

## INTEGRAL ESTIMATION OF ENVIRONMENTAL QUALITY IN ULYANOVSK REGION

© 2014

*S.V. Ermolaeva*, candidate of biological sciences, Associate Professor,  
senior research scientist of the Department of Research

*V.V. Klochkov*, candidate of medical sciences, Associate Professor of the Department of Hospital Surgery

*E.O. Ivanov*, student of the Ecology Faculty  
*Ulyanovsk State University, Ulyanovsk (Russia)*

*Keywords:* rated values; deposit environment; integral rating; environmental quality; degree of ecological and hygienic welfare of the environment.

*Annotation:* The study involves typification of Ulyanovsk region areas based on the environmental quality grades and the degree of ecological and hygienic welfare, reflected in some partial and integral criteria, or in other words, rating of the environmental quality of municipal districts and urban settlements of Ulyanovsk region. The original base of ecological and hygienic data for determination of the degree of ecological and hygienic welfare of the environment of various districts of the region is represented for the 11-year period from 2001 to 2011 by the following indicators: the number of pollution agents in the atmosphere, potable water and soil of settlement zones. Integral estimation of the environmental quality was performed using calculation; it summarizes data on individual components of the environment. The condition of deposit environments, such as atmospheric air, potable water and soil, was considered as environmental indicators for assessment. The development of methodological approach of integral estimation of the environmental quality helped to range Ulyanovsk region areas according to the degree of ecological and hygienic welfare, as well as to identify quality grades of the deposit environments. The «critical» grade of the deposit environments quality and the increased degree of ecological and hygienic ill-being was found in 10 areas: Novoulyanovsk, Ulyanovsk, Dimitrovgrad, as well as Ulyanovskiy, Pavlovskiy, Sengileevskiy, Novospasskiy, Melekesskiy, Bazarnosyzganskiy and Nikolaevskiy districts. The «stressed» quality of the deposit environments and the moderate degree of ecological and hygienic ill-being was observed in Staromaynskiy, Tsilninskiy, Starokulatinskiy, Mainskiy, Cherdaklinskiy, Inzenskiy, and Kuzovatovskiy districts. Territories where the environmental quality values are above the average regional level are characterized as «of relatively satisfactory» environmental quality areas. These territories have certain environmental problems requiring local solutions. Among them are Baryshskiy, Veshkaymskiy, Karsunskiy, Novomalyklinskiy, Radischevskiy, Surskiy, Terengulskiy districts. Such typification of areas including characteristics of their specific environmental problems will help to identify the key areas for improvement of the environmental situation in the districts of the region and will serve as the basis for determination of relationship between the environment and the population health of the specific region.

М.А. Костина, сотрудник

Институт экологии Волжского бассейна РАН, Тольятти (Россия)

Е.А. Мельникова, кандидат физико-математических наук, доцент  
Тольяттинский государственный университет, Тольятти (Россия)

**Ключевые слова:** граф; визуализация; метод имитации отжига; генетические алгоритмы; критерии качества раскладки графа.

**Аннотация:** Графы применяются для моделирования разнообразных объектов и связей между ними в самых разных областях наук и техники. На современном этапе развития информационных технологий возрастает также необходимость использования графов с целью анализа сложных данных. Графы дают возможность представить информацию в наглядном и удобном для понимания виде. Поэтому актуальной является проблема разработки алгоритмов для автоматического размещения графов на плоскости.

В статье проанализированы критерии качества визуализации графов для разных предметных областей, а также алгоритмы визуализации графов в соответствии с заданными критериями. Выделены следующие критерии: количество пересечений ребер, унификация длин ребер, площадь размещения, количество сгибов, симметричность. Анализ показывает, что существующие алгоритмы автоматического размещения графов дают хорошие результаты лишь на определенных классах графов. При визуализации деревьев и ациклических графов стандартные алгоритмы размещения дают достаточно хорошие изображения. Но в изображениях, полученных для произвольных графов, могут появляться слишком длинные ребра, лишние пересечения, наложения ребер на вершины.

В статье приведены некоторые результаты исследования эффективности применения к задаче визуализации графов разработанных авторами генетических алгоритмов, алгоритма имитации отжига. Преимущество этих алгоритмов состоит в том, что они являются универсальными подходами: с помощью них можно построить представление графа в соответствии с любым заданным критерием качества (или даже несколькими критериями), их можно применить для любых классов графов. Также можно отметить, что их достаточно просто реализовать.

Визуализация информации является на сегодняшний день ключевым моментом во многих приложениях в науке и технике. Одним из способов, позволяющих визуализировать сложные данные, является использование графов. Графы помогают представлять информацию в наглядном и удобном для понимания виде, поэтому сейчас происходит интенсивная разработка алгоритмов и систем их визуализации. Немаловажную роль при визуализации графа играют критерии качества, применяемые для того, чтобы повысить наглядность изображения [1; 2]. Выбор критериев происходит в зависимости от конкретной задачи.

Необходимость минимизации количества пересечений возникает, например, при проектировании железнодорожных и других путей, а также интегральных схем. К сожалению, многие графы не являются планарными, поэтому их невозможно изобразить без пересечений. Однако для плоской раскладки графа и попутной проверки, планарен ли он, удобно пользоваться гамма-алгоритмом [3].

Для визуализации ациклических ориентированных графов и деревьев можно применять иерархический подход и алгоритм радиальной раскладки. Однако не для всех планарных и тем более непланарных графов такой алгоритм будет давать изображение с минимумом пересечений. Более того, возможно появление в изображении графа таких недостатков, как наложение ребер на вершины и увеличение площади, занимаемой графом.

Построение изображения *небольшого размера* требуется в тех случаях, когда экономия места на экране представляется весьма значимой. При этом площадь размещения может определяться несколькими способами. Например, можно ее определять через площадь минимального выпуклого многоугольника, покрывающего рисунок, или как площадь покрывающего рисунок

наименьшего прямоугольника с горизонтальными и вертикальными сторонами.

Для определенных типов графов существуют алгоритмы, способные минимизировать площадь, занимаемую изображением. Так, для деревьев существует алгоритм [4], который за линейное время строит изображение дерева в области размера  $O(n^2)$ , где  $n$  – число вершин в дереве.

Следует отметить, что, как правило, чем меньше площадь, занимаемая графом, тем меньше общая длина его ребер. Длину ребер также можно определять различными способами, например, используя евклидову метрику. Можно использовать более простой способ. Пусть первая вершина ребра имеет координаты  $(x_1, y_1)$ , а вторая –  $(x_2, y_2)$ . Тогда длина ребра будет равна

$$l = |x_2 - x_1| + |y_2 - y_1|.$$

Использование иерархического метода успешно позволяет минимизировать общую длину ребер. Если рассматривать произвольный граф, то для минимизации общей длины ребер можно применять алгоритмы, основанные на физических аналогиях. Действительно, с одной стороны, силы растяжения, действующие между вершинами, соединенными ребром, будут заметно уменьшать его длину, а с другой стороны, силы отталкивания будут растаскивать слишком близко находящиеся вершины. Таким образом, в хорошей раскладке не будет слипшихся вершин и, и общая длина ребер будет минимальной.

Минимизация количества сгибов важна, например, для построения генеалогического древа, при работе с различными классификациями и таксономиями.

Изображения графов с *ребрами одинаковой длины* применяются в физике, химии, биологии (при рисовании

кристаллических решеток, молекулярных связей). Для ациклических графов с этой целью можно применять иерархический подход или алгоритм радиальной раскладки. Для этого достаточно положить расстояния между уровнями (иерархический подход) или концентрическими окружностями (радиальный подход) одинаковыми.

Для произвольных графов данные алгоритмы нечасто дают желаемый результат. Аналогичные выводы можно сделать и об алгоритмах планаризации. Например, в гамма-алгоритме ребро, которое создает пересечение, выносится во внешнюю грань графа. Таким образом, его длина увеличивается, иногда довольно значительно.

Если критерий минимизации пересечений ребер в графе не является главным в условиях конкретной задачи, то для достижения унификации ребер можно с успехом применять методы использования физических аналогий: если рассматривать граф как комбинацию электронных сил и пружин, то можно найти такое значение длины, которое для всех ребер будет примерно одинаковым.

Влияние *симметричности* на понимание изображения графа пока не нашло экспериментального подтверждения. Однако никогда не является лишним продемонстрировать, если это возможно, существующую в нем симметрию.

Очевидно, что для деревьев при помощи иерархического подхода можно получить достаточно привлекательное изображение, симметричное относительно оси *Ox* или *Oy*. Радиальное изображение таких графов тоже дает неплохие результаты, если требуется удовлетворить критерий симметричности. Эксперименты также показали, что во многих случаях алгоритмы на основе физических аналогий строят симметричные изображения графа (рис. 1).

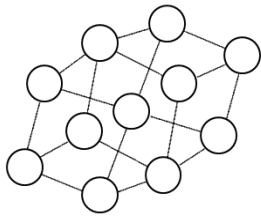


Рис. 1. Граф, полученный при использовании «пружинного» метода

Итак, из всего вышеизложенного можно сделать следующие выводы. Во-первых, рассмотренные алгоритмы автоматического размещения графов дают хорошие результаты лишь на определенных их классах. Во-вторых, создаваемое изображение графа сильно зависит от его конкретного применения. Должны быть удовлетворены некоторые критерии качества, которые предъявляются изображению. Не все алгоритмы визуализации графов могут обеспечить выполнение заданных критериев. Поэтому является важным отыскание таких подходов, которые позволяли бы не только удовлетворять определенный критерий качества, но и пре-

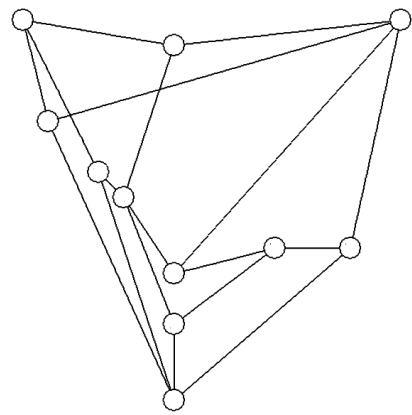
доставляли возможность работать с произвольными графами.

Метод имитации отжига [5] и генетические алгоритмы являются универсальными подходами, позволяющими оптимизировать любой из критериев качества, и применяются для любых классов графов. К числу их преимуществ также относится простота их реализации и понятность для пользователя.

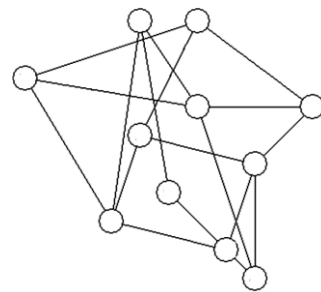
Были реализованы программы, позволяющие размещать на плоскости произвольные графы. Размещение графа производилось в соответствии с заданными критериями качества: минимизация пересечений ребер в графе; минимизация площади графа; унификация длин ребер; минимизация пересечений + унификация ребер; минимизация площади + унификация ребер.

При этом для решения двух последних задач применялся один из методов многокритериальной оптимизации – *метод взвешенных сумм (метод свертки)* [6; 7]. Коэффициенты важности были положены одинаковыми и равными 0,5.

Было проведено исследование эффективности применения разработанных алгоритмов к задаче размещения графов на плоскости. В процессе исследований алгоритмы были применены к графам разного типа [8]. Изображения, полученные при использовании генетического алгоритма и метода отжига, оказались достаточно хорошими. При этом было замечено, что многокритериальная оптимизация дает решение лучшего качества, чем выполнение критериев по отдельности (рис. 2).

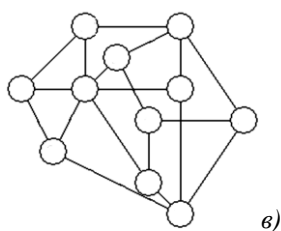


а)



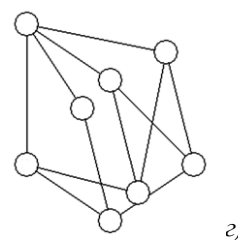
б)

Рис. 2. Результаты работы метода отжига  
а) минимизация пересечений  
б) унификация ребер



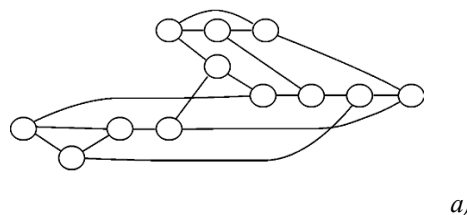
**Рис. 2.** Результаты работы метода отжига  
 в) минимизация пересечений + унификация ребер

При визуализации деревьев и ациклических графов стандартные алгоритмы оптимизации дают достаточно хорошие изображения. Однако при размещении произвольных графов такое встречается нечасто. В рисунке могут появляться слишком длинные ребра, лишние пересечения, наложения ребер на вершины. На рис. 3 представлены различные изображения графа, полученные при использовании существующих алгоритмов визуализации (изображения а)-в) получены с помощью системы визуализации графов Graphviz.) и реализованного метода отжига для решения многокритериальной задачи.

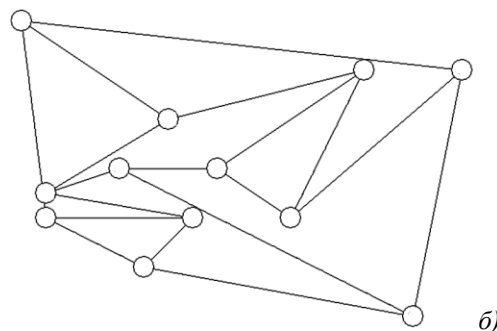


**Рис.3.** Различные изображения графа,  $V=8, E=12$   
 г) метод отжига

Но в некоторых случаях даже они не достигают решения заданного качества, например, при создании плоского изображения графа, в то время как реализованный генетический алгоритм находит такое решение (рис. 4).



а)



б)

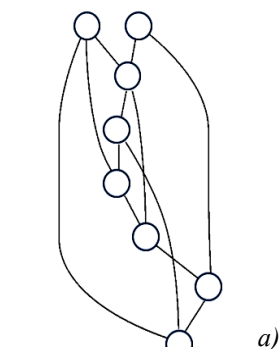
**Рис.4.** Минимизация числа пересечений  
 а) иерархический подход, б) генетический алгоритм

Таким образом, можно сделать вывод о том, что рассмотренные алгоритмы являются приемлемыми методами при решении задачи визуализации графов.

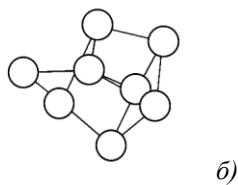
Работа частично поддержана региональным грантом РФФИ № 13-01-97003, а также ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы (соглашение № 14.В37.21.1934).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

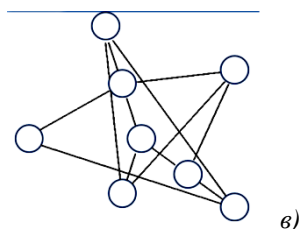
1. Апанович З. От рисования графов к визуализации информации // Институт систем информатики им. А.П. Ершова СО РАН. Режим доступа: [www.iis.nsk.su/files/](http://www.iis.nsk.su/files/) (дата обращения 13.10.2014).
2. Коротков М. Разработка и реализация алгоритма укладки диаграмм состояний // Computer technologies department. Режим доступа: [www.rain.ifmo.ru](http://www.rain.ifmo.ru) (дата обращения 12.10.2014).
3. Иринева А., Каширин В. Алгоритм плоской укладки графов // Computer technologies department. Режим доступа: [www.rain.ifmo.ru](http://www.rain.ifmo.ru) (дата обращения 12.10.2014).



а)



б)



в)

**Рис.3.** Различные изображения графа,  $V=8, E=12$   
 а) иерархический метод, б) «пружинный» метод,  
 в) радиальный метод

Известно, что большинство алгоритмов визуализации базируется на выделении одного критерия качества, стараясь по возможности удовлетворить оставшиеся.

4. Касьянов В., Евстигнеев В. Графы в программировании: обработка, визуализация и применение. СПб., 2003. 1104 с.
5. Мельников Б., Эйрих С. Подход к комбинированию незавершенного метода ветвей и границ и алгоритма имитационной нормализации // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Системный анализ и информационные технологии. 2010. № 1. С. 35–38.
6. Многокритериальная оптимизация: математические аспекты / Б.А. Березовский [и др.]. М., 1989. 126 с.
7. Мельников Б.Ф. Мультиэвристический подход к задачам дискретной оптимизации // Кибернетика и системный анализ. 2006. № 3. С. 32–42.
8. Мельникова Е.А., Сайфуллина Е.Ф. Подход к проверке изоморфизма графов с помощью построения инвариантов // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. 2013. № 1. С. 113–120.

#### ARTIFICIAL INTELLIGENCE ALGORITHMS IN THE PROBLEM OF GRAPH VISUALIZATION

© 2014

**M.A. Kostina**, research technician

*Institute of Ecology of Volga Basin of Russian Academy of Sciences, Togliatti (Russia)*

**E.A. Melnikova**, candidate of physical and mathematical sciences

*Togliatti State University, Tolyatti (Russia)*

*Keywords:* graph; visualization; simulated annealing method; genetic algorithms; performance criteria of graph layout.

*Annotation:* Graphs are used for simulation of various objects and relations between them in different areas of science and technology. At the present stage of the information technology development the necessity of applying of graphs for the complex data analysis increases. The graphs allow to represent information in a clear and easy for understanding view. That is why the issue of development of algorithms for automatic graphs placement on the plane is actual today. The article analyzes the performance criteria of graphs visualization for various subject areas, as well as the algorithms for graphs visualization in accordance with the predetermined criteria. The authors distinguished the following criteria: the number of ribs intersections, the ribs length unification, the placement area, the number of folds, symmetry. The analysis shows that the existing algorithms of automatic graphs location work well only for certain graphs classes. When visualizing trees and acyclic graphs the standard placement algorithms give rather good picture. But rather long ribs, the extra intersections, and the superposition of ribs on the state points may appear in the pictures produced for arbitrary graphs. The article presents some results of study of the efficiency of simulated annealing algorithm applying to the issue of the graphs visualization of genetic algorithms developed by the authors. The advantage of these algorithms is that they are the versatile approaches: using them it is possible to develop graph representation in accordance with the predetermined quality criterion (or even several criteria), they can be used for any graph class.