УДК 612.821

Гучук Владимир Всеволодович
кандидат технических наук
Институт проблем управления РАН
г. Москва, Россия

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ЛИНЕЙНОЙ СТАНОВЯЩЕЙСЯ ПОЛНОКОНТЕКСТНОЙ МОДЕЛИ ИЕРАРХИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Аннотация: В статье аализируются особенности формализации простейших вариантов иерархических структур с использованием двух типов структур и рассматриваются наиболее общие правила их функционирования.

Ключевые слова: иерархия, иерархические структуры, идентификация, объектный уровень, метауровень, линейная цепь.

Иерархичность структуры, как правило, является одной из основных особенностей сложных систем, при моделировании которых важными являются технологические приемы образования иерархических структур или их фрагментов из исходных элементов, которые целесообразно использовать как базисные при построении моделей. Одним из простейших фрагментов иерархической структуры является связка из двух соседних уровней иерархии, для которой введены и проработаны понятия агрегирования, координации, декомпозиции и пр., достаточно полно характеризующие состояние моделируемого объекта. Ближайшим примером более развернутой структуры является линейная цепь - многоуровневая иерархическая структура, содержащая на каждом уровне по одному образованию из соответствующих однородных элементов [1]. Для ее анализа можно привлечь те же средства, что и при работе со связкой. В методологическом плане эти средства анализа следует предварять сформулированными в явном виде наиболее общими закономерностями функционирования изучаемых структур. Общими законами динамического функционирования линейной цепи можно считать алгоритмические правила, рассматривающие ее как становящуюся последовательность [2]. Для описания правил такого типа на рис. 1 приведены иллюстрации. Символом “О” обозначены образования из однородных элементов. Индекс оправа внизу - номер уровня; число штрихов справа вверху - число модификаций, или единичных изменений, после начального формирования уровня в процессе эволюции, в частности вызывающейся управляемыми воздействиями. Под модификацией, например, можно понимать добавление в образование О еще одного элемента данного уровня или осуществление единичного воздействия на данный уровень.

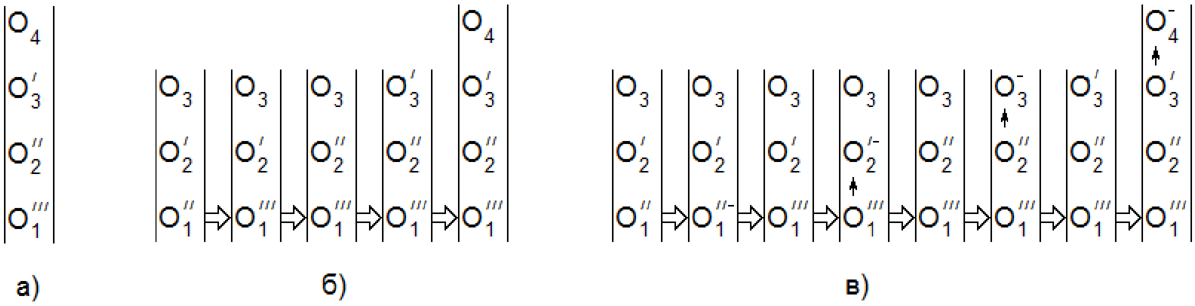

Рис.1. Функционирование линейной цепи.

Пусть k - номер уровня (k = 1, 2,...), m - min k, M - max k, l – число модификаций (l = 0,1,..), l_k - число модификаций k-го уровня, и если j–ый уровень еще не задействован (или не сформирован для развивающихся объектов) l_j = -1. Тогда для правильно построенной конечной линейной цепи, находящейся в уравновешенном состоянии (динамическое равновесие):

$$l_M = 0, \tag{1.1}$$

$$\forall k\ (l_k - l_{k+1} = 1), \quad m \leq k \leq M. \tag{1.2}$$

Условие (1.1.) говорит о том, что необходимо учитывать все те уровни иерархии, которые откликаются на управляющие воздействия вплоть до уровня M, остающегося в исходном состоянии. Условие (1.2) порождено самой сутью иерархического построения объектов и распространяет эту суть на сам процесс управления (разные уровни объекта требуют различной частоты обращения к ним - воздействия на верхние этажи более действенны).

Подобное динамическое равновесие иллюстрирует рис. 1а.

Пусть Δ - оператор модификации ($\Delta O_k^l = O_k^{l+1}$), n - номер шага "квантованной" динамики объекта управления [9], или номер итерации процесса управления, R - некоторое произвольное состояние цепи, а R_j - j–ое уравновешенное (очередное) динамическое состояние, для которого $M = j - \underline{m} + 1$. Тогда для регулярного однонаправленного и неограниченного роста цепи, в результате которого в сферу управления включаются все более высокие уровни иерархии (рис. 1б):

$$\Delta R_j \equiv \Delta O_{\mathrm{m}}^l, \tag{2.1}$$

$$(\Delta O_k^l)_n \rightarrow (\Delta O_{k+1}^l)_{n+1}, \tag{2.2}$$

$$((M \in R_j) \cap (\Delta O_M^l \rightarrow R)_n) \rightarrow ((\Delta R)_{n+1} \rightarrow R_{j+1}). \tag{2.3}$$

Условие (2.1) ограждает объект управления, находящийся в уравновешенном состоянии, от неоправданно больших возмущений, а очередность управляющих воздействий по уровням устанавливает (2,2). Условие (2.3) говорит о необходимости включать в рассмотрение более высокий уровень иерархии, если управление затронуло все нижележащие уровни.

Из рис. 1б, демонстрирующего действие правил (2.1 - 2.3), видно, что на каждом шаге работа производится лишь с одним уровнем иерархии. Однако вполне реальна ситуация, когда на воздействие, относящееся к некоторому уровню объекта управления, реагирует и вышележащий уровень. Для иллюстрации такого рода размытости можно привлечь технологический прием, применимый к различным вариантам роста линейной цепи. Он заключается в расслоении шага "квантованного" движения [9] на два полушага - прием широко используемый в сложных технических системах (два полутакта в в потенциальных структурах [10]). При расслоении шага более наглядно прослеживается взаимодействие уровней иерархии, более убедительна сама процедура роста линейной цепи.

Обозначим горизонтальной черточкой у верхнего индекса О еще не использующуюся в цепи, но уже сформированную модификацию уровня. Тогда регулярный однонаправленный рост будет протекать согласно рис. 1в, на которой представлен фрагмент динамики цепи. Формирование модификации некоторого уровня здесь осуществляется за два полушага, однако число шагов, приводящее к определенному состоянию всей цепи, такое же, как и на рис. 1,6. Это достигается за счет временного наложения полушагов для соседних уровней.

Еще одним существенным фактором, влияющим на построение иерархических моделей, является наличие ограничений. Для реальных объектов управления всегда известно лишь ограниченное число иерархических уровней. Возможности самих биотехнических систем управления также предопределяют весьма конечное число этих уровней. Поэтому необходимо использовать скорректированные правила:

$$l_M = \min_k l_k\,,\ m \le k \le M \text{ вместо (1.1)}, \tag{3.1}$$

$$(k<M) \rightarrow ((\Delta O_k^l)_n \rightarrow (\Delta O_{k+1}^l)_{n+1}) \text{ вместо (2.2)}, \tag{3.4}$$

$$(\Delta \mathrm{R}_j)_n \rightarrow ((\Delta O_M^l)_{n+M-m} \rightarrow \mathrm{R}_{j+1}) \text{ вместо (2.3)} \tag{3.5}$$

и правила (3.2)≡(1.2), (3.3)≡(2.1).

Как и в случае любых линейных систем, ограничения сказываются на работе лишь у границ системы, что и демонстрируют правила (3.1 - 3.5).

Более сложными и многовариантными являются алгоритмические законы функционирования линейной цепи в случав ее двунаправленной динамики, когда наряду с процессами, определяемыми управляющей программой (согласно правилам 3.3 - 3.5), приводящим к состоянию очередного динамического равновесия 3.1 - 3.2, действует коррекция параметров структуры, вызываемая активностью доминанты [7], т.е. внутренними факторами функционирования объекта.

Наличие второй движущей силы также предопределяет ограниченный характер роста линейной цепи. При этом наивысший уровень иерархии должен быть релевантен операциональным единицам доминанты. Текущие цели внутреннего движения - динамические равновесия, обратные (3.1) и (3.2), т.е.

$$l_m = \min_k l_k\,,\ m \le k \le M, \tag{4.1}$$

$$\forall k\ (l_{k+1} - l_k = 1),\ \ m \le k \le M. \tag{4.2}$$

Соответствующим образом для второй составляющей должны измениться и правила (3.5 - 3.5), а характер согласования двух противонаправленных законов движения (например, развязка их во времени путем задержки управляющих воздействий) должен определяться конкретно очерченной задачей моделирования или управления. Результирующей целью в этом случае может явиться условие

$$\forall k\ (l_k = l_{k+1}),\ \ m \le k \le M, \tag{5.1}$$

уравновешивающее влияние двух противонаправленных сил.

Наряду с такими воздействиями на реальные процессы, происходящие в объекте управления, накладываются случайные влияния. Поэтому объект может приходить в состояние, не порождаемое вышеприведенными законами регулярной динамики линейной цепи (и на которое не распространяется действие этих законов).

В этом случае необходимо дополнять правила роста правилами регуляризации роста. При ориентировании на условия (3.2) или (4.2) регуляризация может осуществляться следующим образом:

$$((\Delta \mathrm{R})_n \cap \exists k\,(|l_k - l_{k+1}| > 2)) \rightarrow ((|l_r - l_{r+1}| = \max_k |l_k - l_{k+1}|) \rightarrow (\Delta O_{r+1}^l)_{n+1}). \tag{6.1}$$

Правило (6.1) определяет тактику ликвидации существенно неравномерного обращения к различным уровням иерархии относительно установленного условием динамического равновесия.

Конечно, специфика управления состоянием и поведением живых организмов может потребовать более подвижных критериев, нежели, например, (3.1) и (3.2). В частности, известно [11], что при интенсивной работе нижние уровни иерархии приходят в насыщение, после чего следует использовать оператор модификации лишь на остальных уровнях, а в (1.1), (1.2) и др. соответственно увеличивать параметр m. Кроме того, каждый конкретный объект управления (в данном случае живой организм) обладает индивидуальными характеристиками и, следовательно, необходима подстройка под него правил типа (3.2). Вообще же универсальная биотехническая система должна быть адаптивной, т.е. должна использовать регуляризацию (6.1), ориентируясь на вырабатываемые в процессе эксплуатации текущие условия динамического равновесия. Такие условия целесообразно получать на основе содержательного анализа состояния объекта и фиксации в качестве эталонной текущей частоты обращения к разным уровням иерархии.

Структура типа линейной цепи с перечисленными правилами ее функционирования открывает достаточно широкие возможности моделирования структурной динамики процесса управления состоянием и поведением живых организмов с общих позиций. Более глубокое изучение сложных процессов, целью которого является описание и объяснение внутренних механизмов динамики объектов управления, связано с дальнейшей экспликацией иерархической структуры, с использованием понятия метауровня и с привлечением аппарата метатеоретического анализа [12].

Простейшим примером структуры, качественно отличающейся от линейной цепи, является двумерная структура - связка из двух соседних уровней и межуровнего образования (соответственно O_1, O_2 и $O_{1,2}$ на рис. 2а. Межуровневое образование $O_{1,2}$, которое будем называть эпигулятором (известно также название "кодовая система" [13]) включает в себя все то, что неявно фигурировало и при работе с линейной цепью, а именно – правила взаимодействия между двумя соседними уровнями, интерпретационные правила проецирования элементов нижнего уровня и связей между ними внутрь верхнего уровня и т.п., т.е. некоторую часть общих или локальных правил функционирования иерархической структуры, которые ранее были внешними по отношению к ней.

Представление всего комплекса межуровневых отношений в явном виде и в связи с этим их формализация заставляет сам анализ иерархических структур подниматься на более высокую ступень. В него включаются новые внешние правила, регулирующие динамику структур, в частности, динамику межуровневых образований, т.е. метаправила - "правила функционирования правил функционирования". При этом заметно возрастает число вариантов алгоритмизации процессов, происходящих в иерархических структурах, что в свою очередь позволяет более гибко и полно моделировать реальные процессы.

Уже для простейшей двумерной структуры, изображенной на рис. 2а можно предложить различные варианты правил ее роста, аналогичных вышеприведенным зависимостям.

В одном полярном случае O_1 и O_2 можно считать частью линейной цепи, для которой справедливы соотношения (1.1 – 1.2) и т.п. Что касается эпигулятора $O_{1,2}$, то для него (и для других эпигуляторов при разрастании структуры) следует установить свои, не связанные непосредственно с O_1 и O_2 соотношения.

В другом полярном случае все три образования связываются единой алгоритмической зависимостью и для равновесного состояния устанавливается:

$$l_1 = l_2 + 1 = l_{1,2} + 2. \qquad (7.1)$$

Выбор из неформальных соображений этих или промежуточных вариантов предопределяет алгоритмические законы функционирования структур, построенных на основе исходной двумерной простейшей схемы.

На рис. 2б показана структура, относящаяся к первому полярному случаю. Левая вертикаль из образований соответствующих уровней - линейная цепь. Правая - также линейная цепь, но из эпигуляторов, для которых числу модификаций соответствует число нолей справа вверху от символа, обозначающего межуровневое образование. Для второй линейной цепи соответствующие законы функционирования аналогичны ранее приведенным, а правила связи между соотношениями для каждой из линейных цепей - это и будут те новые внешние правила, о которых упоминалось выше.

На рис. 2в приведен пример, относящийся к другому полярному варианту. Здесь индексы модификации одинаковы для всех образований, что подчеркивает однотипность образований относительно процесса (оператора) модификации.

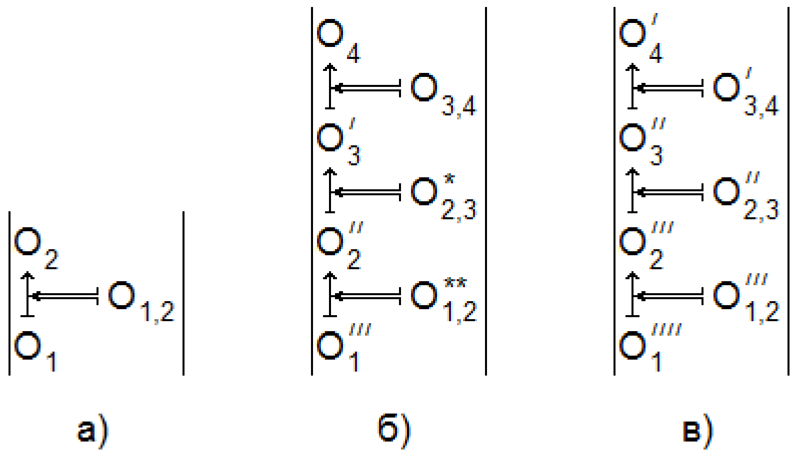

Рис.2.Линейные цепи с эпигуляторами.

Распространяя (7.1) на различные уровни, получим

$$l_i = l_{i+1} + 1 = l_{i,\, i+1} + 2, \qquad (8.1)$$

откуда

$$l_{i+2} = l_{i,\, i+1}\ . \qquad (8.2)$$

Т.е. условия равновесия для разросшейся структуры в этом варианте однозначно определяется из исходного условия (7.1). Учитывая разнообразие вышеприведенных критериев динамического равновесия для линейной цепи - (3.1 - 3.2) и др., можно получить соответствующие различные условия и для двумерной структуры. Что касается описания процесса эволюционирования к состоянию очередного уравновешенного положения, то по технологическим соображениям удобно использовать расслоение шага, описанное выше. Пример последовательности применения оператора модификации показан на рис. 3, на котором расслоение шага использовано лишь в определенные моменты развития структуры.

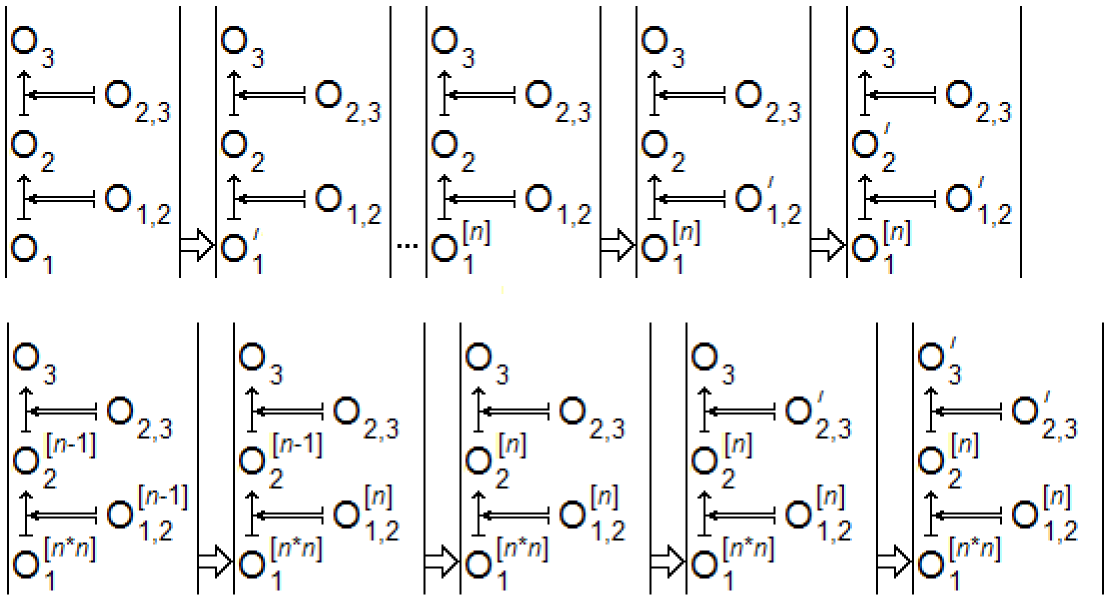

Рис.3. Функционирование линейной цепи с эпигуляторами.

По поводу двумерных структур следует сделать два замечания. Во-первых, при полном использовании идеи двухмерности можно добавить эпигуляторы для эпигуляторов, т.е. включить структуру меж-межуровневые образования. Пример структуры такого рода изображен на рис. 4. На рис. 4а приведены развернутые индексы уровней для меж-межуровневых образований, на рис. 4б индексация приведена в сокращенной записи, которая более удобна и не порождает двусмысленности. В полной двумерной структуре единственное правое образование имеет индексы m и M (см. выше), во второй справа вертикали – индексы m, M - 1 и m +1, M и т.д.

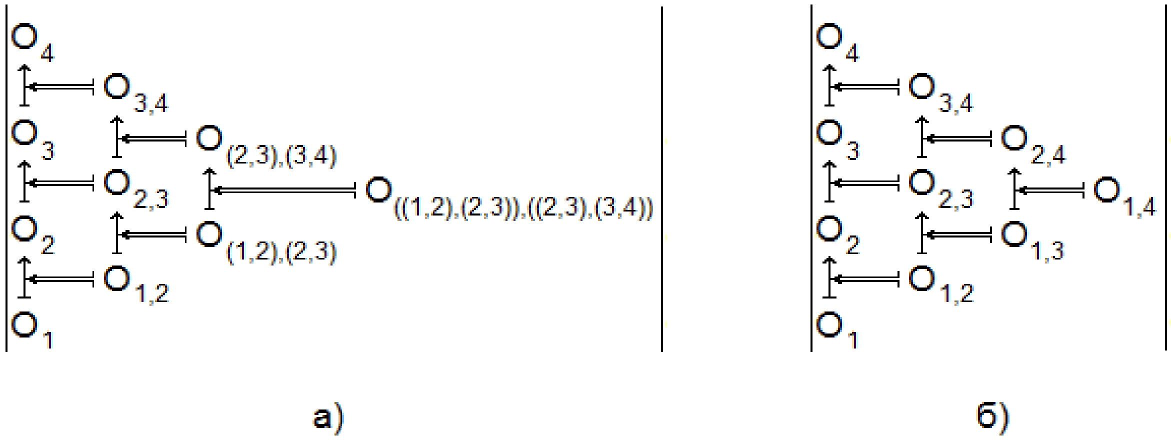

Рис.4. Линейная цепь с полным набором эпигуляторов.

Во-вторых, при моделировании процесса управления иерархическим объектом лишь самая левая вертикаль имеет непосредственную интерпретацию в терминах внешних проявлений результатов управления. Интерпретация же межуровневых образований требует более глубокого изучения объекта управления.

Формализация иерархического структурного подхода к моделированию процесса управления поведением и состоянием живых организмов в свою очередь требует привлечения разнообразных приемов и средств (см., например, [14]), рассмотрение которых выходит за рамки одной статьи, посвященной описанию структур лишь двух типов и рассмотрению наиболее общих правил их функционирования.

Список литературы:

1. Суходольский Г.В. Анализ и синтез равновесных структур. - В кн. Психология и математика.- М.: Наука,1976, 140-162 с.

2. Guchuk V.V. Application of algorithms of objectifying expert clustering of Multiparameter objects in the analysis of big arrays of information // Advances in Systems Science and Applications. 2018. Vol 18 No 1. P. 102-109.

3. Судаков К.В. Системное квантование поведения. - Успехи физиологических наук,1983, т. 14, № 1, 3-26 с.

4. Симонов П.В. Взаимодействие доминанты и условного рефлекса как функциональная единица организации поведения.-Успехи физиологических наук, 1983, т. 14, № 3, 14-23 с.

5. Александров Ю.И., Гринченко Ю.В. Иерархическая организация поведенческого акта.-В кн.: Системные аспекты нейрофизиологии поведения.- М.: Наука,1979, 140-162 с.

6. Карри Х. Основания математической логики.- М.: Мир,1969, 568 с.

7. Тондл Л. Проблемы семантики.- М.- Прогресс,1975, 484 с.

8. Scholz C. The architecture of hierarchy.- Kybernetes, 1982, No 3, 175 - 18I p.