

## 4.2. КОНВЕЙЕРНЫЕ СИСТЕМЫ ТИПА “ПАМЯТЬ-ПАМЯТЬ”

Фирма CDC (Control Data Corporation, основана в 1957 г. Сеймором Крем и Уильямсом Норрисом), начиная с 1973 г., выпустила ряд конвейерных вычислительных систем, архитектура которых относится к типу “память-память” (рис.4.2.). В таких ВС элементы-операнды векторов  $A$  и  $B$ , необходимые для выполнения векторных команд, выбираются непосредственно из оперативной памяти и результат  $\varphi(A, B)$  записывается в ту же память. В качестве  $\varphi(A, B)$  может быть результат одной из арифметических операций над элементами векторов  $A$  и  $B$ .



Рис.4.2. Архитектура ВС типа “память-память”

Ясно, что для хранения векторов  $A$ ,  $B$ ,  $\varphi(A, B)$  требуются области памяти одинаковой емкости. Если векторы  $n$ -элементные, то для хранения любого из векторов используется  $n$  ячеек памяти.

### 4.2.1. Система STAR-100

Разработка конвейерной вычислительной системы STAR-100 (STAR – STring ARray computer – векторный компьютер) осуществлялась фирмой CDC с 1965 по 1973 гг. Система была анонсирована в 1970 г., а первая ее поставка была произведена в августе 1973 г. Быстродействие ВС –  $10^8$  опер./с, стоимость – 15 млн. долларов.

Система STAR-100 создавалась под непосредственным влиянием языка программирования APL (A Programming Language). Язык APL (или АПЛ) – диалоговый язык программирования, характеризуется развитыми средствами работы с регулярными структурами данных (векторами, матрицами, массивами) и богатым набором базовых операций и компактностью записи.

Вычислительная система STAR-100 состояла из двух подсистем [1,3]: первая осуществляла переработку данных, вторая – функции операционной системы. Ядром первой подсистемы являлся *процессор*, образуемый из нескольких конвейеров. В типовых конфигурациях STAR-100 процессоры (рис.4.3) состояли из трех конвейеров:  $K_1, K_2, K_3$ . Конвейеры были специализированными: два из них ( $K_1, K_2$ ) служили для выполнения векторных операций, а третий ( $K_3$ ) – для реализации операций над скалярными операндами. Говоря точнее,  $K_1$  и  $K_2$  – конвейеры (floating-point pair pipelines), каждый из которых служил для выполнения операций с плавающей запятой над парами векторов данных,  $K_3$  – конвейер (string data pipeline), предназначенный для обработки обычных операндов, не организованных в векторы. Конвейеры  $K_1$  и  $K_2$  выполняли основной объем вычислений, следовательно, они определяли уровень быстродействия системы STAR-100 в целом.

Конвейеры STAR-100 имели программируемую структуру (т.е. были с изменяемой конфигурацией), следовательно, в них можно было (на одном и том же множестве

элементарных блоков обработки) выполнять различные арифметические операции. Однако до начала новой операции конвейер следовало перенастраивать (программировать на выполнение очередной операции).

В конвейерах  $K_1$  и  $K_2$  путем введения служебного булевого вектора была обеспечена избирательная обработка компонентов векторов-операндов. Единица в  $i$ -м разряде булевого вектора означала, что операция над  $i$ -ми компонентами соответствующей пары векторов производиться не будет.

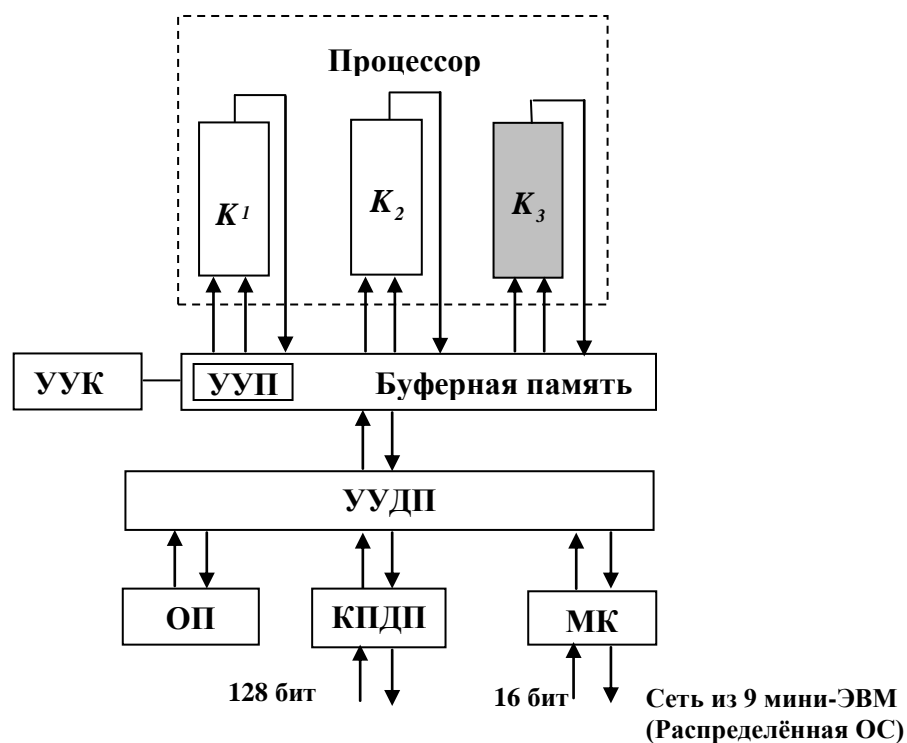
В каждом конвейере была заложена возможность реализации операции сложения, а в двух из них  $K_1$  и  $K_2$  – операций умножения и деления. Состав элементарных блоков обработки информации конвейеров был выбран с учетом распределения вероятностей использования микроопераций различных типов.

Каждый конвейер  $K_i$ ,  $i = 1, 2, 3$ , мог включать в себя приблизительно 30 блоков обработки информации. Все блоки работали параллельно, но каждый из них оперировал с вполне определенными элементами векторов данных либо со своими скалярными операндами.

Любой конвейер воспринимал 64-разрядный код либо как один 64-разрядный операнд, либо как два 32-разрядных операнда. Время выполнения операции над парой операндов в любом из блоков конвейеров не превышало 40 нс. Следовательно, данные могли поступать в процессор (точнее, только в конвейеры  $K_1$  и  $K_2$ ) со скоростью 100 млн. операндов в секунду.

Система STAR-100 имела набор из 230 команд, из которых 65 команд предназначалось для работы с векторами данных и 130 команд – для работы со скалярами.

Средства управления подсистемой переработки данных были представлены композицией из устройства управления командами (УУК), устройства управления потоками (УУП) и устройства управления доступом к памяти (УУДП). Первое устройство (т.е. УУК) имело буфер опережающего просмотра команд (емкостью в четыре 512-разрядных суперслова) со стековым механизмом работы. Второе устройство (т.е. УУП) использовалось для управления потоками операндов и команд между УУДП, конвейерами и УУК.



$K_i, i = 1, 2, 3$ , – конвейеры;

УУК – устройство управления командами;

Рис. 4.3. Функциональная структура системы STAR-100

*Оперативная память* предназначалась для хранения программ и данных. Она была реализована на магнитных сердечниках и имела емкость 512 – 1024 К 64-разрядных слов, т.е. до 8 Мбайт. Память могла включать в себя до 32 модулей и относилась к классу памятей с перемежающимися адресами. Время цикла памяти было равно 1,28 мкс, однако допускались одновременные обращения к составляющим модулям.

Существовало 4 виртуальных канала обращения к памяти, которые реализовывались устройством управления доступом к памяти. Два канала использовались для чтения операндов (для каждого из конвейеров  $K_1$  и  $K_2$ , работавших параллельно, из памяти выбиралось по два 64-разрядных операнда); один – для записи результатов (64-разрядный результат от каждого из конвейеров  $K_1$  и  $K_2$ ); один – для обмена информацией с устройствами ввода-вывода информации (либо с одним быстродействующим устройством с полосой пропускания 128 бит, либо с восемью медленными устройствами, в режиме разделения времени).

*Буферная память* – следствие того, что быстродействие памяти было существенно ниже быстродействия процессора. Буферная память представляла собой совокупность регистров с временем цикла 40 нс. Назначение канала прямого доступа в память (КПДП) и мультиплексного канала (МК) следует из их названий и структуры связей между устройствами STAR-100 (см.рис.4.3).

*Операционная система* (ОС) STAR-100 относилась к классу распределенных. Ее функции, включая управление внешними запоминающими устройствами и устройствами ввода-вывода информации, реализовывались специальной вычислительной сетью из 9 мини-машин. Система программирования STAR-100 включала компиляторы с языков APL-STAR, COBOL и FORTRAN.

Первый образец системы STAR-100 был установлен в Ливерморской радиационной лаборатории им. Лоуренса (Lawrence Livermore Laboratory). Были осуществлены поставки системы в правительственные организации и в армию США. Система STAR-100 использовалась для управления запуском антиракет в системе противоракетной обороны США. Система STAR-100 широко применялась при решении сложных проблем науки, техники и экономики.

Следует заметить, что вычислительная система STAR-100 допускала модификации, а именно, в ней можно было изменять число конвейеров, число и состав внешних устройств, емкость оперативной и внешней памяти и т.д. Создавались и усеченные варианты STAR-IB, а также система SUPERSTAR (или CDC 8600), которая в 1,5–4 раза превосходила по производительности STAR-100 и была более компактной (реализована на более совершенных интегральных схемах).

#### **4.2.2. Семейство систем CYBER**

Эволюция архитектуры STAR-100 привела к созданию семейства конвейерных систем, включавшее CYBER-203 (1979 г.) и CYBER-205 (1981).

Остановимся на архитектурных особенностях систем семейства CYBER. Архитектура этих ВС сохранялась, т.е. была типа “память-память”. Производительность

системы CYBER-203 (или STAR-100A, как она первоначально называлась) также оставалась 100 млн. операций в секунду. Эту систему можно было рассматривать как модернизированный вариант STAR-100, она была конвейерной, имела ту же систему команд и полностью совместимое программное обеспечение. Однако, в отличие от STAR-100, система CYBER-203 содержала обычный скалярный процессор (вместо конвейера  $K_3$ ), который обеспечивал шестикратное увеличение быстродействия при скалярной обработке информации. Емкость оперативной памяти CYBER-203 была увеличена до 16 М байт, скорость выборки из памяти – до 100 млрд. бод (разрядность слов – 64). Элементная база системы CYBER-203 – это большие интегральные схемы.

Система CYBER-205 обладала более совершенной архитектурой в сравнении с CYBER-203. Так, в ней допускалось варьирование числа конвейеров (с изменяемой конфигурацией) от 1 до 4. Пиковая производительность ВС CYBER-205 – 200 млн. опер./с., емкость оперативной памяти – 32 М байт.

Однако все конвейеры CYBER-205 могли работать только в “унисон”, т.е все они могли выполнять одновременно только одну и ту же векторную операцию (а не несколько различных). Следовательно, архитектура CYBER-205 в целом – это SIMD. В составе аппаратурно реализованных векторных операций CYBER-205 имелись также триады вида:

$$A + \alpha B,$$

где  $A$  и  $B$  – векторы,  $\alpha$  – скаляр,  $\alpha B$  вектор, получаемый из  $A$  путем умножения его компонентов на число  $\alpha$ . Система CYBER-205 могла выполнять триады почти с такой же скоростью, как отыскание суммы или произведения векторов.