

## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ САПР КАК РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ИНФОРМАЦИОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ**

В.В. Малыгин, В.Б. Силин

*В статье обосновывается необходимость построения САПР в виде вычислительной сети, проектирование которой приводит к комбинаторной задаче распределения вычислительного процесса САПР по множеству взаимосвязанных компьютеров. Предлагается схема формализации задачи распределения, производится анализ ее основных свойств и указываются возможные методы решения.*

Внутреннее содержание проектной деятельности в системах автоматизированного проектирования (САПР) разделяют, с одной стороны, на «формальную постановку задачи проектирования с методами поиска решения», а, с другой стороны, на «...организацию вычислительных процессов» [1], анализу основных характеристик и задач которой в большей степени и посвящена данная статья.

Обзор публикаций в области организации вычислительного процесса САПР показывает, что основной объем их направлен на разработку структуры программного обеспечения отдельных систем, организацию баз знаний и данных, исследование различных задач пользовательского интерфейса с системой проектирования. Обсуждение организации технических средств обычно не выходит за рекомендации соизмерения нагрузки, возможностей используемых вычислительных средств и вопросы согласования интерфейсов их отдельных элементов. В этих условиях вопрос о том, какие требования накладывает САПР на используемую вычислительную технику, какие характерные особенности проявляются в вычислительных системах, выполняющих автоматизированное проектирование, и какие задачи они порождают, как правило, остаются открытыми, что делает их актуальными для представленного ниже анализа.

В соответствии с каноническим определением ГОСТов (комплекс стандартов системы 23501 и более позднего комплекса ГОСТ34) основным назначением систем автоматизации проектирования является сопровождение каждого проектного действия средствами математического, программного, информационного, организационного и прочих обеспечений. Однако со времени своего появления претерпевали изменения не только техника реализации САПР, но и представления о роли и задачах самого автоматизированного проектирования. Сегодняшний список требований, предъявляемых к САПР, сложился под влиянием перехода к комплексному или сквозному проектированию, основной задачей которого является уменьшение сроков выхода

новой продукции на рынок и снижение косвенных проектных расходов. Их основой является вывод о необходимости интеграции в САПР различных «computer-aided» инструментов систем управления проектом, жизненным циклом, составом работ организации типа CALS, PDM и т.д [2].

Разнородность предъявляемых к САПР требований, охватывающих в этом случае как непосредственное проектирование, так и вопросы управления документацией, ответственности исполнителей, контроля качества, обеспечения и поставок и т.д., означает рост числа и разнородности целевых и критериальных функций системы, что обуславливает *распределенный* характер вычислительного процесса САПР. Основанием этому, с одной стороны, служит то, что увеличение числа и разнородности целевых и критериальных функций, вызывающее рост пространств их аргументов и параметров, приводит к чрезмерно большому размеру совместной системы их уравнений, ее сильной разряженности и определенным трудностям работы с ней, обуславливающим ее декомпозицию и распределенный характер решения. С другой стороны, эту же тенденцию отмечает М. Холстед, который, опираясь на теорию алгоритмов, информации, и такие критерии, как безошибочность программного обеспечения (ПО), минимальность его объема, психология программиста и т.д., делает вывод о необходимости деления сложного ПО на модули и определяет соотношения для разбиения программ, которые «легче всего составлять, отлаживать, понимать и поддерживать» [3].

Большое количество и разноплановость требований, предъявляемых к САПР, вместе с распределенностью ее вычислительной системы позволяет отнести САПР к так называемым *сложным системам*. Известны различные подходы к синтезу сложных систем, использующие методы декомпозиции, координации и агрегации, развиваемые М. Месаровичем, Н.П. Бусленко и др. [4,5], которые связывают его в первую очередь со *структурным* синтезом сложной системы (смотри, например, работы А.Д. Цвиркуна [6]).

Вопросы общей постановки задачи синтеза структуры распределенной вычислительной системы зависят, прежде всего, от выбираемых критериев ее оценки, существенное влияние на которые в САПР должна оказывать минимизация удельных затрат на передачу в ней информации. Это объясняется, во-первых, значительностью объемов циркулирующей в распределенной вычислительной системе информации содержания операндов (переменные, данные), которые вместе с операторами (команды, приказы) составляют основу любой программы и находятся в четкой функционально-метрической зависимости [3]. Во-вторых, к аналогичному выводу можно прийти, рассматривая проектирование по Ю.Х. Вермишеву как «процесс преобразования данных технологического задания и базовой нормативно-справочной информации в требуемую техническую документацию на проектируемый объект» [1], а САПР как канал без шума,

пропускная способность которого по основной теореме Шеннона есть  $\frac{k \cdot H}{T}$  ( $H$  – энтропия получаемого проектного решения,  $T$  – время проектирования,  $k$  – отношение объема ТЗ, справочной, нормативной, директивной и другой информации к объему полученного проектного решения), которая, при очевидном значении  $k \gg 1$ , определяет величину нагрузки на сеть передачи данных в САПР. Вышеперечисленные аргументы и итеративность вычислительного процесса проектирования не только определяют объемность передаваемой в САПР информации, но и показывают, что на непосредственное проектирование (расчеты, моделирование и прочее) инженер в среднем тратит только 20% рабочего времени, тогда как остальное время уходит на создание, изменение и поиск различной информации [4].

Вопросы минимизации объемов сетевого трафика или его удельной стоимости, как правило, исследуются в рамках теории расписаний, потоковых и топологических задач, в различных разделах математического программирования. Однако основной чертой постановок задач в этих работах является фиксированное расположение источников и приемников информации, которыми в вычислительной сети являются отдельные элементы вычислительного процесса (процессы или нити в каждой вычислительной машине и т.п. – смотри, например, формальную модель в работе [5, 7]), решающие частные задачи (ЧЗ), а варьируемыми параметрами становятся параметры сети, путей в ней и т.п. Обратный подход, наиболее естественный для проектирования крупномасштабных САПР (см. различные Grid-проекты [8]) и возможности вариации в ней места решения частных задач, в литературе практически не рассмотрен, что делает исследование способа регулирования информационного обмена путем должного *распределения* ЧЗ важным и актуальным.

Основой применения наиболее строгих математических методов решения любой задачи является предварительная формализация ее элементов, декомпозиционный характер которых в задачи распределения (по крайней мере, – частных задач) делает целесообразным использовать в этих целях аналог агрегативного описания, предложенного Н.П.Бусленко [4], что позволяет описать задачу следующим, относительно «стандартным», образом. Перед распределенной вычислительной системой  $Q$ , состоящей из конечной,  $N$ -узловой вычислительной сети, поставлена общая задача  $F$ , которая в силу сложности не может быть решена ни на одной из ее отдельных узловых машин. Решение общей задачи предполагается провести после декомпозиции  $F$  ее на конечное число  $m$  менее сложных частных задач (ЧЗ)  $f_i(\mathbf{X}_i, \mathbf{Y}_i)$ , где  $i \in (1, m)$  -индекс частной задачи,  $\mathbf{X}_i$  – множество независимых входных переменных – аргументов частной задачи  $f_i$ ,  $\mathbf{Y}_i$  – множество ее выходных переменных. Количественные характеристики совокупности частных задач – сложность  $f_i$  и

объем ее операндов  $X_i, Y_i$  опишем на основе мультиграфа общей задачи  $F - \Gamma_F(F, T)$ , где  $F$  – множество частных задач  $f_i$  числом  $M$ , выполнение которых требует в любом узловом вычислителе ВС вычислительного ресурса  $|f_i|$ ;  $T$  – множество информационных отношений, каждое из которых является передачей элементов переменных из  $X$  или  $Y$  частных задач. Свойства вычислительной среды предлагается формализовать как граф  $\Gamma_N(N, L)$ , где  $N$  – множество узлов графа или множество сетевых вычислителей числом  $N$ , вычислительный ресурс которых  $|n_i|$ ,  $L$  – множество ветвей графа или множество сетевых соединений «точка-точка» с удельной стоимостью передачи отношений  $l, s \in (1-L)$ .

Надежность и удобство операций управления и общего ввода-вывода системной информации накладывает на вычислительную сеть САПР ограничение в том, что только один из ее  $N$  узлов может осуществлять ввод информации в систему из внешней среды, а другой (может быть тот же узел) осуществляет вывод информационных элементов решения из системы. С другой стороны, индивидуальные особенности поставленной задачи позволяют сделать ряд допущений. Допущение 1 - основываясь на общности соотношений для максимального размера модуля программы по Холстеду, зададимся одинаковой сложностью  $|f_i|$  всех частных задач системы. Допущение 2 - основываясь на соображениях удешевления общей стоимости системы, зададимся равенством вычислительных ресурсов  $|n_i|$  всех узлов сети. Допущение 3 - основываясь на допущение 1, и наличии объективных соотношений между сложностью, размером программы и числом ее операндов, зададимся тем, что все значения  $T$  находятся в диапазоне от 0 (отсутствие всякого обмена) до  $t_{\max}$ . (Можно показать, что допущения 1 и 2 формируют наиболее сложную оптимизационную задачу и являются предельным случаем для иных постановок задач, сведение которых к данной происходит при увеличении размерности задачи). Наконец учитывая использование в структурной функции алгоритмов поиска наикратчайших путей исключая из использования сильнонагруженные каналы сети и практику ценообразования в IP-сетях связи сделаем последнее Допущение 4 на равенство веса дуги в  $\Gamma_N$  либо 1 (присутствие канала связи), либо 0 (его отсутствие).

Произведенные допущения позволяют записывать  $\Gamma_F$  матрицей информационных потоков (МИП), совпадающей с матрицей инцидентности графа, метка связи в которой описывает количество передаваемой между ЧЗ информацией, а  $\Gamma_N$  матрицей вычислительной сети (МВС), совпадающей с матрицей инцидентности графа, метка связи в которой описывает удельную стоимость информации, передаваемой между инцидентными вершинами. Искомое распределение  $R$  определяется как объединение (комбинация) бинарных отношений  $r$ , в соответствии с которыми каждому элементу множества вершин графа  $\Gamma_N$  ставится в соответствие единственная вершина графа  $\Gamma_N$ , причем каждой вершине графа  $\Gamma_N$  соответствует от одной до  $K$  вершин графа

$\Gamma_F$ , где  $K$  – округленное до ближайшего целого частное от деления  $M$  на  $N$ . Множество взаиморазличных распределений  $R$  формирует комбинаторное пространство  $Z$ . Решением задачи является такое подпространство  $z \subseteq Z$ , все точки которого приводят структурную функцию (СФ) в минимум, где значение СФ рассчитывается как сумма удельной стоимости всех информационных потоков в сети, объем которых определяется графом задачи, а наиболее дешевый путь в сети и его суммарная стоимость – графом сети.

Таким образом, проектирование распределенной информационно-вычислительной системы САПР сведено к задаче дискретной, а в силу конечности  $Z$  к комбинаторной оптимизации.

Основной особенностью задачи этого класса является дискретность комбинаторного пространства, что вместе с операторным типом структурной функции, значение которой сложным образом вычисляется в каждой точке КП, не позволяет использовать в ней стандартный аппарат анализа функций непрерывных пространств – дифференцирование, интегрирование и т.п. Общими методами точного решения таких задач становятся: полный перебор (при малых размерностях КП), методы отсечения, сеток, ветвей и границ, динамическое программирование (при росте размерности).

С другой стороны в ряде случаев оказываются полезны методы приближенного решения, среди которых следует отметить локальные, случайные, стохастические, эволюционные поведенческие и другие. Их основой, особенно в конечных пространствах поиска, наряду с метричностью, упорядоченностью и другими свойствами самого КП, становятся такие характеристики СФ, как оценки ее границ, свойства ее локальной сходимости, различные статистические характеристики и т.д. Вышесказанное позволяет надеяться, что, несмотря на быстрый рост мощности КП и сложности определения структурной функции, задача поиска ее удовлетворительного решения в общем случае является разрешимой.

Проведенный в статье анализ процесса проектирования показал необходимость рассматривать системы автоматизированного проектирования как распределенные информационно-вычислительные системы, одним из основных критериев которых является минимизация удельных затрат на поддержание их информационного обмена. Показано, что задача синтеза САПР сводится в данном случае к комбинаторной оптимизации, анализ основных характеристик которой позволил рекомендовать ряд перспективных для ее последующего решения методов.

#### Список литературы

1. Вермишев Ю.Х. Методы автоматического поиска решений при проектировании сложных технических систем. - М.: Радио и связь, 1982. - 152 с.

2. Bill Gascoigne. PDM: The Essential Technology for Concurrent Engineering. - <http://www.pdmic.com/articles/artetfce.html> (22.02.2001).
  3. Холстед М.Х. Начала науки о программах. - М.: Финансы и статистика, 1981. - 128 с.
  4. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. - М.: Наука, 1978. – 400 с.
  5. Месарович М., Такахара Я. Общая теория систем: математические основы. - М.: Мир, 1978.-312 с.
  6. Цвиркун А.Д. Основы синтеза структуры сложных систем. - М.: Наука, 1982. – 200 с.
  7. Смелянский Р.Л. Модель функционирования распределённых вычислительных систем // Вестник МГУ. Сер.15, Вычислительная математика и кибернетика, 1990. - №3.
  8. I. Foster, C. Kesselman. The Grid. Blueprint for a New Computing Infrastructure. - Hardback, 1998. – 701 p.
- 

#### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

*Силин Владимир Борисович, профессор кафедры радиоэлектроники Московского авиационного института (государственного технического университета), д.т.н., Телефон: 158-42-01*

*Малыгин Владимир Вячеславович, аспирант кафедры радиоэлектроники Московского авиационного института (государственного технического университета),*

*e-mail: v\_malygin@hotmail.com*