

**Информационные технологии  
автоматизированного проектирования  
Часть 1**

**Лекция 8**

# Лекция 8

## АЛГОРИТМЫ И МОДЕЛИ ТРАССИРОВКИ ПЕЧАТНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ЭА (часть 1)

- 1 Трассировка печатных соединений.  
Постановка задачи
- 2 Ортогональные алгоритмы трассировки
- 3 Волновой алгоритм Ли
- 4 Примеры использования волнового алгоритма

# Вопрос 1 Трассировка печатных соединений. Постановка задачи

# Постановка задачи

1) своими координатами  $(x, y)$  множество конструктивных элементов

$$X = \{x_1, x_2, \dots, x_t\}.$$

2) множество из  $L$  связанных подмножеств:

$$C = \{C_1, C_2, \dots, C_L\},$$

где каждое  $l$ -е подмножество  $C_l$  объединяет  $N_l$  выводов конструктивных элементов из множества  $R$  в соответствии с принципиальной электрической схемой.

3) требования, предъявляемых к топологии платы:

- минимальная ширина проводников и зазора между ними,
- размеры контактных площадок,
- число слоев металлизации и способы перехода с одного слоя на другой и т. п.

# Требуется

с учетом заданных конструкторско-технологических ограничений соединить выводы конструктивных элементов внутри каждого подмножества

**С / С С**

так, чтобы полученные соединения отвечали выбранному показателю качества.

Задача трассировки печатных соединений в общем виде:

- 1) построение бесперекрестного минимального леса
- 2) отыскание кратчайшего пути между его вершинами (трассировка соединений).

# Трассировка печатных соединений

все методы построения **минимальных связывающих деревьев** не учитывают

- ограничения на размеры монтажного поля
- толщину печатных проводников
- величину зазора между ними.

В результате значительную часть найденных деревьев оказывается невозможным реализовать в виде электрических цепей печатной платы.

# Трассировка печатных соединений

- Трассировку соединений осуществляют с помощью алгоритмов, основанных на методах **динамического программирования**.

**Общее для алгоритмов** - разбиение монтажного поля на ячейки, размер и форма которых определяют плотность и конфигурацию печатных проводников (равносторонние треугольники, квадраты, шестиугольники и др.).

# Трассировка печатных соединений

- Минимальные размеры ячеек обуславливаются объемом памяти компьютера и соотношением

$$d \geq b_n - l$$

где  $d$  - расстояние между центрами соседних ячеек;  $b_n$  - минимальная ширина печатного проводника;  $l$  - минимальное расстояние между соседними проводниками.

Соединение выводов конструктивных элементов осуществляется в результате последовательного заполнения ячеек трассами, конфигурация которых является **локально оптимальной** в соответствии с выбранными критериями трассировки.



## Вопрос 2 Ортогональные алгоритмы трассировки

# Суть:

**Трассировка печатных соединений по прямым, параллельным осям координат монтажного пространства поочередно для каждой координаты.**

При встрече препятствия трасса меняет свое направление на  $90^0$ . (для МПП – вставляется переходное отверстие)

## **Достоинства алгоритма:**

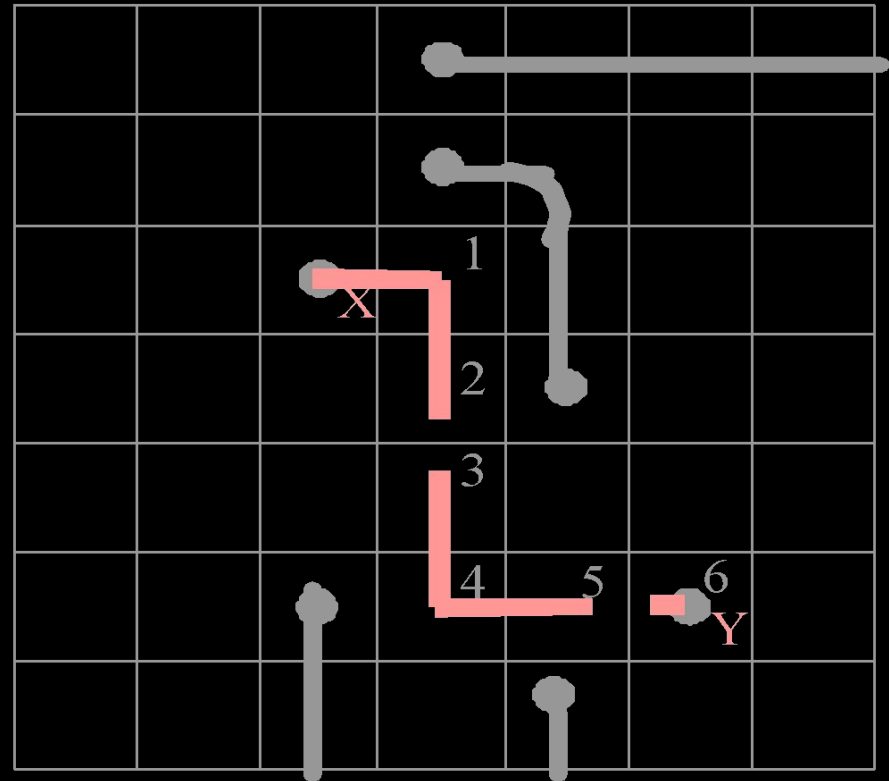
-обладают самым большим быстродействием (реализация их на компьютере требует в 75—100 раз меньше вычислений по сравнению с волновыми алгоритмами).

## **Недостатки алгоритма:**

- получение большого числа переходов со слоя на слой,
- отсутствие 100%-ной гарантии проведения ряда трасс,
- большое число параллельно идущих проводников.

# Ортогональный алгоритм

- 1) Определяем приоритетное направление (например по  $x$ )
- 2)  $x_i - x_k = \Delta x$ .
- 3) Перемещаемся по оси  $x$  от начальной к конечной точке.  
Целевая функция  $\Delta x \rightarrow 0$ . При  $y = \text{const}$ .
- 4)  $x_0 - x_k = \Delta x_k = 3$
- 5)  $x_1 - x_k = \Delta x_{k-1} = 2$
- 6) Движение по  $x$  невозможно. Меняем направление..
- 7) Перемещаемся по оси  $y$  от текущей к конечной точке.  
Целевая функция  $\Delta y \rightarrow 0$ .



# Ортогональный алгоритм

8)  $y_0 - y_k = \Delta y_k = 3$

9)  $y_1 - y_k = \Delta y_{k-1} = 2$

9)  $y_2 - y_k = \Delta y_{k-2} = 1$

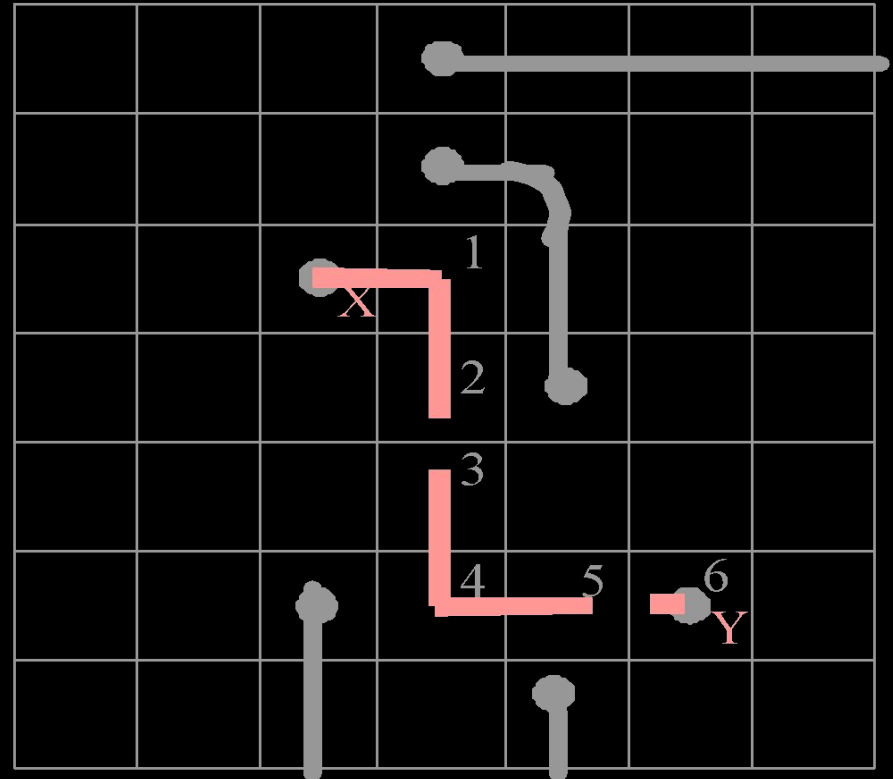
10)  $y_3 - y_k = \Delta y_{k-3} = 0$

11) Движение по  $y$   
прекращаем, тк.  $\Delta y = 0$

Меняем направление..

12) Перемещаемся по оси  
 $x$  от текущей к конечной  
точке. Целевая функция  
 $\Delta x \rightarrow 0$ . При  $x = \text{const}$ .

13)  $x_1 - x_k = \Delta x_{k-1} = 2 \dots$  и т.д.



# Вопрос 3 Волновой алгоритм Ли

# Основные принципы построения

Все ячейки монтажного поля подразделяют на **занятые** и **свободные**.

**Занятые** - ячейки, в которых уже расположены проводники, построенные на предыдущих шагах, или находятся монтажные выводы элементов, а также ячейки, соответствующие границе платы и запрещенным для прокладки проводников участкам.

**Остальные** - свободные

Для построения трасс возможно использовать **ТОЛЬКО свободные ячейки**

На множестве **свободных** поля моделируют волну влияния из одной ячейки в другую, соединяемых впоследствии общим проводником.

# Основные принципы построения

Первую ячейку, в которой зарождается волна влияний, называют **источником**,

а вторая соединяемая точка - **приемник**.

Фронту волны влияния на каждом этапе присваивают некоторый **вес**

$$P_k = P_{k-1} + \psi(f_1, f_2, \dots, f_g)$$

где  $P_k$  и  $P_{k-1}$  - веса ячеек  $k$ -го и  $(k-1)$ -го фронтов;

$\psi(f_1, f_2, \dots, f_g)$  - весовая функция, являющаяся показателем качества проведения пути, каждый параметр которой  $f_i (i = 1, 2, \dots, g)$  характеризует путь с точки зрения одного из критериев качества (длины пути, числа пересечений и т.п.).

# Основные принципы построения

**Ограничение на вес фронта волны:** веса ячеек предыдущих фронтов не должны быть больше весов ячеек последующих фронтов

- 1) Фронт распространяется только на соседние ячейки, которые имеют с ячейками предыдущего фронта либо общую сторону (хотя бы одну общую точку).
- 2) Распространения волны продолжается до тех пор, пока ее расширяющийся фронт не достигнет **приемника** или на  $i$ -ом шаге не найдется ни одной свободной ячейки, которая могла бы быть включена в очередной фронт (невозможно провести трассу при заданных ограничениях).
- 3) При достижении **приемника** осуществляют **«проведение пути»** - движения от **приемника** к **источнику** по пройденным на этапе распространения волны ячейкам, следя за тем, чтобы значения веса волны монотонно убывали



# Основные принципы построения

Для исключения неопределенности при проведении пути (если несколько ячеек имеют одинаковый минимальный вес), вводят понятие **путевых координат**, задающих предпочтительность проведения трассы.

Каждое направление кодируют двоичным числом по **mod q**, где **q** - число просматриваемых соседних ячеек (двухбитным или трехбитным)

Чем меньшее значение путевой координаты - тем более предпочтительно это направление.

Приписание путевых координат производят на этапе распространения волны.

При проведении пути движение от ячейки к ячейке осуществляют по путевым координатам.

# Основные принципы построения

## Достоинства алгоритма:

- позволяют легко учитывать технологическую специфику печатного монтажа со всей совокупностью конструктивных ограничений.
- всегда гарантируют построение трассы, если путь для нее существует

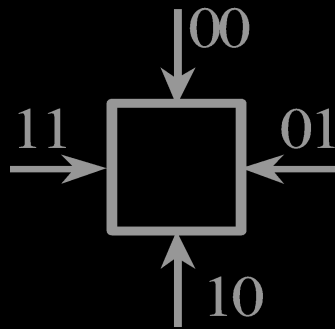
## Недостатки алгоритма:

- невысокое быстродействие;
- большой объем оперативной памяти, необходимый для хранения информации о текущем состоянии всех ячеек коммутационного поля;
- возможность построения лишь соединений типа **«ВЫВОД - ВЫВОД»**.

# Вопрос 4 Примеры использования волнового алгоритма

# Ограничения

Во всех примерах задан приоритетный порядок проведения пути: сверху, справа, снизу и слева:

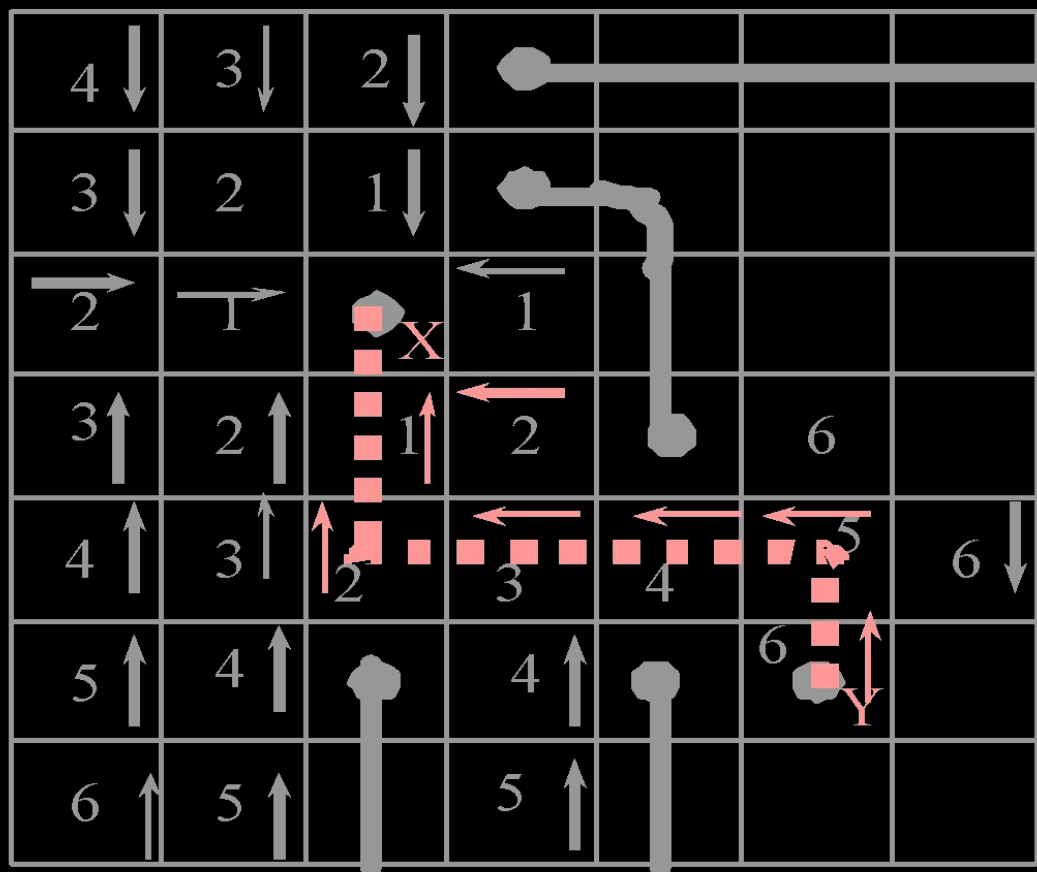


## Проведение пути минимальной длины:

Задано множество ячеек коммутационного поля, на котором построено некоторое число проводников (рис.1).

Построить новый проводник между точками **X** и **Y** так, чтобы он не пересекал ранее построенные проводники и имел **минимально возможную длину**

# Проведение пути минимальной длины

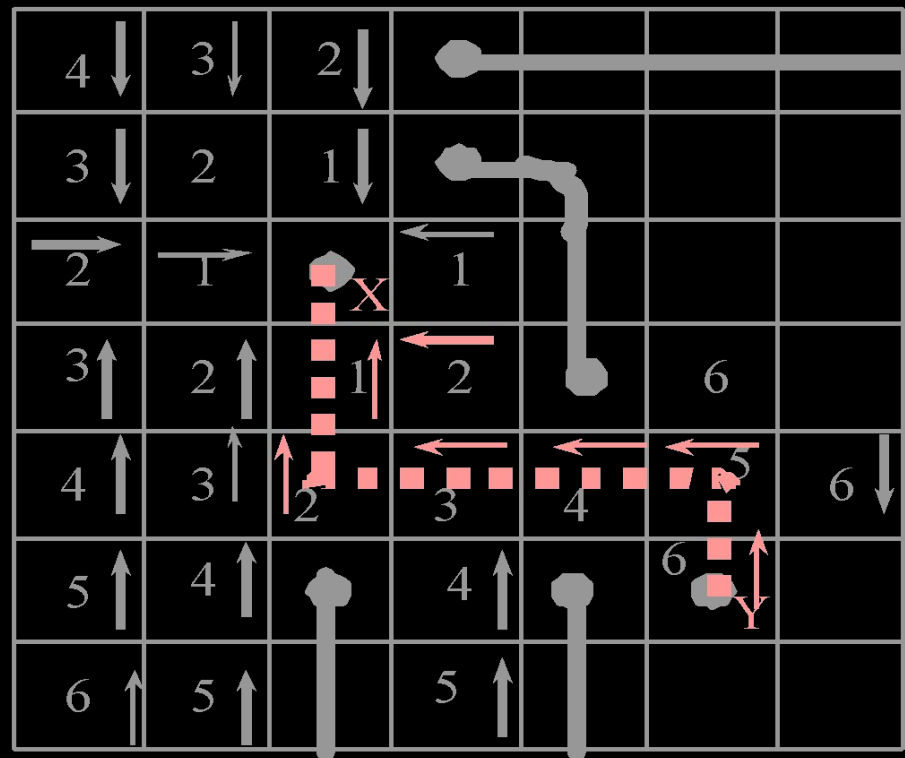


Вес ячейки k-го фронта:  $P_k = P_{k-1} + 1$

Проведение пути начинают с ячейки **Y**

# Проведение пути минимальной длины

- 1) Просматриваем окрестность точки **приемника** и находим ячейку, которая **в наиболее предпочтительном направлении** имеет вес на единицу меньше
- 2) Перемещаемся в эту ячейку и отмечаем след перехода.
- 3) ...
- 4) Процесс продолжаем до тех пор, пока след не приведет в точку **X**.



# Проведение пути с минимальным числом пересечения

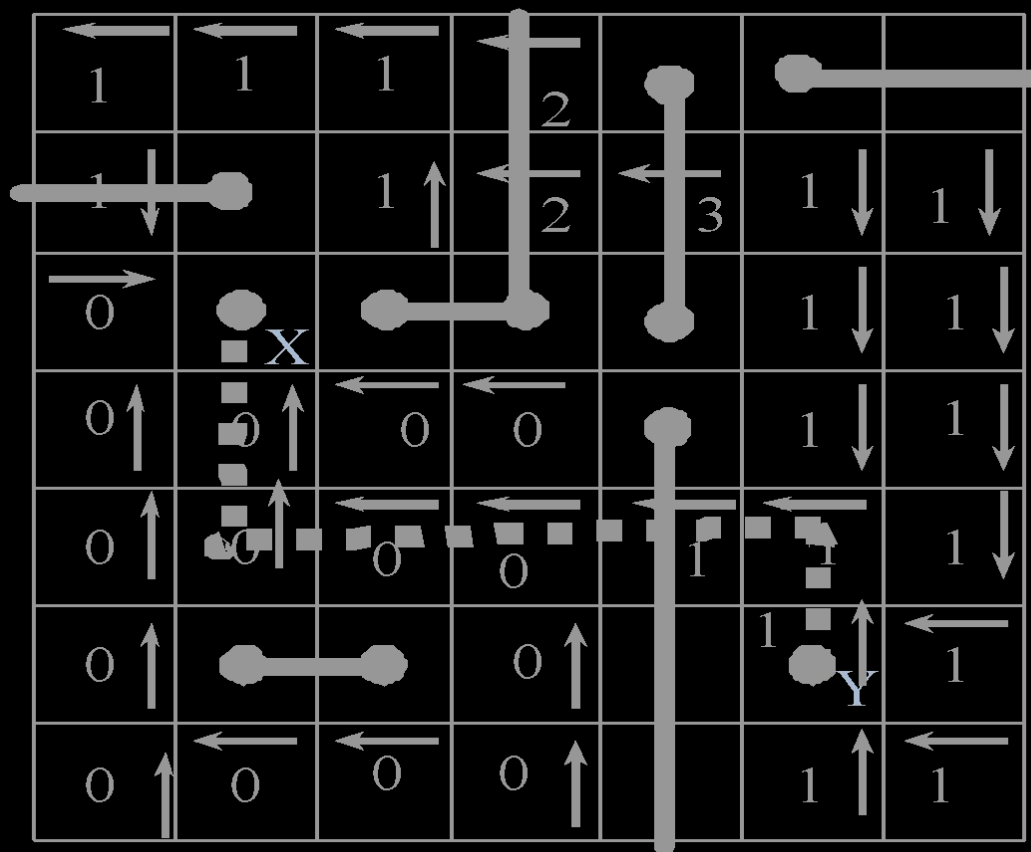
**занятые ячейки:** в которых

- а) находятся выводы конструктивных элементов,
- б) имеются изгибы или пересечения ранее построенных проводников,
- в) ячейки, в которых направление проводников совпадает с путевой координатой строящегося пути.

$$P_k = \begin{cases} P_{k-1}, & \text{если поле свободно} \\ P_{k-1} + 1, & \text{если иначе} \end{cases}$$

При этом в **k**-й фронт включаем лишь те ячейки, которые имеют минимальный вес.

# Проведение пути с минимальным числом пересечений



В этом алгоритме избыточной информацией, которая не учитывается при проведении пути, является вес ячейки.



# Параллельная оптимизация пути по нескольким параметрам

## Например:

- 1)  $P_k = P_{k-1} + 1$  если в данной и соседних ячейках нет ранее построенных проводников и путевая координата не меняет своего направления;
- 2)  $P_k = P_{k-1} + 2$ , если в соседних ячейках нет ранее построенных проводников, но путевая координата меняет свое направление;
- 3)  $P_k = P_{k-1} + 4$ , если в данной ячейке путевая координата не меняет своего направления и нет ранее построенного проводника, но в соседней ячейке такой проводник есть;
- 4)  $P_k = P_{k-1} + 8$ , если в данной ячейке происходит пересечение с ранее построенным проводником

*Вопросы по прочитанному  
материалу?*

*Спасибо за внимание!*