

15 пФ, что существенно ниже типовых значений 50-100 пФ для тестеров.

Не слишком широкое применение стандарта 1149.4 при тестировании АЦИМ в процессе их производства объясняется рядом причин, одной из которых является значительная стоимость площади кремниевых пластин, необходимой для реализации большого количества модулей АВМ. Кроме того, в последнее время весьма популярен подход к тестированию кремниевых пластин с пониженным числом точек доступа как средство снижения стоимости теста микросхем, содержащих структуры внутреннего или граничного сканирования, встроенные средства самотестирования и т.п. Предлагаемый в данной работе метод обеспечения структурной тестопригодности АЦИМ с резко сокращенным набором модулей АВМ может быть очень удобен для быстрой генерации тестов аналоговых кластеров внутри самого функционального ядра, для тестирования низкочастотных внутренних выводов ядра АЦИМ с пониженным числом точек доступа [10], а также для параметрического тестирования внешних выводов АЦИМ. Такой подход может оказаться приемлем в процессе разработки микросхем и на ранних стадиях отладочного тестирования внутренней логики и встроенных модулей памяти, когда еще можно учесть и принять любые изменения их структуры. Количество внутренних выводов ядра АЦИМ, подключенных к мультиплексорам на ранних стадиях тестирования, затем может быть существенно уменьшено в финальной версии структуры АЦИМ.

Стоимость современных АЦИМ возрастает экспоненциально, поэтому жизненно важным экономическим требованием является подход к их разработ-

ке с применением повторно используемых структурных блоков, заранее снабженных средствами тестирования этих блоков. Описанная в данной работе тестовая структура применима также при проектировании систем на кристалле SOC [11], совместимых со стандартом IEEE 1500, как составная часть повторно используемой иерархической тестовой структуры граничного сканирования.

Литература: 1. Gorodetsky A. Strategy of Boundary-Scan On-Board Activity", Technologies // Israel' Magazine of High Technology, vol. 223, August 2001, P. 154-158 (Hebrew). 2. Fillier K. Virtual Analog Probes Using IEEE 1149.1 (A Concept IC) // 3rd IEEE International Board Test Workshop, 2004. 3. Городецкий А., Рустин В. Разделяй и властвуй – принцип граничного сканирования // ChipNews, Москва, 2001. №6. С. 14-19. 4. IEEE Standard for a Mixed-Signal Test Bus // IEEE Std 1149.4-1999. 5. The Boundary-Scan Handbook. 3rd Edition, by K.P.Parker, Kluwer Academic Pub, 2003. 6. Analog and Mixed-Signal Boundary-Scan. Ed. by A.Osseiran, Kluwer Academic Pub., 1999. 7. Sunter S.K. and Nadeau-Dostie B. Complete, Contactless I/O Testing – Reaching the Boundary in Minimizing Digital IC Testing Cost // Proc. of ITC.P.446-455. 2002. 8. SCANSTA400 IEEE 1149.4 Analog Test Access Device // National Semiconductor Advanced Information, August 2000. 9. Duzevik I. Preliminary Results of Passive Component Measurement Methods Using an IEEE 1149.4 Compliant Device // 1st IEEE International Board Test Workshop, 2002. 10. Ben Bennetts. Guidelines for Chip Design For Test Based on Boundary-Scan", Asset InterTech Inc. web site, 2003. 11. Sehgal A. et al. IEEE P1500-Compliant Test Wrapper Design for Hierarchical Cores // Proc. of ITC. 2004. P.1203-1212.

Поступила в редколлегию 22.08.2005

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Хаханов В.И.

Ами Городецкий, Testability (Израиль). Тел. +972-544621834, amigo@TestabilityScan.com

УДК 681.324.01

ПРОБЛЕМЫ СИНХРОНИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ В АСИНХРОННОМ ПАРАЛЛЕЛЬНОМ ЦИФРОВОМ АВТОМАТЕ

HEMЧЕНКО А.В.

Анализируется математическая модель асинхронного параллельного цифрового автомата, реализующего параллельный алгоритм. Рассматриваются вопросы взаимодействия асинхронных процессов и проблемы, возникающие при этом.

Введение

Производители микропрограммных устройств – микроконтроллеров, микропроцессоров, DSP и т. д. – применяют различные методы и технологии для повышения производительности своей продукции. В основном это стандартные средства – конвейеризация, улучшение системы прерываний, перенос части логических функций и программ на аппаратный уровень (например, автоматизация передачи данных по протоколу RS-232). Одной из таких последних технологий от фирмы Intel явля-

ется реализация в архитектуре процессора реального параллелизма – выпуск процессоров с двумя ядрами. Такие чипы, помимо двух ядер, получают поддержку технологии многопоточности Hyper-Threading (HT). Технология HT позволяет операционной системе рассматривать один физический процессор в качестве двух логических. Таким образом, двухядерные Pentium Extreme Edition позволяют обрабатывать одновременно четыре потока инструкций [<http://hard.compulenta.ru/170439>].

Все это говорит о том, что в плане повышения производительности средств вычислительной техники вопросы параллелизма являются весьма актуальными и перспективными. Отметим также, что в работе [1] проведен глубокий анализ проблемы параллелизма и показана ее *актуальность*.

В работе [2] автор описал математическую модель параллельного цифрового автомата (ПЦА). Была затронута тема асинхронного параллелизма – работа параллельных устройств с разной синхронизацией и сбросом. Был показан способ их синтеза, который позволяет с небольшими аппаратными затратами создавать устройства, работающие по сложным алгоритмам.

В процессе моделирования работы таких устройств выявились серьезные проблемы при взаимодействии асинхронных алгоритмов – неустойчивость работы при смене состояний двух процессов. В данной статье ставится задача определить природу этой проблемы, формализовать ее и показать пути уменьшения рисков сбоя в работе параллельных автоматов. Таким образом, целью данного исследования является анализ и решение проблемы синхронизации процессов в асинхронном параллельном цифровом автомате.

Асинхронный параллельный цифровой автомат

Асинхронный параллельный цифровой автомат (АПЦА) может быть представлен следующей иерархической моделью (рис. 1).

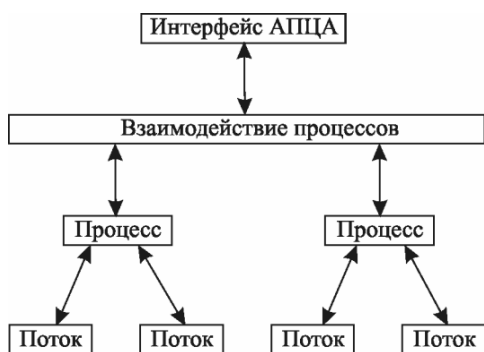


Рис. 1. Иерархическая модель АПЦА

На нижнем уровне находится *поток* – аналог последовательного ЦА. Он может быть описан следующей математической моделью:

$$Th_i^j = \begin{cases} A^i = \{a_0^i, a_1^i, \dots, a_k^i\}, \\ X^i = \{x_1^i, x_2^i, \dots, x_m^i\}, \\ Y^i = \{y_1^i, y_2^i, \dots, y_m^i\}, \\ a_0^i \in A^i, \\ a^i(T_n^j) = \delta(A_{||}^j(T_{n-1}^j), X^i(T_{n-1}^j)), \\ Y^i(T_n^j) = \lambda(A_{||}^j(T_n^j), X^i(T_n^j)). \end{cases} \quad (1)$$

Эта модель была подробно рассмотрена в [2].

В системе (1) используется модель автоматного времени (АВ). В [3] показано, что для рассмотрения работы ЦА (в данном контексте – потока) достаточно знать смену времен и игнорировать промежутки времени смены состояния. АВ представляет из себя дискретное множество $T_i = \{0, 1, \dots\}$.

Модель автоматного времени представлена на рис. 2.

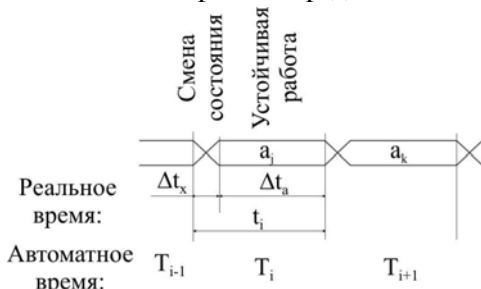


Рис. 2. Модель автоматного времени

Из рис. 2 видно, что автомат пребывает в одном состоянии в течение t_i с. За это время происходит два события – смена состояния длительностью Δt_x и устойчивая работа в новом состоянии a_j длительностью Δt_a .

Множество потоков объединяется в один процесс:

$$Pr^j = \begin{cases} A_{||}^j = \{A^1, A^2, \dots, A^n\}, \\ X = \{X^1 \cup X^2 \cup \dots \cup X^n, CLK, Reset\}, \\ Y = \{Y^1 \cup Y^2 \cup \dots \cup Y^n\}, \\ A_0^j \in A_{||}^j, \\ Th^j = \{Th_1^j, Th_2^j, \dots, Th_n^j\}, \\ T^j \equiv Ft^j(t, T_k^j, CLK, Reset). \end{cases} \quad (2)$$

Для всех потоков данного процесса определяется одна и та же функция автоматного времени (ФАВ) T^j . Как видно из (2), ФАВ зависит от реального времени t , текущего АВ T_k^j , сигнала синхронизации CLK и сигнала сброса Reset (эти два сигнала являются частью множества всех входных сигналов X данного процесса).

ФАВ определяется исходя из особенностей функционирования моделируемого объекта. Например, для реальных цифровых схем, период работы которых строго периодичен, ФАВ может быть описана следующим образом:

$$Ft^j \equiv \begin{cases} T_k^j \xrightarrow{CLK} T_{k+1}^j, \\ T_k^j \xrightarrow{Reset} T_0^j, \\ t(T_k^j) = \Delta t_a, \\ 0 < t(T_k^j \rightarrow T_{k+1}^j) \leq \Delta t_x, \\ \Delta t_x, \Delta t_a > 0. \end{cases} \quad (3)$$

Первая строка говорит о том, что при поступлении сигнала CLK автоматное время инкрементируется. Вторая строка говорит, что сигнал Reset сбрасывает автомат в начальный момент АВ. Третья строка определяет время пребывания процесса в устойчивом состоянии. Четвертая показывает, что время смены состояния конечно и меньше либо равно некоторой константе. Пятая строка определяет тот факт, что эти два времени положительны.

Для случая модели, где не нужно учитывать время смены состояния, четвертая строка выглядит как

$$t(T_k^j \rightarrow T_{k+1}^j) = 0. \quad (4)$$

При нестройной синхронизации третья строка (3) выглядит как

$$t(T_k^j) > 0. \quad (5)$$

Графически процесс может быть представлен так, как это изображено на рис. 3.

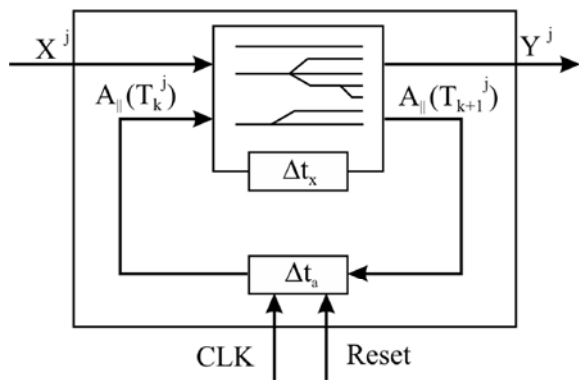


Рис. 3. Функционирование процесса

Из рис. 3 видно, что на вход процесса подается множество входных воздействий X^j , с выхода снимается Y^j . Смена автоматного времени осуществляется сигналами CLK и Reset. Смена состояния происходит в течение времени Δt_x . Время пребывания автомата в заданном состоянии также ненулевое ($\Delta t_a > 0$).

Один процесс работает «синхронно» – в одном автоматном времени. Множество процессов работают «асинхронно» – у них разное автоматное время. Следовательно, процесс реализует синхронный параллелизм, множество процессов – асинхронный параллелизм. Пример последнего приведен на рис. 4.

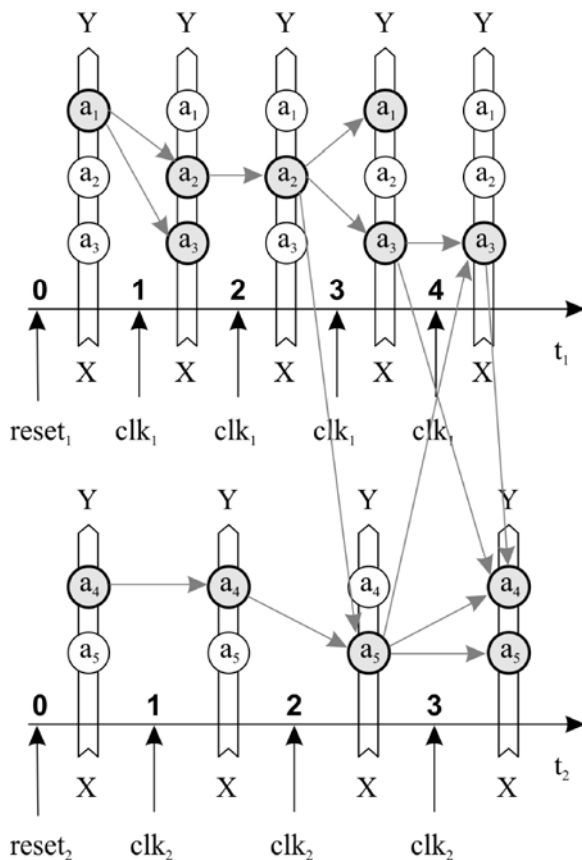


Рис. 4. Пример асинхронного параллелизма

Из рис. 4 видно, что один поток влияет на работу другого. В частности, следствием состояния a_2 в процессе Pr^1 в момент автоматного времени T_2^1

является переход в процессе Pr^2 из состояния a_4 в состояние a_5 в момент автоматного времени T_2^2 .

На рис. 5 показан процесс смены состояний двух процессов в абсолютном времени, приводящий к возникновению проблемы взаимонеустойчивости.

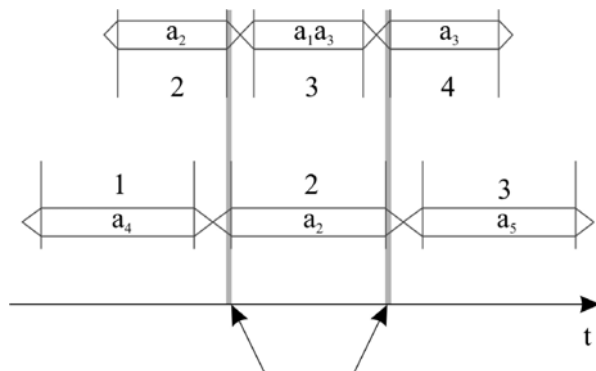


Рис. 5. Проблема взаимонеустойчивости

Из рис. 5 видно, что есть моменты, когда оба процесса одновременно пребывают в неустойчивых состояниях. Рис. 6 поясняет возникновение неустойчивого состояния.

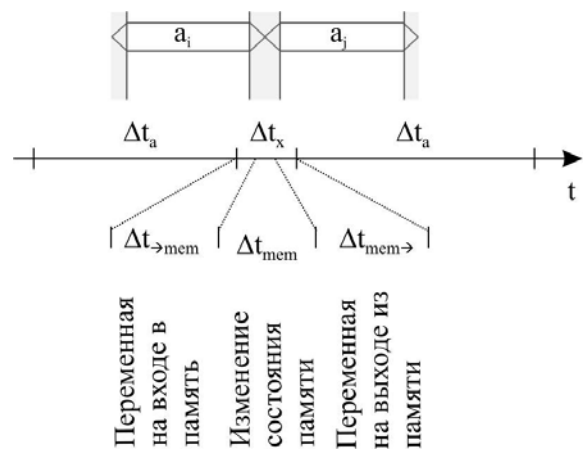


Рис. 6. Неустойчивое состояние

Весь период неустойчивого состояния можно разбить на три части:

- 1) $\Delta t_{\rightarrow mem}$: от внешних входов системы переменная передается к элементам памяти, проходя через каскады комбинационной схемы;
- 2) Δt_{mem} : элементы памяти меняют свое состояние;
- 3) $\Delta t_{mem \rightarrow}$: новое состояние от элементов памяти достигает внешних выходов системы, проходя через каскады комбинационной схемы.

Очевидно, что если первый процесс находится в $\Delta t_{mem \rightarrow}$, а второй – в Δt_{mem} , то будет передана некорректная информация.

Упомянутая проблема взаимонеустойчивости накладывает серьезные ограничения на применение асинхронного параллелизма. Впрочем, как будет показано далее, для случая строго периодически синхронизируемых процессов есть возможность

предсказать взаимонеустойчивые моменты времени. Уровень взаимодействия процессов призван решать эту проблему.

Наконец, на уровне интерфейса АЦПА рассматривается множество процессов. Этот уровень может быть описан следующей системой:

$$S = \begin{cases} Pr = \{Pr^1, Pr^2, \dots, Pr^n\}, \\ X = \{x^1, x^2, \dots, x^m\}, \\ Y = \{y^1, y^2, \dots, y^k\}. \end{cases} \quad (6)$$

Графическая иллюстрация системы уравнений (6) приведена на рис. 7.

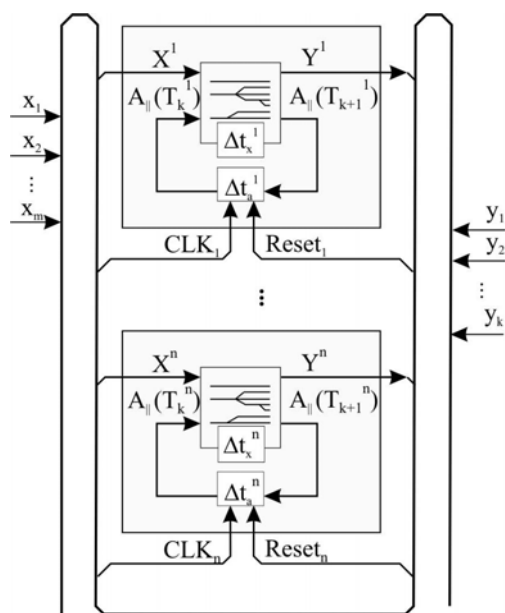


Рис. 7. Уровень интерфейса АЦПА

Проблема взаимонеустойчивости

Как было показано ранее, при взаимодействии взаимонесинхронизированных процессов приходится оперировать реальным временем, а не АВ. При этом из-за конечности скорости распространения сигналов в схеме могут возникать взаимонеустойчивые состояния.

Для системы (3) промежутки времени неустойчивой работы можно описать следующим неравенством (будем считать, что смена состояния происходит в первый момент времени):

$$(\Delta t_x^i + \Delta t_a^i)n + \Delta t_x^i \geq t \geq (\Delta t_x^i + \Delta t_a^i)n, n = 0, 1, 2, \dots \quad (7)$$

Здесь $(\Delta t_x^i + \Delta t_a^i)$ – длительность одного процесса, или период тактирования. Если его заменить на t_i , то (7) можно записать более компактно:

$$t_j n + \Delta t_x^i \geq t \geq t_j n, n = 0, 1, 2, \dots \quad (8)$$

Если взять два процесса, найти их периоды неустойчивой работы в форме (8) и пересечь, то мы получим период взаимонеустойчивой работы двух процессов:

$$\begin{cases} t_i n + \Delta t_x^i \geq t \geq t_i n, n = 0, 1, 2, \dots; \\ t_j m + \Delta t_x^j \geq t \geq t_j m, m = 0, 1, 2, \dots \end{cases} \quad (9)$$

Таким образом, для двух строго синхронизируемых процессов можно найти промежутки времени, когда оба процесса взаимонеустойчивы.

Система (9) дает решение в виде множеств, но она не позволяет увидеть решение в графическом виде. Для этого надо представить протекание процесса в волновом виде:

$$\sin(\omega * t + \varphi) \geq A. \quad (10)$$

Формула (10) дает решение, эквивалентное (7), если считать, что А задает соотношение времени неустойчивого и устойчивого протекания процесса, ν определяет период синхронизации, а φ определяет, когда (внутри одного такта синхронизации) происходит смена состояния. На рис. 8 представлена графическая интерпретация процесса в волновом виде.

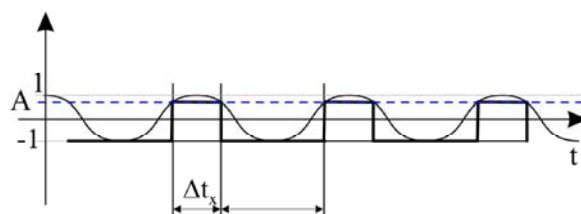


Рис. 8. Представление процесса в волновом виде

Если просуммировать выражение (10) для двух процессов, то получим соотношение, описывающее периоды взаимонеустойчивой работы процессов:

$$\sin(\omega_1 t + \varphi_1) + \sin(\omega_2 t + \varphi_2) \geq A_1 + A_2. \quad (11)$$

Если частоты двух колебаний приблизительно равны, то в итоге возникают биения:

$$\sin(\omega_{\text{мод}} t + \varphi_{\text{мод}}) \cos(\omega_{\text{ог}} t + \varphi_{\text{ог}}) \geq A_{\text{сум}}. \quad (12)$$

Отметим, что в формуле (12) произведены замены переменных.

В графическом виде уравнение (12) представлено на рис. 9.

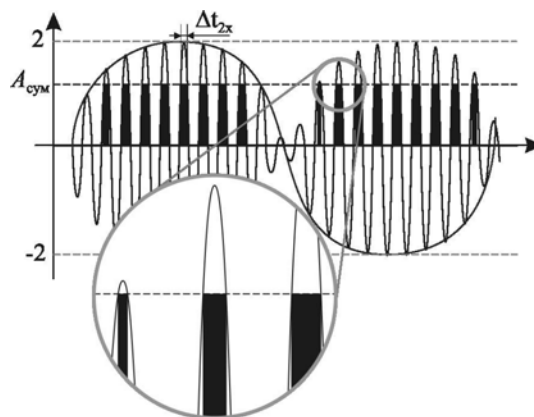


Рис. 9. Сложение двух колебаний

Анализ показывает, что длительное время процессы взаимоустойчивы. Однако наступает промежуток времени, когда взаимоустойчивость проявляется строго периодически – с частотой $\omega_{\text{мод}}$.

Промежутки времени неустойчивой работы вначале короткие, потом становятся длиннее. Максимальная ширина не превышает полупериод модулирующей синусоиды: $\Delta t_{2X} \leq \frac{1}{\omega_{\text{мод}}}$. Затем промежутки времени уменьшаются. Динамика этого процесса изображена на рис. 10. Чем ближе друг к другу частоты обоих процессов, тем четче видны биения.

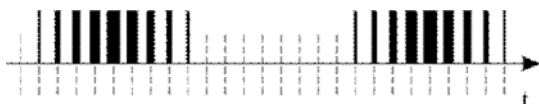


Рис. 10. Характер биений

Очевидно, что результаты решения системы (9) можно использовать на практике. Здесь речь идет о некотором блоке предсказания взаимоустойчивых состояний. В том случае, если такие состояния наступают, имеет смысл пропускать такты работы устройства:

$$T_k^j \xrightarrow{\text{CLK}} T_k^j \quad (13)$$

Представляется целесообразным и возможным реализовать на практике некоторое устройство, которое будет приостанавливать функционирование взаимоустойчивых процессов АПЦА в моменты их неустойчивой работы. Другими словами – риски сбоя в работе автомата можно уменьшить.

Напомним, что предсказать взаимоустойчивые моменты времени можно только для строго синхронизируемых процессов. В противном случае прогнозирование невозможно или требует больших затрат для его осуществления.

УДК 519.713

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА IP-ТЕЛЕФОНИИ

ГЕМА В.С., ЧИКИНА В.А.

Описывается классификация методов определения качества голосового трафика поверх IP-сети, а также сравнительный анализ субъективных и автоматических методов оценки качества предоставляемых услуг.

1. Введение

IP-телефония является наиболее перспективным средством связи. Десятки компаний по всему миру предлагают коммерческие решения для IP-телефонии. Однако на сегодняшний день качество обслуживания клиента, как комплексный параметр, является одним из наиболее актуальных моментов при предоставлении любых услуг связи, так как при этом сталкиваются интересы поставщиков и

Выводы

Проведенный анализ взаимодействия параллельных процессов в асинхронных цифровых автоматах показывает, что при достаточно близких тактовых частотах в двух параллельных асинхронных процессах возникают моменты взаимоустойчивого функционирования. Данный процесс имеет периодичный характер и может быть предсказан на основании предложенной модели.

По мнению автора, предложенный подход к анализу взаимодействия параллельных процессов является в определенной степени универсальным. Его научная новизна заключается в использовании математического аппарата, применяемого для описания волновых процессов.

Предложенный метод анализа взаимодействия асинхронных параллельных процессов может быть применен в различных областях, где имеет место распараллеливание процессов – задачи моделирования социальных процессов, транспортные задачи, проблемы оптимального распараллеливания задач в сложных системах, для согласования сложных распределенных транзакций и т.п.

Литература: 1. Воеводин В. В., Воеводин Вл. В. Параллельные вычисления. СПб.: БХВ-Петербург, 2002. 608 с. 2. Nemchenko O., Krivoulya G. Use of parallelism in finite state machines. Mathematical level. EWDTW'04. Yalta, Crimea, Ukraine, September 23–26, 2004. P. 210–213. 3. Глушков В.М. Синтез цифровых автоматов. М.: Физматгиз, 1962. 476 с.

Поступила в редколлегию 20.06.2005

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Кривуля Г.Ф.

Немченко Александр Владимирович, аспирант ХНУРЭ. Научные интересы: оптимизация организации вычислительных процессов в компьютерных системах, параллелизм в системах, компьютерное моделирование. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел.: 70-21-326, e-mail: alexandre_n@mail.ru.

потребителей услуг. Это вызвано, прежде всего, объективными причинами - интересы поставщиков и потребителей всегда в известной степени противоречат друг другу. И задача оператора сети связи найти оптимальное решение для удовлетворения как собственных интересов, так и интересов потребителей услуг. Таким образом, методы оценки качества передачи голоса заслуживают отдельного внимания в связи со стремительным развитием IP-телефонии и достижением ею уровня развития телефонов общего пользования (ТФОП).

В литературе основные аспекты, структура и принципы работы IP-телефонии описаны довольно детально. Исследованы основы технологии передачи речи по сетям пакетной коммутации, работающим по протоколу IP (Internet Protocol) [1]. Рассмотрены архитектуры системы IP-телефонии на базе Рекомендаций ITU-T (International Telecommunication Union) H.323 и концепции TIPHON, разработанной ETSI (European