

# Инженерная геометрия и компьютерная графика. Цифровая поддержка жизненного цикла изделий

УДК 004.021

DOI: 10.14529/build220308

## ГРУППОВОЕ ПРЕСЛЕДОВАНИЕ НА ПЛОСКОСТИ С МОДЕЛИРОВАНИЕМ ОБЛАСТИ ОБНАРУЖЕНИЯ

**А.А. Дубанов**

*Бурятский государственный университет им. Д. Банзарова, г. Улан-Удэ, Россия*

В данной статье производится описание модели преследования методом погони группой объектов. Все объекты, участвующие в модели преследования, движутся с постоянной по модулю скоростью. Преследующий объект движется по определенной траектории и выпускает через заданные промежутки времени объекты, задача которых – настигнуть цель методом погони. Одиночной цели, в свою очередь, поставлена задача настигнуть преследователя методом параллельного сближения. Для каждого преследующего объекта сформирована область обнаружения. Область обнаружения образуется двумя лучами. Вектор скорости объекта является биссектрисой угла, образованного такими лучами. Если цель попадает в область обнаружения, то объект начинает преследование методом погони. Если цель выходит из области обнаружения, то объект совершает равномерное и прямолинейное движение. Задача – реализовать динамическую модель множественного группового преследования, где каждый объект имеет свои задачи, свои стратегии. Модель разработана с использованием систем компьютерной математики. По результатам исследований были созданы анимированные изображения. Методы наведения на цель, такие как метод погони, метод параллельного сближения и метод пропорционального сближения, являются широко применяемыми в военном деле. Но они в большинстве своем требуют внешнего управления, такого как указания цели лазерным лучом или спутникового наведения на цель. Описание методов наведения на цель в автономном режиме в открытых источниках информации отсутствует. Результаты исследований могут быть востребованы при проектировании беспилотных летательных аппаратов с элементами автономного управления и искусственного интеллекта.

*Ключевые слова: параллельное преследование, метод погони, цель, преследователь, траектория, коррекция.*

### **Введение**

Методы погони и параллельного сближения, а также пропорционального сближения являются широко применяемыми методами наведения летательных аппаратов.

В данной статье предлагается к рассмотрению модель группового преследования, когда преследователь движется по определенной траектории. Цель сближается с преследователем по методу параллельного сближения. С траектории преследователя выпускаются через определенные промежутки времени объекты, которые будут преследовать цель по методу погони.

Такая модель в статье приведена в качестве примера. Цель может сближаться с преследователем и методом погони, и пропорциональным методом или каким иным методом. Преследователь имеет малую маневренность, но выпускает объекты, имеющие возможность самонаведения. В модели статьи самонаводящиеся объекты вы-

пускаются перпендикулярно траектории преследователя.

В данной статье производится описание моделирования группового обслеживания. Ранее в работах Р. Айзекса [1], Л.О. Петросяна [2], Н.Н. Красовского [3] приводилось описание методов параллельного сближения и погони, вводилось понятие терминального множества. В статьях А.С. Банникова [4], М.В. Хачумова [5, 6] рассматривались алгоритмические аспекты группового преследования. В работах Т.Г. Абрамянца, Е.П. Маслова, В.П. Яхно [7], П.Б. Гусятников [8–10] рассматривались вопросы уклонения в трехмерном пространстве. В статье А.В. Богданова, А.А. Филонова, А.А. Ковалева, А.А. Кучина, И.В. Лютикова [11] обсуждались методы самонаведения истребителей и ракет класса «воздух – воздух» на групповую воздушную цель. В работе С.Н. Никитченко, А.А. Бассауэра [12] рассматривались вопросы взаимного преследования воздушных

## Инженерная геометрия и компьютерная графика...

целей. В статье Л.И. Кузьминой, Ю.В. Осипова [13] рассматривался расчет длины траектории в задачах преследования.

В модели статьи преследующие объекты сходят перпендикулярно с траектории преследователя. Угол схода в модели выбран для примера. Угол схода может быть любым. Сходы с траектории в модели выбраны последовательные и через равные промежутки времени.

У каждого преследующего объекта сформирована область обнаружения. В модели, для примера, область сформирована в виде угла с вершиной в точке нахождения объекта. Биссектриса данного угла совпадает с направлением скорости объекта.

### Постановка задачи

Рассмотрим движение преследователя по определенной траектории на плоскости:

$$P(t) = \begin{bmatrix} X_p(t) \\ Y_p(t) \end{bmatrix}.$$

В момент времени  $t_n$  с траектории преследователя отделяется объект в направлении, пер-

пендикулярном вектору скорости преследователя:

$$N(t_n) = \begin{bmatrix} -\frac{dY_p}{dt}(t = t_n) \\ \frac{dX_p}{dt}(t = t_n) \end{bmatrix}. \quad (1)$$

На рис. 1 показано, что в модели, рассматриваемой в статье, с траектории преследователя отрываются перпендикулярно пять объектов, которые после отрыва будут двигаться равномерно и прямолинейно со скоростью, равной по модулю  $V_G$ .

Рис. 1 дополнен анимированным изображением [14], где можно будет посмотреть, как с траектории преследователя через определенные промежутки времени отделяются объекты  $G_n(t)$ .

Моделирование производится на участке плоскости  $[-60:130] \times [0:190]$ . Измерение производится в метрах. Преследователь движется с постоянной скоростью  $V_p = 20^M/c$ . Объекты, которые срываются перпендикулярно с его траектории, имеют скорость  $V_G = 40^M/c$ .

На рис. 2 показана сеть параллельных линий. Как видим, начальные положения преследователя и цели, начальная скорость преследователя опре-

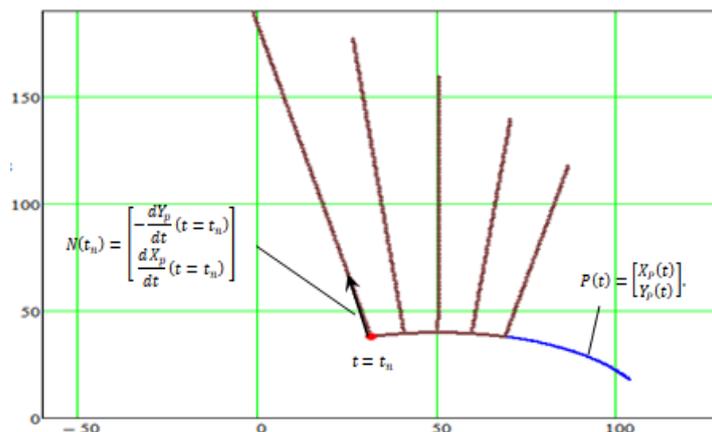


Рис. 1. Моделирование движения объектов, сходящих перпендикулярно с траектории преследователя

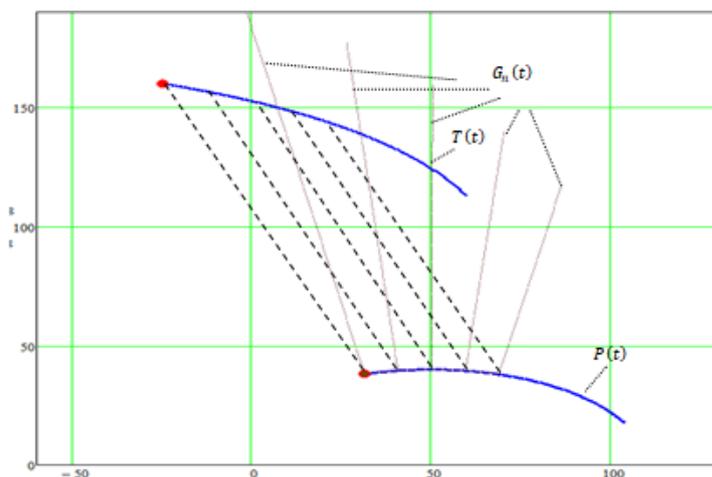


Рис. 2. Моделирование траектории цели, движущейся к преследователю методом параллельного сближения

деляют весь ход итерационного процесса. Траектория преследователя полностью и однозначно определяет траекторию цели.

Цель  $T(t)$  преследует  $P(t)$  по методу параллельного сближения. Рис. 2 дополнен анимированным изображением [15], где можно будет посмотреть движение на плоскости цели и преследователя.

Произведем моделирование ситуации, когда движущиеся на плоскости объекты сближаются. Один объект преследует другой методом параллельного сближения (см. рис. 2).

На рис. 2 показана траектория цели  $T(t)$ , движущейся равномерно с модулем скорости  $V_T = 25^M/c$ .

Один из объектов, пытаясь защититься, выпускает группу самонаводящихся объектов.

Задача, которую мы поставили в данной статье, состоит в том, произвести моделирование траекторий объектов  $G_i(t)$ , преследующих цель  $T(t)$ , используя метод погони.

**Методы решения**

Метод параллельного сближения схематично можно изобразить так, как показано на рис. 3а, когда цель  $T(t)$  приближается параллельно к преследователю  $P(t)$ .

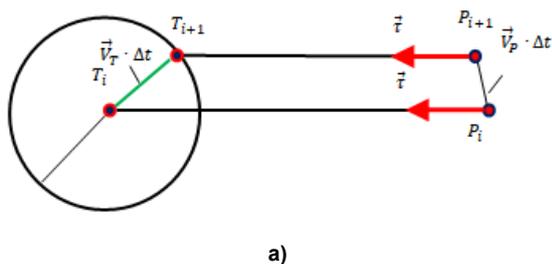
Следуя итерационной схеме, изображенной на рис. 3а, шаг траектории цели  $T_{i+1}$  удовлетворяет решению системы уравнений (2) относительно параметра  $h$ :

$$\begin{cases} (T_{i+1} - T_i)^2 = (|\vec{V}_T| \cdot \Delta t)^2 \\ T_{i+1} = P_{i+1} + h \cdot \frac{T_i - P_i}{|T_i - P_i|} \end{cases} \quad (2)$$

Следующий шаг цели  $T_{i+1}$  принадлежит окружности радиуса  $|\vec{V}_T| \cdot \Delta t$ , с центром в точке предыдущего месторасположения  $T_i$ , первое уравнение системы (2). В то же время точка следующего положения  $T_{i+1}$  принадлежит прямой линии, приложенной к точке  $P_{i+1}$  с направляющим вектором  $T_i - P_i$ . Второе уравнение системы (2) отображает параметрическое уравнение данной прямой.

В методе погони вектор скорости того объекта, который догоняет, всегда направлен на объект, которого догоняют.

В нашем случае это не так. Пусть догоняющий объект находится в некоторый момент времени  $t_i$  в точке  $G_i$ , имея при этом вектор скорости  $\vec{V}_{G_i}$



а)

(рис. 3б). Через промежуток времени  $\Delta t$  догоняющий объект совершает поворот на угол  $\omega_G \cdot \Delta t$  и перемещение на расстояние  $V_G \cdot \Delta t$ , где  $\omega_G$  – угловая частота вращения догоняющего объекта. Угловую частоту вращения можно трактовать как:

$$\omega_G = \frac{V_G}{R_G},$$

где  $R_G$  – есть минимальный радиус кривизны траектории догоняющего объекта, то есть ограничение по кривизне.

Рассмотрим функцию движения догоняющих объектов  $G_n$  (см. рис. 1), когда они до наступления момента времени  $t_n$  движутся по траектории преследователя  $P(t)$ .

Если в момент времени  $t_n$  направление изменится на направление  $N(t_n)$ , указанное в (1), то координаты объекта  $G_n$  определяются следующим образом:

$$G_n(t) = \begin{cases} \text{если } t < t_n, \text{ то } G_n(t) = P(t) \\ \text{если } t \geq t_n, \text{ то } G_n(t) = P(t_n) + V_G \cdot (t - t_n) \cdot \frac{N(t_n)}{|N(t_n)|} \end{cases}$$

По результатам моделирования процесса группового преследования объекта методом погони была написана программа в системе компьютерной математики, результаты работы которой показаны на рис. 4.

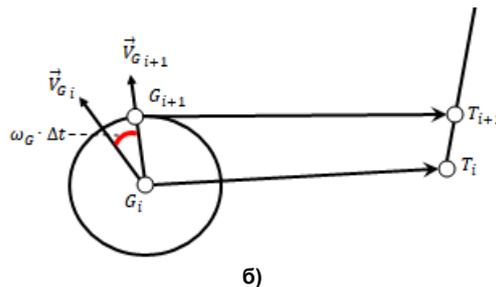
Также было изготовлено анимированное изображение группового преследования одиночной цели объектами, которые сходят перпендикулярно через определенные промежутки времени с траектории преследователя [16].

Формирование области слежения объектами  $G_n$  за целью  $T$  производится следующим образом.

Создается локальная система координат  $(E_1 \ G_i \ E_2)$  (рис. 5), где  $G_i$  – точка нахождения преследуемого объекта в момент  $t_i$ . Вектор абсцисс  $E_1$  объекта сонаправлен вектору скорости  $\vec{V}_{G_i}$ . Соответственно, вектор ординат  $E_2$  ортогонален вектору скорости  $\vec{V}_{G_i}$ .

Область слежения задается углом величиной  $2\alpha$ , направление вектора скорости  $\vec{V}_{G_i}$  является биссектрисой этого угла. В системе координат  $(E_1 \ G_i \ E_2)$  определяются векторы  $V_1$  и  $V_2$ , задающие область слежения:

$$V_1 = \begin{bmatrix} \cos(\alpha) \\ -\sin(\alpha) \end{bmatrix}, V_2 = \begin{bmatrix} \cos(\alpha) \\ \sin(\alpha) \end{bmatrix}.$$



б)

Рис. 3. Методы параллельного сближения и коррекции при погоне

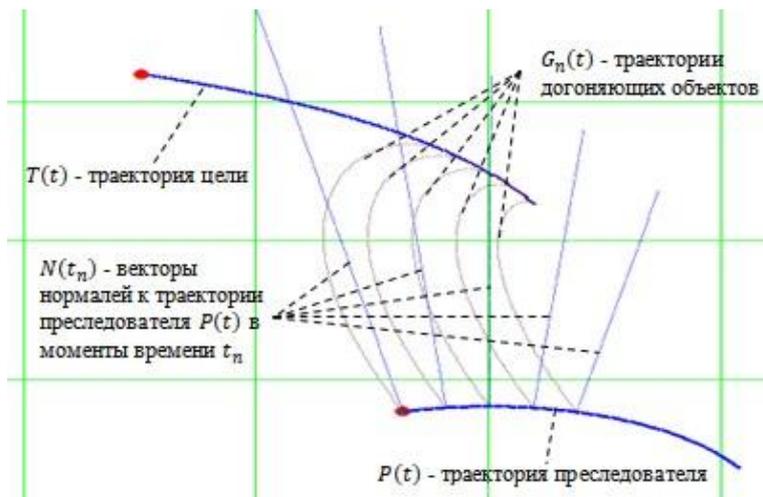


Рис. 4. Процесс преследования цели группой объектов методом погони

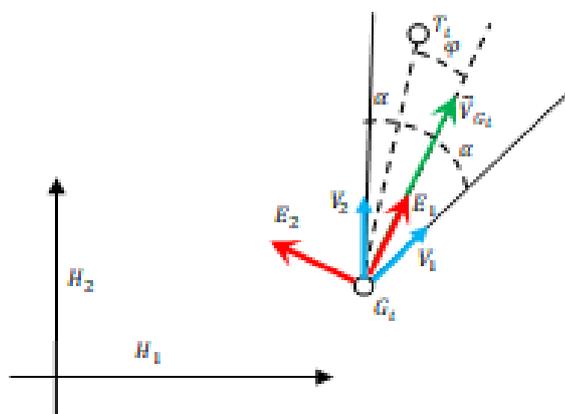


Рис. 5. Формирование области слежения

Перевод координат точки цели  $T_i$  осуществляется по формулам

$$T_i^* = \begin{bmatrix} (T_i - G_i) \cdot E_1 \\ (T_i - G_i) \cdot E_2 \end{bmatrix}.$$

Если угол  $\varphi$  между векторами  $T_i - G_i$  и  $\vec{V}_{G_i}$  меньше  $\alpha$ , то цель  $T$  в момент времени  $t_i$  находится в области слежения преследующего объекта. Угол  $\varphi$  равен:

$$\varphi = \left| \arccos \left( \frac{(T_i - G_i) \cdot \vec{V}_{G_i}}{|T_i - G_i| \cdot |\vec{V}_{G_i}|} \right) \right|.$$

### Модель поведения преследующего объекта

Моделирование углов слежения у преследующих объектов  $G_n$  в мировой системе координат  $(H_1 \ H_2)$  сводится к преобразованию векторов  $V_1$  и  $V_2$  из системы координат  $(E_1 \ G_i \ E_2)$  в мировую.

Преобразование векторов  $V_1$  и  $V_2$  из системы координат  $(E_1 \ G_i \ E_2)$  в мировую  $(H_1 \ H_2)$  выглядит так:

$$v_1 = \begin{bmatrix} V_1 \cdot h_1 \\ V_1 \cdot h_2 \end{bmatrix} + G_i, \quad v_2 = \begin{bmatrix} V_2 \cdot h_1 \\ V_2 \cdot h_2 \end{bmatrix} + G_i.$$

$$h_1 = \begin{bmatrix} H_1 \cdot E_1 \\ H_1 \cdot E_2 \end{bmatrix}, \quad h_2 = \begin{bmatrix} H_2 \cdot E_1 \\ H_2 \cdot E_2 \end{bmatrix}, \quad H_1 = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad H_2 = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}.$$

На рис. 6 показано, как сформированы области слежения у преследующих объектов, рис. 6 дополнен анимированным изображением [17]. На рис. 5 преследующие объекты догоняют цель методом погони без изменения поведения в зависимости от того, входит ли цель в область слежения. Области слежения отображены для каждого объекта. Также отображены линии визирования, соединяющие преследующий объект с целью.

Рассмотрим поведение преследующего объекта.

На рис. 7 показано, что если в некоторый момент времени цель не входит в область обнаружения, то преследующий объект совершает движение по прямой линии. Если цель вошла в область обнаружения, то поведение преследующего объекта соответствует методу погони. Рис. 7 дополнен анимированным изображением [18].

### Результаты и обсуждения

В моделировании процесса группового преследования использовался метод погони объектами, отделяющимися перпендикулярно с траектории преследователя. В модели, описанной в статье, ничего не мешает нам заменить метод погони на метод па-

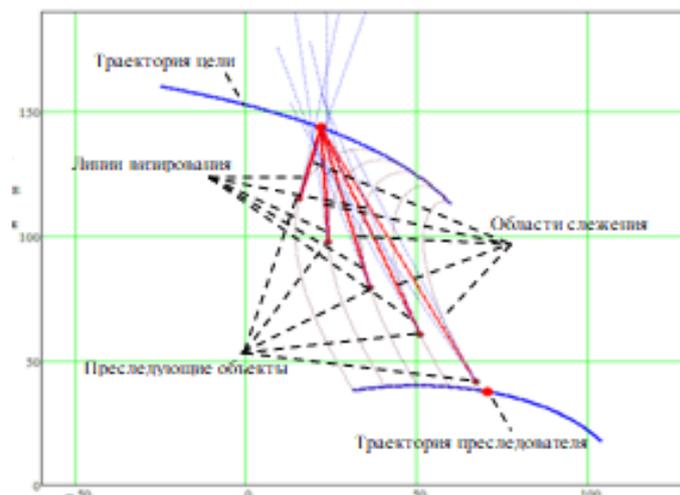


Рис. 6. Динамические области слежения преследующих объектов

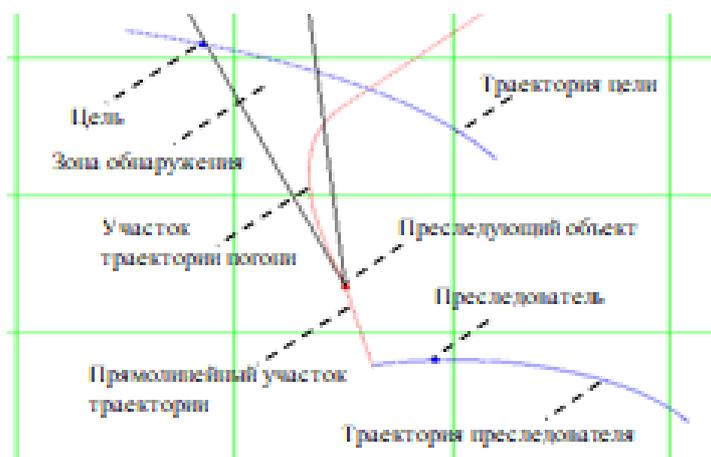


Рис. 7. Цель вне зоны обнаружения

параллельного сближения для догоняющих объектов, а сход перпендикулярный траектории преследователя заменить на сход по касательной.

По результатам исследований, изложенных в данной статье, произведено моделирование в прямоугольной области  $[-60; 130] \times [0; 190]$ , измерение в метрах.

На рис. 8 представлены результаты моделирования. Скорость преследователя – 20 м/с, скорость цели – 20 м/с, скорость преследующих объектов – 60 м/с, радиус кривизны траектории преследователя не должен быть меньше 50 м, цель совершает преследование по методу параллельного сближения, радиус кривизны траекторий преследующих объектов не должен быть меньше 10 м. Преследующие объекты сходят перпендикулярно с траектории преследователя через равные промежутки в 0,02 с. Рис. 8 дополнен анимированным изображением [19], где можно будет ознакомиться с результатами такого группового преследования.

В моделировании, представленном в данной статье, все объекты, выпущенные с траектории,

достигают цели. Данный результат зависит от нескольких факторов: от угла зоны обнаружения, от скорости движения преследующих объектов, от значения минимального радиуса кривизны траекторий объектов.

В модели, рассматриваемой в статье, было выяснено: чтобы избежать поражения преследующим объектом, необходимо покинуть область обнаружения. Чем ближе преследующий объект, тем меньшее количество шагов итерации надо совершить цели, чтобы покинуть область обнаружения.

Для преследующего объекта гарантированным результатом достижения цели было бы перейти на направление движения, вектор которого был бы сонаправлен вектору скорости движения цели. По результатам работы программы оформлено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020614336 «Моделирование траекторий от преследователя до цели с ограничениями на кривизну и с заданными краевыми условиями» [20].

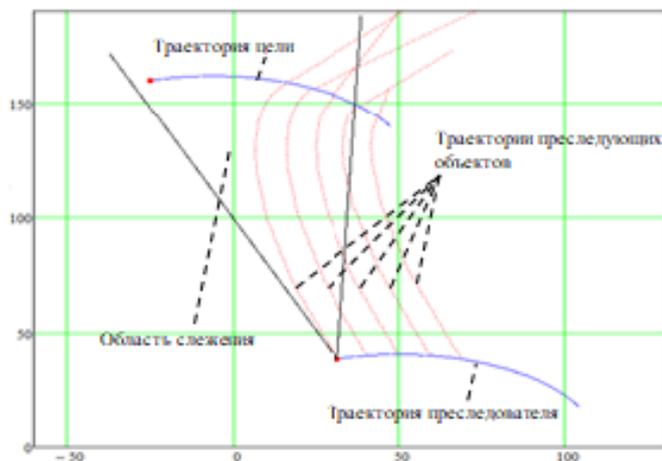


Рис. 8. Модель группового преследования

## Выводы

Результаты, полученные в данной статье, можно было бы использовать при разработке беспилотных летательных аппаратов с автономным управлением, оснащенных элементами искусственного интеллекта. Также возможно использовать результаты при спутниковом наведении барражирующих снарядов.

## Литература

1. Айзекс, Р. Дифференциальные игры / Р. Айзекс. – М.: Мир, 1967. – 480 с.
2. Красовский Н.Н. Позиционные дифференциальные игры / Н.Н. Красовский, А.И. Субботин. – М.: Наука, 1974. – 456 с.
3. Петросян, Л.А. Дифференциальные игры преследования / Л.А. Петросян. – Изд-во ЛГУ, 1977. – 222 с.
4. Банников, А.С. Некоторые нестационарные задачи группового преследования / А.С. Банников // Известия Института математики и информатики УдГУ. – 2013. – Вып. 1 (41). – С. 3–46.
5. Хачумов, М.В. Решение задачи следования за целью автономным летательным аппаратом / М.В. Хачумов // Искусственный интеллект и принятие решений. – 2015. – № 2. – С. 45–52.
6. Хачумов, М.В. Задачи группового преследования цели в условиях возмущений / М.В. Хачумов // Искусственный интеллект и принятие решений. – 2016. – № 2. – С. 46–54.
7. Абрамянц, Т.Г. Уклонение групповой цели в трехмерном пространстве / Т.Г. Абрамянц, Е.П. Маслов, В.П. Яхно // Автомат. и телемех. – 2008. – № 5. – С. 3–14.
8. Гусятников, П.Б. Убегание одного нелинейного объекта от нескольких более инертных преследователей / П.Б. Гусятников // Дифференциальные уравнения. – 1976. – Т. 12, № 2. – С. 1316–1324.

9. Гусятников, П.Б. Дифференциальная игра убегания  $n$  лиц // Изв. АН СССР. Техническая кибернетика. – 1978. – № 6. – С. 22–32.

10. Гусятников, П.Б. Дифференциальная игра убегания / П.Б. Гусятников // Кибернетика. – 1978. – № 4. – С. 72–77.

11. Методы самонаведения истребителей и ракет класса «воздух-воздух» на групповую воздушную цель: моногр. / А.В. Богданов, А.А. Филонов, А.А. Ковалев и др.; под ред. А.А. Кучина. – Красноярск: Изд-во Сибирского федерального университета, 2014. – 168 с.

12. Никитченко, С.Н. Имитационная модель задачи взаимного преследования / С.Н. Никитченко, А.А. Бассауэр // Региональная информатика и информационная безопасность. Сборник трудов международной конференции. – СПб.: СПОИСУ, 2018. – Вып. 5. – С. 479–483.

13. Кузьмина, Л.И. Расчет длины траектории для задачи преследования / Л.И. Кузьмина, Ю.В. Осипов // Вестник МГСУ. – 2013. – № 12. – С. 20–26.

14. Видео, результаты моделирования задачи преследования. Available at: <https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=t9cxOgk6bdk&feature=youtu.be> (accessed 19 may 2022).

15. Видео, результаты моделирования задачи преследования. Available at: <https://www.youtube.com/watch?v=keZ5fd2o3Q> (accessed 19 may 2022).

16. Видео, результаты моделирования задачи преследования. Available at: <https://www.youtube.com/watch?v=ODS75MCwjGg> (accessed 19 may 2022).

17. Видео, результаты моделирования задачи преследования. Available at: <https://www.youtube.com/watch?v=oHowdT2n5-U> (accessed 19 may 2022).

18. Видео, результаты моделирования задачи преследования. Available at: [https://www.youtube.com/watch?v=5\\_-0TurWvwQ](https://www.youtube.com/watch?v=5_-0TurWvwQ) (accessed 19 may 2022).

19. Видео, результаты моделирования задачи преследования. Available at: <https://www.youtube.com/watch?v=JcBrYjfaXTg> (accessed 19 may 2022).

20. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020614336 «Мо-

делирование траекторий от преследователя до цели с ограничениями на кривизну и с заданными краевыми условиями»/ А.А. Дубанов. – Номер заявки: 2020613299. Дата регистрации: 20.03.2020. Дата публикации: 31.03.2020.

Дубанов Александр Анатольевич, кандидат технических наук, доцент кафедры геометрии и методики преподавания математики Института математики и информатики, Бурятский государственный университет им. Доржи Банзарова (Улан-Удэ), [alandubanov@mail.ru](mailto:alandubanov@mail.ru)

Поступила в редакцию 29 марта 2022 г.

DOI: 10.14529/build220308

## GROUP PURSUIT ON A PLANE WITH DETECTION AREA SIMULATION

A.A. Dubanov, [alandubanov@mail.ru](mailto:alandubanov@mail.ru)  
Banzarov Buryat State University, Ulan-Ude, Russia

This article describes the model of pursuit by the method of chasing a group of objects. All objects participating in the pursuit model move at a constant modulo speed. The pursuing object moves along a certain trajectory and releases objects at specified intervals. Their task is to overtake the target by the chase method. A single target is tasked with overtaking the pursuer by the constant bearing approach method. A detection area is formed by two half lines for each pursuing object. The object's velocity vector is the bisector of the angle formed by such half-lines. If the target enters the detection area, then the object begins pursuing by the chase method. If the target leaves the detection area, then the object makes a uniform rectilinear movement. The task is to implement a dynamic model of multiple group pursuit with objects having their own tasks and strategies. The model was developed with computer mathematics systems. Animated images were created based on the research results. Targeting methods such as the chase method, the constant-bearing approach method, and the parallel closure method are widely used in military matters. However, they require external control, such as targeting with a laser beam or satellite targeting. Open sources of information lack description of targeting methods in offline mode. The results of the research can be applied to the design of unmanned aerial vehicles with partial autonomous or artificial intelligence control.

Keywords: parallel pursuit, chase method, target, pursuer, trajectory, correction.

### References

1. Ayzeks R. *Differentsial'nyye igry* [Differential Games]. Moscow, Mir Publ., 1967. 480 p.
2. Krasovskiy N.N., Subbotin A.I. *Pozitsionnyye differentsial'nyye igry* [Positional Differential Games]. Moscow, Nauka Publ., 1974. 456 p.
3. Petrosyan L.A. *Differentsial'nyye igry presledovaniya* [Differential Pursuit Games]. Leningrad, LGU Publ., 1977. 222 p.
4. Bannikov A.C. [Some Nonstationary Group Pursuit Problems]. *Izvestiya Instituta matematiki i informatiki UdGU* [Proceedings of the Institute of Mathematics and Informatics at Udmurt State University], 2013, iss. 1(41), pp. 3–46. (in Russ.)
5. Khachumov M.V. [Solving the Problem of Following a Target by an Autonomous Aircraft]. *Iskusstvennyy intellekt i prinyatiye resheniy* [Artificial Intelligence and Decision Making], 2015, no. 2. pp. 45–52. (in Russ.)
6. Khachumov M.V. [Problems of Group Pursuit of a Target under Perturbations]. *Iskusstvennyy intellekt i prinyatiye resheniy* [Artificial Intelligence and Decision Making], 2016, no. 2, pp. 46–54. (in Russ.)
7. Abramyants T.G., Maslov E.P. & Yakhno V.P. Evasion of multiple target in three-dimensional space. *Autom Remote Control*. 2008. Vol. 69, pp. 737–747. <https://doi.org/10.1134/S0005117908050019>
8. Gusyatinikov P.B. [Escape of One Non-Linear Object from Several More Inert Pursuers]. *Differentsial'nyye uravneniya* [Differential Equations], 1976, vol. 12, no. 2, pp. 1316–1324. (in Russ.)
9. Gusyatinikov P.B. [Differential Escape Game M Persons]. *Izv. AN SSSR. Tekhnicheskaya kibernetika* [Proceedings of the Academy of Sciences of the USSR. Technical Cybernetics], 1978, no. 6, pp. 22–32. (in Russ.)

10. Gusyatinov P.B. [Differential Runaway Game]. *Kibernetika* [Cybernetics], 1978, no. 4, pp. 72–77. (in Russ.)
11. Bogdanov A.V., Filonov A.A., Kovalev A.A., Kuchin A.A. (Ed.), Lyutikov I.V. *Metody samonavedeniya istrebiteley i raket klassa "vozdukh-vozdukh" na gruppovuyu vozdushnyuyu tsel'* [Methods of Homing Fighters and Air-to-Air Missiles on a Group Air Target]. *Monografiya* [Monograph]. Krasnoyarsk, Izd-vo Sibirskogo Federal'nogo Universiteta Publ., 2014. 168 p.
12. Nikitchenko S.N., Bassauer A.A. [Simulation Model of the Problem of Mutual Pursuit]. *Regional'naya informatika i informatsionnaya bezopasnost'*. *Sbornik trudov mezhdunarodnoy konferentsii* [Regional Informatics and Information Security. Collection of Proceedings of the International Conference]. St. Petersburg, SPOISU Publ., 2018, iss. 5, pp. 479–483. (in Russ.)
13. Kuz'mina L.I., Osipov Yu.V. [Trajectory Length Calculation for the Pursuit Problem]. *Vestnik MGSU* [Bulletin of MGSU], 2013, № 12, pp. 20–26. (in Russ.)
14. *Rezultaty modelirovaniya zadachi presledovaniya* [Simulation Results of the Pursuit Problem]. Available at: <https://www.youtube.com/wat-sh?app=desktop> (accessed 19 may 2022).
15. *Rezultaty modelirovaniya zadachi presledovaniya* [Simulation Results of the Pursuit Problem]. Available at: <https://www.youtube.com/wat-sh?v=keZ5fzd2o3Q> (accessed 19 may 2022).
16. *Rezultaty modelirovaniya zadachi presledovaniya* [Simulation Results of the Pursuit Problem]. Available at: <https://www.youtube.com/wat-sh?v=ODS75MCwjGg> (accessed 19 may 2022).
17. *Rezultaty modelirovaniya zadachi presledovaniya* [Simulation Results of the Pursuit Problem]. Available at: <https://www.youtube.com/wat-sh?v=oHowdT2n5-U> (accessed 19 may 2022).
18. *Rezultaty modelirovaniya zadachi presledovaniya* [Simulation Results of the Pursuit Problem]. Available at: [https://www.youtube.com/wat-sh?v=5\\_0TurWvwQ](https://www.youtube.com/wat-sh?v=5_0TurWvwQ) (accessed 19 may 2022).
19. *Rezultaty modelirovaniya zadachi presledovaniya* [Simulation Results of the Pursuit Problem]. Available at: <https://www.youtube.com/wat-sh?v=JcBrYjfaXTg> (accessed 19 may 2022).
20. Dubanov A.A. *Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM № 2020614336 "Modelirovaniye trayektoriy ot presledovatelya do tseli s ogranicheniyami na kriviznu i s zadannymi krayevymi usloviyami"* [Modeling Trajectories from the Pursuer to the Target with Restrictions on Curvature and with Given Boundary Conditions]. Certificate on the State Registration of the Computer Program Russian Federation no. 2020614336, Application 20.03.2020

**Received 29 March 2022**

---

### ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Дубанов, А.А. Групповое преследование на плоскости с моделированием области обнаружения / А.А. Дубанов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2022. – Т. 22, № 3. – С. 71–78. DOI: 10.14529/build220308

### FOR CITATION

Dubanov A.A. Group pursuit on a plane with detection area simulation. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture*. 2022, vol. 22, no. 3, pp. 71–78. (in Russ.). DOI: 10.14529/build220308

---