

АЛГОРИТМ ПЕРВОНАЧАЛЬНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ СОВМЕСТНЫХ ДЕЙСТВИЙ ДЛЯ ЗАДАЧ ГРУППОВОЙ РОБОТОТЕХНИКИ

Воробьев В.В.

НИУ ВШЭ Московский Институт Электроники и Математики

e-mail: gatus@rambler.ru

1. ВВЕДЕНИЕ

В настоящий момент в рамках исследований в области робототехники в целом существует такое направление исследований как групповая робототехника (ГР). Групповая робототехника является очередным подходом к координации систем многих роботов, ограниченных в своих когнитивных возможностях. Предполагается, что желаемое коллективное поведение возникает из взаимодействия роботов между собой и с окружающей средой[1].

Идеологической основой групповой робототехники является эффект эмерджентности поведения, наблюдаемый у социальных насекомых. Считается, что относительно простые правила индивидуального поведения могут создавать сложное организованное поведение всего роя[2].

На сегодняшний день существует достаточно много работ по групповой робототехнике:

- **I-SWARM**

Фундаментальным результатом проекта является рой микророботов (рис. 1), который способен выполнять задачи, которые не могут быть выполнены единственным микророботом, ни их небольшой группой. Результат - реализация заметного эффекта самоорганизации роботов, подобному такому, который замечен в таких экологических системах, как муравей, колонии пчел, или других общественных насекомых. Есть много потенциальных выгод такой системы включая большую гибкость и адаптируемость системы к окружающей среде, надежности к неудачам, и т.д. Кроме того их коллективное поведение открывает новые прикладные области, которые не могут быть решены, используя сегодняшние инструменты. Отдельные агенты в состоянии общаться друг с другом, и таким образом, это позволяет им создавать эффект роя. [3]



(c) P. Corradi, 2007

Рис. 1. Робот проекта I-Swarm

- **GraspLab**

Проект создан Пенсильванским Университетом и представляет собой группу в 20 квадрокоптеров (рис. 2), которые способны создавать заложенные формации в полете (например, спираль или квадрат). Кроме того, роботы способны совместно облетать препятствия и передавать друг другу данные. Самым интересным моментом в работе является то, что большой коллектив квадрокоптеров способен разделяться на более мелкие группы и выполнять различные задачи, обмениваясь при этом данными между коллективами. [4]

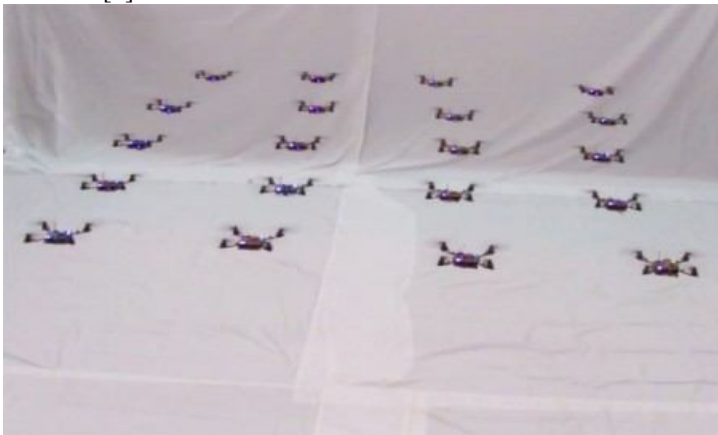


Рис. 2. Полет квадрокоптеров в формации “квадрат”

- **Ероо**

Разработка компании Nissan представляет собой роботизированный автомобиль EPORO или тестовый робот (рис. 3) с применением технологии, которая позволяет ему двигаться в потоке, имитируя поведенческую модель косяка рыб, огибающей препятствия и избегающей столкновений друг с другом. Обмениваясь информацией об окружающей обстановке с другими участниками движения, несколько EPORO могут безопасно перемещаться вместе, при необходимости изменяя конфигурацию группы.[5]



Рис. 3.Разновидность роботов Ероо, имитирующих движение в стае рыб

2. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Важное место в групповой робототехнике занимают методы согласованного движения агентов. Действительно, выполнение каких-либо совместных действий коллективом роботов часто подразумевает в начале их передвижение к цели. В случае с небольшими коллективами роботов данная задача легко решается использованием локального взаимодействия роботов друг с другом. Например, в работе[6] реализован механизм прохождения через полосу препятствий группы роботов с использованием такого механизма.

Кроме того, в некоторых случаях роботы могут объединяться друг с другом, для более эффективного решения данной задачи[7,8].

Одним из путей решения задачи согласованного движения агентов является создание процедуры первоначального планирования совместных действий перед этапом движения к цели. Это позволит заранее просчитать наиболее оптимальные пути ее достижения,

учитывая при этом препятствия в виде других роботов. Данная процедура заключается в том, что каждый член коллектива определяет для себя некоторые первоначальные действия, обусловленные его ограниченными когнитивными способностями, а затем происходит корректировка этих действий относительно действий других членов коллектива.

Рассмотрим задачу, описанную в работе [9]:

Пусть существует две группы роботов – противоборствующие команды. Целью каждой команды является необходимость вытолкнуть членов противоположной команды за пределы некоторого ринга. Это, своего рода т.н. командное сумо.

Таким образом, для согласования движения всех членов коллектива, необходимо решить две задачи:

- Выбор оптимальной цели. Критерием оптимальности является минимальное время, за которое робот может ее достичь.
- Поиск на траектории к цели возможных препятствий: роботы, которые находятся на траектории движения и роботы, которые в процессе движения могут создать препятствие.
- Поиск пересечений траекторий движения роботов и оценка возможности столкновения этих роботов.

Моделирование работы алгоритма проводилось в программе, описанной в работе [10], и на реальном коллективе

3. ОПИСАНИЕ АЛГОРИТМА

Рассмотрим источники получения данных о внешнем мире каждого робота в коллективе:

- Данные с общей камеры.
- Данные с ИК-дальномера.
- Данные с датчика полосы.

Данные с датчика полосы дают возможность оценить цвет поверхности, на которой находится робот, что не дает ему выехать за пределы ринга. Эти датчики позволяют реализовать безусловный рефлекс, препятствующий попыткам робота покинуть ринг.

ИК-дальномер дает возможность оценить расстояние до препятствия, которое находится впереди робота. Другую информацию, например о разновидности препятствия (свой-чужой), ИК-датчик не дает.

Таким образом, остаются данные с камеры, с помощью которых робот оценивает внешнюю обстановку. Камера дает информацию о:

- Координатах всех роботов.

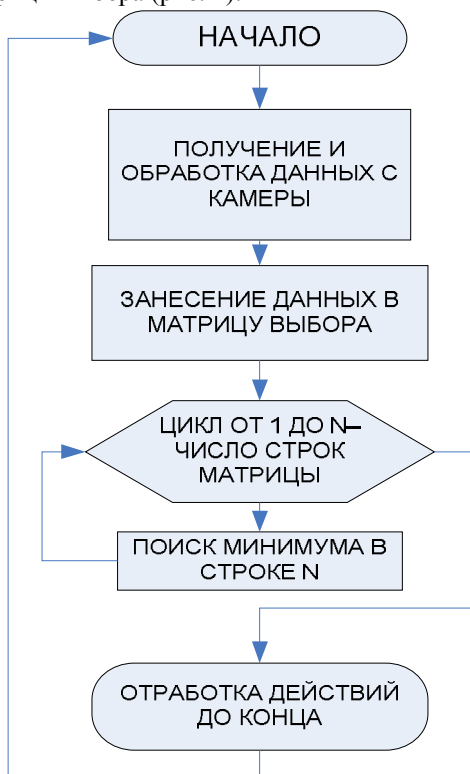
- Направлении всех роботов.

Эти данные обрабатываются каждым роботом, и, после обработки, он принимает какое-либо решение.

Так как когнитивные способности каждого члена коллектива ограничены, использование одного из алгоритмов поиска пути, таких как: алгоритм поиска A^* , алгоритм Дейкстры, волновой алгоритм и др., в процессе движения к цели будет не эффективно. Наиболее подходящим вариантом будет спланировать согласованные действия членов коллектива, а затем следовать этому плану.

Для этого всем роботам команды необходимо сделать первоначальный выбор, чтобы затем иметь возможность оценить его эффективность относительно другого варианта выбора целей.

Выбор цели каждым роботом, осуществляется с помощью специальной матрицы выбора (рис. 4):



| | | | |
|-----|-----|-----|-----|
| X00 | X01 | ... | X0n |
| X10 | X11 | ... | X1n |
| ... | ... | ... | ... |
| Xm0 | Xm1 | ... | Xmn |

Рис. 4 Алгоритм выбора первоначальной цели и матрица выбора

Матрица выбора представляет собой квадратную матрицу, размером $N \times N$, где N – общее количество роботов, X_{mn} время достижения роботом m робота n . При этом X_{mn} :

$$X_{mn} = (S_{mn} + S_{Bn}) / V + \text{ANG}_{mn} / VA$$

где, S_{mn} -расстояние от робота m до робота n , ANG_{mn} — угол между направлением робота m и роботом n , S_{Bn} — расстояние до края полигона робота n , V — скорость роботов, VA — скорость поворота.

Каждый робот m находит минимальное значение X_{mn} \min и считает его наиболее оптимальным.

Таким образом, приоритетность цели определяется суммой времени

$$T1 = S_{mn} / V + \text{ANG}_{mn} / VA$$

необходимым роботу для ее достижения и

$$T2 = S_{Bn} / V$$

необходимым для достижения роботом края полигона.

Результат моделирования такого алгоритма представлен на рис. 5:

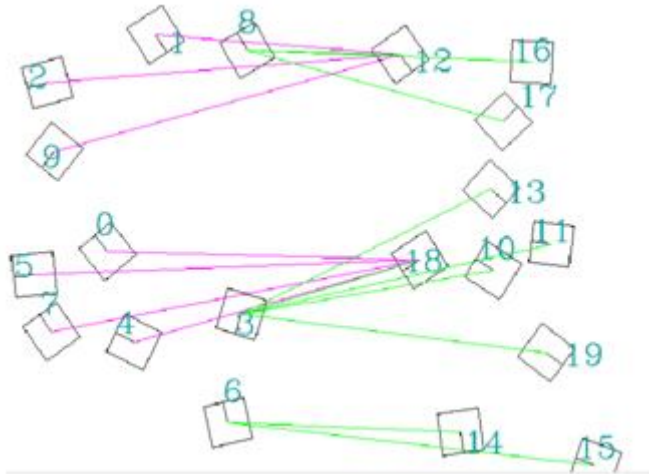


Рис. 5 Первоначальный выбор цели

Как видно на рисунке, каждый виртуальный робот выбрал наиболее близкую к себе цель. Недостатком такого выбора, является то, что множество роботов стараются атаковать одну и ту же цель. В последствии, это приводит к тому, что роботы начинают мешать друг другу (рис. 6):

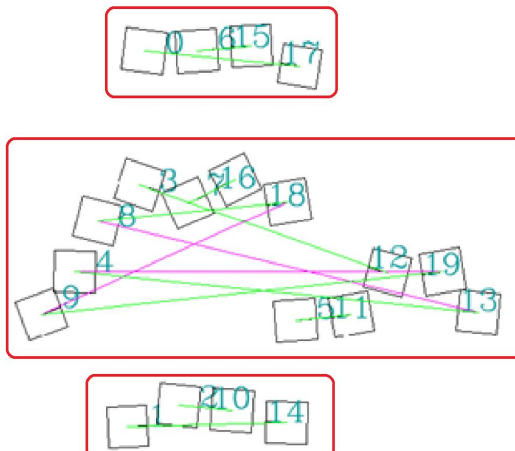


Рис. 6 Патовая ситуация, возникающая при дальнейшем выполнении сценария атаки цели

Роботы не могут дальше продолжать движение, так как им мешают роботы-союзники. Если роботы будут стараться объезжать препятствие, ориентируясь на ИК-дальномер, время X_{min} — перестанет отражать реальное время достижения цели, и, как следствие, его вычисление в таком случае не требуется, что ставит под сомнение идею планирования.

Чтобы избежать такой ситуации, необходимо:

- Ограничить число роботов, которые атакуют одну и ту же цель приемлемым числом (например 1), чтобы избежать сильной концентрации роботов на малой площади.
- Учитывать время ожидания/объезда препятствия, находящегося на траектории движения.
- Учитывать время ожидания/объезда препятствия, которое может появиться на траектории движения.
- Использовать возможность переоценивать приоритетность цели через каждый определенный момент t (Учитывать динамику среды).

Для ограничения числа роботов, атакующих одну и ту же цель одним роботом, необходимо учитывать X_{min} не для каждого робота, а для целой матрицы выбора в целом, то есть классическим поиском минимума в матрице, с последующим исключением из поиска строки и столбца с минимумом (рис. 7).

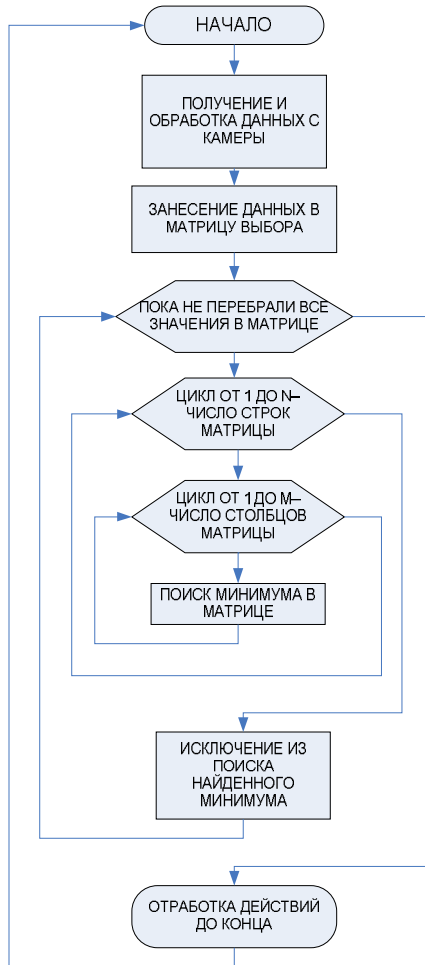


Рис. 7 Алгоритм выбора цели с исключением

Моделирование такого алгоритма выбора цели, представлено на рис. 8:

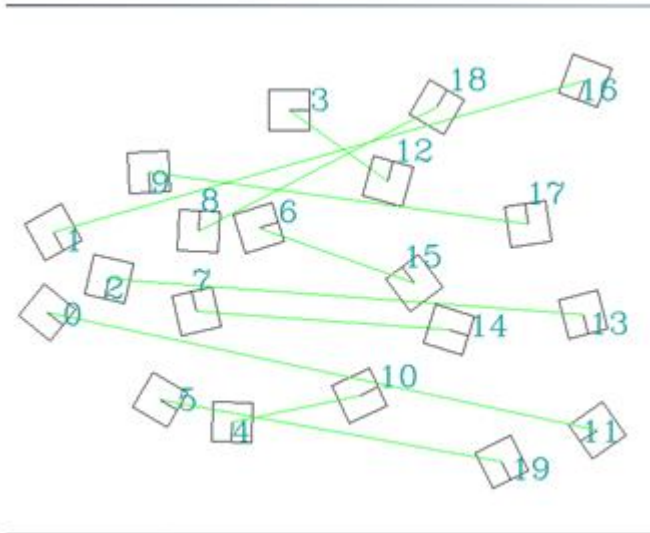


Рис. 8 Выбор одним роботом одной цели

Чтобы учитывать время ожидания/объезда препятствия, находящегося на траектории движения (рис. 9), необходимо выполнить следующий алгоритм (рис. 10):

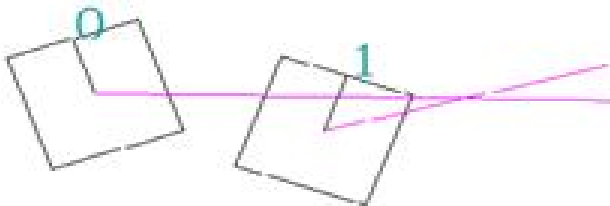


Рис. 9 Препятствие на траектории движения

Сравнивается время $T1$, необходимое на поворот первого робота и время $T2$, необходимое на поворот робота, который ему мешает.

Если $T1 > T2$, то предполагается, что мешающий робот успеет уйти с линии движения первого робота, и он ему не мешает.

Иначе, учитывается время $T3$, необходимое первому роботу, для достижения робота-препятствия.

Если $T3 > T2$, то мешающий робот успеет уйти с линии движения первого робота.

Иначе вычисляется время $T4 = T3 - T2$, оно прибавляется к времени $t1$, которое необходимо для достижения цели.

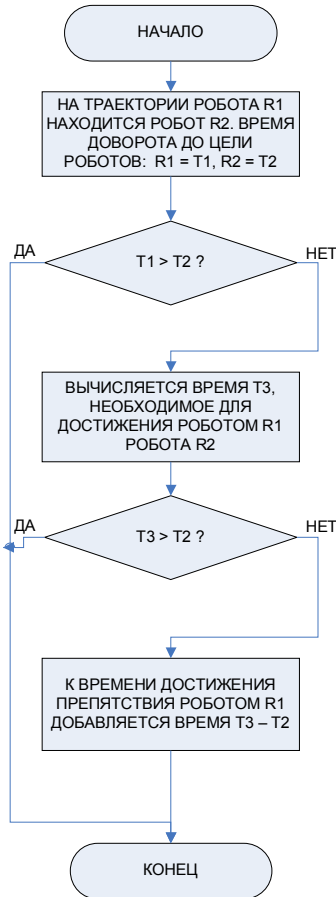


Рис. 10 Алгоритм учета препятствия на траектории движения

Для учета времени ожидания/объезда препятствия, которое может появиться на траектории движения (рис. 12), необходимо выполнить следующий алгоритм (рис. 11):

Найти пересечения траекторий выбранного робота, с траекториями других роботов.

Вычислить время $T1$, необходимое для достижения первого робота точки пересечения.

Вычислить время $T2$, необходимое для достижения второго робота точки пересечения.

Если они равны, то роботы встретятся, и необходимо учесть время $T3$, необходимое для объезда/ожидания того робота, чья цель дальше.

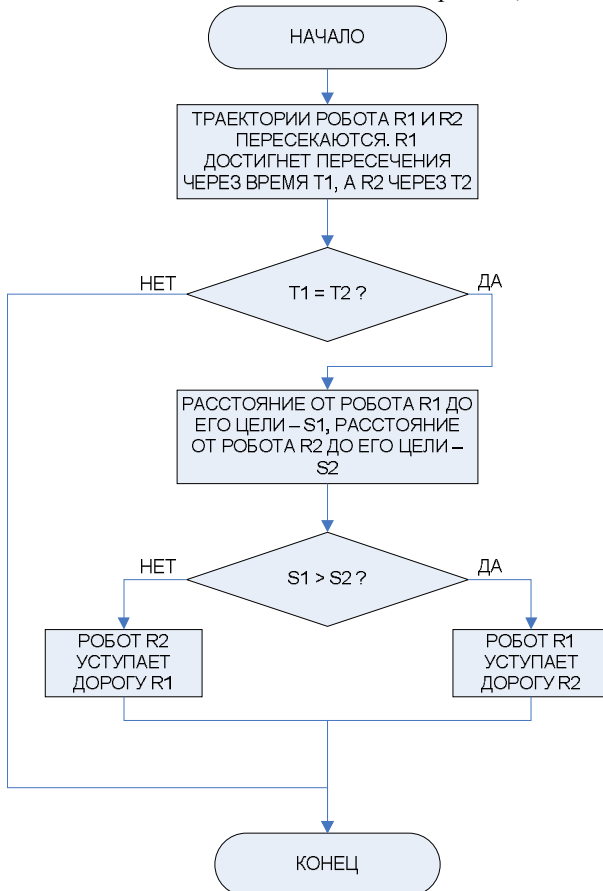


Рис. 11 Алгоритм учета пересечений траекторий

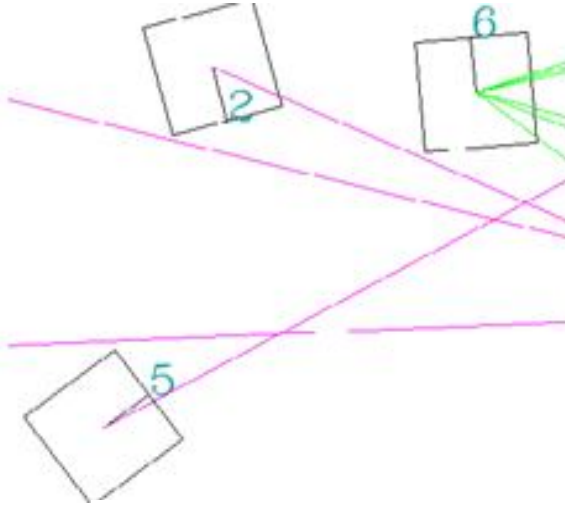


Рис. 12 Пересечение траекторий

После этих операций выбор целей производится заново, и, в случае если цели не поменялись, выбранный план утверждается.

Таким образом достигается возможность оценить истинное время достижения роботом цели с учетом всех возможных препятствий, возникающих на его пути, что позволяет выбрать действительно оптимальную цель.

Для реализации возможности учета динамики внешней среды (возможности отслеживать перемещения других роботов), необходимо через каждый момент времени t получать новые данные с камеры, пересчитывать X_{mp} и осуществлять поиск минимума в матрице. Общий принцип работы робота с такой системой представлен на рис. 13:

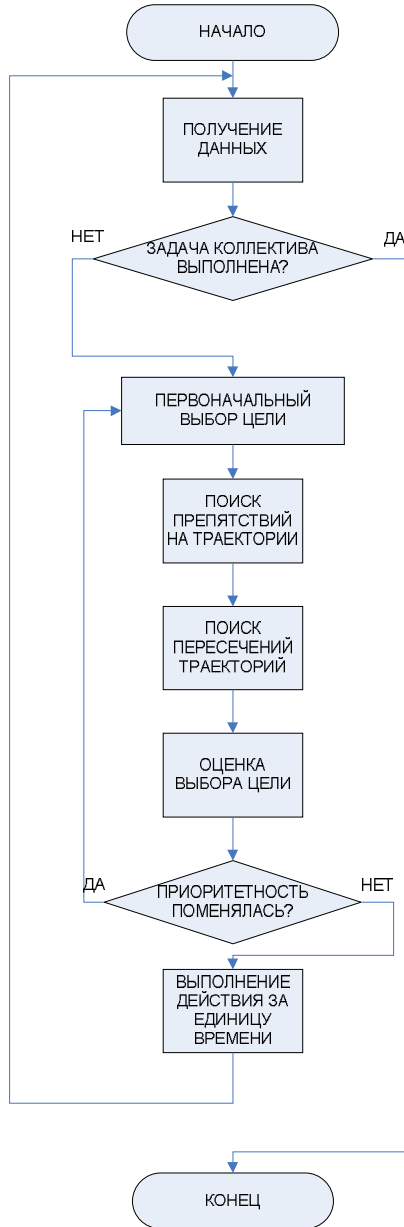


Рис. 13 Учет динамики среды

Моделирование возможности учета динамики внешней среды представлена на рис. 14:

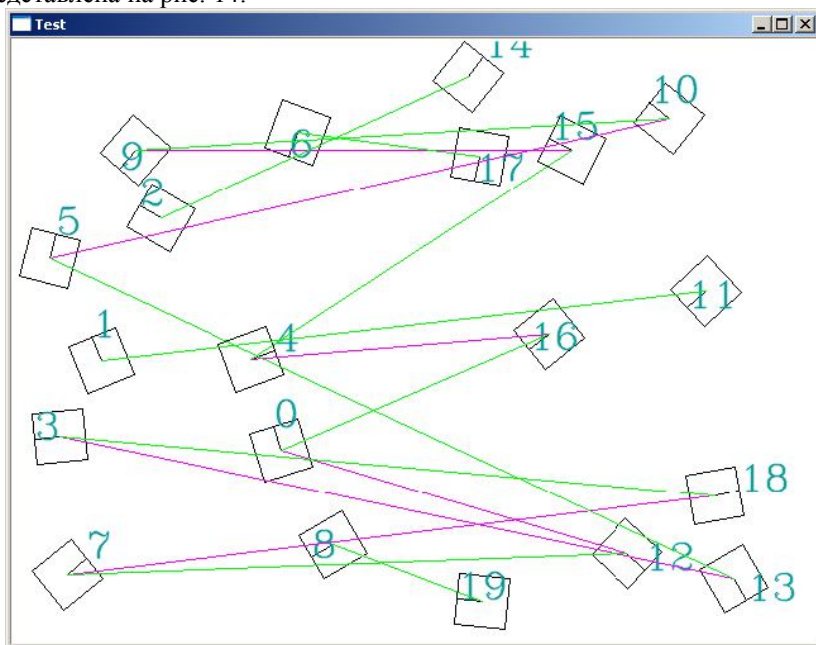


Рис. 14 Моделирование динамики внешней среды

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом создана базовая система планирования действий, способная достаточно эффективно составлять план действий коллектива роботов, в условиях ограниченных когнитивных способностей каждого члена. Дальнейшее развитие этой системы позволит при составлении плана действий оценивать не только действия союзников, но и действия противников, выделять назначение каждого робота и решать задачи на различных (тактическом, стратегическом) уровнях.

Литература

1. Карпов В.Э. Коллективное поведение. Желаемое и действительное.//Современная мехатроника. Сб. научн. трудов Всероссийской научной школы-Орехово-Зуево,2011.С.35-51.
2. Миллер, П. Роевой интеллект: Муравьи, пчелы и птицы

- способны многому нас научить.// National Geographic Россия. - 2007г. - № 8. - С. 88-107.
3. Официальный сайт проекта I-Swarm
URL: http://iswarm.org/MainPage/Project/P_Overview1.htm
 4. Alex Kushleyev, Daniel Mellinger, Vijay Kumar. Towards A Swarm of Agile Micro Quadrotors. 2012.
 5. The Official Global Website of Nissan Motor Company
URL: http://www.nissan-global.com/EN/NEWS/2009/_STORY/091001-01-e.html
 6. SWARM-BOT: Pattern Formation in a Swarm of Self-Assembling Mobile Robots
URL: <http://www.swarm-bots.org/dllink.php?id=159&type=documents>
 7. James F. Kennedy, James Kennedy, Russell C. Eberhart Swarm Intelligence – Waltham - Morgan Kaufmann – 2001г. – 512с.
 8. Michael G. Hinchey, Roy Sterritt, Chris Rouff Swarms and Swarm Intelligence.// Software Technologies – 2007г. - №4 - С. 111-113.
 9. Воробьев В.В. Групповая борьба роботов // Материалы международной студенческой конференции «НОВЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ» - С. 194
 10. Воробьев В.В. Алгоритм поиска и планирования пути для задач групповой робототехники // Материалы VII Международной научно-практической конференции “Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте” – С.793-798