

**Системы автоматизированного
проектирования электронных средств
Часть 1**

Лекция 4

Лекция 4

АЛГОРИТМЫ И МОДЕЛИ ТРАССИРОВКИ ПРОВОДНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ЭА

- 1 Классификация алгоритмов трассировки
- 2 Формулировка задачи трассировки проводных соединений
- 3 Алгоритм Краскала (Вайнберга – Лобермана)
- 4 Алгоритм Прима
- 5 Особенности трассировки проводов в каналах

Вопрос 1 Классификация алгоритмов трассировки

Алгоритмические методы трассировки

Трассировка проводных соединений

Трассировка печатных соединений

Графо-теоретические методы трассировки

Топологические методы трассировки

Получение списка соединений

Построение связывающих деревьев

Трассировка проводов в каналах

Построение граф-схем

Анализ планарности

Планаризация

Выделение плоских графов

Изображение граф-схем на плоскости

Получение эскиза на плоскости

Получение списка соединений

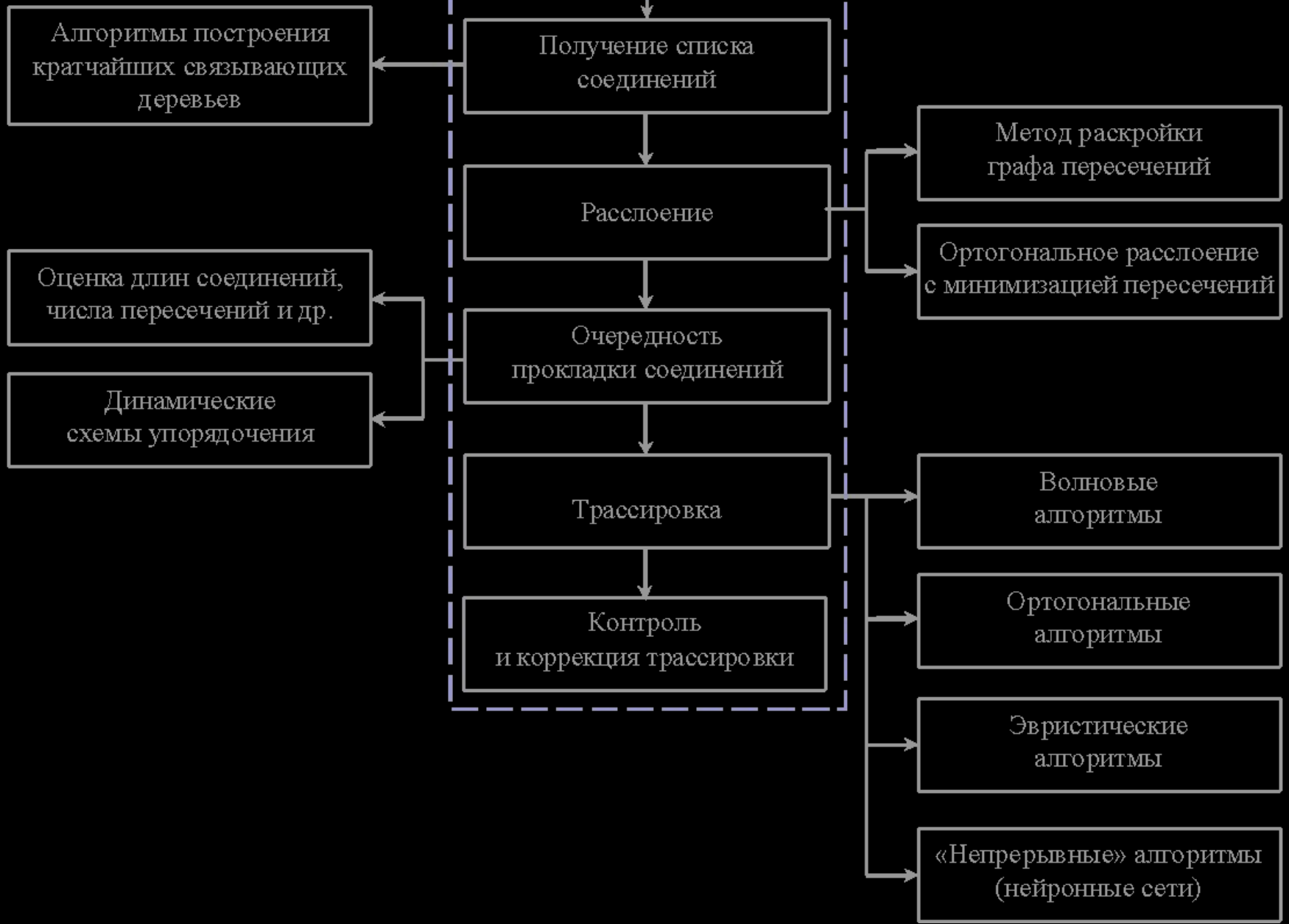
Расслоение

Очередность прокладки соединений

Трассировка

Контроль и коррекция трассировки

Топологические методы трассировки



Вопрос 2 Формулировка задачи трассировки проводных соединений

Исходная информация для решения задач трассировки соединений

- 1) список цепей
- 2) параметры конструктивных элементов
- 3) параметры монтажного поля
- 4) данные по размещению конструктивных элементов
- 5) координаты выводов элемента

Трассировка проводных соединений **более проста**, т.к. цепи электрически изолированы друг от друга. Глобальная оптимизация обеспечивается локальной оптимизацией отдельной цепи

Требования к трассировке соединений

- 1) Соединения должны соответствовать принципиальной схеме и быть кратчайшими;
- 2) Число пересечений трасс в монтажном поле должно быть минимальным для МПП, либо не допускается
- 3) Распределение цепей в монтажном поле должно приближаться к равномерному;
- 4) Минимум числа непроведенных соединений;
- 5) Минимальная протяженность параллельных участков соседних проводников;
- 6) Минимум числа изгибов проводников;
- 7) Минимум числа слоев металлизации и числа переходов из слоя в слой.

2.1 трассировка проводных соединений по прямым, соединяющим отдельные выводы модулей (монтаж внавал)

Достоинства:

- простота выполнения
- высокая помехоустойчивость
- позволяет до минимума сократить общую длину проводников, в т.ч. протяженность параллельных
- уровень паразитных наводок и время задержки сигнала в электрических соединениях невелики

Недостатки:

- ✓ высока вероятность появления в процессе монтажа ошибок,
- ✓ сложен контроль правильности трассировки
- ✓ малая ремонтпригодность при высокой плотности

2.2 Трассировка проводных соединений с помощью жгутов (ленточных кабелей)

1. Получение списка соединений
2. Построение кратчайших связывающих деревьев (сетей)
3. Выполнение трассировки проводов в каналах

Недостатки :

практически неприемлем для создания высокочастотной и чувствительной к электрическим помехам аппаратуры

Достоинства :

1. более технологичен, так как позволяет разделить операции подготовки и монтажа жгутов,
2. проще процесс контроля и устранения ошибок, допущенных при монтаже

Формулировка задачи трассировки проводных соединений

В некоторой системе координат XYZ , связанной с коммутационным пространством модуля, задано местоположение множества выводов

$$M = \{m_1, m_2, \dots, m_n\}.$$

В соответствии с электрической схемой соединений разобьем множество M на непересекающиеся подмножества $M(1), M(2), \dots, M(P)$, каждое из которых включает в себя выводы, подлежащие электрическому объединению.

Для каждого подмножества требуется определить последовательность соединения выводов и конфигурацию проводников, обеспечивающих при заданных ограничениях минимальную суммарную длину соединений (возможен учет назначения цепей)

Вопрос 3 Алгоритм Краскала (Вайнберга – Лобермана)

Алгоритм

Все известные алгоритмы построения кратчайших связывающих сетей (КСС) основаны на последовательном выборе самых коротких связей, не образующих циклов с ранее отобранными.

Пусть в некоторой системе координат XYZ задано местоположение множества точек.

$$M = \{m_1, m_2, \dots, m_n\}.$$

1. Строим на множестве M полный граф $G_n(M, U)$.
2. Вычисляем длину всех ребер графа $G_n(M, U)$
3. Упорядочиваем список ребер с точки зрения их длины так, чтобы выполнялось условие

$$\forall u_i \in U \left[d(u_i) \leq d(u_{i+1}) \right] \quad 1 \leq i < r = \frac{n(n-1)}{2}$$

- построения кортежа с возрастанием длины каждого очередного ребра.

Алгоритм

4. Для построения дерева необходимо выбрать **$n-1$** ребер из кортежа, которые не образуют циклов.

Существуют 2 процедуры для решения п. 4

Вариант 1 (параллельный).

На каждом шаге просматривают список ребер (начиная с ребра, следующего за вошедшем в решение на предыдущем шаге) и к строящемуся поддереву присоединяют то ребро, которое не образует цикла с ребрами, уже включенными в решение.

Недостатки алгоритма:

- необходимость наблюдения за различными компонентами связности,
- проверки при выборе каждого очередного ребра условия необразования цикла для всех параллельно строящихся поддеревьев.

Алгоритм

Вариант 2 (последовательный).

На каждом шаге просматривают список ребер (начиная с первого) и к строящемуся поддереву присоединяют то ребро, которое:

- а) еще не включено в решение;
- б) присоединяет к поддереву новую вершину (один из концов ребра должен принадлежать вершине поддерева, другой — изолированной вершине)

Недостатки алгоритма:

- необходимость на каждом шаге алгоритма начинать просмотр списка с первого ребра, причем значительная часть просматриваемых при этом ребер может не удовлетворять условиям включения их в строящееся поддерево. Это приводит к увеличению времени решения задачи.

Вопрос 4 Алгоритм Прима

Алгоритм

Позволяет организовать просмотр только тех ребер графа $G_n(M, U)$, которые связывают вершины строящегося поддерева с новыми, еще не присоединенными вершинами.

Возможно дополнительное ограничение на локальные степени вершин связывающей сети:

$$\forall m_i \in M [\rho(m_i) \leq k]$$

Шаги алгоритма:

- 1) любая произвольная вершина $m \in M$ соединяется с ближайшей соседней, образуя исходное поддерево.

Для определенности построения КСС можно начинать с ребра, инцидентного вершине m_1 .

Шаги алгоритма

2) На каждом последующем шаге к строящемуся поддереву присоединяют очередное ребро минимально возможной длины, связывающее новую, еще не присоединенную вершину m_j с одной из вершин поддерева m_i , локальная степень которой

$$\rho(m_i) < k$$

$$d(m_i, m_j) = \min_{m_f \in M^*, m_g \in M \setminus M^*} d(m_f, m_g)$$

$d(m_f, m_g)$ - длина ребра, соединяющего вершины

Детализация алгоритма

- 1) составляем матрицу длин, общий элемент которой d_{ij} равен расстоянию между i -й и j -й точками (N - число объединяемых вершин):

$$D = \left\| d_{ij} \right\|_{N \times N}$$

- 2) Просматриваем элементы первой строки матрицы D и находим минимальный из них. Пусть таким элементом оказался элемент g -го столбца, тогда весь первый и g -й столбцы матрицы D исключаем из рассмотрения, а первое соединение проводим между точками m_1 и m_g .

Детализация алгоритма

- 3) Просматриваем **первую** и **g**-ю строки матрицы с оставшимися элементами. Из элементов этих строк находим минимальный. Предположим, что им оказался элемент, принадлежащий **k**-му столбцу. Если этот элемент находится на пересечении с первой строкой, то точку **mk** соединяем с **mi**, если же он находится на пересечении с **g**-й строкой, то точку **mk** соединяем с **mg**, после чего из матрицы **D** исключаем все элементы **k**-го столбца.
- 4) Просматриваем **первую**, **g**-ю и **k**-ю строки и т.д.

Детализация алгоритма

Выполнение ограничения на локальную степень вершин обеспечивается проверкой в каждой просматриваемой i -й строке числа уже выбранных для построения КСС элементов $K(i)$. При $K(i) = k$ все оставшиеся элементы i -й строки исключаются из рассмотрения.

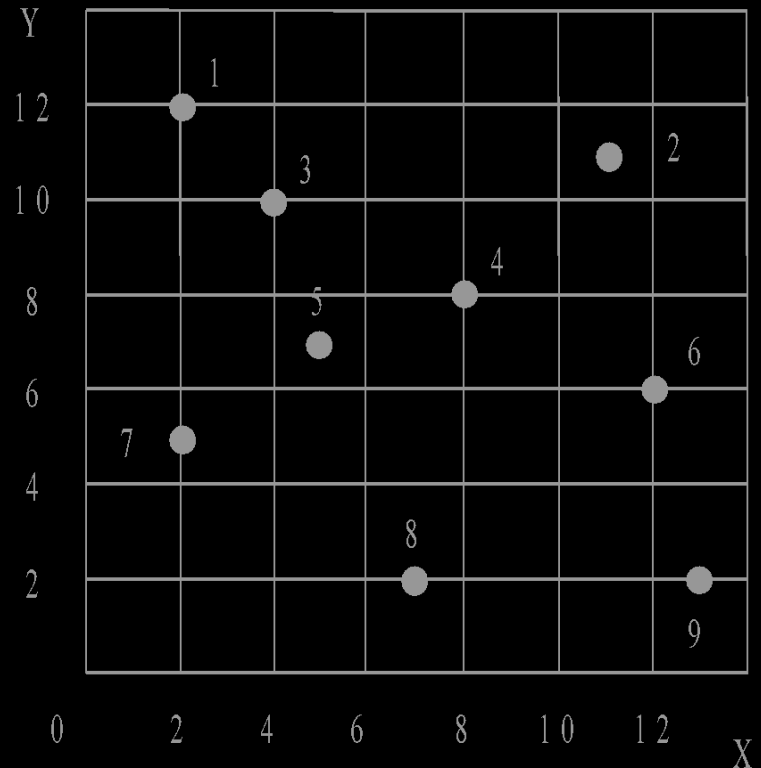
Пример использования алгоритма Прима

На плоскости в декартовой системе координат задано местоположение девяти точек (рисунок). Расстояние между любыми двумя точками m_i и m_j равно

$$d_{ij} = |x_i - x_j| + |y_i - y_j|$$

Требуется для заданного множества точек M определить минимальное связывающее дерево при условии:

$$\forall m_i \in M [\rho(m_i) \leq 3]$$



Пример использования алгоритма Прима

Решение.

Составляем матрицу длин:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	10	⟨4⟩	10	8	16	7	15	21
2	10	0	8	6	10	⟨6⟩	15	13	11
3	4	8	0	6	⟨4⟩	12	7	11	17
4	10	⟨6⟩	6	0	4	6	9	7	11
5	8	10	4	⟨4⟩	0	8	⟨5⟩	7	13
6	16	6	12	6	8	0	11	9	⟨5⟩
7	7	15	7	9	5	11	0	8	14
8	15	13	11	7	7	9	8	0	6
9	21	11	17	13	13	5	14	⟨6⟩	0

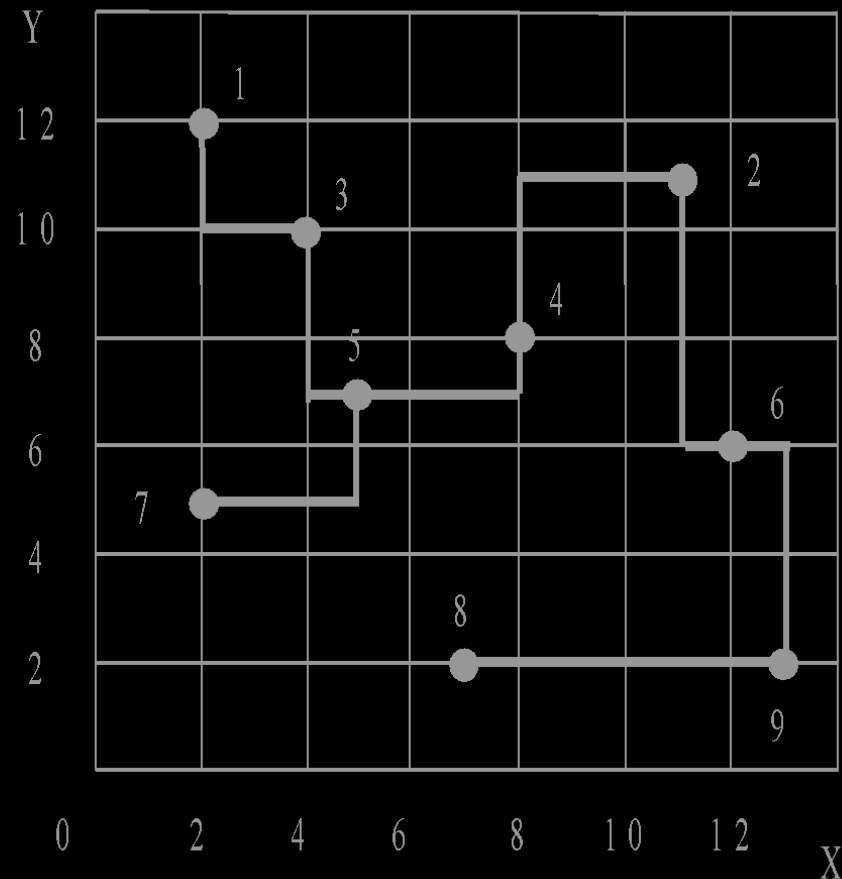
Пример использования алгоритма Прима

- 1) Просматриваем **1**-ю строку матрицы и выбираем элемент **d13**, являющийся минимальным в этой строке.
- 2) Помечаем элемент **d13**; **K(1) = K(3) = 1**.

Исключаем из

рассмотрения все элементы **1**-го и **3**-го столбцов.

- 3) Просматриваем **1**-ю и **3**-ю строки. Выбираем элемент **d35**; **K[3] = 2**, **K[5] = 1**. Исключаем из рассмотрения элементы **5**-го столбца.



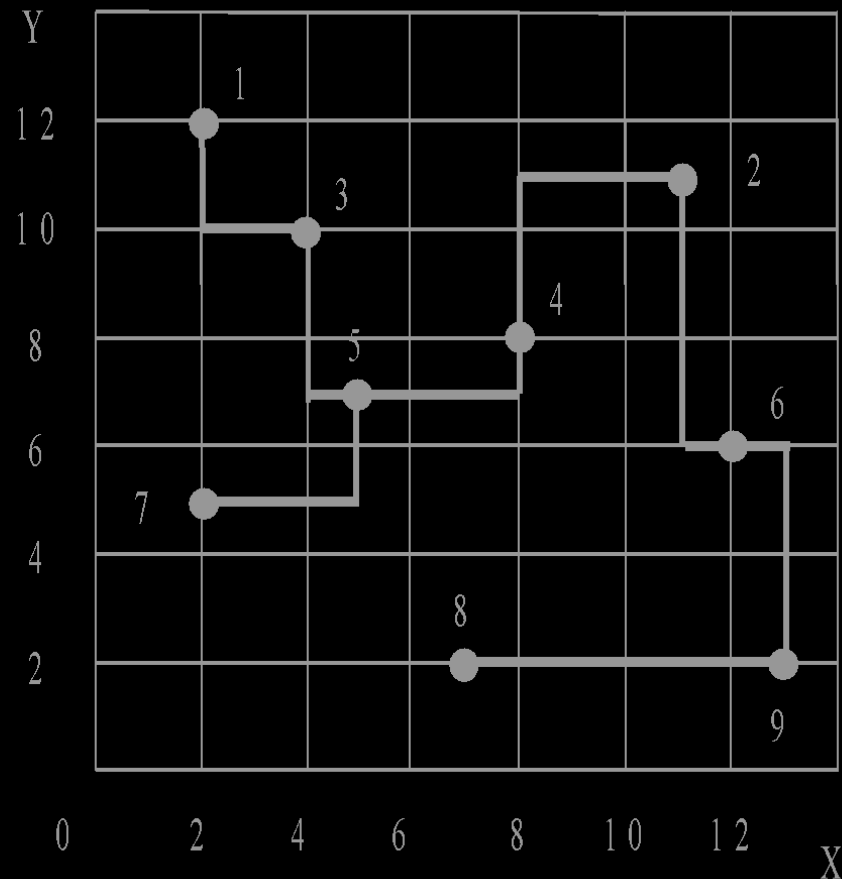
Пример использования алгоритма

Прима

4) Просматриваем **1-ю, 3-ю и 5-ю** строки. Выбираем элемент **d54**; $K(5) = 2$, $K(4) = 1$. Исключаем из рассмотрения элементы **4-го** столбца.

5) Просматриваем **1-ю, 3-ю, 4-ю и 5-ю** строки. Выбираем элемент **d57**; $K(5) = 3$, $K(7) = 1$. Так как $K[5] = k$, то исключаем из рассмотрения элементы **7-го** столбца и **5-й** строки.

6) Продолжая процесс построения КСС аналогичным образом, выбираем элементы **d42, d26, d69, d98**.

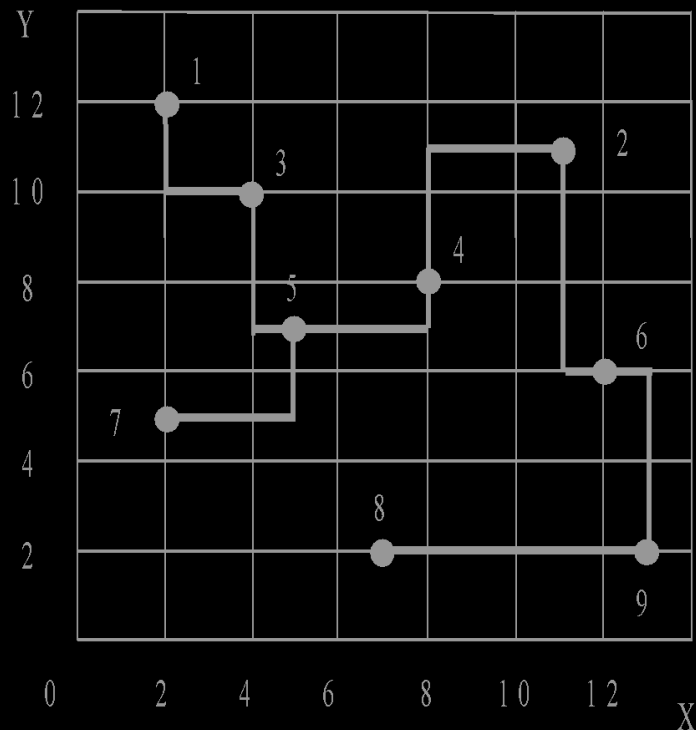


Пример использования алгоритма Прима

Суммарная длина ребер построенного дерева равна
 $D = 40$.

Если локальная степень вершин не должна превышать
двух, то в результате решения будут выбраны
элементы **d_{13} , d_{35} , d_{54} , d_{42} , d_{26} , d_{69} , d_{98} , d_{17}** .
Суммарная длина ребер при этом равна **42**.

Алгоритм Прима находит
широкое применение в
САПР проводных
соединений ЭА.
Например, пакет **Е3**



Вопрос 5 Особенности трассировки проводов в каналах

В ЭА используется **жгутовой монтаж (шлейфами)**, при котором проводники укладывают в нормализованные каналы, расположенные в монтажном пространстве во взаимно перпендикулярных направлениях.

Такую канальную конструкцию можно представить в виде ортогональной несимметрической сети **G (A, B)** со множеством **узлов A** и множеством **дуг B**.

Величина **c_{ij}** - **пропускная способность дуги b_{ij}** - максимальное число проводников, которое можно укладывать в соответствующем канале, интерпретируемом дугой **b_{ij}** .

$$\forall b_{ij} \in B \left[0 \leq x_{ij} \leq c_{ij} \right] \quad (1)$$

где **x_{ij}** - дуговой поток или поток по дуге **b_{ij}** , равный числу проводников в канале, соединяющем точки **i** и **j**

множество узлов A :

A_1 - подмножество узлов, соответствующих электрическим контактам модулей и разъемов схемы;

A_2 - подмножество узлов, в которых допускается изменение направления прокладывания проводников (точки пересечения вертикальных и горизонтальных каналов).

A_1 : A_s - источники и A_t - стоки, определяющие, соответственно, электрические контакты модулей и разъемов

Для любого узла $a_j \in A = A_s \cup A_t \cup A_2$

сети $G(A, B)$ должно выполняться условие

$$\sum_i x_{ij} - \sum_k x_{jk} = \begin{cases} -X_j, & \text{если } a_j \in A_s \\ 0, & \text{если } a_j \in A_2 \\ X_j, & \text{если } a_j \in A_t \end{cases} \quad (2)$$

Полный поток из A_S в A_T

$$X = \sum_{a_j \in A_T} X_j = - \sum_{a_j \in A_S} X_j \quad (3)$$

В реальных конструкциях пропускные способности каналов ограничены, поэтому естественна постановка **задачи отыскания максимального потока в сети**, которая сводится к нахождению такого распределения потоков (проводников) по отдельным каналам, которое **максимизирует** целевую функцию (3) при ограничениях (1) и (2).

Решаются данные задачи методами линейного целочисленного программирования.

*Вопросы по прочитанному
материалу?*

Спасибо за внимание!