

Ю. М. ГАСПАРЯН, Г. Р. ГУЛКАНЯН, Л. С. ГАМБАРЯН, М. Х. ДЖУЛЬФАЯН

## О НЕКОТОРЫХ БИОНИЧЕСКИХ АСПЕКТАХ САМООРАГНИЗАЦИИ

В последнее десятилетие внимание многих ученых привлекают проблемы, связанные с самоорганизацией [2—4]. Самоорганизация — это замечательное, но нераскрытое еще свойство живых организмов, обладающих уникальной способностью приспосабливаться к изменчивой внешней среде, совершенствовать свое поведение. В основе этих явлений лежат происходящие в живой системе внутренние целенаправленные перестройки.

В чем заключается эта целенаправленность? Вряд ли на этот вопрос можно дать исчерпывающий и однозначный ствет. Однако, если учесть, что самым характерным и универсальным признаком, присущим живому, является его энергетический обмен с внешней средой, то, по-видимому, в упрощенном случае будет удобнее подойти к этому вопросу с чисто энергетической точки зрения.

Активное взаимодействие живого с окружением и происходящие в живом организме внутренние перестройки невозможны без затрат содержащейся в организме свободной энергии. Свободная энергия в организме запасена как в молекулах, обладающих макроэргическими связями, так и в более сложных образованиях, где благодаря наличию высокоупорядоченных структур образований — мембран существуют концентрационные и электрические градиенты. Однако из-за непрерывных деструктивных явлений запасы свободной энергии неуклонно уменьшаются, и это уменьшение организм должен компенсировать поглощением необходимых питательных веществ из окружения.

*Таким образом, живой организм так строит свои взаимоотношения с внешней средой, чтобы с наибольшей достоверностью получать необходимое количество свободной энергии.*

В данной работе нами сделана попытка в упрощенном виде моделировать целенаправленное поведение организма. Ниже приводится алгоритм функционирования автомата, обучающегося извлекать максимальное среднее количество свободной энергии в вероятностной среде, и результаты реализации алгоритма на ЭВМ.

Предполагается, что автомат имеет  $n$  реакций  $R_i$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ), относительные вероятности появления которых соответственно равны

$$P_i \left( i = 1, 2, \dots, n; \sum_{i=1}^n P_i = 1 \right).$$

Распределение  $\{P_i\}$  определяется структурой автомата и может ме-

няться благодаря внутренним перестройкам. Каждой реакции соответствуют некоторые распределения вероятностей  $S_i(f)$  (с математическими ожиданиями  $\bar{f}$ ) получения количества энергии, равного  $f$ . Совокупность распределений  $S_i(f)$  или средних  $\bar{f}_i$  характеризует внешнюю среду.

Если после реагирования автомат получает количество энергии  $f$ , равное или превышающее некоторое пороговое значение  $f_v$ , то вероятность соответствующей реакции получает приращение  $\Delta P$ :

$$P_i^{(k)} = P_i^{(k-1)} + \Delta P \tag{1}$$

Вероятность других реакций падает соответственно условию нормировки.

Если же  $f < f_v$ , то вероятность соответствующей реакции уменьшается:

$$P_i^{(k)} = P_i^{(k-1)} - \Delta P$$

$P_i^{(k)}$  — значение вероятности  $i$ -ой реакции после  $k$ -го реагирования автомата. В этом случае тоже осуществляется нормировка.

Процесс обучения считается законченным, когда вероятность одной из реакций достигает значения 1. Обучение считается правильным, если 1 достигает значение вероятности той реакции, при которой  $\bar{f}$  — максимальное. В противном случае обучение считается неправильным.

Результаты реализации алгоритма на ЭВМ приведены в таблице. Для иллюстрации сказанного в заключение опишем одну гипотетическую биохимическую систему, функционирование которой имитирует вышеупомянутый алгоритм.

Таблица  
Результаты реализации алгоритма на ЭВМ

Количество обозначенных реакций	$f_1$	$f_2$	$f_3$	$f_4$	$f_5$	$f_6$	$f_7$	$f_8$	$f_9$	$f_{10}$	$f_v$	$\Delta P$	N	№ реакции
2	9,8	12,7	—	—	—	—	—	—	—	—	5	0,01	57	2
	9,8	12,7	—	—	—	—	—	—	—	—	10	0,05	31	2
	9,8	12,7	—	—	—	—	—	—	—	—	15	0,10	29	2
4	10,5	15,8	7,5	12,7	—	—	—	—	—	—	5	<0,01		
	10,5	15,8	7,5	12,7	—	—	—	—	—	—	10	0,01	233	2
	10,5	15,8	7,5	12,7	—	—	—	—	—	—	15	0,10	22	2
6	8,6	3,8	10,5	15,8	7,5	12,7	—	—	—	—	5	<0,01		
	8,6	3,8	10,5	15,8	7,5	12,7	—	—	—	—	10	0,01	336	4
	8,6	3,8	10,5	15,8	7,5	12,7	—	—	—	—	15	0,10	28	4
8	0,8	10,7	8,6	3,8	10,5	15,8	7,5	12,7	—	—	5	<0,01		
	0,8	10,7	8,6	3,8	10,5	15,8	7,5	12,7	—	—	10	0,01	336	6
	0,8	10,7	8,6	3,8	10,5	15,8	7,5	12,7	—	—	15	0,10	37	6
10	10,9	10,4	0,8	10,7	8,6	3,8	10,5	15,8	7,5	12,7	5	<0,01		
	10,9	10,4	0,8	10,7	8,6	3,8	10,5	15,8	—	—	10	0,01	353	8
	10,9	10,4	0,8	10,7	8,6	3,8	10,5	15,8	—	—	15	0,05	75	8

Система содержит некоторое количество свободной энергии. Предположим, что основная ее часть  $F$  хранится в «главном резервуаре». В

состав системы входят  $n$  подсистем, содержащих часть (сравнительно небольшую) запасов свободной энергии системы. В этих подсистемах формируются реакции системы; при рассмотрении простейшего случая каждой подсистеме мы приписываем определенную реакцию  $R$ .

Предположим, что свободная энергия подсистемы выделяется вследствие экзергонической реакции (или последовательности реакции), превращающей богатые энергией соединения типа  $A$  в бедные энергией соединения типа  $B$ ; это превращение мы символически будем обозначать  $A \rightarrow B$  (рис. 1).

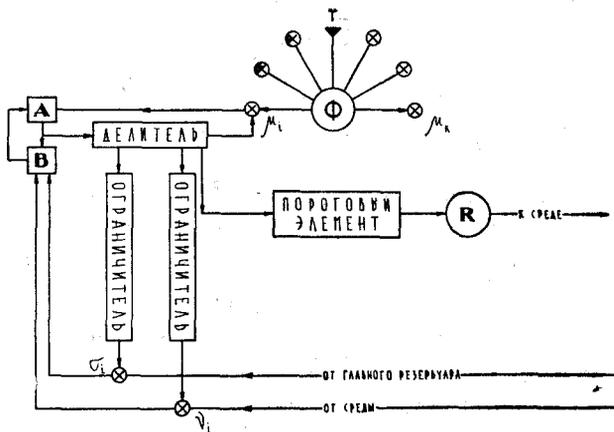


Рис. 1. Блок-схема подсистемы.

При этом часть выделяемой свободной энергии может быть модифицирована и израсходована на формирование реакций и на выполнение управляющих функций, о которых речь будет идти ниже.

Синтез молекул  $A$  осуществляется благодаря притоку свободной энергии, хранящейся, как мы условно назвали, в «главном резервуаре» системы. Примем, что существует механизм, благодаря которому приток свободной энергии из главного резервуара в данную подсистему зависит от числа переходов  $A \rightarrow B$  в единицу времени. Приток свободной энергии, благодаря которому осуществляется ресинтез  $A$ , растет с ростом скорости переходов  $A \rightarrow B$ . А это, в свою очередь, полностью компенсирует уменьшение числа молекул типа  $A$ . Таким образом, подсистема находится в состоянии динамического равновесия, при котором количество вещества  $A$  сохраняется на некотором уровне.

Однако, если подсистема подвергается воздействию ферментов, катализирующих превращение  $A \rightarrow B$ , то равновесие нарушается: происходит быстрый распад молекул  $A$ , не компенсирующийся ресинтезом. Если воздействие фермента достаточно продолжительно, то выделяемая энергия будет выше некоторого порога, и система осуществит реакцию, соответствующую данной подсистеме.

Мы предполагаем также наличие механизма, осуществляющего управление воздействием выделившегося фермента на подсистему. Мы принимаем, что существует некоторая вероятность того, что молекулы фермента попадут в  $i$ -тую подсистему и будут катализировать распад

молекул типа А, и что эта вероятность тем больше, чем больше скорость переходов  $A \rightarrow B$  (выделяемая при  $A \rightarrow B$  энергия каким-то образом модифицируется и уменьшает ингибацию фермента, если такая ингибация имеет место, или, скажем, повышает проницаемость мембран, препятствующих проникновению молекул фермента в подсистему и т. д.).

На схеме увеличение  $P_i$  изображено как увеличение проводимости  $\mu_i$  для молекул фермента, диффундирующих к месту реакции  $A \rightarrow B$ .

Теперь опишем действие системы. При появлении внешнего или внутреннего раздражения в точке Т появляется сигнал и выделяется фермент. Если проводимость  $\mu_i$  выше остальных (а это имеет место, если число молекул типа А и, следовательно, число переходов  $A \rightarrow B$  в  $i$ -той подсистеме наибольшее), то молекулы фермента с большей вероятностью достигают места реакции  $A \rightarrow B$  в  $i$ -той подсистеме. Вследствие этого скорость  $A \rightarrow B$  увеличивается, увеличивается и проводимость  $\mu_i$  — создается положительная обратная связь, приводящая к тому, что выделяется часть энергии подсистемы, достаточная для осуществления реакции  $R_i$ . При этом возникновение положительной обратной связи через другие подсистемы маловероятно, так как молекулы фермента в основном диффундируют к  $\mu_i$  (кроме того, фермент непрерывно подвергается гидролизу).

При совершении действия  $R_i$  система от внешней среды получает некоторое количество свободной энергии  $f_i$  соответствующее  $R_i$ .

Основная часть  $f_i$  идет на наполнение главного резервуара, а ее некоторая часть — на «перезарядку» подсистем, т. е. на синтез молекул типа А. Здесь мы предполагаем, что энергия, выделяемая при  $A \rightarrow B$ , тратится еще на одну управляющую функцию: эта энергия управляет (при помощи увеличения проводимости  $\mu_i$ ) также величиной той части энергии  $f_i$ , которая пойдет на «перезарядку» именно данной подсистемы. Таким образом,  $i$ -тая подсистема, где возникла реакция, получит значительно больше свободной энергии, чем все остальные. Если эта энергия будет достаточна для «перезарядки»  $i$ -той подсистемы до прежнего (или выше прежнего) уровня, то при появлении сигнала в точке Т наиболее вероятной вновь будет реакция  $R_i$ . Энергия перезарядки возможно недостаточна для достижения прежнего уровня, тогда вероятность реакции падает, следовательно, растет вероятность других реакций.

Если каждой реакции приписывать некоторое распределение вероятностей величины получаемой свободной энергии  $S_i(f)$ , то тенденция к увеличению будет иметь вероятность той реакции, которой соответствует наиболее высокое среднее значение  $f_i$ . При изменении среды (т. е. при изменении  $(S_i(f))$  система совершает внутреннюю перестройку: постепенно перераспределяет свободную энергию в разных подсистемах, что опять приводит к нахождению наилучшей реакции.

Как нам кажется, данная система может служить упрощенной моделью для иллюстрации одного из возможных механизмов функционирования акцептора действия по А. К. Анохину [1].

Действительно, после осуществления реакции в системе автоматически создается аппарат сопоставления и контроля, приводящего к тому, что после достижения результата—получения энергии (аналог обратной афферентации)—в зависимости от ее количества данная реакция либо прекращается, либо, наоборот, продолжается до получения предусмотренного в акцепторе количества энергии.

В результате, система выбирает наилучшую реакцию, т. е. мы имеем упрощенный аналог, и животное, благодаря наличию аппарата акцептора действия, выбирает целесообразные акты поведения.

Лаборатория нейробионики  
АН Армянской ССР

Поступило 22.VII 1968 г.

Յու. Մ. ԳԱՍՊԱՐՅԱՆ, Գ. Ր. ԳՈՒԼԿԱՆՅԱՆ, Լ. Ս. ԳԱՄԲԱՐՅԱՆ, Մ. Խ. ԶՈՒԼԳՅԱՆ

### ԻՆՔՆԱԿԱԶՄԱԿԵՐՊՄԱՆ ՄԻ ՔԱՆԻ ԲԻՈՆԵԿԱԿԱՆ ՀԱՐՑԵՐ

*Առաջարկվում է էներգետիկ մոտեցում ինքնակազմակերպման պրոբլեմի ուսումնասիրմանը: Բերվում է ինքնակազմակերպվող սիստեմի աշխատանքի միջնաշրջանի ակտիվիթի:*

### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Анохин П. К. Биология и нейрофизиология условного рефлекса. Изд. «Медицина», М., 1968.
2. Паск Г. А. Самоорганизующиеся системы. Изд. «Мир», М., 1964.
3. Цопф Г. В. Принципы самоорганизации. Изд. «Мир», М., 1966.
4. Эшби У. Р. Принципы самоорганизации. Изд. «Мир», М., 1966.