

УДК 681.3
ББК 22.18

Булат Тимурович Цынгуев,
аспирант,
Забайкальский государственный университет
(672039, Россия, г. Чита, ул.Александро-Заводская, 30)
e-mail: btsynguev@gmail.com

Задача формирования команды на основе онтологической модели компетенций

В статье рассматривается задача формирования оптимальной команды. Команды формируются для решения задач из определённой области знаний, описываемой моделью компетенций. Чтобы успешно справляться с поставленными задачами, команда должна владеть определённым набором компетенций. Модель компетенций представлена в виде онтологии. Предложены методы ранжирования множества кандидатов и оценки оптимальности формируемых команд на основе онтологической модели компетенций.

Ключевые слова: онтология, компетенция, формирование команд, близость к центральности, онтологическая модель компетенций.

Bulat Timurovich Tsynguev,
Postgraduate Student,
Transbaikal State University
(30 Aleksandro-Zavodskaya St., Chita, Russia, 672039)
e-mail: btsynguev@gmail.com

Team Formation Problem on the Base of Ontology Model of Competency

The article considers a team formation problem. Teams forming is to decide tasks from some field of knowledge described by competency model. A team can solve tasks more successful if it has a necessary set of competences. Competency model is presented by ontology. In this article the author suggests methods for ranging set of candidates and estimates of efficiency forming teams on the base of ontology model of competency.

Keywords: ontology, competence, team formation, closeness centrality, ontology model of competency.

1. Введение. На сегодняшний день общее число компетенций, практически в любой области деятельности человека, может быть настолько велико, что овладение всем множеством компетенций не представляется возможным. Однако, благодаря общим базовым знаниям и компетенциям специалист может обладать высоким уровнем профессионализма. Это связано с тем, что компетенции могут быть взаимодополняющими и в некотором смысле взаимозаменяемыми.

Интересная модель компетенций представлена в [4], где модель компетенций описана методами нечётких множеств. Оценки компетенции каждого кандидата получают методом экспертных оценок. Для ранжирования кандидатов используется расстояние по Хеммингу между параметрами кандидата и идеального кандидата.

В [5; 7] описаны модели компетенций, где учитываются уровни владения компетенцией. Для решения конкретной задачи требуется некоторый минимальный набор компетенций и к каждой компетенции из указанного набора предъявляется минимальный уровень владения. При формировании команды учитываются уровни владения компетенциями, необходимыми для решения задач, поставленных перед командой.

Совокупность знаний о некоей конкретной предметной области можно представить в виде древовидной структуры, где вершины представляют основные понятия и термины рассматриваемой предметной области, а связи между вершинами – это иерархические отношения «целое–часть». Данные иерархические структуры терминов и понятий принятых в предметной области можно интерпретировать как онтологию [2]. Например, можно получить древовидную структуру (онтологию) путем декомпозиции понятий предметной области до некоторого уровня детализации в соответствии с решаемой задачей. Пример построения подобной онтологической модели представлен в [1].

В [6] бизнес процессы в организации представлены ролями, каждая роль и сотрудник, назначенный исполнять данную роль, описываются набором компетенций. И с помощью онтологической модели компетенций организации определяются компетенции, в которых она нуждается.

В данной работе рассматривается задача формирования оптимальной команды, на основе модели компетенций. Модель компетенций представлена в виде онтологии, которая описывает взаимосвязь между компетенциями в определённой предметной области.

Команды формируются для решения задач из определённой области знаний. Чтобы успешно справляться с поставленными задачами, команда должна владеть определённым набором компетенций.

2. Модель. Пусть $N = \{1, \dots, n\}$ – множество кандидатов, множество компетенций обозначим как $C = \{c_1, \dots, c_m\}$. Множество компетенции кандидата i обозначим как S_i , где $S_i \in C, i = 1, \dots, n$. Множество задач, для решения которых формируется команда, обозначим как $Z = \{Z_1, \dots, Z_t\}$, где $Z_j \in C, j = 1, \dots, t$.

Модель компетенций представлена онтологией O , которая определена деревом T , где корнем дерева T является предметная область, вершины дерева – это компетенции $C = \{C_1, \dots, C_m\}$, а рёбра дерева указывают на иерархическую связь между понятиями-компетенциями разных уровней. Таким образом, онтологическую модель компетенций можно представить как $O = \langle T, C \rangle$.

Введём обозначения: L – высота онтологии O (высота дерева T), $l(c_i)$ – длина пути от корня до компетенции c_i .

Для более удобного формального описания онтологии O закодируем все компетенции в ней. Для этого пронумеруем все вершины-потомки онтологии O , начиная с 1 относительно родительской вершины. Таким образом, мы однозначно закодируем все компетенции с сохранением информации об отношениях между ними.

Определение 1. Адресом компетенции c_i называется вектор $(a_1, a_2, \dots, a_l, a_l + 1, \dots, a_L)$ длины L , где элементы a_1, a_2, \dots, a_l равны номерам вершин, лежащим на пути от корня к компетенции c_i , если $l(c_i) < L$, то элементы $a_{l(c_i)+1}, \dots, a_L$ равны 0.

Тогда расстояние $\rho(c_i, c_j)$ между двумя компетенциями $c_i = (a_1, a_2, \dots, a_L)$ и $c_j = (b_1, b_2, \dots, b_L)$ в онтологии O можно определить следующим образом:

$$\rho(c_i, c_j) = \sum_{i=1}^L I\{a_i \neq b_i \cap (a_i = 0 \cup b_i = 0)\} + 2 \sum_{i=1, j < i}^L ((L-i)I\{a_i \neq b_i \cap (a_j = b_j \cup i = 1) \cap (a_i \neq 0 \cap b_i \neq 0)\}).$$

Чем больше расстояние между компетенциями c_i и c_j в онтологии O , тем больше разница между ними. Компетенция c_i является более ценной, если она находится ближе ко всем остальным компетенциям в онтологии O , т.е. среднее расстояние до всех остальных компетенций $c_j \neq c_i$. Здесь можно использовать меру близости к центральности (closeness centrality) [3] для ранжирования всех компетенций в онтологии O . Мера близости к центральности в оригинальном виде определена как:

$$closeness(v) = \frac{n-1}{\sum_{v \neq t} d(v, t)},$$

где $d(v, t)$ – кратчайший путь между вершинами v и t , а n – число вершин в графе.

Для ясности и отражения сути меры близости к центральности для нашей онтологической модели компетенций введём следующее определение.

Определение 2. Мерой покрытия онтологии O компетенцией c_i называется величина:

$$\gamma(c_i) = \frac{1}{\sum_{c_j \neq c_i, c_j \in C} \rho(c_i, c_j)}, \quad (1)$$

где $\rho(c_i, c_j)$ – расстояние между компетенциями $c_i, c_j \in C$.

Используя меру покрытия, можно ранжировать все компетенции в онтологии.

Определение 3. В онтологии O расстоянием между набором компетенций $S_i \subset C$ и компетенцией $c' \in C$ называется величина $\rho(S_i, c') = \min_{c'' \in S_i} \rho(c'', c')$.

Данное определение расстояния можно рассматривать как степень владения компетенцией c' кандидата i . Если $\rho(S_i, c') = 0$, то следует, что $c' \in S_i$, т.е. кандидат i владеет компетенцией c' . Допустим у кандидата i $\rho(S_i, c') = 2$ и $\rho(S_i, c'') = 4$, тогда можно предложить следующую интерпретацию: кандидат i не владеет компетенциями c' и c'' , но для овладения компетенцией c' ему необходимо время равное 2 и соответственно, для овладения c'' время, равное 4.

Определение 4. Мерой покрытия онтологии O набором компетенций S_i называется величина:

$$\gamma(S_i) = \frac{1}{\sum_{c' \notin S_i, c' \in C} \rho(S_i, c')}, \quad (2)$$

где $\rho(S_i, c')$ – расстояние между набором компетенций $S_i \subset C$ и компетенцией $c' \in C \setminus S_i$.

Функция γ является неаддитивной.

Мера покрытия онтологии O , определённая для набора компетенций, позволяет, например, оценить общий профессиональный уровень кандидата в определённой области. Чем выше мера покрытия, тем лучше кандидат. Мера покрытия соответствует решению задачи выбора наилучшего кандидата, когда имеется такое множество целевых задач, для решения которых в равной степени может понадобиться каждая компетенция из O .

Предположим, что задано некоторое множество задач Z , которые должен выполнять работник. Требуется найти наилучшего подходящего работника из предлагаемых кандидатов.

Пусть множество задач Z определено множеством компетенций, необходимых для успешного решения задач из Z , т. е. $Z = \{Z_1, \dots, Z_t\} = \bigcup_{k=1}^t C_k = \{c_1^z, \dots, c_r^z\}$, где $C_k \subseteq C$ – множество компетенций, необходимых для решения задачи Z_k .

Введём характеристическую функцию:

$$v_i(x) = \sum_{\rho=0}^{2L} \alpha_\rho x^\rho, \quad (3)$$

где α_ρ – число компетенций из $\{c_1^z, \dots, c_r^z\}$ на расстоянии ρ от ближайшей компетенции S_i кандидата i в онтологии O , $x \in [0, 1]$.

Отметим, что $\max_{c_i, c_j \in C} \rho \leq 2L$, т. к. наибольшее расстояние между двумя компетенциями не превышает $2L$.

Рассмотрим многокритериальную оценку кандидата.

Пусть все компетенции множества $Z = \{c_1^z, \dots, c_r^z\}$ имеют разные веса w_k^z , где w_k^z – вес компетенции c_k^z . Тогда получим следующую оценку кандидата i :

$$E_i = \frac{1}{r} \sum_{k=1}^r w_k^z \rho(S_i, c_k). \quad (4)$$

Далее представим формализованную постановку задачи формирования команды.

При заданных значениях $\langle Z, N, O, q \rangle$, где q – число членов в команде, требуется определить оптимальную команду из множества кандидатов N .

Предположим, что команда владеет всеми компетенциями её членов, т. е. множество компетенций команды состоит из объединения множеств компетенций её членов. Таким образом, приведённые критерии оценки отдельных кандидатов (2)–(4) справедливы и для оценки оптимальности формируемой команды.

3. Примеры. На рис. 1 представлен пример упрощённой онтологии компетенций из предметной области: «Олимпиада по программированию». Для решения конкретной задачи, выдаваемой на олимпиаде команда должна владеть определённым набором компетенций, необходимых для ее решения. Если команда не владеет какой-нибудь компетенцией, то она может компенсировать этот недостаток другими компетенциями близкими к недостающей и всё же решить поставленную задачу. Далее на примерах будем исследовать данную онтологию компетенций.

В начале рассмотрим задачи без указания конкретного множества решаемых задач и будем определять ценность команды относительно всей онтологии компетенции. Или другими словами в случае, когда множество целевых задач задано так, что для их решения в равной степени может понадобиться каждая компетенция из O .

Для этого используем меру покрытия, где оптимальной командой будет та, которая обеспечивает максимальное покрытие онтологии.

Пример 1.

Рассмотрим задачу формирования команды для участия в олимпиаде по программированию (см. рис. 1). Рассмотрим простой пример, где каждый кандидат владеет только одной компетенцией: $S_1 = (1, 1, 1, 0)$, $S_2 = (1, 2, 1, 1)$, $S_3 = (1, 2, 2, 1)$, $S_4 = (1, 3, 2, 0)$, $S_5 = (2, 1, 5, 0)$, $S_6 = (2, 2, 2, 0)$ и $S_7 = (2, 1, 1, 0)$.

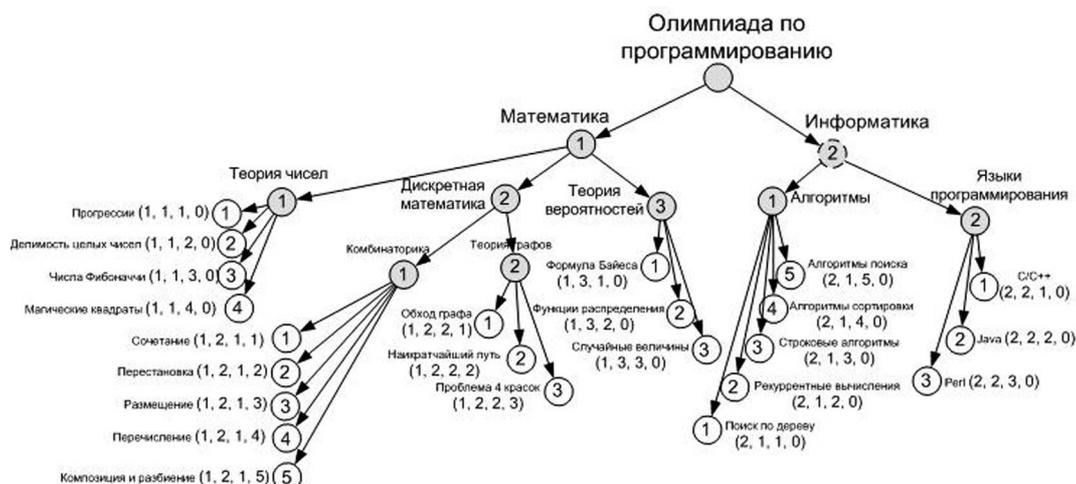


Рис. 1. Пример онтологии «Олимпиада по программированию»

Оптимальные команды в зависимости от числа членов приведены в табл. 2.

Таблица 1

Меры покрытия кандидатов

Кандидат	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6	S_7
Мера покрытия (γ)	$\frac{1}{106}$	$\frac{1}{111}$	$\frac{1}{115}$	$\frac{1}{108}$	$\frac{1}{118}$	$\frac{1}{122}$	$\frac{1}{118}$

Таблица 2

Оптимальные команды в зависимости от числа членов

Число членов в команде (q)	Состав оптимальной команды	Мера покрытия команды (γ)
2	{2, 5} или {2, 7}	$\frac{1}{75}$
3	{1, 2, 5} или {1, 2, 7}	$\frac{1}{58}$
4	{1, 2, 5, x } или {1, 2, 7, x }, где x один из кандидатов {3, 4, 6}	$\frac{1}{50}$

Отметим, что компетенции кандидатов $S_5 = (2, 1, 5, 0)$ и $S_7 = (2, 1, 1, 0)$ принадлежат одной группе «Алгоритмы», имеют равную меру покрытия (см. табл. 1) и являются взаимозаменяемыми.

В связи с увеличением числа членов формируемой команды увеличивается число оптимальных альтернатив.

Далее рассмотрим случай при $q = 3$, когда в команду уже включён один из кандидатов, для определённости назовём его капитаном. Если капитан назначен из множества {1, 2, 5, 7}, то оптимальными командами будут {1, 2, 5} или {1, 2, 7} (см. табл. 2). Если же возьмём капитана не из оптимального множества {1, 2, 5, 7}, а из множества {3, 4, 6}, то получим результат, представленный в табл. 3.

Таблица 3

Оптимальные команды при $q = 3$ с капитаном из множества $\{3, 4, 6\}$

Оптимальная команда		Мера покрытия команды (γ)
Кандидат, включённый в команду (капитан)	Остальные кандидаты, включённые в команду после капитана	
{3}	{1, 5}	$\frac{1}{62}$
{4}	{2, 5}	$\frac{1}{62}$
{6}	{1, 2}	$\frac{1}{62}$

Пример 2.

Пусть дана онтология (см. рис. 1). Рассмотрим задачу формирования команды, где кандидаты

владеют компетенциями: $S_1 = \begin{pmatrix} 2, 1, 1, 0 \\ 2, 1, 3, 0 \\ 2, 2, 1, 0 \end{pmatrix}$, $S_2 = \begin{pmatrix} 2, 1, 2, 0 \\ 2, 2, 1, 0 \\ 2, 2, 2, 0 \end{pmatrix}$, $S_3 = \begin{pmatrix} 1, 2, 1, 2 \\ 1, 2, 2, 1 \end{pmatrix}$, $S_4 = \begin{pmatrix} 1, 1, 1, 0 \\ 1, 3, 2, 0 \end{pmatrix}$,
 $S_5 = \begin{pmatrix} 1, 2, 2, 1 \\ 1, 3, 1, 0 \end{pmatrix}$, $S_6 = \begin{pmatrix} 1, 2, 2, 2 \\ 2, 2, 2, 0 \end{pmatrix}$, $S_7 = \begin{pmatrix} 1, 3, 1, 0 \\ 2, 1, 5, 0 \end{pmatrix}$.

Таблица 4

Меры покрытия кандидатов

Кандидат	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6	S_7
Мера покрытия (γ)	$\frac{1}{108}$	$\frac{1}{108}$	$\frac{1}{103}$	$\frac{1}{98}$	$\frac{1}{92}$	$\frac{1}{83}$	$\frac{1}{80}$

Если надо выбрать единственного кандидата, то надо выбрать {7}, так как у него наибольшая мера покрытия $\gamma(S_7) = \frac{1}{80}$.

Оптимальные команды в зависимости от числа членов приведены в табл. 5.

Таблица 5

Оптимальные команды в зависимости от числа членов

Число членов в команде(q)	Состав оптимальной команды	Мера покрытия команды(γ)
2	{3, 7}	$\frac{1}{52}$
3	{1, 3, 4} или {2, 3, 4}	$\frac{1}{32}$
4	{1, 2, 3, 4} или {1, 6, 3, 4} или {1, 7, 3, 4} или {2, 7, 3, 4}	$\frac{1}{28}$

Из полученных результатов видно, что в случае, когда уже сформирована эффективная команда из $q = 2$ членов {3, 7}, то для формирования оптимальной команды из $q = 3$ членов, придётся сначала исключить из команды кандидата {7}, и только потом добавить {1, 4} или {2, 4}.

Следующие команды имеют равные меры покрытия, но состоят из разного числа членов в команде:

1. {7} и {3, 5} с мерой покрытия $\frac{1}{80}$;
2. {3, 7} и {1, 2, 4, 7} с мерой покрытия $\frac{1}{52}$;
3. {1, 3, 7} и {1, 2, 4, 6} с мерой покрытия $\frac{1}{40}$.

В табл. 6 представлены результаты для случая с капитаном, который не входит в оптимальные множества из табл. 5 для заданного числа членов q .

Оптимальные команды с капитаном не из оптимального множества

Число членов в команде(q)	Оптимальная команда		Мера покрытия команды (γ)
	Кандидат, включённый в команду (капитан)	Остальные кандидаты, включённые в команду после капитана	
3	{5}	{1, 3} или {1, 4} или {2, 3} или {2, 4}	$\frac{1}{42}$
3	{6}	{1, 4} или {3, 7}	$\frac{1}{42}$
3	{7}	{1, 3} или {2, 3} или {3, 4}	$\frac{1}{40}$
4	{5}	{1, 3, 4} или {2, 3, 4}	$\frac{1}{30}$

Далее рассмотрим пример задачи формирования команды, где задано конкретное множество решаемых задач.

Пример 3.

Пусть число кандидатов $n = 3$ с компетенциями: $S_1 = \begin{pmatrix} 2, 1, 1, 0 \\ 2, 2, 2, 0 \end{pmatrix}$, $S_2 = \begin{pmatrix} 1, 1, 4, 0 \\ 2, 2, 3, 0 \end{pmatrix}$ и $S_3 = \begin{pmatrix} 2, 1, 1, 0 \\ 1, 1, 1, 0 \end{pmatrix}$, а также задан набор целевых компетенций $Z = \begin{pmatrix} 1, 1, 1, 0 \\ 2, 1, 2, 0 \\ 2, 1, 1, 0 \end{pmatrix}$ в онтологии, представленной

на рис. 1.

Если рассматривать в качестве оценки кандидатов характеристическую функцию (3), то относительно заданного набора Z получим следующие оценки: $v_1(x) = 2x^2 + x^6$, $v_2(x) = 2x^2 + x^4$ и $v_3(x) = 1 + x^2 + x^4$, т.е. $\{1\} < \{2\} < \{3\}$. Если рассматривать формирование команды с $q = 2$, получаем $v_{S_1 \cup S_3}(x) = 3x^2$, $v_{S_1 \cup S_2}(x) = 1 + 2x^2$ и $v_{S_2 \cup S_3}(x) = 1 + 2x^2$. Отсюда следующие оптимальные команды: $\{1, 2\}$ или $\{2, 3\}$.

Рассмотрим оценку (4) для заданного набора Z , где $w_k^z = 1, k = 1, \dots, r$. Получим следующие оценки $E_1 = \frac{8}{3}$, $E_2 = \frac{10}{3}$, $E_3 = \frac{4}{3}$, т.е. $\{2\} < \{1\} < \{3\}$. Для $q = 2$, получаем следующее $E_{S_1 \cup S_2} = \frac{4}{3}$, $E_{S_1 \cup S_3} = \frac{2}{3}$, $E_{S_2 \cup S_3} = \frac{4}{3}$, т.е. оптимальной командой будет $\{1, 3\}$.

Заключение. В статье рассматривается задача формирования оптимальной команды на основе модели компетенций. Модель компетенций представлена в виде онтологии, которая описывает взаимосвязь между всеми компетенциями в определённой предметной области.

Для данной онтологической модели компетенций рассматриваются методы ранжирования множества кандидатов и оценки оптимальности формируемых команд. Предложена мера покрытия, которая позволяет оценить произвольное множество компетенций относительно всей онтологии. В качестве оценки формируемой команды при заданном множестве решаемых задач, используются характеристическая функция и многокритериальный параметр, основанные на расстоянии между компетенциями в онтологии. Задача многокритериальной оптимизации решается методом взвешенных сумм.

Автор выражает благодарность доктору физ. -мат. наук, профессору В. В. Мазалову за постановку задачи и содействие в работе.

Список литературы

1. Вдовицын В. Т., Лебедев В. А. Онтологическое моделирование контента электронной библиотеки КарНЦ РАН // Труды КарНЦ РАН. Сер. «Математическое моделирование и информационные технологии». 2010. Вып. № 1. № 3. С. 11–19.
2. Фазлиев А. З. Рассуждения о понятии «онтология» // Онтологическое моделирование. Труды симпозиума. Звенигород, 2008. С. 278–296.
3. Beauchamp M.A. An improved index of centrality // Behavioral Science. 1965. Vol. 10. P. 161–163.

4. Canós L., Casasús T., Crespo E., Lara T. and Pérez J.C. Personnel selection based on fuzzy methods // Revista De Matemática: Teoría Y Aplicaciones. 2011. Vol. 18. №. 1. P. 177–192.
5. Hlaioittinun O., Bonjour E., Dulmet M. A team building approach for competency development // Proceedings of the IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management. 2007. P. 1004–1008.
6. Macris A., Papadimitriou E., Vassilacopoulos G. An ontology-based competency model for workflow activity assignment policies // Journal of Knowledge Management. 2008. Vol. 12 Iss: 6. P. 72–88.
7. Tarasov V. Ontology-based Approach to Competence Profile Management // Journal of Universal Computer Science. 2012. Vol. 18. №. 20. P. 2893–2919.

References

1. Vdovitsyn V. T. Lebedev V. A. Ontologicheskoi modelirovanie kontenta elektronnoi biblioteki KarNTs RAN // Trudy KarNTs RAN. Ser. « Matematicheskoe modelirovanie i informatsionnye tekhnologii». 2010. Vyp. № 1. № 3. S. 11–19.
2. Fazliev A. Z. Rassuzhdeniya o ponyatii «ontologiya» // Ontologicheskoe modelirovanie. Trudy simpoziuma. Zvenigorod, 2008. S. 278–2
3. Beauchamp M.A. An improved index of centrality // Behavioral Science. 1965. Vol. 10. P. 161–163.
4. Canós L., Casasús T., Crespo E., Lara T. and Pérez J.C. Personnel selection based on fuzzy methods // Revista De Matemática: Teoría Y Aplicaciones. 2011. Vol. 18. №. 1. P. 177–192.
5. Hlaioittinun O., Bonjour E., Dulmet M. A team building approach for competency development // Proceedings of the IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management. 2007. P. 1004–1008.
6. Macris A., Papadimitriou E., Vassilacopoulos G. An ontology-based competency model for workflow activity assignment policies // Journal of Knowledge Management. 2008. Vol. 12 Iss: 6. P. 72–88.
7. Tarasov V. Ontology-based Approach to Competence Profile Management // Journal of Universal Computer Science. 2012. Vol. 18. №. 20. P. 2893–2919.

Статья поступила в редакцию 29.04.2014