



ветствующей максимуму спектральной плотности, определяется по формуле $k_0 = \text{ent}(f_0 NT)$ (ent — целая часть); зададим номера граничных гармоник: $k_1 = k_0 - \Delta k$, $k_2 = k_0 + \Delta k$, $\Delta k = 5$. Проведем вычисления в соответствии с формулами (5)–(9) и найдем оценки параметров модели $\hat{A} = (a^{0^2} + b^{0^2})^{1/2}$, $\hat{\varphi} = \text{arctg}(-b^0/a^0)$. На рисунке представлены графики $S(a^0, b^0, \omega)$ (кривая 1), \hat{A} (2), $\hat{\varphi}$ (3) в зависимости от частоты $f = \omega/2\pi$. Видно, что минимальное значение частичной остаточной суммы соответствует $\hat{f}^0 = 6,87$ Гц, $\hat{A}^0 = 1$, $\hat{\varphi}^0 = 0,8$. Полученные оценки практически не отличаются от исходных параметров.

Проведем оценки времени решения задач аппроксимации при $N = 4096$, $m = 11$, $k_2 - k_1 + 1 = 11$, $t_s \approx 10t_y$. Для вычислений во временной области после подстановки исходных данных в формулы оценок имеем $t_{N_1} = 0,945 \cdot 2^{20} t_y$; для вычислений в частотной области получается, что $t_{N_2} = 0,872 \cdot 2^{17} t_y$. Во втором случае время работы алгоритма почти в 10 раз меньше.

Работа с данным алгоритмом аппроксимации в частотной области подтвердила проведенную оценку быстродействия. Применение алгоритма оказывается особенно эффективным при проведении массовой обработки на специализированных ЭВМ, оснащенных специпроцессором БИФ, осуществляющим преобразование процессов в укороченной двухбайтовой разрядной сетке и при микропрограммном управлении, благодаря чему достигается высокое быстродействие операции БИФ, тогда как обычные арифметические операции, которые производятся в полной разрядной сетке (с использованием, например, алгоритмического языка Бейсик), выполняются с малой скоростью (имеется в виду специализированная ЭВМ типа «Шлюригат» [4]).

ЛИТЕРАТУРА

1. Химмельблау Д. Анализ процессов статистическими методами.— М.: Мир, 1973.
2. Рабинер Л., Гоулд Б. Теория и применение цифровой обработки сигналов.— М.: Мир, 1978.
3. Введение в цифровую фильтрацию/Под ред. Р. Боггера и А. Константинопидиса.— М.: Мир, 1976.
4. Макс Ж. Методы и техника обработки сигналов при физических измерениях.— М.: Мир, 1983.— Т. 2.

Поступило в редакцию 21 апреля 1986 г.

УДК 681.3.06

А. А. ЯНТИМИРОВ
(Новосибирск)

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАСТРОВЫХ ГРАФИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ

Введение. В Институте автоматки и электрометрии СО АН СССР разработан ряд растровых графических устройств, управляемых микроЭВМ семейства «Электроника 60». В этот ряд входят интерактивные дисплеи нескольких видов и прецизионные выводные лазерные устройства. Полное использование их многообразных возможностей требует разработки сложного программного обеспечения. Вместе с

тем во многих прикладных задачах применяется сразу несколько устройств: цветной растровый дисплей для редактирования и лазерное устройство вывода для получения твердой копии изображения. Специфика применения потребовала создания унифицированного пакета базового программного обеспечения, реализующего графические функции независимо от типа конкретного устройства.

Требования к графическому пакету. Унифицированный графический пакет должен обеспечить максимальное использование предоставляемых устройствами возможностей (разрешение, цветность, скорость вывода) и удовлетворить существующие и предполагаемые запросы прикладных программ (в том числе широкий набор геометрических примитивов, включая произвольные многоугольники и части окружностей; заполнение областей узором; простота адаптации к новым устройствам; программная преемственность с предыдущими разработками [1]).

Сложность задачи требует комплексного решения. Основой для него служит концепция виртуального растрового устройства. Каждое устройство отображает прямоугольное поле, характеризующееся числом точек в строке, числом строк и числом битов, определяющих цвет или полутона в этой точке. Графические дисплеи имеют буфер изображения на все поле, устройства последовательного вывода — на одну или несколько одновременно выводимых строк. Могут отличаться способы доступа к буферу, его размеры, а также методы отображения буфера устройством. Буфер устройства, например, может иметь послойную (одновременное обращение к одному из битов в 16 последовательных горизонтальных точках) либо поточечную (одновременное обращение ко всем битам одной точки) конфигурацию. Задачей графического пакета является создание и модификация изображения на поле с помощью средств, предоставляемых для этого конкретным устройством.

Алгоритмы графического пакета. Задачу рисования на растровом поле можно разделить на две части: выделение точек, где изображение модифицируется, и модификация изображения в этих точках. Основное достоинство растровой графики — возможность не только отрисовывать контур фигуры, но и заполнять ее внутренность. Известны два основных метода закрашивания области — метод сканирующей линии и метод распространения волны [2]. Волновой алгоритм требует наличия полного растрового изображения и дополнительных информационных слоев для независимости закраски от существующего изображения. Поэтому за основу алгоритма растрирования взят метод сканирующей линии в следующей форме.

Закрашиваемая область определяется набором замкнутых контуров, заданных последовательностью вершин, соединенных отрезками прямых или дугами окружностей. Требование замкнутости достаточно для правильности работы алгоритма. Набор контуров преобразуется в список интерполируемых элементов. Такими элементами являются ребра, нисходящие и восходящие части дуг окружностей. Сканирующая линия представляет собой полосу толщиной в одну точку растра, поэтому ее пересечение с интерполируемым элементом является отрезком. Точки, принадлежащие таким отрезкам, образуют границу области. Удлинение отрезков позволяет утолщать границу по горизонтали, а сохранение информации предыдущего этапа сканирования — по вертикали. Это дает возможность получить четкий контур фигуры на высокоразрешающих устройствах.

Интерполирующие элементы имеют коэффициент, модуль которого определяется пользователем при вводе контура, а знак зависит от ориентации элемента (идет вверх или вниз). Сканирующая линия разбивается на отрезки. Часть из них принадлежит границе фигуры. Другие отрезки могут отрисовываться одним из принятых способов закраски в зависимости от суммы коэффициентов интерполируемых элементов, пересекающих линию по одну из сторон от отрезка. Например, можно закрашивать отрезки только с нечетной суммой или с суммой, отличной от нуля. Такая разновидность алгоритма сканирования позволяет гибко управлять закрашиваемой областью, например задавать «прозрачные» контуры, выделять пересечения контуров, обнаруживать области с обратным порядком обхода.

Эта часть алгоритма растрирования реализована в виде переносимого независимо компилируемого модуля, имеющего простой интерфейс с нижележащим модулем, адаптируемым к конкретному оборудованию:

начать сканирование с заданной координаты Y ;
на текущей линии нарисовать отрезок X_1, X_2 в соответствии с ее состоянием;
перейти на следующую линию.

Особенность второго модуля состоит в том, что он должен обеспечить все многообразие желательных способов модификации многослойного изображения, по приемлемой эффективности. Поэтому разработчики ограничились минимумом функций, удовлетворяющих потребности имеющихся прикладных программ.

Преобразование изображения определяется выбором модифицируемых слоев изображения, образца для модификации и логической операции между битами образца и существующего изображения. Образец — квадрат 16×16 бит, жестко привязанный к координатам растрового поля. При модификации бита изображения R с координатами X, Y из образца выбирается бит маски L с координатами $(X \bmod 16, Y \bmod 16)$ и над ними производится одна из следующих логических операций:

$R := R \text{ and } (\text{not } L)$ — чистка под маской,

$R := R \text{ or } L$ — установка под маской,

$R := (R \text{ and } (\text{not } L)) \text{ or } ((\text{not } R) \text{ and } L)$ — инверсия под маской,

$R := L$ — записывание маски.

С помощью образцов заполнения можно задавать разнообразные виды штриховки, например, для идентификации элементов в различных слоях на рисунке топологии микросхемы или имитировать полутона выбором ряда образцов соответствующей плотности.

Заключение. Концепция виртуального растрового устройства позволила создать унифицированный графический интерфейс прикладных задач к ряду разнообразных растровых устройств; выделить наиболее сложную часть программного обеспечения в переносимый, независимо компилируемый модуль и разработать унифицированный набор процедур, задающих режимы рисования, для различных устройств.

Основные компоненты графического пакета находятся в эксплуатации в ИАПЭ СО АН СССР с 1987 г. С использованием представленного пакета работают программы проектирования и трассировки печатных плат, получения фотоаблона платы на лазерном устройстве вывода, редактирования топологии СБИС, получения твердой копии топологии СБИС, программы растровой трехмерной графики. Развитие системы будет производиться в направлении как адаптации к другим растровым устройствам, так и повышения ее эффективности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Талныкин Э. А. Базовое программное обеспечение растрового дисплея // Автоматрия.— 1984.— № 5.
2. Ньюмен У., Спрулл Р. Основы интерактивной машинной графики.— М.: Мир, 1976.

Поступило в редакцию 1 декабря 1986 г.
