

**Прогнозирование и предотвращение конфликтов движения  
автономных мобильных роботов в составе многоагентной  
робототехнической системы**

**С.н.с. лаб №29, к.т.н.  
Секу Абдель Кадер Диане**

**Москва, 2017**

## Список литературы 1: Вопросы планирования действий в МАРС

1. Z. Yan, N. Jouandeau and A. A. Cherif, "A survey and analysis of multi-robot coordination", International Journal of Advanced Robotic Systems, vol. 10, pp. 1-18, 2013.
2. M. M. Quottrup, T. Bak, and R. Izadi-Zamanabadi, "Multi-robot motion planning: A timed automata approach", in Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, New Orleans, LA, 2004, pp. 4417–4422.
3. S. Sariel, T. Balch, N. Erdogan, "Robust multi-robot cooperation through dynamic task allocation and precaution routines", in Proc. of the 3rd International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics (ICINCO), Setubal, Portugal, 2006.
4. W. Chen, R. Levy, K. Decker, "An integrated multi-agent coordination including planning, scheduling, and task execution", in Proc. of the Workshop of Coordinating Agent's Planning and Scheduling (CAPS) at the Sixth AAMAS, Hawaii, USA, 2007
5. I. Landa-Torres, D. Manjarres, S. Bilbao and J. Del Ser, "Underwater robot task planning using multi-objective meta-heuristics", Sensors, 2017, 17, 762.
6. Каляев И.А., Гайдук А.Р., Капустян С.Г. Самоорганизующиеся системы группового управления интеллектуальными роботами // Мехатроника, автоматизация, управление. №12. 2010. С. 47–52.
7. Городецкий В.И. Самоорганизация и многоагентные системы. I. Модели многоагентной самоорганизации. Известия РАН "Теория и системы управления", 2012, № 2, С. 92–120
8. В.И. Городецкий, О.В. Карсаев, В.В. Самойлов, С.В. Серебряков. Прикладные многоагентные системы группового управления. Искусственный интеллект и принятие решений. №2. 2009
9. Градецкий В.Г., Ермолов И.Л., Князьков М.М., Собольников С.А., Построение подвижных коммуникационных сетей на базе наземных автономных мобильных роботов, "Мехатроника, автоматизация, управление", №11, 2011, С. 27-32
10. Лохин В.М., Манько С.В., Романов М.П., Диане С.А.К. Способы представления знаний и особенности функционирования мультиагентных робототехнических систем // Мехатроника, автоматизация, управление. М.: Новые технологии, 2014. №1. С. 36–39.
11. Манько С.В., Лохин В.М., Романов М. П. Концепция построения мультиагентных робототехнических систем //Вестник МГТУ МИРЭА, №3, 2015, Vol. 1
12. Ермолов И.Л., Собольников С.А., Решение задачи распределения группы мобильных роботов для обеспечения работы подвижной коммуникационной сети. "Вестник МГТУ "Станкин"", №4, 2012, С. 142-146
13. Вентцель Е.С., Исследование операций. Задачи, принципы, методология, 1986, 203 с.
14. Кобринский Н. Е., Трахтенброт Б. А. Введение в теорию конечных автоматов. — М.: Физматгиз, 1962. — 404 с.
15. Варшавский В. И. Коллективное поведение автоматов.— М.: Наука, 1973
16. Варшавский В. И., Поспелов Д. А. Оркестр играет без дирижера: размышления об эволюции некоторых технических систем и управлении ими.— М.: Наука, 1984.— 208 с.
17. Зенкевич С.Л. Принципы построения систем управления роботов / Робототехнические системы и автоматическое управление: Межвуз. сб. научн. тр. // М.: МИРЭА, 1985.

# Многоагентные робототехнические системы

Возможность **повышения эффективности** и функциональности системы за счет взаимодействия нескольких роботов;

Возможность **сокращения времени** выполнения прикладной задачи за счет параллельного выполнения отдельных подзадач;

Возможность **повышения надежности** совместного решения общей прикладной задачи за счет замены вышедших из строя исполнителей



Kiva robots



Centibots



NASA robots

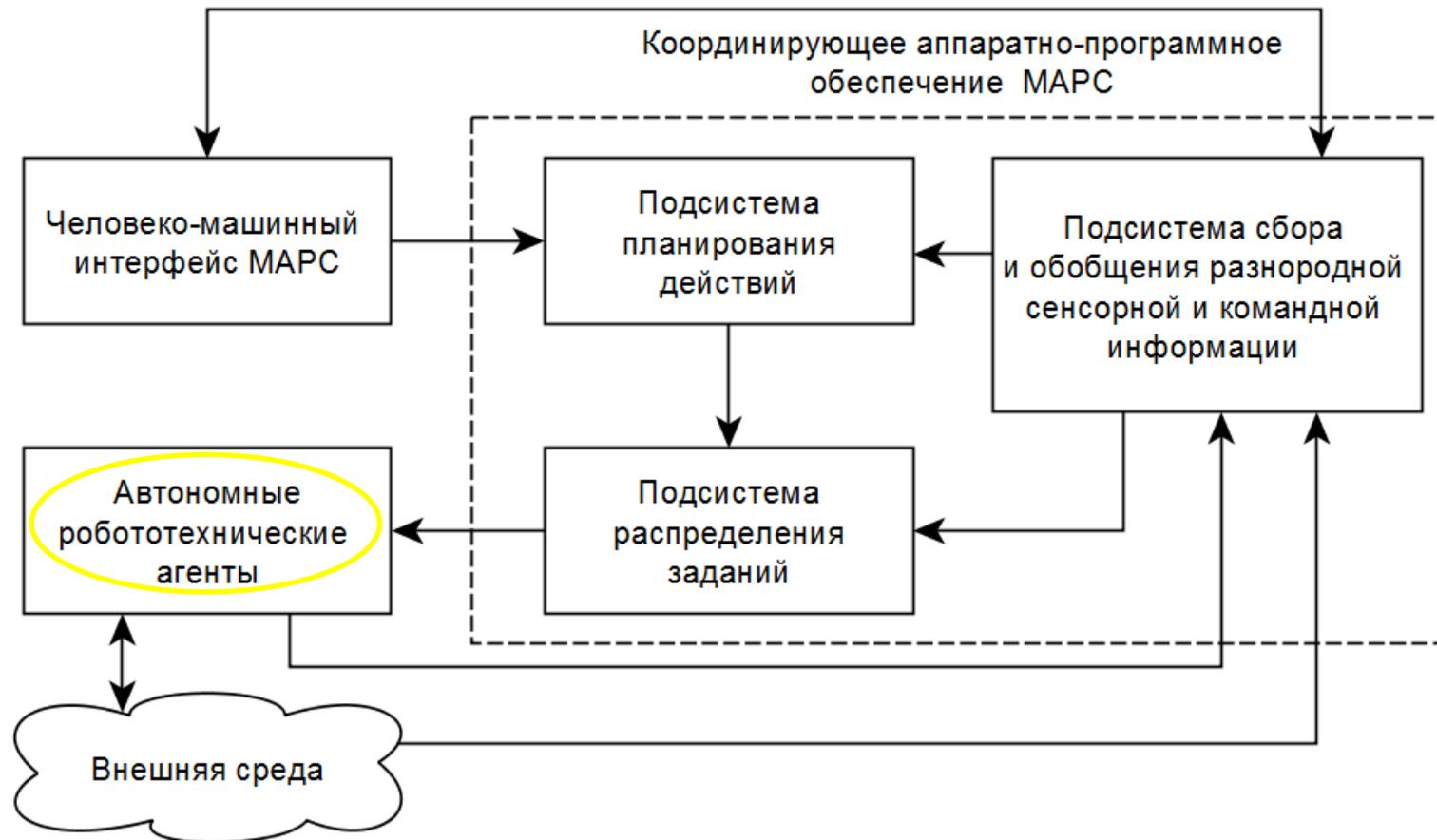


TERMES



Nao-Team

## Принципы построения многоагентных робототехнических систем на основе автономных роботов



# Обобщенная структура автономного мобильного робота



Google Car, Stanford



LAGR, DARPA



Resilient Machinem Cornell



LittleDog, Boston Dynamics



Baxter, Carnegie Mellon University



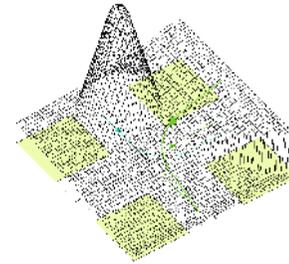
Atlas, Boston Dynamics



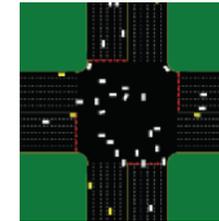
Autonomous robotic plane, MIT

## Список литературы 2: Вопросы предотвращения конфликтов в движении робототехнических агентов

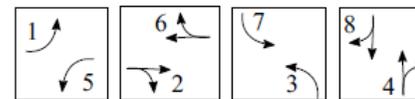
1. Benjamin Fankhauser, Laleh Makarem, Denis Gillet. Collision-free intersection crossing of mobile robots using decentralized navigation functions on predefined paths. In Proc of IEEE 5th International Conference on Cybernetics and Intelligent Systems (CIS), 2011
2. Kurt Dresner, Peter Stone. A Multiagent Approach to Autonomous Intersection Management. Journal of Artificial Intelligence Research 31 (2008) pp. 591-656
3. F. Yan, M. Dridi, A. Moudni. An autonomous vehicle sequencing problem at intersections: a genetic algorithm approach. Int. J. Appl. Math. Comput. Sci., 2013, Vol. 23, No. 1, 183–200
4. Leandro Soriano Marcolino and Luiz Chaimowicz. Traffic control for a swarm of robots: avoiding group conflicts. In Proc. of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2009. IROS 2009.
5. F. Augugliaro, A. Schoellig, R. D'Andrea. Generation of collision-free trajectories for a quadrocopter fleet: A sequential convex programming approach. In 2012 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems October 7-12, 2012. Vilamoura, Algarve, Portugal
6. Лебедев Г.Н., Тин П.Ч., Зо М.Т., Хахулин Г.Ф., Малыгин В.Б. Оптимальное управление и контроль безопасности поперечного движения речных и воздушных судов при пересечении их маршрутов //Мехатроника, автоматизация, управление. 2012. № 12. С. 50-56.
7. В. О. Корепанов, Д. А. Новиков, “Задача о диффузной бомбе”, Пробл. управл., 2011, № 5, 66–73



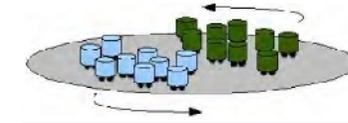
1. Метод потенциалов



2. Резервирование траекторий и прогнозная имитационная модель



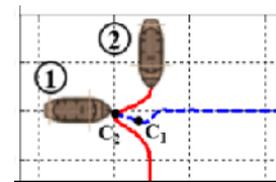
3. Эволюционное разбиение транспортных потоков на совместимые группы



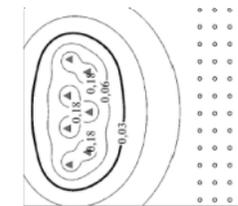
4. Метод потенциалов, обмен сообщениями о риске столкн., децентр. принятие решений



5. Численная оптимизация множества дискретных траекторий

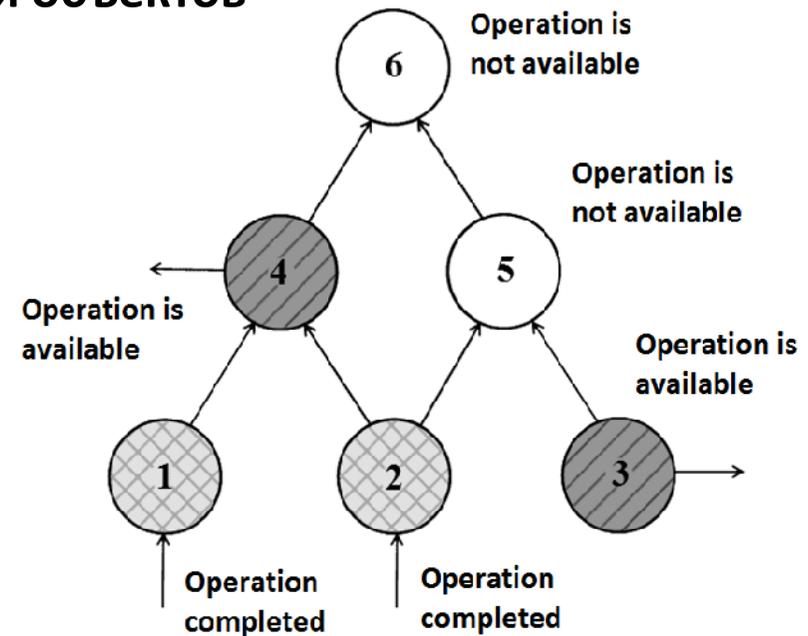
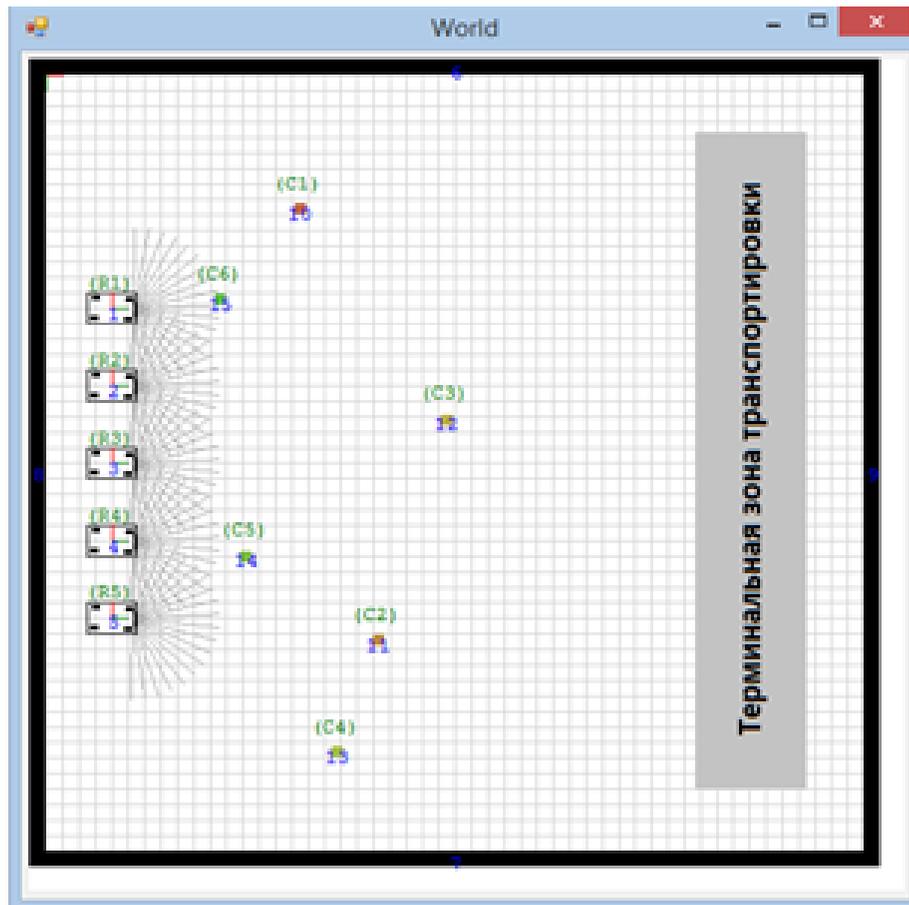


6. Метод оптимального управления Беллмана для подвижных объектов



7. Моделирование рефлексирующих агентов

## Моделирующее программное обеспечение. Задача групповой транспортировки объектов



Планирование очередности транспортировки на основе технологического сценария [3]

$$\mathbf{F} = (f_{ij}) = \begin{pmatrix} f_{11} & \dots & f_{1T} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ f_{R1} & \dots & f_{RT} \end{pmatrix}$$

Распределение задач между агентами на основе решения транспортной задачи [4]

## Модель выполнения технологической операции

$$K^o = \{ U^o, X^o, Y^o, f^o, h^o \}, \quad (1)$$

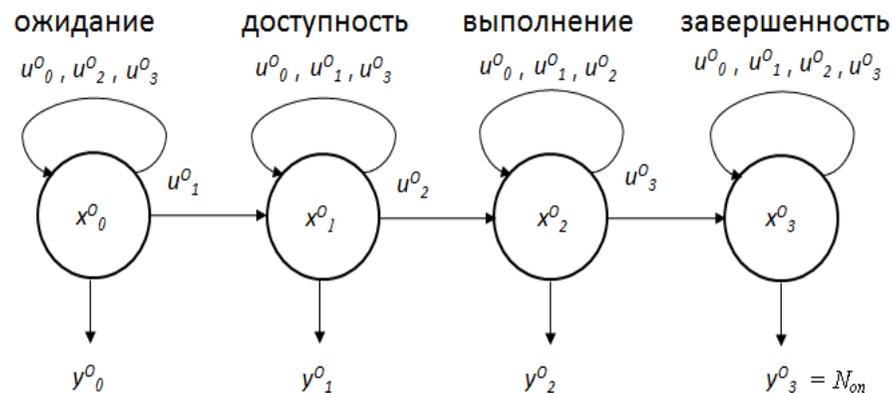
где  $U^o = ( u_0^o, u_1^o, u_2^o, u_3^o )$  - входной алфавит;

$X^o = ( x_0^o, x_1^o, x_2^o, x_3^o )$  - алфавит состояний;

$Y^o = ( y_0^o, y_1^o, y_2^o, y_3^o )$  - выходной алфавит,

в соответствии с таблицей;

$f^o, h^o$  - функции переходов и выходов.



Входной алфавит	Алфавит состояний	Выходной алфавит
$u_0^o$ - входной сигнал о наличии невыполненных операций, предшествующих данной	$x_0^o$ - исходное состояние невозможности выполнения технологической операции	$y_0^o$ - выходной сигнал, подтверждающий невозможность выполнения данной операции
$u_1^o$ - подтверждение об отсутствии невыполненных предшествующих операций	$x_1^o$ - состояние возможности выполнения данной технологической операции	$y_1^o$ - выходной сигнал, подтверждающий возможность выполнения данной операции
$u_2^o$ - запрос на выполнение данной конкретной операции	$x_2^o$ - состояние, процесса выполнения данной операции.	$y_2^o$ - выходной сигнал, подтверждающий процесс выполнения операции.
$u_3^o$ - подтверждение завершения выполнения данной операции	$x_3^o$ - состояние завершения данной технологической операции	$y_3^o$ - выходной сигнал с запросом на выполнение следующей операции

## Модель робота как исполнителя задачи МАРС

$$K^R = \{ U^R, X^R, Y^R, f^R, h^R \}, \quad (2)$$

где

$U^R = ( u_0^R, u_1^R, \dots, u_m^R, u_q^R )$  - входной алфавит;

$u_j^R, (j = 1, \dots, m)$  - команды на выполнение соответствующих технологических операций или подзадач;

$u_0^R$  - команда перехода в состояние исходной готовности;

$u_q^R$  - входной сигнал, имитирующий возникновение случайных воздействий фатального характера, приводящих к потере работоспособности робота;

$X^R = ( x_0^R, x_1^R, \dots, x_m^R, x_q^R )$  - алфавит состояний;

$x_j^R, (j = 1, \dots, m)$  - множество состояний занятости выполнением соответствующих технологических операций или подзадач;

$x_0^R$  - состояние исходной готовности робота к выполнению новых технологических операций или подзадач;

$x_q^R$  - состояние потери роботом работоспособности;

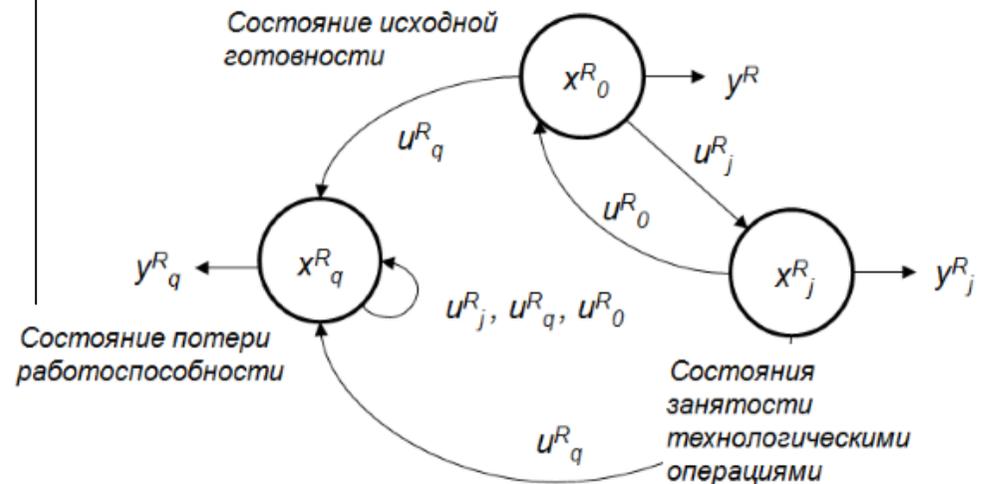
$Y^R = ( y_0^R, y_1^R, \dots, y_m^R, y_q^R )$  - выходной алфавит;

$y_j^R, (j = 1, \dots, m)$  - множество выходных сигналов, подтверждающих занятость робота выполнением соответствующих технологических операций или подзадач;

$y_0^R$  - выходной сигнал, подтверждающий готовность робота к выполнению новых технологических операций или подзадач;

$y_q^R$  - выходной сигнал, подтверждающий переход робота в неработоспособное состояние;

$f^R, h^R$  - функции переходов и выходов



# Обобщенная модель процесса выполнения технологической операции

$$K^P = \{ U^P, X^P, Y^P, f^P, h^P \}, \quad (3)$$

$U^P = ( u_0^P, u_j^P )$  - входной алфавит;

$u_j^P$  - входной сигнал на запуск процесса выполнения соответствующей технологической операции или подзадачи;

$u_0^P$  - входной сигнал на завершение процесса выполнения соответствующей технологической операции или подзадачи;

$X^P = ( x_0^P, x_j^P )$  - алфавит состояний;

$x_0^P$  - состояние приостановки процесса выполнения технологических операций или подзадач.

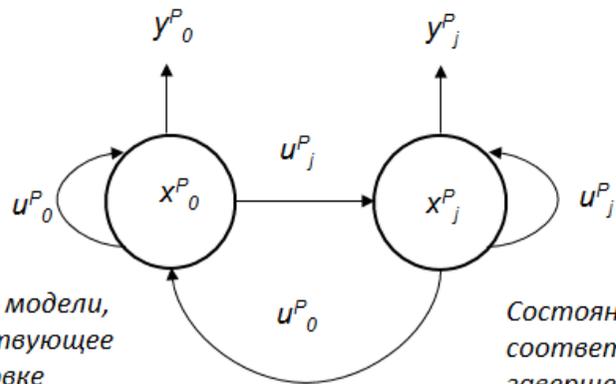
$x_j^P$  - состояние модели, соответствующее выполнению  $j$ -ой технологической операции или подзадачи;

$Y^P = ( y_0^P, y_j^P )$  - выходной алфавит;

$y_0^P$  - выходной сигнал, подтверждающий переход модели процесса выполнения соответствующей технологической операции или подзадачи в состояние приостановки;

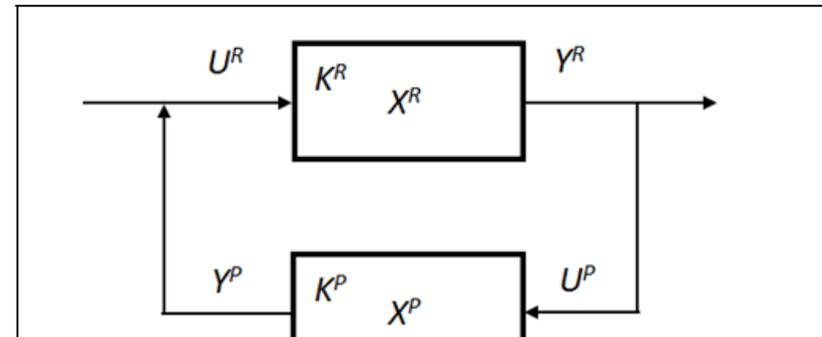
$y_j^P$  - выходной сигнал, подтверждающий переход модели к состоянию, выполнения  $j$ -ой технологической операции или подзадачи;

$f^P, h^P$  - функции переходов и выходов, наглядно изображенные в виде графа



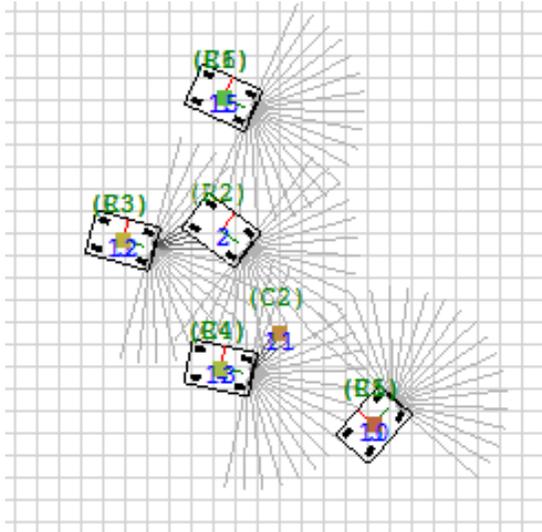
Состояние модели, соответствующее приостановке выполнения технологических операций

Состояние модели, соответствующее завершению  $j$ -ой технологической операции

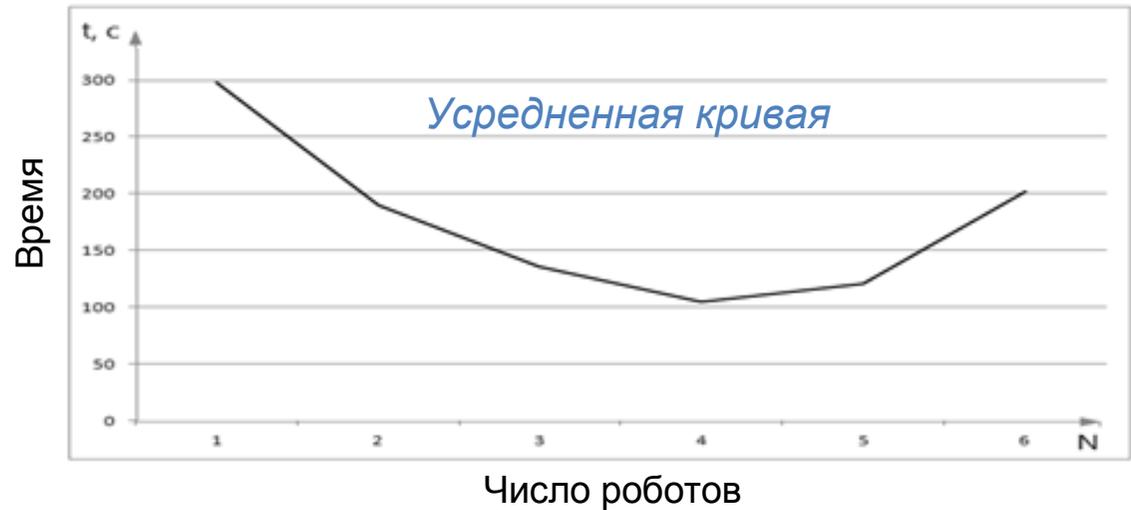
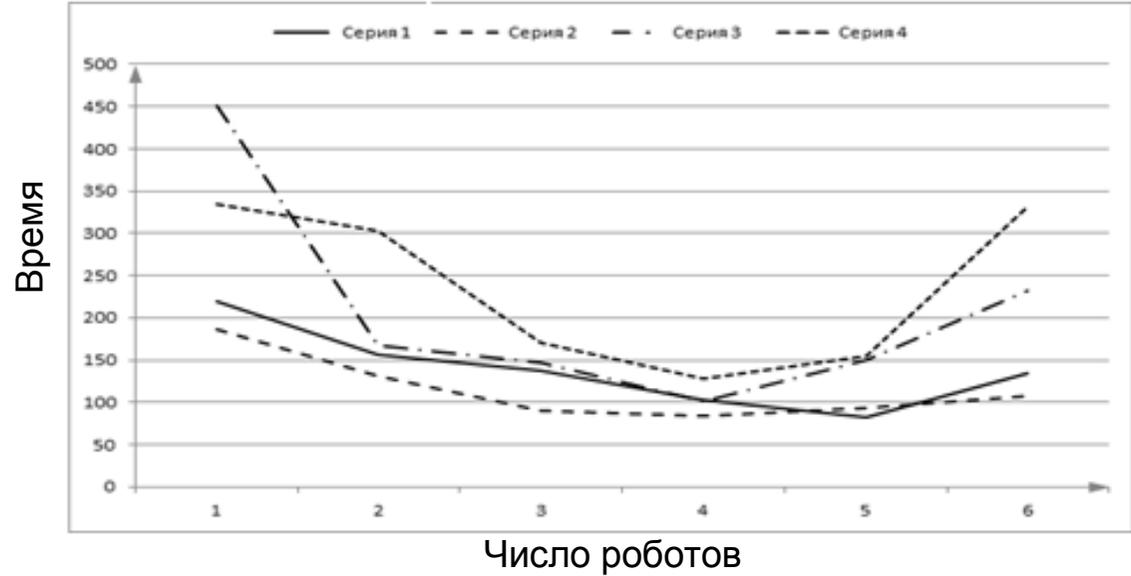


Интегрированная модель процесса выполнения заданной технологической операции с помощью автономного робота

## Необходимость прогнозирования конфликтов движения



Начиная с определенного количества роботов время выполнения групповой задачи растет из-за сложностей в маневрировании



## Контур интеллектуальной обратной связи на основе модели внешней среды



Модель внешней среды:

$$S_{t+1} = M(S_t, A_t) \quad (10)$$

$S$  – ситуация функционирования;  
 $A$  – управляющее воздействие.

Оценка и выбор управляющих решений:

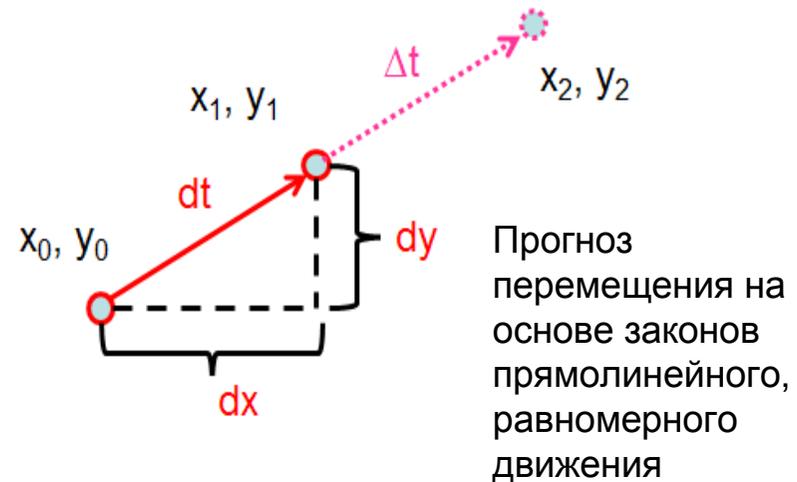
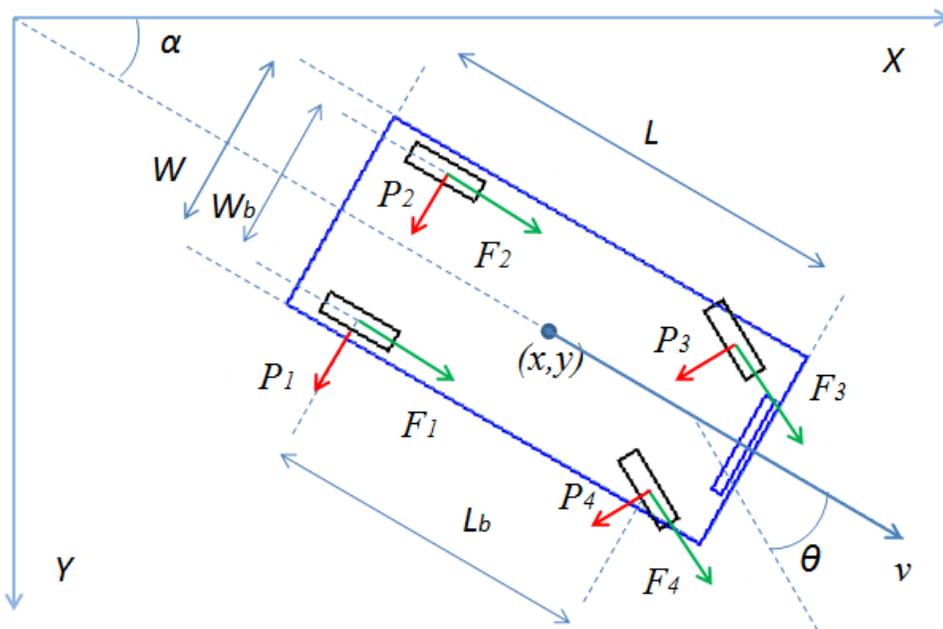
$$F(S_t, A_t) = Q(S_{t+1}) \quad (11)$$

$$F(S_t, A_t) = Q(M(S_t, A_t))$$



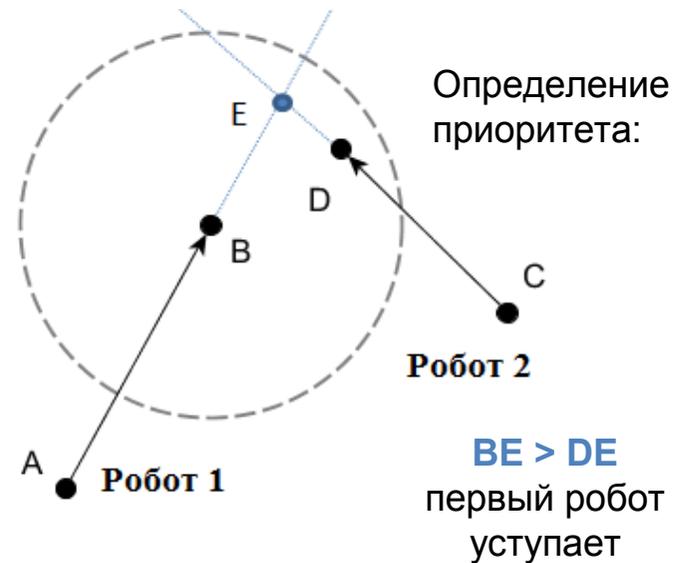
# Прогнозное управление движением робототехнических агентов в составе МАРС

Параметрическая модель транспортного робота

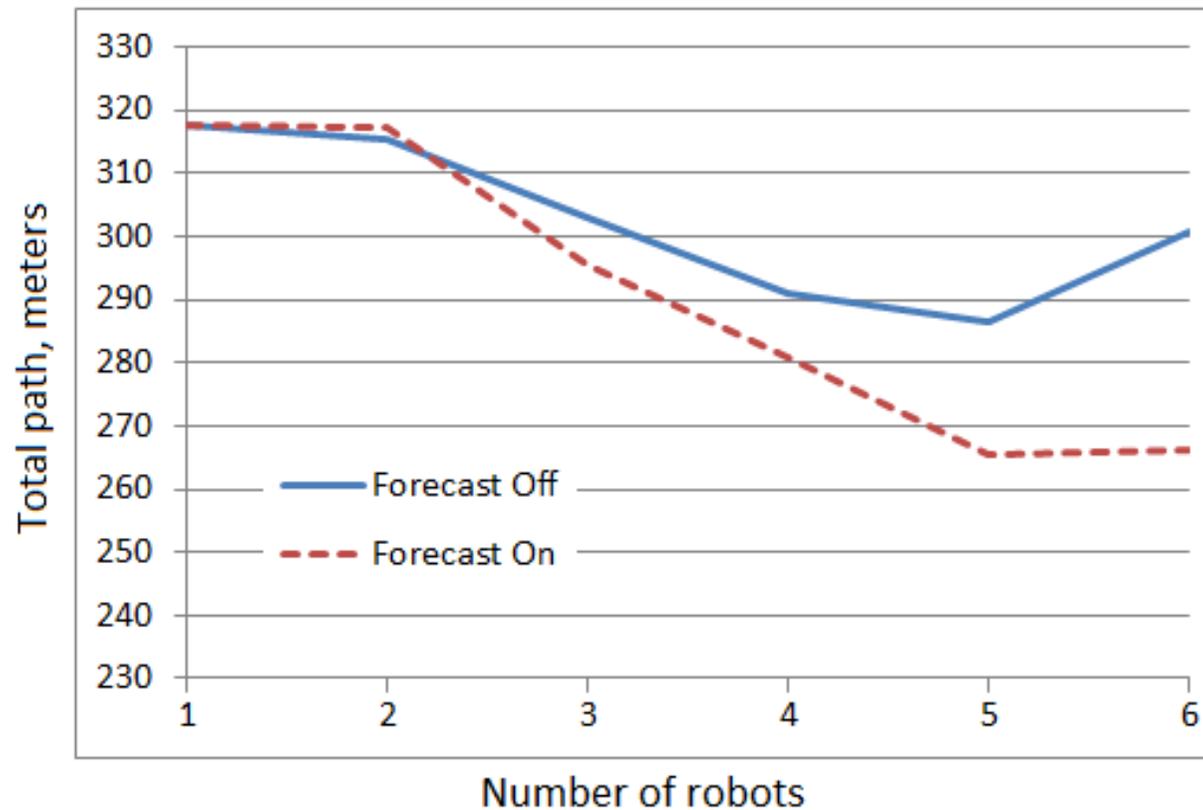


Одношаговый прогноз на интервал времени  $\Delta t$  выполняется для всех агентов МАРС:

$$P_1 = \{p_1^1, p_1^2, \dots, p_1^N\} \Rightarrow P_2 = \{p_2^1, p_2^2, \dots, p_2^N\}$$

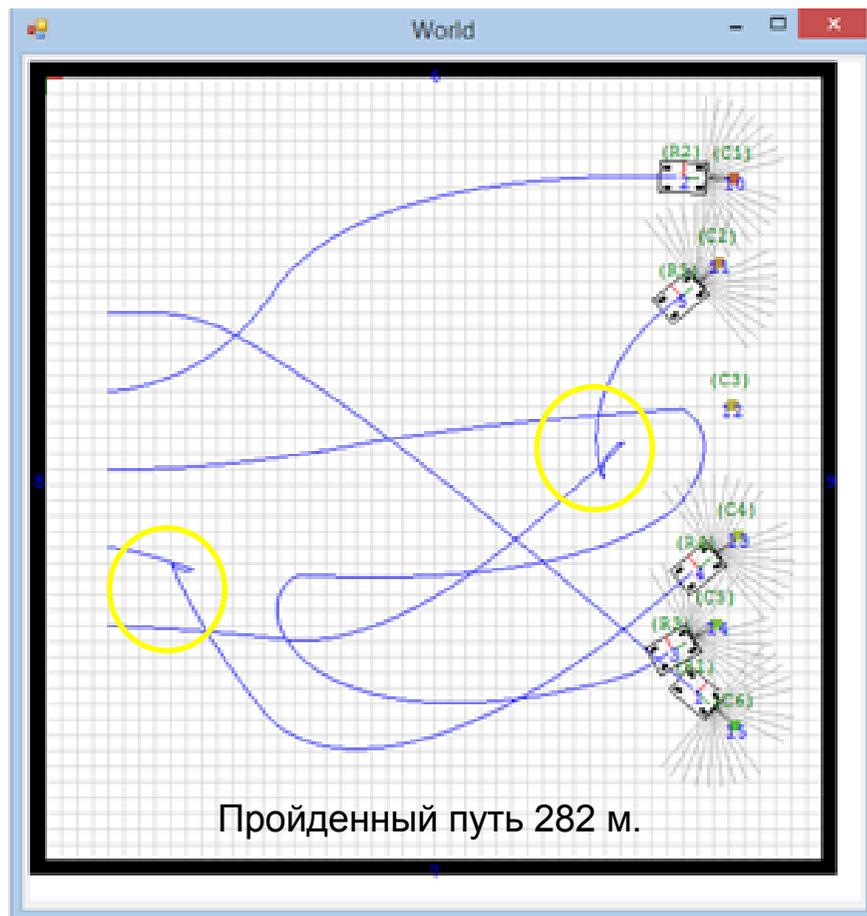


## Результаты экспериментов

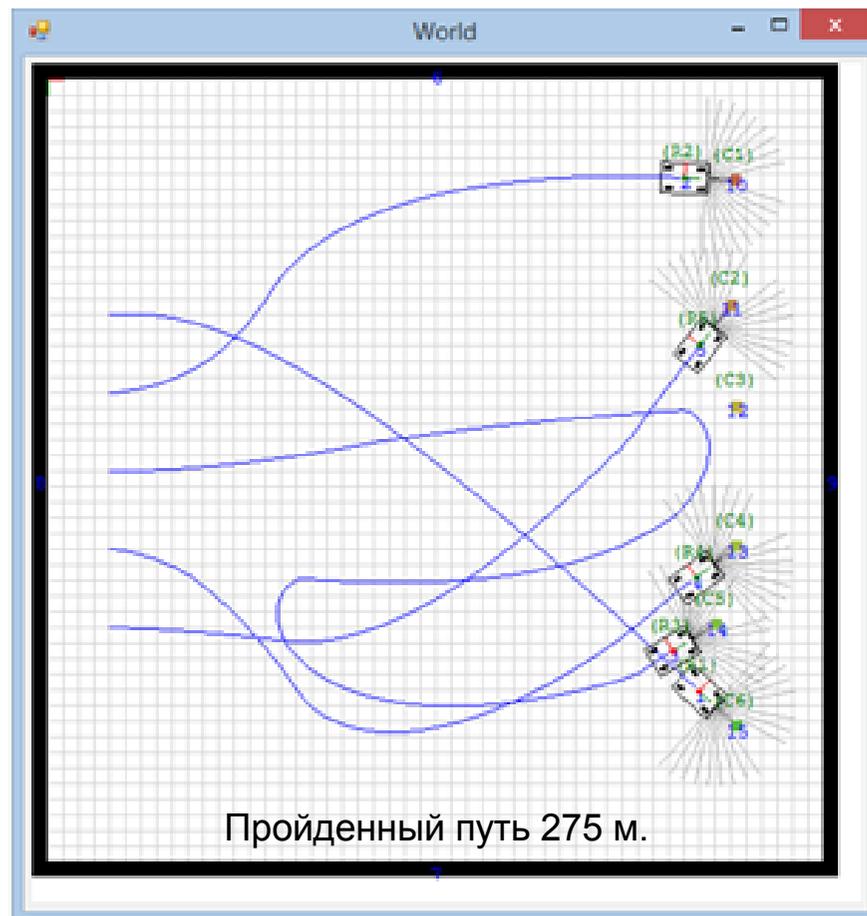


Экспериментально подтвержденное сокращение суммарного пути и времени выполнения групповой задачи до 15% (за счет предотвращения конфликтов в движении роботов)

## Фрагменты моделирования движения роботов



Без прогноза



С прогнозом

**ВИДЕО (2 шт)**

## Выводы

1. Эффективность МАРС может быть повышена не только за счет рационального планирования и распределения заданий в группе роботов, но и за счет **повышения автономности и адаптивности** управления на уровне отдельных робототехнических агентов;
2. Ограничения эффективности МАРС могут быть вызваны не только низкой степенью распараллеливания многоэтапной задачи, но и различными неопределенностями внешней среды. Их можно компенсировать за счет **прогноза развития внешней ситуации**;
3. Очевидно, что реализация прогноза возможна на основе упрощенной модели среды, заложенной в контур управления робототехнической системой экспертом, однако интересным вопросом, требующим отдельного рассмотрения, является **автоматическое формирование такой модели** в режиме **самообучения**.