УДК 004.891

И.В. Шостак

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков

КОЛИЧЕСТВЕННОЕ ОЦЕНИВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ТИПОВЫХ БЛОКОВ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В СОСТАВЕ ИНТЕГРИРОВАННОЙ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ

Рассмотрена задача определения статуса отдельных центров принятия решений, представленных в виде точек дискретного информационного пространства, в рамках общей проблемы синтеза интегрированных систем поддержки принятия решений в иерархических структурах управления сложными организационно-техническими объектами. Предложены количественные оценки ранга любого из типовых блоков принятия решений в составе интегрированной системы по следующему набору стратификационных признаков: иерархический статус; радиус полномочий; объем полномочий.

Ключевые слова: *поддержка принятия решений, экспертная система, иерархия, типовой блок принятия решений, стратификационный признак, иерархический ранг.*

Введение

С семидесятых годов прошлого столетия до настоящего времени наиболее обоснованным методологическим подходом к синтезу систем управления сложными организационно-техническими объектами (СОТО) является создание иерархических многоуровневых структур (ИМС) [1]. Продуктивность иерархического подхода состоит прежде всего в том, что для крупномасштабных многосвязных объектов со смешанной природой, какими являются СОТО, он дает возможность синтезировать многоцелевые системы принятия решений, в которых задача управления большой размерности представлена в виде иерархии более простых, локальных подзадач, скоординированных между собой. На определенном этапе развития ИМС в их состав, помимо традиционных центров обработки информации, созданных с использованием аналитических моделей, начали включать экспертные системы поддержки принятия решений (ЭСППР) [2]. Применение ЭСППР в задачах управления СОТО обусловлена устойчивой тенденцией к их усложнению, которая проявляется в опережающем возрастании сложности взаимосвязей между элементами объекта по сравнению с количеством этих взаимосвязей и количеством элементов в составе СОТО. Указанная тенденция в развитии СОТО, а также необходимость применения ЭСППР для управления ими, на современном этапе привела к невозможности обеспечения необходимой эффективности функционирования сложных объектов за счет использования только традиционных, аналитических моделей и методов координации, известных в теории ИМС. Таким образом, имеет место проблема создания единого информационного пространства в рамках сложного, топологически распределенного объекта принятия решений, где иерархически объединенные между собой ЭСППР образовали бы своеобразную среду для размещения в ней традиционных элементов ИМС [3].

Целью данной статьи является определение набора количественных характеристик положения типового блока принятия решений, представленного в форме ЭСППР, в иерархической многоуровневой структуре управления сложным организационно-техническим объектом.

Основная часть

Вопрос стратификации всегда подразумевает определение признаков, отличающих отдельные элементы или группы элементов, входящих в состав рассматриваемого объекта [1]. Используем для нумерации этих признаков индекс i, принимающий значения 1, 2, ..., M; тем самым мы вводим в рассмотрение M признаков неравенства между типовыми блоками принятия решений (БПР) в составе ИЭСППР [3]. Теперь необходимо решить, какое множество значений может принимать каждый признак неравенства i = 1, 2, ..., M и как разделить это множество на слои. Наиболее общим и удобным для теоретического рассмотрения является предположение о том, что признак неравенства может принимать любое действительное значение. Следующим вопросом является определение порядка ранжирования выделенных слоев принятия решений.

Обозначим через X множество БПР, входящих в состав ИЭСППР. Назовем стратификацией по i-му признаку S_i упорядоченное разбиение множества X на подмножества (слои) $L_1^i, L_2^i, \ldots, L_{mi}^i$ такое, что любые два слоя разбиения не пересекаются, а объединение всех слоев дает множество X (m_i - число слоев в разбиении S_i, i = 1, 2, ..., M, где M – общее число признаков стратификации). Упорядоченность

© И.В. Шостак

разбиения S_i означает, что нумерация слоев в нем определяется однозначно. Номер слоя, к которому принадлежит БПР x из множества X в стратификации S_i, естественно назвать его иерархическим рангом по признаку i. Набор рангов по всем стратификационным признакам определяет позицию в иерархии соответствующего БПР.

Поскольку стратификационные признаки могут принимать любые действительные значения; тогда позиция БПР x становится точкой обычного числового пространства R, размерность которого равна числу стратификационных признаков:

$$x = (x_1, x_2, \ldots, x_M) \in R^M, \qquad (1)$$

где x_i – иерархический ранг БПР по признаку i, i = 1, 2, …, M.

В такой модели стратификация S_i представляет собой упорядоченное разбиение числовой оси:

$$S_i = \left(-\infty, x_1^i\right] \cup \left(x_1^i, x_2^i\right] \cup \ldots \cup \left(x_{mi}^i, \infty\right). \qquad (2)$$

В этой модели стратификационный слой естественно считать интервальной величиной, т.о. называть стратификационным слоем по признак i интервал из формулы (2).

Представленная выше концепция информационного пространства, допускает двоякую трактовку. С одной стороны, можно непосредственно задать стратификацию как разбиение множества центров принятия решений на слои принятия решений по некоторому признаку; номер слоя служит иерархическим рангом БПР в смысле соответствующею признака, набор рангов образует позицию БПР в ИЭСППР, а набор всех позиций составляет множество, которое естественно назвать дискретным информационным пространством. С другой стороны, можно исходить из наличия многомерного числового пространства, оси которого отвечают стратификационным признакам; тогда позиция БПР определяется как точка (вектор) многомерного числового пространства, называемого непрерывным информационным пространством. Компоненты позиции (проекции вектора на стратификационные оси) суть иерархические ранги. Разбиение (2) задает набор слоев по признаку i следующим образом: все позиции, i-я компонента которых (иерархический ранг) попадает в интервал, $\left(x_{j-1}, x_j\right]$ принадлежат слою принятия решений L_j по признаку i.

Приняв изложенную концепцию информационного пространства, мы полностью отождествляем в рамках модели типовой БПР с его модельным образом - позицией в этом пространстве. Предложенный подход к построению модели информационного пространства дает возможность в процессе анализа исходить из первичности БПР (точки) и определять информационное пространство (ИЭСППР) как совокупность всех возможных точек, а можно признавать наличие информационного пространства (ИЭСППР) и рассматривать различные точки (БПР), существующие в этом пространстве: получаемые при этом результаты будут инвариантными.

Дадим более детальную характеристику областей дискретного информационного пространства, опираясь на аналитическую трактовку понятия группы БПР в этом пространстве.

Элементарная группа БПР по i-му признаку - это множество позиций, имеющих одинаковый иерархический ранг j по этому признаку:

$$C\left(i^j\right) = \left\{x \in X : x_i = j\right\}. \qquad (3)$$

Составная группа БПР по признакам $i_1, \ldots, i_k$ это множество позиций, имеющих одинаковые иерархические ранги $j_1, \ldots, j_k$ по указанным признакам:

$$C\left(i_1^{j1}, \ldots, i_k^{jk}\right) = \left\{x \in X : x_{i1} = j_1, \ldots, x_{ik} = j_k\right\}. \qquad (4)$$

Из определения (4) следует, что полностью однородная группа, т.е. $C\left(i_1^{j1}, \ldots, i_M^{jM}\right)$ представляет собой единственную позицию (j_1, … , i_M). Таким образом, множество БПР, неразличимых по всем стратификационным признакам, отображается точкой (конечно, в смысле интервального определения) в модели дискретного информационного пространства. Элементарная группа БПР также является частным случаем составной группы, так как формула (3) получается из (4) при k = 1.

Дадим ряд определений для дискретного информационного пространства.

Высший уровень иерархии ИЭСППР по признакам i_1, … , i_k – это множество позиций БПР, имеющих наивысшие иерархические ранги по всем указанным признакам:

$$C\left(i_1, \ldots, i_k\right) = \left\{x \in X : x_{i1} = m_{i1}, \ldots, x_{ik} = m_k\right\}. \qquad (5)$$

Соответственно, низший уровень иерархии ИЭСППР по признакам i_1, … , i_k – это множество позиций БПР, имеющих самые низкие ранги по этим признакам:

$$C\left(i_1, \ldots, i_k\right) = \left\{x \in X : x_{i1} = \ldots = x_{ik} = 1\right\}. \qquad (6)$$

В качестве признаков i_1, …, i_k выберем три признака стратификации: когнитивный, эпистемологический и онтологический [4].

Введем понятие статусной несовместимости следующим образом: статусная несовместимость имеет место для позиции БПР $x \in X$, если найдутся такие признаки i, j = 1, 2, ..., M, что $x_i = 1$, $x_j = m_j$.

Слоем принятия решений по признаку i в модели информационного пространства ИЭСППР назовем множество позиций БПР $E^i\left(x_j^i\right) = \left\{x \in X : x_j^i < x_i < x_{j+1}^i\right\}$, иерархический ранг которых по i-му признаку равен j; таким образом, число возможных слоев принятия решений по каждому стратификационному признаку равно числу

слоев в соответствующей стратификации.

Социальная позиция представляет собой точку (вектор) на плоскости: в концентрированном виде социальная позиция характеризует полномочия, которыми располагает в иформационном пространстве ИЭСППР занимающий эту позицию агент (БПР). В дальнейшем будем иногда отождествлять позицию и занимающего ее агента, помня о действительном различии этих понятий. Поскольку непосредственное использование векторных переменных в ряде случаев затруднено (например, нельзя сравнивать векторы), для более детального анализа представляется целесообразным ввести числовые (скалярные) характеристики позиции БПР. В своей совокупности эти характеристики содержат информацию о внутренних свойствах позиции; анализ относительных свойств позиции требует рассмотрения метрики в информационном пространстве. Первая из таких характеристик – длина проекции позиции БПР на одну из координатных осей, соответствующих полям информационного пространства. Таким образом, позиция БПР как точка на плоскости P = (x , y) имеет координаты x и y (компоненты вектора), по отдельности характеризующие влияние агента в соответствующих полях.

Иерархический статус – потенциал полномочий, приписываемый позиции с учетом экспертных оценок величины полномочий в отдельных полях. Определим его формулой

$$S = k_x x + k_y y\,, \qquad (7)$$

где S – величина иерархического статуса для позиции (x, y); k_x, k_y – относительные веса компонент x, y соответственно. Будем считать, что $k_x > 0$, $k_y \geq 0$, $k_x + k_y = 1$. Компоненты $k_x + k_y$ суть экспертные оценки приписываемого позиции потенциала полномочий.

Радиус полномочий – длина вектора позиции БПР, т.е.

$$l = \left(x^2 + y^2\right)^{\frac{1}{2}}, \qquad (8)$$

где x, y – компоненты рассматриваемой позиции БПР.

Объем полномочий для любой позиции БПР определяется по формуле $q = xy$, где x, y – компоненты позиции.

Радиус полномочий характеризует «специализированность» позиции БПР: его величина тем больше, чем более выражен иерархический статус агента (БПР) в некотором поле по сравнению с остальными полями. Объем полномочий, напротив, является характеристикой «устойчивости» позиции БПР: он велик для тех позиций, иерархический статус носителей которых равномерно распределен в различных полях.

Зафиксируем последовательно одну из введенных характеристик s, *l*, q и выясним, какие значения могут принимать при этом две другие переменные. Эта задача естественно приводит к определению следующих множеств на плоскости:

– изостата уровня C, т.е. множество $S_c = \{P : s = C\}$;

– изонорма уровня C, т.е. множество $L_c = \{P : l = C\}$;

– изохора уровня C, т.е. множество $Q_c = \{P : q = C\}$.

Таким образом, все принадлежащие изостате позиции БПР имеют одинаковый иерархический статус, равный некоторому заданному числу C; соответственно, точки изонормы (изохоры) имеют одинаковый радиус (объем) полномочий. Очевидно, геометрическими образами изостаты, изонормы и изохоры на плоскости служат прямая, окружность и гипербола соответственно.

Анализ изостаты, изохоры и изонормы достаточно провести для первого квадранта; результаты же для остальных квадрантов легко получить с учетом симметрии.

Для конкретного слоя принятия решений с одноранговыми признаками изостата есть множество разных (но горизонтально сопоставимых) позиций БПР, соответствующих одному и тому же объему полномочий.

Графическое моделирование подобных элементов статусной диспозиции наглядно демонстрирует следующее свойство многофакторной стратификации: из любых двух агентов (БПР) x^1 и x^2, обладающих примерно равными объемами полномочий, распределенными в «разных полях» (т.е. одноуровневыми позициями, что и отражает изостата), тот, который равномерно «активирован» в каждом своем поле (x^1), оказывается «маломощным» по отношению к агенту со значительно более высоким иерархическим рангом только по одному «полю» (x^2).

Введем позиции БПР:

$$P^x = \left(\frac{C}{k_x}, 0\right);\ P^y = \left(0, \frac{C}{k_y}\right);\ P^{cp} = \left(\frac{C}{2k_x}, \frac{C}{2k_y}\right).$$

Тогда для всех точек изостаты уровня C имеют место следующие оценки:

во-первых на интервале $l_{cp} \leq l \leq l_{max}$, где значение $l_{cp} = \dfrac{C\left(k_x^2 + k_y^2\right)^{1/2}}{2k_x k_y}$ достигается на векторе P^{cp}, а значение

$$l_{max} = \begin{cases} \dfrac{C}{k_x},\ k_x < k_y \text{ (достигается на векторе } P^x\text{)}; \\ \dfrac{C}{k_y},\ k_x > k_y \text{ (достигается на векторе } P^y\text{)}; \end{cases}$$

во-вторых, на интервале $0 \le q \le q_{cp}$, где значение q = 0 достигается на векторах P^x и P^y, а значение $q_{cp} = \dfrac{C^2}{4k_x k_y}$ – на векторе P^{cp}.

Интерпретация описанных результатов с позиций единого информационного пространства ИЭСППР выглядит следующим образом. Среди всех позиций БПР с одинаковым иерархическим статусом $P \in S_c$:

– наибольший радиус полномочий соответствует позиции, имеющей максимальную проекцию в поле с меньшим относительным весом (P^x, если $k_x < k_y$, и P^y, если $k_x > k_y$);

– наименьший радиус полномочий соответствует позиции, имеющей средние проекции в каждом поле с учетом относительных весов полей (P^{cp});

– этой же позиции соответствует наибольший объем полномочий;

– наименьший (нулевой) объем полномочий соответствует позициям, имеющим максимальную проекцию в одном поле и нулевую в другом (P^x, P^y).

Для третьего квадранта результаты полностью аналогичны. Для второго и четвертого квадрантов сохраняется смысл утверждений относительно радиуса полномочий (он всегда неотрицателен), а вот объем полномочий теперь неположителен, и поэтому максимальным становится его нулевое значение (присущее позициям с нулевыми проекциями в одном поле и максимальными по модулю в другом), а минимальным – значение q_{cp}, достигаемое на позиции со «средневзвешенными» проекциями. Обратимся к анализу изонормы уровня C. Действуя по аналогии, легко получаем для первого квадранта оценки

$$0 \le q \le q_{cp},\ S_{cp} \le S \le S_{max}, \qquad (9)$$

где q = 0 для позиций $P^x = (C,0)$, $P^y = (0\ ,\ C)$. А для позиции для позиции P^{cp} $q_{cp} = \dfrac{C^2}{2}$;

$$S_{max} = \begin{cases} k_x C, & k_x > k_y \text{ (для позиции } P^x\text{)}; \\ k_y C, & k_x < k_y \text{ (для позиции } P^y\text{)}. \end{cases}$$

Таким образом, для позиций БПР с неотрицательными компонентами и одинаковым радиусом полномочий;

– наименьший объем полномочий соответствует позициям, имеющим максимальную проекцию в одном поле и нулевую в другом (P^x, P^y);

– наибольший объем полномочий (но наименьший статус) соответствует единственной позиции с одинаковыми проекциями в обоих полях (P^{cp});

– наибольший иерархический статус соответствует позиции, имеющей максимальную проекцию в поле с большим относительным (P^x, если $k_x < k_y$, и P^y, если $k_x > k_y$).

Рассмотрим изохору уровня C. Специфика ее анализа состоит в том, что при приближении одной из проекций к нулю значение другой стремится по гиперболе к бесконечности. Поэтому оценки имеют вид $l_{cp} \le l \le \infty$, $S_{cp} \le S \le \infty$, где значения $l_{cp} = \sqrt{2C}$ и $S_{cp} = \sqrt{2C}$ достигаются на позиции $P_{cp} = \left(\sqrt{C}, \sqrt{C}\right)$, а бесконечные значения – на условных позициях вида $(0,\infty), (\infty,0)$.

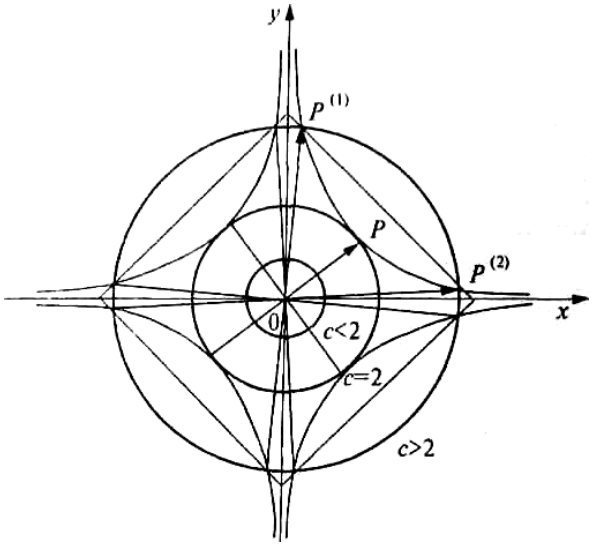

Рис. 1. Геометрическая интерпретация иерархического статуса, радиуса и объема полномочий БПР в информационном пространстве ИЭСППР

Специфика совместного анализа иерархического статуса, радиуса и объема полномочий БПР состоит в следующем. В любом квадранте плоскости, представленной на рис. 1 (информационного пространства мерности 2) для заданного числа C > 2 существуют ровно две позиции БПР, которым соответствуют одинаковые значения радиуса и объема полномочий, равные C; значения статуса для данных позиций также одинаковы и равны большей по модулю проекции для любой из этих позиций. При C = 2 в каждом квадранте существует ровно одна позиция, у которой значения радиуса и объема полномочий одинаковы и равны C; при этом значения проекций также равны между собой и равны иерархическому статусу этой позиции. При C < 2 обладающие указанным свойством позиции БПР отсутствуют.

Числовые результаты для первого квадранта следующие:

при C > 2 (l = q = C)

$$P^{(1)} = \left(\frac{\left(C(C+2)\right)^{1/2} - \left(C(C-2)\right)^{1/2}}{2}, \frac{\left(C(C+2)\right)^{1/2} + \left(C(C-2)\right)^{1/2}}{2} \right);$$

$$P^{(2)} = \left(\frac{\left(C(C+2)\right)^{1/2} + \left(C(C-2)\right)^{1/2}}{2}, \frac{\left(C(C+2)\right)^{1/2} - \left(C(C-2)\right)^{1/2}}{2} \right);$$

при C = 2 (l = q = C) $P = \left(\sqrt{2}, \sqrt{2}\right)$, $s = \sqrt{2}$.

Приведенные выше результаты дают возможность определить количественную характеристику отдельной позиции информационного пространства ИЭСППР. Для получения характеристики взаимодействия двух позиций (или занимающих эти позиции БПР воспользуемся понятием скалярного произведения векторов, которое при M = 2 определяется формулой

$$I\left(P_1, P_2\right) = x_1 y_1 + x_2 y_2, \qquad (10)$$

где $P_1 = (x_1, y_1)$ $P_2 = (x_2, y_2)$ две позиции БПР. Исследуем знак величины I при различном взаимном расположении P_1 и P_2 (будем для простоты считать, что все компоненты ненулевые).

1. Если обе позиции принадлежат первому или третьему квадранту или же одна из позиций лежит в первом квадранте, а другая - в третьем, то величина I всегда положительна.

2. Если обе позиции принадлежат второму или четвертому квадранту или же одна из позиций лежит во втором квадранте, а другая – в четвертом, то величина I всегда отрицательна.

3. Во всех остальных случаях взаимного расположения позиций знак I не может быть определен априорно и зависит от конкретных местоположений позиций P_1 и P_2.

Таким образом, потенциал взаимодействия имеющих положительный статус и имеющих отрицательный статус агентов (БПР) как внутри указанных областей, так и между областями заведомо положителен, а потенциал взаимодействия позиций БПР с неопределенным статусом заведомо отрицателен.

Выводы

Таким образом, предложен подход к оцениванию положения типовых блоков принятия решений в иерархической многоуровневой структуре управления по набору стратификационных признаков. Единое информационное пространство интегрированной экспертной системы поддержки принятия решений интерпретировано как дискретное метрическое пространство, при этом БПР представлены точками метрического пространства (позициями). Введены понятия элементарной и составной групп БПР и на их основе – понятия высшего и низшего уровней иерархии ИЭСППР. Определены количественные характеристики типового БПР – иерархический статус, радиус полномочий и объем полномочий. Изложен метод количественного оценивания положения типового БПР в структуре ИЭСППР с использованием аппарата аналитической геометрии.

Список литературы

1. *Месарович М., Мако Д., Такахара И. Теория иерархических многоуровневых систем. – М.: Мир, 1973. – 344 с.*
2. *Джексон П. Введение в экспертные системы. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2001. – 624с.*
3. *Шостак И.В., Топал А.С., Устинова А.Н. Проблемы анализа и синтеза холонических систем управления сложными объектами // Радиоэлектроника и информатика. – 2004. – № 3 (28). – С. 66-69.*
4. *Шостак І.В. Проблема синтезу інтегрованих експертних систем підтримки прийняття рішень щодо управління складними організаційно-технічними об'єктами // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2008. – № 1 (28). – С. 156-161.*

Поступила в редколлегию 1.07.2008

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Э.Г. Петров, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков.

КІЛЬКІСНЕ ОЦІНЮВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ТИПОВИХ БЛОКІВ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ У СКЛАДІ ІНТЕГРОВАНОЇ ЕКСПЕРТНОЇ СИСТЕМИ

І.В. Шостак

Розглянуто задачу кількісної оцінки статусу окремих центрів прийняття рішень, які подані у вигляді окремих точок дискретного інформаційного простору, в рамках загальної проблеми синтезу інтегрованих систем підтримки прийняття рішень в ієрархічних структурах управління.

Ключові слова: *підтримка прийняття рішень, експертна система, ієрархія, типовий блок прийняття рішень, стратифікаційний признак, ієрархічний ранг.*

QUANTITATIVE EVALUATION OF TYPICAL DECISION-MAKING BLOCKS CHARACTERISTICS IN COMPOSITION OF INTEGRATED EXPERT SYSTEM

I.V. Shostak

The task of quantitative evaluation of separate decision-making centers status is considered within the framework of general problem of synthesis of the integrated decision-making systems in the hierarchical management structures. The centers mentioned are described as separate points of discrete informative space.

Keywords: *support of decision-making, consulting model, hierarchy, model block of decision-making, stratification sign, hierarchical grade.*