

НЕТРАДИЦИОННАЯ СИСТЕМА ОСТАТОЧНЫХ КЛАССОВ И ЕЕ ОСНОВОПОЛОЖНИК И. Я. АКУШСКИЙ

Синьков М.В., Синькова Т.В., Федоренко А.В., Чапор А.А.
Киев, Украина

“И я выхожу из пространства
В запущенный сад величин
И мнимое рву постоянство
И самосознание причин.
И твой, бесконечность, учебник
Читаю один, без людей, -
Безлиственный дикий лечебник
Задачник огромных корней.”

О. Мандельштам.

Мы настолько привыкли к традиционному счету, что даже не задумываемся над возможностью построения иных систем вычислений. Здесь, правда, нужно оговориться и вспомнить достаточно хорошо известную римскую систему счисления. Она не может быть применена для счета в ЭВМ. Но тем, кто более широко знаком с различными формами представления чисел известны “не очень традиционные” системы счисления: троичная, с основанием (-2) и ряд других. Представляет интерес также фиббоначиевая система счисления. Но все эти позиционные системы появились на горизонте и остались как интересные теоретические разработки, очень слабо воплощенные в практическую жизнь.

Иначе сложилась судьба “совсем нетрадиционной” системы счисления, которая получила несколько названий. Наиболее часто встречаются: непозиционная система счисления, система остаточных классов и др. Формирование этой системы относится к 1954 г., когда идея ее построения была высказана в СССР И.Я.Акушским и, как это выяснилось позднее, в Чехословакии Свободой.

Дальнейшее развитие эти работы получили в трудах Айкена, Семона, Сабо и Гарнера. В СССР близкими соратниками И.Я.Акушского были Д.И.Юдицкий и В.М.Амербаев. В Украине первым, подхватившим это направление стал Ю.П.Соборников и вслед за ним первый автор данной статьи М.В.Синьков.

Исходные положения этой системы базируются на теории сравнений, лежащей в основе теории чисел. Первые работы по теории сравнений относятся к периоду расцвета китайской культуры. Широко распространена в классической теории чисел и исключительно важна для построения непозиционного представления чисел Китайская теорема о решении системы линейных сравнений.

Непозиционная система остаточных классов нашла воплощение в серийных универсальных ЭВМ и многих оригинальных разработках. К ним относятся работы по созданию универсальной ЭВМ в институте дальней радиосвязи, бортовых специализированных ЭВМ, созданных на авиационных предприятиях, специализированных моделирующих устройств, разработанных в Ленинградской военной Академии.

Интересно, что преимущества непозиционной системы остаточных классов [1] успешно проявились как в цифровых, так и в аналоговых вычислительных машинах.

Необходимо отметить, что эта система в вычислениях с большими числами просто не имеет равных. Так И.Я.Акушский соревновался с крупной машиной IBM в отыскании самого большого из возможно определимых сегодня простых чисел Мерсена. При этом такое число оказалось равным $2^{11853}-1$. Кто сомневается, тот пусть проверит и сообщит авторам результаты.

В основе всей непозиционной системы счисления в остаточных классах лежит понятие сравнимости чисел по модулю m . Произвольное число N можно представить в виде:

$$N = n \cdot m + \alpha, \text{ то есть } N \equiv \alpha \pmod{m}.$$

Здесь n - число, показывающее, сколько раз m укладывается в числе N , а α - остаток, причем $0 \leq \alpha \leq m-1$.

Точность вычислений связана с модулем m величиной $1/m$. Для высокоточных вычислений количество представимых в системе чисел должно быть увеличено, т.е. необходимо брать несколько модулей m , произведение которых определяет суммарный числовой диапазон и точность вычислений $1/M$.

Тогда число N из диапазона $0-(M-1)$ представляется совокупностью остатков $\{\alpha\}$ по совокупности модулей $\{m\}$. Имеется ряд правил, позволяющих экономично выбирать модули m и среди них отметим, что все модули должны быть взаимно простыми числами.

Сложение остаточных представлений по модулю осуществляется по простым правилам. Приведем для примера таблицу сложения для $m=5$.

α_i/α_j	0	1	2	3	4
0	0	1	2	3	4
1	1	2	3	4	0
2	2	3	4	0	1
3	3	4	0	1	2
4	4	0	1	2	3

Суммируемые величины α_i и α_j принимают значения от 0 до 4. Внутри таблицы даны результаты суммирования по модулю 5. Из таблицы видно, что она симметрична относительно главной диагонали. Каждая последующая строка в таблице повторяет предыдущую со сдвигом влево.

Умножение остаточных представлений по модулю m также осуществляется по простым правилам. Рассмотрим пример умножения для $m=5$. Перемножаемые величины α_i и α_j изменяются от 0 до 4. Внутри таблицы даны результаты умножения по модулю 5. Таблица симметрична относительно обеих диагоналей и имеет порядок на единицу меньше модуля - $(m-1)$.

α_i/α_j	0	1	2	3	4
0	0	0	0	0	0
1	0	1	2	3	4
2	0	2	4	1	3
3	0	3	1	4	2
4	0	4	3	2	1

Выше упоминалось, что для вычислений с большей точностью в непозиционной системе должно быть взято несколько модулей. Естественно подчеркнуть, что при выполнении операций сложения и умножения, называемых модульными операциями, полностью отсутствуют взаимосвязи между модульными каналами. Так что проблема переносов, свойственная позиционному представлению информации в этой системе отсутствует.

Деление в системе остаточных классов происходит в два этапа. На первом этапе осуществляется поиск старшей степени 2^i при аппроксимации частного двоичным рядом. На втором этапе осуществляется уточнение аппроксимирующего ряда.

Лучше всего алгоритм деления рассмотреть на примере. Действия будут производиться над десятичными числами, которые легко заменить по рассмотренным правилам сравнений на совокупность остаточных представлений. Будем искать частное от деления 59 на 5.

1. На первом шаге сравниваем $59 > 5$ и, следовательно, в память заносим 2^0 .
2. На втором шаге удваиваем знаменатель $5 * 2 = 10$.
3. Сравниваем $59 > 10$ и в память заносим 2^1 .
4. Удваиваем знаменатель $10 * 2 = 20$.
5. Сравниваем $59 > 20$. В память 2^2 .
6. Удваиваем $20 * 2 = 40$.
7. Сравниваем $59 > 40$. В память 2^3 .
8. Удваиваем $40 * 2 = 80$.
9. Сравниваем $59 < 80$. Процесс проверок первого этапа завершен и в память ничего не отправляется.

Далее проходим второй этап.

10. Из памяти забираем старшую степень 2^3 и умножаем на знаменатель
11. $2^3 * 5 = 40$.
12. Сравниваем $59 > 40$. Значит 2^3 нужно для образования частного.
13. Из памяти берем 2^2 и вычисляем
14. $(2^3 + 2^2) * 5 = 60$.
15. Сравниваем $59 < 60$. Значит 2^2 не нужно для образования частного.
16. Из памяти берем 2^1 и вычисляем
17. $(2^3 + 2^1) * 5 = 50$.
18. Сравниваем $59 > 50$. Величина 2^1 нужна для образования частного.
19. Из памяти берем 2^0 и вычисляем
20. $(2^3 + 2^1 + 2^0) * 5 = 55$.
21. Сравниваем $59 > 55$. Следовательно, частное равно $2^3 + 2^1 + 2^0 = 11$.

В этом алгоритме возможны интересные модификации, которые мы не предполагаем здесь рассматривать. При наличии свободного времени можно попробовать использовать в качестве аппроксимирующего ряда 3^i и движение по степеням 8^i , помня при этом, что $8 = 2^3$.

Операция деления требует сравнения чисел, представляемых совокупностями остатков по модулям. Сравнение чисел в модульной системе - задача более сложная, чем в позиционных системах. Решение ее связано с переходом в так называемую систему со смешанными основаниями, но при этом кроме положительных чисел необходимо ввести отрицательные и, следовательно, операцию вычитания. Свойства сравнений таковы, что любой положительный остаток по модулю может быть заменен и представлен

отрицательным остатком. Такой остаток численно равен аддитивному дополнению до модуля.

Операцию вычитания вида $\alpha_i - \alpha_j$ можно представить таблицей

α_i / α_j	0	1	2	3	4
0	0	4	3	2	1
1	1	0	4	3	2
2	2	1	0	4	3
3	3	2	1	0	4
4	4	3	2	1	0

Код со смешанными основаниями можно представить в виде

$$X = m_{k-1} m_{k-2} \dots m_1 n_{k-1} + m_2 m_1 n_2 + m_1 n_1 + \alpha_1$$

Из полученного видно, что коэффициент при α_1 равен 1, при n_1 равен m_1 , при n_{k-1} равен $m_{k-1} m_{k-2} \dots m_1$. Полученный код есть полупозиционный код, который позволяет сравнивать числа и преобразовывать совокупности остаточных представлений в позиционное число.

Израиль Яковлевич Акушский жил в Москве много лет в большом доме в начале Волоколамского проспекта рядом со станцией метро Сокол. Он жил вместе со своей женой Галиной Петровной в большой квартире, всегда очень аккуратной, с лакированными полами, которые было страшно испортить даже возле входной двери. В этой квартире всегда было много людей, у них часто ночевали гости из других городов. К сожалению нет большой подробной биографии И.Я.Акушского. Очень хорошо о нем написано в книге Б.Н.Малиновского "История вычислительной техники в лицах".

Всех, кто имел счастье работать и встречаться с И.Я.Акушским поражала его невероятная работо-способность. Даже после инсульта, когда он ходил с определенным напряжением, а указательный палец на одной руке не сгибался, И.Я.Акушский много работал. У него был совершенно ясный ум и огромная жажда деятельности.

Что подтолкнуло И.Я.Акушского к работе над непозиционными системами счисления. По-видимому определенное влияние на И.Я.Акушского оказала совместная работа в Институте математики им.Стеклова с И.М.Виноградовым, чьи работы в области теории чисел имели мировую известность. Но наиболее вероятно то, что И.Я.Акушский увидел в модулярной арифметике и, построенных на ее основе непозиционных системах счисления в остаточных классах, большую перспективу и возможность существенно повысить скорость вычислений. Это было особенно важно для тех задач, которые сводились к групповым операциям накопления суммы парных произведений. Превышение величины скорости вычислений в ЭВМ с непозиционным кодированием информации более одного миллиона операций в секунду (вторая половина 50-х.гг.) было трудно выполнимым, но чрезвычайно заманчивым.

Если при этом с модулярными операциями дело обстояло достаточно просто и благополучно, то выполнение немодульных операций было затруднительным и требовало серьезных исследований. Это привело к широкому спектру разработок и представлений в

ортогональных базисах, что приводило порой к малопредвиденным результатам. По сути дела разыскивался некий компромисс, в котором некоторые ослабления требований к модулярным операциям позволяли ускорить выполнение немодульных операций.

И.Я.Акушский обращал внимание еще на одну важнейшую особенность непозиционных систем остаточных классов. Это возможность обнаружения и исправления ошибок в процессе вычислений, что достигалось следующим образом. Выше говорилось о выборе модулей системы остаточных классов, обеспечивающих требуемую точность вычислений. Пусть этот диапазон называется информационным. Если теперь расширить этот информационный диапазон добавлением к ранее выбранной совокупности модулей еще одного модуля, который мы назовем контрольным, то появляется возможность обнаруживать и исправлять одиночные ошибки. Необходимо только соблюдать выполнение дополнительного условия такого, что контрольный модуль должен быть больше по величине всех информационных модулей. И.Я.Акушский своими трудами подталкивал учеников и последователей к развитию теории корректирующих кодов в модулярной арифметике.

И.Я.Акушский как большинство талантливых людей был талантлив во многом. Он был прекрасный математик, очень энергичный человек, он многих опередил в понимании важности вычислений на счетно-аналитических машинах, он наряду со многими пионерами разработок ЭВМ в СССР понял важность развития вычислительной техники и построения быстродействующих электронных вычислительных машин. Он не побоялся проводить свои работы в Зеленоградском центре, где концентрировались мощные силы по микроэлектронике и с ними нужно было тесно взаимодействовать, а это была область науки довольно далекая от его основной специальности. И.Я.Акушский получил много авторских свидетельств и патентов США, Японии и других стран и он ясно понимал важность закрепления приоритета отечественной вычислительной технике в мировом сообществе.

Преобладающая доля работ И.Я.Акушского относится к цифровой вычислительной технике, но он прекрасно понимал огромную роль аналоговых моделирующих машин. И вот настали годы, когда И.Я.Акушский начал говорить о непрерывных моделирующих средствах в системе остаточных классов. Эти первые размышления легли в основу большого цикла исследований и разработок, которые выполнялись в Институте проблем регистрации информации НАНУ под руководством проф. М.В.Синькова и при активном участии к.т.н.А.И.Закидальского. Это направление разработок было впоследствии названо разрядно-аналоговым. Необходимо отметить, что в своем большинстве аналоговые средства ориентированы на решение систем уравнений. Таким образом, должна была быть обеспечена возможность замкнуть обратную связь в схеме. Весь комплекс разрядно-аналоговых блоков был успешно разработан и включал сумматоры, умножители, интеграторы и другие функциональные блоки. Замыкание обратных связей при представлении информации в системе остаточных классов не вызвало особых затруднений, так как при умножении двух пятиразрядных чисел, например, в результате получалось число из пяти разрядов (в отличие от позиционных, где произведение давало десять разрядов).

Прекрасные знания математики и чутье ученого подсказали И.Я.Акушскому еще одно важное направление - он начал распространять идеи непозиционного кодирования информации из области вещественных чисел на комплексную плоскость [2]. Здесь было много трудностей, одна из которых состоит в отсутствии четкого сопоставления “на больше-меньше”. В определенной мере эти работы опирались на труды Гаусса, но

ориентация на построение вычислительных процедур в комплексной плоскости с модульным представлением информации принадлежит И.Я.Акушскому. Нужно также отметить, что И.Я.Акушский уделил большое внимание Гауссовскому изоморфизму. Он состоит в том, что при выполнении определенных условий на выбираемые комплексные модули и соответствующие им вещественные модули существует изоморфизм между комплексными и вещественными остатками по этим модулям. Практическая реализация этой теоремы, которая называется фундаментальной теоремой Гаусса, дает возможность выбирать более выгодную систему вычислений. Эти исследования имеют, например, важные приложения, связанные с быстрым преобразованием Фурье. Работы И.Я.Акушского и его коллег по системе остаточных классов в комплексной плоскости сыграли важную теоретическую роль.

Эти работы навели проф.М.В.Синькова на мысль распространить исследования систем остаточных классов в комплексной плоскости, на коммутативные и некоммутативные расширения комплексных чисел. Так были проведены построения непозиционной системы остаточных классов для двойных и дуальных чисел второго порядка, системы третьего порядка - триплексных чисел, систем четвертого порядка над полем вещественных чисел: коммутативных - квадриплексных чисел и некоммутативных - кватер-нионов, а также систем четвертого порядка над полем комплексных чисел - бикватернионов и биквадриплексных чисел и распространенной в теоретической физике альтернативной системы восьмого порядка над полем вещественных чисел - октав. Цикл работ этого направления выполнялся в течение ряда лет [3] совместно с к.ф.-м.н.Н.М.Губарени и к.т.н. Я.А.Калиновским.

Почти гипотетическая перспектива.

Проблема микроминиатюризации или уплотнения в единице объема актуальна всегда. Эра новой интегральной электроники или эра микропроцессоров относится к 1970-71 гг., когда был анонсирован микропроцессор Intel 4004. Все последующие годы как основная решалась следующая задача - меньшие размеры элементов и как можно большее число транзисторов на кристалле. Эти показатели в интегральной электронике просто поражают.

Минимальная длина канала транзистора уменьшилась с 20 мкм в 1971г. до 0,2 мкм в 1997г., то есть практически на два порядка. Если говорить о количестве транзисторов в микропроцессорах, то оно выросло почти на 4 порядка от 2.300 в 1971г. до величины 13.000.000 в 1997г. для PentiumPro. Микропроцессор MMX, выпущенный в 1996г. содержит 4,5 млн. транзисторов на кристалле размером 141 кв. мм. Если микроминиатюризация сохранит свои темпы развития и дальше, то следуя известному закону Мура в 2000 году следует ожидать появления микропроцессоров с числом транзисторов до 1,1 млрд. и минимальном размере элемента до 0,1 мкм - 100 ангстрем.

Межатомные расстояния в биоорганических соединениях измеряются единицами ангстрем, а свойства этих соединений определяются их пространственной конфигурацией. То есть можно ожидать гораздо большие плотности записи, чем известные сегодня.

Исследования указывают на целесообразность совмещения особенностей параллельных структур, использующих для представления информации непозиционную систему счисления, с возможностями элементов, построенных на основе биоорганических соединений.

Результатом этого соединения должна явиться биоорганическая вычислительная среда - новый тип вычислительных сред, который может в дальнейшем представить значительный интерес. Вычислительная биоорганическая среда естественным образом приблизит современную вычислительную технику к реально существующим и, следовательно, возможным для синтетических структур параметрам и характеристикам живой материи.

Общность между биологическими аспектами на молекулярном уровне и вычислительными элементами была найдена в конце 60-х гг. Жакобом и Моно, которые впервые представили регуляторные процессы в клетке в виде схемы с обратной связью. Они нашли, что клетки не синтезируют некоторый фермент в определенных условиях начинают производить его, а в других случаях осуществляется подавление синтеза ферментов под действием химических соединений. Рассмотрение этих работ показывает, что была выявлена структура молекулярного триггера.

Интересные результаты получены Гудвином, который детально исследовал схемы цепей управления и построил идеализированную модель метаболической регуляторной системы с обратной связью. Получены дифференциальные уравнения для изучения динамических свойств клеточных систем, регулирующих синтез макромолекул. В этой же работе выведены уравнения регуляции синтеза белка, РНК и метаболита. Приводятся сложные схемы многозвенных регуляторных процессов, близкие по своей структуре к счетчикам и сдвигающим регистрам. В ином аспекте рассматриваются живые клетки и вычислительные средства в работах Либермана. Здесь вводится понятие “молекулярная вычислительная машина” и делается попытка описать работу управляющей системы клетки в таком виде, который позволяет обнаружить в ней общие структурные черты с современной вычислительной машиной. Автор оперирует понятиями ДНК и РНК, а также использует нуклеотиды и аминокислоты. В его работах осуществляются операции над словами молекулярными физическими устройствами - полимеразы, нуклеазы, рибосомы и др. Введены понятия комплиментарных слов, что равносильно дополнительному коду в позиционных машинах или (наше дополнение) аддитивному дополнению до модулей в непозиционной системе остаточных классов.

В работах Либермана показано сходство с вычислительными машинами в том смысле, что имеются адреса для переменных, которые могут быть представлены либо в обычном алфавите либо в другом, например, в виде петель третичной структуры; переменные, представленные в определенном алфавите и т.д. Раскрывается схематическая структура молекулы слова, содержащая адрес операции и другое. Такая структура близка к трехадресной в вычислительных машинах..

Особенностями изучаемой молекулярной вычислительной машины автор считает следующее:

1. Фиксированная последовательность операций (программа) жестко закреплена на мембранах и комплексах, состоящих из большого числа белков. Большая часть молекул свободно движется в растворе. Здесь, очевидно, можно провести аналогию с пассивной жесткой памятью и внешней памятью на лентах и дисках.
2. Программа может быть размножена, причем эта операция может быть последовательной и параллельной.
3. Элементы МВМ (молекулярной вычислительной машины) - молекулярные квантовые объекты, которые можно воспроизвести с высокой точностью. Эта особенность МВМ нам представляется важнейшей.
4. Затраты энергии на выполнение операций минимальны и большинство операций поиска по адресу выполняется за счет теплового движения.

Подытоживая результаты, представленные в работах М.Либермана можно прийти к заключению, что проведена большая и интересная работа по выявлению специфических особенностей живых клеток и отысканию в них черт, общих с вычислительной машиной. Выводы автора о том, что клеткой управляет универсальная вычислительная машина параллельно-последовательного действия не вызывают сомнения, особенно с учетом высказываний Джона фон Неймана в пятидесятых годах. Многие другие положения работ, будучи вероятно справедливыми, в настоящее время не могут быть эффективно использованы. Эти исследования носят познавательный характер и далеки от практических целей.

Целесообразным с нашей точки зрения представляется проведение исследований в следующем направлении. Если использование живой клетки для практических целей, связанных с вычислительной техникой затруднительно ввиду ее большой сложности, то целесообразно провести исследования и обсудить возможность создания искусственной клетки, элементный набор которой составили бы биоорганические соединения живой природы.

Первый принципиальный вопрос, который должен быть решен для построения искусственной биоорганической клетки, ориентированной на выполнение вычислительных процедур, - это способ кодирования информации. Возможны следующие варианты. Цифровые значения переменных могут быть присвоены либо дезоксирибонуклеиновым кислотам, представленным в клетке 4-х буквенным алфавитом, либо аминокислотам, алфавит которых содержит 20 основных наименований.

Представляется предпочтительным второй вариант, в соответствие с которым цифровые значения переменных должны быть присвоены аминокислотам. Аргументы в пользу этого варианта следующие:

Аминокислоты, в соответствие с генетическим кодом, кодируются триплетами - трехбуквенным соединением нуклеотидов. Триплеты располагаются на основе пептидной цепи. Сама пептидная цепь является своеобразным аналогом гетинаксовой платы, на которую наносится печатный монтаж - в клетке это цепочка триплетов.

Таким образом, обработка сигналов и информационные связи должны выполняться с помощью аминокислот. Целесообразность использования для целей кодирования аминокислот только из стандартного набора подтверждается тем, что они имеют свой шифр в генетическом материале, тогда как сверх комплектные аминокислоты могут такой кодировки не иметь. Кроме того, различия между аминокислотами стандартного набора и сверхкомплектными аминокислотами становится легко объяснимыми, если последние рассматривать как постсинтетическую модификацию аминокислот стандартного набора.

Анализируемый подход к построению биоорганической вычислительной среды, использующий в максимальной степени особенности живой клетки, обеспечивает минимальные затраты внешней энергии и реализацию вычислительных операций за счет свободной энергии гидролиза химической связи или энергии взаимодействия комплиментарных частей молекул.

Можно предполагать, что на первом этапе "понимания" биоорганическая среда не может быть универсальной, а будет строго специализированной. Для обсуждения этого положения можно привлечь данные, допускающие, что земная биология может явиться частным проявлением некоторого более общего правила организации жизни.

Биоорганическую среду следует ориентировать на реализацию универсальной математической операции накопления суммы парных произведений, в которой на первых этапах операция умножения двух переменных может быть заменена операцией умножения на константу.

Далее должен быть решен вопрос о конкретной форме представления цифровых переменных. Возможны два основных варианта - позиционная и непозиционная формы представления информации.

При использовании позиционных принципов возникает ситуация, в которой аминокислота a_i , кодирующая информацию в i -том разряде, будет передана в $i+1$ разряд и должна определенным образом взаимодействовать с аминокислотой $i+1$ разряда. Это невозможно.

Если же для представления цифровых переменных выбрать непозиционную систему счисления в остаточных классах, то сразу же возникают следующие возможности. Вычисления в непозиционной системе счисления ведутся в независимых каналах, а поэтому возможно "поручить" группе аминокислот обеспечение вычислительной процедуры одного канала, другой группе аминокислот - в другом канале и т.д.

Тогда в каждом канале будет организован биоорганический аналог многозначного элемента. При этом i -тая аминокислота в j -том канале обеспечивает i -тый уровень. Однако, в связи с ограниченностью стандартного набора аминокислот, этот путь является малоэффективным. Второй способ построения биоорганической среды с непозиционной формой представления цифровых переменных представляется более рациональным.

Заключается этот способ в следующем. Вычислительная процедура представляется возможностью суммирования и умножений на константы (в соответствии с принятым ранее ограничением). В исходном состоянии эти операции представляются в десятичном структурном алфавите в виде таблиц, в каждой клетке которых располагается остаточное представление по модулю m_i некоторого канала. Далее просто осуществить переход от таблиц с десятичным алфавитом к таблицам с двоичным изображением.

Таким образом, будет произведено дальнейшее распараллеливание вычислительной процедуры. При этом в каждом канале ноль может быть представлен одной аминокислотой, а единица - другой. Этим предопределяется структура последовательности нуклеотидов. Если выбрать некоторое направление обхода таблицы с двоичным кодированием, то в нуклеотидной цепи должны последовательно располагаться триплеты, кодирующие единицей - первую аминокислоту и нулем - вторую аминокислоту.

Можно пойти дальше и составить нуклеотидную цепь из последовательности нуклеотидов одного типа. Например, поли у - последовательность из урацила. Тогда все триплеты цепи будут кодировать только одну аминокислоту, которой можно условно присвоить цифровое значение, равное единице.

Для того, чтобы организовать в этом случае таблицу, состоящую из единиц и нулей, нужно каким-то образом превратить определенные триплеты цепи в бессмысленные, которые при чтении не будут давать результата. Это может быть достигнуто, к примеру, облучением ультрафиолетовыми лучами определенных триплетов (основанием к этому служат опыты с получением димеров тимина и опыты, изложенные Д.Сойфером).

Интересен тот факт, что указанная реакция на ультрафиолетовое облучение является обратимой, что позволяет с помощью ультракрасных лучей восстановить исходное состояние.

Последнее обстоятельство особенно важно, так как оно открывает возможность определенной перестройки таблиц, что позволит уменьшить специализацию биоорганических средств.

Важным в этом плане является способ осуществления перестройки столь малых элементов, размеры которых не превышают десятка ангстрем. Определенные успехи в

этом направлении могут быть, вероятно, достигнуты применением голографической записи исходных двоичных таблиц для последующего облучения и изменения состояния нуклеотидных последовательностей.

Итак, рассмотрен способ построения табличных биоорганических схем модулярной арифметики. Следующий вопрос, который требует особого внимания - это считывание информации. Считывание должно осуществляться двухкоординатной выборкой единственного для данного момента времени сигнала - триплета, код которого занесен в считываемую ячейку. Осуществление двухкоординатной выборки приводит к необходимости создания дополнительного "слоя" над цепочкой нуклеотидов. Основной задачей дополнительного "слоя" является запрет или разрешение на комплиментарное считывание с помощью ДНК зависимой РНК полимеразой. Это может быть осуществлено построением дополнительного "слоя" по принципу незанятых валентных связей.

Точка таблицы с незанятыми валентными связями, к которой присоединяются оба входных сигнала, изменит свое состояние и разрешит считывание информации, содержащейся в нуклеотидной цепи (то есть в аналоге ДНК) информационной РНК.

Таким образом, если учесть наличие пептидной цепи, кодирующих триплетов и длительного управляющего слоя, то биоорганическая матрица должна представить трехслойную структуру.

Важным является вопрос об управлении в биоорганической среде. Успех решения этого вопроса зависит от проработки последовательностей химических реакций, осуществляющих триггерные и счетчиковые режимы, рассмотренные выше. При этом с целью упрощения среды необходимо обеспечить минимальную последовательность переходов в химических реакциях.

Биоорганическая среда должна представлять собой сотообразную структуру, разделение в которой может осуществляться с помощью мембран. При этом из всего многообразия мембран клетки для целей организации биоорганической среды следует использовать внешние мембраны, ответственные за калий-натриевый перенос в живых клетках.

Наиболее важной особенностью, которой должна обладать биоорганическая вычислительная среда, является способность к самовоспроизведению. Это свойство присуще живой клетке и является неотъемлемым признаком живых организмов. Иначе состоит дело с искусственными биоорганическими соединениями, для которых способность к самовоспроизведению должна быть создана. Вопрос о том, будет ли искусственная биоорганическая вычислительная среда способной к самовоспроизведению зависит от степени сложности самой среды. Таким образом, для самовоспроизводимости биоорганической вычислительной среды необходимо обеспечить некоторый вполне определенный уровень сложности. Работы в таком направлении ведутся отечественными и зарубежными исследователями и состоят в определении минимальной живой клетки, которая может самовоспроизводиться. Результаты этих работ могут быть перенесены на искусственные биоорганические среды.

Вопросы, связанные с биологическим самовоспроизведением, послужили толчком к изучению самовоспроизведения на уровне электрических, электронных, электромеханических, механических автоматов. Помимо этого вопросами успешного самовоспроизведения усиленно занимались математики в плане изучения проблем роста фигур, проблем узлов и др. Важность изучения этих вопросов усилилась после того как Моррисон в 1964 и Бернал в 1965 высказал предположение о возможности будущих форм жизни, состоящих из автоматов, содержащих стадии синтеза компонент из молекул в гомогенной фазе.

Все рассмотренное выше подчеркивает перспективность исследований в области непозиционной системы остаточных классов для создания новых вычислительных средств.

Резюме

Авторы данной работы не знают, наступит ли когда-то такое время, когда пионерам и творцам компьютерной техники и компьютерных технологий, внесших неоценимый вклад в развитие компьютерных наук, будут поставлены достойные памятники. Но уже факт проведения этого международного симпозиума, позволивший выделить самых первых и самое первое, что было сделано в этой отрасли, это уже некоторый фундамент для этих памятников.

Мы также не знаем полностью ли отражает философское содержание прошлого, настоящего и будущего стихотворение О.Мандельштама и приводим его для того, чтобы было над чем подумать:

“Подшипник с шариком
Начни соревноваться
Подшипники шипеть
А шарики - кататься.”

1. Акушский И.Я., Юдицкий Д.И. Машинная арифметика в остаточных классах. М., Сов.Радио, 1968, 439 с.
2. Акушский И.Я., Амербаев В.М., Пак И.Т. Основы машинной арифметики комплексных чисел. Алма-Ата, Наука, 1973, 192 с.
3. Синьков М.В., Губарени Н.М. Непозиционные представления многомерных числовых систем. Киев, Наукова думка, 1977, 149 с.

International symposium on the contribution of Europeans to the evolution and the achievements of computer technology "Computers in Europe. Past, Present and Future", Kyiv, October 5-9, 1998
<http://www.icfcst.kiev.ua/Symposium/Proceedings2/Sinkov.pdf>