

**ТЕХНОЛОГИЯ ПОСТРОЕНИЯ ИМИТАЦИОННОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ  
МОДЕЛИ ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ ХОДА БОЕВЫХ ДЕЙСТВИЙ****И. Ю. Паньковский, А. В. Бобин, А. В. Слатин (Москва)**

При проектировании сложных технических систем (СТС) широко используется математическое моделирование как средство создания инструментов постановки эксперимента и прогнозирования поведения всей системы или ее части в заданных условиях. Среди моделей, применяемых при проектировании вооружения, можно выделить математические модели, отражающие специфику взаимодействия конфликтующих сторон – модели боевых действий.

Предлагаемая технология построения имитационной математической модели базируется на большом опыте ГосНИИАС и лично авторов по разработке операционных математических моделей различных типов боевых действий, и прошла проверку в ходе выполнения ряда НИР и ОКР: «Гера-2», «Алгебра», «Самодержец», «Известняк», «Таганрог», «Премьер» и пр. Авторами разработана быстродействующая имитационная математическая модель (ММ) воспроизведения хода боевых действий, позволяющая с учетом цифровой карты рельефа местности и погодных условий воспроизвести функционирование:

- ◆ дежурного радиолокационного поля;
- ◆ самолетов дальнего радиолокационного обнаружения;
- ◆ радиолокационных и оптикоэлектронных средств воздушной разведки наземных целей;
- ◆ радиолокационных, оптикоэлектронных, радиотехнических и звукометрических средств наземной разведки наземных целей;
- ◆ авиационных боевых комплексов в ходе дальнего воздушного боя;
- ◆ авиационных боевых комплексов при атаке наземных целей;
- ◆ автоматизированной системы управления авиационными боевыми комплексами;
- ◆ зенитной системы ПВО.

Предлагаемая технология объединяет в себе ряд основополагающих принципов, множество алгоритмов, структуру построения и организацию вычислительного процесса. Моделирование производится путем имитации наиболее важных информационных и динамических процессов, происходящих при функционировании объектов.

Благодаря бурному развитию вычислительной техники в настоящее время широкое распространение получили имитационные модели боевых действий, в основу которых положен метод Монте-Карло. В этих моделях влияние случайных факторов учитывается при помощи генератора случайных чисел (ГСЧ), а результат вычисляется путем обработки статистических данных, получаемых при многократной реализации боя с одинаковыми начальными условиями.

В процессе моделирования изменяются параметры, характеризующие состояние сложной технической системы «свои объекты – объекты противника» (например, в момент обнаружения объекта наблюдения средством наблюдения увеличивается число объектов, наблюдаемых этим средством, и происходит формирование сообщения об обнаруженном объекте для отправки на командный пункт). Назовем событиями моменты времени, в которые происходит изменение сложной технической системы «свои объекты – объекты противника», а изменение состояния системы в момент события – реализацией события. Существует два основных подхода к имитации процесса функционирования сложной технической системы.

При первом подходе, который называется потактовым моделированием, имитация процессов, происходящих в системе, ведется с фиксированным малым шагом по времени. На каждом шаге проверяется текущее состояние системы и возможность наступления событий и при выполнении условий наступления какого-либо события производится его реализация.

При втором подходе, который называется пособытийным моделированием, имитация процессов, происходящих в системе, ведется от события к событию. Например, в момент пуска УР рассчитывается время подрыва УР и далее в момент времени, рассчитанный при пуске, разыгрывается исход подрыва БЧ УР.

Если сравнить применение этих двух подходов к имитации сложных систем, то можно сделать вывод, что пособытийное моделирование по сравнению с потактовым дает выигрыш во времени счета, однако увеличивает логическую сложность модели. Увеличение скорости расчетов объясняется тем, что каждый из моделируемых процессов воспроизводится со своим, как правило, неравномерным, шагом по времени в отличие от потактового способа моделирования, при котором такт проверки событий соответствует минимальному шагу воспроизведения процессов. Большая логическая сложность модели при событийном подходе является следствием того, что в каждом событии, как правило, необходимо проводить достаточно сложный расчет ожидаемого времени наступления следующего события, в отличие от потактового способа моделирования, при котором на каждом такте выполняется простая проверка – наступило событие или нет.

Таким образом, потактовый подход к моделированию плохо применим для решения исследовательских задач методом Монте-Карло, и практически не применим при моделировании масштабных боевых операций, поскольку требует слишком много вычислительных ресурсов. В тоже время пособытийное моделирование не обеспечивает достаточную адекватность в условиях трудно прогнозируемого характера взаимодействия сложных технических систем. С повышением точности пособытийных моделей резко возрастает логическая сложность модели и количество пересчетов (например, связанных с откатами). Поэтому данный подход не применим для моделей реального времени.

В предлагаемой комплексной имитационной модели используется смешанный подход: большая часть процессов моделируется на основе пособытийного принципа (например, в момент изменения направления движения цели аналитически рассчитывается время ее входа в зону обнаружения РЛС), однако наиболее важные и сложные динамические процессы моделируются потактово, причем шаг по времени может меняться динамически.

Скорость расчета одной реализации боевой операции на имитационной математической модели определяется количеством и типом боевых средств, участвующих в операции, а также размерностью матрицы высот и временным тактом определения прямой видимости. На компьютере, оснащенный процессором Intel Core 2 Duo с тактовой частотой 2.4 ГГц, средняя скорость расчетов составляет: при моделировании 100 объектов – в 20000÷40000 раз быстрее реального времени, а при моделировании 1000 объектов – в 200÷400 раз.

Использование событийно-потактового метода моделирования позволяет обеспечить высокое быстродействие при сохранении высокой адекватности за счет потактового моделирования наиболее важных процессов, что дает возможность значительно расширить круг решаемых моделью задач:

- анализ и отработка алгоритмов (в том числе бортовых);
- анализ и исследование эффективности функционирования СТС;
- создание рабочих мест в составе тренажерных стендов;

- работа в составе стендов полунатурного моделирования (например, для имитации внешней тактической обстановки).

Это позволяет совместить отладку и тестирование функциональных программ с отработкой и анализом заложенных в них физических принципов и алгоритмов, что позволяет сократить затраты на создание математических моделей разного уровня и время на проектирование, разработку и внедрение СТС.

Программная реализация ММ состоит из программных модулей, работающих под управлением основного модуля, обеспечивающего их взаимодействия, основные интерфейсные функции, запуск, остановку и завершение работы модели. Укрупненная блок-схема, представляющая иерархическую структуру программной реализации модели, показана на рис. 1. Основной модуль включает в себя задачу для моделирования, диспетчер модельного времени, сценарии действий моделируемых средств и ряд интерфейсов.



Рис. 1. Укрупненная блок-схема структуры модели

Диспетчер времени обеспечивает управление масштабом реального времени, организует работу очереди событий, потактовых моделей и их синхронизацию. Задача представляет собой набор исходных данных для моделирования, считанных из базы данных в оперативную память для повышения быстродействия. Она включает в себя исходное состояние поля действий и всех моделируемых объектов, их тактико-технические характеристики (ТТХ), программы поведения и условия применения. Под юнитами в программе понимаются отдельные моделируемые объекты, и их формирования (составные юниты).

Интерфейс ММ обеспечивают считывание из базы данных исходных данных для проведения расчетов и запись результатов моделирования в базу данных, взаимодействие с оператором или пользователем, синхронное отображение результатов моделирования в виде фильма.

Интерфейс мультиагентной среды обеспечивает функционирование ММ в распределенной вычислительной системе (например, в составе стенда полунатурного моделирования).

Каждый моделируемый объект (самолет, ракета, танк и т.д.) представляет собой контейнер, содержащий множество подсистем. Подсистемы отвечают за воспроизведение функционирования объекта. В состав объекта входит подсистема движения, формирующая траекторию движения (точку стояния объекта).

В зависимости от типа объекта в состав объекта могут входить:

- подсистема управления, предназначенная для сбора, обработки и отождествления информации, поступающей от других подсистем и подчиненных объектов, а также для выработки команд подсистемам объекта и другим подчиненным объектам.
- подсистемы обнаружения, предназначенные для обнаружения объектов противника;
- подсистемы поражения, предназначенные для воспроизведения функционирования бортовых подсистем оружия;
- подсистема РЭБ, предназначенная для воспроизведения процесса постановки помех по данным станции РТР;
- подсистемы связи, отвечающие за имитацию передачи и получения информации через каналы связи с другими моделируемыми объектами;
- подсистема навигации, обеспечивает объект-владелец данными о его собственном положении в глобальной системе координат.

Высокая степень унификации программного кода, используемого для моделирования достаточно большого типажа средств, участвующих в боевых действиях, достигается, в том числе, за счет построения моделируемых объектов из подсистем, имитирующих отдельные функционально независимые подсистемы реального объекта (одни и те же типы подсистем могут использоваться разными типами объектов, например, один и тот же тип подсистемы – многофункциональная РЛС – используется для разных ЗРК, которые различаются подсистемами поражения).

Достоинства модели:

- высокая адекватность, подтвержденная в ходе выполнения НИР и ОКР, достаточная для решения задач выбора технического облика и характеристик авиационных боевых комплексов таких, как характеристики и режимы работы РЛС, циклограммы работы, летно-технические характеристики РЛС, структура построения и характеристики АСУ;
- возможность воспроизведения хода боевых действий, как в заданном масштабе реального времени, так и в режиме набора статистики;
- высокое быстродействие (существенно выше реального времени);
- высокая гибкость системы формирования исходных данных, использование модульного принципа конструирования объектов;
- высокая степень унификации в структуре программного кода, использование современных принципов программирования;
- низкие затраты на адаптацию существующих алгоритмов к новым задачам, за счет отсутствия прямых перекрестных связей между отдельными подсистемами (частными моделями).

Разработанная модель боевых действий имеет практическое применение. Например, в рамках ОКР «Премьер» созданный программный комплекс используется для воспроизведения разведывательно-ударных фронтовых операций и боевых действий с участием самолета дальнего радиолокационного дозора и наведения (РЛДН) для отработки функциональных программ его бортовой информационной управляющей системы (рис. 2).



**Рис. 2. Организация вычислительного процесса в случае воспроизведения разведывательно-ударных фронтовых операций и боевых действий с участием самолета РЛДН**

### Выводы

В работе предлагается технология построения универсальной имитационной математической модели воспроизведения хода масштабной боевой операции, включающей свыше 1000 моделируемых объектов, которые обладают индивидуальной и групповой логикой поведения. Разработанная авторами методика конструирования сложных объектов, состоящих из множества независимых подсистем, которые объединяются между собой общим интерфейсом обеспечивает высокую гибкость и простоту адаптацию системы к новым практическим приложениям и условиям работы.

Рассмотренный в данной работе программное средство имитационного моделирования обеспечивает высокое быстродействие при воспроизведении крупных боевых операций, что позволяет в сотни раз быстрее реального времени.

Разработанные методика и программные средства, основанные на применении имитационного моделирования, целесообразно использовать как при проведении исследований, связанных с поиском эффективности функционирования, так и в работах связанных с отработкой подсистем и алгоритмов в реальном масштабе времени.

Адекватность и эффективность предлагаемой технологии подтверждена успешным внедрением в ряде крупных НИР и ОКР выполненных авторами в ГосНИИАС.

### Литература

1. Березнев Е. В., Вишнякова Л. В., Паньковский И. Ю., Слатин А. В. и др. Имитационная математическая модель боевых действий и средства трехмерной визуализации для отработки ФПО самолета РЛДН. Труды НТ Конференции «Актуальные вопросы создания информационно-управляющих систем, М., «Концерн радиостроения «Вега», 2011.
2. Вентцель Е. С. Исследование операций. М.: Сов. радио, 1972.
3. Крючков А. А. Моделирование боевых действий по схеме очередь событий // Оборон. Техника. 2009. № 10–11.
4. Автоматизированная система анализа эффективности зенитно-ракетного вооружения «Атлант»: Инженерная записка/ГосНИИАС, ПКК АНТЕЙ, 1999.