

# Система управления базами графических данных

Ю.Г.Васин, Ю.В.Ясаков

## Аннотация

В статье изложены основные принципы построения специализированной системы управления базами графических данных. Рассмотрена ее архитектура, модели и форматы данных, основные средства программного обеспечения.<sup>1</sup>

## 1. ВВЕДЕНИЕ

При построении баз данных, содержащих сложную графическую информацию, по сравнению с традиционными базами данных возникают дополнительные проблемы, связанные с большими объемами данных, их размерностью и увеличением количества связей между элементами данных. Это приводит к разработке существенно отличающихся от традиционных способов представления информации и специальных структур данных для ее представления.

Представление информации в базах данных графической информации имеет ряд существенных отличий от представления информации в традиционных СУБД:

- основным типом данных являются пространственные данные, что порождает ряд проблем как практического (объем памяти, быстродействие), так и семантического (проблема описания) характера;
- потребность хранения в базах данных очень большого количества логических связей. В достаточной степени сложными являются логические связи между элементами графической информации могут отражать значительное количество слабоформализуемых отношений. Очень часто необходимо совместное использование как пространственных, так и непространственных данных, поэтому при формировании баз данных возникает дополнительная проблема их интеграции; возросшая сложность решаемых задач и требования к эффективности их выполнения обуславливают необходимость множественного представления элементов графической информации. Часто от программы обработки требуется как оперативность, так и возможность выполнения незапланированных

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант поддержки ведущих научных школ № 00-15-96108, и ФЦП «Интеграция», проект К 03392

запросов, причем запросы могут формулироваться в терминах внутренних и внешних характеристик. Удовлетворение этих требований приводит к необходимости множественного представления;

- информационная избыточность, порождающая проблему сжатия информации.

В процессе развития систем обработки сложноструктурированной семантически насыщенной графической информации появилось несколько концепций и подходов к ее представлению и большое количество структур данных для реализации этих представлений.

Традиционные средства поиска информации, учитывая ее громадные объемы, не удовлетворяют требованиям оперативного поиска необходимой информации.

## 2. МОДЕЛИ И СТРУКТУРЫ ДАННЫХ

Одним из основных направлений исследований в области организации хранения и обработки графической информации является проектирование системы управления базами графических данных. Здесь можно выделить два основных аспекта:

- проектирование моделей данных (выбор и проектирование логической и физической модели данных);
- проектирование соответствующего программного обеспечения (СУБД).

Наиболее распространенными и популярными в настоящее время являются СУБД, основанные на реляционной модели данных. Реляционные базы данных характеризуются двумя основными свойствами:

- вся информация представляется одними значениями данных, без использования каких-либо структурных и связующих параметров, видимых пользователю;
- интерфейс пользователя реализуется при помощи языка очень высокого уровня, на котором запросы можно формировать без алгоритмических или процедурных спецификаций.

Реляционное представление данных - двумерные таблицы данных с изменяющимися взаимосвязями между различными столбцами. Это близко напоминает представление данных самим человеком. Основные достоинства реляционной модели:

- простота (пользователь формулирует запросы в терминах информационного содержания и не должен принимать во внимание сложные аспекты системной реализации);
- непроцедурные запросы (запросы не строятся на основе заранее определенной структуры);
- высокая степень независимости данных (возможность эксплуатации базы данных без знания деталей ее построения);
- легкость установления новых связей.

Основные недостатки реляционной модели:

- сравнительно низкая производительность;

- большой процент служебных данных;
- проблемы при хранении и организации обработки нетрадиционных данных (метрическая информация, растровые изображения и т.п.).

К настоящему времени все большее число разработчиков пользовательских приложений для СУБД сталкиваются с тем, что применение реляционных моделей не обеспечивает требований, предъявляемых к срокам разработки проектов и скорости обработки запросов, особенно в случае проектирования систем, предназначенных для хранения и обработки сложных неструктурированных данных. Поэтому крупнейшие разработчики СУБД стали встраивать в свои продукты поддержку объектной ориентации. Объектный подход к организации баз данных можно оценить следующим образом - объектно-ориентированная модель данных близка к сущностям реального мира. Объекты можно хранить и использовать непосредственно, не раскладывая их информацию по таблицам. Типы данных определяются разработчиком и не ограничиваются набором предопределенных типов. В таких СУБД данные объекта и методы его описания помещаются в хранилище как единое целое.

Представленная в статье специализированная система управления базами графических данных иерархического типа, основана на объектно-ориентированном подходе к представлению и обработке сложно структурированной пространственно распределенной графической информации [1].

При ее разработке были учтены следующие основные особенности обрабатываемой информации:

- большие объемы информации;
- сложные структуры и модели данных;
- произвольное метрическое описание объектов;
- пространственная привязка атрибутов;
- сложные межобъектные связи;
- топологическое взаимодействие объектов.

Разработанная СУБД обладает следующими основными отличиями от существующих способов представления и обработки аналогичной информации:

- данные одного сложного графического объекта (например, листа топокарты) содержатся в одном файле (базе данных), что облегчает их защиту, учет и архивацию, обеспечивает ускорение процесса передачи данных и надежность их контроля, позволяет разрабатывать эффективные средства манипулирования данными;
- вся информация об отдельном объекте содержится в одной структурированной записи. Этим обеспечивается быстрое получение любого объекта как единого целого (например, дороги со всеми придорожными сооружениями);
- объект базы данных имеет динамическую структуру, адаптируемую под потребности конкретных приложений. Объект может находиться в

базе данных или выдаваться пользователю в любой комбинации его составных частей;

- объект допускает хранение любой (в том числе и мультимедийной) информации;
- отсутствуют ограничения на структуру объектов в базах данных, что существенно облегчает процесс отображения объектов реального мира: нет необходимости разбивать их на части для того, чтобы поместить в различные отношения, как это, например, требуется в реляционных СУБД;
- практически отсутствуют ограничения на общее количество объектов в базе данных и на размеры этих объектов;
- средства защиты как базы данных в целом, так и ее объектов (вплоть до одного отдельного объекта) от несанкционированного доступа, обеспечивают реализацию распределенного доступа к информации;
- используется ключевая форма задания атрибутов объекта. Это позволяет, во-первых, иметь в объекте любое переменное количество атрибутов и, во-вторых, иметь произвольный порядок следования атрибутов в объекте. В этом заключается отличие от моделей данных большинства других (записеориентированных) СУБД, где на структуру записи накладываются довольно жесткие ограничения;
- используется самоопределенная форма представления атрибутов. Все атрибуты содержат в себе свое полное описание - в том числе и тип ее значения;
- имеется возможность рекурсивного кодирования сложных атрибутов для структурированного описания многоаспектных атрибутов объекта;
- может использоваться аппарат пространственной координатной «привязки» любого атрибута, позволяющий эффективно описывать пространственно-распределенные атрибуты. Каждый атрибут может иметь свое метрическое описание;
- имеется возможность установления отношений между объектами как внутри одного слоя, так и между любыми слоями;
- допускается сочетание иерархического способа представления информации с возможностью установления прямых сетевых ссылок между любыми объектами базы данных;
- действует инвариантность по отношению к предметным областям. Все взаимодействие с объектами реального мира в данной предметной области осуществляется через специальную базу знаний предметной области (классификатор).

Основной информационной единицей базы данных является объект. В НИИ ПМК разработан способ описания объекта, основанный на объектно-ориентированном подходе, - формат интегрального файла. Поддерживается несколько типов объектов: элементарный объект, состоящий из одной записи базы данных в формате интегрального файла (дискретный, линейный, площадной объект);

сложный или составной объект, состоящий из нескольких записей базы данных;  
 структурированный объект, состоящий из одной записи базы данных и содержащий описание как основного объекта (например, дороги), так и ему сопутствующих (например, мосты и придорожные сооружения);  
 распределенный объект, объединяющий в себя несколько объектов предыдущих типов из разных баз данных, покрывающих некоторый район электронной карты.  
 База данных представляет собой дерево таких объектов (Рисунок 1), построенное в соответствии с иерархией классификатора базы знаний соответствующей предметной области.

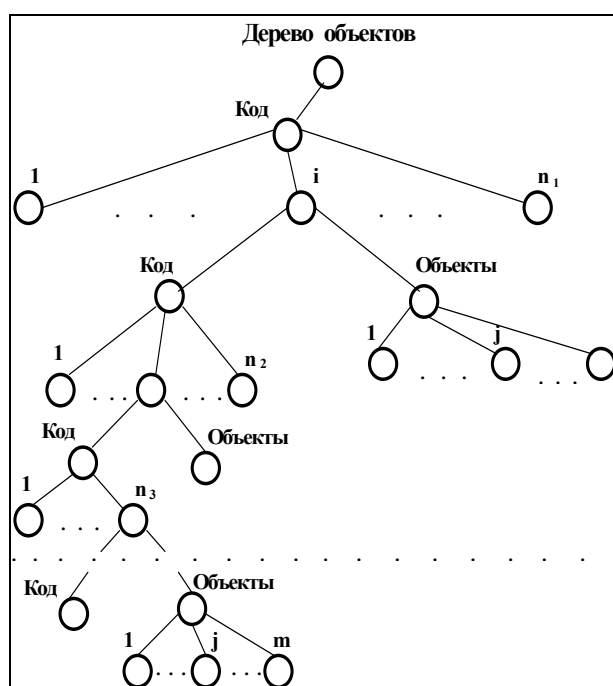


Рисунок 1. Дерево объектов

Рассмотрим структуру записи объекта в формате интегрального файла и отметим ее наиболее отличительные характеристики.

Основной единицей хранения и обработки информации является одна структурированная запись объекта (Рисунок 2). Она может содержать следующие компоненты:

- идентификационную часть объекта;
- атрибуты объекта;
- межобъектные отношения;
- структурированное описание объекта (поле прерываний);
- метрическое описание;
- текстовое описание;
- мультимедийную информацию объекта.

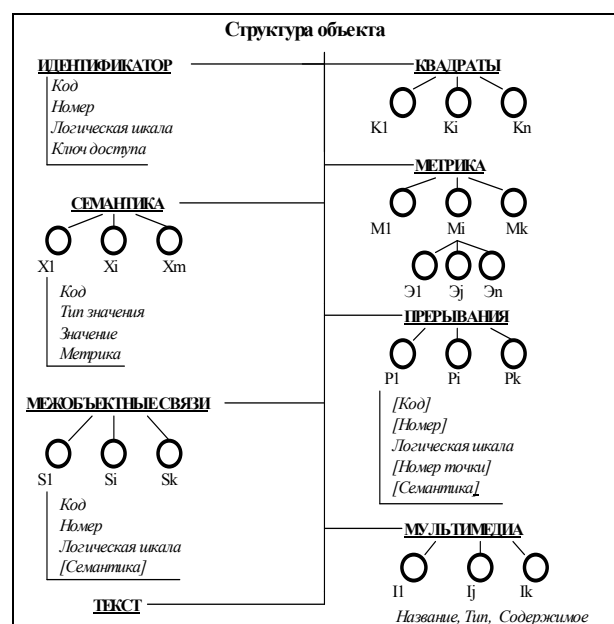


Рисунок 2. Структура объекта

Любой объект при своем создании получает генерируемый системой уникальный идентификатор, который связан с объектом во все время его существования и не меняется при изменении состояния объекта.

Идентификатор объекта включает:

- многопозиционный иерархический классификационный код объекта в данной предметной области, с помощью которого можно закодировать практически неограниченное количество информационных слоев;
- внутрисистемный номер объекта (в пределах классификационной группировки);
- до 64-х атрибутов объекта типа «да»/»нет»;
- ключ доступа к объекту, с помощью которого реализован разграниченный доступ к объекту или группировкам объектов.

Идентификационная часть является единственной обязательной частью объекта в формате интегрального файла.

Атрибутивная часть объекта представляет собой произвольный набор его атрибутов, следующих в произвольном порядке. Каждый атрибут включает:

- многопозиционный иерархический классификационный код атрибута в данной предметной области;
- метрическое описание атрибута (может отсутствовать);
- тип значения атрибута;
- значение атрибута (может отсутствовать).

Допускаются все числовые типы атрибутов, тестовый тип, географическая координата, дата. Кроме того, в качестве значения атрибута опять может выступать поле атрибутов (так называемый сложный атрибут).

Поле межобъектных отношений предназначено для кодирования любых пространственно-логических

отношений между объектами базы данных. Каждое отношение (связь) включает:

многопозиционный иерархический классификационный код объекта, связанного с данным этим отношением;  
внутрисистемный номер объекта ссылке;  
логическая шкала связи (набор атрибутов связи типа «да»/»нет»);  
атрибуты связи (могут отсутствовать) - аналогично атрибутам объекта.  
Количество связей объекта ограничено только общим размером базы данных.

Поле прерываний объекта предназначено для обеспечения следующих основных возможностей по описанию объекта:

структурирование объекта;  
представление описания структурированного объекта как единого целого;  
кодирования составных объектов;  
описания топологических отношений объекта.  
Каждое прерывание включает:  
многопозиционный иерархический классификационный код объекта, взаимодействующего с данным (может отсутствовать);  
внутрисистемный номер объекта по ссылке (может отсутствовать);  
логическая шкала прерывания (набор атрибутов связи типа «да»/»нет»);  
атрибуты прерывания (могут отсутствовать) - аналогично атрибутам объекта;  
номер точки в метрическом описании объекта, к которой «привязано» данное прерывание.

Поле метрического описания объекта. Это поле состоит из произвольного набора элементов, каждый из которых может содержать от 1 до 255 координат размером от 1 до 255 байт целого, вещественного или логического типа. Размер поля ограничен только общим размером базы данных.

Поле текстового описания может содержать до 65 кбайт любой текстовой информации.

Поле мультимедиа [2] может содержать произвольный набор мультимедийных элементов объекта (изображения, звуковые и видео файлы и т.п.). Каждый мультимедийный элемент может быть записан непосредственно в базу данных или на него (хранящегося в отдельном файле) может быть установлена ссылка. Размер поля ограничен только общим размером базы данных. В качестве мультимедийного элемента может выступать в принципе любая информация, в том числе и другая база данных в формате интегрального файла. Это позволяет реализовать сложное рекурсивное описание объектов. Например, у объекта “Земельный участок” на плане города масштаба 1:500 в качестве элемента мультимедиа может быть закодирована база данных земельного участка, а у объекта “Здание” на этом земельном участке может быть закодирована

база данных поэтажных планов, а у объекта “Комната” плана 2-го этажа может быть закодирована база данных комнаты и т.д.

Главной особенностью объекта в формате интегрального файла является его динамическая структура, позволяющая:

иметь переменный размер всех полей объекта;  
хранить объект в базе данных в любом сочетании его полей;  
выдавать пользователю объект из базы данных в любом сочетании его полей.

Отдельно рассмотрим вопросы реализации межобъектных отношений в базе графических данных. Обычно установленные между объектами отношения (либо через поле связей, либо через поле прерываний) всегда симметричны. Этим достигается эффективность выполнения операций поиска и обновления информации в базе данных. Но существует множество случаев, когда симметричные связи вызывают только дополнительные накладные расходы на их поддержание, например, ссылки на объекты топоосновы (неизменной) от нанесенных на нее тематических объектов. В этом случае необходима только ссылка от тематического объекта на объект/объекты топоосновы. Средства СУБГД обеспечивают реализацию подобного несимметричного отношения. В этом случае в логической шкале отношения взводится бит “односторонняя ссылка”. Имеются, также, ситуации, когда необходимо установить одностороннее отношение от одного объекта к десяткам или даже сотням объектов одного классификационного кода. Например, от объекта “Скала” к множеству элементарных растровых объектов, его образующих. В этом случае в логической шкале отношения взводятся биты “односторонняя ссылка” и “множественная ссылка”, а в поле атрибутов отношения добавляется сложный атрибут “Список номеров объектов”, содержащий список атрибутов с номерами объектов по ссылке. В дополнении к этому допускаются симметричные множественные ссылки. Бывают ситуации, когда необходимо установить отношения между объектами разных баз данных. Они реализуются одинаково для всех типов отношений (связей и прерываний). В отношении добавляется сложный атрибут “Описание межбазовой ссылки”. Он содержит три простых атрибута (один из них обязателен):  
имя файла базы данных (без имени каталога);  
имя алиаса. Этому алиасу может быть назначено нужное имя каталога на диске. Алиасы должны храниться в реестре. Этот атрибут может отсутствовать – база будет искаться в каталоге, где находится исходная база данных. То же самое будет при отсутствии алиаса в реестре;  
тип базы данных (формат обработки, формат обмена, ...). Может отсутствовать – по умолчанию подразумевается база данных в формате обработки интегрального файла.  
В логическую шкалу отношения добавляется бит “Межбазовая ссылка”.

### 3. ФОРМАТЫ ДАННЫХ

В системе управления базами графических данных поддерживаются два формата представления данных. Формат обработки. В этом формате поддерживаются полностью все возможности СУБД. База данных в формате обработки представляет собой один файл специальной структуры, который содержит информацию, организованную в виде двоичного дерева данных произвольной глубины. Целостность базы данных обеспечивается возможностью ведения специального системного журнала и созданием контрольных точек. Физически структура базы данных представляет собой дерево объектов, построенное в соответствии с иерархией многопозиционного классификационного кода объекта предметной области. Кроме того, допускается установление (и автоматическая поддержка) прямых (сетевых) связей между объектами базы данных. В результате подобного подхода обеспечивается:

- быстрый индивидуальный доступ к отдельному объекту;
- быстрая выборка совокупности объектов, объединенных одним обобщенным кодом;
- выборка совокупности объектов, объединенных сетевыми ссылками.

Формат обмена. Формат обмена интегрального файла предназначен для долговременного хранения баз данных цифровой картографической информации в архиве (поскольку он более компактен по сравнению с форматом обработки) и для обмена с другими системами (поскольку он снабжен специальными дополнительными данными, позволяющими контролировать его состояние на предмет обеспечения надежности и целостности). Средства программного обеспечения СУБД обеспечивают только операции выборки информации из файла в формате обмена. Формат обмена интегрального файла принят в качестве межведомственного стандарта на передачу картографической информации (цифровых топографических карт и планов городов). Разработаны две разновидности формата обмена:

- машинно-ориентированный (двоичный) формат;
- символьный машинно-независимый формате. База данных в символьном варианте формата обмена представляет собой обычный текстовый файл в кодах ASCII, состоящий из заголовка, списка объектов базы и статистических данных по базе. Если при создании базы данных в формате обмена был подключен классификатор предметной области, то в файле будет содержаться расшифровка все классификационных кодов объектов и атрибутов данной предметной области. В этом варианте формата информация может быть легко перенесена на различные программно-аппаратные платформы.

Главной особенностью всех форматов представления интегрального файла является однотипность

логического представления объектов, что позволяет иметь унифицированные средства их обработки.

### 4. СРЕДСТВА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Для эффективной работы с графической информацией в формате интегрального файла разработана специализированная система управления базами графических данных. Она реализована на ПЭВМ IBM PC для следующих программных платформ:

- MS DOS (реальный и защищенный 16-ти разрядный режим);
- 16-ти разрядный режим для Windows 3.1, Windows 95
- 32-х разрядный режим для Windows 95/98 и Windows NT.

В программном обеспечении СУБД можно выделить четыре основных компонента:

- комплекс сервисных программ для работы с базами данных в локальной сети;
- комплекс сервисных программ для удаленного доступа к базам данных по сети Интернет;
- инструментальный комплекс;
- система запросов.

Комплекс сервисных программ для работы с базами данных в локальной сети, обеспечивает работу с уже созданными базами данных, а также взаимно однозначное преобразование форматов данных. Основные возможности комплекса:

- преобразование из формата обмена в формат обработки и наоборот;
- преобразование из формата обработки и из формата обмена в текстовый вид;
- преобразование из текстового вида в формат обработки;
- санкционирование доступа к базам данных;
- просмотр баз данных в формате обмена и формате обработки в текстовом виде с различными условиями выборки информации;
- просмотр баз данных в формате обмена и формате обработки в графическом виде;
- просмотр проектов электронных карт;
- копирование информации из баз данных с различными условиями выборки информации;
- удаление информации из баз данных.

Комплекс сервисных программ для удаленного доступа к базам данных по сети Интернет представляет собой набор Web-серверных приложений обеспечивающих:

- Регистрацию баз данных на сервере;
- Просмотр графического изображения баз данных с возможностью скроллинга и масштабирования изображения, а также доступа к информации объектов базы данных;
- Получение статистических сведений по базам данных;

Просмотр баз данных в текстовом виде.

Инструментальные средства представляют собой динамически загружаемую библиотеку функций манипулирования данными в базе, которые можно использовать при разработке новых приложений (в том числе и Web-серверных приложений). Языком программирования является объектно-ориентированный язык C++. Используя средства этого комплекса в рамках среды визуального программирования Borland C++Builder, можно работать с информацией баз графических данных, как в формате обработки, так и в формате обмена (только на чтение). Для работы с информацией баз данных в формате обработки используются средства древовидного метода доступа. Основные возможности, предоставляемые средствами данного комплекса:

открытие/закрытие неограниченного числа баз данных с отработкой защиты от несанкционированного доступа и одновременного доступа;

подключение/отключение специального системного журнала для обеспечения последующего восстановления базы данных при любых аварийных ситуациях;

чтение/запись служебно-справочной информации по базе данных (идентификатор, пароли, сведения о классификаторе, количество обращений, дата последнего обновления и т.д.);

чтение информации об объектах базы данных. Механизм чтения основан на иерархии многопозиционного классификационного кода объекта. Обеспечивается быстрая индивидуальная выборка отдельного объекта (быстрота достигается за счет “развешивания” объектов по классификационному дереву). Реализован механизм выборки информации объектов потоком из дерева объектов, указанных обобщенным классификационным кодом (механизм выборки функционирует либо до исчерпания объектов в дереве, либо до его принудительного завершения). При выборке объектов из базы данных работает аппарат разграниченного доступа к объектам, основанный на специальном ключе, присвоенном каждому объекту базы данных. Используя значения этих ключей можно сделать любые объекты или группы объектов “невидимыми” с точки зрения механизма выборки объектов. На работу механизма выборки объектов может быть наложено любое количество условий (фильтров) – выборке будет подлежать объект, подпадающий под действие этих фильтров. Фильтры могут быть наложены на любую комбинацию полей объекта. Информация об объекте, выбранном из базы данных, может содержать любую запрошенную пользователем комбинацию его частей (атрибуты, связи, прерывания, метрическое описание, мультимедиа). Реализован механизм выборки объектов, связанных любыми отношениями (через поля связей и прерываний) с некоторым прочитанным объектом. Используя этот механизм можно последовательно получить информацию всех

объектов, составляющих некоторое логически цельное множество;

запись информации объектов в базу данных. В базу данных могут быть добавлены новые объекты с указанным полным классификационным кодом и внутрисистемным номером (при наличии уже существующего объекта в базе данных имеется возможность отследить и отработать эту ситуацию – заменить или не записывать объект). В базу данных можно добавить объект, указав только его полный классификационный код. В этом случае внутрисистемный номер ему будет присвоен автоматически. В базе данных можно обновить любой объект путем “логического” сложения его существующих полей с подаваемыми на запись – существующие поля полностью заменяются, новые поля добавляются;

удаление информации из базы данных. Механизм удаления информации об объектах базы данных реализован следующим образом. Любой объект базы данных может быть удален целиком или может быть удалена из него любая комбинация его полей. При удалении объекта целиком или удалении его полей, через которые реализованы связи с другими объектами, производится автоматическая коррекция связей от других объектов на данный объект. Кроме того, производится коррекция логической шкалы объекта при его вхождении в некоторое множество логически связанных объектов, составляющих единое целое. Механизм удаления допускает как индивидуальное удаление одного объекта, указанного полным классификационным кодом и внутрисистемным номером, так удаление целой группы объектов (дерева объектов), объединенных одним обобщенным классификационным кодом; работу с атрибутами объекта, прочитанного из базы данных, а также с атрибутами связей и прерываний. Для работы с атрибутами реализованы следующие основные методы: выборка одного атрибута или потоком совокупности атрибутов, объединенных одним обобщенным кодом; обновление атрибута; добавление нового атрибута; удаление атрибута. Эти методы могут быть применены как к простым, так и сложным атрибутам;

работу со связями и прерываниями объекта. Реализован механизм последовательной выборки связей или прерываний (в том числе с возможностью наложения фильтра) из прочитанного из базы данных объекта. Кроме того, допускается ряд операций с полями связей и прерываний непосредственно в объекте, находящемся в базе данных (например: удаление связи/прерывания, добавление связи/прерывания);

работу с элементами мультимедиа объекта. Для работы с элементами мультимедиа реализованы следующие основные методы: чтение заголовка поля мультимедиа (с служебно-справочной информацией по все его элементам), чтение все элементов мультимедиа объекта в оперативную память, выборка и помещение в файл указанного элемента мультимедиа, запись из указанного файла элемента мультимедиа в объект базы данных, удаление

указанного элемента или всех элементов мультимедиа из объекта базы данных.

Система запросов, обеспечивающая (совместно со средствами поддержки базы знаний) формирование запросов на отбор любой информации из базы данных. Система запросов состоит из:

языка запросов, предназначенного для программирования условий отбора (фильтров); транслятора фильтра с языка запросов в некоторый внутримашинный исполняемый код;

интерактивной процедуры формирования запросов. Каждый формируемый запрос содержит: область поиска объектов (полный или обобщенный классификационный код) и условие отбора (фильтр) объектов;

библиотеки запросов, предназначенной для долговременного хранения и последующего многократного использования сформированных запросов. Для работы с библиотекой запросов реализованы следующие методы: запись запроса, обновление (коррекция) запроса, удаление запроса, просмотр запроса, выборка запроса и трансляция его в исполняемый код.

Особенностью системы запросов является ее инвариантность по отношению к форматам представления баз данных (формат обработки и формат обмена).

## 5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработана специализированная система управления базами данных, позволяющая организовать эффективную обработку сложно структурированной графической информации: цифровых топографических карт, морских навигационных карт, планов городов, чертежей, различного рода схем и т.п. Эффективность достигается за счет применения оригинальных моделей и структур данных, современных подходов к организации хранения информации и выбора среды программирования.

## 6. ЛИТЕРАТУРА

[1] Васин Ю.Г., Ясаков Ю.В. Организация хранения и обработки информации в формате интегрального файла. Тез.докл. III конференции “Распознавание образов и анализ изображений: новые информационные технологии”, Нижний Новгород, 1-7 декабря 1997, с.43-56.

[2] Васин Ю.Г., Ясаков Ю.В. Расширение возможностей системы управления базами графических данных. Тез.докл VI Всероссийской с участием стран СНГ конференции “Методы и средства обработки сложной графической информации”, Нижний Новгород, 25-27 сентября 2001, с.62-63.

## Об авторах

Васин Юрий Григорьевич, директор НИИ Прикладной Математики и Кибернетики ННГУ, д.т.н., профессор, член-корр. АТН РФ.

Ясаков Юрий Васильевич, зав.сектором НИИ ПМК ННГУ.