

Моделирование процессов во фрактальной сети

Возможная субструктура для сознания

Richard Dryden

16 January 1996

Аннотация. Предполагается, что сознание не возникает из одного уровня биологической организации (например, из вычислительной активности на синаптическом уровне в нейронной сети), а является следствием независимого моделирования в сетях на разных уровнях организации, включая молекулярный, органелльный¹ и клеточный, объединяемых для возникновения сознания. Фрактальная укладка (stacking) и взаимодействие сетей на разных уровнях предлагается рассмотреть в качестве субстрата (основы), который может требоваться для сознания (естественного или машинного). Принятие такой концепции поможет преодолеть некоторые трудности, возникающие при использовании редуccionистских стратегий изучения сознания.

Введение

Современные дискуссии о сознании склонны опираться на самые глубокие особенности индивидуального мировоззрения, будь то квантовая теория, теория информации, теория хаоса, прапсихология или спиритизм, в надежде, что та или иная их комбинация приведёт к просветлению. Здесь явно имеется проблема «циклической зависимости» в том, что сознание является одновременно инструментом и объектом (Miller, 1962) [12].

Сознание пытается понять самое себя и у него нет резерва возможности моделирования, чтобы помочь упрощению или сделать шаг назад и взглянуть на себя из более сложной метасистемы. При попытке моделировать сознание путём упрощения допущений или применения редуccionистских методологий возникает опасность уйти в сторону - сознание представляется продуктом «целостности», а не «частичности». Однако это не означает бесполезности любой попытки понять сознание или невозможности прогресса - в наблюдаемом мире достаточно закономерностей, позволяющих экстраполировать знание из известных областей на малознакомые.

Далее предлагается объединение идей общей теории систем и теории нейронных сетей в концептуальную схему для рассмотрения сознания. По сути, предполагается, что сознание не возникает из действий на одном уровне биологической организации (например, из вычислительной активности на уровне синаптических соединений в нейронной сети), а является следствием независимого моделирования сетями на разных уровнях, совместно порождающего сознание.

Общая теория систем

Идеи общей теории систем (GST²) очень полезны для понимания развития биологического мира. GST выявляет повторяющиеся картины организации систем различных типов. У этой теории есть несколько вариантов, среди которых в качестве основы были выбраны концепции, разработанные Bertalanffy (1968) [2]. Основой GST является концепция полукрытых систем, взаимодействующих с окружающим по входам и выходам. Выбранная часть окружения со временем «протекает» через открытую систему, изменяясь в ней (трансформируясь). Хотя некоторые границы систем (например, внешние мембраны клеток) наблюдаемы, нужно учитывать роль наблюдателя в «рисовании» границ. Такое разделение мира на системы ещё является редуccionистским подходом.

Открытые системы состоят из взаимозависимых частей, каждая из которых может рассматриваться как открытая система. На данном уровне организации открытые системы могут взаимодействовать, создавая системы с более высоким уровнем организации (например, атомы и молекулы взаимодействуют, образуя клетки, а те взаимодействуют, образуя многоклеточный организм, при этом организмы также взаимодействуют, образуя сообщества). Внутри данного уровня организации могут существовать распознаваемые модели взаимодействия, такие как иерархия.

Сила GST заключается в распознавании шаблонов (pattern), повторяющихся в системах разного уровня и это может стать основой для включения редуccionистских наблюдений в более целостное мировоззрение. Таким образом, GST может внести вклад в изучение сознания.

Из исследований эмбрионов и других биологических систем можно добавить к этой обобщённой концепции открытых систем ещё одно свойство - способность системы каким-то образом «моделировать» своё окружение. Т. е. с течением времени система развивает изменяющееся представление о своём окружении через двухстороннее взаимодействие как следствие своей внутренней организации и функций.

Слово «модель» здесь выбрано потому, что оно более нейтрально, нежели часто применяемые термины «сознание» и «осведомлённость» (awareness)³. Здесь не предпринимается попыток определить точное значение термина «модель», он просто служит для обозначения деятельности в целом (разумной или иной). Поэтому на уровне человека модель будет указывать как сознательную, так и подсознательную деятельность. Для простоты модель размещается внутри границ открытой системы, но это не обязательно предполагает её физическое присутствие в системе, а просто говорит о тесной связи деятельности модели с другими системными структурами и процессами на данном уровне организации.

Хотя на человеческом уровне сознательный опыт даёт нам прямой доступ к процессам моделирования, допущение о распространении идеи возможности моделирования на системы иных уровней может показаться спекулятивным. Однако доказательства в поддержку этого начали накапливаться и недавно было опубликовано несколько работ

¹В клеточной биологии - специальный элемент (обычно внутри клетки), выполняющий определенную функцию.

²General systems theory.

³Обсуждение сложностей, связанных с этими терминами приведено в работе Velmans, 1995 [17].

(например, Albrecht-Buehler, 1985 [1], Hameroff, 1994 [10], Bray, 1995 [3]), предполагающих, что клетки, органеллы и даже молекулы обладают способностью к расчётам и репрезентативным процессам вследствие их организации.

Допущение о том, что открытые системы в целом, независимо от уровня, могут обладать способностью к моделированию, повторяет панпсихизм - идею о том, что всей материи присуще некое качество, которое можно назвать «разумом» или «сознанием». Панпсихизм, часто наряду с витализмом, считают ненаучным и ненужным (например, Popper, Eccles, 1990 [14]), хотя панэкспериментализм и панпсихизм недавно вновь стали предметом обсуждения (de Quincey, 1994 [6], Seager, 1995 [15]). Однако ниже будет отмечено, что моделирование может быть обеспечено процессами, знакомыми современной науке, в частности, процессами, которые происходят в природных и искусственных нейронных сетях, и не требующими придания материи дополнительных свойств. Это не означает, что эмпирический аспект сознания обязательно возникнет из предлагаемых здесь процессов моделирования - скорее нужна концептуальная основа, на которой можно начать решение «трудного вопроса» о сознании, отмеченного Chalmers (1995) [4].

внутренняя модель придавала бы определённую степень автономности системе по отношению к её окружению или, по меньшей мере, была бы наблюдаемым впечатлением, поскольку циклы стимул-отклик будут буферизоваться и измеряться вычислительными действиями модели. Результатом будет то, что отклики системы со временем изменятся — отклик, вызванный определённой картиной на входе, может не совпадать при таком же входном воздействии после того, как система со временем обрела другой опыт. De Quincey (1994) [6] (сир. 223) выразил это следующим образом: «Сложный индивид» - это иерархическое сообщество суборганизмов, каждый из которых имеет свой уровень опыта и способности к самоопределению (например, животное, состоящее из живых клеток, клетка, состоящая из органических молекул).

Если это так, возникает возможность более тонкого поведения отдельных систем при взаимодействии с окружением и между собой. В случае развивающегося зародыша можно представить растущее сообщество клеток, формирующих сеть социальных взаимодействий (Dryden, 1991 [8]), где каждая клетка непрерывно соразмеряет свои внутренние побуждения с влияющими на неё сигналами из внешней среды. В то же время, похоже, что эмбрион в целом обладает идентичностью или моделью, поскольку с нарушениями нормального потока развития можно справиться и ответить на них даже при потере или повреждении отдельных клеток. Таким образом, при взаимодействии открытых систем в социальном плане возникает впечатление, что создаётся новый потенциал для творчества.

Ограничения GST

Однако у такого подхода есть недостаток при взгляде на мир и системы внутри него. Расслоение наблюдаемого мира системой GST по уровням организации представляется достаточно безвредным в том смысле, что оно распознает кажущуюся «целостность» молекулы, клетки или человека и идентифицирует повторяющиеся картины на каждом уровне. Но возникает проблема понимания того, как события на одном уровне влияют на события другого уровня (например, событие на верхнем уровне определяет происходящее на нижележащих уровнях (нисходящая причина) или события на нижних уровнях влияют на события верхних уровней (восходящая причина)). Интересно, что научные дисциплины представляются стратифицированными аналогичным способом каждая сосредоточена внутри одного уровня. При этом возникает проблема - дисциплина, работающая внутри одного уровня (например, цитология) может не иметь очевидного объяснения для дисциплины вышележащего уровня (например, психологии). Это выглядит как наличие «хорошей науки» внутри уровня и нехватку «лучшей науки» между уровнями. С учётом того, что мир считается взаимосвязанным целым а наука является последовательной методологией его изучения, это даёт повод пересмотреть способ наблюдения мира и провести корректировку деления на уровни. Часть современных сложностей может оказаться результатом неверного деления на уровни.

Проблема привязки относится также к предположению о возможности существования в системах моделей на разных уровнях. Как эти модели будут взаимодействовать? Например, как модели внутри клеток могут взаимодействовать или иным путём вносить вклад в сознание на уровне человека? В контексте панпсихизма Seager (1995) [15] назвал это «проблемой комбинирования» - «как можно объединить множество элементов «атомного сознания» в новое, сложное и богатое сознание, которым мы обладаем» (стр. 280). Редукционизм - это подход, требующий разложения (демонтажа) системы и изучения её частей или изучения поведения системы в искусственно упрощённой и контролируемой среде. Однако сознание, по-видимому, является свойством, возникающим из нетронутой (intact) системы, из «целостности», а не «частичности», и может не быть сводимым в обычном смысле без риска потери искомого понимания.

Нейронные сети

Хотя GST сталкивается с трудностями на этом этапе, можно пойти дальше с идеей взаимодействующих моделей на разных уровнях путём внесения и изменения концепции нейронных сетей.

Термин «нейронная сеть» (neural network) используется достаточно свободно и может относиться к сети биологических нейронов, образующих часть нервной системы (естественная сеть), а также к компьютерному моделированию сети, состоящей из соединённых между собой элементов, с нейроноподобными свойствами (искусственная сеть). В обоих случаях каждый узел сети имеет один или несколько входов переменной «силы» (обычно как возбуждающих, так и тормозящих) и суммирует входные данные, что приводит к подаче сигнала на выход или выходы при превышении порога возбуждения¹.

Искусственные нейронные сети часто моделируются с тремя слоями (layer) элементов - входной, промежуточный «скрытый» слой и выходной слой. Соединения между элементами меняются в периоды «тренировки» или «обучения» - соединения, способствующие верному поведению, усиливаются, а соединениям, способствующим ошибочному (аберрантному) поведению, придаётся меньший вес, в результате чего через сеть распространяется «память» о задаче в форме соединений разной силы. Обученная сеть содержит информацию об ассоциациях, категориях и алгоритмах в своих картинах силы соединений и рабочих правилах, следовательно в отмеченном выше смысле, воплощает «модель» задачи.

Концепция нейронной сети объясняет возможности моделирования в сетях взаимосвязанных элементов и играет важную роль в развитии понимания о биологических системах. Как отмечено выше, концепцию можно применить не только к изучению нейронных сборок, но и к отдельным клеткам и их частям, таким как органеллы или макромолекулы (Albrecht-Buehler, 1985 [1], Hameroff, 1994 [10], Bray, 1995 [3]).

¹Обзор нейронных сетей и некоторые их ограничения рассмотрены в работе Crick, 1989 [5].

Образующие сеть «элементы» имеют большинство, если не все свойства, указанные выше для открытых систем — входы, те или иные преобразования или функции, выходы и взаимодействия с другими элементами. Поэтому можно представить нейронную сеть как сеть соединённых между собой открытых систем.

На основе опыта работы с GST можно продолжить анализ. При рассмотрении естественной сети элементами являются нейроны, каждый из которых представляет собой сложную и живую совокупность взаимодействующих частей, которые можно считать открытыми системами. Таким образом, можно смоделировать сам нейрон как сеть, состоящую, например, из органелл. Точно так же можно представить органеллы (такие как митохондрии) как сети составляющих их молекул. Этот процесс идентификации характеристик сети можно было бы расширить и включить в него молекулы (белки), которые, как известно, реагируют на внешние сигналы. Получается в результате взаимосвязанная схема сетей внутри сетей.

С этой точки зрения биологическая организация выглядит как вложенные друг в друга наборы сетей, и элементы одного уровня являются сетями нижележащего уровня и т. д. Подходящим термином для этого будет фрактальная сеть, поскольку это отражает свойство самоподобия или повторяющихся картин на разных уровнях (сети внутри сетей). Термин фрактал здесь имеет несколько иной смысл, нежели в работах Merrill, Port (1991) [11] и Globus (1992) [9], где рассматриваются фрактальные сети с одним уровнем организации, хотя эти варианты слова фрактал дополняют друг друга. Hameroff (1994) [10] также намекает на описанную выше схему организации: «цитоскелет внутри» каждого нейрона мозга можно рассматривать как фракталоподобный субэлемент в иерархии адаптивных сетей» (стр. 114).

Обсуждение

Многие считают сознание результатом физиологических процессов в мозге. «Поток сознания», возможно, является продуктом изменения картин нервных импульсов, проходящих через невероятно сложную сеть нейронных коммуникаций по синапсам. С этой точки зрения сознание «возникает» из вычислительной деятельности мозга на нейронно-синаптическом уровне. Hameroff (1994) [10] отметил: «механизм сознания может зависеть от понимания организации адаптивных (когнитивных) функций в живых клетках» (стр. 97). Другие предполагают необходимость вмешательства иных (не вычислительных) процессов (Globus, 1992 [9], Penrose, 1994 [13]) или даже введения новых свойств вещества или информации на фундаментальном уровне научного описания (Chalmers, 1995 [4], Seager, 1995, [15]).

Если принимать во внимание уровни организации, лежащие в основе синаптического уровня мозговой активности, нужен какой-то эффективный способ связать действия на разных уровнях. В приведённой выше гипотезе поведение открытой системы на любом уровне организации рассматривается как результат социальных взаимодействий между частично автономными компонентами, каждый из которых способен моделировать аспекты своего окружения. Моделирование считается фундаментальным свойством открытых систем, позволяющим им взаимодействовать творческими и искусными способами. Предполагается, что моделирование и социальная деятельность на каждом уровне интегрируются для создания новых свойств, распознаваемых на более высоких уровнях, включая сознание.

Взаимодействие, наряду с присутствием индивидуальных возможностей для моделирования, может быть источником нового усложнения (комплексности) открытых систем. Структуры, специализации, процессы и организации возникают таким способом, который, по-видимому, был бы невозможен без взаимодействия между отдельными членами с общественным (социальным) потенциалом. Сообщества клеток строят организмы, сообщества муравьёв строят сложные муравейники. В человеческом социальном контексте известны системы управления, правосудия, образования, здравоохранения и т. п., возникающие как свойства индивидуальных социальных взаимодействий. Если сформировать концептуальную связь между творческой деятельностью социальных систем и адаптивным поведением нейронных сетей, это улучшит понимание возникающих свойств, включая сознание.

Для соединения уровней может оказаться полезной интеграция концепции открытых систем GST с концепцией нейронных сетей, ведущая к фрактальному объединению адаптивных сетей. Это обеспечивает 2 преимущества.

- Предлагаемая сетевая организация открытых систем будет источником способностей к обучению и адаптации - это свойство сетевой организации будет иметь вес для наблюдения о том, что открытые системы, по-видимому, способны «моделировать» свою ситуацию.
- В предложенной здесь концептуальной схеме сети на всех уровнях чётко взаимосвязаны (каждая сеть служит элементов сети вышележащего уровня) для формирования непрерывной организационной структуры и не возникает проблемы межуровневой связи, подобной имеющейся в стандартной GST.

Концепция фрактальных сетей обеспечивает потенциал для более глубокого обсуждения сознания в том смысле, что она не связывает действия более чем на одном уровне организации. Однако, просто добавляя больше уровней сетей, мы не обязательно приблизимся к решению «трудной проблемы» сознания (что является источником эмпирического аспекта сознания? Chalmers, 1995 [4]), поскольку были высказаны сомнения о возможности сетей с одним уровнем продемонстрировать понимание своей вычислительной деятельности (например, Searle, 1990 [16]), не говоря уже о субъективном опыте.

Тем не менее, природа соединений гипотетической фрактальной сети может помочь в понимании взаимодействия предложенных низкоуровневых влияний с сознанием. Penrose (1994) [13] предположил, что «согласованность (когерентность) может быть частью того, что требуется для сознания» (стр. 408), а Hameroff (1994) [10] считает, что цитоплазматические микротрубки могут обеспечить подходящее место для «размывания» между классическим и квантовым подходом. Seager (1995) [15] соглашается с Penrose в том, что «только когерентные системы с множеством частиц сохраняют характерные квантовомеханические свойства, лежащие в основе подходящих «правил суммирования», которые могут поддерживать квантовую когерентность» и добавляет: «только системы, способные поддерживать квантовую когерентность допускают «психическую комбинацию», где сложные состояния сознания будут ассоциироваться только с такими системами» (стр. 285).

Концепция фрактальных сетей представляется учитывающей возможность межуровневой связи, но на этом этапе неясно, как этого можно достичь или поддерживать. Преимущество концепции состоит в том, что все части сети остаются соединёнными между собой и, следовательно, представляют единую сущность, поэтому, хотя на

синаптическом уровне функции мозга могут быть смещённые картины деятельности, все же могут существовать непрерывность и коммуникации подуровней в более глобальном смысле, что повышает согласованность.

Есть основания полагать, что сознательны опыт требует той или иной формы «увлечения» или резонансной привязки деятельности на разных уровнях. Поскольку сознательная настороженность не может поддерживаться долго в непрерывном состоянии и перемежается с периодами снижения настороженности, включая сон, это может указывать на периодическую необходимость отсоединения деятельности на разных уровнях, возможно для выполнения восстановительных процедур. При отсутствии согласованности можно было бы предположить, что вычислительные процессы останутся доступными на данном уровне, но, возможно, без полного эмпирического сопровождения.

Хотя гипотеза о фрактальной сети является спекулятивной, она доступна для проверки доступными методами. Фрактальные сети поддаются компьютерному моделированию (Merrill, Port, 1991 [11]), дающему представление об их вычислительных свойствах. Эффект блокировки коммуникаций между сетями на разных уровнях организации также может быть изучен. Это может прояснить допущение о том, что анестезия действует на уровне блокировки работы микротрубок и следующего из этого отключения эффектов квантовой когерентности (Hameroff, 1994 [10]). Было бы интересно также проверить предположение о том, что моделирование на молекулярном и органелльном уровне влияет на возможности моделирования отдельных клеток. Экстраполяция с этих более низких и менее сложных уровней может помочь лучше понять возникновение человеческого сознания.

Литература

- [1] Albrecht-Buehler, G. (1985), 'Is cytoplasm intelligent too?', *Cell & Muscle Motility*, **6**, pp. 1-21.
- [2] Bertalanffy, L.v. (1968), *General systems theory* (New York: Braziller).
- [3] Bray, D. (1995), 'Protein molecules as computational elements in living cells', *Nature*, **376**, pp. 307-12.
- [4] Chalmers, D.J. (1995), 'Facing up to the problem of consciousness', *Journal of Consciousness Studies*, **2(3)**, pp. 200-19.
- [5] Crick, F. (1989), 'The recent excitement about neural networks', *Nature*, **337**, pp. 129-32.
- [6] de Quincey, C. (1994), 'Consciousness all the way down? An analysis of McGinn's critique of panexperientialism', *Journal of Consciousness Studies*, **1(2)**, pp. 217-29.
- [7] Dryden, R. (1980), 'Visualizing systems', *Kybernetes*, **9**, pp. 175-9.
- [8] Dryden, R. (1991), 'Networks of social interactions between embryonic cells', In: *Human Biology: an integrative science*, Proceedings of the Australasian Society for Human Biology, Volume 4, pp. 1-9 (Nedlands, Western Australia: The Centre for Human Biology).
- [9] Globus, G.G. (1992), 'Toward a noncomputational cognitive neuroscience', *Journal of Cognitive Neuroscience*, **4(4)**, pp.299-310.
- [10] Hameroff, S.R. (1994), 'Quantum coherence in microtubules: a neural basis for emergent consciousness?', *Journal of Consciousness Studies*, **1(1)**, pp.91-118.
- [11] Merrill, J.W.L., and Port, R.F. (1991), 'Fractally configured neural networks', *Neural Networks*, **4**, pp. 53:60.
- [12] Miller, G. (1962), *Psychology: the science of mental life* (New York: Harper & Row).
- [13] Penrose, R. (1994), *Shadows of the mind: a search for the missing science of consciousness* (Oxford: Oxford University Press).
- [14] Popper, K.R., and Eccles, J.C. (1990), *The self and its brain* (London: Routledge).
- [15] Seager, W. (1995), 'Consciousness, information and panpsychism', *Journal of Consciousness Studies*, **2(3)**, pp.272-88.
- [16] Searle, J.R. (1990), 'Is the brain's mind a computer program?', *Scientific American*, **262(1)**, pp.20-S.
- [17] Velmans, M. (1995), 'The relation of consciousness to the material world', *Journal of Consciousness Studies*, **2(3)**, pp. 255-65.

Перевод на русский язык

Николай Малых

nmalykh@protokols.ru