

При помощи инструментов MathWorks удалось выполнить посадку беспилотного космического аппарата X-40A от фирмы Boeing

*Я очень доволен результатами лётного испытания.
Это - значительный шаг на фазе разработки.*

John Fuller, Boeing

Задача

Разработать системы наведения, навигации и управления, которые смогли бы посадить без силовой установки, беспилотный космический корабль повторного использования на стандартную взлетно-посадочную полосу

Решение

Разработка, тестирование и автоматическая генерация кода для системы GN&C при помощи инструментов MathWorks

Результаты

- быстрая разработка в рамках бюджета
- успешное лётное испытание
- контракт для продолжения разработки

На авиационной базе воздушных сил Холломан (Holloman), Нью-Мексико, Boeing и U.S. Air Force выполнили первый успешный испытательный полёт X-40A космического маневрового аппарата (Space Maneuver Vehicle (SMV)). “Мы хотели проверить пилотажные качества на низких скоростях и продемонстрировать автономный полёт и возможности приземления,” говорит Джон Фаллер, менеджер проектов Boeing Phantom Works SMV. “Сегодня мы сделали это.”

X-40A - экспериментальный космический корабль, 90 процентов деталей которого можно использовать повторно, опытный образец для нового поколения очень маневренных космических кораблей, которые будут выполнять такие задачи, как спутниковое развёртывание, наблюдение, логистика и поддержка космической станции.

Ключами к успеху X-40A были системы наведения, навигации и управления (guidance, navigation, and control (GN&C)), разработанные и смоделированные при помощи инструментов MathWorks.

Задача

Небольшой группе инженеров компании Boeing поручили работу по разработке системы GN&C, которая позволит X-40A приземляться и прибывать в заданную точку на стандартной взлетно-посадочной полосе без пилота. Проект должен был быть закончен в условиях строго ограниченного времени, финансирования и ресурсов. Программное обеспечение должно было быть таким, чтобы его можно было повторно использовать в эксплуатационных SMVs.

У X-40A есть фюзеляж 22 фута длиной, 12-футовый размах крыла и вес приблизительно 2,600 фунтов. Он управляется регулируемыми поверхностями на крыльях, которые обеспечивают функции вращения и торможения и поверхностями на хвосте, которыми регулируется тангаж и рыскание. Нет никакой двигательной установки, и летательный аппарат должен быть поднят на позицию маневрирования.

Команде нужно было разработать, смоделировать и выполнить симуляцию законов управления полетом для X-40A и затем проверить их в реальных испытаниях при помощи сбрасывания аппарата с высоты. Законы управления полетом должны быть достаточно гибкими, чтобы их можно было приспособить к любым изменениям, внесенным в проект аппарата во время цикла разработки. Законы управления по крену и по азимуту должны быть снабжены обратной связью по угловой скорости вращения по каналу крена и курса, такой чтобы стало возможным выполнение команды быстрого разворота к осевой линии взлетно-посадочной полосы. Продольные законы управления должны быть снабжены обратной связью по угловой скорости тангажа, такой чтобы стало возможным выполнение команды выдерживания траектории полета.

Этот проект также включал в себя прототипирование программного обеспечения для авионики, датчиков, приводов и контроллеров и валидация метрик разработки программного обеспечения и процессов.

Решение

Команда специалистов из Boeing выбрала MATLAB®, Simulink®, Real-Time Workshop®, Control System Toolbox™, Robust Control Toolbox™, Statistics Toolbox™ и Simulink Design Optimization™. Они знали, что эти продукты упростят внедрение программного обеспечения, сократят цикл от проектирования к написанию программного обеспечения и к верификации, а также позволят им вносить поздние изменения, как только проект аппарата созреет.

Инженеры использовали инструменты Simulink и MATLAB для создания блок-схемы, реализующей законы управления полетом и для их симуляции для проверки. Real-Time Workshop использовалась для автоматической генерации C кода для системы GN&C. Далее инженеры изменили независимую симуляцию алгоритма автоматической посадки Space Shuttle на FORTRAN, для того чтобы она соответствовала конфигурации X-40A. И наконец, они выполнили валидацию кода на C и на Fortran друг относительно друга, пока результаты не стали совпадать.

На фазе анализа модели команда использовала MATLAB и метод симуляции Монте-Карло для проверки кода GN&C. Они также использовали MATLAB и Statistics Toolbox для разработки инструмента для обработки и анализа данных симуляции Монте-Карло.

X-40A был проверен в трех фазах: наземное испытание для проверки подсистем, верификации и уточнения моделей; тестирование в полёте с носителем, для проверки динамических датчиков, проверки устойчивости при буксировке и сбора данных о давлении; и тестирование в свободном полёте. Инженеры уточнили модели Simulink во время первых двух тестов. После, они использовали MATLAB и другие инструменты, связанные с MATLAB для анализа данных испытаний для подготовки к тестированию в свободном полёте.

Начальная реализация GN&C заняла шесть недель — две недели для моделирования в Simulink и четыре недели для модульного тестирования. Каждое последующее обновление, включая проверку и анализ, заняло одну неделю.

Результаты

- Быстрая разработка в рамках бюджета. Система GN&C была закончена в срок и в соответствии с мандатом Boeing, демонстрирующим дешёвую и быструю разработку.
- Успешный первый испытательный полет. Вертолёт UH-60 Black Hawk армии США доставил X-40A на высоту 9,000 футов для начала тестирования системы GN&C в свободном полёте. После отстыковки система управления полетом взяла на себя управление и плавно и точно направила аппарат к взлетно-посадочной полосе для приземления.
- Контракт для продолжения разработки. Успех программного обеспечения GN&C помог Boeing заключить контракт на разработку беспилотного управляемого автономно космического самолёта, который способен достигать скоростей 25 Маха, при этом эксплуатироваться как самолёт.

Прикладные области

- Аэрокосмическая и оборонная
- Верификация, валидация и тестирование
- Генерация кода

Использованные продукты

- MATLAB®
- Simulink®
- Real-Time Workshop®
- Control System Toolbox™
- Robust Control Toolbox™
- Statistics Toolbox™
- Simulink Design Optimization™