

С. Л. МОЛВИНСКИХ, В. В. ЧЕПИЛОВ, А. П. ШЕВЫРНОВ
(Красноярск)

ДИНАМИЧНАЯ СТРУКТУРА АЛГОРИТМОВ НАКОПЛЕНИЯ И ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ В СИСТЕМЕ «ПОИСК»

Постановка задачи дистанционных исследований протяженных пространственных структур, подобных океану или другим крупным региональным единицам, кроме огромного количества информации, связанного с пространственными масштабами, требует одновременного контроля ряда параметров и дифференцированного подхода при анализе пространственных распределений океанических параметров и их стратификации. Разорванные во времени и пространстве измерения могут привести к неоднозначности в выводах, касающихся конечной оценки биологической продуктивности акватории, типов и характера взаимодействия в океанской системе. Спектр взаимодействий, требующий динамического контроля, чрезвычайно широк и при комплексном подходе к задаче описания экологического статуса и попытке подойти к обоснованным и устойчивым прогнозам является причиной неуклонного повышения инструментального уровня экспериментов «in situ», интернационального характера исследований, планирования и проведения долгосрочных экспедиций, привлечения мобильных аэрокосмических средств сбора и обработки информации. Значимые результаты в моделировании, прогнозировании и контроле океанических полей могут быть достигнуты только координированными экспериментами на борту судна, самолета и космического носителя.

В задачах накопления и обработки информации на первых двух уровнях ряд трудностей, обусловленных бортовыми условиями, неоднородностью поступающих данных, зачастую альтернативными требованиями к составу, надежности, быстродействию, мобильности аппаратуры и объему накапливаемой информации в широком круге задач по локализации океанских структур микро-, макро- и мезомасштабов, может быть последовательно устранен путем включения в долгосрочный эксперимент ЭВМ.

В настоящее время существует ряд системных решений для исследований в режиме реального времени, включающих в эксперимент мини-ЭВМ разного уровня и обеспечивающих многофункциональное использование экспериментального оборудования [1, 2].

В данной работе авторами рассматриваются возможности аппаратных и программных ресурсов системы сбора и обработки («Поиск») для решения ряда задач мониторинга океанических параметров в условиях бортового эксперимента. Узловыми элементами системы являются две микро-ЭВМ типа «Электроника-С-50» (в [3] описаны интерфейсные требования ввода-вывода и частично без учета последней модификации система команд ЭВМ). Три модификации этой ЭВМ совместимы программно и по интерфейсу ввода-вывода. Однопроцессорный вариант системы «Поиск», ее состав и некоторые результаты испытаний в рейсовых работах НИС «Дмитрий Менделеев» приведены в [4]. Полученные данные послужили основой моделирования структуры системы, дальнейшего расширения аппаратных и программных ресурсов для длительного эксперимента по накоплению и классификации спектральных характеристик поверхностных океанских слоев в видимом диапазоне солнечного спектра. Законченная идеальная структура эксперимента при работе на ходу судна предполагает накопление «эталонных» спектральных яркостей B_λ (λ — длина волны) океанской поверхности, точных контактных

данных по измерению гидробиологических и гидрооптических параметров (температура, соленость, концентрация хлорофилла и органической и неорганической взвеси, параметры функции распределения гидрозольных частиц по размерам, первичные гидрооптические характеристики: коэффициент ослабления ϵ , поглощения κ , рассеяния σ). Объем первичной информации существенно увеличивается при поиске взаимокорреляционных связей стратифицированных полей разной природы на дрейфовых станциях.

К числу необходимых для дальнейшего обсуждения характеристик системы «Поиск» относятся: эффективная оперативная память системы ≈ 2 кбайт, емкость внешних запоминающих устройств (ВЗУ) 3×4 кбайт, предельная скорость обмена 10 кбайт/с, реальная частота ввода цифровой информации 1 кГц, количество датчиков в описываемом варианте 8 (предполагается двоичный или двоично-десятичный параллельный код); внешние устройства (ВУ): перфоратор ПЛ-80, фотосчитыватель ФС-1501, алфавитно-цифровой дисплей «Videoton-340», печатающее устройство «Consul-260» (или 254), накопители на магнитной ленте ЛМР и шаговый магнитофон МШ-2 с предельными частотами накопления 1 кГц и 250 Гц соответственно (формат записи 2 байт). Число ВУ может быть расширено. К удобству построения данной системы следует отнести магистральную организацию связей ВУ и ЭВМ с использованием двухуровневых прерываний в каждом из введенных процессоров, прямой доступ к ОЗУ и периферийным устройствам с клавиатуры ЭВМ. Допускается функциональное разделение блоков и автономный режим работы накопителей и буферных устройств (время автономного режима (t_a) накопителей не ограничено, а для буферных устройств $t_a \leq \Sigma/v$, где v — частота записи, Σ — суммарная память буферных устройств и $\Sigma \leq 12$ кбайт, $v \leq 1$ кГц, разрядности накапливаемой информации — 8 или 16). Ограниченные возможности ЭВМ по обмену (включая малую емкость ОЗУ ЭВМ) для ряда экспериментов могут быть скомпенсированы разумным использованием буферных устройств с прямым доступом и системой обмена, сопряженной с ЭВМ.

Задачи накопления и обработки. В экспериментах по непрерывной регистрации, накоплению, текущей обработке n -мерного вектора спектральных яркостей B_λ , кроме создания обширной библиотеки эталонных спектральных характеристик океанской поверхности по курсу корабля совместно с рядом отмеченных выше гидробиологических и гидрооптических параметров, требуются оперативные решения по локации градиентов для некоторого оцениваемого параметра $f_i(t, x)$ и на этой основе управление выбором точек дрейфовых станций на полигоне. Если первый пункт этой работы (после этапа накопления регионально-неоднородной информации) практически связывается с формированием банка данных и обработкой на мощных стационарных ЭВМ, второй (локация, управление) сопряжен с дефицитом априорной информации в условиях ограниченного времени. Кроме проблемы выбора алгоритма обработки, встает задача оптимальной организации программных и аппаратных ресурсов системы сбора и обработки. При этом универсальность и гибкость в построении достигается как возможным перераспределением ресурсов, так и процессом обучения системы. Последнее иллюстрируется следующими примерами.

Пусть для регистрируемого или оцениваемого процесса $f(t)$ на основании обучающей выборки получены нормированная корреляционная функция $K(\tau)$ и ее нормированная спектральная плотность $G(\omega)$. Для интервала корреляции τ_k следует: $\tau_k = 0,5G(0)$. Если отсчеты последовательности $f = f(m\theta)$ ($m = 1, 2, \dots$, θ — интервал дискретизации процесса на входе системы) направляются на регистрацию или дальнейшую обработку в соответствии с условием

$$|f((m+1)\theta) - f(m\theta)| > \delta, \quad (1)$$

для среднего числа отсчетов N_k на интервале τ_k выполняется [5]

$$N_k = \lambda \tau_k = (\omega G(0)\sigma) / \sqrt{2\pi} \delta,$$

где δ — квант амплитудного диапазона, ω — среднеквадратичная угловая частота процесса, σ — дисперсия, λ — интенсивность потока запросов на обработку (регистрацию). Процесс предполагается распределенным нормально. Выходной поток не зависит при этом от первоначального разбиения $m\theta$ (при $\theta \ll \tau_k$).

При временных затратах на обслуживание одного из запросов, равных t_0 , возможное резервное время на интервале

$$\Delta T_p = \tau_k - N_k t_0 = \frac{G(0)}{2} \left[1 - \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{\omega \sigma t_0}{\delta} \right]. \quad (2)$$

Условие $\Delta T_p \geq 0$ определяет время, в течение которого система может использоваться в фоновой программе; обслуживание в реальном масштабе времени также возможно при $\Delta T_p \geq 0$, т. е. требуется

$$t_0 \leq \sqrt{\frac{\pi}{2}} \frac{\delta}{\omega \sigma}. \quad (3)$$

Для случая оценки вектора $f(t)$ с некоррелированными координатами условие (1) соответственно заменяется системой n неравенств аналогичного вида, контролируемых системой независимо по каждой координате (n — размерность вектора f). Число запросов на обслуживание соответственно возрастает: $\lambda = \sum_i \lambda_i$, причем фиксированное число отсчетов на интервалах корреляции τ_{ki} оцениваемых процессов $f_i(t)$ обеспечивается равенством $\lambda_i \tau_{ki} = \lambda_j \tau_{kj}$, а для параметров квантования δ_i , δ_j соотношением

$$\frac{\delta_i}{\delta_j} = \frac{\omega_i G_i(0) \sigma_i}{\omega_j G_j(0) \sigma_j}.$$

Приведенные выражения для N_k , ΔT_p , t_0 предполагают использование для поступающих запросов буферной памяти, через которую за единицу времени в среднем проходит $\sim 2\lambda$ слов (с учетом записи меток времени). Возможные потери информации должны контролироваться при этом сравнением числа направленных и обслуженных запросов и, если это возможно, устраняться рекуррентным уменьшением времени обслуживания до выполнения условия (3).

Дополнительные возможности сокращения размерности контролируемого вектора f появляются в случае известных статистических связей его координат, полученных на основе предварительного обучения. Так, для пары переменных f_i и f_j возможна связь коррелятивного характера вида

$$f_i = \beta f_j + \beta_0 \quad (4)$$

с шириной доверительного интервала δ_{pi} для ошибки единичного предсказания переменной f_i [6]:

$$\delta_{pi} = 2t_{\alpha/2}(m-2) \sigma_i \left[1 + \frac{1}{m} + \frac{(f_j - \bar{f}_j)^2}{\sum_k (f_{jk} - \bar{f}_j)^2} \right]^{1/2}, \quad (5)$$

где $t_{\alpha/2}(m-2)$ — значение t -распределения для уровня значимости α ; m — число измерений в выборке, на основании которой построена зависимость (4). При этом, если удовлетворяется требование на ширину квантования δ_i в виде $\delta_i \geq \delta_{pi}$, допустимо сокращение размерности контролируемых переменных с сохранением точности восстановления процесса.

Далее известно, что сокращение регистрируемой информации при интерполяции случайного поля $f(t)$ при неравномерном распределении точек регистрации $\{t_i\}$ приводит к неотрицательным значениям добавки к ошибке интерполяции $\Delta\varepsilon$ [7]:

$$\Delta\varepsilon = \varepsilon^{m-1}(t_k) - \varepsilon^m(t_k) = \frac{[g(t, t_k)] \Delta}{\Delta_{kk}}, \quad (6)$$

где Δ — определитель ковариационной матрицы начальной размерности m ; Δ_{kk} — определитель порядка $(m-1)$, полученный вычеркиванием k -го столбца и строки из исходной матрицы; k — индекс удаленной переменной; $g(t, t_k)$ — оптимальная (в смысле среднеквадратичного критерия) весовая функция, построенная для поля $f(t)$ с ковариационной матрицей $K(t_i, t_k)$; $\varepsilon^m(t_k)$ — среднеквадратичная ошибка интерполяции по m измерениям.

Таким образом, оптимальным будет исключение координаты с индексом k , выбранным из условия $\min \Delta\varepsilon(t_k)$ на множестве $\{t_i\}$, $i = 1, 2, \dots$. Рекуррентное исключение подчинено (6) и при увеличении числа удаленных координат исходного вектора измерений. При этом накопленная дополнительно ошибка

$$\Delta\varepsilon_\Sigma = \sum_{j=0}^l \min_{t_k \in \{t_i\}} \frac{[g_j(t, t_k)] \Delta_{m-j}}{\Delta_{m-j-1}} \quad (7)$$

и система обработки должна обеспечивать выбор функций $g_j(t, t_k)$ и определение удаляемых индексов в соответствии с ограничением на допустимую ошибку интерполяции. Одновременно (7) приводит к оптимальному распределению точек регистрации (координат вектора измерений на $\{t_i\}$). В выражении (7) Δ_{m-j} , Δ_{m-j-1} определены аналогично выражению (6), индекс указывает на размерность соответствующих матриц, $l+1$ — число исключенных переменных.

Приведенные выражения показывают, что в реальной ситуации адаптивная система с гибкими программными ресурсами и возможностью обучения на начальном этапе обработки позволяет существенно сократить объем накапливаемой информации и выдать рекомендации на организацию обработки в режиме реального времени (параметры t_0 , Δ_j , l и т. п.).

Аппаратные и программные ресурсы системы. Исполнение аппаратных и программных ресурсов созданной системы в целом подчинено требованиям, описанным выше. Общая функциональная схема системы соответствует рис. 1 и обеспечивает магистральное подключение ВУ к процессорам системы через соответствующие интерфейсные карты.

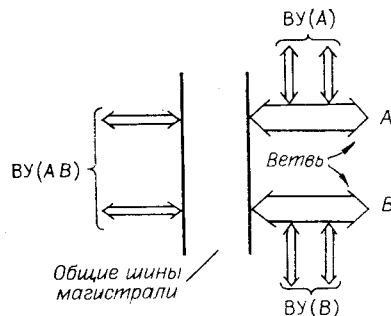


Рис. 1. Конфигурация внешних устройств и процессоров в системе «Поиск».

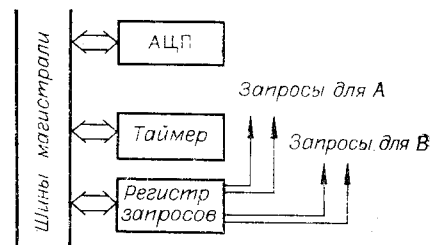


Рис. 2. Организация прерываний в системе.

Запросы формируются либо ВУ, либо одним из процессоров.

Системное объединение ВУ и микро-ЭВМ в режимах обмена достигается при следующих условиях и различается для групп ВУ(АВ); ВУ(А); ВУ(В):

а) для ветви А (процессор А) или В соответственно разрешены взаимодействия с ВУ(А) или ВУ(В) типа «ВУ(А) И А», «ВУ(В) И В»; режимы одновременного взаимодействия ЭВМ с различными ВУ на ветви запрещены; режимы «ВУ(А) И В», «ВУ(В) И А» не реализуются;

б) для группы ВУ на общих магистральных шинах реализованы режимы обмена «ВУ(АВ) И А И В», «ВУ(АВ) И А И В» (инверсия здесь означает отсутствие обмена с соответствующей ЭВМ). Специализированное управление от программ-контроллеров на обеих ветвях в соответствии с описанными типами связей обеспечивает периодическое накопление файлов редактированных данных и формирование межпрограммных взаимодействий «запрос — ответ». В схеме на рис. 1 не выделены интерфейсы магистрали и стандартных аналого-цифровых преобразователей (АЦП), обращение к ВУ осуществляется в режиме «Выбор ВУ» (см. [3]).

Инициирование запуска АЦП возможно как со стороны любого процессора, так и со стороны автономного источника последовательности задающих импульсов. В последнем случае обслуживание запросов ведется в режиме прерываний с учетом уровня приоритета запроса (рис. 2). Этот режим работы системы использовался для однопроцессорного варианта в комплексе со специально разработанными авторами для бортовых работ спектрофотометром МКС-12 [8]. При работах с зондирующим батифотометром инициатором измерений являлся процессор. Введение второго процессора позволило существенно видоизменить и оптимизировать логические переходы в процессе обработки данных*. Они свелись к следующим построениям программных ресурсов.

1. При обслуживании периодической последовательности запросов один из процессоров (А) контролирует поступающую информацию. Контроль обрабатываемых на данном этапе параметров, согласно выражению (1), например, приводит периодический поток запросов в соответствие с частотным диапазоном обрабатываемого процесса. При этом соотношение поступивших на начальном этапе запросов к переданным на обработку процессору В равно $(1/\theta\lambda)$, где $\lambda = \sqrt{2}/\pi(\omega\sigma)/\delta$ для нормального случайного процесса.

2. Резерв времени обслуживания, возможный у обеих ЭВМ, должен эффективно использоваться для расширения применяемых алгоритмов обработки, массовой документированной выдачи результатов оператору.

3. Дефицит времени обслуживания у одного из процессоров ликвидируется своевременным перераспределением программных ресурсов либо их заменой. Резервные алгоритмы хранятся в одном из ВЗУ, на перфоленте или встроенном кассетном накопителе у одной из ЭВМ.

Взаимодействия, описанные в перечисленных пунктах, контролируются программой-супервизором, в функции которой входят: контроль числа направленных и обслуженных запросов, определения величины резервного времени и адреса резервной программы системы. В качестве примера на рис. 3 приведен алгоритм с использованием дополнительных к основному программному блоку ресурсов трех временных уровней (C_1, C_2, C_3). Здесь иницирующие запросы от датчиков формируют прерывания для процессора А, который, кроме исполнения основного блока A_1 , ведет периодическую оценку величины резервного времени, определяет адрес дополнительного ресурса С и получает его в пользование в режиме холостого хода (ожидания запроса). После выполнения блока

* Практически это относится к проблеме рационального использования оборудования, которая, естественно, всегда важна, но в случае использования его на предельных режимах эта проблема особо значима.

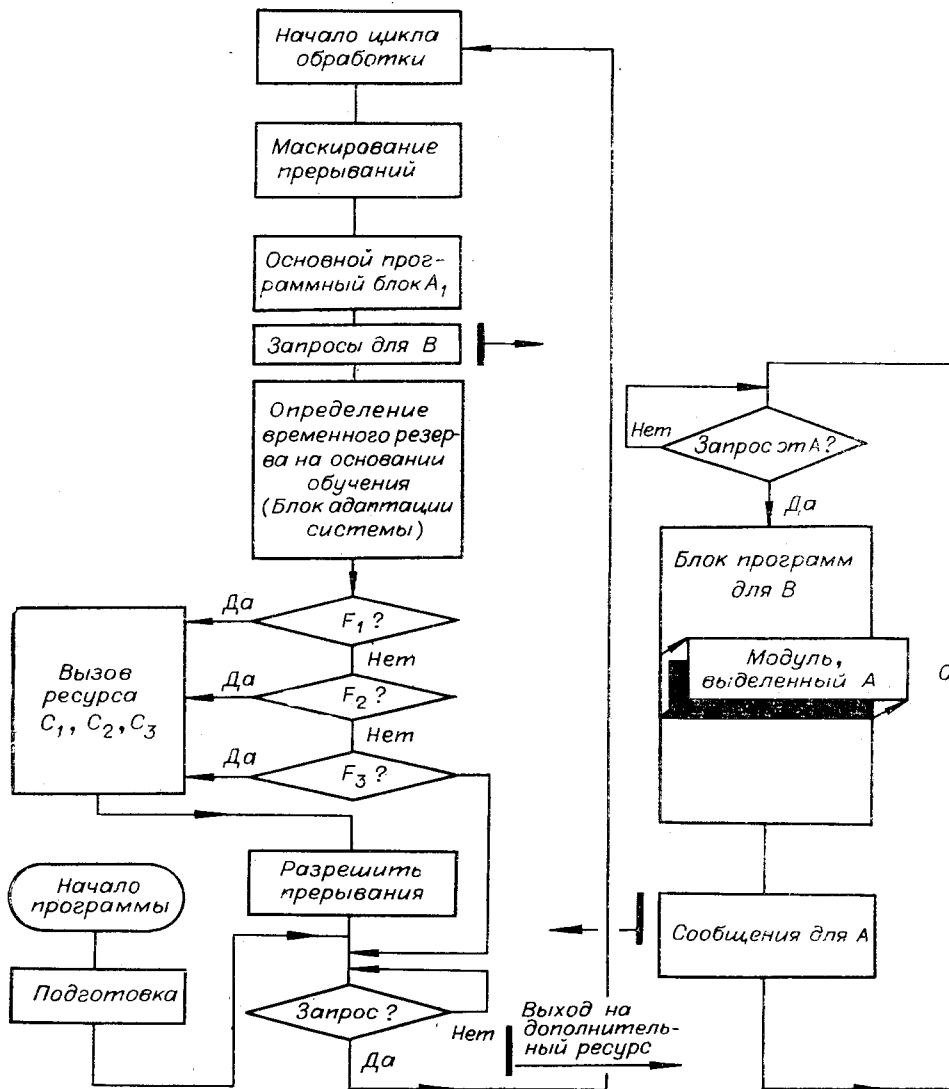


Рис. 3. Алгоритм работы системы с динамической перестройкой программных модулей. Условные операторы F_1 , F_2 , F_3 определяют выбранный ресурс.

С прерывания от B программно маскируются и система выходит в начало цикла обработки.

В описанном режиме программные блоки системы разбиваются на последовательность программных модулей, обеспечивающих при заданном состоянии входных данных соответствующий уровень обработки. Каждый модуль вызывается на рабочее поле в два этапа. Сначала анализируется его адресная часть, затем вызывается и исполняется сам программный модуль. Последовательность исполнения контролируется супервизором. Используемый в данном цикле модуль временно вычеркивается из исполняемой библиотеки модулей (вычеркивается адресная часть); по возвращении обеих ЭВМ в начало цикла данная адресная часть восстанавливается. Адреса и программные модули хранятся в ВЗУ общего пользования.

Эффективность подобных процедур замены особенно возрастает при случайном характере вызова программ, требующих значительных временных затрат у ЭВМ используемого типа. Как правило, это матрич-

ные операции, фурье-преобразования, экстренная документированная выдача на печать.

Несмотря на относительно невысокие технические данные применяемых ЭВМ, двухпроцессорное построение системы «Поиск» позволило реализовать эффективные функциональные взаимодействия ВУ—ЭВМ—оператор. Эксплуатация в полевых и стационарных условиях показала перспективность построения системы описанного типа при массовом сборе экспериментального материала по природным ресурсам.

ЛИТЕРАТУРА

1. Куценко А. В., Полосьянец Б. А., Ступин Ю. В. Мини-ЭВМ в экспериментальной физике. М., Атомиздат, 1975.
2. КАМАК — системы автоматизации в экспериментальной биологии и медицине. Под ред. Ю. Е. Нестерихина. Новосибирск, изд. ИАиЭ СО АН СССР, 1979.
3. Черепанов В. Г. Программирование в кодах ЭВМ «Электроника С-50». Красноярск, изд. КПИ, 1976.
4. Гительзон И. И., Шевырнов А. П., Молвинских С. Л., Чепилов В. В. Бесконтактная регистрация хлорофилла в поверхностных водах на ходу судна.— «Изв. СО АН СССР. Сер. биол.», 1979, № 2.
5. Калашников И. Д., Степанов В. С., Чуркин А. В. Адаптивные системы сбора и передачи информации. М., «Энергия», 1975.
6. Бордюк В. П., Лецкий Э. К. Статистическое описание промышленных объектов. М., «Энергия», 1971.
7. Нелепо Б. А., Тимченко И. Е. Системные принципы анализа наблюдений в океане. Киев, «Наукова думка», 1978.
8. Гительзон И. И., Шевырнов А. П., Молвинских С. Л., Чепилов В. В., Караев Н. Д., Псахис М. Б. Полевой многоканальный спектрофотометр МКС-12.— «Океанология», 1979, № 4.

Поступила в редакцию 10 июня 1979 г.

УДК 57.08+616.071 : 65.011

С. Г. ДАНЬКО, Ю. Л. КАМИНСКИЙ

(Ленинград)

АВТОМАТИЗАЦИЯ КЛИНИЧЕСКИХ НЕЙРОФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ: ЗАДАЧИ И РЕАЛИЗАЦИЯ

Клиническое применение долгосрочных внутримозговых электродов создало принципиально новые возможности двусторонней электрической связи с глубокими структурами головного мозга человека [1]. Реализация этих возможностей позволяет по-новому ставить и решать задачи лечения тех хронических заболеваний головного мозга, в частности эпилепсии, традиционное лечение которых малоэффективно [2]. В настоящее время сложность объекта — мозга человека — и соответствующий большой поток информации, обеспечиваемый уже существующими способами контакта с мозгом, выдвигают на первый план автоматизацию как наиболее перспективное направление методического совершенствования клинических нейрофизиологических исследований. Автоматизация должна быть направлена на решение следующих задач: 1) сжатие информации и получение количественных характеристик исследуемых процессов при минимальном разрыве во времени между проведением исследования и получением результатов анализа; 2) непрерывный длительный контроль электрических процессов в мозге для накопления информации о редких, но функционально значимых состояниях мозга;