

УДК 681.518

Навигационный комплекс возвращающихся в атмосферу космического летательного аппарата

Селезнева Мария Сергеевна ms.selezneva@bmstu.ru

Комков Александр Евгеньевич komkov.ae@bmstu.ru

Чернега Елена Владимировна e.v.chernega@bmstu.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. Представлен навигационный комплекс возвращающегося в атмосферу космического летательного аппарата. Для повышения точности в алгоритмическом обеспечении навигационного комплекса использованы интеллектуальные технологии. В качестве интеллектуальной компоненты использован акцептор действия, сформированный в рамках теории функциональных систем П.К. Анохина. Узловым механизмом акцептора действия является алгоритм самоорганизации. Выбраны критерии включенные в ансамбль селекции алгоритма самоорганизации.

Ключевые слова: космический летательный аппарат, навигационный комплекс, интеллектуальная компонента

Navigation complex of a spacecraft returning to the atmosphere

Selezneva Maria Sergeevna ms.selezneva@bmstu.ru

Komkov Aleksandr Evgenievich komkov.ae@bmstu.ru

Chernega Elena Vladimirovna e.v.chernega@bmstu.ru

BMSTU, Moscow, Russia

Abstract. The navigation complex of a spacecraft returning to the atmosphere is presented. Intelligent technologies are used to improve the accuracy of the algorithmic support of the navigation complex. An action acceptor formed within the framework of the theory of functional systems by P.K. Anokhin is used as an intelligent component. The nodal mechanism of the action acceptor is the self-organization algorithm. The criteria included in the selection ensemble of the self-organization algorithm are selected.

Keywords: spacecraft, navigation complex, intelligent component

Введение. Современные космические летательные аппараты (КЛА) оснащены системами управления, которые реализуют различные траектории полета с учетом влияния внешней среды, возможного противодействия противника, а также изменения состояния самого КЛА [1]. КЛА функционируют в различных режимах: 1) активный участок полета; 2) пассивный участок полета вне атмосферы; 3) пассивный участок полета в атмосфере. Возвращающиеся в атмосферу КЛА на завершающем атмосферном участке могут двигаться по баллистической траектории или осуществлять маневрирование за счет аэродинамических сил.

Решение задач управления КЛА во многом определяется уровнем точности измерительных систем. При управлении возвращающимся в атмосферу КЛА источником информационно-измерительных сигналов являются различные системы ориентации и навигации, в частности инерциальные навигационные системы (ИНС).

Материалы и методы. Современные ИНС имеют погрешности, обусловленные различными факторами. Эти погрешности можно компенсировать посредством конструкторских и алгоритмических методов. Реализация конструкторских методов требует значительного времени и новой технологической базы, а алгоритмические методы легко реализуются, и позволяют повысить точность серийных измерительных систем.

Алгоритмические методы повышения точности ИНС, как правило, включают алгоритмы оценивания, управления, прогноза и комплексирования [2]. Эти алгоритмы предполагают использование математической модели погрешностей ИНС.

При функционировании ИНС КЛА на атмосферном участке на длительных интервалах времени без коррекции от внешних измерительных систем наземных станций ближней и дальней навигации, спутниковых систем для компенсации погрешностей автономной ИНС используют способы формирования корректирующего сигнала на основе информации с датчиков углов прецессии гироскопов [3, 4], формируют компенсационные сигналы с помощью алгоритмов фильтрации [2].

Существенно повысить точность ИНС КЛА можно с помощью использования сигналов от внешнего по отношению к ИНС источника информации. В настоящее время наиболее точными являются навигационные системы с коррекцией от спутников. Рассматриваются различные схемы коррекции навигационных систем и алгоритмические методы повышения точности навигационной информации при функционировании систем в условиях активных и пассивных помех, а также при сложном движении несущего объекта.

Результаты и их обсуждения. Существенного повышения точности навигационной информации можно добиться с помощью использования навигационных комплексов (НК). Представлен современный селективный измерительный комплекс (СНК) [2], включающий несколько измерительных систем, алгоритм оценивания и алгоритм комплексирования, в основу которого положен критерий степени наблюдаемости [5]. В СНК осуществляется выбор наилучшего состава измерительных систем.

Для перспективных КЛА на основе концепции интеллектуальных систем применен подход синтеза НК, использующий в качестве интеллектуальной компоненты такую функциональную систему как акцептор действия [6].

Метод группового учета аргументов, используется для анализа сложных навигационных систем, и, представляет собой метод сортировки [7]. Принимая во внимание, в течение всего самоорганизующейся обработки для обновления новых состояний, это неизбежно вызывает эффект старения измерений

и эффект инбридинга, которые имеют негативное влияние на точность алгоритмов самоорганизации. В какой-то степени, алгоритм самоорганизации с резервированием трендов (рис. 1) может преодолеть эти негативные влияния, и, таким образом, может применяться для обработки навигационной информации с меньшим объемом вычисления и лучшим оптимальным решением с помощью построения в режиме реального времени модели с использованием резервирования трендов.

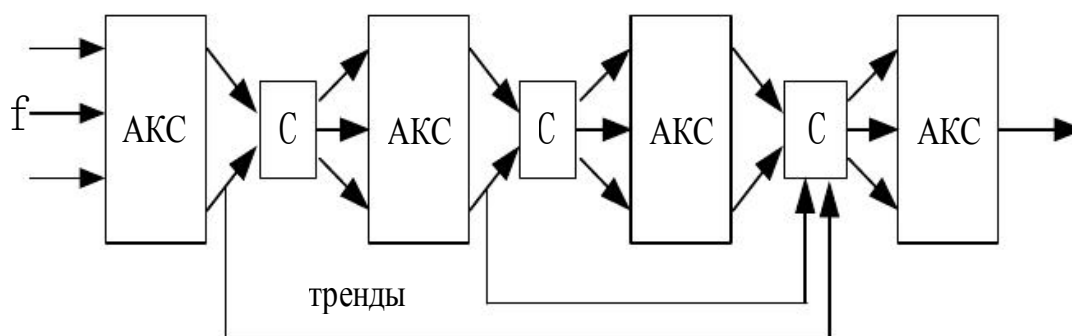


Рис. 1. Функциональная схема алгоритма самоорганизации с резервированием трендов:

f — базисные функции; АКС — ансамбль критериев селекции; С — способ скрещивания моделей-претендентов

Применяя различные математические теории, в ансамбле критериев селекции подхода самоорганизации включены следующие критерии [8]: критерий минимума смещения — непротиворечивости; критерий регулярности; критерий простоты модели. Такой ансамбль селекции позволяет получить самоорганизующуюся модель в реальном времени.

Повышение точности НК КЛА целесообразно осуществлять с помощью применения интеллектуальных технологий. Одним из перспективных направлений развития интеллектуальных технологий является синтез систем с использованием теории функциональных систем П.К. Анохина. Система разрабатывается как функциональная система с присущим ей приспособительным эффектом, который на основе принципа саморегуляции и обладает специфическими узловыми механизмами, в частности акцептором действия. Акцептор действия включает алгоритм построения модели исследуемых параметров, прогноз и сравнение текущих измерений с прогнозом. Акцептор действия является интеллектуальной компонентой, также как механизм синтеза цели функционирования системы и динамическая экспертная система. Структура НК с интеллектуальной компонентой представлена на рис. 2.

В БКС определяются степени наблюдаемости, формируются измерения для алгоритмов оценивания и построения прогнозирующих моделей, а также проводится сравнение текущей апостериорной информации с результатами прогноза. При помощи самоорганизующейся модели производится прогнозирование состояния системы на определенном интервале времени (интервал выбирается из практических соображений). По результатам обработки информации можно определить наилучший состав НК.

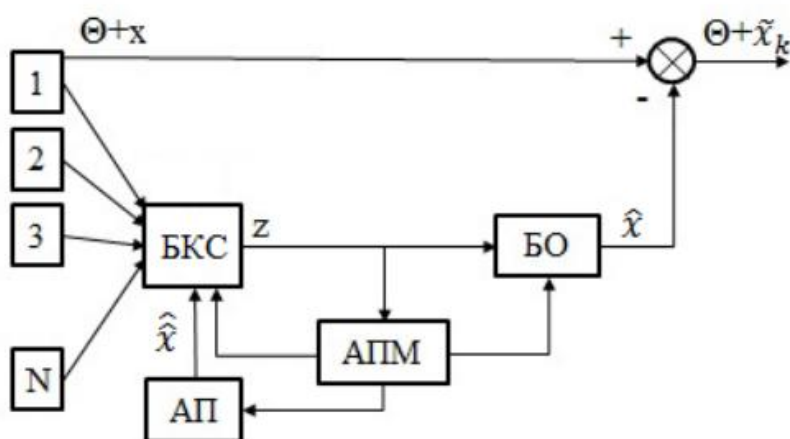


Рис. 2. Структура измерительного комплекса с интеллектуальной компонентой:

1 — базовая навигационная система, обычно ИНС; 2, ..., N — датчики и измерительные системы внешней информации; z_k БО — блок оценивания; Θ_k — истинная навигационная информация; x — погрешности ИНС; $\hat{x}_k$ — оценки погрешностей ИНС; $\tilde{x}_k$ — ошибка оценивания; $\hat{\hat{x}}_k$ — прогноз погрешностей ИНС; БКС — блок комплексирования и сравнения; АПМ — алгоритм построения модели; АП — алгоритм прогноза

Заключение. В процессе функционирования проводятся измерения, вычисляются значения критериев в БКС при использовании каждого внешнего датчика совместно с ИНС, проводится построение модели, прогноз и сличение прогноза с апостериорной информацией, оценивается вектор состояния, включающий погрешности ИНС, осуществляется коррекция погрешностей ИНС, определяется оптимальная структура НК, которая будет использована на этом интервале функционирования КЛА (интервале прогнозирования).

Список источников

- [1] Афанасьев В.Н., Неусыпин К.А. Разработка алгоритма управления космическим летательным аппаратом. XLV Академические чтения по космонавтике, посвященные памяти академика С.П. Королёва и других выдающихся отечественных ученых — пионеров освоения космического пространства: сб. тез. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2021, т. 3, с. 369–370.
- [2] Пролетарский А.В., Селезнева М.С. Измерительный комплекс с интеллектуальной компонентой для летательного аппарата. Современные аспекты фундаментальных наук: сб. тр. Дедовск, Московский государственный областной университет, 2015, с. 196–199.
- [3] Неусыпин К.А. Концептуальный синтез интеллектуальных систем. Автоматизация и современные технологии, 2000, № 6, с. 23–27.
- [4] Neusyypin K.A., Selezneva M.S., Tsibizova T.Yu. Diagnostics Algorithms for Flight Vehicles Navigation Complex. International Russian Automation Conference, RusAutoCon, 2018, pp. 1–6. <https://doi.org/10.1109/RUSAUTOCON.2018.8501679>
- [5] Цибилова Т.Ю., Пью С., Селезнева М.С. Математическое моделирование динамических систем с использованием параметрической идентифицируемости. Современные наукоемкие технологии, 2018, № 1, с. 54–60.
- [5] Ивахненко А.Г., Мюллер Й.Я. Самоорганизация прогнозирующих моделей. Киев, Техника, 1985, 376 с.

- [6] Александров А.А., Ноздрачев А.В., Пролетарский А.В. Исследование автономной инерциальной навигационной системы и алгоритма самоорганизации. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2021, 40 с.
- [7] Цибизова Т.Ю., Шэнь К., Неусыпин К.А. Исследование алгоритмов оценивания в задаче коррекции навигационных систем летательных аппаратов. Фундаментальные исследования, 2015, № 6–2, с. 301–305.
- [8] Анохин П.К. Биология и нейрофизиология условного рефлекса. Москва, Медицина, 1968, 325 с.