

УДК 004.8

## МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ ОПЕРАТИВНОСТИ ВВОДА ДАННЫХ В МОДЕЛИРУЮЩИЙ КОМПЛЕКС

Е.В. Акодит, А.А. Анциферов, П.В. Рыбальченко (Тверь)

В современных условиях развития комплексов моделирования боевых действий и систем искусственного интеллекта все чаще возникает требование способности к оптимизации поведения акторов моделирующего комплекса в условиях быстро изменяющейся обстановки, а также способности к накоплению и анализу опыта, что, в определенной степени, входит в конфликт с жесткими ограничениями на время принятия решения. Это требование относится не только к моделям, замещающим объекты своих войск, но и особенно остро стоит вопрос реализации интеллектуальной системы подыгрыша за противника. Возникает проблема отставания возможностей существующих систем моделирования от возросших потребностей органов военного управления в расчетно-аналитической поддержке процессов выработки управленческих решений, в части моделирования действий противника, накопления знаний о его действиях и способах реализации вариантов боевого применения сил и средств.

При определении характера действий противника необходимо решить множество задач. Одна из них: определение направления прорыва системы ПВО, рациональной с точки зрения противника.

В существующих моделирующих комплексах военного назначения данная задача напрямую не решена. Например, в модуле информационно-расчетной поддержки должностных лиц органов военного управления «Выпускник-ВАГШ» каждому средству воздушного нападения (СВН) назначенному для удара назначается маршрут до поражаемого объекта, который строится исходя из определённого типа поведения при прорыве системы ПВО. При этом каждое СВН назначается для удара вручную, что приводит к большим временным затратам [1]. Объекты для удара выбираются на усмотрение экспертов на основе анализа исходной обстановки и личного опыта [2].

Одним из вариантов для решения задачи минимизации временных затрат на ввод исходных данных в моделирующий комплекс, а также для проектирования интеллектуальной имитационной модели действий воздушного противника является реализация агентного подхода [3].

Под агентом в широком смысле слова понимается вычислительная система (сущность), помещенная в виртуальную среду, способная взаимодействовать с ней, совершая автономные рациональные действия для достижения целей [4].

В общем случае агент состоит из определенного набора внутренних состояний, заданных условий при которых он меняет свои состояния, целей своей деятельности и вариантов действий для достижения целей, системы накопления опыта (знаний) и самонастройки для оптимального решения задач [4].

Для всестороннего представления понятия агентного подхода, реализации процессов и процедур взаимодействия агентов необходимо введение такого понятия как «внешняя среда». При этом внешняя среда может быть реализована как в виде отдельной сущности – агента, так и виртуальной среды, в рамках которой будут функционировать агенты [4]. Применительно к моделирующим комплексам военного назначения под внешней средой следует понимать виртуальное боевое пространство.

При реализации описываемого метода в перспективном моделирующем комплексе военного назначения целесообразно использовать мультиагентный подход. Интеллектуальными агентами будут СВН, зенитные ракетные комплексы (ЗРК), радиолокационные станции (РЛС), зенитные управляемые ракеты и т.д. Также

существуют информационные агенты: зона информации радиотехнических подразделений, зоны поражения ЗРК, зона обнаружения РЛС. В качестве виртуального боевого пространства целесообразно реализовать среду на основе аппарата клеточных автоматов, которые обладают рядом преимуществ и позволят реализовать концепцию единого пространства в едином времени [5].

Для работы нового метода необходимо: определить перечень интеллектуальных агентов, перечень их функций и состояний, порядок перехода из одного состояния в другое и т.д. Также «разместить» их в виртуальном боевом пространстве и задать правила работы клеточного автомата.

Целью данной статьи является рассмотрение метода автоматического определения направления прорыва системы ПВО, что в свою очередь позволит ускорить ввод исходных данных при подготовке к имитационному моделированию боевых действий в виду того, что определение сценария действия противника занимает большую часть времени при вводе исходных данных.

Одной из главных задач моделирования действий противника является нахождение основного направления сосредоточения усилий для достижения максимальной эффективности удара. Метод решает задачу определения координат, где воздушный противник будет сосредотачивать усилия для достижения максимальной эффективности нанесения удара.

Классические подходы предполагают поочередную проверку гипотез по преодолению системы ПВО, что порождает необходимость проверки большого числа вариантов, что на практике практически не реализуемо. Возможен подход проверки вариантов прорыва системы ПВО методом случайного поиска, однако данный подход не гарантирует нахождение варианта прорыва за приемлемое время с заданным качеством. Среди разнообразных подходов оптимизации на данном этапе целесообразно использовать методы решетчатого случайного поиска оптимальных решений в больших пространствах состояний [6].

Решетчатый поиск – это метод, при котором пространство возможных параметров систематически исследуется путем оценки и сравнения результатов на равномерно распределенных точках. Его чаще используют, когда необходимо исследовать каждую комбинацию параметров [6].

Такой поиск предполагает систематическое переборное исследование определенного пространства параметров с целью нахождения наилучшего набора значений, максимизирующих или минимизирующих заданную функцию оценки (точность модели). Однако использование свойств предложенной среды моделирования позволяет реализовать механизм параллельного поиска и оценки вариантов, что существенно сокращает время поиска и позволяет контролировать процесс поиска.

Исходя из условий обстановки, необходимо найти полосу прорыва системы ПВО при помощи метода решетчатого случайного поиска, которая обеспечит максимальное поражение объектов обороны.

Для этого устанавливается ширина полосы прорыва  $L$ , исходя из нормативных значений этой величины в уставных документах противника. Для обоснованного расчета полученное значение ширины полосы прорыва делится пополам  $\Delta L = \frac{L}{2}$ . Такое деление позволяет создать поле решетчатого случайного поиска.

Через каждый узел решетки производится модельная реализация удара (рассчитанным нарядом или единичным СВН) с каждой базы противника по каждому объекту поражения (рисунок 1).

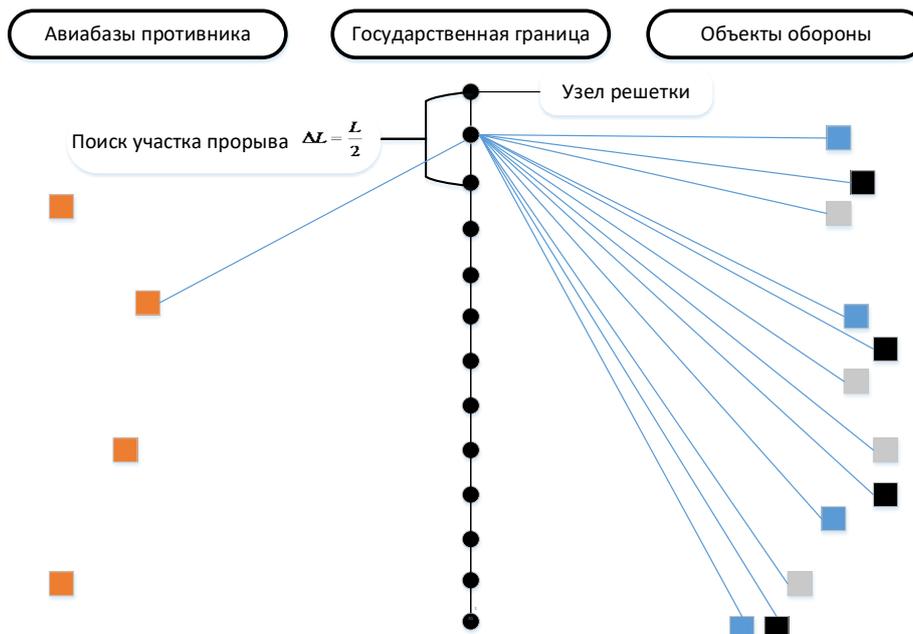


Рис. 1 – Вариант решетчатого случайного поиска

Для назначенного СВН или наряда СВН, строится маршрут по полю клеточного автомата через соответствующие узлы решетки. Движение принято прямолинейным и равномерным с заданной скоростью. Правилами клеточного автомата заданы зоны информации радиолокационных рот, зоны огня ЗРК, скорость и направления полета ЗУР, условия для пуска ЗУР и их самоуничтожения и т.д.

Производится розыгрыш и сохранение данных в общей памяти обмена информации агентов взаимодействия и таблицы сбора информации о розыгрыше. Для повышения точности пересчет по линии боевого соприкосновения производится с наложением участков.

После окончания розыгрыша рассчитывается эффективность нанесения удара через каждый узел решетки по показателю минимальной дальности подлета СВН к поражаемому объекту (1):

$$S_k = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} ; \quad (1)$$

где:  $x_i, y_j$  – координаты воздушных целей;

$x_k, y_k$  – координаты объектов обороны;

$j$  – индекс объекта обороны;

$i$  – индекс воздушной цели;

$S_k$  – сумма недолетов воздушных объектов до цели через узел  $k$  ;

$k$  – количество узлов решетки;

или по среднеквадратической ошибке дальности подлета (2). Объект обороны будет поражен если координаты СВН совпали с координатами объекта, то есть наилучшая оценка будет равна нулю.

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^K (S_k - \bar{S}_k)^2 ; \quad (2)$$

где:  $\bar{S}_k$  – максимально возможное значение наилучшего недолета в модели;

n – количество типов СВН в назначенном для удара наряде.

Далее рассчитывается эффективность нанесения ударов через каждую решетку (рисунок 1). Решетка включает в себя три узла.

$$S_{Pf} = \sum_{j=f}^{f+2} S_j, \quad 1 < f < f_{\max} - 2 ; \quad (3)$$

где:  $S_{Pf}$  – суммарная эффективность нанесения удара через данный элемент решетки;

$S_j$  – сумма недолетов воздушных объектов до цели через узел  $j$ ;

$f$  – номер элемента решетки.

Суммарная дальность недолетов рассчитывается для совокупности средств воздушного нападения, назначенных для удара. Эффективность удара тем выше, чем средний суммарный недолет меньше. На рисунке 2 представлена работа клеточного автомата в ходе моделирования.

Полученные результаты расчетов позволяют получить набор данных, которые характеризуют эффективность нанесения воздушных ударов по объектам обороны через решетки и провести выбор направления нанесения воздушного удара (рисунок 3):

$$S_{\Sigma} = \{S_{P1}, S_{P2}, \dots, S_{Pf_{\max}}\}$$

где:  $S_{\Sigma}$  – множество оценок эффективности поражения объектов обороны через элементы решетки.

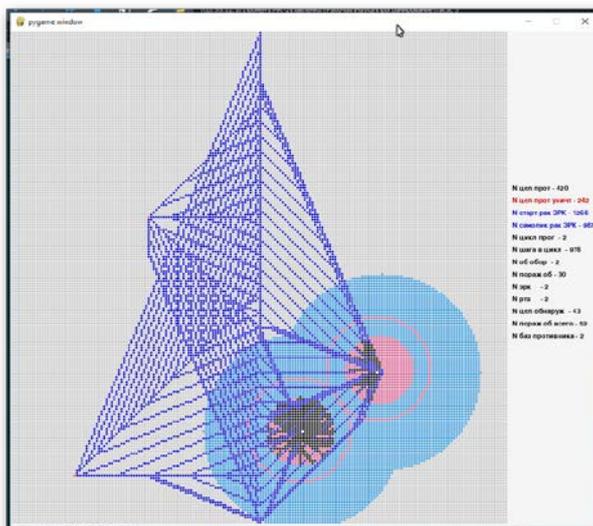


Рис. 2 – Отслеживание результатов розыгрыша

После завершения работы происходит сравнение полученных результатов и выбор наиболее рационального, с точки зрения противника, направления прорыва системы ПВО. Далее происходит проверка выбранного (наилучшего для противника) направления и подтверждение полученных оценок.

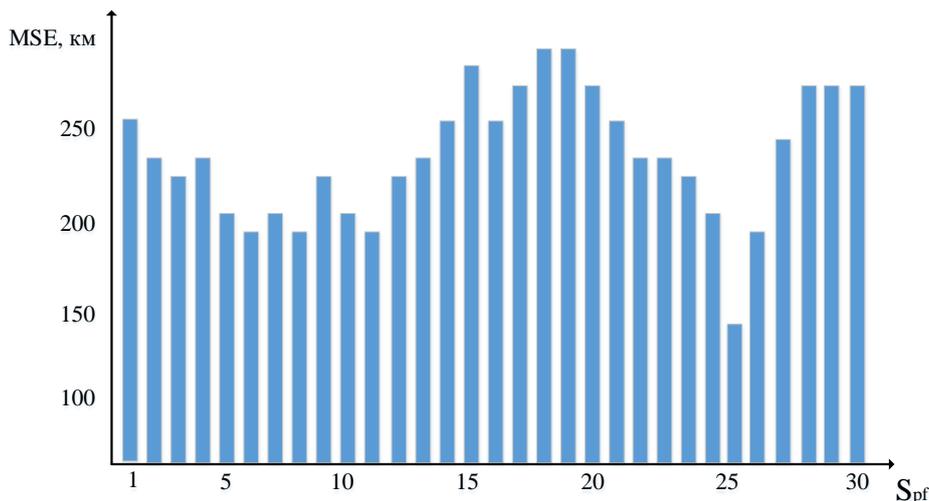


Рис. 3 – Оценка направлений по показателю минимального СКО не долета до объекта обороны.

MSE – среднеквадратическая ошибка дальности подлета,  
 $S_{pf}$  – номер кластера решетки (направления пролета).

Таким образом, разработанный метод (рисунок 4) в отличие от известных учитывает правила ведения боевых действий противником, реализует механизм целеполагания и достижения целей противника. Реализация данного метода в перспективном моделирующем комплексе позволит значительно уменьшить время ввода исходных данных за счет автоматического назначения выбранных для удара СВН по объектам обороны, что в настоящее время производится вручную. Это позволит провести розыгрыш большого количества вариантов за выделенное время и тем самым повысить обоснованность принятых решений.

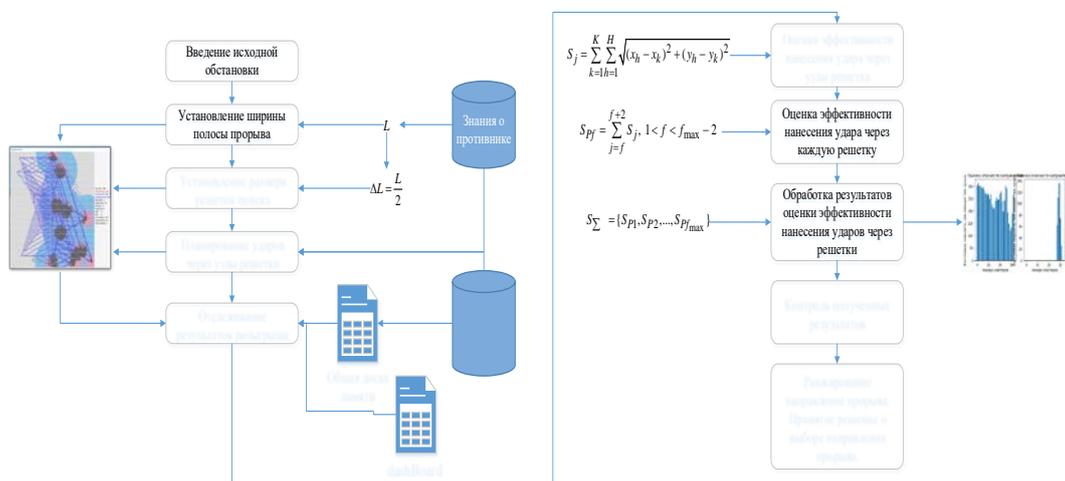


Рис. 4 – Структура метода поиска направления прорыва системы ПВО

### Литература

1. **Абрамович М.К. и др.** Применение программно-моделирующих комплексов: учебник / под общ. ред. А.Д. Дорожкина; МО РФ. ВА ВКО им. Г.К. Жукова. Тверь: Издание академии, 2017. 296 с. С.281-288.
2. **Акодит Е.В., Павленко М.А., Мендуров А.С.** Разработка метода определения наряда средств воздушного нападения для поражения объектов обороны на основе

- аппарата генетических алгоритмов // Научный вестник Военной академии воздушно-космической обороны. № 3 (11) / гл. ред. В.Н. Тикшаев. – Тверь: ВА ВКО, 2024. – с.105-112.
3. **Созинов П.А., Глушков И.Н.** Имитационное моделирование боевых действий: теория и практика / под ред. Созинова П.А., Глушкова И.Н. – Тверь, 2013.
  4. **Бугайченко Д.Ю.** Разработка и реализация методов формально-логической спецификации самонастраивающихся мультиагентных систем с временными ограничениями, дис. канд. физ.-мат. наук.: 05.13.11/ Бугайченко Дмитрий Юрьевич; [Место защиты: С.-Петерб. гос. ун-т] - Санкт-Петербург, 2007. – 259 с.
  5. **Тоффоли Т., Марголус Н.** Машины клеточных автоматов: Пер. с англ. - Москва: Мир, 1991. – 280 с.
  6. Решетчатый и случайный поиск Текст: электронный – 2023 год. – URL: <https://habr.com/ru/.companies/otus/articles/.781700/> – (дата обращения: 8.04.2024).