

# Слабо связанная архитектура модели поведения водителя и ее применение в COS.SIM

Панасюк Ярослав

ЗАО «ЦОСиВТ»

МФТИ

# Проблема построения «микроскопической» агрегированной модели поведения водителя

- Обширный перечень требований к модели поведения водителя (опорные модели и общие правила)
- Количество комбинаций дорожных ситуаций экспоненциально зависит от числа опорных моделей

Разработать агрегированную микроскопическую модель на основе полного перечня требований не простая задача.

Подчас, еще более сложной задачей является внесение изменений в уже готовую агрегированную модель.

# Существующие решения

Известные модели поведения водителей Aimsun(2), VISSIM(3) и MITSIM(4) для определения поведения водителей используют следующие техники:

- Простые иерархии условий
- Классификации дорожных ситуаций
- Комбинации классификаций и иерархий условий

## **Недостатки таких подходов**

- Громоздкость
- Отсутствие гибкости
- Непонятность и запутанность

Невозможно внести радикальные изменения в модель. Пользователю доступны только настройка отдельных параметров моделей либо, в исключительных случаях, собственная имплементация одной или двух опорных моделей.

## **Тесно связанная архитектура (closely coupled, high cohesion architecture)**

Компоненты системы тесно связаны друг с другом и/или функциональность компонентов слабо выражена.

Тесно связанная архитектура обычно рассматривается как недостаток программной системы.

## **Слабо связанная архитектура (loosely coupled)**

В противоположность тесно связанной архитектуре, стараются создавать системы, в которых компоненты слабо связанной между собой, т.е. не знают друг о друге вообще или это знание минимально.

# Постановка задачи

При разработке системы агентного моделирования автотранспортных COS.SIM (1), была поставлена задача разработать слабо связанную архитектуру модели поведения водителя, которая обеспечит:

- простоту расширения модели новыми опорными моделями (модель следования за лидером, модель перестроений, etc.)
- легкую настройку поведения водителя, посредством изменения или введения новых общих правил поведения (запреты, приоритеты, разрешения неопределенностей опорных моделей, границы применимости)

# Концепция мультикритериального выбора управляющей команды

Водитель принимает решение о том или ином действии на дороге руководствуясь множеством критериев.

Наблюдая окружающую его дорожную обстановку, водитель распознает ряд дорожных ситуаций, оценивает каждое возможное свое действие по нескольким аспектам и на основе этих оценок принимает наилучшее решение и передает автомобилю соответствующую управляющую команду.

Применим этот естественный принцип генерирования управляющей команды для имплементации модели поведения водителя.

## **Ключевые термины**

- *Распознаваемая дорожная ситуация* – стечение некоторых условий в окружающей дорожной обстановке, которые водитель интерпретирует как единый факт
- *Аспект поведения водителя* – процедура оценки управляющей команды с позиции определенной дорожной ситуации. При оценке управляющих команд аспект учитывает не только качественные, но и количественные характеристики дорожной ситуаций.

# Принципы оценки управляющих команд

- Оценка управляющей команды осуществляется по ряду независимых критериев
- Независимость критериев от конкретных математических моделей, лежащих в основе аспектов, принципиальна. Она обеспечивает ряд ключевых свойств предлагаемого фреймворка.
- Набор независимых критериев предоставляет унифицированный способ работы с дорожной обстановкой во всей ее возможной сложности.

# Математическая запись

Модель поведения водителя  $y^*=b(p)$ ,  $y^*$  из  $Y$ ,  $Y$  – множеств всех возможных управляющих команд.

Пусть  $\{C_i\}/_1^N$  – набор из  $N$  независимых критериев для оценки управляющих команд, а  $\{A^j\}/_1^M$  – набор из  $M$  аспектов поведения водителя

Обозначим как  $e(p, y)$  некоторую процедуру оценки управляющей команды  $y$  в условиях дорожной обстановки  $p$ .

Функция  $e(p, y)$  оценки задает векторное поле оценок на множестве альтернативных управляющих команд  $Y$ . Будем обозначать такое векторное поле оценок символом  $E$ .



# Математическая запись

Каждый аспект  $A^j$  оценивает управляющие команды в дорожной обстановке и задает, таким образом, векторное поле  $E^j(p)$ .

Оценку аспектом  $A^j$  управляющей команды  $u$  в дорожной обстановке  $p$  по критерию  $C_j$  обозначим как  $e_j^j(p, u)$ .

После того как все аспекты оценили управляющие команды и сформировали векторные поля  $\{E^j(p)\}_{j=1}^M$  оценок, такие оценки должны быть объединены в итоговое векторное поле оценок  $E^*(p)$ .

# Математическая запись

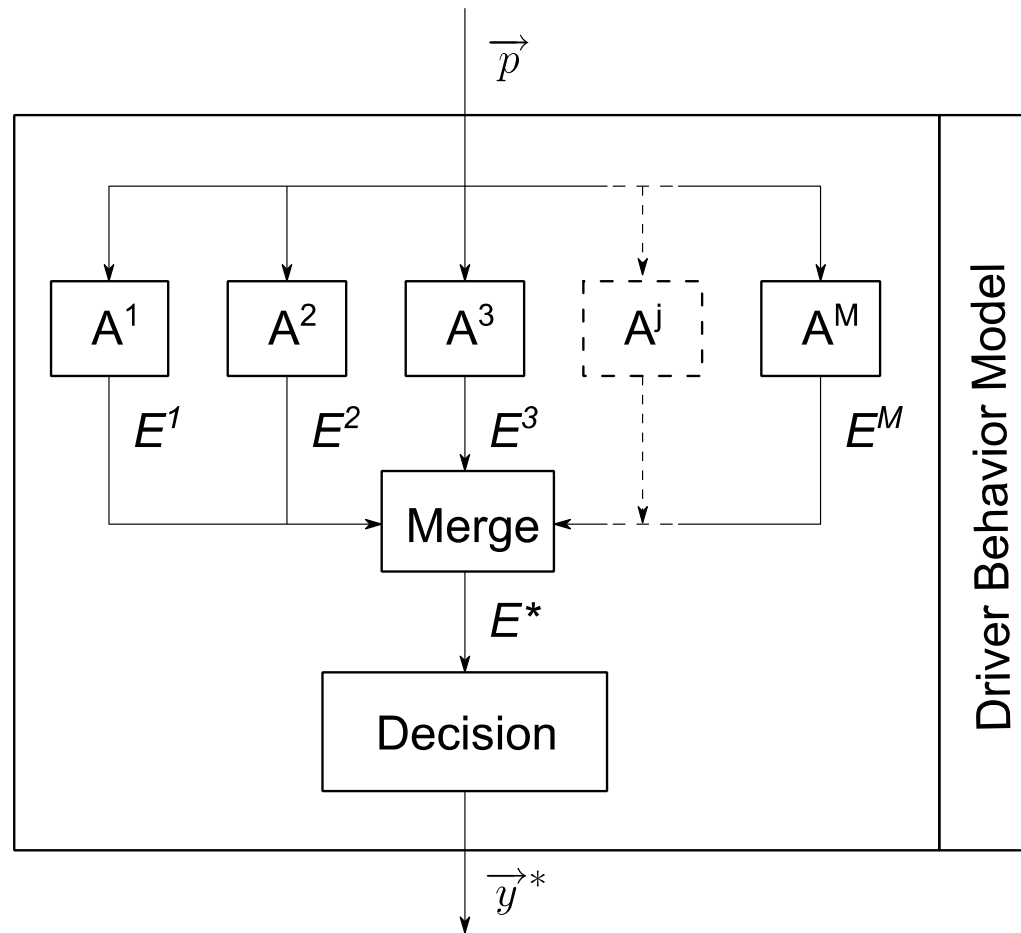
Благодаря независимости критериев оценки такое объединение может быть легко получено руководствуясь максимальной оценки каждой управляющей команды по каждому из критериев, а именно:

$$E^*(p): \text{ для любого } e^*(p, y) = (e_1^*(p, y), \dots, e_N^*(p, y)) \text{ из } E^*(p) \\ \text{справедливо } e_i^* = \max(e_i^1(p, y), \dots, e_i^M(p, y))$$

Когда получено итоговое векторное поле оценок, можно приступить к решению задачи мультикритериального выбора итоговой управляющей команды.

Процедуру решения задачи  $d$  опишем как  $y^* = d(E^*(p))$ .

# Принципиальная схема архитектуры модели поведения водителя



# Замечания по имплементации архитектуры

1. При применении архитектуры для имплементации модели поведения водителя определенной как набор опорных моделей и общих правил поведения, опорные модели могут быть отображены на аспекты поведения, а правила частично на аспекты и частично на процедуру решения мультикритериальной задачи.
2. Типичными критериями для решения об итоговой управляющей команды могут быть критерии соблюдение безопасности, подчинения правилам дорожного движения, желания двигаться как можно быстрее и другие.

# Анализ фреймворка

- Фреймворк отделяет конкретные математические модели, аспекты поведения водителя от непосредственного принятия решения об итоговой управляющей команде.
- Позволяет независимо друг от друга изменять аспекты поведения водителя и настраивать правила принятия решения об итоговой управляющей команде.
- Набор критериев является своего рода общим знаменателем, к которому приводятся все суждения водителя.
- Фреймворк не делает никаких предположений о природе критериев, множествах их оценок и способе решения мультикритериальной задачи, что дает большую свободу в применении его к любой транспортной модели.

# Два подхода к имплементации фреймворка

- Агрегирование через обобщение

Выбор набора критериев исходя из соображений максимальной общности и полноты с тем, чтобы с добавлением новых аспектов поведения не возникало необходимости вводить новые критерии выбора УК

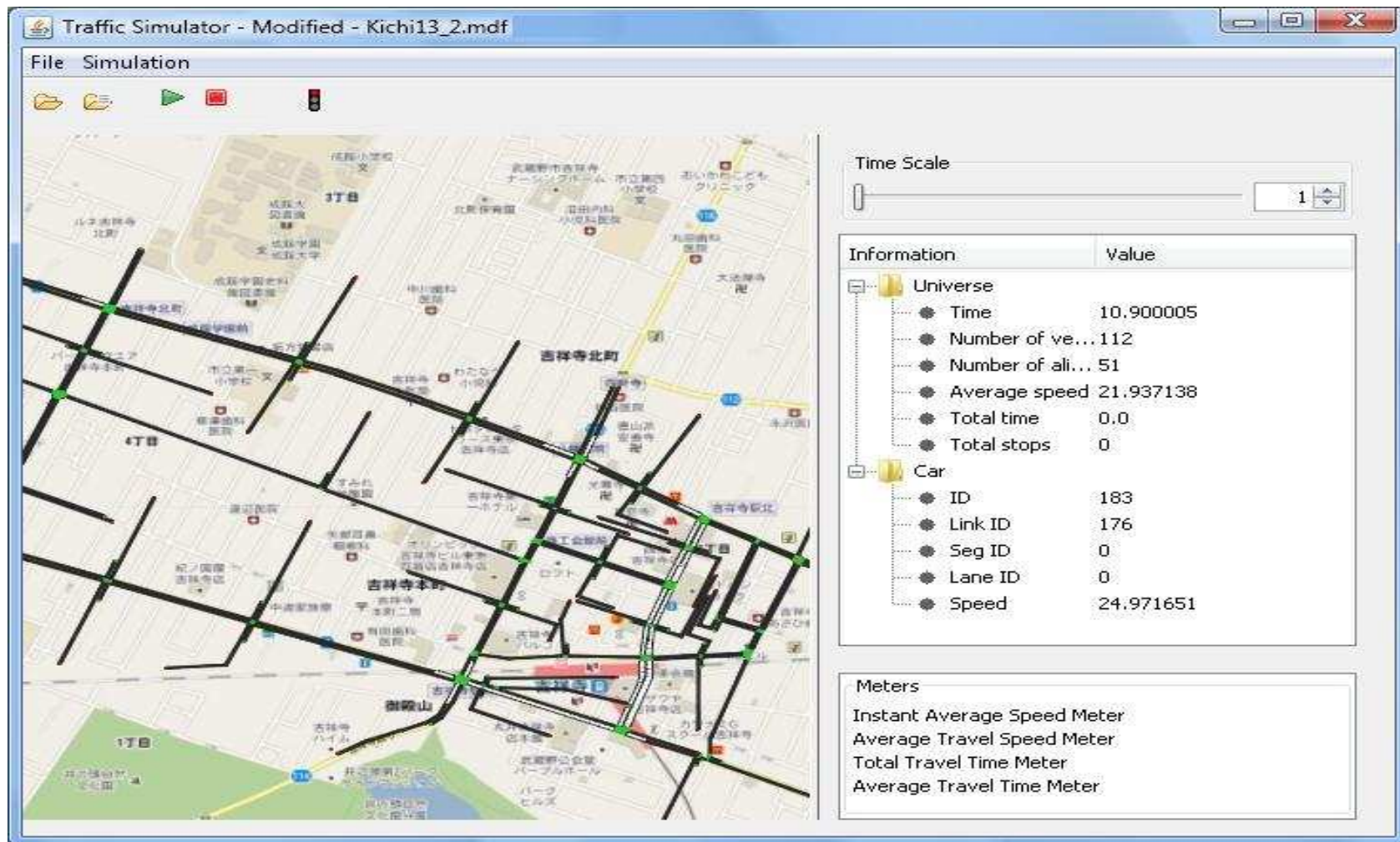
- Агрегирование через композицию

Создание такого способа решения мультикритериальной задачи, чтобы он был независим (или почти независим) от набора критериев, на основании которых решается задача выбора УК

# Применение фреймворка в COS.SIM

COS.SIM - система агентного микроскопического моделирования  
автотранспортных потоков с открытым исходным кодом (1).

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



# Допущения

В COS.SIM используется более 15 различных аспектов поведения водителя. Для упрощения описания работы фреймворка сделаем следующие упрощения и предположения:

- Ускорение автомобилю в каждый момент времени диктует модель поведения водителя и эта команда выполняется автомобилем без каких-либо изменений.
- Маневры перестроения являются дискретными и осуществляются мгновенно, особенности поворота руля автомобиля не моделируются.
- Вектор управляющей команды  $u$  состоит из двух компонентов – желаемого ускорения  $a$  из  $[-Infinity; +Infinity]$  и команды на перестроение  $turn$  из  $\{Left, Straight, Right\}$ :  $y=(a, turn)$ .



# Аспекты, критерии и процедуры оценки

#	Критерий	Аспект	Множество оценок	Процедура оценки
1	Comfort Lane Changing (CLC)	Comfort Driving	$(-\infty, \infty)$	УК оценивается по компоненте перестроения. Оценка равна условной привлекательности полосы, в сторону которой осуществляется перестроение
2	Comfort Acceleration (CA)		$(-\infty, \infty)$	Оценка УК с точки зрения комфортности команды ускорения. В простейшем случае водителя, желающего ехать как можно быстрее, совпадает со значением ускорения
3	Car Following Acceleration (CFA)	Car Following	$\{0,1\}$	1 если $a \leq a^*$ оценивается положительно, 0 в противном случае. $a^*$ - ускорение определяемой некоторой моделью следования за лидером
4	Mandatory Lane Changing (MLC)	Mandatory Lane Changing	$\{-1,0,1\}$	-1 если перестроение в сторону противоположную обязательной полосе, 0 если прямо и не на обязательной полосе, 1 если прямо на обязательной полосе или перестроение в сторону обязательной полосы
5	MLC Acceleration (MLCA)		$\{0,1\}$	1, если $a \leq a^*$ 0, otherwise $a^*$ - ускорение определяемое моделью приближения к перекрестку не на своей полосе
6	Traffic Light Acceleration (TLA)	Traffic Light	$\{0,1\}$	1 при $a \leq a^*$ 0, otherwise $a^*$ - ускорение определяемое моделью подчинения сигналам светофора
7	Acceleration Safety (AS)	Safety	$\{0,1\}$	1, ускорение не нарушает модели соблюдения безопасности, 0, otherwise
8	Lane Changing Safety (LCS)		$\{0,1\}$	1, команда перестроения не нарушает модели соблюдения безопасности 0, otherwise

# Решение мультикритериальной задачи

Основная идея, стоящая за решением мультикритериальной задачи, присвоение каждому критерию его строго приоритета относительно других критериев.

Приоритет критерия означает важность, обязательность или желательность рассмотрения этого критерия при выборе итоговой УК.

## Ключевое правило выбора УК

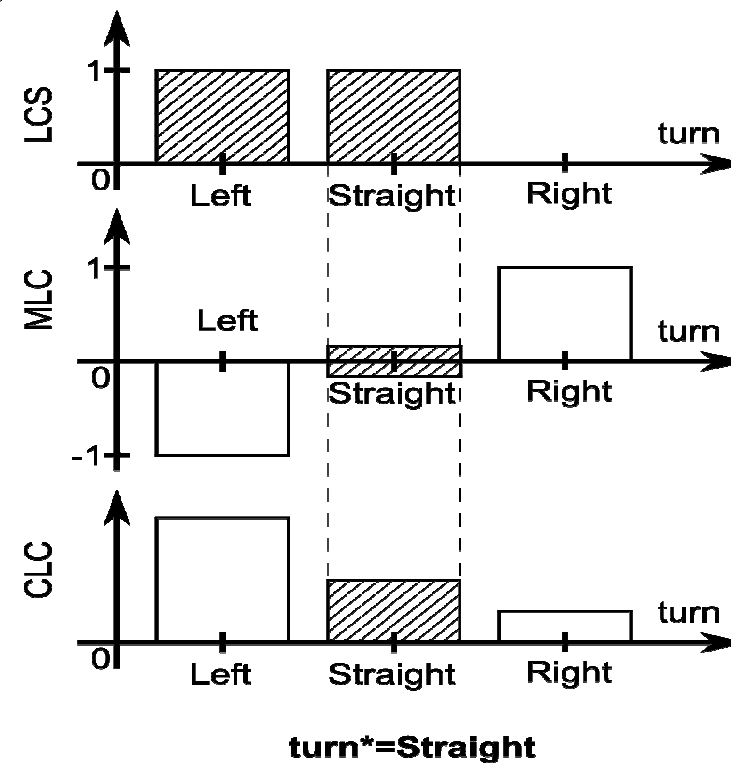
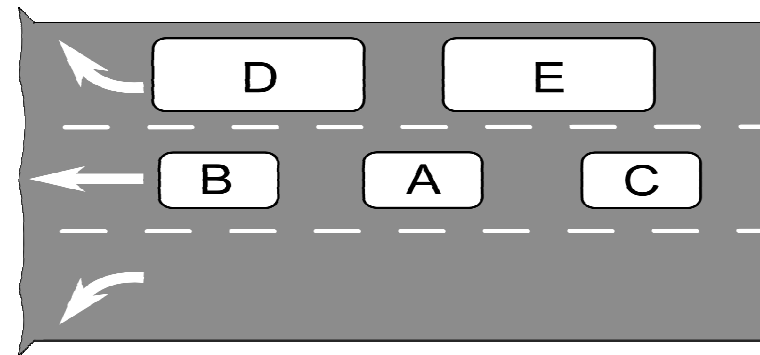
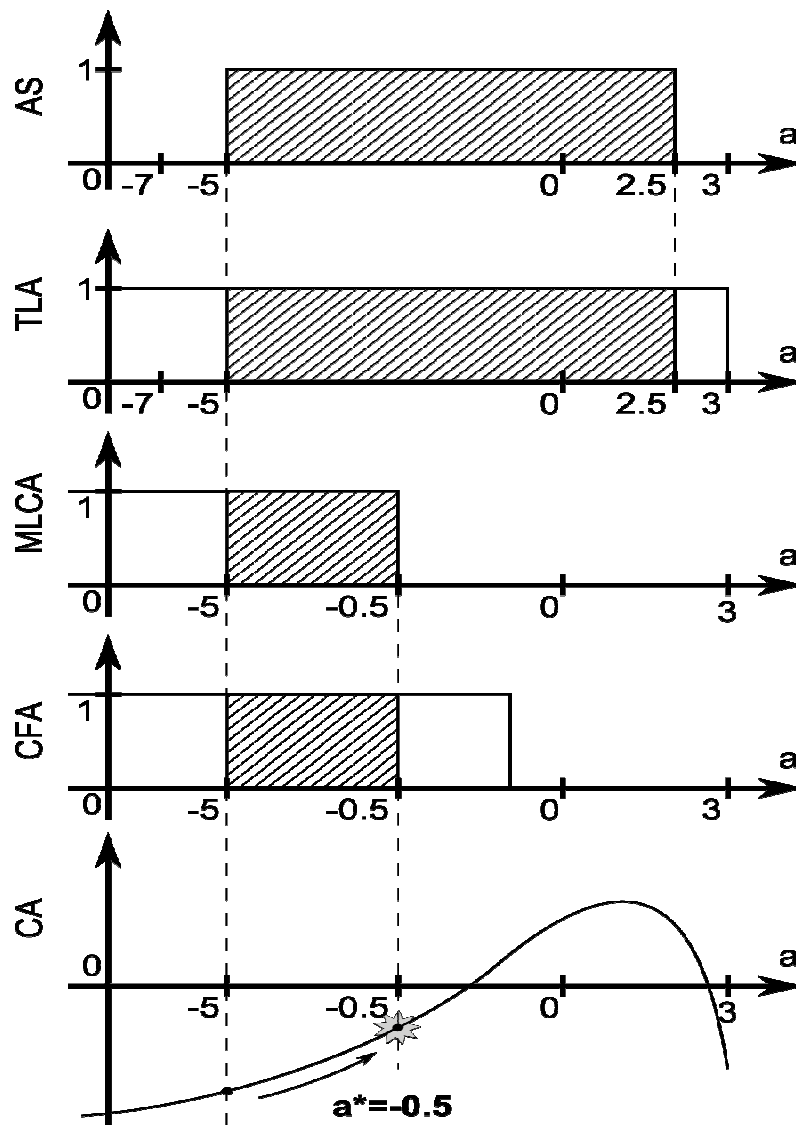
Решение мультикритериальной задачи будем искать такое, чтобы итоговая УК была оценена максимальным образом по наибольшему количеству критериев с учетом их приоритета.

Для любых двух критериев  $C_K$  и  $C_L$  таких, что  $Priority(C_K) > Priority(C_L)$ , и любых двух альтернативных команд  $y_1$  и  $y_2$  всегда предпочтем  $y_1$ , если:

1.  $C_K(y_1) > C_K(y_2)$ , даже если  $C_L(y_1) << C_L(y_2)$ .
2.  $C_L(y_1) > C_L(y_2)$ , в том и только том случае, когда  $C_K(y_1) = C_K(y_2)$ .

Если нашлось такое множество УК, для которых оценки по всем критериям совпадают, то должна быть выбрана простая детерминистическая функция выбора единственной УК из этого множества.

# Процедура выбора итоговой управляющей команды



# Анализ имплементации фреймворка в COS.SIM

- При имплементации в COS.SIM решения мультикритериальной задачи для всех критериев удалось однозначно задать приоритеты и выстроить их в строгом порядке.
- Строгие приоритеты позволили описать такой способ решения задачи, который не зависит от конкретных критериев.
- В COS.SIM каждая компонента УК выбирается независимо.
- Набор критериев почти полностью повторяет набор аспектов поведения водителя

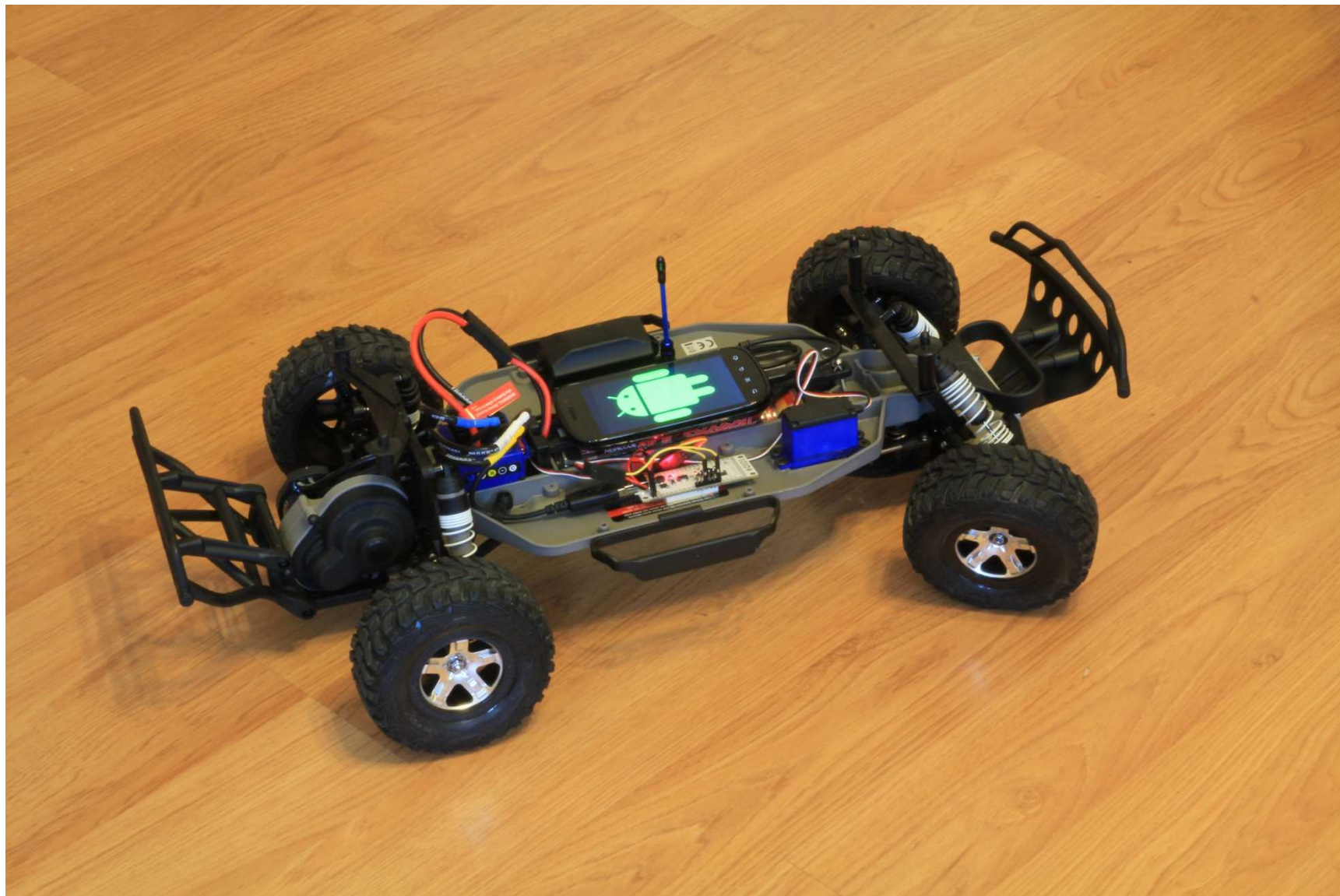
# Заключение

- Предложена слабо связанная архитектура модели поведения водителя на основе принципа мультикритериальной оценки дорожной обстановки
- На примере COS.SIM показана работа фреймворка и предложен принцип решения мультикритериальной задачи
- На основе фреймворка возможно построение систем управления автономными автомобилями (Google's Autonomous Car) и систем адаптивной помощи водителю
- Возможно применение фреймворка с моделями когнитивного поведения водителей
- Архитектура не делает никаких предположений о конкретных опорных моделях, природе управляемой системы и специфике управляющих команд и может быть применена для реализации любых композитных управляющих или поведенческих систем и моделей

# Другие направления исследований и интересы

- Разработка автономных автомобилей
- Создание открытой платформы для прототипирования автомобилей и их систем управления (iVehicle)
- Технологии коммуницирующих автомобилей (Vehicle-to-Vehicle communication)
- Технологии кластерного движения
- Высокопроизводительное моделирование поведения автотранспортных потоков COS.SIM HPC (на основе MPI)

# Платформа iVehicle

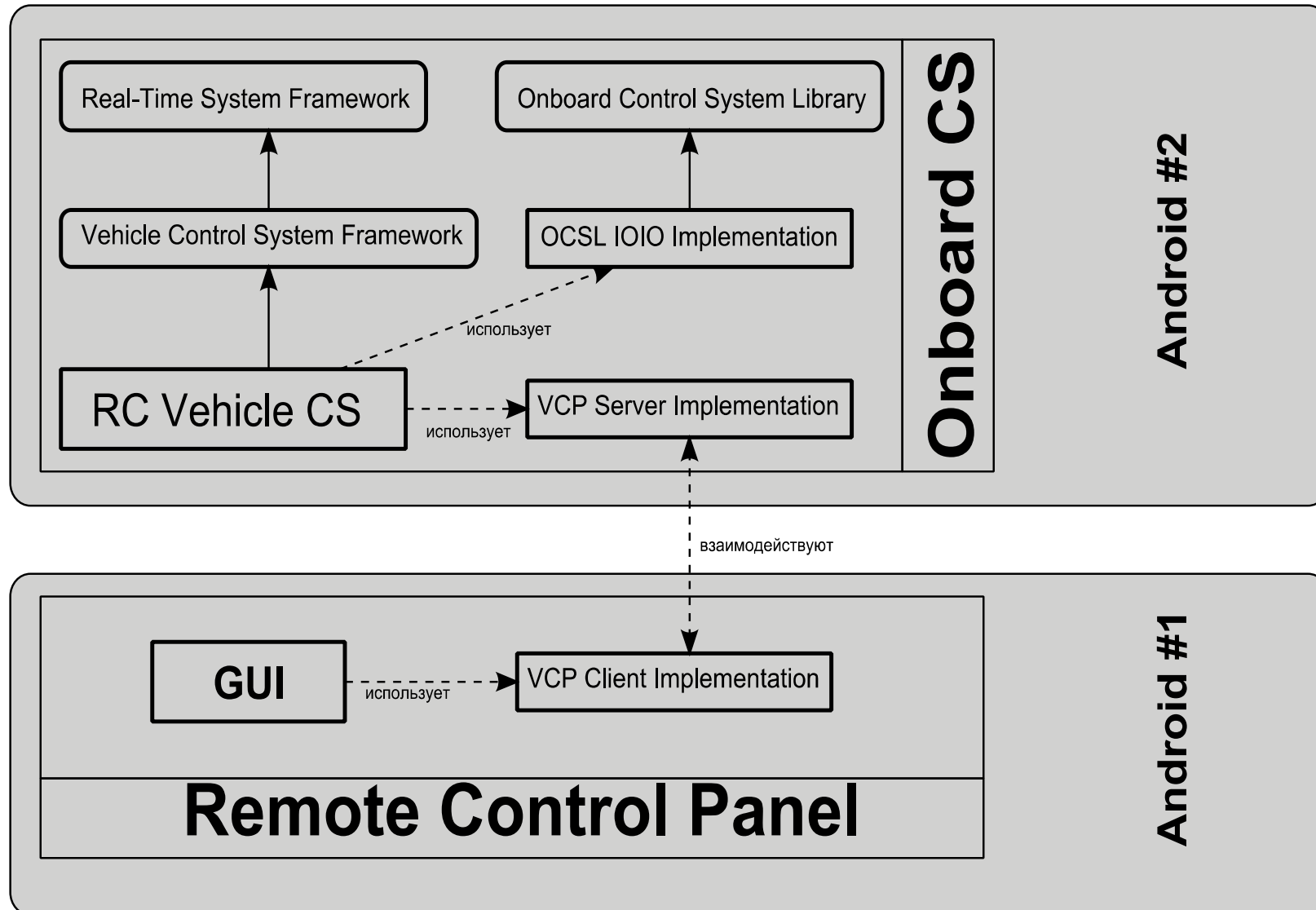


# Платформа iVehicle

- Прототип шасси автомобиля с реалистичными органами управления (торможение, ускорение, сцепление, поворот рулевого колеса)
- Высокоуровневая система управления на базе Android и Java
- Система датчиков и библиотека работы с ними (скорость/одометр, видеокамера, линейные и 3D-дальномеры, etc.)
- Архитектура системы беспроводного взаимодействия между автомобилями на основе WiFi/Direct WiFi.



# Remote Controlled Android Vehicle (RCAV)

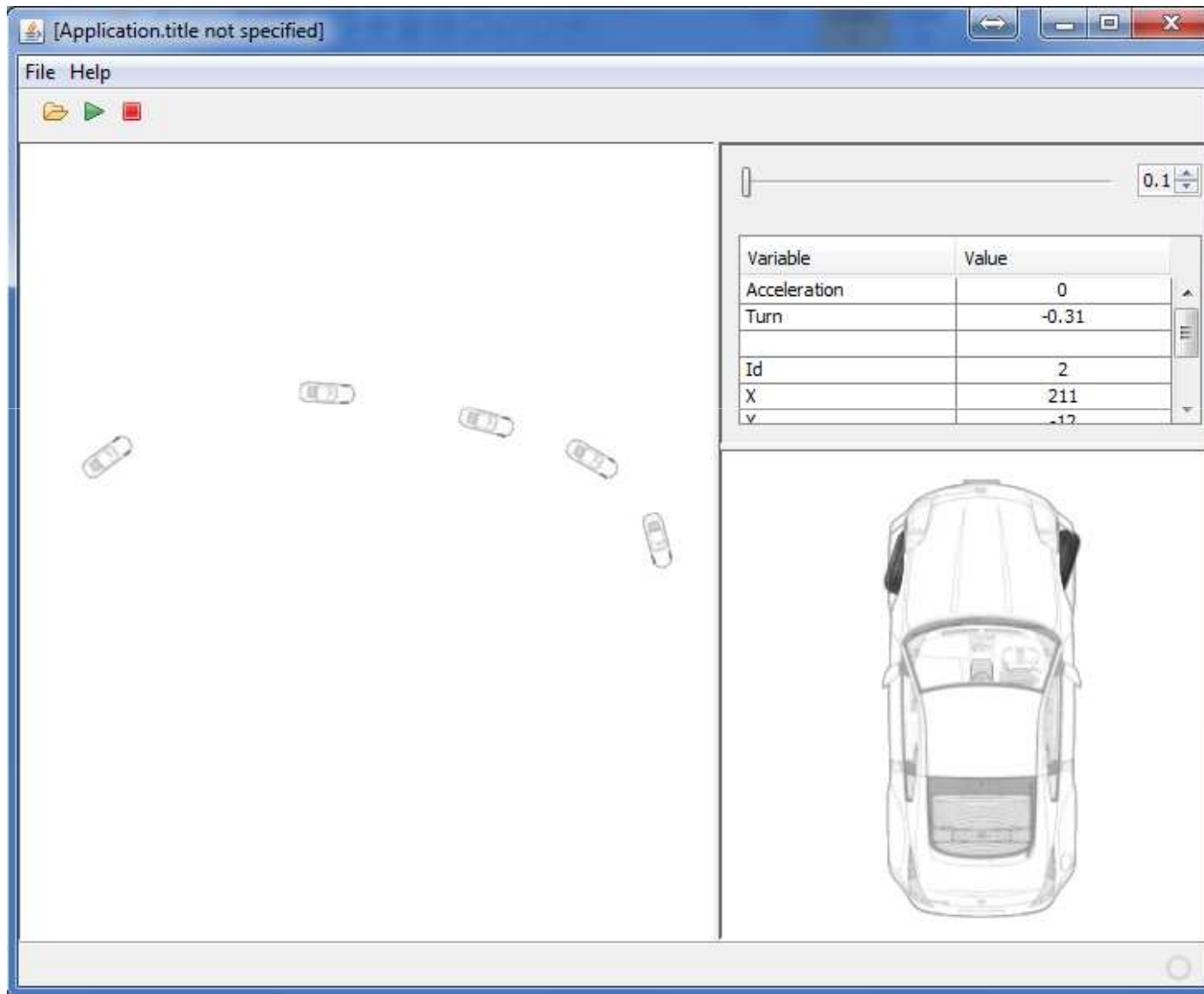


# Проект iVehicle Cluster

Создание прототипа технологии  
организации автомобильных кластеров.

Автомобильный кластер – высокоплотная,  
высокоскоростная группа автономных  
автомобилей,двигающихся синхронно.

# Программная модель iVehicle Cluster



# Прототип iVehicle Cluster

- «Ручное» управление впереди идущим автомобилем
- WiFi соединение для взаимодействия между автомобилями
- Высокоточная высокоскоростная (100Гц) система микропозиционирования
- Библиотека базовых движений
- Система предсказания будущих маневров

# Литература

1. COS.SIM Agent based traffic microsimulation system. [Online] COS&HT, 2011.  
<http://code.google.com/p/cos-sim/>.
2. **Jordi Casas, Jaime L. Ferrer, David Garcia, Josep Perarnau and Alex Torday.** Traffic Simulation with Aimsun. [book auth.] Jaume Barceló. *FUNDAMENTALS OF TRAFFIC SIMULATION*. s.l. : Springer New York, 2010.
3. *Microscopic Traffic Flow Simulator VISSIM*. **Martin Fellendorf, Peter Vortisch.** s.l. : Springer, Vols. FUNDAMENTALS OF TRAFFIC SIMULATION, International Series in Operations Research & Management Science, 2010, Volume 145, 63-93.
4. **Toledo, Tomer.** Integrated Driving Behavior Modeling. s.l. : Massachusetts Institute of Technology, 2003. Vol. PhD thesis.
5. **Salvucci, Dario D.** Integrated Models of Driver Behavior. [book auth.] Wayne D. Gray. *Integrated Models of Cognitive Systems*. s.l. : Oxford University Press, 2007.
6. *Designing Human-Centered Automation: Tradeoffs in Collision Avoidance System Design*. **Michael A. Goodrich, Erwin R. Boer.** March 2000. IEEE TRANSACTIONS ON INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS. Vol. 1. 1.
7. *A fuzzy behavior based microscopic traffic model*. **M.A. Tavallaei, S. Khanmohammadi and I. Hasanzadeh.** Amman, Jordan : s.n., 2008, May 27-29. Proceeding of the 5th International Symposium on Mechatronics and its Applications (ISMA08).
8. Google Automonous Car Educational Course [Online]  
<http://www.udacity.com/view#Course/cs373/CourseRev/feb2012/Unit/2/Nugget/1002>