

УДК 681.518

Моделирование алгоритмов коррекции навигационной системы по данным лабораторного эксперимента

Неусыпин Константин Авенирович

neusipin@bmstu.ru

Задорожная Наталия Михайловна

zanatali@bmstu.ru

Клычников Владимир Владимирович

v.v.klychnikov@bmstu.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация: Исследован навигационный комплекс летательного аппарата. Алгоритмическое обеспечение навигационного комплекса включает различные алгоритмы обработки навигационной информации: фильтрацию Калмана, фильтры Калмана с алгоритмами самоорганизации и генетическим алгоритмом и нейронной сетью. Проведено моделирование по данным лабораторных испытаний с реальной инерциальной навигационной системой. Результаты лабораторных экспериментов с реальными навигационными системами продемонстрировали высокую точность и надежность обработки информации посредством алгоритма самоорганизации и генетического алгоритма.

Ключевые слова: летательный аппарат, навигационная система, оценивание точности, фильтрация Калмана; генетический алгоритм

Modeling of navigation system correction algorithms based on laboratory experiment data

Neusipin Konstantin Avenirovich

neusipin@bmstu.ru

Zadorozhnaya Natalia Mikhailovna

zanatali@bmstu.ru

Klychnikov Vladimir Vladimirovich

v.v.klychnikov@bmstu.ru

BMSTU, Moscow, Russia

Abstract. The navigation complex of an aircraft is investigated. The algorithmic support of the navigation complex includes various algorithms for processing navigation information: Kalman filtering, Kalman filters with self-organization algorithms and a genetic algorithm and a neural network. Modeling is carried out based on laboratory test data with a real inertial navigation system. The results of laboratory experiments with real navigation systems demonstrated high accuracy and reliability of information processing using a self-organization algorithm and a genetic algorithm.

Keywords: aircraft, navigation system, accuracy assessment, Kalman filtering; genetic algorithm

Введение. Коррекция современных измерительных систем обычно осуществляется алгоритмическим путем. В качестве алгоритмов коррекции часто используются различные алгоритмы оценивания для вычисления погрешностей

измерительных систем [1]. Особенно популярна схема алгоритмической коррекции навигационных систем летательных аппаратов (ЛА) [2].

С точки зрения обработки и фильтрации навигационных информацией, одним из самых применяемых алгоритмов может быть известный алгоритм фильтрации Калмана (ФК) и его модификации, а именно расширенный ФК, сигматочечный фильтр и др. [3]. В настоящее время, интересы исследования в области навигационных алгоритмов разделяются на два различного направления. Одним из направлений является углубленное изучение и анализ теории Байеса, а другой способ заключается в применении передовых интеллектуальных алгоритмов, а именно нейронных сетей, алгоритмов самоорганизации, генетических алгоритмов и их комбинации, для модификации традиционных ФК [4].

Материалы и методы. Алгоритм ФК обеспечивает рекурсивное решение для линейной задачи оптимальной фильтрации в стационарных, а также нестационарных условиях. На основе линейного ФК, обработка навигационной информации осуществляется с невысокой точностью, что обусловлено отсутствием достоверной априорной информации о статистических характеристиках шумов и неадекватностью используемой модели оцениваемого процесса. В практических приложениях используют адаптивные ФК, нелинейный ФК и его модификации с помощью интеллектуальных алгоритмов, а именно алгоритмом самоорганизации, нейронными сетями и генетическими алгоритмами, чтобы адаптировать к изменяющимся внешним условиям, и получить более высокую точность оценивания чем традиционные ФК.

Ошибки автономной ИНС в определении пройденного пути представляют собой «расходящиеся» колебания с периодом Шуллера. Привлекая внешнюю информацию о скорости перемещения несущего объекта, можно демпфировать эти колебания, сохраняя инвариантность. Вычитая информацию о скорости с ГНСС из скоростного сигнала, снимаемого с ИНС, получают ошибки определения скорости несущего объекта. Подачей этого сигнала на вход первого интегратора ИНС достигают демпфирования ошибок системы. Если же сигнал разности измерения скоростей ИНС и ГНСС подается одновременно и на выход первого интегратора, то демпфирование получается с изменением периода собственных колебаний, т. е. период собственных колебаний системы можно уменьшить.

Полностью исключить погрешности с помощью демпфирования не представляется возможным, так как они нарастают с течением времени. Точность корректируемых ИНС в значительной степени зависит от погрешностей внешнего источника информации и ошибок используемого алгоритма. В частности, от адекватности математической модели погрешностей ИНС.

Нелинейная математическая модель погрешностей ИНС формируется с помощью алгоритмов самоорганизации, нейронной сети или генетического алгоритма.

При функционировании динамического объекта в стохастических условиях объем априорной информации о нем, как правило, минимален. Поэтому целесообразно использовать для экстраполяции подход самоорганизации [5].

Реализация алгоритма самоорганизации предполагается на борту динамического объекта. Обычно к таким алгоритмам предъявляются достаточно жесткие требования по быстродействию, компактности и простоте реализации в БЦВМ высокоманевренных ЛА.

Нейронной сетей (НС) в целом могут быть использованы в качестве бортовых алгоритмов построения модели погрешностей ИНС. Для применения нейронных сетей используются наборы обучающих выборок, охватывающих все возможные ситуации, которые должны быть собраны, чтобы адаптироваться к данной обучающей выборке. Обучение нейронных сетей развивается следующим образом: 1) случайное определение начальных весов; 2) реализация обучения эпох; 3) тестирование сформированных моделей нейронных сетей.

Результаты. На основе естественного отбора и природной генетики, генетические алгоритмы (ГА) позволяют строить модели с высокой точностью. Использование ГА в схеме коррекции ИНС с нелинейным фильтром Калмана представлена на рисунке.

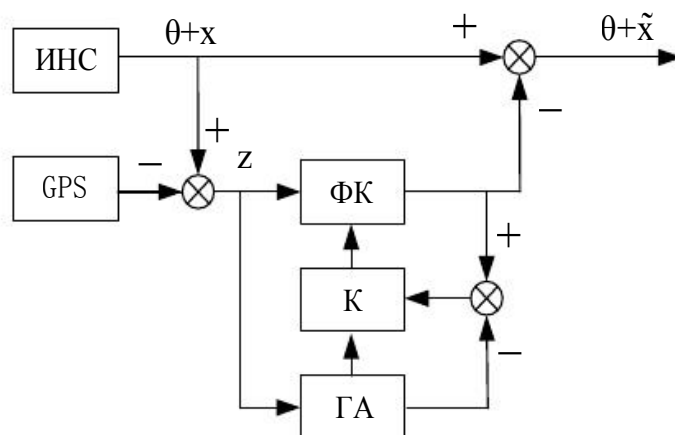


Схема коррекции ошибок ИНС с использованием генетического алгоритма:

ИНС — инерциальная навигационная система; GPS — система глобального позиционирования; ФК — фильтр Калмана; ГА — генетический алгоритм; К — индикатор; θ — истинная навигационная информация; x — истинные ИНС ошибки; $\tilde{x}$ — оценки ИНС ошибок

Обсуждение полученных результатов. Моделирование по данным лабораторного эксперимента позволяет определить возможную достижимую точность алгоритмического обеспечения различных систем, в частности навигационных систем. Существенного повышения точности навигационной информации можно добиться с помощью использования навигационных комплексов, снабженных алгоритмическим обеспечением [6].

Проверка работоспособности и эффективности алгоритмов осуществляется с помощью моделирования по данным лабораторного эксперимента. Задача оценки точности функционирования алгоритмов коррекции измерительных систем является важной и актуальной.

В условиях моделирования по данным лабораторного эксперимента для непосредственно неизмеряемых компонент вектора состояния проводить сравнение не представляется возможным — эталон отсутствует. Поэтому для определения точности алгоритмов при моделировании по данным лабораторного эксперимента использована специальная методика [7]. Демонстрация разработанной методики проведена с использованием данных лабораторного эксперимента с реальными инерциальными навигационными системами различного уровня точности.

Для того чтобы оценивать эффективность навигационных алгоритмов, лабораторные испытания были проведены для оценивания достижимой точности при полунатурных условиях эксперимента. Реальная интегрированная навигационная система ИНС была установлена на неподвижном основании.

Для того чтобы оценивать ошибки ИНС, использованы различные алгоритмы, а именно ФК, ФК с алгоритмом самоорганизации, ФК с нейронной сетью, ФК с ГА.

Ошибки ИНС в определении местоположения в восточном и северном направлении вычислены в течение 6 часов работы системы. Результаты работы ИНС представлены в таблице.

Ошибки ИНС в определении местоположения

ИНС	Ошибки на востоке, м	Ошибки на севере, м
ФК	410	1812
НС	1277	873
Самоорганизации	26	13
ГА	28	13

В соответствие с результатами лабораторных экспериментов, подход самоорганизации и генетический алгоритм с высокой надежностью работают лучше, чем ФК и ФК с нейронной сетью.

Заключение. Моделирование показало, что наилучшие результаты по оцениванию ошибок реальной ИНС в определении широты получены с помощью нелинейного ФК с алгоритмом самоорганизации. Результаты моделирования по данным лабораторного эксперимента продемонстрировали работоспособность алгоритмов оценивания погрешностей ИНС.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда
№ 23-79-10028.*

Список источников

- [1] Неусьпин К.А., Селезнева М.С. Измерительный комплекс с интеллектуальной компонентой для летательного аппарата. *Автоматизация. Современные технологии*, 2016, № 9, с. 27–30.
- [2] Neusypin K.A., Selezneva M.S., Tsibizova T.Yu. Diagnostics algorithms for flight vehicles navigation complex. *International Russian Automation Conference, RusAutoCon*, 2018, pp. 1–6.

- [3] Цибизова Т.Ю., Куприянов А.О., Муратов И.В. Исследования фильтра Калмана с различными стохастическими характеристиками с использованием данных летного эксперимента. *Перспективы науки*, 2023, № 4 (163), с. 50–55.
- [4] Цибизова Т.Ю., Пью С., Селезнева М.С. Математическое моделирование динамических систем с использованием параметрической идентифицируемости. *Современные наукоемкие технологии*, 2018, № 1, с. 54–60.
- [5] Цибизова Т.Ю., Клычников В.В., Косовский А.В. Нелинейный фильтр Калмана с самоорганизующейся моделью. *Автоматизация. Современные технологии*, 2021, т. 75, № 2, с. 73–78. <https://doi.org/10.36652/0869-4931-2021-75-2-73-78>
- [6] Shen K., Xia Y., Wang M., Neusypin K.A., Proletarsky A.V. Quantifying observability and analysis in integrated navigation. *Navigation, Journal of the Institute of Navigation*, 2018, vol. 65, no. 2, pp. 169–181. <https://doi.org/10.1002/navi.225>
- [7] Неусыпин К.А. *Современные системы и методы наведения, навигации и управления летательными аппаратами*. Москва, Изд-во МГОУ, 2009, 500 с.