

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ ТРАЕКТОРНЫМ ДВИЖЕНИЕМ ГРУППЫ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ

В.В. Попеленков², К.Ю. Котов¹, А.С. Мальцев¹

¹Институт автоматизации и электрометрии СО РАН
630090, Новосибирск, пр. Коптюга, 1, Россия
kotov@idisys.iae.nsk.su
тел: +7 (363) 333-26-25

²Новосибирский государственный университет
630090, Новосибирск, ул. Пирогова, 2, Россия
тел: +7 (383) 330-32-44

Ключевые слова: Децентрализованный алгоритм, управление группировкой, когнитивная сила, конфигурация группы, избегание столкновений

Abstract

Crowd control in multi-robot systems has become an important area of research for collective robotics, inspired by biological systems. Developments of swarm intelligence are promising for various industrial, commercial and military solutions. Computer simulations are successfully used to demonstrate new implementations of control for the large robot swarm.

Введение

В настоящее время активно развиваются алгоритмы управления группой мобильных роботов. Применение таких систем является перспективным для многих областей жизнедеятельности.

Децентрализованная система управления позволяет каждому роботу быть автономной рабочей единицей. Высокая стоимость мобильных роботов и неустойчивость при контакте с окружающей средой, в том числе у летательных аппаратов, требуют реализации надежных алгоритмов управления, обеспечивающих движение без столкновений.

Наибольший интерес представляет изучение движения роя, стада, толпы среди живых организмов. Этот самоорганизующийся субъект посредством собственных чувств восприятия достигают больших результатов, чем можно добиться одиночными индивидами. Успех данных индивидов заключен в собственной автономности и в разделении труда в рамках одной поставленной задачи. Известным примером является кормовая деятельность муравьев, где каждый муравей, следуя ряду простых правил повышает эффективность выживания колонии [1]. Похожее поведение можно наблюдать в толпе людей, например, в переходах или помещениях коридорного типа, где каждый индивид стремится попасть в доминирующий поток сонаправленный с его движением.

В большинстве источников [2-5] основным механизмом управления является задание желаемого ускорения роботу, так называемая когнитивная сила. Задание данных сил оперирует такими понятиями, как вектор до цели, расстояние и угол до столкновения. Как правило, они базируются на задании потенциальных полей и имеют характер подобный физическим силам, как сила притяжения, отталкивания, центростремительная. Результирующей силой является суперпозиция базовых сил и задание к ним параметров. Как следствие, управление определяется заданием набора дифференциальных уравнений и их решением.

1 Постановка задачи и описание средств изучения алгоритма

По аналогии с живыми организмами, чувствами восприятия будут являться лазерные дальномеры в качестве сенсорного восприятия окружающего мира, представленные на рисунке 1, и навигация в пространстве, для определения своих координат относительно целевых. На основе регулярного получения этих данных со зрительного модуля будет реализована стратегия движения каждого робота. По причине физических ограничений дальности действия дальномера зададим дальность видимости дальномеров H .

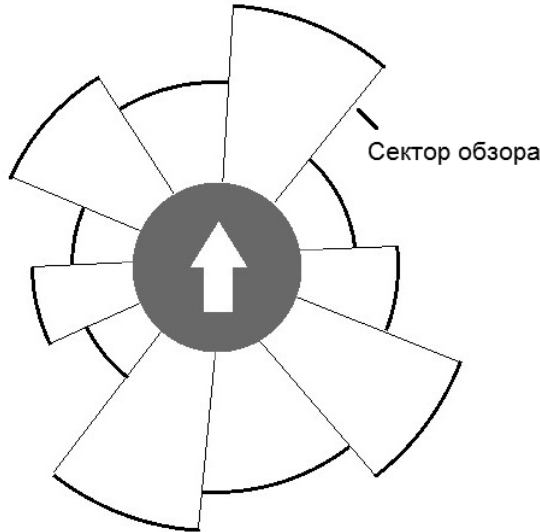


Рисунок 1 – Модель дальномерного зрения

Алгоритмы управления будут изучаться в собственной среде симуляции с инерционной физикой объектов. Зададим физической модели величину максимальной тяги a_{max} , которую можно реализовать в любом направлении. Ключевой параметр, который алгоритмы будут вычислять – это желаемая скорость v_{des} , которую необходимо реализовать текущий момент времени.

Ключевыми параметрами системы управления является избегание любых столкновений и выдерживание определенной дистанции от окружающих объектов, движение к заданной цели и ее достижение, а также ограничения восприятия внешнего мира, описанные выше.

Будет ставится задача реализации алгоритма движения группы роботов и управления их конфигурацией. Важно отметить, что когнитивные силы не должны превышать пороговых скоростей v_{max} , выше которых длина тормозного пути будет больше расстояния до препятствия.

2 Реализация алгоритма управления

Когнитивный модуль решает задачу планирования движения робота, получая данные со зрительного модуля. Когнитивный модуль базируется на когнитивных силах и вычисляет желаемую величину скорости. Общая когнитивная сила представляется в виде суперпозиции базовых когнитивных сил. Опишем каждую базовую силу по отдельности.

Целестремительная сила — сила, основной задачей которой, является движение по направлению к цели и ее достижение. Данная сила решает задачу набора скорости по направлению к цели, торможение вблизи ее местонахождения, а так же выбор траектории движения с

наиболее разряженной местностью. Формулами представлен выбор желаемой скорости и желаемого угла движения соответственно:

$$(1) \quad v_{des} = \frac{v_{max}}{2} \sqrt{\frac{\min(r_{goal}; f(\alpha_{des}))}{H}}; \quad \alpha_{des} = \operatorname{argmax}_{\alpha} D(\alpha)$$

где $f(\alpha)$ – расстояние до объекта под заданным углом определенное дальномером, α_{goal} – угол направления к цели, r_{goal} – расстояние до целевой координаты, $D(\alpha)$ – вспомогательная функция.

Вспомогательные функции могут быть разными, они отвечают за выбор более разреженного пути. Один из примеров данной функции представлен в работе:

$$(2) \quad D(\alpha) = 2H \cos(\alpha - \alpha_{goal}) + f(\alpha)$$

Данный алгоритм способствует избеганию столкновений, но не предотвращает их, поэтому необходимы вспомогательные когнитивные силы.

Отталкивающая сила — ключевая задача данной силы, это избегание столкновений. Данная сила должна держать определенную дистанцию между объектами. Чем ближе объекты, тем сильнее необходимо отталкиваться.

$$(3) \quad \vec{v}_{des} = \frac{\vec{v}_{sum}}{v_{sum}} \min(v_{max}; v_{sum})$$

$$(4) \quad \vec{v}_{sum} = \sum_i \vec{v}_i$$

$$(5) \quad \vec{v}_i = \frac{\vec{r}_i}{r_i} \left(1 - \frac{R}{r_i}\right) F$$

В данном случае \vec{r}_i является вектором направленным от себя к соседнему роботу и его длина равна расстоянию между ними. В случае дальномерного зрения это перебор всех секторов, где значения r_i равны $f(\alpha)$. Если v_i обнулить для $r_i > R$, то это будет строго отталкивающее взаимодействие.

3 Результаты моделирования

Среда моделирования была реализована самостоятельно на языке `C#` без использования сторонних библиотек моделирования физики. Результаты моделирования были получены путем выборки статистических параметров зависящих от времени и представлены в виде графиков.

Алгоритмы тестировались преимущественно для задач перестроения группы и были изучены такие параметры как количество столкновений, минимальная дистанция между роботами, расстояние до цели и многие другие, некоторые из которых будут представлены ниже. Для группы роботов числом от 10 до 100 экспериментальным путем было выявлено несколько экстремальных видов перестроений.

Наиболее сложной ситуацией перестроения являлось трансформация конфигурации группы из окружности в окружность, представленного на рисунке 2.

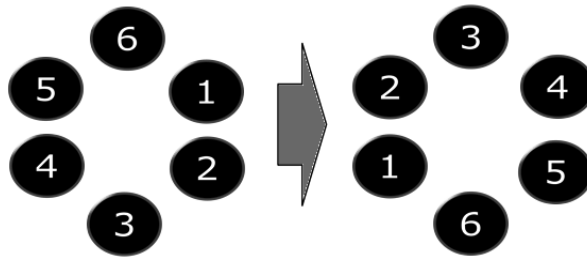
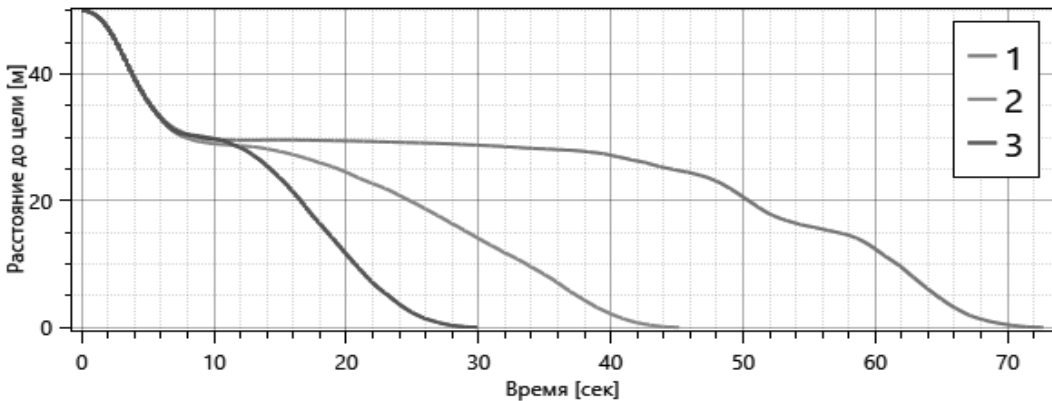


Рисунок 2 – Перестроение группы роботов из окружности в окружность

Была проведена серия экспериментов для данного вида перестроения с заданными параметрами:

Частота моделирования: 20 итераций/сек. Диаметры роботов: 1 метр. Угловые размеры секторов дальномерного зрения: 15 градусов. Дальность обзора дальномерного зрения: 6 метров. Величина максимальной тяги: $a_{\max} = 6\text{ м/с}^2$. Количество роботов: 50 штук. Вспомогательная функция целестремительного алгоритма: $D(\alpha) = f(\alpha)$. Параметры отталкивающего алгоритма: $R = 6\text{ м}$; $F = 6\text{ м/с}$. Конфигурация группы: окружность, радиус 25 м.

Первая серия моделирований является характерной демонстрацией важности выбора более разреженной траектории движения для целестремительного алгоритма, представленного на рисунке 3. Движение направленное строго к цели показывает самый худший результат во всех экспериментах, что говорит о высокой значимости выбора направления движения. В то время как выигрышные функции выбора более разреженной траектории движения конкурируют между собой и показывают разные результаты в разных постановках перестроения. В плотных группах роботов выигрывает выбор траектории без корреляции относительно целевой координаты.



- (1) $D(\alpha) = 0$ – вспомогательная функция всегда направленная к цели,
- (2) $D(\alpha) = 2H \cos(\alpha - \alpha_{goal}) + f(\alpha)$ – с косинусным затуханием относительно цели,
- (3) $D(\alpha) = f(\alpha)$ – с выбором более разреженной траектории.

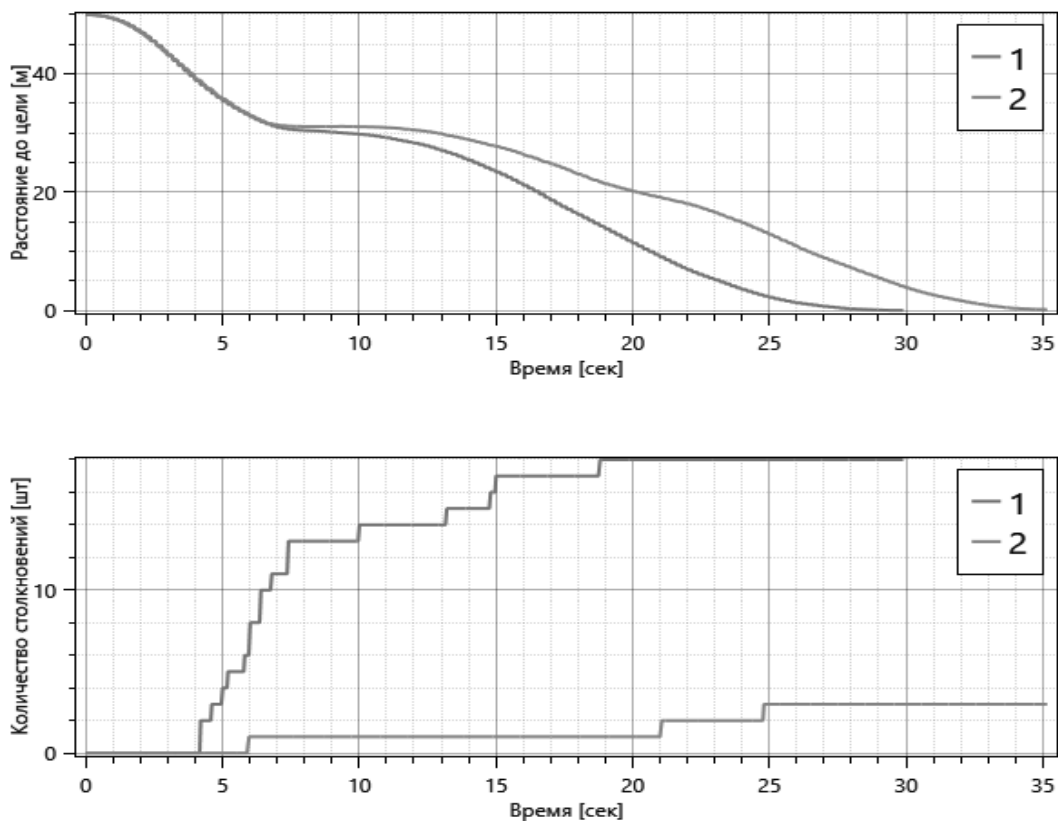
Рисунок 3 – Скорость достижения целевой координаты в зависимости от выбора траектории движения

Среднее расстояние до цели – усредненная сумма расстояний каждого робота до его цели.

$$(6) \quad \bar{G}(t) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N G_i(t)$$

Здесь $G_i(t)$ – расстояние до цели i -того робота в момент времени t , а N – количество роботов.

Вторая серия моделирований отличается тем, что задается более сильное влияние отталкивающего алгоритма. В то время как проигрыш по времени для достижения цели составляет порядка 10%, но это имеет значительное влияние на количество столкновений, представленного на рисунке 4. Выявлена прямая тенденция падения количества столкновений от увеличения отталкивающих сил, в том числе данный алгоритм имеет хорошие показатели для большого количества роботов.

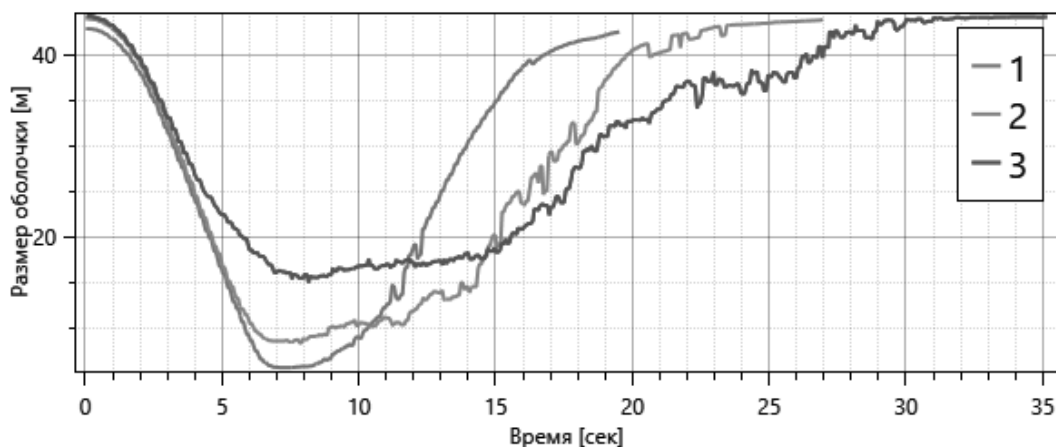


- (1) $R = 3$ м; $F = 3$ м/с – недостаточно сильные параметры отталкивания,
 (2) $R = 6$ м; $F = 6$ м/с – параметры, значительно снижающие количество столкновений.

Рисунок 4 – Зависимость статистических данных от силы отталкивающего алгоритма.

Подсчет количества столкновений – количество пересечений форм всех пар роботов за время все исполнения. Пересечение одной и той же пары роботов засчитывается дважды, если при разъединении они пересеклись вновь. Сами столкновения не влияли на физику движения роботов, роботы проходили сквозь объекты.

Последняя серия экспериментов посвящена тому, что увеличение количества роботов для одинаковых задач перестроения не является критической. Данные алгоритмы успешно справляются с большим количеством роботов, что продемонстрировано на рисунке 5. Время реализации схожей задачи не превышает линейного увеличения от повышения количества роботов, что является весьма хорошим показателем. А так же было замечено, что большое количество роботов не вызывает значительного увеличения плотности в группе, как следствие риски столкновений для более большого количества роботов увеличиваются не значительно.



- (1) N = 10 шт
- (2) N = 20 шт
- (3) N = 50 шт

Рисунок 5 – Зависимость размера оболочки от количества роботов в перестроении

Размер оболочки группы – квадратный корень площади оболочки группы. Оболочка группы – это минимальный по периметру многоугольник, внутри которого лежат все роботы.

$$(7) R(t) = \sqrt{S(t)}$$

$$(8) S(t) = \frac{1}{2} |\sum_{i=1}^K (x_i + x_{i+1})(y_i - y_{i+1})|,$$

где $(x_i; y_i)$ – i -тая вершина многоугольника. Вершина при $K+1$ равна вершине 1.

Заключение

В ходе проведения моделирования движения группы роботов были выявлены перспективы изученных и разработанных алгоритмов. Были выявлены преимущества и недостатки разработанных когнитивных алгоритмов для задач управления группы роботов с условием избегания столкновений.

Список литературы

- [1] Ant Colony Optimization and Swarm Intelligence / M. Dorigo, M. Birattari, C. Blum, et al. // 6th International Conference, Brussels, Belgium, 2008. - Vol. 3172, Springer.
- [2] Crowd turbulence: the physics of crowd disasters / D. Helbing, A. Johansson, H. Z. Al-Abideen // International Conference on Nonlinear Mechanics (ICNM-V), 2007, pp. 967–969.
- [3] Crowd Behavior Analysis: A Review where Physics meets Biology / V. J. Kok, M. K. Lim, C. S. Chan // Neuro-computing 2015;177:342-62.
- [4] How simple rules determine pedestrian behavior and crowd disasters / M. Mehdi, H. Dirk, T. Guy // Proceedings of the national academy of sciences of the united states of america, 108(17):6884-8, 2011.
- [5] Gigerenzer G. Simple Heuristics That Make Us Smart / P. Todd // behavioral and brain sciences, 23, pp. 727–780, 2000