



**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

**«Дальневосточный федеральный университет»
(ДВФУ)**

ИНСТИТУТ МАТЕМАТИКИ И КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Департамент математического и компьютерного моделирования

**Реферат
о практическом задании по дисциплине АИСД
«Алгоритм поиска D*Lite»**

направление подготовки 09.03.03 «Прикладная информатика»
профиль «Прикладная информатика в компьютерном дизайне»

Выполнил студент
гр. Б9121-09.03.03 пикд
Масличенко Елизавета Андреевна

Доклад защищен:
С оценкой _____

Руководитель практики
Доцент ИМКТ А.С. Кленин

г. Владивосток
2023

Оглавление

1 Введение

2 Авторы и история

3 Описание алгоритма и реализация

3.1 Постановка задачи

3.2 Концепция предшественников и приемников

3.3 Переформулировка: Сведите к минимуму повторные вычисления

3.4 Общий D* Lite:

3.5 Обработка изменения веса локально

3.6 Локальные несоответствия

3.7 Обновление и расширение узлов

3.8 Сверхсогласованный узел

3.9 Недостаточно согласованный узел

3.10 Перенос приоритетной очереди и изменение эвристики

3.11 Общий D* Lite(конкретизация):

4 Пример работы алгоритма

5 Тестирование и анализ производительности

6 Список литературы

Введение

Мы собираемся использовать робота, находящегося в мире сетки. Он расположен в начальной точке, пытаясь добраться до цели. Он может двигаться вверх, вниз, вправо или по диагонали. Он может видеть только восемь ячеек вокруг себя, когда движется через этот мир сетки. Мы даем довольно хорошую карту мира. Это карта, на которой есть мир до того, как он начнет двигаться. Могут появляться новые препятствия или препятствия могут исчезнуть. Идея состоит в том, что он будет делать наблюдения по мере продвижения в этом мире и обновлять свой план, чтобы добраться до цели, основываясь на том, что он видит по мере движения. На рис. 1 показана исходная карта, которую мы дали роботу. На рис. 2 показан запланированный путь к достижению цели.

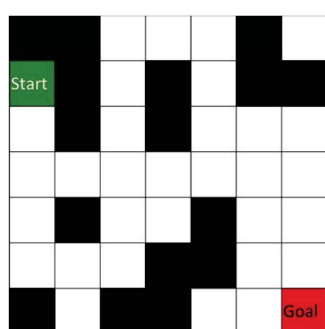


рис.1

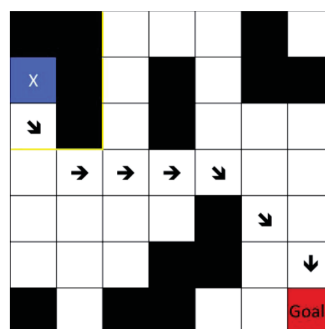
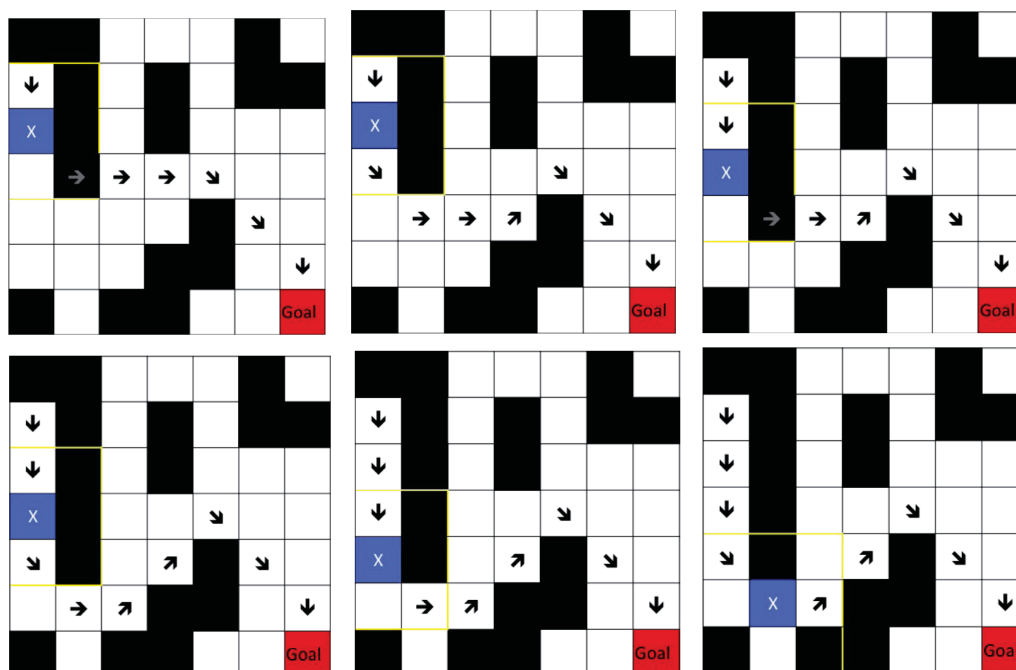
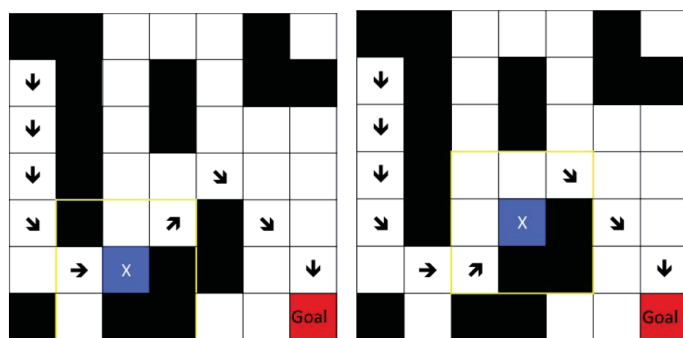


рис.2

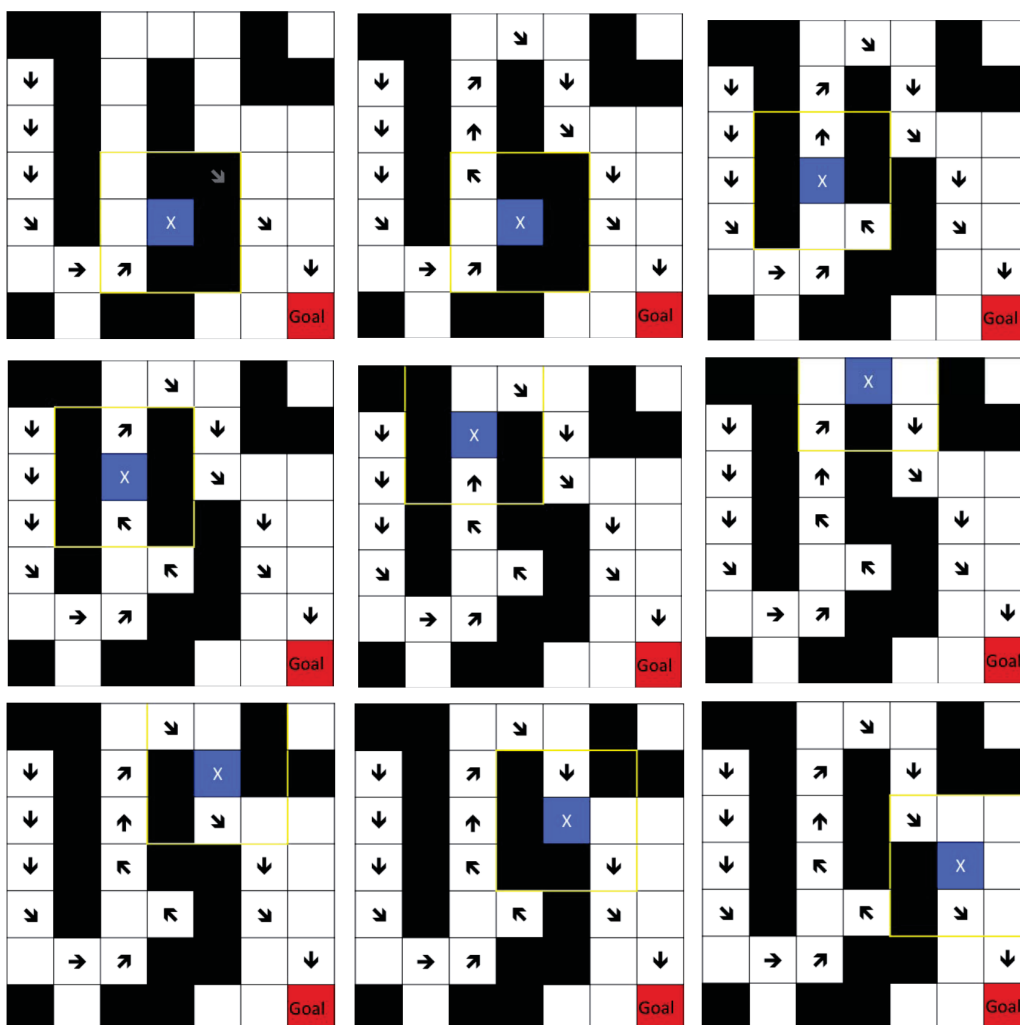
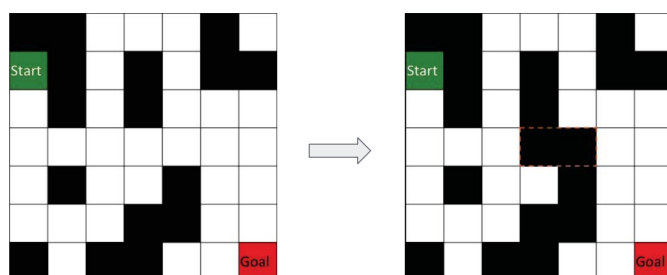
Робот переместиться в следующую позицию, а затем поймет, что на пути который он планировал ранее, есть препятствие и теперь он должен перепланировать что бы найти правильный путь к цели. Он перепланирует и продолжает двигаться по новому плану и теперь он находит еще одно препятствие, которое должен обойти и делает то же самое(перепланирует).

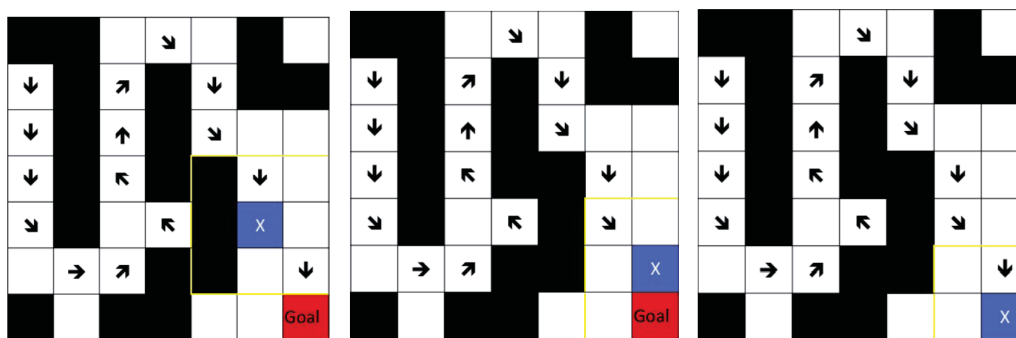




Он продолжает проходить пока не доходит до точки, где мы имеем изменение в окружающей среде. Изменение представлено тем, что эти две клетки становятся черными и прошлый план становится недействительным. Мы хотим, чтобы робот снова перепланировал, чтобы найти новый и оптимальный путь к цели.

Environmental Change





Авторы и история

Алгоритм D star Lite — алгоритм поиска кратчайшего пути во взвешенном ориентированном графе, где структура графа неизвестна заранее или постоянно подвергается изменению. Разработан Свенном Кёнигом и Максимом Лихачевым в 2002 году.

Применение

Dstar и его варианты широко использовались для мобильной навигации роботов и автономных транспортных средств. Современные системы, как правило, основаны на *Dstar Lite*, а не на оригинальном *Dstar* или сфокусированном *Dstar*. Фактически, даже лаборатория Стенца использует *Dstar Lite*, а не *Dstar* в некоторых реализациях. К таким навигационным системам относятся прототипная система, протестированная на марсоходах Opportunity и Spirit, и навигационная система победителя конкурса DARPA Urban Challenge, разработанные в Университете Карнеги-Меллона.

Описание алгоритма и реализация

Постановка задачи

Задача заключается в том, чтобы эффективно добраться от цели до старта поэтапно планируя путь, в изменяющемся пространстве.

Dstar Lite - это алгоритм выполняющий поиск от одного начального узла к другому целевому (конечному, следующему узлу). По мере того как мы видим что на пути происходят изменения, мы будем это корректировать и учитывать. *Dstar Lite* рассматривают с двух точек зрения.

Первая точка зрения должна думать как о модификации основного пространства. В своей первой итерации или при первом прогоне до каких-либо модификаций он ведет себя похоже на алгоритм *Astar* а именно мы производим поиск от начального узла к узлу цели, мы сортируем узлы в очереди по общей стоимости, которая является суммой, значения g и h (эвристики) $f(s) = g(s) + h(s, s_{goal})$

- $f(s)$ - общая стоимость узла (вершины)
- $g(s)$ - стоимость перехода от одного узла к другому
- $h(s, s_{goal})$ - эвристика стоимость получения узла от s, s_{goal}

Вторая точка зрения на алгоритм *Astar* с точки зрения алгоритма Дейкстры, когда мы исправляем или изменяем граф, наши методы заключаются в том, что бы ослабить веса ребер пока они не достигнут своего истинного значения. Теперь, когда мы отличаемся от алгоритма Дейкстры используя *Dstar Lite* мы выбираем только те узлы, которые хотим рационально (эффективно) использовать. В то время как алгоритм Дейкстры,

пытается уместить(вычислить) весь граф. Мы хотим пройти только от одного начального узла к одному конечному узлу.

Теперь что обычно не рассматривается в алгоритме *Astar*, но очень важно для *Dstar Lite* так это то как различить два узла с одинаковой общей стоимостью в очереди.

Итак мы вводим пару(introducing a couplet), состоящую из 2 значений $f(s) = \langle f_1(s), f_2(s) \rangle$

- $f_1(s) = g(s) + h(s, s_{goal})$ Это линейная комбинация наших затрат на достижение конечного узла и эвристической функции.
- $f_2(s) = g(s)$ - стоимость перехода от одного узла к другому
- $f(s) = \langle g(s) + h(s, s_{goal}), g(s) \rangle$

Таким образом порядок расширения узлов из очереди сначала упорядочивает их по значению f_1 и если два узла имеют одинаковое значение f_1 , мы выбираем узел с наименьшим значением $g(s)$

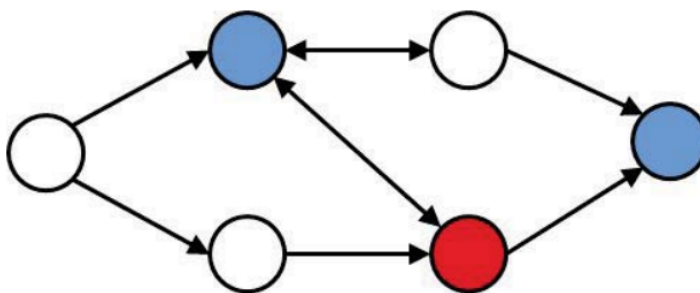
Концепция предшественников и приемников

Концепция предшественников(predecessor) и приемников(successors) любого заданного узла. В любом случае граф состоит из направленных ребер и у нас может быть граф с ненаправленными ребрами, но мы можем думать о любом ребре направленном в обе стороны.

Концепция **приемника** узла состоит в том что каждый узел может быть достигнут из данного узла по ребрам которые можно найти.

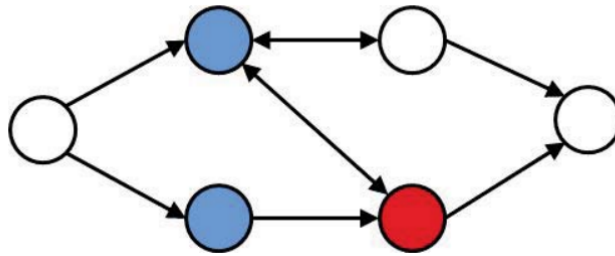
Концепция **предшественников** представляет собой каждый узел, из которого этот узел может быть достигнут, т.е. узлы от которых мы можем следовать по направленному ребру к узлу.

- $Succ(s)$ - множество узлов(вершин) исходящих из вершины s . Таким образом приемниками($Succ(s)$) красного узла, являются вот эти два синих узла.



•

- $Pred(s)$ - множество узлов вершин входящих в вершину s . Таким образом предшественниками($Pred(s)$) красного узла, являются вот эти два синих узла.



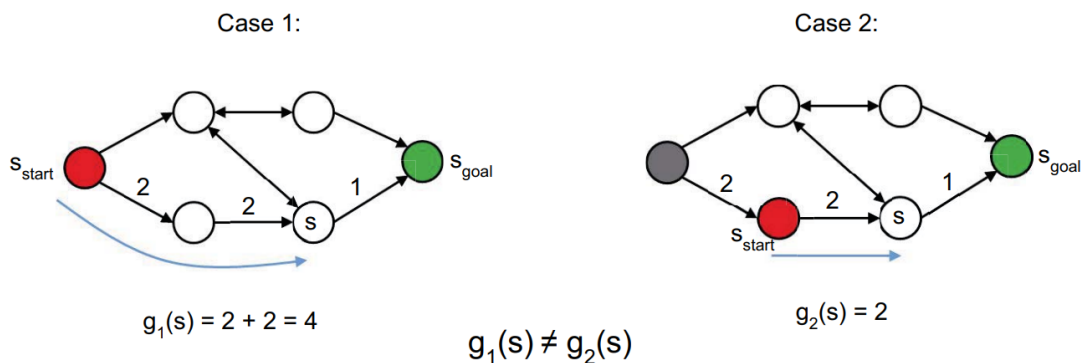
Переформулировка: Сведите к минимуму повторные вычисления

Подумайте над *Dstar Lite* в том смысле, что это повторяющийся поиск по принципу ”лучше всего сначала”(best-first search). Когда принципы алгоритма *Astar* проявляются через граф с изменяющимися весами ребер по мере прохождения этого графа, что означает что по мере того как мы перемещаемся от нашего начального узла к нашему конечному узлу вдоль пути, который мы планируем мы можем видеть что веса ребер меняются.



И в этом примере я моделирую препятствие возникающее между этим узлом и целью, что означает что мы удалили ребро. И это фактически то же самое что и изменение веса ребра. Моделируем это изменение веса до значения бесконечности, что означает что по этому ребру нельзя двигаться.

Мы рассматриваем это как перепланирование за счет уменьшения стоимости пути. Как только мы переместились s_{start} как мы найдем путь отсюда к s_{goal} , когда это ребро по сути удалено?

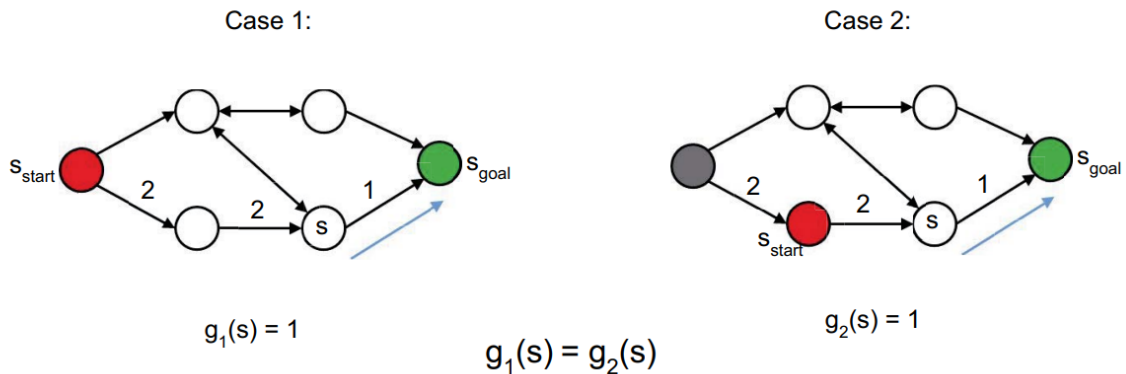


Поэтому мы хотим сделать *Dstar Lite* эффективным. И это повторный поиск по графу по мере его обхода. Поскольку мы используем эти значения $g(s)$ и если мы сохраним

формулировку того, что мы измеряем расстояние, которое нужно пройти или достичь узла от нашего начального узла. Эта формулировка не сохраняется, когда мы перемещаем наш s_{start} . Перемещение начально узла происходит при обновлении позиции робота.

Перейдем к примеру. Значение $g_1(s)$ или стоимость перехода от одного начального узла к другому представляет комбинацию 2 ребер на примере Case1: таким образом $g_1(s) = 2 + 2 = 4$

Теперь когда мы движемся по тому пути, который мы спланировали к следующему узлу прошлое значение $g_1(s) \neq g_2(s)$ не сохранилось на примере Case2.



Так что мы делаем это переформулируем наш поиск, чтобы начать **искать в противоположном направлении**. Теперь мы измеряем для наших значений g стоимость достижения цели от конкретного узла. И вместо эвристики измеряем затраты, чтобы добраться от конкретного узла или добраться от начального к конкретному. И так ищем от цели s_{goal} назад по графу.

В этом случае независимо от того, является ли узел начальным, мы сохраняем значение $g(s)$ и стоимость путешествия от текущего узла к цели. Мы сохраним эту формулировку для максимальной эффективности.

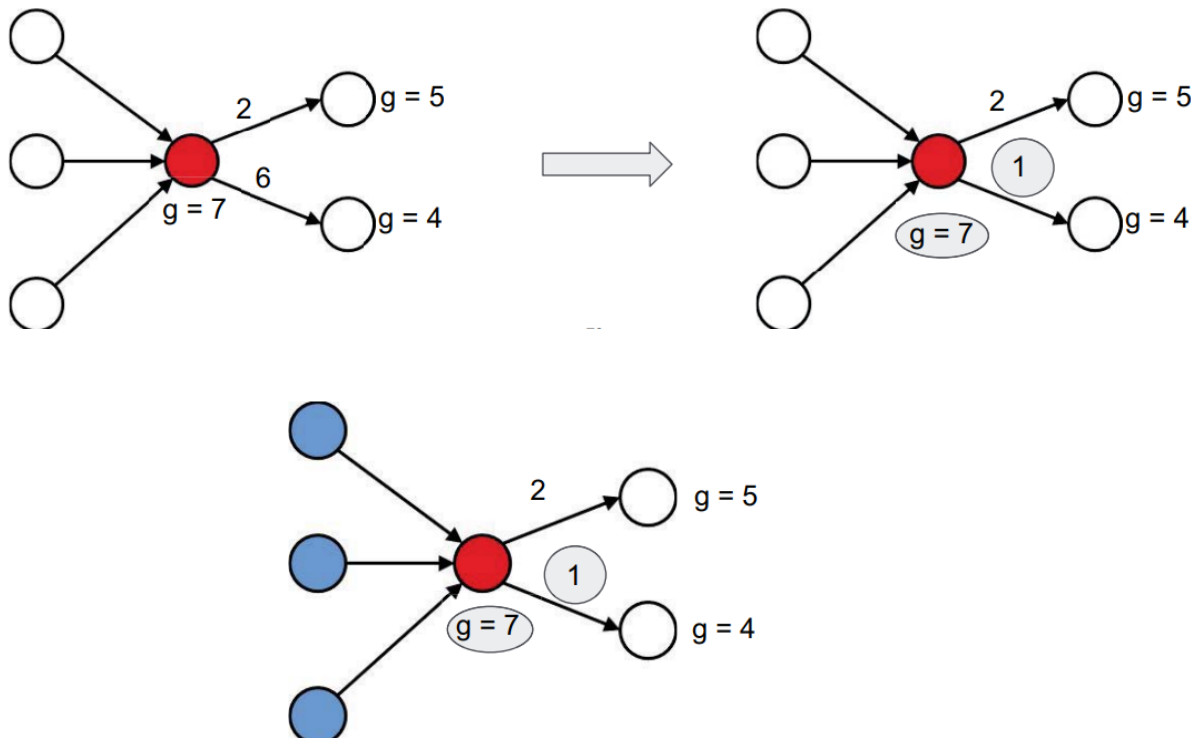
Общий D* Lite:

1. Инициализируйте все узлы как нерасширенные.
2. Выполнить поиск по принципу "best-first search" (лучший — первый) от конечного узла к начальному, пока начальный узел не согласуется со своими соседями
3. Затем мы перемещаем начальный узел в следующую лучшую вершину (по созданному ранее нами плану)
4. Если какие-либо граничные затраты изменились (имеет ввиду стоимость ребер):
 - (a) отследить как изменилась эвристика
 - (b) обновить исходные узлы измененных ребер
5. Повторить пункт №2

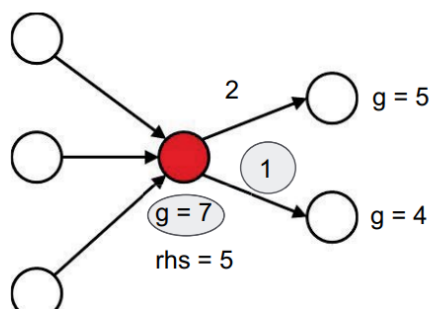
Обработка изменения веса локально

Как мы справляемся с изменением веса локально на месте. И делаем это потому что не хотим отслеживать изменение веса на протяжении всего графика. Мы хотим справиться с эти эффективно, поэтому нам нужно обрабатывать только те изменения, которые действительно влияют на нашу проблему.

Пример заключается в том, что я изменила стоимость веса ребра с 6 на 1. И теперь мы можем добраться до красного узла по новому оптимальному пути. Новое значение $g(s) = 5$. Но это не сохранилось.



Затем эти изменения распространяются на наших предшественников $Pred(s)$, потому что стоимость каждого процесса зависит от значения $g(s)$ для их приемника. И поэтому когда мы попадаем в узел, мы должны распространить это изменение по всему граффу. Поэтому, чтобы сделать это эффективно мы используем подход подобный *Astar*, где мы сначала обновляем узлы с наименьшей стоимостью и мы не расширяем узел, пока он не станет следующим с наименьшей стоимостью.



Что бы решить проблему, мы собираемся хранить дополнительное значение

$$rhs(s) = \min_{s' \in Succ(s)} (g(s') + (s, s'))$$

(англ. right-hand side value) И когда ваше значение $rhs(s) \neq g(s)$ это называется, то что имеем как **локальная несогласованность**. Учитывая логику значение $rhs(s)$ должно быть таким, каким будет скорректировано ваше значение $g(s)$. Таким образом при изменении стоимости ребра $rhs(s) = 4 + 1 = 5$

Локальные несоответствия

У нас есть 2 типа локального несоответствия

- $g(s) > rhs(s)$ локально сверхсогласованно
- $g(s) < rhs(s)$ локально недостаточно согласованно

Обновление и расширение узлов

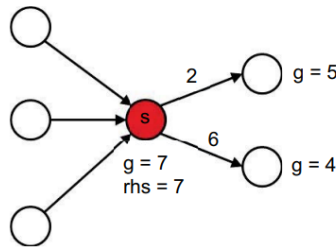


рис.1

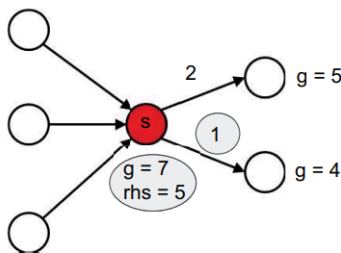


рис.2

Под "обновлением узлов" я подразумеваю повторное вычисление значения $rhs(s)$ а затем помещение этого узла в очередь приоритетов, если этот узел локально несовместим. Что бы привести пример я изменила значение стоимости ребра с 6 на 1 предварительно подсчитав на рисунке 1 значение $rhs(s) = 7$ до изменений и на рисунке 2 после изменений $rhs(s) = 5$. Теперь мы видим на рис.2, что узел локально несогласован. И поэтому мы помещаем его в очередь приоритетов.рис.3

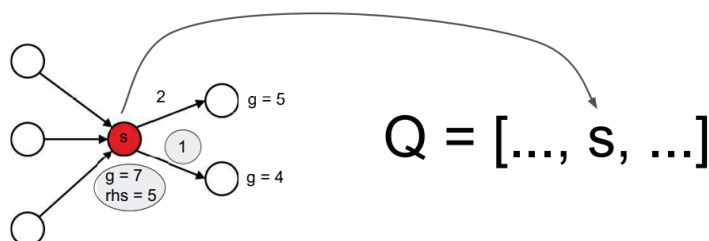


рис.3

Значение приоритетной очереди основанно на этой формуле

$$Q = \langle \min[g(s), rhs(s)] + h(s, s_{start}), \min[g(s), rhs(s)] \rangle$$

Оно основано на том как мы види значение $g(s)$ $rhs(s)$. Мы хотим взять минимальное

значение одного из них, что бы мы могли обрабатывать его в первый раз, когда оно вызовет изменения, распространяющиеся по графу. Таким образом это наш порядок в приоритетной очереди.

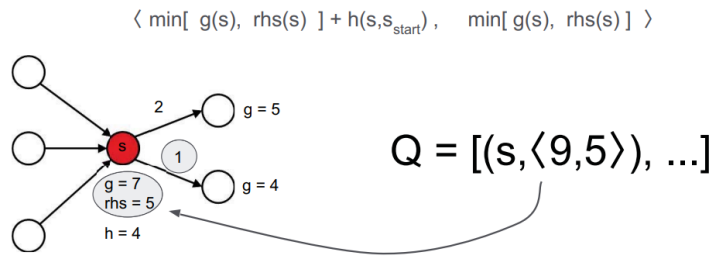


рис.4

Итак мы расширяем наши предыдущие узлы удаляя из очереди приоритетов и изменяя значение $g(s)$. Значения $g(s)$ уменьшаются до значения $rhs(s)$, поэтому мы просто устанавливаем $g(s) = rhs(s)$. В этом случае узел локально непротеричив (согласован) и он остается таким.

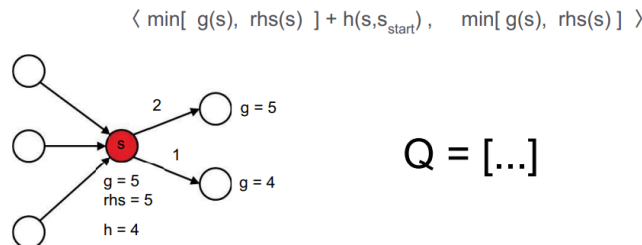


рис.5

Почему происходит процесс изменения $rhs(s)$ и отслеживаю это новое значение для того, что бы поставить в очередь, а затем снова убрать его, вместо того чтобы просто пересчитать значение $g(s)$? Можно подумать что вы добавляете что-то в очередь, если мы незамедлительно обновим $g(s)$, существует несколько узлов, которые могут изменить один и тот же узел, который мы только-что рассмотрели. Под этим я подразумеваю дополнительные изменения работы по мере их распространения обратно по графу, которые могут привести к изменению значения правой стороны этого конкретного узла. Что нам нужно сделать если мы можем пересчитывать $g(s)$ каждый раз так это поставить его в очередь, сигнализируя о том что мы пересчитываем $g(s)$ и выполнить этот перерасчет, а затем новые изменения которые мы сделали делая это снова и снова и снова и мы хотим избежать этой ситуации.

Мы хотим сохранить $rhs(s)$ как временное значение. Которое можно изменить, когда оно находится в очереди. Итак, когда что-то стоит в очереди, оно есть там один раз и его можно обновить и снять. Но мы знаем когда его сняли, что он был снят в нужно время и его не нужно будет снова обрабатывать.

Сверхсогласованный узел

$$g(s) > rhs(s)$$

- Стоимость нового пути $rhs(s)$ лучше, чем стоимость старого пути $g(s)$.
- Немедленно обновите $g(s)$ до $rhs(s)$ и распространите на всех предшественников
- Установить $g(s) = rhs(s)$
- Обновление всех предшественников узла s

Узел теперь локально согласован и он останется таким.

Недостаточно согласованный узел

$$g(s) < rhs(s)$$

- Стоимость старого пути $g(s)$ лучше, чем стоимость нового пути $rhs(s)$
- Задержите расширение вершины и распространитесь на все предшественники
- Установить $g(s) = \infty$
- Обновление всех предшественников узла s и сам s

Вершина теперь локально согласована или локально сверхсогласованна. Она будет оставаться в очереди до тех пор, пока $rhs(s)$ не станет следующей наилучшей стоимостью

Логика того, к какому типу относиться значение $rhs(s)$ реализована в функции *computeShortestPath*

```
1  int Dstar::computeShortestPath() {
2
3      list<state> s;
4      list<state>::iterator i;
5
6      if (openList.empty()) return 1;
7      int k=0;
8      while ((!openList.empty()) &&
9              (openList.top() < (s_start = calculateKey(
10                  s_start))) ||
11              (getRHS(s_start) != getG(s_start))) {
12
13          if (k++ > maxSteps) {
14              return -1;
15          }
16          state u;
17          bool test = (getRHS(s_start) != getG(s_start));
18
19          while(1) {
20              if (openList.empty()) return 1;
21              u = openList.top();
22              openList.pop();
23              if (!isValid(u)) continue;
24              if (!(u < s_start) && (!test)) return 2;
25              break;
26          }
27          ds_oh::iterator cur = openHash.find(u);
28          openHash.erase(cur);
29          state k_old = u;
30          if (k_old < calculateKey(u)) {
31              insert(u);
32          } else if (getG(u) > getRHS(u)) {
33              setG(u, getRHS(u));
34              getPred(u, s);
35              for (i=s.begin(); i != s.end(); i++) {
36                  updateVertex(*i);
37              }
```

```

37         } else {
38             setG(u, INFINITY);
39             getPred(u, s);
40             for (i=s.begin(); i != s.end(); i++) {
41                 updateVertex(*i);
42             }
43             updateVertex(u);
44         }
45     }
46     return 0;
47 }

```

В строке 8 в цикле while происходит проверка локальной несогласованности узла. С 29 по 42 строчку проверка к какому типу относиться локально несогласованный узел.

Перенос приоритетной очереди и изменение эвристики

Проблема в том что мы движемся s_{start} к другому узлу. Наше эвристическое значение измеряться от любого заданного узла до узла конечного. Поэтому когда наш начальный узел изменился эвристика не будет, такого же значения, что и прежде как на новом узле. Итак мы хотим, то что уже находится в очереди было сопоставимо с тем что мы вычисляется для нашего нового значения, что бы мы могли использовать нашу логику которые мы уже сделали.

Мы вводим что-то называемое ключевым модификатором.

$$k_m = k_m + h(s_{last}, s_{start})$$

Мы переходим от предыдущего начального узла, который здесь я указала как последний к новому начальному узлу. Теперь когда мы добавляем новые узлы в очередь, вместо того, чтобы вычитать это значение из всего что уже находится в очереди, мы просто увеличиваем для всех узлов, которые мы помещаем в очередь, их значения на этот новый модификатор. Потому что когда мы выходим из очереди, все что имеет значение - это относительное различие между ними. Таким образом, вместо того, что бы вычитать значение из всего в очереди, добавление этого значения ко всем новым значениям, которые появляются в очереди, позволит достичь той же цели.

Формула приоритетной очереди изменяется:

$$< \min[g(s), rhs(s)] + h(s, s_{start}) + k_m, \min[g(s), rhs(s)] >$$

Общий D* Lite(конкретизация):

1. Инициализация всех значений $g(s) = \infty$, $rhs(s, s_{goal}) = \infty$, $rhs(s_{goal}) = 0$, $k_m = 0$, $s_{last} = s_{start}$,
2. Поиск по принципу "best-first search" (лучший — первый), пока s_{start} не будет локально согласован и расширен
3. Переместить $s_{start} = \operatorname{argmin}_{s' \in Succ(s_{start})} (c(s_{start}, s') + g(s'))$
4. Если какие-либо стоимости ребер изменились
 - (a) $k_m = k_m + h(s_{last}, s_{start})$
 - (b) Обновите $rhs(s)$ и положение в очереди для исходных узлов измененных ребер

5. Повторите шаг № 2

Всегда сортируйте по формуле:

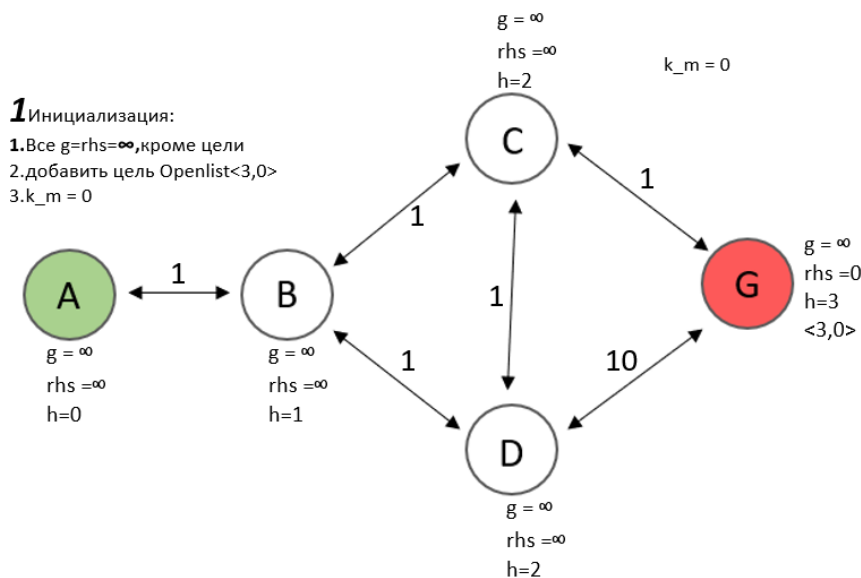
$$< \min[g(s), rhs(s)] + h(s, s_{start}) + k_m, \min[g(s), rhs(s)] >$$

Пример работы алгоритма

Рассмотрим краткий пример с пятью узлами. Робот начинает с узла A и его цель найти кратчайший путь к узлу G, за исключением того что граф может измениться по мере прохождения робота или робот может получить новую информацию.

Изначально робот думает что все узлы доступны. Он знает что все длины пути равны 1 за исключением пути от D до G=10. Это двунаправленный граф, каждое ребро идет в обоих направлениях.

Эвристика - это количество узлов до начального расстояния. Все узлы правильно локально согласованы так как $g(s)=rhs(s)$

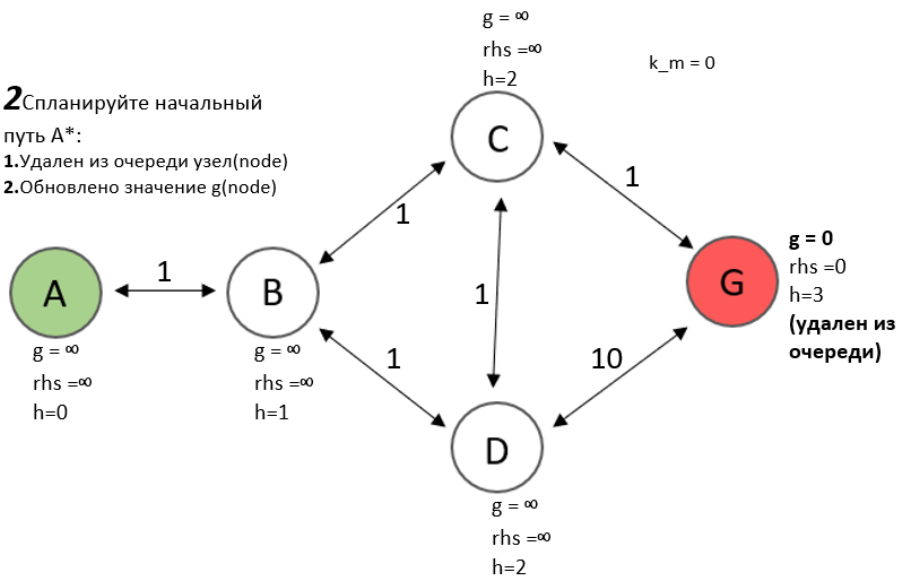


Мы помещаем вершину G в Openlist(очередь) используя формулу $< \min[g(s), rhs(s)] + h(s, s_{start}) + k_m, \min[g(s), rhs(s)] >$ Теперь у нас есть один узел(вершина в очереди). Так что нам придется выйти из очереди.

- удаляем узел G из OpenList
- проверка $computeShortestPath(g(s)>rhs(s))$, следовательно $g(s)=rhs(s)=0$

2 Спланируйте начальный путь A*:

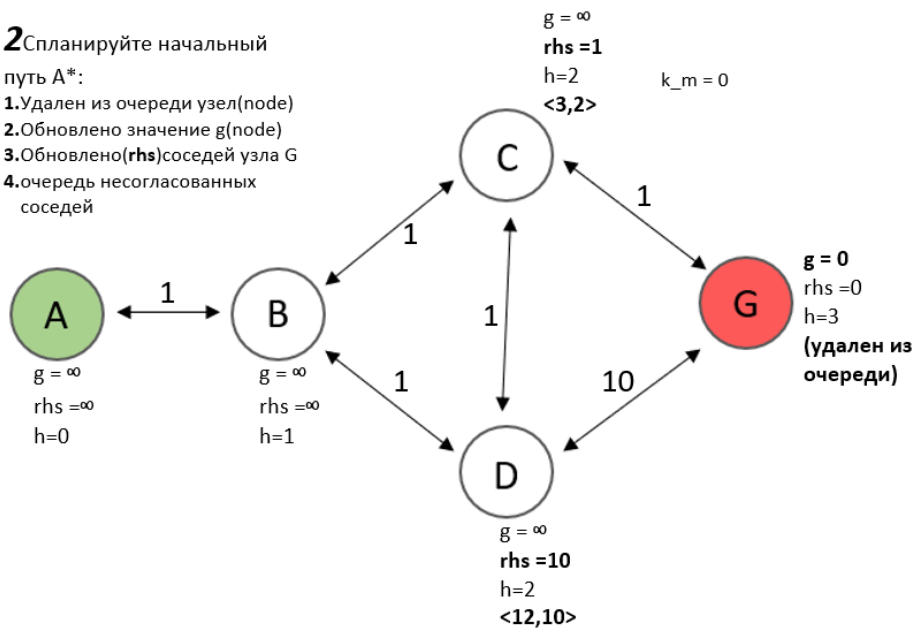
1. Удален из очереди узел (node)
2. Обновлено значение $g(\text{node})$



Теперь мы собираемся обновить значения $rhs(s)$ соседей узла G и в каждом случае значение будет минимальным по формуле $rhs(s) = \min_{s' \in Succ(s)} (g(s') + (s, s'))$. И добавить в очередь $OpenList = [< 3, 2 >; < 12, 10 >]$

2 Спланируйте начальный путь A*:

1. Удален из очереди узел (node)
2. Обновлено значение $g(\text{node})$
3. Обновлено (rhs) соседей узла G
4. очередь несогласованных соседей



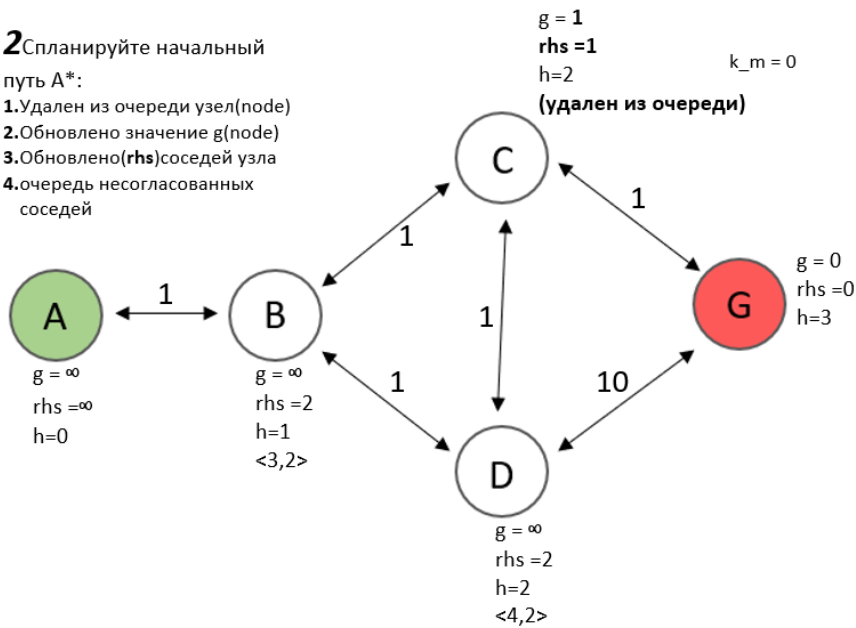
Теперь мы исключим из очереди еще один узел C так как у него наименьший ключ $< 3, 1 >$. Проверка $computeShortestPath(g(s) > rhs(s))$, следовательно $g(s) = rhs(s) = 1$ И обновим значения $rhs(s)$ соседей узла C.

Теперь в очереди $OpenList = [< 3, 2 >; < 4, 2 >]$

2 Спланируйте начальный

путь A*:

1. Удален из очереди узел(node)
2. Обновлено значение $g(node)$
3. Обновлено(rhs)соседей узла
4. очередь несогласованных соседей



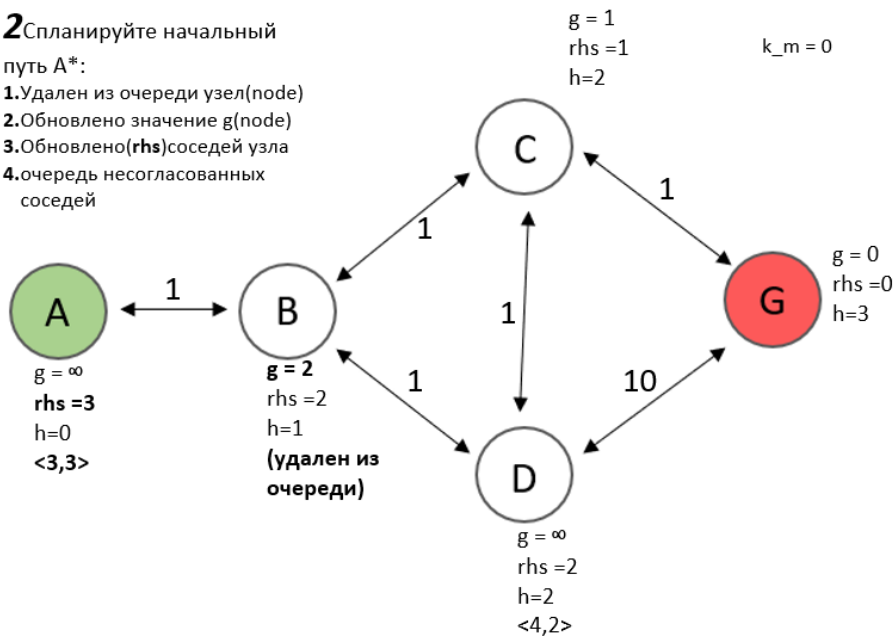
Дальше мы удаляем из очереди узел B так как у него наименьший ключ $\langle 3, 2 \rangle$. Проверка $computeShortestPath(g(s) > rhs(s))$, следовательно $g(s) = rhs(s) = 2$. И обновим значения $rhs(s)$ соседей узла B. Мы не изменяем ключевое значение узла D так как стоимость из $G \rightarrow C \rightarrow D$ будет меньше чем из $G \rightarrow C \rightarrow B \rightarrow D$.

Теперь в очереди $OpenList = [\langle 3, 3 \rangle; \langle 4, 2 \rangle]$

2 Спланируйте начальный

путь A*:

1. Удален из очереди узел(node)
2. Обновлено значение $g(node)$
3. Обновлено(rhs)соседей узла
4. очередь несогласованных соседей

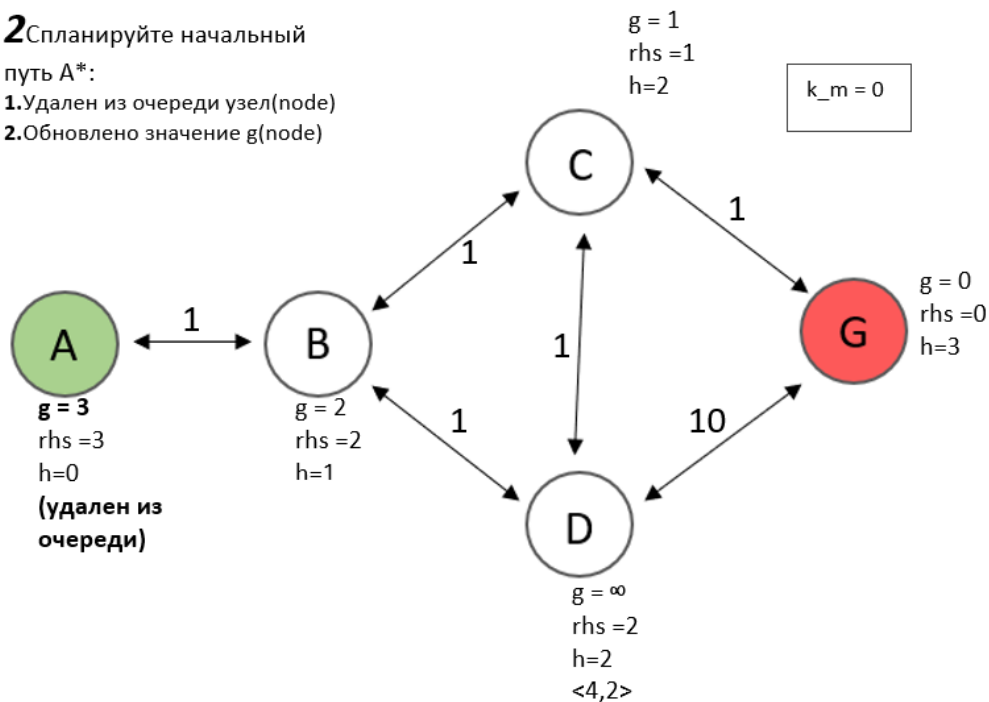


Далее мы удаляем из очереди узел A так как у него наименьший ключ. Проверка $computeShortestPath(g(s) > rhs(s))$, следовательно $g(s) = rhs(s) = 3$. $OpenList = [\langle 4, 2 \rangle]$ И на это мы закончили.

2 Спланируйте начальный

путь A*:

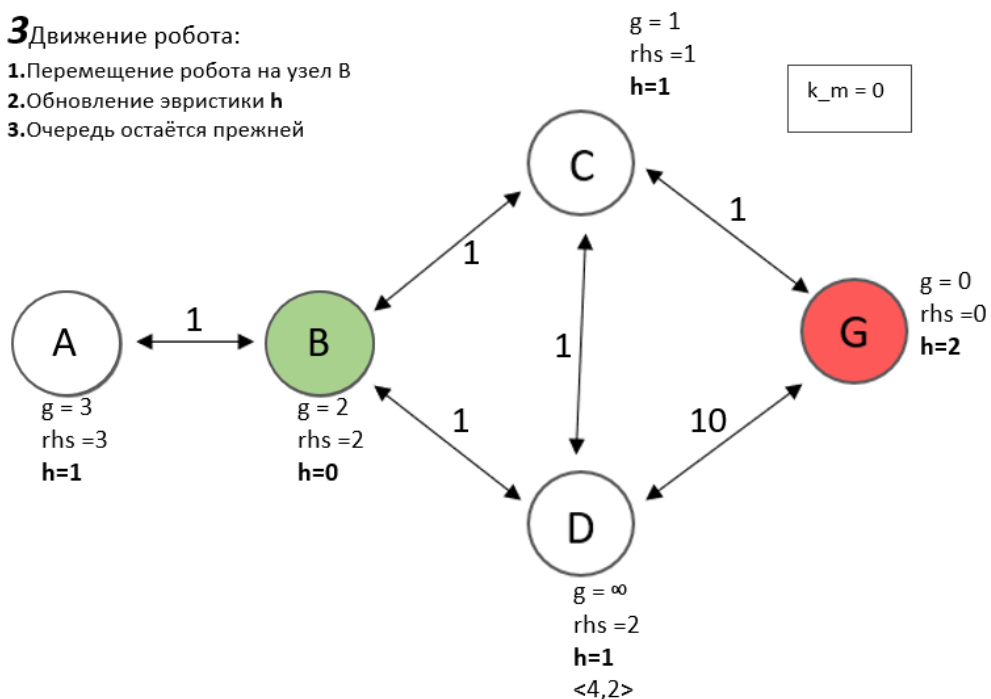
1. Удален из очереди узел (node)
2. Обновлено значение $g(\text{node})$



Робот переместился к своему следующему лучшему месту узлу В. Мы обновляем значения эвристики h для каждого узла в графе. Мы не изменяем очередь, но также должны обновить $k_m = 1$. Появляется препятствие. В точке С есть препятствие, которое робот теперь может видеть так как он ближе переместился к узлу С, но раньше он его не видел. Мы укажем эти изменения изменив ребра узла С на стоимость равной бесконечность. Это означает что робот никогда не сможет туда добраться.

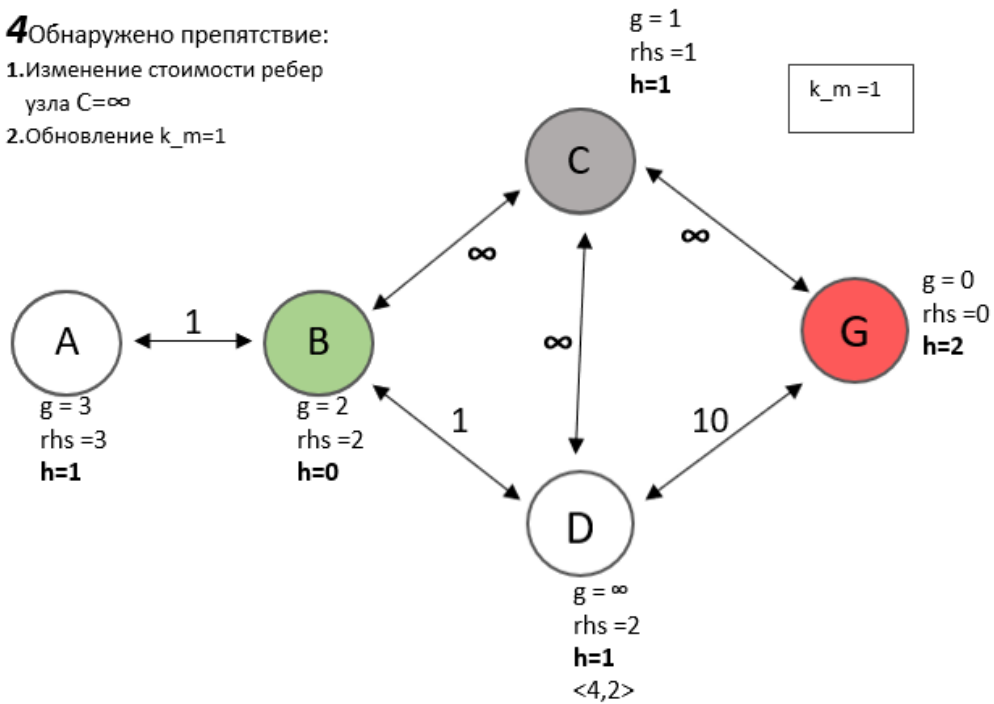
3 Движение робота:

1. Перемещение робота на узел В
2. Обновление эвристики h
3. Очередь остаётся прежней



4Обнаружено препятствие:

- 1.Изменение стоимости ребер узла $C = \infty$
- 2.Обновление $k_m = 1$

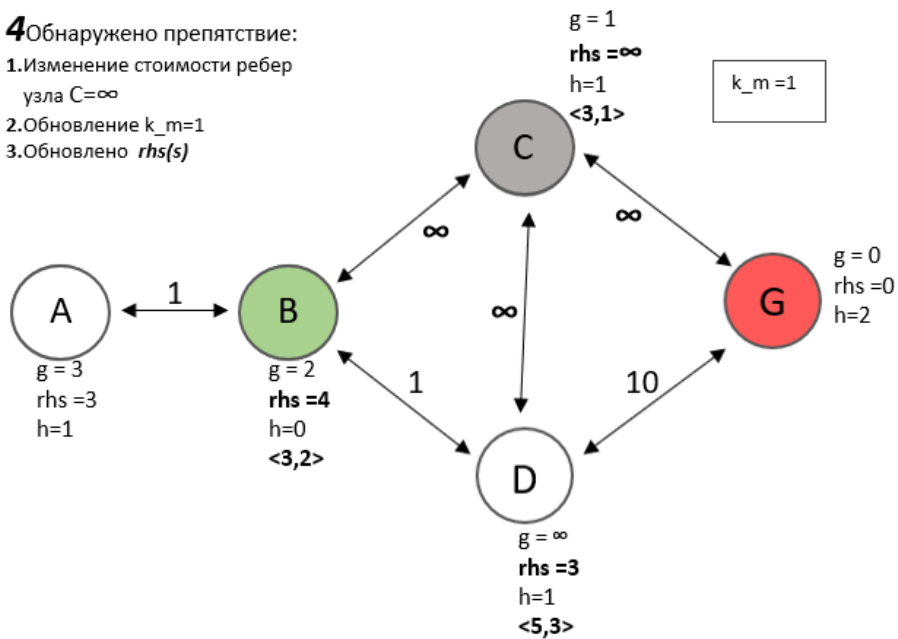


Далее мы собираемся обновить значения rhs узла B и его соседей.

$OpenList = [<3, 1>; <3, 2> <5, 3>]$

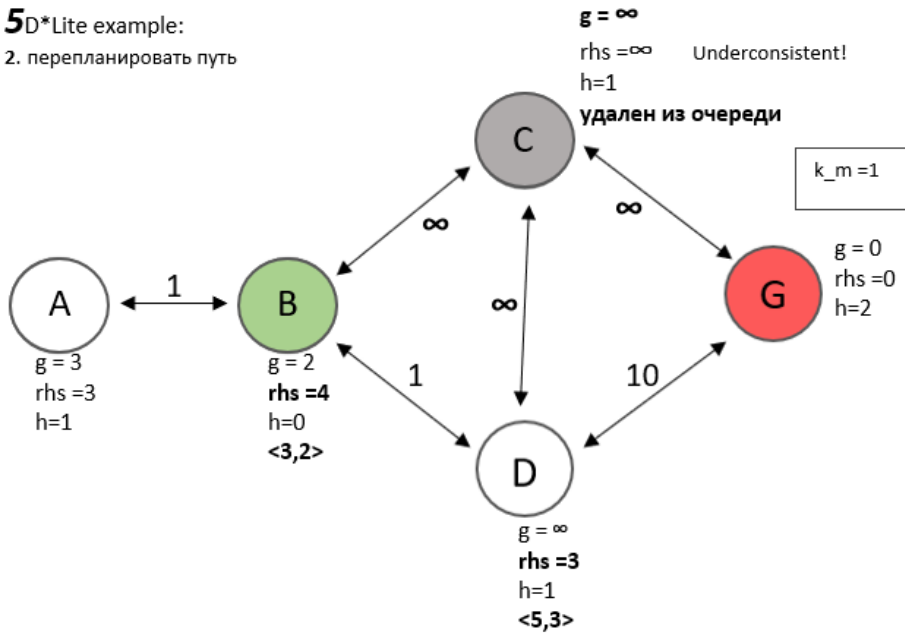
4Обнаружено препятствие:

- 1.Изменение стоимости ребер узла $C = \infty$
- 2.Обновление $k_m = 1$
- 3.Обновлено $rhs(s)$



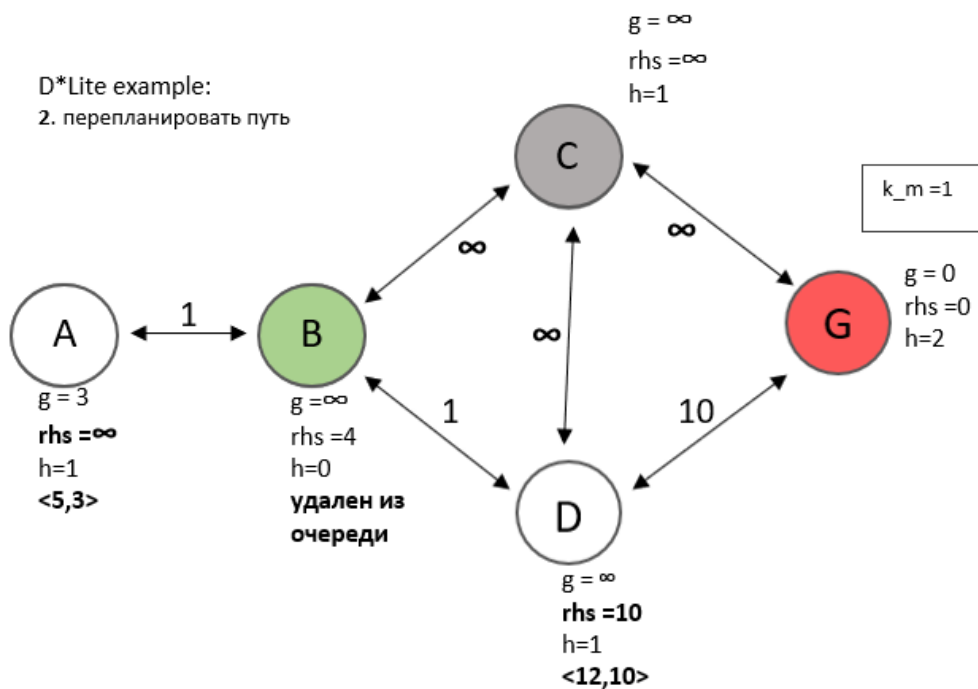
Далее мы удаляем из очереди узел C. Проверка $computeShortestPath(g(s) < rhs(s))$, следовательно $g(s) = \infty$

5D*Lite example:
2. перепланировать путь

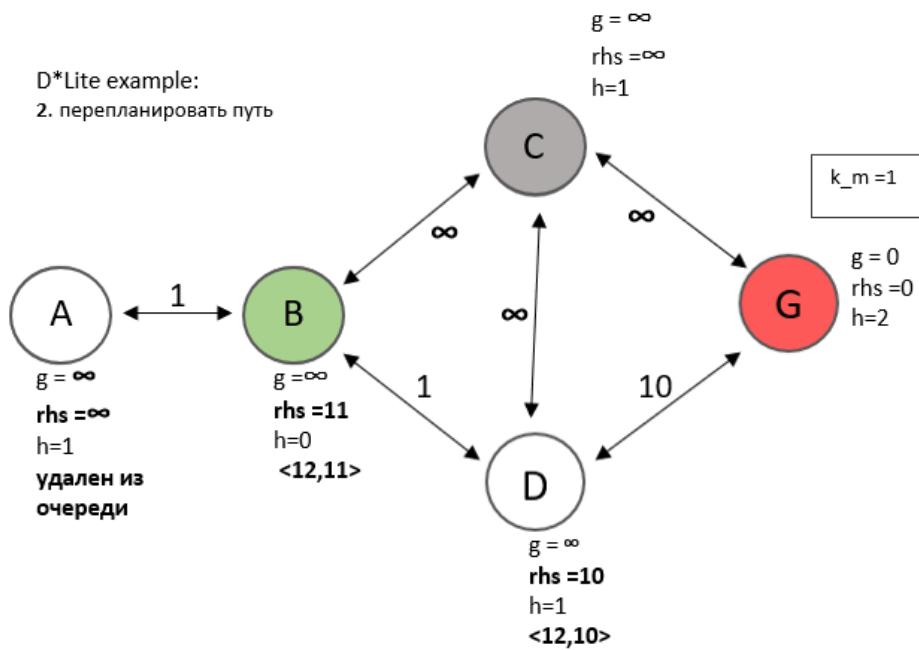


Далее мы удаляем из очереди узел B так как это наименьшее значение в очереди. Проверка $computeShortestPath(g(s) < rhs(s)) 2 < 4$, следовательно $g(s) = \infty$. Обновляем значение rhs соседей и добавляем в OpenList изменившиеся значения. OpenList= $\langle 5, 3 \rangle; \langle 12, 10 \rangle$

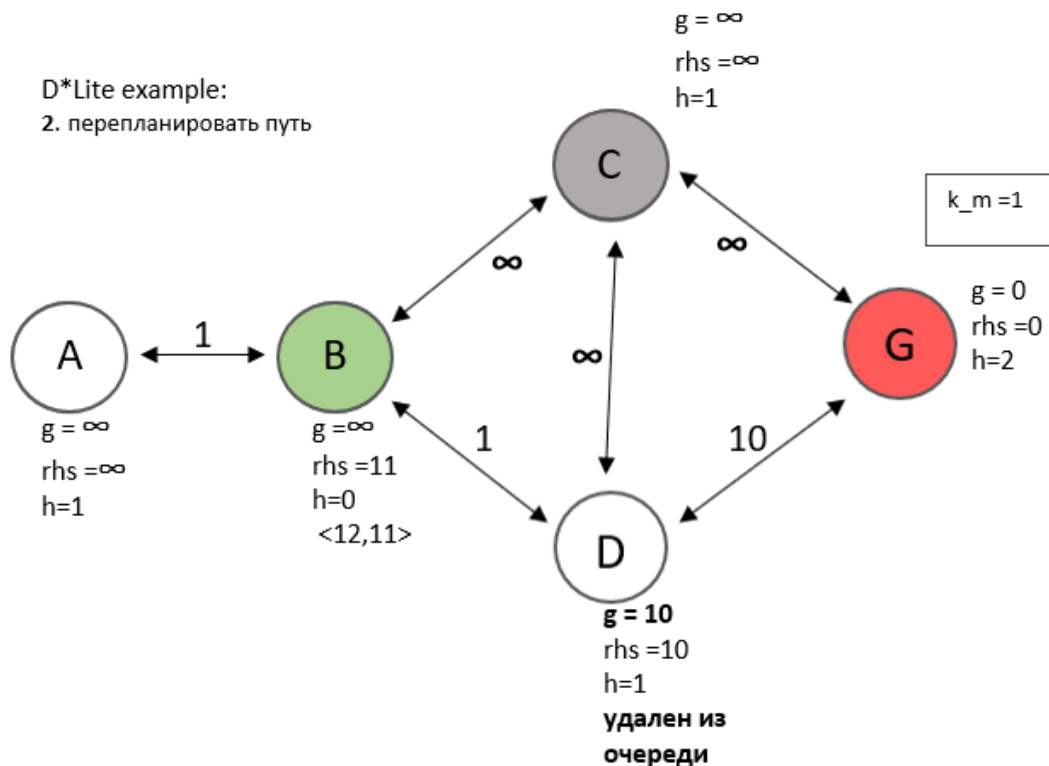
D*Lite example:
2. перепланировать путь



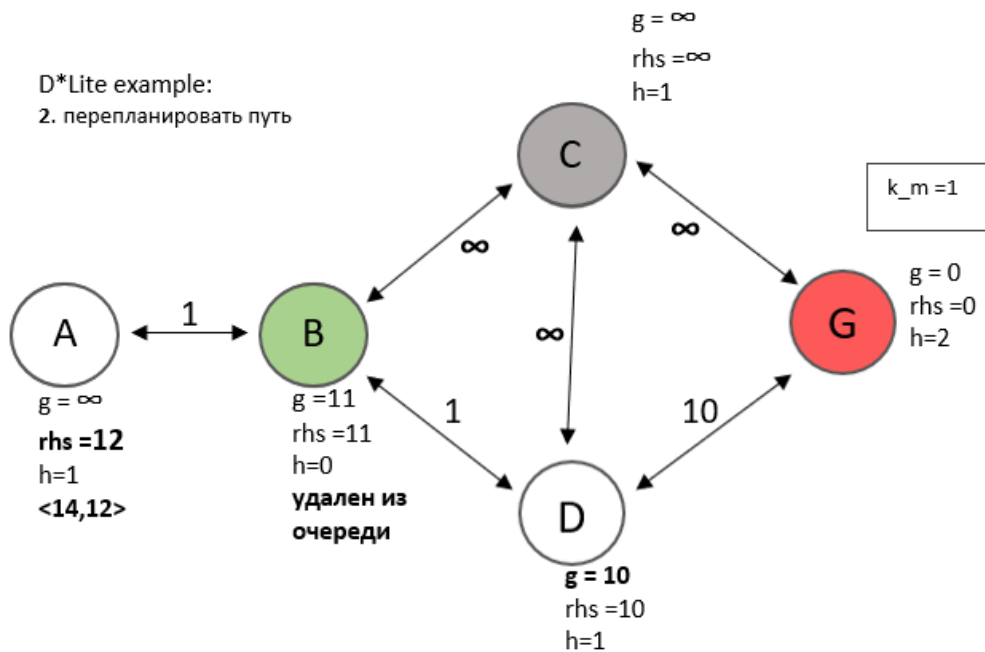
Так как $\langle 5, 3 \rangle$ меньше чем $\langle 12, 10 \rangle$ удаляем из очереди вершину A. Проверка $computeShortestPath(g(s) < rhs(s)) 3 < \infty$, следовательно $g(s) = \infty$. Обновляем значение rhs соседей и добавляем в OpenList изменившиеся значения. OpenList= $\langle 12, 10 \rangle; \langle 12, 11 \rangle$



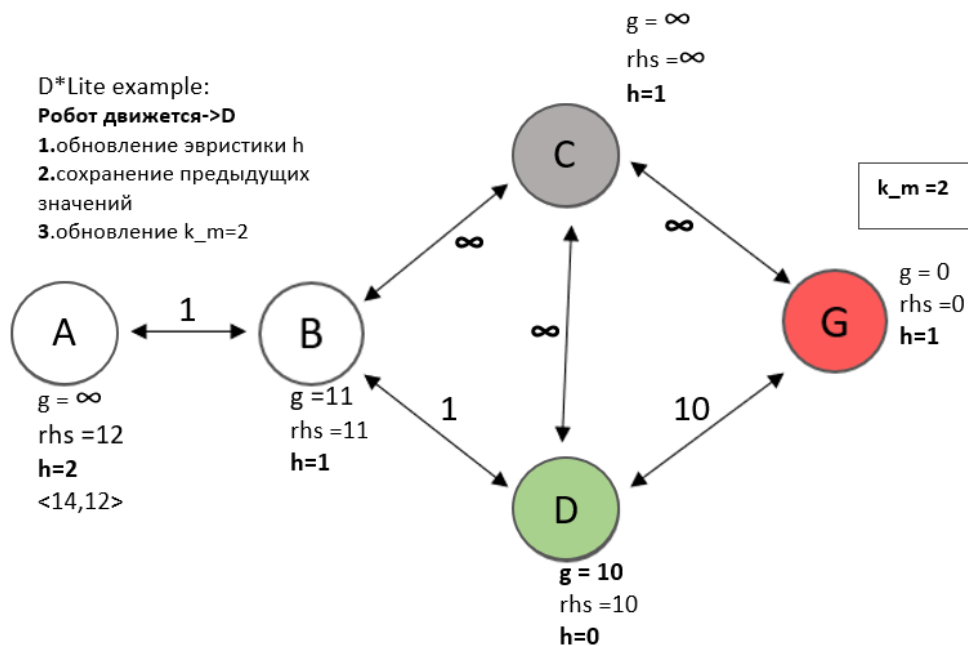
Так как $\langle 12, 10 \rangle$ меньше чем $\langle 12, 11 \rangle$ удаляем из очереди вершину D.
 Проверка $computeShortestPath(g(s) > rhs(s)) \infty > 10$, следовательно $g(s) = rhs(s) = 10$. Обновляем значение rhs соседей и добавляем в OpenList изменившиеся значения.
 OpenList= $\langle 12, 11 \rangle$



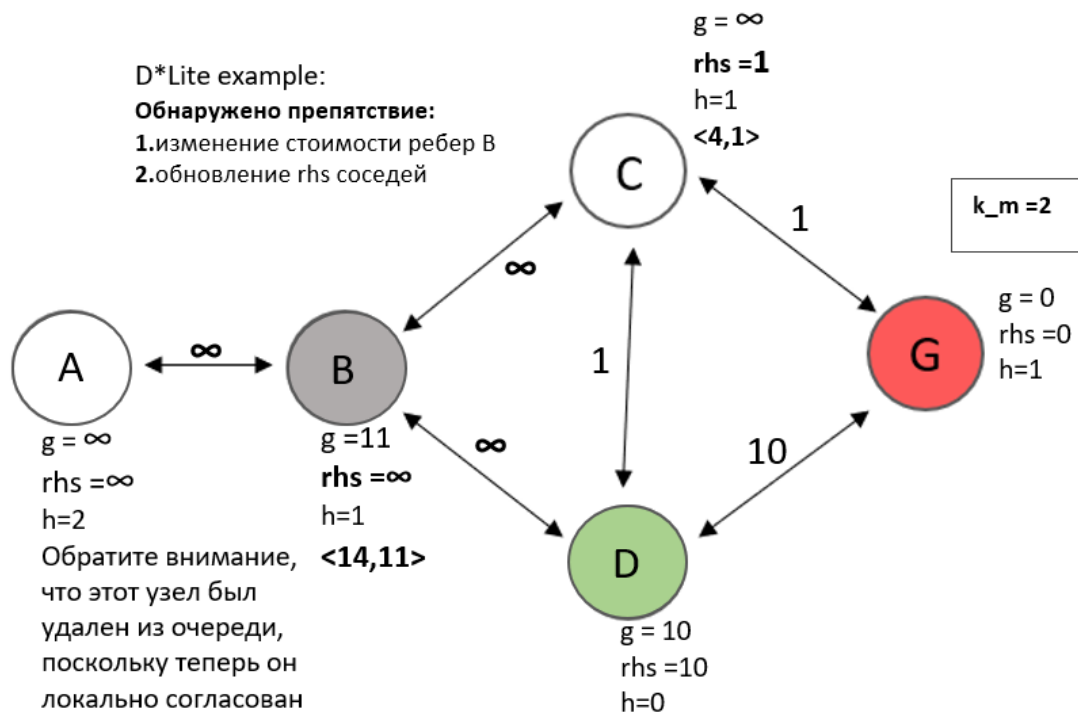
Удаляем из очереди вершину B. Проверка $computeShortestPath(g(s) > rhs(s)) \infty > 11$, следовательно $g(s) = rhs(s) = 11$. Теперь узлы в графе локально согласованы.
 Обновляем значение rhs соседей и добавляем в OpenList изменившиеся значения.
 OpenList= $\langle 14, 12 \rangle$



Мы нашли лучший и единственный путь из $B \rightarrow D \rightarrow G$ следовательно робот двигаться в D. Изменяется эвристика всех значений узлов на графе. Обновление значения $k_m = 2$



Оказывается препятствие тоже движется. Происходит изменение стоимости ребер узла вершины B, теперь их стоимость равна бесконечности. Также обновляются значения rhs соседей вершины D. В этом случае значение $rhs(G)$ никогда не меняется потому что расстояние G до самой себя всегда будет равно нулю. $OpenList = [\langle 4, 1 \rangle, \langle 14, 1 \rangle]$

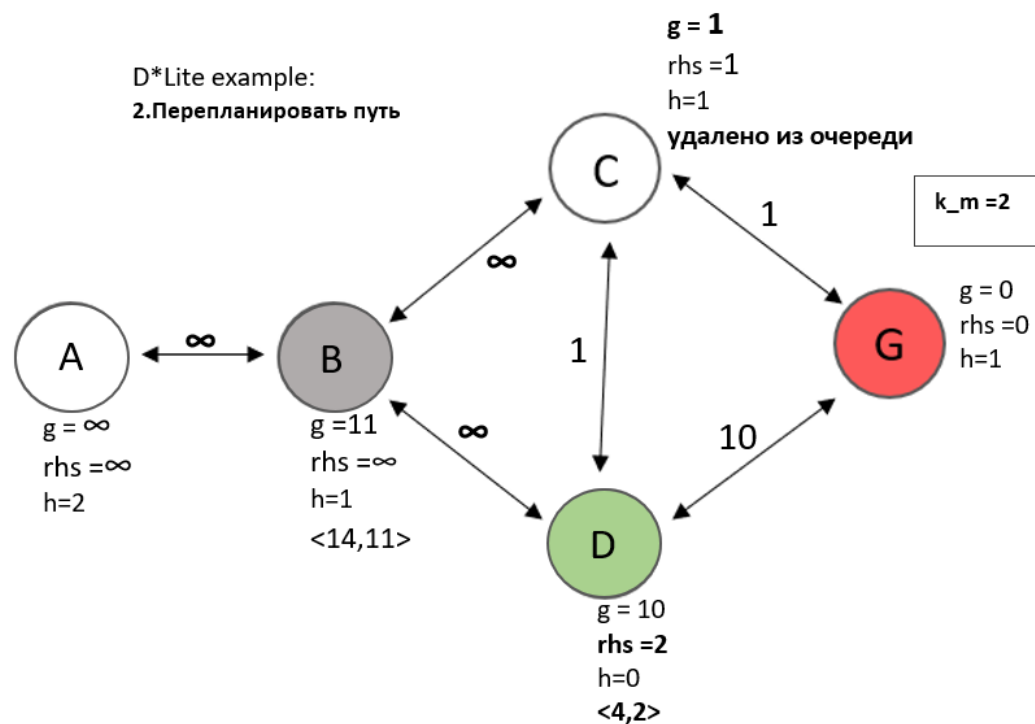


Следовательно мы удаляем из очереди узел C.

Проверка $computeShortestPath(g(s) > rhs(s)) \infty > 1$, следовательно $g(s) = rhs(s) = 1$.

Обновляем значение rhs соседей и добавляем в OpenList изменившиеся значения.

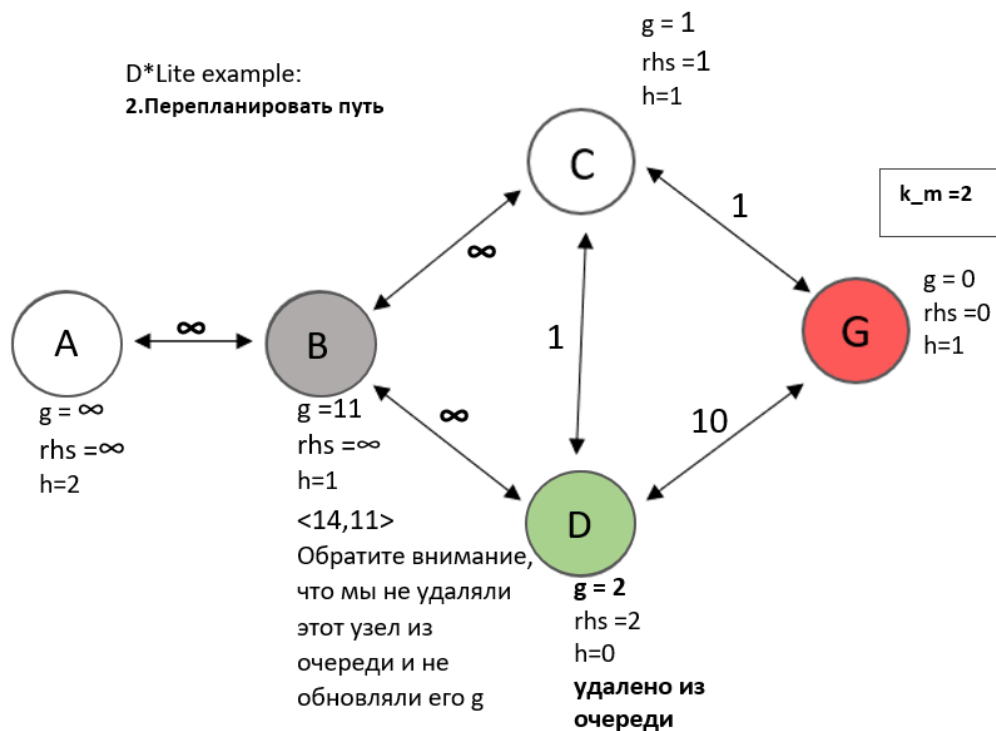
OpenList=[<4,2>;<14,11>]



Потом удаляем из очереди узел D.

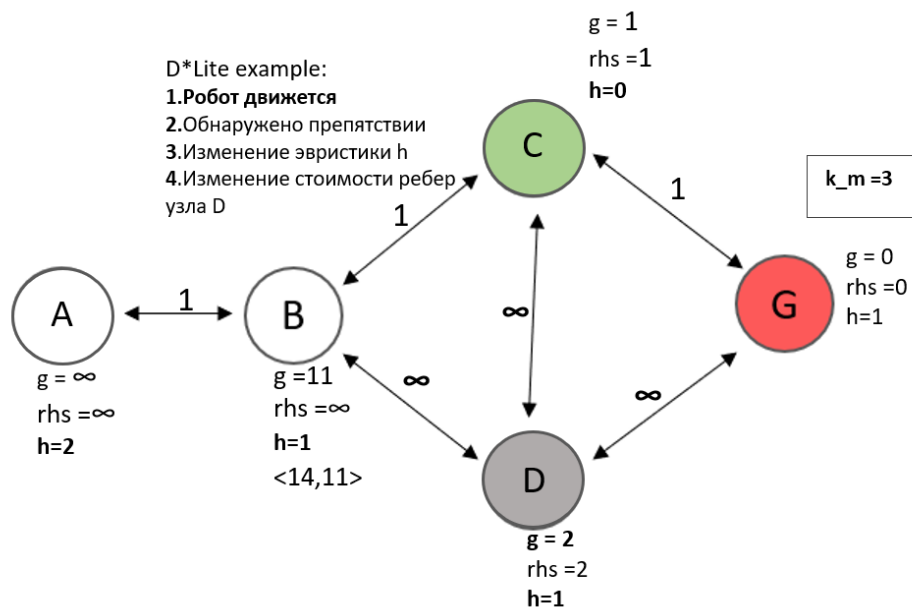
Проверка $computeShortestPath(g(s) > rhs(s)) 10 > 2$, следовательно $g(s) = rhs(s) = 2$.

Обновляем значение rhs соседей и добавляем в OpenList изменившиеся значения.
 OpenList=[<14,11>]



Мы обнаружили путь из D->C->G и робот перемещается в узел C. Также обновляется эвристика для всех узлов графа.

Препятствие не стоит на месте и преследует робота. Следовательно ребра узла D становятся стоять бесконечность. Также обновляется значение $k_m = 3$. Обновляем значение rhs соседей и добавляем в OpenList изменившиеся значения.

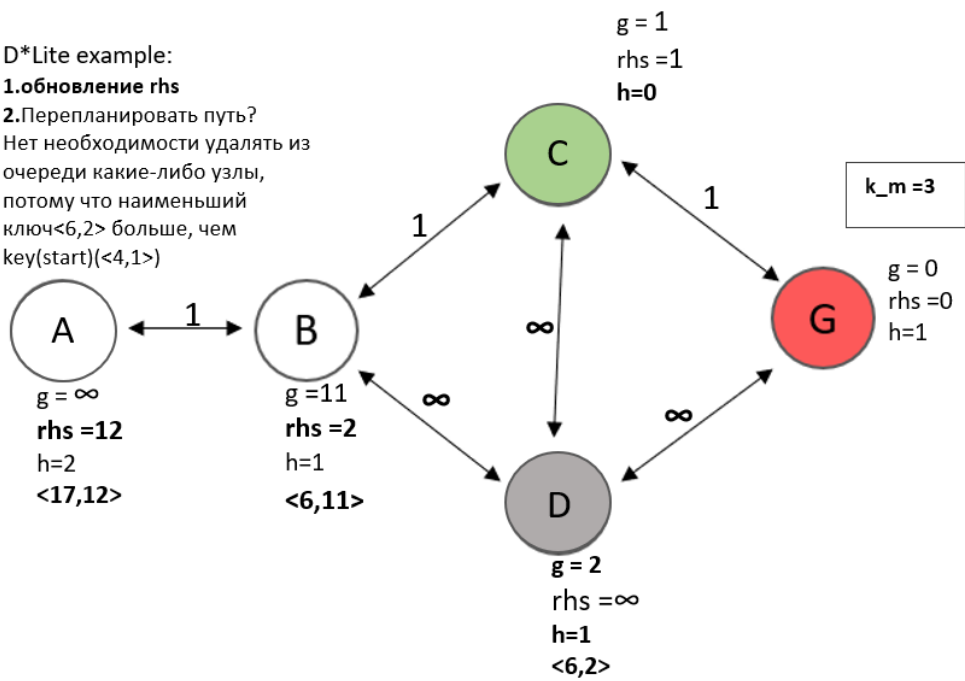


D*Lite example:

1.обновление rhs

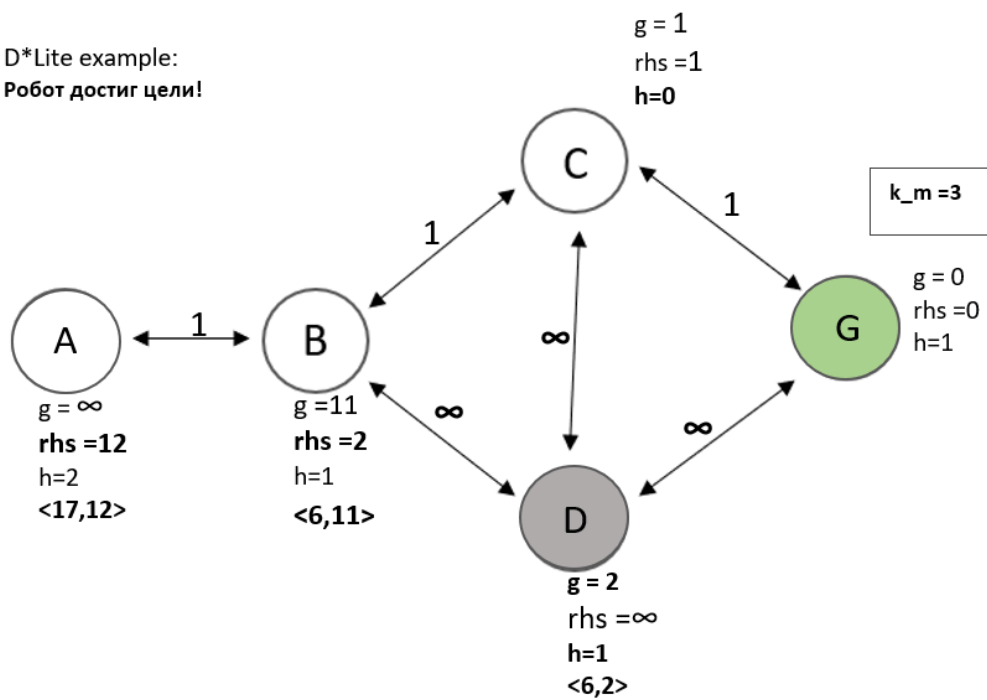
2.Перепланировать путь?

Нет необходимости удалять из очереди какие-либо узлы, потому что наименьший ключ $\langle 6, 2 \rangle$ больше, чем $\text{key}(\text{start}) \langle 4, 1 \rangle$



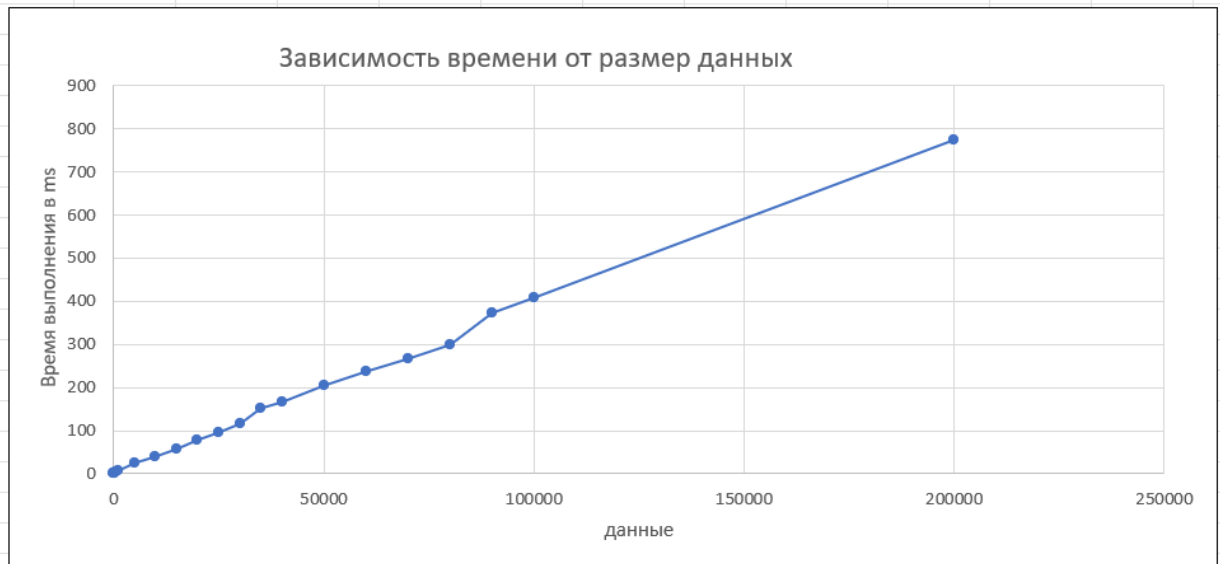
D*Lite example:

Робот достиг цели!



Тестирование и анализ производительности

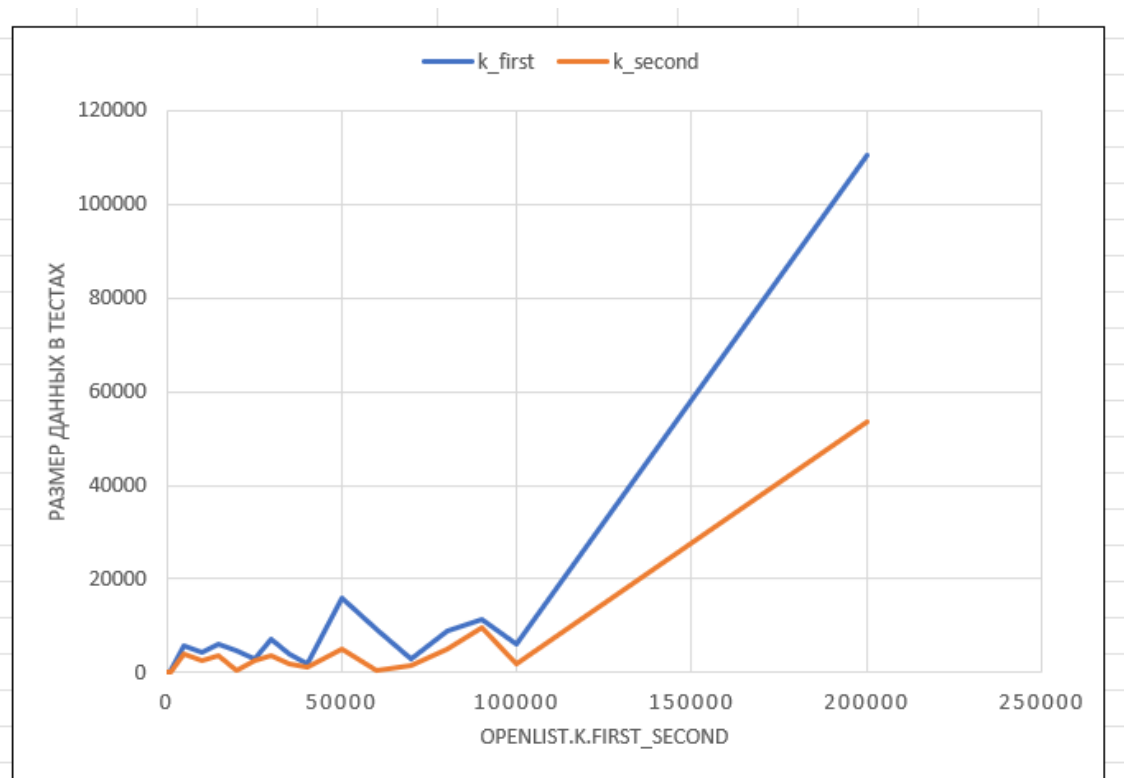
Тесты написаны в формате in.txt out.txt в одной папке содержатся входные in.txt и выходные данные out.txt. Всего 20 ручных тестов, позволяющих измерить время от количества размера данных.



Также во все out.txt я измеряю значение $rhs(s)$ и $g(s)$. На таблице представлено то как зависят функции от размера входящих данных.



На данном графике произведен анализ состава *OpenList* (приоритетной очереди). А именно я сравниваю первое значение k_{first} и k_{second} в зависимости от размера данных.



Список литературы

References

- [1] S. Koenig and M. Likhachev. *D* Lite*. 2002. URL: <http://idm-lab.org/bib/abstracts/papers/aimag04a.pdf>.
- [2] Sven Koenig. *Project "Fast Replanning (Incremental Heuristic Search)"*. URL: <http://idm-lab.org/project-a.html>.
- [3] Maxim Likhachev b Sven Koenig a and David Furcy c. *Lifelong Planning A**. URL: <https://web.stanford.edu/class/archive/cs/cs166/cs166.1166/lectures/14/Slides14.pdf>.
- [4] *Incremental Path Planning*. URL: <https://ocw.mit.edu/courses/16-412j-cognitive-robotics-spring-2016/resources/advanced-lecture-1/>.
- [5] *[Planning] D* Lite path search algorithm*. URL: <https://www.programmersought.com/article/1946589861/>.
- [6] *Research and Optimization of D-Start Lite Algorithm in Track Planning*. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9184858>.
- [7] *D-STAR*. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/5501636>.
- [8] *Алгоритм D**. URL: https://neerc.ifmo.ru/wiki/index.php?title=%D0%90%D0%BB%D0%B3%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%82%D0%BC_D*.