

Заключительный раздел книги «Элементы биологических концепций»:
Последний трюк нейроэволюции (The Last Trick of Neuroevolution)

и

Последние шаги Алгоритма построения биологических концепций (3.4-3.7),
относящиеся к заключительной («Синтетической») стадии, с Примечаниями (1-4)

ПОСЛЕДНИЙ ТРЮК НЕЙРОЭВОЛЮЦИИ

The Last Trick of Neuroevolution

Процесс нейроэволюции состоит из нескольких отчасти независимых модулей и имеет в общем ретикулярную структуру. То есть каждый из модулей может работать независимо, как будто другие не существуют (или они неактивны), ориентируясь на свою локальную эффективность. На входе каждого модуля имеются события и процессы, являющиеся результатами действия других модулей, но они могут быть восприняты каждым модулем как случайные, и будут обрабатываться как случайные. Хотя на самом деле эти события всегда «лучше, чем случайные», лучше с точки зрения нейроэволюции. Разумеется, эти модули не являются исключительно существующими для нейроэволюции или просто эволюции (подавляющее большинство, если не все). Каждый из них пытается увеличить свою локальную эффективность в рамках своего процесса и среди них нет и не может быть никакого «главного» или «управляющего» органа, аккумулирующего информацию о всей системе и манипулирующего всеми её локальными участниками.

Поэтому описание процесса нейроэволюции можно было начать с любого звена, с любого участника (модуля), и, соответственно, с любого момента времени. Однако мы начнем наше описание с того процесса, который кажется нам более специфичным именно для нейроэволюции, а не для эволюции вообще, или же адаптации вообще, или же нейроонтогенеза.

Представим себе начало раннего развития млекопитающего, пренатальный период, раннее развитие мозга. Положим, что имеется несколько генов, в модуляторных участках которых произведены эпигенетические изменения. Этих генов немного, скажем, не менее 3-х и не более 12-ти. Сами эпигенетические изменения появились из-за активности других модулей в течение онтогенеза родителей, и случайными по большому счету не являются, но, поскольку новый развивающийся организм не имеет доступа к этой информации, этот развивающийся организм воспринимает их как абсолютно случайные. Каждый из модуляторных участков состоит из 12-24 одинаковых блоков и эпигенетическое действие может проявляться по-шагово, т.е. число эпигенетически модифицированных блоков в модуляторном сайте может быть малым, большим или любым промежуточным, что определено событиями в

течение онтогенеза родителей. Речь идет, таким образом, о наследуемой эпигенетической информации.

Как молодой развивающийся организм реагирует на наличие этих нескольких эпигенетических изменений? Обычно, вообще говоря, раннее развитие контролируется локальными обратными связями, протекает довольно слаженно и без большого числа «пустых» проб и ошибок. Клетки пытаются достичь конкретного состояния, часть клеток достигает его первыми, дает сигнал обратной связи для остальных (отстающих) клеток, и переключает их усилия на достижение другого, следующего по счету морфогенетического результата (клеточная популяция разделяется на две – происходит элементарный эпизод дифференцировки).

Что произойдет, если в течение этого процесса дифференцировки окажется проявляющимся одно из эпигенетических изменений? Возможны принципиально два различных события. Первое из них можно охарактеризовать как «Встреча с Чудом», а второе – как «Большое Горе». При «Встрече с Чудом» клетки, ищущие очередного планового состояния, сталкиваются с абсолютно неожиданным объектом, состоянием окружающей действительности (локального клеточного окружения), или с неожиданным своим собственным состоянием. Для примера можно взять случай, когда клетки с их нейритами сталкиваются с неожиданной мишенью. Эта встреча не является «плохой», «опасной» или чем-либо в этом духе. Наиболее яркой её особенностью является то, что она неожиданна и воспринимается как чудо. «Большое Горе» наблюдается тогда, когда клетки никак не могут достичь искомого планового состояния или результата. При этом горе является действительно большим, если клеткам не удастся найти и приблизительных аналогов, заменителей искомого планового состояния. Однако поиск заменителей и аналогов в случае «Большого Гора» обсудим чуть позже, а пока лишь отметим, что «Встреча с Чудом» характерна для более ранних этапов онтогенеза, в то время как «Большое Горе» чаще встречается на чуть более поздних этапах.

При «Встрече с Чудом» подгруппа клеток, которая с ним встретилась, принципиально меняет свою тактику действий и активизирует довольно универсальную, но более типичную в норме для более поздних этапов онтогенеза, подпрограмму. Важно, что с чудом встретилась только часть клеток, при этом оставшаяся часть продолжает выполнять прежнюю программу – её выполнению ничего не угрожает (клетки исходной популяции разделяются тем самым на «встретившиеся с чудом» и «с чудом не встретившиеся»). При «Встрече с Чудом» выполнение прежней программы по достижению планового результата прекращается, эта программа отменяется, и клетки начинают искать нечто принципиально иное. Это иное заключается в следующем. Клетки пытаются найти такое состояние или такие точки приложения своих усилий, которое максимально усилит их влияние на окружающую действительность, на локальное окружение, причем интерес представляет только то влияние, от которого удастся получить обратную связь. То есть клетка может не только подействовать на что-то, но и

может воспринять, задетектировать эффект, результат своего действия. Если клетка совершает действие, но результат этого действия для неё абсолютно недоступен, то само действие классифицируется как неэффективное. Клетки пытаются подобрать такое состояние, способ взаимодействия с необычной ситуацией (встретившимся чудом), которое позволяет им установить или проявить максимальную власть, контроль над чем-либо, независимо от того, сможет ли им этот контроль дать какую-либо пользу в будущем или нет.

При «Большом Горе» клетки также пытаются пробовать новые способы взаимодействия с окружением, новые способы установления контроля над чем-либо, но это что-то должно быть в случае «Большого Гора» четко связано с достижением искомого состояния, искомого результата, и все необычные взаимодействия оцениваются на весах полезности применительно к получению ещё не достигнутого планового результата.

При «Встрече с Чудом» такого ограничения не существует, любой контроль над чем-либо необычным признается полезным, по крайней мере потенциально полезным. Получение реального новшества в результате «Встречи с Чудом» гораздо более вероятно, чем в результате «Большого Гора».

Однако конечная оценка полезности такого рода новшеств приходится не на этот ранний этап онтогенеза. На этом раннем этапе онтогенеза несколько независимых эпигенетических изменений приводят к нескольким независимым «Встречам с Чудом». И в результате каждой «Встречи с Чудом» может быть сформировано несколько новых, ранее не существовавших и отчасти независимых связей. Все эти связи являются в той или иной мере локально полезными, их существование усиливает контроль данных клеток над их локальным окружением (иначе эти связи просто не были бы сформированы).

Однако реальная положительная оценка дается только в том случае, если измененный модуль оказался полезным существенно позднее, например при организации поведения у взрослого животного.

Получается, что на базе нескольких эпигенетических изменений, переданных от родителей, удалось раннему онтогенезу сформировать несколько предположительно полезных конструкций. Причем ни одна из этих конструкций не была ранее нигде «запрограммирована», не содержалась в наследственной информации, каждая из этих конструкций есть прямое и непосредственное творчество онтогенеза. Это творчество развивалось, разумеется, с учетом наследственности, но само по себе инструктивным образом нигде не было запрограммировано.

И вот далее, в процессе формирования взрослого поведения, на момент наступления половой зрелости, быть может оказывается, что только один или два модуля, построенных с учетом неожиданных новшеств (эпигенетических изменений) и их ранне-онтогенетической творческой адаптации, оказываются

полезными, более полезными чем аналогичные стандартные модули. (Аналогичные стандартные модули у данной особи никто не разрушал – они существуют параллельно как независимые фенкопии функциональной системы, точнее, как их отдельные компоненты, и сравнение может быть осуществлено в реальном времени и данным реальным организмом /особью/).

И вот оказывается, что лишь одно или два эпигенетических изменения должны быть усилены или оставлены «как есть», в то время как остальные 10 или 12 эпигенетических изменений должны быть уменьшены или полностью уничтожены.

Мы видим, что здесь произошел тем самым переход от более ранней 3-х звенной схемы: «воздействие на родителя» - «наследуемое эпигенетическое изменение» - «развитие измененного потомка» к 5-ти звенной схеме: «воздействие на родителя» - «несколько наследуемых эпигенетических изменений» - «творческое использование эпигенетических изменений в нейроонтогенезе потомка» - «селективное усиление/ослабление эпигенетических изменений» - «развитие следующего измененного потомка (т.е. потомка 2-го поколения)». При этом исключительная творческая роль раннего онтогенеза первого поколения потомков не подлежит сомнению.

И если раньше можно было считать, что творчество эволюционного процесса есть изобретательность «предыдущей системы» - т.е. родительского организма, то теперь есть все основания полагать, что основной творческий поиск осуществляется позднее, в течение раннего онтогенеза потомков. Работа эволюционного процесса оказывается распределенной между взрослыми родителями и их молодыми потомками в неравной мере: создание действительно нового происходит под воздействием развитых усилий потомков, хотя последние и инициированы унаследованными от родителей эпигенетическими изменениями. Здесь, кстати, мы видим ещё одно отличие современных эволюционных представлений от классического ламаркизма.

Одновременно мы видим, что в системе отсутствуют прямые директивные влияния как эпигенетической наследственности на ранний онтогенез, так и обратно. Хотя некоторая аналогия с отбором эпигенетических изменений на основе полученных онтогенетических результатов и может быть замечена.

Вот, пожалуй, мы и закончили беглое описание основных модулей, вовлеченных в нейроэволюцию. Теперь рассмотрим важные детали, касающиеся как нейроэволюционных событий, так и обычного, нормального нейроонтогенеза, не сопряженного с какими-либо новшествами. Выше была упомянута модель развития на основе обратных связей, модель простейшей дифференциации, когда популяция клеток целиком стремилась перейти в новое состояние, но переход осуществлялся только частью клеток, а оставшиеся тормозились обратной связью от достигнутого нового состояния. Действительно, такая схема развития может использоваться во многих случаях. Однако нетрудно видеть, что небольшое усложнение этой схемы приводит к значительному возрастанию эффективности процесса в целом.

Представим себе, что нужно достичь не одной, а нескольких целей одновременно или практически одновременно, несколько новых состояний, или нужно установить несколько типов контактов с несколькими мишенями. Организм может, разумеется, используя упомянутую выше схему достичь всех этих результатов по очереди, один за другим. Однако скорость достижения результата определяется при всех прочих равных условиях количеством клеток, принимающих участие в данном поиске на начальных его этапах, и не сильно изменится от того, если искомый результат является в действительности множеством из нескольких независимых результатов.

Поэтому гораздо выгоднее, если все клетки исходной популяции в начале процесса дифференциации будут стремиться достичь не одного, а нескольких результатов. Причем каждая отдельно взятая клетка будет стремиться достичь нескольких независимых и несовместимых друг с другом результатов. Предположим для конкретности, что таких результатов может быть от 3-х до 12-ти. Пусть каждая клетка стремится достичь трех результатов А, В и С. Вследствие известной стохастичности, часть клеток первыми достигнет цели А, часть – В, часть – С, а оставшаяся часть не успеет достичь ни А, ни В, ни С, и останется в прежнем состоянии. В этот момент процесс будет остановлен обратными связями: «а» от А, «в» от В, «с» от С, и все эти 3 обратные связи будут акцептированы исходной популяцией клеток. Все три обратные связи должны быть восприняты для успешного окончания развитийного эпизода.

Мы видим, что из-за одновременного поиска 3-х состояний эффективность процесса увеличилась практически в 3 раза, поскольку исходное количество клеток осталось прежним, увеличилось лишь количество целей у каждой из них и увеличилось число различных обратных связей. Разумеется, число одновременно искомых состояний не может быть слишком большим, поскольку обратные связи должны все время оставаться различимыми: каждая клетка, ищущая состояний А, В и С, должна в каждый момент времени быть способной различать обратные связи «а», «в» и «с», проистекающие от других клеток, достигших данных состояний.

Понимание множественности искомых состояний является важным, поскольку окончательным результатом эволюционного изменения может быть добавление нового состояния к совокупности имеющихся одновременно искомых состояний. Здесь уже имеется ввиду поздний этап, когда через несколько поколений после «Встречи с Чудом» или «Большого Горя» онтогенетическое развитие вновь постепенно переходит к стандартному канализованному типу. При этом, разумеется, носитель обсуждаемой наследственности становится уже не эпигенетическим, а генетическим, что предполагается типичным для канализованного развития.

Вышеприведенные представления о нейроэволюции включают в себя представления о трех процессах, каждый из которых может быть изучен и независимо, вне всякой связи с нейроэволюцией. Это следующие процессы.

1. Творческий нейроонтогенез. В течение раннего нейроонтогенеза создаются новые и полезные морфогенетические результаты, всякая информация о которых полностью отсутствовала в наследственности как в генетической форме, так и в форме эпигенетической.
2. Собственная активность нейрона и/или его предшественника, направленная на максимально эффективное управление окружением, с использованием обратной связи, получаемой от результатов управления. Нейрон подавляет свои неэффективные попытки воздействия на окружение и оптимизирует способы управления, оказавшиеся удачными, повышая тем самым их эффективность далее.
3. Наследственная передача нескольких независимых эпигенетических изменений, образованных в результате внешнего воздействия на родителя. В ситуации онтогенетической «Встречи с Чудом» или «Большого Горя» принимает участие не бесконечное число, не «куча» эпигенетических наследуемых изменений, но все-таки в общем случае не одно, а несколько независимых изменений. Это дает возможность независимого усиления/ослабления указанных.

Последние шаги **Алгоритма построения биологических концепций (3.4-3.7)**, относящиеся к заключительной («Синтетической») стадии, с Примечаниями (1-4)

Синтетическая стадия (продолжение)

3.4. Представить ситуацию как два процесса:

- а) эти процессы могут быть «старым» и «новым» (т.е. процессом в соответствии со «старыми» и с «новыми» представлениями);
- б) эти процессы могут быть «параллельными» (т.е. протекающими одновременно);
- в) эти процессы могут быть последовательными (т.е. один из них протекает позже второго);
- г) эти процессы могут иметь разный масштаб времени (например, онтогенетический и эволюционный);
- д) эти процессы могут иметь разный структурный масштаб (например, внутриклеточный молекулярный и морфологический макроскопический);
- е) особый случай – случай «а» с новым и старым процессами, когда один из них есть процесс, протекающий быстро и четко, инструктивно на всех стадиях, но является нечувствительным к изменениям внешней обстановки, нечувствительным к возмущениям, а второй процесс, наоборот, хорошо отслеживает и учитывает все изменения в локальной обстановке, ориентируется на некие обратные связи, но является при этом весьма медленным, требующим больших отрезков времени для прохождения отдельных этапов или всего процесса в целом.

3.5. Представить действия всех участников двух процессов как бесцельные, т.е. лишенные каких-либо целей, происходящие просто как бы сами по себе, как в неживой природе. Или, что то же самое, представить себе действия каждого из участников процессов как имеющие неопределенное и большое количество наперед неопределенных и неизвестных целей (неизвестных не только внешнему наблюдателю, но и самим этим участникам процессов).

3.6. Выделить (найти) в двух процессах совпадающие действия (механически совпадающие действия, без учета их «целей») двух элементов (эти элементы могут быть как одноименными, так и называться в двух процессах по-разному).

3.7. Слить друг с другом «механически» совпадающие действия, объединить два процесса через локальное слияние двух совпадающих действий в рамках этих процессов. Тем самым синтезировать «объединенный» процесс. Оценить общие положительные эффекты и факторы расплаты. Оценить, дает ли слияние совпадающих действий реальную экономию времени, энергии, усилий, экономию пространственного ресурса.

Примечание 1. Шаги 3.4.-3.7. могут быть применены и тогда, когда на предыдущих шагах Алгоритма не удалось найти решения проблемы; быть может поскольку существуют две модели протекания процесса и не ясно, какая из них лучше (обе имеют разные преимущества друг перед другом), т.е. имеются две альтернативные модели.

Примечание 2. Чтобы пояснить смысл и возможную выгоду шагов 3.4.-3.7., обратимся к небиологическому примеру. Представьте себе человека, который хочет найти одну тонкую и незаметную книгу в большом-пребольшом книжном шкафу, где ещё книги стоят на каждой из полок в 2 ряда (передний и задний). Для того, чтобы найти эту неприметную книгу с незаметным корешком, человеку быть может придется перебрать по одной книге добрую половину шкафа, а быть может и весь шкаф. Долгое и трудоемкое занятие. А теперь представьте себе, что человеку нужно найти 5 или 10 книг в этом шкафу. Разумеется, 5 или 10 книг будут найдены практически с такими же затратами времени и усилий, как и одна книга. Просто потому, что основные действия при поиске (взял, посмотрел, положил на место) совпадают для всех книг, отсюда и экономия. Биологические процессы также часто сводятся к поиску тех или иных состояний, пространственных конфигураций, межклеточных контактов и тому подобного. Поэтому оказывается, что если абстрагироваться от конкретной цели (типа «клетки А должны установить клеточный контакт С»), то в результате одного и того же поиска может быть одновременно найдено несколько целей, несколько функционально разных целей. Однако цели необязательно должны быть функционально разными, возможен и хороший положительный эффект при одновременном поиске однотипных целей, например, при одновременном поиске нескольких качественно разных мишеней одной и той же группой нейронов.

Примечание 3. Обычно получается, что живой объект мыслится в стиле, используемом при имеющейся практике проектирования технических устройств: объект А существует для выполнения функции «а», объект В – для выполнения функции «в», объект С – для решения задачи «с». Конструкция представляет собой набор из функционально отграниченных друг от друга блоков, блоков с четко выделенными функциями. В живой же природе оказывается, что i -й участник процесса А одновременно является j -м участником соседнего процесса В, что дает громадную экономию для обоих процессов, но крайне запутывает логическую структуру.

Примечание 4. При данном виде объединения вовсе не предполагается, что действие «А» выполняется в промежутке между действием «В», или же что одна группа клеток подразделяется на две подгруппы, одна из которых выполняет действие «А», а другая – «В». Предполагается, что одно и то же действие в равной мере вовлечено в два разных процесса А и В. Данное действие есть не только теоретически присущее обоим процессам общее действие, но есть физически общее действие, общее до такой степени, что его нельзя в большей мере отнести к одному процессу, чем к другому. Оно физически вовлечено в оба процесса в одно и то же время и в одном и том же месте (пространстве). Основные участники данного действия в рамках данного эпизода также в равной мере относятся к обоим процессам, хотя их дальнейшая судьба, равно как и предшествовавшая история, могут отличаться.

Высоцкий,
8 авг. 07 г.

Файл:
Vyssotski2004a.pdf

© *Evolocus*, 2007