

УДК 004.94

А.А. Малыханов, В.Е. Черненко, П.В. Былина

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ТРАЕКТОРИЙ ПАТРУЛИРОВАНИЯ АКВАТОРИИ НА ОСНОВЕ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ

**Малыханов Андрей Анатольевич**, аспирант кафедры «Информационные технологии» Ульяновского государственного университета. Область научных интересов — мультиагентное имитационное моделирование. [e-mail: malyhanov@yandex.ru].

**Черненко Виталий Евгеньевич**, аспирант кафедры «Информационные технологии» Ульяновского государственного университета. Сфера научных интересов — мультиагентное имитационное моделирование. [e-mail: ChernenkoVE@gmail.com].

**Былина Павел Владимирович**, окончил механико-математический факультет Ульяновского государственного университета. Начальник научно-исследовательского отделения ФНПЦ ОАО «НПО «Марс». Специализируется в области разработки программного обеспечения АСУ. [e-mail: bylina.pv@gmail.com].

### Аннотация

Имитационное моделирование (ИМ) — один из эффективных способов решения задачи выбора оптимальной траектории патрулирования акватории. В статье описана имитационная модель, построенная для решения этой задачи. Приведены условия и результаты статистического имитационного эксперимента, проведенного с помощью модели. На основании данных эксперимента определен лучший вариант патрулирования.

Ключевые слова: имитационное моделирование, охранение акватории, агентное моделирование, оценка эффективности патрулирования.

### Abstract

Simulation modeling is one of efficient ways to solve a task of optimal-trajectory selection for water-area patrol. The article describes a simulation model created to solve this task. It cites conditions and results of statistical simulated experiment made using the model. Using the experiment data the article has defined the best patrol result.

Key words: simulation modeling, water-area screen, agent modeling, patrol-efficiency evaluation.

### Актуальность и постановка задачи

Для количественной оценки эффективности охранения водного района используется вероятность обнаружения объектов в акватории, зависящая, главным образом, от выбранной траектории патрулирования. По величине этого показателя эффективности можно судить о степени достижения цели, ради которой принимается рассматриваемое решение. На практике выбор траектории патрулирования часто осуществляется среди нескольких вариантов.

Для решения задачи выбора оптимальной траектории патрулирования можно использовать имитационное моделирование. Этот подход имеет следующие преимущества [1]:

- имитационные модели позволяют гибко задавать условия эксперимента и варьировать их в широких пределах, не ограничиваясь строгими математическими соотношениями при задании закономерностей;

- имитационные модели не только позволяют контролировать адекватность моделирования с

помощью числовых критериев, но и предоставляют возможность наблюдать за изменением состояния модели на анимации.

Задача при определении оптимальной траектории патрулирования ставится следующим образом: имеется прямоугольный участок акватории заданного размера, на нем осуществляют патрулирование несколько «сторожей». Имитируется равновероятное появление угрожаемых объектов в охраняемой зоне. Угрожаемые объекты (нарушители) двигаются, пересекая акваторию патрулирования. «Сторожа» обнаруживают нарушителей на заданном расстоянии.

Имитационный эксперимент заключается в проведении нескольких испытаний для каждого из вариантов траекторий патрулирования. Лучшим признается вариант, при котором вероятность обнаружения угрожаемого объекта является максимальной.

### Имитационная модель

При построении имитационной модели был взят за основу агентный подход, согласно ко-

торому модель состоит из среды и взаимодействующих в ней агентов [2]. Программная реализация имитационной модели была выполнена в среде AnyLogic 6 [3, 4].

В созданной модели взаимодействуют агенты двух типов:

- агенты-«сторожа», осуществляющие патрулирование по заданной траектории;
- агенты-нарушители,двигающиеся через патрулируемый участок.

Патрулируемая акватория, размеры которой — 100 км, на 20 км, является средой взаимодействия агентов. Скорости «сторожей» и нарушителей одинаковы и равны 20 км/ч. Количество «сторожей» — 5 шт. Дальность обнаружения нарушителя «сторожем» равна 3 км. Траектория движения нарушителя прямолинейна и равномерно распределена вдоль большей стороны прямоугольной акватории.

Траектории движения «сторожей», которые задаются перед началом эксперимента, представлены в таблице 1.

Вероятность обнаружения нарушителей равна отношению количества обнаруженных нарушителей к общему числу нарушителей, пересекших зону патрулирования.

Разработанная модель содержит анимацию, вид которой показан на рисунке 1.

На рисунке 1 агенты-«сторожа» обозначены темным цветом, агенты-нарушители — светлым, необнаруженные нарушители обозначены символом «!». Анимация предоставляет

возможность наблюдать за движением агентов и изменением их состояний. Также на анимации отображаются основные статистические характеристики модели.

#### ПРОВЕДЕНИЕ СТАТИСТИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА С ПОМОЩЬЮ ИМ

Кроме режима запуска отдельных экспериментов, среда AnyLogic предоставляет возможность провести пакетный запуск экспериментов. При пакетном запуске выполняется несколько прогонов модели, что позволяет более точно определить ее статистические характеристики. Данная возможность была использована для определения лучшего варианта траектории патрулирования.

Таблица 1  
Возможные траектории движения сторожей

№	Изображение	Название
1		Большие восьмерки
2		Малые восьмерки
3		Малые круги
4		Смещенные линии
5		Большие круги
6		Несмещенные линии

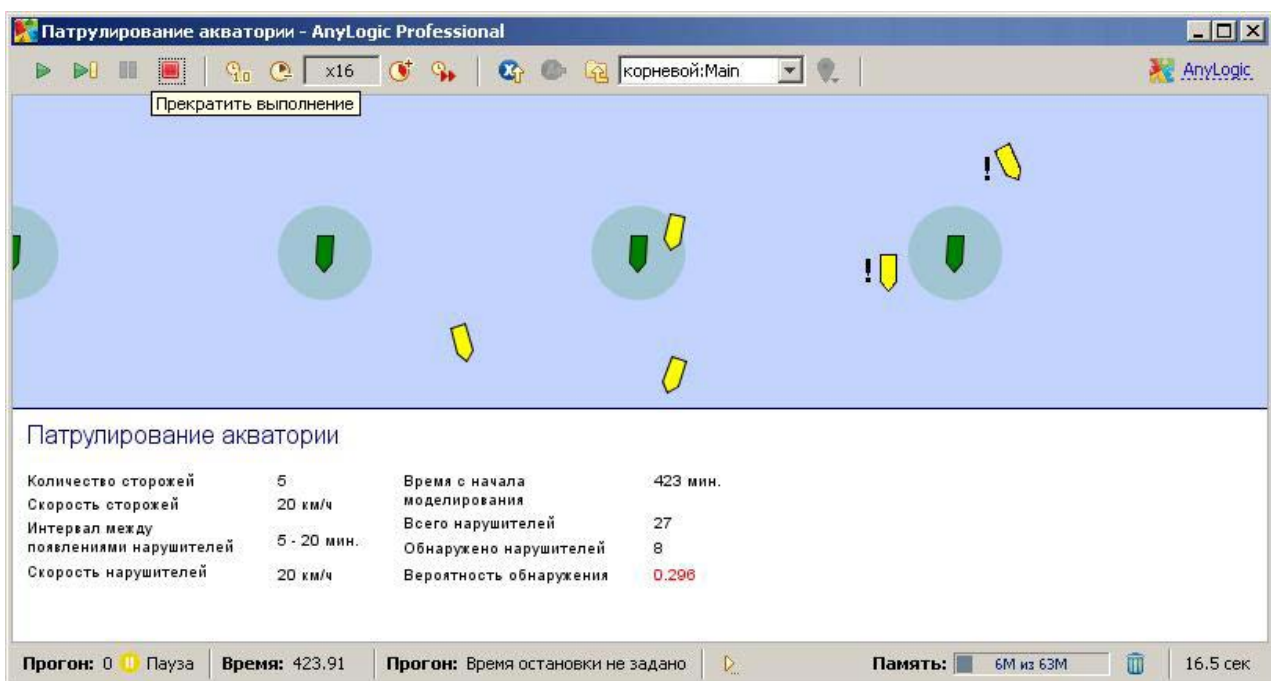


Рис. 1. Анимация разработанной модели

При проведении статистического эксперимента важно не только получить среднее значение вероятности обнаружения угрожаемых объектов, но и оценить достоверность полученного результата. Для этого наряду со значением вероятности обнаружения подсчитываются ее дисперсия, среднее квадратичное отклонение (СКО) и доверительный интервал (для вероятности 95%).

Модель позволяет повышать точность вычисления характеристик, увеличивая число прогонов. Таким образом, имеется возможность находить компромисс между длительностью вычислений и их достоверностью.

Модель предоставляет удобный графический интерфейс для проведения статистических экспериментов. Рассчитанные данные представляются в форме таблицы, показанной на рисунке 2.

В таблице выводятся средние значения вероятности для каждого из вариантов патрулирования, гистограммы распределения этих вероятностей по прогонам, а также значения доверительного интервала (для вероятности попадания в интервал 95%) и среднее квадратичное отклонения вероятности.

**РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ И ВЫВОДЫ**

Для определения наилучшей траектории были проведены 60 прогонов, по 10 для каждого из вариантов траектории. На каждом прогоне проводилось моделирование в течение 3000 единиц модельного времени. Данные, полученные в ходе эксперимента, приведены в таблице 2.

Таким образом, наилучшее значение вероятности обнаружения нарушителей достигается при использовании траектории «Смещенные линии». Созданная имитационная модель позволяет исследовать и другие траектории патрулирования, заданные элементарными и кусочно-линейными функциями в двумерном пространстве.

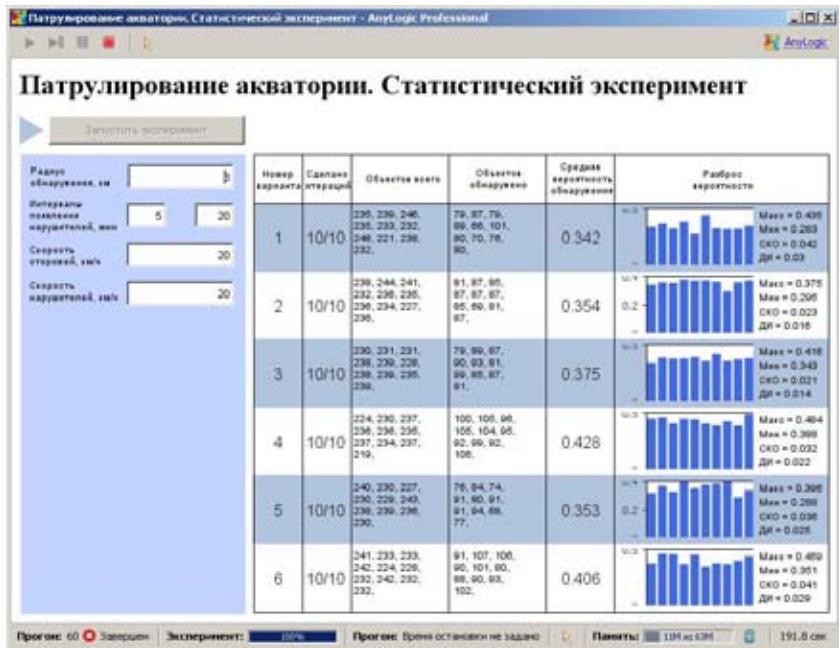


Рис. 2. Таблица с данными статистических экспериментов

Таблица 2

**Результаты экспериментов**

№	Название траектории	Среднее значение вероятности	СКО вероятности	Размер доверительного интервала
1	Большие восьмерки	0,342	0,042	0,030
2	Малые восьмерки	0,354	0,023	0,016
3	Малые круги	0,375	0,021	0,014
4	Смещенные линии	0,428	0,032	0,022
5	Большие круги	0,353	0,036	0,025
6	Несмещенные линии	0,406	0,041	0,029

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Борщев А. В. Практическое агентное моделирование и его место в арсенале аналитика / А. В. Борщев // Exponenta PRO. Математика в приложениях. – 2004. – № 3–4 (7–8). – С. 38–47.
2. A. Borshchev and A. Filippov. From System Dynamics and Discrete Event to Practical Agent Based Modeling: Reasons, Techniques, Tools. The 22nd International Conference of the System Dynamics Society, July 25–29, 2004, Oxford, England.
3. Среда моделирования Anylogic 6.5.0. – Режим доступа: <http://www.xjtek.com/anylogic/download/>.
4. Карпов Ю. Г. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5 / Ю. Г. Карпов. – СПб. : БХВ-Петербург, 2005.