

## Communication network simulation. Graph imaging

### Гойхман / Goyhman V.

Вадим Юрьевич  
(vg@sotsbi.ru)

кандидат технических наук.  
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича» (СПбГУТ),  
доцент кафедры инфокоммуникационных систем.  
г. Санкт-Петербург

### Ермаков / Ermakov A.

Алексей Валентович  
(ermakov-it@yandex.ru)

кандидат экономических наук.  
ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет им. М. К. Аммосова»,  
проректор по техническому направлению.  
г. Санкт-Петербург

### Есалов / Esalov K.

Кирилл Эдуардович  
(yk@bonch-ikt.ru)  
СПбГУТ, начальник НОЦ.  
г. Санкт-Петербург

### Яковлев / Yakovlev V.

Владислав Владимирович  
(yakovlevladyakovlev@yandex.ru)  
СПбГУТ, бакалавр.  
г. Санкт-Петербург

**Ключевые слова:** моделирование сетей связи – communication network simulation; визуализация сетей связи – communication network imaging; визуализация графов – graph imaging; силовые алгоритмы визуализации – imaging power algorithms.

Визуализация – один из важнейших этапов при моделировании сетей связи. Данная работа предлагает один из множества подходов к решению этой задачи. Формализуя условия, можно определить цель как разработку и реализацию алгоритма визуализации общего графа. Существуют различные методы визуализации графов, многие из которых опираются на определенную топологию: планарные графы, деревья. В данной статье рассматриваются алгоритмы для визуализации общих графов, т.е. алгоритмы, предназначенные для визуализации графов с заранее неизвестной топологией.

Imaging is one the most important phases when simulating communication networks. This paper offers one out approach of a variety of approaches to resolving said task. By formalizing conditions once can define the objective as developing and implementing common graph imaging algorithm. Various techniques of graph imaging exist many of which rest on a specific topology: planar graph, trees. This paper considers algorithms for imaging common graphs i.e. algorithms intended for imaging graphs with topology unknown in advance.

## Введение

Задачи моделирования являются неотъемлемой частью исследования и проектирования систем и сетей связи, а визуализация – один из важнейших этапов этих процессов, позволяющий представить структуру моделируемой системы в виде, удобном для восприятия человеком.

Тенденции, обуславливающие развитие инфокоммуникационного пространства, безусловно, отражаются на процессах, сопряженных с его моделированием и визуализацией.

Одной из тенденций развития сетей связи является увеличение их размеров, обусловленное увеличением числа пользователей, организацией межмашинного взаимодействия, увеличением объемов трафика. Соответственно растет объем оборудования, используемого для построения современных сетей: увеличение числа конечных узлов и связей между сегментами сети, рост числа сетевого оборудования (маршрутизаторы, коммутаторы, концентраторы и пр.). Именно это обуславливает сложности в восприятии структуры системы при моделировании.

На сегодняшний день имеются различные методы визуализации, каждый из которых имеет свою специфику и особенности.

## Методология

При визуализации сетей связи широко используется понятие: "граф". Граф – это формальная модель, в которой объекты моделируемой системы представляются вершинами, а связи между объектами – дугами (в ориентированном графе) или ребрами (в неориентированном графе), в зависимости от направленности графа [2]. Сложно представить формальное описание сети связи, подходящее лучше. Таким образом, можно охарактеризовать визуализацию сетей связи как поиск расположения на плоскости вершин неориентированного графа. Узлы сети представляются как вершины графа, а связи между ними как его ребра.

Наиболее простой способ размещения вершин графа – радиальное представление. В общем случае данный метод предполагает расположение вершин графа на нескольких уровнях – окружностях с разным радиусом. На окружности с радиусом  $R_1$  размещается сетевое оборудование, а на окружности с радиусом  $R_2 > R_1$  размещаются конечные узлы, внешние связи и пр. Очевидно, что такой способ подходит лишь для малых сетей. Изображение, содержащей более 20 узлов, окажется совершенно ненаглядным и неинформативным: в таком изображении будет сложно отследить существующие взаимосвязи и оценить всю структуру в целом.

На рис. 1 приведена визуализация абстрактного графа при помощи рассмотренного метода. Как и утверждалось выше, в таком визуальном представлении оценка структуры системы представляется затруднительной.

Существует множество различных алгоритмов для размещения на плоскости вершин графа. Это связано с большим количеством различных видов графов, таких как деревья, полные графы, планарные графы (такие графы, которые могут быть построены без пересечений ребер) и пр. Соответственно, различные алгоритмы

специализированы для визуализации различных видов графов [3] и могут накладывать свои ограничения на расположение вершин: вершины могут располагаться только в узлах сети, или могут быть сконцентрированы в каких-либо областях, на окружности, на параллельных прямых. Ребра могут быть представлены как прямые, кривые, ортогональные линии [3]. Также выделяются различные алгоритмы для построения больших и малых графов. Алгоритмы для построения больших графов будут неэффективны при построении малых, а алгоритмы для построения малых графов будут генерировать неудачные изображения, или же вовсе не смогут разложить на плоскости вершины большого графа. Также следует учесть, что приемы, предназначенные для улучшения читаемости изображений больших графов, будут бессмысленны для малых графов [1].

Поскольку сеть не всегда имеет классическую топологию (звезда, кольцо, и пр.), необходимо выбирать алгоритм размещения общего графа, то есть алгоритм, не зависящий от вида графа, одинаково успешно располагающий различные структуры. Выбирая алгоритм для визуализации, следует точно определить свойства визуализируемого объекта и критерии оценки генерируемых алгоритмом изображений. Для решения исследуемой задачи за основной критерий уместно принять удобство в восприятии полученного изображения человеком, но очевидно, что алгоритмы для визуализации не могут определяться таким абстрактным критерием.

## Критерии

Существует два основных критерия при визуализации графов: равномерное распределение вершин и ребер и минимизация пересечений. Но минимизация пересечений не всегда приводит к улучшению читаемости изображения [4]. На рис. 2 приведены два изобра-

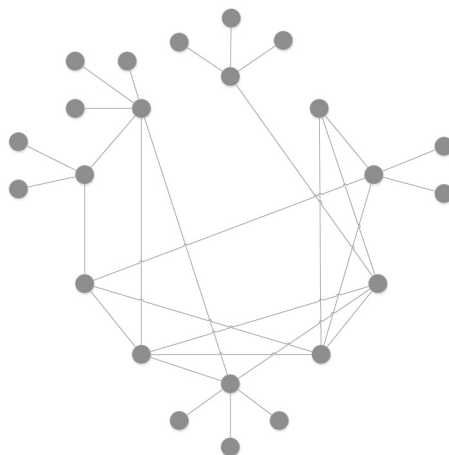


Рис.1. Визуализация при помощи радиального метода

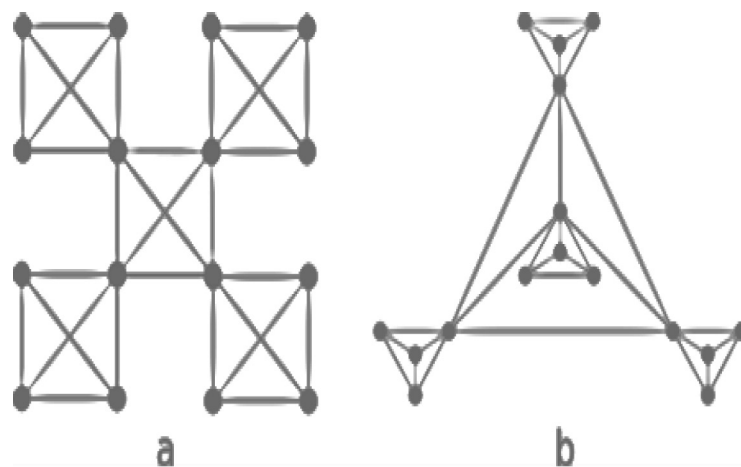


Рис. 2. Симметричное и планарное изображения графа

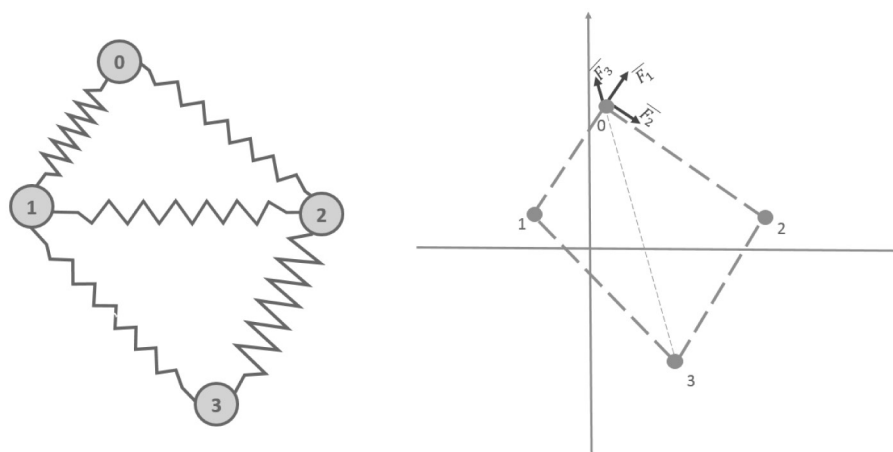


Рис. 3. Граф как физическая модель

жения одного и того же планарного графа. Изображение графа на рис. 2(а) имеет 5 пересечений ребер, а изображение на рис. 2(б) не имеет пересечений. Если мы, по каким-то причинам, заинтересованы в планарности изображения, то, безусловно, размещение вершин, приведенное на рис. 2(б), подходит больше. Но если нас не интересует планарность, изображение с пересечениями представляется более удобным для восприятия.

Одной из важных характеристик алгоритма является симметричность генерируемых им изображений. Это демонстрирует приведенный ранее пример, в котором представлено два различных размещения вершин одного и того же графа. Одно из размещений представляет собой симметричное изображение, содержащее пересечения ребер, а другое изображение, хоть и является планарным, не являясь симметричным, уступает в удобстве восприятия. Существуют алгоритмы, генерирующие исключительно симметричные изображения. Однако очевидно, что следует искать некоторый баланс между различными критериями.

## Силовые алгоритмы

Наиболее гибкие алгоритмы расчета размещения вершин общих неориентированных графов принадлежат к классу силовых алгоритмов. Такие алгоритмы расчета размещения вершин графа используют только информацию, содержащуюся в структуре самого графа, а не полагаются на предметно-специфические знания. Изображения графов, полученные при помощи силовых алгоритмов, как правило, удовлетворяют критерию эстетичности, характеризуются симметричностью, а также, с большой вероятностью, не имеют пересечений ребер для изображений планарных графов, [4] что позволяет сделать вывод о соответствии генерируемых изображений определенным ранее критериям.

Традиционный силовой алгоритм визуализации графов разработал и опубликовал Питер Идс (Peter Eades) в 1984 году [4]. В нем граф представляется как физическая система, в которой ребра представляют собой пружины, а вершины – электрические заряды. Этот алгоритм, минимизируя энергию системы, сдвигает вершины в направлении действующей на них силы. Положение вершин, в котором энергия системы минимальна, является искомым размещением. Таким образом, алгоритм направлен на то, чтобы обеспечить расположение смежных вершин на достаточно близком расстоянии. Данный алгоритм находит симметричное расположение (насколько это возможно при равной длине ребра).

На рис. 3 представлен граф из 4 вершин, как физическая модель, в которой на вершины действуют силы притяжения и отталкивания. Пружины стремятся принять исходное состояние. Соответственно на смежные вершины, расположенные друг от друга дальше, чем заданная идеальная длина ребра, действует

сила притягивающая сила. На вершину с индексом 0 действуют 3 силы со стороны остальных вершин. Силы со стороны вершин с индексами 1 и 2 складываются из силы, действующей на вершину со стороны пружины, и электрическую силу, действующую на вершины как на одноименно заряженные электрические заряды, а со стороны вершины с индексом 3 действует лишь электрическая сила, поскольку вершины 0 и 3 не связаны ребром.

В данной модели силы, действующие на вершины со стороны пружин, как притягивают, так и отталкивают вершины друг от друга, стремясь достичь оптимальной длины ребра. Электрические силы добавлены, чтобы избежать наложения несмежных вершин. Основным минусом данного алгоритма является ограничение на размер визуализируемого графа.

## Заключение

В современном инфокоммуникационном мире моделирование сетей связи, как и моделирование прочих систем, имеет огромное значение для большого числа специалистов, занятого проектированием, исследованием и обслуживанием технических средств. При моделировании современных инфокоммуникационных систем нельзя оставить вопросы их визуализации без должного внимания, поскольку эти вопросы зачастую сопряжены с успешностью всего процесса в целом [1].

Для успешной визуализации моделируемой сети связи необходимо выбрать алгоритм, который в максимальной степени будет соответствовать предъявляемым требованиям, с учетом выбранных критериев.

## Литература

1. Handbook of graph drawing and visualization / ed. by R. Tamassia [et al.]. – Boca Raton: CRC Press, 2013. – 862 p.
2. Касьянов, В. Н. Графы в программировании: обработка, визуализация и применение / В.Н. Касьянов, В.А. Евстигнеев. – СПб. : БХВ Петербург, 2003. – 1104 с.
3. Graph drawing: algorithms for visualization of graph / G. Di Battista [et al.]. – New Jersey: Prentice Hall, 1999. – 397 p.
4. Kamada, T. An algorithm for drawing general undirected graphs / T. Kamada, S. Kawai // Information Processing Letters. – 1989. – Vol. 31. – P. 7–15.
5. Харари, Ф. Теория графов / Ф. Харари. – М.: Эдиториал УРСС, 2003. – 302 с.
6. Опе, О. Графы и их применение / О. Опе. – М.: КомКнига, 2006. – 172 с.