



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Аспирантский семинар школы по компьютерным наукам

Оценка объема инвестиций, необходимых для модернизации грузовой транспортной системы географического региона

Аспирант 2-го года: Федин Г. Г.

Научный руководитель: проф. Беленький А. С.

Задача и решение

Руководство региона: Как развивать (модернизировать) транспортную систему нашего региона?

Задача

Логистическая часть

- Что строить?
- Где строить?
- В каком объеме строить?
- Кто будет пользоваться?
- Как будут пользоваться?
- Какое влияние на транспортную систему?



Финансовая часть

- Стоимость строительства?
- Стоимость обслуживания?
- Период окупаемости?
- Где взять деньги?

Решение

Математическая модель оптимального размещения транспортных узлов с подъездными путями в географическом регионе

Инструмент (ПО) для оценки оптимального объема необходимых инвестиций и прогнозирования финансовых показателей проекта

Задача и решение

Размещение транспортных узлов с подъездными путями

Математическая модель

Определение необходимого объема инвестиций

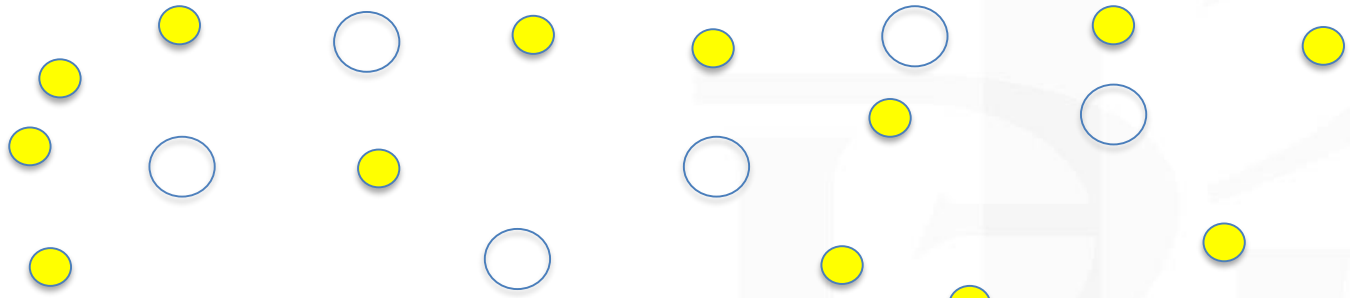
Тестирование на данных

Результаты

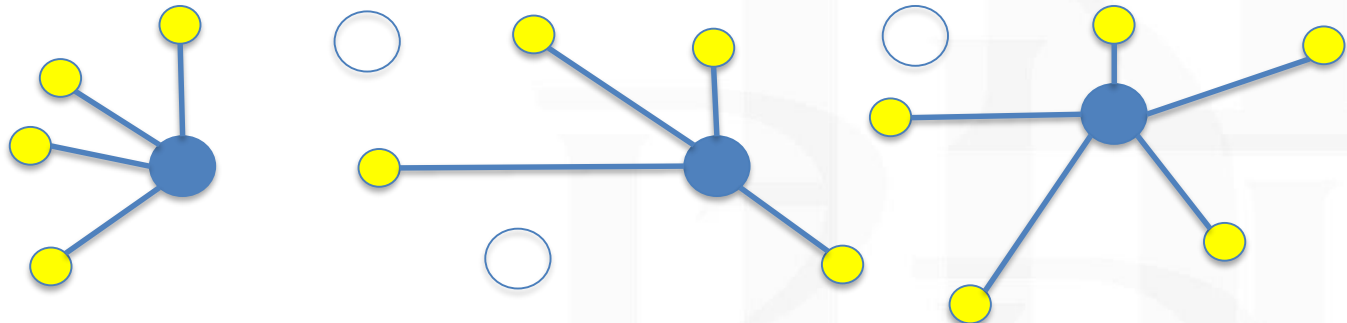


Размещение транспортных узлов p-Hub Median Problem

Inputs



Outputs



○ Vacant places

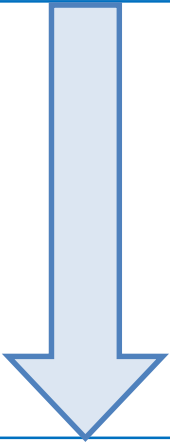
● Clients

● Hubs

— Connection

Что нужно сделать

- Разместить новые транспортные узлы и определить их пропускные способности
- Решить какими подъездными путями должны обладать новые узлы
- «Привязать» клиентов к транспортным узлам



Что мы учитываем

- Существующую транспортную систему
- Виды транспорта
- Варианты пропускных способностей
- Стоимость строительства и обслуживания
- Тарифы на перевозку
- Размер «налога»
- Период планирования

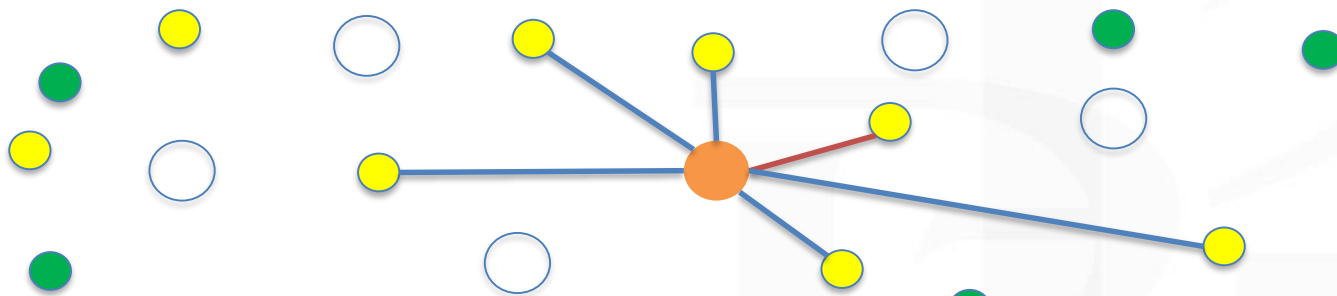
Что мы предлагаем

- ✓ Математическую модель
- ✓ Оптимизационную задачу для случая известных издержек
- ✓ Робастную задачу и эффективный метод её решения для случая неизвестных издержек

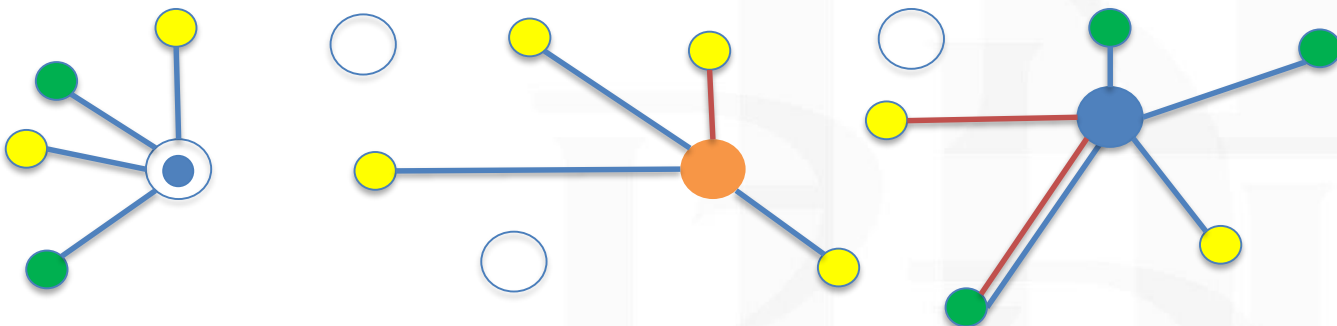


Размещение транспортных узлов с подъездными путями

Inputs



Outputs



- Existing hub
- New clients
- Small hubs
- Highway connection
- Vacant places
- Existing clients
- Big hubs
- Railway connection

Задача и решение

Размещение транспортных узлов с подъездными путями

Математическая модель

Определение необходимого объема инвестиций

Тестирование на данных

Результаты

Целевая функция

Издержки

$$-\psi \left(\sum_{i'=1}^{N^{exist}} c_{i'}^{exist} + \sum_{i'=1}^{N^{exist}} \sum_{k'=1}^{l_{i'}} q_{i'}^{k' exist} \right) - \sum_{i=1}^{N^{new}} \sum_{\mu=1}^{\epsilon_i} (f_{i\mu} + \psi c_{i\mu}^{new}) y_{i\mu} - \sum_{i=1}^{N^{new}} \sum_{k=1}^{L_i} \sum_{\mu=1}^{\epsilon_i} (g_{i\mu}^k + \psi q_{i\mu}^{k new}) z_{i\mu}^k$$

Выручка

$$+\psi \nu \left(\sum_{i'=1}^{N^{exist}} \sum_{j=1}^M \sum_{k'=1}^{l_{i'}} t_{ji'}^{k' exist} s_{ji'}^{k' exist} + \sum_{i=1}^{N^{new}} \sum_{j=1}^M \sum_{k=1}^{L_i} t_{ji}^{k new} s_{ji}^{k new} \right) \rightarrow \max_{(s,y,z) \in M}$$

M множество заданное ограничениями на s, y, z .

Переменные

- $s_{ji'}^{k' exist}, s_{ji}^{k new}$ – мощность грузопотока
- $y_{i\mu}$ – строительство узла
- $z_{i\mu}^k$ – строительство подъездного пути

Параметры

- N^{exist}, N^{new} – количество узлов
- $L_i, l_{i'}$ – количество подъездных путей
- M – количество клиентов
- ϵ_i – количество вариантов пропускных способностей
- ψ – период планирования
- ν – «налог»
- $t_{ji'}^{k' exist}, t_{ji}^{k new}$ – тарифы
- $f_{i\mu}, g_{i\mu}^k$ – стоимость строительства
- $c_{i'}^{exist}, c_{i\mu}^{new}, q_{i'}^{k' exist}, q_{i\mu}^{k new}$ – стоимость обслуживания

Целевая функция

Издержки

$$\min_{(t,f,g,c,q) \in Q} \left[-\psi \left(\sum_{i'=1}^{N^{exist}} c_{i'}^{exist} + \sum_{i'=1}^{N^{exist}} \sum_{k'=1}^{l_{i'}} q_{i'}^{k' exist} \right) - \sum_{i=1}^{N^{new}} \sum_{\mu=1}^{\epsilon_i} (f_{i\mu} + \psi c_{i\mu}^{new}) y_{i\mu} - \sum_{i=1}^{N^{new}} \sum_{k=1}^{L_i} \sum_{\mu=1}^{\epsilon_i} (g_{i\mu}^k + \psi q_{i\mu}^{k new}) z_{i\mu}^k \right.$$

Выручка

$$\left. + \psi \nu \left(\sum_{i'=1}^{N^{exist}} \sum_{j=1}^M \sum_{k'=1}^{l_{i'}} t_{ji}^{k' exist} s_{ji}^{k' exist} + \sum_{i=1}^{N^{new}} \sum_{j=1}^M \sum_{k=1}^{L_i} t_{ji}^{k new} s_{ji}^{k new} \right) \right] \rightarrow \max_{(s,y,z) \in M}$$

M множество заданное ограничениями на s, y, z
 Q выпуклый многогранник заданный ограничениями на t, f, g, c, q

Переменные

- $s_{ji}^{k' exist}, s_{ji}^{k new}$ – мощность грузопотока
- $t_{ji}^{k' exist}, t_{ji}^{k new}$ – тарифы
- $f_{i\mu}, g_{i\mu}^k$ – стоимость строительства
- $c_{i'}^{exist}, c_{i\mu}^{new}, q_{i'}^{k' exist}, q_{i\mu}^{k new}$ – стоимость обслуживания
- $y_{i\mu}$ – строительство узла
- $z_{i\mu}^k$ – строительство подъездного пути

Параметры

- N^{exist}, N^{new} – количество узлов
- $L_i, l_{i'}$ – количество подъездных путей
- M – количество клиентов
- ϵ_i – кол-во вариантов пропускных способностей
- ψ – горизонт планирования
- ν – «налог»



Математическая модель

Робастная задача

$$\min_{(t,f,g,c,q) \in Q} \left[\begin{array}{l} \psi v \left(\sum_{i'=1}^{N^{exist}} \sum_{j=1}^M \sum_{k'=1}^{l_{i'}} t_{ji}^{k' exist} s_{ji}^{k' exist} + \sum_{i=1}^{N^{new}} \sum_{j=1}^M \sum_{k=1}^{L_i} t_{ji}^{k new} s_{ji}^{k new} \right) \\ - \sum_{i=1}^{N^{new}} \sum_{\mu=1}^{\epsilon_i} f_{i\mu} y_{i\mu} - \sum_{i=1}^{N^{new}} \sum_{k=1}^{L_i} \sum_{\mu=1}^{\epsilon_i} g_{i\mu}^k z_{i\mu}^k - \psi \sum_{i'=1}^{N^{exist}} c_{i'}^{exist} \\ - \psi \sum_{i=1}^{N^{new}} \sum_{\mu=1}^{\epsilon_i} c_{i\mu}^{new} y_{i\mu} - \psi \sum_{i'=1}^{N^{exist}} \sum_{k'=1}^{l_{i'}} q_{i'}^{k' exist} - \psi \sum_{i=1}^{N^{new}} \sum_{k=1}^{L_i} \sum_{\mu=1}^{\epsilon_i} q_{i\mu}^{k new} z_{i\mu}^k \end{array} \right] \rightarrow \max_{(s,y,z) \in M}$$



$$\max_{\substack{(s,y,z,1,1') \\ \in M'}} \min_{(t,f,g,c,q) \in Q} \left(\begin{array}{c} \left(\begin{array}{c} s \\ y \\ z \\ 1 \\ 1' \end{array} \right)^T \left(\begin{array}{ccccccc} \psi v & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & -\psi & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & -\psi \\ 0 & 0 & 0 & -\psi & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\psi & 0 \end{array} \right) (t, f, g, c^{exist}, c^{new}, q^{exist}, q^{new})^T \end{array} \right)$$



$$\max_{l \in M'} \min_{k \in Q} \langle lD, k \rangle$$

Математическая модель

Решение робастной задачи

Теорема:
$$\max_{l \in M'} \min_{k \in Q} \langle lD, k \rangle = \max_{(t,l) \in P} \langle a, t \rangle$$

$$M' = \{l = (s, y, z, 1, 1'), s_i \in \mathbb{R}_+, y_i \in \{0,1\}, z_i \in \{0,1\} | lB \geq b\}$$

$$Q = \{k = (t, f, z, c, q) | Ak \leq a\}$$

$$P = \{(t, l) \geq 0 | tA - lD \geq 0, lB \geq b\}$$

Идея доказательства: Заменить $\min_{Ak \leq a} \langle lD, k \rangle$ двойственной задачей $\max_{tA \geq lD} \langle a, t \rangle$

Alibeyg A., Contreras I., Fernandez E., (2016) Hub network design problems with profits. *Transportation Research Part E*. 96. 40-59

Merakli M., Yaman H., (2016) Robust intermodal hub location under polyhedral demand uncertainty. *Transportation Research Part B*. 86. 66-85

Serper E., Alumur S., (2016) The design of capacitated intermodal hub networks with different vehicle types. *Transportation Research Part B*. 86. 51-65

Задача и решение

Размещение транспортных узлов с подъездными путями

Математическая модель

Определение необходимого объема инвестиций

Тестирование на данных

Результаты

Определение необходимого объема инвестиций

Ежегодная выручка

$$\psi \nu \left(\sum_{i'=1}^{N^{exist}} \sum_{j=1}^M \sum_{k'=1}^{L_{i'}} t_{ji'}^{k' exist} s_{ji'}^{k' exist} + \sum_{i=1}^{N^{new}} \sum_{j=1}^M \sum_{k=1}^{L_i} t_{ji}^{k new} s_{ji}^{k new} \right)$$

Требуемые инвестиции

$$- \left(\sum_{i=1}^{N^{new}} \sum_{\mu=1}^{\epsilon_i} f_{i\mu} y_{i\mu} + \sum_{i=1}^{N^{new}} \sum_{k=1}^{L_i} \sum_{\mu=1}^{\epsilon_i} g_{i\mu}^k z_{i\mu}^k \right)$$

Ежегодные затраты на обслуживание

$$-\psi \left(\sum_{i'=1}^{N^{exist}} c_{i'}^{exist} + \sum_{i'=1}^{N^{exist}} \sum_{k'=1}^{L_{i'}} q_{i'}^{k' exist} + \sum_{i=1}^{N^{new}} \sum_{\mu=1}^{\epsilon_i} c_{i\mu}^{new} y_{i\mu} + \sum_{i=1}^{N^{new}} \sum_{k=1}^{L_i} \sum_{\mu=1}^{\epsilon_i} q_{i\mu}^{k new} z_{i\mu}^k \right)$$

- Размер необходимых инвестиций
- Отношение требуемых инвестиций к ежегодной выручке
- Разница затрат на обслуживание и выручки

Задача и решение

Размещение транспортных узлов с подъездными путями

Математическая модель

Определение необходимого объема инвестиций

Тестирование

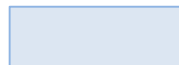
Результаты



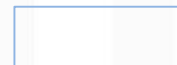
Тестирование

- 32 клиента
- 2 существующих ТУ
- 8 новых ТУ
- 2 варианта пропускной способности
- 2 типа новых ТУ
- 2 вида транспорта

Параметры		Результаты		
Период планирования	«Налог»	Суммарная выручка	Суммарная затраты	Суммарная прибыль
3	3%	2 410	5 450	-3 040
3	3%	1 666	6 280	-4 613
5	7%	9 510	6 250	3 260
5	7%	7 265	7 770	-504
5	10%	13 586	6 250	7 336
5	10%	10 483	7 870	2 613



Оптимизационная задача



Робастная задача

Задача и решение

Размещение транспортных узлов с подъездными путями

Математическая модель

Определение необходимого объема инвестиций

Тестирование

Результаты

- Составлена подробная математическая модель размещения транспортных узлов с подъездными путями
- Проанализирована задача определения объёма необходимых инвестиций
- Сделан доклад на EURO 2016
- Проведены расчеты на модельных данных
- Подана статья в зарубежный журнал (Q1, Web of Science)
- Принят доклад на 21st Conference of the International Federation of Operational Research Societies (IFORS 2017) в Квебеке
- Принят доклад на ITEA Annual Conference and School on Transportation Economics (ITEA 2017) в Барселоне
- Собраны данные о части транспортной системы России
- Подготавливается статья для публикации в журнале из перечня ВАК



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Спасибо за внимание!

Геннадий Федин
ggedin@yandex.ru