. Блок необходим для анализа мето-

дической погрешности ε_m путем сопоставления результатов с блоком IN_ideal.

Кроме того, с помощью стандартных блоков библиотеки Simulink создается модель инерциальных измерителей БИНС, которая позволяет построить общую Simulink-модель для экспериментального анализа методической и инструментальной погрешностей алгоритма (рисунок 2).

МОДЕЛИРОВАНИЕ АЛГОРИТМА ИНЕРЦИАЛЬНОЙ НАВИГАЦИИ В MATLAB-SIMULINK

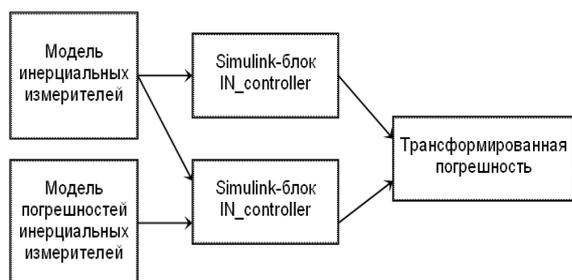


Рисунок 3 - Структура Simulink-модели для экспериментального анализа трансформированной погрешности алгоритма.

Определение требований к точностным характеристикам инерциальных измерителей БИНС

Данная цель достигается путем экспериментального анализа трансформированной погрешности алгоритма ε_t , которая вызывается погрешностями инерциальных измерителей БИНС. Для этого создается модель погрешностей инерциальных измерителей, а затем Simulink-модель на основе двух Simulink-блоков IN_controller, результаты которых сопоставляются (рисунок 3).

Simulink-модели, приведенные на рисунке 2 и 3, позволяют контролировать выполнение общего баланса погрешностей алгоритма $\varepsilon_m + \varepsilon_i + \varepsilon_t \leq \varepsilon_{\text{доп}}$, а также соотношения между методической и инструментальной погрешностями $\varepsilon_m \leq \varepsilon_i$, где $\varepsilon_{\text{доп}}$ – допустимая погрешность.

На рисунке 4 приведен один из результатов моделирования алгоритма в системе MATLAB-Simulink для случая, когда объект движется по кругу радиусом 5 км со скоростью 180 км/час в течение 6000 сек. При этом в Simulink-блоке IN_controller используется формула трапеций, шаг интегрирования – 0,1 сек.

В результате моделирования в Simulink-блоке IN_controller формируется отлаженный C-код алгоритма, который можно использовать в среде программирования микроконтроллера для получения

исполняемого кода, и тем самым ускорить создание БИНС.

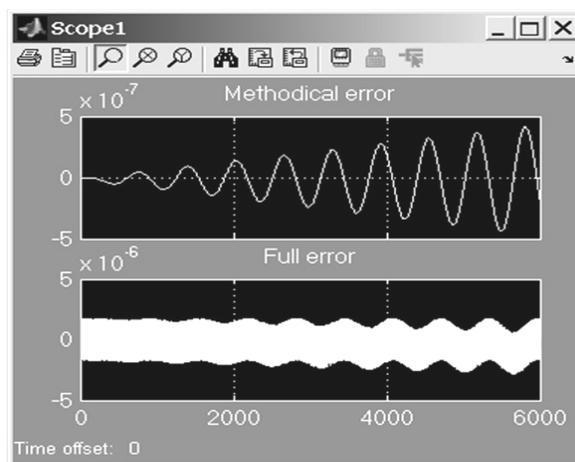


Рисунок 4 – Методическая и суммарная вычислительная погрешность счисления широты места объекта

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ледовской М.И. Алгоритмы математических операций для воспроизведения вариаций переменных в уравнениях инерциальной навигации автотранспортных средств // Перспективы развития навигационных систем ГЛОНАСС, GPS, Galileo: материалы Международной научно-технической конференции – Донецк, ДонНТУ, 2010. – С.76-80.
2. Успенский В.Б. Решение задачи инерциальной навигации в бесплатформенной инерциальной навигационной системе / В.Б. Успенский, И.А. Багмут // Авиационно-космическая техника и технология. – 2009. - №3 (60). – С. 39-44.
3. Черных И.В. Simulink: Инструмент моделирования динамических систем. – Режим доступа: <http://matlab.exponenta.ru/simulink/book1/index.php>.

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