

МЕТОДЫ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ В РАМКАХ СИСТЕМЫ CAEBeans

К.В. Репина

В процессе разработки и исследования новой высокотехнологичной продукции, инженер-конструктор осуществляет одну и ту же последовательность действий: разработка базовой концепции проекта; интеграция комплекса математических моделей для расчета основных показателей эффективности; оценка множества альтернативных вариантов для удовлетворения предъявляемым требованиям. Система многокритериальной оптимизации (МКО) автоматизирует процесс поиска наилучшего решения любой технической системы, будь то авиационный двигатель, самолет или автомобиль. Нами производится разработка системы CAEBeans, которая обеспечивает построение и поддержку распределенной вычислительной среды для решения задач инженерного моделирования и анализа [1]. В данной работе предлагается использовать систему многокритериальной оптимизации для организации автоматического поиска множества оптимальных решений задач инженерного моделирования в грид-системе CAEBeans [2].

Архитектура системы CAEBeans формируется из четырех слоев, каждый из которых представляется своим типом оболочек CAEBeans. Концептуальный слой системы формируется на основе проблемных оболочек CAEBeans. Пользовательский интерфейс, предоставляемый проблемным CAEBean, является основным средством взаимодействия пользователя с системой CAEBeans, посредством которого пользователь может произвести постановку инженерной задачи; проследить за ходом решения поставленной задачи; получить требуемые результаты решения. При постановке пользователем задачи, соответствующий проблемный CAEBean формирует полный дескриптор задачи. Сформированный полный дескриптор задачи передается в потоковый CAEBean, представляющий логический слой системы CAEBeans. Потоковый CAEBean реализует логический план решения определенного класса задач компьютерного моделирования. Компонентные оболочки CAEBean, составляющие физический слой системы CAEBeans, инкапсулируют процесс постановки и решения конкретной подзадачи компьютерного моделирования посредством определенного базового компонента. Компонентный CAEBean обладает информацией о методах взаимодействия с конкретным базовым компонентом. Системным CAEBean называется оболочка, инкапсулирующая функциональные возможности конкретного базового компонента и обеспечивающая сервисно-ориентированный подход к постановке задач и получению результатов [3].

Визуальное конструирование потоков задач в системе CAEBeans поддерживается на логическом слое системы CAEBeans и представляется в виде логического плана решения задачи инженерного моделирования. Логический план решения задачи представляет собой ориентированный граф, в вершинах которого могут находиться узлы двух типов: действия и узлы управления, а ребра представляют собой отношения, управляющие потоками управления между двумя узлами [1]. Для формирования логического плана используются элементы нотации диаграммы деятельности стандарта UML 2.0 [4].

Процесс многокритериальной оптимизации в этой диаграмме можно определить как отдельное действие инженерного моделирования, направленное на выявление определенных оптимальных характеристик параметров начальной модели инженерного моделирования. Для формирования блока многокритериальной оптимизации предложена концепция узлов вложенной деятельности. Узел «Вложенной деятельности» представляется на диаграмме потока задач в виде узла действия, в правом нижнем углу которого располагается символ «take» (с англ. take – грабли) [4]. Вставка данного узла в диаграмму деятельности равносильна вставке в него копии диаграммы, на которую данный узел ссылается. Семантика данного узла однозначно определяется вложенной диаграммой деятельности.

Структура алгоритма оптимизации представляет собой взаимодействие двух типов блоков: главный модуль (базовый блок) — блок анализа данных и стратегии поиска решения; расчетный блок — блок расчета критериев оптимизации и ограничиваемых параметров. Главный блок предназначен для анализа накопленной информации о варьируемых переменных, ограничиваемых параметрах и критериях оптимизации; для выделения текущего приближения множества оптимальных решений; для определения перспективных областей дальнейшего поиска и формирования последовательности дальнейших действий. Расчетный блок выполняет функции связи главного блока с исполняемым файлом математической модели посредством текстовых файлов ввода и вывода данных, и предназначен для управления работой исполняемого файла математической модели и контроля состояния математической модели. Математическая модель — это система математических соотношений, отражающих существенные свойства объекта или явления, реализованная в виде исполняемого файла на компьютере.

При постановке каждой задачи оптимизации в рамках системы CAEBeans, необходимо описать следующие ее свойства: список входных и выходных параметров задачи, накладываемые ограничения, начальные точки, настройки оптимизатора, методы преобразования значений входных параметров в файлы постановки задачи и методы извлечения значений выходных параметров из сырых результатов.

Существуют входные и выходные параметры задачи оптимизации. На основе значений входных параметров формируются задания для блоков моделирования. После проведения моделирования, из сырых результатов извлекаются значения выходных параметров. Они служат для оценки критериев оптимизации и выбора дальнейшего пути поиска оптимального решения. Каждый параметр задачи имеет уникальное название. Значения параметров могут быть целого либо вещественного типа. При этом каждый параметр может иметь начальное значение.

Ограничения входных и выходных параметров могут быть заданы в виде диапазона, в рамках которого может варьироваться параметр. Также, входной параметр может быть неизменным, либо рассчитываться по определенной формуле. Критерии оптимизации определяются на основе выходных параметров. Значение каждого выходного параметра можно максимизировать, минимизировать или же не контролировать. Также, возможно указать значимость каждого выходного параметра, для управления глубиной «продавливания» частной целевой функции при определении её экстремумов.

В рамках системы CAEBeans, кроме параметров поставленной задачи, необходимо определить параметры оптимизатора, влияющие на общий ход решения задачи оптимизации.

1. Максимальное время решения задачи, по истечении которого процесс решения будет остановлен.
2. Максимальное количество итераций: после достижения предельного количества итераций процесс оптимизации будет остановлен.
3. Точность решения задачи: при достижении заданной точности процесс оптимизации будет остановлен.
4. Количество Парето-оптимальных решений, равномерно распределенных в пространстве критериев.
5. Количество параллельных модельных расчетов за один шаг оптимизации.

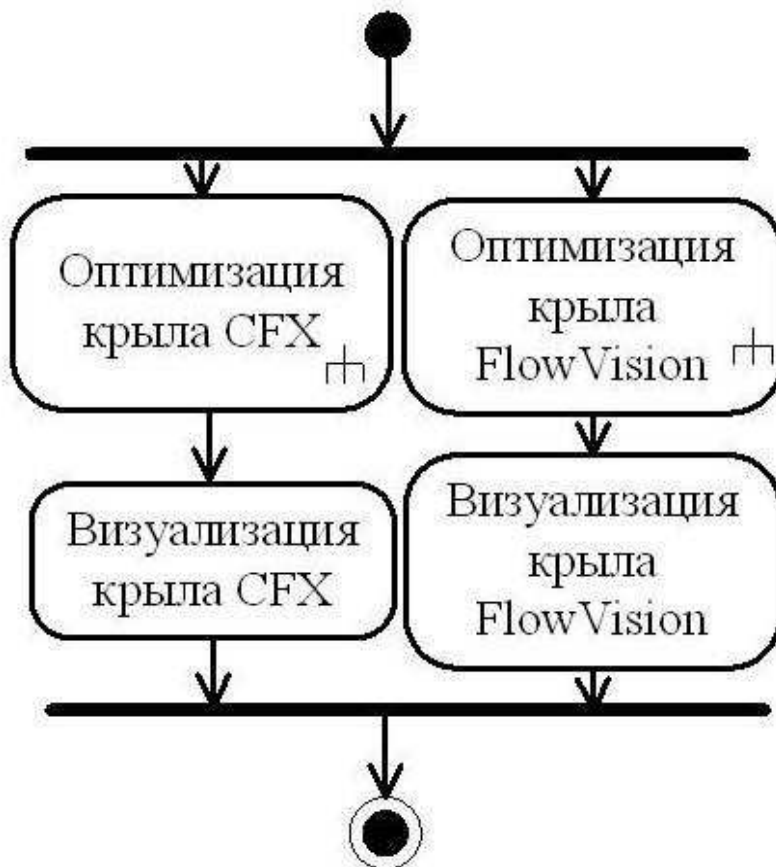


Рис.1 Пример логического плана решения задачи инженерного моделирования

Рассмотрим пример логического плана решения задачи инженерного моделирования профиля крыла самолета с применением многокритериальной оптимизации. На рисунке 1 изображена диаграмма деятельности с участием узла вложенной деятельности "Оптимизация крыла". Узел вложенной деятельности «Оптимизация» реализует поиск оптимального решения задачи инженерного моделирования и является проблемно-зависимым узлом. Контекстно-зависимый узел действия «Визуализация» реализует визуальное представление результата оптимального решения задачи. В качестве входных параметров для узла «Оптимизация» являются значения проблемных параметров, указанных пользователем системы CAEBeans и записанных в полный дескриптор задачи. После завершения работы узла в дескриптор запишутся Парето-оптимальные решения инженерной задачи.

На рисунке 2 изображена вложенная диаграмма деятельности «Оптимизация крыла CFX» в развернутом виде. На начальном этапе оптимизации узел действия «Система многокритериальной оптимизации» получает входные данные из полного дескриптора задачи и генерирует план эксперимента, т.е. определяет некоторое множество точек в исходной области поиска, либо в перспективной подобласти поиска. Далее проходит проверка остановки процесса оптимизации. Если сработал один из критериев остановки, то маркер управления переходит конечному узлу. В противном случае, для этого множества точек осуществляется расчет критериев оптимизации одновременно на нескольких параллельных потоках управления. Результатом расчета будут значения критериев оптимизации для этого множества точек. Полученная информация возвращается в узел действия «Система многокритериальной оптимизации», накапливается там и анализируется. Далее узел «Система многокритериальной оптимизации» генерирует новое множество точек, для которых рассчитываются критерии оптимизации по той же схеме. Блок анализа данных на основе накопленной информации определяет экстремумы заданных критериев оптимизации.

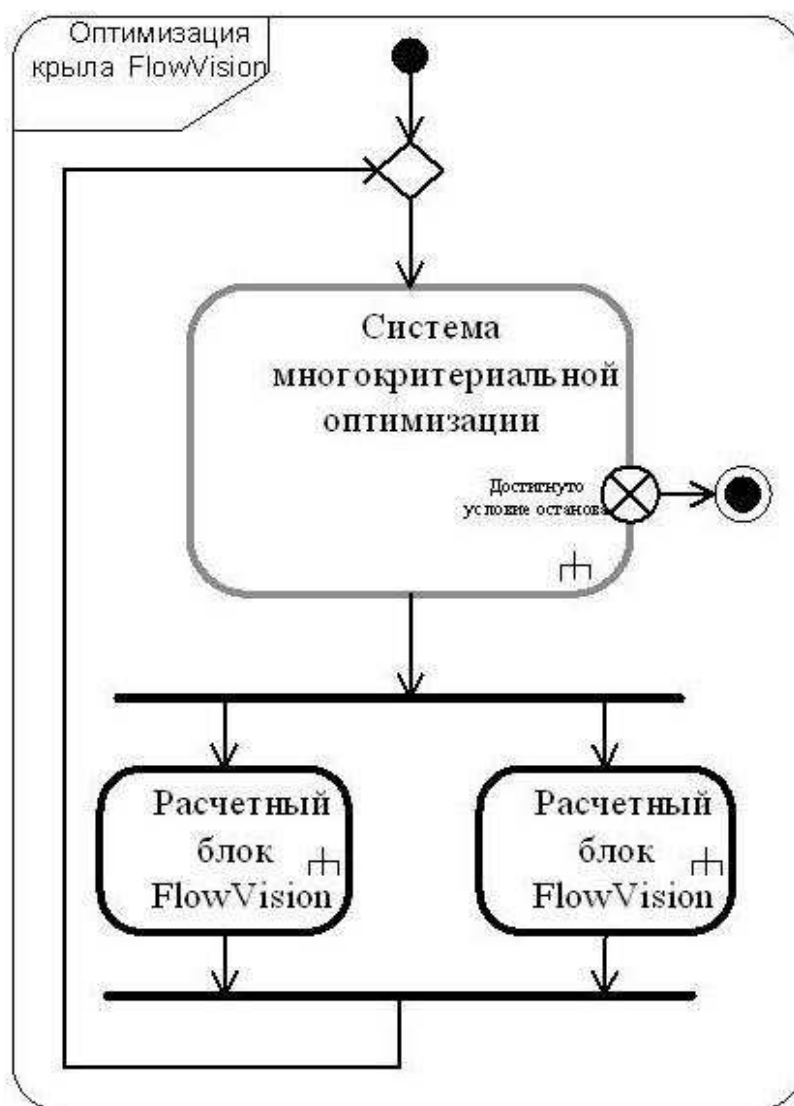


Рис.2. Внутренняя структура узла вложенной деятельности «Оптимизация крыла»

Во вложенной диаграмме деятельности узел «Расчетный блок» также является узлом вложенной деятельности и может включать в себя последовательность действий, связанных с различными этапами технологического цикла решения задачи. Например, задание геометрии расчетной области в пакете SolidWorks, построение сетки заданной геометрии и задание физических свойств, граничных условий и протекающих процессов в анализируемой области заданное в программном компоненте FlowVision Pre и численное решение поставленной задачи моделирования выполненное в FlowVision Solver. В каждом из выходных потоков управляющего узла разделения, все узлы действия вложенные в «Расчетный блок» должны быть идентичны.

Вложенная диаграмма деятельности «Расчетный блок» представлена на рисунке 3. В этом блоке, для каждого альтернативного варианта значений переменных, поступивших в блок расчета, производится

постановка задачи инженерного моделирования и ее численное решение. Результатом проведения расчетов являются значения критериев оптимизации.

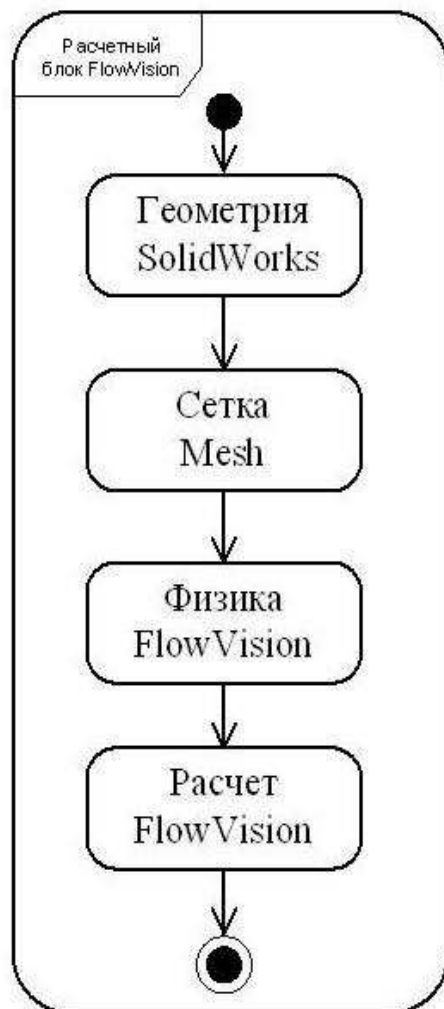


Рис.3 Внутренняя структура узла вложенной деятельности «Расчетный блок»

В настоящее время ведется разработка CAEBeans IOSO Adapter - это программный адаптер для интеграции ресурсов системы многокритериальной многопараметрической оптимизации IOSO в систему CAEBeans. CAEBeans IOSO Adapter представляет собой plug-in к системе CAEBeans, который необходим для обеспечения постановки задачи от программного компонента системы CAEBeans Server. Данный plug-in обеспечивает распределение информационных потоков между модулем численной оптимизации и пакетами инженерного моделирования.

На рисунке 4 изображена схема адаптации системы многокритериальной оптимизации в систему CAEBeans. CAEBeans IOSO Adapter обеспечивает связь с удаленным компьютером, на котором установлен оптимизатор IOSO; формирует задание на оптимизацию; запускает оптимизатор; получает значения входных параметров для решателя; записывает результаты вычислений. CAEBeans IOSO Adapter состоит из двух частей: клиентской и серверной. Клиентская часть посылает запрос серверной части на выполнение задачи оптимизации и анализирует параметры задачи. Серверная часть устанавливает связь с оболочкой над IOSO, заполняет структуру с заданием на оптимизацию и запускает оптимизатор. После окончания работы оптимизатора серверной части передаются входные данные для решателя.

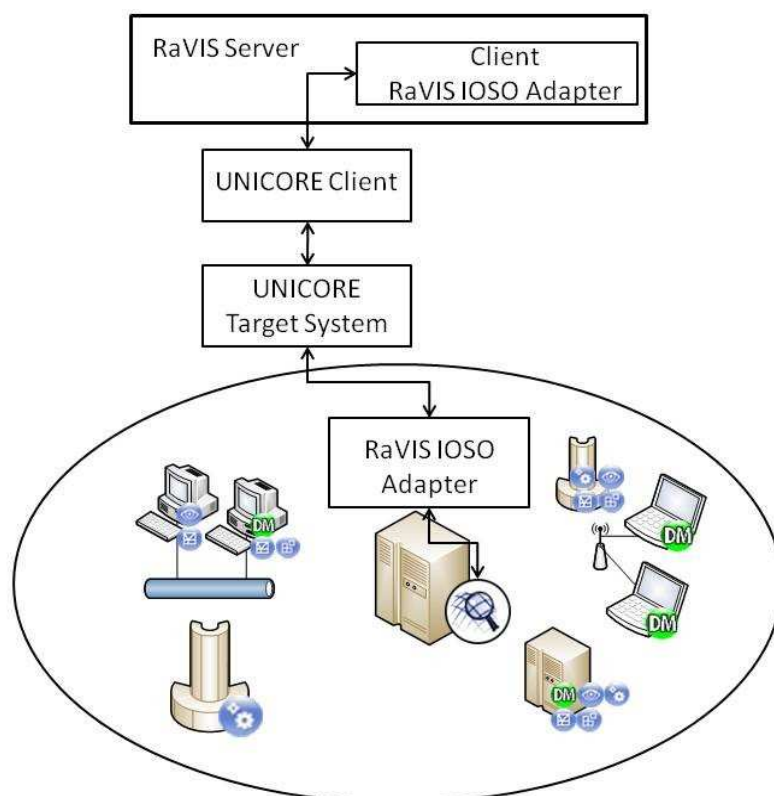


Рис.4 Схема адаптации IOSO в системе CAEBeans

В настоящее время ведется реализация CAEBeans IOSO Adapter, который планируется развернуть на высокопроизводительных кластерах СКЦ ЮУрГУ [5]. Работа выполняется при финансовой поддержке программы СКИФ-ГРИД (договор № 2009-СГ-03).

ЛИТЕРАТУРА:

1. Радченко Г.И. Грид-система CAEBeans: интеграция ресурсов инженерных пакетов в распределенные вычислительные среды // Параллельные вычислительные технологии (ПаВТ'2009): Труды международной научной конференции (Нижний Новгород, 30 марта – 3 апреля 2009 г.). -2009. -С. 281-292.
2. Репина К.В., Радченко Г.И. Интеграция систем многокритериальной оптимизации в грид-систему CAEBeans // Параллельные вычислительные технологии (ПаВТ'2010): Труды международной научной конференции (Уфа, 29 марта - 2 апреля 2010 г.). Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2010. С. 682.
3. Радченко Г.И., Соколинский Л.Б. Технология построения виртуальных испытательных стендов в распределенных вычислительных средах // Научно-технический вестник Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики. № 54. 2008. С. 134-139.
4. Буч Г., Рамбо Д., Якобсон И. UML. Классика CS. 2-е изд./ Пер. с англ.; Под общей редакцией проф. С. Орлова – СПб.: Питер, 2006. – 736 с.
5. Суперкомпьютерный центр ЮУрГУ. URL: <http://supercomputer.susu.ru/> (дата обращения: 07.06.2010).