

УДК 004.891

В.В. Воронько

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

ПОДХОД К МЕТРИЗАЦИИ ЕДИНОГО ИНФОРМАЦИОННОГО ПРОСТРАНСТВА ТОПОЛОГИЧЕСКИ РАСПРЕДЕЛЕННОГО ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ ПРИ СБОРКЕ ПЛАНЕРА САМОЛЕТА

Изложен подход, в соответствии с которым субъекты управления сложным, топологически распределенным объектом представляются в виде точек в дискретном пространстве. При этом каждой точке указанного пространства поставлен в соответствие набор признаков, дающих возможность количественно оценить любой субъект в информационном пространстве, а именно его иерархический статус, радиус полномочий и объем полномочий. Изложенный подход дает возможность обеспечения гомогенности информационного пространства, в первую очередь, сложных производственных, энергетических и логистических объектов при сборке планера самолета.

Ключевые слова: *сложный, топологически распределенный объект управления, поддержка принятия решений, экспертная система, иерархия, типовой блок принятия решений, стратификационный признак, иерархический ранг.*

Введение

Традиционно, основным методологическим подходом к синтезу систем управления сложными топологически распределенными объектами (СТРО) 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 СТРО, 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 СТРО 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 СТРО. Указанная тенденция в развитии СТРО, 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 рас-

пределенного 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, топологически распределенным объектом при сборке планера самолета.

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 $1, 2, \dots, M$; тем самым мы вводим в рассмотрение M признаков неравенства между типовыми блоками формирования решений (БФР) в составе ИЭСППР [3]. Теперь необходимо решить, какое множество значений может принимать каждый признак неравенства i 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 БФР, входящих в состав ИЭСППР.

Назовем стратификацией по i -му признаку S_i упорядоченное разбиение множества X на подмно-

жества (слои) $L_1^i, L_2^i, \dots, L_{m_i}^i$ такое, что любые два слоя разбиения не пересекаются, а объединение всех слоев дает множество X (m_i – число слоев в разбиении S_i , $i = 1, 2, \dots, M$, где M – общее число признаков стратификации). Упорядоченность разбиения S_i означает, что нумерация слоев в нем определяется однозначно. Номер слоя, к которому принадлежит БФР 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 БФР.

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

$$x = (x_1, x_2, \dots, x_M) \in R^M, \quad (1)$$

где x_i – иерархический ранг БПР по признаку i .

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

$$S_i = (-\infty, x_1^i] \cup (x_1^i, x_2^i] \cup \dots \cup (x_{m_i}^i, \infty). \quad (2)$$

В этой модели стратификационный слой естественно считать интервальной величиной, т.о. называть стратификационным слоем по признаку 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 БФР в смысле соответствующего признака, набор рангов образует позицию БФР 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 БФР 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, $(x_{j-1}^i, x_j^i]$ принадлежат слою принятия решений L_j по признаку i .

Приняв изложенную концепцию информационного пространства, мы полностью отождествляем в рамках модели типовой БФР с его модельным образом - позицией в этом пространстве. Предложен-

ный подход к построению модели информационного пространства дает возможность в процессе анализа исходить из первичности БФР (точки) и определять информационное пространство (ИЭСППР) как совокупность всех возможных точек, а можно признавать наличие информационного пространства (ИЭСППР) и рассматривать различные точки (БФР), существующие в этом пространстве: получаемые при этом результаты будут инвариантными.

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

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

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

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

$$C(i_1^{j_1}, \dots, i_k^{j_k}) = \{x \in X : x_{i_1} = j_1, \dots, x_{i_k} = j_k\}. \quad (4)$$

Из определения (4) следует, что полностью однородная группа, т.е. $C(i_1^{j_1}, \dots, i_M^{j_M})$ представляет собой единственную позицию (j_1, \dots, j_M) . Таким образом, множество БФР, неразличимых по всем стратификационным признакам, отображается точкой (конечно, в смысле интервального определения) в модели дискретного информационного пространства. Элементарная группа БФР 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, \dots, i_k – это множество позиций БФР, имеющих наивысшие иерархические ранги по всем указанным признакам:

$$C(i_1, \dots, i_k) = \{x \in X : x_{i_1} = m_{i_1}, \dots, x_{i_k} = m_{i_k}\} \quad (5)$$

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

$$C(i_1, \dots, i_k) = \{x \in X : x_{i_1} = \dots = x_{i_k} = 1\} \quad (6)$$

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

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

Слоем принятия решений по признаку i в модели информационного пространства ИЭСППР

назовем множество позиций БФР

$$E^i(x_j^i) = \{x \in X : x_j^i < x_i < x_{j+1}^i\},$$

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 информационном пространстве ИЭСППР занимающий эту позицию агент (БФР). 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 БФР. 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 БФР на одну из координатных осей, соответствующих полям информационного пространства. Таким образом, позиция БФР 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

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

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 БФР, т.е.

$$l = (x^2 + y^2)^{1/2} \quad (8)$$

где x, y – компоненты рассматриваемой позиции БФР. Объем полномочий для любой позиции БФР определяется по формуле $q = xy$, где x, y – компоненты позиции. Радиус полномочий характеризует «специализированность» позиции БФР: его величина тем больше, чем более выражен иерархический статус агента (БФР) в некотором поле по сравнению с остальными полями. Объем полномочий, напро-

тив, является характеристикой «устойчивости» позиции БФР: 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 БФР 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 БФР, соответствующих одному и тому же объему полномочий.

Графическое моделирование подобных элементов статусной диспозиции наглядно демонстрирует следующее свойство многофакторной стратификации: из любых двух агентов (БФР) 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 БФР

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

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

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

$$I_{\max} = \begin{cases} \frac{C}{k_x}, & k_x < k_y \text{ (достигається на векторі } P^x); \\ \frac{C}{k_y}, & k_x > k_y \text{ (достигається на векторі } P^y); \end{cases}$$

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

Интерпретация описанных результатов с позиций единого информационного пространства ИЭСПП выглядит следующим образом. Среди всех позиций БФР 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 ставится 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

$$0 \leq q \leq q_{cp}, S_{cp} \leq S \leq S_{\max}, \quad (9)$$

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

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

Таким образом, для позиций БФР 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

$$I_{cp} \leq I \leq \infty, S_{cp} \leq S \leq \infty,$$

где значения $I_{cp} = \sqrt{2C}$ и $S_{cp} = \sqrt{2C}$ достигаются на позиции $P_{cp} = (\sqrt{C}, \sqrt{C})$, а бесконечные значения – на условных позициях вида $(0, \infty), (\infty, 0)$.

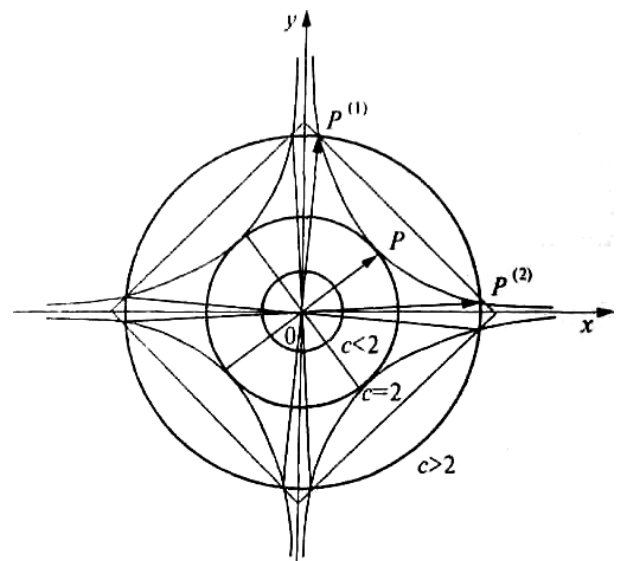


Рис. 1. Геометрическая интерпретация иерархического статуса, радиуса и объема полномочий БФР в информационном пространстве ИЭСПП

Специфика совместного анализа иерархического статуса, радиуса и объема полномочий БФР состоит в следующем. В любом квадранте плоскости, представленной на рис. 1 (информационного пространства мерности 2) для заданного числа $C > 2$ существуют ровно две позиции БФР, 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 БФР отсутствуют.

Числовые результаты для первого квадранта следующие:

при $C > 2$ ($l = q = C$):

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

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

при $C = 2$ ($l = q = C$):

$$P = (\sqrt{2}, \sqrt{2}), \quad s = \sqrt{2}.$$

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

$$I(P_1, P_2) = x_1 y_1 + x_2 y_2, \quad (10)$$

где $P_1 = (x_1, y_1)$, $P_2 = (x_2, y_2)$ две позиции БФР. 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 (БФР) как внутри указанных областей, так и между областями заведомо положителен, а потенциал взаимодействия позиций БФР с неопределенным статусом заведомо отрицателен.

ПІДХІД ДО МЕТРИЗАЦІЇ ЄДИНОГО ІНФОРМАЦІЙНОГО ПРОСТОРУ ТОПОЛОГІЧНО РОЗОСЕРЕДЖЕНОГО ОБ'ЄКТУ УПРАВЛІННЯ

В.В. Воронько

Розглянуто задачу кількісної оцінки статусу окремих центрів формування 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: складний, топологічно розподілений об'єкт управління, підтримка ухвалення рішень, експертна система, ієрархія, типовий блок ухвалення рішень, стратифікаційна ознака, ієрархічний ранг.

APPROACH TO VALUATION OF SINGLE INFORMATION SPACE FOR TOPOLOGICALLY DISTRIBUTED SUBJECT OF CONTROL

V.V. Voronko

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: difficult, topology up-diffused object of management, support of making a decision, consulting model, hierarchy, model block of making a decision, stratified sign, hierarchical grade.

Выводы

Таким образом, предложен подход к оцениванию положения типовых блоков формирования решений в иерархической многоуровневой структуре управления по набору стратификационных признаков при сборке планера самолета. Единое информационное пространство интегрированной экспертной системы поддержки принятия решений интерпретировано как дискретное метрическое пространство, при этом БФР представлены точками метрического пространства (позициями).

Введены понятия элементарной и составной групп БФР и на их основе – понятия высшего и низшего уровней иерархии ИЭСППР.

Определены количественные характеристики типового БФР – иерархический статус, радиус полномочий и объем полномочий.

Изложен метод количественного оценивания положения типового БФР в структуре ИЭСППР с использованием аппарата аналитической геометрии.

Список литературы

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

Поступила в редколлегию 11.05.2015

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.Ю. Шабанов-Кушнarenко, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков.