

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

**«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ Н. Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»**

Кафедра дискретной математики и информационных технологий

**СТРАТЕГИИ АТАКИ САМОДВИЖУЩИХСЯ МИН
КУРСОВАЯ РАБОТА**

студента 3 курса 321 группы
направления 09.03.01 — Информатика и вычислительная техника
факультета КНиИТ
Голубкова Артема Анатольевича

Научный руководитель
доцент

В. В. Кирьяшкин

Заведующий кафедрой
доцент, к. ф.-м. н.

Л. Б. Тяпаев

Саратов 2025

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1 Описание стратегий	5
1.1 Greedy (жадный)	5
1.2 Zigzag (зигзагообразная стратегия)	6
1.3 Spiral (спираль)	7
1.4 Стратегия Flank (фланговая атака)	7
1.5 Стратегия Random (движение с шумом)	8
1.6 AuthorStrategy (собственная)	9
2 Проведённые эксперименты	11
3 Расширенные идеи	11
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	11

ВВЕДЕНИЕ

Современные вооружённые конфликты наглядно демонстрируют возросшую роль автономных роботизированных систем в обеспечении наступательных и оборонительных задач. Всё более широкое распространение получают беспилотные катера, дроны-камикадзе и самодвижущиеся мины, используемые как для разведки, так и для прицельного поражения объектов. Особенно перспективной представляется концепция мобильных мин, способных самостоятельно выбирать траекторию сближения с целью. Эти устройства позволяют создавать динамические минные поля и повышать тактическую гибкость на поле боя. Их применение уже активно обсуждается в военных кругах, а по масштабу влияния на тактику они сравниваются с введением авиации в XX веке.

Научное сообщество уделяет значительное внимание разработке моделей поведения автономных агентов в условиях неопределённости. В частности, в литературе представлены различные алгоритмы уклонения и преследования, патрулирования, а также построения эффективных маршрутов. Исследования Chung et al. (2011) систематизируют методы поиска и маневрирования мобильных агентов. Также широко изучаются зигзагообразные и спиральные стратегии сближения, применяемые как в сервисной, так и в военной робототехнике. Эти модели находят применение в задачах покрытия территории, уклонения от препятствий и построения траекторий максимальной живучести. Современные работы в области ройного взаимодействия дополнительно показывают эффективность распределённых систем при согласованных действиях.

Настоящая курсовая работа посвящена моделированию и анализу сценария атаки на охраняемую цель с применением группы самодвижущихся мин. Центральное место в модели занимает защищаемый объект, находящийся в центре условного поля боя, и стрелок-защитник, ведущий огонь по приближающимся минам. Каждая мина следует определённой стратегии движения, задача которой — обеспечить максимальную вероятность достижения цели в условиях противодействия.

В рамках работы моделируются:

- **целевая точка** — объект, подлежащий атаке, расположенный в центре;
- **стрелок-защитник** — моделируемый агент, осуществляющий поражение

ние мин с заданной точностью и реакцией;

- **группа мин** — одна или несколько автономных мин, каждая из которых следует заданной стратегии движения.

Исследуются и сравниваются различные алгоритмы движения мин. Особое внимание уделяется стратегиям зигзагообразного маневрирования и спирального сближения. Эффективность каждой стратегии оценивается по ряду метрик:

- доля успешных атак (достижение цели);
- количество выживших мин;
- среднее время сближения;
- устойчивость к защитным действиям стрелка.

Цель исследования — выявление закономерностей между используемой стратегией, параметрами защитника и итоговой эффективностью атаки. Полученные результаты могут быть использованы при разработке более совершенных алгоритмов управления автономными боевыми системами.

1 Описание стратегий

В данной главе рассматриваются различные стратегии движения самоходных мин, используемых для сближения с целью. Выбор эффективной траектории имеет решающее значение при преодолении активной обороны: от характера движения мины зависят её шансы на достижение цели и выживание в процессе атаки.

Каждая стратегия представляет собой определённый поведенческий шаблон, реализующий ту или иную тактику приближения: от простого прямолинейного курса до сложных манёвров с элементами уклонения и обхода. Стратегии отличаются как геометрией траектории, так и уровнем сложности реализации.

В рамках исследования предполагается, что:

- цель (стрелок) зафиксирована в центре условного поля боя, координаты $(x_0, y_0) = (0, 0)$;
- мины инициализируются по равномерному распределению на окружности фиксированного радиуса R вокруг цели;
- каждая мина действует автономно, без взаимодействия с другими;
- защитник реагирует на приближение мин, пытаясь поразить их до достижения центра.

Таким образом, каждая мина стартует из точки $(x_i, y_i) = (R \cos \varphi_i, R \sin \varphi_i)$, где угол φ_i определяется равномерным делением окружности между n минами. Стартовое расположение соответствует классическим моделям обороны периметра, где противник окружён атакующими по кругу.

В следующих подразделах приведены математические модели движения для каждой стратегии, а также обсуждаются их преимущества и ограничения в условиях моделируемого конфликта.

1.1 Greedy (жадный)

Жадная стратегия представляет собой прямолинейное движение мины в направлении на цель. Предполагается, что цель находится в начале координат $(0, 0)$, а мина — в точке $\mathbf{r}(0)$. Тогда на каждом такте направление движения мины совпадает с вектором $\mathbf{r}(t)$, и её скорость определяется уравнением:

$$\dot{\mathbf{r}}(t) = -v \cdot \frac{\mathbf{r}(t)}{\|\mathbf{r}(t)\|},$$

где v — постоянная скорость мины.

Траектория движения:

$$\mathbf{r}(t) = (R_0 - vt) \cdot \frac{\mathbf{r}(0)}{R_0}, \quad R_0 = \|\mathbf{r}(0)\|.$$

Таким образом, мина движется по кратчайшей траектории — прямой к цели. Данный метод соответствует стратегии чистого преследования (Pure Pursuit), известной в задачах наведения и автономной навигации [?].

Преимущества:

- минимальное время сближения;
- простота реализации;
- эффективность при отсутствии сопротивления.

Недостатки:

- высокая предсказуемость;
- уязвимость для защитника;
- неэффективность против маневрирующей цели.

1.2 Zigzag (зигзагообразная стратегия)

Зигзагообразная стратегия включает периодические боковые отклонения от прямолинейного курса. Пусть \vec{u} — единичный вектор на цель, а \vec{w} — перпендикулярный ему вектор в плоскости. Тогда траектория мины задаётся приближённо следующим выражением:

$$\mathbf{r}(t) = (R_0 - vt) \vec{u} + A \sin(\omega t) \vec{w},$$

где:

- A — амплитуда колебаний;
- ω — угловая частота;
- t — текущий шаг моделирования.

При этом угол курса $\theta(t)$ колеблется вокруг базового направления:

$$\theta(t) = \alpha(t) + A \cdot \sin\left(\frac{t}{T}\right),$$

где T — период колебаний, $\alpha(t)$ — базовый угол на цель.

Такая стратегия имитирует поведение маневрирующих боеприпасов и

используется для повышения живучести за счёт усложнения прицеливания [?].

Преимущества:

- меньшая предсказуемость движения;
- усложнение наведения стрелка;
- повышенная выживаемость при приближении.

Недостатки:

- увеличенная длина траектории;
- снижение скорости сближения;
- более сложная реализация.

1.3 Spiral (спираль)

Мины появляются на окружности радиуса 350 вокруг центра цели. В каждый момент вектор скорости \vec{v} задается сочетанием радиальной и тангенциальной составляющих:

$$\vec{v} = v_r \vec{u}_r + v_\theta \vec{u}_\theta,$$

где $v_r = 1.5$, $v_\theta = 3.0$. Итоговая скорость масштабируется до $2v_0$ (где $v_0 = \text{MINE_SPEED}$). **Преимущества:**

- Высокая скорость сближения с целью за счет значительной радиальной составляющей.
- Сложная траектория, затрудняющая предсказание (благодаря сочетанию радиальной и тангенциальной скоростей).

Недостатки:

- Траектория полностью детерминирована (не содержит рандомизации) и становится предсказуемой при многократном использовании.

1.4 Стратегия Flank (фланговая атака)

В стратегии *Flank* каждая мина не движется по прямой к центру, а корректирует направление на цель на угол $\pm\pi/3$ (60°). Если мина в полярных координатах стартует под углом φ (точка $x = R \cos \varphi$, $y = R \sin \varphi$), то её базовый угол на центр равен $\varphi + \pi$. Применяя фланговый манёвр, итоговый угол движения задаётся как:

$$\alpha = \varphi + \pi \pm \frac{\pi}{3}.$$

Скорость мины принимается равной $0.9v_0$, где $v_0 = \text{MINE_SPEED}$ — базовая скорость. Тогда координаты мины в момент времени t описываются уравнениями прямолинейного движения:

$$x(t) = R \cos \varphi + 0.9v_0 t \cos \alpha, \quad y(t) = R \sin \varphi + 0.9v_0 t \sin \alpha.$$

Траектория такой мины — прямая линия, направленная со смещением 60° от радиуса, что соответствует фланговому обходу цели (при $\alpha = \varphi + \pi \pm \frac{\pi}{3}$ — влево или вправо). Фланговые подходы часто рассматриваются в ройных системах как продвинутые манёвры для поиска слабых мест в обороне: мина будто «пробует» обойти защитника сбоку, а не атакует по самому короткому пути.

Преимущества:

- фланговая траектория позволяет атаковать центр под другим углом, минуя наиболее защищённую ось;
- центр обороны остаётся сравнительно слабозащищённым, что даёт шанс на прорыв;
- затрудняется точное прицеливание по мине, если защитник ориентирован на прямой путь.

Недостатки:

- траектория детерминирована и со смещением на фиксированный угол, предсказуема при известной стратегии;
- скорость $0.9v_0$ ниже максимальной;
- фланговый манёвр увеличивает расстояние до цели, давая больше времени на обнаружение и перехват.

Таким образом, стратегия *Flank* делает атаку менее прямолинейной и может обмануть защитника, сфокусированного на центре, но одновременно снижает скорость и увеличивает путь, что делает её более предсказуемой и медленной.

1.5 Стратегия Random (движение с шумом)

В стратегии *Random* мины двигаются приблизительно по направлению к центру, однако на каждом шаге их угол движения подбрасывается случайным шумом. Формально это задаётся следующим образом: пусть мина в момент k имеет угол α_k (например, начальный угол $\alpha_0 = \varphi + \pi$), тогда на

следующем шаге:

$$\alpha_{k+1} = \alpha_k + \delta_k, \quad \delta_k \sim U(-1.5, 1.5),$$

то есть к базовому углу добавляется случайное отклонение δ_k из равномерного распределения на отрезке $[-1.5, +1.5]$ радиан.

Скорость мины равна $0.8v_0$. Положение мины обновляется по правилам:

$$x_{k+1} = x_k + 0.8v_0 \cos(\alpha_k)\Delta t, \quad y_{k+1} = y_k + 0.8v_0 \sin(\alpha_k)\Delta t,$$

где Δt — длительность одного временного шага. Траектория такой мины напоминает случайное блуждание, направленное в сторону цели. Стратегия *Random* близка к классическому «случайному поиску», применяемому как животными, так и автономными роботами в условиях неопределённости.

Преимущества:

- угловой шум делает траекторию крайне непредсказуемой;
- затрудняется прицеливание и предсказание пути мины защитником;
- повышается вероятность «сюрпризного» приближения к цели.

Недостатки:

- скорость $0.8v_0$ ниже максимальной;
- отклонения от кратчайшего пути увеличивают время подхода;
- несмотря на хаотичность, статистическая структура шума может быть учтена защитником.

1.6 AuthorStrategy (собственная)

Мины стартуют на окружности радиуса 350 в начальной точке ϕ_0 с исходным радиусом R_0 . Радиус $r(t)$ экспоненциально убывает по формуле:

$$r(t) = R_0 e^{-kt}, \quad k = 0.15.$$

Угол $\phi(t)$ меняется линейно: $\phi(t) = \phi_0 + \omega t$ с $\omega = 0.02$. Дополнительно вводится поперечное зигзагообразное смещение с амплитудой $A = 40$ и фазой $\psi(t) = \psi_0 + \delta t$ с $\delta = 0.1$. Поперечное смещение добавляется вдоль направления, перпендикулярного вектору $\vec{r}(t)$. Итоговые координаты мины:

$$x(t) = x_0 + r(t) \cos \phi(t) + A \sin(\psi(t)) \cos(\phi(t) + \pi/2),$$

$$y(t) = y_0 + r(t) \sin \phi(t) + A \sin(\psi(t)) \sin(\phi(t) + \pi/2).$$

Параметры стратегии Spiral Zigzag:

- `speed_multiplier` = 1.2 — общий множитель скорости (увеличивает скорость движения мин в 1.2 раза).
- `spiral_factor` = 0.15 — коэффициент экспоненциального сближения ($k = 0.15$ в формуле $r(t) = R_0 e^{-kt}$).
- `zigzag_amplitude` = 40 — амплитуда бокового синусоидального смещения $A = 40$.
- `zigzag_frequency` = 0.2 — частота флуктуаций зигзага (задает темп колебаний, но непосредственно не используется в формулах).
- `phase_change` = 0.1 — шаг изменения фазы зигзага ($\delta = 0.1$).

В стратегии Spiral Zigzag комбинируются спиральное приближение и боковые синусоидальные колебания. Радиальная часть траектории следует экспоненциальной спирали, что обеспечивает устойчивое уменьшение расстояния до цели. Синусоидальное боковое смещение добавляет эффект обхода фланга: мина совершает колебания относительно радиального направления, что расширяет зону покрытия и усложняет предсказание траектории. Изменение фазы $\psi(t) = \psi_0 + \delta t$ вводит фазовый шум: разные мины получают различные начальные фазы ψ_0 , поэтому их колебания оказываются несинхронизированными. Фазовый шум необходим, чтобы сделать траектории мин уникальными и повысить непредсказуемость их поведения.

2 Проведённые эксперименты

3 Расширенные идеи

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

dsadasdas

Отчет о практике выполнен мною самостоятельно, и на все источники, имеющиеся в отчете, даны соответствующие ссылки.

подпись, дата

инициалы, фамилия