

Б-435

На правах рукописи

Белов Сергей Борисович

УДК 681.3.06

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ГРАФИЧЕСКОГО ПРОГРАММНОГО
ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

Специальность 01.01.10 - математическое обеспечение
вычислительных машин и систем

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени канди-
дата физико-математических наук

Дубна - 1984

Работа выполнена в Институте автоматки и процессов управления Дальневосточного научного центра АН СССР.

Научный руководитель:

доктор технических наук,
профессор

Перчук
Виктор Львович

Официальные оппоненты:

доктор технических наук

Имятин
Андрей Иванович,

кандидат физико-математических наук

Карлов
Александр Андреевич

Ведущее научно-исследовательское учреждение:

Институт прикладной математики АН СССР (Москва).

Автореферат расслан "13" февр. 1984 г.

Защита диссертации состоитя "22" марта 1984 г. в "10.30" часов на заседании Специализированного совета Д047.01.04 при Лаборатории вычислительной техники и автоматизации ОИЯИ, г. Дубна Московской области.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Ученый секретарь Совета
кандидат физико-математических наук

Ива = З.М.Иванченко

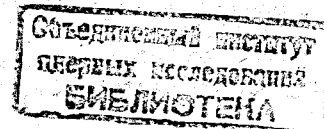
ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Появление в настоящее время вычислительных центров коллективного пользования и сетей ЭВМ выдвинуло задачу создания программного обеспечения многомашинных вычислительных комплексов. В области машинной графики, одного из эффективных инструментов решения многих научно-технических проблем, названная задача определяет актуальность проведения исследований и разработки графического обеспечения для распределенных вычислительных систем.

Требуемое графическое программное обеспечение призвано предоставить абонентам вычислительной системы возможность доступа со своих графических терминалов к прикладным программам, выполняемым на удаленных ЭВМ. При этом в условиях ограниченной пропускной способности каналов передачи данных и реактивности обслуживаемой ЭВМ должна обеспечиваться необходимая для диалогового взаимодействия скорость работы - реактивность графической программы. Удовлетворение этих требований может быть достигнуто путем эффективного разделения функций графической системы между обслуживаемой и абонентской ЭВМ. Так как эффективность разделения зависит от характеристик используемой аппаратуры, задача исследования и разработки распределенного графического программного обеспечения должна решаться конкретно, в нашем случае применительно к распространенному отечественному вычислительному и терминальному оборудованию.

Составной частью задачи создания графического обеспечения распределенной вычислительной системы является разработка графического протокола, определяющего правила и процедуры взаимодействия компонент графического обеспечения, расположенных на разных ЭВМ, и обеспечивающего их совместимость между собой. Отсутствие общепринятого графического протокола, отвечающего современному уровню развития машинной графики, делает необходимым и актуальным разработку такого протокола для распределенной графической системы.

В составе ВЦ ИАНУ ДВНЦ АН СССР имеется ряд ЭВМ различных типов (ЕС-1060, ЕС-1033, М4030, СМ3, СМ4 и др.), связанных каналами передачи данных и образующими локальный многомашинный вычислительный комплекс. Большинство вычислительных машин снаб-



жени графическим оборудованием - дисплеями и графопостроителями (ЕС-7064, БУ-7905, А5433, ЭП-СМ, ЕС-7054 и др.). Планы развития вычислительной базы ДВНЦ предполагают создание единой распределенной вычислительной системы, охватывающей все вычислительные средства научного центра и ориентированной на автоматизацию научных исследований, ведущихся в центре (согласно целевой комплексной НТП О.Ц.025). Опыт решения специфических для региона задач автоматизации исследований (исследования океана, атмосферы и т.п.) показал значительную эффективность применения при их решении средств машинной графики. Наличие вследствие этого потребности в использовании графических средств в развиваемой распределенной вычислительной системе определило необходимость разработки соответствующего графического программного обеспечения.

Цель работы. Целью работы является исследование вопросов организации распределенной графической системы, предназначенной для решения задач автоматизации научных исследований и автоматизации проектирования в условиях распределенной вычислительной системы - вычислительного центра коллективного пользования или сети ЭВМ.

В результате проведения исследования должна быть определена архитектура системы, разработаны ее составные части и выполнена программная реализация системы в виде завершеного программного комплекса, пригодного для использования при решении практических задач.

Основные задачи, решенные автором и представленные в работе, следующие:

- исследование и разработка логической и программной структуры базовой распределенной графической системы с фиксированными функциями компонент, отвечающей сформулированным требованиям и условиям применения;
- исследование и разработка графического протокола, обеспечивающего совместное функционирование компонент распределенной графической системы;
- исследование и разработка программных средств для работы с графической информацией при создании баз данных в графических прикладных программах;
- программная реализация на ЕС и СМ ЭВМ распределенной графической системы и средств для создания баз данных графической прикладной программы.

Научная новизна. Предложено новое решение задачи построения графического программного обеспечения распределенной вычислительной системы, в результате чего у пользователей появилась возможность диалоговой работы с прикладными программами удаленных ЭВМ при использовании низкоскоростных каналов передачи данных (телефонные линии) и маломощных абонентских ЭВМ.

Исследованы основные функции графической системы и разработана новая логическая структура распределенного графического программного обеспечения, имеющая сбалансированное распределение нагрузки на физические элементы (ЭВМ, канал передачи данных), за счет которого достигнута требуемая реактивность графической системы.

Предложен оригинальный графический протокол для распределенной графической системы с фиксированными функциями компонент и сегментной организацией графической информации. Протокол предоставляет компонент графического программного обеспечения многомашинного вычислительного комплекса унифицированное средство взаимодействия для выполнения совместной работы и обмена графической информацией.

Предложены, реализованы и практически опробованы новые транспортные алгоритмы обмена командами графического протокола, обеспечивающие эффективную передачу команд и обработку ошибок с более высокой скоростью, чем в аналогичных разработках.

Предложен и реализован новый метод работы с графической информацией при создании баз данных в графических прикладных программах. Метод обеспечивает простоте в использовании средства для работы с графической информацией и оставляет пользователю свободу выбора структурной организации данных и средств для работы с ними.

Автором предложен отличающийся новизной эффективный метод программной реализации графического обеспечения, примененный при построении распределенной графической системы УНИГРАФ-С и базисной системы управления структурированными данными ПРИС. Он допускает возможность настройки на различные внешние языки применения, изменение мнемонических имен графических процедур, динамический вызов графических процедур, возможность сбора статистики о работе программной системы и настройка системы на применение для более эффективной работы.

Практическая ценность. На основе проведенных в работе исследований автором создано графическое программное обеспечение

для распределенной вычислительной системы, включающей ЭС и СМ ЭВМ — основных типов ЭВМ, используемых в ДВНЦ. Созданное автором программное обеспечение прошло практическую проверку в ИАПУ ДВНЦ АН СССР при решении прикладных задач, связанных с конструированием корпусов изделий. Программное обеспечение передано ряду других организаций страны (МИИ, КИСИ, БНМЛКЭ и др.). Успешный опыт его использования подтвердил эффективность и универсальность предложенных программных средств, целесообразность их применения для решения различных задач как в условиях распределенной вычислительной системы, так и в случае одномашиных вычислительных конфигураций.

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались на Республиканской школе молодых ученых по системному и теоретическому программированию (Львов, 1979), на советско-финском симпозиуме по интерактивным системам (Тбилиси, 1979), на пятой и шестой Всесоюзных школах-семинарах по вычислительным сетям (Владивосток, 1980; Вильянда, 1981), на второй Всесоюзной конференции по вычислительным сетям коммутации пакетов (Рига, 1981), на второй Всесоюзной конференции по проблемам машинной графики (Новосибирск, 1981), на втором совместном семинаре молодых ученых ВЦ АН СССР и ДВНЦ АН СССР по прикладным аспектам математической кибернетики (Владивосток, 1981), на общегородском семинаре факультета ВМК МГУ (Москва, 1982). Работа демонстрировалась на международной выставке социалистических стран "ЕС ЭВМ и СМ ЭВМ — 79" (Москва, 1979).

Публикации. Основные результаты работы опубликованы в 9 печатных трудах.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, приложения и списка литературы, включающего 104 наименования. Работа содержит 139 страниц машинописного текста, 23 рисунка и 8 таблиц объемом 20 страниц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении рассматривается возникновение и развитие проблемы создания графического программного обеспечения для распределенных вычислительных систем. Формулируются преимущества распределенного графического программного обеспечения перед локальными графическими системами. Рассматривается состояние проблемы

в настоящее время и работы, ведущиеся в области создания распределенных графических систем в стране (ИИИ АН СССР, ОИИИ, ВЦ СО АН СССР и др.) и за рубежом. Формулируется основная цель и задачи, поставленные в диссертации. Кратко излагается содержание диссертации по главам.

В первой главе делается постановка задачи исследования и разработки графического программного обеспечения для распределенной вычислительной системы. Распределенное графическое программное обеспечение, создание которого является целью работы, ориентируется на использование широко распространенного вычислительного и терминального оборудования и оборудования передачи данных. В совокупности это определяет конкретные аппаратные условия работы графической системы, на основе анализа которых может быть определено эффективное разделение функций системы между ЭВМ и разработана организация графической системы. Согласно широко принятой классификации децентрализованного графического программного обеспечения, разрабатываемая таким образом графическая система относится к системам с фиксированными функциями компонент, расположенных на связанных ЭВМ.

Графическое программное обеспечение, направленное на решение достаточно широкого класса проблемных задач, должно предоставлять прикладным программам большое число различных возможностей и средств (построение графиков, пространственных объектов и др.). Согласно признакам методологии построения графических средств задача создания универсального по применениям графического обеспечения разделяется на задачу создания базовых и специальных средств, являющихся относительно независимыми друг от друга.

Базовые графические средства обеспечиваются распределенной графической системой. Задача ее разработки разделена на этапы, основным из которых является анализ и разработка физической, логической и программной структур системы. Эти вопросы рассматриваются во второй главе. Взаимодействие компонент графической системы, расположенных на разных ЭВМ, осуществляется с помощью графического протокола. Задача его создания включает часть, направленную на разработку функционального языка, системы кодирования команд и транспортных средств протокола. Эти вопросы решаются в третьей главе.

Задача создания специальных графических средств является весьма широкой

вследствие многообразия этих средств. Исходя из специфики области применения создаваемого графического обеспечения (автоматизация исследований, ведущихся в ДВНЦ), в диссертации выделена задача разработки средств для работы с графической информацией при создании баз данных в графических прикладных программах. Решение включает: анализ и разработку логической структуры соответствующих программных средств; разработку организации данных и операций для работы с данными; реализацию программных средств.

Во второй главе рассматривается задача исследования и разработки базовой распределенной графической системы.

Физическая структура распределенной графической системы объединяет вычислительные и терминальное оборудование, а также канал передачи данных, которые составляют аппаратную среду функционирования системы. Анализ физической структуры направлен на определение конфигурации и основных требований к используемой аппаратуре. Выбранная физическая структура графической системы является двухмашинной, что отвечает практике применения графических средств - прикладная программа управляет одним графическим рабочим местом, т.е. физически локальным набором графических устройств. В качестве обслуживающей ЭВМ (О-ЭВМ), выполняющей прикладную программу, предполагаются распространенные модели вычислительных машин: ЕС-1035, 1045, 1060 и аналогичные, обладающие достаточной вычислительной мощностью. Абонентской вычислительной машиной (А-ЭВМ), управляющей графическими устройствами, является одна из перспективных моделей Системы Малых ЭВМ - СМ-4 и другие последующие модели. Требования к каналу передачи данных определяются из рассмотренных информационных потоков между компонентами графической системы, расположенными на О- и А-ЭВМ: дуплексный или полудуплексный тип, скорость передачи не менее 1,5 Кбод (4 и выше классы обслуживания абонентов на сетях данных общего пользования согласно рекомендации Х.1 МККТТ). Конкретный вид канала (физическая линия, выделенная или коммутируемая телефонная линия и т.д.) является несущественной, т.к. его специфика учитывается и "закрывается" транспортными протоколами нижних уровней.

Логическая структура распределенной графической системы включает совокупность функций, выполняемых системой, порядок взаимодействия функциональных элементов, информационные потоки. Анализ логической структуры системы, следовательно, включает

анализ графических возможностей, предоставляемых прикладной программой, анализ работы и организации системы. Искомое распределение функций графической системы между О- и А-ЭВМ выбирается согласно требованиям:

- 1) обеспечение минимальности потока данных между компонентами системы;
- 2) соблюдение характерных времен реакции на диалоговые запросы. Учитываются также ограниченные вычислительные ресурсы А-ЭВМ и значительный объем вычислений в прикладной программе. Объектом анализа является логическая структура графической прикладной системы - комплекса из прикладной программы и графической системы. Полученное в результате анализа распределения функций следующее - компонента О-ЭВМ: 1) взаимодействие с прикладной программой, 2) формирование, преобразование и отсечение изображения, 3) управление вводом данных и работа с очередью запросов ввода; А-ЭВМ: 1) построение и модификация графического метафайла, 2) генерации терминального файла и управление визуализацией, 3) обработка прерываний от устройств ввода и формирование запросов ввода.

Логическая структура графической системы рассматривается по группам графических функций:

- 1) формирование и преобразование графического изображения;
- 2) управление представлением изображения на устройстве вывода;
- 3) структурная организация и модификация изображения;
- 4) ввод данных с логических устройств ввода.

Формирование логического изображения выполняется в настоящей графической системе координатным методом, имеющим ряд преимуществ перед некоординатным (например, удобство использования при решении научно-технических задач). Состав графических примитивов определен в соответствии с типовыми возможностями распространенного графического оборудования: установка в точку, отрезок прямой линия, маркер, отрезок алфавитно-цифровых символов. Процесс преобразования выводимой графической информации - один из наиболее нагруженных в графической системе: согласно данным по опытной эксплуатации системы (гл. 3), доля примитивов в общем объеме генерируемой графической информации составляет около 70%. В работе проводится анализ организации процесса преобразования и отсечения изображения и предлагается эффективный аппарат обработки выводимой графической информации.

Одним из средств повышения производительности обработки графической информации является предложенная в работе двухэтапная схема отсечения графического изображения. Ее применение позволяет сократить объем информации, подвергаемой геометрическим преобразованиям в процессе вывода изображений, за счет предварительного отсечения изображения в исходной координатной системе. Отсечение производится по примерному габаритному окну, включаемому окну, заданное программистом. В работе получена оценка повышения производительности процесса обработки графической информации и определены условия применимости предложенной схемы. В случаях, когда использование двухэтапной схемы отсечения является неэффективным, может быть осуществлен переход на обычную одноэтапную схему отсечения. Выбор схемы отсечения выполняется средствами графической системы. В работе предложена логическая структура процесса формирования и обработки выводимой графической информации.

Анализируются методы управления представлением изображения на устройстве вывода, основывающиеся на применении управляющих параметров, называемых атрибутами изображения. Выявляются преимущества и недостатки использования локальных и глобальных управляющих атрибутов и рассматривается вопрос о взаимном влиянии глобальных и локальных атрибутов. В результате сделан вывод о целесообразности деления атрибутов на непересекающиеся классы: локальные (атрибуты примитивов) и глобальные (атрибуты сегментов). Состав атрибутов близок к традиционно используемому: цвет, яркость, тип линии и т.д. Дополнительно к ним в работе предложено использовать размерный атрибут "наклон алфавитно-цифровых символов". В работе показывается, что наличие такого атрибута, помимо расширения функциональных возможностей по формированию изображений, позволяет сократить объем информации, передаваемой между О- и А-ЭМ. В работе получены соотношения, связывающие значения размерных атрибутов изображения в разных системах координат, используемых в процессе формирования и обработки изображения, и предложена логическая структура средств управления атрибутами изображения.

В главе исследуются возможности структурной организации графической информации. В качестве базовой структурной единицы в работе принят сегмент - типичная структурная единица в большей части графических систем. Однако анализ возможностей сегментной организации и потребности прикладных программ в струк-

турной организации изображений показывает недостаточность одного базового уровня структуризации. В связи с этим в работе предлагается развитый механизм иерархической организации графических изображений, построенный над уровнем сегментов. Предложенный механизм обеспечивает формирование иерархических структур сегментов с полным набором возможностей идентификации и модификации на всех уровнях иерархии. Основой построения названного механизма является идентификация сегментов составными именами. Рассмотрены операции модификации изображения применительно к иерархически организованной графической информации и предложена логическая структура соответствующих средств.

Возможность организации диалоговой работы обеспечивается в предложенной графической системе средствами ввода данных с графических устройств. Названные средства ввода строятся на основе использования примитивных логических устройств ввода в сочетании с несколькими методами получения данных с них. В работе приняты примитивы ввода: "указатель", "алфавитно-цифровая клавиатура", "кнопка", "координатное" и "линейное" устройства. Проанализированы использование различных методов получения данных для разных логических устройств ввода и временные диаграммы их работы в условиях распределенной вычислительной системы. Показано, что наименьшие временные задержки обеспечивает асинхронный метод получения данных с устройств ввода. Вместе с тем более простым в реализации и использовании является синхронный метод. В связи с этим в работе предлагается универсальный механизм ввода данных, обеспечивающий возможность получения данных как синхронным (опрос состояния устройства или по событию ввода), так и асинхронным способом. Помимо работы с фиксированными логическими устройствами ввода автором предложен метод работы с "нестандартными" устройствами ввода, который предоставляет возможность ввода информации со специализированных графических терминалов. Такая возможность поддерживается предложенным в работе средством нерегламентированного ввода данных. В совокупности с процедурой нерегламентированного вывода данных указанные средства допускают прямое взаимодействие прикладной программы с драйвером графического терминала с целью использования его дополнительных возможностей. Благодаря этому достигается более полное использование функциональных возможностей терминальной аппаратуры.

В главе рассмотрена программная структура распределенной графической системы УНИГРАФ-С, реализующая предложенные графические возможности. Существенными особенностями программной структуры являются: 1) наличие модулей сопряжения с различными языками программирования, дающими возможность работы с разными алгоритмическими языками; 2) динамический вызов исполнительных модулей графической системы, сокращающий ресурсы оперативной памяти, которые требуются системой; 3) наличие средств сбора статистики о работе системы, позволяющих настраивать ее на условия применения.

Третья глава посвящена задаче исследования и разработки графического протокола для распределенной графической системы. Являясь средством связи элементов графического обеспечения распределенной вычислительной системы, графический протокол должен отвечать ряду требований. Наиболее важные из них: 1) терминальная независимость команд протокола; 2) универсальность команд, отвечающая опыту, накопленному в области унификации графических средств; 3) независимость команд протокола от типов ЭВМ. В главе рассматриваются известные графические протоколы (NGP, протокол ИВТА АН ВНР, протокол ВЦ СО АН СССР), отмечаются их особенности и проводится сравнение с предложенным в работе протоколом.

Функциональный язык графического протокола определяет состав и семантику команд и данных, которыми обмениваются компоненты графической системы. Графический протокол как протокол управления виртуальным терминалом может рассматриваться как набор команд виртуального терминала, допускающего вывод и ввод графической информации. В целях обеспечения совместимости различных реализаций протокола и возможности их адаптации к условиям использования различные виртуальные графические терминалы разделены на ряд типов, отличающихся своими возможностями. Указанные типы введены по аналогии с графической системой путем определения классов команд вывода и ввода и деления множества команд в классах на три функциональных уровня. В графическом протоколе использован метод параметризации виртуального терминала, позволяющий в известных пределах перераспределять графические функции системы между ее компонентами на О- и А-ЭВМ.

Средства ввода графического протокола охватывают команды задания графических примитивов, команды управления атрибутами примитивов и сегментов, команды сегментации и модификации изоб-

ражения. В главе приводится анализ различных форм представления примитивов, принятых в графических протоколах, и обосновывается выбор абсолютной формы задания примитивов с настраиваемой длиной координатной части. Вследствие этого число команд задания примитивов ограничено четырьмя против 11 процедур внешнего интерфейса графической системы. Сокращение числа команд протокола является характерным для данной работы и направлено на упрощение реализации протокола. Аналогичная задача решалась при конструировании средств управления атрибутами, задание 9 атрибутов примитивов и 7 атрибутов сегментов реализуется двумя командами протокола. Изменение действия команд в соответствии с видом атрибута выполняется модификатором команды, который является кодом атрибута. Метод модификации действия команды широко применяется в настоящем графическом протоколе при работе с однотипными величинами — атрибутами, значениями умолчания, в командах ввода. Механизм сегментации протокола в целом аналогичен используемому в графической системе (и рассмотренному выше). Но в отличие от последнего, сегменты идентифицируются простыми целочисленными величинами. Отображение целочисленных идентификаторов протокола на символичные составные имена графической системы выполняется обслуживающей компонентой системы. Такое решение позволяет упростить абонентское программное обеспечение, что подтверждено опытом реализации обоих вариантов именования.

Разработка средств ввода графического протокола включает анализ и выбор базовых логических устройств ввода данных, методов работы с ними, учет специфики распределенности функций графической системы. Целью первой части задачи является определение набора устройств ввода, которые обеспечили бы потребности системы и удовлетворяли аппаратным ограничениям (скорость передачи данных, реактивность канала передачи данных и О-ЭВМ). В главе рассматриваются различные базовые логические устройства. Выбранные устройства ввода значительно отличаются от принятых в известных графических протоколах и, как показано в работе, обладают по сравнению с ними определенными преимуществами. Методы работы с базовыми логическими устройствами ввода аналогичны принятым в графической системе. Указанные три метода ввода данных обеспечиваются тремя группами команд — запрос ввода и отчет о выполненном вводе данных. Такое построение средств ввода обладает большей функциональной мощностью ввода по возникновению событий ввода, т.к. позволяет, в отличие от

графической системы, получать данные с любой совокупности устройств ввода данных.

Метод параметризации виртуального графического терминала поддерживается в графическом протоколе командами запроса и отчета о возможностях и характеристиках абонентского графического программного и аппаратного обеспечения. В главе рассматривается механизм получения параметров и их состав.

Транспортные средства графического протокола обеспечивают передачу команд протокола с требуемым для нормальной работы графической системы качеством (упорядоченность, отсутствие потерь, управление потоком). Для удовлетворения требований в работе предложены оригинальные алгоритмы обмена командами протокола. На основе рассмотрения специфики потока команд графического протокола (малый размер команд, высокая интенсивность потока) показана необходимость объединения передаваемых команд в более крупные элементы данных (пакеты). Предложены алгоритмы пакетирования и обмена пакетами и эффективный алгоритм обработки ошибок, обнаруживаемых в пакетах. Предложенные алгоритмы обмена данными обеспечивают управление потоком команд, упорядочивание и безошибочность передачи. Алгоритмы отличаются степенью распараллеливания процессов генерации, транспортировки и обработки команд протокола — более развитый алгоритм обеспечивает одновременное выполнение перечисленных процессов, хотя обладает большей сложностью по сравнению с другим. Алгоритмы обработки команд ввода осуществляют упорядоченную и безошибочную передачу данных к компоненте графической системы на О-ЭВМ, поддерживают работу с таймерами О- и А-ЭВМ, выполняют приоритетное обслуживание запросов синхронного и асинхронного ввода с событийных устройств.

В главе проводится анализ опыта эксплуатации предложенного графического протокола в распределенной графической системе УНИГРАФ-С. Работа распределенной графической системы испытывалась на экспериментальных участках вычислительной сети, созданных в ИАПУ ДВНЦ АН СССР в 1980-1981 г.г. При работе контролировалось время реакции системы на запрос оператора дисплея при различных алгоритмах передачи данных и различных вариантах расположения компонент системы, а также собиралась статистика об использовании команд графического протокола. Полученные данные обсуждаются в работе.

В четвертой главе рассматривается задача создания програм-

мных средств для работы с графической информацией при создании баз данных в графических прикладных программах. База данных графической программы предназначена для размещения структур данных, составляющих с соответствующими алгоритмами модели исследуемых (конструируемых) объектов, для построения архивов данных и библиотек стандартных элементов, для хранения результатов расчетов и т.п. Разнообразие объектов, исследуемых в институтах ДВНЦ, не позволяет выделить какую-либо фиксированную структурную организацию данных, т.к. организация данных определяется в общем случае характером исследуемого объекта. Вследствие этого основными требованиями к средствам для работы с графической информацией, используемым при создании баз данных в графических программах, являются: 1) свобода выбора прикладным программистом требуемой структурной организации данных и средств для работы с ними и 2) простота использования средств для работы с графической информацией, хранимой в базе данных. В работе предлагается метод работы с графической информацией, удовлетворяющий названным требованиям, и логическая структура специализированного графического модуля, реализующего этот метод. Модуль выполняет формирование блоков с закодированной графической информацией, обменивается блоками с прикладной программой, осуществляет визуализацию блоков графической информации. Размещение блоков графической информации в базе данных, извлечение их из базы данных, трассировка структуры данных осуществляется прикладной программой. Входной информацией для модуля является описание графического изображения, выполняемое прикладной программой с помощью процедур, аналогичных принятым в распределенной графической системе УНИГРАФ-С (рассмотрены во второй главе). Форма представления кодированной графической информации в блоках соответствует командам предложенного в работе графического протокола. Работа с базой данных выполняется графической прикладной программой с помощью удовлетворяющей решаемой задаче системы управления базой данных. Основными требованиями к системе управления базой данных, используемой в интерактивной графической прикладной программе, являются: 1) малое время выполнения запросов к данным, 2) ограниченная ресурсоемкость, 3) возможность работы с разными языками программирования, 4) возможность построения структур данных требуемой сложности. Рассмотрение распространенных систем управления базами данных показывает, что они не во всех случаях в полной мере удов-

летворит перечисленным требованиям. Автором разработана и реализована оригинальная система управления структурированными данными, ориентированная на задачи, решаемые с использованием средств машинной графики. Структурная организация данных в разработанной системе основывается на сетевом подходе, который обеспечивает требуемую сложность организации информации и относительно малое время выполнения запросов (установленного вида). В главе рассматривается предложенная логическая схема данных, включающая четыре типа элементов данных. В физической организации данных используются кольцевые списки, допускающие движение по списку в обоих направлениях. В работе предложен язык манипулирования данными, составляющий средства, предоставляемые прикладной программе для работы с данными. Он включает группы команд: формирования, модификация структуры данных, поиска и выборки данных. Показано, что предложенный язык обеспечивает полный набор операций для работы со структурами данных, отвечающих принятой схеме. Программная структура системы управления структурированными данными построена по единой с распределенной графической системой УНИГРАФ-С методике. Отличительными особенностями программной реализации является наличие механизма множественного доступа к данным из нескольких подзадач; страничная организация физической памяти со специальным страничным методом доступа к данным на накопителях на магнитных дисках, динамическое управление пространством физической памяти, обеспечивающее отсутствие "мусора" при модификации структуры данных.

Основные результаты, полученные в диссертации

1. Решена актуальная задача создания графического программного обеспечения для распределенной вычислительной системы Дальневосточного научного центра (ДВНЦ) АН СССР, организуемой для целей автоматизации исследований, проводимых в центре. В результате пользователям предоставляется принципиально новая возможность работать через абонентские графические терминалы с программами, которые выполняются на удаленных ЭВМ как локального многомашинного комплекса Института автоматизации и процессов управления, так и региональной вычислительной системы научного центра с вводом последней в эксплуатацию.

2. Разработана и реализована стилизованная новизной логическая структура базовой распределенной графической системы,

существенными особенностями которой является:

- сбалансированное разделение функций графической системы между обслуживающей и абонентской ЭВМ, обеспечивающее требуемое качество работы прикладных программ (реактивность и скорость выполнения) при использовании высокоскоростных каналов передачи данных и абонентских ЭВМ малой мощности;

- более эффективный по сравнению с аналогичными разработками аппарат формирования и обработки выводимой графической информации. Новыми элементами в нем являются предложенная в работе двухэтапная схема отсечения графического изображения, развитый механизм иерархической организации графической информации, расширенный состав размерных атрибутов изображения; последнее, в частности, позволило сократить объем информации, передаваемой по линии связи, за счет использования генераторов символов абонентских ЭВМ;

- универсальный механизм ввода данных с графических устройств, обеспечивающий возможность получения данных методом опроса состояния или по возникновению события ввода синхронным или асинхронным способом. Предложен отличающийся новизной метод работы с "нестандартными" устройствами ввода, который предоставляет пользователям качественно новую возможность ввода данных со специализированных устройств по сравнению с аналогичными разработками. Благодаря этому достигается более полное использование функциональных возможностей терминальной аппаратуры.

3. Предложен и реализован оригинальный графический протокол для распределенной графической системы с фиксированными функциями компонент и сегментной организацией графической информации, отличающийся:

- новым, в сравнении с известными графическими протоколами, функциональным языком, имеющим уровневую структуру и включающим средства параметризации компонент графической системы, что обеспечивает совместимость и упрощает реализацию протокола на разных ЭВМ;

- эффективными транспортными средствами, включающими разработанные автором алгоритмы обмена командами протокола и обработки ошибок в пакетах команд. Эти средства позволяют добиться более высокой скорости передачи графической информации, чем в аналогичных разработках, за счет параллельности выполнения генерации, транспортировки и интерпретации команд протокола.

4. Предложен новый метод работы с графической информацией

при создании баз данных в графических прикладных программах. Он предоставляет пользователям простые в использовании средства для работы с графической информацией и оставляет ему свободу выбора структурной организации данных и средств для работы с ними. Выполненная в работе реализация метода включает:

- специальный графический модуль, выполняющий формирование и визуализацию блоков кодированной графической информации;

- оригинальную систему управления структурированными данными для работы со сложными сетевыми структурами данных, отличающаяся возможностью параллельной обработки данных из подзадач прикладной программы и относительно небольшими требованиями к вычислительным ресурсам.

5. Разработанное графическое программное обеспечение реализовано в виде завершеного программного комплекса на широкораспространенных типах ЭВМ - ЕС и СМ, основных для вычислительной базы Дальневосточного научного центра. За счет того, что на всех этапах реализации комплекса учитывались особенности вычислительной системы ДВНЦ (типы ЭВМ, их системное программное обеспечение, использование стандартных телефонных каналов), было достигнуто снижение ресурсоемкости и повышение быстродействия программ комплекса.

Созданное графическое обеспечение принято межведомственной комиссией АН СССР и ГКНТ СМ СССР и подготовлено к сдаче в Государственный фонд алгоритмов и программ. Машинная и терминальная независимость предложенной логической структуры распределенной графической системы и графического протокола позволят реализовать их в других многомашинных вычислительных комплексах на других типах оборудования.

Основные результаты диссертации опубликованы в работах:

1. Белов С.Б., Бобков В.А. Универсальная графическая система для сети ЭВМ. Средства вывода. - Владивосток, 1979. - 46 с. (Препринт/ИАПУ ДВНЦ АН СССР).
2. Белов С.Б. Иерархическая структура данных для интерактивной графической системы. - Владивосток, 1979. - 37 с. (Препринт/ИАПУ ДВНЦ АН СССР).
3. Белов С.Б. Организация динамической загрузки программ в ОС ЕС. - Владивосток, 1979. - 18 с. (Препринт/ИАПУ ДВНЦ АН СССР).
4. Бобков В.А., Белов С.Б. Сетевой графический протокол. - Владивосток, 1980. - 40 с. (Препринт/ИАПУ ДВНЦ АН СССР: 23).
5. Белов С.Б., Бобков В.А. Сателлитная графическая система с фиксированным распределением функций. - Проблемы МСНТИ/МНТИ, 1981, № 3, с. 20-25.
6. Бобков В.А., Белов С.Б. Универсальная графическая система. - Проблемы вычислительной техники/МНТИ, Координационный комитет АН СССР по вычислительной технике, 1981, спец.выпуск, с.145-155.
7. Бобков В.А., Белов С.Б., Соловух И.А. Опыт эксплуатации протокола управления виртуальным графическим терминалом. - В кн.: Вычислительные сети коммутации пакетов, ч.2: Тез. докл. Всесоюз. конф., Рига, 1981, с. 109-112.
8. Белов С.Б. Система управления базой графических данных ПРИС.- В кн.: Проблемы машинной графики: Матер. Всесоюз. конф., Новосибирск, 1982, с. 11-18.
9. Бобков В.А., Белов С.Б. Графический протокол. - Программирование, 1983, № 1, с. 39-49.