

Объединенный
институт
ядерных
исследований
Дубна

+

11-81-839

И.Н.Силин, В.Л.Пахомов

РЕАЛИЗАЦИЯ ВИРТУАЛЬНОЙ ПАМЯТИ
В СИСТЕМЕ
АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Направлено в журнал "Автоматика
и вычислительная техника"

1981

Используемая в настоящее время система автоматизации проектирования /САПР/ двуслойных печатных плат /ПП/ "Граф"/1/ имеет размер рабочего поля /РП/ автоматической трассировки 246x146 шагов раstra. Она рассчитана на проектирование ПП стандарта КАМАК размером 305x183 мм при шаге раstra 1,25 мм, а также ПП произвольной формы меньшего размера.

Развитие элементной базы, совершенствование технологии, уплотнение монтажа привело к необходимости создания САПР для ПП еще большего размера, например, ПП для ЭВМ ЕС-1010, СМ-3, СМ-4. При шаге раstra 0,625 мм проектирование ПП размером 250x250 мм уже требует РП размером 400x400 шагов. Задача проектирования матричных БИС также требует увеличения площади РП.

С другой стороны, увеличение площади РП ограничено малым объемом оперативной памяти /ОП/ БЭСМ-6, непосредственно доступной одной задаче /32К слов/.

Решение поставленной задачи при жестких ограничениях, накладываемых объемом ОП, достигается различными путями: совершенствованием структур данных, сжатием и упаковкой информации, совместным использованием различных взаимодополняющих структур данных, разработкой эффективных методов доступа к внешней памяти, сегментацией программ и т.п.

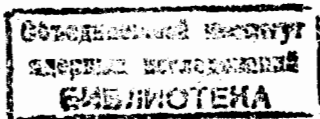
В настоящее время в первой версии САПР "Джинн" увеличение РП до размера 474x474 шагов достигнуто программной реализацией виртуальной памяти /ВП/ объемом 74К слов. Такая площадь РП позволяет решать все перечисленные выше задачи.

Рассмотрим принятую в САПР структуру РП. РП представлено как трехмерный массив слов $p(i, j, k)$, где индекс k задает номер слоя ПП,

$$i = 1, 2, \dots, m, \quad j = 1, 2, \dots, n, \quad k = 1, 2, \dots, r$$

/везде далее действуют соглашения, принятые в фортране/.

Каждый слой РП разбит на элементарные ячейки, метрический размер которых определяется шагом раstra. Величина шага выбирается исходя из требуемой ширины печатных проводников и расстояния между ними. Ячейки РП представляют собой минимальный адресуемый набор битов, количество которых в одном слове ОП определяется коэффициентом упаковки ℓ . Доступ к ячейкам осуществляется по их координатам x, y в РП. В САПР применяется прямоугольная декартова система координат, позволяющая адекватно отображать на РП текущее состояние печатной схемы в матрич-



ной форме. Допускается 8 направлений проводников /если считать их векторами/, что следует из прямоугольности матрицы и хорошо согласуется с требованиями технологии и возможностями технологических автоматов. Задание направлений проводников в ячейках РП придает всему массиву свойства списочной структуры. Выбором формы представления информации, хранимой в ячейке, этот список можно сделать 1- или 2-направленным.

Рассмотрим подробнее адресацию ячеек в РП. Так как в одном слове хранится несколько ячеек, то координата x ячейки и соответствующий индекс j столбца слов связаны соотношением

$$j = \{x / \ell\},$$

где фигурные скобки обозначают взятие ближайшего целого, большего или равного x/ℓ . Остаток от x/ℓ определяет номер ячейки в слове /1, 2, ..., $\ell - 1$ /. Адрес слова в трехмерном массиве обычно вычисляется как

$$\langle \text{адрес} \rangle = \langle \text{база} \rangle + m \cdot n \cdot (k-1) + m \cdot (j-1) + i.$$

Т.к. операции обращения к ячейкам РП являются чрезвычайно частыми, то для сокращения времени доступа желательно исключить дорогостоящие операции целочисленного деления, умножения и формирования констант сдвига, необходимые для выборки соответствующего слова и выделения нужной ячейки. С этой целью делается одно настроенное обращение к программе инициализации ВП, которая формирует вектор концов столбцов первого слоя и вектор констант сдвигов, упакованных попарно в одно слово для всех требуемых координат x . Параметрами этой программы являются габаритные размеры ПП по осям x и y . Кроме этого, формируется вектор адресов начала каждого слоя \bar{v} . Каждый слой ПП занимает целое число слов ВП. Таким образом, адрес слова вычисляется как

$$\langle \text{адрес} \rangle = \langle \text{база} \rangle + u(x) + v(z) - y.$$

Такой способ адресации применяется и в САПР "Граф", где соответствующая программа была реализована А.И.Салтыковым¹. Многолетняя эксплуатация показала высокую эффективность данного метода.

При такой структуре РП каждый столбец j слов покрывает прямоугольную область ПП размером $\ell \cdot m$ шагов, что позволяет работать с обеими координатами x, y внутри его. Кроме этого, на одной странице ОП длиной 1024 слова помещается обычно несколько соседних столбцов РП, что приводит к эффективному использованию страничной организации ОП. В этом и состоит основная идея, позволяющая эффективно применять ВП в алгоритмах трассировки, требующих преимущественно процессорной обработки.

Для программной реализации ВП выделен буфер ОП БЭСМ-6 размером в 11К слов, заполняемый виртуальными страницами в процессе доступа к ВП. Вытеснение страниц производится по алгоритму FIFO /первым вошел, первым вышел/, который требует минимальных накладных расходов при обращении к страницам, уже имеющимся в буфере, и в то же время достаточно эффективен в нашем случае. Замещение страниц может производиться как через обмен с магнитным барабаном /на машинах с 64К памяти/, так и посредством переписки с использованием расширенной ОП объемом 128К.

Данная реализация ВП эффективно работает с алгоритмом трассировки, применяемым в САПР^{1/1}. Другой алгоритм или даже другая реализация выбранного алгоритма может привести к резкому возрастанию числа замещений страниц и, следовательно, к увеличению астрономического времени решения задачи. В настоящее время трассировка платы КАМАК средней сложности /~ 60 модулей/ осуществляется за 15-20 секунд счетного времени.

Габаритные размеры ПП должны удовлетворять следующим соотношениям:

$$1 \leq \max x \leq 618,$$

$$1 \leq \max y \leq 999,$$

$$\max y * \{\max x / 6\} \leq 37888.$$

Предусматривается путем сжатия информации в ячейках РП увеличить его размеры в САПР "Джинн" до величины 674×674 с целью сокращения счетного времени при проектировании больших ПП.

ВП используется также и для других целей: как линейный массив, через специальную подпрограмму-функцию, выдающую по номеру слова в виртуальной памяти номер слова в буфере оперативной памяти, например, для формирования списка компонент связности.

Вся работа с РП в САПР идет через одну подпрограмму с несколькими входами, что позволило ввести использование ВП, не затрагивая остальных программ САПР. Изменение размеров ВП также сводится к переделке одной этой программы.

Тщательный анализ всех алгоритмов, использующих РП, показал правильность выбранной реализации ВП и ее применимость в САПР. Аналогичная реализация аппарата ВП будет, безусловно, полезна и при разработке САПР на малых ЭВМ типа СМ-4, удовлетворяющей современным требованиям.

В заключение необходимо отметить, что с увеличением площади РП происходит перераспределение затрат счетного и коммерческого времени между программами САПР; в частности, резко возрастает объем выходной информации. Например, печать только одного

совмещенного рисунка слоев монтажной схемы требует около 30 страниц выдачи, а полная выдача на печать может превышать 100 страниц. Этот эффект требует разработки новых методов и устройств отображения информации, резкого повышения их информационной емкости и скорости работы. Это задача принципиальной важности для всех будущих разработок в области автоматизации проектирования и изготовления радиоэлектронной аппаратуры.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пахомов В.Л. ОИЯИ, Р11-12665, Дубна, 1979.

Рукопись поступила в издательский отдел
28 декабря 1981 года: