

Специализированные интерактивные системы в виртуальных производственных корпорациях¹

Е.И. Артамонов, А.В. Балабанов, С.Н. Григорьев, В.А. Ромакин

Аннотация. Средства виртуальной реальности все больше влияют на методы построения промышленных программных систем. В промышленных производствах на разных этапах жизненного цикла производимой продукции стали использоваться специализированные интерактивные системы на основе таких средств. В работе на конкретных примерах показаны принципы структурной организации интерактивных систем применительно к виртуальным производственным корпорациям.

Ключевые слова: виртуальные производственные корпорации, интерактивные 3D системы.

Введение

Процессы технологического перевооружения машиностроительных предприятий и освоения производства связаны с решением проблемы подготовки и переподготовки кадров (рабочих и специалистов), обладающих специальными знаниями в области современных информационных технологий в машиностроительных производствах. Особенно это касается высокотехнологичного программного обеспечения на основе объемных геометрических моделей и средств виртуальной реальности, предназначенного для решения задач подготовки и адаптации рабочих кадров и специалистов в условиях виртуальных производственных корпораций. Достигнутый мировыми лидерами качественный уровень развития такого рода систем значительно опережает уровень современных российских разработок. Зарубежные системы постоянно совершенствуются, обеспечивая пользователям принципиально новые возможности по автоматизации производства.

Разработаны следующие методы и средства:

- методы и средства параллельной и территориально распределенной работы над создаваемым изделием для всех этапов его жизненного цикла (ЖЦ) с использованием глобальной сети Internet;
- средства для создания интерактивных электронных технических руководств (ИЭТР), интерактивных тренажеров и обучающих систем;
- средства автоматизированной настройки станков с ЧПУ и роботов и т.п. [1].

Рассмотрим особенности виртуальных производственных корпораций и приведем примеры возможной структурной организации программного обеспечения с использованием интерактивных средств 3D систем геометрического моделирования.

1. Виртуальные производственные корпорации

В начале 90-х годов XX века появилось понятие CALS (Continuous Acquisition and Life-

¹ Работа частично поддержана государственным контрактом ГК №. 02. 740. 11. 0488 на проведение НИР в рамках ФЦП "Научные и научно-педагогические кадры инновационной России" на 2009-2013 гг.

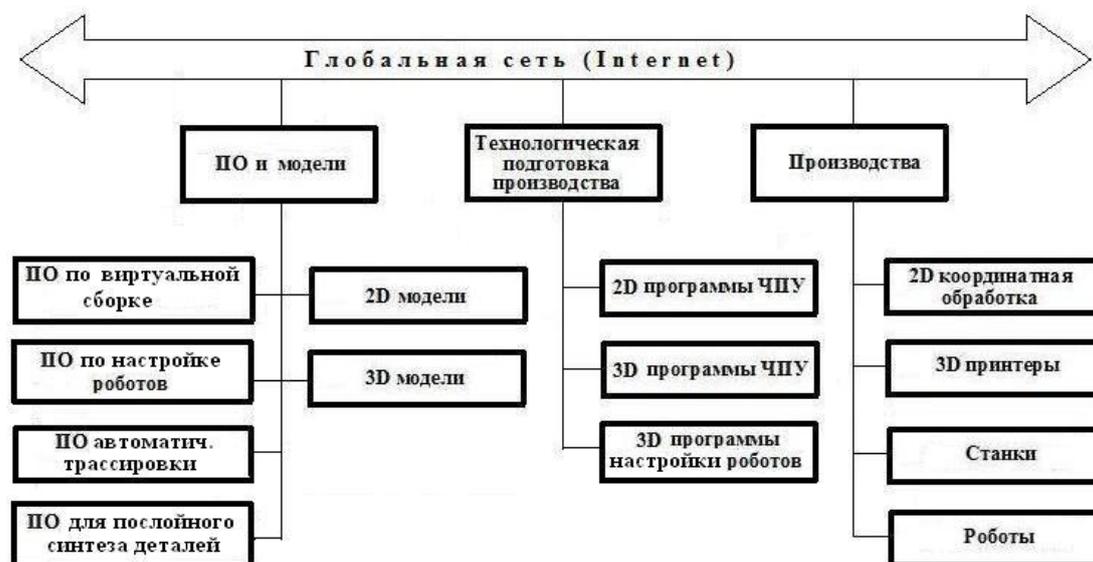


Рис. 1. Пример структуры ВПрК

Cycle Support) - технология непрерывного компьютерного сопровождения изделия на всех этапах его жизненного цикла от маркетинга до утилизации.

Предполагается, что под весь ЖЦ изделия создается некоторая структура соисполнителей (со своими интеллектуальными и производственными ресурсами), наилучшим образом приспособленная для реализации проекта, то есть «наилучшая» по набору критериев, таких как сроки реализации каждого из этапов, стоимость, качество и т.п. С учетом использования новых информационных технологий эти структурные образования могут быть территориально распределены и связаны между собой только через глобальную информационную сеть. Такую структуру принято называть «виртуальной производственной корпорацией» (ВПрК), состоящей из определенного набора виртуальных предприятий (ВПр). Под ВПрК понимается временная межпроизводственная кооперация ряда юридически независимых предприятий, которая создается в короткий срок и функционально взаимодействует на основе современных информационных технологий [2].

Основными отличительными особенностями CALS – технологии являются:

- создание электронной документации на всех этапах жизненного цикла (ЖЦ) изделия;

- создание и использование единой обобщенной модели изделия для всех этапов ЖЦ;
- разработка и использование международных стандартов на форматы и структуры данных по обмену информацией об изделии;
- параллельная и территориально распределенная работа над создаваемым изделием.

На Рис.1 приведен пример структуры ВПрК. Показаны возможная функциональная декомпозиция на отдельные ВПр, относящиеся к классам разработчиков или владельцев программного обеспечения (ПО), а также разработчиков 2D или 3D геометрических моделей, технологической подготовки производства для станков с ЧПУ и роботов, и, собственно, структура производства конечного продукта. В классах выделены конкретные функции, которые могут быть реализованы одним или несколькими ВПр. Обмен информацией между ВПр осуществляется через глобальную сеть Internet.

Важными, на наш взгляд, проблемами по организации ВПрК являются выбор лучшей по определенным критериям функциональной декомпозиции ВПрК на конкретные виртуальные предприятия (например, [3]) и выбор лучшей структурной организации программного обеспечения (ПО), обслуживающего отдельные этапы ЖЦ производимого конечного продукта. Далее остановимся более подробно на второй проблеме.



Рис. 2. Перечень основных составных частей «Системы»

2. Выбор лучшей структурной организации ПО интерактивных 3D систем

В качестве примера рассмотрим структурную организацию программного обеспечения интерактивных средств 3D систем геометрического моделирования (далее будем называть «Система»), используемых для создания интерактивных электронных технических руководств (ИЭТР), интерактивных тренажеров и обучающих систем, средств автоматизированной настройки станков с ЧПУ и роботов. Эти средства охватывают три этапа ЖЦ: конструкторское проектирование, технологическую подготовку производства и изготовление изделия.

На Рис.2 представлен перечень основных составных частей «Системы». Эти части представляют собой набор подпрограмм (ПП), реализующих локальные алгоритмы (ЛА), на которые первоначально можно разделить реализацию алгоритмов функционирования «Системы». Под локальным алгоритмом будем понимать связную часть алгоритма последовательного выполнения операций над операндами, представленными с одной точностью и одним способом их кодирования [4]. Реализацию ЛА будем называть локальной структурой (ЛС).

На Рис. 2 представлены следующие основные части «Системы»:

УП – управление последовательностью вызова отдельных подпрограмм, реализующих локальные алгоритмы (ЛА);

ИВ – средства интерактивного взаимодействия;

ЧТ STL – чтение описания объемной геометрической модели (ОГМ) в формате *.stl;

БД STL – формирование и управление базой данных ОГМ, представленных в формате *.stl;

ПП – преобразование ОГМ из формата *.stl в формат *.wrl;

ГПР – геометрические преобразования ОГМ в формате *.wrl;

ОР – расслоение ОГМ (*.wrl), на выходе отдельные слои ОГМ представляются в одном из 2D форматов, например, *.x;

БДС – формирование и управление базой данных слоев ОГМ в формате *.x;

ОЭ – операции по построению эквидистанты в слоях ОГМ;

ОШ – штриховка слоев;

ФТФ – формирование терминальных файлов слоев ОГМ в формате конечного станка;

БДТФ – создание базы данных терминальных файлов слоев ОГМ.

Сложность P программной реализации каждой из частей «Системы» в значительной степени определяется объемами занимаемой памяти, зависящими от используемых способов кодирования данных. Для структур данных, представленных на Рис.2, параметр P вычисляется следующим образом:

$$P_{wrl} = \sum_{i=1}^n (w_i^V(I_{x,y,z}) + w_i^N(I_N) + 3w_i^V(x, y, z) + w_i^N(N_{x,y,z}) + M_i) \quad (1)$$

$$P_{stl} = \sum_{i=1}^n (3w_i^V(x, y, z) + w_i^N(N_{x,y,z})) \quad (2)$$

$$P_{*X} = \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^S w_{tk}^S(x, y, Sl) \quad (3)$$

$$P_{gbr} = \sum_{i=1}^r w_i^H(x, y, Sl) + \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^S w_{tk}^S(x, y, Sl) + \sum_{j=1}^m w_j^E(x, y, Sl), \quad (4)$$

где $P_{vrl}, P_{stl}, P_{*X}, P_{gbr}$ - объемы памяти, занимаемые 3D и 2D геометрическими моделями в форматах: VRML, STL, X, Gerber;

$$w_i^V(I_{x,y,z}), w_i^N(I_N), w_i^V(x,y,z), w_i^N(N_{x,y,z})$$

– объемы памяти порядковых индексов вершин треугольников и их нормалей, списки координат вершин треугольников и нормалей;

M_i – объемы памяти, занимаемые коэффициентами управления цветом, освещенностью, полупрозрачностью и т.п.;

n – количество треугольников в модели;

r – общее количество штриховых линий;

T – количество ломаных линий (контуров);

S – количество отрезков в t -ой ломаной линии;

m – общее количество эквидистант;

$w_{tk}^S(x, y, Sl)$ – объемы памяти, занимаемые t -ми ломаными линиями (контурами) с количеством отрезков k в каждой ломаной линии;

$w_i^H(x, y, Sl)$ – объемы памяти, занимаемые штриховыми линиями;

$w_i^E(x, y, Sl)$ – объемы памяти, занимаемые ломаными линиями, эквидистантными к контурам.

На начальных этапах ЖЦ может использоваться кодирование 3D моделей в языке VRML (Virtual Reality Modeling Language). В этом случае информация представлена символьными файлами данных с расширением *.wrl. На этих же этапах может использоваться кодирование информации в языке STL (STereoLithography). Файлы с расширением *.stl могут быть символьными и бинарными. Максимальная точность описания моделей в этих форматах определяется четырехбайтовыми действительными числами.

На этапе технологической подготовки производства помимо 3D моделей используются их

плоские (2D) сечения или проекции в условном формате файла с расширением *.x.

Точность представления информации на этапе изготовления изделия может быть меньше и определяется характеристиками внешних устройств: станков с ЧПУ, роботов, фотоплоттеров, 3D принтеров и т.п. Обычно на этом этапе используются форматы языков CL DATA, GERBER, HPGL, POSTSCRIPT и т.п. Что касается точности, то, например, в постпроцессоре языка GERBER (*.gbr) диапазон изменения выходных координат составляет +/- 999999.

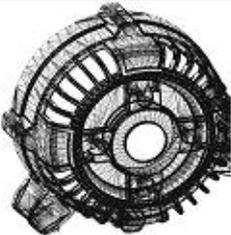
В Табл. 1 приведены практические оценки сложности P программной реализации для системы послойного синтеза деталей из металлических порошков. В первой строке таблицы указаны 3D и 2D модели деталей, во второй – способ кодирования, в третьей – объемы занимаемой моделями памяти.

На Рис.3 показана ОСМ для вариантов, когда каждому из трех алгоритмов функционирования на этапах ЖЦ соответствует своя программная реализация.

Варианты лучшей структурной организации «Системы» могут быть получены последовательным объединением отдельных ее частей (ЛА) в смысле реализации их в одной ЛС, построении на каждом этапе объединения ЛА обобщенных сетевых моделей (ОСМ) «Системы» и выборе кратчайшего пути в ОСМ.

На Рис.4 представлена ОСМ, показывающая интеграцию в одной программной реализации всех указанных алгоритмов. На рисунках вершинами ОСМ являются структуры данных, посредством которых можно представить 3D-модель, ребрами – качественные показатели реализации соответствующих операций, эллипсами – полные графы, в которых возможны

Табл. 1. Практические оценки сложности P программной реализации

		
*.wrl	*.stl	*.gbr
Символьный 2,77 Мб	Символьный 7,65 Мб Бинарный 1,81 Мб	Символьный 28,6 Кб

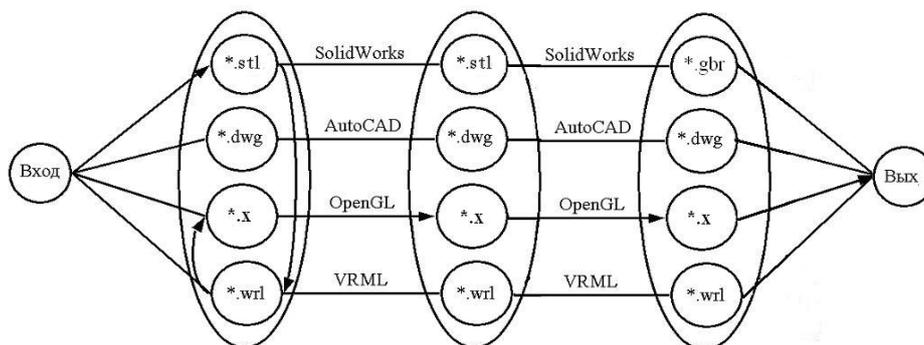


Рис.3. OSM, соответствующая трем программным реализациям для алгоритмов каждого из этапов ЖЦ

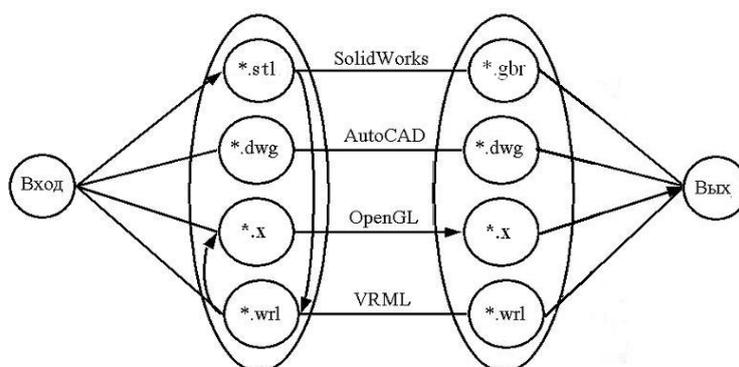


Рис.4. OSM, соответствующая реализации всех алгоритмов в одной программной реализации

взаимные преобразования структур данных. Каждому ребру назначается вес исходя из теоретической оценки сложности кодирования в соответствии с выражениями (1) - (4). Лучшие реализации в OSM отмечены стрелками.

Сравнивая полученные структуры, можно заметить, что первый вариант отличается возможностью независимого использования отдельных подсистем на разных этапах ЖЦ производимой продукции и, соответственно, каждая подсистема требует меньше памяти, отводимой под модели данных.

3. Примеры практической реализации специализированных интерактивных систем

В соответствии с OSM на Рис. 3 были созданы специализированные интерактивные системы для этапов конструкторского проектирования, технологической подготовки производства и изготовления изделий. Рассмотрим далее два примера таких систем. В первом примере покажем использование интерактивных

систем при послойном синтезе изделий [5]. Во втором – применение таких систем при виртуальной настройке роботов [6].

Для первого примера в первой строке Табл. 1 последовательно показаны результаты работы с 3D-моделью изделия при послойном его синтезе, послойное сечение модели плоскостью и получение послойной информации для управления 3D-принтером. На Рис.5 представлены физические модели, полученные на 3D-принтере.

Второй пример показывает возможность использования интерактивных систем при виртуальной настройке роботов. Создана база данных 3D моделей роботов и отдельных элементов собираемой конструкции (в частности, автомобильного генератора). На Рис. 6 представлены фрагменты процесса сборки.

Моделирование осуществляется пользователем при помощи средств интерактивного взаимодействия системы. Геометрический процессор формирует последовательность операций сборки на внутреннем языке системы в следующем виде:

```

Load cover, vaz_generator/cover.wrl # загрузка 3D модели
Move cover, (-60, 30, 0)           # начальная позиция крышки
Rotate cover, 20, (1, 0, 0)        # начальная ориентация крышки
{ # перемещение крышки, совмещенное с ее вращением
Move cover, (-145.5, 25.6, 12.5)
Rotate cover, -91.5, (-0.7, 0.3, -0.7) }
Rotate -14.8, (0.8, 0.2, 0.6)     # окончательная ориентация крышки
Move cover, (0, 47.96, 0)         # стыковка крышки и корпуса

```



Рис. 5. Физические модели изделий, полученные на 3D-принтере



Рис. 6. Моделирование виртуальной сборки генератора

Сформированный в процессе настройки код, соответствующий требуемым сборочным операциям, можно далее использовать для генерации управляющей программы робота.

Заключение

Специализированные интерактивные системы на основе средств виртуальной реальности представляют собой новое направление в развитии CAD/CAM/PDM систем. Такие системы могут эффективно использоваться в виртуальных производственных корпорациях на разных этапах жизненного цикла производимого продукта.

Литература

1. Григорьев С.Н., Мартинов Г.М. Перспективы развития распределенных гетерогенных систем ЧПУ децентра-

лизованными производствами // Автоматизация в промышленности. — 2010. №5. — С.4-8.

2. G. Schuh, K. Millarg, A. Goransson. Virtuelle Fabrik: neue Marktchancen durch dynamische Netzwerke // Munchen, Wien: Carl Hanser Verlag, 1998.
3. Артамонов Е.И., Ничипорович Т.А. Структурная организация виртуальных производственных корпораций // Автоматизация в промышленности. — 2010. №5. — С. 50-53.
4. Артамонов Е.И. Интерактивные системы. Синтез структур / М.: Инсвязьиздат, 2010. — 185 с.: ил.
5. Артамонов Е.И., Балабанов А.В., Ромакин В.А., Сизова Л.Н. Разработка графического редактора для послойного лазерного синтеза // Материалы 10-й междунар. конф. «CAD/CAM/PDM». - М.: ООО «Аналитик», 2010. - С.75-77.
6. Артамонов Е.И., Ромакин В.А., Балабанов А.В. Программные средства виртуальной настройки роботов // Автоматизация в промышленности. — 2010. № 5. — С. 54-55.

Артамонов Евгений Иванович. Заведующий лабораторией ИПУ РАН. Окончил Московский энергетический институт в 1965 году. Доктор технических наук, профессор. Автор 109 печатных работ. Область научных интересов: разработка методов проектирования интерактивных систем, реализованных в виде технических или программных средств; исследование принципов построения и создания систем автоматизированного проектирования. E-mail: eiart@ipu.ru

Балабанов Андрей Валерьевич. Старший научный сотрудник ИПУ РАН. Окончил Тамбовский государственный технический университет в 2001 году. Кандидат технических наук. Автор 20 печатных работ. Область научных интересов: синтез структур систем; объемное геометрическое моделирование; математическое и имитационное моделирование; робототехнические системы; САПР; проектирование и технология электронных и электромеханических устройств, авиационных приборов и комплексов; технологии быстрого прототипирования. E-mail: fca07@mail.ru

Григорьев Сергей Николаевич. Ректор ГОУ ВПО МГТУ «Станкин». Окончил Оренбургский политехнический институт в 1982 году. Доктор технических наук, профессор. Автор 216 печатных работ. Область научных интересов: повышение ресурса работы инструмента и ответственных деталей машин посредством разработки и применения методов и оборудования для получения новых износостойких композиционных материалов, обладающих уникальным комплексом эксплуатационных свойств, а также повышение эксплуатационной надежности инструмента и элементов технологического оборудования за счет применения систем диагностирования их состояния в реальном масштабе времени. E-mail: rector@stankin.ru

Ромакин Владимир Александрович. Старший научный сотрудник ИПУ РАН. Окончил МГУ им. М.В.Ломоносова в 2003 году. Кандидат технических наук. Автор 55 печатных работ. Область научных интересов: прикладная математика и информатика, системное программирование, вычислительная геометрия, компьютерная графика, стереоскопия, САПР, стереолитография, интерактивные электронные руководства, CALS-технологии, геоинформатика. E-mail: insight.ru@gmail.com