

# НЕКОТОРЫЕ МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ ТЕОРИИ КОМПЛЕКСОВ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СРЕДСТВ

*Э. А. Рабинович*  
(Киев)

Важнейшими техническими средствами системотехники являются комплексы цифровых вычислительных машин (ЦВМ). Тем более важен системотехнический подход к изучению и проектированию этих средств.

Такой подход в первую очередь означает систематизацию и классификацию способов построения структур комплексов, тесно связанных с их системами математического обеспечения.

Общие принципы классификации комплексов так же, как и любой другой классификации, должны быть основаны на выделяемой для этой цели системе определяющих признаков.

Определенный набор этих признаков однозначно определяет структуру комплекса с точностью (детализационной) до каждого из них.

Допустим, что всего имеется  $n$  определяющих признаков  $p_1, p_2, \dots, p_n$ , каждый  $i$ -ый ( $i = 1 - n$ ) из которых может принимать любое из  $\alpha_i$  значений. Тогда множество значений всех признаков состоит из

$$\Delta = \sum_{i=1}^n \alpha_i p_i$$

членов, сгруппированных в  $n$  подмножеств.

Условимся, что величина "А" характеризует степень детализации структуры, а величина  $n$  разносторонность этой детализации (что является формальным определением данных терминов, физический смысл которых достаточно ясен).

Допустим для упрощения, что  $\alpha_1 = \alpha_2 = \dots = \alpha_n = \alpha$ . Тогда количество всех  $A = \alpha \cdot n$ , а количество всех наборов признаков, тождественно равно количеству классифицируемых структур, будет

$$B = \alpha^n$$

при условии, что все наборы допустимы.

Это условие удовлетворяется лишь тогда, когда определяющие признаки независимы, т.е. каждый признак может принимать любое значение при любой комбинации значений других признаков.

Желателен именно такой выбор системы определяющих признаков, поскольку только в случае их независимости каждый из них полностью определяет какую-либо сторону структуры комплекса. Кроме того, при данных разносторонности и степени детализации структуры в этом случае обеспечивается максимальное число наборов признаков, т.е. наиболее богатый выбор структур.

Вместе с тем желательно, чтобы при данном количестве структур  $B$  степень детализации  $A$  была минимальна, так как это облегчит и сократит анализ влияния на эффективность комплекса тех или иных определяющих признаков. Как нетрудно показать, при  $\alpha^n = \text{const}$  минимум функции  $A = \alpha \cdot n$  достигается в случае  $[\alpha] = 3$ . Однако, удобнее принять  $\alpha$  равное 2, что способствует получению логической простоты анализа построения структур и системы классификации, в частности, это получается благодаря применению в данном случае привычного для инженеров аппарата булевых функций. Кроме того, при этом обеспечивается также максимальная величина разносторонности детализации (при  $B = \text{const}$ ), что в свою очередь способствует лучшему представлению и пониманию характеризуемой структуры.

Таким образом, в случае двоичного кодирования определяющих признаков (т.е. отождествления их с двоичными переменными) каждая структура в системе определяющих признаков однозначно определяется (и обозначается) конститuentой единицы на данном наборе

$$S_1 = K \bar{p}_1(1), \bar{p}_2(1), \dots, \bar{p}_n(1)$$

Любой класс структур в системе определяющих признаков может быть определен (и обозначен) в виде функции, получившейся после преобразования дизъюнкции соответствующих конститuent, выраженной, как наиболее удобно, в сокращенной дизъюнктивной нормальной форме (ДНФ)

$$M_1 = m_1^{(1)} \vee m_2^{(1)} \vee \dots \vee m_r^{(1)},$$

где  $m_i^{(1)}$  — простые импликаты (включая несклеивающиеся конститuenty).

В частности, импликантой

$$M_1 = p_{1_1} \cdot p_{1_2} \cdot \dots \cdot p_{1_r},$$

получающейся в результате склеивания по признакам, не входящим в число переменных, обозначенных индексами  $1_1, 1_2, \dots, 1_r$ , определяется класс структур, образованных на основе общности значений этих переменных и инвариантности к значениям остальных из множества  $\{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ .

Такова удобная форма построения системы классификации комплексов, пригодная, вообще говоря, для классификации и других структур с той лишь разницей, что далеко не всегда при двоичном кодировании можно сохранить независимость определяющих признаков (либо, то же самое — отождествить значения независимых определяющих признаков со значениями двоичных переменных).

Содержание системы классификации комплексов и выделение в соответствии с этим их типовых структур и классов структур обуславливается уже самими определяющими признаками, выделение которых может быть произведено на основе априорных и интуитивных соображений, а также имеющегося, хоть и относительно небольшого, отечественного и зарубежного опыта их построения.

Прежде чем изложить рациональную, на наш взгляд, систему определяющих признаков, необходимо уточнить, что речь идет не о комплексах, вообще, а о так называемых разнородных комплексах, для которых данная система в содержательном смысле должна быть существенно иной, чем для однородных комплексов (либо, как их еще называют — однородных вычислительных систем).

Разнородные комплексы принципиально отличаются от однородных тем, что они объединяют различные средства вычислитель-

ной техники — не только по техническим данным, но и по их назначению, т.е. в общем случае различные вычислительные машины и разные автономные устройства для ввода, вывода, длительного и оперативного хранения, а также вспомогательной переработки информации.

Построение разнородных комплексов позволяет объединять уже существующие средства в вычислительных центрах и тем самым существенно повышать эффективность их эксплуатации.

Очень важным отличительным достоинством разнородных комплексов является возможность хорошего приспособления их для решения задач различных широко-ориентированных классов. Действительно, любая универсальная машина является лучшим образом ориентированной для решения задач какого-либо одного класса — более или менее широкого в зависимости от степени ее универсализации. Причем, чем более широк этот класс, чем большая разнотипность входимых в него задач, тем сложнее конструкция и система математического обеспечения машины и тем, как правило, меньше возможности достижения высокой эффективности вычислительного процесса при решении каждого типа задач в отдельности. Объединение в разнородном комплексе вычислительных машин, ориентированных на различные классы задач, способствует повышению эффективности их эксплуатации в широком смысле этого слова — имея в виду, как собственно вычислительный процесс, так и процесс программирования и подготовки задач для решения.

Указанное достоинство может также хорошо быть использованным при решении на комплексе сложных задач путем распараллеливания их алгоритмов по отдельным его машинам, имея в виду направленность данного распараллеливания в соответствии с функциональными особенностями каждой из машин.

И, наконец, очень интересной возможностью разнородного комплекса является функциональное распределение отдельных машин не только по классам задач, но и по режимам их работы в общем вычислительном процессе.

Действительно, этот процесс состоит из ряда частных процессов, таких как анализ и диспетчеризация задач, выбор численного метода решения, трансляция программы, решение малых задач, крупных задач, стандартных, нестандартных, задач с алгоритмами, уточненными в процессе решения, задач, требующих обдумывания и анализа промежуточных результатов в процессе их

получения и др. Машины комплекса вместе с их системами математического обеспечения могут быть специально приспособлены для наиболее эффективной реализации этих процессов.

Важнейшая роль в этом приспособлении принадлежит внутреннему языку данных машин. Если этот язык достаточно близок к проблемно-ориентированному входному языку, в частности, подобен ему (в смысле [1]), то общение человека с такой машиной существенно упрощается, как в отношении подготовки задач к решению, состоящей в основном из выбора численного метода, программирования, трансляции и отладки программ, так и в отношении слежения за ходом вычислительного процесса и внесения соответствующих корректив. Последнее обстоятельство играет особую роль для так называемых задач типа "В" [2], решение которых происходит в режиме диалога человека с машиной. К такого рода задачам относятся такие: выбор численного метода решения какой-либо задачи с помощью анализа ее исходных данных и пробных расчетов. Исходя из этого, в составе комплекса желательно иметь машину с высоким уровнем интерпретации, обеспечивающим использование развитого внутреннего языка, который позволяет сохранить в рабочих программах принципиальные основы записи исходных программ на машинно-независимых входных алгоритмических языках с широкой проблемной организацией (например, типа АЛГОЛ-60).

В такой машине следует предусмотреть режим разделения времени (по-видимому, целесообразно в сочетании с режимом мультипрограммной работы) и в основном поручать ей решение задач в процессе диалога с человеком, в том числе выбор численного метода решения сложных задач и отладку их исходных программ, решение мелких нестандартных задач, имея в виду простоту их программирования для такой машины, возможно и решение мелких стандартных задач, а также выполнение различных вспомогательных функций, связанных с подготовкой рабочих программ крупных задач.

В составе разнородного комплекса следует в качестве главного вычислителя иметь машину с внутренним языком и конструкцией, обеспечивающими максимально возможную производительность собственно вычислительного процесса. Такой машине, обладающей возможностями мультипрограммной работы целесообразно поручать в основном решение стандартных задач (т.е. не требующих программирования) и решение крупных нестандартных задач, включая

и их подготовку, если процесс ее должен оказаться существенно менее длительным, чем общий процесс решения, с учетом итераций либо повторений расчетов.

Разумеется, такое распределение подготовительных и вычислительных работ между процессорами разнородного комплекса должно являться не абсолютным, а преимущественным - регулируемым в текущем процессе его эксплуатации. В частности, по-видимому, целесообразно и в вычислителе с менее высоким уровнем интерпретации предусмотреть возможность работы в режиме разделения времени. Указанные типовые процессоры могут, конечно, применяться и не в единственном числе, будучи вдобавок ориентированными не только по режимам решения задач, но и по типам (как ранее упоминалось). Более того, в зависимости от характеристик потока задач вполне может оказаться целесообразным использование еще и малых процессоров с относительно высоким уровнем интерпретации (для решения небольших задач в режиме диалога), а также процессоров аналогового действия со специализированными функциями.

Следует также отметить, что в разнородных комплексах в качестве управляющей целесообразно иметь специально приспособленную для этих функций машину и, вместе с тем, обладающую возможностями выполнения вспомогательной обработки информации, а также участия в основном вычислительном процессе (если для этого остается время).

В разнородных комплексах помимо указанных достоинств и улучшения собственно эксплуатационных характеристик (по сравнению с эксплуатацией простой совокупности машин) может иметь место ряд положительных эффектов (приводящих к повышению производительности и экономии оборудования) за счет совместного использования процессорами автономных устройств: памяти (внешней, промежуточной, оперативной), ввода, вывода и вспомогательного преобразования информации.

Система определяющих признаков должна быть построена таким образом, чтобы охватить все принципы построения комплекса, которые в зависимости от конкретных условий его использования могут дать тот или иной положительный эффект. Кроме того, желательно упорядоченное расположение этих признаков, упрощающее дифференцированное исследование в процессе моделирования влияния каждого из них на характеристики комплексов, а также

соответствующее доступности объединение средств при его построении с учетом удобств их использования. Исходя из этих соображений, имея в виду, что комплекс представляет собой совокупность вычислительных и вспомогательных средств, связанных тем или иным способом в единую систему, естественно и удобно определяющие признаки расположить в порядке углубления этой связи (т.е. объединения комплексируемых средств).

Приведенная далее система определяющих признаков далеко не является исчерпывающей. Ее можно рассматривать, как скелет детализированной системы, которая может быть уже развиваема по мере накопления соответствующего опыта. Однако и предлагаемая система на наш взгляд достаточна на сегодняшний день для выделения и изучения типовых структур комплексов в том числе и методами моделирования протекающих в них процессов, для возможности вынесения суждения об уровне организации комплексов и предварительного выбора его структуры с целью дальнейшего исследования желательных значений ее параметров.

Таким образом, в качестве основных определяющих признаков установлены следующие:

- А - наличие более, чем одного процессоров в комплексе;
- В - наличие централизованного обращения к комплексу (с помощью обобществленных внешних устройств);
- С - наличие обобществленных внешних накопителей;
- Д - наличие обобществленной промежуточной памяти;
- Е - наличие обобществленной оперативной памяти;
- Р - сохранение целостности машин;
- Г - наличие промежуточных устройств для обмена информацией между компонентами комплекса с использованием единого ее формата в этом процессе.

Напомним, что сложность переменной, обозначающей данный признак, утверждает его содержание, а истинность инверсии переменной утверждает противоположное содержание (например,

$C = 1$  - наличие в комплексе обобществленных внешних накопителей,  $\bar{C} = 1$  - отсутствие их в комплексе).

Анализ эффектов истинностных значений признаков является важной и сложной самостоятельной задачей, но, вместе с тем, не относящейся к предмету доклада. Поэтому ограничимся лишь некоторыми замечаниями по существу приведенной классификации.

Первый признак является определяющим в структуре комплексов, поскольку он их делит на два класса - однопроцессорных и

многопроцессорных (под "процессором" понимаем машину, выполняющую основную переработку информации, предусмотренную алгоритмами решающих задач).

Однопроцессорные комплексы по сути представляют собой вычислительные системы с одной центральной машиной и различными обслуживающими ее устройствами, в числе которых могут быть и совершающие различную вспомогательную обработку информации. Цель такого комплексирования - достижение близкой к максимальной производительности центральной машины, для чего необходимо, чтобы ее вычислительное устройство выполнило лишь основную переработку информации с минимально возможным относительным временем простоя.

В однопроцессорных комплексах ряд важнейших эффектов комплексирования принципиально недостижим.

Второй же класс комплексов, в котором принципиально достижимы все эффекты комплексирования, в наибольшей степени может себя оправдать при условии надлежащего выбора процессоров в комплексах (в соответствии с указанными ранее возможностями их использования), а также других объединяемых средств.

Таким образом, первый признак влияет на выбор комплекслируемых средств, а остальные признаки определяют способ их комплексирования. Из них признаки В, С, Д и Е указывают на разные уровни обобществления устройств обращения к комплексу и его памяти, причем истинностные значения этих признаков означают только лишь наличие соответствующих обобществленных устройств, а не отсутствие таких же устройств в составе машин комплекса. Как раз, на сегодняшний день, по-видимому, наиболее рациональным является наличие обобществленных и жестко привязанных к машинам устройств.

Расположение этих признаков, согласно тому, как указывалось, находится в соответствии с направлением проникновения вглубь комплекса - через внешние устройства и различные ступени памяти - к вычислительным устройствам машин.

Дальнейшее обобществление, а именно, вычислительных устройств, уже нарушает целостность центральной части самих машин (признак F) - главным образом потому, что вычислительные (арифметические устройства) неделимы.

Однако и такое обобществление принципиально возможно и может оказаться вполне целесообразным - в особенности при использовании в комплексе машин, у которых отсутствует совме-



ние операций обмена с операциями в вычислительных устройствах, что приводит к их большим простоям. Истинность  $\Gamma$  по сути влечет за собой составление комплекса не из машин, а отдельных автономных взаимно связанных между собой устройств.

Заметим, что единичные значения признаков  $\Lambda - \Gamma$  безусловно способствуют повышению производительности комплекса, но вместе с тем и увеличивают аппаратные затраты на комплексирование, т.е. на дополнительную управляющую аппаратуру, не входящую в состав объединенных устройств.

Истинность признака  $G$  означает обобществление коммутирующих устройств, что в сочетании с использованием единого промежуточного формата приводит к экономии оборудования, преобразующего информационные форматы, упрощает математическую эксплуатацию комплекса, позволит без принципиальных нарушений структуры и капитальных вложений подключать к нему новые устройства, но вместе с тем несколько снижает скорость обмена информацией.

В приведенной классификации признаки определяют однозначно, собственно говоря, не структурные решения, а группы решений, поэтому конститuentы единиц на наборах признаков определяют вернее не типовые структуры, а классы близких между собой типовых структур разнородных комплексов. Дальнейшая детализация может проводиться уже на основе их теоретического и экспериментального исследования. Для выполнения таких исследований данная классификация, образующая 128 разных комбинаций, как достаточна, так и удобна — поскольку она насчитывает всего 7 ступеней, и позволяет при моделировании типовых структур для выяснения характера эффекта истинности каждого признака, поочередно их включая, по-видимому, избежать необходимости просчета большого числа вариантов (может оказаться целесообразным включение признаков сверху вниз и независимо — снизу вверх, а затем детальный расчет наиболее обещающих структур).

Можно при этом заметить, что хотя признаки сами по себе независимы, т.е. допускаются любые комбинации их значений, величина эффекта от включения того или иного из них должна, по-видимому, зависеть от набора, к которому он принадлежит.

Для сопоставления различных структур комплексов, с точки зрения организации вычислительного процесса в них, абстрагируясь при этом от количества и производительности отдельных компонент комплекса, а также эффективности их систем математического обеспечения, целесообразно ввести понятие уровня органи-

зации комплекса. Чем более глубокое обобщение комплексизируемых средств, тем, естественно, более высокий уровень организации. Поскольку наличие непосредственно объединения устройств выражается единичными значениями соответствующих признаков, расположенных, как указывалось, особым упорядоченным образом, можно и удобно уровень организации данной структуры характеризовать числовым значением конститuenty единицы на наборе ее определяющих признаков.

Характеризуя же сложность организации, следует учитывать не только ее уровень, но и количество и типы комплексизируемых средств, в первую очередь — процессоров.

### Л и т е р а т у р а

1. В. Глушков, З. Рабинович. О некоторых направлениях развития алгоритмических структур вычислительных машин. — Кибернетику — на службу коммунизму. Изд-во "Энергия", М.-Л., 1966, т. 3.
2. В. Глушков, С. Погребинский, З. Рабинович, А. Стогний. Вопросы развития структур ЦВМ в связи с системами их математического обеспечения. — Кибернетика, 1967, № 5.