

В.Т. Калайда

СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ АТМОСФЕРНОЙ ОПТИКИ

В статье на базе предметной области «оптика атмосферы» предлагается методология построения системы поддержки решения и ее основных составляющих — технического, информационного и программного обеспечения.

I. Введение

Современный этап развития исследований в области оптики атмосферы характеризуется лавинообразным накоплением данных и знаний об объекте исследования. Уже существующие и вновь возникающие информационные потоки требуют непрерывной интенсификации методов и средств обработки данных, что, естественно, выливается в необходимость широкого применения и совершенствования средств новой информационной технологии. Главным инструментом этой технологии становится компьютер. Перенос информационного фонда на машинные носители, делающий его доступным для использования ЭВМ, сопровождается коренной перестройкой структуры представления данных и методов их использования. Основным требованием к новой информационной технологии должно быть требование ориентации на конечного пользователя. Таким образом, необходима организация технологии представления данных и знаний на языках, максимально близких к данной предметной области — оптике атмосферы.

Широкое использование вычислительной техники в атмосферно-оптических исследованиях предъявляет еще одно требование к системам переработки информации, а именно интеграция информационного фонда на всех ЭВМ, участвующих в обработке данных. Естественно, что в эту схему интеграции должны быть включены не только данные — пассивная часть знаний, но и средства переработки данных: программные средства, базы знаний, экспертные системы.

Особенностью предметной области оптики атмосферы является то, что наряду с высокой информационной емкостью ее активная часть — обрабатываемые программы, в силу предельной сложности используемых математических моделей исследуемых сред, содержит практически весь спектр средств обработки: информационно-поисковые, расчетно-логические, экспертные системы, а также гибридные логико-лингвистические и математические модели.

Естественно, что эти особенности предметной области накладывают свои ограничения на конфигурацию технических, информационных и программных средств. В настоящее время принято называть эту совокупность, ориентированную на решение конкретных задач данной предметной области, термином *decision support system (DSS)*, т. е. система поддержки решения [1].

В предлагаемой статье рассмотрены вопросы организации системы поддержки решения для задач атмосферной оптики, реализуемой в Институте оптики атмосферы СО АН СССР.

II. Техническое обеспечение

Первой важнейшей составляющей системы поддержки решения задач атмосферной оптики является ее техническое обеспечение. В атмосферно-оптических исследованиях первостепенное значение имеют экспериментальные методы, в первую очередь методы дистанционного лазерного зондирования, основанные на использовании разнообразных эффектов взаимодействия лазерного излучения с атмосферой. Естественно, что в силу сложности и высоких скоростей взаимодействия интерпретация таких измерений невозможна без использования автоматизированных измерителей, базирующихся на различных элементах компьютерной техники.

Наряду с лидарными измерителями каждое из направлений оптики атмосферы — спектроскопия атмосферы, оптика атмосферного аэрозоля, оптика турбулентной атмосферы и другие порождает свой набор измерителей, в основном компьютеризированных [2]. Теоретические исследования в данной предметной области, в силу высокой сложности исследуемых физических явлений и их большой информационной емкости, в свою очередь, также невозможны без использования компьютеров.

С учетом вышесказанного и обязательного требования ориентации DSS на конечного пользователя, основной задачей построения технического обеспечения является эффективное разделение функций между всеми средствами вычислительной техники, используемой в исследованиях, а также обеспечение надежного информационного обмена между данными средствами.

В целом в процессе получения и обработки оптико-метеорологической информации участвует довольно широкий набор технических средств: универсальные 32-, 48-, и 64-разрядные вычислительные

комплексы; мини-ЭВМ с 16- и 32-разрядной архитектурой; автоматизированные рабочие места (АРМ) теоретиков и экспериментаторов на базе микро- мини-ЭВМ и персональных компьютеров. Состав и конфигурация технического обеспечения определяются ориентацией его элементов на конкретные функциональные приложения. Вместе с тем очевидно, что эффективная структура технического обеспечения DSS может быть реализована лишь при максимальной унификации его составных частей.

Автоматизированное рабочее место экспериментатора (АРМЭ) реализуется как профессионально ориентированная компьютерная система. В зависимости от условий проведения экспериментов такая система может быть стационарной либо передвижной. Конкретная реализация АРМЭ может иметь разнообразную структуру, зависящую от вида эксперимента. Тем не менее, в этой структуре можно выделить четыре основных составляющих части:

1. Процессор (ПЭВМ или микроЭВМ).
2. Стандартные интерфейсы (МПИ, САМАС и др.).
3. Общесистемные модули (сетевые адаптеры, контроллеры ВЗУ, электронные диски, адаптеры перехода «шина – шина» и др.).
4. Модули профессиональной ориентации (процессоры массовой обработки данных, видеопроцессоры, дисплейные процессоры, ряд АЦП, ряд счетчиков фотонов, спецпроцессоры для решения конкретных задач).

Из этого следует, что набор модулей АРМЭ достаточно ограничен и унифицирован по нескольким типовым шинам. Обязательное наличие сетевых адаптеров и контроллеров к различным ВЗУ позволяет, с одной стороны, использовать АРМЭ как автономную систему, с другой – обеспечить доступ к общим ресурсам всей вычислительной сети.

Среди модулей профессиональной ориентации следует выделить процессоры массовой обработки данных и особенно процессоры обработки изображений [3, 4]. Включение их в состав АРМЭ позволяет существенно уменьшить информационные потоки между ЭВМ сети, сделать АРМЭ максимально автономным и повысить надежность DSS в целом.

Автоматизированное рабочее место теоретика (АРМТ) структурно не отличается от АРМЭ. Естественно, что состав модулей профессиональной ориентации для таких систем существенно сужен. Однако в связи с тем, что DSS максимально ориентирована на конечного пользователя, в АРМТ доминирующее значение приобретают модули представления информации, и в первую очередь дисплейные процессоры и устройства обработки изображения, реализующие машинную графику и максимально облегчающие исследователю восприятие информации. Роль процессоров массовой обработки данных в АРМТ столь же велика, как и в АРМЭ.

Наличие на автоматизированных рабочих местах ВЗУ большой емкости обеспечивает возможность создания локальных баз данных по конкретному направлению исследований. А это позволяет максимально сократить информационные обмены по сети DSS.

Автоматизированные рабочие места ориентированы главным образом на конкретные технические или научные приложения и являются индивидуальными инструментами одного исследователя (или группы). Обработка комплекса экспериментальных данных с использованием сложных математических моделей реальных атмосферно-оптических процессов, в силу их алгоритмической сложности и высокой информационной емкости, в основном возможна на базовых вычислительных системах (крупных универсальных ЭВМ или рабочих станциях). Естественно, что для АРМ должен быть обеспечен предельно простой доступ к базовым системам. Поэтому все средства вычислительной техники должны объединяться в распределенную вычислительную систему коллективного пользования (РВСКП).

РВСКП позволяет предоставить исследователям интегрированный набор аппаратных и программных средств обработки, хранения, передачи и отображения данных, т.е. создать среду для функционирования DSS атмосферной оптики, а также повысить эффективность использования специализированных устройств обработки, хранения и отображения данных как базовых вычислительных систем, так и автоматизированных рабочих мест.

Основная трудность, связанная с реализацией РВСКП, состоит в том, что в процессе обработки информации в среде DSS участвуют разнородные вычислительные комплексы, работающие в окружении разнотипных операционных систем (т. е. РВСКП является гетерогенной). Это вызвано тем, что разные типы вычислительных комплексов ориентированы на конкретные виды работ. Так, например, МВК ряда «Эльбрус» (БЭСМ-6) в первую очередь предназначены для выполнения сложных работ расчетно-логического характера. Они обладают повышенным быстродействием именно для такого класса задач. Однако их эффективность существенно снижается, если в процессе обработки необходима переработка больших информационных массивов. Для ЭВМ ряда ЕС работа с информационными массивами организована более рационально. Естественно, что комплексов машин типа «Эльбрус» и ЕС с разделением их функций таким образом, чтобы каждая из них ориентировалась на наиболее характерный для нее класс задач, позволит сделать общую производительность комплекса выше, чем просто аддитивная сумма их производительностей. Аналогично, по принципам разделения функций, в РВСКП включаются машины ряда СМ.

В основе построения РВСКП лежит концепция системы виртуальных и реальных вычислительных машин (СВРВМ), которая состоит в том, что потребителями ресурсов на равных правах являются реальные (АРМЭ и АРМТ) и виртуальные вычислительные машины. Это позволяет с единой точ-

ки зрения рассматривать всю совокупность имеющихся в наличии и входящих в состав DSS программных и аппаратных средств.

В качестве базового метода комплексации ЭВМ в распределенную вычислительную систему коллективного пользования выбран сетевой способ использования средств вычислительной техники. **Локальная информационная вычислительная сеть (ЛИВС)** обеспечивает весь необходимый сервис передачи данных на достаточно коротких расстояниях (в пределах корпусов научно-технического комплекса). При этом протоколы передачи данных и интерфейсы значительно более простые, по сравнению с большими сетями, поскольку проблемы оптимизации полосы пропускания канала связи и организации маршрутов для ЛИВС менее значимы.

Дисциплина организации межмашинных обменов в ЛИВС строго регламентируется системой стандартизированных протоколов [5]. Конкретный набор протоколов определяется топологией и средой передачи ЛИВС. Из наиболее распространенных в настоящее время топологий локальной сети (звезда, моноканал, кольцо и дерево) в качестве базовой в DSS задач атмосферной оптики принята топология типа моноканал, в которой соединение абонентов осуществляется средствами одного общего высокоскоростного канала. Это обусловлено тем, что единая среда передачи существенно повышает надежность информационного обмена, позволяет унифицировать сетевое оборудование и обеспечить наиболее простую схему подключения новых абонентов.

Характеристики передачи информации через канал определяются логикой скоростного распространения сигналов и способом разделения канала между станциями сети (протоколом доступа). Моноканальные сети обладают рядом преимуществ по сравнению с другими типами сетей: высокой надежностью; простотой процедуры инициализации; возможностью наращивать разветвленную топологию; реализовывать разнообразные протоколы доступа с широким спектром характеристик.

Основным средством взаимодействия пользователей в ЛИВС является транспортная подсистема, которая реализуется в виде транспортных станций [6]. Включение в состав технических средств DSS рабочих мест экспериментаторов накладывает дополнительные требования к среде передачи данных ЛИВС, так как важную роль начинают играть такие характеристики, как вероятность превышения заданного порога времени доставки и гарантированное время ответа. Это делает все более проблематичным применение «старой» версии протокола CSMA/CD с бинарной экспоненциальной задержкой [7]. Поэтому для оптимизации процедуры передачи данных для ЛИВС DSS были проведены исследования по разработке наиболее рациональных протоколов [8–13]. В результате был предложен новый метод управления множественным доступом станций локальной сети в моноканал — «пульсирующее кольцо» [11].

В основу метода положена идея циклической очереди станций, в которой места являются групповыми. Такая очередь имеет изменяемую конфигурацию, адаптируемую как к общей интенсивности трафика, так и к индивидуальным мощностям передачи отдельных станций. Предложенный метод является выгодным симбиозом случайного и детерминированного доступов. При этом для реализации указанного метода достаточно обычной аппаратуры CSMA/DC. Результаты исследований показали существенные преимущества данного метода по сравнению с наиболее широко применяемыми методами BRAM, CSMA/CD, HYBRID, Enet II и др. [13].

Протоколы «пульсирующее кольцо» решают проблему транспортной подсистемы. В качестве интерфейсных примитивов уровня «сессия» в DSS используются примитивы расширенного средства связи виртуальных машин «память—память» IUSV [14], так как они, при незначительной модификации, допускают трансляцию по сети. Суть этих модификаций состоит в следующем: из IUSV исключены специфичные для системы виртуальных машин средства; монитору виртуальных машин сопоставлена транспортная станция; виртуальной машине сопоставлено АРМЭ (или АРМТ). Расширение средств IUSV обеспечивает единство интерфейсов с транспортной подсистемой реальных и виртуальных машин, поддерживая тем самым концепцию СВРВМ и, кроме того, устраняет необходимость проведения крайне трудоемких работ по созданию сетевого математического обеспечения для ЕС ЭВМ.

Средства связи IUSV обеспечивают передачу сообщений между конечными станциями сети и представляют следующие возможности обмена информацией:

- установление логического соединения между двумя станциями (пользователями), организующими взаимодействие;
- возможность передачи сообщений без внешних прерываний наряду с возможностью получения информации о сообщениях через внешние прерывания;
- набор опций, которые обеспечивают установление соединений между станциями (пользователями) и пересылку сообщений им.

Данные, передаваемые по сети, оформляются как сообщения, посылаемые через заранее определенные пути связи. Одновременно может быть установлено несколько таких путей связи, т.е. каждый пользователь может выступать и как отправитель, и как получатель. Для обеспечения связи с разнотипными ЭВМ в протоколах предусмотрена реализация уровня «представления данных», в функции которого входит обеспечение соответствующего представления данных типов «целое», «вещественное», «символ» для разных систем кодирования.

Общая структура технических средств DSS задач атмосферной оптики представлена на рис. 1.

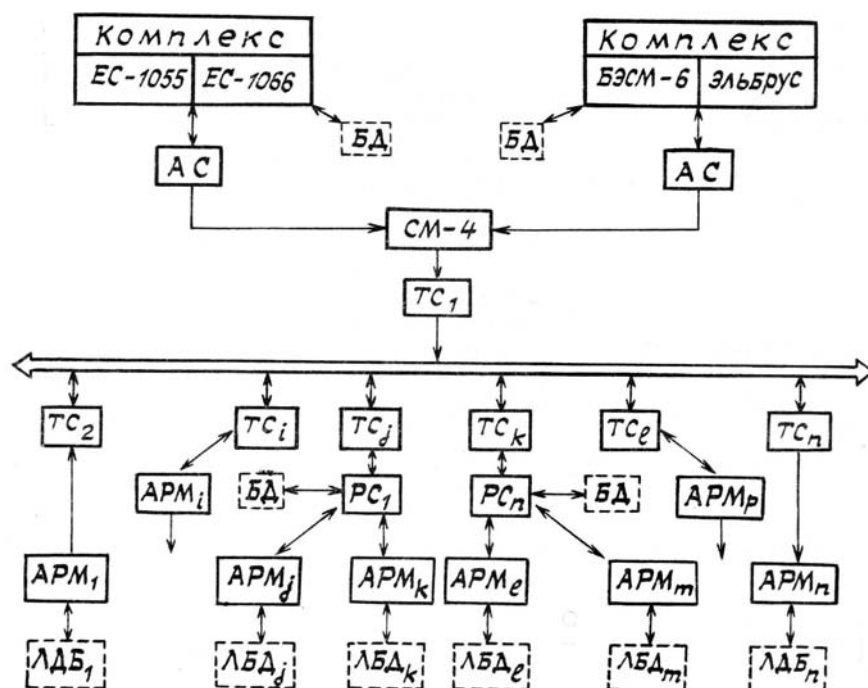


Рис. 1. Структура технических средств DSS задач атмосферной оптики: АС — адаптер связи; ТС — транспортная станция; БД — база данных; ЛБД — локальная база данных; РС — рабочая станция

III. Информационное обеспечение

Создание развитого технического обеспечения в первую очередь ориентировано на рациональное использование центральной части DSS-данных. Исследования в такой сложной области, как физика атмосферы, сопряжены с обработкой больших и «сверхбольших» объемов информации. Так, например, данные о метеорологических параметрах атмосферы, накопленные в настоящее время, составляют $\sim 1,3 \cdot 10^{11}$ байт, а темп накопления $\sim 10^{10}$ байт в год [15]. Кроме того, модели, описывающие реальные явления в атмосфере, постоянно усложняются, а следовательно, и увеличивается объем информации, адекватно характеризующий их состояние. Исследование различных материальных явлений в атмосфере во взаимодействии еще более усугубляет проблему «информационного бума» в атмосферной оптике. Таким образом, данные (информационные ресурсы) действительно становятся центральной, важнейшей частью DSS.

Естественно, что в этих условиях традиционный подход к решению задач информационного обеспечения, ориентированный на организацию данных в виде отдельных файлов, жестко связанных с обрабатываемыми программами, становится неприемлемым. DSS задач атмосферной оптики требует интегрированного хранения, централизованного управления и многоаспектного коллективного использования данных. Этой идеологии удовлетворяет концепция **баз данных**, то есть организация информационных массивов в виде совокупности взаимосвязанных данных, используемых в качестве одного или нескольких приложений и хранящихся с минимальной избыточностью. Эффективным способом реализации этой концепции является создание моделей данных, адекватно отражающих состояние реальных объектов исследования в ту или иную информационную структуру, и программного обеспечения, осуществляющего функции ввода, актуализации, хранения и отображения данных.

Многообразие атмосферно-оптических явлений порождает и многообразие возможных формальных описаний предметной области и соответствующих им информационных структур. Таким образом, состояние предметной области однозначно отражается в модель базы данных. Очевидно, что из-за сложности рассматриваемой предметной области создание универсальной модели данных вряд ли возможно.

Наиболее рациональным методом проектирования и создания информационного обеспечения DSS задач атмосферной оптики является разбиение всей совокупности явлений на подсистемы со своим набором отношений между ними и сопоставление этим подсистемам своих специфических моделей данных. Для разнообразных приложений оптико-атмосферных исследований у нас в стране и за рубежом используется ряд инфологических моделей [15–22]. Анализ показывает, что в них присутствует практически весь спектр моделей — от плоских до реляционных, т.е. система баз данных DSS задач атмосферной оптики является неоднородной.

Кроме неоднородности баз данных, для DSS характерна децентрализация использования информации, так как ввод данных и их предварительная обработка происходит на ЭВМ АРМЭ и АРМТ. Вместе с тем данные должны быть доступны для использования любой прикладной программой, реализованной на любой ЭВМ сети. Таким образом, проблема создания эффективного информационного

обеспечения DSS сводится к созданию интегрированной системы распределенных баз данных [22]. При этом одной из важнейших задач остается задача оптимизации структуры локальных баз данных с целью минимизации затрат на память и навигацию по данным.

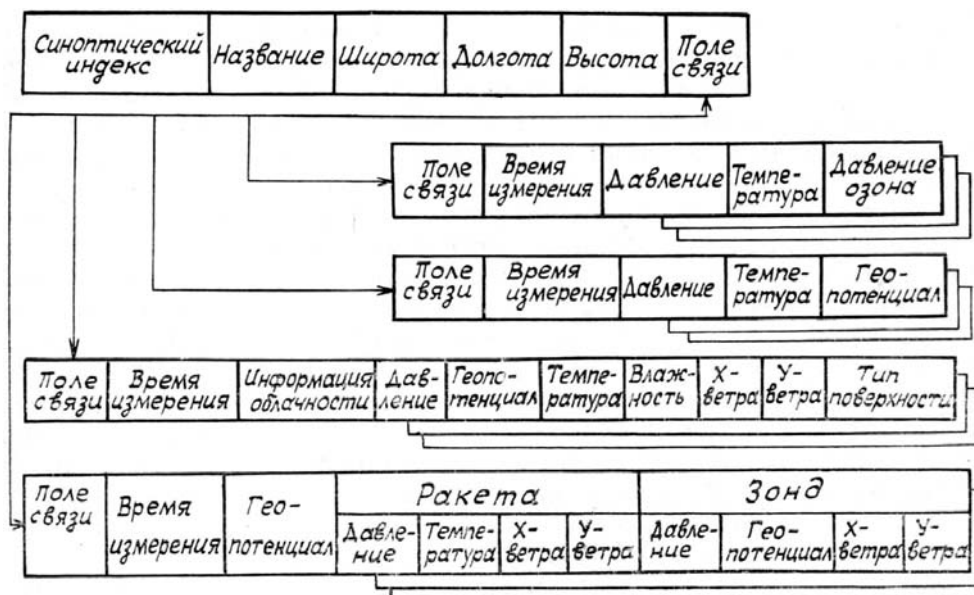


Рис. 2. Логическая схема базы метеопараметров атмосферы

Крупнейшей из локальных баз данных DSS является база метеорологических параметров атмосферы [21]. Оптимизация ее логической структуры дает максимальный ресурсный выигрыш. В основу оптимизации положен метод объединения реквизитов, стоящих в отношении «один к одному» [21]. В отношениях с большим объемом рассматриваемых реквизитов выделяются их подмножества, объединенные по небольшому их количеству, а затем устанавливаются связи между подмножествами. В результате получается оптимальная матрица отношений $M = \{a_{ij}\}$. Логическая структура базы метеопараметров атмосферы, соответствующая матрице связи $M = \{a_{ij}\}$, приведена на рис. 2. Сравнение затрат на внешнюю память в случае организации того же объема информации в виде SAS архива [23] и в виде архива системы АИСОРИ [15] приведены в таблице.

Оценка потребности во внешней памяти

Файл	Количество записей	Длина записей (информационная)	Длина записи (информационная)	Увеличение длины (%)	Количество дескрипторов	DATA (Кб)	ASSO (Кб)	Издержки (%)
Зонд-БД	14600	361	367	1,5	5	5360	263	6
SAS	345000	—	—	—	—	21000	0	300
АИСОРИ	58400	—	—	—	—	11350	0	114

Из результатов сравнения видно, что предложенная схема оптимизации позволяет уменьшить объем требуемой памяти в четыре и более раза, что свидетельствует о высокой эффективности сконструированной логической структуры.

Особый класс данных представляют видеоданные, которые в настоящее время в задачах оптики атмосферы в связи с широким использованием спутниковых измерений начинают играть все более значимую роль [24, 25]. Использование результатов спутникового дистанционного зондирования позволяет перейти от точечных измерений к анализу пространственных полей. Естественно, что методы организации «традиционных» баз данных малоприменимы для работы с видеоинформацией [26]. В базах видеоданных, в общем случае, необходимо хранение трех компонент: полутоновые видеоизображения; структурированные данные характеристик объекта и сопровождающей информации; неструктурированные описания взаимосвязи изображения с реальным объектом.

При выборе метода хранения видеоданных важнейшую роль играет наличие специализированных устройств обработки изображений (УОИ). Передача УОИ части функций манипулирования с видеоданными (выбор фрагмента, поиск и манипулирование элементами видеоданных и др.) позволяет существенно упростить технологию хранения. В DSS задач атмосферной оптики, благодаря наличию

эффективного УОИ [4], система баз видеоданных реализована именно таким образом. Изображение при этом рассматривается как простой тип данного, доступ к которому осуществляется по идентификатору (или набору признаков), а все функции манипулирования с элементами изображения, включая навигацию, выполняются с помощью специального программного обеспечения УОИ [27, 28].

Как уже отмечалось, всю имеющуюся совокупность данных оптико-метеорологических исследований, размещенных на ЭВМ сети, необходимо обрабатывать в общих интересах пользователей. При этом возникает проблема разработки стратегии оптимального распределения файлов по сети с целью минимизации времени запроса данных.

Для организации доступа к распределенной базе данных обычно используется система справочников, содержащих перечень файлов, доступных пользователям. Системы справочников разделяются на систему централизованных справочников, систему местных справочников и систему распределенных справочников.

Задачу оптимизации размещения локальных баз данных по минимуму среднего времени запроса можно свести к задаче нелинейного программирования вида [29]: минимизировать среднее время реакции системы

$$\min R(\{n_{ij}\}), \quad (1)$$

при ограничениях

$$\sum_{i=1}^L n_{ij} f_i < u_j; \quad n_{ij} \geq 0; \quad \sum_{j=1}^M n_{ij} = N_i, \quad (2)$$

где L – общее количество файлов; n_{ij} – количество блоков файла i , хранимого в устройстве памяти j ; u_j – интенсивность обслуживания требований на устройстве памяти j ; M – общее количество запоминающих устройств; N_i – длина файла i в блоках; $R(\{n_{ij}\})$ – среднее время реакции системы; f_i – частота требований на блоке.

Время реакции системы в зависимости от типа справочников определяется следующими соотношениями.

1) Система централизованных справочников

$$t_{i,d} = \frac{\sum_{i=1}^n q_i (1 + P_i)}{2\mu_1 \left[\mu_1 - \sum_{i=1}^n q_i (1 + P_i) \right]} + \frac{lq_i}{2R [R/l - q_i]} + \frac{2l}{R}, \quad (3)$$

где $t_{i,d} = t_1(i) + t_2(i) + t_3(i)$; t_1 – время ожидания на вход в справочник; t_2 – время ожидания на выход из справочника; t_3 – время передачи запроса и ответа; $1/\mu_1$ – время обслуживания запросов; q_i – интенсивность поступления запросов, генерированных i ЭВМ к справочнику; P_i – коэффициент обновляемости справочника; R – скорость передачи по линии связи; l – количество символов в запросе; n – общее число ЭВМ в сети.

2) Для системы местных справочников время запроса i ЭВМ в k справочник

$$t_{i,k} = \frac{\sum_{i=1}^n q_i}{4\mu_1 \left(\mu_1 - 0,5 \sum_{i=1}^n q_i \right)} + \frac{lq}{2R [R/l - q_i]} + \frac{2l}{R}. \quad (4)$$

3) В системе распределенных справочников $t_2 = t_3 = 0$, таким образом:

$$t_{i,d} = t_1(i) = \frac{q_i \left(1 + \sum_{k=1}^n q_k \right)}{\left\{ 2\mu_1 \left[\mu_1 - q_i \left(1 + \sum_{k=1}^n P_k \right) \right] \right\}}. \quad (5)$$

Совместное решение задачи (1)–(5) и сравнение результатов позволяет выбрать оптимальную структуру распределенной базы данных. Если не учитывать стоимость хранения справочников на устрой-

ствах внешней памяти, то для локальной вычислительной сети наиболее оптимальной является система распределенных справочников. Именно такая система принята в DSS атмосферной оптики. В качестве примитивов организации доступа к локальным базам данных используются средства IUSV. Связь с использованием средств IUSV организуется между получателем информации и локальной базой данных. Эта связь осуществляется посредством передачи данных из основной памяти машины — держателя локальной БД — в основную память получателя. Данные оформляются как сообщения, которые посылаются через заранее определенные соединения.

Учитывая, что система распределенных баз данных DSS разнородна, при интеграции данных становится важным вопрос их конвертирования. Разработка системы конверторов для каждой модели данных, используемых в атмосферно-оптических исследованиях, вряд ли приемлема из-за многообразия возможных вариантов. В DSS используется система конверторов, предложенная в [21]. Данная программа допускает применение широкого класса входных и выходных полей записей, настраиваемых на ту или иную модель. Одновременно осуществляется контроль входных полей и самих записей, который существенно повышает надежность и достоверность информационных обменов по сети.

Таким образом, интегрированная система распределенных неоднородных баз данных в DSS атмосферной оптики реализуется путем использования справочников данных. Примитивами нижнего уровня информационного обмена являются средства IUSV. Надежность и контроль данных обеспечивается системой конвертирования.

IV. Программное обеспечение

Информационное обеспечение DSS и его основной элемент — базы данных — в общем случае описывают статическое состояние предметной области «оптика атмосферы». Однако новые знания об изучаемых объектах и явлениях получаются в процессе анализа и обработки данных. Активной частью DSS, обеспечивающей получение таких знаний и данных, является программное обеспечение (ПО).

Для программного обеспечения DSS задач атмосферной оптики характерен ряд особенностей, связанных прежде всего с функциональными свойствами предметной области «оптика атмосферы».

Во-первых, следует отметить, что традиционный цикл создания ПО «модель — алгоритм — программа» не всегда строго формализован. Знания об объекте могут быть представлены как в структурированной, так и в неструктурированной форме, т.е. правомерен цикл «логико-лингвистическая модель — алгоритм — программа» (экспертная система).

Во-вторых, наряду с вышеуказанными схемами, в которых реализуется возможность построения математической модели путем выделения из множества факторов, влияющих на процесс, существенных, в атмосферно-оптических задачах исследуются явления, в которых априори разделение большого количества переменных на существенные и несущественные не всегда возможно. Понятно, что в этих задачах использование традиционного механизма абстракции «модель — алгоритм — программа» весьма затруднено, поэтому ПО должна содержать средства автоформализации профессиональных знаний, т.е. обеспечивать движение по циклу «программа — алгоритм — модель».

В-третьих, из-за сложности моделей прикладной области «оптика атмосферы» зачастую один процессор может оказаться не в состоянии за приемлемое время выполнить все необходимые вычислительные функции. В этой связи является целесообразным комплекс программного обеспечения разделять на модули с распределением функции между различными процессорами сети ЭВМ. При этом в состав программного обеспечения DSS должны включаться интерфейсы модулей и соглашения межмашинного обмена. Кроме того, большой объем знаний, накопленный в виде созданных и модифицируемых пакетов прикладных программ (ППП), не может быть проигнорирован и должен также войти в состав в ПО DSS.

Наконец, техническая реализация DSS в виде распределенной вычислительной системы коллективного пользования с возможностями распараллеливания вычислений и распределенным хранением данных требует адаптации программного обеспечения к данным условиям.

Таким образом, при создании ПО DSS задач атмосферной оптики должны решаться следующие задачи.

1. В области системного программного обеспечения (СПО) — разработка средств свободного подключения элементов ПО, обеспечивающего переход от однопроцессорной конфигурации к многопроцессорной, при минимальных изменениях в самих программных средствах (шина программного обеспечения [30]).

2. В области функционального программного обеспечения (ФПО) — создание программно-ориентированного инструментального комплекса разработки (синтеза) программ на базе методов логического программирования.

Основой СПО любой компьютерной системы является операционная система (ОС). Она увязывает воедино все компоненты программных комплексов и реализует необходимые сервисные функции. Современная тенденция в использовании ОС для систем поддержки решения характеризуется максимально возможным применением многомашинных операционных систем (МОС) [31], обеспечивающих простейший перенос программ из одной ЭВМ в другую. (Одной из лучших МОС считается ОС Unix [32]). Вместе с тем, учитывая, что в DSS задач атмосферной оптики принята идеология

ориентации каждой ЭВМ сети на задачи своего класса, проблема оперативного переноса программного продукта не является доминирующей. В этих условиях передача текстовых файлов (исходных модулей) достаточно полно обеспечивает межмашинный программный обмен. А этим требованиям удовлетворяют возможности локальной информационно-вычислительной сети DSS.

Таким образом, задача выбора оптимальной ОС для DSS в целом сводится к проблеме выбора оптимальной операционной системы для конкретного типа ЭВМ. При этом каждая из используемых ОС должна удовлетворять определенному набору требований: обеспечивать условия рациональной организации вычислительного процесса на ЭВМ; реализовывать максимум сервисных функций; предоставлять пользователям однотипные возможности вне зависимости от класса ЭВМ.

К наиболее важным сервисным функциям следует отнести [31, 33]: интерактивный режим; удобные средства управления данными; возможность организации быстро сменяющегося на экране дисплея меню; графическое отображение данных; крупноформатные электронные таблицы (КЭТ) и другие. Кроме того, должна обеспечиваться преемственность всего ПО по мере совершенствования версии ОС.

Следует отметить, что современные операционные системы реализуют большинство из перечисленных функций. Поэтому при выборе ОС в первую очередь необходимо обеспечивать максимальную сохранность накопленного программного фонда. В DSS задач атмосферной оптики использование набора ОС реализовано именно по этому принципу.

По поводу языков программирования существуют противоречивые мнения. Выбор языка определяется не только функциональной областью (оптика атмосферы), но и эксплуатационными характеристиками ЭВМ, входящих в вычислительную сеть DSS. Поэтому основная задача использования языковой поддержки состоит в интеграции ПО, которая должна обеспечить:

- совместимость данных различных программ;
- одновременное использование или быстрое переключение двух и более программ;
- создание единого метода ввода/вывода для всех программ [34].

Таким образом, на первый план ставится задача стандартизации языков программирования и ПО в целом. Однако такая стандартизация сопряжена с переработкой аппаратных средств и требует значительных временных и ресурсных затрат [34–37]. Тем не менее уже сейчас необходимо создавать программное обеспечение, максимально удовлетворяющее сформулированным выше требованиям. Такой подход реализуется в DSS задач атмосферной оптики, т.е. ПО строится по иерархическому принципу в виде системы мониторов, обеспечивающих все типы интерфейсов (внешних и внутрисистемных) и необходимые сервисные функции [33].

Базисными элементами ПО в DSS являются библиотеки, которые могут быть двух типов:

- стандартные библиотеки, поддерживаемые монитором библиотек системы;
- нестандартные библиотеки, каждая из которых имеет собственный обслуживающий монитор.

Каталог любой библиотеки содержит указатель вида этой библиотеки и «пускач» соответствующего монитора.

Основными элементами библиотеки являются модули. В состав модулей наряду с функциональными программами входят каталог библиотеки, обслуживающий монитор и порты (адрес другой библиотеки с участком памяти для информационного обмена), предназначенные для обмена информацией с библиотеками, которые актуализировали или были актуализированы данной библиотекой.

Сеанс работы ПО, построенного по данному принципу, предусматривает процедуру открытия библиотеки, создание ее копии, инициализацию соответствующих портов и связывание необходимых мониторов. В процессе работы может быть произведено обновление содержания библиотеки (без изменения информации о ней в каталоге) или создание новой библиотеки. Данные функции выполняет монитор при закрытии сеанса. Информационные обмены определяются протоколами распределенной вычислительной системы коллективного пользования DSS задач атмосферной оптики.

Реализация цикла «модель – алгоритм – программа» осуществляется на процедурном уровне путем конструирования вычислительной модели из функциональных программ, входящих в состав ПО (библиотек). Совокупность таких вычислительных моделей составляет семантическую модель предметной области – базу знаний. В DSS база знаний, так же как и база данных, является распределенной по ЭВМ локальной информационно-вычислительной сети.

Экспертная часть DSS, реализующая цикл «логико-лингвистическая модель – алгоритм – программа», организуется как иерархический набор экспертных систем (ЭС). В состав конкретных экспертных систем для задач атмосферной оптики, наряду с традиционными компонентами – экспертными знаниями (фактами), правилами логического вывода и компонентами объяснений, включаются процедурные знания (в виде функциональных программных модулей) и математические (расчетно-логические) модели исследуемых процессов. Таким образом, ЭС для атмосферно-оптических задач являются гибридными экспертными моделирующими системами (ГЭМС) [38, 39].

Структура иерархического дерева экспертных систем строится таким образом, чтобы отразить традиционное разделение предметной области «оптика атмосферы» на принятые в ней направления исследований. Кроме того, организация ЭС в виде иерархической структуры рациональна и по следующим соображениям.

1. Набор правил логического вывода и функциональных моделирующих программ для каждого направления исследований достаточно индивидуален и может значительно отличаться от других. Эф-

фективность же экспертных систем значительно выше для «узких» задач, не требующих обращений к смежным областям.

2. Предлагаемая структура открыта для модификаций на любом уровне иерархии без изменения работоспособности системы в целом.

3. Иерархическая структура позволяет легко адаптировать концептуальные знания о предметной области к меняющимся представлениям исследователей. Таким образом, введение новых знаний предельно упрощено.

Работа с подобной системой возможна на любом уровне как с независимой ЭС, со своей базой знаний и набором правил логического вывода. Одновременно движение по ветвям дерева может позволить либо детализировать свои представления об исследуемом процессе (движение вниз), либо уточнить постановку задачи (движение вверх), реализуя тем самым принцип «синтез — анализ» [40].

Проблема автоформализации знаний подразумевает интеграцию функциональных программ, созданных пользователем по направлению его исследований (зачастую несовершенных) в функционально законченный, работоспособный программный комплекс. Таким образом, возникает задача синтеза надежных программных систем.

В ПО DSS задач атмосферной оптики для этих целей используется подход, основанный на формализме структурных С-вычислительных моделей [33, 41], отличительной особенностью которого по сравнению с традиционными подходами является возможность синтеза вычислительной модели не только по внешним относительно данной модели элементам, но и с использованием элементов данной модели (т.е. реализация рекурсии).

Таким образом, сформулированная задача конструирования программной системы для исследования (моделирования) физического процесса решается путем синтеза из процедурных знаний (программ) практически любого уровня иерархии ПО DSS. При этом построенная программа не обязательно линейна, а может содержать ветвления и рекурсии.

Построенное по изложенной выше технологии ПО по большинству параметров удовлетворяет требованиям к программному обеспечению системы поддержки решения задач атмосферной оптики. А так как система является открытой, то модернизация ПО одновременно со сменой поколения средств вычислительной техники на новое носит более прикладной характер. Тем не менее многие вопросы создания программного обеспечения DSS атмосферной оптики еще открыты и представляют большой научный и практический интерес.

V. Заключение

Проблема рациональной организации вычислительного процесса и использования средств вычислительной техники для решения конкретных физических задач остается актуальной и на сегодняшний день. Наряду с созданием систем поддержки решения существует и альтернативное направление — создание специализированных операционных систем. С нашей точки зрения, это направление менее приспособлено к динамически меняющимся представлениям исследователей о прикладной функциональной области и обладает меньшей гибкостью при реализации сложных моделирующих систем.

Очевидно, что для узких прикладных областей использование специализированных операционных систем может дать принципиальный ресурсный выигрыш. Однако предложенная структура DSS позволяет без существенных перестроек включать в себя вычислительные системы, работающие под управлением таких ОС, что еще раз свидетельствует об актуальности исследований в области создания DSS.

Открытость системы поддержки решения оставляет широкие возможности для совершенствования и модернизации как отдельных ее элементов, так и структуры основных составляющих компонент.

1. Pazzanhera P. //Software News. 1984. V. 4. № 12. P. 34.
2. Громаков Е.И., Шишлов В.И., Яковлев Н.Е. //Проблемно-ориентированные измерительно-вычислительные комплексы. Новосибирск: Наука, 1986. С. 4—24.
3. Галкин В.Н. и др. //Проблемно-ориентированные измерительно-вычислительные комплексы. Новосибирск: Наука, 1986. С. 83—88.
4. Журавлев В.И. и др. //Проблемно-ориентированные измерительно-вычислительные комплексы. Новосибирск: Наука, 1986. С. 58—62.
5. Якубайтис Э.А. Локальные информационно-вычислительные сети. Рига: Зинатне, 1985. 284 с.
6. Создать и ввести в эксплуатацию типовую локальную информационно-вычислительную сеть в Институте оптики атмосферы СО АН СССР на базе моноканальной системы передачи данных. Технический проект. Томск. 1988. 196 с.
7. IEEE Project 802. Lokal area network standarts. Draft 802.3 CSMA /CD acces method and physical soecications. Draft D. 1982. 173 p.
8. Головки А.В., Калайда В.Т. //Математическая статистика и ее приложение. Томск: Изд-во ТГУ. 1987. Вып. 10. С. 24—34.
9. Головки А.В., Калайда В.Т. //Конференция ученых социалистических стран «Локальные вычислительные сети» (Тезисы докл.). Рига: ИЭВТ АН Л ССР, 1986. С. 174-177.
10. Головки А.В., Калайда В.Т. //Оптика атмосферы. 1988. Т. 1. № 5. С. 90—97.
11. Калайда В.Т., Головки А.В. //Там же. № 6. С. 98—107.

12. Головкин А. В., Глинкин О. Б., Калайда В. Т. // Информационно-программное обеспечение задач атмосферной оптики. Новосибирск: Наука, 1988. С. 80–99.
13. Головкин А. В., Калайда В. Т. «Пульсирующее кольцо»: метод множественного доступа в моноканал локальной сети. Томск, 1988. 66 с. (Препринт /ТФ СО АН СССР, № 48).
14. Единая система электронных вычислительных машин. РСП. Средства взаимодействия виртуальных машин. Е 1.00005-03.32.01-5.
15. Веселов В. М., Прибыльская И. Р. Система управления данными АИСОРИ. Общее описание. Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД, 1981. 87 с.
16. Kneizys F. X., Shettle E. P., Gallery W. O. et al. Atmospheric Transmittance /Radiance: Computer Code Lowtran-5-AFCRL-TR-80-0067. ERP № 697. 1980. 233 p.
17. McClatchey R. A. et al. Atmospheric Absorption Line Parameters Computation. AFCRL-TR-73-0096. 1973.
18. Chedin A., Husson N., Scott N. et al. The GEISA data bank: 1984 version. Laboratoire de meteorologie dynamique du CNRS, 1986 and references therein.
19. Войцеховская О. К., Розина А. В., Трифонова Н. Н. Информационная система по спектроскопии высокого разрешения. Новосибирск: Наука, 1988. 148 с.
20. Макушкин Ю. С., Мицель А. В., Руденко В. П. и др. // Прикладное математическое обеспечение в системах коллективного пользования Новосибирск: Наука, 1986. С. 28–38.
21. Бабилов Ю. Л., Калайда В. Т. // Прикладное математическое обеспечение в системах коллективного пользования. Новосибирск: Наука, 1986. С. 54–65.
22. Громаков Е. И., Калайда В. Т., Креков Г. М. // Методологические проблемы научно-технического прогресса. Новосибирск: Наука, 1987. С. 161–174.
23. Афифи А., Эйзен С. Статистический анализ. М.: Мир, 1987. 467 с.
24. Кондратьев А. В. // Оптика атмосферы. 1988. Т. 1. № 6. С. 78–82.
25. Гендрин А. Г., Поспелова Е. И. // Оптика атмосферы. 1988. Т. 1. № 5. С. 98–103.
26. Александров В. В., Горский Н. Д. // Прикладная информатика. 1987. Вып. 1 (12). С. 24–52.
27. Разработка и исследование набора специализированных программно-управляемых модулей ввода и обработки многомерной физической информации. Томск, 1986. Отчет, № Гос. рег. 01.85.0048722.
28. Калайда В. Т., Молчунов Н. В., Сапожников С. В. // Оптика атмосферы. 1988. Т. 1. № 8. С. 116–121.
29. Chen P. P. In: AFIPS Conf. Press. 1973. № 42. P. 277–282.
30. Ramachendra P. Batni // Computer Desing. 1984. P. 165–176.
31. Александров В. В., Чернышева Л. В. // УС и М. 1986. № 4. С. 8–15.
32. Kull D. // Computer Decision. Nov. 1984. P. 94–122.
33. Калайда В. Т., Новосельцев В. Б. // Оптика атмосферы. 1989. Т. 2. № 4. С. 438–444.
34. The Next Generation of Software is Promising // The Office. 1988. V. 107 № 1. P. 66–68.
35. OS/2 // Byte. 1989. V. 14. № 2. P. 6.
36. Unix in the Workplace // Computerworld. 1988. V. 22. № 8. P. 25.
37. New OS/2 Make Easier Real-time Operation // I&CS. 1988. V. 61. № 10. P. 57–60.
38. Бабилов Ю. Л., Гендрин А. Г., Калайда В. Т. // Информационно-программное обеспечение задач атмосферной оптики. Новосибирск: Наука, 1988. С. 5–37.
39. Robert O'Keefe // Simulation. 1986. Jun. P. 10–16.
40. Элти Дж., Кумбс М. Экспертные системы: концепции и примеры. М.: Финансы и статистика, 1987. 191 с.
41. Новосельцев В. Б. // Синтез программ: Тезисы докл. Всесоюз. школы, г. Устинов, 1985. С. 75–77.

Институт оптики атмосферы СО АН СССР,
Томск

Поступила в редакцию
23 марта 1990 г.

V. T. Kalaida. **The Support System for Solving Atmospheric Optics Problems.**

The paper is devoted to the discussion of the methodology of the so-called decision support system for atmospheric optics. Some aspects of project realization are discussed and investigated in connection with the peculiarities of the subject area.