

Асинхронная системотехника. «Мягкая» координация межкомпонентных взаимодействий в аналогово-цифровой аппаратуре организационного плана

И. В. Герасимов¹, С. А. Кузьмин², А. В. Ли³

СПбГЭТУ «ЛЭТИ»

¹IVGerasimov-45@yandex.ru, ²KSA84@yandex.ru,

³artemlee90@gmail.com

А. В. Рудинский

ЗАО «НПП «Аквамарин»

avkar@mail333.com

Аннотация. В докладе демонстрируется общий подход к построению сверхбольших интегральных схем по технологии «система на кристалле» (СнК), суть которого состоит в непрерывном моделировании компьютерных операций посредством аппроксимации с помощью дифференцируемых функций в неархимедовой метрике. Показывается, что булева логика не представляет собой символически завершённую систему, поскольку ей для завершения недостаточно собственного потока логических переменных. Синхронизация – это не просто некоторое удобство, позволяющее обеспечить обработку данных числовым способом.

Ключевые слова: неархимедово пространство состояний; *p*-адическая арифметика; асинхронные автоматы; рекурсивные схемы; двойственность непрерывного и дискретного

I. ВВЕДЕНИЕ

Сегодня возможности развития сверхбольших интегральных схем (СБИС) по технологии «система на кристалле» (СнК) в рамках логического базиса универсальных машин вычислений по модели фон-Неймана (общесистемное ядро для HW и SW) практически исчерпаны. Действие классической модели не распространяется на новые вычислительно-преобразовательные среды с масштабной виртуализацией, распределённой и высокопараллельной обработкой информации.

Сохранение неадекватного системного ядра ведёт к обесцениванию прогресса технологий СнК и торможению процессов распределённых вычислений и аналого-цифровой обработки высокой структурно-динамической сложности.

В этой связи актуальны модифицированные тезис Чёрча-Тьюринга [1] и гипотеза о физической символической системе [2]. Их суть сводится к утверждению: «Каждая конечно реализуемая физическая система может быть полностью продемонстрирована универсальной моделирующей вычислительной машиной, действующей

конечными средствами. Благодаря этой модификации, расширяется класс вычислимых функций, поскольку объявляются вычислимыми те функции, которые могут быть воспроизведены реальной физической системой, то есть функции, вычисляемые самой природой» [3] [4]. Тем самым, мы не отождествляем алгоритмичность и эффективную вычислимость. В докладе акцентируется внимание на многокомпонентных вычислительно-преобразовательных средах обработки информации, архитектура которых допускает волновое перемещение данных по однородному процессорному полю. Во многом наш интерес к таким средствам технической кибернетики мотивирован работами С. Уолфрема и ряда других авторов, которые взглянули на физические, химические и биологические теории с позиций информатики [5].

II. ГЛАВНАЯ ЦЕЛЬ

Изложение соображений по изменению базовой архитектурной концепции построения СБИС по технологии СнК, направленных на поиск новых способов организации аналогово-цифровой обработки последовательностей данных в непрерывном потоке времени при совмещении двоичной природы кремниевых вентилях с логикой более сложной, нежели булева.

III. БАЗОВЫЙ ТЕЗИС

Исходным положением является утверждение – архитектура на следующем этапе эволюции должна базироваться – как и всё в окружающем нас мире – на естественной децентрализованной самоорганизации.

При этом должны учитываться не только статистические закономерности передачи и обработки информации, но также и цели и способы её использования. В этом случае логика имеет непосредственное отношение к базисным, фундаментальным конструкциям, возникшим в недрах естественных наук, математики и философии.

Принцип универсального взаимодействия, отражающий диалектику части и целого в системе,

выступает в роли связующего звена при анализе понятия сложности с такими системными понятиями, как инвариантность и симметрия. Даёт ключ к пониманию самодвижения объектов материального (виртуального) мира, соотношение дискретности и непрерывности в процессах представления и обработки информации не только в витасистемах, но и в физических символических системах, демонстрирующих интеллектуальные способности в известном смысле.

IV. АСИНХРОННАЯ СИСТЕМОТЕХНИКА

Когда в 1970-ых годах В. И. Варшавский и руководимая им научная группа в СПбГЭТУ «ЛЭТИ» начали воплощать в теорию и практику технической кибернетики идеи так называемых логических схем, не зависящих от скорости, результат был настолько удачным, что потребовалась строгая формализация, созданная ранее в кибернетике теорией конечных автоматов в терминах аperiodической схемотехники [6].

Входные бинарные последовательности расщепили на две фазы: активную (рабочую) и неактивную (спейсер), что обеспечило свойство монотонности переходов в последовательностях.

«Врождённый порок» (согласно В. И. Варшавскому), которым страдает двоичная логика, состоит в том, что она не включает в себя условие завершения выполнения функции (впрочем, как и её начало). Она может существовать только на фоне соответствующей временной диаграммы, развёртывающей процесс вычисления во времени.

Благодаря внешнему управлению булеву логику удаётся сделать самодостаточной (symbolically completed). На этом и построены все современные процессоры.

Синхронизация – не просто некоторое удобство, позволяющее обеспечить правила срабатывания логической цепи. В этом техническом приёме находит отражение основной принцип организации вычислений – ориентация на обработку чисел, полученных посредством измерения в определённые моменты времени.

В 1980-ые годы стала активно разрабатываться и принципиально другая линия по организации потоков в виде импульсных последовательностей на основе структурно-аналоговых архитектур с привлечением операционных с управляемым параметром элементов – так называемых импульсно-цифровых вычислительно-преобразовательных цепей (ВП-цепей) [7]. В 1990-ые годы при решении вопросов о соотношении теоретико-модельной и процедурной семантики языков структурно-аналоговых вычислений было предложено так называемая двухслойная онтологическая структура физических символических систем (ФСС). Конкретным воплощением явились ВП-цепи с усреднением импульсных потоков.

V. НЕФОРМАЛЬНОЕ ОПИСАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПРИРОДНЫХ ОБЪЕКТОВ, ОСНОВАННОГО НА НЕПРЕРЫВНОМ ПОТОКЕ ВРЕМЕНИ

Согласно философу Бергсону и физику Бору (оппонировавшим Эйнштейну при обсуждении науки как одной из форм познания реального), движение природных объектов (как становление, эволюция) реализуется организационными методами и осуществляется в виде потока событий, а не состояний (свойственно кибернетической автоматной трактовке процесса).

Временной ресурс представляется длительностью, играет ключевую роль в становлении и развитии.

Воздействуя на волновой пакет, в разных фазах его эволюции, можно управлять (изменять) его развитием. Эффективный способ управления заложен в фазовых соотношениях парциальных волн пакета и управляющего импульса. В бытовом смысле, движение регулярное, согласованное для большого числа участников процесса, можно считать когерентным. Тогда как их случайное, независимое друг от друга, нехаотическое, будет некогерентным.

Один из волнующих вопросов, на который пока нет ответа – встречаются ли макроскопические когерентные квантовые объекты в живой природе.

По нашему убеждению, ясное понимание концептуальной сути предмета должно достигаться до того, как началась формализация: когда формализуешь что-то, надо его уже чётко понимать. Обосновывать ещё не понятую теорию – нелепо; формальный язык разделяет, а не объединяет математику, затрудняет понимание математических моделей.

VI. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ АНАЛОГИЯ С ЭЛЕКТРОДИНАМИКОЙ

Волновой автомат (ВА) – это описание способа обеспечения преобразований, которые позволяют перейти от одних состояний к другим, причём и те и другие отражают многоаспектную реальность (в соответствии с гипотезой о физической символической системе). Потенциальная осуществимость состояний отражается в виртуальных построениях. С точки зрения логики, можно соотнести понятия «виртуальное» и «актуальное» с помощью отношения «многие к одному». На абстрактном уровне волновой автомат – это нелинейный оператор, преобразующий входной вектор данных в выходной. В пределах малой окрестности касательное операторное пространство можно рассматривать как линейное. Для конкретизации рассмотрения волнового пакета примем в качестве элементов множества возможных состояний волнового процесса значение четырёхкомпонентного вектора (рис. 1).

Каждый из его компонент может принимать одной из его значений: два устойчивых, закодированных как «0» и «2», и два неустойчивых (возбуждённых), закодированных как «1» и «3».

Система, имитирующая волновой процесс, находится в возбуждённом состоянии, если хотя бы одна компонента вектора находится в возбуждённом состоянии. Возбуждённое состояние – это та причина, которая вызывает динамику волнового процесса. В нашей кодировке справедливо следующее допущение: компоненты вектора следующего состояния от соответствующей компоненты текущего состояния может отличаться не более чем на единицу, то есть на +1 или -1.

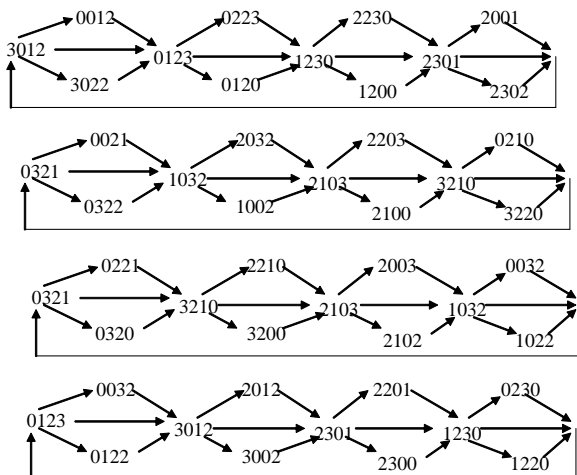


Рис. 1. Диаграммы переходов волнового процесса с учётом недетерминизма его развития

Возможные состояния системы подразделяются на два класса – детерминированные и недетерминированные. Детерминированные состояния – это те, через которые волновой процесс пройдёт вне зависимости от того, как он развивается. Недетерминированные состояния – это те, через которые волновой процесс может пройти, а может и не пройти.

Комбинаторный характер порождения процесса предусматривает порождение всех возможных переходов из состояния в состояние, причём последовательно, шаг за шагом, накладываются ограничения как на значение компонент вектора состояния, так и на их отношения между собой.

Аналогом является описание объекта, распределённого по пространству и по времени – электромагнитное поле ($E(x, t)$, $B(x, t)$).

Понятие поля вносит в информатику одну из фундаментальных парадигм, позволяя описать взаимодействие сущностей и функций целого и его частей посредством аналогии с процессами самоприменимости (циклической причинно-следственной связи).

В поле, каким бы оно ни было, компонент выступает в двух ипостасях:

- как подверженный воздействию поля, он подчинён силам поля;
- он выступает в поле активным творческим началом, изменяя силовые линии и распределение градиентов.

Именно поэтому существуют взаимосвязи между функцией целого и функцией элемента внутри поля; имеют место процессы взаимодействия между частями, опосредованные целостностью, в которой происходят эти взаимодействия.

Поле едино согласно теории поля. Различаются только потоки индукции поля, то есть единое физическое поле может проявляться в виде различных потоков индукции. Векторные поля в отличие от скалярных полей всегда представляют потоки.

Согласно квантовым представлениям, все поля (полевые потоки) – квантовые. Электромагнитная волна состоит из индукционно связанных потоков (электрического и магнитного). Движущийся электрический поток представляет магнитный поток. Поэтому разделить их невозможно. Таким образом, в электромагнитной волне, состоящей из двух движущихся потоков (электрического и магнитного), не наблюдается процесс взаимовозбуждения потоков. Они просто движутся синфазно.

Поле осцилляторов – это скалярное поле. А возникающая в нём напряжённость представляет векторное поле в виде потока напряжённости, так как напряжённость имеет направление.

Другими словами, в скалярном электромагнитном поле осцилляторов могут распространяться возмущения, представляющие напряжённость поля. Где электрические и магнитные потоки напряжённости – это векторные поля. Приём, магнитное поле – это одна из форм проявления электрического поля, возникающее как чисто релятивистский эффект. С точки зрения логики, вместо термина «электромагнитное поле» уместнее термин «электрическое поле» («электродинамическое поле»), так как установлено, что не существует магнитных зарядов, а магнитное поле представляет эволюцию электрического поля.

Согласно законам электродинамики, при движении заряженных частиц, должны возникать электромагнитные волны. Но это ещё не значит, что должно возникнуть излучение. Так как волны, интерферируя, могут погасить друг друга. Одним из таких примеров являются боровские орбиты. При низкой температуре в сверхпроводниках не разрушаются синфазные цепочки из когерентных электронов. То есть, электроны не излучают по тем же причинам, что и на атомных орбитах – излучение невозможно, так как все парциальные волны когерентны и у них нет общей огибающей. В противном случае, это бы противоречило законам физики волновых процессов.

Следуя свободной от противоречий квантовой теории фон-Неймана, состояние физической символической системы задаётся «статистическим оператором». Речь идёт о квантово-механическом описании физической реальности посредством волновых функций. Применительно к обсуждаемым цепям с усреднением импульсных потоков, такой аппарат позволяет единообразно вычислить средние значения величин (по аналогии с тем, что делается в квантовой теории при вычислении значения средних

наблюдаемых, представленных операторами в гильбертовом пространстве). Здесь «статистический оператор» задаёт состояние физической символической системы.

VII. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изложенная концепция асинхронной системотехники на волновых и квантовых эффектах отражает тот факт, что вся прикладная наука разделяется на два фундаментальных направления – философию и технологию. Цель создаваемой системы в технике достигается совместными усилиями теоретика и технолога.

В перспективе (уже имеются предпосылки) намечается переход к средствам вычислительной перцепции в составе социокберфизической реальности. К их числу относится видеосистема на кристалле. Это – целостный продукт видеоинформатики, принципиально отличающийся от традиционных решений по сочетанию фотоприёмных матриц с системами на кристалле для кодирования изображений. Для систем на кристалле, обработка информации – это «обработка данных», а видеосистемы на кристалле ответственны также и за рождение сигнала. Именно поэтому волновая идеология, положенная в основу изложенной концепции, в сочетании с организационными принципами построения аппаратуры, делают средства вычислительной перцепции современной киберфизической реальности не случайным ответвлением

технологий в микроэлектронике, а одним из её стратегических направлений развития.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Дойч Д. Квантовая теория, принцип Чёрча-Тьюринга и универсальный квантовый компьютер // Квантовый компьютер и квантовые вычисления. Ижевск: Ижевская республиканская типография, 1999. Т. 2. С. 157-189.
- [2] Рассел С., Норвиг П. Искусственный интеллект: современный подход (AIMA-2). 2-ое изд. М.: Издательский дом «Вильямс», 2007. 1408 с.
- [3] Герасимов И.В., Кузьмин С.А., Булахов А.В. Операционные элементы с итеративной организацией вычислительно-преобразовательного процесса // Математические машины и системы (г. Киев, Институт проблем математических машин и систем Национальной академии наук Украины). 2013. № 4. С. 29-37.
- [4] Герасимов И.В., Сафьянников Н.М., Якимовский Д.О. Сложно-функциональные блоки смешанных систем на кристалле: автоматизация функционального проектирования: Монография / Под ред. И.В. Герасимова. СПб.: Издательство «ЭЛМОР», 2012. 237 с.
- [5] Сетубал Ж., Мейданис Ж. Введение в вычислительную молекулярную биологию. М.-Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», Институт компьютерных исследований, 2007. 420 с.
- [6] Астановский А.Г., Варшавский В.И., Мараховский В.Б., Песчанский В.А., Розенблум Л.Я., Стародубцев Н.А., Финкельштейн Р.Л., Цирлин Б.С. Аперриодические автоматы / Под ред. В.И. Варшавского. М.: Наука, 1976. 424 с.
- [7] Смолов В.Б., Угрюмов Е.П. Время-импульсные вычислительные устройства. М.: Радио и связь, 1983. 288 с.