

# ОСОБЕННОСТИ АРХИТЕКТУРНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ. ИНТЕГРИРОВАННЫЕ КОНВЕЙЕРНЫЕ ВЫЧИСЛИТЕЛИ

Жилияк Н. А.

Кафедра информационных систем и технологий, Белорусский государственный технологический университет

Минск, Республика Беларусь

E-mail: gznadya@gmail.com

*Построение вычислительных систем реального времени в большинстве случаев связано с решением задачи обеспечения высокой производительности. Попытка решить проблему повышением быстродействия элементной базы приводит к пределу, обусловленному конечным значением скорости света. В данной связи наиболее перспективным направлением поиска приемлемых решений указанной задачи является поиск нетрадиционных архитектурных решений. Одним из таких решений, предложенных автором настоящей статьи, является подход, основанный на модернизации известного принципа организации вычислительного процесса — конвейеризации.*

## ВВЕДЕНИЕ

Одной из основных проблем, возникающих при проектировании вычислительных систем реального времени является достижимость требуемого быстродействия (производительности). Для последовательного выполнения алгоритма из I-операции необходим ресурс времени, который определяется как сумма произведений продолжительности выполнения i-й операции и такта или время цикла, которому пропорциональны моменты начала или завершения любых действий в системе. Повышение быстродействия элементной базы или, что то же самое, уменьшение значения такта имеет свой предел, ограниченный скоростью света.

Поэтому для решения названной проблемы более перспективными являются пути поиска архитектурной организации вычислительной системы (ВС), связанные, в первую очередь, с совмещением операций. Два основных подхода в этом направлении — конвейеризация и параллелизм.

## I. ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Отметим некоторые особенности объектов, о которых пойдет речь в этой работе. Во-первых, уточним термин «Вычислительная система», под которым будем понимать совокупность взаимосвязанных и взаимодействующих функциональных и/или конструктивно законченных вычислительных модулей, предназначенных для решения определенного ряда задач или одной конкретной задачи по обработке, передаче или сохранению информации. В дальнейшем указанные модули будем называть функциональными устройствами, под которыми будем понимать компоненты самых разных иерархических уровней, от элементарных функциональных элементов или групп элементов, выполняющих простейшие функции в составе БИС, ПЛМ или БМК, до процессоров, сопроцессоров или целых ЭВМ.

Такая точка зрения на термин «вычислительная система» позволяет распространить его на технические средства от микро- до макроуровней, или от БИС или их основных фрагментов до мощных комплексов, систем и сетей. Во-вторых, разговор будет вестись про вычислительные системы реального времени, это значит, про вычислительные системы, работающие в режиме реального времени — режиме обработки данных, при котором взаимодействие ВС с внешними по отношению к ним процессам осуществляется в моменты, определяемые скоростью протекания этих процессов. Отметим, что требование реализации режима реального времени обуславливает при проектировании таких ВС в качестве основной решение задачи обеспечения временных соотношений между их компонентами как основы построения таких ВС, поэтому доминирующую роль в предложенных методах занимает концепция организации вычислительного процесса в реальном времени, в то время как вопросы пространственного построения ВС РВ могут стать темой дальнейших исследований в этой отрасли [1, 3]. Третья особенность ВС, на проектирование которых направлены предложенные автором методы, также связана с требованиями режима реального времени, согласно с которыми должна обеспечиваться обработка данных сразу после их поступления, а также выдача результатов или управляющей информации в требуемые интервалы времени параллельно для разных внешних объектов. В этом случае будем ориентироваться на параллельно-конвейерные вычислительные архитектуры — архитектуры с множественными потоками данных, обработка которых по параллельным ветвям подразумевает конвейеризацию.

По способу организации вычислительного процесса функциональные устройства разделим на простые и конвейерные. Функциональные устройства называется простым, если время выполнения на нем любой операции определено

априори и никакая дальнейшая операция не может начать выполняться раньше момента завершения предыдущей операции. Функциональные устройства называются конвейерными, если время выполнения на нем любой операции также определено заранее, но дальнейшая операция может начать выполняться через один такт после начала выполнения предыдущей операции. Применение конвейерной организации вычислительного процесса теоретически позволяет увеличить скорость обработки данных, определяемых количеством ступеней (глубина) конвейера [1]. Реально такое ускорение вычислительной системы достигнуто быть не может по ряду причин, основной из которых является невозможность выделения в цепочке вычислений операций (подфункций конвейеризируемой функции) с примерно равными длительностями их выполнения. Принцип конвейеризации. Конвейеризация — это такой метод организации вычислительного процесса, в результате применения которого в вычислительной системе обеспечивается совмещение разных действий по выполнению базовых функций путем их разбиения на подфункции [2]. При этом за основу берутся следующие принципы:

- выполнение функции эквивалентно некоторой последовательности выполнения подфункций;
- данные, являющиеся входными для любой подфункции, являются выходными данными для предыдущей подфункции;
- никаких других взаимосвязей, кроме обмена входными и выходными данными, между подфункциями нет;
- интервалы времени, необходимые для реализации этими аппаратными блоками своих подфункций, примерно равны.

Аппаратные средства, необходимые для выполнения любой из этих подфункций, называются ступенью конвейера. На вход ступени конвейера данные поступают в дискретные моменты времени. Интервал времени между двумя соседними дискретами загруженного конвейера называется циклом конвейера. Можно выделить два уровня конвейеризации — на базе конвейерных функциональных устройств и на основе конвейерных вычислителей (КВ).

Первый из выделенных уровней предусматривает выполнение некоторой функции как последовательности подфункций и ориентирован на возможность реализации этой функции одним ФУ, организованным по конвейерному принципу. Примеры конвейеризации на первом уровне приведены в [1].

Второй уровень конвейеризации является более общим и ориентирован на конвейеризацию последовательности операций, которые могут быть самыми разными как по своей сущности, так и по времени реализации, причем каждая из операций может выполняться собствен-

ным функциональным устройством (ФУ). Такой подход к конвейеризации вычислительного процесса был предложен автором данного исследования и наиболее подробно рассмотрен в [3].

Основные особенности этого подхода заключаются в следующем:

- для уменьшения разницы во времени выполнения операций разными ступенями на реализацию одной ступенью ориентируется последовательность операций (а не одна подфункция), т. е. каждый из уровней конвейера интегрирует ряд последовательно выполняемых операций алгоритма;
- каждая из ступеней конвейера строится как последовательное соединение ФУ различного назначения;
- входные данные ступени конвейера можно получать как от предыдущей ступени, так и от других технических средств системы, в том числе и от других конвейеров.

Назовем конвейер, реализующий данные принципы, в отличие от традиционного конвейерного вычислителя (КВ) [4], интегрированным конвейерным вычислителем (ИКВ).

Конвейеризация второго уровня представляет собой гибкий инструмент при выполнении сложных алгоритмов и построении соответствующих вычислительных структур, является одним из эффективных путей выполнения требований реального времени.

При этом существенно повышается выигрыш в производительности по сравнению с традиционным КВ (ускорение) за счет повышения загруженности ступеней конвейера. Отметим, что любой из рассмотренных уровней конвейеризации позволяет получить скорость обработки потока данных, определяемую циклом конвейера.

Предложенный принцип реализации конвейера на интегрированном конвейерном вычислителе основан на возможности объединения на одном уровне ряда последовательно выполняемых подфункций с учетом их реализации в реальном времени, что позволяет максимально загрузить ступени конвейера и приблизить реальное повышение производительности конвейера по отношению к последовательной вычислительной системе к теоретической, равной глубине конвейера.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Коуги, П. Архитектура конвейерных ЭВМ. М.: Радио и связь. — 1985. 567 с.
2. Закревский, А. Д. Логический синтез каскадных схем. М.: Наука, 1981. — 414 с.
3. Кобайло, А. С. Базовый алгоритм синтеза вычислительных структур реального времени / А. С. Кобайло, Н. А. Жилияк // Труды БГТУ. Сер. VI, Физ.-мат. науки и информ. — 2007. Вып. XV. — С. 147-150.
4. Воеводин В. В. Параллельные вычисления. Издательство БХВ-Петербург, — 2002. — 609 с.