

**Системы автоматизированного
проектирования электронных средств
Часть 1**

Лекция 5

Лекция 5

АЛГОРИТМЫ И МОДЕЛИ ТРАССИРОВКИ ПЕЧАТНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ЭС

1 Трассировка печатных соединений.

Постановка задачи

2 Ортогональные алгоритмы трассировки

3 Волновой алгоритм Ли

4 Модификация волнового алгоритма. Метод встречной волны

5 Метод соединения комплексами

6 Лучевой алгоритм трассировки

7 Эвристический алгоритм трассировки

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 связных 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:

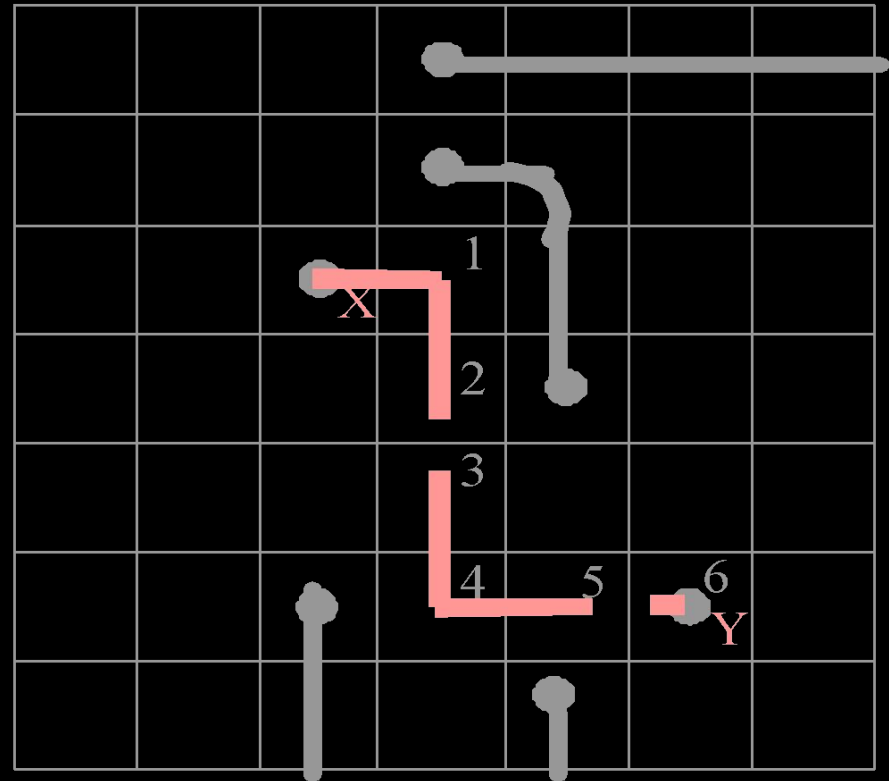
-обладают самым большим быстродействием (реализация их на компьютере требует в 75—100 раз меньше вычислений по сравнению с волновыми алгоритмами).

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

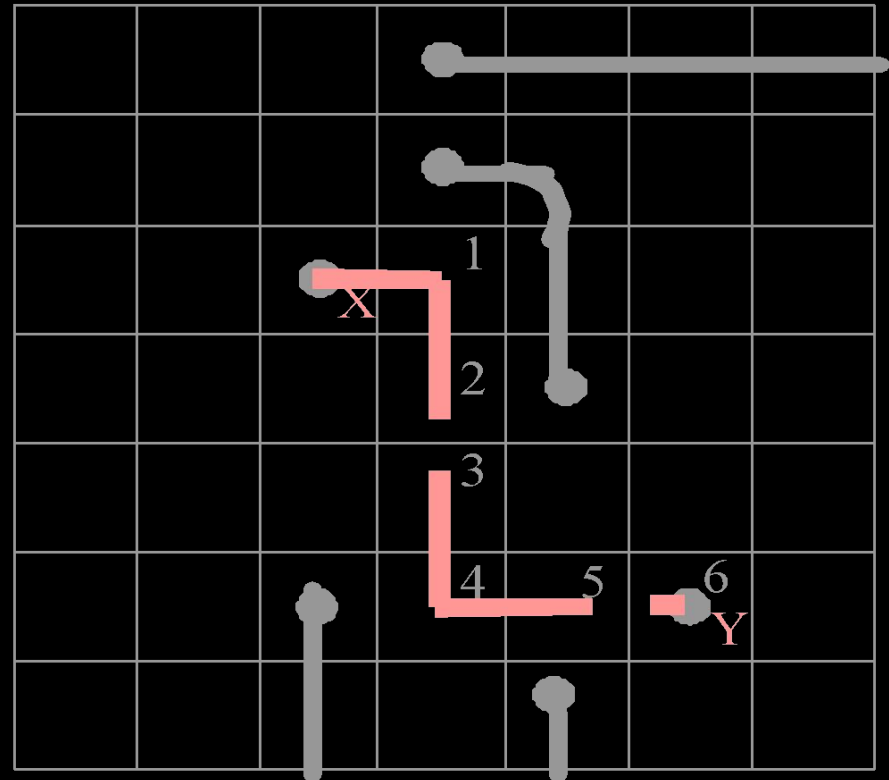
10) $y_3 - y_k = \Delta y_{k-3} = 0$

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:

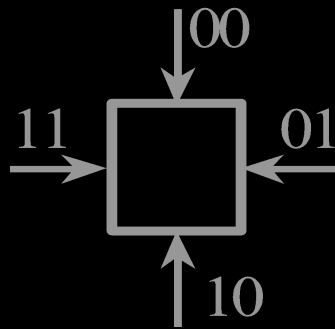
- позволяют легко учитывать технологическую специфику печатного монтажа со всей совокупностью конструктивных ограничений.
- всегда гарантируют построение трассы, если путь для нее существует

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»**.

Ограничения

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

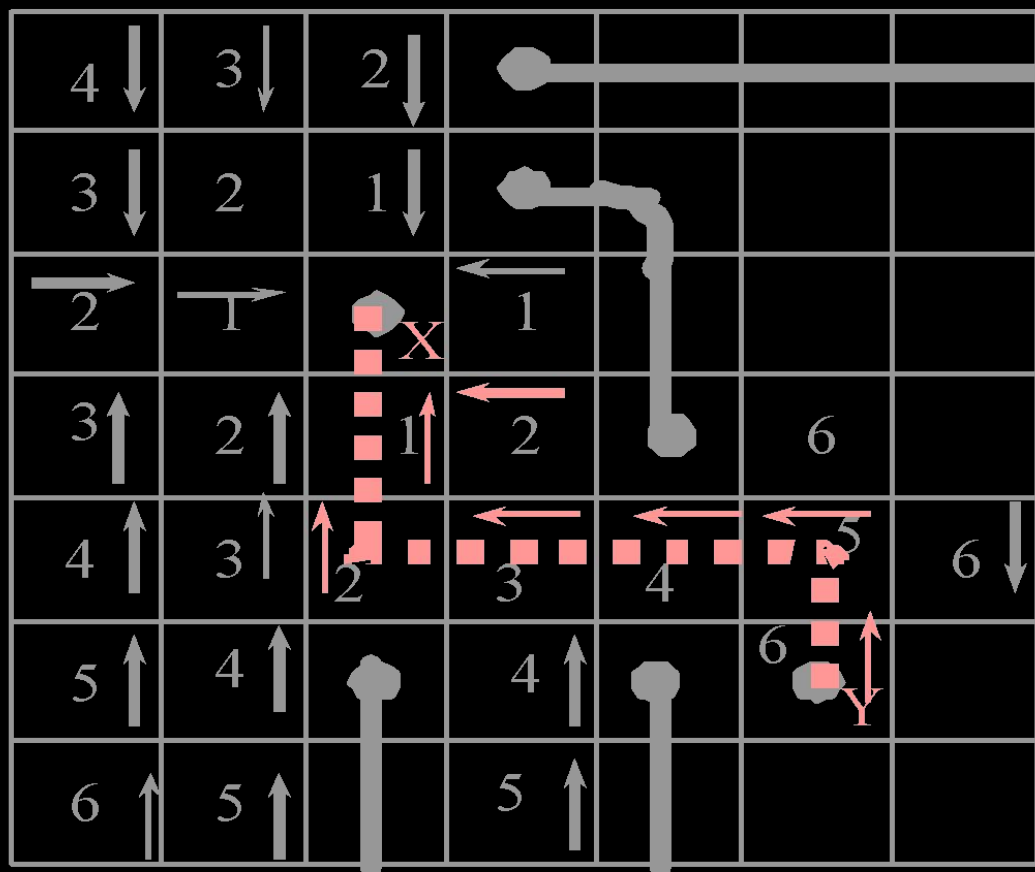


Проведение пути минимальной длины:

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

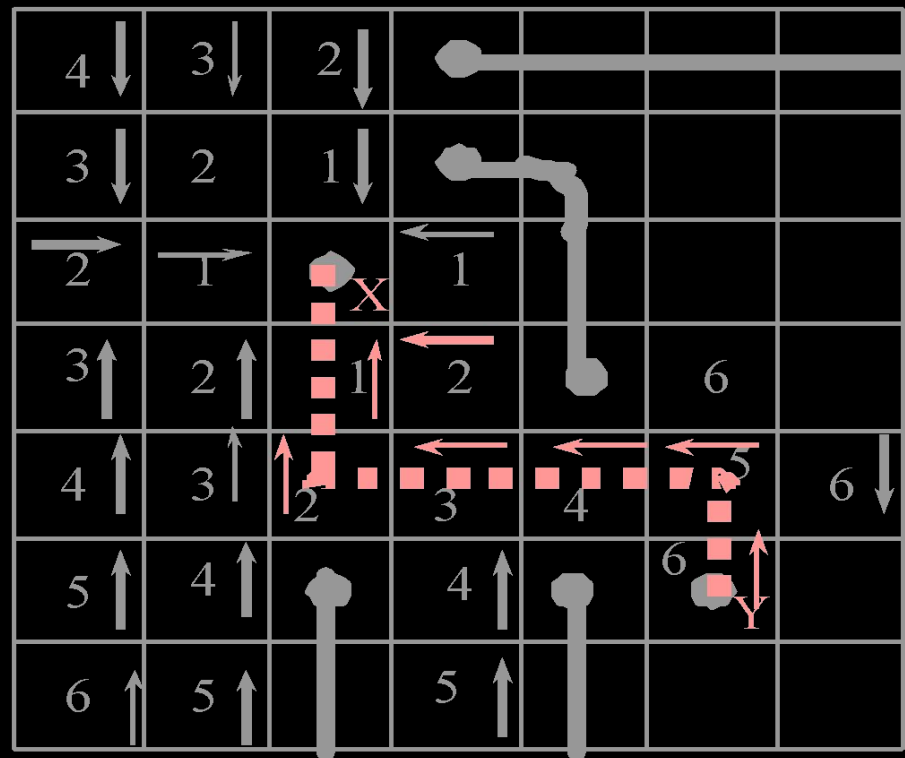


Вес ячейки k-го фронта: $P_k = P_{k-1} + 1$

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**.



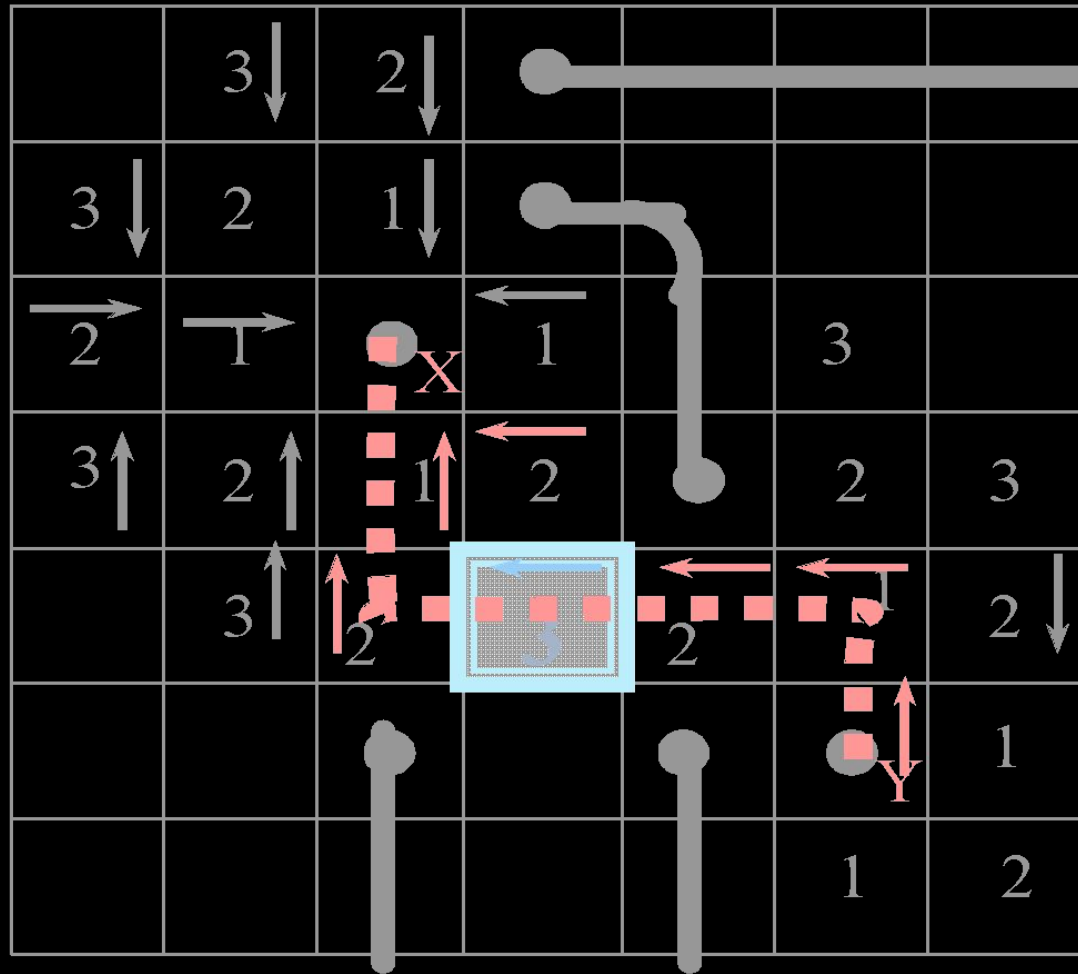
Вопрос 4 Модификация волнового алгоритма. Метод встречной волны

Метод встречной волны

Источниками волн являются **обе ячейки**, подлежащие электрическому объединению.

- 1) На каждом **k**-ом шаге поочередно строят соответствующие фронты первой и второй волн, распространяющихся из этих ячеек.
- 2) Процесс продолжается до тех пор, пока какая-либо ячейка из фронта первой волны не попадет во фронт второй волны или наоборот.
- 3) Проведение пути осуществляют из данной ячейки в направлении обоих источников по правилам, описанным в волновом алгоритме Ли.

Метод встречной волны



Метод встречной волны

Достоинства алгоритма:

- время, затрачиваемое на этапе распространения волны, уменьшаются примерно вдвое.

Недостатки алгоритма:

- необходимость выделения дополнительного разряда памяти на каждую рабочую ячейку поля для хранения информации о принадлежности ее к первой или второй волне.
- возможность построения лишь соединений типа «ВЫВОД — ВЫВОД»

Вопрос 5 Модификация волнового алгоритма. Метод соединения комплексами

Суть:

В качестве источника выбирают не только точку – источник волны, но и только что построенный проводник.

Достоинства алгоритма:

- возможность присоединения каждой очередной точки (начиная с третьей), к любой точке ранее построенных соединений,
- сокращение общей длины печатных проводников
- увеличение числа разводимых цепей
- возможность построения соединений типа «вывод - проводник» и «проводник - проводник».

Недостатки алгоритма:

- большой по сравнению с классическим требуемый объем памяти

Вопрос 6 Модификация волнового алгоритма. Лучевой алгоритм трассировки

Лучевой алгоритм трассировки

Выбор ячеек для определения пути между соединяемыми точками А и В производят по заранее заданным направлениям, подобным лучам.

Достоинства алгоритма:

- Сокращение числа просматриваемых алгоритмом ячеек, а следовательно, и время на анализ и кодировку их состояния.

Недостатки алгоритма:

- приводит к снижению вероятности нахождения пути сложной конфигурации (Обычно с помощью лучевого алгоритма удается построить до (70-80)% трасс)
- усложняет учет конструктивных требований к технологии печатной платы.

Основные принципы построения

Задается число лучей, распространяемых из точек **A** и **B**, а также порядок присвоения путевых координат (обычно число лучей для каждой ячейки-источника принимается одинаковым).

Лучи **A(1), A(2), ..., A(n)** и **B(1), B(2), ..., B(n)** считают **одноименными**, если они распространяются из одноименных источников **A** или **B**.

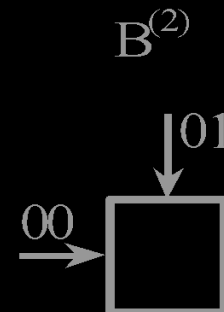
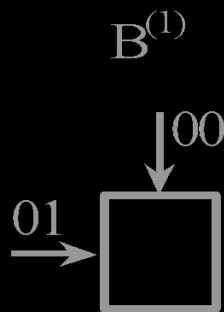
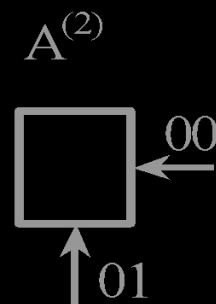
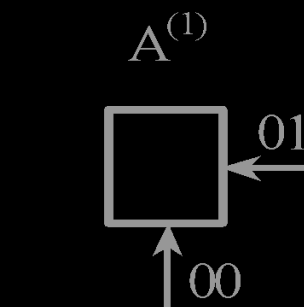
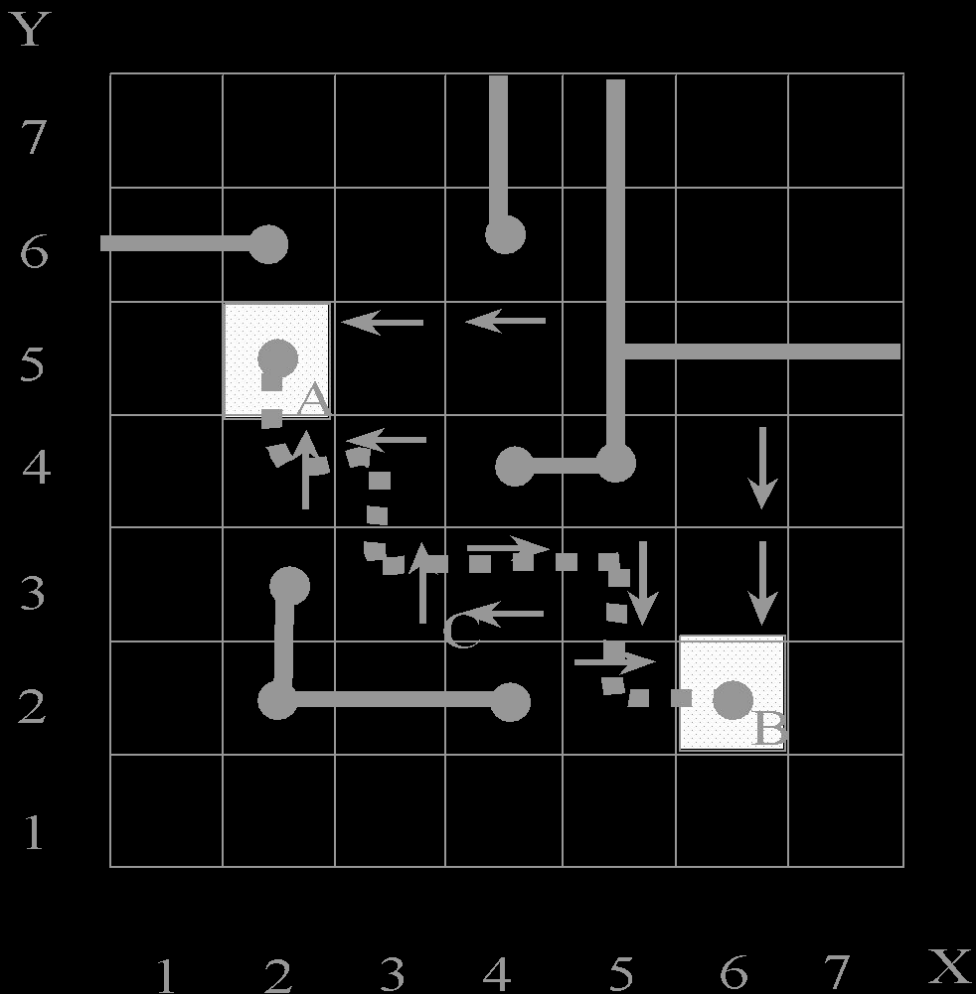
Лучи **A(i)** и **B(i)** являются **разноименными** по отношению друг к другу.

Распространение лучей производят **одновременно** из обоих источников до встречи двух разноименных лучей в некоторой ячейке **C**.

Путь проводится из ячейки **C** и проходит через ячейки, по которым распространялись лучи.

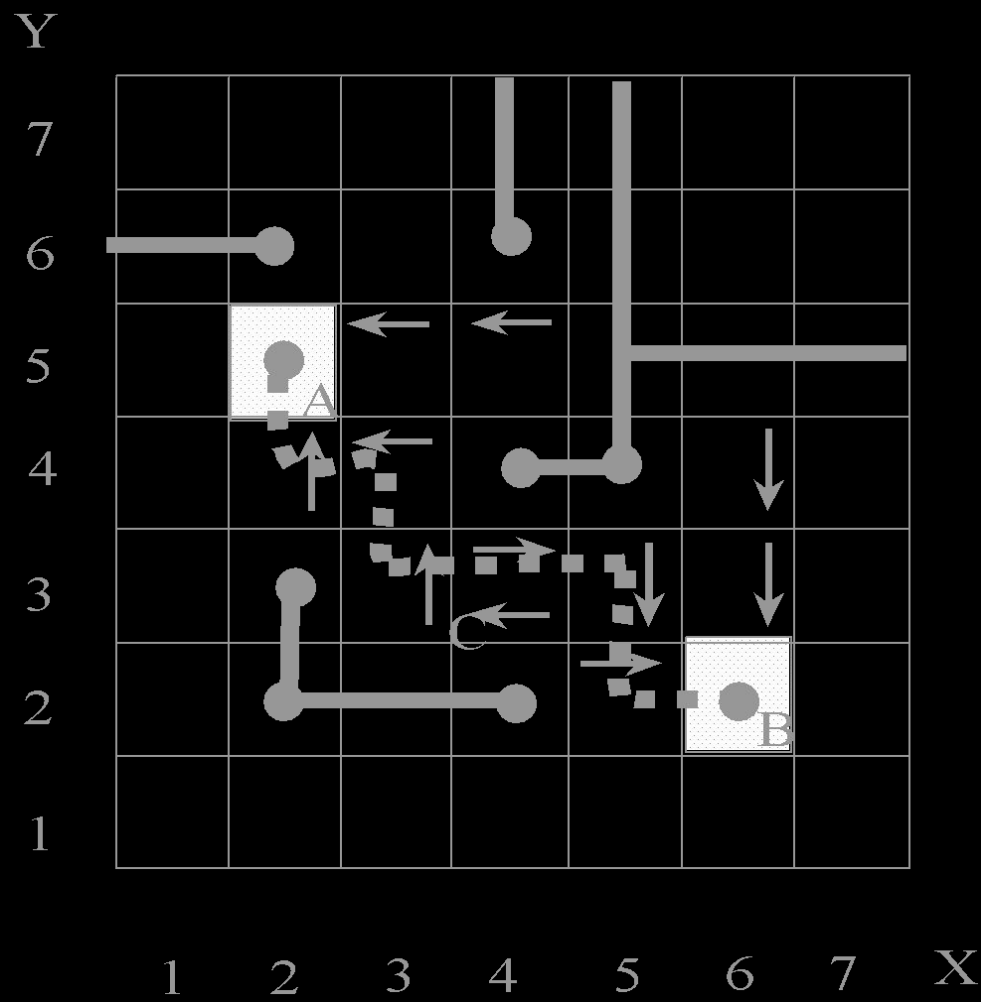
Лучевой алгоритм трассировки

Пример:



Лучевой алгоритм трассировки

- 1) На первом шаге просматривают ячейки с координатами (2,4), (5,2) и (6,3).
- 2) На втором шаге луч В (1) и луч А(2) оказываются заблокированными.
- 3) Лучи В(2) и А(1) встречаются в ячейке **С** с координатами (4,3) на четвертом шаге.
- 4) Проводим трассу.



Вопрос 7 Эвристический алгоритм трассировки

Эвристический алгоритм

основаны на эвристическом приеме поиска пути в лабиринте. При этом каждое соединение проводится по кратчайшему пути, обходя встречающиеся на пути препятствия.

Достоинства алгоритма:

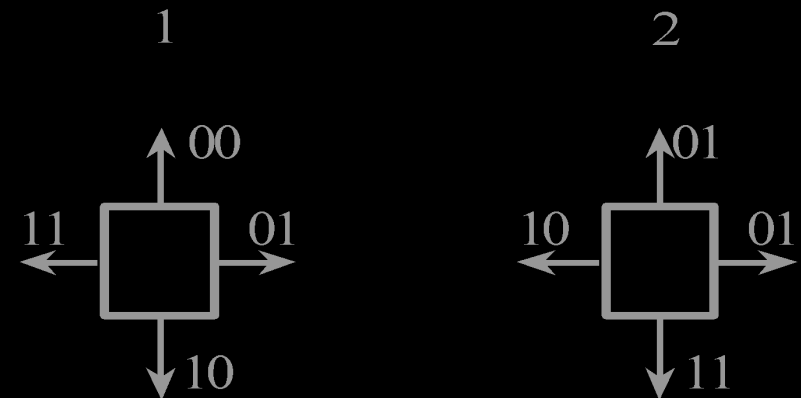
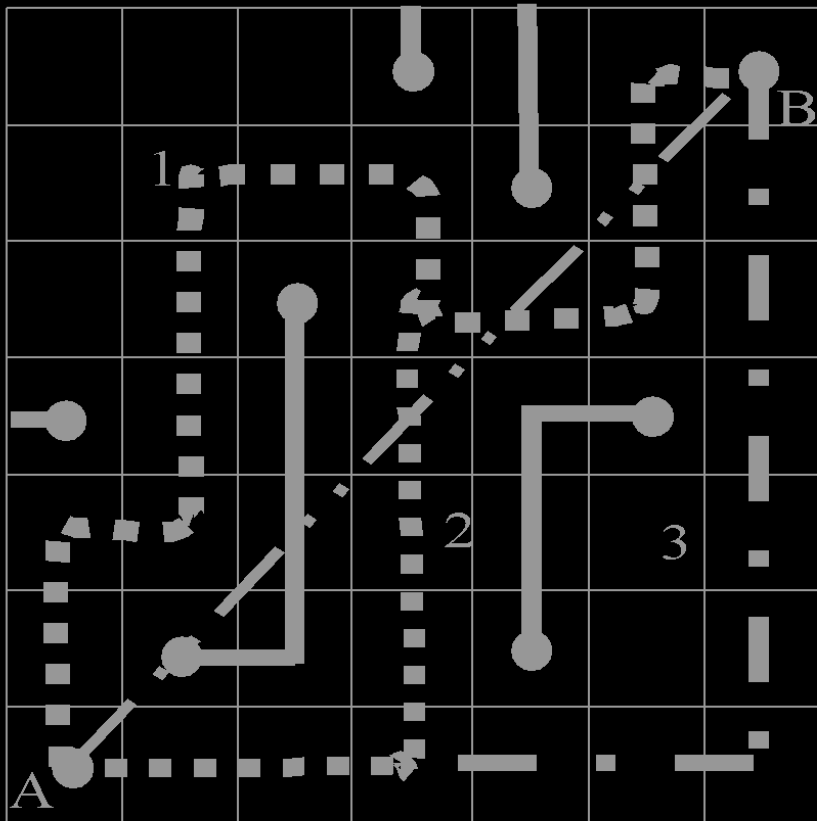
- наиболее быстродействующие и простые в программировании.

Недостатки алгоритма:

- заложенный в их основу приоритетный (постоянный) порядок построения трассы и обхода препятствий влечет за собой неоптимальность получаемого результата

Эвристический алгоритм

Пример:



3 – по волновому алгоритму

Общее направление движения должно происходить по ломаной линии минимальной длины или, если это возможно, по прямой, соединяющей объединяемые точки

*Вопросы по прочитанному
материалу?*

Спасибо за внимание!