

УДК 517.938 : 54–144

© М. М. Нестеров, В. Н. Трифанов

МЕЗОМОРФНЫЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СРЕДЫ

В статье обсуждаются вычислительные свойства мезоморфных сред, занимающих промежуточное положение между атомно-молекулярными структурами и сплошными макрофизическими средами. Показано, что мезоморфные среды позволяют реализовать безынерционные высокоточные линейные и нелинейные сумматоры, выполнять операции интегрирования в смысле Лебега, решать практически все алгебраические проблемы высокой и сверхвысокой размерности и сложности прямыми методами, сохраняя при этом устойчивость решения.

На их основе можно решать проблемы равновесной и неравновесной динамики и проблемы управления динамическими объектами с локальными и распределенными свойствами. Обсуждаются возможности аппаратной реализации на уровне создания функциональной элементной базы с помощью мезоморфных сред.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время возник интерес к преодолению многочисленных барьеров, стоящих на пути цифровой вычислительной техники, с помощью квантовой теории [1].

В данной статье обращается внимание на феномен другого структурного уровня — мезоморфные среды, которые могут оказаться одним из приоритетных средств развития вычислительных технологий.

Эти среды занимают промежуточное положение между квантовыми структурами атомарно-молекулярного уровня и макроструктурами сплошных физических сред и поэтому сочетают в себе как возможности «квантового параллелизма», позволяющего ускорить решение некоторых задач комплексных чисел и необходимого для реализации «быстрых алгоритмов» типа алгоритма факторизации целых чисел Хора [3], так и возможность локализованного коллективного возбуждения среды с большими амплитудами, способного обеспечить коммуникационные функции в мезоморфной среде.

Квазиклассические возбуждения такого типа обеспечивают среду свойствами аналоговых вычислительных машин, благодаря чему они являются практически идеальными безынерционными линейными и нелинейными сумматорами. Их мезоморфная структура, состоящая из мономерных взаимосвязанных частей, имеет реальные возможности решать полевые задачи равновесной и неравновесной динамики высокой и сверхвысокой размерности и сложности.

На их основе можно решать практически все алгебраические проблемы любой сложности прямыми методами без потери устойчивости решения.

На их основе можно решать ассоциативные задачи нейрокомпьютерных сетей.

Благодаря наличию вышеперечисленных свойств мезоморфные среды могут служить основой для создания нового поколения элементной базы — т. н. функциональной элементной базы [4].

1. БАРЬЕРЫ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Несмотря на внушительные достижения современной индустрии цифровых вычислительных машин, сетей и информационных технологий, реализованных на их основе, ее эволюция имеет ряд принципиальных барьерных ограничений.

Энергетический барьер

Каждая элементарная операция имеет минимальный энергетический порог для ее реализации в силу инерционности физических вычислительных сред, используемых в цифровых технологиях. Причем с ростом скорости выполнения операции этот порог возрастает.

В погоне за быстродействием в преодолении «проклятия размерности» для цифровой обработки больших и сверхбольших систем в режиме реального времени энергетика современных суперЭВМ резко возрастает.

Физический барьер разнообразия

В любой физической среде с ограниченными ресурсами помимо нижнего порога действия существует верхний ресурсный порог действия S .

А именно, ограниченный энергетический запас всех энергетических ресурсов E и ограниченное время T всех базисных процессов вплоть до времени их стабильного существования.

Если даже в самой экономной машине на одну операцию будет затрачиваться только один квант действия h , то предельное число N выполненных действий будет ограничено соотношением

$$N = S/h \leq ET/h.$$

Если использовать всю энергетику массы Земли за время ее существования, то этот предел будет равен

$$N \leq 2^{300} \approx 10^{90}.$$

Его называют пределом Браммермана.*

Наука и техника пока успешно избегают этого барьера, идя по пути укрупнения объектов, их иерархического агрегирования и разработки технологий их направленного перебора.

Барьер вычислительных технологий

Любая вычислительная технология современной информационной индустрии имеет барьер вычислительной сложности. Его еще называют барьером Колмогорова. Дело в том, что с ростом размерности решаемых задач их вычислительная сложность растет, как правило, экспоненциально, очень редко по показательному закону довольно высокого порядка и совсем редко — по линейному или показательному закону низкого порядка.

Для функций многих переменных Колмогоров доказал возможность их представления в виде ограниченной суммы функций одной переменной, реализуя в этом представлении линейный рост вычислительной сложности от числа переменных.

Однако общего рецепта технологий такой вычислительной процедуры в настоящее время не существует.

Барьер вычислительной сложности лежит краеугольным камнем на пути развития информационно-вычислительной индустрии.

Коммуникационный барьер

Изначально цифровая техника развивалась по принципу последовательных машин Тьюринга. Все вычислительные процедуры решения задач развивались последовательно в цепочку элементарных операций. Однако такая технология далеко уходила за пределы реального времени, и в этих случаях решаемая задача теряла свою актуальность.

Для решения этой проблемы стали развивать технологию параллельных вычислений путем коммутации нескольких совместно работающих процессоров. Гипотетическим пределом на пути параллелизма является коммутационная технология связи «всех процессоров со всеми». Однако в современных технологиях в одном суперпроцессоре удалось реализовать коммутационную структуру «кубов» и «гиперкубов». В таких системах, как оказалось, ресурсные затраты на управление

коммутацией стали на несколько порядков выше вычислительных затрат.

Основные усилия для решения этой проблемы в настоящее время направлены на создание высокоскоростной достаточно надежной транспортной среды физического уровня.

Барьер устойчивости

В цифровых вычислителях числа представляются неточно. Степень точности определяется размером разрядной сетки вычислительного процесса.

Все континуальные задачи в силу их дискретного представления в цифровых вычислительных технологиях решаются неточно. Дискретная модель решаемой задачи отличается от ее аналогового прототипа. Если вычислительный процесс устойчивый, то он сходится в процессе решения к решению аналогового прототипа с требуемой точностью. При этом точность дискретного представления зависит от степени дробности дискретизации. На крупных дискретных сетках различие может быть столь значительно, что теряется точность сходимости и возникает расходимость. В этом случае решение дискретной модели соответствует некоторой аналоговой, далеко отличающейся от исходной. Сходимость дискретной модели к исходной аналоговой можно улучшить, уменьшая шаг дискретизации и увеличивая степень ее дробности, степень приближения к аналогу. Однако этот процесс сходимости имеет свой минимальный предел точности соответствия. При более удобном, более мелком, чем этот предел, рассмотрении процесс соответствия дискретной модели аналогу снова начинает расходиться вплоть до потери устойчивости решения. В этой области «тонкой» дискретизации ошибки неточного представления чисел в разрядной сетке решателя начинают накапливаться вплоть до срыва устойчивости решения. Особенно эта проблема обостряется в сингулярных режимах, в резонансных режимах и при поиске собственных значений дифференциальных операторов динамической модели решаемой задачи. Цифровая вычислительная технология до сих пор не нашла выхода из этого тупика расходимости и потери устойчивости. Особенно эта проблема сказывается в решении обратных задач в плохо обусловленных и вырожденных системах.

Для преодоления вышеописанных барьеров разрабатывается квантовое обобщение машин Тьюринга. Также разрабатывается концепция т. н. универсального квантового компьютера [1], который способен не только с произвольной точностью моделировать любую машину Тьюринга, но и реальные и модельные физические системы, не описываемые универсальной машиной Тьюринга.

* Если различать 300 объектов в разных их отношениях в бинарной метрике «да-нет», то это и будет указанное разнообразие. Слишком неутешительный прогноз полного слепого комбинаторного перебора.

Однако существует множество задач, например пространственно-временных, полевых, сетевых и задач обработки первичных сигналов когерентного суммирования и других вышеупомянутых проблем, по нашему мнению, требующих еще большего расширения вычислительных свойств среды, чем их представляет универсальный квантовый компьютер.

Итак, среди изложенных выше фундаментальных ограничений цифровых вычислительных систем выделены физические и информационные.

Физические ограничения определяют предельное разнообразие дискретных состояний и предельные скорости перехода между ними и непосредственно ограничивают разрешающую способность физических вычислительных систем.

Информационные ограничения зависят от технологии обработки информации. Принципиальным является разработка таких технологий, которые позволяют реализовать линейный рост алгоритмической сложности по Колмогорову, линейный рост сложности управления по Глушкову и минимум кумулятивных ошибок вычисления, которые являются основной причиной потери устойчивости вычисления в сильно связанных вычислительных процессах по Эшби.

Выйти на эти мягкие границы вычислительных технологий позволяют, во-первых, мезоморфные среды, занимающие промежуточное положение между цифровыми и аналоговыми вычислительными средами. Во-вторых, к этим мягким границам позволяют приблизиться самоорганизующиеся технологии параллельных вычислений.

Принципиально границы не исчезают, но приближение к их мягким пределам позволяет решать современные вычислительные задачи высокой сложности в режиме реального времени.

2. ВОЗМОЖНОСТИ АНАЛОГОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

В данной статье такое расширение предлагается за счет реализации аналоговой технологии моделирования и решения пространственно-временных полевых и сетевых задач в мезоморфных средах.

Основная идея аналоговых технологий, реализованная в разнообразных методах ЭГДА (электродинамическая аналогия), базируется на подобию процессов в сплошных средах и сетях. При этом законы подобию не зависят от природы самой среды или сети. На этой основе была создана индустрия аналоговых вычислительных машин, базирующихся на электромеханической аналогии законов в электрических и механических сетях.

В аналоговых средах и сетях динамическое равновесие устанавливается самой средой по за-

конам, действующим в ней. Конкретная задача, динамическое равновесие которой надо найти, набирается на этой среде по законам подобию структуры и граничных условий, которыми управляет исследователь. В процессе решения измерительными системами фиксируются как начальные и граничные условия, так и текущие состояния элементов структуры, отражающие динамические процессы, протекающие в этих средах.

Решателем в этих машинах является сама среда, состоянием которой управляется структурой, начальными и граничными условиями.

В этих средах реализуются прямые методы решения динамических задач, согласованных с заданными начальными и граничными условиями.

Уже этот краткий экскурс выделяет ряд принципиальных вычислительных особенностей, присущих аналоговым средам и сетям. Остановимся кратко на их возможностях.

Целостность

На вычислительной среде набирается связанная целостная структура моделируемого объекта или процесса, который активизируется и управляется начальными и граничными условиями. Вычислительная среда находит динамическое равновесие сразу для всего объекта и процесса в их целостном единстве. При этом состояние динамического равновесия можно менять, настраивая его параметрически параметрами элементов структуры. Это позволяет на одной структуре исследовать множество возможных режимов.

Самосогласованность

Отдельные элементы динамического объекта, набранные на вычислительной среде в единую связанную динамическую структуру, согласуются между собой самой вычислительной средой по законам динамического равновесия процессов, в ней происходящих. Любое параметрическое изменение в одном элементе объекта вызывает согласованные адекватные изменения во всех элементах объекта, переводя на новое динамическое равновесие.

Система сама идет по единственно верному пути вместо поиска минимума в пространстве многих переменных.

Синхронность

Все процессы частей объектов в их целостном единстве синхронизированы в силу самосогласованности всех причинно-следственных связей элементов структуры объекта. Более того, на аналоговых средах реализуется режим не принудительной синхронизации, а режим самосинхронизации.

Ассоциативность

В силу целостности объекта, набранного на единой связной вычислительной среде, все части его и все его элементы связаны между собой единым образом. Вычислительная среда является идеальным связующим элементом, решая одновременно коммутационную проблему связи «всех со всеми». С этой точки зрения вычислительная среда является ассоциативной средой. И объект, набранный на такой среде, приобретает свойство ассоциативности.

Благодаря этому свойству все процессы среды происходят параллельно. Аналоговая вычислительная среда идеально организует наиболее полный принцип параллелизма. Никаких дополнительных средств распределения и регуляции элементарных динамических процессов в едином целом не требуется. Эту функцию выполняет сама связная структура, реализованная на вычислительной среде.

Связная структура возбуждает вычислительную среду, которая организует единый ритм возбуждения всех элементов структуры, реализуя тем самым наиболее полный параллелизм по принципу «все со всеми», не требуя при этом дополнительных ресурсов на организацию и регуляцию этого параллелизма.

Режим реального времени

Все модельные процессы, реализованные на аналоговых вычислительных средах и сетях, практически можно реализовать в режиме реального времени.

В силу параллелизма, синхронности и согласованности процессов, протекающих в этих средах, они как единое целое происходят одновременно для модельного объекта. Это объясняется тем, что скорости волновых процессов возбуждения как правило на много порядков выше в модельных средах, чем скорости динамических процессов моделируемых объектов.

Более того, путем выбора масштаба времени моделирования модельное время можно сжимать или растягивать по усмотрению исследователя. Такая возможность позволяет многовариантно решать динамическую задачу и на этой основе прогнозировать эволюцию моделируемого процесса, что позволяет предвосхитить опасные ситуации.

Возможна и обратная ситуация. Очень быстрые процессы можно растянуть во времени и проявить их в замедленном режиме для лучшего восприятия нашими органами чувств и нашим сознанием.

Другими словами, модельная среда позволяет представить хроноритмы реальных процессов в масштабе хроноритмов восприятия нашим сознанием. Иначе, задачи, решаемые на аналоговых

средах, как правило, всегда решаются своевременно в режиме реального времени независимо от размерности и сложности решаемой задачи.

Принцип линейности вычислительной сложности, являющейся почти недостижимым пределом для цифровой технологии, в аналоговой технологии реализуется естественно самой вычислительной средой и даже более эффективно, практически одновременно.

Тем не менее, на пути реализации возможностей до сих пор стоят существенные препятствия, благодаря которым они полностью уступили цифровым технологиям. Это, во-первых, низкая точность и высокое энергопотребление разработанных и внедренных устройств.

Аналоговая вычислительная индустрия базировалась на полевых и сетевых средах макроуровня, где работают классические законы механики и электродинамики. Вычислительные устройства в этих масштабах имели внушительные габариты и энергопотребление. По причине относительно больших энергетических потоков в таких средах возбуждались значительные флуктуации, что нарушало стабильность работы. Вычислительная точность в силу флуктуаций была низка. На первом поколении аналоговых машин типа МН-7 эта точность была порядка 15 %. В последующих поколениях погрешность удалось снизить до десятых долей процента. Ясно, что при такой точности вычислений решения на аналоговых машинах носили качественный характер. Цифровые вычислительные машины вначале также были громоздки и энергоемки. Но уже в первых поколениях выдавали более стабильные и точные решения. В последующих поколениях благодаря освоению микро-технологий ресурсные возможности цифровых вычислительных устройств резко возросли и стали удовлетворять практически все вычислительные потребности. В этих условиях аналоговая техника стала неконкурентоспособной.

Во-вторых, это отсутствие конкурентоспособного программного обеспечения, позволяющего наиболее полно реализовать возможности аналоговых технологий.

На современном этапе стали интенсифицироваться исследования в области микро- и нанотехнологий на полевых и сетевых аналоговых средах.

3. МЕЗОМОРФНЫЕ СРЕДЫ

Первые теоретические и практические результаты таких исследований проявили принципиально новые вычислительные возможности ассоциативного характера, что позволило серьезно заняться разработкой нейроподобных вычислительных устройств. На современном этапе в этом направлении ведутся интенсивные теоретические и

практические исследования. Рассмотрим те из них, в которых потенциально могут возникнуть гибридные аналогово-цифровые вычислительные среды, в которых все преимущества как аналоговых, так и цифровых технологий могут наиболее полно проявиться.

Однако на пути разработки таких технологий возникает ряд трудноразрешимых проблем, связанных прежде всего с операциями организации вычислительной среды, ее управляемого возбуждения и измерения ее возбужденных состояний. На уровне наномасштабов это чрезвычайно трудная и неопределенная проблема.

Уже первые эксперименты по изучению таких процессов управляемого возбуждения говорят о том, что для их описания требуется другая логика, построенная на ассоциативной основе.

Магнитомерные сферы

Разработка такой алгебры будет проведена на примере магнитомерных сфер, на основе которых квантовое устройство может быть превращено в вычислительное устройство, реализующее вышеописанные возможности аналоговых компьютеров.

Сферы представляют собой вакуумную оболочку с вакуумом внутри сферы 10^{-5} атм., заполненную однородным атомарным газом. С помощью когерентного лазерного излучения магнитные моменты всех атомов газа внутри сферы можно поляризовать. В результате такой поляризации сфера становится магнитным мономером, магнитный момент стабильно держится без расщепления достаточно длительное время [5].

Ориентацией магнитного момента мономерной сферы можно управлять внешним магнитным полем по закону

$$\frac{d\mathbf{M}}{dt} = [\mathbf{M} \times \mathbf{H}].$$

Скорость изменения магнитного момента равна векторному произведению магнитного момента \mathbf{M} на напряженность внешнего магнитного поля \mathbf{H} .

По этому закону все магнитные моменты атомов мономера поляризуются безынерционно и когерентно. Поэтому магнитный момент мономера ведет себя во внешнем магнитном поле как безынерционная магнитная стрелка. Это очень важное и полезное свойство магнитомерной сферы.

Возможны два характерных режима управления магнитным моментом мономерной сферы.

Первый режим реализуется в нулевом статическом поле квантовыми импульсами управляющего поля.

Второй режим возникает при управлении квантовыми импульсами управляющего поля в сильном статическом поле.

В первом режиме управления в нулевом статическом поле магнитный момент мономера может иметь, по прикидочным расчетам авторов, около 10^7 квантовых состояний.

Если эти состояния равномерно распределены по сфере, то квантовая ячейка на поверхности сферы, локализирующая одно квантовое состояние магнитного момента мономера, будет равна

$$dS = \frac{S}{N} = \frac{4\pi R^2}{N} = \frac{4\pi 1,5^2}{10^7} \approx 28 \cdot 10^{-7} \text{ см}^2 = 280 \text{ мкм}^2.$$

Здесь S — площадь сферы, R — ее радиус, N — число квантовых состояний магнитного момента мономера. Если ячейку квантового состояния магнитного момента мономера представить квадратом, то сторона такого квадрата будет равна

$$dl = \sqrt{dS} = \sqrt{280} \approx 17 \text{ мкм}.$$

При этом квантовый угол поворота магнитного момента за один квант импульса внешнего магнитного поля оценивается величиной

$$d\varphi = dl / R = (17/15) \cdot 10^{-3} \sim 10^{-3} \text{ рад}.$$

На одном большом круге сферы размещается N_1 квантовых интервалов

$$N_1 = 2\pi / d\varphi = 6,28 \cdot 10^3 \sim 6000,$$

$$N_1 = 2\pi R / dl = 6,28 \cdot 15 \cdot 10^3 / 17 \sim 5541 \sim 6000.$$

Установим связь между квантом изменения магнитного момента мономера и квантом изменения напряженности магнитного поля. Для этого уравнение связи запишем в дифференциальной форме:

$$d\mathbf{M} = [\mathbf{M} \times d\mathbf{H}].$$

Так как магнитный момент мономера постоянен по модулю, то его изменение происходит только путем поворота ортогональной плоскости $\mathbf{M} d\mathbf{H}$.

В связи с этим можно записать:

$$d\mathbf{M} = a\mathbf{M}d\varphi = [\mathbf{M} \times d\mathbf{H}],$$

где a — коэффициент пропорциональности. Переходя к соотношениям модулей векторных величин, находим

$$aM d\varphi = M dH,$$

$$a d\varphi = dH,$$

$$a = \frac{dH}{d\varphi}, \quad a^{-1} = \frac{d\varphi}{dH}.$$

Таким образом, при любом малом импульсе $d\mathbf{H}$ магнитный момент поворачивается на малый угол $d\varphi$.

Отношение этих величин не зависит от магнитного момента и является характеристикой среды во внешнем магнитном поле. Это отношение можно определить экспериментально.

Если импульсные характеристики выразить через δ -функцию Дирака, то квантовое изменение магнитного момента мономера будет выглядеть так:

$$\delta \mathbf{M} = [\mathbf{M} \times \delta \mathbf{H}],$$

$$\delta \varphi = \frac{d\varphi}{dH} \delta H.$$

Приведенные соотношения говорят о том, что при постоянной производной $\frac{d\varphi}{dH}$ магнитный мономер в импульсном магнитном поле является идеальным сумматором в 2π -модулярной арифметике. Суммы этого сумматора есть интегралы Лебега от импульсной функции. Следовательно, магнитный мономер в импульсном магнитном поле есть идеальный интегратор в смысле Лебега в 2π -модулярной арифметике.

Более того, этот сумматор работает в кольце целых чисел квантовых импульсов, поэтому на его основе можно построить целочисленные вычислительные процедуры, они, как известно, реализуют безошибочные вычисления. Ошибки могут быть только в целочисленном представлении действительного числа.

Импульс времени δt равен интервалу между импульсами напряженности магнитного поля. Поэтому

$$\delta t = \frac{\delta}{f}, \quad \delta H = H \delta t = \left(\frac{H}{f} \right) \delta.$$

С учетом этого устанавливается связь между частотой импульсов f и амплитудной напряженностью магнитного поля H :

$$H = 2\pi \frac{dH}{d\varphi} \frac{f}{N_1}, \quad f = \frac{d\varphi}{dH} H.$$

Во втором режиме импульсное информационное магнитное поле с импульсом напряженности $\delta \mathbf{H}$ модулирует постоянное магнитное поле напряженностью \mathbf{H} .

При отсутствии информационного поля магнитный момент мономера будет вращаться по большому кругу в плоскости, ортогональной \mathbf{H} . Информационные импульсы $\delta \mathbf{H}$ в этой плоскости будут расщеплять плоскость вращения магнитного момента мономера на несколько плоскостей, параллельных исходной.

Каждую такую плоскость можно рассматривать как орбитальное состояние магнитного момента

по направлению поля \mathbf{H} . Эти состояния можно наблюдать и рассматривать как компоненты многомерного вектора, которые реализуются с определенной вероятностью. Таким образом, магнитный момент мономера в этом расщепленном режиме представляется многокомпонентным статистическим вектором. За таким стохастическим векторным объектом нужно относительно долго наблюдать, чтобы выйти на вероятностные распределения, динамика которых будет протекать уже в другом стохастическом времени.

По существу этот режим реализует способ формирования динамики средних. В реальном времени происходит накопление информации и формирование средних величин распределения, а в другом макросистемном времени моделируется динамика средних. Магнитомерную сферу в этом режиме можно назвать магнитной полимерной сферой.

Операционная алгебра мезоморфных сред

Мезоморфные среды занимают промежуточное положение между квантовыми средами и аналоговыми средами макромира. Поэтому на этих средах может быть реализована вся технология аналогового моделирования при условии, что все интегральные операции выполняются в смысле Лебега.

По существу безынерционный линейный сумматор играет роль высокоточного операционного усилителя, который в аналоговых системах используется в качестве интегратора.

Однако мезоморфный безынерционный сумматор имеет более широкую линейную область как в зоне высоких, так и в зоне низких частот.

Именно эта особенность мезоморфных сумматоров позволяет значительно повысить разрешающую способность решения динамических задач.

Но и мезоморфные сумматоры принципиально не снимают вычислительные барьеры. Они отодвигают их до практически приемлемого уровня.

Алгебра аналогового моделирования носит операционный характер. Возможности ее реализации на мезоморфных средах рассмотрим фрагментарно в виде характерных примеров.

Алгебра магнитной мономерной сферы

Магнитный мономер работает в нулевом статическом магнитном поле и возбуждается импульсами информационного магнитного поля. Магнитный мономер в импульсном магнитном поле является идеальным безынерционным сумматором.

Его основополагающими соотношениями являются выражения

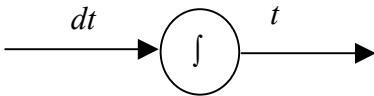
$$\delta\varphi = \frac{d\varphi}{dH} \delta H = \frac{d\varphi}{dH} \frac{H}{f} \delta,$$

$$\delta t = \frac{1}{f} \delta.$$

Самой элементарной операцией являются часы

$$t = \int_t \delta t = \int_t \frac{1}{f} \delta(t) dt.$$

В операторной форме это выглядит так:

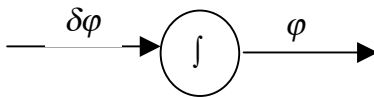


Здесь кружок с символом интеграла обозначает операцию интегрирования в смысле Лебега.

Другой элементарной операцией является интегратор

$$\varphi = \int_t \delta\varphi = \int_t \frac{d\varphi}{dH} \delta H = \int_t \frac{d\varphi}{dH} \frac{H}{f} \delta(t) dt.$$

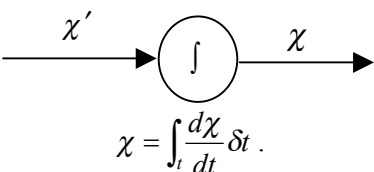
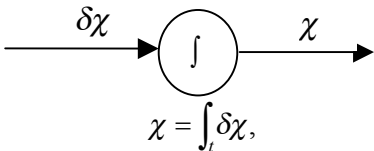
Структурно это выглядит так:



Для любого изоморфизма $\chi \rightarrow \varphi$ элементарная алгебраическая операция имеет вид

$$\chi = \int_t d\chi = \int_t \frac{d\chi}{dt} \delta t.$$

А структурно

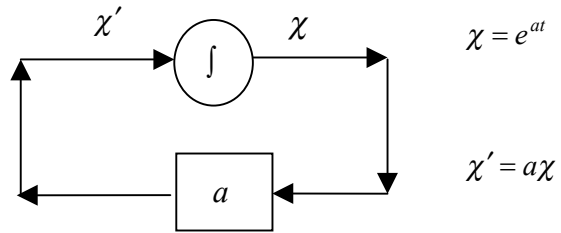


С помощью этих элементарных операций можно строить любые операционные вычисления при

соответствующей организации обратных связей. Рассмотрим некоторые примеры таких операционных вычислений.

Экспонента $\chi = e^{at}$, $\chi' = ae^{at} = a\chi$

Структурно эта функциональная операция имеет вид



Здесь оператор a является обратной связью. Надо на сигнал χ воздействовать оператором a и полученный результат $a\chi$ подать на вход интегратора χ' .

Умножение

Пусть $t = t_1 + t_2$, тогда

$$\chi = e^{at} = e^{a(t_1+t_2)} = e^{at_1} \cdot e^{at_2} = \chi_1 \cdot \chi_2,$$

$$\chi_1 = e^{at_1}, \quad \chi_2 = e^{at_2}.$$

Как видим, здесь два фиксированных отсчета в моменты t_1 и t_2 характеризуют величины χ_1 и χ_2 , а третий отсчет суммарного времени $t = t_1 + t_2$ характеризует величину

$$\chi = \chi_1 \cdot \chi_2.$$

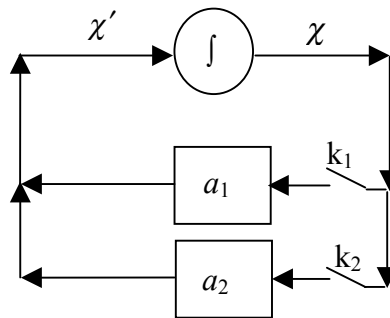
Так элементарно выполняются операции умножения.

Для операции умножения есть альтернативная возможность. Представим $a = a_1 + a_2$, тогда

$$\chi = e^{at} = e^{(a_1+a_2)t} = e^{a_1 t} \cdot e^{a_2 t} = \chi_1 \cdot \chi_2,$$

$$\chi_1 = e^{a_1 t}, \quad \chi_2 = e^{a_2 t}.$$

Структура этой операции имеет вид



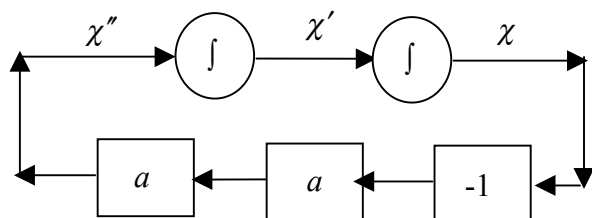
Сначала включается обратная связь a_1 ключом κ_1 и фиксируется величина χ_1 . Затем включается обратная связь a_2 ключом κ_2 и фиксируется величина χ_2 . Наконец, включаются обе обратные связи $a = a_1 + a_2$ ключами κ_1 и κ_2 и фиксируется величина $\chi = \chi_1 \cdot \chi_2$, равная произведению предыдущих величин.

Тригонометрические величины

Пусть

$$\chi = \cos at, \quad \chi' = -a \sin at, \quad \chi'' = -a^2 \cos at = -a^2 \chi.$$

Структурная формула этих функциональных соотношений имеет вид



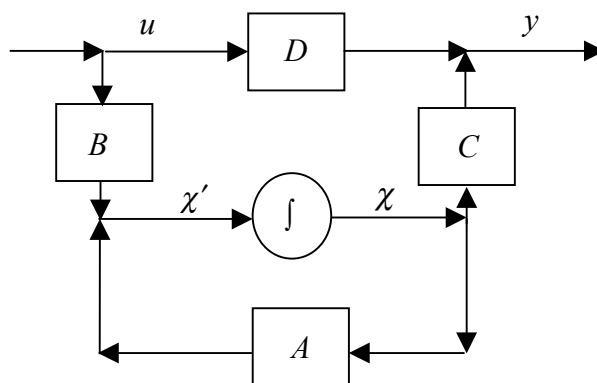
Динамика систем в пространстве отношений

Традиционно эта динамика описывается парой функциональных зависимостей [6]

$$\begin{aligned} \chi' &= A\chi + Bu, \\ y &= C\chi + Du. \end{aligned}$$

Здесь u, χ, y — управление системой, ее состояние и результат ее функционирования, A, B, C, D — операторы прямых и обратных связей.

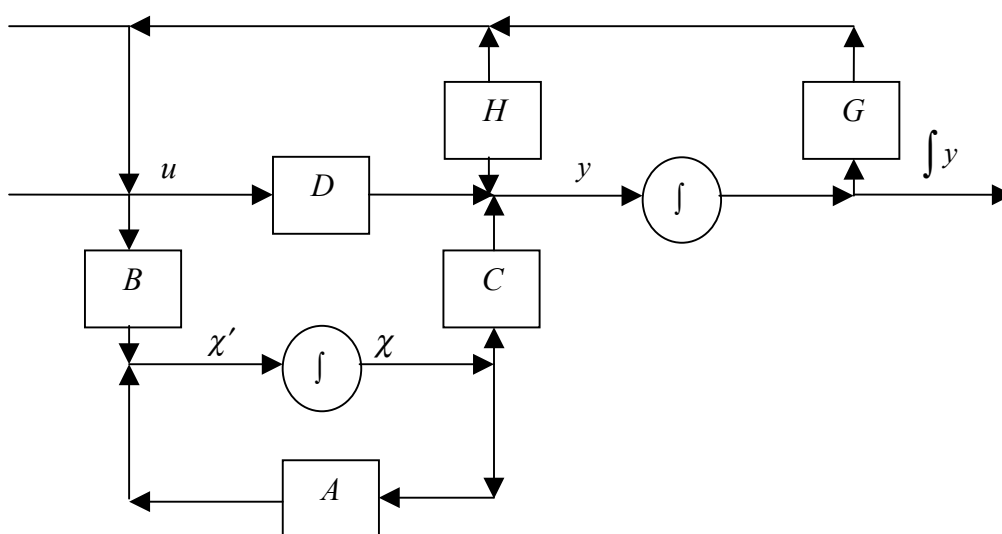
Первое уравнение описывает динамику системы, а второе — наблюдение за ее состоянием и управлением. Структурно эти функциональные уравнения реализуются так:



Эти структуры реализуют программное управление состоянием объекта. Однако не составляет труда реализовать управление с обратной связью. Для этого дополнительно необходимо реализовать уравнение регулятора, например пропорционально-интегрального

$$u = Hy + G \int y.$$

Тогда структура управления системы с ПИ-регулятором (пропорционально-интегральным) имеет следующий вид:



Алгебраические уравнения

Требуется найти решение системы алгебраических уравнений

$$y = Ax.$$

Решение этой системы находится в равновесном состоянии, когда равенство выполняется.

В неравновесном состоянии равенство нарушается и приобретает вид

$$y = Ax + u, \quad u = y - Ax,$$

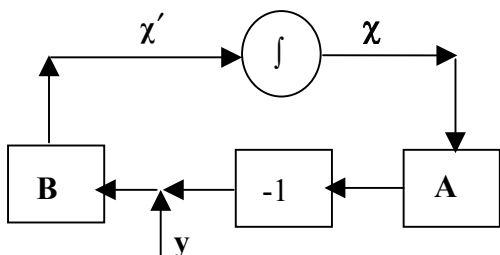
где u — неравновесная невязка.

Домножим с целью сопряжения уравнение невязки на произвольную обратноподобную матрицу B и напишем уравнение динамики

$$\chi' = Bu = B(y - Ax) = 1.$$

В частном случае B может быть и обобщенной обратной матрицей ($B = A^{-1}$).

Структурная схема такого функционального уравнения выглядит так:



В равновесном состоянии такая система выдает решение. Начальное возбужденное состояние вызывает неравновесное движение, которое через некоторое время приходит к равновесному состоянию, являющемуся решением алгебраической системы уравнений.

Система однородных дифференциальных уравнений

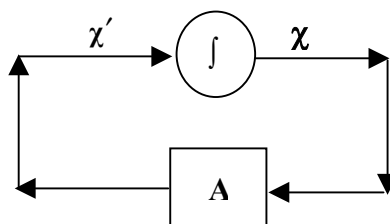
Функциональная запись этих уравнений имеет вид

$$\chi' = A\chi.$$

Полагая, $\chi' = p\chi$, получаем алгебраическую задачу на собственные значения

$$p\chi = A\chi.$$

Структурная формула этой системы имеет следующий вид:



Эта система всегда будет находиться в движении, описывая на сфере разные орбитали. В равновесном движении она движется по собственной орбитали, являющейся собственным решением исходной однородной системы дифференциальных уравнений. Достигая разные равновесные режимы движения при разных начальных возбуждениях, можно получить весь набор собственных орбиталей, соответствующий полному набору собственных решений исходной системы однородных дифференциальных уравнений. В приложении I показано с помощью алгебры мезоморфных сред, каким образом нестандартные методы позволяют решить задачу поиска обобщенных обратных матриц.

Обратим еще раз внимание на проблему решения обратных задач. Как правило, трудоемкость их решения намного выше, чем трудоемкость решения прямых задач. Более того, устойчивость решения обратных задач сильно зависит от числа обусловленности операторов связи причины и следствия, аргументов и функций. С ростом числа обусловленности устойчивость вычислений резко падает.

Частично или полностью преодолеть этот барьер с практически приемлемой разрешающей способностью также можно принципиально двумя путями — физическим и технологическим.

Одним из ярких примеров физического пути решения проблемы были машины «Проминь» для решения задач линейного программирования на аналоговых вычислительных сетях.

Мезоморфные среды могут значительно расширить возможности этого направления.

Что касается технологических возможностей, то здесь для решения обратных некорректных задач (задач с плохой обусловленностью) разрабатывают всевозможные регуляторы типа регуляторов Тихонова, обеспечивающих устойчивость вычислений.

Однако в мезоморфных вычислительных средах за счет организации операторных обратных связей обратные задачи решаются как бы прямым методом поиска режима динамического равновесия. Это позволяет резко повысить устойчивость решения. Однако и здесь следует признать, что могут быть срывы устойчивости при выходе на резонансные режимы вычислительной мезоморфной среды.

Алгебра магнитной полимерной сферы

Эта сфера находится в постоянном магнитном поле с напряженностью \mathbf{H} . Импульсное информационное поле с напряженностью $\delta\mathbf{H}$, ортогональной \mathbf{H} , расслаивает орбиталь магнитного момента на множество орбиталей, параллельных исходной в отсутствии информационного поля. Однако пребывание магнитного момента на этих орбиталях становится стохастическим. Чтобы фиксировать распределение этой стохастичности, требуется наблюдать не состояния, а достаточно большие суммы этих состояний и в результате наблюдать динамику этих сумм. Чтобы отличить одну сумму от другой, полученной со сдвигом τ , требуется преодолеть некоторый барьер различения, аналогичный в некотором смысле барьеру неопределенности Бора—Гейзенберга

$$E(S)\tau_s \geq C_s,$$

где $E(S)$ — суммарная энергия квантовых сигналов суммы, τ_s — макросистемное время интервала между суммами, C_s — пороговое значение стохастического действия. Из этого закона следует, что чем больше импульсов в сумме, тем меньше дифференциальный интервал между ними.

Эта особенность квантовых стохастических сумм позволяет сконструировать соответствующую им алгебру средних.

В этой алгебре суммарный сигнал $\chi(t)$ как квантовая сумма расщепляется на множество сигналов скользящего типа при разбиении системного времени t на микросистемное t и макросистемное τ , равное интервалу сдвига между суммами:

$$t = t + \tau.$$

В этом случае квантовые суммы становятся функциями двух времен — микросистемного t и макросистемного τ :

$$\chi(t) \rightarrow \chi(t + \tau) \rightarrow \chi(t, \tau).$$

Этот сигнал можно осреднить по микросистемному времени t и получить сигнал макросистемного времени, отражающий динамику средних,

$$\chi(\tau) = \frac{1}{T} \int_t \chi(t, \tau) dt,$$

где T — интервал осреднения по микроскопическому времени.

Если эту операцию проведем с сигналом каждой орбитали магнитного полимера, то их совокупность образует векторное распределение магнитного момента по орбиталям сферы. Такой вектор будет уже отражать многомерную динамику средних. Вся алгебра мономера становится в этом случае применимой к динамике средних магнит-

ного полимера. В нашей следующей статье будет рассмотрен когерентный анализ данных по ключу, который может быть реализован с помощью методов, описанных в этом параграфе.

Алгебра мезоморфных сред и единые алгоритмы

Из предыдущего раздела видно, каким образом преодолеваются аппаратные недостатки аналоговых технологий. Сфера является идеальным интегратором, практически безынерционна и стабильна, а потребление энергии сведено к минимуму. С другой стороны, такая отрасль вычислений, как обработка первичного сигнала в реальном времени, может быть полностью реализована с помощью нестандартных методов (см. работу [4]). Мезоморфные среды состоят из связанной совокупности мезоморфных ячеек, состояние с которых можно снимать либо матричной игольчатой структурой, либо разрядной фазовой решеткой, либо токовой фазовой решеткой. Потенциалы мезоморфных структур снимаются иголками и разрядными узлами фазовой решетки, а магнитные моменты — контурными витками токовой фазовой решетки.

Во всех случаях импульсные воздействия информационных полей, потенциалов и токов суммируются мезоморфной средой, а в случае необходимости — внешними сумматорами сигналов с измерительных игольчатых полей или фазовых решеток.

Таким образом, мезоморфные среды, так же как магнитные мономерные сферы, могут быть матричными сумматорами. Но в то же время они могут быть матричными функторами, устанавливающими функциональную связь между матричными полями, снятыми измерительными системами с мезоморфных ячеек мезоморфной среды.

При таких возможностях мезоморфные среды становятся вычислительными структурами с богатыми возможностями.

Все операции, рассмотренные выше и реализованные на магнитных мономерах, справедливы и для мезоморфных сред с более сложными матричными структурами.

Остановимся в заключение на другом фундаментальном направлении создания программно-аппаратных средств для высокоскоростной вычислительной платформы многопроцессорных компьютеров. Как для цифровых технологий, так и для аналоговых основная проблема здесь — в создании программных средств, эффективно использующих возможности многопроцессорной архитектуры. По нашему мнению, наиболее перспективным является построение конечного набора единых алгоритмов [6], позволяющих решать множество полевых и сетевых задач единым

образом. Такие алгоритмы разрабатываются. Например, для задач переноса частиц и излучения [7], для учета явлений флуктуации и диссипации в физических явлениях [7], в газо- и гидродинамическом методе крупных частиц и др. они строятся таким образом, чтобы в зависимости от конкретного набора описываемых процессов один и тот же алгоритм соответствовал бы решению определенного уравнения, описывающего эти процессы.

В случае мезоморфных сред становится возможным еще более расширить понятие единого алгоритма: например, алгоритм, который описывает как элементарные процессы взаимодействия в атомно-молекулярных структурах, так и коллективные процессы возбуждения в мезоморфных средах, на микро-, мезо-, и макропространственных уровнях, а также позволяет описывать динамику роста тонких пленок с учетом памяти среды (см. приложение II).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В мезоморфных средах, как и в квантовых средах, возникают три принципиальные проблемы:

— организация регулярных вычислительных структур из атомно-молекулярных ансамблей;

— управление процессами коллективного возбуждения квантовых состояний, организованной логикой решаемой задачи;

— измерение состояний и распределений всех квантовых состояний ансамблей среды как единого целого.

Поиск удовлетворительного решения перечисленных проблем следует начинать со спиноморфных сред, поскольку:

а) эти среды обладают полистабильной структурой. Стоит их только «разогреть» до определенного уровня тем или иным полевым возбуждением, как спиноморфная структура становится динамичной, способной менять свое состояние под действием организованных управляющих возбуждений;

б) по спиноморфным средам типа спиновых стекол и сетей Хопфилда опубликовано немало работ. Именно эти среды породили направление исследований по созданию нейроподобных вычислительных структур.

Задачу теоретического и экспериментального моделирования вычислительных возможностей мезоморфных сред можно начинать с уже проводившихся экспериментов по созданию и организации макровычислительных сетевых структур на активных средах с ограниченной памятью.

Сетевые структуры подобного типа моделируют эволюцию соответствующих матричных марковских цепей, в которых матрица переходов предыдущего шага под действием матрицы потен-

циалов трансформируется в матрицу переходов последующего шага. Эволюция длится до полной стабилизации матрицы переходов. Многие сетевые задачи решаются марковскими моделями подобного типа. На компьютерных эмуляторах была продемонстрирована возможность создания и развития таких вычислительных структур. Эту технологию можно перенести и на квантовые мезоморфные среды.

Другим кандидатом на новый тип вычислительной структуры, причем трехмерной, является сверхпроводящая жидкость, при очень низких (мК) температурах представляющая собой поляризованную мезоморфную среду, которую можно возбуждать в высокочастотном резонансном поле.

В этой среде можно образовать резонансные стоячие волны, пучности которых являются центром мезомеров. Резонансную волну можно модулировать информационной волной, которая в среде вызывает равновесную, динамическую, резонансную структуру и которую с этих пучностей можно снять (измерить). В результате имеется организованная среда с управляемой аналого-цифровой полевой резонансной структурой, которую с пучностями мезомеров можно снимать и в виде обратной связи использовать для организации вычислительного процесса при решении поставленной задачи.

«Квантами» этой среды являются резонансные акустические мезомеры. Они мельче, чем макромасштабы сплошной аналоговой среды, но крупнее квантовых объектов микромира, где туннельные эффекты и лавиноподобные процессы передачи возбуждения играют определяющую ограничительную роль. Они имеют промежуточные масштабы. Отсюда их название — **мезомеры** и название среды с их структурами — **мезоморфы**.

Мезоморфные среды уже по этому определению являются более стабильными и управляемыми, чем квантовые среды, и более точными в дифференциации своих состояний, чем аналоговые полевые или сетевые среды.

Магнитомерные сферы, чьи спиновые ансамбли формируются в стационарных энергетических полях, можно обобщить на магнитомерные среды, магнитомеры в которых формируются резонансными звуковыми полями. Каждый магнитомер этого поля при резонансном возбуждении мезоморфной среды находится в пучности стоячей акустической волны и представляет собой стабильную совокупность спинов, совокупный магнитный момент которых управляется моделирующей информационной волной.

Следует обратить внимание на то, что все частицы мезоморфной среды связаны в целостную структуру. Благодаря этому сама среда в резонансном режиме находит состояние динамического равновесия, решая тем самым вычислительную

задачу. Это очень полезное свойство всех мезоморфных сред.

Коль скоро мезомер содержит очень много квантовых спинов, то дискретная точность фиксации магнитного момента мезомера очень велика.

Информацию в магнитоморфных средах можно снимать матричными магнитными решетками, ячейки которых охватывают магнитомеры. Импульсное изменение магнитного момента в магнитомере будет индуцировать контурный ток соответствующей ячейки.

Эти среды занимают промежуточное положение между квантовыми и макрополевыми. Они работают в безынерционном резонансном режиме, следовательно с низким энергетическим потреблением. Более того, не исключено, что они могут питаться энергией окружающей среды при использовании соответствующей функциональной базы.

От квантового уровня эти среды наследуют импульсную организацию информационных потоков практически в резонансном безынерционном режиме. От макрополевого уровня эти среды наследуют идеальные возможности решения полевых динамических задач, задач поиска режима динамического равновесия, стабильных состояний, режимов и орбиталей. Эти среды являются идеальными сумматорами в смысле Лебега. Они могут решать задачи больших и сверхбольших размерностей без потери устойчивости решения, так как равновесные решения находятся по физическим законам функционирования мезоморфных сред прямыми методами. Сама среда обеспечивает устойчивость решения задач, что так часто недостает цифровым компьютерным технологиям.

Здесь изложены концептуальные основы возможного развития стохастических мезосетей, равновесные распределения плотности сигналов вдоль которых, определяемые по уравнению Фоккера—Планка (см. приложение II), являются решениями соответствующих стохастических задач информационных сетей.

В заключение авторы благодарят Е.Б. Александрова, В.Н. Данилова и В.Ф. Ежова за обсуждение результатов работы.

ПРИЛОЖЕНИЕ I

ПОИСК ОБОБЩЕННЫХ ОБРАТНЫХ МАТРИЦ

Дана произвольная прямоугольная матрица A неизвестного ранга. Требуется найти ее левую или правую обратную матрицу B .

Если число строк или столбцов матрицы A больше или равно числу ее столбцов, то удобно искать ее левую обратную матрицу. Рассмотрим именно этот случай.

В соответствии с аксиоматикой Мура—Пенроуза обобщенная левая обратная матрица обладает свойством

$$BAB = B, \quad AB = H_s, \quad BA = I_m, \quad s \geq m.$$

Здесь m — число столбцов, s — число строк, I_m , I_s — единичные матрицы размерности m , s , H — вектор в пространстве столбцов матрицы A или в пространстве строк обратной матрицы B .

Первое равенство можно записать иначе:

$$B(I_s - AB) = 0.$$

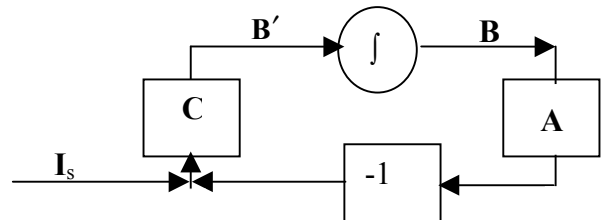
Произвольная матрица C , являющаяся линейной комбинацией строк матрицы B , также лежит в пространстве строк матрицы B , поэтому для нее справедливо равенство

$$C(I_s - AB) = 0.$$

Если эта система находится в равновесии, то равенство выполняется. Если система возбуждена, то равенство нарушается. Будем искать равновесное решение возбужденной системы вида

$$B' = B(I_s - AB).$$

Если $B' = 0$, то наступает равновесие и обратная матрица найдена. Иначе, система будет неравновесной. Структурная схема такой системы имеет следующий вид:



ПРИЛОЖЕНИЕ II

ФОРМИРОВАНИЕ И ВОЗБУЖДЕНИЕ ПОВЕРХНОСТИ АКТИВНЫХ МЕЗОМОРФНЫХ СРЕД ОСАЖДЕНИЕМ НА ПОВЕРХНОСТИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ МИКРОЧАСТИЦ

Модельно процессы подобного типа формируются следующим образом.

Квантовая поверхность разбивается на мезоморфные ячейки размером $L \times L$. На эту поверхность падает поток микроэнергочастиц со скоростью v . Каждая микрочастица, попадая на поверхность, движется по ней до полной остановки, оставляя на поверхности поляризационный след. Предполагается, что типовые колебания мезоскопических ячеек поверхности при движении

по ним микроэнергочастиц упорядочиваются (поляризуются) в направлении движения последних, оставляя поляризационный след. На поляризацию этого следа микроэнергочастица тратит свою энергию. Поляризованные следы в результате тепловых колебаний релаксируют с постоянным временем релаксации T . Последующие микроэнергочастицы, попадая на поляризованные треки, не тратят свою энергию на их поляризацию. Эти треки становятся для них как бы прозрачными. Работа поляризации этих частиц приходится на новые, еще не поляризованные участки поверхности с фоновыми неупорядоченными тепловыми колебаниями мезоячеек.

Осевшие на поверхности частицы создают как бы центры притяжения для новых частиц, энергия притяжения которых распространяется по поляризованным трекам с затухающей силой по мере удаления от центра притяжения. После некоторого времени «бомбардировки» такой поверхности микроэнергочастицами вся мезоячейка структура поверхности покрывается поляризационной сеткой, которая в некотором смысле становится информационной мезосетью. Этой информационной мезосетью можно управлять, решая при этом соответствующие ее назначению вероятностные задачи марковского типа.

Функция распределения информационных сигналов такой мезосети хорошо описывается уравнением Фоккера—Планка

$$\frac{\partial f}{\partial \tau} + \frac{\partial x}{\partial \tau} \frac{\partial f}{\partial x} + \frac{\partial n}{\partial \tau} \frac{\partial f}{\partial n} = \frac{\partial E}{\partial \tau} \frac{\partial f}{\partial E} + \frac{\partial n^2}{\partial \tau} \frac{\partial^2 f}{\partial n^2},$$

где $f = f(E, \mathbf{n}, x, t, t + \tau)$ — функция распределения сигнала, E — энергия поляризации ячеек мезосети, x — координаты ячеек мезосети, \mathbf{n} — вектор направления мезоследов в ячейке x , t — глобальное время, τ — локальное время распространения информационного сигнала по поляризационному следу от момента остановки псевдочастицы (микроэнергочастицы) до момента ее попадания на поверхность в обратном движении.

Рассмотрим операторные коэффициенты уравнения Фоккера—Планка функции распределения информационного сигнала более подробно.

Оператор скорости распространения сигнала по трекам мезосети в локальном движении имеет вид

$$\frac{\partial x}{\partial t} = \mathbf{v}\mathbf{n},$$

где \mathbf{v} — локальная скорость движения псевдочастицы по треку в направлении \mathbf{n} мезоячейки x .

Диссипация энергии поляризации характеризуется оператором

$$\gamma = \frac{\partial E}{\partial \tau} = \gamma(x, t, t + \tau).$$

Флуктуационная часть энергии поляризации описывается оператором

$$D = \frac{\partial n^2}{\partial \tau} = \frac{\partial n \partial k}{\partial \tau} = D_{nk},$$

где \mathbf{n}, \mathbf{k} — направления поляризации двух соседних ячеек мезосети. Пары направлений \mathbf{n}, \mathbf{k} задают флуктуационные изломы треков мезосети.

Оператор притяжения центров роста ячеек мезосети по ее трекам характеризуется потенциальной энергией

$$u(x, t, t + \tau).$$

Этот оператор описывается зависимостью

$$\frac{\partial n}{\partial \tau} = -\frac{\partial u}{\partial x}.$$

Опишем ее более подробно частными дифференциалами

$$-\partial u = \frac{\partial x}{\partial \tau} \partial n = v n \partial n = \frac{v^2}{v_s} n \partial n,$$

$$-\frac{\partial u}{\partial x} = \frac{v^2}{L v_s} \frac{n \partial u}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{v^2}{L v_s} n \partial n \right) = \frac{\partial}{\partial x} (E_0 P),$$

$$-u = E_0 P,$$

где E_0 — плотность энергии притяжения, $P = P(x, t, t + \tau)$ — вероятность оседания псевдочастицы в ячейке x , L — размер мезоячейки, v_s — собственная частота поляризационных колебаний по поляризационному треку в ячейке x . Эта частота является собственной характеристикой ячеек статистической мезосети. Как видим, частный дифференциал потенциального поля центра притяжения пропорционален плотности энергии поляризации и обратно пропорционален собственной частоте поляризации мезосети.

Таким свойством характеризуется энергетический спектр фрактально организованных структур. Из этого следует, что информационная мезосеть поляризационных треков имеет фрактальную организацию.

Обратим внимание на тот факт, что вероятность прилипания псевдочастицы к ячейке мезосети обратно пропорциональна собственной частоте поляризации.

Чем выше частота поляризации, тем меньше вероятность прилипания псевдочастицы к ячейкам мезосети. Из этого следует, что энергия поляризации E , характеризующая прозрачность поляризационного трека, подчиняется квантованию

$$E = h\nu_S.$$

Чем больше эта энергия, тем прозрачнее трек, тем выше его частота поляризации и меньше вероятность прилипания псевдочастицы к ячейкам этого трека.

В результате всех вышеизложенных определений уравнение Фоккера—Планка для плотности информационного сигнала по ячейкам мезосети принимает вид

$$\frac{\partial f}{\partial \tau} + v_n \frac{\partial f}{\partial x} + \left(-\frac{\partial u}{\partial x} \frac{\partial f}{\partial n}\right) = \gamma \frac{\partial f}{\partial E} + Sp(D_{nk} \frac{\partial^2 f}{\partial k \partial n}),$$

где Sp — след матричного оператора

$$D_{nk} \cdot \frac{\partial^2 f}{\partial k \partial n}.$$

Рассмотрим более подробно процессы релаксации треков мезосети. Ранее было установлено, что потенциальная энергия притяжения пропорциональна вероятности прилипания псевдочастиц к ячейкам мезосети,

$$-u = E_0 D.$$

Эта вероятность зависит от глобального времени t и локального времени τ распространения сигнала по трекам мезосети

$$P = P(x, t, t + \tau).$$

Представим эту зависимость в факторизованном виде

$$P = P_\tau P_t.$$

Определим факторизованные вероятности следующим образом:

$$P_t = e^{-\frac{(t-t_0)}{T}},$$

$$P_\tau = \begin{cases} 1, & \text{если } \tau \leq \tau_S, \\ e^{-\frac{(\tau-\tau_S)}{\tau_S}}, & \text{если } \tau > \tau_S. \end{cases}$$

Здесь t_0 — время осаждения частицы в ячейке x , τ_S — время поляризации мезоячейки размером $L = v_S \tau_S$.

Частота и время поляризации мезоячейки являются взаимобратными величинами

$$v_S \tau_S = 1.$$

Длина трека, вдоль которого сигнал проходит за время τ в обращенном движении от осевшей псевдочастицы в ячейке x , равна

$$L_\tau = v_S \tau, \quad L = v_S \tau_S.$$

С учетом этого определения релаксация реальной вероятности примет вид

$$P_\tau = \begin{cases} 1, & \text{если } \tau \leq \tau_S, \\ e^{-\frac{(L_\tau-L)}{L}}, & \text{если } L_\tau > L. \end{cases}$$

Направления флуктуации треков поляризации будем формировать по принципу близкодействия. Каждая ячейка x мезосети окружена восемью соседними ячейками.

По принципу близкодействия сигнал из ячейки x в обращенном движении за один квант поляризации может попасть по трекам мезосети в одну из соседних ячеек. Направление этого кванта действия носит случайный характер. Каждое такое направление \mathbf{n} с ортогональными компонентами n_1, n_2 плоскости генерируется покомпонентно случайным генератором с тремя состояниями $(-1, 0, 1), n_1, n_2 \in (-1, 0, 1)$.

Если сигнал не меняет положение компоненты $k = 1, 2$, то $n_k = 0$. В противном случае n_k равно либо (-1) , либо (1) .

Разрешенные значения компонент направления $n_1, n_2 \in (-1, 0, 1)$ генерируются по принятому в модели закону распределения. В частном случае эти значения могут быть равновероятны.

За каждый квант поляризации происходит изменение координат ячейки, длины трека поляризации и энергии поляризации:

$$x = x + Ln, \quad n = (n_1, n_2),$$

$$\tau = \tau + \tau_S,$$

$$L_\tau = L_\tau + L,$$

$$E = E - E_0 \left(1 - e^{-\frac{(\tau-t_0)}{T}}\right) \geq 0.$$

Генерация квантов поляризации прекращается, когда энергия поляризации становится равной пороговой энергии E_S ($E \leq E_S$).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Deutch Ry. D. Quantum theory, the Church—Turing principle and the universal quantum computer // Proceeding Royal Society. Lond. A400. P. 97–117.
2. Deutch Ry. D. // International Journal of the Theoretical Physics. V. 24. P. 1.
3. Ekkert A. and Jozsa R. Quantum computation and Shors factoring algorithm // Review of Modern Physics. July, 1996. V. 68, N 3. P. 733–750.
4. Нестеров М.М., Трифанов В.Н., Данилов В.Н. Нестандартный анализ данных с использова-

- нием самоорганизующихся технологий // Научное приборостроение. 2000. Т. 10, № 1. С. 35–43.
5. Александров Е.Б. // УФН. 1972. Т. 107. С. 595.
6. Деруссо П., Рой Р., Клоуз Ч. Пространство состояний в теории управления. М.: Наука, 1970. 620 с.
7. Белоцерковский О.М., Щенников В.В. Рациональное численное моделирование нелинейной механики. М.: Наука, 1990. С. 7.
- Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН*
- Материал поступил в редакцию 09.02.2000.

MESOMORPHIC COMPUTATIONAL MEDIA

M. M. Nesterov, V. N. Trifanov

Saint-Petersburg Institute of Informatics and Automation RAS

In this paper the computational properties of mesomorphic media, intermediate between quantum atomic-molecular structures and continuous macrophysical media, are discussed. It is shown that the mesomorphic media make it possible to realize noninertial high accuracy linear and nonlinear adders, perform Lebesgue integration operations and solve almost all high- and ultrahigh dimension and complexity algebraic problems by direct methods without loss of stability. The problems of the equilibrium and nonequilibrium dynamics and control of dynamic objects with local and distributed properties can be solved using this approach. Hardware implementation of the computational properties of the mesomorphic media is discussed.