

УДК 004.94:519.876.5

СРЕДА ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ГРУППОВЫХ ДЕЙСТВИЙ АВТОНОМНЫХ БПЛА

М.Г. Пантелеев (*MPanteleyev@gmail.com*),
С.В. Лебедев (*lebedev.sv.etu@gmail.com*)
СПбГЭТУ «ЛЭТИ», Санкт-Петербург
Н.В. Кохтенко (*nvkokhtenko@gmail.com*),
ЗАО НИИ ТС «Синвент», Санкт-Петербург

Рассмотрены проблемы создания среды имитационного моделирования (СИМ) групповых действий БПЛА с высокой степенью автономности. Среда предназначена для экспериментального исследования и отработки в реальном времени различных моделей группового поведения БПЛА в условиях командного противодействия и разрабатывается с позиций концепции многоагентных систем (МАС). Сформулированы предъявляемые к СИМ требования, рассмотрена ее архитектура и основные особенности функционирования.

Введение

Магистральной тенденцией развития БПЛА является повышение степени их автономности [Huang et al., 2008], в том числе при решении задач группами в условиях активного противодействия [Baxter et al., 2008; Stenger et al., 2012]. Теоретической базой создания таких систем является концепция автономных интеллектуальных агентов (ИА) и основанных на них многоагентных систем (МАС). Практическая разработка автономных БПЛА, способных координировать свои действия при групповом решении задач, предполагает создание технологических средств, поддерживающих их проектирование и исследование поведения. Натурное исследование моделей автономного и группового поведения БПЛА в различных ситуациях экономически нецелесообразно, поэтому актуальным является создание сред имитационного моделирования таких систем [Selecký et al., 2012]. Существующие в настоящее время среды имитационного моделирования агентных систем, по совокупности характеристик не удовлетворяют требованиям моделирования групповых действий БПЛА. Таким образом, актуальной проблемой является создание платформы,

позволяющей исследовать групповые действия БПЛА в широком диапазоне сценариев с учетом требований реального времени.

1. Основные требования к СИМ

Основными требованиями к СИМ являются:

- *универсальность* – поддержка моделирования различных типов БПЛА как в части физических подсистем (ФП), так и архитектуры интеллектуальной подсистемы (ИП);
- *открытость* – возможность добавления новых компонентов, используемых при построении имитационных моделей БПЛА (например, новых типов сенсоров), включая его ИП;
- *масштабируемость* – возможность наращивания числа моделируемых объектов без снижения общей производительности системы.

Важнейшим требованием к СИМ является обеспечение возможности моделирования сценариев группового противодействия в реальном масштабе времени. При этом длительность такта моделирования должна соответствовать динамике процессов в моделируемой физической среде. Автономные БПЛА, функционирующие в открытых динамических мирах, с позиций теории ИА следует рассматривать как системы «ограниченной рациональности». Такие системы, в общем случае, не могут за отведенное время оптимально решать стоящие перед ними задачи, а должны рационально использовать имеющееся в конкретной ситуации время обдумывания решения. В высокодинамичных средах решения должны приниматься агентом в темпе обновления данных о состоянии среды. Вследствие этого ИП БПЛА должна выдавать команды управления физической подсистеме, а СИМ – обеспечивать обработку этих команд (т.е. пересчет физического состояния всех моделируемых БПЛА) в пределах такта моделирования.

Другое важное требование к создаваемой СИМ – возможность мониторинга работы ИП БПЛА (ментальной деятельности агента). Это предполагает фиксацию в каждом такте моделирования промежуточных результатов процесса обдумывания решений на каждом значимом для используемых архитектуры и модели ИП шаге принятия решений. Соответствующая информация должна сохраняться для последующего воспроизведения и анализа сеанса моделирования вне режима реального времени. Данное требование обусловлено необходимостью сравнительного исследования эффективности различных архитектур ИП как систем «ограниченной рациональности».

Еще одним требованием к СИМ является возможность моделирования различных стратегий координации действий в группах БПЛА. В настоящее время в теории МАС разработано множество подходов и

моделей координации поведения агентов, ориентированных на различные классы агентных систем и решаемые ими задачи. Выбор конкретных стратегий и моделей координации выполняется разработчиком моделируемой МАС, при этом СИМ не должна накладывать в этой части никаких ограничений. Задачей среды является предоставление системных механизмов, позволяющих моделировать различные стратегии координации как при наличии непосредственной коммуникации между агентами, так и без нее. В первом случае СИМ должна поддерживать моделирование каналов связи между агентами с учетом их ограниченной пропускной способности и дальности действия, наличия шумов и ненадежной доставки сообщений. Координация в условиях отсутствия непосредственной коммуникации предполагает наблюдение за поведением других агентов посредством собственных сенсоров и (или) получение информации о других агентах от единого центра управления (выделенного агента-координатора).

2. Архитектура и особенности реализации СИМ

Архитектура СИМ, удовлетворяющей сформулированным выше требованиям, представлена на рис. 1. В ее составе выделены среда разработки и среда исполнения.

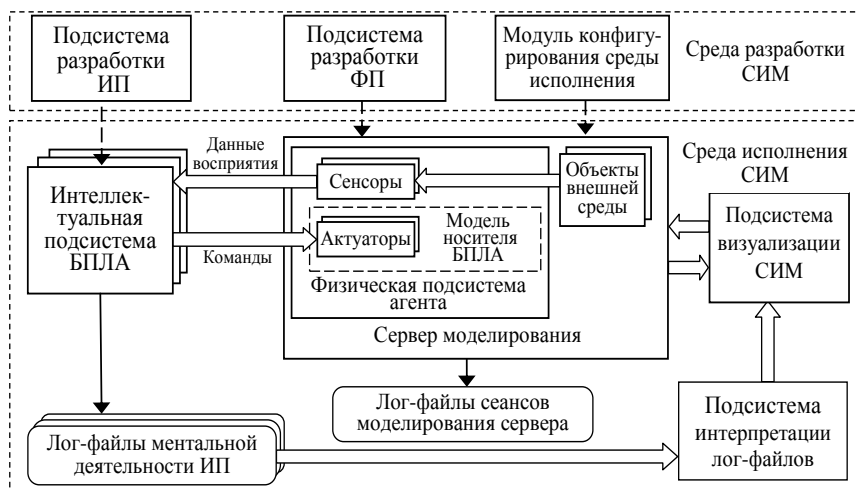


Рис. 1. Архитектура СИМ

Среда разработки позволяет создавать новых агентов (БПЛА и другие, в том числе наземные, активные сущности), задавать начальные условия сценариев моделирования и конфигурировать среду исполнения. При

создании ФП используются библиотеки классов, реализующих различные модели динамики физического носителя агента (например, управляемого полета беспилотного летательного аппарата).

Разрабатываемая СИМ ориентирована, в первую очередь, на исследование агентов с делиберативной архитектурой ИП. Такие агенты используют явную символическую модель окружающей среды и основанные на этой модели методы прогнозирования событий и планирования действий. Класс таких архитектур достаточно широк. В перспективе СИМ не должна накладывать ограничений на выбор конкретной архитектуры ИП. На данном этапе в качестве базовой архитектуры ИП выбрана архитектура основанная на полезности [Пантелеев, 2004; Пантелеев, 2012], включающая подсистемы оценки обстановки, прогнозирования и планирования действий.

В соответствии с архитектурой выполняется разработка отдельных подсистем ИП. При построении разных подсистем используются различные модели представления и обработки знаний – продукционные, фреймовые, а также различные модели обработки неопределенности. Программная архитектура допускает использование существующих инструментов построения систем, основанных на знаниях (CLIPS, JESS и др.). Среда разработки ИП поддерживает редактирование баз знаний агентов и конфигурирование методов их обработки.

Среда исполнения обеспечивает реализацию сеансов моделирования и включает следующие основные компоненты: сервер моделирования, подсистему визуализации и подсистему интерпретации лог-файлов сеансов моделирования. Модуль конфигурирования среды исполнения позволяет задавать длительность такта моделирования, режим работы подсистемы визуализации и логгирования процесса моделирования и т.п.

Среда исполнения СИМ имеет клиент-серверную архитектуру. В соответствии с требованиями масштабирования и обеспечения реального времени ИП различных агентов реализуются в отдельных процессах и могут выполняться на отдельных компьютерах локальной сети. Подсистема визуализации также поддерживает клиент-серверное взаимодействие с сервером моделирования и может быть реализована на выделенном сервере для отображения моделируемых процессов в 3D-графике, что требует значительных вычислительных ресурсов.

Подсистема интерпретации лог-файлов предназначена для воспроизведения сеансов моделирования вне режима реального времени с возможностью детального анализа динамики ментальной деятельности агентов. Поскольку моделирование состояния многоагентного физического мира и ментальной деятельности отдельных агентов в общем случае выполняется на разных компьютерах, лог-файлы этих процессов также сохраняются на разных компьютерах. Состав сохраняемой

информации в общем случае зависит от выбранной архитектуры агента и моделей принятия решений. В частности, для архитектуры ИА, основанной на полезности, эта информация может включать варианты действий, текущие значения их полезности, прогнозируемые ситуации и др. В режиме последующего воспроизведения сеанса моделирования подсистема интерпретации лог-файлов работает с распределенной файловой системой и обеспечивает отображение физического процесса и состояния ментальной деятельности агентов в каждом такте. Базовый алгоритм работы сервера моделирования представлен на рис. 2.

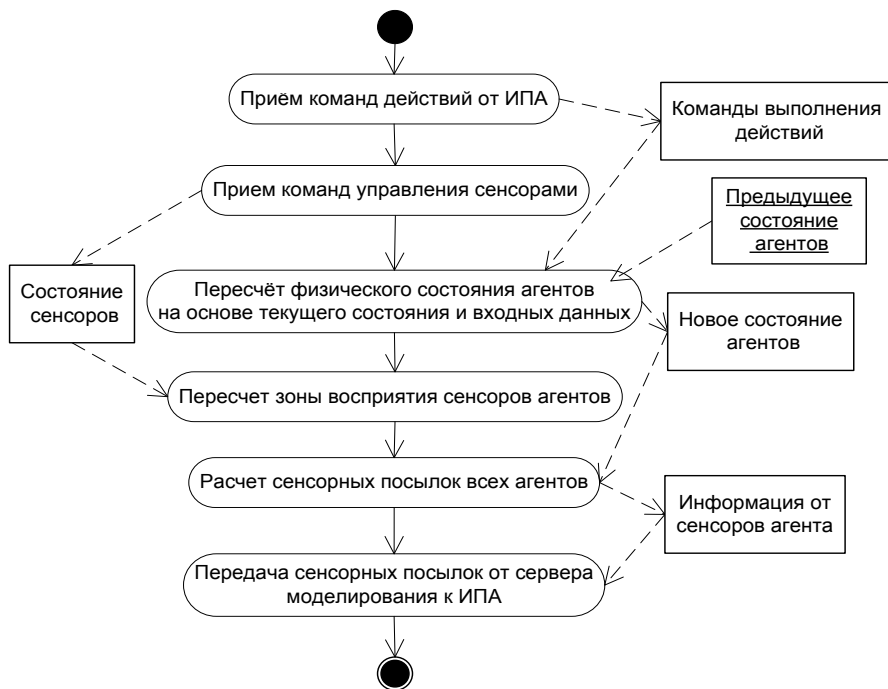


Рис. 2. Базовый алгоритм работы сервера моделирования

В каждом такте моделирования через заданный интервал времени Δt сервер опрашивает порты, к которым подключены ИП моделируемых агентов, и считывает поступившие от них команды. Такт работы сервера задает интервал, в рамках которого ИП должны принимать сенсорные данные, обрабатывать их, вырабатывать решения и выдавать команды управления. На основе этих команд сервер вычисляет новые физические состояния всех агентов (состояния ФП). При этом реализуемые модели

агентов как систем ограниченной рациональности должны гарантировать выполнение цикла работы ИП в рамках заданного такта моделирования.

Новые зоны сенсорного покрытия определяются для всех агентов с учетом нового пространственного положения агентов и режимов работы их сенсоров. При этом для каждого агента определяются объекты внешней среды, находящиеся в пределах зоны его восприятия, и вычисляются сенсорные данные с учетом заданной модели ошибок. СИМ поддерживает возможность моделирования различных типов сенсоров, входящих в состав подсистемы восприятия (ПВсп) агента. Существенными особенностями имитационного моделирования сенсоров агентных систем являются:

- ограниченность зон восприятия;
- возможность управления режимами работы сенсора;
- наличие ошибок (шумов) в воспринимаемой информации.

Среда разработки СИМ поддерживает возможность создания новых типов сенсоров, а также использования при построении конкретного ИА существующих типов сенсоров с возможностью конфигурирования их параметров. При создании имитационной модели сенсора задаются параметры зоны восприятия, характеристики объектов, воспринимаемые данным типом сенсора, и модель ошибок измеряемых параметров. При наличии у сенсора разных режимов работы для каждого из них определяются собственные характеристики.

В общем случае модель внесения погрешностей в получаемые сенсором данные имеет вид:

$$\Delta = f(d, R, P),$$

где Δ – относительная погрешность, вносимая в измеряемые данные; d – расстояние до наблюдаемого объекта; R – режим работы сенсора; P – текущая характеристика помеховой обстановки; f – функция, описывающая зависимость величины погрешности от указанных выше параметров. При моделировании помеховой обстановки учитывается, что она может быть обусловлена как естественными шумами, так и помехами, целенаправленно создаваемыми другими агентами.

Система позволяет моделировать произвольное число агентов, подсистема восприятия каждого агента может содержать любое число сенсоров различных типов. С учетом этого алгоритм работы сервера, реализующий моделирование восприятия агентов, представлен на рис. 3.

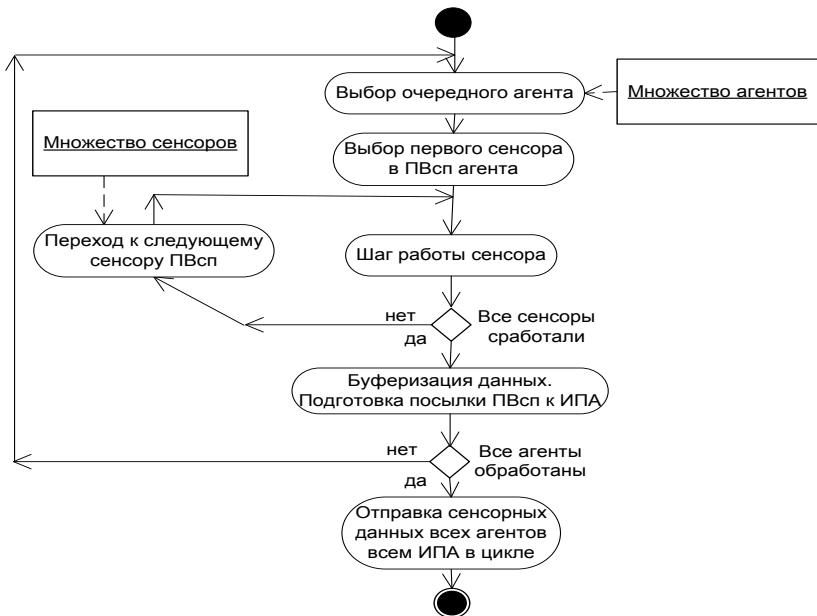


Рис. 3. Базовый алгоритм моделирования восприятия агентов

Собранные в текущем такте сенсорные данные сериализуются и отсылаются ИП соответствующих агентов. На основе полученных сообщений ИП обновляет внутреннюю модель мира агента текущими значениями параметров наблюдаемых объектов, вычисляет значения высокоуровневых параметров ситуации и выполняет ее оценку. Обобщенный алгоритм работы сенсора выполняет обход графа сцены и выбор объектов, попавших в зону восприятия сенсора.

Для отработки моделей кооперативного поведения БПЛА, основанных на коммуникации, в СИМ реализована возможность моделирования ненадежных каналов связи с ограниченной пропускной способностью. Поддерживается возможность моделирования как широковещательных каналов связи, так и выделенных между парой агентов («точка–точка»). При создании модели канала связи в среде разработки задаются его характеристики, в частности: пропускная способность, вероятность безошибочной доставки сообщения, максимальная дальность связи (при моделировании радиоканалов) и др. Указанные характеристики могут описываться случайными величинами с задаваемыми параметрами распределения. Поддерживается возможность приема нескольких сообщений от различных агентов в одном такте моделирования.

Модели каналов связи реализуются основным сервером моделирования. Связь реализуется посылкой серверу команды, содержащей сообщение и идентификатор получателя. В следующем такте принимающий агент получает от сервера команду, содержащую переданное сообщение. При моделировании радиоканалов сервер добавляет во входное сообщение направление на источник и расстояние до него с внесением погрешностей относительно истинных значений. Таким образом, поддерживается возможность с определенной степенью точности идентифицировать источник сообщения по его положению в пространстве.

Заключение

Разрабатываемая среда имитационного моделирования позволяет исследовать модели автономного и группового поведения БПЛА в широком диапазоне сценариев с учетом реальных ограничений их сенсоров и каналов связи. СИМ поддерживает режим реального времени и возможность журналирования и анализа работы ИП (ментальной деятельности агентов) в процессе принятия решений в динамических мирах, что позволяет обрабатывать различные модели принятия решений.

Список литературы

- [Huang et al., 2008] Huang H., Albus J, Messina E. Specifying Autonomy Levels for Unmanned Systems: Interim Report //SPIE Defense and Security Symposium, Orlando, Florida, 2004.
- [Baxter et al., 2008] Baxter J. W., Horn G. S., Leivers D. P. Fly-by-agent: Controlling a pool of UAVs via a multi-agent system. *Knowledge-Based Systems*, 21(3):232–237, 2008.
- [Stenger et al., 2012] Stenger A., Fernando B., Heni M. Autonomous Mission Planning for UAVs: A Cognitive Approach// Deutscher Luft- und Raumfahrtkongress 2012, DocumentID: 281398. <http://www.dglr.de/publikationen/2013/281398.pdf>
- [Selecký et al., 2012] Selecký M., Meiser T. Integration of Autonomous UAVs into Multi-agent Simulation// Acta Polytechnica Vol. 52 No. 5/2012, pp. 93-99
- [Пузанков и др., 2008] Пузанков Д.В., Мирошников В.И., Пантелеев М.Г., Серегин А.В. Интеллектуальные агенты, многоагентные системы и семантический Web: концепции, технологии, приложения. – СПб.: ООО «Технолит», Изд-во «Технолит», 2008.
- [Пантелеев, 2004] Пантелеев М.Г. Планирование действий интеллектуального агента в реальном времени// Труды 9-ой национальной конф. по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2004. – М.: Физматлит, 2004, Т 2.
- [Пантелеев, 2012] Концепция построения интеллектуальных агентов реального времени на основе модели опережающего итеративного планирования// Труды 13-ой национальной конф. по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2012. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2012, Т 3.