



**Формирование и анализ транспортной  
сети города на основе обработки  
геораспределенных данных**

**MST** | multisystem  
technologies

[www.mst-company.ru](http://www.mst-company.ru)



# Актуальность

- Транспортная инфраструктура города основывается на устаревших нормативах;
- не учитывается стремительное увеличение личного транспорта;
- не учитываются изменения функционального назначения городских пространств;
- происходит ухудшение транспортной ситуации;
- снижается качество транспортного обслуживания;
- происходит увеличение пробок;
- происходит усиление неудовлетворенности жителей.



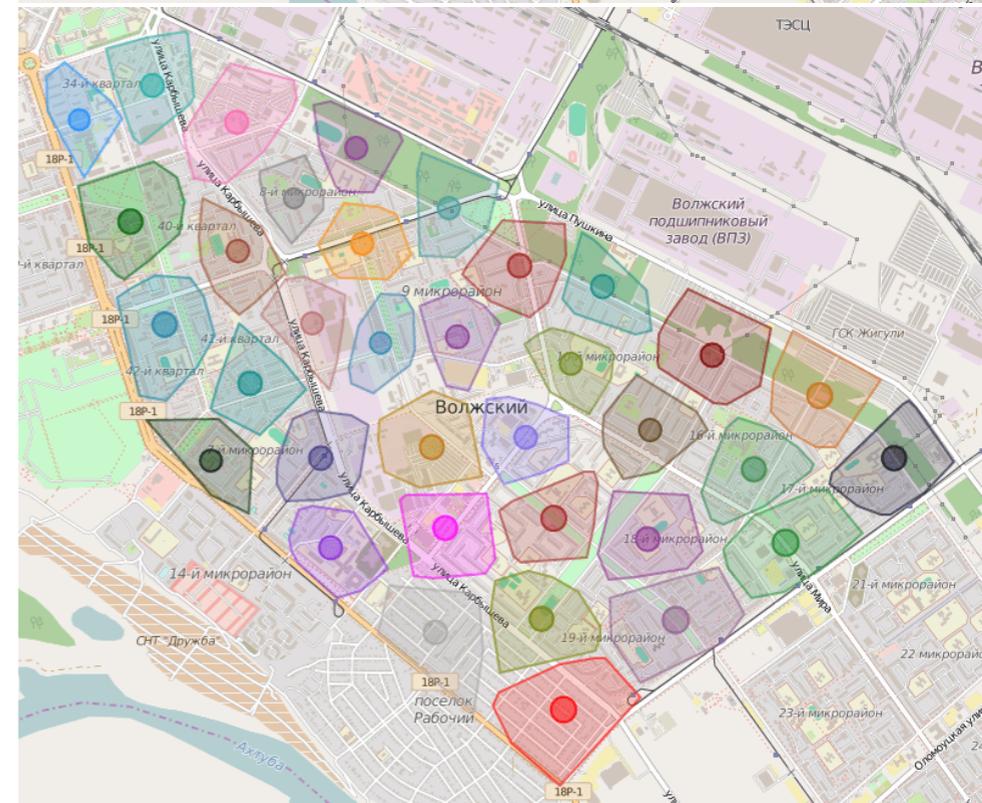
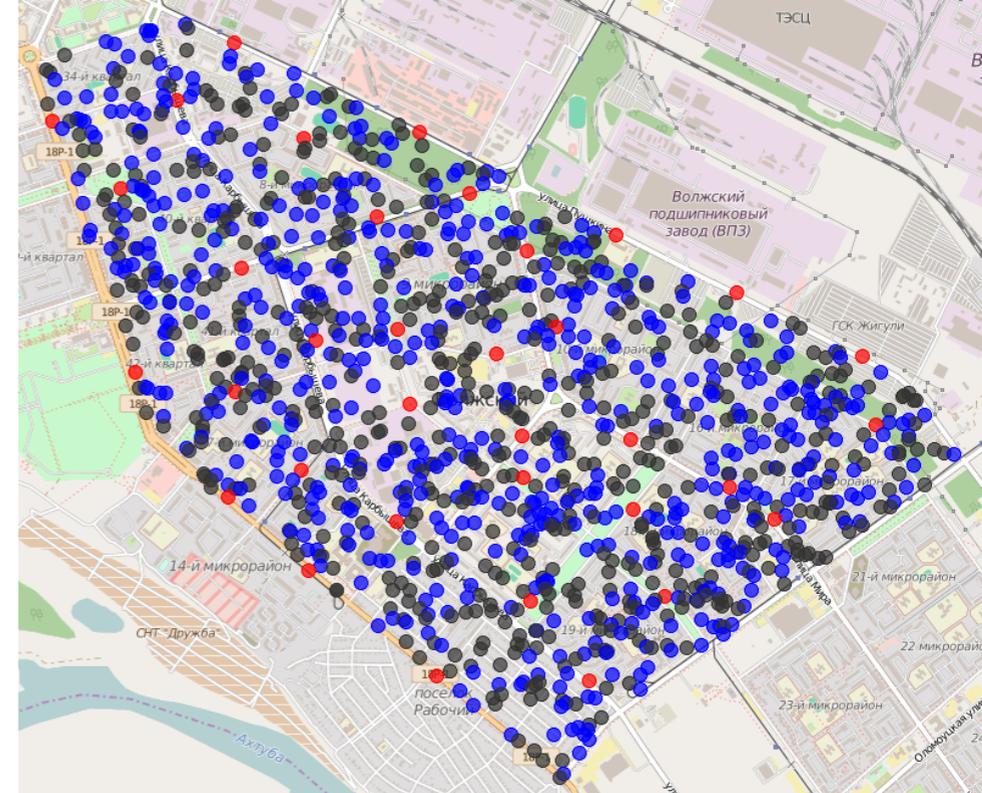
# Цель

Улучшение показателей функционирования транспортной сети города за счёт применения новых методов при разработке маршрутной сети.



# Выявление основных паттернов в данных

- Кластеризация данных с помощью метода К-средних (Евклидова метрика, метрика учитывающая дорожную сеть)
- Построение матрицы корреспонденций



**Критерии  
оценки качества  
транспортной сети  
города**





# Степень удовлетворения транспортного спроса

$$U = \frac{1}{C} \sum_{i=0}^N u_i$$

где,

- $U$  – степень удовлетворения транспортного спроса  $[0, 1]$ ;
- $N$  – максимальное количество пересадок;
- $u_i$  – количество пассажиров, перевезённых с  $i$  пересадками;
- $C$  – общее число пассажиров, нуждающихся в перевозке.

# Непрямолинейность транспортной сети

$$U = \frac{\sum_{i=1}^N D_i}{\sum_{i=1}^N L_i}$$

где,

- $P$  – коэффициент непрямолинейности транспортной сети  $[0, 1]$ ;
- $N$  – количество маршрутов в транспортной системе;
- $L_i$  – длина  $i$ -го маршрута по дорогам;
- $D_i$  – расстояние от начала  $i$ -го маршрута до его конца по воздуху.



# Плотность транспортной сети

$$L = 1 - \frac{1}{4 \cdot S} \sum_{i=1}^N L_i$$

где,

- $L$  – плотность транспортной сети  $[0, 1]$ ;
- $N$  – количество маршрутов в транспортной системе;
- $L_i$  – длина  $i$ -го маршрута;
- $S$  – площадь города.

A blue bus is shown in a factory or assembly line setting. The bus is viewed from a side-front perspective, showing its large windshield, side mirrors, and front headlight. The background consists of industrial structures and lighting.

# Интегральная оценка транспортной сети

$$O(I, W) = \sum_{i=1}^N I_i W_i$$

где,

- $O$  – интегральная оценка транспортной системы;
- $I$  – значения критериев;
- $W$  – веса для критериев, определяющие их важность;
- $N$  – количество критериев.

# Алгоритм построения начальной транспортной сети

Data:  $n_r$  – количество маршрутов,  $C_t$  – терминальные ноды,  $C_{nt}$  – нетерминальные ноды  
Result:  $RN$  – результирующие маршруты

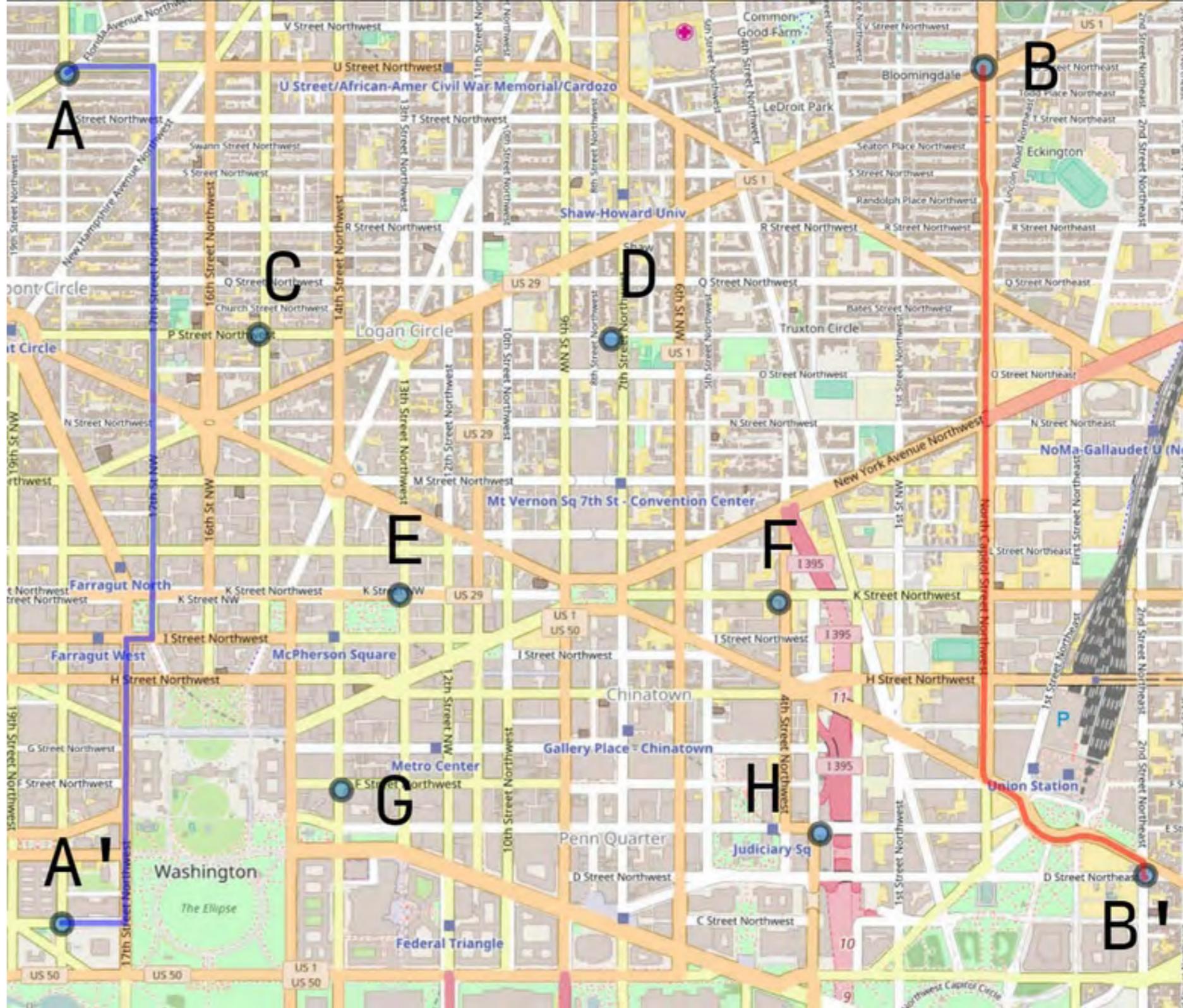
```
1 for  $i = 1 \dots n_r$  do
2   | Построить прямой маршрут  $R_i$  содержащий пару точек из  $C_t$  и добавить в  $RN$ ;
3 end
4 while пока есть элементы в  $C_{nt}$  do
5   | for  $i = 1 \dots n_r$  do
6     | Выбрать  $R_i$  из  $RN$ ,  $R_i = [n_1, n_2, \dots, n_R]$ ;
7     | Разделить  $R_i$  на пару нод  $PN^{(R_i)} = [[n_1, n_2], [n_2, n_3], \dots, [n_{R-1}, n_R]]$ ;
8     | for есть пары  $[n_x, n_y]$  в  $PN^{(R_i)}$  do
9       | Найти  $c_j$  ноду из  $C_{nt}$  с индексом  $j$ , где  $j = \operatorname{argmin}(|\operatorname{len}(n_x, n_y) - (\operatorname{len}(n_x, c_j, n_y))|)$ ;
10      | Добавить  $[n_x, c_j, n_y]$  в  $RC$ ;
11     end
12     | Составить  $||RC||$  вариантов новых маршрутов: одна из  $RC$  остальные из  $PN^{(R_i)}$  и
        | положить в  $RCC$ ;
13     | Расчитать длину маршрутов  $RCC$  и выбрать  $R_i^*$  с минимальной длиной;
14     | Заменить  $R_i$  на  $R_i^*$  в  $RN$ ;
15     | Удалить ноду  $c_j$  входящую в  $R_i^*$  из  $C_{nt}$ ;
16   end
17 end
```

# Пример формирования транспортной сети



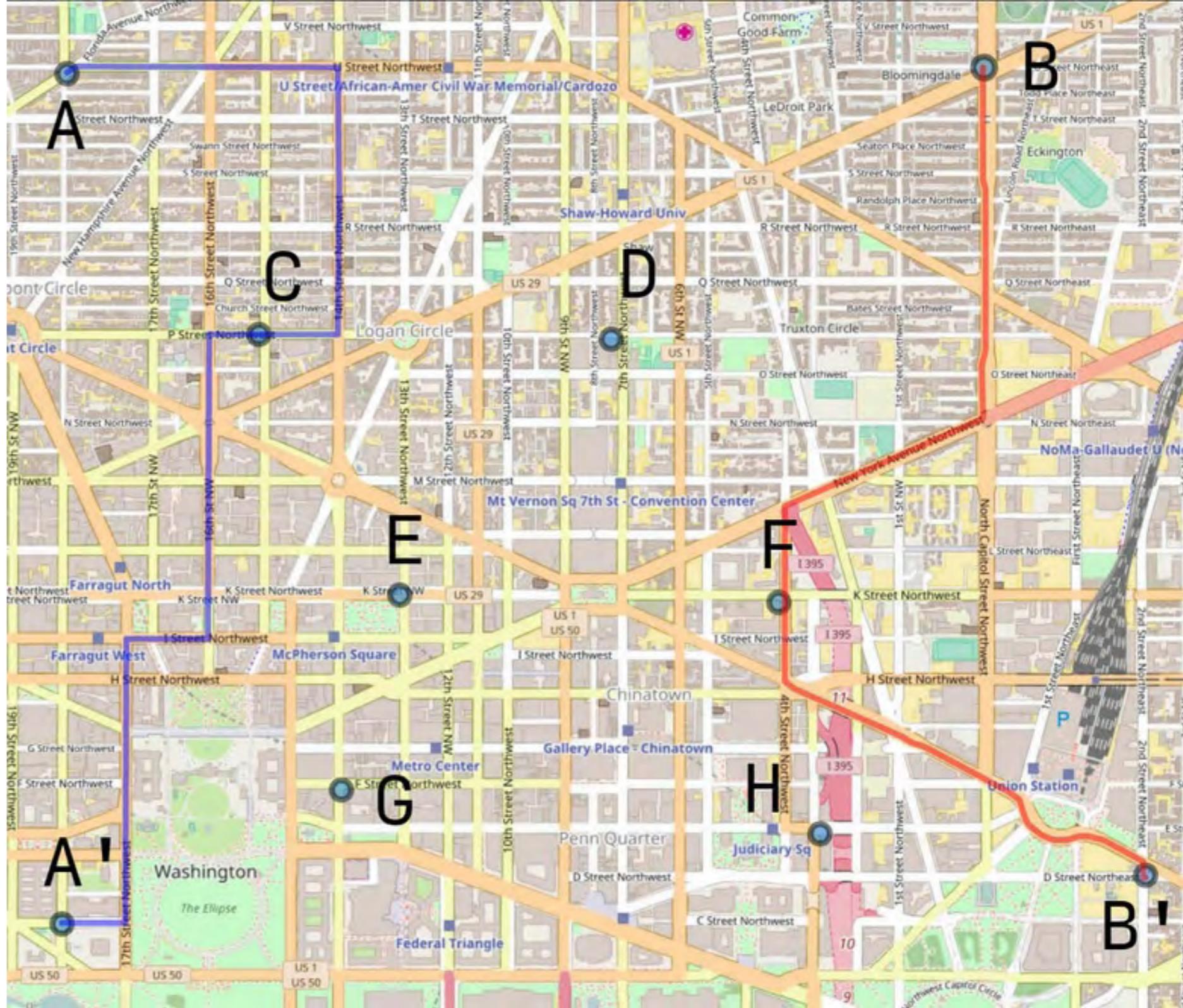
1

# Пример формирования транспортной сети



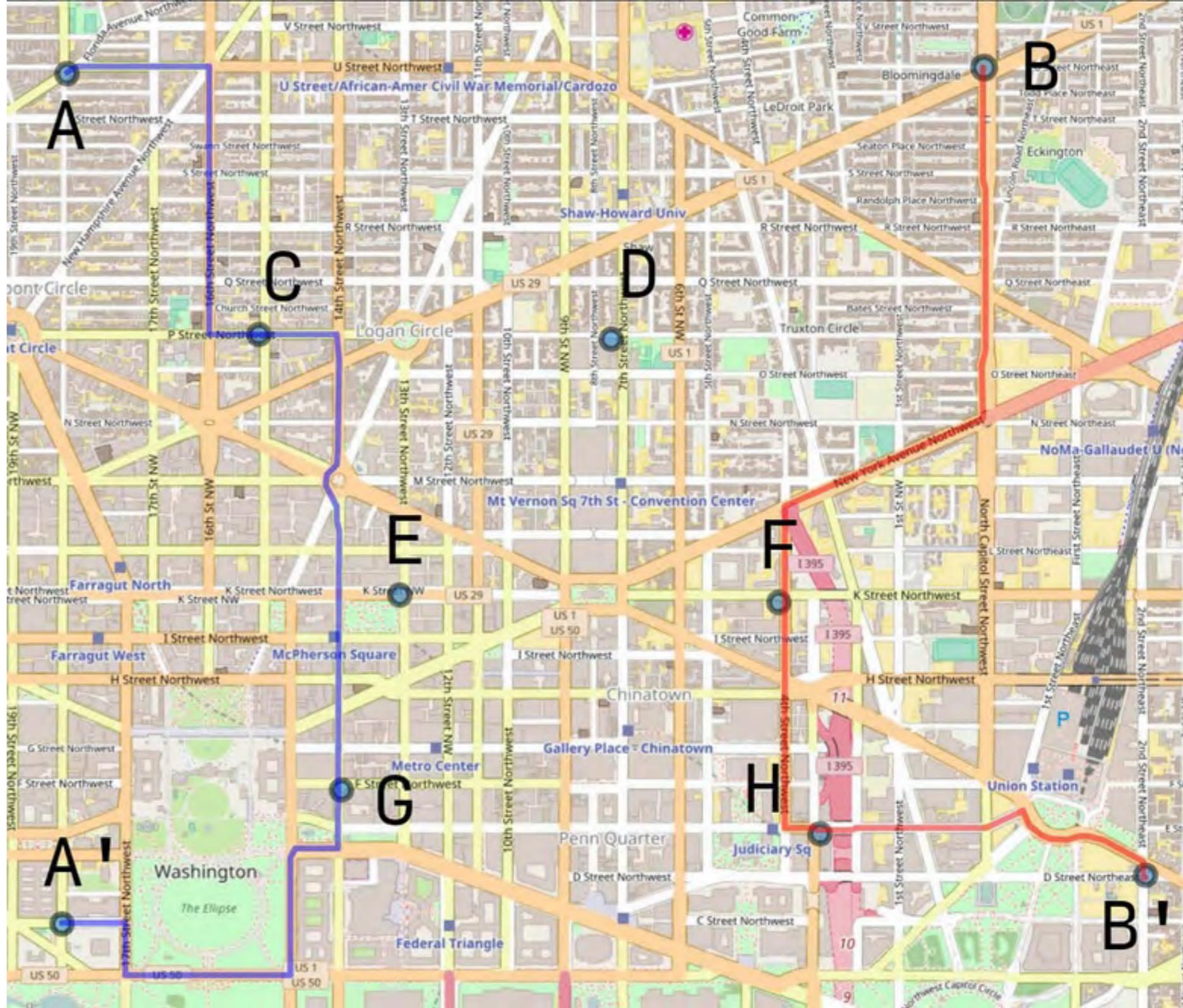
2

# Пример формирования транспортной сети



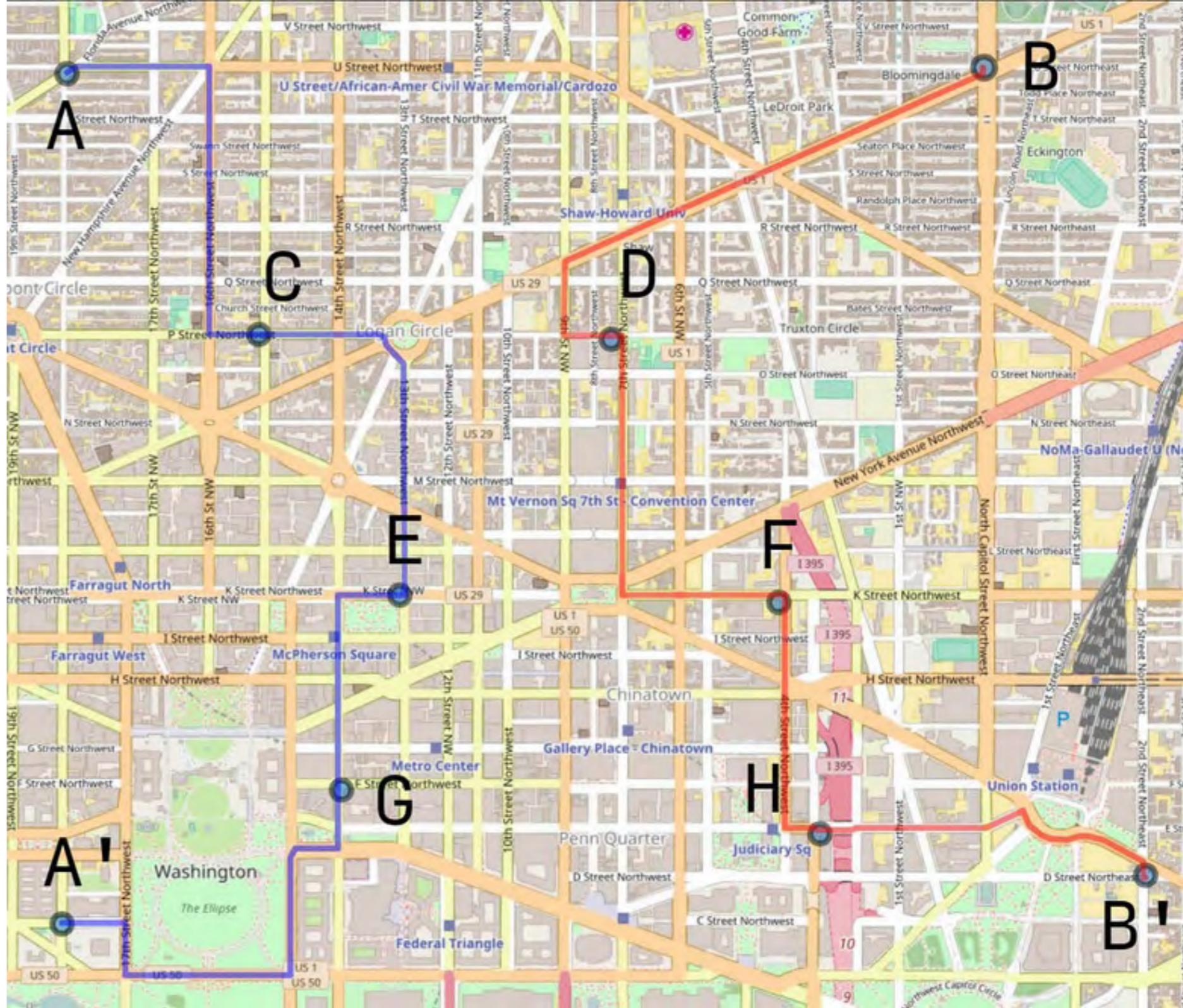
3

# Пример формирования транспортной сети



4

# Пример формирования транспортной сети



# Методы формирования транспортной сети города

**graph** – построение маршрутной сети без учёта существующих дорог.

**S. OSRM** – однопоточная версия построения маршрутной сети с учётом существующих дорог.

**P. OSRM** – многопоточная версия построения маршрутной сети с учётом существующих дорог.

Кластеров	Метод	Маршрутов							
		10	14	16	18	40	60	80	100
100	graph	0:04	0:03	0:02	0:02	0:01	0:01	0:01	0:01
	S. OSRM	3:22	2:01	1:40	1:29	0:17	0:23	0:25	0:29
	P. OSRM	1:11	0:51	0:42	0:42	0:25	0:17	0:34	0:37
150	graph	0:04	0:08	0:07	0:07	0:04	0:03	0:02	0:03
	S. OSRM	9:32	6:06	4:59	4:15	1:27	1:06	0:57	1:13
	P. OSRM	2:39	1:58	1:42	1:41	1:06	1:13	0:56	1:02
200	graph	0:31	0:20	0:20	0:16	0:08	0:06	0:05	0:05
	S. OSRM	29:33	18:36	13:53	11:35	3:18	2:20	2:12	2:47
	P. OSRM	6:51	5:06	3:48	3:38	2:08	1:53	1:49	2:06

# Методы выбора точек отправления-назначения

В зависимости от структуры городской среды могут быть использованы следующие методы выбора точек отправления-назначения:

- «Противоположные кластеры»
- «От центра к окраинам»
- «N-фокальных точек»
- и др.





# Метод «Противоположные кластеры»

**Входные данные:**  $n_r$  – количество маршрутов,  $D$  – кластеры.

**Выходные данные:**  $C_t$  и  $C_{nt}$  – терминальные и нетерминальные кластеры.

1. Находим выпуклую оболочку образованную кластерами  $D$ .
2. Находим геометрический центр  $C$  выпуклой оболочки.
3. Находим самый дальний кластер от центра  $C$  на выпуклой оболочке считаем его радиусом  $R$ .
4. На мнимой окружности, образованной  $R$ , отмечаем равномерно  $2 * n_r$  точек.
5. Объединяем диаметрально противоположные точки в группы по две и кладем в  $C_t$ .
6. Оставшиеся кластеры из  $D$  помещаем в  $C_{nt}$ .



# Метод «От центра к окраинам»

**Входные данные:**  $n_r$  – количество маршрутов,  $D$  – кластеры.

**Выходные данные:**  $C_t$  и  $C_{nt}$  – терминальные и нетерминальные кластеры.

1. Находим выпуклую оболочку образованную кластерами  $D$ .
2. Находим геометрический центр  $C$  выпуклой оболочки.
3. Находим самый дальний кластер от центра  $C$  на выпуклой оболочке и считаем его радиусом  $R$ .
4. На мнимой окружности  $R$  отмечаем равномерно  $n_r$  точек  $F$ .
5. Находим центр  $G$  города и выбираем  $n_r$  кластеров вблизи  $G$ .
6. Соединяем попарно кластеры из  $G$  и  $F$  и кладём в  $C_t$ .
7. Оставшиеся кластеры из  $D$  помещаем в  $C_{nt}$ .

An aerial photograph of a city street with multiple lanes of traffic, including cars and buses. In the foreground, a modern building with a glass facade and a flat roof is visible. The background shows more city buildings and a clear sky.

# Метод «N-фокальных точек»

**Входные данные:**  $N$  – количество фокусов,  $K_N$  – количество маршрутов соединяющие  $N$  фокусных точек,  $n_r$  – количество маршрутов,  $D$  – кластеры.

**Выходные данные:**  $C_t$  и  $C_{nt}$  – терминальные и нетерминальные кластеры.

1. Находим выпуклую оболочку образованную кластерами  $D$ .
2. Выбираем  $N$ -фокусов  $F_N$  с наибольшим скоплением людей.
3. На выпуклой оболочке равномерно  $n_r - N * K_N$  точек  $B$ .
4. Первые  $N * K_N$  маршрутов прокладываем между фокусными точками и помещаем в  $C_t$ .
5. Остальные точки распределяются между  $B$  и  $F_N$  и помещаем в  $C_t$ .
6. Оставшиеся кластеры из  $D$  помещаем в  $C_{nt}$ .

# Методы формирования транспортной сети города

- $n_r$  – количество маршрутов в транспортной сети
- **opposite** – метод «противоположные кластеры»
- **c2out** – метод «от центра к окраинам»
- **\*focus** – метод «N-фокальных точек» с разным числом фокальных точек
- **UA** – тип города
- **U** – степень удовлетворения транспортного спроса
- **P** – коэффициент непрямолинейности транспортной сети
- **O** – интегральная оценка

$n_r$	Метод	UA	U	P	O
3	opposite	LONG	0.3799	0.6775	0.5287
		POLY	0.4214	0.6565	0.5390
		ROUND	0.4998	0.8449	0.6723
3	c2out	LONG	0.7260	0.5775	0.6518
		POLY	0.1977	0.6411	0.4194
		ROUND	0.3542	0.7618	0.5580
3	2focus	LONG	0.3611	0.6243	0.4927
		POLY	0.3655	0.6335	0.4995
		ROUND	0.2556	0.8788	0.5672
6	opposite	LONG	0.0718	0.5706	0.3212
		POLY	0.0880	0.7800	0.4340
		ROUND	0.0675	0.7952	0.4314
7	c2out	LONG	0.2057	0.6652	0.4354
		POLY	0.1448	0.7365	0.4406
		ROUND	0.0772	0.8085	0.4429
7	4focus	LONG	0.3485	0.5902	0.4694
		POLY	0.1135	0.6208	0.3672
		ROUND	0.2270	0.8177	0.5223

# Оценка эффективности разработанных алгоритмов

Для оценки эффективности разработанных алгоритмов необходимо:

- Собрать реальные данные о перемещении жителей в городе.
- Оценить с использованием описанных критериев качества текущую транспортную сеть.
- Построить новую транспортную сеть.
- Оценить новую транспортную сеть.





# ООО «МСТ Компани» RetailBUD

- Система управления транспортной компанией Retailbud.
- Учёт наличных и безналичных платежей на транспорте.
- Расчет эффективности кондукторов.
- Оптимизация маршрутных сетей общественного транспорта.

[www.mst-company.ru](http://www.mst-company.ru)