

Формирование пространственно-временных роевых скоплений малых объектов

В.К. Абросимов
Главный научно-исследовательский испытательный
межвидовой центр перспективного вооружения
Москва, Россия
avk787@yandex.ru

Е.С Михайлова
МГТУ им. Баумана
Москва, Россия
ekaterinaolimp99@mail.ru

Аннотация—Рассматривается конфликтная ситуация, связанная с движением скоплений, включающих сотни одинаковых объектов малых размеров в поле ответственности радиолокационной станции внешнего наблюдателя. Сформулирована и математическим моделированием подтверждена гипотеза о том, что за счет вариации геометрии формы и количества объектов в роевом скоплении потенциально возможно создать ситуации, при которых роевое скопление будет восприниматься внешним наблюдателем как единый, отличающийся от исходного крупный объект. Показано, что если критерием принятия решения является значение эффективной площади рассеяния, то возможно создавать скопления, неразличимые для внешнего наблюдателя либо имитирующие опасные объекты.

Ключевые слова— скопление, рой, радиолокационная станция, эффективная площадь рассеяния, модель

1. ВВЕДЕНИЕ

В практике группового управления появляются задачи, когда возникает конфликт между группой объектов управления, выполняющих собственную миссию и внешним наблюдателем, для которого такая миссия является нежелательной [1]. Примером такого конфликта является стремление группы объектов управления нанести ущерб территории, охраняемой внешним наблюдателем [2]. Пусть внешний наблюдатель имеет возможность контролировать движение группы, например радиолокационной станцией (РЛС) обнаружения и сопровождения, распознающей критические объекты по значению эффективной площади рассеяния (ЭПР). Тогда в качестве одной из основных задач группы становится задача формирования таких пространственно-временных структур, при которых ЭПР будет существенно ниже заданных значений (группа неразличима для РЛС), либо создание пространственных образований из ложных элементов, в сумме образующих значительную ЭПР, сравнимую с ЭПР опасного объекта, что вынудит внешнего наблюдателя принимать неправильные решения.

2. МЕТОДЫ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ СКОПЛЕНИЙ В ЗОНЕ ОТВЕТСТВЕННОСТИ РЛС

Большое количество скопившихся в одном месте сотен объектов небольших размеров по версии [3] предложено называть "скоплением". Сформулирована гипотеза о том, за счет вариации геометрии формы и количества объектов в скоплении потенциально

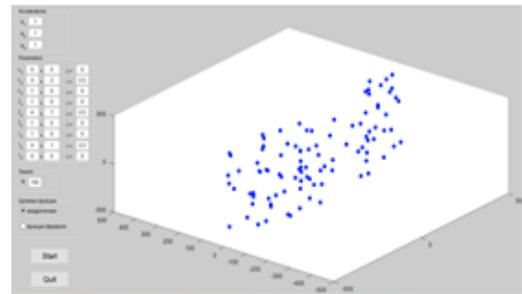


Рис.1 Исходное хаотически рассеянное скопление

возможно создать ситуации, при которых скопление для внешнего наблюдателя будет представляться как хаотическое, либо восприниматься как единый крупный и опасный объект.

Постановка задачи имеет вид:

Дано:

- 1) Декартова система координат XYZ;
- 2) N одинаковых объектов управления пренебрежимо малых размеров, образующих некое скопление
3. Каждый объект обладает заданной ЭПР;
- 3) Начальное расположение элементов – случайное в пространственной области заданных размеров.
- 5) Внешний наблюдатель в виде РЛС с характеристиками: а) начальное расположение: точка с заданными координатами; б) диаграмма направленности – конус с заданным углом «полураствора» (град). в) заданная дальность действия (км).

Требуется:

1. Разработать методы формирования различных пространственно- временных скоплений в форме, подобной а) плоскостным геометрическим фигурам («Диск», «Круг», «Многоугольник», «Случайное двумерное скопление») и б) пространственным геометрическим фигурам («Шар», «Цилиндр», "Параллелепипед", «Случайное пространственное скопление»).
2. Создать пространственно-временные скопления, при которых наблюдаемое ЭПР скопления будет критическим для внешнего наблюдателя.

Для проведения исследований на основе модели поведения роя К. Рейнольдса [4] в виде специального программного обеспечения с использованием библиотеки МАТЛАБ разработана следующая модифицированная модель движения скопления в декартовых координатах:

$$x_i = x_{i-1} + t v_{ix},$$
$$v_{ix} = \alpha_x v_{i-1x} + \beta_x f(x_{i-best} - x_i) + \gamma_y f(x_{superbest} - x_i)$$

По координатам "y" и "z" формулы аналогичны.

Здесь $\alpha_x, \beta_x, \gamma_x, \dots, \gamma_z$ - варьируемые, в том числе во времени, коэффициенты для создания соответствующих форм скоплений. Разработано три метода формирования различных близких к геометрическим и изменяющимся в процессе движения форм скоплений.

В методе «Параметр» форма скопления образуется за счет варьирования коэффициентов $\alpha_x, \beta_x, \gamma_x, \dots, \gamma_z$ модели в заданных пределах. В методе «Скорость» выбранные коэффициенты в течение процесса итераций меняются по линейному закону с заданным

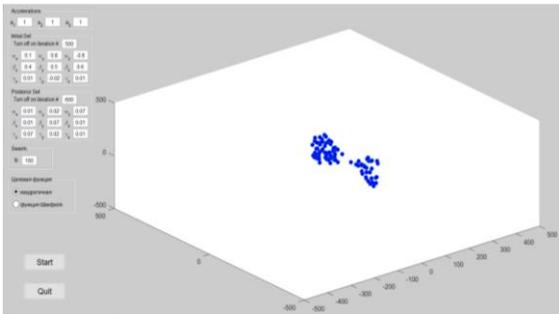


Рис 2.Разроение скопления с образованием различных близких к геометрическим форм (шар и конус)

одинаковым коэффициентом $\pm k$. В методе «Реконфигурация» на заданной i -той итерации все коэффициенты меняются на другие, а через некоторое время возвращаются к исходным.

В результате модельных экспериментов удалось получить разнообразные виды скоплений и показать, что в зависимости от характеристик РЛС, размеров и количества объектов в скоплении и расположения диаграммы направленности РЛС возможно как создать хаотически рассеянные скопления, так и плотные скопления разной формы, приводящие к проблемам их распознавания внешним наблюдателем по критерию ЭПР (Рис. 1-3).

Так, когда РЛС фиксирует плотный пространственный эллипсоид, величина ЭПР меняется в зависимости от взаимного расположения диаграммы направленности антенны РЛС и эллипсоида, а также его размеров. Тем не менее, при почти полном охвате зоной ответственности РЛС всего скопления как плотного эллипсоида можно создать ситуацию, когда ЭПР превысит значение 0,5, что близко к характеристикам самолетов. Например, при 100 объектах, моделируемых шариками радиусом 4 см с ЭПР примерно 0,005 при создании пространственно-временной структуры типа протяженная линия создаются условия, при которых РЛС воспринимает такое плотное скопление как «малозаметный истребитель». При 200 объектах эллипсоидальное скопление в зоне ответственности РЛС будет уже имитировать головную часть оперативно-тактической ракеты с ЭПР в пределах 0,15—1,6.

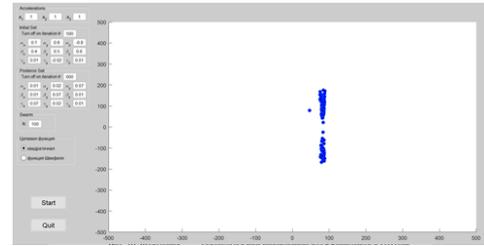


Рис. 3. Скопление типа "Протяженная линия"

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Стратегия поведения скоплений, первоначально представляемых роем одинаковых объектов малых размеров и ЭПР, формируется как изменяющаяся во времени пространственно-временная структура с потенциально разнообразной формой и плотностью распределения объектов скоплений с различной суммарной ЭПР. Сформулирована и математическим моделированием подтверждена научная гипотеза о том, что за счет вариации геометрии роевой формы и количества объектов в скоплении потенциально возможно создать ситуации, при которых скопление будет либо неразлично для РЛС внешнего наблюдателя, либо восприниматься им как единый, отличающийся от исходного опасный (по анализируемой суммарной ЭПР) объект, что призвано вынудить его делать неправильные выводы и принимать неправильные решения. Предложены и исследованы три метода создания пространственно-временных скоплений: а) вариацией коэффициентов модели б) вариацией скорости перемещения объектов скопления, задаваемой изменением коэффициентов во времени и в) реконфигурацией коэффициентов в процессе движения скопления. Реализацией этих методов и подбором соответствующих коэффициентов удалось сформировать разнообразные скопления, близкие к таким геометрическим и пространственным фигурам, как протяженная ограниченная линия, прямоугольник, шар, параллелепипед, диск, цилиндр, эллипсоид и др. Промоделирована возможность варьирования временем (ускорение, замедление) появления скопления в заданной области пространства. При этом потенциально возможно существенно изменять (увеличивать, уменьшать) суммарную ЭПР образуемых скоплений, так что внешний наблюдатель, фиксирующий ЭПР с использованием РЛС, может воспринимать скопление сначала как хаотическое, а затем как угрожающий объект.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Абросимов, В.К. Иррациональные стратегии поведения для роя мини роботов/ В.К.Абросимов, А.Ю. Мазуров // Вестник СПбГУ. – 2021. – Т. 17, № 4. – С. 419–432
- [2] Korepanov, V. The diffuse bomb // V. Korepanov, D. Novikov // Automation and Remote Control. – 2013. – Vol.74(5). – P. 863–874
- [3] Словарь русского языка: В 4-х т. / РАН, Ин-т лингвистич. исследований; Под ред. А. П. Евгеньевой. — 4-е изд., стер. — М.: Рус. яз.; Полиграфресурсы. – 1999. – 490 с.
- [4] Reynolds, C. Flocks, Herds, and Schools: A Distributed Behavioral Model / C. Reynolds // Computer Graphics. – 1987. – Vol.21(4). – P. 25-34