

РОЕВЫЕ МЕХАТРОННЫЕ СИСТЕМЫ

¹Миронов Д.Н., ²Гончаренко В.П.

¹ Белорусский национальный технический университет, Минск

² Военная академия Республики Беларусь, Минск

Любая механическая система состоит из конечного количества простых элементов (деталей), от исправности и надежности работы которых зависит работоспособность всей системы. Чем сложнее механическая система, тем больше количество простых элементов из которых она состоит. С ростом количества конструктивных элементов растет вероятность выхода из строя всей механической системы. И как следствие, уменьшается вероятность выполнения системой задачи по ее функциональному назначению.

Поэтому создание механической (мехатронной) системы состоящей из простых элементов, которые в случае повреждения (уничтожения) будут, без прекращения функционирования всей системы, с помощью искусственного интеллекта автоматически заменены исправными, является актуальной задачей стоящей практически перед всеми областями науки и отраслями производства.

Особенно эта задача актуальна для Вооруженных сил. Создание универсальной боевой системы способной самостоятельно, благодаря искусственному интеллекту, самовосстанавливаться и которую из-за большого количества образующих ее мехатронных устройств малого размера невозможно уничтожить, позволит выполнять боевые задачи без человеческих жертв, с минимальными материальными затратами и с 100% вероятностью выполнения.

Создание сложной мехатронной системы, состоящей из множества простых, автономных мехатронных устройств и механизмов всегда являлось актуальной задачей. Много внимания данной проблеме уделяли философы, писатели-фантасты, режиссеры и ученые всех рангов и областей. Яркими примерами могут послужить фильмы, которые с восхищением смотрели не одно поколение: «Терминатор», «Терминатор 2», «Человек муравей», «Матрица» и т.д.

В фильме «Терминатор» перед нами предстает универсальная, боевая мехатронная машина, способная к анализу и в зависимости от сложившейся обстановки принимать решение. Зрителям кажется, что данная машина непобедима. Но во второй части появляется, как его окрестили зрители, робот из жидкого металла. Который условно состоял из капель, каждая из которых, в случае отделения друг от друга, стремится воссоединится с другой ближайшей каплей тем самым восстанавливая поврежденные элементы и возрождая робота в целом.

В фильме «Человек муравей» зритель может увидеть на что способна универсальная биологическая система состоящая из различных видов муравьев, которыми управляет человек. Эта биологическая система способна самоорганизованно и самоуправляемо перемещаться и выполнять практически любые задачи. В случае гибели одного из существ на его место становится другое и выполнение задачи не прекращается. Дополнительным преимуществом данной системы является ее миниатюрность и возможность мгновенной перегруппировки и перестроения.

Поэтому идея создание сложной механической системы состоящей из автономных простых взаимозаменяемых устройств остается актуальным.

Сложная система, состоящая из простых составляющих автономных элементов имеет ряд преимуществ:

- гибкость системы в целом (способность к перестроениям перегруппировке, разбеганию и сборке);
- повышенную надежность (при поломке, уничтожении, застревания, элемента системы оставшаяся часть системы продолжает функционировать без него или заменяет его другим);
- возможность наращивания количества составных элементов, а значит потенциала возможности системы.

Идея создания сложных механических систем реализующих коллективное поведение не нова. Примеров таких систем не мало [1]. Но создатели и разработчики не стремятся рассказывать конструктивные решения принятые им при разработке робота, но о них можно догадаться самому, имея определенный опыт и знания конструирования робототехнических систем, изучая конструкцию робота. Чего нельзя сказать о алгоритмах функционирования, принципах связи, обработки информации и управления. Они составляют наибольшую ценность и без комментариев и демонстрации автора здесь не обойтись. Но при демонстрации порой складывается впечатление, что те, кто могут показать что-то действительно впечатляющее воображение зрителя, избегают рассказать о том, что лежит в основе демонстрируемой системы, а те, кто могут рассказать что-то интересное и действительно важное, показать толком ничего не могут.

Поэтому достижения в данной области развиваются очень медленно и до сих пор не нашли широкого применения и огласки. Нельзя не отметить большую стоимость этих разработок.

Наиболее яркие и интересные разработки [2, 3, 4].

Проект I-SWARM. В университет Карлсруэ (Германии) разрабатываются роботы с «коллективным искусственным мышлением». Роботы умеют узнавать друг друга и придерживаться друг друга.

Multi Robot Systems. Университет Алберты в Эдмонтоне (США). Исследования коллективного поведения роботов. Проект посвящен задачам коллективного принятия решений.

Проект SwarmBot. Американская компания iRobot занята разработкой небольших роботов, способных сообща выполнять определенные действия. Ожидается, что роботы SwarmBot смогут объединяться в группы численностью до десяти тысяч и выполнять такие задачи, как, например, поиск мин, исследование неизвестных территорий (в том числе на других планетах), обнаружение вредных веществ и пр.

Проект DARPA-2003. В рамках проекта был создан отряд из 120 роботов. Основная задача проекта – реализация коллективного решения тактических и разведывательных задач.

Проект Centibots. Роботы способные работать и как единый организм, и в одиночку. Их цель – изучить закрытое помещение, составить его план и выполнить какую-нибудь задачу.

Артиллерийская система NLOS-LS (2010 г). Корпорации Lockheed Martin и Raytheon создают артиллерийскую систему нового поколения NLOS-LS. Заряды смогут объединяться в воздухе в интеллектуальную сеть и с максимальной эффективностью поражать объекты противника, расположенные вне зоны прямой видимости.

Проект SwarmRobot. Проект посвящен созданию минироботов (с линейными размерами до 3 см), которые могут организовывать масштабируемые коллективы из десятков и сотен роботов (рис.1). Предполагается, что создаваемая элементная база позволит реализовать различного рода эффекты самоорганизации в больших коллективах.

Проект Swarmanoid. Основная задача проекта – исследование поведения неоднородных коллективов роботов. Реализована задача, в которой коллектив из колесных роботов, летающего робота-разведчика и манипуляционного робота (рис.2) совместными усилиями находили объект (книгу) и манипулировали с ним.

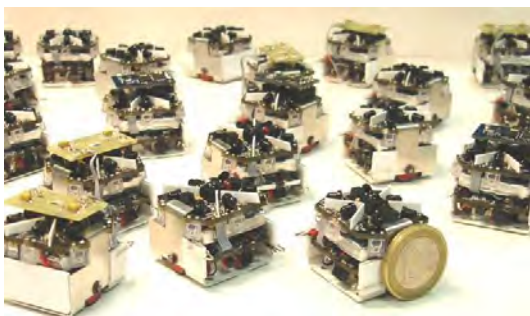


Рис. 1. Мини-роботы проекта Swarm-Robot



Рис. 2. Роботы проекта Swarmanoid



Рис. 3. Миниробот S-бот

Эволюционирующие роботы. В 2009 г. в швейцарской лаборатории Laboratory of Intelligent Systems (политехническая школа, Лозанна) были проведены исследования в области «эволюции» роботов. Эволюционировал геном робота, определяющий поведение. В экспериментах группа из 10 роботов состязалась за пищу. Роботы – это колесные платформы (s-боты) диаметром 12 и высотой 15см. (рис.3).

Задача роботов заключалась в поиске «источника пищи», которым являлось светящееся кольцо на одном из концов арены. На другом конце арены было более темное кольцо, которое считается «отравленным». Роботы получали очки в зависимости от того сколько времени проведут около источников пищи и/или «яда». Кроме того, роботы могли «общаться» друг с другом, посредством световых сигналов.

Роботы могли «эволюционировать» из-за того, что каждый робот был оснащен искусственной нейронной сетью контролируемой бинарным «геномом». В ходе экспериментов эволюция роботов приводила иногда к тому, что роботы обучались даже обманывать соперников, испуская «неправильный» свет, находясь возле кормушки (чтоб не привлекать к кормушке конкурентов).

Для управления и взаимодействия группы роботов разработана схема управления представленная на рисунке 4.

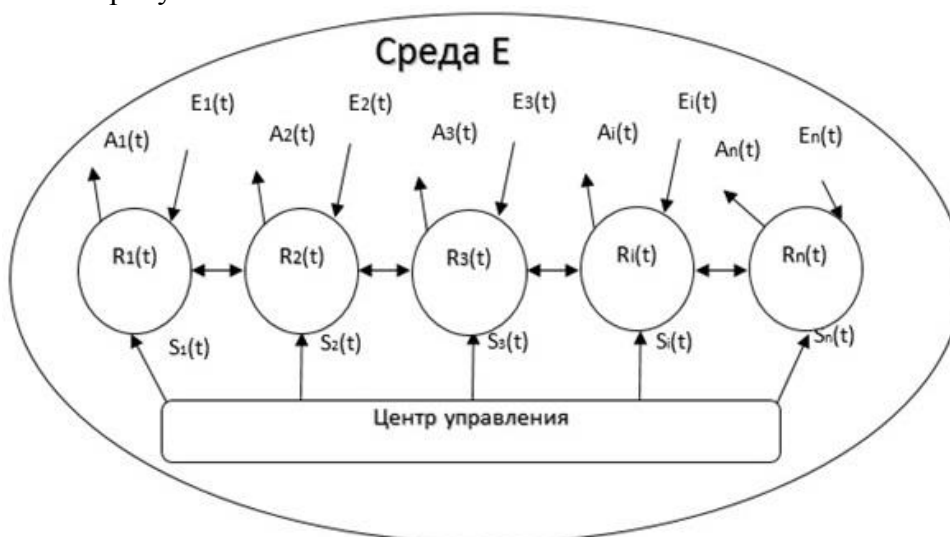


Рис. 4. Схема управления минироботами

На рисунке 4 кругами обозначены мехатронные устройства действующие сообща, под центром управления понимается персональная электронная вычислительная машина, $S(t)$ - это вектор-функция времени t , которая описывает состояние группы роботов R и некоторого участка среды $E(t)$ в ее окрестности, $A(t)$ - вектор действий роботов.

Робот и среда, взаимодействуя друг с другом, образуют некоторую систему «робот–среда». Состояние системы «робот–среда» в момент времени t описывается, как отмечалось выше, вектор-функцией $S(t)$, которая определяется как

$$S(t) = (R(t), E(t)).$$

Задача управления роботом состоит в том, чтобы определить такую последовательность действий $A(t)$ на интервале времени $[t_0, t_k]$, выполнение которых при связях, начальных условиях и ограничениях обеспечивало бы экстремум функционала

$$Y = \Phi(R_k, E_k, t_k) + \int_{t_0}^{t_k} F(A(t), R(t), E(t), t) dt.$$

Каждый робот самостоятельно принимает решение в выборе оптимальной траектории движения, поддерживая связь с соседними роботами находящимися в рое.

По достижению конечного пункта между роботами происходит распределение и перераспределение задач, а в случае необходимости дублирование. Критерий выбора и распределения задач имеет вид. В момент времени $t \in [t_0, t_k]$ каждый робот роя $R_j \in R$ ($j \in [1, N]$), состоящей из N роботов, может решать m_j целевых задач, на которые может быть разбита общая для роя роботов целевая задача T_c , или, другими словами, перед роботом R_j поставлена одна из m_j целей. Выполнение каждой из задач $T_i \in T_c$ ($i \in [1, m_j]$) R_j роботом роя дает приращение целевого функционала $\Delta Y_{i,j}$ ($i \in [1, m_j]$). Относительная оценка эффективности выполнения j -м роботом i -й цели определяется по формуле

$$d_{j,i} = \frac{\Delta Y_{i,j}}{Y_j^{\max}},$$

где ΔY_{\max} максимально возможное приращение целевого функционала, которое может обеспечить один робот при выполнении какой-либо задачи. Распределения задач состоит в том, чтобы в момент времени $t \in [t_0, t_k]$ распределить задачи между роботами роя таким образом, чтобы

$$Y_c = \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^{m_j} d_{j,i} \rightarrow \max.$$

Данная задача решается с помощью итерационной процедуры оптимизации коллективных действий.

В условиях динамической недетерминированной среды нет смысла реализовывать действия роботов, обеспечивающие экстремум функционала на всем интервале времени $[t_0, t_k]$, так как ситуация может измениться таким образом, что полученное в некоторый момент времени решение в дальнейшем может стать далеко не оптимальным. Для решения такой задачи необходимо использовать алгоритмы коллективного улучшения плана [5, 6].

Для управление группой роботов необходимо использовать современные алгоритмы выбора лидера группы, который в случае уничтожения или поломки, выбирался группой оставшихся роботов автоматически. Осуществляется это следующим способом. Робот сети (агент), имеющий максимальное количество связей, становится претендентом на роль лидера A (рис. 5). Его ближайшее окружение – анализаторы информации B , используемой для принятия решения. Роботы, расположенные на периферии сети S , отвечают за сбор информации.

Робот A становится лидером, путем голосования осуществляемого роботами стаи, которое осуществляется следующим способом.

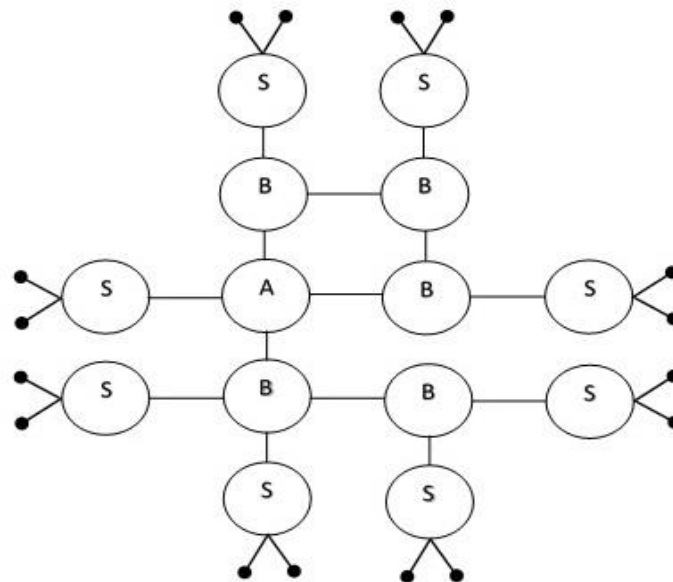


Рис. 5. Организация связи между роботами стаи

Каждый робот в процессе голосования представлен четырьмя значениями:

$$A = (N, L, C, W),$$

где N – идентификатор или имя робота, L – список роботов-соседей, от которых робот может получать информацию, C – идентификатор «кандидата в лидеры», за которого голосует робот, W – вес кандидата C или число голосов, которое, по мнению агента, следует отдать за «кандидата в лидеры».

Каждый робот определяет, за кого голосуют его соседи. При этом, в зависимости от веса кандидата, за которого голосует сосед, робот может поменять свое мнение и проголосовать за того же кандидата, что и его сосед.

В работе предложено объединить миниатюрные мехатронные устройства в единый универсальный механизм функционирующий как рой. Созданная универсальная боевая система, способна самостоятельно, благодаря искусственному интеллекту, самовосстанавливаться и выполнять боевые задачи со 100% вероятностью, без человеческих жертв и с минимальными материальными затратами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Каляев И.А., Гайдук А.Р., Капустян С.Г. Модели и алгоритмы коллективного поведения в группах роботов. –М.: Физматлит, 2009. -280 с.
2. Rybski, P.E.; Burt, I.; Dahlin, T.; Gini, M.; Hougen, D.F.; Krantz, D.G.; Nageotte, F.; Papanikolopoulos, N.; Stoeter, S.A.; "System architecture for versatile autonomous and teleoperated control of multiple miniature robots" Dept. of Comput. Sci. & Eng., Minnesota Univ., Minneapolis, MN, USA , 2001, 2917 - 2922 vol.3 ISSN: 1050-4729 Print ISBN: 0-7803-6576-3.
3. Карпов В.Э. Коллективное поведение роботов. Желаемое и действительное //Современная мехатроника. Сб. научн. трудов Всероссийской научной школы (г.Орехово-Зуево, 22-23 сентября 2011) - Орехово-Зуево, 2011. – 132 с. сс.35-51.
4. Каляев И.А., Гайдук А.Р., Капустян С.Г. Модели и алгоритмы коллективного поведения в группах роботов. –М.: Физматлит, 2009. -280 с.
5. Каляев И. А. Метод коллективного управления группой объектов // Нелинейный динамический анализ (NDA'2): Материалы Второго междунар. конгресса. — М.: МАИ, 2002
6. МакКоннелл Дж. Основы современных алгоритмов. - М.: Техносфера, 2004. - 368 с.