

Обзор моделей и средств построения концептуальной модели мультикоптера

Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ»

Рассмотрены требования к информационным технологиям проектирования, детально описана тенденция их интеллектуализации. Проанализированы системы концептуального моделирования, их составляющие. Приведено формальное описание многоагентной системы концептуального моделирования. Сформировано описание агентов для модели мультикоптера. Для этого проанализирована система eCalc «Калькулятор для мультикоптеров». Представлены как параметры агентов, так и основной метод вычисления дальности полета мультикоптера. Рассмотрены ограничения в части отсутствия геометрических моделей комплектующих.

Ключевые слова: мультикоптер, концептуальная модель, многоагентная система, структурная модель.

Введение

Сложность процессов разработки и сопровождения мультикоптеров (неоднозначность требований, многовариантность проектных решений, нечеткость критериев, неопределенность многих факторов на момент принятия решения и др.) в последние годы усугубляется действием следующих тенденций развития авиационного производства:

- облик изделия все менее определяется авторской инициативой и все более – требованиями его будущих потребителей;

- предприятие-потребитель продукции чаще выступает прямым инвестором в ее разработку, переходя от закупок на рынке к авансированию своих будущих комплектующих;

- появляются виртуальные предприятия, создаваемые только на время производства конкретного продукта; при этом все компании, входящие в такое временное предприятие, работают как департаменты одной фирмы по единым корпоративным правилам, независимо от географического размещения, языка и других факторов;

- одним из важных источников дохода становится расширение перечня услуг на послепродажном этапе.

Следствием этих общих тенденций являются новые требования к информационным технологиям проектирования и сопровождения продукции:

- возможность использования информации о продукте большим числом территориально разобщенных участников производственного процесса;

- процессы глобализации экономики, стимулирующие переход к «сетевым банкам промышленных знаний»;

- постоянно расширяющееся толкование понятия «PLM-решения»: в 2000 г. – САПР и PDM, включая электронный архив; в 2004 г. – CAD, PDM и система цифрового моделирования производства Digital Manufacturing; в 2005 г. к этому списку добавлена система ускоренного анализа и проверки вариантов проекта (Rapid Analysis and Validation of Design Alternatives, RAVDA); в повестке дня включение в состав PLM-решения таких систем, как CAID (Computer-Aided Industrial Design) и MRO (Maintenance, Repair and Operations), средств публикации проектных данных и средств инженерного прогнозирования (Predictive Engineering).

При этом одной из ведущих тенденций была и остается тенденция интеллектуализации САПР. В последние годы ее действие проявляется в таких особенностях процессов проектирования [8, 9, 10]:

- повышенное внимание к начальным стадиям разработки, в т.ч. к средствам управления требованиями к изделию – например, модуль “Requirements Engineering” в UG-Teamcenter;

- расширение области использования средств инженерии знаний в САПР, в частности – начавшийся перенос этих технологий в группу систем средней мощности;

- расширение возможностей систем управления проектными данными (PDM) в части управления конфигурацией изделий, в частности – возможностей представления альтернативных вариантов состава изделия.

Настоящая работа направлена на исследование возможностей совершенствования процессов формирования и использования моделей предметной области в системах проектирования мультикоптеров.

Анализ подсистем концептуального проектирования

Проанализируем возможности и ограничения современных САПР в представлении обобщенных информационных моделей мультикоптера.

Важность концептуального моделирования в САПР была осознана достаточно давно, однако лишь немногие работы 1980-х и 1990-х годов были ориентированы на разработку специальных моделей и инструментальных средств для описания структуры изделия и проектных альтернатив. Одним из наиболее известных и подробно проработанных примеров, несомненно, является система математических моделей ИСТРА (иерархическая система трансляции), разработанная группой В. В. Павлова (МАТИ им. Циолковского) [1]. В системе предусмотрено использование обобщенной модели, подобной И-ИЛИ-графу и содержащей конъюнктивные и дизъюнктивные связи объектов, т.е. точные аналоги связей И, ИЛИ. Показано, что задачи поиска и выбора варианта проектного решения можно свести к шести типовым задачам структурного синтеза: поиск единственного состава элементов или связей, поиск множества возможных вариантов состава элементов или связей, выбор состава элементов или связей из множества вариантов. Для решения этих типовых задач разработаны типовые математические модели и алгоритмы их обработки, зафиксированные в руководящем документе Госстандарта СССР РД 50-464-84 «САПР. Типовые математические модели объектов проектирования в машиностроении».

К сожалению, в современных САПР такие возможности крайне ограничены. В частности, используемое в большинстве САД-систем дерево конструирования допускает работу с альтернативными вариантами проектных решений, используя механизм конфигураций, однако правила выбора варианта структуры весьма сложно реализовать программно. В некоторых системах PDM реализовано представление вариантов конструктивных исполнений, но о возможностях задания правил работы с ними пока ничего не сообщается. Возможна лишь фильтрация при интерактивном синтезе конфигурации экземпляра, поскольку эта функция ориентирована в основном на задачи сбыта продукции, а не структурного синтеза конструкции изделия.

Кроме того, структурные модели изделия в САД-системах представляются с гораздо более высокой степенью детализации, чем в системах PDM, что

затрудняет использование штатных механизмов синхронизации данных. Сами же механизмы синхронизации создавались не столько для синтеза структуры информационных или геометрических моделей, сколько для работы с уже существующими моделями, что сказывается на их функциональности.

Такое положение привело к необходимости разработки специальных инструментальных средств для концептуального моделирования предметной области в САПР. Наиболее характерными примерами и наиболее близкими аналогами разрабатываемой системы следует признать разработки российской компании «СПРУТ-Технология» – редактор информационной модели изделия СПРУТ-ИМ [2] и более позднюю подсистему аналогичного назначения – инспектор объектов SprutX, интегрированный с графическим редактором SprutCAD [3]. Система СПРУТ имеет интерактивные средства создания классов, описания их свойств и методов, а также средства включения в проект ранее созданных объектов, что позволяет рассмотреть ее в качестве технологии формирования многоагентной системы (МАС).

Формальную модель САПР как МАС можно представить так:

$$MAS = (A, U, E, R, ORG, EV),$$

где **A** – множество агентов САПР; **U** – множество объектов, не имеющих собственных интенциональных характеристик; **E={e}** – среда, в которой находится данная САПР; **R** – множество взаимодействий между агентами САПР; **ORG** – множество базовых организационных структур, соответствующих конкретным функциям (ролям) агентов, устанавливающее отношения между ними; **EV** – множество эволюционных стратегий, которые поручаются агентам и САПР в целом.

В МАС множество агентов **A** формируется из оригинальных сборочных единиц и деталей, подлежащих разработке при проектировании, и средств разработки [4]. В качестве пассивных объектов выступают неструктурированные элементы формы деталей, занимающие в конструкторской иерархии нижний уровень (цилиндры, торцы, фаски, канавки и т.п.). Эти объекты обладают знаниями, необходимыми для проектирования переходов механической обработки.

В качестве среды **E={e}** многоагентной САПР выступает разрабатываемый проект изделия, состоящий из множества экземпляров e_x из классов задействованных в проекте агентов. Задачи, порученные агентам, определяются инкапсулированными в них методами.

Множество **R** взаимодействий между агентами САПР определяется ребрами графа экспорта и импорта свойств агентов и объектов. Эти взаимодействия носят и вертикальный, и горизонтальный характер. Вертикальные взаимодействия осуществляются между агентами, связанными друг с другом по иерархии организационной структуры **ORG**, а горизонтальные – между иерархически не связанными агентами.

Организационная структура **ORG** в многоагентной САПР представляет собой иерархическую метасистему, моделируемую И/ИЛИ графом. Связки типа И описывают отношения класса целое-часть, а связки типа ИЛИ – отношения класса род-вид. Последние используются при принятии решений в процессе структурного синтеза изделий.

Наконец, множество эволюционных стратегий **EV** связано с поиском наилучших из всех возможных решений.

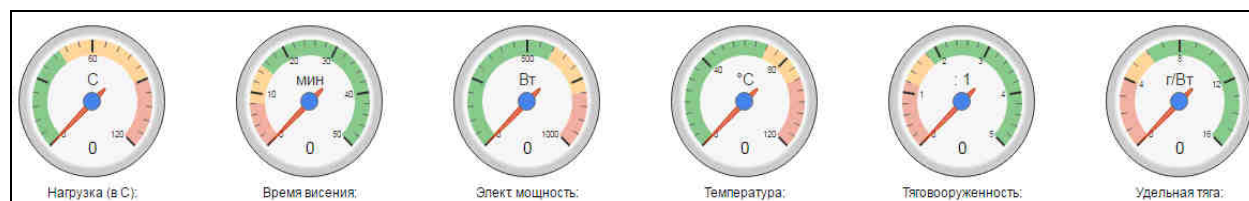
Рассмотренная система обладает удобным инструментом, однако требует информационного наполнения данными о подсистемах существующих мультикоптеров.

Для информационного наполнения можно применять модели, использованные в eCalc «Калькуляторе для мультикоптеров» [5]. Данная система разработана Markus Mueller и при корректном применении дает достаточно высокую точность расчетов.

eCalc основана на математической модели, моделирующей основные летные характеристики мультикоптера после выбора настроек из следующих входных параметров эксплуатации и базы данных известных комплектующих:

- a_1 – окружающая среда. Высота полётов влияет на плотность воздуха и на производительность винтомоторной группы (ВМГ);
- a_2 – рама мультиротора. Рама определяет возможные конфигурации ротора, для задания требуется ввести размер рамы и вес;
- a_3 – конфигурация ротора. Предлагается соосная и плоская конфигурации, а также требуется ввести количество моторов. Соосная конфигурация является более эффективной и лучше ведет себя при отказе мотора. Плоская же конфигурация является более дешевой и менее сложной для пилота;
- a_4 – аккумулятор. Даны характеристики для существующих аккумуляторов, в случае ввода других данных нужно указать состояние заряда (полный, номинал, низкий);
- a_5 – регулятор скорости (ESC). Выбирается модель контроллера или универсальный генератор ESC (например, максимум 20A);
- a_6 – пропеллер. Вводится наибольший диаметр пропеллера, который обеспечивает зазор между кончиком пропеллера и другим пропеллером. При этом существует правило: чем больше пропеллер, тем более эффективным получится мультикоптер;
- a_7 – моторы. Это наиболее важная часть и требует некоторого опыта при выборе. При выборе мотора оценивается вес мультикоптера, после чего рассчитывается возможный диапазон об/в (KV) – какое количество оборотов вокруг своей оси будет совершать двигатель за одну минуту (RPM) при определенном напряжении.

После завершения ввода данных система позволяет рассчитать дальность полета мультикоптера, а также характеристики, представленные в виде датчиков:



Выходные данные расчета

Основной характеристикой является дальность полета. Рассмотрим ее подробнее. Для продолжительности полета вертолета в режиме висения используют следующее соотношение:

$$T = \frac{2w\eta Q}{g} \sqrt{\frac{\rho}{\pi\rho_0}} \frac{m}{(1+m)^{3/2}},$$

где T – время полета в режиме висения; w – удельная энергоемкость аккумулятора; η – коэффициент полезного действия силовой установки; Q – коэффициент аэродинамического качества пропеллера; ρ – плотность воздуха; g – ускорение свободного падения; ρ_0 – удельная нагрузка на пропеллеры,

рассчитанная по весу ЛА без аккумуляторной батареи; m – относительная масса АКБ: $m = M/M_0$, где M – масса аккумуляторной батареи; M_0 – масса ЛА без батареи.

Максимальная продолжительность полета:

$$T_{max} = \frac{4w\eta Q}{3\sqrt{3}g} \sqrt{\frac{\rho}{\pi\rho_0}}.$$

Из приведенных зависимостей видно, что продолжительность полета растет пропорционально увеличению КПД силовой установки, аэродинамическому качеству пропеллеров, удельной энергоемкости батареи. Однако рассчитывать на существенное увеличение этих параметров при проектировании ЛА, как правило, не приходится. В то же время для увеличения продолжительности полета следует уменьшать, насколько это возможно, удельную нагрузку на пропеллеры. Время полета увеличивается обратно пропорционально квадратному корню из удельной нагрузки на пропеллеры.

Таким образом, данная система позволяет на этапе концептуального проектирования определиться со структурой разрабатываемого мультикоптера и оценить его основные предварительные характеристики. Недостатком является отсутствие построения геометрической модели для дальнейшего моделирования мультикоптера в PLM-системах, как это было сделано в работе [6]

Выводы

Осуществлен обзор моделей и средств построения концептуальной модели мультикоптера. Рассмотрены возможности системы СПРУТ-ИМ и более поздней подсистемы аналогичного назначения – инспектор объектов SprutX. Проанализированы входные и выходные данные системы xcopterCalc. Детально изучена модель определения основной характеристики мультикоптера – дальность полета в режиме висения и максимальная дальность полета

В ходе анализа выяснилось, что в настоящее время не существует системы, способной максимально эффективно осуществлять моделирование и расчет мультикоптера. Это связано с отсутствием геометрических моделей основных составляющих мультикоптера. Таким образом, необходимо для имеющихся комплектующих из системы xcopterCalc создать базу геометрических моделей, затем объединить с параметрами комплектующих и правилами их включения в структурную модель мультикоптера. Это позволит создать многоагентную систему, повышающую эффективность концептуальной модели в части визуализации и возможности дальнейшего использования в PLM-системах.

Список литературы

1. Технология сборки самолетов [Текст] / В.И. Ершов, В.В. Павлов, М.Ф. Каширин, В.С. Хухорев. – М.: Выс. шк., 1986. – 456 с.
2. Редактор информационной модели изделия. Руководство пользователя. – М.: Центр информационных технологий СПРУТ-Т, 2000.
3. Кузьмин, Б. В. Универсальные и инструментальные системы компании «СПРУТ-Технология» [Текст] / Б. В. Кузьмин // САПР и графика. – М., 2002. – Вып. 9.
4. Булыгин, А. В. Архитектура мультиагентной платформы для решения задач структурно-параметрического синтеза объектов. Многоаспектное моделирование [Текст] / А. В. Булыгин, В. Ю. Гранин, О. С. Гурова, М. Л. Тюрина //

Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – 2010. – № 45.– С. 203 – 214.

5. xcopterCalc – Multicopter Calculator [Электронный ресурс] / Markus Mueller – Режим доступа: <http://www.ecalc.ch/xcoptercalc.php>. – 12.11.2015

6. Формирование облика самолета в среде интегрированной системы автоматизированного проектирования [Текст] / В. Ю. Гранин, Т. С. Иноземцева, О. К. Погудина // Авиационно-космическая техника и технология. – 2010 –С. 47–54.

Поступила в редакцию 20.09.2016

Огляд моделей і засобів побудови концептуальної моделі мультикоптера

Розглянуто вимоги до інформаційних технологій проектування, детально описана тенденція їхньої інтелектуалізації. Проаналізовано системи концептуального моделювання, їхні складові. Дано формальний опис багатоагентної системи концептуального моделювання. Сформовано опис агентів для моделі мультикоптера. Для цього проаналізовано систему eCalc «Калькулятор для мультикоптерів». Подано як параметри агентів, так і основний метод обчислення дальності польоту мультикоптера. Розглянуто обмеження в частині відсутності геометричних моделей комплектуючих.

Ключові слова: мультикоптер, концептуальна модель, багатоагентна система, структурна модель.

Overview of Models and Tools for Building a Conceptual Model of Multicopter

The requirements for information technology design were considered and the tendency of their intellectualization was described in details. The conceptual modeling systems and their components were analyzed. A formal description of the multi-agent system conceptual modeling was done. The description of agents multicopter model was formed. The system eCalc "Calculator multicopter" was analyzed for this purpose. It is given as parameters of agents, and the basic method of calculating the distance multicopter flight. The limitations of the lack of geometric models of components were considered.

Keywords: multicopter, conceptual model, a multi-agent system, the structural model.

Сведения об авторах:

Погудина Ольга Константиновна – кандидат технических наук, доцент кафедры информационных технологии проектирования, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Украина.

Гетьманская Алина Юрьевна – ассистент кафедры информационных управляющие системы, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Украина.

Шепитько Владислав Алексеевич – студент кафедры информационных технологий проектирования, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Украина.