

УДК 004.85:681.5

ЗАДАЧА О «ДИФФУЗНОЙ БОМБЕ» ДЛЯ РОЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

В.К. Абросимов

*Главный научно-исследовательский испытательный межвидовой центр перспективного вооружения
Министерства обороны РФ*
Россия, 129327, Москва, Чукотский проезд, 10
E-mail: avk787@yandex.ru

Е.С. Михайлова

«ПАО НПО Алмаз» им академика А.А. Расплетина
Россия, 125190, Москва, Ленинградский проспект, 80, к. 16
E-mail: ekaterinaolimp99@mail.ru

Ключевые слова: рой, проникновение, диффузная бомба, биоподобный алгоритм, беспилотный летательный аппарат.

Аннотация: В последнее время актуальность задачи распределенного преодоления системы обороны (задача о «диффузной бомбе») в связи с тенденциями беспилотного управления и значительной миниатюризации объектов проникновения существенно возросла. Разработан метод решения задачи о диффузной бомбе для роя (более 100) беспилотных летательных аппаратов малых размеров. Показано, что при моделировании налета с использованием биоинспирированных алгоритмов управления роем возможно создавать так называемые «антипрецеденты» для средств обнаружения и противодействия охраняемого объекта, существенно затрудняющие прогнозирование поведения роя и повышающие эффективность решения указанной задачи.

1. Введение

В так называемой задаче о «диффузной бомбе» группе автономных подвижных агентов формулируется миссия поразить объект с заданными координатами. Предполагается, что объект охраняется так, что каждый агент может быть с определенной вероятностью обнаружен и уничтожен системой обороны. Вероятность обнаружения/уничтожения зависит от координат агента, его скорости и расположения относительно других агентов. Задача заключается в синтезе таких алгоритмов децентрализованного взаимодействия агентов и принятия ими решений о направлении и скорости движения, чтобы максимизировать число агентов, достигших цели [1]. В рамках данной постановки задачи могут рассматриваться различные ее варианты-количество объектов в группе, количество и возможности средств обнаружения и уничтожения объектов, информированность объектов проникновения о системе обороны и др.

Очень существенным является предположение о том, что «часть агентов-разведчиков, может оперативно получать информацию о параметрах системы обороны. Остальные агенты, наблюдая за поведением разведчиков (в условиях ограничений на коммуникации между агентами), «рефлексируя» получают оценку опасной области и решают поставленную задачу» [2].

Указанное допущение на практике является очень жестким. Прежде всего, методы маскировки и информационного противоборства существенно затрудняют получение информации о параметрах системы обороны, тем более непосредственно в процессе выполнения задачи. Исключением может являться включение в состав группы агентов, обученных в парадигме «жертвенности» [3], которые способны «вскрывать» систему обороны. Но следующим препятствием является нереальность предположения о наличии связи между атакуемыми объектами. Требуемую рефлексивность агентов не допускают развитые и эффективные средства радиоэлектронной борьбы [4]. Указанные практические ограничения существенно затрудняют выбор агентами параметров управления группой и траекторий движения, а также прогноз поведения других агентов, что является необходимым условием решения задачи о «диффузной бомбе».

Непрерывно расширяемые боевые возможности современной беспилотной авиации малых размеров позволяют с совершенно новых позиций подойти к решению задачи о «диффузной бомбе» с учетом указанных выше ограничений. В предыдущих работах авторов показано, что целесообразно формировать группы в виде роя беспилотных летательных аппаратов, включив в ее состав как боевые, так и ложные элементы [5]. Предварительное моделирование подтверждает нашу гипотезу о том, что сложные пространственно-временные формации, образуемые роями летательных аппаратов малых размеров способны существенно затруднить системе обороны противника как обнаружение роя, так и прогноз его движения.

2. Модели и стратегии роя беспилотных летательных аппаратов в задаче о «диффузной бомбе»

2.1. Модель стратегии действий группы

Для формализации движения атакующей группы разработана имитационная модель стратегии действий группы. Группа формируется в виде роя из N беспилотных летательных аппаратов двух видов «боевые (n_1)» и «ложные» (n_2). При моделировании рассматривались различные случаи состава группы ($n_1 \gg n_2$, $n_1 \ll n_2$, $n_1 \sim n_2$). Движение роя описывается модифицированным биоинспирированным алгоритмом К. Рейнольдса [6] с известными правилами поведения каждой частицы - правилом нестолкновения, правилом стремления к геометрическому центру масс своей локальной окрестности и к среднему вектору скорости всех частиц. В практических случаях построения роев коэффициенты уравнения К. Рейнольдса подбираются, исходя из решаемой задачи. Суть авторской модификации алгоритма заключалась в допущении целенаправленного изменения этих коэффициентов, что позволили существенно влиять на форму и размеры роя, где в роль частицы при моделировании выполняли отдельные агенты, а на практике – каждый агент являлся беспилотником.

В модели реализованы три метода: вариации параметров в заданных пределах, изменения коэффициентов по линейному закону и реконфигурации параметров, когда измененные коэффициенты через некоторое время возвращаются к исходным. Существенно, что модифицированный биоинспирированный алгоритм не требует наличия агентов-«разведчиков», агентов-«жертв», а также взаимодействия агентов для обмена информацией. Он не предъявляет также высоких требований к системам управления входящих в группу агентов-беспилотников.

В результате применения различных стратегий действий роя удается создавать разнообразные пространственно-временные формации, в некоторой мере подобные геометрическим фигурам типа: «Диск», «Круг», «Многоугольник», «Случайное двухмерное плоскостное скопление», «Шар», «Цепочка», «Цилиндр»,

«Параллелепипед», «Случайное трехмерное пространственное скопление» и др. В предельных случаях моделирования рой можно как «стянуть» в одну точку, так и произвольно «разбросать» в пространстве или обеспечить разроение на два и более мелких роев.

2.2. Модель системы обороны

Предполагается, что система обороны включает четыре основных элемента: а) средства обнаружения; б) средства прогноза движения; в) алгоритм принятия решения; г) средства поражения атакующих объектов.

Модель средств обнаружения представляет собой радиолокатор с заданными параметрами (конус обзора и дальность обнаружения).

Модель прогноза движения средствами охраняемого объекта специально не разрабатывается. Предполагается, что каждый беспилотный летательный аппарат, получив начальный вектор скорости, осуществляет пассивный полет по эллипсу, проходящему через цель и, если объект не уничтожен, то он достигает цели.

Модель принятия решения основана на оценке противником опасности со стороны роя. В силу понятных вычислительных сложностей слежения за каждым атакующим объектом роя предполагается, что противник определяет эффективную поверхность рассеивания роя как объемно-распределенных объектов и, оценивая опасность, и вырабатывает решение (по сути целеуказания средствам поражения) на уничтожение объектов.

Средства поражения атакующих объектов моделируются виртуальными средствами обороны, результатом действия которых являются круги поражения различных радиусов (крупные и мелкие боеприпасы), при нахождении в которых объект считается уничтоженным.

3. Эффективность проникновения на объект обороны интеллектуального роя беспилотных летательных аппаратов

Плотный рой в составе боевых и ложных беспилотных объектов движется к объекту обороны. Радиолокатор охраняемого объекта на определенной его проектными характеристиками дальности в момент t_0 обнаруживает рой, прогнозирует его поведение, оценивает суммарную ЭПР_{роя} и фиксирует прецедент: группу объектов управления, прогнозируемая «трубка» траекторий которых проходит через охраняемый объект. В зависимости от плотности роя ЭПР_{роя} может достигать высоких значений и рой может восприниматься как крылатая ракета, небольшой самолет и др. Традиционное решение по таким прецедентам – воздействие на рой средствами обороны в момент t^* при уменьшении дальности $L \leq L^*$ до обеспечения высокой эффективности поражения. На протяжении интервала времени $t_0 \leq t \leq t^*$ противник продолжает сопровождение роя и слежение за его характеристиками.

Основная идея повышения эффективности решения задачи «диффузной бомбы» заключается в создании роем так называемого «антипрецедента», то есть такой суммарной ЭПР и «трубки» прогнозируемых траекторий, которая затруднит прогнозирования поведения роя и, тем самым, приведет к невыгодным условиям противодействия миссии роя. Начало t^{swarm} формирования «антипрецедента» ($t_0 \leq t^{swarm}$) совпадает с началом реализации стратегии атакующего роя. Выбранным одним из описанных выше методов меняются коэффициенты уравнений движения роя и пространственно-временная структура роя изменяется с образованием новых формаций. Изменяются и характеристики ЭПР_{роя}. Указанное вызывает

необходимость для противника нового решения задач прогнозирования поведения роя, целераспределения и принятия решений на поражение. Однако формирование антипрецедентов роем продолжается; рой находится в динамике, причем с внешне хаотическим поведением.

Для оценки эффективности решения задачи «диффузной бомбы» для роя беспилотных летательных аппаратов разработана статистическая модель. Критерием эффективности являлось количество «боевых» элементов, достигших объекта обороны.

В результате имитационного моделирования на достаточно представительной выборке вариантов решения задачи «диффузной бомбы» установлено, что при $t^{swarm} \gg t^*$ объект обороны, атакуемый роями до 100 объектов при $n_1 \sim n_2$, может остаться непораженным, что, однако, потребует от противника существенного сокращения времени на принятие решений и повышенного (до нескольких раз) расхода боеприпасов, прежде всего крупных. При увеличении количества объектов до 200-300 и, например, $n_1 \sim (0.1 - 0.3) n_2$ практически при любой стратегии противника отдельные боевые объекты (до 15-20% общего состава) остаются непораженными и достигают охраняемого объекта.

При $t^{swarm} < t^*$ эффективность решения задачи существенно зависит от правильности стратегии поведения роя (времени изменения и используемых пространственно-временных формаций) и принимаемых решений системой обороны охраняемого объекта (времени обнаружения роя, принятия решений и условий поражения).

При $t^{swarm} \ll t^*$ степень неопределенности в принятии решения системой обороны за счет создания антипрецедентов и, как следствие, эффективность решения задачи, достаточно высока. Объекта обороны при непрерывном изменении пространственно-временной структуры роя достигает до 70-80% боевых объектов атаки даже при высоком расходе боеприпасов системой обороны противника.

4. Заключение

В работе приведено новое решение актуальной научной задачи о «диффузной бомбе» для роя беспилотных летательных аппаратов малых размеров.

Разработаны модели создания различных пространственно-временных формаций, существенно затрудняющих обнаружение, распознавание намерений роя и поражение атакующих элементов средствами системы обороны.

С использованием имитационного моделирования показано, что за счет варьирования а) числом беспилотных летательных аппаратов в составе роя, б) процентом боевых и ложных объектов в составе роя, в) вариацией размеров и формы роя в пространстве и времени, обеспечивающей создание распределенной ЭПР роя, задача «диффузной бомбы» может решаться с высокой эффективностью.

Существенным преимуществом решения является независимость поведения роя от наличия связи между включаемыми в него беспилотными летательными аппаратами. В отличие от существующих решений, не требуется информация объектов «разведчиков» и/или их действий по обмену информацией с другими объектами и по вскрытию системы обороны охраняемого объекта.

Дальнейшие исследования в рассматриваемом направлении могут быть направлены на разработку аналогичных биоинспирированных алгоритмов проникновения на охраняемый объект малочисленной группой и стай, использованием полученного решения в рамках решения коалиционных задач согласованного проникновения на объект разнотипных средств атаки и др.

Список литературы

1. Корепанов В.О., Новиков Д.А. Задача о диффузной бомбе // Проблемы управления. 2011. № 5. С. 66-73.
2. Корепанов В.О., Новиков Д.А. Модели стратегического поведения в задаче о диффузной бомбе // Проблемы управления. 2015. № 2. С. 38-44.
3. Abrosimov V., Mochalkin A. Sacrifice as paradigm of robot behavior in group // Advances in intelligent systems and computing. 2019. Vol. 986. P. 244-254.
4. Бузин А.Л., Парфенов Г.Г. Особенности использования средств радиотехнической разведки как источников (средств) целеуказания для радиоэлектронной борьбы // Радиотехника. 2022. Т. 86, № 10. С. 17-22. DOI: <https://doi.org/10.18127/j00338486-202210-02>.
5. Абросимов В.К., Михайлова Е.С., Методы формирования пространственно-временных скоплений объектов в недружественной среде. // Автометрия. 2023. Т. 59, № 4. С. 1-9.
6. Reynolds C. Flocks, Herds, and Schools: A Distributed Behavioral Model // Computer Graphics. 1987. Vol. 21, No. 4. P. 25-34.