

# Визуализация графов

Computer Science клуб, март 2014

Александр Дайняк, ФИВТ МФТИ

[www.dainiak.com](http://www.dainiak.com)

# Деревья

Генеалогическое дерево династии  
Саксонов (XII век)



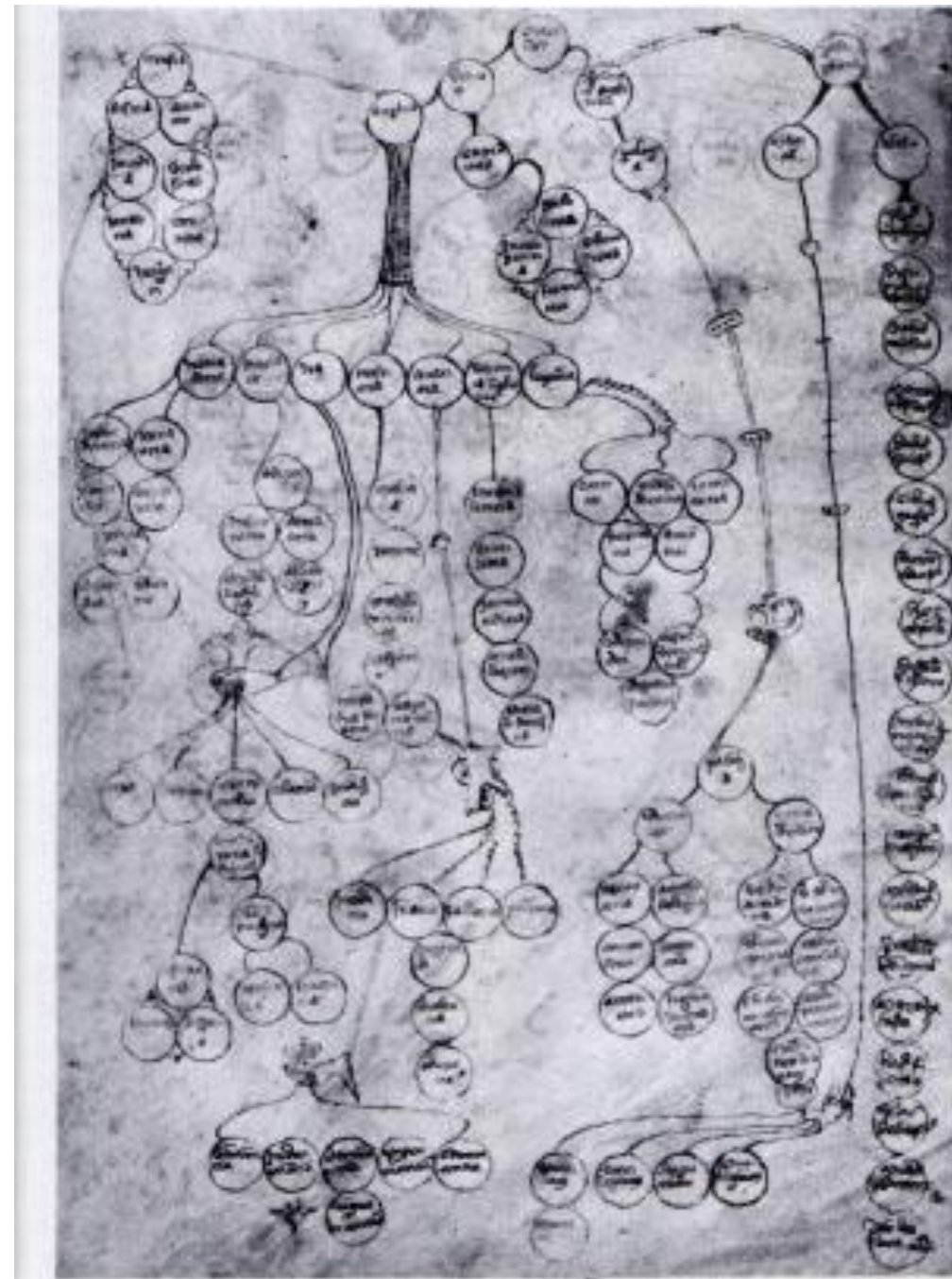
# Деревья

## Дерево добродетелей (XIV век)



# Деревья

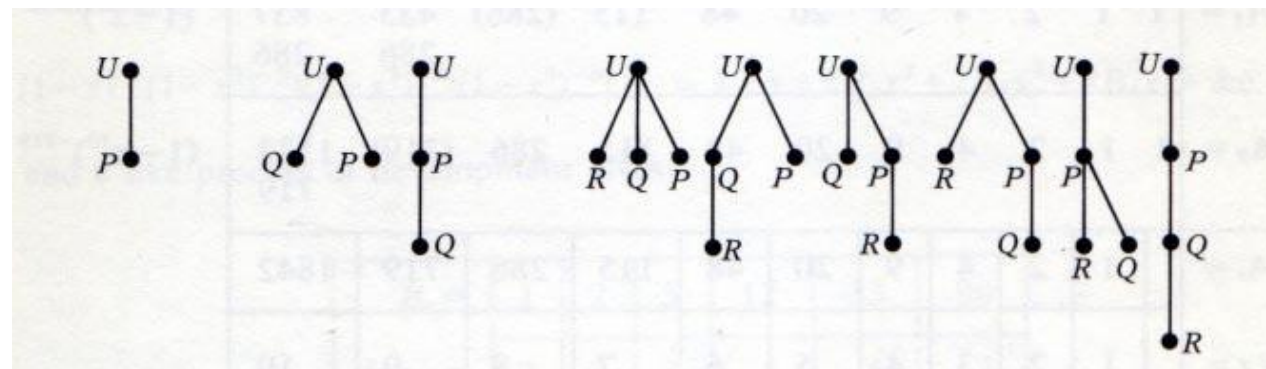
Дерево грехов (XIV век)





# Деревья

Помеченные деревья из статьи Кэли (1857) о деревьях.



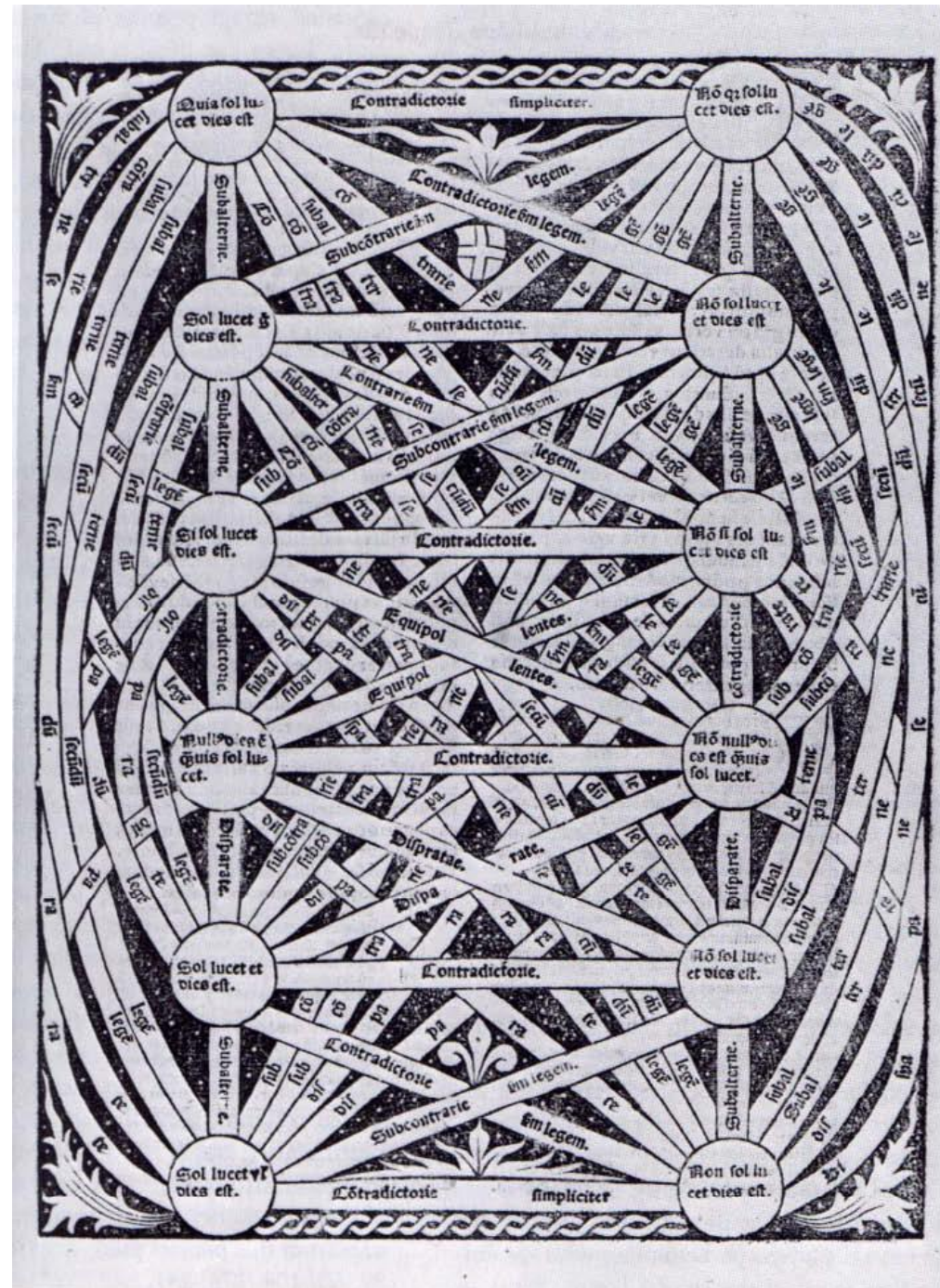
A. Cayley. On the Theory of the Analytical Forms Called Trees.  
*Philosophical Magazine*, 4(13):172–176, 1857.

# Графы

Логический квадрат — диаграмма отношений между силлогизмами.

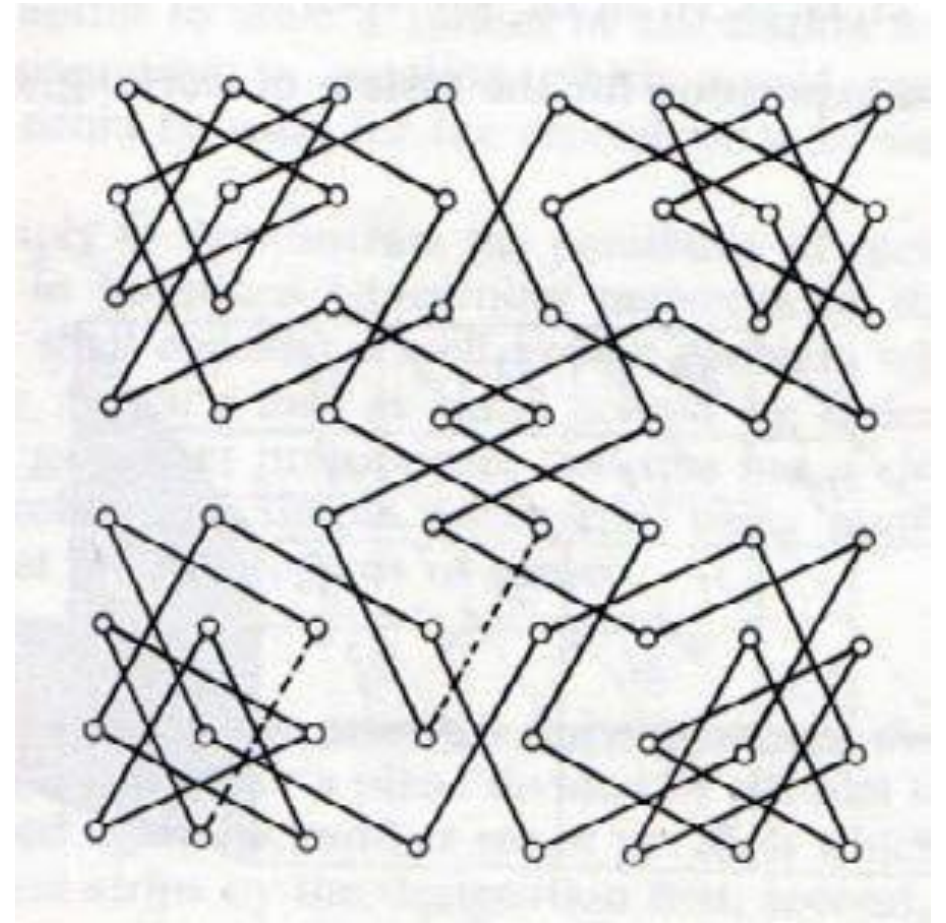
Juan de Celaya (1490—1558)

(Это граф  $K_{12}$ .)



# Графы

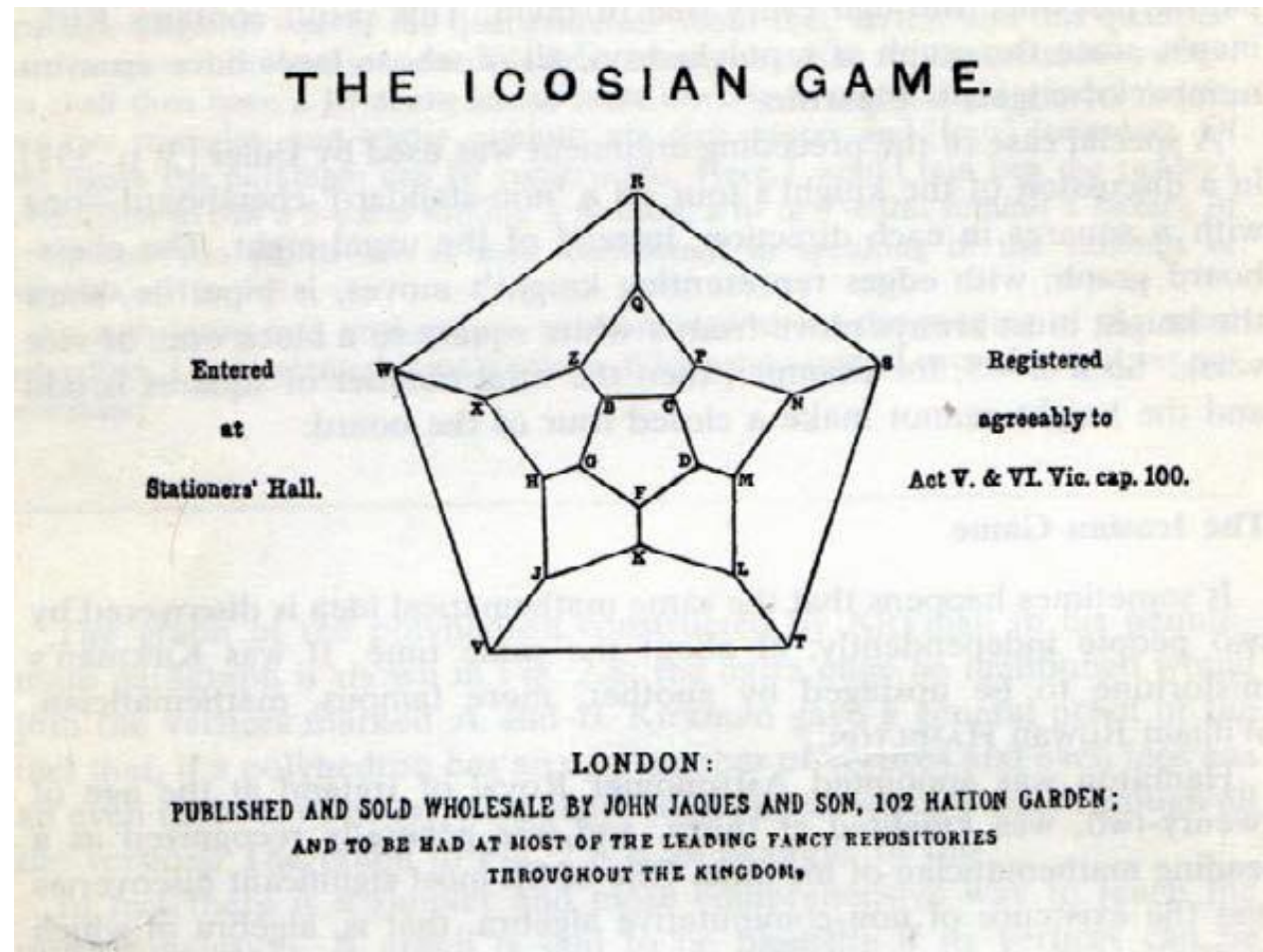
Иллюстрация А.-Т. Вандермонда (1771 г.) к задаче об обходе шахматной доски конём.





# Графы

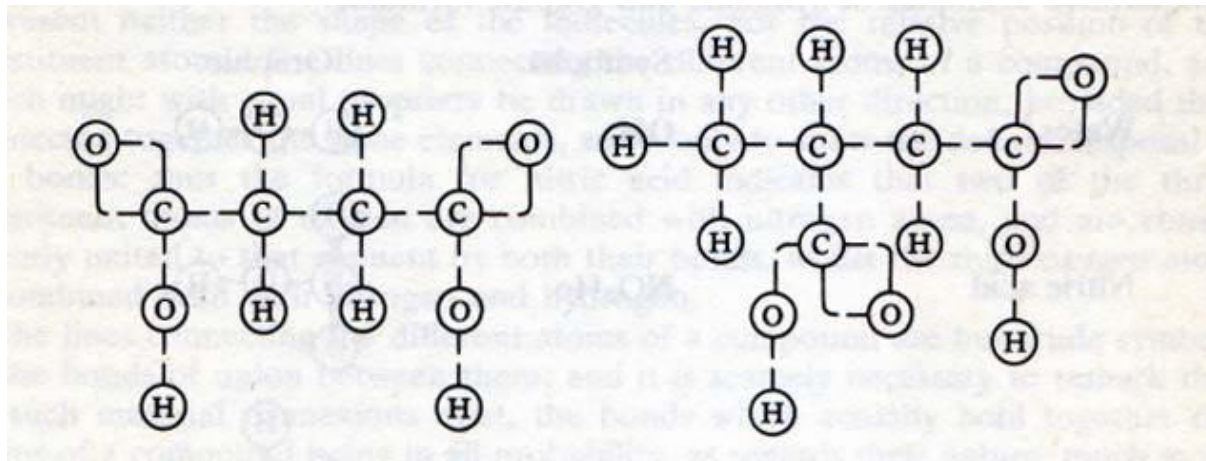
Иллюстрация У. Гамильтона (1857) к задаче об обходе икосаэдра.





# Графы

Графы молекул из статьи А.К. Брауна (1864).



# Ранние статьи по визуализации

- H.W. Tutte '1963

How to draw a graph

- D. E. Knuth '1970

How shall we draw a tree

# Симпозиумы по Graph Drawing

- International Work Meeting on Graph Drawing, Marino (Rome), Italy, June 4—5, 1992
- ...
- 21st International Symposium on Graph Drawing, Bordeaux, France, September 23—25, 2013
- 22nd International Symposium on Graph Drawing, Würzburg, Germany, 24-26 September 2014



# Д. Кнут о визуализации графов

D.E. Knuth (GD' 1996):

- Graph drawing is the best possible field I can think of:  
It merges aesthetics, mathematical beauty and wonderful algorithms.  
It therefore provides a harmonic balance between the left and right brain parts.
- A good graph drawing algorithm should leave something for the user's satisfaction.

# Типичные области применения графов

- Software engineering: UML диаграммы, диаграммы вызовов
- Биология: геномика, пищевые цепи, ...
- Сети: инструменты управления сетями, Интернет
- Безопасность: сетевые атаки
- Социальные сети: Twitter, Facebook, etc.

# Пользовательские требования

- **Читабельность:** видны основные структурные особенности графа.
- **Конформизм:** рисунок должен соответствовать стилевым соглашениям, характерным для конкретной прикладной области.
- **Управляемость:** пользователь может контролировать параметры укладки.
- **Быстродействие** соответствует цели (динамический граф на экране / высококачественная диаграмма для печати / ...)

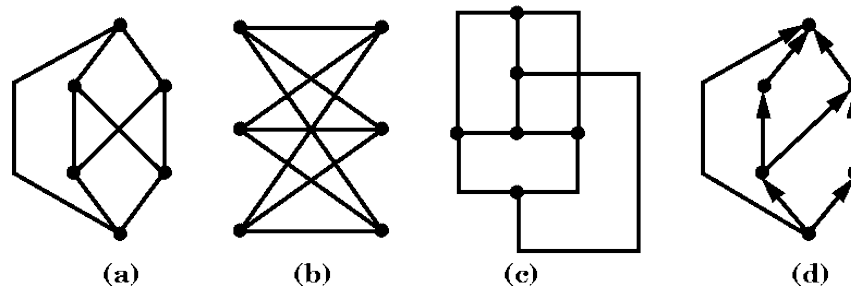


# Соглашения (conventions)

Соглашение — это свойство, которому укладка графа должна удовлетворять «беспрекословно», в противном случае граф не считается уложенным вовсе.

Примеры:

- Вершины графа не должны лежать на рёбрах, концами которых они не являются.
- Как могут изображаться рёбра (отрезком прямой / полилинией / дугой окружности / сплайном / ...)
- Как должны располагаться вершины (если ребро идёт из  $u$  в  $v$ , то  $v$  лежит ниже  $u$  / вершины и изгибы рёбер должны иметь целочисленные координаты / ...).

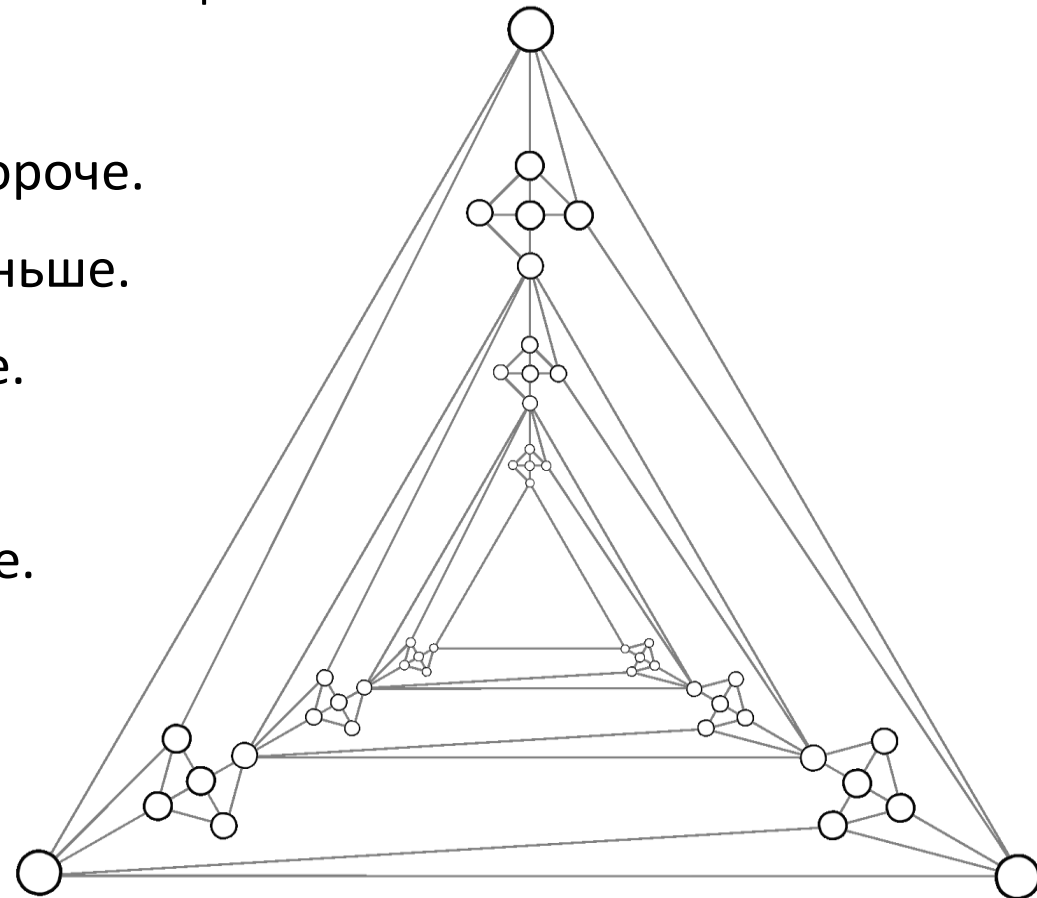


# Соглашения (conventions)

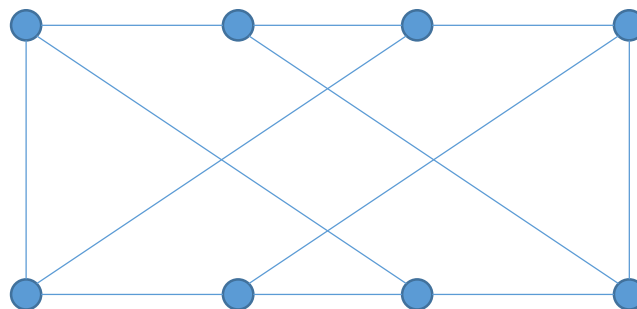
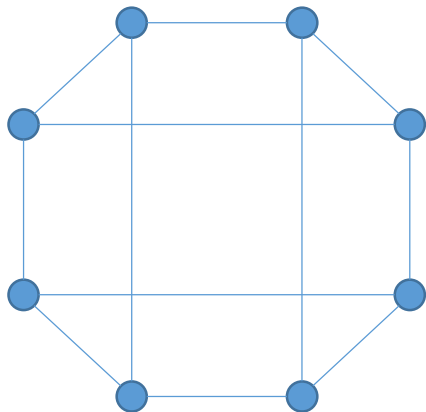
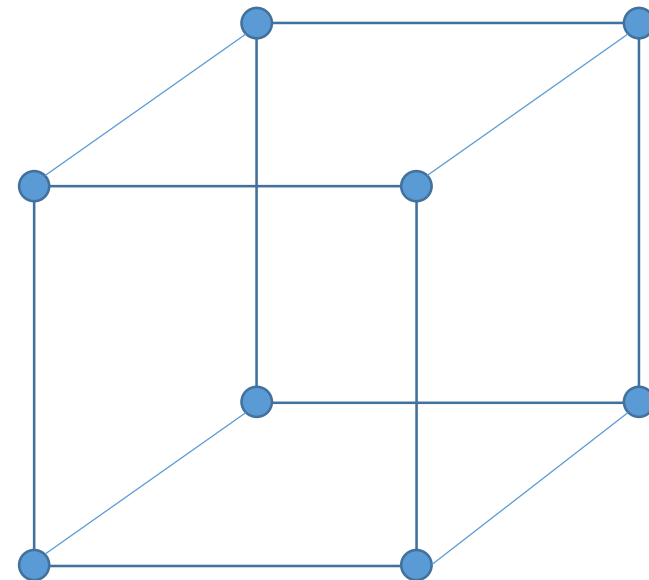
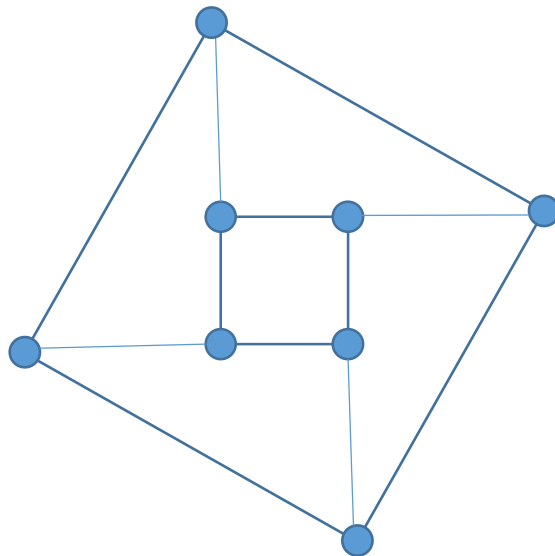
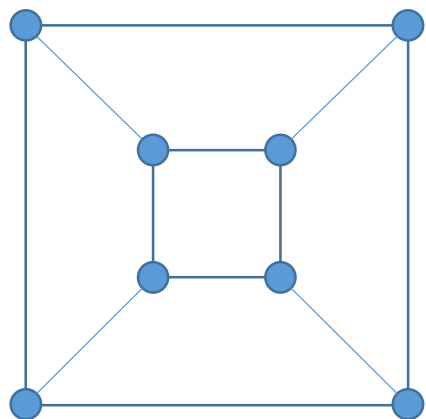
*Правило* — это пожелание, которое следует выполнить в максимально возможном объёме. Правила имеют, в основном, эстетическую мотивацию.

Примеры:

- Кривые, изображающие рёбра, должны быть покороче.
- Количество изгибов на рёбрах должно быть поменьше.
- Число пересечений рёбер должно быть поменьше.
- Вершины не должны находиться слишком близко.
- Углы между пересекающимися рёбрами побольше.
- Площадь укладки поменьше.
- Симметрии графа должны прослеживаться.



# Часто не бывает «лучшей» укладки





# Читабельность vs. соответствие правилам

*There is a gap between the user's  
view and the formalism*  
D. E. Knuth

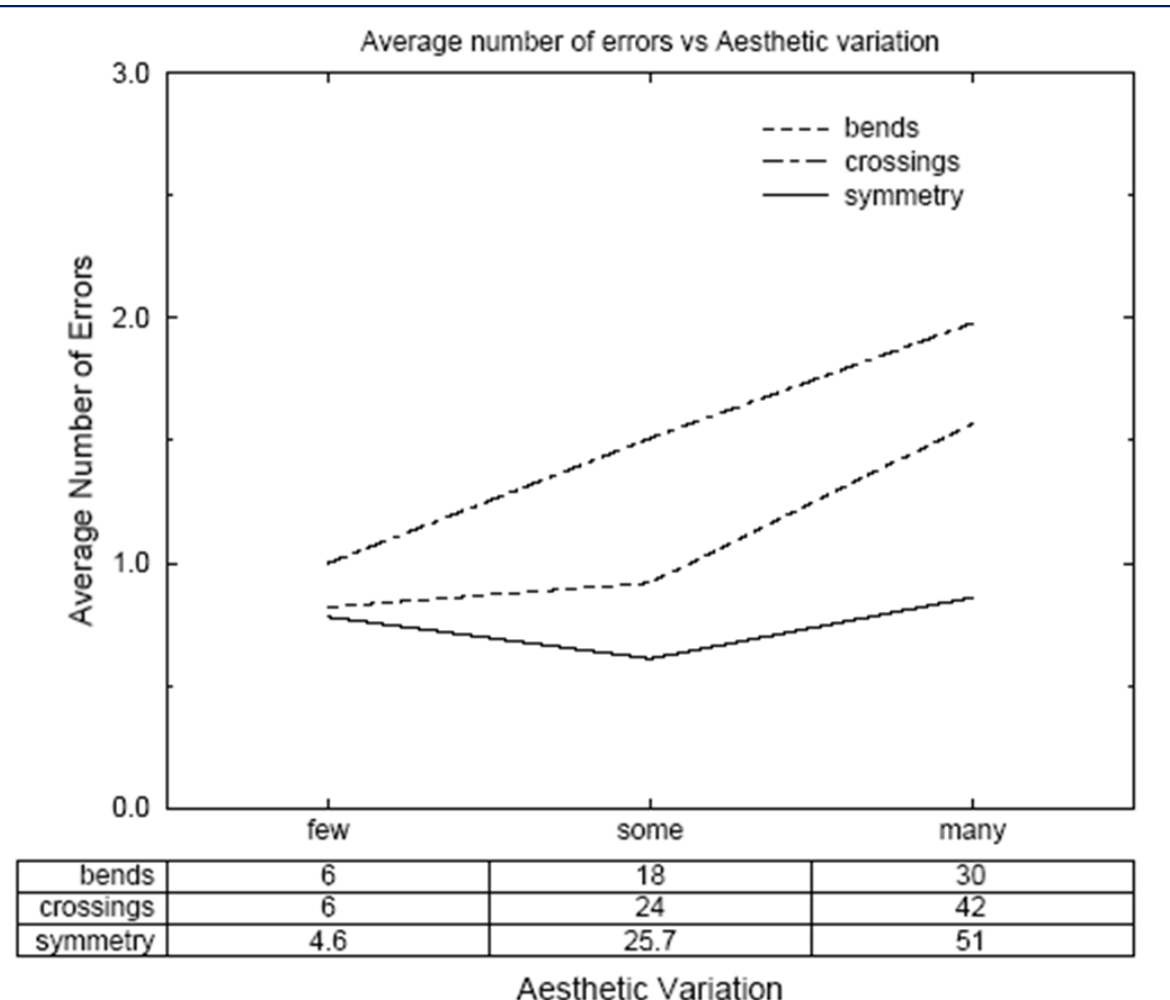


Fig. 3. Results for the dense graph

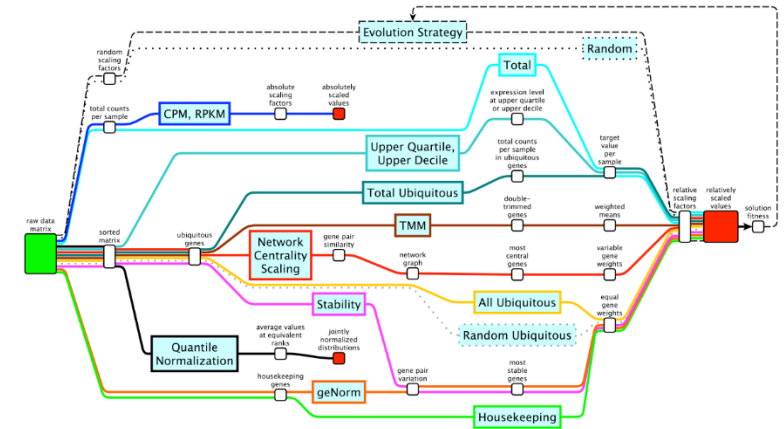
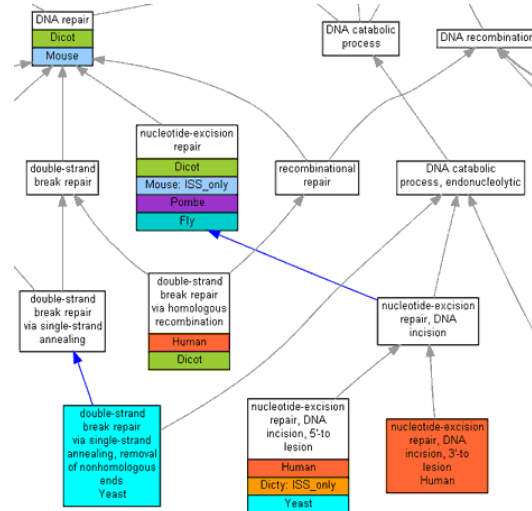
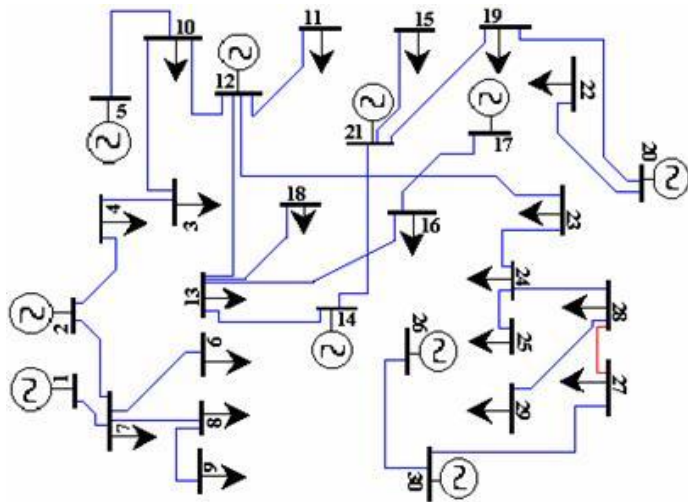
# Трудности визуализации реальных графов

People don't want to draw *graphs*.

They want to draw *pictures* that contain graphs.

*Brendan Madden, 2003*

У реального графа есть семантика → появляются семантические правила.



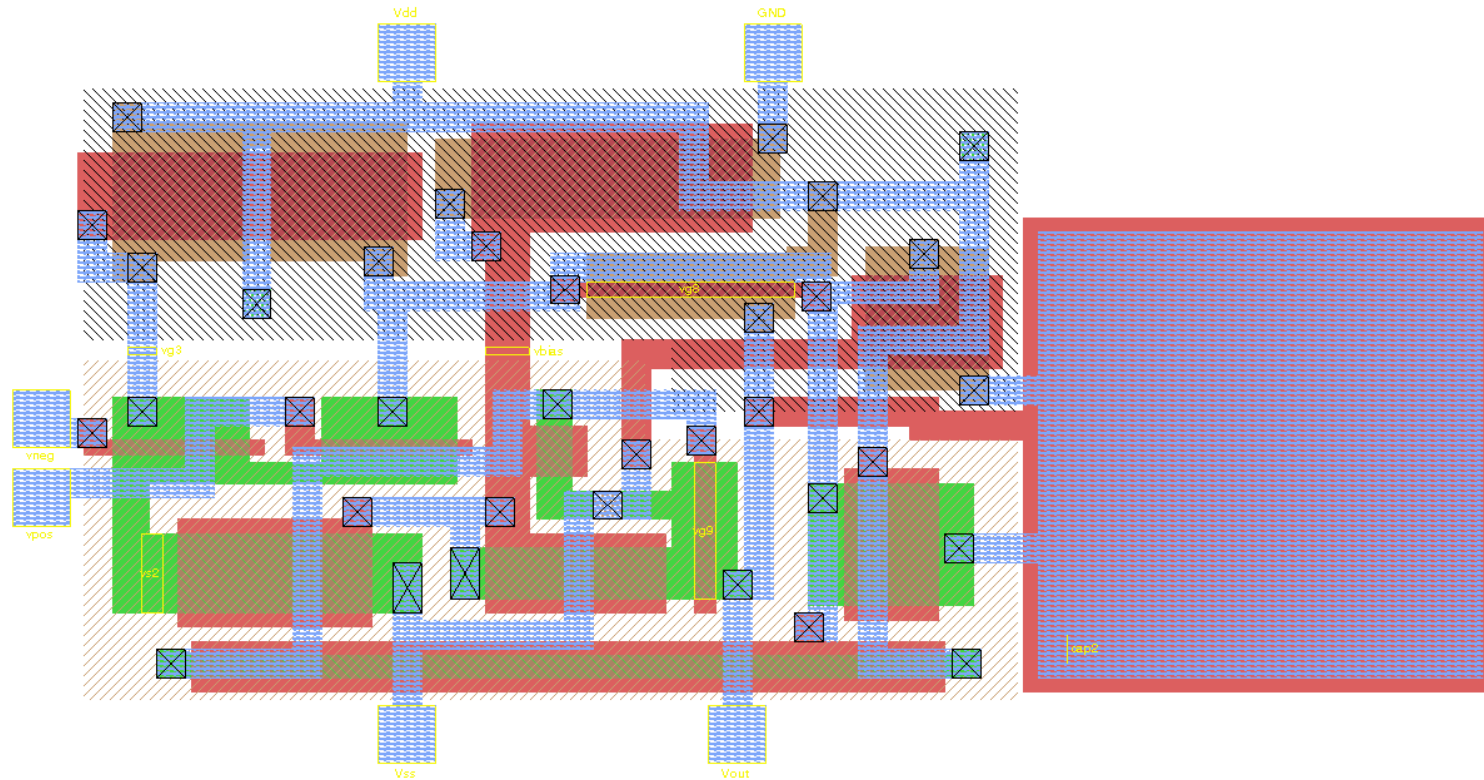
# Трудности визуализации реальных графов

Примеры семантически-продиктованных правил:

- Выделенные вершины должны располагаться неподалёку.
- Выделенные вершины должны располагаться на одной прямой.
- Выделенные вершины должны располагаться в центре рисунка.
- Выделенные вершины должны располагаться на периферии.

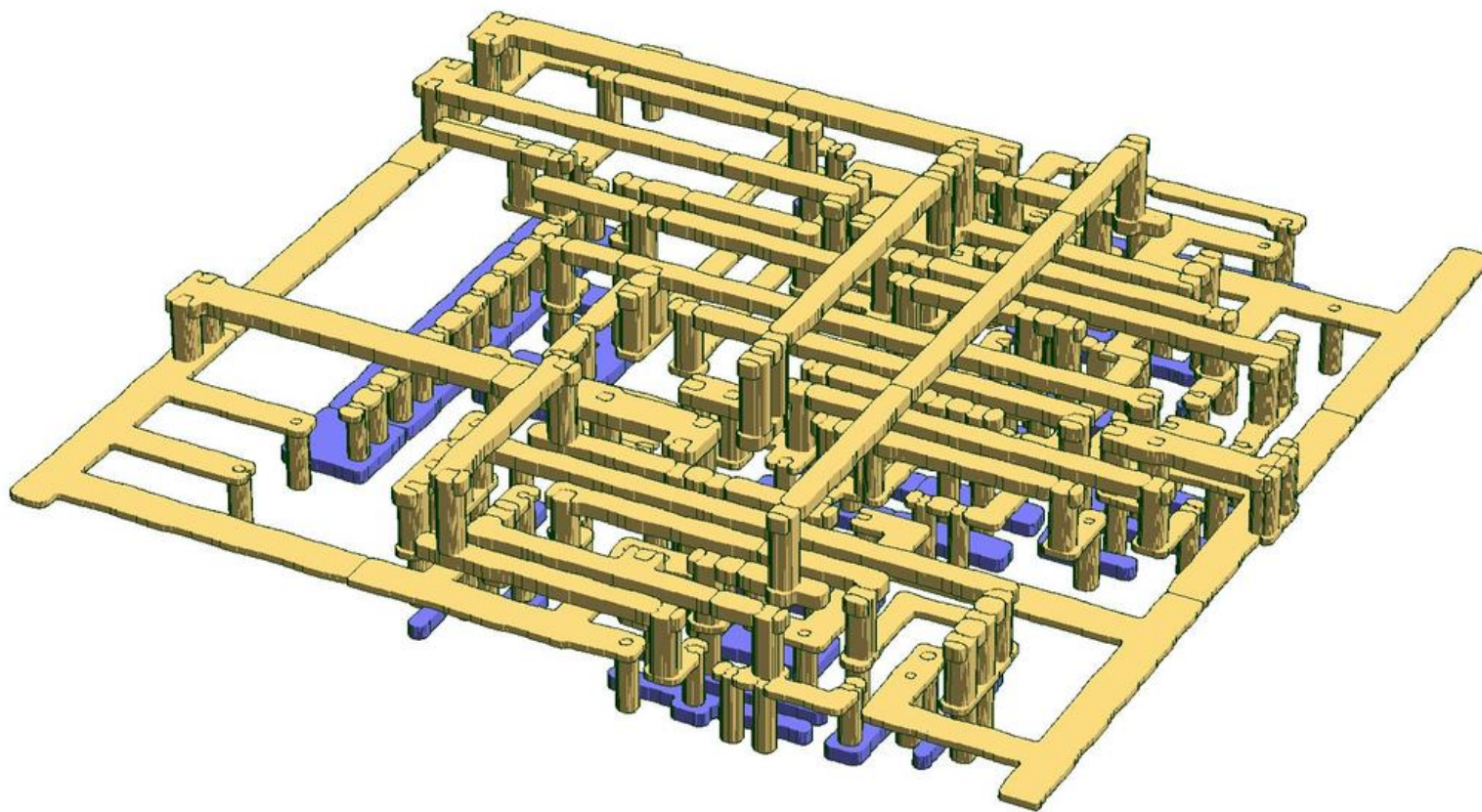
# Укладки СБИС

Ещё сложнее, чем укладка графов: множество дополнительных технологических правил.



# Укладки СБИС

Ещё сложнее, чем укладка графов: множество дополнительных технологических правил.



# Технические подходы к визуализации

- Топология  $\rightarrow$  форма  $\rightarrow$  метрика
- Методы, основанные на укладках планарных графов
- Силовые методы
- Методы типа «разделяй и властвуй»

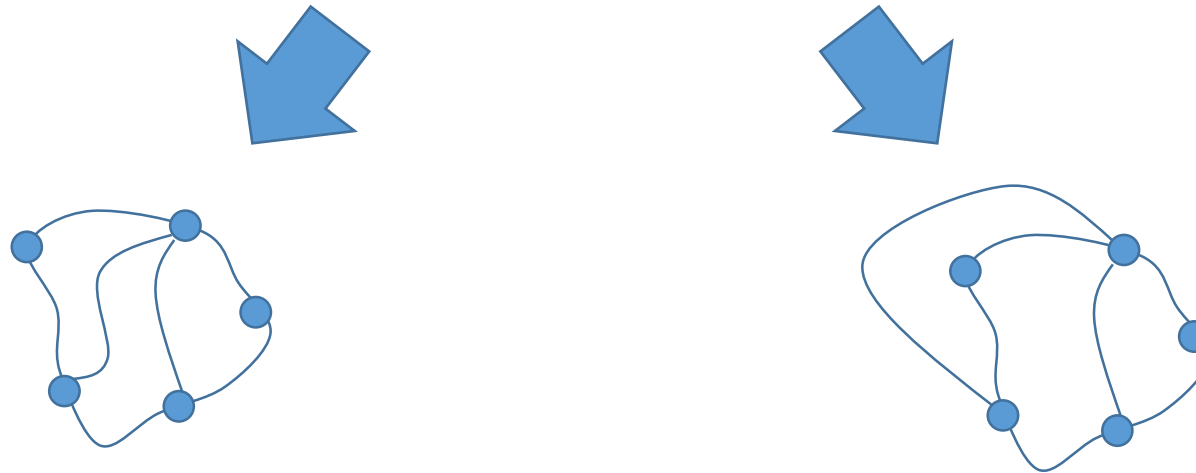


# Топология $\rightarrow$ форма $\rightarrow$ метрика

Этап «топология»: определяем, как упорядочены рёбра вокруг каждой вершины.

$$V := \{1,2,3,4,5\}$$

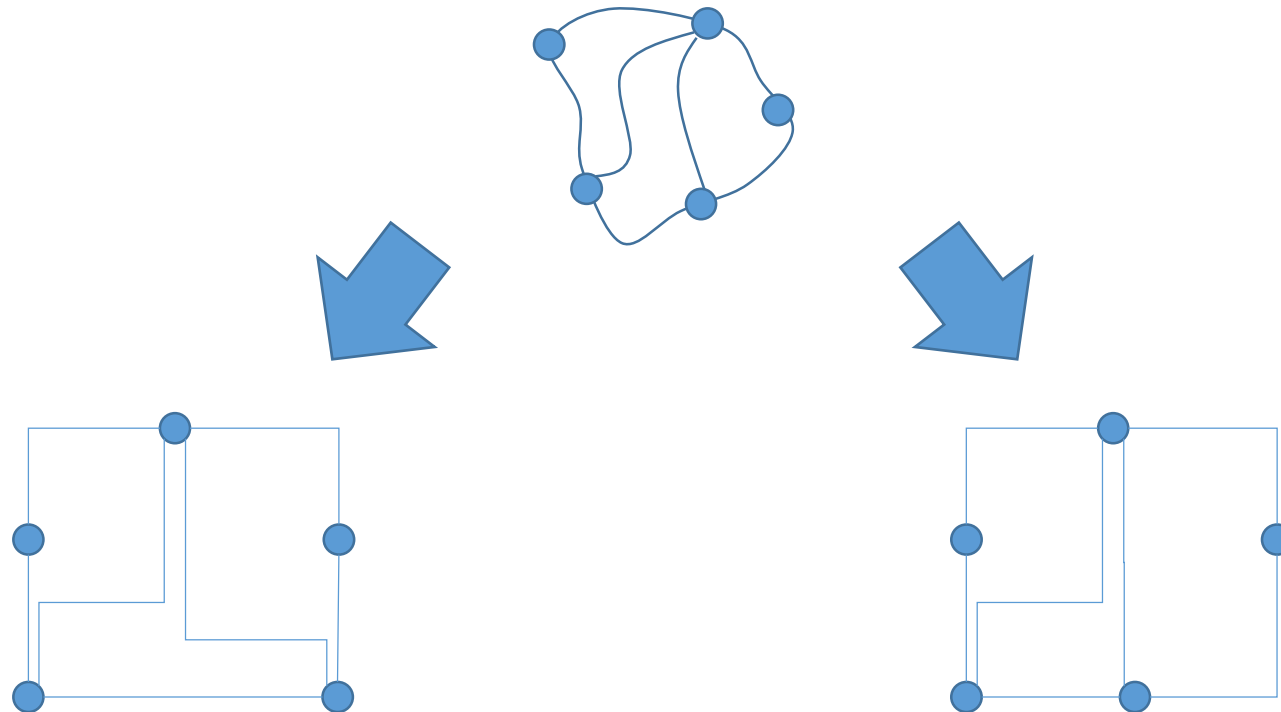
$$E := \{(1,2), (1,3), (1,4), (1,5), (2,4), (3,5), (4,5)\}$$



# Топология $\rightarrow$ форма $\rightarrow$ метрика

Этап «форма»: определяем форму рёбер.

(В случае ортогональных представлений — количество изломов.)



# Топология $\rightarrow$ форма $\rightarrow$ метрика

Этап «метрика»: подбираем все длины.

