

КРАТКИЙ ОБЗОР ИССЛЕДОВАНИЙ И РАЗРАБОТОК В ОБЛАСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ СТАЙНЫХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Бубин А.Р., Бурдун И.Е.

ООО «ИНТЕЛНИКА»

630009, Новосибирск, ул. Никитина, 15-76, тел./факс (383) 266-20-92,

e-mail: info@intelonics.com, www.intelonics.com

В докладе представлена выборка ключевых обзорных публикаций из базы данных научных работ, созданной в компании «ИНТЕЛНИКА», в области математического и полунатурного моделирования группового взаимодействия мобильных роботов и других объектов, поведение которых строится на принципах самоорганизации и этологии.

Введение

Роботы стайного поведения образуют подмножество мобильной робототехники группового применения и отличаются способностью самостоятельно организовывать свои действия в локальном пространстве. Это позволяет группе роботов более надёжно решать поставленные задачи в сложных или заранее неизвестных условиях реальной эксплуатационной среды.

В компании «ИНТЕЛНИКА» создана и систематически пополняется база данных открытых электронных публикаций, посвящённых исследованиям и разработкам в области мобильной робототехники стайного поведения и смежных проблем. Общее количество публикаций, представленных в базе данных по направлению «стайная робототехника», в настоящее время превышает 4000 (более 45 тыс. страниц информации) [1].

О роли моделирования в изучении поведения стайных систем

Математическое и полунатурное моделирование поведения стайных систем – новая, бурно развивающаяся область прикладных исследований и разработок. Эти работы направлены на создание и использование имитационных математических моделей, лабораторных стендов и экспериментальных образцов для целей анализа и прогнозирования поведения больших сообществ динамических объектов, поведение которых строится на основе принципов самоорганизации, адаптации и этологии. К таким объектам относятся:

- мобильные роботы (подводные, надводные, донные, наземные, подземные, авиационные, космические, гибридные);
- мобильные человеко-машинные системы (автомобильный, воздушный и морской транспорт, системы военного назначения);
- живые существа (насекомые, рыбы, птицы, животные, люди);
- виртуальные объекты (программные агенты, информационные сообщения, психологические, социальные и политические явления, события на финансовых и товарных рынках).

Использование достоверных математических моделей позволяет дополнить и в ряде случаев заменить дорогостоящие полунатурные и натурные испытания перспективных робототехнических систем. Кроме того, опережающие исследования стайных систем на имитационных моделях позволяют спрогнозировать сложную и непредсказуемую динамику их поведения, оценить выходные характеристики (эффективность, надёжность, безопасность) в штатных и нештатных ситуациях, предотвратить аномальные или катастрофические сценарии развития. Этим, вероятно,

можно объяснить всплеск практического интереса к проблеме и технологии имитационного моделирования стайных систем в различных сегментах приложений в последние годы.

Цели и ограничения

В докладе даётся краткий обзор подмножества обзорных публикаций из базы данных компании в области моделирования стайных систем.

Цель доклада – составить своеобразный «путеводитель» по ключевым публикациям, посвящённым анализу состояния вопроса и тенденций развития в области создания и применения математических моделей и лабораторных стендов, предназначенных для исследований поведения стайных систем, а также кратко представить некоторые наиболее интересные, на наш взгляд, работы в данной области.

Следует отметить, что приводимый ниже материал не претендует на всесторонность освещения научной проблемы моделирования стайных робототехнических систем и полноту библиографического списка публикаций по проблеме. Такое исследование может быть выполнено по специальному запросу.

Ввиду того, что в базе данных представлены, в основном, электронные публикации, не для всех работ была возможность указать полные библиографические ссылки в списке использованных источников.

О методе поиска информации

Стайная робототехника – относительно молодая научно-техническая дисциплина. Анализ состояния вопроса в данной области с помощью располагаемых электронных ресурсов требует использования терминологии и специальных знаний из разных дисциплин.

Для поиска публикаций по предмету в информационных системах рекомендуется использовать ключевые фразы, их вариации и комбинации на английском и других языках, которые семантически характеризуют данную предметную область. В том числе, это следующие ключевые фразы:

- swarm [flock, school, heard, colony] (стая, рой, стадо, колония);
- swarming behavior (стайное поведение);
- swarming robotics (стайная робототехника);
- swarm modeling and simulation (математическое моделирование и вычислительный эксперимент в области стай);
- mathematical biology (математическая биология);
- ethology and self-organization (этология и самоорганизация);
- artificial life (искусственная жизнь);
- swarm intelligence (стайный интеллект).

По мере нахождения полезных публикаций набор ключевых фраз и названий конкретных работ для дальнейшего поиска быстро расширяется. Это позволяет сформировать достаточно представительную рабочую библиотеку публикаций по конкретному проблемному направлению.

Ниже идёт краткий обзор источников и примеров ключевых публикаций по следующим направлениям:

- методы и технологии моделирования стайных систем;
- лабораторное (полунатурное) моделирование стайных систем;
- экспериментальная отработка технологий для стайной робототехники;
- моделирование виртуальных стайных систем и «искусственной жизни»;
- национальные и международные проекты и программы;

- справочники и базы данных по моделированию стайных систем.

Методы и технологии моделирования стайных систем

К группе публикаций, посвящённых задаче составления систематического обзора исследований и разработок по рассматриваемому предмету, следует, в частности, отнести работы Muniganti и Pujol [2], Baynidir and Sahin [3].

В частности, в работе [2] приводится классификация математического аппарата, используемого для задач моделирования стайных систем. Это вероятностные методы, теория автоматов, обыкновенные дифференциальные уравнения и уравнения в частных производных, методы теории динамических систем, методы математической биологии, эвристические и алгоритмические модели.

В базе данных компании представлено представительное множество публикаций по данному направлению.

Лабораторное (полунатурное) моделирование стайных систем

К публикациям, посвящённым анализу состояния вопроса в области лабораторного (полунатурного) моделирования стайных систем, можно отнести работы Ridaou, Ribas, Batlle и Hernández [4], Fossen [5], Choi [6], Brutzman [7] и др.

В указанных работах даётся обзор исследований и разработок по созданию и применению программных и лабораторных комплексов, предназначенных для моделирования поведения стайных систем. В том числе, это программные комплексы и лабораторные стенды, созданные на основе коммерческих программных продуктов MATLAB/Simulink, языков C++ и VRML, ProtoSwarm [8, 9], технологий распределенного сетевого моделирования [6], учебно-научной лабораторной базы высших учебных заведений и отраслевых научных центров [7, 10, 11], научно-экспериментальных испытательных стендов компаний-производителей техники и др.

Например, в работе [4] систематизируются функциональные возможности и ограничения некоторых стендов, созданных для имитации одиночного и группового поведения подводных роботов. Классификация включает следующие возможности моделирования: окружающая обстановка («мир»); опасные факторы эксплуатационной среды; физика роботов (динамика движения, гидроакустические датчики, система видеонаблюдения, система связи, движители); технология моделирования (пакетная, человеко-машинная, распределенная); система визуализации; возможности моделирования поведения групп; исследованные модели роботов.

В работе [11] приводится обзор примеров приложений технологии с открытой архитектурой для полунатурного моделирования стайных систем и исследованных с её помощью научно-технологических проблем, связанных с созданием стайных роботов.

В базе данных компании собраны сведения о представительной коллекции диссертаций и других работ в области исследования прототипов стайных систем различных классов по данному направлению.

Экспериментальная отработка технологий для стайной робототехники

Один из наиболее полных и актуальных обзоров работ в данной области сделан Nuh [12] на основе анализа исследований Cao, Fukunaga и Kahng [13], Sahin [14], Bayindir и Sahin [3]. Общие темы обзора: определение стайной робототехники; определение стайного «интеллекта»; основные характеристики стайных роботов; приложения стайной робототехники.

Специальные научные темы обзора включают вопросы моделирования стайных систем, проектирования поведения стай, организации связи в стайных системах и др.

Основная часть работ по данному направлению (в том числе – диссертации и научно-технические отчёты) и результаты краткого анализа их содержания более полно представлены в базах данных компании.

Моделирование виртуальных стайных систем и «искусственной жизни»

Наиболее полным источником публикаций и других полезных материалов (программ, проектов, статей, анимаций, иллюстраций и пр.) в области моделирования виртуальных динамических объектов стайного поведения – бойдов (boids) – является веб-сайт Крэйга Рейнольдса [15].

Крэйг Рейнольдс (Craig Reynolds) – автор наиболее популярной, простой и эффективной математической модели стайного поведения. Модель была разработана в 1986 году для целей имитации полёта больших стай птиц и групп других живых существ при создании мультипликационных фильмов, в которых впервые была использована технология трёхмерной анимационной компьютерной графики [16].

Основные информационные разделы веб-сайта К. Рейнольдса по моделированию полёта «бойдов» [15]:

- базовые принципы стайного поведения;
- публикации автора по данной тематике;
- история развития модели бойдов, другие работы в данной области;
- источники информации on-line по моделированию бойдов;
- другие вычислительные модели группового поведения;
- изучение поведения естественных стай, роёв, других естественных групп;
- программное обеспечение для моделирования стайного поведения.

Вопросы моделирования внешних аспектов и процессов развития жизни, которые также имеют отношение к проблеме имитации стайного поведения искусственных систем, достаточно полно освещаются на сайте международного общества исследователей по проблемам искусственной жизни [17].

Национальные и международные проекты и программы

Исследования и разработки в области групповой (в частности, стайной) робототехники – весьма чувствительная область и растущий сектор рынка НИОКР и инновационной продукции ведущих стран Запада и Востока. Понимая стратегическую важность данного направления, правительства ряда стран объединяют свои усилия и концентрируют научно-технические и финансовые ресурсы на национальном и региональном уровнях в данной области.

Пример подготовки программы перспективных исследований и разработок в области распределённых систем искусственного интеллекта военного назначения на базе мобильной гетерогенной робототехники приводится в научно-техническом отчёте [18]. Темы основных разделов отчёта включают вопросы построения архитектуры групповых робототехнических комплексов, систем управления, инфраструктуры системы обеспечения, системной интеграции и др.

Справочники и базы данных по моделированию стайных систем

Известен пример издания, вероятно, первого справочника в области моделирования коллективного искусственного интеллекта, основу которого составляют мобильные робототехнические системы стайного применения [19]. Тематика разделов справочника [19]:

- коллективный искусственный интеллект;
- имитационное моделирование (модели и алгоритмы);
- примеры разработок (анализ, проектирование);

- технология моделирования;
- программное обеспечение моделирования, проекты.

Заключение

Имитационное моделирование играет важнейшую роль в научном обеспечении жизненного цикла перспективной стайной робототехники. Вычислительный эксперимент на достоверной имитационной модели позволяет дополнить и в ряде случаев заменить полунатурные и натурные испытания, прогнозировать технические характеристики будущей системы в различных ситуациях реального применения, начиная с ранних этапов проектирования, с минимальными затратами ресурсов – времени, финансов, кадров, оборудования. Представляется важным и актуальным проведение работ с целью систематического анализа состояния и оценки тенденций развития методов и технологий математического и полунатурного моделирования в области стайных систем.

Литература

1. Бурдун И.Е., Бубин А.Р. База данных публикаций, состояние и перспективы разработок в области мобильной робототехники «стайного» применения (аналитический обзор) // Сб. материалов 4-й Всероссийской научно-технической конференции «Технические проблемы освоения Мирового океана», 3-7 октября 2011 года, г. Владивосток, 2011, с. 339-345.
2. Muniganti P and Pujol A.O., A Survey on Mathematical models of Swarm Robotics, 10 pp.
3. Bayindir L., Sahin E., A Review of Studies in Swarm Robotics // Turkish Journal of Electrical Engineering, Vol.15, No. 2, 2007, pp. 115-147.
4. Ridao P., Ribas D., Batlle E. and Hernández E., Simulation of Physical Agents. An Application to Underwater Robots, 11 pp.
5. Fossen T.I, Marine Control Systems: Guidance, Navigation and Control of Ships, Rigs and Underwater Vehicles // Marine Cybernetics AS, Trondheim, December 2002.
6. Choi S.K., et al., Distributed Virtual Environment Collaborative Simulator for Underwater Robots // IEEE/RSJ Int. Conf. on Robots and Systems, Takamatsu (Japan), November 2000, pp. 861-866, 2000.
7. Brutzman D.P., A Virtual World for an Autonomous Underwater Vehicle // PhD Thesis, Monterey, USA, Dec. 1994.
8. Lluch D., Building Multi-UAV Simulation Methods // AIAA Paper 2002-4977, AIAA, 2002, 6 pp.
9. Bachrach J., McLurkin J., Grue A., Protoswarm: A Language for Programming Multi-Robot Systems Using the Amorphous Medium Abstraction (Short Paper) // Proc. of 7th Int. Conf. on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AAMAS 2008), Padgham, Parkes, Müller and Parsons (eds.), May, 12-16., 2008, Estoril, Portugal, pp. 1175-1178.
10. Song F. et al., Modeling And Simulation Of Autonomous Underwater Vehicles: Design And Implementation // IEEE Journal of Oceanic Engineering, Vol. 28, Issue 2, April 2003, pp. 283-296.
11. Kernbach S. Swarmrobot.org - Open-hardware Microrobotic Project for Large-scale Artificial Swarms, 20 pp.
12. Huh S., A Survey on Swarm Robotics, 21 pp.

13. Cao Y., Fukunaga A., Kahng A., Cooperative Mobile Robotics: Antecedents and Directions // Autonomous Robots, Vol. 4, 1997, pp. 7-23.
14. Sahin E., Swarm Robotics: From Sources of Inspiration to Domains of Application // Swarm Robotics Workshop: State-of-the-art Survey, No. 3342, Lecture Notes in Computer Science, 2005, pp. 10-20.
15. <http://www.red3d.com/cwr/boids/>.
16. Carlson S., Artificial Life: Boids of a Feather Flock Together // Scientific American, November 2000 (<http://www.sciam.com/2000/1100issue/1100amsci.html>).
17. www.alife.org.
18. Broten G., Monckton S., Giesbrecht J., Verret S., Collier J. and Digney B., Towards Distributed Intelligence – A High Level Definition // Technical Report, DRDC Suffield TR 2004-287, December 2004, 71 pp.
19. Schut M.C., Scientific Handbook for Simulation of Collective Intelligence, Version 2, February 2007, 177 pp.