

УДК 621.325.5—181.4

Структурное проектирование микропроцессорных систем для обработки масс-спектрометрической информации. Носов В. Г. — В кн.: Научное приборостроение. Теоретические и экспериментальные исследования. Л.: Наука, 1984, с. 153—158.

Предлагается формальная модель структурного этапа проектирования микропроцессорных систем обработки масс-спектрометрической информации с целью автоматизации данного этапа проектирования. Для построения модели используется аппарат целочисленного математического программирования с булевыми переменными. Исследованы наиболее перспективные серии микропроцессоров и микропроцессорных наборов. Приведены оценки признаков внутренней архитектуры для построения микроЭВМ программно-совместимой с миниЭВМ СМ-4. Построены номограммы зависимости эффективной производительности от затрат по оборудованию для различных типов микропроцессоров. Лит. — 1 назв., ил. — 2, табл. — 1.

СТРУКТУРНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ОБРАБОТКИ МАСС-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

При создании систем автоматизации приборов для научных исследований в настоящее время широкое применение получают микропроцессоры (МП) и построенные на их основе микропроцессорные системы (МПС), служащие для обработки информации, получаемой от аналитического прибора, и управления самим аналитическим прибором.

На структурном этапе проектирования МПС разработчик должен решить следующие задачи:

— на основе анализа алгоритмов, возложенных на проектируемую систему, определить необходимую (допустимую) производительность и необходимый объем оперативной памяти системы;

— выбрать или спроектировать систему команд;

— выбрать тип МП, на котором будет проектироваться система;

— выбрать структурную схему системы;

— осуществить проектирование микропрограммного обеспечения системы с учетом системы микроинструкций выбранного типа МП.

Необходимо отметить главную особенность структурного этапа проектирования МПС в отличие от того же этапа проектирования систем, разрабатываемых без применения МП. Она заключается в том, что три последние задачи структурного этапа проектирования тесно взаимосвязаны и в основном определяются внутренней архитектурой МП и его системой микроинструкций, от которых зависят технические характеристики проектируемой системы. Цель данной работы заключается в разработке формализованного метода, позволяющего автоматизировать структурный этап проектирования МПС для первичной обработки масс-спектрометрической информации, и инженерной методики структурного этапа проектирования МПС.

Разработанный ранее [1] формализованный метод оптимизации внутренней архитектуры микро-ЭВМ, ориентированной на определенный класс алгоритмов, заключается в выделении признаков внутренней архитектуры микро-ЭВМ на этапе эмуляции выбранной системы команд. На этом этапе разработчик должен решить традиционную проблему распределения ресурсов проектируемой микро-ЭВМ

между аппаратным и микропрограммным уровнями. При этом учитываются, с одной стороны, особенности эмулируемой системы команд, с другой — результаты анализа реализуемых алгоритмов и ограничения, накладываемые на проектируемую МПС по объему оборудования, производительности, потребляемой мощности и т. д.

Внутренней архитектурой микро-ЭВМ будем называть совокупность ее функциональных узлов, связей между ними и соответствующего микропрограммного обеспечения. Признаками внутренней архитектуры называются элементарные (неделимые при данном уровне рассмотрения) функции микро-ЭВМ, которые могут быть реализованы аппаратными или микропрограммными средствами.

Для каждой конкретной микро-ЭВМ, построенной на определенном типе МП, набор признаков является фиксированным. Обозначим j -й признак внутренней архитектуры через x_j . В данном случае признак может принимать два значения:

$$x_j = \begin{cases} 1, & \text{если признак } j \text{ реализован аппаратно,} \\ 0, & \text{если признак } j \text{ реализован микропрограммно.} \end{cases}$$

В этом случае каждому варианту внутренней архитектуры можно поставить в соответствие значение булевого вектора признаков $\mathbf{X} = \{x_1, \dots, x_j, \dots, x_m\}$.

Задача оптимизации выбора внутренней архитектуры может быть поставлена и решена как задача линейного целочисленного программирования с булевыми переменными [1]. В качестве целевой функции Z выбираем затраты по оборудованию, а в качестве ограничения — требования по времени реализации заданных алгоритмов.

В терминах математического программирования задача формулируется следующим образом:

найти такой $\mathbf{X} = \{x_j\}$, $j = \overline{1, m}$, что

$$Z = Q_0 + \mathbf{Q}\mathbf{X}_r \rightarrow \min \quad (1)$$

при

$$\mathbf{F}\mathbf{M}\mathbf{X} \leq T_{\text{доп}} - T_0. \quad (2)$$

Здесь Q_0 — минимальное оборудование микро-ЭВМ, когда все признаки реализованы микропрограммно; \mathbf{Q} — вектор оценок признаков по оборудованию; $\mathbf{Q} = \{q_j\}$, где q_j — оценка признака j по оборудованию при его аппаратной реализации; \mathbf{X}_r — транспонированный вектор \mathbf{X} ; \mathbf{F} — вектор частот использования операций системы команд микро-ЭВМ при реализации заданных алгоритмов; $\mathbf{F} = \{f_i\}$, $i = \overline{1, n}$, где f_i — частота использования i -й операции из системы команд микро-ЭВМ; \mathbf{M} — матрица связи, указывающая на использование признака j в операции i ; $\mathbf{M} = \{m_{ij}\}$; \mathbf{X} — инверсный вектор \mathbf{X} ; $T_{\text{доп}}$ — допустимое время реализации алгоритмов; T_0 — минимальное время реализации алгоритмов, когда все признаки внутренней архитектуры реализованы аппаратно.

Таким образом, зная частоты использования операций при реализации заданных алгоритмов и решая задачу (1), (2), находим значение вектора \mathbf{X} , обеспечивающего реализацию необходимых алгоритмов за допустимое время $T_{\text{доп}}$ при минимальных затратах по оборудованию $Z(\mathbf{Q}) \rightarrow \min$.

Анализ алгоритмов первичной обработки масс-спектрометрической информации, к которым обычно относят алгоритмы уничтожения фона, сглаживания спектра, разделения наложившихся пиков, учета аппаратной функции, дифференцирования спектра, интегрирования спектра и вычитания накопленного среднего, позволил определить частоты использования операций при реализации данных алгоритмов. Вектор частот операций равен

$$\mathbf{F} = \{f_1, f_2, f_3, f_4, f_5, f_6\} = \{0.45, 0.05, 0.13, 0.02, 0.25, 0.1\},$$

где f_i — частоты использования следующих операций при выполнении заданного алгоритма: f_1 — сложение—вычитание; f_2 — сдвиг; f_3 — умножение; f_4 — деление; f_5 — передача управления; f_6 — логические операции.

Оценки признаков внутренней архитектуры МП по оборудованию q_j и времени τ_j

Признак внутренней архитектуры	Микропроцессоры									
	К580		К584		К588		К589		К1804	
	q_j	τ_j	q_j	τ_j	q_j	τ_j	q_j	τ_j	q_j	τ_j
СК	—	—	4	3	4	4	4	0.4	4	0.3
РВ	4	64	—	—	4	34	4	6.4	—	—
СЦ	2	64	2	—	2	34	2	6.4	2	2.5
v	—	—	4	15	—	—	4	2	—	—
n	—	—	2	4.5	—	—	2	0.6	—	—
z	—	—	3	4.5	—	—	3	0.6	—	—
c	—	—	1	1.5	—	—	1	0.2	—	—
СУБ	—	—	4	3	—	—	4	0.4	—	—
СРЗС	—	—	2	3	—	—	2	0.4	2	0.3
Матричное умножение	12	182	12	51	12	112	64	13.2	64	8

Обозначения: СК — счетчик команд, РВ — внешний регистр сдвига, СЦ — счетчик циклов для выполнения длинных операций, v — признак арифметического переполнения, n — признак отрицательности результата, z — признак нулевого результата, c — признак возникновения переноса, СУБ — схема управления старшим и младшим байтом, СРЗС — схема распространения знака смещения в командах условных и безусловных переходов.

Прочерки в графах q_j и τ_j означают, что данный признак для данных МП отсутствует (обычно это соответствует случаю, когда данные признаки реализованы внутри МП на кристалле).

В настоящее время наиболее широко применяемыми сериями микропроцессоров и микропроцессорных наборов являются К580, К584, К588, К589, К1804 (зарубежные аналоги Intel 8080, SBP-0400, Intel 3000, AM 2900). Для данных МП и МП-наборов на этапе микропрограммирования была осуществлена эмуляция команд мини-ЭВМ СМ-4, входящих в спектр операций, используемых в реализации алгоритмов первичной обработки масс-спектрометрической информации. По результатам данной работы были выделены признаки внутренней архитектуры для каждого МП и получены оценки этих признаков по оборудованию q_j при аппаратной реализации признака и по времени τ_j при его микропрограммной реализации (см. таблицу). Оценки по оборудованию q_j приведены в количестве эквивалентных корпусов. За единицу принят стандартный 14-выводной корпус. Корпуса с большим количеством выводов приводятся к количеству 14-выводных корпусов с помощью весовых коэффициентов, соответствующих ОСТ 4 ГО.010.009 «Узлы и блоки РЭА на микросхемах. Конструирование»:

14-выводной корпус	...	1
16- »	»	1.5
24- »	»	2
28- »	»	2.5
48- »	»	3

Оценки по времени τ_j находятся по количеству микрокоманд в микропрограммной реализации признака, умноженному на время выполнения микрокоманды в микросекундах.

На основании данных таблицы при различном сочетании признаков внутренней архитектуры были построены номограммы, представленные на рис. 1. По оси ординат отложены значения эффективной производительности $W_{эф}$ для различных МП при решении задач первичной обработки масс-спектрометрической информации, по оси абсцисс — значения затрат оборудования $Q_{корп}$ на построение операционных устройств микро-ЭВМ при использовании различных МП.

На этапе эмуляции системы команд СМ-4 было выяснено, что у микропроцессоров К580 и К584 для выполнения всех функций не хватает внутренних регистров общего назначения (РОН), поэтому при построении микро-ЭВМ на указанных микропроцессорах требуется организация внешних 8 РОН. Минимальное оборудование для данных микропроцессоров рассчитывается с учетом оборудования внешних РОН.

На номограмме изображены пять областей, соответствующих рассматриваемым типам МП:

	Тип МП	Диапазон эффективной производительности, тыс. опер./с	Затраты по оборудованию, корпусов
1-я область . . .	K580	20—40	8—20
2-я » . . .	K584	38—108	24—38
3-я » . . .	K588	32—90	3—25
4-я » . . .	K589	120—360	20—40
5-я » . . .	K1804	295—580	12—25

Учет оборудования запоминающих устройств, блоков регистра команд, приоритетных обращений, регистра состояния процессора сдвигают данные зоны вправо по оси абсцисс, но не меняют их взаимного расположения и не влияют на оценку эффективной производительности.

С использованием описанной методики была проведена разработка микро-ЭВМ, программно-совместимой с мини-ЭВМ СМ-4 для решения задач первичной обработки масс-спектрометрической информации. Специализация микро-ЭВМ на указанный класс алгоритмов достигается учетом частот операций в выполнении алгоритмов и распределением аппаратной и микропрограммной реализации признаков внутренней архитектуры при решении оптимизационной задачи (1), (2). Программная совместимость достигалась за счет микропрограммной эмуляции команд СМ-4 в системе микроинструкций МП K589 и с учетом структуры микро-ЭВМ (рис. 2).

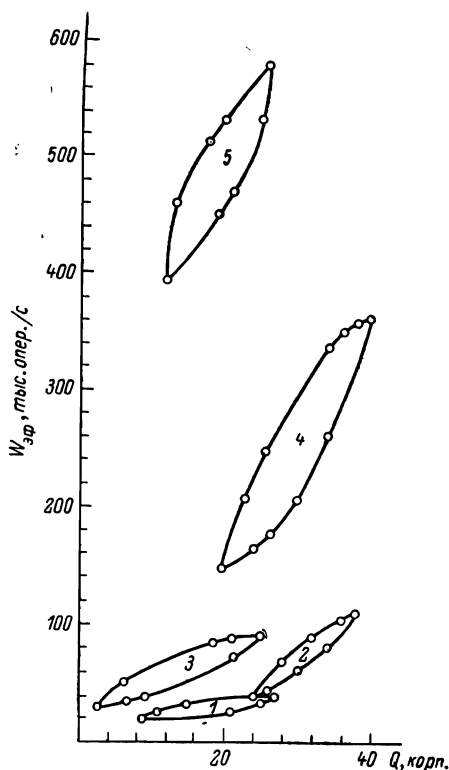


Рис. 1. Номограммы $W=f(Q)$ определения типа МП для построения МПС обработки масс-спектрометрической информации.

На структурной схеме микро-ЭВМ приведены все функциональные узлы, аппаратно реализующие признаки внутренней архитектуры (см. таблицу), поэтому данный вариант микро-ЭВМ соответствует высшей точке номограммы для МП K589 (область 4) с эффективной производительностью 360 тыс. опер./с. ПЗУМП построено на ИМС серии K556PT4 общим объемом на 1024 64-разрядных управляющих слова. Микропрограммы выполнения команд, соответствующих системе команд мини-ЭВМ СМ-4 расположены в двух зонах ПЗУ. В одной зоне расположены микропрограммы выполнения арифметических и логических команд, в другой — команд условных и безусловных переходов, команд управления, системных и привилегированных команд. Остальные функциональные узлы построены с использованием ИМС серий 155, K589 и K531.

Затраты оборудования на построение процессора микро-ЭВМ с минимальной производительностью (120 тыс. опер./с) равны 93 корпусам, с максимальной (360 тыс. опер./с) — 119 корпусам. Разница в оборудовании двух крайних вариантов микро-ЭВМ равна 26 корпусам, что составляет одну четвертую от минимального оборудования, хотя приводит к увеличению производительности в 3 раза.

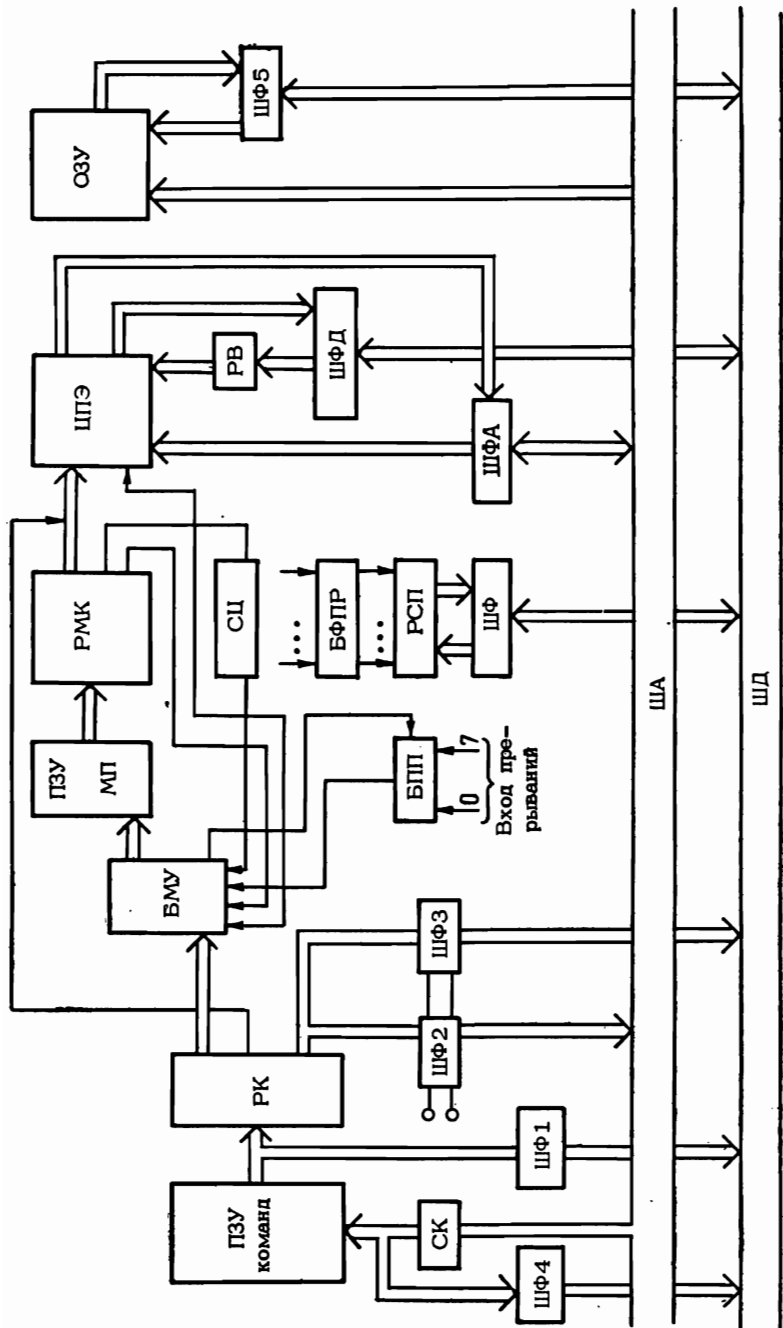


Рис. 2. Структурная схема микро-ЭВМ для системы первичной обработки масс-спектрометрической информации на МП-наборе К589.

ПЗУ команда — постоянное запоминающее устройство команд; СК — счетчик команд; РК — регистр команд; ШФ1, ШФ2, ШФ3, ШФ4 — шинные формирователи для выдачи информации из соответствующих функциональных узлов; БМУ — блок микропрограммного управления; ПЗУ, МП — постоянное запоминающее устройство микропрограмм; РМК — регистр микрокоманд; ЦПЭ — центральный процессорный элемент; СЧ — счетчик циклов; РВ — внешний регистр сдвига; ШФА — шинный формирователь адреса; ШФД — шинный формирователь данных; ША — шина адреса; ШД — шина данных; ОЗУ — оперативное запоминающее устройство; ШФ5 — шинный формирователь данных ОЗУ; БФПР — блок формирования признаков результата (v, n, z, c); РСП — регистр состояния процессора; БПП — блок приоритетных прерываний.

Выводы

1. Предложена формальная модель структурного этапа проектирования МПС, ориентированных на определенный класс алгоритмов (в частности на реализацию алгоритмов первичной обработки масс-спектрометрической информации), позволяющая автоматизировать выбор внутренней архитектуры МПС.

2. Выделены признаки внутренней архитектуры для наиболее перспективных типов МП (К580, К584, К588, К589, К1804).

3. Получены оценки признаков внутренней архитектуры по оборудованию q_j и времени τ_j .

4. Построены номограммы для указанных типов микропроцессоров, позволяющие оперативно выбирать оптимальный тип МП по заданной эффективной производительности, обеспечивающий минимальные затраты по оборудованию при построении МПС для обработки масс-спектрометрической информации.

5. Номограммы показывают, что в областях 1, 2, 3 предпочтение должно быть отдано МП серии К588, обеспечивающему такую же производительность при меньшем оборудовании.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лапкин Л. Я., Носов В. Г. — Автоматика и вычислительная техника, 1982, № 2, с. 15.