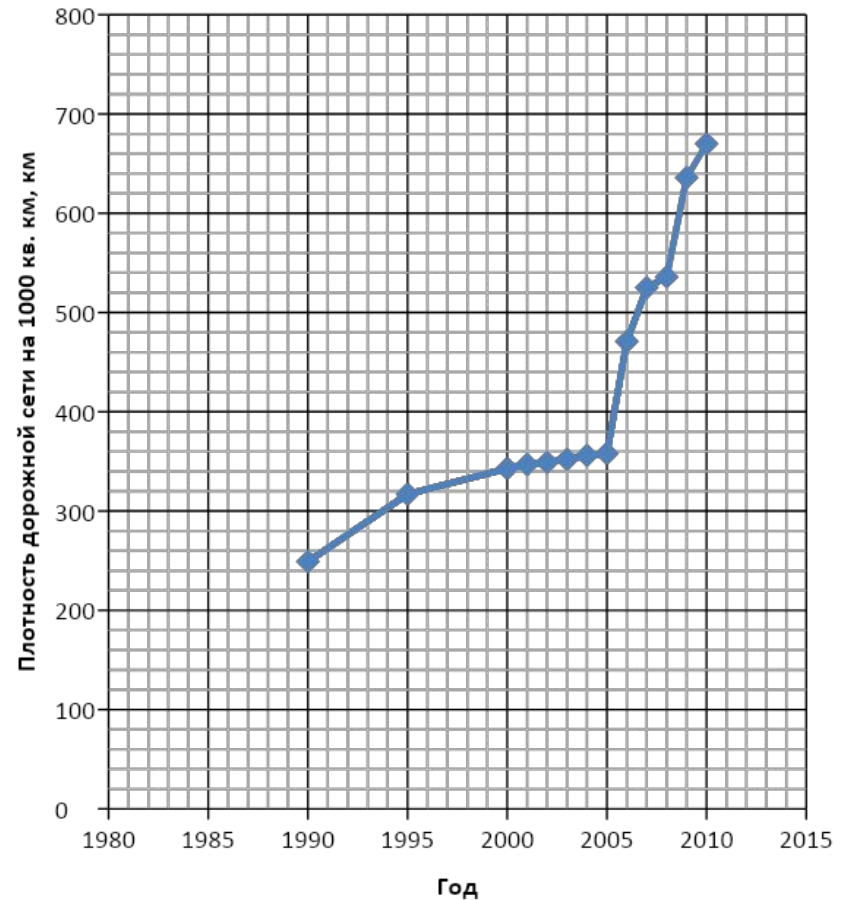
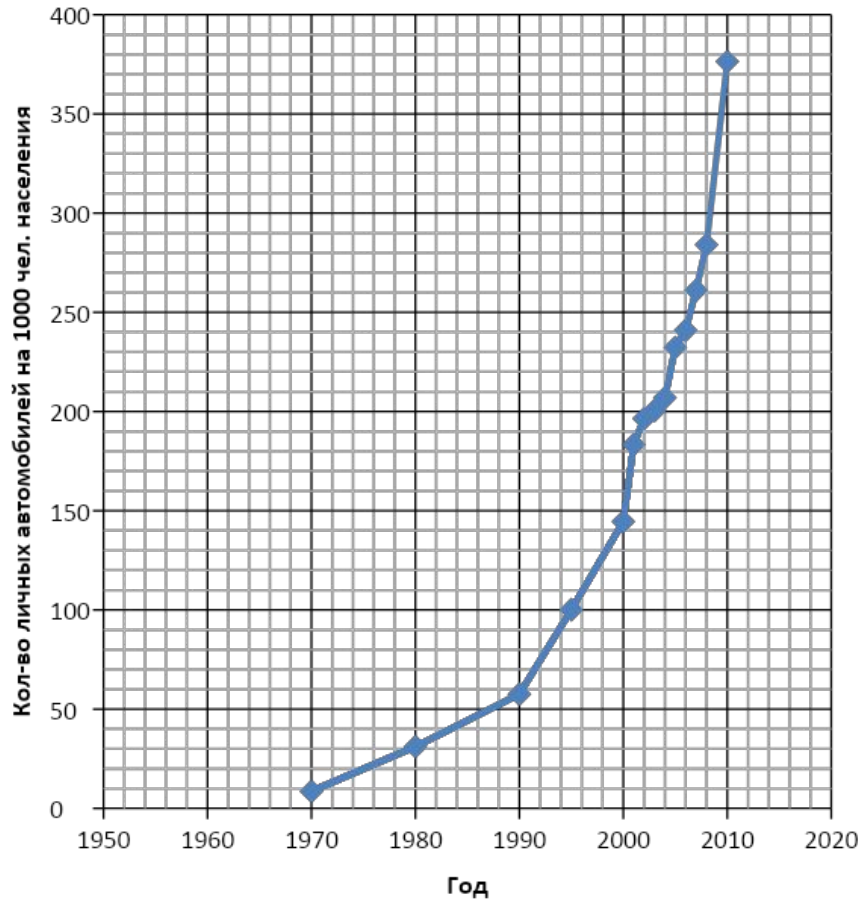


Методы и алгоритмы решения задачи пространственно- временного распределения параметров транспортных потоков на дорожной сети

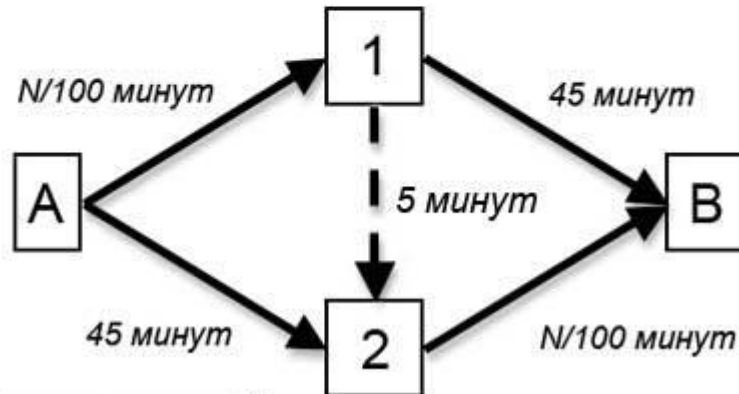
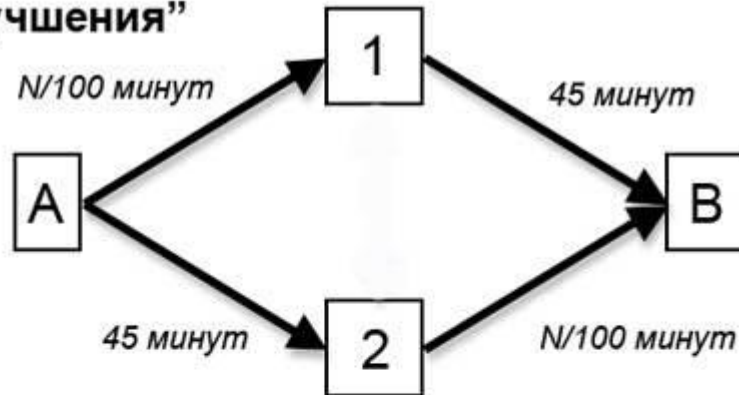
аспирант Данилкин В.А.
науч. рук. д.т.н., профессор Жуков И.Ю.

Текущая транспортная ситуация Москва и Московская область



Парадокс Браеса

До «улучшения»



После «улучшения»

- 4000 автомобилей едут из А в В
- Водители независимо принимают решение о выборе маршрута (2-ой принцип Вардропа)
- До «улучшения»: 2000 авт. по А-1-В, 2000 авт. по А-2-В => время на поездку = 65 мин.
- После «улучшения»: 4000 авт. по А-1-2-В => время на поездку $4000/100 + 5 + 4000/100 = 85$ мин.

Цель исследования – мониторинг транспортных ПОТОКОВ

Получение условий и режимов движения транспортных потоков на дорожной сети для определения временных издержек её пользователей

Существующие подходы к мониторингу транспортных потоков

- Сервисы, основанные на машинном обучении – Яндекс.Пробки, Google пробки
- Математическое моделирование транспортных потоков

Яндекс.Пробки



- Отсутствие системы организации движения
- Зависимость от количества получаемых данных
- Текущая информация имеет задержку в 15 МИН

Математические модели транспортных потоков

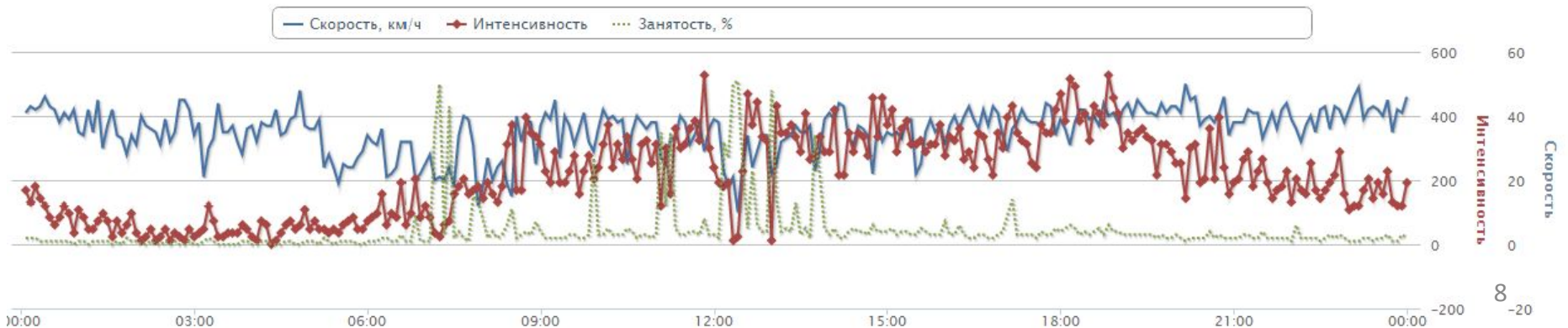
Время		Пространство		
		Непрерывное	Дискретно е	N/A
Динамика	Непрерывно е	<ul style="list-style-type: none"> • Микромодели • Макромодели 	Не существуют на данный момент	N/A
	Дискретное	Не существуют на данный момент	Клеточные автоматы	N/A
Статика	N/A	N/A	N/A	Статическое равновесное распределение

Детекторы транспорта



В сечении дороги за временной интервал Δt измеряют

- Интенсивность (количество ТС за Δt , q)
- Скорость (среднеарифметическая скорость ТС за Δt , V)
- Занятость (время нахождения ТС в сечении детектора/ Δt)



Существующие программные средства мониторинга транспортных потоков

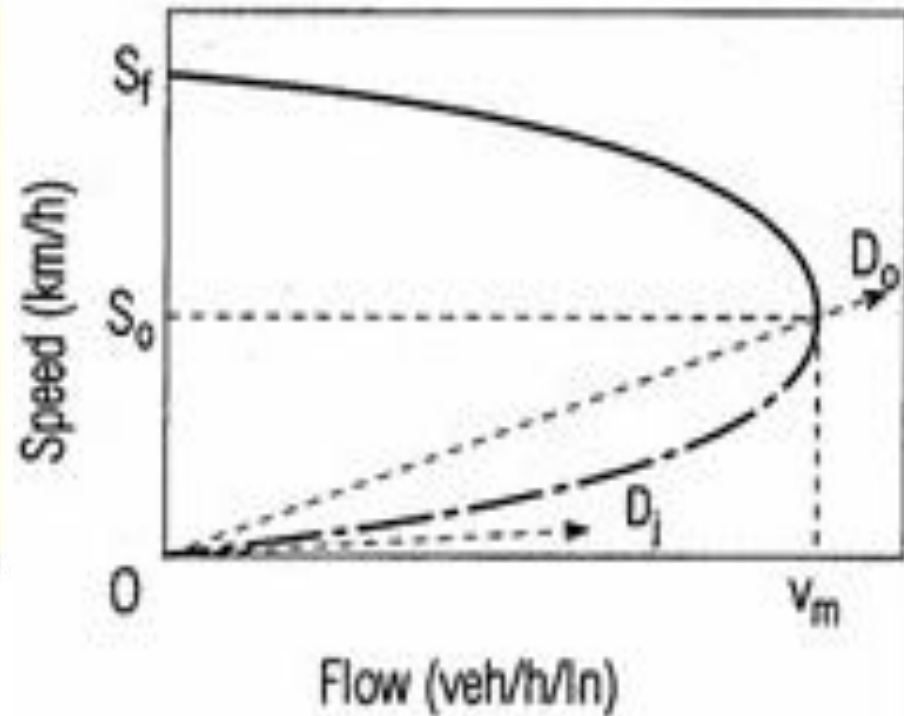
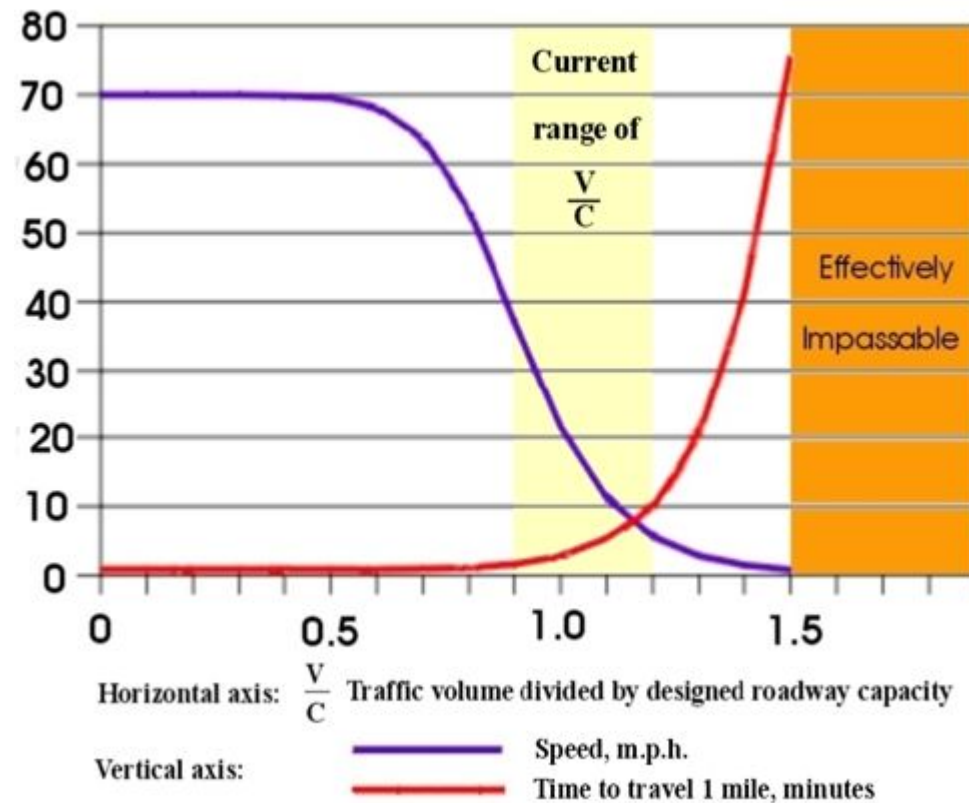
SUMO, Cube, PTV VISUM

- Основная задача – равновесное распределение транспортных потоков на дорожной сети
- Учет системы организации дорожного движения (статический)
- Статическая модель транспортных потоков (отсутствие понятия очереди)
- Использование калибруемых BPR-функций для расчета времени проезда участка дорожной сети

ВРР-функции и фундаментальная диаграмма транспортного потока

ВРР-функция Фундаментальная диаграмма

диаграмма



Динамические модели транспортного потока

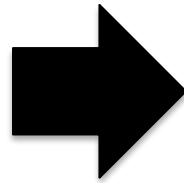
	Необходима информация о пространственном распределении автомобилей	Существуют функции, описывающие поведение транспортного потока на непрямолинейных участках
Микро	Да	Да, в неявном виде
Макро	Нет	Частично

Постановка задачи

- Декомпозиция дорожной сети на уникальные элементы (неоднородности), при прохождении которых транспортные потоки меняют свое поведение (изменяются параметры)
- Построение моделей элементов, описывающих пространственное распределение параметров транспортных потоков с минимальным числом калибруемых переменных
- Разработка алгоритмы каскадного влияния фронтов транспортных потоков
- Разработка специального программного обеспечения

Элементы дорожной сети -> математические модели

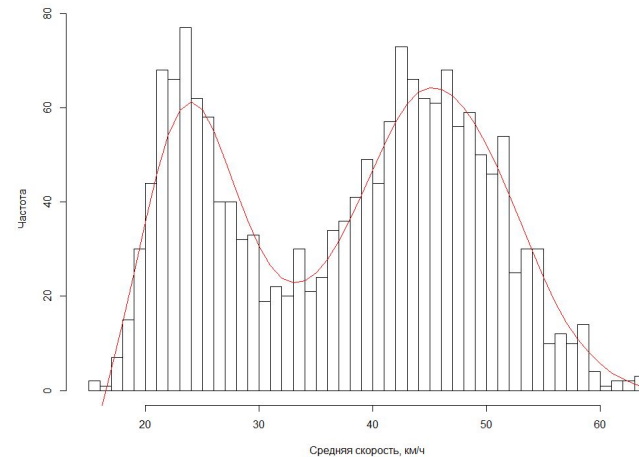
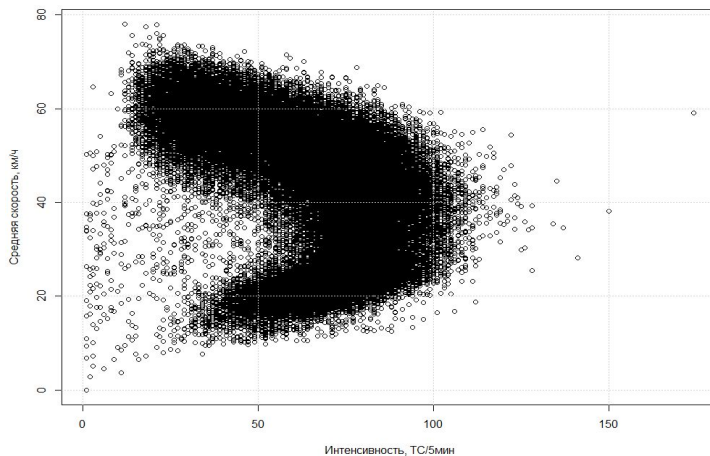
1. Ж/Д переезд
(регулируемый и нерегулируемый)
2. Искусственная неровность
3. Светофор
4. Трамвайная остановка
5. Нерегулируемый пешеходный переход
6. Сужение
7. Расширение
8. Остановка НГПТ (с карманом и без него)
9. Съезд
10. Выезд
11. Нерегулируемый перекресток



1. Светофор
2. Сужение
3. Съезд
4. Выезд
5. Ограничение скорости

Методика обработки данных

- Рассматриваются данные с детекторов транспорта за несколько месяцев измерений на разных расстояниях от неоднородности
- Выделяются свободное и перегруженное состояние транспортного потока авторским методом



- Подбираются «наилучшие» линейные аппроксимирующие функции с помощью методов регрессионного анализа

Модель светофора

Для независимых потоков:

●
Пространственное распределение скорости потока в свободной фазе для полосы ($\Delta t > T_c$)

$$V_f = V_{max}(R) - \left(1 - \frac{T_g}{T_c}\right) * (\min(q, 0,9 * q_{max}) - \frac{l}{l_v}) * \frac{1}{k}$$

Пространственное распределение скорости потока в перегруженной фазе для полосы

$$V_c = \frac{q}{q_{max}} * (V_{max} - \left(1 - \frac{T_g}{T_c}\right) * q_{max} * \frac{1}{k} - V_{min}) + V_{min}$$
$$V_c(l) = const = q - q_{max}$$

Для нескольких направлений с одной полосы $V = \sum_{i,j} V_{i,j} \cdot p_{i,j}$

q_{max} - пропускная способность [ТС/5 мин],

k - коэффициент размерности [ТС/км],

V_{max} - максимально допустимая скорость,

V_{min} - минимально возможная скорость,

l_v - расстояние, занимаемое одним автомобилем в очереди,

R - радиус поворота,

l - расстояние от светофора

p_{ij} - матрица разъездов (корреспонденций), где i - источник, j - сток, в %

Для зависимых потоков $V_{max}(R)$ рассчитывается из моделей съезда и выезда

Модель ограничения скорости

-

$$V = V_{max}$$
$$V(l) = const = q \cdot (l_v + V_{max} \cdot T + s_0)$$

T – время реакции водителя,

s_0 – минимальная дистанция безопасности

Модель съезда

1 - свободный, 2 – свободный

$$V_3^{lane\ 1,2} = V_1 * \left(1 - \frac{q_{off}}{q_{in}}\right) + V_2 * \frac{q_{off}}{q_{in}}$$

$$V_3^{lane\ 3+} = V_1$$

1-свободный, 2 – перегруженный

$$V_3^{lane\ i} = \begin{cases} V_{min} \cdot i + V_1 * \left(1 - \frac{q_{off}}{q_{in}^{norm}}\right) + V_2 * \frac{q_{off}}{q_{in}^{norm}}, & \frac{q_{off}}{q_{in}^{norm}} < 1 \\ V_2, & \frac{q_{off}}{q_{in}^{norm}} > 1 \end{cases}$$

1 перегруженный, 2-свободный/перегруженный

$$V_3^{lane\ 1} = \begin{cases} V_1 * \left(1 - \frac{q_{off}}{q_{in}}\right) + V_2 * \frac{q_{off}}{q_{in}}, & \frac{q_{off}}{q_{in}} < 1 \\ V_2, & \frac{q_{off}}{q_{in}} > 1 \end{cases}$$

$$V_3^{lane\ 2} = V_1 * \left(1 - \frac{i - 1}{N_i} \frac{q_{off}}{q_{in}}\right)$$

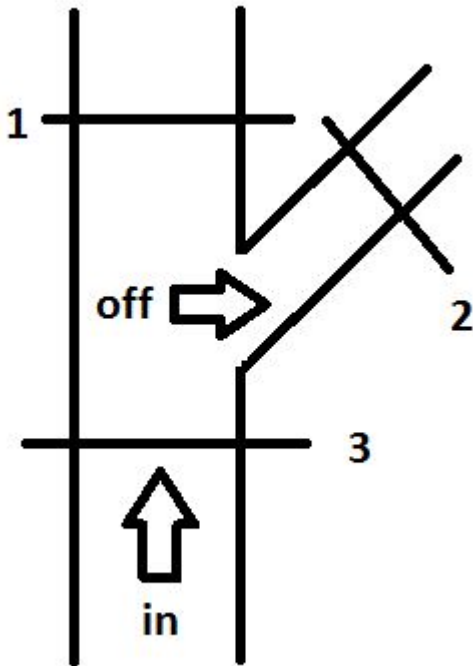
$$V_3^{lane\ 3+} = \min(V_1, V_2)$$

$$V(l) = const = q \cdot (l_v + V_{max} \cdot T + s_0)$$

i – номер полосы движения для q_{in} ,

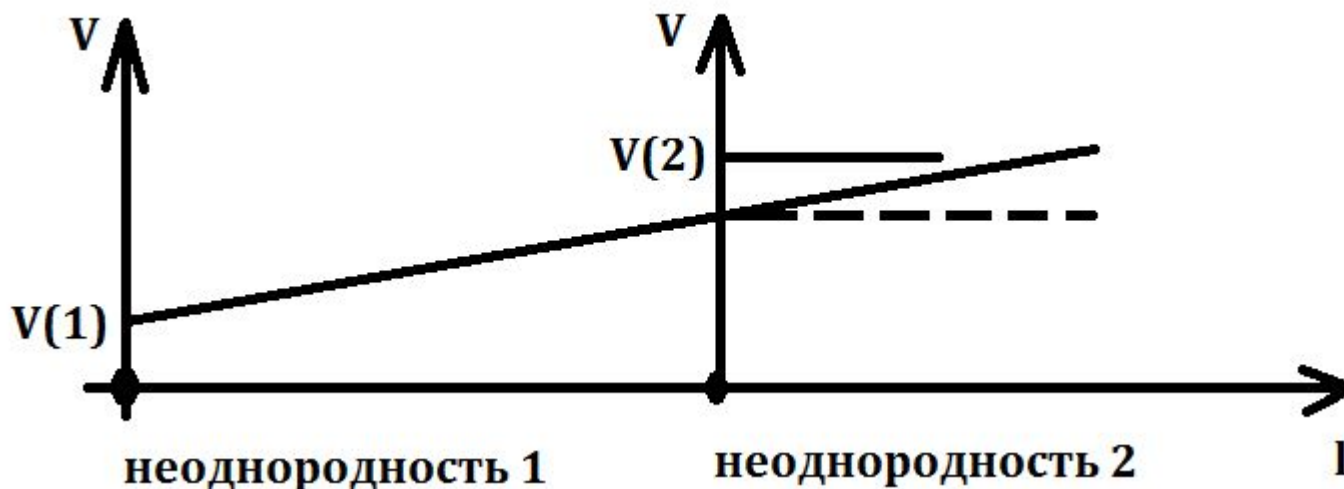
N_i – число полос движения q_{in} ,

$$q_{in}^{norm} = \frac{q_{in}}{N_i}$$



Каскадное влияние фронтов транспортных потоков

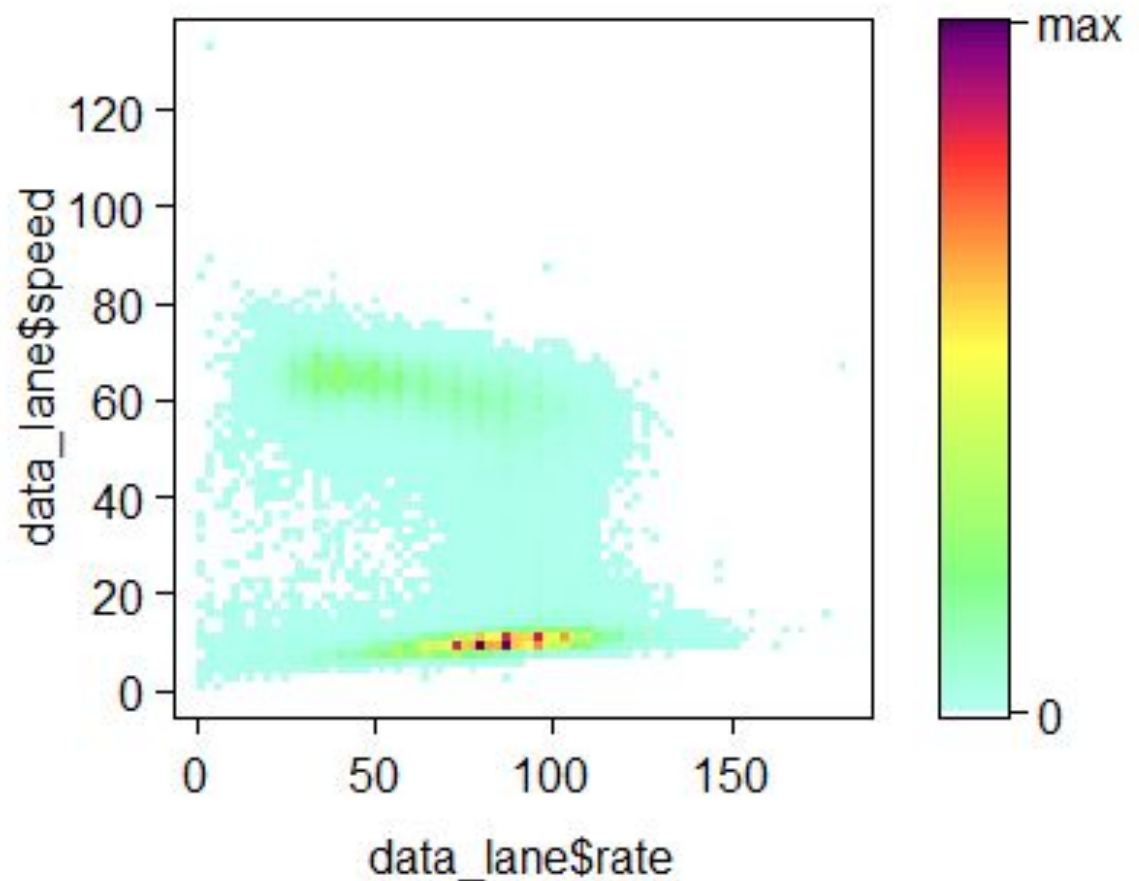
- $V(q, l)$ текущего транспортного потока = $V(q, l)$ заднего фронта транспортного потока по ходу движения



- Для светофоров на расстоянии до 800м вводится степень координированной работы $[0,1]$ для расчета q_{max}

Текущие исследования

- Сужение
- Выезд



Результаты

Время		Пространство		
		Непрерывное	Дискретное	N/A
Динамика	Непрерывное	<ul style="list-style-type: none"> • Микромодели • Макромодели 	Не существуют на данный момент	N/A
	Дискретное	Разрабатываемая модель	Клеточные автоматы	N/A
Статика	N/A	N/A	N/A	Статическое равновесное распределение