

# Построение семейств оптимальных маршрутов на морских картах

И. Е. Громаковский

Научный руководитель: А. С. Ковалев

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет  
информационных технологий, механики и оптики

## Описание задачи

- Имеется морская навигационная карта
- Найти как можно больше непохожих, локально оптимальных маршрутов между двумя точками
- Задача поддержки принятия решения  $\Rightarrow$  real time

# Описание задачи

- Имеется морская навигационная карта
- Найти как можно больше непохожих, локально оптимальных маршрутов между двумя точками
- Задача поддержки принятия решения  $\Rightarrow$  real time



Похожие маршруты



Непохожие маршруты

# Описание задачи



Санкт-Петербург → Владивосток

# Актуальность задачи

Проблемы поиска единственного маршрута:

- критерии оптимальности не всегда очевидны и формализуемы
- ненадёжность
- иногда нужно переправить большое число кораблей

# Актуальность задачи

Проблемы поиска единственного маршрута:

- критерии оптимальности не всегда очевидны и формализуемы
- ненадёжность
- иногда нужно переправить большое число кораблей

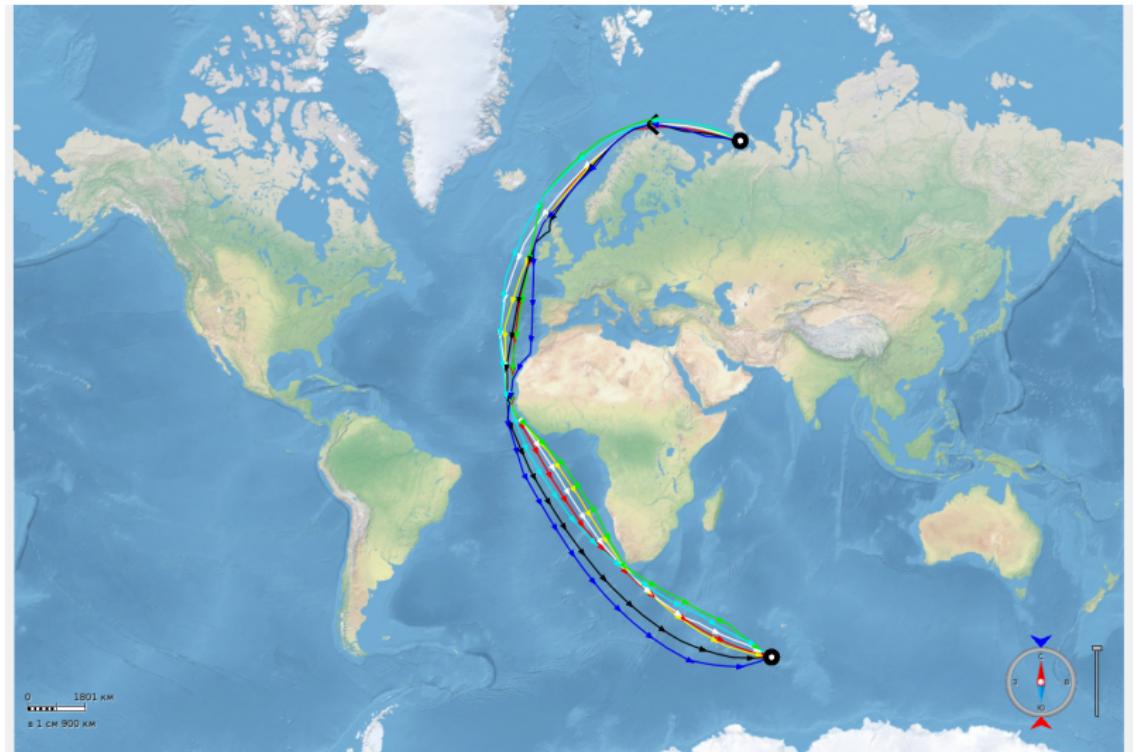
Неизвестны алгоритмы multipath planning на воде

# Существующие алгоритмы

Известные алгоритмы multipath planning:

- разрабатывались для других целей
- не учитывают реальное физическое расположение вершин в графе
- строят очень похожие маршруты на морских картах

# Существующие алгоритмы



Lim, Kim, 2005

## Формальная постановка задачи

Дано: множество полигональных препятствий, начальная ( $S$ ) и конечная ( $D$ ) точки.

Найти: множество путей, соединяющих точки  $S$  и  $D$ , не пересекая препятствия, и удовлетворяющих требованиям:

- отношение длины любого пути к длине кратчайшего пути ограничено сверху константой
- для любых двух путей выполнен критерий непохожести

Время выполнения запроса: меньше секунды

## Метрики на маршрутах

$$\rho_1(P, Q) = \max\left(\max_{u \in P} \min_{v \in Q} \rho_g(u, v), \max_{u \in Q} \min_{v \in P} \rho_g(u, v)\right)$$

$$\rho_2(P, Q) = \max\left(\max_{u \in P} \frac{\min_{v \in Q_u} \rho_g(u, v)}{\min_{v \in Q_u} \rho_r(u, v)}, \max_{u \in Q} \frac{\min_{v \in P_u} \rho_g(u, v)}{\min_{v \in P_u} \rho_r(u, v)}\right)$$

$$Q_u = \{v \in Q : \rho_r(u, v) > \varepsilon \cdot \text{len}(Q)\}$$

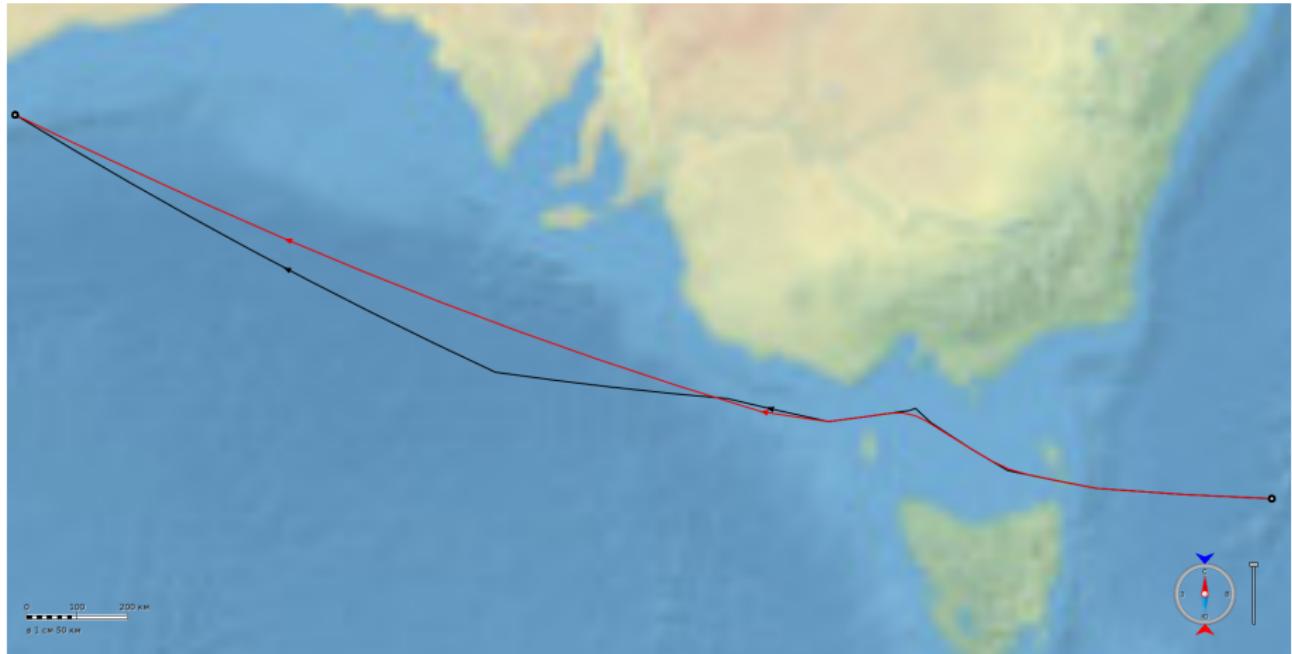
# Предобработка данных

- Карта → полигон
- Смещение полигона внутрь
- Граф по сетке на плоскости + граф локальной видимости
- Ограничение длины ребра
- Дополнительные рёбра

## Поиск одного маршрута

- Добавление вершин в граф
- Алгоритм Дейкстры
- Сокращение маршрута
  - Если подпуть  $A \rightarrow B \rightarrow C$  можно заменить на  $A \rightarrow C$ , заменяем
  - Подразбиение маршрута
- Сглаживание маршрута

# Поиск одного маршрута



Сокращение и сглаживание

## Поиск нескольких маршрутов

```
function find_paths
    p, len ← find_path()
    paths ← {p}
    min_len ← len
    while paths.size() < max_paths_count do
        update_weights(p, len)
        p, len ← find_path()
        if len > C₀ · min_len then
            return paths
        for q in paths do:
            if similar(p, q) then
                return paths
        paths.insert(p)
```

# Обновление весов

```
function update_weights(p, len)
    g' ← graph_with_fake(p)
    limit ←  $\frac{\text{len}}{C_1}$ 
    d ← shortest_in_radius(g', fake, limit)
    for all v in vertices do
        potential = 1 + (max_potential - 1) ·  $\frac{\text{limit} - d[v]}{\text{limit}}$ 
        pot[v] = max(pot[v], potential)
    for all e in edges do
        e.weight = e.initial_weight ·  $\sqrt{\text{pot}[e.\text{from}] \cdot \text{pot}[e.\text{to}]}$ 
```

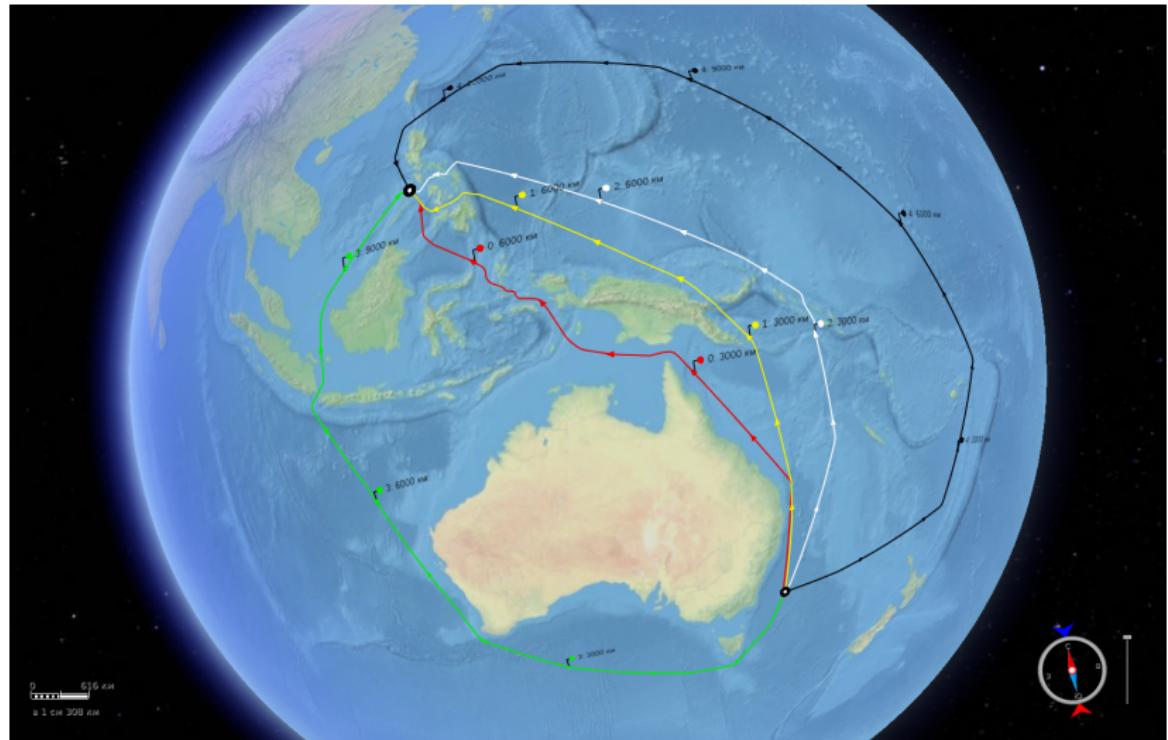
## Вычисление метрик

- Фиктивная вершина
- Обход Дейкстры, пока не посещены вершины второго пути
- Заканчиваем, если достигли необходимого значения
- Поиск ближайшей вершины (вторая метрика) — перебором
- На практике обе метрики считаются быстро

# Результаты

- На основе предложенного алгоритма разработан программный модуль, решающий задачу построения требуемых семейств маршрутов
- Время поиска не превышает одну секунду
- Используется в 3D-клиенте ЗАО «Кронштадт Технологии»
- Получено экспертное заключение от ВМА, подтверждающее, что разработанный программный модуль удовлетворяет предъявленным требованиям

# Результаты



Пример на сфере

Спасибо за внимание!

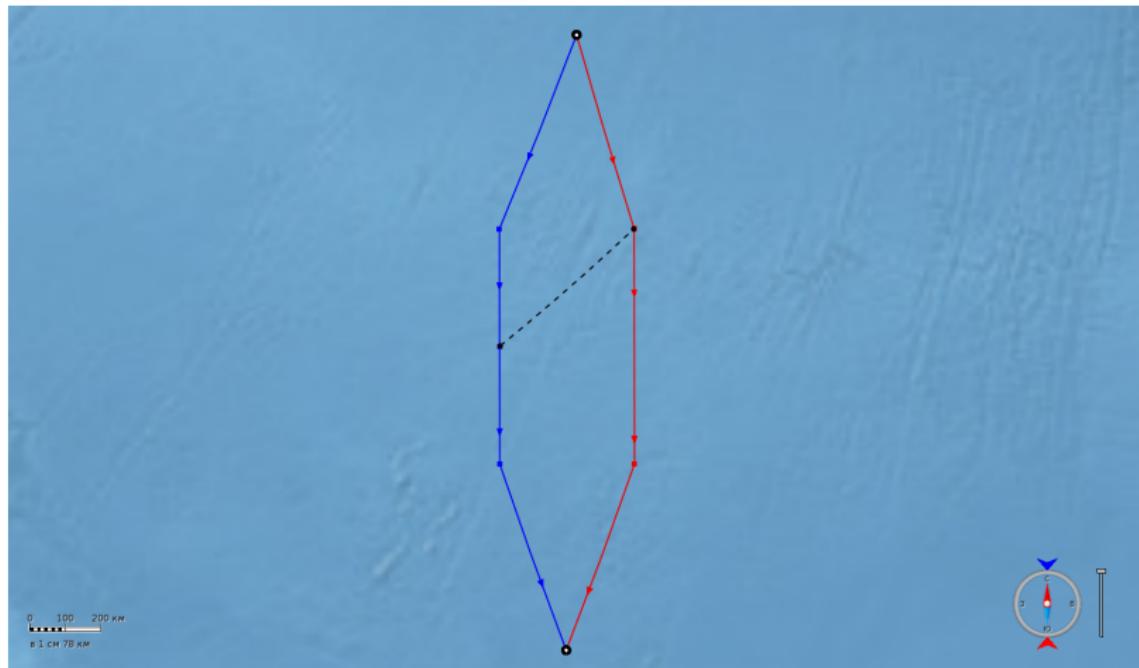
Вопросы?

# Обоснование метрик



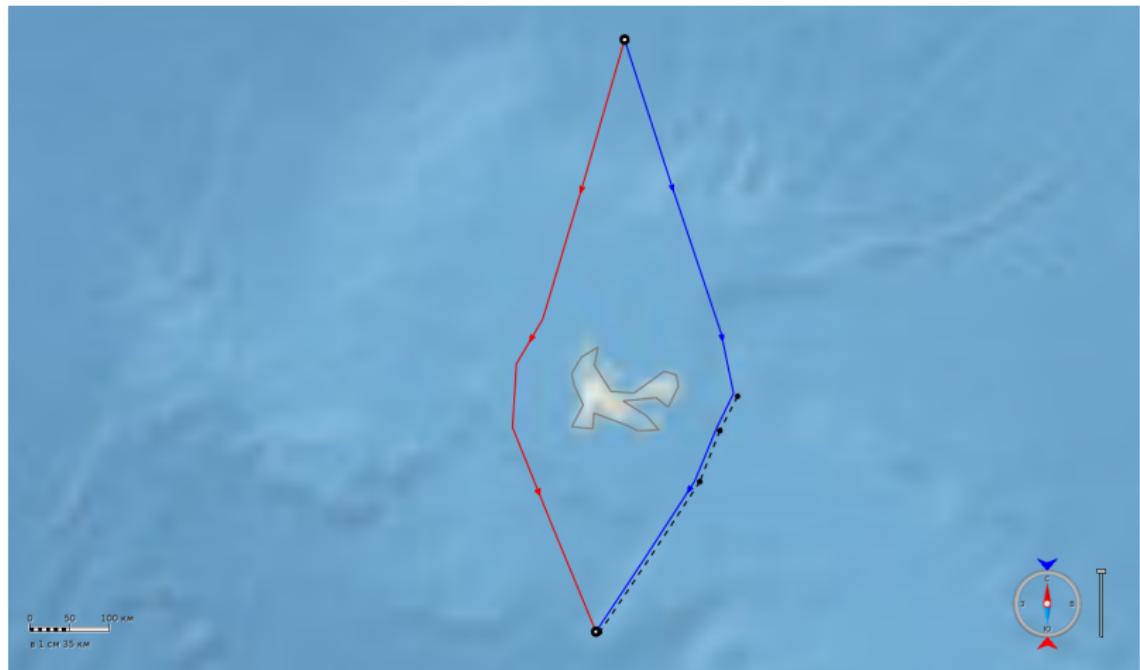
$$\frac{\rho_1}{l_{\min}} = \frac{339}{435} = 0.78$$

# Обоснование метрик



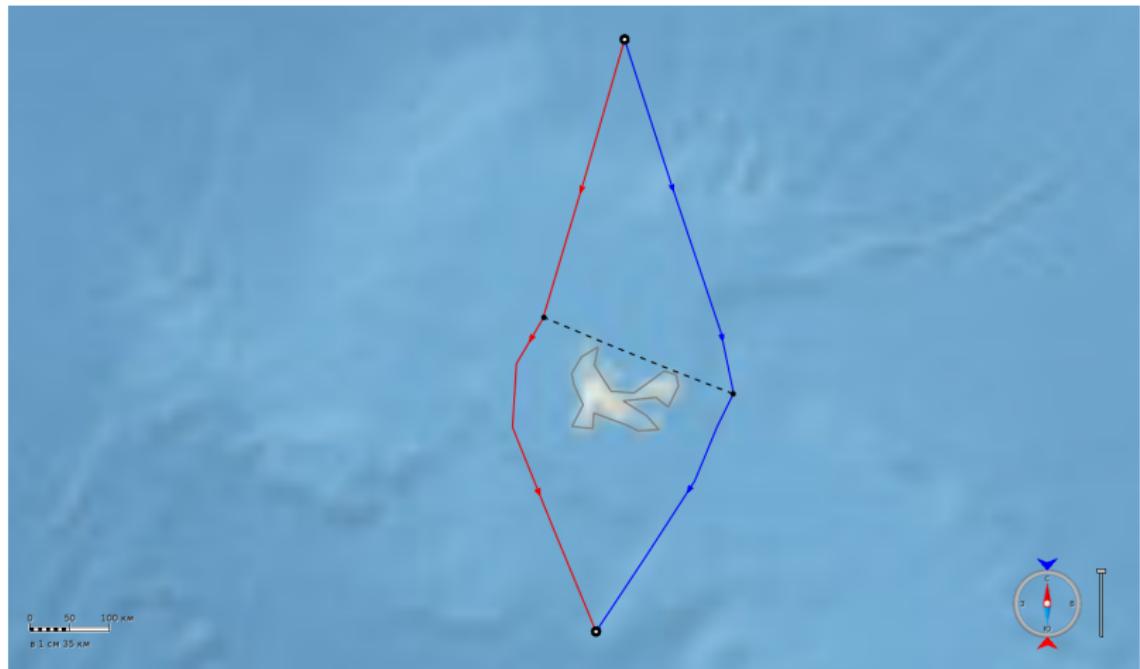
$$\frac{\rho_1}{l_{\min}} = \frac{502}{1704} = 0.29$$
$$\rho_2 = 1$$

# Обоснование метрик



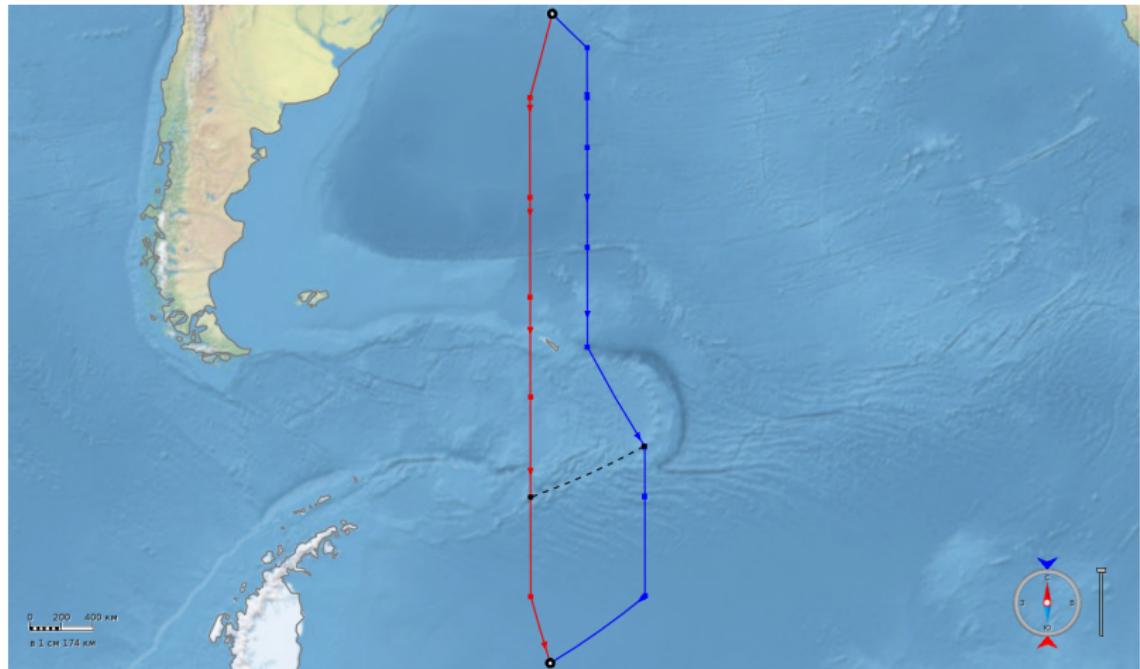
$$\frac{\rho_1}{l_{\min}} = \frac{307}{814} = 0.38$$

# Обоснование метрик



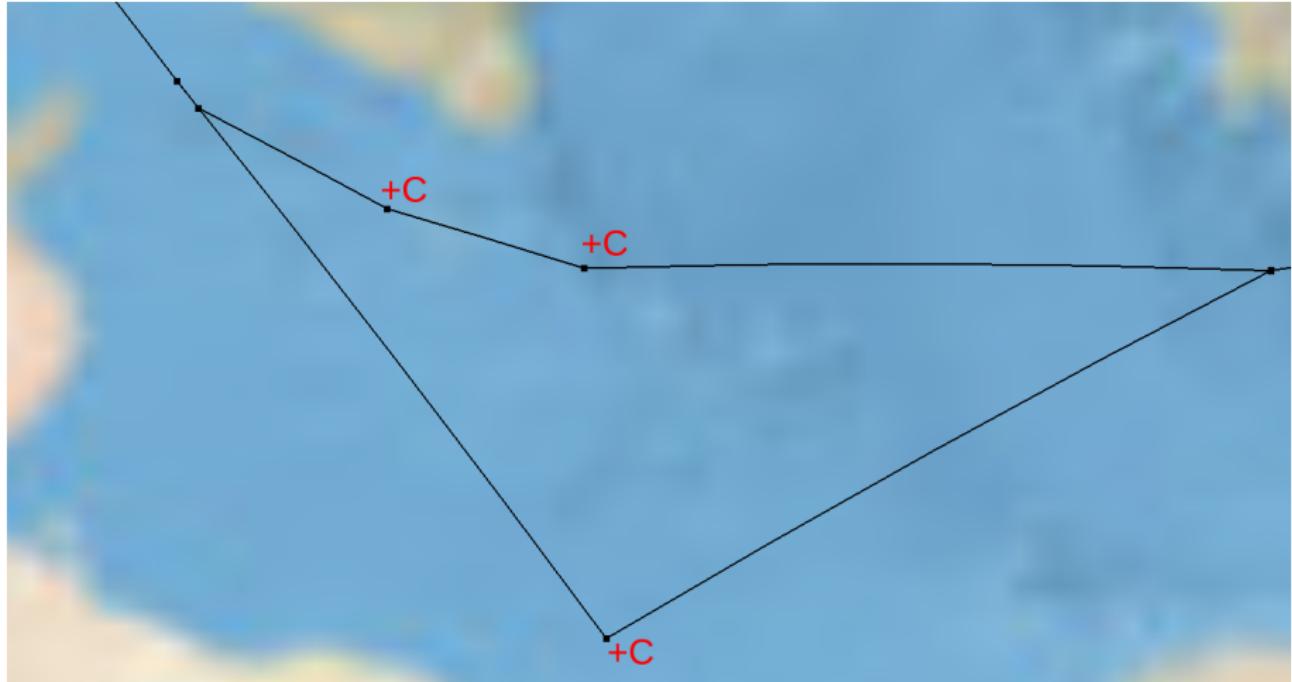
$$\frac{\rho_1}{l_{\min}} = \frac{307}{814} = 0.38$$
$$\rho_2 = \frac{307}{251} = 1.22$$

# Обоснование метрик



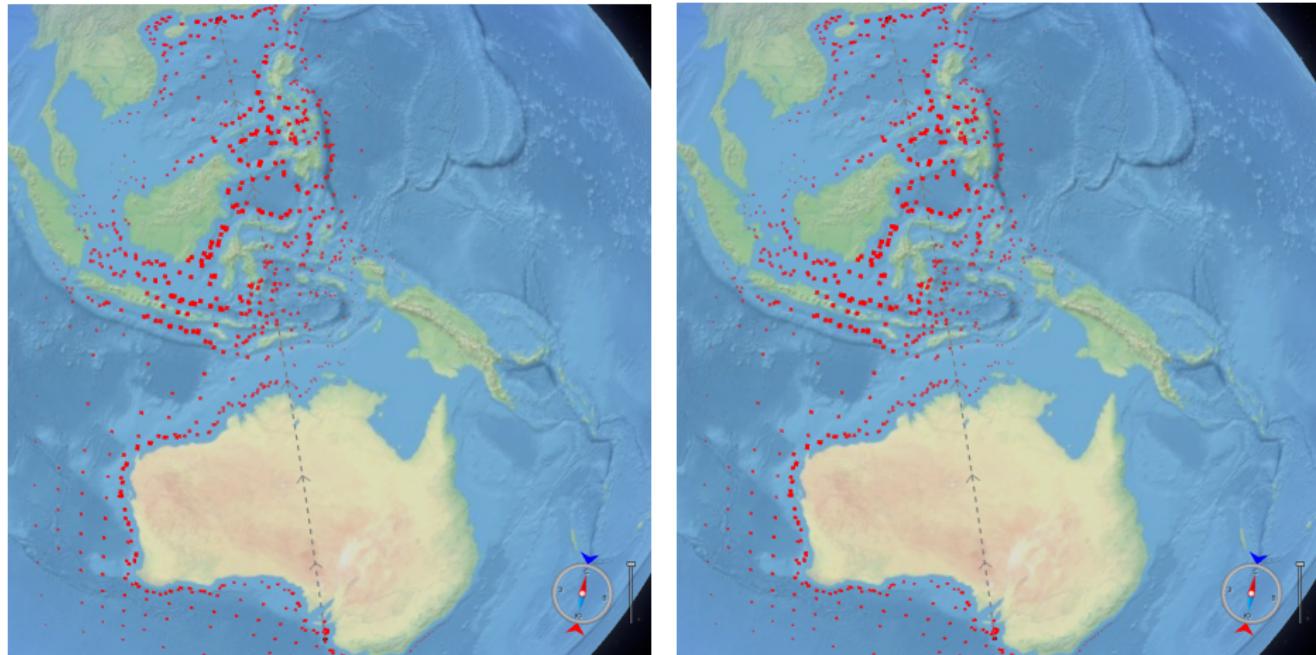
$$\frac{\rho_1}{l_{\min}} = \frac{641}{4059} = 0.16$$

## Обновление весов



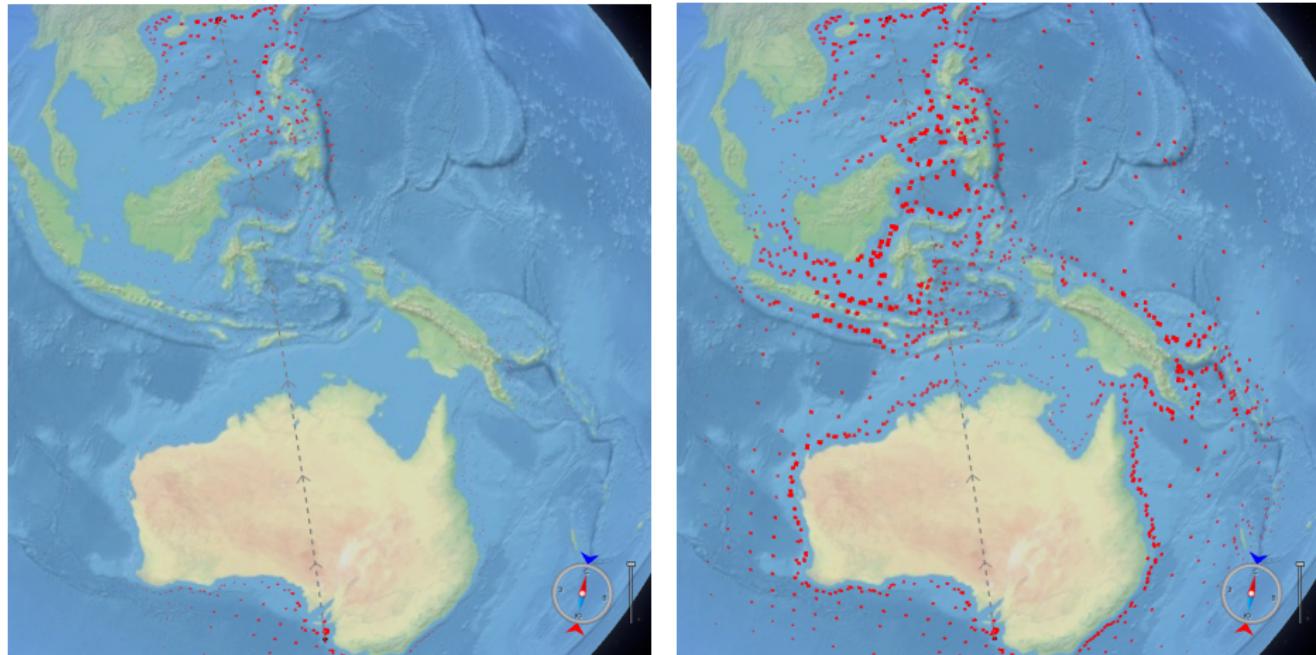
Потенциалы должны быть множителями, а не слагаемыми

# Обновление весов



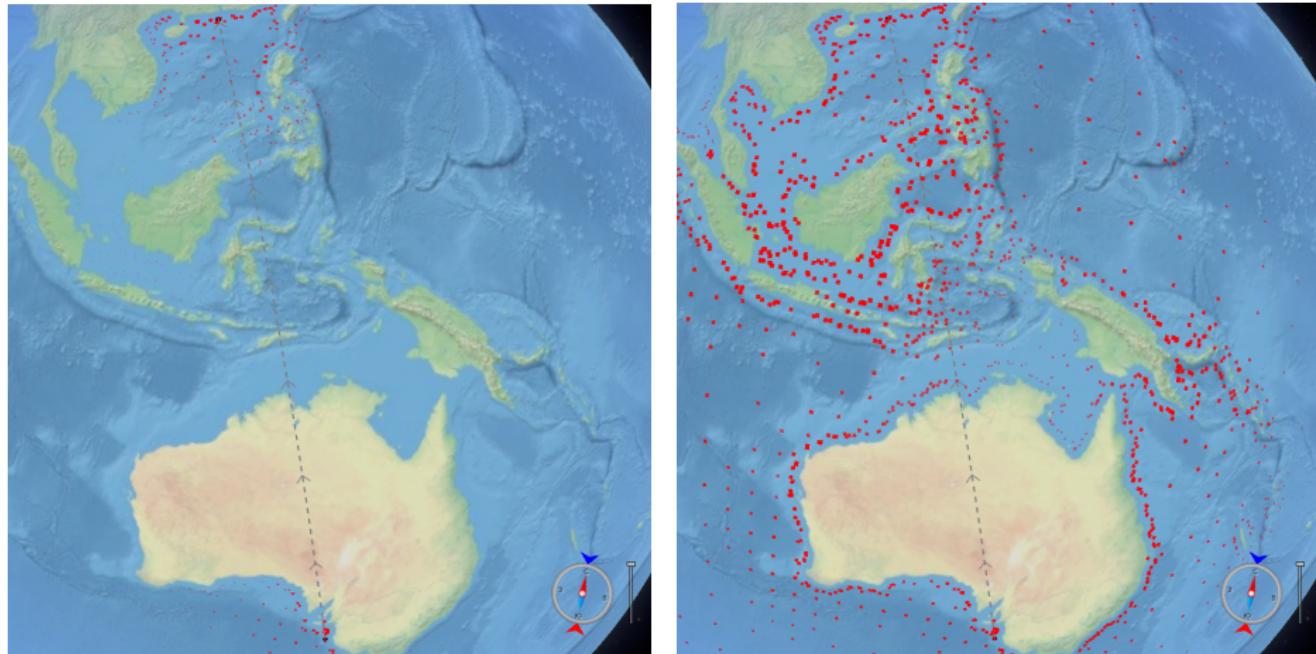
При обновлении потенциалов следует брать максимум.

# Обновление весов



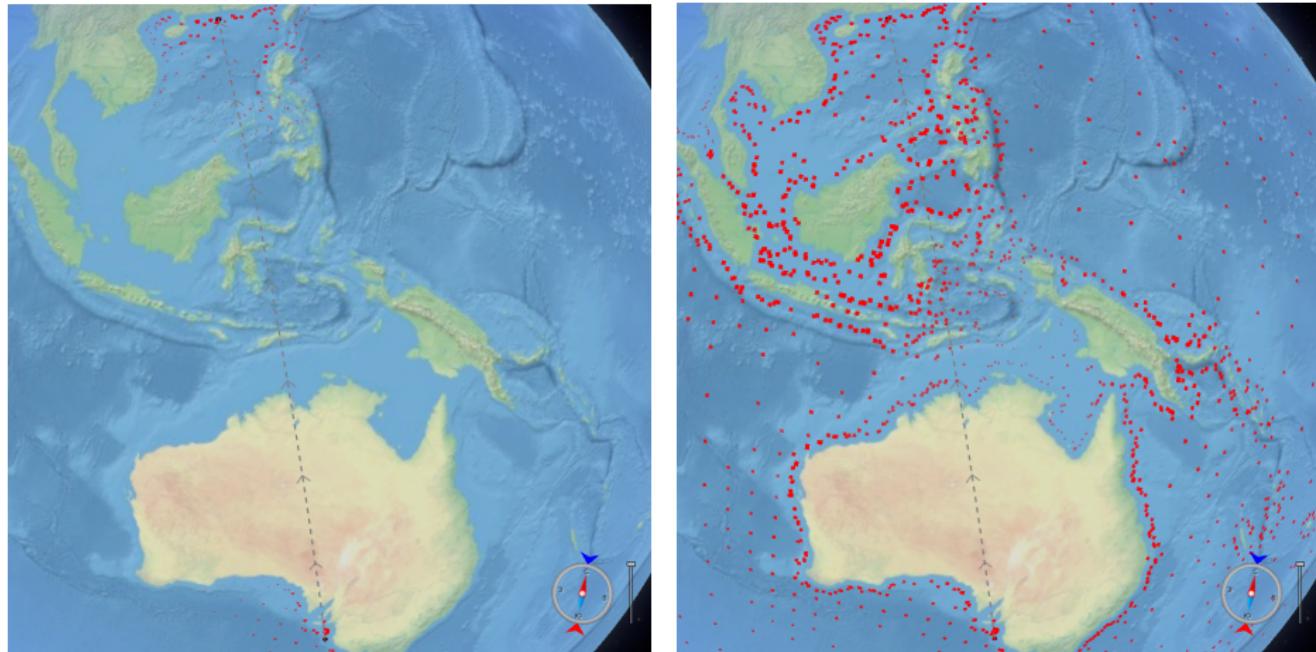
При обновлении потенциалов следует брать максимум.

# Обновление весов



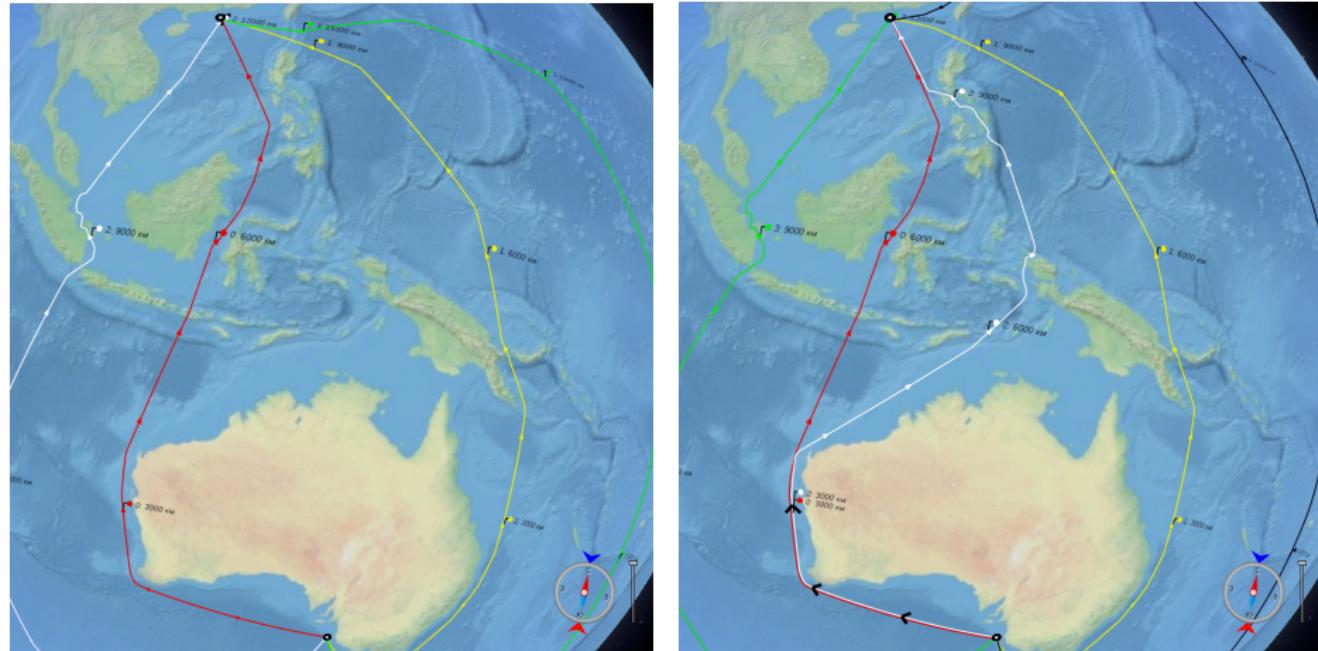
При обновлении потенциалов следует брать максимум.

# Обновление весов



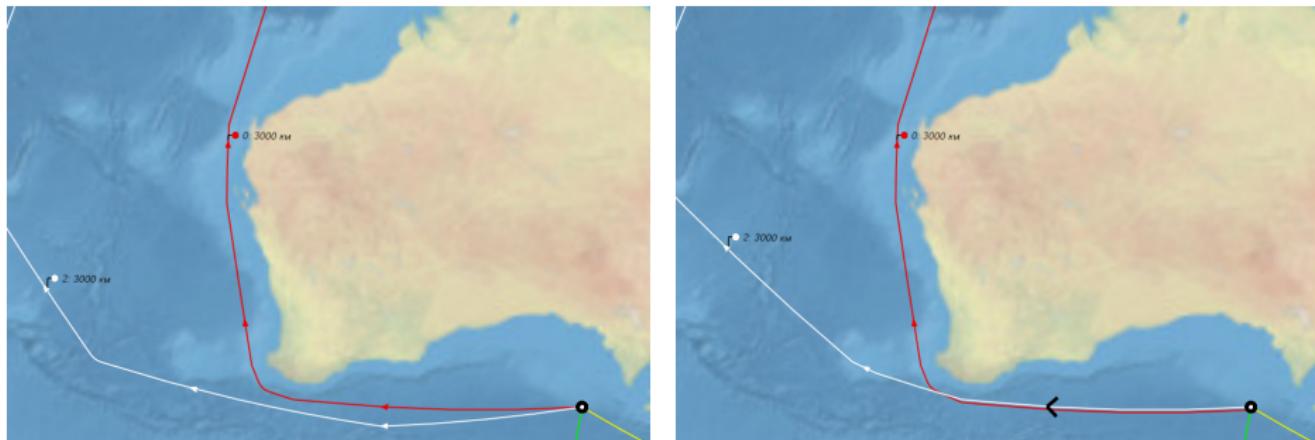
При обновлении потенциалов следует брать максимум.

# Обновление весов



При обновлении потенциалов следует брать максимум.

# Обновление весов



На маршруте потенциалы меньше, чем поблизости