Нестандартная модель процесса вычислений, основанная на эволюционных примитивах. Обобщенние машины Тьюринга

О.Н.Граничин
Oleg_granichin@mail.ru

И.А.Жувикина
irina@IZ12609.spb.edu

Санкт-Петербургский государственный университет
199034, С.-Петербург, Университетская наб. д.7/9, Россия

В статье предлагается обобщение концепции классической схемы машины Тьюринга с использованием средств нестандартного анализа. В предлагаемой концепции обобщаются традиционные понятия "лента" и "ячейка памяти". В частности, считается, что "ячейка памяти" представляет собой постоянно функционирующую модель какой-то динамической системы. "Естественная" эволюция ячеек в некоторые моменты времени прерывается (происходят "скачки"). Рассматриваемая модель позволяет, например, описывать системы с изменяющейся структурой пространства состояний. Стандартная машина Тьюринга оказывается предельным случаем предлагаемой.

Введение

Машина Тьюринга (МТ) — это абстрактное вычислительное устройство, которое было предложено в 1936 г. английским математиком А. Тьюрингом [20] в качестве математической модели для описания алгоритмов. Первоначально концепция МТ развивалась с целью ответа на вопрос: можно ли для любого математического утверждения указать конечную последовательность инструкций, которые могли бы выполняться механически одна за другой любым человеком или вычислительным устройством, и в итоге выяснить, истинно это утверждение или ложно. При этом машина Тьюринга являлась дискретным вычислительным устройством, изменяющим свои характеристики в определенные моменты времени. Хотя и доказано, что поставленная проблема в общем случае неразрешима, но применение машины Тьюринга вышло далеко за пределы первоначальной постановки. По существу именно работы Тьюринга положили начало математической теории вычислений. Машина Тьюринга сыграла и продолжает играть важную роль в теории информатики, а вычислимость при помощи машины Тьюринга стала признанным определением процедуры.

В том же самом 1936 г. А. Черчем [11] была высказана гипотеза, что любой процесс, который естественным образом мог бы быть назван процедурой, реализуем машиной Тьюринга. Впоследствии эту гипотезу стали называть тезисом Черча-Тьюринга [6, 12]. Более точно тезис Черча-Тьюринга обычно формулируют одним из эквивалентных способов:

• любое эффективное вычисление может быть проведено с помощью МТ. Традиционно понятие эффективного или механического метода (М) в логике и математике означает одно из:

М — конечный набор точных правил, каждое из которых выражается конечным набором символов,

будучи выполненным без ошибок, М дает желаемый результат за конечное число шагов,

М может быть, в принципе, выполнено человеком карандашом на бумаге,

М не требует от человека, его выполняющего, никакой интуиции или изобретательности.

• Физическая формулировка принципа Черча-Тьюринга: любая конечно реализуемая физическая система может быть достаточно точно смоделирована с помощью универсальной модели компьютера, оперирующего конечными средствами. На практике этот набор конечных средств сводится, как правило, к множеству двоичных символов $\{0,1\}$, а конечная реализуемость оказывается эквивалентной конечному числу тактов (моментов переключений).

Д. Дойч [13] предложил модифицировать тезис Черча-Тьюринга следующим образом:

• каждая конечно реализуемая физическая система может быть полностью промоделирована универсальной моделирующей вычислительной машиной, действующей конечными средствами.

Д. Дойч построил модель такого универсального компьютера, основанную на идее квантовых вычислений, и показал, как квантовый компьютер может моделировать физические системы, которые находятся за пределами области, доступной универсальной МТ. Модель Дойча дает новый взгляд на проблему современных вычислительных устройств, но по своей сути она остается дискретной.

Хорошо известно, что компьютеры становятся все миниатюрнее и миниатюрнее. Когда-то предполагали, что более мощные машины будут требовать больше места под периферию, память и т. д. Это предположение оказалось неверным. В 1965 г. Г. Мур [19] сформулировал действующее и сейчас правило (позже названное законом Мура), согласно которому производительность вычислительных систем удваивается каждые восемнадцать месяцев. Г. Мур вывел свой эмпирический закон, построив зависимость числа транзисторов в интегральной микросхеме от времени. Как следствие, из этого закона можно вывести темпы миниатюризации отдельного транзистора. Развитие цифровых электронных технологий приводит к тому, что размер элементарного вычислительного устройства приближается к размеру молекулы или даже атома. На таком уровне законы классической физики перестают работать и начинают действовать квантовые законы, которые для многих важных динамических задач еще не описаны теоретически. Увеличение быстродействия вычислительных устройств и уменьшение их геометрических размеров с неизбежностью приводит к необходимости операций с переходными процессами.

Вместе с этим физики обратили внимание на важность квантовой механики для информатики и на “экспоненциальное” преимущество квантовых компьютеров над классическими. Р. Фейнман [14] обосновал невозможность представления результатов квантовой механики на классическом универсальном вычислительном устройстве даже с использованием вероятностных алгоритмов. Это связано с тем, что число элементарных операций такого вычислительного устройства будет расти экспоненциально с ростом числа степеней свободы системы. Именно поэтому для точного моделирования квантовых систем Фейнман предложил теоретическую модель квантового компьютера. В информатике в рамках теории сложности алгоритмов получен целый ряд результатов, обосновывающих теоретическую невозможность эффективного решения многих значимых с практической точки зрения задач, в частности, связанных с моделированием естественных процессов в живой и неживой природе. Это означает, что при попытке описания интересующего нас процесса с заданной точностью при помощи машины Тьюринга ее алфавиты состояний и памяти и/или время функционирования оказываются недопустимо велики. Одними из первых с этими теоретическими трудностями столкнулись разработчики систем автоматического управления, которые ведут исследования на стыке информатики и той или иной конкретной научной дисциплины (физики, биологии, химии и т. п.).

В то же время реализации целого ряда современных методов теории автоматического управления не укладываются в рамки дискретной модели. Один из возможных способов ее обобщения — это использование так называемых “гибридных систем”, свойства которых активно изучаются в последнее время. В практике автоматического управления оказалась плодотворной идея релейного регулирования, заключающаяся в переключении системы управления с одного “скользящего” режима на другой. В последнее десятилетие в системах управления активно внедряется нейросетевой подход. Часто говорят об использовании в управляющих контурах нейрокомпьютеров [9]. Но работа перечисленных устройств не описывается полностью классической схемой машины Тьюринга. Одним из вариантов расширения тезиса Черча-Тьюринга является введение нового понятия вычислительного устройства, в котором вычисления строятся не на традиционных алгоритмах, а на моделях. В [5] уже используются подобные подходы, которые опираются на модели параллельных высокоэффективных вычислений. Следующий естественный шаг — обобщение на модели динамических систем.

Основным (и наиболее спорным с современной точки зрения) понятием дискретной схемы машины Тьюринга является понятие “такт”. Его глубокий противоречивый смысл был замечен еще древними греками. Одна из возможных эквивалентных его формулировок представляет собой знаменитый парадокс Зенона об Ахиллесе и черепахе. В рамках классической теории множеств он выступает в качестве неразрешимости проблемы континуума в рамках аксиоматики Френкеля–Цермело. По мнению современных толкователей Зенон на самом деле стремился доказать, что “логика и здравый смысл несовместимы” и что строгие логические умозаключения неприменимы в реальной жизни.

В [1, 2] предлагается и обосновывается новая абстрактная концепция вычислительного устройства, включающая в себя все перечисленные выше новые подходы. Во многом авторы постарались сохранить традиционный формализм описания классической машины Тьюринга. Новая концепция принципиально отличается от классической включением “непрерывности” эволюции и переосмыслением понятий “лента” и “ячейка памяти”. Если в классическом подходе ячейки памяти используются для хранения дискретной информации и их изменение возможно только в тех случаях, когда указатель ленты показывает на нее, то в новой концепции “ячейка памяти” представляет собой постоянно функционирующую модель какой-то динамической системы (может быть, и достаточно сложной), а “лента” — некоторый “мостик” для задания или переопределения параметров эволюции состояния “ячейки”. Очевидно, что классическая ячейка памяти для хранения “бита” является частным случаем такого обобщения.

В любых современных вычислительных устройствах хранение информации основано на тех или иных физических принципах, только эволюция состояния ячейки во время хранения более простая — сохраняется постоянной какая-то физическая характеристика. Другими словами, традиционную информатику можно сравнить с арифметикой, она оперирует цифрами — значениями ячеек памяти (или, более точно — арифметикой конечных двоичных дробей). Предлагаемая модель вычислений позволит перейти в информатике от “арифметики” к “функциональному анализу”, исследующему процессы эволюции информации внутри новых “ячеек”.

В 60-е годы XX века на фоне бурного прогресса электроники в области развития технологий производства сверхбольших интегральных схем (СБИС) кибернетики обещали со дня на день дать решение задачи создания “искусственного интеллекта”. Однако наступившее вскоре разочарование было связано с практической неразрешенностью вопроса о возможности его создания. Более того, многие современные исследования показывают бесперспективность работ в этом направлении с использованием классической машины Тьюринга. В некотором смысле можно говорить о дискредитации самого термина “искусственный интеллект”. Наверное, существенного прогресса в понимании точной постановки и путей решения задачи создания искусственного интеллекта не удастся достичь без переосмысления традиционного ответа на вопрос: что же такое процесс вычислений и что такое результат вычисления?

1 Вычислимость и вычислимый объект

К настоящему времени накоплено достаточное количество примеров, доказывающих иллюзорность убеждения в том, что решение сложной динамической задачи с наперед заданной точностью можно получить, используя классическую машину Тьюринга в [7]. В астрономии законы, управляющие движением небесных тел хорошо известны - это закон тяготения Ньютона или уточняющие его уравнения Эйнштейна. Казалось бы, чем более точно заданы начальные условия - положения и скорости небесных тел в начальный момент времени, и чем мельче делаем шаг по времени при машинном интегрировании уравнений движений, тем точнее можно предсказывать поведение системы в будущем. Однако, на этом пути до сих пор не удается ответить даже на фундаментальный вопрос об устойчивости Солнечной системы на больших временах. Это означает, что даже малая неизбежная неточность начальных данных делает поведение системы непредсказуемым: видимая простота уравнений движения, тем не менее, скрывает их неинтегрируемость, любая малая неточность в начальных условиях очень сильно влияет на последующую эволюцию.

Другой пример показывает, что даже точное задание начальных условий отнюдь не гарантирует решения динамической задачи. Это пример из биологии. Как известно, экспоненциальный характер изменения численности популяции какого-либо биологического вида при постоянном коэффициенте ее прироста справедлив лишь при отсутствии пределов роста популяции (например, при неограниченном запасе пищи и отсутствии внешних врагов). При наличии пределов роста численность популяции через лет при начальном значении удовлетворяет следующему уравнению (процесс Ферхюльста)

$$x_{n+1} = (1+r)x_n - rx_n^2,$$

где r - константа, связанная с коэффициентом прироста популяции за год. Оказывается, что поведение системы, подчиняющейся такому уравнению, предсказуемо лишь при малых значениях величины r. При $r = 2,3$ численность популяции начинает периодически осциллировать между двумя значениями 0 и 1. При дальнейшем росте величины r характер поведения численности популяции усложняется. Сначала начинаются колебания численности между четырьмя характерными значениями с удвоенным периодом, далее - количество значений, между которыми происходят колебания численности популяции, удваивается вместе с удвоением периода колебания. Наконец, при $r = 2,570$ процесс перестает быть периодическим - происходят перескоки численности между бесконечно большим количеством значений. Таким образом, предсказание поведения системы оказывается невозможным, несмотря на полную ее детерминированность и определенность начальных условий. Поведения носит хаотический характер, т. е. не существует способа предсказать развитие системы на длительное время. Причиной этого является нелинейность уравнения, описывающего процесс Ферхюльста.

Понятие вычислимости предполагает требование найти приближение для рассматриваемого объекта с любой наперед заданной точностью в классе вычислимых объектов. Вычислимым объектом в смысле классической машины Тьюринга является множество конечных двоичных дробей. При этом происходит редукция сложности изучаемого объекта — например, иррациональные или трансцендентные числа заменяются существенно более простыми вычислимыми объектами — конечными двоичными дробями.

В последние десятилетия этот подход вызвал непреодолимые трудности при описании конкретных природных систем, а именно, т. н. "сложных систем". К ним относятся, в частности, материальные среды, имеющие сложную, в некотором смысле патологическую, морфологию - пористые, ветвящиеся, чешуйчатые, коллоидные среды и т. п. В качестве конкретных принципиальных трудностей, возникающих при их описании, упомянем расходимость термодинамического давления в очень мелких порах, невозможность найти площадь сильно развитой поверхности геля: чем мельче берется масштаб измерения, тем больше получается искомая величина. Аналогичные трудности возникают при измерении длины береговой линии или определении объема облака. Такие системы получили названия фракталов [7], они являются промежуточными объектами между точкой и линией, линией и поверхностью, поверхностью и объемом. В [16] обсуждаются трудности формального описания динамических "переходных" процессов в системах, возникающих при быстром изменении "внешних" условий. Обычные подходы к описанию таких неравновесных процессов неэффективны, поскольку сама структура пространства состояний зависит от времени. Многие экспериментальные наблюдения за протеканием неравновесных процессов подтверждает зарождение в системе новых структур мезоскопического (промежуточного между микро и макро) масштаба, которые в значительной степени и определяют динамическое изменение типа формальной модели. Примерами такого рода структурообразования могут служить: кластеризация в потоках концентрированных дисперсных смесей, образование многомасштабных вихревых структур в турбулентных течениях жидкости и пластических течениях твердых материалов при импульсном нагружении, а также иерархии структур в живых системах. В настоящее время известно, что синергетические процессы формирования динамических структур мезоскопического масштаба в открытых термодинамических системах связаны с возникновением информационно-управленческой обратной связи, внутреннего управления, которое вместе с внешним управлением через наложенные на систему граничные условия и приводит к дискретизации пространства и времени неравновесной системы. При этом физическими носителями информации являются элементы динамических структур.

При описании физических процессов эволюции в сложных материальных системах традиционный подход редукции сложности к конечным двоичным дробям оказывается эквивалентным использованию двух моделей материальной среды — материальной точки и жордановой области в евклидовом пространстве. Эти модели являются отражением математического определения аддитивных физических величин (массы, энергии, электрического заряда) только как чисто атомистических или непрерывно распределенных мер. Неразрешимость проблемы континуума в классической теории множеств является, в конечном итоге, причиной, не позволяющей дать замкнутое описание свойств реальных физических систем, связанных с изменением формы и диссипации энергии в рамках традиционного подхода к понятиям вычислимости и вычислимого объекта, используемыми в традиционной машине Тьюринга.

В предлагаемом далее новом подходе считается, что сложность вычислимого объекта должна быть эквивалентна сложности изучаемого реального объекта и адекватно отражать его свойства. Для перечисленных выше материальных сред это будет способность течь, изменять форму, сжиматься - растягиваться, дробиться - сливаться. Для этого необходимо использовать математическую модель материальной среды, основанную на более слабых, по сравнению с требованием быть системой изолированных точек или жордановой областью, требованиях. А именно, моделирующее множество должно быть замкнутым (т. е. содержать все свои предельные точки) и плотным в себе (т. е. каждая его точка должна быть предельной). Совместное выполнение этих свойств эквивалентно свойству быть совершенным множеством. Существует много типов совершенных множеств, среди которых есть регулярные, поддающиеся формальному построению и описанию, [4]. Некоторые из совершенных множеств имеют свойства в строго определенном смысле близкие к свойствам множеств изолированных точек, а некоторые - к свойствам жордановых областей. В промежуточных случаях они хорошо отражают свойства фракталов и являются измеримыми в смысле p-меры Хаусдорфа [17]. Перспективность применения понятия размерности Хаусдорфа обусловлена тем, что эта размерность, рассматриваемая как текущая непрерывная переменная, может быть характеристикой, описывающей эволюцию сложной системы как целого, включая диссипацию энергии [21], [22], [23], в то время как топологическая размерность Урысона-Менгера в процессе изменения реальной системы, как правило, остается постоянной [8], [10], [17], [18].

Более того, требует обобщение и само понятие вычислимости. Сначала проиллюстрируем это рядом примеров.

Пример 1 *Корень квадратный из 2. По определению,* $\sqrt{2}$ *равен длине диагонали единичного квадрата.*

Считаем, что это число вычислено, если построен единичный квадрат. Будем говорить, что сложность числа $\sqrt{2}$ равна сложности единичного квадрата. Единичный квадрат назовем вычислительным примитивом для $\sqrt{2}$ и арифметически связанных с ним иррациональных чисел.

Пример 2 *Число π. По определению равно отношению длины любой окружности к ее диаметру.*

Будем считать, что число π вычислено, если построена единичная окружность. Сложность числа π равна сложности единичной окружности. Единичная окружность есть вычислительный примитив для чисел, арифметически связанных с числом π.

Пример 3 *Измерение снежинки. Снежинка представляет собой вписанный в окружность радиуса 1 сантиметр фрактал с заданной морфологией и хаусдорфовой размерности 5/2 с шестью лучами.*

В качестве размера снежинки принимаем величину 6 см$^{5/2}$. Фрактал данной размерности и морфологии является вычислительным примитивом для измерения снежинки.

Таким образом, объект считаем (когнитивно) вычислимым, если он арифметически связан с присутствующим в памяти данного вычислительного устройства соответствующий вычислительным примитивом. Вычислительный примитив является одним из основных понятий предлагаемого нового подхода к построению обобщенной модели машины Тьюринга.

2 Модель обобщенной МТ

Следуя [1, 2], определим новое понятие “обобщенная машина Тьюринга” как следующую структуру

$$\langle S, X, Y, s, s_0, y, y_0, E, P, J, F\rangle,$$

в которой множества состояний S, памяти X и состояний памяти Y могут быть произвольными, т. е. не обязательно конечными и даже счетными;
s — текущее состояние машины;
$s_0 = s(0)$ — состояние в начальный момент времени;
y — текущее содержимое памяти;
y_0 — начальное содержимое памяти;
E — терминальное множество: $E \subset Q$, где Q — множество всевозможных наборов $q = (s, y)$ состояний и памяти;
P — программа;

$J \subset Q$ — множество задания программы, т. е. $P : J \to Q$, причем $E \cap J = \emptyset$, и
F — оператор эволюции состояний и памяти.

Алгоритм работы обобщенной машины Тьюринга описывается следующим образом: в любой момент времени t, если набор q из состояния и памяти машины попадает в терминальное множество E, то машина останавливается, если $q \in J$, то в эволюции обобщенной машины Тьюринга происходит "скачок": $q \to P(q)$, в остальных случаях состояние и память машины "естественно" (например, непрерывно) эволюционируют, и этот процесс определяется оператором F. Другими словами, изменения состояния и памяти нестандартной машины Тьюринга происходят как в гибридных системах, т. е. обычно они эволюционируют согласно некоторому закону, а в определенные моменты времени, задаваемые достижением некоторых подмножеств пространства Q, происходят скачкообразные изменения состояния и памяти.

В новой модели исключено понятие рабочей ячейки, т. е. изменение состояния может зависеть от содержимого всей памяти в данный момент, а содержимое памяти может меняться одновременно на всем пространстве X. Разделение описания процесса изменения состояния и памяти на две составляющие: программу P и эволюцию F, на первый взгляд, может показаться искусственным. На самом деле, вводя такое разделение, хочется сразу же размежевать "принудительные" изменения, обычно вносимые в систему извне, задаваемые кем-то "осознанно", и те "естественные" процессы, которые происходят в определенной физической (или биологической) системе в силу законов природы.

Для более точного описания способа функционирования новой модели вычислений в [1] было предложено использовать средства нестандартного математического анализа, которые, наверное, более естественным для информатики способом помогают описать новые понятия. Можно было бы воспользоваться языком традиционного математического описания непрерывных процессов, использующим понятия дифференцирования и интегрирования, но при этом содержательные аспекты новой модели выражаются недостаточно четко из-за "громоздкости" вводимых конструкций. Суть новой модели вычислений заключается, в частности, в том, что во время "естественной" эволюции переход от одной конфигурации состояния и памяти машины к другой занимает бесконечно малое время, в отличие от "такта" классической машины Тьюринга.

Известно, что существуют неархимедовы поля, включающие в себя вещественные числа как подполе, но также имеющие "бесконечномалые" величины (положительные числа, которые меньше любого положительного вещественного числа). Обозначим $\mathbb{R}(\omega)$ наименьшее неархимедово поле, которое порождается добавлением к вещественным числам одной бесконечномалой величины ω. Деление 1 на ω дает бесконечнобольшое число Ω: $\omega\Omega = 1$ или

$$\sum_{\Omega} \omega = 1.$$

Дальнейшим обобщением понятие числа являются *гипервещественные числа*. Наиболее важным в нестандартном анализе является принцип переносимости: все теоремы о вещественных числах и их конечных множествах обобщаются до соответствующих теорем о гипервещественных числах и конечных множествах гипервещественных чисел. Более точные определения и ссылки можно найти в [1].

Будем считать $\mathbb{R}_0(\omega) = \{s \in \mathbb{R}(\omega) : \ s \geq 0\}$ областью определения отображения s, а областью определения отображения y — $\mathbb{R}_0(\omega) \times X$.

Уточним правило работы нестандартной машины Тьюринга следующим образом: если $q(t) \in E$, то машина останавливается; если $q(t) \notin E \cup J$, то происходит "естественная" эволюция

$$q(t + \omega) = F(q(t)).$$

Если $q(t) \in J$, то в работу машины вмешивается внешнее воздействие:

$$q(t + \Delta(q(t), P(q(t)))) = P(q(t)).$$

Здесь $\Delta(q, q')$ — время необходимое для перевода состояния и памяти машины из q в q'. При этом на интервале времени от t до $\Delta(q(t), P(q(t)))$ либо считаем неопределенными состояние и память машины , либо полагаем их равными $q(t)$.

Таким образом, нестандартная машина Тьюринга функционирует подобно гибридным системам, которые эволюционируют согласно некоторому закону до тех пор, пока не будет выполнено какое-то условие, после чего происходит скачкообразное изменение состояния системы.

Для совместимости новой модели и классической машины Тьюринга в [1] доказано несложное утверждение о том, что классическая МТ представляет собой частный случай обобщенной машины Тьюринга.

В новой модели переосмысливается понятие "такт". Если в классической машине Тьюринга такт — это фиксированный интервал времени, то в нестандартной машине Тьюринга длина такта определяется достижением некоторого условия, после чего происходит изменение состояния и памяти. В частном случае J может совпадать с $Q \setminus E$, и тогда внешнее воздействие является постоянным, или же J может быть пустым, и поведение машины определяется только эволюцией.

3 Набор моделей

Первые вычислительные машины были специализированными для решения конкретных задач. Это было связано как с экономическими причинами, так и со слабым развитием элементной базы. В дальнейшем, с одной стороны, развитие техники позволило перейти к универсальным вычислительным машинам, а с другой — теоретически была осознана возможность эффективно решать многие формально поставленные задачи. К середине 70–х гг. сформировалась законченная концепция универсального языка программирования, а в 80–90-е гг. технология программирования развилась достаточно высоко. Тем не менее остаются существенные проблемы с технологией быстрого эффективного решения многих сложных с вычислительной точки зрения задач с данными большой размерности (обращение и факторизация матриц, преобразования Фурье, Лапласа, свертка функции и т. п.), большинство из которых составляет необходимую минимальную базу большинства систем искусственного интеллекта.

Наиболее подходящим для практического использования считается способ создания специальных "быстрых" вычислительных устройств для решения конкретных задач, основывающийся на возможности разработки "параллельных" алгоритмов для обработки больших объемов данных. Самыми перспективными являются два направления. Первое из них, практически освоенное на практике — это создание СБИС по все более высокоскоростной технологии. Созданные по такой технологии микросхемы в состоянии за один такт одновременно выполнять несколько десятков тысяч вычислений. Вторым, еще более перспективным направлением развития вычислительных устройств, является использование для быстрого решения сложных задач с данными большой размерности так называемых квантовых компьютеров, позволяющих обработать за единицу времени значительно больший объем информации.

Представляется перспективным направление разработки некоторого "гипотетического" искусственного интеллекта из набора блоков, в каждом из которых для реализации определенной структуры параллельных вычислений используется соответствующий специальный набор атомов (молекула). Возможно, при решении конкретных практических задач будет применяться эквивалентность описаний многих явлений в микро- и макромире. Можно предположить, что все блоки будут работать параллельно. Хотелось бы настолько обобщить концепцию машины Тьюринга, чтобы в нее "вписывался" описанный "гипотетический" искусственный интеллект.

Важным обобщением классической машины Тьюринга является вычислительная схема, которую можно назвать "набор моделей". Пусть в новой схеме вычислений $Y = \{\langle S, X, \bar{Y}, s, s_0, \bar{y}, \bar{y}_0, E, J, P, F\rangle\}$ — это множество машин Тьюринга (набор моделей), т. е. мы считаем, что каждая ячейка памяти представляет собой отдельное устройство (квантовый или аналоговый компьютер, нейронная сеть, некоторая динамическая система), решающее свою собственную задачу. Таких устройств может быть конечное или бесконечное число. Заметим, что обычную ячейку памяти с целыми значениями тоже можно считать машиной Тьюринга с одной ячейкой памяти и тождественной эволюцией. В отличие от классической машины Тьюринга в наборе моделей изменение состояния памяти может происходить непрерывно и параллельно во всех ячейках. В соответствии с общей программой при достижении набором состояний машины Тьюринга и одной из моделей определенных условий происходит изменение состояния машины Тьюринга и содержимого некоторых ячеек памяти, понимаемое как изменение состояния и памяти соответствующего устройства.

В [1] для иллюстрации рассмотрены модельные примеры алгоритмов дифференцирования и интегрирования функции, поиска глобального минимума.

Другим обобщением машины Тьюринга может быть вероятностное задание отображений P и F, что позволит реализовывать с помощью новой модели динамические системы, не описываемые детерминированными законами, а также стохастические гибридные системы, вероятностные автоматы, системы со стохастическим управлением и т. п. Кроме того, в [16] показан пример эффективности использования рандомизированных программных воздействий на систему в условиях динамически изменяющейся структуры пространства состояний. Рандомизация позволяет частично устранить влияние на работу системы систематических погрешностей [3, 15], которые практически неизбежны при изменяющейся со временем модели динамической системы.

Заключение

Предложенная новая модель вычислений позволяет описывать если не все, то подавляющее большинство процессов, происходящих в реальном мире, а также работу всевозможных существующих и будущих вычислительных устройств, включая аналоговые и биокомпьютеры, нейрокомпьютеры, квантовые компьютеры и т.д. Особенностью предлагаемого подхода является отказ от редукции сложности в процессе вычисления. Сложность вычислимого объекта должна быть эквивалентна сложности вычисляемого. Таким образом, понятие вычислительной сложности правильнее рассматривать относительно выбранной системы базисных эволюционных примитивов, а не относительно традиционно рассматриваемых битовых преобразований $\{0, 1\}$. Квантовые и нейрокомпьютеры обещают сильно изменить представления о вычислительной мощности современных вычислительных устройств. Увеличение вычислительной мощности, возможное за счет использования новых моделей вычислений, основывающихся на физических явлениях, позволяет предположить, что в будущем новые компьютеры смогут решать задачи, невыполнимые для обычных компьютеров.

Список литературы

[1] *Владимирович А. Г., Граничин О. Н., Макаров А. А.* Нестандартная машина Тьюринга // В сб. "Стохастическая оптимизация в информатике" под ред. О. Н. Граничина. Изд-во С.-Петерб. ун-та. 2005. с. 28–48.

[2] *Владимирович А. Г., Граничин О. Н.* Обобщение концепции машины Тьюринга // В сб. трудов конф. "УИТ-2005". 2005. Т. 2.

[3] *Граничин О. Н., Поляк Б. Т.* Рандомизированные алгоритмы оценивания и оптимизации при почти произвольных помехах. М.: Наука, 2003. 291 С.

[4] *Жувикина И. А.* Анализ сложных материальных систем на основе Р-меры Хаусдорфа // Проблемы управления безопасностью сложных систем. Материалы VII международной конференции. М. 1999. с. 31–33.

[5] *Нариньяни А. С.* Модель или алгоритм: новая парадигма информационных технологий. Российский НИИ ИИ. 2004.

[6] *Мартыненко Б. К.* Языки и трансляции. Изд-во СПбГУ. 2002.

[7] *Пайтген Х.-О., Рихтер П. Х.* Красота фракталов. Образы комплексных динамических систем. М.: Мир. 1993. 176 С.

[8] *Самко С. Г., Килбас А. А., Маричев О. И.* Интегралы и производные дробных порядков и некоторые их приложения: Минск: Наука и техника. 1987. 688 С.

[9] *Терехов В. А., Тюкин И. Ю.* Синтез адаптивных нейросетевых регуляторов нелинейных динамических объектов // В сб. "Стохастическая оптимизация в информатике", под ред. О. Н. Граничина. Изд-во С.-Петерб. ун-та. 2005. с. 222–256.

[10] *Толстов Г. П.* Мера и интеграл. М.: Наука. 1976. 392 С.

[11] *Church A.* A note on the Entscheidung problem // Journal of Symbolic Logic. 1936. № 1. P. 56–68.

[12] *Copeland J. B.* The Church-Turing Thesis // NeuroQuantology. 2004.2.P. 101–115

[13] *Deutsch D.* Quantum theory, the Church-Turing Principle and the Universal Quantum Computer // Proceedings of the Royal Society of London Ser. A. 1985. Vol. 400. P. 97–117.

[14] *Feynman R.* Modeling of physics on computers // International Journal of Theoretical Physics. Vol. 21. 1982. № 6/7.

[15] *Granichin O. N.* Linear regression and filtering under nonstandard assumptions (Arbitrary noise) // Trans. on AC, 2004. Vol. 49. Oct. № 10. P. 1830–1835

[16] *Granichin O. N., Khantuleva T. A.* Hybrid systems and randomized measuring in nonequilibrium processes // Differential Equation and Control Processes. № 3. 2004. Electronic J. N P23275 at 07.03.97

[17] *Hausdorff F.* Dimnsion und ausseres // Math. Ann. 1919. 79.

[18] *Hurewics W., Wallman H.* Dimension theory. 1941.

[19] *Moore H.* Electronics. Vol. 38. 1965. April 19. № 8.

[20] *Turing A.* On Computable Numbers, With an Application to the Entcheindungsproblem // Proc. London Math. Soc. 1936. № 2. Vol. 42. P. 230–265.

[21] *Zhuvikina I. A.* Evolutions of mesostructures: from microscopics to hydrodynamics // Proc. of the 2nd International Arctic seminar. Physics and Mathematcs. Murmansk. 1997. P. 127–132.

[22] *Zhuvikina I. A.* Hausdorff dimentionality as bridging the gap between the domains of discretness and of continuity // Proc. of the 3rd International Arctic seminar. Physics and Mathematcs. Murmansk. 1998. P. 143–147.

[23] *Zhuvikina I. A.* Additive variables, p-densities and the conservation laws // Ibid. P. 148-152.