

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МАШИННОЙ ГРАФИКИ
ДЛЯ РЕШЕНИЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

В.Л.Катков

В последние годы происходит интенсивное развитие одного из новых направлений в программировании - машинной графики, связанной с вводом, выводом и обработкой графической информации. По некоторым оценкам, в течение ближайших пятнадцати лет доля графической информации составит примерно 80% от общего объема ввода-вывода. Спектр задач, решаемых машинной графикой, весьма широк: от простейшего вывода графиков на графопостроитель до создания диалоговых систем, работающих в реальном масштабе времени; от примитивного двумерного до трехмерного изображения объектов, представленных в удобной проекции с удалением невидимых линий; от черно-белых - до цветных рисунков; от скелетных изображений - до полутонных картин и т.д.

В данной работе особое внимание уделяется типичному программному обеспечению машинной графики для решения задач научно-технического профиля. Такой выбор обусловлен, во-первых, тем, что задачи подобного профиля наиболее представительны в данное время, во-вторых, они являются наиболее крупными "потребителями" машинной графики и, наконец, как нам представляется, на этих задачах можно попытаться сформулировать основные требования, предъявляемые к программному обеспечению машинной графики.

Использование средств машинной графики дает наибольший эффект в комплексе в том случае, если в распоряжении пользователя имеются соответствующие устройства ввода-вывода графической информации, достаточно мощная ЭВМ и удобное программное обеспечение. Такие комплексы должны быть ориентированы на решение определенного класса задач и на конкретного пользователя - специалиста

в своей узкой области. Иными словами, речь идет об автоматизированном рабочем месте, предназначенном для пользователя научно-технического профиля. Один из вопросов, обсуждаемых в нашей работе, — требования к автоматизированному рабочему месту и его программному обеспечению.

Касаясь графических устройств, мы сознательно ограничились графопостроителями и графическими дисплеями, поскольку в настоящее время можно рассчитывать на широкое использование именно этих устройств. В то же время уже на базе этих устройств можно строить удобные системы машинной графики для решения широкого круга задач.

§1. Классы задач

С точки зрения применения пользователями средств машинной графики предлагается следующая классификация задач:

Первый класс составляют задачи, требующие пакетного режима. Все, что нужно здесь от графики, практически покрывается хорошими пакетами, написанными на языках высокого уровня типа АЛГОЛ и ФОРТРАН. Небольшие отличия, обусловленные выводом в режиме *on-line* или *off-line*, обеспечиваются обычно операционной системой ЭВМ и программами буферизации. Использование графопостроителей для таких задач почти не отличается от использования АЦПУ.

Второй класс — задачи, требующие диалога: пассивного и активного. В первом случае графический дисплей служит главным образом для визуализации изображения и просмотра очередных кадров практически без вмешательства пользователя. Небольшой диалог может возникнуть лишь при задании числовых значений некоторых параметров и для управления счетом: начало, продолжение и прекращение счета. В то же время для обработки результатов счета перед формированием и выводом очередного кадра могут потребоваться мощные программы обработки графических изображений: построение изолиний, проектирование трехмерных объектов с удалением невидимых линий, штрихование областей, геометрические преобразования и т.д.

Второй вид диалога — активный — обусловлен обычно вводом в машину геометрической информации: формы области решения задачи, задания топологии элементов, определения объемной формы тела и т.д. Более того, задание геометрии может потребовать пробных расчетов и последующей корректировки введенной и насчитанной инфор-

мации для получения удовлетворительного результата. При решении задач такого вида этап ввода может составлять большую часть как по объему программы, так и по времени решения.

Третий (специфический) класс составляют некоторые задачи универсального характера, возникающие только в машинной графике. Мы упомянем две из них: монтаж фильмов и систему отображения двумерной информации. Первая задача связана с накоплением кадров будущего фильма на внешних запоминающих устройствах машины, их монтажом и просмотром готового фильма; вторая — позволяет строить специализированные системы, в которых вся графическая работа выполняется некоторыми универсальными средствами (задачи построения и расчета электронных схем, анализа транспортных систем, исследования и рисования блок-схем и т.п.). Характерная особенность рассматриваемого класса задач — активный диалог в течение всего времени решения.

Наконец, **четвертый класс** задач составляют специализированные системы, в которых диапазон используемых средств машинной графики колеблется в очень широких пределах: от примитивного вывода на графопостроитель до комплексного использования всех графических средств, быть может, объединенных в автоматизированное рабочее место на базе терминальной ЭВМ.

§2. Различные конфигурации средств машинной графики

Рассмотрим типовые конфигурации систем машинной графики для решения перечисленных выше задач.

Вывод на графопостроитель. Из оборудования требуется только графопостроитель, подключенный прямо к ЭВМ или к специальному устройству чтения с магнитной ленты (диска). Работа организуется в пакетном режиме в двух модификациях: *on-line* — с рисованием во время счета задачи и *off-line* — с записью "рисунков" на буферную ленту (диск) во время счета и последующим рисованием автономно от машины.

Зависимость от машины и конкретного типа графопостроителя локализуется в нескольких программах нижнего уровня, включаемых иногда в состав операционной системы. Эти программы пишутся на ассемблере и меняются при переносе пакета на другие типы графопостроителей и/или ЭВМ. Примеры таких пакетов описаны в [1-3].

Диалог с помощью дисплея. Графический дисплей подключается прямо к ЭВМ. Для организации диалога требуется операционная система, обеспечивающая работу в режиме разделения времени. Программное обеспечение имеет иерархическую структуру (см. ниже), на верхнем уровне которой организуется работа пользователя, как правило, на проблемно-ориентированных языках. Графический дисплей иногда трактуется операционной системой как составной терминал, используемый для работы с текстовой информацией (алфавитно-цифровая клавиатура), с графической информацией (обмен между ЭВМ и памятью дисплея) и для обработки прерываний (от светового пера и функциональной клавиатуры).

Использование графического дисплея в режиме on-line (пасивный диалог) сводится обычно к просмотру "фильма", вычисляемого машиной; вмешательство пользователя в этом режиме минимально и сводится в основном к запуску и прекращению счета. Наиболее интересен диалоговый режим, когда пользователь и его программа ведут совместную работу над своей задачей (интенсивный диалог): подготовку исходных данных, счет с выдачей на экран промежуточных результатов и исходных данных, накопление видеоматериала на магнитных лентах (дисках) и т.д. Если при этом в составе системы имеется еще графопостроитель, то добавляются новые возможности, связанные с фиксацией результатов на графопостроителе в любой момент времени.

Следует отметить, что некоторые типы дисплеев, например ЕС-7064 [4], могут обеспечивать широкий набор автономных от ЭВМ действий: ввод и редактирование текста, работу с графическим изображением (перемещение по экрану, редактирование, повороты), работу с рисовальным рычагом и т.д. В таких системах функции ЭВМ сводятся большей частью к быстрому выполнению массивных вычислений, необходимых для некоторых видов графических работ (стирание невидимых линий, клипирование, построение проекций трехмерных объектов и т.д.) и обычных расчетов.

Использование терминальной ЭВМ. Наиболее глубокие системы машинной графики получаются в конфигурации "главная ЭВМ - терминальная ЭВМ". В этом случае все графическое оборудование подключается к терминальной ЭВМ, в функции которой входят все "графические" и часть рутинных вспомогательных работ, не требующих привлечения больших вычислительных мощностей: подготовке дисплейного файла, накопление информа-

ции во внешней памяти, обеспечение автономной работы дисплея или графопостроителя и т.п. Главная ЭВМ служит лишь для проведения расчетов и поддержания необходимой организации данных.

С помощью терминальной ЭВМ простыми средствами обеспечивается специализация системы машинной графики под конкретный класс задач (автоматизированное рабочее место).

§3. Иерархия программного обеспечения

Программное обеспечение машинной графики строится по иерархическому принципу применительно к конкретной конфигурации системы. Рассмотрим случай, когда система базируется на главной ЭВМ, к которой подключены графопостроитель и дисплей. Здесь можно выделить три уровня, помеченных на рис. 1.

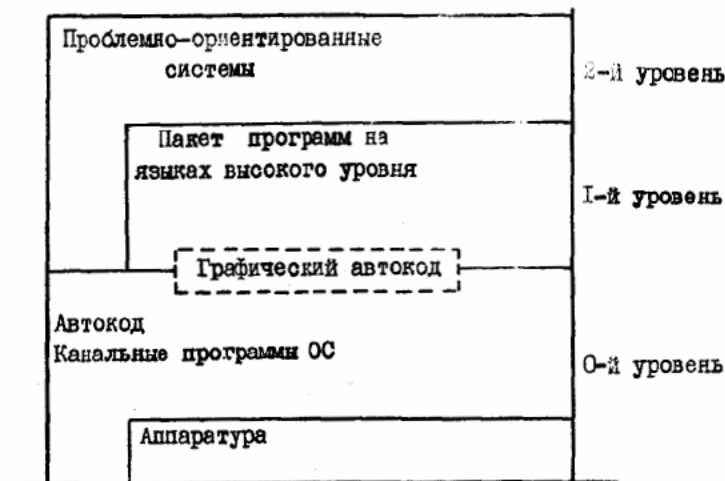


Рис. 1

Нулевой уровень составляет программное обеспечение, закрывающее собой аппаратуру со стороны верхних уровней. Это автокоды (машинно-ориентированные языки) и каналные программы операционной системы, через которые поддерживается работа с графическими устройствами.

Промежуточное положение между нулевым и первым уровнями занимают графические автокоды, которых пишутся программы, управля-

шие работой графопостроителей и дисплеев. С одной стороны, они относятся к нулевому уровню, так как ниже располагается уже аппаратура, выполняющая соответствующие программы в абсолютных адресах; с другой стороны, графические автокоды работают на ЭВМ (трансляция и, быть может, небольшой счет) и готовят программы для передачи в дисплей и графопостроитель, т.е. опираются на каналные программы ОС ИПМ и часто встраиваются в языки высокого уровня. В связи с таким промежуточным положением уровень графического автокода может меняться в широких пределах: от примитивного ассемблера до языка высокого уровня, относящегося к верхним уровням иерархии.

Следующий, первый, уровень составляют обычно пакеты программ, встроенные в языки высокого уровня и предназначенные для работы с графическими устройствами в рамках своего языка (АЛГОЛ, ФОРТРАН).

Наконец, на верхнем, втором, уровне располагаются проблемно-ориентированные системы, базирующиеся на программном обеспечении первого и частично нулевого уровней. Эти системы имеют свой командный язык в зависимости от класса решаемых задач и пишутся с использованием языка высокого уровня и, быть может, автокодов.

Сложившаяся иерархия программного обеспечения связана с тем, что в настоящее время, по-видимому, невозможно рассчитывать на создание универсального языка, обеспечивающего решение любых "графических" задач. Попытки расширить существующие языки программирования введением графических примитивов и действий над ними позволяют охватить в рамках данного языка более широкий класс задач, но в целом проблему не решают: язык остается специализированным на определенный круг задач и претендовать на универсальность, как правило, не может.

В то же время разделение функций в задачах машинной графики по различным уровням (автокод, язык высокого уровня, проблемно-ориентированный язык) позволяет, с одной стороны, построить эффективные (на каждом уровне) системы программирования и, с другой — обеспечить выполнение тех требований, которые предъявляются к программному обеспечению со стороны машинной графики. Этот последний подход принят нами в качестве основополагающего принципа при создании "графического" программного обеспечения для решения научно-технических задач.

§4. Опыт реализации

А п п а р а т у р а. Описываемое ниже программное обеспечение отлаживалось на аппаратуре, показанной на рис.2: к ЭВМ БЭСМ-6 через мультиплексор ввода-вывода (МПИ) были подключены графический

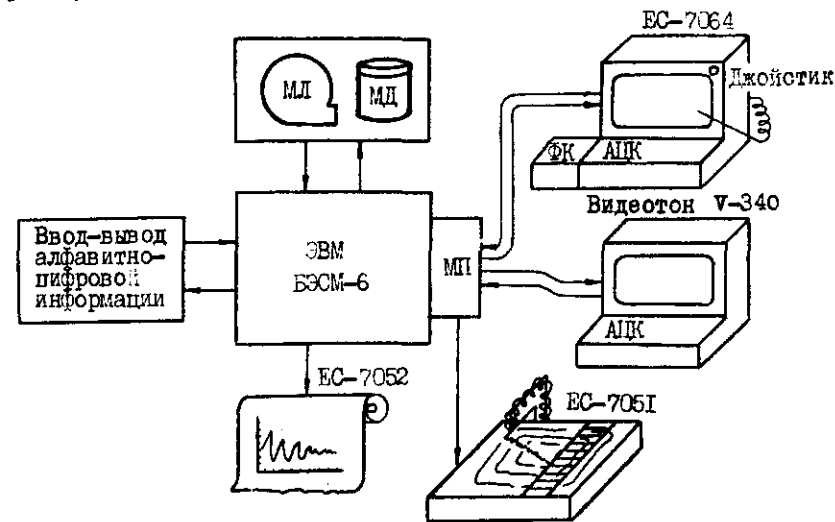


Рис. 2

дисплей ЕС-7064, графопостроитель планшетного типа ЕС-7051, алфавитно-цифровой дисплей Видеотон-340 и, минуя мультиплексор, графопостроитель рулонного типа ЕС-7052.

Программное обеспечение нулевого уровня составили автокоды БЭМШ и МАДЛЕН, машинно-ориентированный язык ЯРМО [5] и каналные программы операционной системы ДИАПАК и ОС ИПМ. В рамках ДИАПАКа организована работа с графопостроителем ЕС-7052 в пакетном режиме on-line, ОС ИПМ использовалась для организации диалога через дисплей ЕС-7064 и терминал Видеотон-340.

К этому же нулевому уровню можно отнести графический Автокод АК-7064, предназначенный для описания графических объектов. Автокод оперирует точками, линиями, текстами для создания изображений, подлежащих выводу на экран, и имеет дополнительные конструкции, присущие распространенным языкам программирования: операторы процедур, стековый механизм построения изображений, средства ре-

дактирования изображений и т.д. Отличительной особенностью Автокода является его тесное взаимодействие с языком высокого уровня, в данной реализации - с ФОРТРАНОм, на котором пишется главная (вычислительная) часть программы. По этой причине в Автокод не включены такие конструкции, как оператор цикла, условный оператор, оператор присваивания, поскольку автокодовские тексты могут включаться в программу наряду с соответствующими фортрановскими предложениями. Трансляция Автокод-сегментов программы сводится к их переводу в вызовы служебных процедур, которые интерпретируют действия, задаваемые Автокодом, и формируют дисплейный файл для передачи его в ЕС-7064. Подробнее язык Автокода и его реализация описаны ниже в настоящем сборнике (стр.14).

Программное обеспечение первого уровня составляет пакет ГРАФОР-А (представляющий собой комплекс ГРАФОР), адаптированный к устройствам ЕС-ЭВМ. Этот пакет позволяет средствами ФОРТРАНа описывать практически любые графические изображения и выдавать их на графопостроители ЕС-7052, ЕС-7051 и графический дисплей ЕС-7064. Подпрограммы ГРАФОРа используются для работы в пакетном режиме on-line.

Специально для работы в диалоговом режиме с графическим дисплеем ЕС-7064 создан пакет ДИПФОР, представляющий собой пакет подпрограмм на ФОРТРАНе. Основным графическим объектом является картина, которую можно описывать и редактировать посредством базовых графических элементов таких, как точка, линия, текст и т.д. Введено четыре типа прерываний: от светового пера, функциональной клавиатуры и двух специальных клавиш. Каждое прерывание предоставляет необходимую информацию о состоянии устройств дисплея: положении луча, имени картины или элементе, на которых произошло прерывание, номере нажатой функциональной клавиши и т.д. Программы обработки прерываний, анализируя получаемую информацию, организуют диалоговый режим работы и исполнение программы. Описания пакетов ГРАФОР-А и ДИПФОР приведены в настоящем сборнике (стр.36 и 57).

Уровень проблемно-ориентированного программного обеспечения представляют несколько систем, соответствующих типичным приложениям машинной графики: пакетный режим при выводе на графопостроитель, диалог при работе системы человек-машина и использование ЭВМ в качестве автоматизированного рабочего места для решения узко специализированных задач.

Первая из проблемно-ориентированных систем - КАРТЫ - предназначена для рисования метеорологических карт: диагностических (создаваемых по данным метеостанций), и прогностических, получаемых в результате расчетов на ЭВМ, когда метеопараметры заданы в регулярной сети точек. Система накапливает телеграммы метеостанций, извлекает из них необходимую информацию, переносит ее в регулярную сеть и рисует линии уровня заданных метеопараметров. Кроме того, рисуются так называемые цансоны - закодированные изображения полученных со станций метеорологических характеристик: ветра, влажности, температуры, давления и т.д. Без привязки к метеобланку система выводит метеокарты на ИП ЕС-7052 (в оперативном режиме) за 15 мин, с привязкой - на ИП ЕС-7051 примерно за 1 час (с высокой точностью). Система написана на ФОРТРАНе и базируется на пакете ГРАФОР-А. В нашей классификации эта задача относится к первому классу.

Система СЕТКА относится к классу систем человек-машина и предназначена для построения в режиме диалога двумерных разностных сеток для областей сложной конфигурации. Информация о контуре области и расстановке граничных узлов задается с графического дисплея в результате диалога с пользователем. Далее, по методике, описанной в [6], проводится расчет сетки, и результат очередной итерации выдается на экран. Пользователь может прервать итерации по своему желанию либо довести их до конца в соответствии с критериями, заложенными в алгоритм. Если полученная сетка не удовлетворяет пользователя, то процесс повторяется сначала: задается новая расстановка граничных узлов или даже подправляется область, когда это необходимо. Результирующая сетка выводится на графопостроитель ЕС-7051 в виде соответствующего документа. Язык системы настолько прост, что неподготовленный пользователь осваивает работу с ней практически за один сеанс. Подбор сетки (4-5 вариантов) для не слишком "хитрых" областей выполняется за 30-40 мин. Система написана на ФОРТРАНе и базируется на пакете ДИПФОР. Задача ведет интенсивный диалог через дисплей и может служить представителем второго класса.

Одним из эффективных применений машинной графики является создание фильмов, рассчитываемых на ЭВМ. Система МонТалл предназначена для сборки фильма из отдельных фрагментов, полученных в результате работы на ЭВМ. В системе реализованы основные действия по монтажу фильма: поиск и просмотр кадров, вставка новых и уда-

ление имеющихся кадров, копирование и наложение кадров, сборка и просмотр окончательного варианта фильма. Отличительной особенностью системы является представление информации о фильме в виде двух объектов. Первый объект - это дерево фильма, в котором в закодированном виде указано соподчинение различных частей фильма и действий над ними, выполняемых на заключительном этапе. Второй объект - это физические кадры фильма, которые представляют собой дисплейные файлы, подлежащие выводу на экран. Все монтажные действия выполняются над деревом фильма и не затрагивают его физических кадров, кроме приказа линеаризации, по которому происходит окончательное формирование фильма из его физических кадров с учетом информации, накопленной в дереве фильма. Благодаря такой организации удается добиться высокой реактивности всей системы в целом. МОНТАЖ написан на ФОРТРАНе и частично на автокоде МАДЛЕН (в основном для программирования работы с деревом фильма). Система базируется на пакете ДИПФОР (для организации диалога) и магнитные ленты (диски) - для хранения кадров и дерева фильма.

Система УСЦДО представляет собой универсальную систему двумерного отображения графической информации. Имеется большой класс задач, в которых изображение строится из стандартных элементов, после чего может выполняться расчет "физических" характеристик получившегося изображения. Типичными задачами такого вида являются сетевые графики и их расчет, радиосхемы и их анализ, сети трубопроводов и т.п. Система позволяет заводить каждый раз свою специальную библиотеку графических элементов и затем с ее помощью создавать конкретные графические изображения. Расчет характеристик выполняется по проблемно-ориентированным программам, которые должны передаваться системе как "черные ящики" с соблюдением некоторых простых требований. Система написана на языке ЯРМО и работает в диалоговом режиме при создании библиотеки элементов, конструировании изображения, счете характеристик, отображении результатов, редактировании изображения и т.д. Системы МОНТАЖ и УСЦДО, по нашей терминологии, относятся к третьему классу задач.

Подробное описание перечисленных выше систем дано в настоящем сборнике. Следует отметить, что рассматриваемые проблемно-ориентированные системы служат не только в качестве иллюстрации развиваемого нами подхода к построению программного обеспечения машин

ной графики, но и представляют самостоятельный интерес при решении определенных задач.

Описанный подход к построению программного обеспечения машинной графики оказался эффективным для решения широкого круга научно-технических задач и создания проблемно-ориентированных систем. Расслоение и иерархия программного обеспечения позволяют, с одной стороны, добиться эффективного решения узко специальных задач машинной графики, и, с другой стороны, предоставляют возможность разработки систем, слабо зависящих от конкретной аппаратуры.

Практическая реализация указанного подхода подтверждает правильность основных принципов, заложенных в программное обеспечение машинной графики для указанного класса задач.

Л и т е р а т у р а

1. БАЯКОВСКИЙ Ю.М., ЛАЗУТИН Ю.М., МИХАЙЛОВА Т.Н., МИШАКО - ВА С.Т. ГРАФОР: комплекс графических программ на ФОРТРАНе. Препринт ИИМ АН СССР, № 90, М., 1975.
2. ГОРИН С.В., ДВОРЖЕЦ В.И., ДЕБЕЛОВ В.А., КУРТКОВ А.Я. Структура СМОГ БЭСМ-6. - В сб.: Машинная графика и ее применение, под ред. Кузнецова Ю.А. ВЦ СО АН СССР, Новосибирск, 1974, с.7-18.
3. ЗИМАН Ю.Д., ГРИНБЕРГ Г.С., ЗАБОЛОТНЫЙ Е.Ф., МИХАЙЛОВА Т.Н. ГРАФОР: комплекс графических программ на ФОРТРАНе. Препринт ИИМ АН СССР, № 109, М., 1975.
4. Единая система ЭВМ. М., "Статистика", 1974.
5. ГОЛОДОВ В.И., ЧЕБЛАКОВ Б.Г., ЧИНИН Г.Д. Машинно-ориентированный язык высокого уровня для ЭВМ БЭСМ-6. - В кн.: Развитие программного обеспечения БЭСМ-6. М., 1975, ВЦ АН СССР, с.50-51.
6. БЕЛИНСКИЙ П.П., ГОДУНОВ С.К., ИВАНОВ Ю.Б., ЯНЬКО И.К. Применение одного класса квазиконформных отображений для построения разностных сеток с криволинейными границами. - "Журнал вычислит. математики и мат. физики", 1975, т.15, № 6, с.1499-1511.

Поступила в ред.-изд.отд.
24 июня 1977 года