

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Vladimiresen A., Lin S. The simulation of MOS integrated circuits using SPICE // Memo VCB/ERLM.— Berkeley: Univ. of Calif., 1980: 80/7.
2. Szygenda S. A. TEGAS2 — anatomy of a general purpose test generation and simulation system for digital logic // Proc. 9th Des. Aut. Workshop, 1972.
3. Bryant R. E. An algorithm for MOS logic simulation // Lambda.— 1980.— 4th qtr.— P. 46.
4. Bryant R. E. MOSSIM: a switch-level simulator for MOS LSI // Proc. 18th Design Automation Conf., 1981.— P. 786.
5. Baker C. M., Terman C. S. Tools for verifying integrated circuit design // Lambda.— 1980.— 4th qtr.— P. 22.
6. Hayes S. P. A unified switching theory with applications to VLSI design // Proc. IEEE.— 1982.— P. 1140.
7. Шеннон К. Символический анализ релейных и переключательных схем // Работы по теории информации и кибернетике.— М.: Изд-во иностр. лит., 1963.
8. Ульман Дж. Д. Вычислительные аспекты СВИС.— М.: Радио и связь, 1990.
9. Hayes S. P. An introduction to switch-level modeling // IEEE Design and Test of Computers.— 1987.— 4, N 4.— P. 18.
10. Bryant R. E. A survey of switch-level algorithms // Ibid.— P. 26.

Поступила в редакцию 6 февраля 1991 г.

УДК 681.3.06

А. В. ИОФФЕ
(Новосибирск)

ПОСТПРОЦЕССОРЫ ГРАФИЧЕСКОГО ВЫВОДА В СИСТЕМЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ БИС

Несмотря на широкое распространение интерактивных методов проектирования интегральных схем, твердые копии изображения топологии остаются важным и весьма информативным материалом, активно используемым разработчиками БИС. Поэтому в каждую систему автоматизированного проектирования включаются программные средства для получения чертежей топологии.

В данной статье кратко рассмотрены разработанные в ИАПЭ СО АН СССР постпроцессоры графического вывода, ориентированные на задачи прорисовки топологии. Эти программы работают в операционной среде VAX/VMS и поддерживают выводные устройства различных типов, включая как перьевые графопостроители (в нашей системе — «Планист» [1]), так и растровые устройства (лазерные принтеры — LX03, «СО₂-РОМБ» [2]). Входной информацией для постпроцессоров служат текстовые файлы в формате CIF [3]. CIF широко применялся для описания топологии во многих системах автоматизированного проектирования 80-х годов. Кроме того, были написаны трансляторы для преобразования в CIF топологических файлов, представленных в других форматах (например, файл в формате SOURCE, полученный на распространенном комплексе «Кулон-1», можно перевести в формат CIF с использованием специальной утилиты QULTOCIF).

Ниже описаны некоторые особенности реализации программ вывода топологической информации на устройства указанного типа, наиболее важные с точки зрения достижения практической эффективности.

Программа CIF-PEN — прорисовка топологии на графопостроителе. В настоящее время графопостроители достаточно широко применяются как для послойных прорисовок, так и для изготовления «совмещенных» чертежей кристаллов. Однако сравнительно невысокая скорость движения пишущего узла (~1 м/с) и значительный объем графических данных приводят к тому, что даже для относительно небольших (~10⁴ транзисторов) БИС процесс прорисовки является многочасовым. Поэтому при разработке программы особое внимание уделялось средствам для сокращения длительности создания чертежа и нейтрализации нежелательных эффектов, связанных с большим временем рисования.

Минимизация «холостого» пробега пера. Для этих целей используется следующая методика. Чертеж рассматривается как совокупность отрезков, заданных своими конечными точками. Все координатное поле чертежа разбивается на равные клетки (например, 100×100), каждой из которых соответствует список попавших в данную клетку конечных точек линий чертежа. В процессе прорисовки просматривается список клетки, в которой оказалось перо перед началом следующего отрезка, и определяется наиболее близкая к текущей конечная точка следующего отрезка чертежа (просмотр списка заканчивается сразу, если найдена конечная точка, координаты которой в точности соответствуют текущему положению пера). Если список данной клетки пуст, то ищется ближайшая непустая клетка и т. д. Так как чертеж подразделяется на большое количество клеток, то списки оказываются короткими и их просмотр осуществляется достаточно быстро по сравнению со временем движения пера от одной точки к другой.

Экспериментальное исследование статистики, полученной при работе с «реальными» топологиями кристаллов, показало, что использование описанного подхода позволяет сократить относительное время холостого хода пишущего узла до 10—20 %.

Журнальный файл. Во время процесса прорисовки ведется журнальный файл, куда с некоторой периодичностью записывается текущее количество начерченных отрезков. В случае сбоя графопостроителя или краха системы журнальный файл позволяет возобновить работу с момента остановки.

Файл спасения. Прорисовка больших чертежей занимает много времени. Поэтому в ряде случаев работу целесообразно разбивать на несколько этапов. Незавершенная часть чертежа «спасается» в специальном файле. Затем можно продолжить работу, применяя специальную утилиту, требующую меньших ресурсов операционной системы. Эта прорисовка может быть, в свою очередь, тоже прервана и продолжена позже.

Примеры условий, вызывающих прерывание: наступление заданного момента времени, ввод с терминала управляющего символа. Имеется возможность интерактивного прерывания задачи, запущенной в пакете: это делается путем записи в специально созданный временный почтовый ящик, имя которого записывается в таблицу групповых имен.

Программа CIF_RASTER — прорисовка топологии на растровых устройствах вывода. Преимущества растровых устройств графического вывода над «векторными» в задачах получения твердых копий топологии БИС общеизвестны. В первую очередь они определяются более высоким разрешением растровых устройств (и как следствие лучшей информативностью получаемых «картинок»), а также независимостью времени растрового вывода от сложности изображений. По этим причинам в работах по автоматизации проектирования, выполняемых в ИАПЭ СО АН СССР, принята ориентация на использование лазерных принтеров.

Основные проблемы, связанные с созданием программной поддержки для прорисовки топологии на подобных устройствах, относятся к повышению выразительности изображений и выбору экономного кодирования растровой информации для ее передачи между компьютером и графическим терминалом.

Заполнители слоев. На чертежах, выполненных на графопостроителях, топология представляется в виде набора полигонов, у которых (по крайней мере, при изображении достаточно больших фрагментов) прорисовываются только границы; геометрические фигуры, принадлежащие к различным слоям, отличаются лишь цветом границы. Применение растровых устройств позволяет без дополнительных временных затрат улучшить «читаемость» изображения за счет использования заполнителей слоев, т. е. специфической штриховки геометрии. Для задания заполнителей предусмотрены так называемые матрицы-образцы: битовые матрицы размером 4×4 , расположение «1» и «0» в которых соответ-

ствуует черным и белым точкам, определяющие штриховку, соответствующую данному слою. При этом слои могут быть как физическими (поликремний, металл и т. п.), так и логическими, соответствующими некоторой комбинации физических слоев (обедненный транзистор, скрытый но так же, как и основной топологии. Такой подход позволил обобщить использование нескольких программных модулей, а сам процесс подготовки образцов заполнителей сделать для пользователей более простым и привычным.

Кодирование растровых данных. Довольно типичной бывает ситуация, когда скорость генерации изображения ограничивается не возможностями графического устройства, а относительно низкой пропускной способностью канала, связывающего его с компьютером. Этой трудности удастся избежать в случае, когда графический терминал располагает собственными доступными пользователю вычислительными ресурсами (например, в системе «СО₂-РОМБ» — это микрокомпьютер «Электроника 60-1»). Тогда оказывается возможным кодирование растрового файла с целью уменьшения объема передаваемой информации с последующим его декодированием на приемном конце и использованием полученных сведений (распределение точек кадра по слоям и типам заполнителей для каждого слоя) для управления лазерным принтером.

Алгоритмы сжатия, применяемые в рассматриваемой программе, используют типичные для кодирования двумерной информации методы: строка задается последовательностью размеров серий точек, принадлежащих одному слою; при переходе от строки к строке кодируются приращения (т. е. данные об изменениях очередной строки относительно предыдущей). При этом для кодирования размеров серий используются счетчики переменной длины. Анализ статистики топологических чертежей позволил выработать рациональные решения по выбору длин кодов. Так, алгоритм предусматривает затрату одного бита на кодирование серий размером 1, двух битов на кодирование строки, идентичной предыдущей, задание маски слоев в виде перечня номеров слоев и т. п.

В результате, как показывает опыт практического применения программы, объем закодированной информации о растровом файле составляет в среднем до 25—30 байт на строку при длине строки 10 000 точек и масштабе прорисовки 2—4 мкм/мм. Таким образом, по последовательной линии при скорости 9600 бод можно передавать 30—40 растровых строк/с. Учитывая затраты на передачу, кодирование-декодирование, заполнение образцами и прочие накладные расходы, удалось добиться на самых сложных участках скорости прорисовки не менее 8—10 строк/с, что позволило работать в темпе лазерного принтера, не применяя какую-либо промежуточную буферизацию.

Заключение. Программы, описанные в данной заметке, в течение нескольких лет интенсивно используются в ИЛиЭ СО АН СССР и на ряде промышленных предприятий, причем не только для прорисовок топологии БИС, но и для выполнения чертежей принципиальных электрических схем, печатных плат и т. п.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александров В. М., Громили Г. И., Карлсон И. С. «Планшет» — устройство ввода/вывода графической информации // Автометрия.— 1976.— № 1.
2. Baev S. G., Bessmeltsev V. P., Maksimov D. A., Lenkova G. A. Laser thermographic devices for image output used in CADs // Abst. IV Conf. "Optic'89".— Varna, 1989.— P. 197.
3. Mead C., Conway L. Introduction to VLSI systems.— Addison-Wesley, 1980.

Поступила в редакцию 23 января 1991 г.