

с измерениями, являются необратимыми. Необратимые процессы могут вызывать упорядочение случайных состояний физических систем [18]. Учет данного обстоятельства приводит к полезным результатам и для информативного описания случайных сигналов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Робинсон Э. А. История развития теории спектрального оценивания // ТИИЭР. - 1982. - 70, № 9.
2. Омельченко В. А. Основы спектральной теории распознавания сигналов. - Харьков: Вища шк., 1983.
3. Tanaka K., Ozawa K. A new type of feature extraction of patterns using coherent optical systems // Pattern Recognition. - Great Britain: Pergamon Press, 1972. - 4. - P. 251.
4. Гришин В. Г. Образный анализ экспериментальных данных. - М.: Наука, 1982.
5. Claasen T. A. C. M., Mecklenbrucker W. F. G. The Wigner distribution - a tool for time-frequency signal analysis // Philips J. of Research. - 1980. - 35, N 3. - P. 217.
6. Краснов А. Е. Использование гильберт-фильтрации электромагнитного сигнала для выделения инвариантных признаков его пространственной структуры // Автометрия. - 1987. - № 5.
7. Krasnov A. E., Glotov A. K., Starodubtsev V. F. Integral invariant description of grey-scale images // Mathematical Research, Computer Analysis of Images and Patterns/Ed. by L. Yaroslavsky, A. Rosenfeld, W. Wilhelm. - Berlin: Akademie-Verlag, 1987. - V. 40. - P. 55.
8. Краснов А. Е. Информативные признаки пространственной структуры квазистационарного электромагнитного поля // Оптоэлектронные методы и средства обработки изображений. - Тбилиси: ИИИ, 1987.
9. А. с. 1368729 СССР. Способ контроля состояния объекта/А. Е. Краснов. - Опубл. в 1988, Бюл. № 3.
10. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Квантовая механика. - М.: Наука, 1974.
11. Яглом А. М. Спектры беспорядочно флуктуирующих рядов наблюдений и методы их определения // Эйнштейновский сб. - М.: Наука, 1986.
12. Титчмарш Е. Введение в теорию интегралов Фурье: Пер. с англ. - М.: Гостехиздат, 1948.
13. Глаубер Р. Оптическая когерентность и статистика фотонов // Квантовая оптика и квантовая радиофизика. - М.: Мир, 1966.
14. Давыдов А. С. Квантовая механика. - М.: Физ. мат. лит., 1963.
15. Пантел Р., Путхоф Г. Основы квантовой электроники. - М.: Мир, 1972.
16. Андронов А. А., Леонтович Е. А., Гордон И. П., Майер А. Г. Качественная теория динамических систем второго порядка. - М.: Наука, 1966.
17. Борн М., Вольф Э. Основы оптики. - М.: Наука, 1973.
18. Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса. - М.: Прогресс, 1986.

Поступила в редакцию 5 июня 1989 г.

УДК 681.3.082.3

**И. А. АЙДЕМИРОВ, Ю. Д. ВОРОБЬЕВ, М. М. ЛАГНЕВА,
В. М. ХАЧУМОВ**
(Махачкала)

ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЕ СРЕДСТВА КЛИПШИРОВАНИЯ В СИНТЕЗИРУЮЩЕЙ КОНВЕЙЕРНОЙ ГРАФИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ

Введение. Рассматриваются вопросы организации средств клипширования в синтезирующей системе визуализации, разрабатываемой Институтом проблем управления (автоматики и телемеханики) при участии Дагестанского политехнического института. Клипширование выполняется отдельным звеном графического процессора (ГП), входящего в состав системы и представляющего собой конвейер из четырех процессоров: блока

© 1990 Айдемиров И. А., Воробьев Ю. Д., Лагнева М. М., Хачумов В. М.

отсечений (БО), блока загрузчика ребер, блока генератора векторов и управляющего блока. ГП осуществляет преобразование и передачу графической информации, полученной от других подсистем, в запоминающее устройство видеопроцессора. БО реализует следующий комплекс операций: проецирование трехмерных объектов на плоскость наблюдателя с отсечением части объекта, расположенной до экранной плоскости; передачу атрибутов графических объектов без предварительной обработки соседнему звену; отсечение двумерных объектов на прямоугольном окне. В процессе работы БО непосредственно обращается к локальной базе данных по адресу, полученному от управляющего процессора. Конвейерный режим работы системы с асинхронным механизмом обмена информации между блоками накладывает определенные ограничения на организацию структуры БО и вызывает необходимость создания новых рабочих алгоритмов клиппирования. Так, при заданной глубине перекрытия конвейера, равной двум соседним точкам преобразуемого объекта, требуется принятие решения с минимальной задержкой времени в условиях отсутствия информации о расположении других частей объекта. Широко используемый способ отсечения по заданному окну, основанный на процедуре «прогонки» всех точек через каждую отсекающую полуплоскость в отдельности [1], здесь оказывается неприемлемым в силу указанных обстоятельств. В этой связи становится актуальной разработка бесспорных методов клиппинга по окну, в которых решение о характере обработки и передаче точки другому звену вырабатывается сразу же по получении минимума необходимой информации [2].

Принципы построения алгоритмов клиппирования. В принятой системе координат ось Y направлена вверх, ось Z — вправо, а ось X — внутрь экрана. Проекционная плоскость располагается на расстоянии d от начала координат. Графические объекты аппроксимируются наборами видимых граней. В свою очередь, грань — это выпуклый многоугольник, задаваемый перечислением координат своих K вершин. В каждый данный момент времени БО располагает информацией только об одном ребре многоугольника, представленном соответственно координатами текущей X_2, Y_2, Z_2 и предшествующей X_1, Y_1, Z_1 вершины. Для задания координат используются 32-разрядные целые двоичные числа со знаком.

Алгоритм отсечения трехмерных объектов с проекцией на экранную плоскость является реализацией известного метода «прогонки» [3] через полуплоскость $X = d$. Данный модифицированный алгоритм, блок-схема которого представлена на рис. 1, функционирует подобно цифровому автомату с памятью, текущее состояние которого описывается системой однобитовых флагов $F_1 F_2 F_3 F_4$. Переход автомата в новое состояние инициируется проверкой расположения текущей вершины относительно проекционной плоскости, причем $F_2 = 1$, если $X_2 \geq d$, иначе $F_2 = 0$. Таким образом, переход определяется текущим состоянием, содержащим входной информации и сопровождается в общем случае вы-

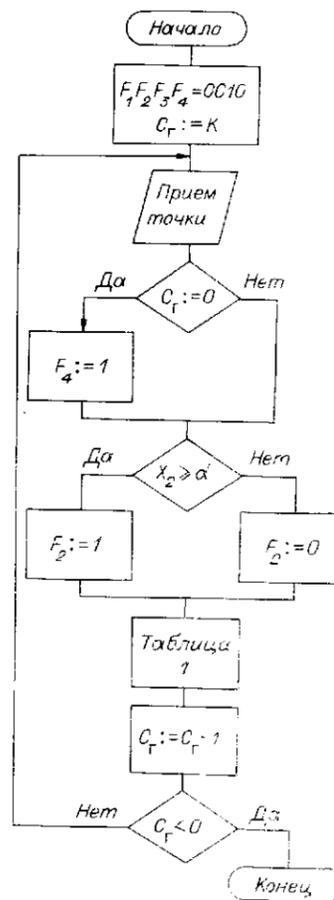


Рис. 1

3	0	0	1	0	$F_4 = 1$
4	0	0	1	1	$P_2, P_5, P_1, P_5, F_1 = 1$
5	0	1	0	0	P_2, P_5, P_4, P_3
6	0	1	0	1	$P_1, P_3, P_5, F_1 = 1, F_2 = 0$
7	0	1	1	0	$P_2, P_3, P_5, P_1, P_5, F_1 = 1, F_2 = 0, F_4 = 0$
8	0	1	1	1	$P_2, P_5, F_1 = 0$
9	1	0	0	0	P_2, P_5, P_4, P_3
10	1	0	0	1	Запрещенное состояние
11	1	0	1	0	То же
12	1	0	1	1	P_1, P_5
13	1	1	0	0	P_4, P_5
14	1	1	0	1	Запрещенное состояние
15	1	1	1	0	То же
16	1	1	1	1	

полнением набора вычислительных операций с последующим изменением комбинации флагов. Все возможные состояния автомата и переходы приведены в табл. 1.

В табл. 1 используются следующие операции, оформленные в программной модели в виде независимых блоков:

P_1 — определение проекции точки объекта на плоскость наблюдателя;

P_2 — определение точки пересечения ребра многоугольника с плоскостью;

P_3 — запись координат точки в буфер первой точки (БПТ) спроецированного и усеченного многоугольников;

P_4 — выдача координат точки из БПТ с передачей управления алгоритму клиппинга по окну;

P_5 — выдача координат точки из рабочего регистра с передачей управления алгоритму клиппинга по окну.

Как это видно из рис. 1, начальному состоянию автомата соответствуют комбинация флагов $F_1F_2F_3F_4 = 0010$ и состояние счетчика числа вершин грани $C_r = K$. Алгоритм завершает свою работу после обработки последней вершины грани, которая обязательно совпадает с первой вершиной. Хранение координат первой точки усеченного многоугольника в БПТ позволяет производить замыкание фигуры без дополнительных потерь времени. Рассмотрим критические варианты размещения графических объектов.

Случай 1. Объект расположен левее плоскости наблюдателя. В данной ситуации будут реализовываться строки 3 и 4 табл. 1, что не приведет к передаче точек последующему звену обработки.

Случай 2. Объект расположен правее плоскости наблюдателя. Здесь выполняются строки 7, 13, 14 табл. 1 и все спроецированные точки будут переданы для последующей обработки.

Перейдем к рассмотрению алгоритма отсекающего по прямоугольному окну, представляющему наибольший интерес. Данный алгоритм получает управление непосредственно от рассмотренного ранее, используя его результаты, но может функционировать и автономно в зависимости от класса объектов, содержащихся в базе данных. Упрощенная блок-схема алгоритма приведена на рис. 2 и содержит следующие основные процедуры:

P_6 — кодирование расположения предшествующей и текущей точек относительно каждой отсекающей полуплоскости по системе «вне—внутри» с помощью наборов однобитовых флагов $F_{11}F_{12}F_{13}F_{14}$ и $F_{21}F_{22}F_{23}F_{24}$ соответственно;

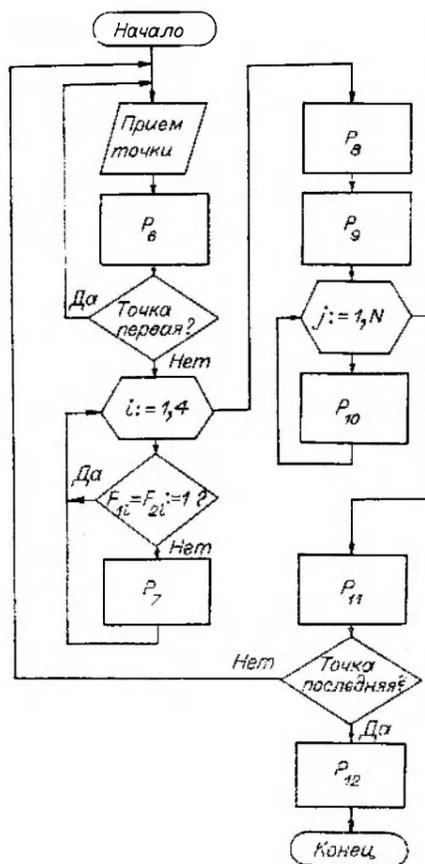


Рис. 2

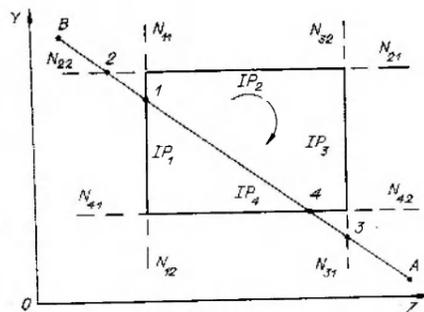


Рис. 3

P_7 — определение точек пересечения ребра многоугольника с полуплоскостями и их кодирование относительно границ окна по системе «внутри — выше — ниже». Для этой цели используются флаги $IP_i = (11, 01, 10)$, где i — номер полуплоскости (границы окна), причем перебор границ производится в жестко заданном порядке по часовой стрелке, как показано на рис. 3;

P_8 — определение расстояния S_j от текущей точки до каждой точки пересечения с использованием упрощенной формулы

$$S_j = \max(|\Delta Z_j|, |\Delta Y_j|) + 1/2 \min(|\Delta Z_j|, |\Delta Y_j|), j = \overline{1, N},$$

где $\Delta Z_j = Z_2 - Z_j$; $\Delta Y_j = Y_2 - Y_j$; Z_j, Y_j — координаты j -й точки пересечения;

N — количество точек пересечения;

P_9 — упорядочение точек пересечения по величинам вычисленных расстояний. Данная процедура необходима для определения истинного порядка расположения точек пересечений на ориентированном ребре, поскольку, как это видно из рис. 3, установленный порядок перебора полуплоскостей может привести к нарушению очередности вычисления точек пересечения;

P_{10} — принятие возможного решения, заключающегося в выполнении одной или нескольких операций типа выдачи координат точки усеченного объекта следующему звену конвейера, записи в буфер БПТ или выдачи его содержимого, занесения вершины окна в буфер вершин окна (БВО) и т. д. Более подробно работа блока P_{10} описывается блок-схемой, представленной на рис. 4. Точка пересечения, оказавшаяся на внутренней границе окна, передается следующему звену обработки. Пересечение ребра с n -й полуплоскостью вне области окна приводит к установке в единичное состояние флага N_{n1} или N_{n2} . Процедурой P_{10} производится проверка на наличие совпадения флагов, примыкающих к соответствующим вершинам окна. Так, для первой полуплоскости проверяются флаги N_{11} и N_{22} , N_{12} и N_{41} . Одновременная установка соответствующих флагов в единичное состояние свидетельствует о возможном охвате данной вершины окна, при этом содержимое счетчика охвата k -й вершины S_k увеличивается на единицу. Если содержимое счетчика становится равным двум, то производится исключение соответствующей вершины из БВО и сброс S_k , что свидетельствует об отсутствии охвата. Выгрузка вершин из буфера и включение их в описание усеченного многоугольника

ка осуществляются перед каждой выдачей точки пересечения с внутренней границей окна. Выгрузка производится по принципу стека (первым пришел — последним вышел);

P_{11} — выдача текущей точки, лежащей внутри окна;

P_{12} — запись первой точки БВО в БПТ (если БПТ пуст), выдача содержимого буферов БВО и БПТ, если они не пусты.

Проиллюстрируем работу алгоритма на примерах, представленных соответственно на рис. 5, а—в.

Случай 1. В данной ситуации работа алгоритма описана табл. 2.

Случай 2. Имеет место «сложный» охват окна невыпуклым многоугольником. В соответствии с логикой работы алгоритма в БВО первоначально записываются вершины O_1, O_2 . Затем из БВО последовательно исключаются вершины O_2, O_1 . Таким образом, точек на выходе алгоритма не наблюдается.

Случай 3. В данной ситуации все вершины окна, охватенного выпуклым многоугольником, будут внесены в БВО. По окончании работы алгоритма процедурой P_{12} точки последовательно подаются на выход следующего звена конвейера, причем последняя точка выдается из БПТ.

В представленном варианте алгоритм отсекающего по прямоугольному окну обрабатывает плоские выпуклые многоугольники, но содержит потенциальные возможности для работы с невыпуклыми многоугольниками достаточно широкого класса в ситуациях, не приводящих к появлению двух и более изолированных усеченных фигур. Моделирование работы алгоритмов проводилось на языке ПЛ. 1. Наличие программных моделей позволяет провести исследование БО на верхнем уровне, выявить особенности структуры операционного блока и служит основой для написания микропрограмм.

Структурная организация БО. БО реализован в виде 32-разрядного микропрограммируемого процессора, состоящего, как это показано на рис. 6, из арифметико-логического устройства (АЛУ), оперативной и постоянной памяти (ОЗУ и ПЗУ), формирователя адреса микрокоманды (ФАМК), регистра микрокоманд (РМК), умножителя (УМН), формирователя начального адреса (ФНА), мультиплексора условий (МУ), генератора тактовых импульсов (ГТИ) и регистров выхода, адреса, данных (РВых, РИА, РИД).

Работа всех узлов БО осуществляется в каждом такте под управлением 112-разрядной микрокоманды, часть которой (32 разряда) занесены

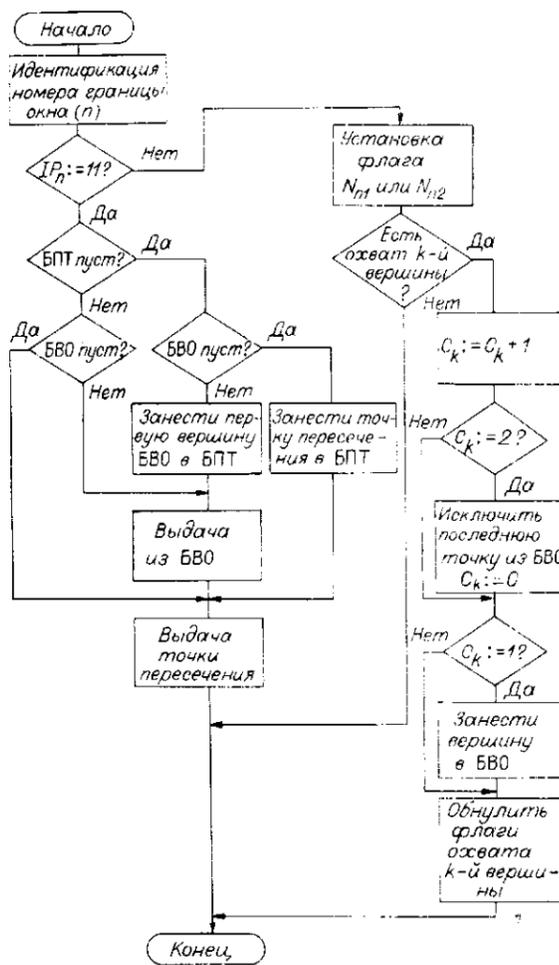


Рис. 4

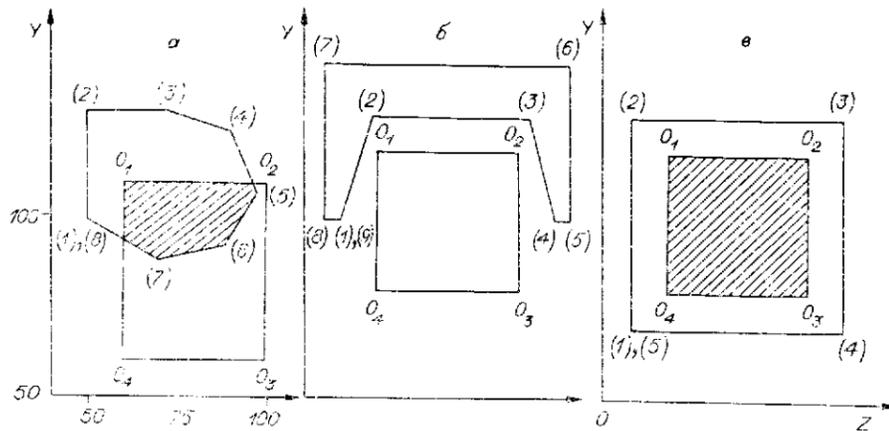


Рис. 5

дается в РМК1. Эта часть содержит либо константу, либо адрес ОЗУ и адрес следующей микрокоманды. Для управляющего микропроцессора БО представляется как некоторое количество портов (до 64), обращение к каждому из которых инициирует в БО определенную микропрограмму. Дешифрация адреса порта и выбор интерпретирующей микропрограммы выполняются с помощью ФНА. Последовательность адресов микрокоманд вырабатывается ФАМК по анализу логических условий, поступающих на соответствующий вход ФАМК через МУ. Умножитель выполняет умножение 32-разрядных чисел со знаком, а также деление кодов. Буферные регистры служат для выдачи информации на внешние шины адреса и данных управляющего микропроцессора (РША, РШД) и на загрузчик реверса через РВых. Разрядность внутренних шин - 32, разрядность РВых и РШД - 16, РША - 24. Интерфейс связи с управляющим микропроцессором и буферным ЗУ - И41, протокол связи реализован микропрограммно.

БО реализован на ИМС серий 1804, 1802, 531, 541, 556, 580 и занимает две платы К2. Для минимизации объема микропрограмм многократно используемые последовательности микрокоманд оформлены в виде микроподпрограмм (глубина вложений не более 5), что дает возможность разместить все микропрограммы в памяти объемом 1 К ячеек.

Заключение. Выделим характерные особенности разработанных программно-аппаратных средств клиппирования. БО реализует алгоритмы отсечения по экранной плоскости и прямоугольному окну, а также про-

Таблица 2

№ п/п	Вход		Выполняемые операции	Выход	
	Z	Y		Z	Y
1	50	100	Прием точки (1)		
2	50	130	Прием точки (2)		
3	72	130	Определение точки пересечения со 2-й границей, установка $N_{22} = 1$, прием точки (3)		
4	90	125	Определение точки пересечения с 1-й границей, установка $N_{11} = 1$, занесение вершины O_1 в БВО, сброс флагов N_{11}, N_{22} , прием точки (4)		
5	97	107	Прием точки (5)		
6	88	92	Определение точки пересечения со 2-й границей, занесение O_1 в БИТ, выдача БВО, выдача точки пересечения, выдача текущей точки, прием точки (6)	60	110
7	70	88	Выдача текущей точки, прием точки (7)	96	110
8	50	100	Выдача текущей точки, прием точки (8)	97	107
			Определение точки пересечения с 1-й границей, выдача точки пересечения, выдача БИТ, конец	88	92
				70	88
				60	91
				60	110

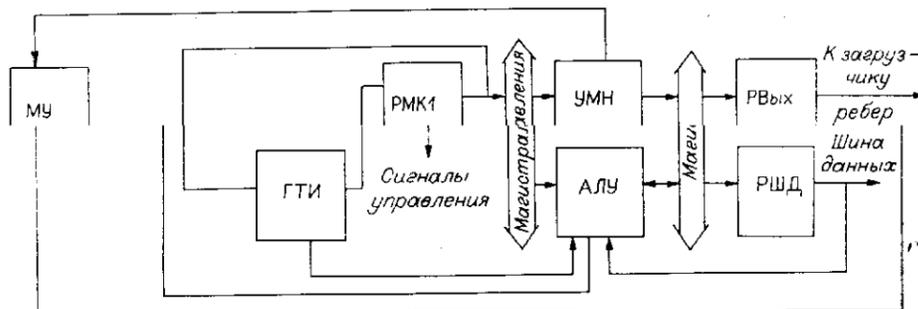


Рис. 6

изводит поточечную конвейерную обработку графических примитивов с асинхронным принципом обмена информацией. При основном такте в 200 нс предельное время задержки составляет не более 20 мкс на точку для заданного класса обрабатываемых объектов. Форма представления координат трехмерных объектов — 32-разрядные двоичные числа со знаком. Все необходимые команды поступают от управляющего процессора, а атрибуты графического объекта загружаются из базы данных системы. БО работает в составе синтезирующей системы визуализации для моделирования сцен в реальном времени.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кларк Д. Х., Дэйвис Т. Универсальная рабочая станция инженера конструктора // Электроника. — 1983. — 56, № 20.
2. Лазисва М. М., Хачузов В. М. Бесповторный алгоритм отсечения плоских многоугольников // Тез. докл. VI науч.-техн. семинара «Математическое обеспечение систем с машинной графикой». — Махачкала; Ижевск: Ижевский дом техники, 1989.
3. Sutherland I. E., Hodgman G. W. Reentrant polygon clipping // Commun. of the ACM. — 1974. — 17, N 1. — P. 32.

Поступила в редакцию 17 июля 1989 г.

УДК 681.325.5.01

В. В. БАЧУРИН, В. Я. БУДЦЕВ, А. Ю. БУЛГАКОВ,
А. Н. КАСПЕРОВИЧ
(Новосибирск)

БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИЙ СПЕЦИАЛЬНЫЙ ПРОЦЕССОР СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ

Одним из важных направлений современной вычислительной техники является создание технических средств статистической обработки сигналов в режиме реального времени. Непосредственное использование ЭВМ широкого назначения для этих целей в большом числе случаев оказывается невозможным, так как режим реального времени требует

© 1990 Бачурин В. В., Будцев В. Я., Булгаков А. Ю., Касперович А. Н.