Агентное микроскопическое моделирование транспортных потоков в COS.SIM

Авторы: Панасюк Я.С., Черняк Г.М., Дудинов И.К., Хельвас А.В.

Докладчик:
Панасюк Ярослав,
e-mail: yaroslav.panasyuk@cos.ru

19 ноября 2011

План доклада

1. Общие сведения о компьютерном моделировании транспортных потоков, агентном моделировании и системе COS.SIM.
2. Обзор модели транспортных потоков в основе COS.SIM.
3. Программный пакет COS.SIM
4. Результаты верификации и валидации COS.SIM
5. Текущие и будущие направления работ
6. Резюме

Общие сведения

Типы моделей транспортных потоков

- Макроскопические
- Мезоскопические
- Микроскопические
- «Наноскопические»

COS.SIM система агентного микромоделирования

COS.SIM написана на Java и основывается на принципах агентного моделирования, открытого программного обеспечения, простоты программирования, расширяемости и модифицируемости.

http://code.google.com/p/cos-sim/

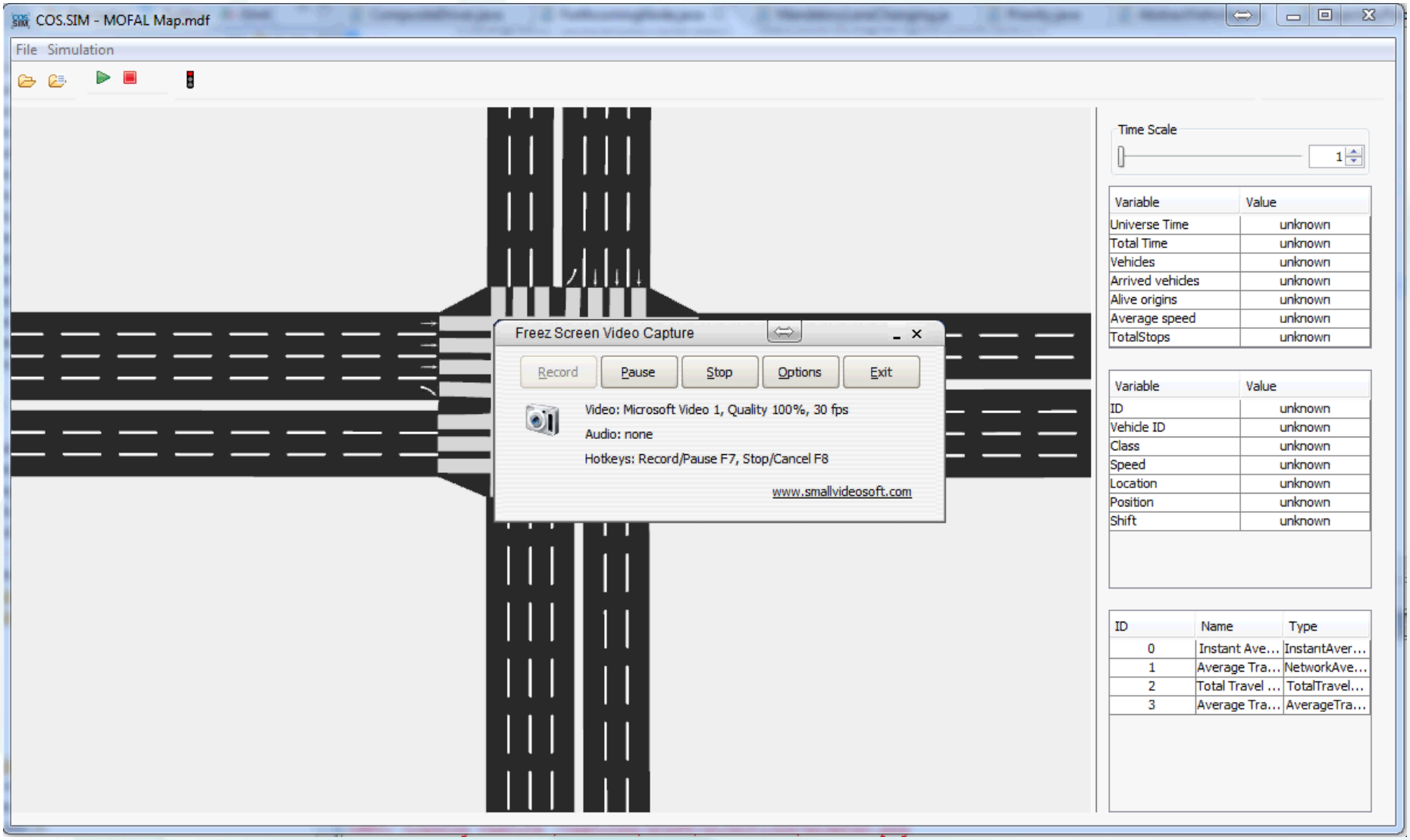
Агентный подход к моделированию в COS.SIM

Агентное моделирование это метод имитационного моделирования, представляющий изучаемую систему в виде множества агентов, проявляющих независимое индивидуальное поведение. Динамика всей моделируемой системы является результатом совокупного поведения всех агентов в ней.

В COS.SIM любой динамический объект является агентом. Автомобиль, светофор, ИТС – все есть агент.

COS.SIM основывается на «фреймворке» (каркасе архитектуры программной системы) COS.ABSF – открытом «фреймворке» построения произвольных агентных моделей с дискретной моделью течения времени.

Как это выглядит?



План доклада

1. Общие сведения о компьютерном моделировании транспортных потоков, агентном моделировании и системе COS.SIM.
2. Обзор модели транспортных потоков в основе COS.SIM.
3. Программный пакет COS.SIM
4. Результаты верификации и валидации COS.SIM
5. Текущие и будущие направления работ
6. Резюме доклада

Модель транспортных потоков системы COS.SIM

Модель транспортных потоков в основе COS.SIM оперирует такими базовыми понятиями как:

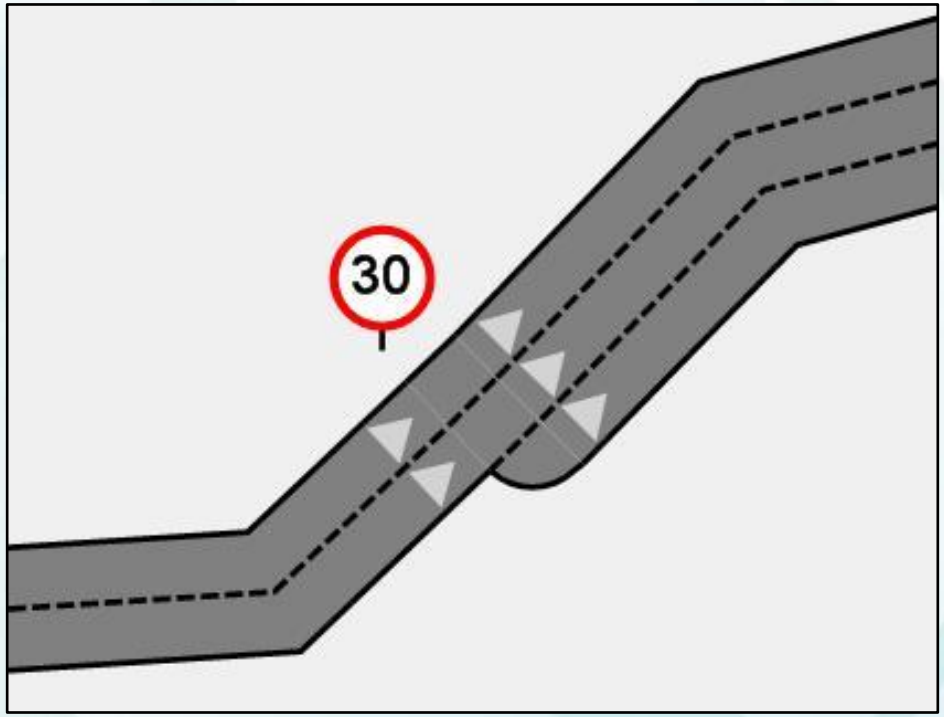
- Дорога (Link)
- Перекресток (Node)
- Светофорная сеть (Traffic Lights Network)
- Точки порождения и места назначения автомобилей

(Origins & Destinations)

- Автомобиль (Vehicle)

Дорога (Link)

Однонаправленный участок дорожной сети соединяющий два перекрестка. Дорога в COS.SIM имеет геометрию ломаной линии.

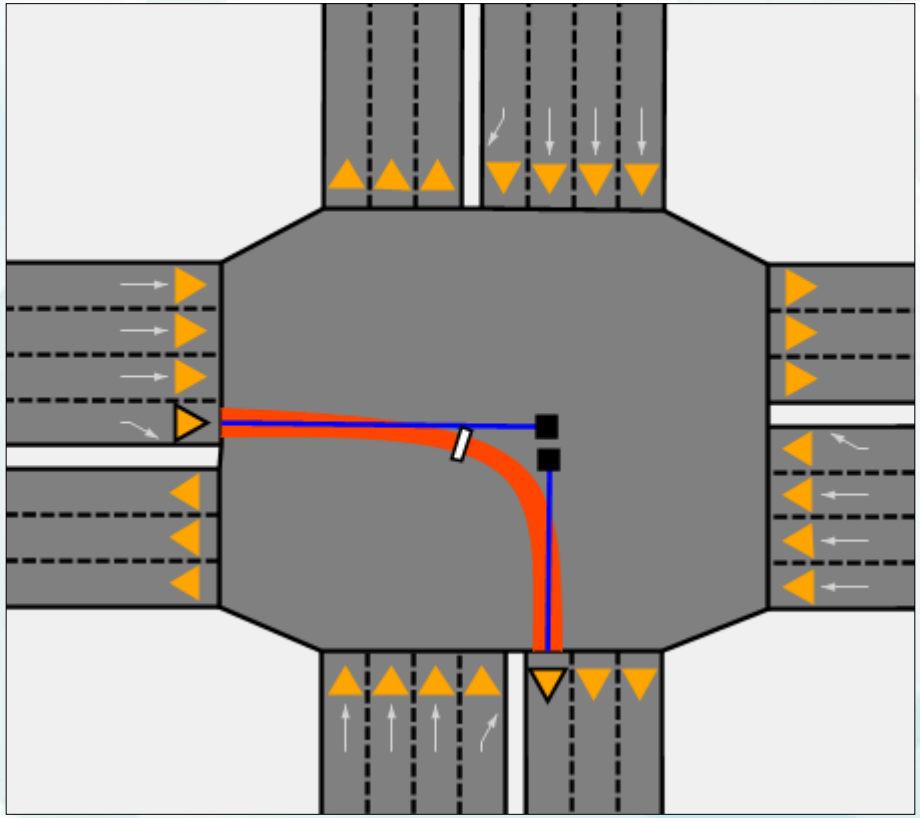


Свойства дороги

- Количество полос
- Ограничение скорости
- Ширина полосы
- Дорожная разметка
- Уклон

Перекресток (Node)

Перекресток соединяет несколько дорог, таким образом в перекрестке автомобили переходят с одной дороги на другую.

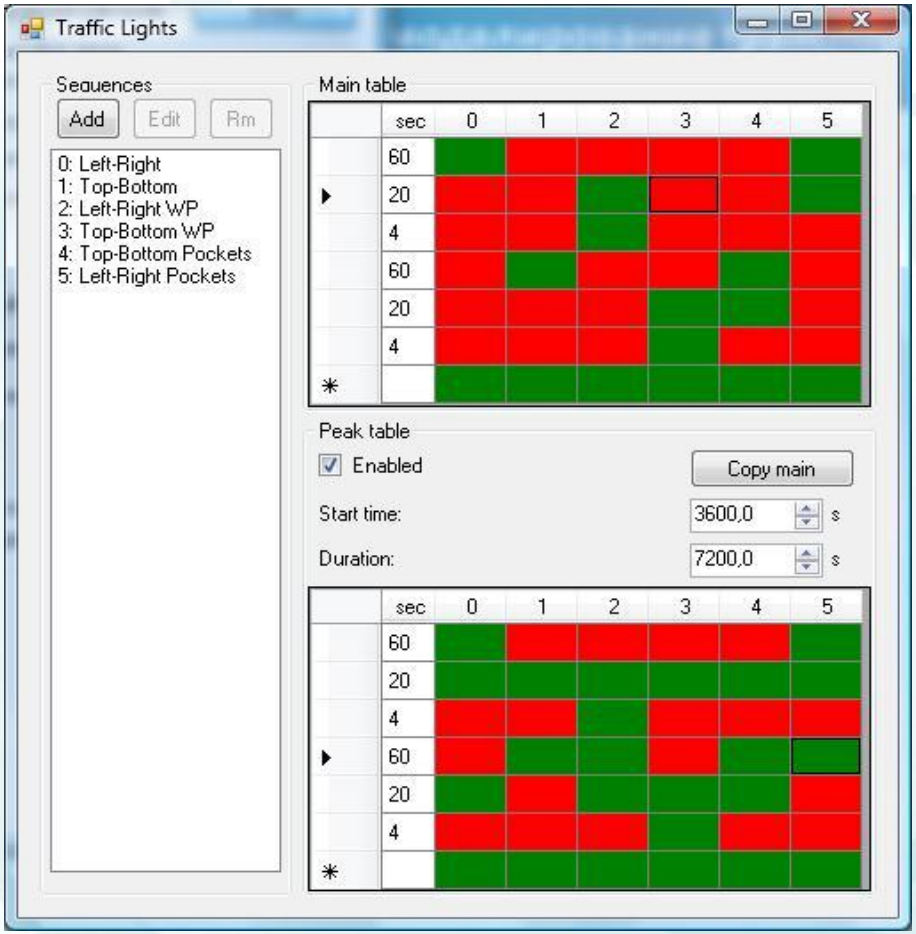


Свойства перекрестка

- Геометрическая конфигурация
- Траектории проезда
- Направления поворота полос
- Позиции ожидания

Светофорная сеть (Traffic Light Network)

Система согласованно работающих светофоров на одном перекрестке.



Свойства

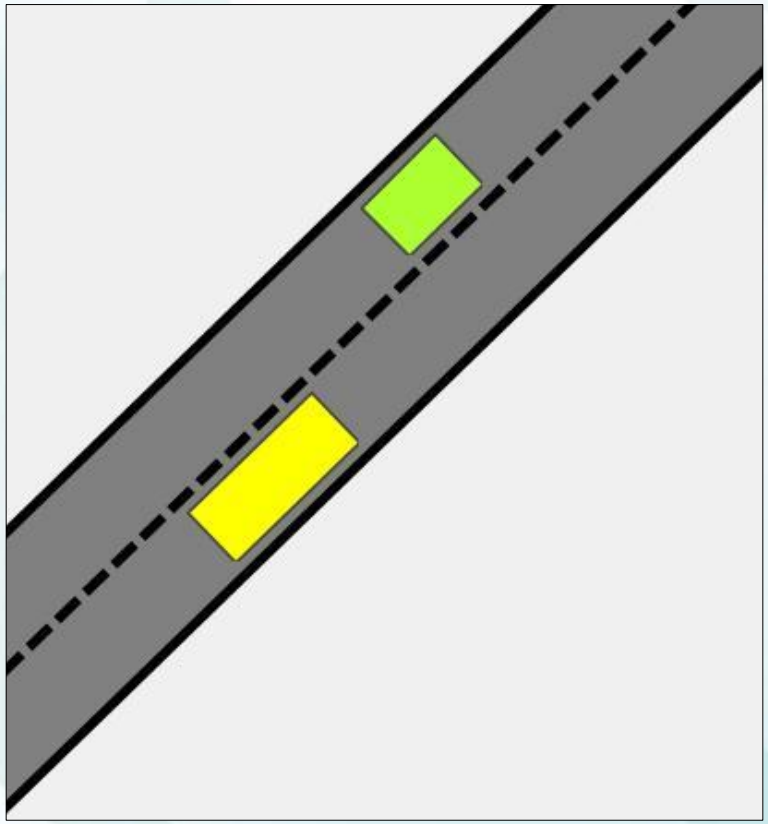
- Набор светофоров
- Ассоциация светофоров с позициями их наблюдения в перекрестке
- Таблица переключения сигналов
- Временной сдвиг

Модификации

- Простая светофорная сеть
- Двухтабличная светофорная сеть
- Актуированная светофорная сеть

Модель автомобиля (Vehicle)

Модель автомобиля представляет собой модель физического тела движущегося вдоль дорожной полосы и подчиняющегося законам кинематики.



Свойства автомобиля

- Скорость
- Ускорение
- Позиция на полосе
- Смещение относительно центра полосы
- Тип (грузовик / легковой)
- Длина / ширина

Модель поведения водителя

Поведения водителя основывается на двух известных поведения автомобилей на дороге:

- **Intelligent Driver Model (Martin Treiber, 2000)**

Модель следования за лидером определяет характер движения автомобиля в потоке при следовании за впереди идущим транспортным средством

- **MOBIL (Martin Treiber, 2002)**

Minimizing **O**verall **B**raking decelerations **I**nduced by **L**ane changes. Модель формализует критерий необходимости и безопасности перестроения на многополосных дорогах.

Intelligent Driver Model (IDM)

$$a = a_{max}\left[1 - \left(\frac{v}{v_{max}}\right)^{\delta} - \left(\frac{s^*}{s}\right)^2\right]$$

$$s^* = s_{min} + \left(vT + \frac{v\Delta v}{2\sqrt{a_{max}b_{max}}}\right)$$

Здесь
a – текущее ускорение,
v – текущая скорость,
s – расстояние до впереди идущего автомобиля,
s* - безопасное расстояние при текущих условиях,
ΔV – разность между скоростями автомобилей.

Параметры

v_{max} – желаемая скорость

a_{max} – максимальное ускорение разгона

b_{max} – максимальное ускорение торможения

δ – «агрессивность» водителя

s_{min} – минимальное безопасное расстояние между автомобилями в пробке

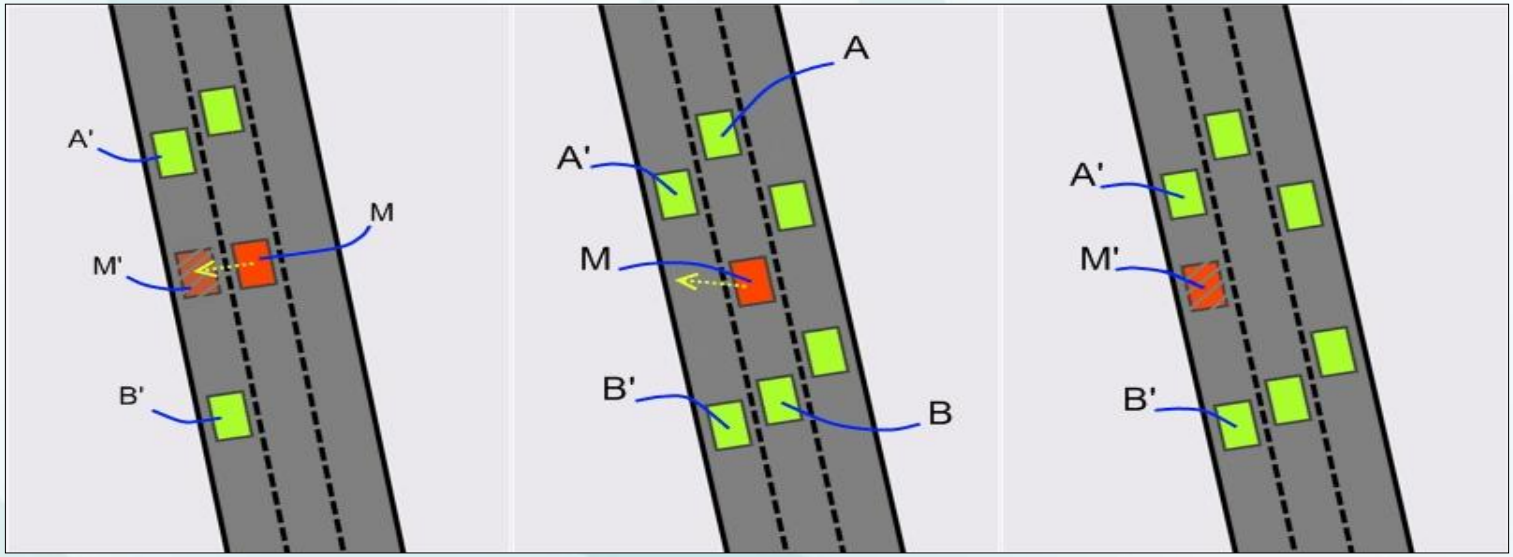
T – временной интервал между автомобилями

Модель MOBIL

Критерий необходимости перестроения, основавнный на сравнении собственой выгоды после перестроения с затруднениями, которыми такое перестроение создаст другим автомобилям.

$$a'_{M'} - a_M > p\left[a_B + a_{B'} - a'_B - a'_{B'}\right] + a_{thr}$$

Параметр p можно интерпретировать как «вежливость» водителя.

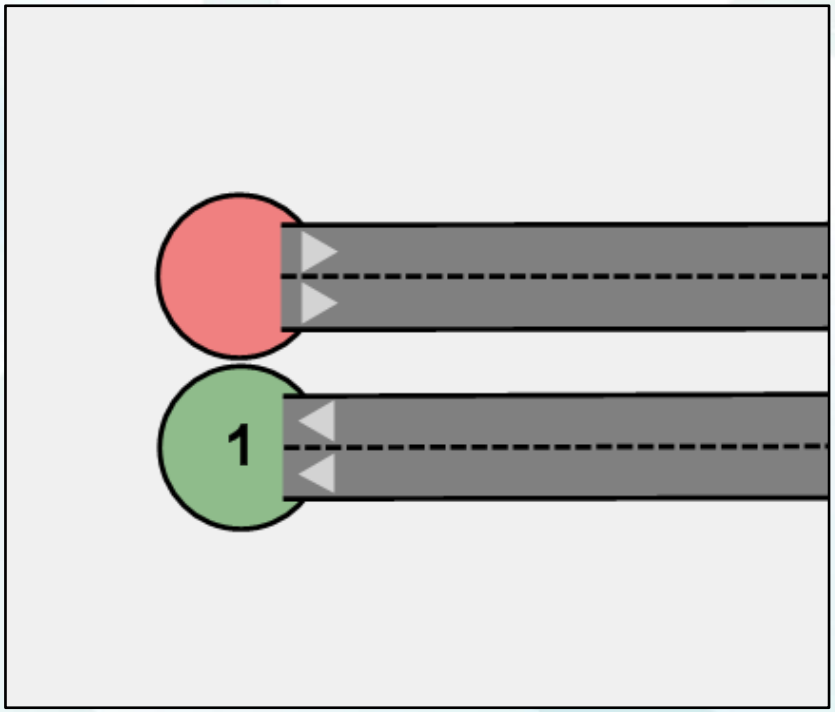


Распознаваемые водителем дорожные ситуации

1. Автомобиль впереди
2. Многополосная дорога
3. Опасность столкновения
4. Опасность выезда за пределы трассы
5. Светофор впереди
6. Перекресток впереди
7. Сплошная полоса
8. Зона действия знака ограничения скорости
9. Очередь перед перекрестком
10. Опасность столкновения со встречным автомобилем на перекрестке
11. Разветвление траекторий движения
12. Слияние траекторий движения
13. Маршрут не определен
14. Блокировка перед перекрестком
15. Узкая полоса

Точки порождения и мест назначения (Origins & Destinations)

Динамика появления автомобилей в сети в точке порождения задается последовательностью периодов генерирования потока с одинаковыми характеристиками.



Характеристики потока

- Интенсивность
- Набор точек назначения автомобилей
- Набор типов автомобилей

План доклада

1. Общие сведения о компьютерном моделировании транспортных потоков, агентном моделировании и системе COS.SIM.
2. Обзор модели транспортных потоков в основе COS.SIM.
3. Программный пакет COS.SIM
4. Результаты верификации и валидации COS.SIM
5. Текущие и будущие направления работ
6. Резюме доклада

Возможности COS.SIM

- Создание моделей дорожных сетей любых конфигураций
- Проведение процессов моделирования
- Наблюдаение за процессом моделирования в реальном времени
- Сбор широкого спектра данных в реальном времени
- Формирование итогового отчета по результатам моделирования
- Пакетный запуск моделирования на высокопроизводительных параллельных компьютерах

Програмный пакет COS.SIM

- **Road Editor**

Графический редактор моделей дорожных сетей

- **Simulation Engine**

Модуль численного моделирования

- **Visualizer**

Графический интерфейс пользователя для взаимодействия с SE и визуализации процесса моделирования

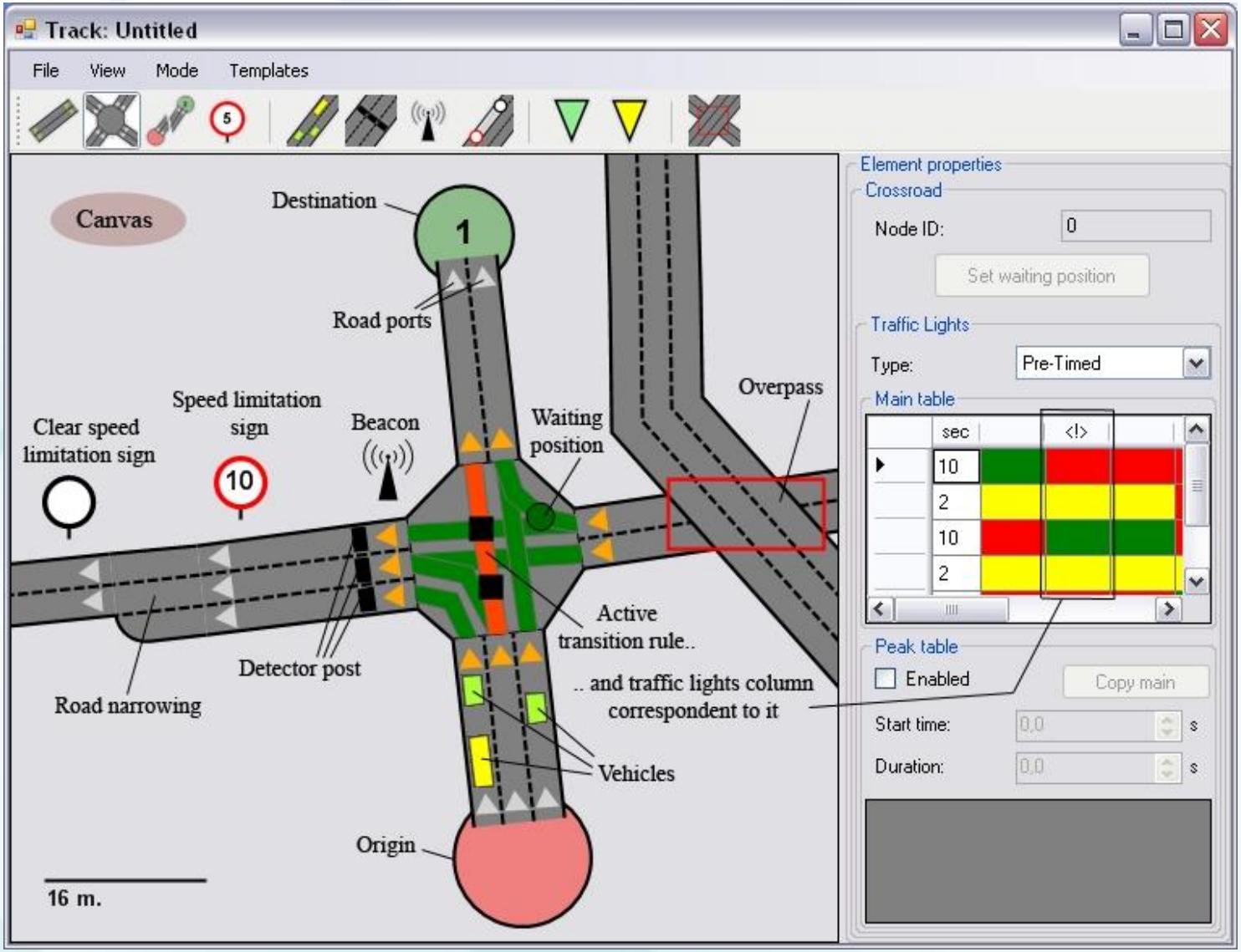
- **Report Viewer**

Просмотрщик отчетов о результатах моделированиях

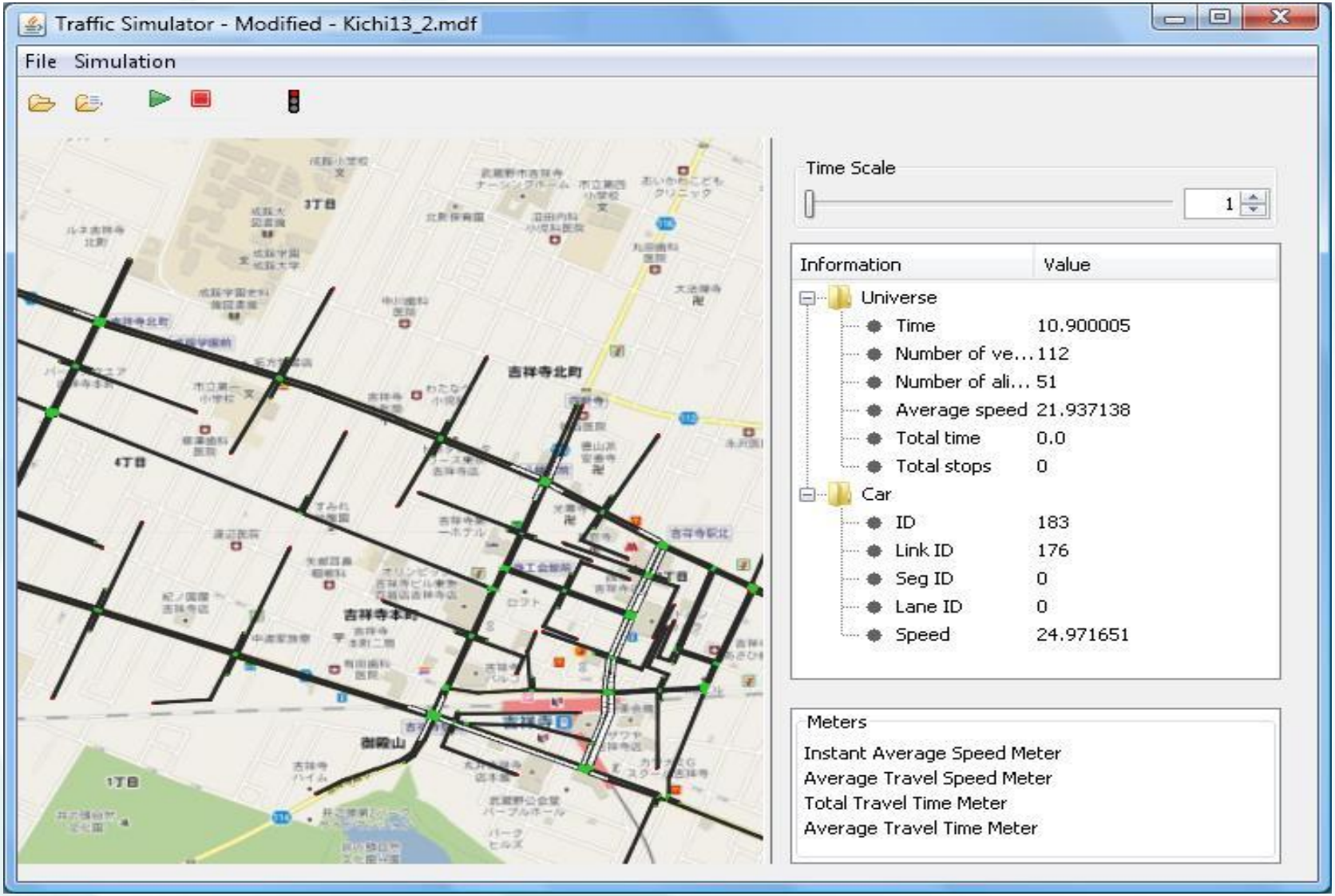
- **Batch Processor**

Модуль для пакетного запуска нескольких процессов моделирования на высокопроизводительных компьютерах

Road Editor
Редактор моделей дорожных сетей



Визуализатор процесса моделирования



Сбор данных
Система измерителей

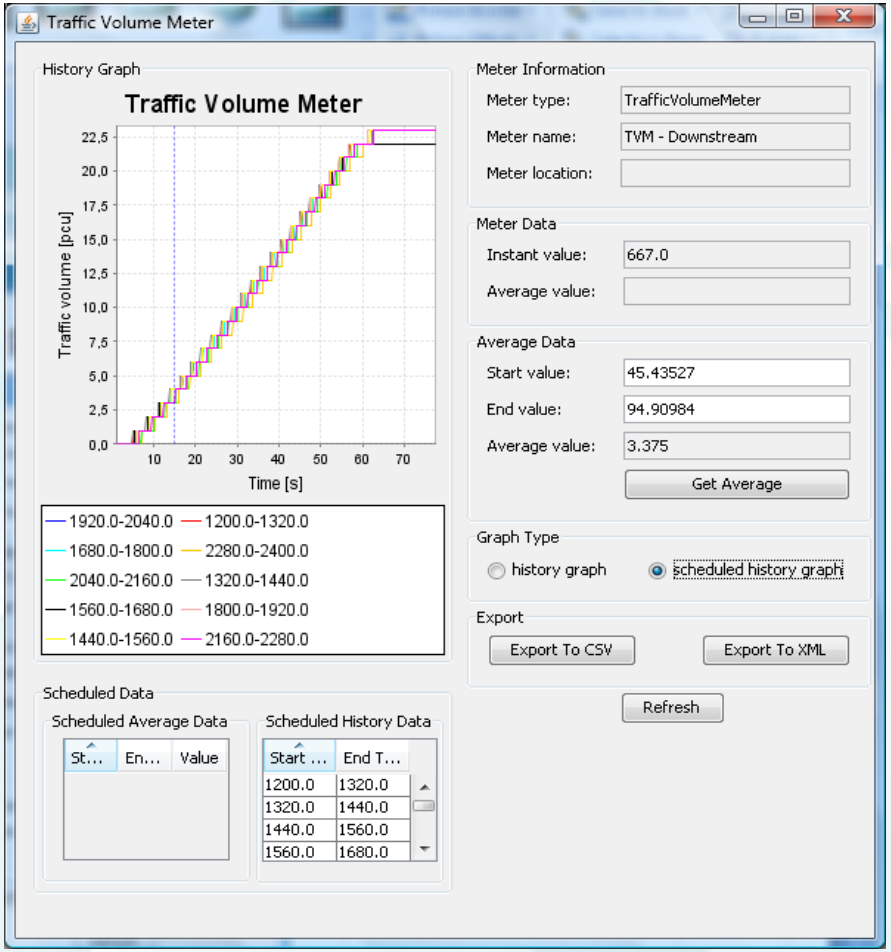
Локальные измерители

1. Объем транспортного потока
2. Мощность транспортного потока
3. Плотность транспортного потока
4. Средняя путевая скорость на заданном участке
5. Средняя путевая скорость на заданной дороге
6. Временная задержка между появлением транспортных средств в заданной точке
7. Комбинированный измеритель «Плотность-Мощность Потока»

Глобальные измерители

1. Средняя мгновенная скорость
2. Средняя путевая скорость
3. Среднее время в пути
4. Суммарное время в пути всех автомобилей

Режимы работы измерителей



Каждый измеритель может работать в одном или нескольких следующих режимах:

- Мгновенное значение
- Среднее значение
- История значений
- Среднее значения за заданный период
- История значений за заданный период

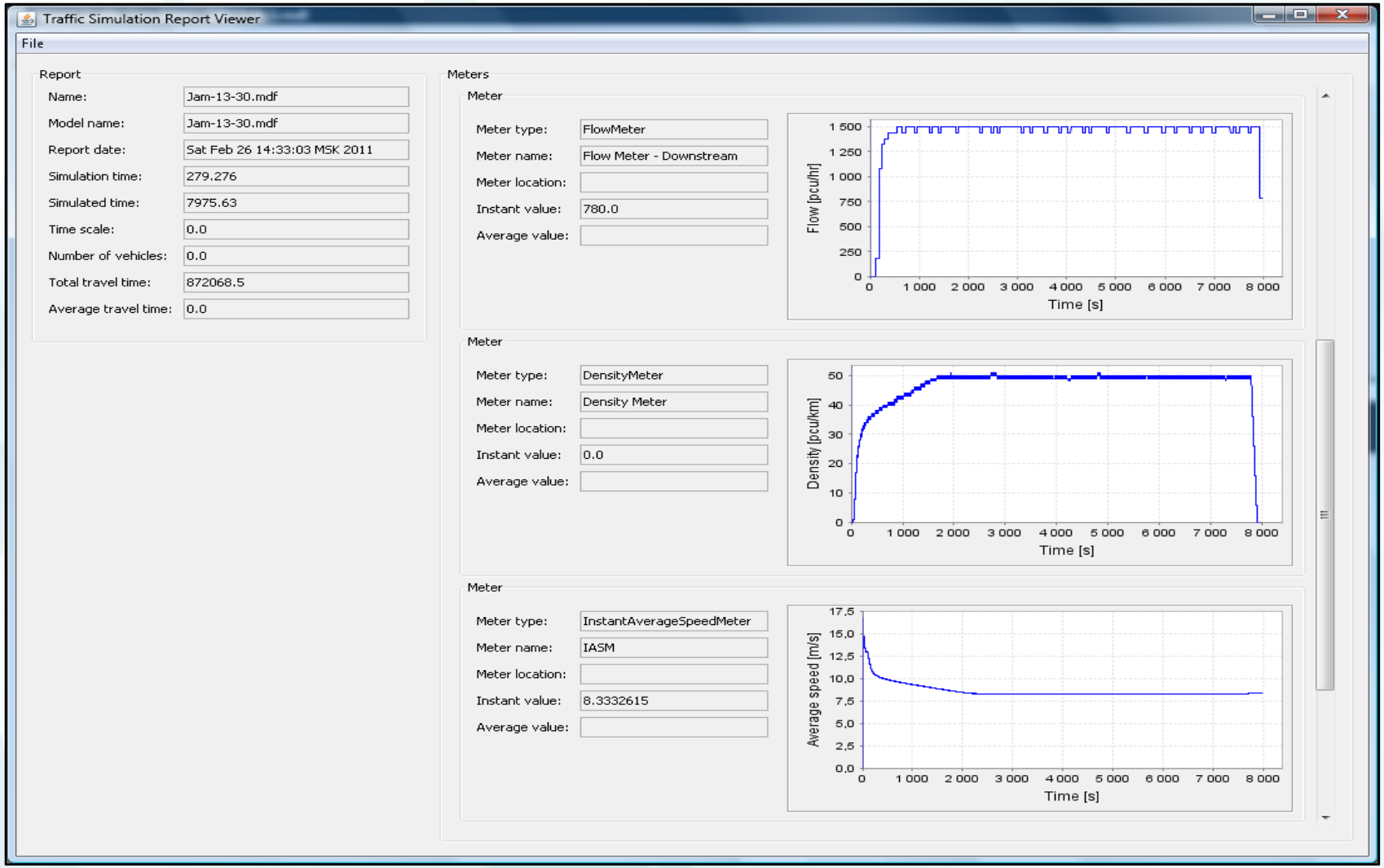
Отчет о результатах моделирования

После проведенного процесса моделирования формируется и сохраняется в файл итоговый отчет. Отчет, наряду с данными со всех установленных на модель измерителях, содержит общую информацию о проведенном процессе моделировании.

Содержание итогового отчета

- Полная информация со всех измерителей в модели
- Имя модели (карты)
- Время запуска
- Продолжительность моделирования
- Средний фактор свертывания времени
- Другие итоговые характеристики процесса моделирования

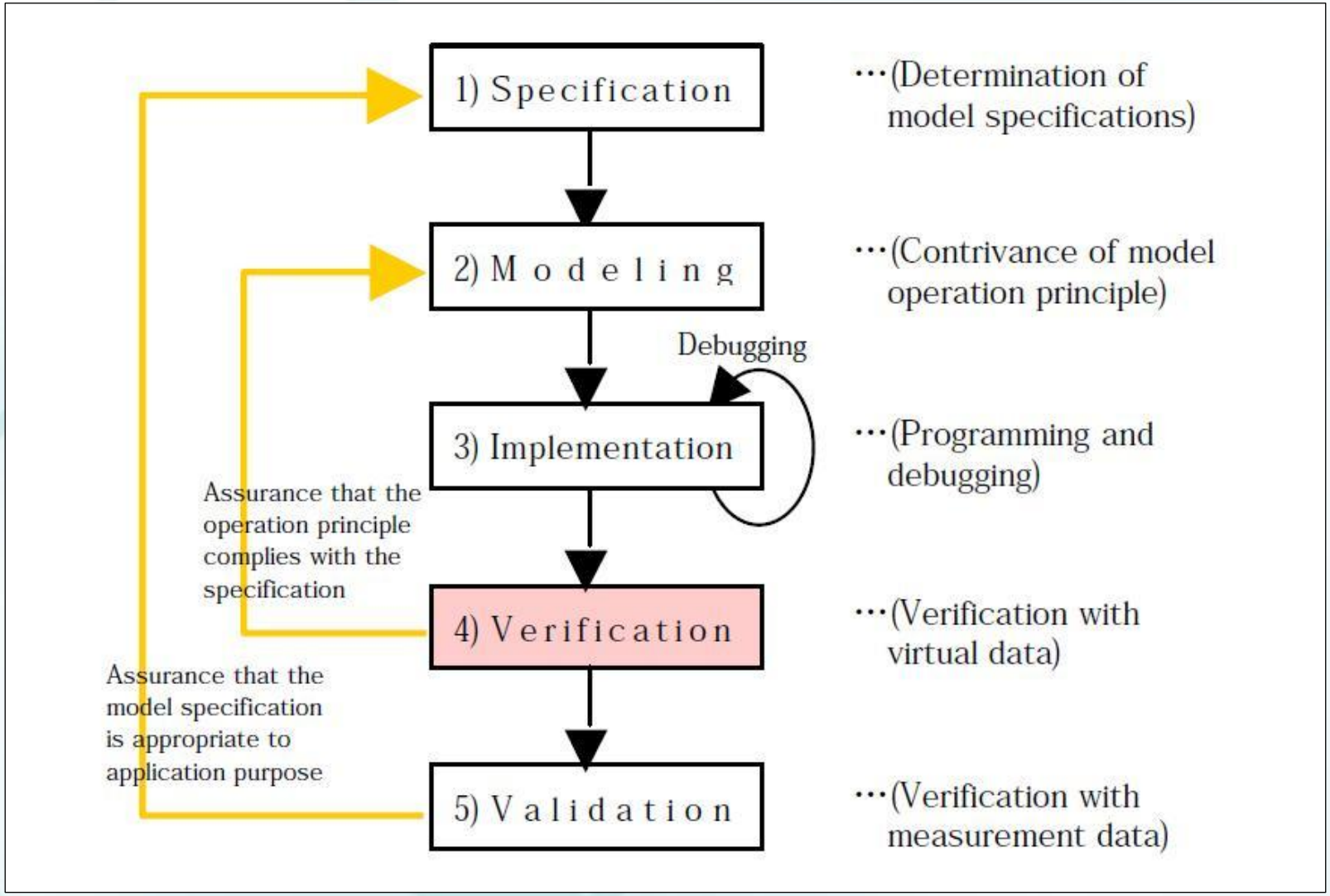
Просмотреть файл итогового отчета можно с помощью Report Viewer



План доклада

1. Общие сведения о компьютерном моделировании транспортных потоков, агентном моделировании и системе COS.SIM.
2. Обзор модели транспортных потоков в основе COS.SIM.
3. Программный пакет COS.SIM
4. Результаты верификации и валидации COS.SIM
5. Текущие и будущие направления работ
6. Резюме доклада

Верфикация и валидация



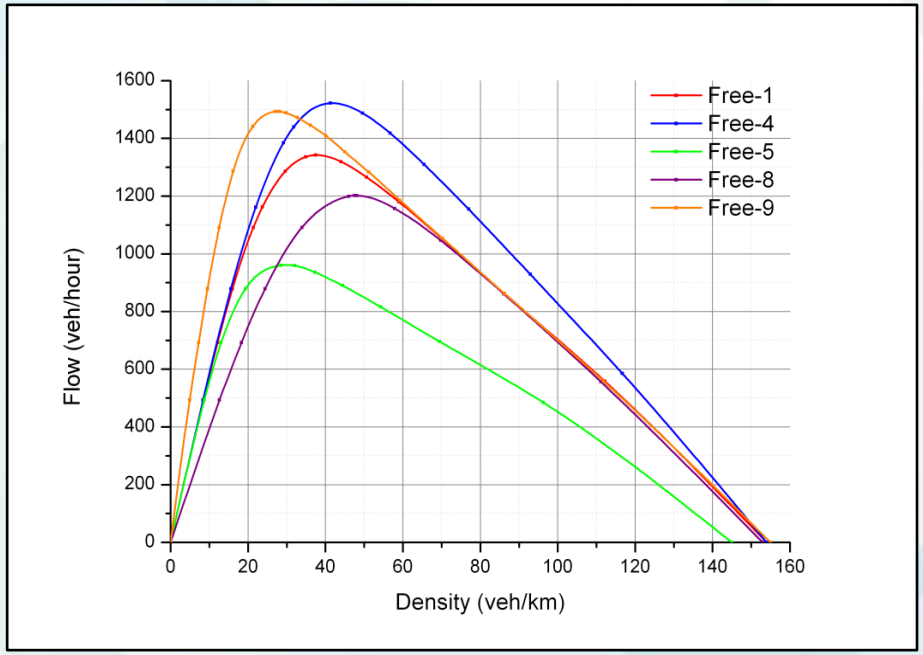
Содержание процедуры верификации

Проведение процедуры верификации подразумевает исследование влияния параметров модели на такие характеристики транспортных потоков как:

1. Состояние транспортного потока в терминах плотности и интенсивности
2. Пропускная способность перекрестка
3. Динамика распространения транспортных волн по потоку
4. Соотношения между мощностями сливающихся потоков
5. Пропускная способность левого поворота на простом перекрестке

Связь параметров модели с интенсивностью и плотностью потока

Наибольшее влияние на характеристики потока в стационарном состоянии оказывают параметры **максимальной скорости** (кривые Free-8,9) и **временной задержки** между автомобилями (кривые Free-4,5).

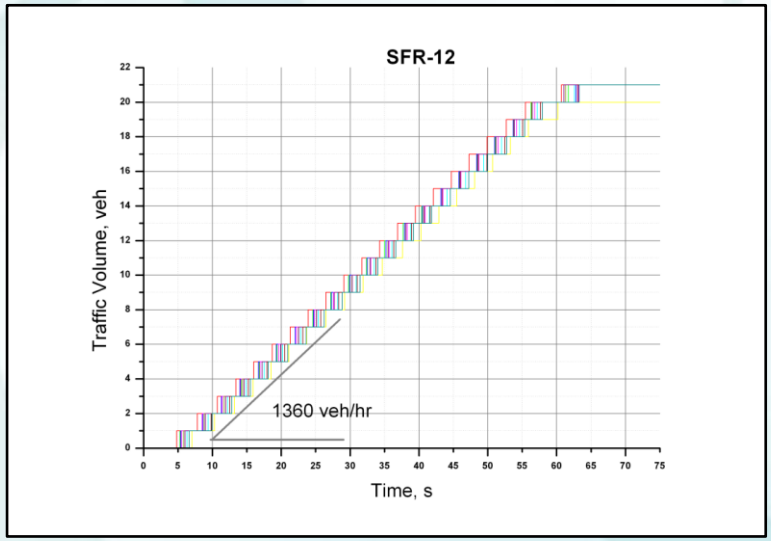


Такие параметры как **максимальное ускорение** и **доля грузовых автомобилей** в потоке почти не влияют на вид фундаментальной диаграмы трафика.

Интенсивность насыщенного потока на регулируемом перекрестке

Насыщенный поток на регулируемом перекрестке - установившийся поток автомобилей после открытия пути зеленым сигналом светофора.

На мощность потока насыщения через открытый светофором перекресток так же наибольшее влияние оказывают параметры максимальной скорости и временной задержки.



Интенсивность насыщенного потока перекрестка всегда несколько больше пропускной способности стационарного потока.

Динамика распространения транспортных волн

Динамика распространения транспортных волн в случае переменной мощности входящего потока и наличия «бутылочного горлышка».

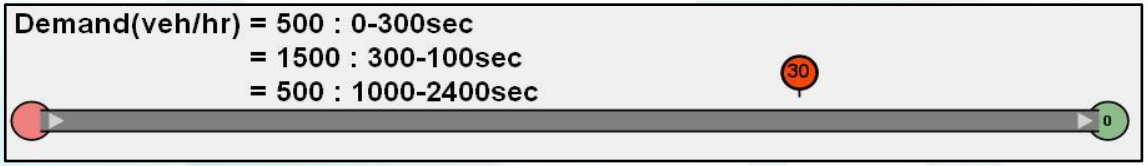
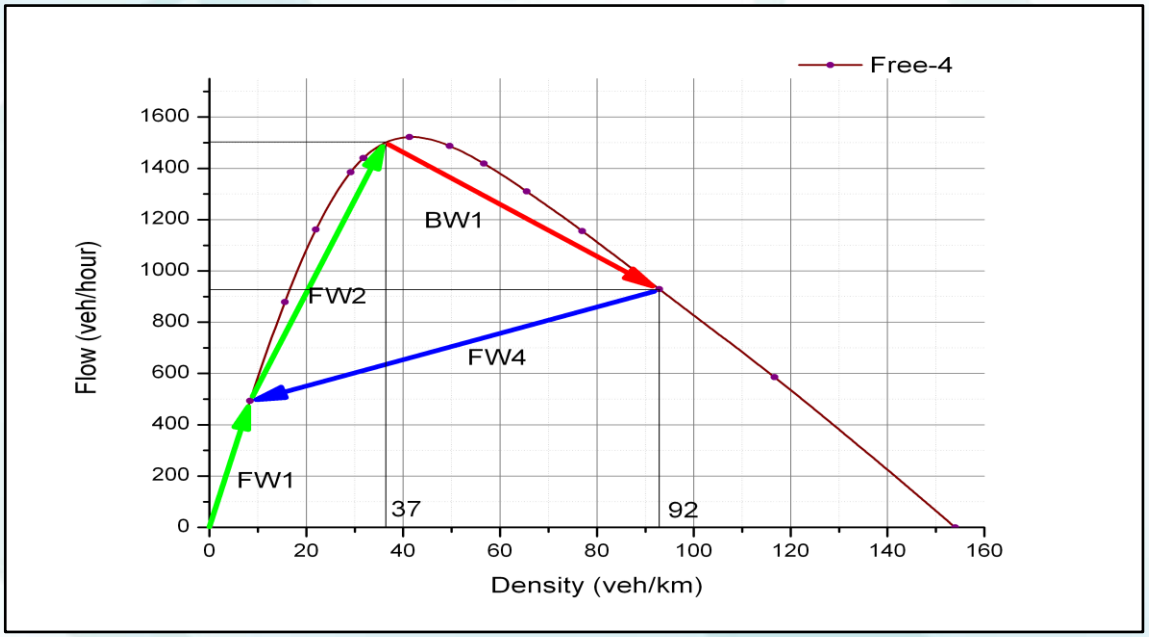


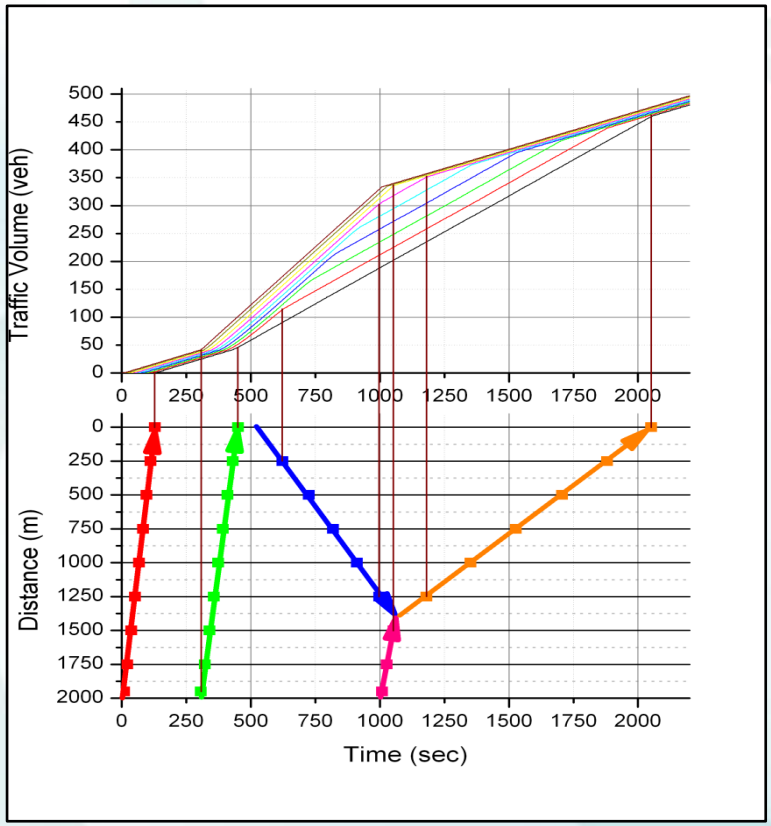
Схема дорожной ситуации



Диаграма трафика с 4-мя векторами транспортных волн

Динамика распространения транспортных волн

Динамика распространения транспортных волн в случае переменной мощности входящего потока и наличия «бутылочного горлышка».

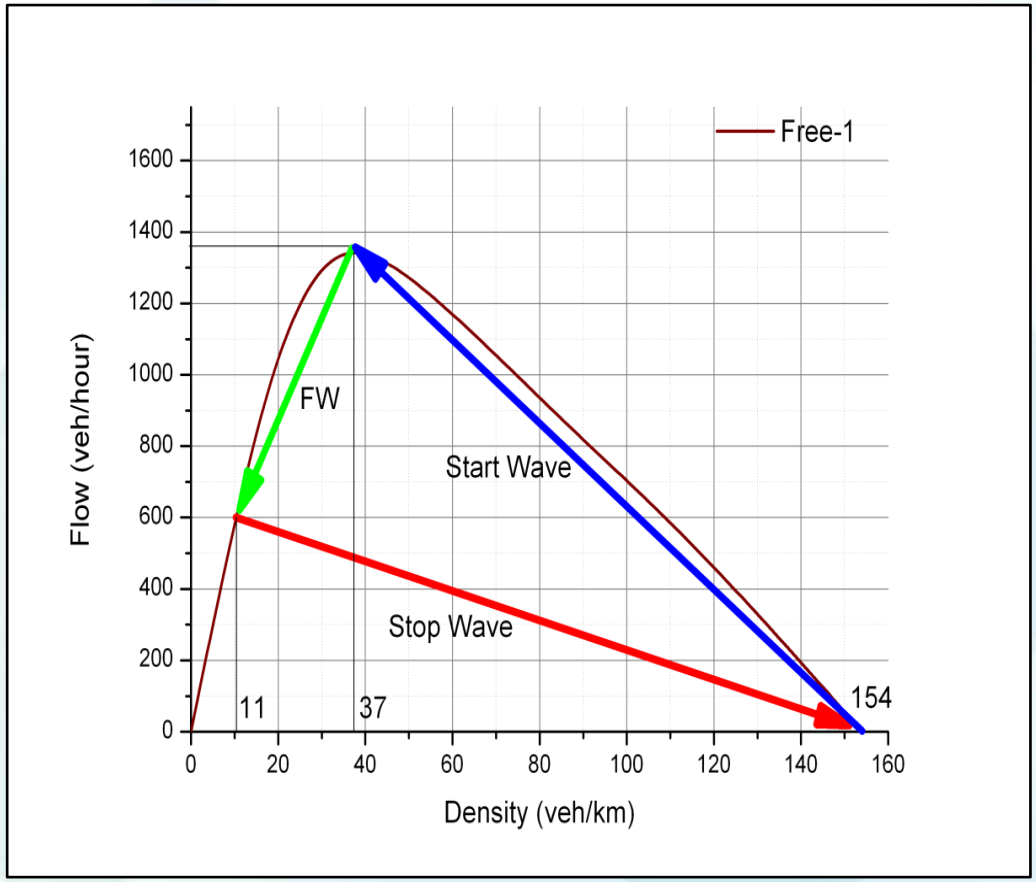


Диаграма распространения состояния транспортного потока вдоль дороги.

Скорости распространения транспортных волн		
Волна	**Теоретическая скорость, км/ч**	**Фактическая скорость, км/ч**
FW1	59	59
FW2	40	49
BW1	-10,2	-9,6
FW3	40	36
FW4	5,2	5,1

Динамика распространения транспортных волн

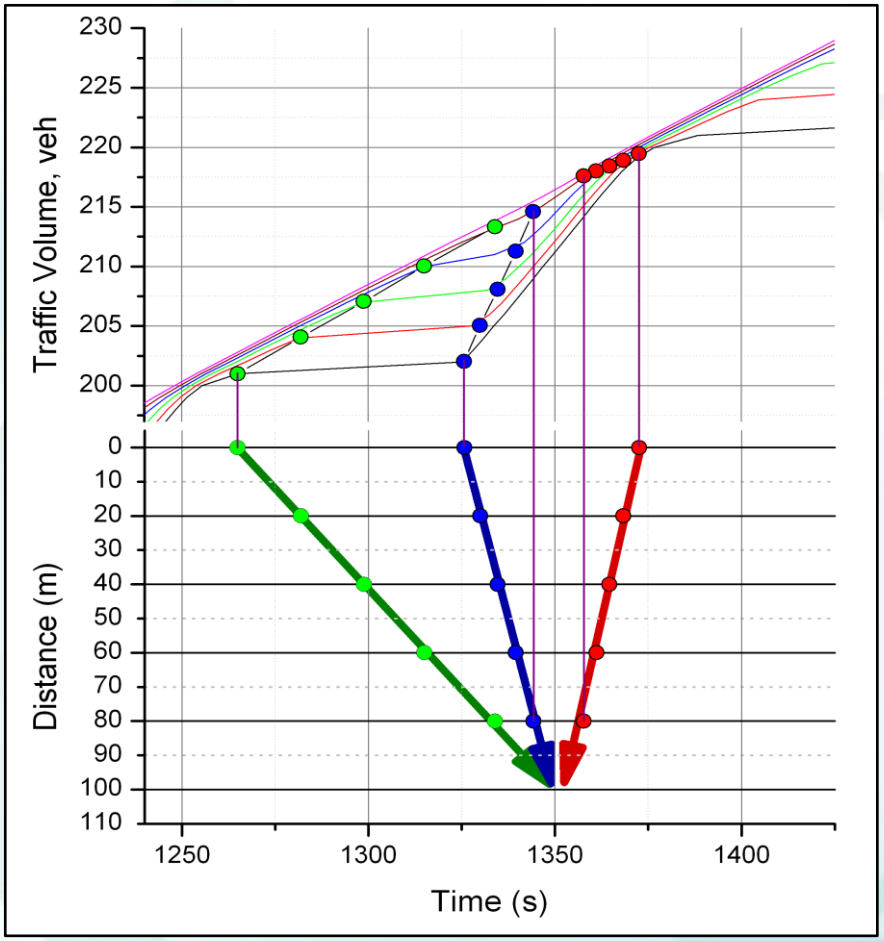
Динамика распространения транспортных волн, индуцируемых регулируемым перекрестком.



Диаграма трафика и вектора транспортных волн, индуцируемых регулируемым перекрестком.

Динамика распространения транспортных волн

Динамика распространения транспортных волн, индуцируемых регулируемым перекрестком.

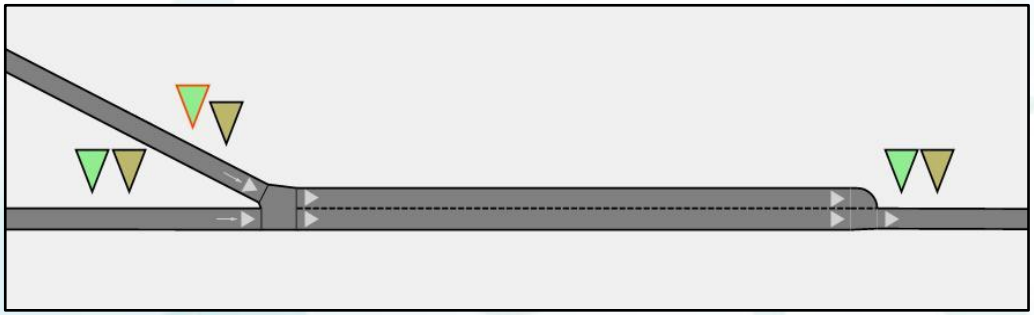


Диаграма распространения состояния транспортного потока возле регулируемого перекрестка.

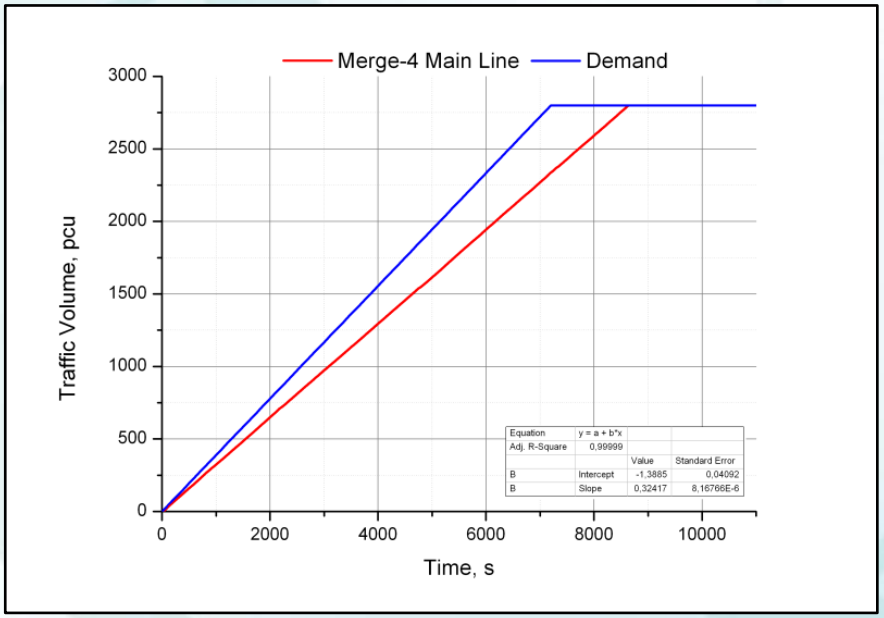
Скорости распространения транспортных волн		
Волна	**Теоретическая скорость, км/ч**	**Фактическая скорость, км/ч**
Stop Wave	-4,2	-4,2
Start Wave	-11,7	-15,5
Frwrd Wave	29,6	19,5

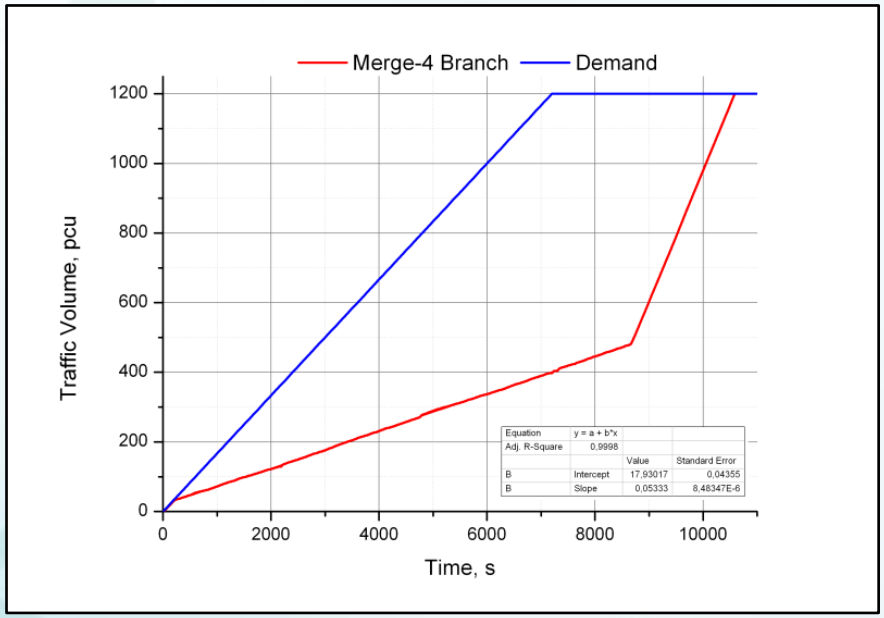
Соотношения мощностей сливающихся потоков

Слияния главной и второстепенной дорог с разгонным участком длиной 100 метров

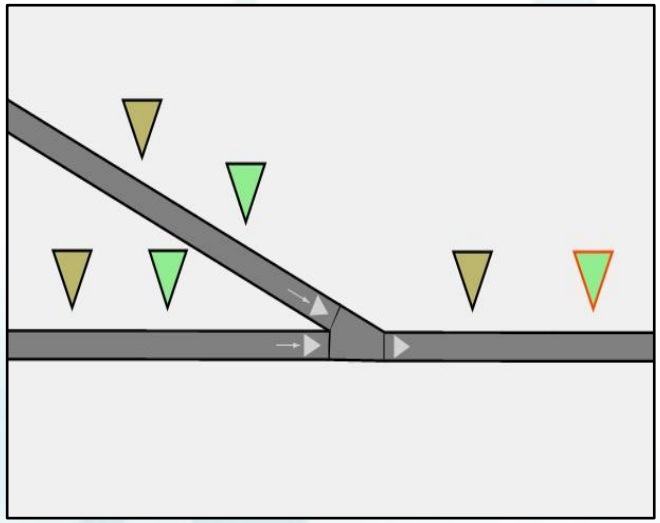


На второстепенной дороге образуется затор.



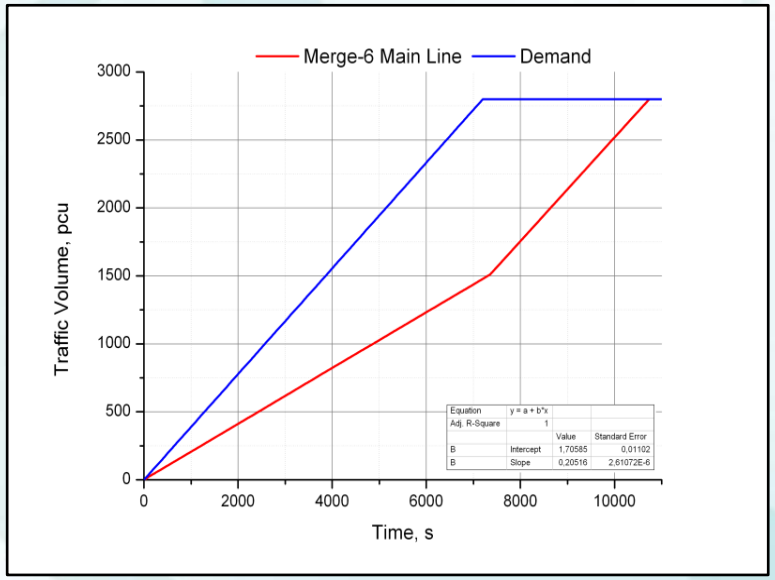


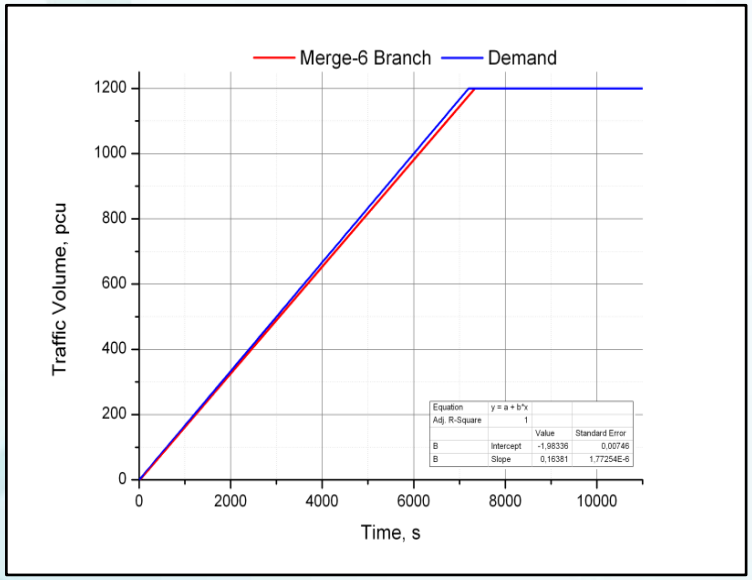
Соотношение интенсивностей при слияния равнозначных дорог



Пропускная способность области слияния делится поровну.

На примыкающей дороге (в отличие от прямой) пробки не образуется, так как мощность входящего потока меньше пропускной способности.

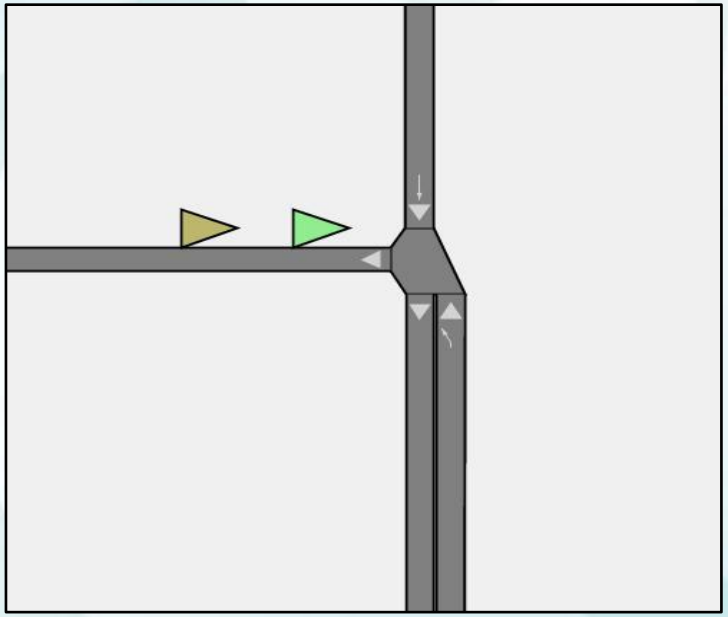


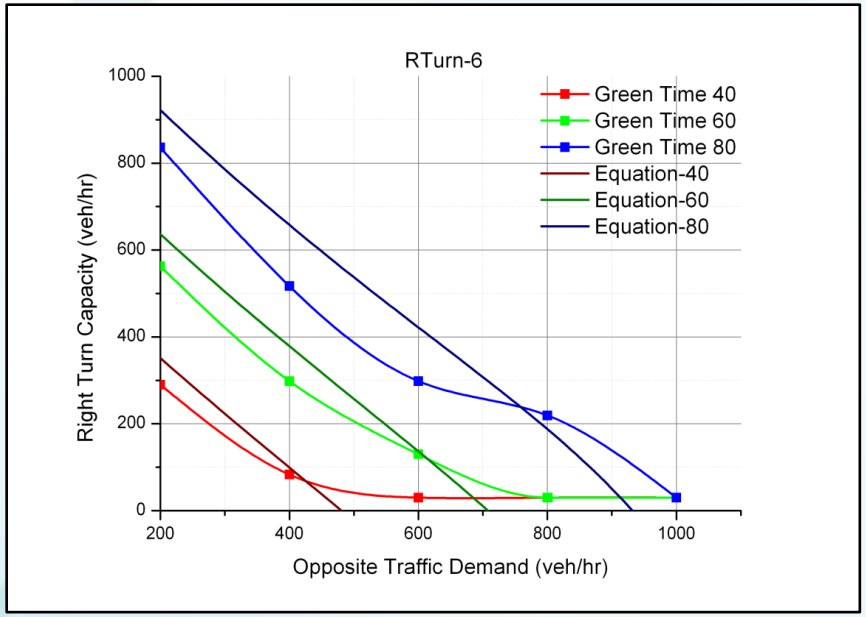


Пропускная способность левого поворота на простом перекрестке

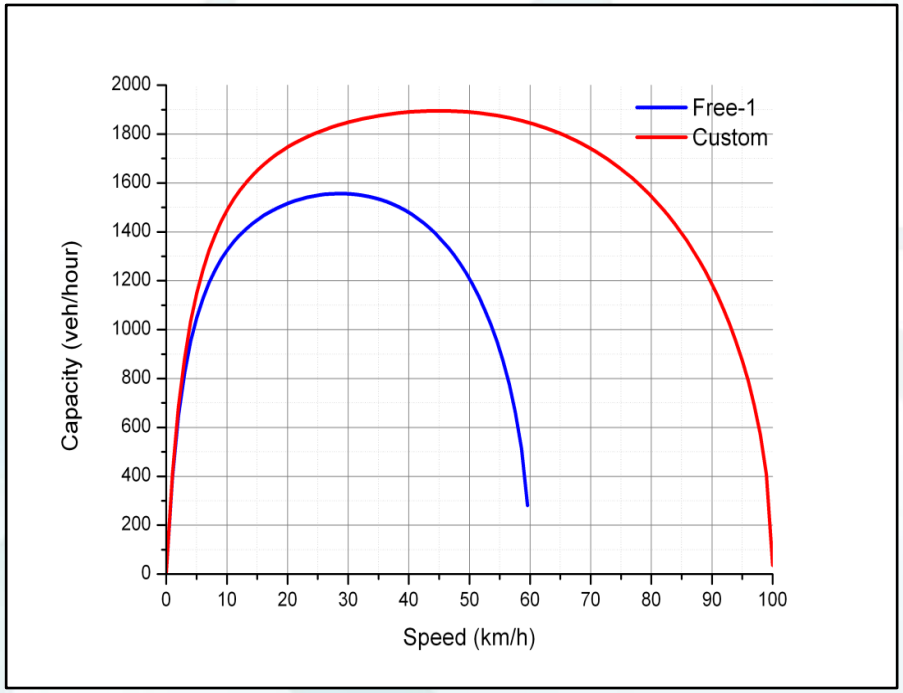
Эмпирическая формула пропускной способности левого поворота в зависимости от интенсивности встречного потока и параметров светофорной сети.

$$F_{rt} = 1800 f \frac{(F_{sat}G - F_{opp}C)}{(F_{sat} - F_{opp})C} + 3600K/C$$





Интенсивность стационарного потока согласно модели IDM



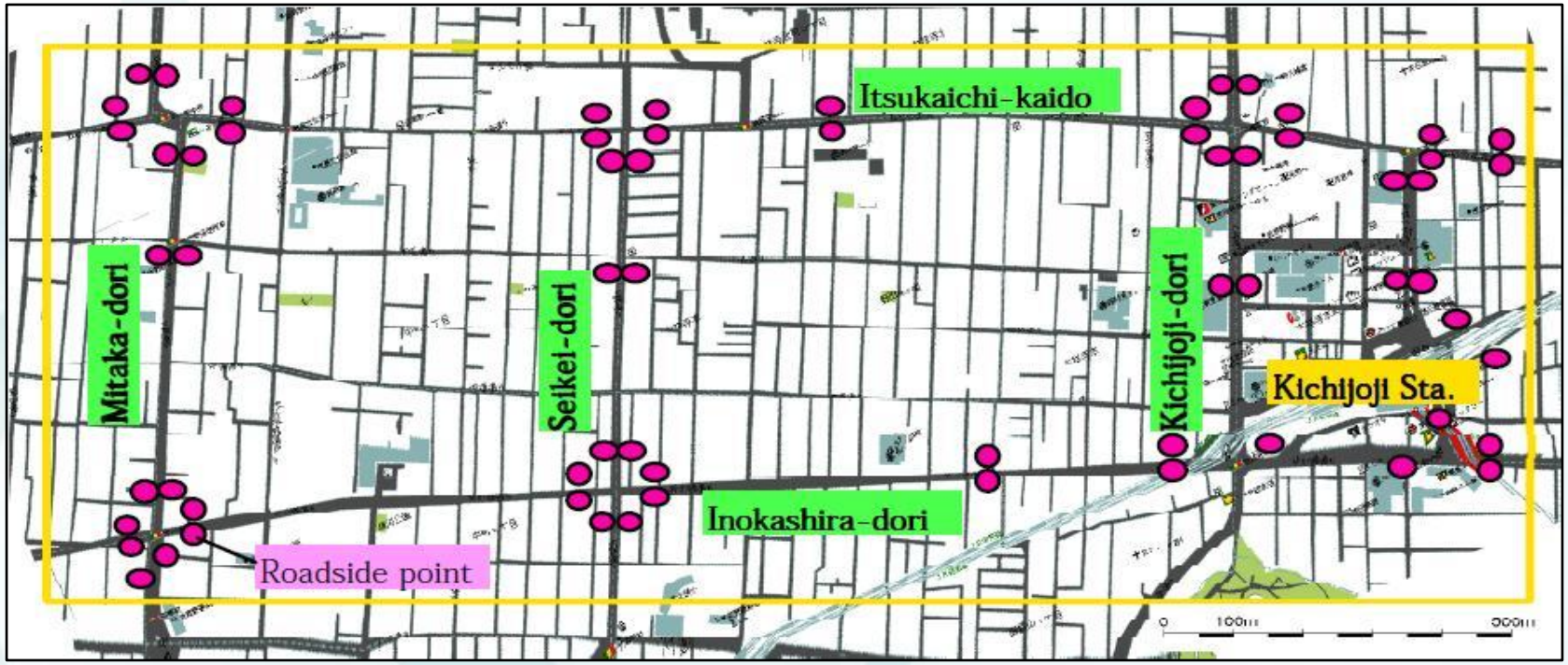
$$F = v\frac{\sqrt{1-(v/v_{max})^{\delta}}}{s_{min}+vT}$$

Выражение для пропускной способности в зависимости от скорости транспортного потока в стационарном состоянии согласно модели IDM.

Максимальная пропускная способность согласно модели IDM достигается при скоростях потока от 25 до 50 км/ч и сильно зависит от характеристик водителя.

Валидация COS.SIM

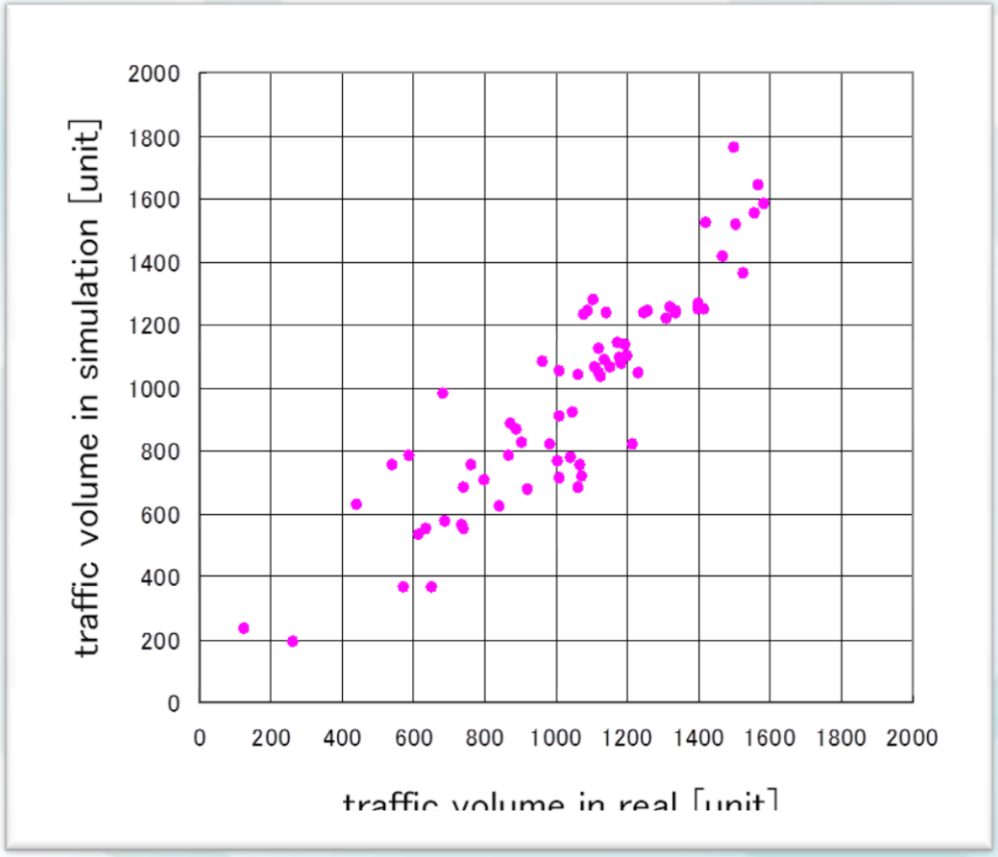
Процедура валидации модели на основании эталонных данных Общества Транспортных Инженеров Японии (Japan Society of Traffic Engineers).



BENCHMARK DATA SET FOR VALIDITY EVALUATION OF ROAD NETWORK SIMULATION MODELS (Ryota HORIGUCHI, 1998)

Результаты валидации

Достигается коэффициент корреляции 0.9 при сравнении объемов транспортных потоков с эталонным набором данных.



Объем транспортных потоков измерялся в течение 2х часов утром в 70 точках внутри квартала площадью 2км^2 в Токио.

Текущие работы

1. Разрабатывается фреймворк системы агентного моделирования COS.ABSF для высокопроизводительных вычислительных комплексов
2. Совершенствуется и расширяется модель поведения водителя
3. Изучается возможность создания Интеллектуальной Транспортной Системы на основе принципа DUO(Prediction Enabled Dijkstra’s Algorithm и другие).
4. Разрабатываются принципы организации движения на основе перспективных технологий беспроводной связи и автоматического управления автомобилями (так называемые автомобильный кластера, «Vehicle Platoons»).

Текущие работы

5. Разрабатывается «наномодель» автомобиля с интеллектуальной бортовой системой и средствами беспроводной связи. Апробируются принципы формирования автомобильных кластеров на программных моделях движения автомобиля.
6. Создается программно-аппаратный комплекс COS.I-VEHICLE – модель интеллектуального автомобиля, оснащенного бортовым компьютером, средствами беспроводной связи (WiFi, FM), набором датчиком и систем позиционирования (GPS, инерциальные системы позиционирования).
5. COS.I-VEHICLE будет использоваться в качестве стенда для апробации принципов формирования автомобильных кластеров и других технологий.

Распараллеливание фреймворка агентного моделирования COS.ABSF

Разрабатывается версия фреймворка (каркаса архитектуры прогаммной системы) агентного моделирования COS.ABSF (на котором основывается программный код COS.SIM) для:

- многопроцессорных систем с общей памятью
- высокопроизводительных параллельных вычислительных комплексов на основе интерфейса MPI.

Предварительные оценки позволяют предполагать возможность моделирования в реальном времени транспортной ситуации Москвы (200-300 тыс. автомобилей) на вычислительных комплексах средней мощности (ВВК «МФТИ-60»).

Резюме

1. Разработана система моделирования транспортных потоков COS.SIM, базирующаяся на принципах:
   - Агентного подхода к моделирования
   - Открытого ПО (New BSD License)
   - Модульности и расширяемости
2. Система COS.SIM требует:
   - Совершенствования модели поведения водителя
   - Расширения способов ввода информации о трафике (калибровка в реальном времени, гибкие способы задания O/D Tables)
   - Повышения производительности моделирования
3. На основе COS.SIM и смежных разработок ведутся перспективные исследования в области “Intelligent Vehicles”.

Литература

1. *Панасюк Я.С.* Мультиагентное моделирование потоков транспортных средств с автоматизированными управляющими системами на борту // Труды 52-й научной конференции МФТИ. — 2009. — Ч. 5. Т. 2. — С. 92 – 95.
2. *Панасюк Я.С., Малых В.А., Мануйлов В.А., Дудинов И.К., Черняк Г.М.* Агентное моделирование автотранспортных потоков // Труды 53-й научной конференции МФТИ. — 2010. — Ч. 5. — С. 130 – 131.
3. *Treiber M., Hennecke A., Helbing D.* Congested Traffic States in Empirical Observations and Microscopic Simulations // Physical Review E. — 2000. — V. 62. — P.1805--1824.
4. *M. Treiber and D. Helbing*, Realistische Mikrosimulation von Straßenverkehr mit einem einfachen Modell // 16. Symposium "Simulationstechnik ASIM 2002" Rostock, 10.09 -13.09.2002, edited by Djamshid Tavangarian and Rolf Grutzner pp. 514--520.
5. *Treiber M., Kesting A.* Modeling Lane–Changing Decisions with MOBIL // Traffic and granular flow. — 2009. — Part I. — P. 211--221.

Литература

6. *Ryota Horiguchi, Masao Kuwahara.* Verification process and its application to network traffic simulation model. - Journal of Advanced Transportation. Volume 36, Issue 3, p.243–264, Autumn (Fall), 2002.
7. *Дудинов И.К.,* Оптимизация средств визуализации информации симулятора потоков транспортных средств // Труды 53-й научной конференции МФТИ. — 2010. — Ч. 5. — С. 112 – 113.
8. *Малых В.А.,* Моделирование процесса радиообмена в рамках симулятора потоков транспортных средств. // Труды 53-й научной конференции МФТИ. — 2010. — Ч. 5. — С. 118 – 119
9. *Мануйлов В.А., Малых В.А.,* Исследование кластерной системы в рамках симулятора потоков транспортных средств. // Труды 53-й научной конференции МФТИ. — 2010. — Ч. 5. — С. 120 – 122.
10. *Черняк Г.М.* Построение приложений с возможностью отмены команд. // Труды 53-й научной конференции МФТИ. — 2010. — Ч. 5. — С. 133 – 134.

Литература

11. Ryota HORIGUCHI, Toshio YOSHII, Hirokazu AKAHANE, Masao KUWAHARA, Masahiko KATAKURA, Haruo OZAKI, Takashi OGUCHI, A BENCHMARK DATA SET FOR VALIDITY EVALUATION OF ROAD NETWORK SIMULATION MODELS // Proceedings of 5th World Congress on Intelligent Transport Systems, Seoul, 1998