

Алгоритм A*

Тимофей Фролов

07.12.2022

История создания

- ▶ Оригинальная статья - июль 1968 года
- ▶ Название "A Formal Basis for the Heuristic Determination of Minimum Cost Paths"
- ▶ Авторы: Peter E. Hart, Nils J. Nilsson, Bertram Raphael

Используемые обозначения

- ▶ Множество вершин $\{n_i\}$
- ▶ Множество направленных рёбер $\{e_{ij}\}$, ребру e_{ij} отвечает вес c_{ij}
- ▶ Функция $\Gamma : n_i \rightarrow \{(n_j, c_{ij})\}$ - по вершине получаем всех потомков, с весами соответствующих рёбер
- ▶ Подграф $G_n \subset \{n_i\}$ множество вершин, достижимых из $n \in \{n_i\}$
- ▶ Функция $h(n_i, n_j)$ - минимальная длина пути из вершины n_i в вершину n_j

Постановка задачи

- ▶ Собственно, задача:
 - ▶ "Стартовая" вершина $s \in \{n_i\}$
 - ▶ Множество "целевых" вершин $T \subset G_s$
 - ▶ $h(n) := \min_{t \in T} h(n, t)$
 - ▶ Цель - найти $h(s)$ и путь, при котором оно достигается
- ▶ Дополнительные требования, чтобы можно было использовать A^*
 - ▶ $\exists \delta > 0 : \forall i, j : c_{ij} > \delta$
 - ▶ Известна некоторая дополнительная информация о природе графа (объясню позднее)

Идея алгоритма

- ▶ Введём $g(n) = h(s, n)$ - минимальная длина пути из вершины s в вершину n
- ▶ Введём $f(n)$ - длина оптимального пути из s в $t \in T$, проходящего через n
 - ▶ $f(n) = g(n) + h(n)$
 - ▶ Выгодно брать точки с наименьшим $f(n)$ из всех имеющихся.
 - ▶ $f(n) = f(s) \forall n$, лежащей на оптимальном пути
 - ▶ $f(n) > f(s) \forall n$, не лежащей на оптимальном пути
 - ▶ Вычисление $f(n)$ - ???
- ▶ Вводим $\hat{f}(n)$ - аппроксимацию функции $f(n)$.
 - ▶ $\hat{f}(n) = \hat{g}(n) + \hat{h}(n)$
 - ▶ $\hat{g}(n)$ - расстояние минимального найденного пути до вершины n
 - ▶ $\hat{h}(n)$ - функция, которую мы вводим из дополнительных знаний о природе вершин и рёбер
 - ▶ $\forall n \in G : \hat{h}(n) \leq h(n)$
 - ▶ $\forall m, n \in G : h(m, n) + \hat{h}(n) \geq \hat{h}(m)$

Собственно, алгоритм

1. Помечаем s "открытой", вычисляем $\hat{f}(s)$
2. Выбираем открытую вершину n с наименьшим значением \hat{f} (в случае, если таких несколько, выбираем вершину с наименьшим значением \hat{h})
3. Если $n \in T$, n - искомая вершина. Строим обратный путь до s , завершаем исполнение алгоритма
4. Иначе помечаем n "закрытой", помечаем всех не закрытых потомков n открытыми, вычисляем для них значение \hat{f} , возвращаемся к пункту 2

Псевдокод

```
1: procedure AStar( $s, T$ )
2:    $open \leftarrow \{s\}$ 
3:    $closed \leftarrow \emptyset$ 
4:    $g[s] \leftarrow 0$ 
5:    $f[s] \leftarrow g[s] + h(s)$ 
6:   while  $open \neq \emptyset$  do
7:      $n \leftarrow \min\{open\}$  // comparing by  $f$ 
8:     if  $n \in T$  then
9:       break;
10:    end if
11:     $open.pop(n)$ 
12:     $closed.push(n)$ 
13:    for  $(e, c) \in \Gamma(n)$  do
14:      if  $e \notin closed$  then
15:         $open.push(e)$ 
16:         $g[e] \leftarrow g[n] + c$ 
17:         $f[e] \leftarrow g[e] + h(e)$ 
18:         $prev[e] \leftarrow n$ 
19:      end if
20:    end for
21:  end while
22:   $path = []$ 
23:  while  $n \neq s$  do
24:     $path.pushleft(n)$ 
25:     $n \leftarrow prev[n]$ 
26:  end while
27:  return path
28: end procedure
```

Пример работы

► Тык

Свойства алгоритма A^*

- ▶ Алгоритм является допустимым
- ▶ Алгоритм является оптимальным
- ▶ Асимптотическая сложность
 - ▶ Временная сложность $O(b^d)$, где b - среднее количество потомков у узла, d - глубина искомого пути
 - ▶ Полиномиальная, если $|\hat{h}(x) - h(x)| = O(\log h(x))$
 - ▶ Объём используемой памяти $O(b^d)$ - храним информацию о каждой посещённой вершине
 - ▶ В случае $\hat{h}(n) = 0 \forall n$ A^* эквивалентен алгоритму Дейкстры