

Антонов Владимир Александрович – Институт горного дела УрО РАН; e-mail: Antonov@igduran.ru; 620219, г. Екатеринбург, ул. Мамина-Сибиряка, 58; тел.: 83433551960; г.н.с.; д.т.н.

Antonov Vladimir Aleksandrovich – The Institute of Mining UB RAS; e-mail: Antonov@igduran.ru; 58, Mamin-Sibiryak street, Yekaterinburg, 620219, Russia; phone: +73433551960; chief researcher; dr of eng. sc.

УДК 004.421+519.178

Н.Е. Сергеев, Е.Р. Мунтян

ЛОКАЛИЗАЦИЯ ВЕРШИН ГРАФА ДЛЯ ЗАДАЧ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ УПРАВЛЯЕМЫХ ОБЪЕКТОВ*

В случае использования графовой модели для отображения объектов возникает проблема корректного представления графа. Рассмотрено визуальное и логическое представление нескольких видов одного графа: графа первоначального вида, в виде двудольного графа и в виде графа с расположением вершин по контуру. Показана необходимость фиксации места расположения вершин графа не только при его визуальном отображении, но и при его представлении. Для решения этой задачи рекомендован способ представления графа, в котором указываются логические связи между вершинами графа, их взаимное расположение, отмечаются точки пересечений ребер графа. Разработаны пошаговые правила представления графа в виде списков, предусматривающие порядок записи вершин с учетом их визуального расположения. Для фиксации визуального изображения вершин-ситуаций предложено их представление в виде упорядоченных списков с учетом топологии графа на основе понятия о вращении вершин графа. Кроме того, рекомендован учет областей локализации каждой вершины. Под областью локализации вершины понимается область допустимого перемещения вершины, не приводящего к вновь образованным пересечениям ребер. Проиллюстрированы возможности приведения первоначального изображения графа к нужному виду путем перемещения вершин в пределах своих областей локализации. С целью фиксации пересечений ребер предложено точки пересечения ребер в графе помечать вершинами с особым статусом, например, как вновь сформированными. Показано, что такие вершины могут использоваться при любом способе представления графа, как в виде матриц, так и в виде списков.

Граф; ситуация; управление; список; представление; локализация; визуализация; топология; пересечение.

N.E. Sergeev, E.R. Muntyan

LOCALIZATION OF THE GRAPH NODES FOR TASKS OF REPRESENTING THE MANAGED OBJECTS

In case of use of graph models for displaying objects appears the problem of the correct graph representation. Considered is a visual and logical representation of multiple views of the same graph: the initial graph, bipartite graph and graph with vertex position along the contour. The necessity of fixation of the graph nodes location was shown not only when it is displayed, but also when represented. To solve this problem, recommended is the way to represent a graph indicating the logical relationship between the nodes, their relative positions and indicated are the points of intersection of the graph edges. Developed are the step-by-step rules representing the graph in the form of lists, providing for the recording of the nodes based on their visual locations.

* Работа выполнена в рамках проектной части госзадания Минобрнауки России № 2.3928.2017/4.6 в Южном федеральном университете.

To fix the visual images of the situation nodes proposed is their presentation in the form of ordered lists taking into account the graph's topology based on the concepts about the rotation of the graph nodes. Moreover, we recommend consideration of the localization areas of each node. Localization area of the node is the area of allowable movement of the node that do not lead to formation of new intersections of the edges. Illustrated is the possibility of transformation the original image of the graph to the desired form by moving the nodes within its areas of localization. To fix the intersections of the edges it is offered to mark the intersection points of the graph edges as the nodes with a special status, for example as the newly formed. It is shown that such nodes can be used in any way of the graph representation, both in the form of matrices and lists.

Graph; situation; control; list; presentation; location; visualization; topology; cross.

Введение. При разработке комплекса охраны периметра объектов большой территориальной протяженности с учетом вероятного наличия различных угроз возникает задача управления группой объектов исходя из меняющихся целей. Управление производится на основании мониторинга за действиями и возможными выявленными «намерениями» некоторой другой группой объектов не подверженных управлению. Предполагается существование устойчивых связей достоверно известных в первой группе и предполагаемых во второй. Смысл связей может быть различным: ретрансляция информации, возможная видимость объекта.

Предполагается наличие некоторого вычислителя имеющего информацию об объектах обеих групп. В качестве способа представления групп объектов выбрана графово-гиперграфовая парадигма [11, 17–20] исходя из комплекса задач, не входящих в настоящее рассмотрение. Задача состоит в том, чтобы модифицировать известные способы представления графов с учетом отображения взаимного расположения вершин и пересечений ребер графа, представляющего некоторую ситуацию.

Речь идёт не только о фиксации «графического» представления для удобства визуализации, но скорее всего для придания такому представлению дополнительного функционала.

Современные электронные средства визуализации графов, такие как GraphOnline, предоставляют возможность получить изображение графа по матрице логических связей в графе. Однако опыт использования таких оболочек показал, что при вводе одной и той же матрицы несколько раз, получаются различные визуальные представления графа.

Представление графа. Рассмотрим в качестве примера граф, изображенный на рис. 1. Граф состоит из 15 вершин, которые соединены 18 неориентированными ребрами. Все связи в графе считаем равнозначными. Известно несколько способов представления графов [7–9], в том числе в виде матриц смежности и инцидентности, списков смежности и ребер.

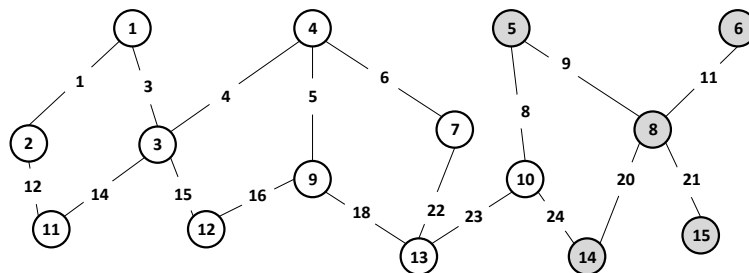


Рис. 1. Пример неориентированного графа

Матрица смежности (табл. 1) для такого графа будет иметь размерность (15x15) в соответствии с количеством вершин, а матрица инцидентности – (15x18).

Таблица 1

Матрица смежности

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
3	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
4	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
8	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1
9	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
10	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
11	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0

При этом представление неориентированного графа, изображенного на рис. 1, в виде списков смежности X_c может выглядеть так: $X_c = (1, 2, 3), (2, 1, 11), (3, 1, 4, 11, 12), (4, 3, 7, 9), (5, 8, 10), (6, 8), (7, 4, 13), (8, 5, 6, 14, 15), (9, 4, 12, 13), (10, 5, 13, 14), (11, 2, 3), (12, 3, 9), (13, 7, 9, 10), (14, 8, 10), (15, 8)$.

При формализованной записи списков X_c применялся способ составления списка по номерам вершин в сторону увеличения.

В тоже время, имеется возможность различных вариантов визуального представления рассмотренного графа, например, в виде двудольного графа (рис. 2) или графа с расположением вершин по контуру (рис. 3). При этом следует отметить, что логические связи первоначального графа (рис. 1) полностью сохраняются в графах на рис. 2 и 3. Такие графы (рис. 1–3) являются изоморфными относительно друг друга, т.к. для них сохраняется отношение инцидентности.

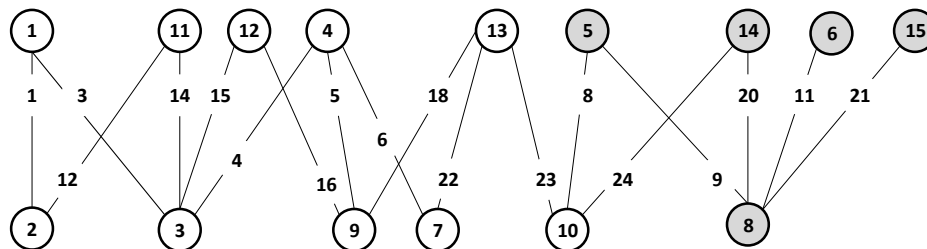


Рис. 2. Двудольный граф

Как показано на рис. 2 при представлении двудольного графа появляются пересечения четырех пар ребер 3 и 12, 4 и 16, 6 и 18, 9 и 24. В тоже время на рис. 3, как и на рис. 1, пересечения не отмечены. Графы (рис. 1–3) являются планарными, что обусловлено существованием хотя бы одного, а в нашем случае двух изоморфных графов, где не имеет место пересечение ребер. Планарность является существенным свойством графов, предназначенных, например, для моделирования коммуникаций между объектами на плоскости (дороги между населенными пунктами, сети, линии электропередач и т.д.).

Несмотря на различные изображения всех трех графов матрицы смежности для них будут совпадать с табл. 1, т.к. сохраняются логические связи между вершинами графа. Аналогично, списки смежности для всех трех графов будут совпадать с приведенным выше X_c , если пользоваться тем же способом записи списка (от меньшего номера к большему).

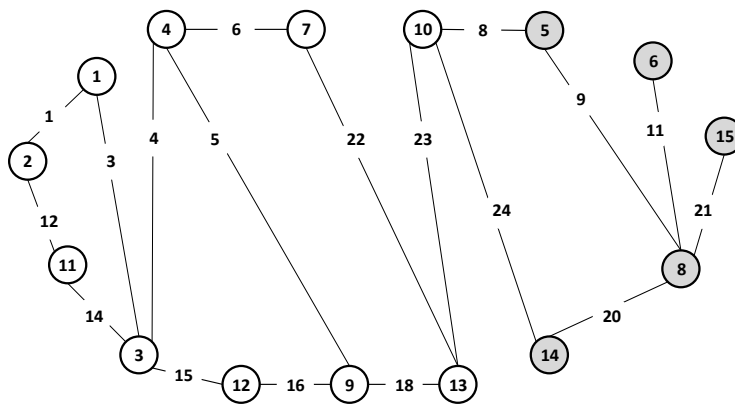


Рис. 3. Граф с расположением вершин по контуру

Отсюда можно сделать вывод о необходимости поиска способа представления графа (например, в виде матриц смежности, инцидентности, списков и т.д.) с привязкой к его визуальному изображению.

В литературе подробно рассмотрены методы построения рисунка графа и проблемы, возникающие при реализации тех или иных подходов. В основном целью разработки и применения таких методов является получение изображения графа с возможно меньшим пересечением ребер. Одной из первых публикаций по представлению топологии рисунка на основе теоретико-множественного описания для двух ациклических фрагментов была [16]. В [1, 2] описаны топологические методы построения рисунка графа с минимальным пересечением ребер, использующие понятие о вращении вершин графа, введенное Г. Рингелем [12].

Иерархический подход для изображения ациклических графов внедрен во многие существующие системы визуализации графов, например, GrapEd [13], D-ABDUCTOR [14], DAG [15] и т.д. Такой подход [3] разработан для удовлетворения эстетическим критериям представления графа и обычно состоит из трех этапов:

- 1) распределение вершин по уровням так, чтобы все дуги следовали одному направлению;
- 2) выбор порядка вершин на уровне с целью минимизации пересечений ребер;
- 3) определение координат вершин на уровне для минимизации общей длины ребер и количества изломов.

К недостаткам данного подхода можно отнести ограниченность области применения и сложности в решении задач определения окончательных координат вершин.

Также в литературе рассматриваются методы навигации при визуализации графов. В [4, 5] предлагается использование семантической и структурной фильтрации вершин, геометрическое и семантическое искажение изображения и кластеризация вершин графа. Под семантической фильтрацией вершин понимается извлечение подмножеств вершин из графа по определенным причинам с целью упрощения графовой модели. Фильтрация бывает глобальной, когда вершины удаляются насовсем, и временной. Примером временной фильтрации может служить алгоритм свертки графа ситуаций, предложенный авторами в [6]. Такой подход позволяет обобщать граф с поэтапным представлением определенных подмножеств вершин в виде списков, что дает возможность восстановления структуры графа. В [10] предложен алгоритм определения возможности наложения направленных графов, который также может быть применим для восстановления структуры на множестве наименьшей внешней устойчивости для исключения повторяющихся вариантов структур.

Очевидно, при визуализации больших графов не всегда целесообразно одновременное размещение всех элементов структуры графа. В таких случаях допускается уменьшение количества видимых элементов с сохранением глобальной структуры графа на основе принципа кластеризации.

Авторы предлагают способ представления графа, в котором указываются не только логические связи между вершинами графа, но и их взаимное расположение, отмечаются точки пересечений ребер графа и т.д.

Для облегчения понимания предложенного способа выделим идентичные фрагменты из рассмотренных выше графов, состоящих из вершин с номерами 5, 6, 8, 14 и 15 (на рис. 1–3 выделены серым цветом). На рис. 4 изображены фрагменты:

- первоначального графа (рис. 1);
- двудольного графа (рис. 2);
- графа с расположением вершин по контуру (рис. 3).

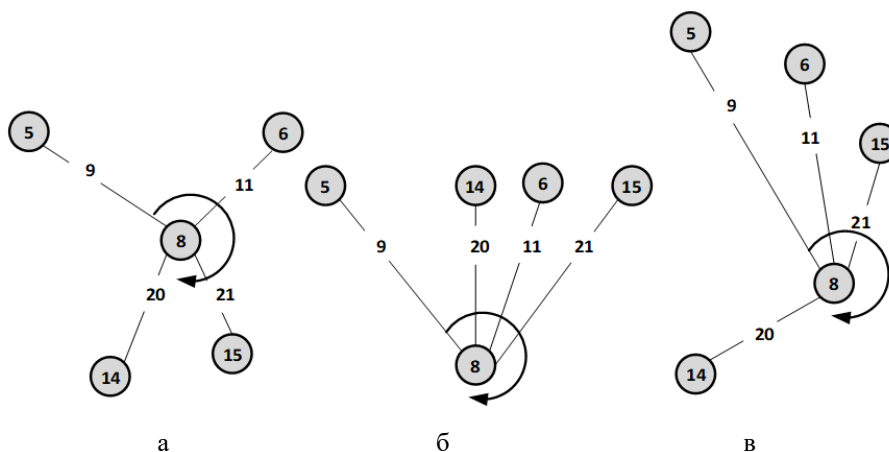


Рис. 4. Фрагменты графов

Таблица 2

Матрица смежности фрагментов графов

	5	6	8	14	15
5	0	0	1	0	0
6	0	0	1	0	0
8	1	1	0	1	1
14	0	0	1	0	0
15	0	0	1	0	0

Таблица 3

Матрица инцидентности фрагментов графов

	5	6	8	14	15
9	1	0	1	0	0
11	0	1	1	0	0
20	0	0	1	1	0
21	0	0	1	0	1

При этом матрицы смежности и инцидентности всех трех фрагментов графов (а, б, в) совпадают (табл. 2 и 3).

Списки смежности для случаев а, б и в (рис. 4) могут быть представлены, как $X_{c(a, б, в)} = (5, 8), (6, 8), (8, 5, 6, 14, 15), (14, 8), (15, 8)$. При этом отчетливо видны различия в визуальных изображениях выделенных фрагментов графов. Для согласования визуального представления графа и его формализованного представления, например, в виде списка предлагается использование следующего правила.

При составлении списка смежности для выбранной (выделенной) вершины выполняется последовательность действий:

- 1) в заголовок списка записывается номер выбранной вершины;
- 2) определяется множество смежных вершин для выбранной вершины;
- 3) в хвост списка первой записывается вершина с младшим номером из числа смежных вершин;
- 4) остальные вершины из множества смежных записываются в хвост по порядку, двигаясь по часовой стрелке.

Проиллюстрируем предложенное правило на примере списка фрагментов а, б, в. Для этого введем следующие обозначения в соответствии с [10]: операторы заголовков списков всех трех фрагментов $hd(x_a), hd(x_b), hd(x_v)$ и операторы хвостов списков $tl(x_a), tl(x_b), tl(x_v)$. Наибольший интерес для нас в этом случае представляет список, состоящий из числа вершин больше, чем две, например, (8, 5, 6, 14, 15), где в качестве заголовка выделена вершина с номером 8.

Итак, запишем представление выбранного списка для фрагментов а, б и в, руководствуясь предложенным правилом:

- ◆ $hd(x_a) = (8), tl(x_a) = (5, 6, 15, 14)$;
- ◆ $hd(x_b) = (8), tl(x_b) = (5, 14, 6, 15)$;
- ◆ $hd(x_v) = (8), tl(x_v) = (5, 6, 15, 14)$.

Проанализировав полученные списки, можно отметить, что запись хвоста списка $tl(x_b)$ отличается от других, тогда как записи $tl(x_a)$ и $tl(x_v)$ совпадают. В визуальном представлении фрагментов графов (рис. 4,а и 4,в) вершины с номерами 5 и 14 находятся практически на одних и тех же местах, а вершины 6 и 15 смещены.

Предлагается ввести понятие области локализации вершины. Под областью локализации вершины будем понимать область допустимого перемещения вершины, не приводящего к пересечению ребер. Подразумевается, что перемещение i -й вершины в пределах своей области, не оказывает существенного влияния на визуальные характеристики графа. На рис. 5,а представлен фрагмент графа (рис. 4,в), с выделенными произвольным образом областями локализации вершин 5, 6, 15 и 14. При этом неизбежно возникают поля пересечений таких областей, отмеченные на рисунке штриховкой.

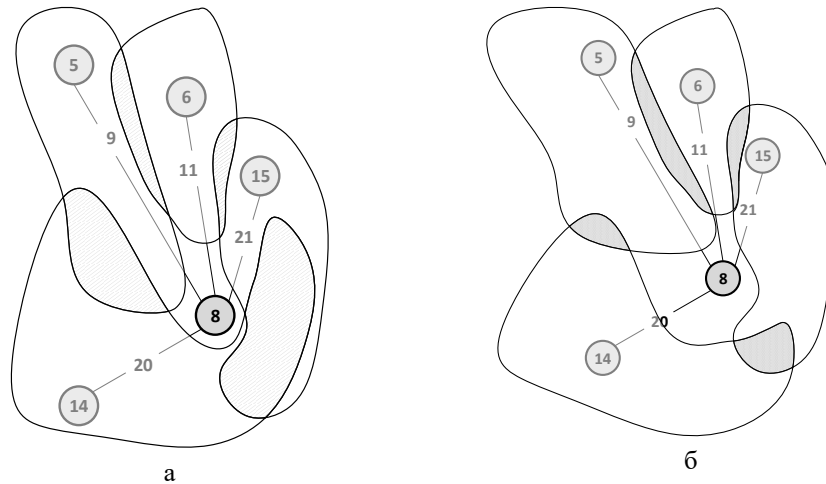


Рис. 5. Фрагмент графа с возможными обозначениями допустимых областей вершин

Рядом представлен аналогичный фрагмент графа с другим вариантом обозначения областей вершин (рис. 5,б), поля пересечений обозначены сеткой. Возможность перемещения вершин внутри своих областей позволяет привести фрагмент графа (рис. 4,в) к изображению на рис. 4,а, что наглядно продемонстрировано рис. 6.

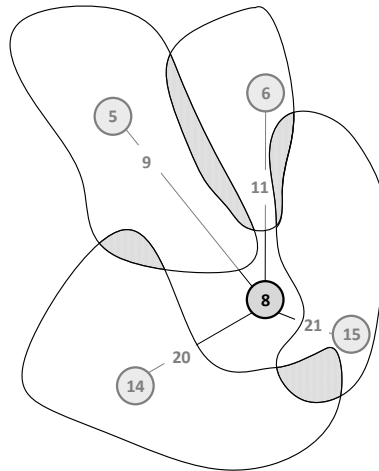


Рис. 6. Пример изменения визуального представления фрагмента графа посредством перемещения вершин в пределах своих областей

В рассмотренных выше примерах отмечаются возникающие случаи пересечения ребер при формировании двудольного графа (рис. 2). Возникает вопрос, как учитывать такие пересечения при представлении графа.

Авторами предлагается точки пересечения ребер в графе помечать вершинами с особым статусом, например, как вновь сформированными. Тогда двудольный граф примет вид (рис. 7).

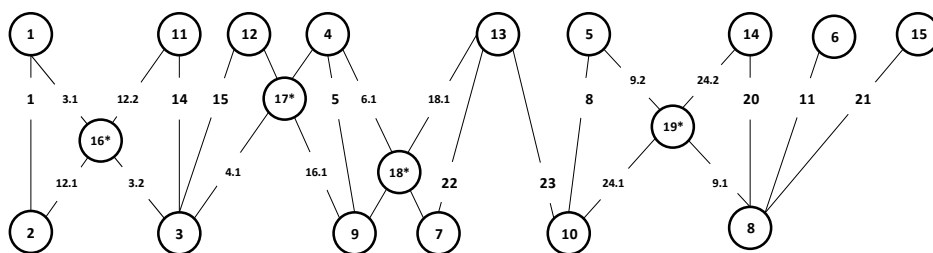


Рис. 7. Двудольный граф с учетом вершин пересечения ребер

На рис. 7 видно, что точки пересечения ребер отмечены вновь образованными вершинами 16^* – 19^* . При этом матрица смежности такого графа будет представлена табл. 4. В данной матрице серым цветом отмечены поля вновь образованных вершин и выделены значения измененных ячеек по сравнению с первоначальной матрицей, приведенной в табл. 1.

Таблица 4

Матрица смежности двудольного графа с учетом вершин пересечений

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16*	17*	18*	19*
1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
6	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0
8	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1
9	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
10	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
11	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
12	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
13	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
14	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
15	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16*	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
17*	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
18*	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
19*	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0

При этом представление двудольного графа, изображенного на рис. 7, в виде списков смежности X_c будет выглядеть так: $X_c = (1, 16^*, 2), (2, 1, 16^*), (3, 11, 12, 17^*, 16^*), (4, 9, 17^*, 18^*), (5, 10, 19^*), (6, 8), (7, 13, 18^*), (8, 6, 15, 19^*, 14), (9, 4, 18^*, 17^*), (10, 5, 19^*, 13), (11, 3, 16^*), (12, 3, 17^*), (13, 7, 18^*, 10), (14, 8, 19^*), (15, 8), (16^*, 11, 3, 2, 1), (17^*, 4, 9, 3, 12), (18^*, 4, 13, 7, 9), (19^*, 5, 14, 8, 10).$

Следует отметить, что для вновь образованных вершин на местах точек пересечения ребер целесообразно формирование областей локализации, также как и для обычных вершин графа ситуаций.

Заключение. Предложенный вариант позволит по реальному расположению вершин-объектов не только на плоскости, но и в пространстве генерировать компьютерное представление, позволяющее однозначное визуальное обратное восстановление. Для этого разработан набор правил при составлении списка смежности, задающих порядок записи номеров вершин с учетом их вращения. Внедрено понятие области локализации вершины, в пределах которой ее перемещение считается допустимым. С целью фиксации пересечений ребер предложено точки пересечения ребер в графе помечать вершинами с особым статусом, например, как вновь сформированными.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Курапов С.В., Чеченя В.С.* Топологические методы построения рисунка графа // Радиоэлектроника, информатика, управления. – 2013. – № 1. – С. 72-81.
2. *Курапов С.В., Давидовский М.В.* Проверка планарности и построение топологического рисунка плоского графа (поиском в глубину) // Прикладная дискретная математика. – 2016. – № 2 (32). – С. 100-114.
3. *Бабурин Д.Е.* Иерархический подход для автоматического размещения ациклических графов // Современные проблемы конструирования программ. – Новосибирск: ИСИ СО РАН, 2002. – С. 7-37.
4. *Апанович З.В.* Методы навигации при визуализации графов // Вестник НГУ. Серия Информационные технологии. – 2008. – Т. 6, № 3. – С. 35-47.
5. *Васильев Ю.М., Фридман Г.М.* Визуализация кооперативных схем: гибридный эвристический алгоритм для минимизации количества пересечений ребер при укладке графа // Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета. – 2017. – № 1-2 (103). – С. 87-93.
6. *Сергеев Н.Е., Мунтян Е.Р., Целых А.А., Самойлов А.Н.* Обобщение графов ситуаций на основе спискового алгоритма свертки для задач ситуационного управления // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2017. – № 3 (188). – С. 111-121.
7. *Оре О.* Теория графов. – М.: Наука, 1968. – 352 с.
8. *Фостер Дж.* Обработка списков. – М.: Мир, 1974. – 72 с.
9. *Кормен Т., Лейзерсон Ч., Ривест Р.* Алгоритмы. Построение и анализ. – М.: МЦНМО, 2000. – 960 с.
10. *Муха Ю.П., Секачев В.А.* Алгоритм для определения возможности наложения направленных графов // Известия ВолгТГУ. – 2014. – Т. 9, № 10 (137). – С. 87-97.
11. *Сергеев Н.Е., Целых А.А.* Нечеткие теоретико-графовые подходы к моделированию и анализу социосемантических сетей знаний для задач принятия решений в научной и научно-технической экспертизе // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2016. – № 09 (123). – С. 1-21. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2016/09/pdf/27.pdf>.
12. *Емеличев В.А.* Дискретная оптимизация. Последовательные схемы решения. II // Кибернетика. – 1972. – № 2. – С. 109-121.
13. *Himsolt M.* GraphEd: a graphical platform for the implementation of graph algorithms // Lect. Notes Comput. Sci. – 1994. – Vol. 894. – P. 182-193.
14. *Sugiyama K., Missue K.* A generic compound graph visualizer/manipulator: D-ABSTRUCTOR // Lect. Notes Comput. Sci. – 1995. – Vol. 1027. – P. 500-503.

15. *Gasner E.R., North S.C., Vo K.P.* DAG – a program that draws directed graph // Software – Practice and Experience. – 1998. – Vol. 18, No. 1. – P. 1047-1062.
16. *Кристофидес Н.* Теория графов. Алгоритмический подход. – М.: Мир, 1978. – 432 с.
17. *Целых А.А.* Графогиперграфовая модель семантической социальной сети // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2012. – № 4 (129). – С. 225-229.
18. *Сергеев Н.Е., Целых Ю.А.* GH-модели социальных сетей // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2009. – № 1 (90). – С. 90-95.
19. *Целых А.Н., Котов Э.М., Целых А.А.* Метод информационного поиска на основе нечеткого сходства ситуаций // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2014. – № 6 (155). – С. 74-78.
20. *Целых А.А.* Метод распознавания изоморфного вложения нечетких графов на основе нечеткого множества клик // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2008. – № 4 (81). – С. 129-132.
21. *Sergeev N.E., Tselykh A.A., Tselykh A.N.* Generalized approach to modeling user activity graphs for network security and public safety monitoring // SIN 2013 – Proceedings of the 6th International Conference on Security of Information and Networks, 2013. – P. 117-122.

REFERENCES

1. *Kurapov S.V., Chechenya V.S.* Topologicheskie metody postroeniya risunka grafa [Topological methods for the construction of the pattern graph], *Радиоэлектроника, информатика, управление* [Electronics, Informatics, control], 2013, No. 1, pp. 72-81.
2. *Kurapov S.V., Davidovskiy M.V.* Proverka planarnosti i postroenie topologicheskogo risunka ploskogo grafa (poiskom v glubinu) [Check planar and the construction of topological flat drawing of the graph (depth first search)], *Prikladnaya diskretnaya matematika* [Applied discrete mathematics], 2016, No. 2 (32), pp. 100-114.
3. *Baburin D.E.* Ierarkhicheskiy podkhod dlya avtomaticheskogo razmeshcheniya atsiklicheskikh grafov [Hierarchical approach to automatic placement directed acyclic graphs], *Sovremennye problemy konstruirovaniya program* [Modern problems of constructing programs]. Novosibirsk: ISI SO RAN, 2002, pp. 7-37.
4. *Apanovich Z.V.* Metody navigatsii pri vizualizatsii grafov [Methods of navigation in visualization of graphs], *Vestnik NGU. Seriya Informatsionnye tekhnologii* [Novosibirsk State University Journal of Information Technologies], 2008, Vol. 6, No. 3, pp. 35-47.
5. *Vasil'ev Yu.M., Fridman G.M.* Vizualizatsiya kooperativnykh skhem: gibridnyy evristicheskiy algoritm dlya minimizatsii kolichestva peresecheniy reber pri ukladke grafa [Visualization of cooperative schemes: a hybrid heuristic algorithm to minimize the number of crossings of edges when laying the graph], *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta* [Izvestiâ Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta], 2017, No. 1-2 (103), pp. 87-93.
6. *Sergeev N.E., Muntyan E.R., Tselykh A.A., Samoylov A.N.* Obobshchenie grafov situatsiy na osnove spiskovogo algoritma svertki dlya zadach situatsionnogo upravleniya [Situation graph generalization for situation awareness using a list-based folding algorithm], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2017, No. 3 (188), pp. 111-121.
7. *Ore O.* Teoriya grafov [Graph theory]. Moscow: Nauka, 1968, 352 p.
8. *Foster Dzh.* Obrabotka spiskov [Processing lists]. Moscow: Mir, 1974, 72 p.
9. *Kormen T., Leyzerson Ch., Rivest R.* Algoritmy. Postroenie i analiz [Algorithms. The construction and analysis]. Moscow: MTsNMO, 2000, 960 p.
10. *Mukha Yu.P., Sekachev V.A.* Algoritm dlya opredeleniya vozmozhnosti nalozheniya napravlennykh grafov [Algorithm to determine the possibility of imposition of directed graphs], *Izvestiya VolgTGU* [Izvestia VSTU], 2014, Vol. 9, No. 10 (137), pp. 87-97.
11. *Sergeev N.E., Tselykh A.A.* Nechetkie teoretiko-grafovy podkhody k modelirovaniyu i analizu sotsiosemanticheskikh setey znaniy dlya zadach prinyatiya resheniy v nauchnoy i nauchno-tekhnicheskoy ekspertize [Fuzzy-theoretic graph approaches to modeling and analysis socioemotional networks of knowledge for decision-making problems in the scientific and technical expertise], *Politematicheskii setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Polythematic network electronic scientific journal of the Kuban state agrarian University], 2016, No. 09 (123), pp. 1-21. Available at: <http://ej.kubagro.ru/2016/09/pdf/27.pdf>.

12. *Emelichev V.A.* Diskretnaya optimizatsiya. Posledovatel'nye skhemy resheniya. II [Discrete optimization. Sequential schemes of solution. II], *Kibernetika* [Cybernetics], 1972, No. 2, pp. 109-121.
13. *Himsolt M.* GraphEd: a graphical platform for the implementation of graph algorithms, *Lect. Notes Comput. Sci.*, 1994, Vol. 894, pp. 182-193.
14. *Sugiyama K., Missue K.* A generic compound graph visualizer/manipulator: D-ABSTRUCTOR, *Lect. Notes Comput. Sci.*, 1995, Vol. 1027, pp. 500-503.
15. *Gasner E.R., North S.C., Vo K.P.* DAG – a program that draws directed graph, *Software – Practice and Experience*, 1998, Vol. 18, No. 1, pp. 1047-1062.
16. *Kristofides N.* Teoriya grafov. Algoritmicheskiy podkhod [Graph theory. Algorithmic approach]. Moscow: Mir, 1978, 432 p.
17. *Tselykh A.A.* Grafogipergrafovaya model' sementicheskoy sotsial'noy seti [Graph-hypergraph model of a semantic social network], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2012, No. 4 (129), pp. 225-229.
18. *Sergeev N.E., Tselykh Yu.A.* GH-modeli sotsial'nykh setey [GH-models of social networks] *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2009, No. 1 (90), pp. 90-95.
19. *Tselykh A.N., Kotov E.M., Tselykh A.A.* Metod informatsionnogo poiska na osnove nechetkogo skhodstva situatsiy [Method of information retrieval based on a fuzzy similarity of situations], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2014, No. 6 (155), pp. 74-78.
20. *Tselykh A.A.* Metod raspoznavaniya izomorfno vložheniya nechetkikh grafov na osnove nechetkogo mnozhestva klik [Recognition method investments isomorphic fuzzy graphs, based on fuzzy sets click], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2008, No. 4 (81), pp. 129-132.
21. *Sergeev N.E., Tselykh A.A., Tselykh A.N.* Generalized approach to modeling user activity graphs for network security and public safety monitoring, *SIN 2013 – Proceedings of the 6th International Conference on Security of Information and Networks, 2013*, pp. 117-122.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор В.В. Курейчик.

Сергеев Николай Евгеньевич – Южный федеральный университет; e-mail: nesergeev@sfedu.ru; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел.: 88634371656; д.т.н., профессор.

Мунтян Евгения Ростиславна – e-mail: ermuntyan@sfedu.ru; тел.: 88634371550; старший преподаватель.

Sergeev Nikolai Evgenievich – Southern Federal University; e-mail: nesergeev@sfedu.ru; 44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371656; dr. of eng. sc.; professor.

Muntyan Evgenia Rostislavna – e-mail: ermuntyan@sfedu.ru; phone: +78634371550; senior lecturer.

УДК 681.3

Ю.О. Чернышев, Н.Н. Венцов, А.А. Долматов

СПОСОБ ПЕРЕНОСА ДАННЫХ МЕЖДУ КОНТЕКСТНО СВЯЗАННЫМИ ЗАДАЧАМИ НА ОСНОВЕ PSO-МЕТОДА*

Во многих случаях получение априорно определенных обучающих данных затруднительно или вообще невозможно. В этой связи перспективным представляется адаптивный перенос имеющихся знаний (transfer learning) из доступных моделей, контекстно связанных областей, в проектируемую систему. В работе рассматривается способ переноса нечетких данных из исходной задачи в целевую. Под исходной понимается задача с большим количеством известных

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 15-01-05129).