



ИПМ им.М.В.Келдыша РАН • Электронная библиотека

Препринты ИПМ • Препринт № 98 за 2015 г.



ISSN 2071-2898 (Print)  
ISSN 2071-2901 (Online)

Дидыч Я.О., [Малинецкий Г.Г.](#)

Поиск оптимальных  
алгоритмов действий  
противников в игре  
«Морской бой»

**Рекомендуемая форма библиографической ссылки:** Дидыч Я.О., Малинецкий Г.Г. Поиск оптимальных алгоритмов действий противников в игре «Морской бой» // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. 2015. № 98. 16 с.

URL: <http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2015-98>

**Ордена Ленина  
ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКИ  
имени М.В.Келдыша  
Российской академии наук**

**Я.О. Дидыч, Г.Г. Малинецкий**

**Поиск оптимальных алгоритмов  
действий противников в игре  
«Морской бой»**

**Москва — 2015**

Дидыч Я.О., Малинецкий Г. Г.

## Поиск оптимальных алгоритмов действий противников в игре «Морской бой»

В работе проведено сравнение семейств наиболее популярных алгоритмов действий атакующей и защищающейся сторон при игре в морской бой. Вычислены статистические характеристики четырех алгоритмов атаки поля с варьируемыми параметрами; шести алгоритмов расстановки кораблей с вариацией параметров, а также трех алгоритмов добивания кораблей. Показано, что существует лучший из апробированных алгоритмов, наиболее эффективный как для случайных конфигураций кораблей, так и в случае применения алгоритмов защиты. Точно так же найден лучший алгоритм расположения кораблей, обеспечивающий их защиту.

*Ключевые слова:* морской бой, алгоритмы расстановки кораблей, алгоритмы атаки, алгоритмы добивания, моделирование противоборства, метод Монте-Карло.

Y.O. Didych, G.G. Malinetskii

## The optimal attacking and defensive algorithms research in «Sea Battle» game

The comparison of bunches of the most popular attacking and defensive algorithms in «Sea Battle» game is given. Statistical characteristics of four attacking algorithms with variable parameters are calculated as far as six defensive algorithms with variable parameters and three algorithms finishing ships. The evidence of existence of the best attacking algorithm against either random configurations or specific defensive algorithms is presented. In the same manner the best defensive algorithm is found.

*Key words:* sea battle game, deploying ships algorithms, attacking algorithms, finishing algorithms, confrontation modeling, Monte-Carlo method.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект 13-01-00617-а).

## Содержание

Введение .....	3
Правила игры «Морской бой» .....	4
Алгоритмы расстановки .....	4
Алгоритмы атаки .....	8
Алгоритмы добивания .....	13
Выводы .....	15
Литература .....	16

## ВВЕДЕНИЕ

Целью данной работы является поиск наиболее эффективных алгоритмов, используемых для уничтожения объектов противника на поле боя, а также алгоритмов их защиты. Для симуляции боя используется знакомая игра «Морской бой». На ее примере ищутся лучший алгоритм атаки объектов (кораблей), лучший алгоритм расстановки кораблей на поле боя и лучший алгоритм добивания объекта, если известно, что в него было попадание.

Эксперимент состоял в проведении симуляции игры в «Морской бой» множества алгоритмов атаки против множества алгоритмов расстановки. Игра проходила до тех пор, пока атакующий игрок не уничтожил все корабли на поле. Основной измеряемой характеристикой является количество выстрелов, необходимых для победы. Согласно этой характеристике оценивается эффективность атаки и эффективность защиты. На основе нее рассчитываются статистические показатели для серий игр: математическое ожидание числа шагов победы; стандартное отклонение распределения частоты побед по количеству шагов, за которые эти победы достигались; процентилю указанного распределения. Согласно определению, N-й процентиль распределения величины – значение, левее которого на гистограмме распределения расположено N процентов наблюдений.

Каждый алгоритм атаки, как и каждый алгоритм расстановки кораблей на поле боя, описываются общей логикой работы и набором варьируемых параметров. Например, диагональный алгоритм атаки содержит типовую (неизменяемую) характеристику обстрела вдоль главной диагонали поля боя и изменяемые параметры, при помощи которых выбирается порядок диагоналей обстрела. Для алгоритма расстановки по краям неизменной остается необходимость разместить корабль вдоль края поля, изменяемой характеристикой – где, с точностью до координаты, будет установлен каждый корабль.

Играл каждый алгоритм атаки (в разрезе набора варьируемых параметров) с каждым алгоритмом расстановки (в разрезе набора варьируемых параметров). Отдельно для каждой игры собиралась статистика алгоритмов добивания кораблей, которая затем была просуммирована.

Параметры симуляции:

- количество атакующих алгоритмов в разрезе наборов параметров 818;
- количество алгоритмов расстановок в разрезе наборов параметров 900;
- количество симулированных сражений  $900 \times 818 = 736200$ ;
- для алгоритмов атаки использовался метод добивания «крестообразный», описанный далее.

## **ПРАВИЛА ИГРЫ «МОРСКОЙ БОЙ»**

Правила игры «Морской бой» таковы. Играют два игрока. У каждого из них имеется поле размером 10 на 10 клеток, на котором перед началом игры располагаются корабли. Корабли бывают следующих видов:

- единичный (4 шт.). Состоит из одной клетки поля;
- двойной (3 шт.). Состоит из двух клеток поля;
- тройной (2 шт.). Состоит из трех клеток поля;
- четверной (1 шт.). Состоит из четырех клеток поля.

Корабли представляют собой горизонтальную либо вертикальную конфигурацию клеток, расположенных по линии. Сгибать корабли запрещено. В процессе игры игроки делают выстрелы по полям расположения кораблей друг друга по очереди. Если один из игроков промахнулся – попал в поле, не занятое кораблем противника – то ходить начинает соперник. Пока промаха не произошло, стрельба игрока продолжается. Этой игре посвящен ряд исследований [1,2,3].

При игре в «Морской бой» выигрыш одной из сторон обеспечивается уничтожением кораблей противника за меньшее число шагов, чем у противоположной стороны. Можно выделить четыре параметра игры: алгоритм атаки игрока 1, алгоритм расстановки кораблей игрока 1, алгоритм атаки игрока 2, алгоритм расстановки кораблей игрока 2. Цель работы – найти оптимальную стратегию одной из сторон. Поскольку игрок 1 не может влиять на выбор атакующего алгоритма игрока 2, а также на выбор расстановки кораблей игрока 2, и наоборот, то оптимизировать следует атакующие алгоритмы и расстановки одной из сторон без учета действий другой стороны. Поэтому методы теории игр[4] в данном случае мало применимы. Тем не менее, возможно представить ситуацию, когда защищающийся игрок до конца игры не выставляет единичный корабль. И лишь на последнем ходе размещает его, тем самым определяя конфигурацию расстановки кораблей с максимальным количеством шагов для ее уничтожения при заданных расстановках остальных кораблей. Аналогичным образом, атакуемый игрок может размещать корабли в момент игры в тех клетках, по которым ведет стрельбу противник, – здесь определяется минимальное число шагов для данного алгоритма атаки. В работе необходимо получить усредненные результаты для множества алгоритмов защиты и атаки, поэтому используется аппарат математической статистики.

Для удобства обозначения примем нумерацию строк матрицы поля расположения кораблей за  $X$  ( $X = 0, \dots, 9$ ), колонок матрицы поля за  $Y$  ( $Y = 0, \dots, 9$ ).

## **АЛГОРИТМЫ РАССТАНОВКИ**

В процессе симуляции рассмотрено шесть популярных алгоритмов расстановки кораблей:

- расстановка кораблей по краям;
- группировка кораблей с одного бока поля;
- расположение кораблей случайно в одном направлении;
- расположение кораблей случайно в двух направлениях;
- полностью случайное расположение кораблей;
- группировка кораблей в центре поля.

*Расстановка кораблей по краям поля.* Этот алгоритм расстановки выделяет полосу у края поля шириной в одну клетку. То есть координаты:  $X = 0, Y = 0, \dots, 9$ ;  $X = 9, Y = 0, \dots, 9$ ;  $X = 0, \dots, 9, Y = 0$ ;  $X = 0, \dots, 9, Y = 9$ . В рамках выделенной полосы размещаются все корабли, кроме единичных, случайным образом. После размещения всех кораблей, кроме единичных, размещаются единичные корабли по всему полю в доступных клетках.

*Группировка кораблей с одной стороны поля.* Этот алгоритм размещения заключается в выделении с произвольной стороны поля области шириной четыре клетки (например,  $X = 0, \dots, 3, Y = 0, \dots, 9$ ). Затем в выделенной области произвольным образом размещаются все корабли, кроме единичных. Ограничение накладывается на ориентацию корабля (вертикальность или горизонтальность). Если выделены крайняя правая или левая области поля, то ориентация кораблей вертикальна, если верхняя или нижняя – то горизонтальна. Если корабли в указанных начальных ограничениях ширины в 4 клетки невозможно разместить на одном из шагов алгоритма размещения, то ширина поля увеличивается на единицу до тех пор, пока все корабли, кроме единичных, не будут размещены. В последнюю очередь размещаются единичные корабли на всем пространстве поля случайным образом.

*Расположение кораблей случайно в одном направлении.* Этот алгоритм выбирает ориентацию всех кораблей (вертикальность или горизонтальность) и размещает корабли случайно по всему полю в заданной ориентации.

*Расположение кораблей случайно в двух направлениях.* Алгоритм реализован так, чтобы после размещения на поле половина клеток кораблей, кроме единичных, принадлежала вертикальным кораблям, другая половина – горизонтальным. В результате при реализации алгоритма выбирается ориентация одного четверного и двух двойных кораблей, а остальные неединичные корабли имеют другую ориентацию.

*Полностью случайное расположение кораблей.* В данном алгоритме размещения случайным образом выбирается как ориентация, так и координаты кораблей.

*Группировка кораблей в центре поля.* Алгоритм сделан так, чтобы максимально сгруппировать корабли в центре поля. Для этого выбирается квадрат в центре поля с координатами  $X = \{4,5\}; Y = \{4,5\}$ . Делается попытка разместить корабли в данной области. Сперва размещаются единичные корабли, затем двойные, потом тройные и четверной. Если в выделенной области отсутствует место для размещения корабля, ее границы увеличиваются на единицу.

Среди алгоритмов расстановки каждый из них представлен в 150 вариациях.

Результаты симуляции для алгоритмов расстановки представлены в таблицах 1а и 1б.

Таблица 1а. Статистические результаты алгоритмов расстановки

Алгоритм	Математическое ожидание, $s$	Стандартное отклонение, $\sigma$	Процент выборки в интервале $(s - \sigma; s + \sigma)$
По краям	68,10	7,92	74,67
Группировка сбоку	66,30	8,72	72,31
Случайно в одном направлении	62,34	8,40	72,52
Случайно в двух направлениях	62,10	7,98	70,58
Полностью случайно	62,10	8,00	70,68
Сгруппировать в центре	60,40	8,75	72,48

Таблица 1б. Статистические результаты алгоритмов расстановки

Алгоритм	95-й процентиль	85-й процентиль	15-й процентиль	5-й процентиль
По краям	81	76	60	55
Группировка сбоку	81	75	57	52
Случайно в одном направлении	77	71	54	49
Случайно в двух направлениях	75	70	54	49
Полностью случайно	75	70	54	49
Сгруппировать в центре	75	69	51	46

Согласно таблице 1а наибольшее математическое ожидание числа шагов потопления всех кораблей у алгоритма размещения кораблей по краям, наименьшее – у алгоритма группировки кораблей к центру поля.

Для алгоритмов размещения кораблей также были вычислены проценти-ли распределения (таблица 1б). На основе данных процентилей видно, что ги-стограмма распределения результатов алгоритма размещения кораблей по кра-ям смещена в сторону увеличения шагов уничтожения поля, что подтверждает превосходство метода расстановки. Гистограмма группировки кораблей в цен-тре смещена в противоположную сторону.

Помимо игры против спектра исследуемых алгоритмов атаки были про-ведены расчеты при игре алгоритмов расстановки против 818 случайных алго-ритма атаки (метод Монте-Карло). На основе полученных результатов лидер остался неизменен – это расстановка кораблей по краям поля.

Вывод сделан на основе сравнения математических ожиданий количества шагов для победы над расстановкой, а также на основе сравнения процентилей распределений соответствующих алгоритмов защиты (таблицы 1в и 1г).

Таблица 1в. Статистические результаты алгоритмов расстановки против случайных алгоритмов атаки

Алгоритм	Математическое ожидание, $s$	Стандартное отклонение, $\sigma$	Процент выборки в интервале $(s - \sigma; s + \sigma)$
По краям	66,08	7,95	71,81
Группировка сбоку	64,46	8,37	69,34
Случайно в одном направлении	60,31	8,18	70,81
Случайно в двух направлениях	60,40	7,62	73,80
Полностью случайно	60,70	7,51	71,36
Сгруппировать в центре	60,34	7,41	72,36

Таблица 1г. Статистические результаты алгоритмов расстановки против случайных алгоритмов атаки

Алгоритм	95-й процентиль	85-й процентиль	15-й процентиль	5-й процентиль
По краям	78	74	58	52
Группировка	78	73	56	50

сбоку				
Случайно в одном направлении	74	69	52	47
Случайно в двух направлениях	73	68	53	48
Полностью случайно	73	68	53	48
Сгруппировать в центре	73	68	53	48

Как видно из указанных таблиц, распределение алгоритма расстановки по краям поля смещено вправо. На это указывает наибольшее значение процентов распределения количества выигрышей по количеству затраченных шагов.

Если говорить про худший вариант при тестировании против спектра алгоритмов атаки – группировка в центре поля – то при тестировании против случайных алгоритмов атаки результаты не столь яркие. У четырех расстановок с наименьшим математическим ожиданием количества шагов уничтожения поля результаты математических ожиданий приблизительно равны (таблица 1в). Так же не сильно отличаются стандартные отклонения и проценты выборки в интервале одного стандартного отклонения от математического ожидания. Похожая ситуация и при рассмотрении распределения результатов с точки зрения процентов (таблица 1г).

Если суммировать сказанное, то по итогам двух тестирований алгоритмов расстановки безоговорочным лидером является расстановка по краям поля. Расстановка группировки в центре поля является безусловным аутсайдером тестирования против спектра алгоритмов атаки и находится в числе четырех худших алгоритмов расстановки против случайного метода атаки.

## АЛГОРИТМЫ АТАКИ

Среди наиболее популярных атакующих алгоритмов в работе были рассмотрены диагональные алгоритмы, линейные алгоритмы (обход змейкой), случайные алгоритмы, алгоритмы обхода по квадратам.

*Диагональный алгоритм* характеризуется выстрелами по диагоналям, параллельным главной диагонали поля расположения кораблей. В алгоритме используются параметры. Первый из них – Y координата серии выстрелов, второй – шаг для серии выстрелов. Для того чтобы обеспечить полный прострел поля, необходимо иметь несколько серий, характеризующихся параметрами Y координаты первой ячейки выстрела и шагом стрельбы. X координата первой ячейки выстрела всегда равна 0. Когда выбрана ячейка для выстрела, происходит

стрельба параллельно главной диагонали с постоянным шагом 1. После достижения края поля вновь выбирается первая ячейка для новой диагонали обстрела с учетом шага. Обход осуществляется справа налево. Если для заданного шага и начальной диагонали обстрела выстрелы более невозможны, производится переход к следующему шагу и новой начальной координате отчета диагоналей.

*Линейный алгоритм* (обход по змейке) характеризуется выстрелами снизу вверх с определенным шагом. В качестве варьируемых параметров используются начальная координата (например, (0, 1)) и шаг (например, 5). В дальнейшем идет обстрел первой колонки поля, затем второй, третьей с шагом пять, пока не достигнут конец поля. Например, первый выстрел будет (0, 1), второй (0,6), третий (1,2) и так далее. После достижения конца поля выбираются новые начальная координата и шаг и вновь происходит обстрел. Так до тех пор, пока все корабли не будут убиты.

*Случайный алгоритм* характеризуется полностью случайной стрельбой. Координаты (X, Y) выбираются произвольно в диапазоне 0,...,9.

*Квадратный алгоритм* (обход по квадратам) заключается в обстреле поля противника по квадратам. Сначала обстреливаются четыре угловых точки квадрата, затем четыре соседние к ним по часовой стрелке, после это соседние к обстрелянным на предыдущем шаге и так далее. Варьируемыми параметрами являются размер стороны квадрата и координаты первой точки угла.

Среди атакующих алгоритмов в разрезе параметров симулировались:

- 100 разновидностей диагонального алгоритма;
- 49 разновидностей квадратного алгоритма;
- 269 разновидностей линейного алгоритма;
- 400 разновидностей случайного алгоритма.

В ходе проведенных симуляций были получены статистические результаты для алгоритмов атаки (таблицы 2а и 2б).

Таблица 2а. Статистические результаты алгоритмов атаки

Алгоритм	Математическое ожидание, $s$	Стандартное отклонение, $\sigma$	Процент выборки в интервале $(s - \sigma; s + \sigma)$
Диагональный	56,19	7,80	68,79
Случайный	62,39	8,20	70,06
Линейный	67,01	7,40	71,80
Квадратный	68,87	8,84	70,01

Таблица 2б. Статистические результаты алгоритмов атаки

Алгоритм	95-й процентиль	85-й процентиль	15-й процентиль	5-й процентиль
Диагональный	70	64	48	44
Случайный	76	71	54	49
Линейный	79	75	59	55
Квадратный	86	78	60	56

Было вычислено распределение количества побед по количеству шагов для каждого набора варьируемых характеристик, а затем результаты распределения просуммированы для каждого алгоритма.

Согласно таблице 2а наименьшее математическое ожидание шагов для уничтожения поля противника у диагонального алгоритма, наибольшее – у алгоритма обхода по квадратам. Стандартные отклонения распределений у всех атакующих алгоритмов атаки примерно одинаковы, как и процент выборки в соответствующих интервалах отклонений.

Если посмотреть на таблицу 2б, то видно, что значение процентилей распределения диагонального алгоритма атаки меньше соответствующих значений конкурирующих алгоритмов. Так как показатели стандартных отклонений алгоритмов отличаются незначительно, это говорит о смещении гистограммы диагонального алгоритма влево при сохранении ее формы по сравнению с другими атакующими алгоритмами. Аналогично гистограмма алгоритма атаки по квадратам смещена вправо – в сторону наибольших шагов, необходимых для победы. Смещение можно наглядно наблюдать на рис. 1- 4.

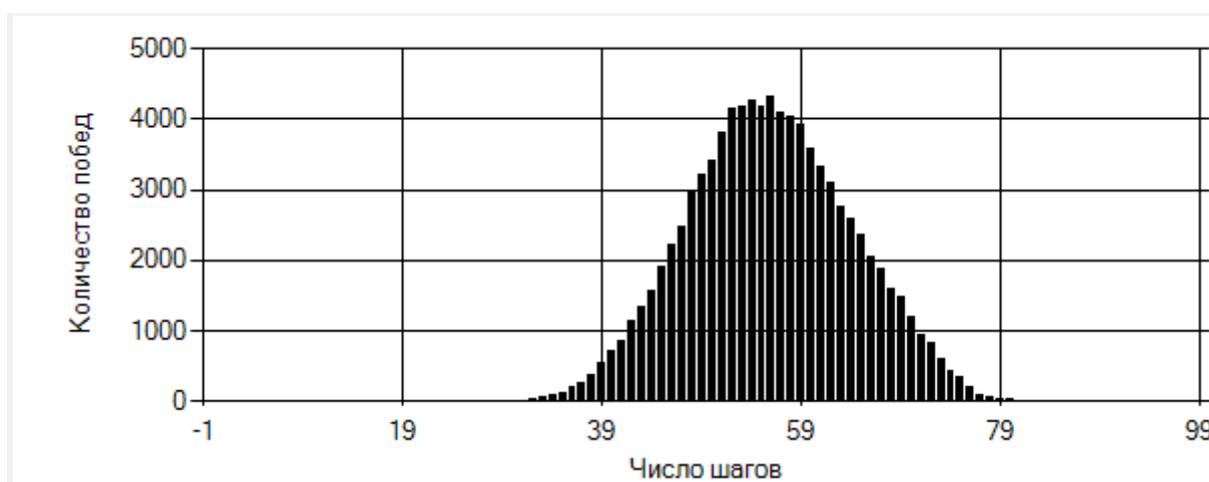


Рис. 1. Гистограмма диагонального алгоритма

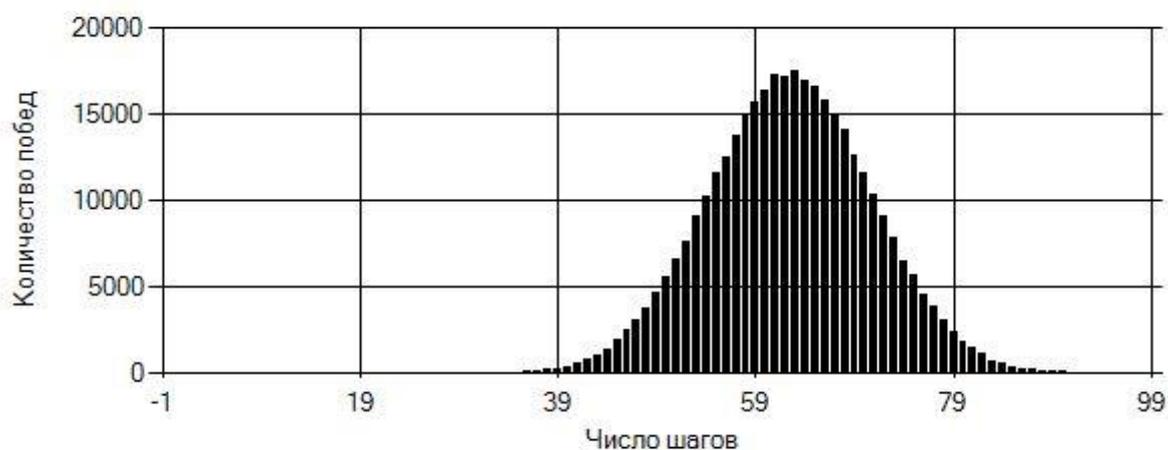


Рис. 2. Гистограмма случайного алгоритма

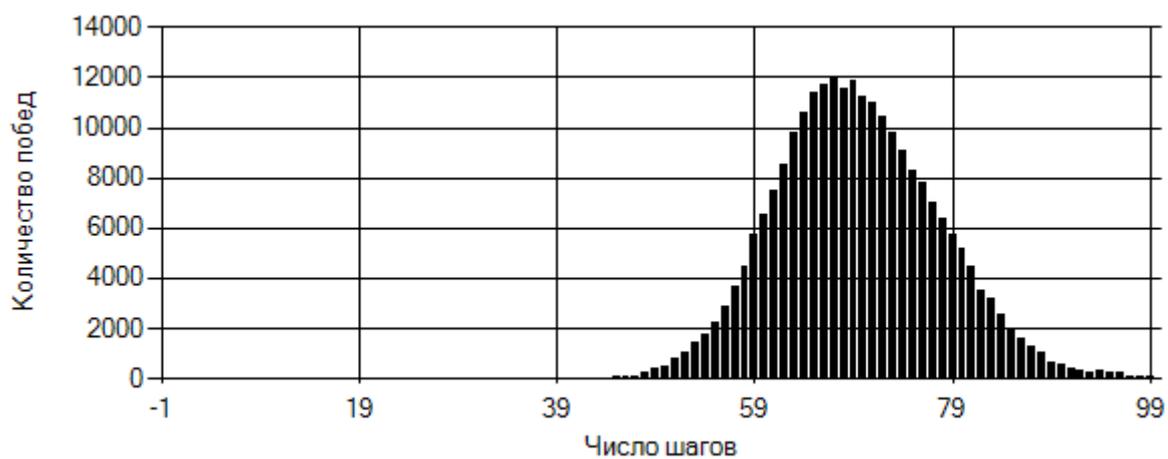


Рис. 3. Гистограмма линейного алгоритма

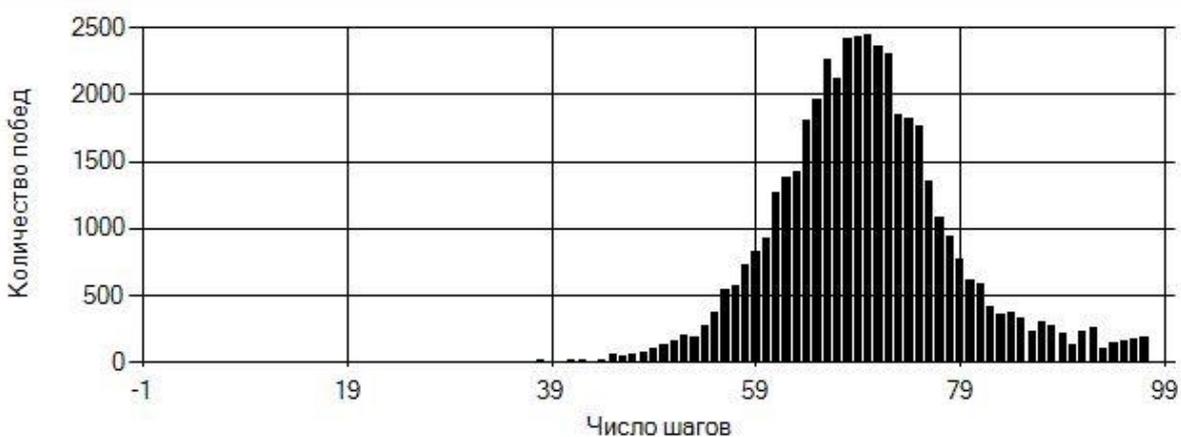


Рис. 4. Гистограмма квадратного алгоритма

Помимо сражений против указанных алгоритмов расстановок были проведены расчеты игры атакующих алгоритмов против 900 случайных (метод Монте-Карло) алгоритмов размещений кораблей. Ранжирование кораблей осталось прежним (см. таблицы 2в и 2г). Как видно из таблицы 2в, при игре против случайно расставленных конфигураций у алгоритмов атаки уменьшилось математическое ожидание числа шагов победы, однако лидер и аутсайдеры не изменились. Подобные изменения коснулись и расчета процентилей выборок результатов алгоритмов (таблица 2г): большинство соответствующих значений стали меньше, но при этом ранжирование не изменилось.

Таблица 2в. Статистические результаты алгоритмов атаки при игре со случайным алгоритмом расположения кораблей

Алгоритм	Математическое ожидание, $s$	Стандартное отклонение, $\sigma$	Процент выборки в интервале ( $s - \sigma; s + \sigma$ )
Диагональный	53,19	5,19	75,39
Случайный	61,54	7,83	72,66
Линейный	62,84	6,77	69,95
Квадратный	65,52	7,25	70,47

Таблица 2г. Статистические результаты алгоритмов атаки при игре со случайным алгоритмом расположения кораблей

Алгоритм	95-й процентиль	85-й процентиль	15-й процентиль	5-й процентиль
Диагональный	62	59	48	45
Случайный	75	70	54	49
Линейный	75	70	56	52
Квадратный	78	73	58	54

Как и в случае тестирования против спектра алгоритмов защиты, так и в случае тестирования против случайных алгоритмов расстановки наихудший и наилучший алгоритмы атаки одни и те же. Лучший алгоритм атаки – стрельба по диагонали, худший – стрельба по квадратам.

## АЛГОРИТМЫ ДОБИВАНИЯ

Были проанализированы три разновидности алгоритмов добивания.

Первый из них – добивание производится *крестообразно*. Сначала делается попытка добивать вверх от переданной точки попадания. Добивание идет последовательно клетка за клеткой, пока не происходит промах. Если при движении вверх было хотя бы одно попадание, то делается вывод о вертикальном расположении корабля.

После промаха при движении вверх и в случае установления вертикальности корабля идет движения вниз до первого промаха.

После промаха при движении вверх и в случае неопределенности ориентации корабля идет движение вправо.

В случае промаха при движении вправо дальнейшее движение продолжается влево от начальной точки попадания.

В случае промаха при движении прицела добивания влево начинается движение вниз.

Таким образом будут обойдены все варианты расположения кораблей. На каждом шаге добивания делается проверка гипотезы о том, что корабль не уничтожен. Если в результате проверки устанавливается подбитие всех клеток корабля, добивание прекращается.

Второй алгоритм добивания – *максимальное исключение* – добивание в сторону, где в случае попадания в следующую клетку будет исключено наибольшее количество полей вокруг. При подсчете предполагается, что убитая клетка будет крайняя для корабля.

Третий алгоритм добивания – *минимальное исключение* – аналогичен второму алгоритму, за исключением правила, в соответствии с которым выбор делается в сторону клетки, при уничтожении которой будет исключено наименьшее число клеток вокруг нее.

При симуляции алгоритмов добивания в результатах учитывались все выстрелы: как промахи, так и попадания в процессе добивания.

Таблица 3а. Статистические результаты алгоритмов добивания

Алгоритм	Математическое ожидание, $s$	Стандартное отклонение, $\sigma$	Процент выборки в интервале $(s - \sigma; s + \sigma)$
Крестообразный	17,77	3,09	77,19
Максимальное исключение	16,79	2,64	74,12
Минимальное исключение	18,40	3,28	71,31

Таблица 3б. Статистические результаты алгоритмов добивания

Алгоритм	95-й процентиль	85-й процентиль	15-й процентиль	5-й процентиль
Крестообразный	23	21	15	13
Исключение макс.	21	19	14	12
Исключение мин.	24	22	15	13

Как видно из расчетов в таблице 3а, применение алгоритма максимального исключения при добивании уменьшает ожидаемое количество шагов атаки. Стандартное отклонение этого алгоритма также является наименьшим, что говорит в пользу его использования вместо крестообразного алгоритма или алгоритма добивания в сторону наименьшего исключения. Данные таблицы 3б подтверждают этот вывод: значения всех вычисленных процентилей у алгоритма максимального исключения наименьшие, то есть распределение количества убийств кораблей по количеству необходимых шагов смещено влево по сравнению с другими методами добивания.

		3				2		4	1	Порядок начала обстрела диагоналей  Диагонали (выделены цветом), в рамках которых идет обстрел. Числа – порядок стрельбы по ячейке в рамках диагонали с одним цветом
9	17	1	10	3	5	1	2	1	1	
50	10	18	2	11	4	6	2	3	2	
16	49	11	19	3	12	5	7	3	4	
41	15	48	12	20	4	13	6	8	4	
26	40	14	47	13	21	5	14	7	9	
34	25	39	13	46	14	22	6	15	8	
8	33	24	38	12	45	15	23	7	16	
29	7	32	23	37	11	44	16	24	8	
20	28	6	31	22	36	10	43	17	25	
26	19	27	5	30	21	35	9	42	18	

Рис. 5 Логика обстрела лучшего алгоритма атаки (диагонального алгоритма)

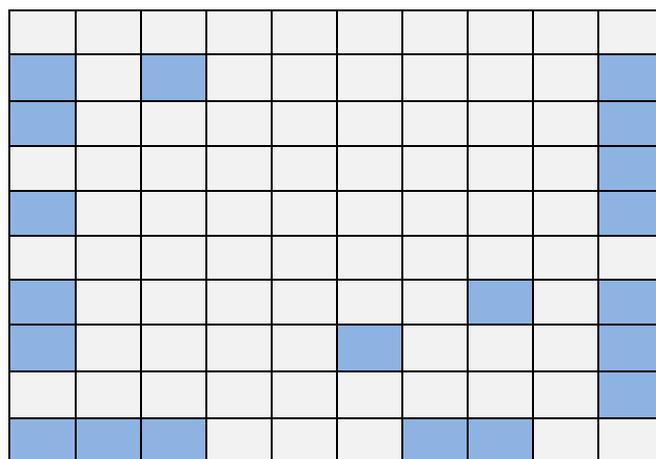


Рис. 6. Пример лучшего алгоритма расстановки (расстановка по краям)

										Добивание будет произведено вверх, так как количество исключенных клеток при попадании будет больше, чем при стрельбе вниз
	o?	o?	o?							
	o?	X?	o?							
	o	X	o							
	o	X	o							
	o?	X?	o	o	o					
	o?	o?	o		o					
		o	o	o	o					

Рис. 7. Иллюстрация лучшего алгоритма добивания (с максимальным исключением)

Наихудший алгоритм добивания – стрельба в сторону наименьшего исключения дополнительных клеток вокруг корабля, при предположении, что поражаемая клетка будет крайней. Из таблицы 3а видно математическое ожидание числа шагов на убийство кораблей для такого алгоритма, а из таблицы 3б следует общее смещение распределения результатов в сторону большего числа шагов.

На рис. 5–7 наглядно изображены лучшие алгоритмы рассмотренных действий.

## Выводы

Среди алгоритмов расстановки кораблей наилучшие статистические результаты у расстановок по краям поля. То есть наибольшее количество шагов для уничтожения всех кораблей с подобной расстановкой и наибольшее смещение

ние распределения вправо относительно других алгоритмов расстановки. Наихудшие результаты у алгоритма расстановки кораблей в центре поля. Причем алгоритм расстановки кораблей в центре показывает безоговорочно худшие результаты при проверке против групп тестируемых алгоритмов атаки, однако является лишь одним из худших при тестировании против случайных алгоритмов. Алгоритм расстановки кораблей по краям поля подтвердил свою эффективность как в игре против моделируемых специальных алгоритмов атаки, так и против алгоритма случайной стрельбы (метод Монте-Карло).

Алгоритмом атаки, показывающим лучшие статистические характеристики, является диагональный алгоритм. Он имеет наименьшее математическое ожидание уничтожения поля противника, а также наилучшие показатели смещения распределения относительно алгоритмов случайных выстрелов, линейного обхода по змейке и обстрела по квадратам. Диагональный алгоритм подтверждает свое лидерство и при тестировании против случайных алгоритмов размещения кораблей. Худшим среди атакующих алгоритмов является стрельба по квадратам, причем данный алгоритм худший при тестировании как против выбранных алгоритмов защиты, так и против случайной расстановки кораблей.

Среди рассмотренных алгоритмов добивания наилучшие показатели у алгоритма добивания в сторону возможного исключения из дальнейшей игры наибольшего числа клеток. Наихудшие результаты у алгоритма добивания в сторону наименьшего возможного количества исключенных клеток, если попадание произойдет и уничтоженная клетка будет крайней для корабля.

Считаем приятным долгом поблагодарить наших коллег за плодотворные обсуждения – А. В. Подлазова, обратившего наше внимание на методы статистического анализа больших серий расчетов и важность алгоритмов добивания, и А. А. Кочкарова, увидевшего связь рассмотренной задачи с проблемами управления многоагентными мобильными системами, и М. М. Горбунова-Посадова, указавшего на ряд важных аспектов «Морского боя».

## ЛИТЕРАТУРА

1. Оптимальный алгоритм игры в «Морской бой», статья в Habrahabr. URL: <http://habrahabr.ru/post/180995/>
2. Видео тестирования алгоритмов морского боя в YouTube. URL: [http://www.youtube.com/watch?v=j-mf6\\_4X0JA](http://www.youtube.com/watch?v=j-mf6_4X0JA)
3. Теория и практика игры «Морской бой» — по-честному, статья GeekTimes. URL: <http://geektimes.ru/post/82221/>
4. Дж. Д. Вильямс. Совершенный стратег, или Букварь по теории стратегических игр; пер. с англ. М.: Советское радио, 1960. 270 с.