

## Хвильовий алгоритм трасування

### Трасування з'єднань.

В 1961 році Лі вперше показав можливість автоматичної побудови трас електричних з'єднань. Отриманий ним результат виявився настільки плідним, що ще й в наш час майже у всіх системах метод Лі знаходить застосування і, мабуть, його можливості не вичерпані.

Відомо, що основним недоліком цього методу є вимога значного об'єму пам'яті та часу трасування. Тому подальше удосконалення алгоритму Лі пов'язані з покращенням (зменшенням) цих параметрів.

Сутність алгоритму полягає в наступному:

1. Монтажне поле розбивається на квадратні соти (в прикладі 7x7 сот). Розмір соти може бути довільним згідно **ККС** - кроку координатної сітки.
2. Соти поділяють на вільні, заняті, відносно вільні (заняті). Згідно загальних положень, нехай у нас будуть всі соти вільними - крім двох (рис).
3. **КМ** (контактні майданчики), що подрібно з'єднати, розбиваються на дві групи (у нас 2 КМ): джерело "**Д**" хвиль та приймач "**П**" хвиль. Далі від КМ-джерела моделюється процес розповсюдження числової хвилі. Хвиля розповсюджується від "**Д**" у всіх напрямках по вільним сусіднім сотам до тих пір поки не досягне приймача "**П**", або поки на к-му фронті хвиля не зможе включити ні однієї вільної соти. В першому випадку шлях є (який він - ми не обговорюємо), в другому випадку - шляху немає.

Розповсюдження числової хвилі полягає в присвоєнні сотам, що є сусідніми з раніш розглянутими, певного значення вагової функції. Функція повина бути мінімальною, що відповідає оптимальному шляху по відношенню до набору параметрів, що характеризують якість прокладення провідників.

Ваги присвоюють так

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

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

$P_k, P_{k-1}$  - вага соти відповідно на к-му та (к-1) фронтах числової хвилі

$\varphi(f_1, f_2, \dots, f_g)$  - функція, що враховує якість проведення шляху.

Обмежимося одним якимсь критерієм

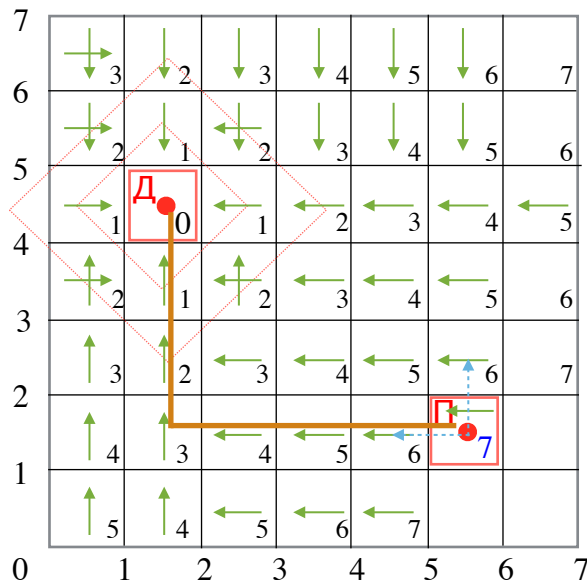
$$P_k = P_{k-1} + 1$$

$$P_{k+1} = P_k + 1$$

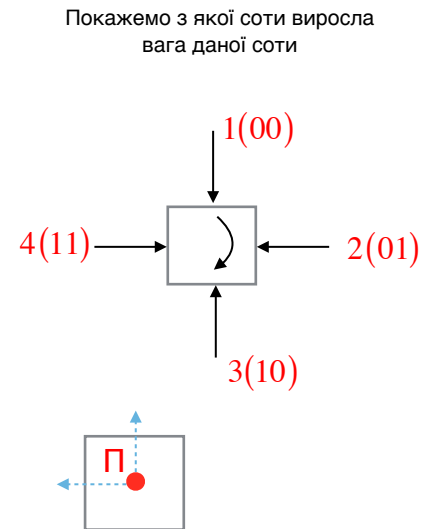
Ще раз підкреслюю, що фронт числової хвилі розповсюджується тільки по вільним сусіднім сотам.

:

## Фрагмент ДП



Зберігаємо напрямки шляхової координати



Вага П виросла з сот вагою 6.  
Вибіримо пріоритетне  
направлення

Нехай ваги присвоюються наступним чином

$$P_0 = P_D = 0$$

$$P_1 = P_D + 1 = 1$$

$$P_2 = P_1 + 1 = 2$$

.....

Хвиля від “Д” досягла “П” на 7 фронті - на цьому розповсюдження хвилі закінчується. Закінчується перший етап. Таким чином, всі умови, що необхідно виконати при побудові траси, в тому числі й умову оптимальності, повинні бути закладені в правила розповсюдження хвилі, тому що ваги сотам присвоюються з урахуванням прийнятого критерію оптимальності.

4. На *другому* етапі необхідно побудувати шлях, тобто з'єднати “Д” та “П”, якщо хвиля досягла “П” - у нас досягла.

Шлях будують від “П” до “Д” по пройденим на етапі розповсюдження хвилі сотам. При цьому слідкують за тим, щоб їх вага ( $P_k$ ) зменшувалася, тобто шлях будують в напрямку, що є протилежним напрямку розповсюдження хвилі.

В нашому прикладі від “П” до “Д” можна побудувати два шляхи, але провідник повинен бути **один**.

Вага приймача дорівнює .7 і дві сусідні соти мають вагу, що дорівнює 6.

*Як провести трасу?*

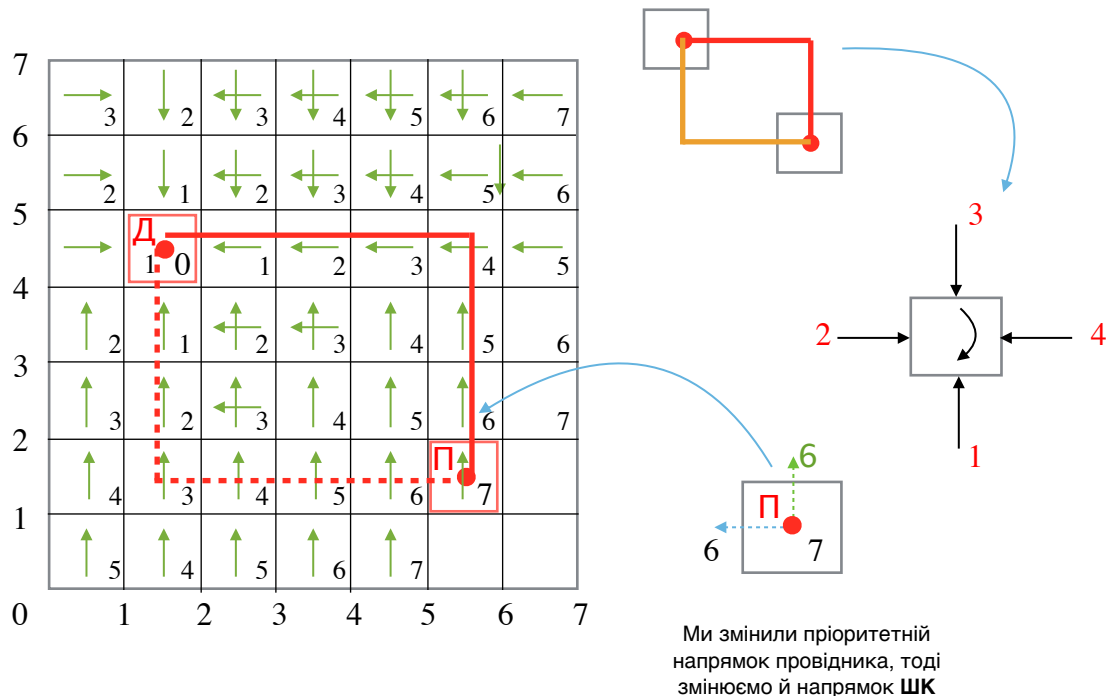
Для усунення неоднозначності проведення траси, якщо дукілька сусідніх з “П” со тмають однакову вагу, використовують **шляхові координати (ШК)**. ШК установлюють деякий пріоритетний порядок трас.

При цьому виходять з пріоритетного напрямку провідників. Тобто, якщо на лицьовій стороні ДП провідники будуть вертикальними, то пріоритетний напрямок ↓.

Напрямок **ШК** в *i*-соті а **к**-му фронті вказує з якої соти (**к-1**) фронту виросла вага *i*-ї соти.

Розглянемо даний варіант напрямку росту ваги сот. Потім розглянемо інший напрямок та зробимо висновки.

**Змінемо напрямок збільшення ваги з сот.**



В другому випадку ми "П" досягли також на 7 кроці, тобто довжина траси, як і в першому, так і в другому випадку - однакова. Траси розташовані по периметру прямокутника. Може бути і такий варіант - траси знаходяться всередині прямокутника. При цьому довжина будь-яких трас, що знаходяться середені прямокутника дорівнюють довжині трас, побудованих по сторонам прямокутника.  $L_{np} = |x_i - x_j| + |y_i - y_j|$ .

Це і є (основні положення) суть хвильового алгоритму.

Розглянемо декілька варіантів вирішення задачі трасування, що відрізняються критеріями оптимізації.

В порядку вказаних критеріїв оптимізації.

**Побудова трас мінімальної довжини та без перетинів (з перетинами) раніш проведених провідників.**

Ми визначили основні критерії оптимізації. Розглянемо задачі, при яких оптимізуються ці критерії хвильовим алгоритмом.

*Нагадаю, що це один з основних критеріїв - мінімальна довжина.*

Для цього випадку **задачу** можна сформулювати наступним чином: потрібно побудувати трасу між "Д" та "П" так, щоб довжина її була мінімальною, перетинів провідників не допускається (допускається, якщо ввести поняття відносно зайятих сот)

Розподіляємо соти. Будуємо провідник без перетинів.

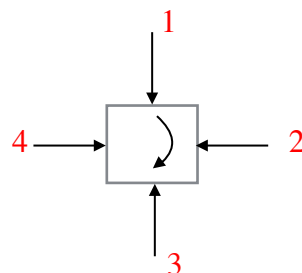
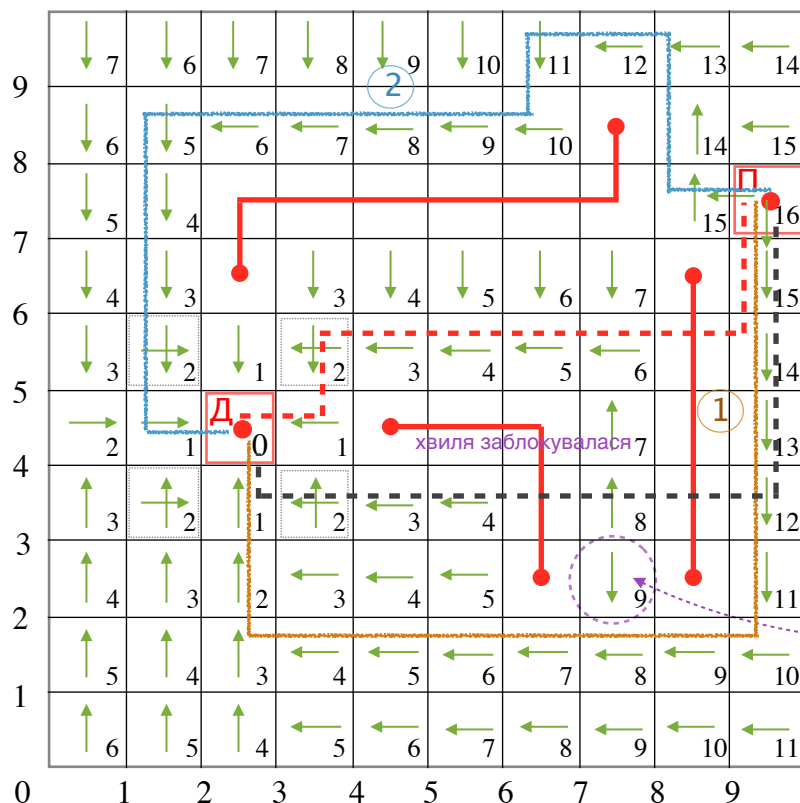
При такій постановці задачі (рис) вільними сотами є *абсолютно вільні соти*; *абсолютно занятыми* рахуються соти, в яких знаходяться **МО** та **провідники**. Відносно вільних та відносно занятих сот *поки нема*. Для такої задачі НЕ допускається перетин провідників.

Ваги присвоюються наступним чином.

$$P_D = 0$$

$P_{k+1} = P_k + 1$ , тобто  $P_k = P_{k-1} + 1$ , тобто вага со тна кожному кроці збільшується на одиницю. В цьому випадку вага соти "П" вкаже на довжину траси, тобто

$$P_{пр} = L_{зв} = N_{\text{кроків}} \times \text{ККС}$$



Пріоритетний порядок приписання **ШК**: напрямом 1 - саме бажане. Потім 2,3,4. Цифри - їх ваги.

звернути увагу

Хвиля на 16 кроці досягла "П". Виходячи з заданого пріоритету **ШК**, будуюмо трасу, що йде до низу.

- провідник має 2 повороти
- провідник маж такую довжину як і перший провідник, але має більш складну конфігурацію- 6 поворотів
- - - - -  $L_{пр}$  можна отримати корочше, але тоді необхідно сформувати по іншому задачу, повинні бути відносно заняті соти, які можна перетинати перпендикулярно.

На кожному кроці формування фронту хвилі проводиться перевірка двох умов

1.  $P \in \{F_k\}$
2.  $\{F_k\} = 0$

Виконання першої умови означає, що сота "П" вийшла до складу **к**-фронту, тобто проведення траси між "Д" та "П" можливе.

При аналізі другої умови перевіряється присутність можливості щодо розповсюдження хвилі. Якщо всі соти фронту є занятыми (або забороненими), а сота "П" до складу **к**-го фронту не вийшла, то проведення траси між "Д" та "П" без перетинів не є можливим.

#### Алгоритм має декілька недоліків:

- середня довжина з'єднань збільшується, тому що необхідно обходити заборонені соти
- як наслідок - малий коефіцієнт заповнення кожного шару та велика кількість шарів
- в результаті обходу з'являються провідники, які проходять на великому протязі паралельно один до одного, що збільшує паразитні індуктивності та ємності взаємозв'язки.

#### Побудова трас з мінімальним числом перетинів інших провідників.

Другий критерій оптимізації

Задачу можна визначити так:

Задана множина сот комутаційного поля, на якому побудовано деяке число провідників. Потрібно побудувати новий провідник між **П** та **Д** так, щоб він **мінімальне** число разів **перетинав** раніш проведені провідники (рис).

З задачі виділяють такі соти:

- абсолютно заняті
- абсолютно вільні
- відносно заняті (вільні), в яких допускається перетин провідників, але тільки в двох взаємно-перпендикулярних напрямках

При такій постановці задачі занятыми рахують соти, в яких знаходяться виводи КЕ, є **Т**-подібні провідники, вигини, а також соти, в яких напрямок провідників співпадає з **ШК** будуемого провідника.

Таке визначення занятості допускає перетин провідників у взаємно перпендикулярних напрямках та забороняє їх паралельне проходження в одній соті, тобто соти з провідниками типу **Г** теж рахуються зайнятими.

Стратегія побудови провідників наступна.

Спочатку стараються будувати провідники без перетинів. Якщо це не вдається, то стараються провести провідники з одним перетином. Якщо й ця спроба не може бути виконана, то проводять провідники з двома перетинами і т.д. поки хвиля не досягне **П**.

Ваги присвоюються наступним чином:

$$P_D = 0$$

$P_{k+1} = P_k$ , якщо сусідня сота абсолютно вільна, хвиля розповсюджується а вага соти залишається незмінною.

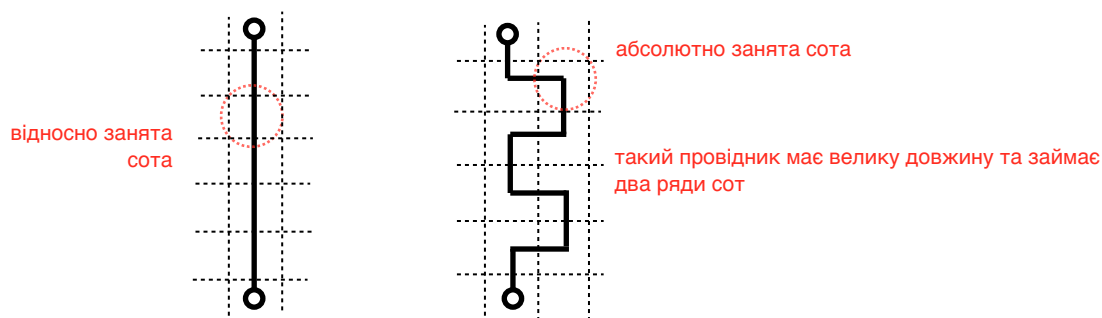
$P_{k+1} = P_k + 1$ , якщо в соті перетинається раніш побудований провідник, тобто як тільки перетнули провідник так і **+1**, ще перетнули - ще **+1**.



**Провідник повинен бути простої конфігурації.**

Така вимога правомірна, тому що:

- 1) технічно важко виконати провідник
- 2) сота з провідником Г - абсолютно занята, що зменшує можливість прокладення траси



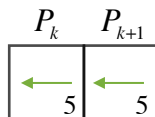
Задачу можна сформулювати наступним чином.

Побудувати трасу від “Д” до “П” таким чином, щоб вона найменшу кількість раз міняла напрям з горизонтального на вертикальний та навпаки. Дозволяється (забороняється) перетинати раніш побудовані провідники (забороняється/дозволяється - два питання - дві задачі; підкреслюю, є соти відносно заняті та відносно вільні - дві задачі).

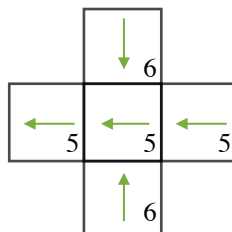
Ваги сотам присвоюють наступним чином.

$P_d = 0$  - на момент розповсюдження хвилі

$P_{k+1} = P_k$ , якщо соті (к+1) фронту приписується також напрямлення ШК, що й в соті к-го фронту, з якої виросла її вага - тобто вага зберігається.

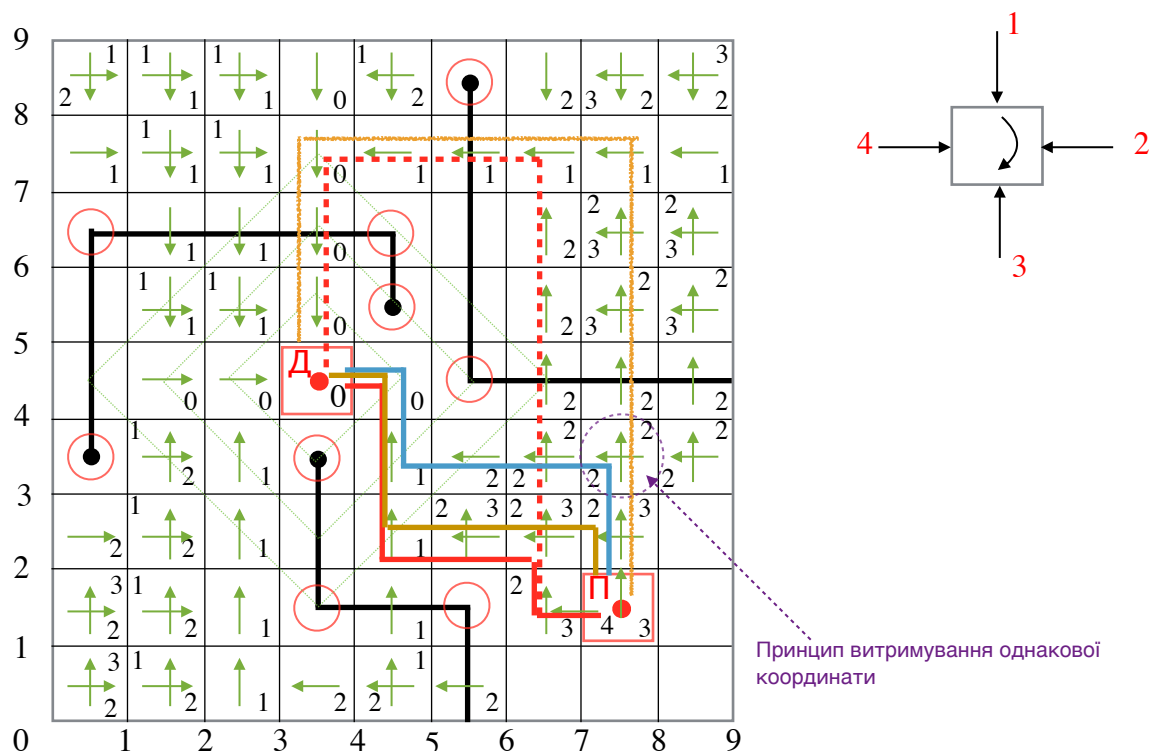


$P_{k+1} = P_k + 1$ , якщо шляхова координата в соті (к+1)-го фронту змінює свій напрям. Тобто до чергового фронту включається сота, що отримала мінімальну вагу.



Особливістю вирішення даної задачі є можливість присвоєння одній соті **двох однакових по вазі ШК**, що змінює процес проведення провідників: при досягненні соти з двома ШК, з них вибирають ту, що співпадає по напрямленню з ШК попереднього кроку. ( принцип витримування однієї й тєї ж ШК). Можна побудувати провідник між “Д” та “П” простої конфігурації, але він буде довгий.

Таким чином, збереження принципу витримки напрямку однієї й тєї ж ШК й означає виключення поворотів провідника.



Звернути увагу на соти з двома **ШК** різними по вазі та напрямку.

----- траса має  $L_{\text{пр}} = 14\text{сот}$  ;  $N_{\text{поворотів}} = 2$  ;  $N_{\text{перетинів}} = 3$   
 —————  $N_{\text{поворотів}} = 3$  ;  $N_{\text{перетинів}} = 0$

- 1) спочатку будуюмо трасу для випадку , коли є тільки абсолютно вільні та абсолютно заняті соти. Хвиля заповнює першу обмежену область - тобто раніш побудовані провідники не перетинаються. В соті "П" є **ШК** 4-3 - вибираємо напрямок з мінімальним значенням **ШК**, тобто  $\uparrow$
- 2) потім рахуємо, що є і відносно заняті соти й продовжуємо розповсюджувати хвилю. Хвиля в цьому випадку досягає "П" з вагою 2.



## Побудова провідників з рівномірним розподіленням по поверхні плати.

Є такий критерій оптимізації. Задачу можна поставити наступним чином.

Побудувати трасу між “П” та “Д” таким чином, щоб вона мінімально (не дуже близько) наближалася до раніш побудованих провідників, тобто рівномірно заповнити ДП. Провідники, їх довжину та число перетинів можна не контролювати, можна контролювати.

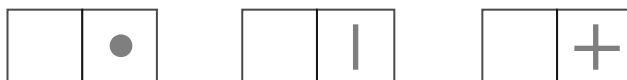
Є всі три види сот.

Ваги присвоюють наступним чином.

- визначають, тобто аналізуємо початковий стан “Д” з урахуванням стану сусідніх сот.

$P_{k+1} = P_k$ , якщо всі соти, що сусідні з (к+1)-ю сотою, є абсолютно вільними.

$P_{k+1} = P_k + 1$ , якщо в одній з сусідніх з (к+1)-х сот є провідник, або сусідні сота абсолютно занята, або в самій соті (к+1)-го фронту перетинається провідник.



$P_{k+1} = P_k + 2$ , якщо в двох сусідніх з (к+1) сотах є провідники або вони є абсолютно занятыми

$P_{k+1} = P_k + 3$ , якщо в трьох сусідніх з (к+1) сотах є провідники або вони є абсолютно занятыми

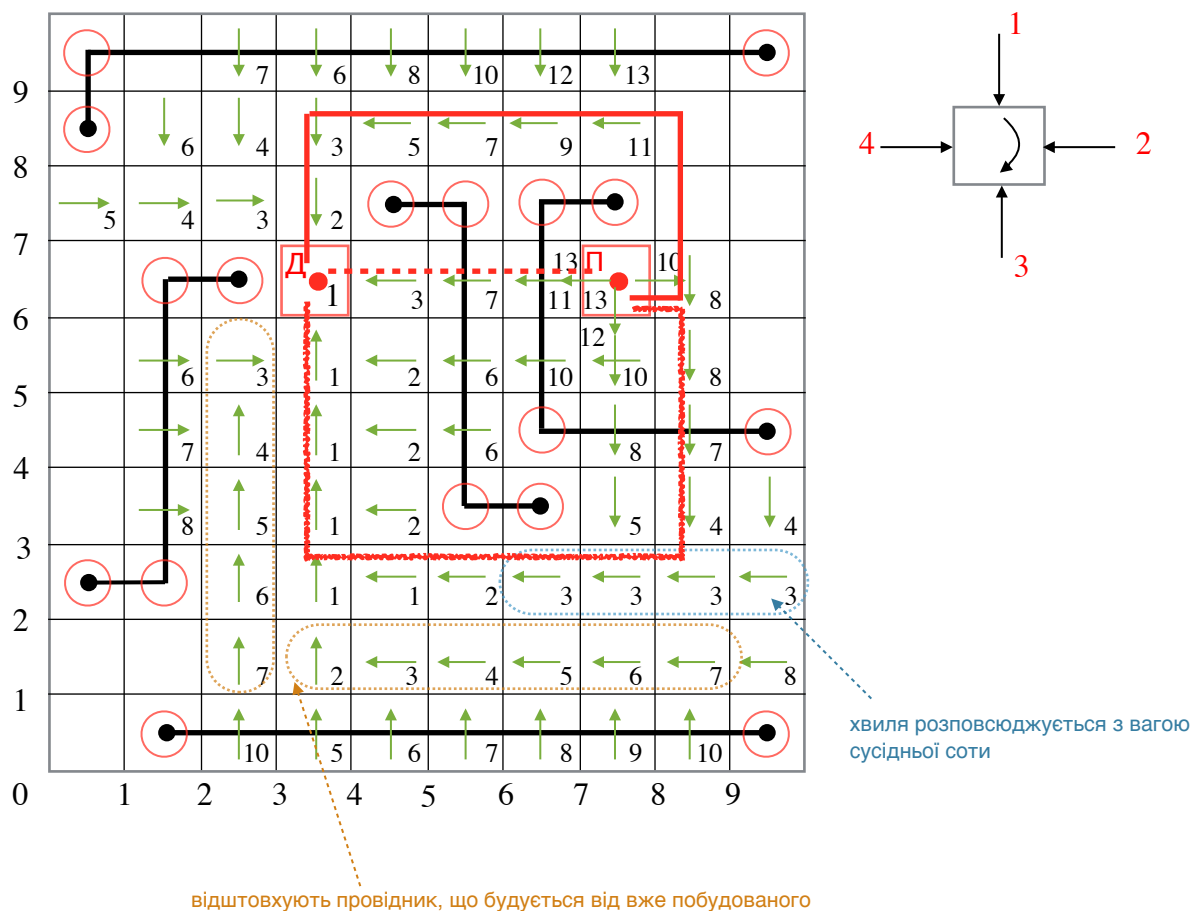
Таким чином на кожному кроці оцінюється ситуація в даній соті не тільки по попередньому фронту (к), але й по всім оточувальним її сусіднім сотам на кроці (к+1).

Цю задачу можна сформулювати по іншому (з урахуванням особливості алгоритму): побудувати трасу між “П” та “Д” так, щоб соти, що входять до неї, мали мінімальне число сусідніх сот, що належать раніш проведеним трасам. Така постановка задачі більш зрозуміла при присвоєнні вагів сот.

*Більш того, таке присвоювання вагів призводить як би до відштовхування провідника від раніш побудованих.*

### Розглянемо приклад.

Аналізуємо монтажний простір.  $P_d = 1$  - одна сусідня з “Д” сота є абсолютно занятою.



- траса коротка , але паралельна близько розташованому провіднику
- - - - траса є самою короткою, але має два перетини, вона не побудується, бо  $P_n = 10$
- ~~~~~ тарса, що прокладається алгоритмом, відштовхнулася від раніш проведеного провідника.