

Инженерная геометрия и компьютерная графика

УДК 378(004.92)

DOI: 10.14529/build210408

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МНОГОМЕРНОЙ НАЧЕРТАТЕЛЬНОЙ ГЕОМЕТРИИ ПРИ АНАЛИЗЕ СКОРОСТЕЙ В ЗАДАЧЕ ГРУППОВОГО ПРЕСЛЕДОВАНИЯ МНОЖЕСТВА ЦЕЛЕЙ

А.А. Дубанов

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

Данная статья посвящена тому, как в задаче группового преследования добиться одновременного достижения преследователями своих целей. В модели преследования, рассматриваемой в статье, преследователь стремится достигнуть цели, придерживаясь сети прогнозируемых траекторий. Прогнозируемая траектория движения выстраивается в каждый момент времени. Такая траектория является составной кривой, учитывающей ограничения по кривизне. Преследователи настигают свои цели за время, зависящее от модуля скорости преследователя и минимального радиуса кривизны траектории преследователя. В статье производится анализ скорости движения преследователей и ограничений по кривизне их траекторий на предмет одновременного достижения целей. При многофакторном анализе в задаче группового преследования множества целей применяются методы многомерной начертательной геометрии. Для этого на плоскости проекций «радиус кривизны – скорость» на эпюре Радищева выводится семейство параллельных горизонтальных линий, соответствующее диапазону скоростей преследователя. Хотя по условиям задачи скорость преследователя является постоянной, диапазон скоростей вводится для получения функции зависимости скорости от радиуса кривизны. Затем на плоскости проекций (радиус кривизны, время достижения цели) строятся соответствующие образы семейства горизонтальных линий скоростей. Назначенное время достижения цели преследователем является одним из оптимизирующих факторов. В результате на плоскости проекций «радиус кривизны – время достижения цели» образуется множество точек пересечения с линиями скоростей с линией уровня назначенного времени достижения преследователем цели. Затем по линиям связи строим образы этих точек на плоскости проекций (радиус кривизны, скорость) с последующей полиномиальной регрессией. В результате получаем функцию зависимости скорости от радиуса кривизны траектории преследователя, чтобы достигнуть цели за назначенное фиксированное время. Затем на плоскости проекций (радиус кривизны, скорость) строится линия уровня скорости как второго оптимизирующего фактора. Полученная в результате пересечения линий точка и есть значения радиуса кривизны, скорости, чтобы достичь цели в назначенное время. Данный метод анализа скоростей в задачах группового преследования множества целей допускает получение результата в автоматизированном режиме без участия оператора и может представлять интерес для разработчиков БПЛА, оснащенных элементами искусственного интеллекта.

Ключевые слова. Многомерная геометрия, начертательная геометрия, эпюр Радищева, радиус кривизны.

Введение

В предлагаемой модели расчета траекторий преследователей на плоскости предполагается, что в каждый момент времени t от преследователя P до цели T строится прогнозируемая траектория, которой преследователь будет стараться придерживаться (рис. 1).

Прогнозируемые траектории $l_1(s)$, $l_2(s)$, $l_3(s)$ состоят из сегмента дуги окружности и прямолинейного отрезка (см. рис. 1). Радиус окружностей и есть ограничение по кривизне прогнозируемых траекторий движения преследователей. Если преследователь находится в точке P_i с век-

тором скорости V_i , то центр окружности C_i радиуса r_i будет находиться в точке

$$C_i = P_i \pm r_i \cdot \frac{\begin{bmatrix} -V_{iy} \\ V_{ix} \end{bmatrix}}{|V_i|}$$

Из точки положения цели T_i строится касательная линия к окружности (C_i, r_i) . Касательная и дуга окружности являются прогнозируемой линией траектории движения преследователя $l_i(s)$. В уравнениях прогнозируемых линий параметризация производится от ее длины дуги.

При перемещении цели T_i линия $l_i(s)$ смещается, оставаясь параллельной самой себе (рис. 2).

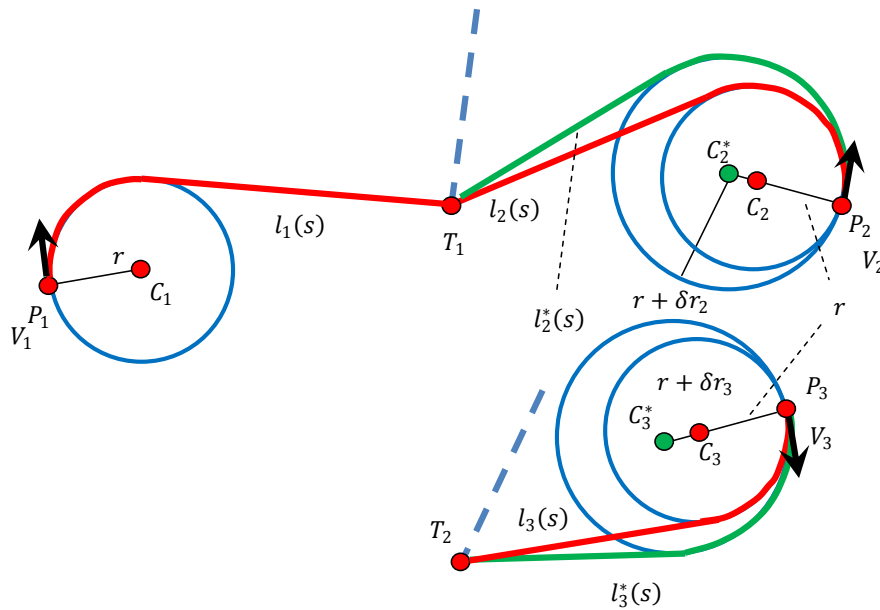


Рис. 1. Одновременное преследование нескольких целей

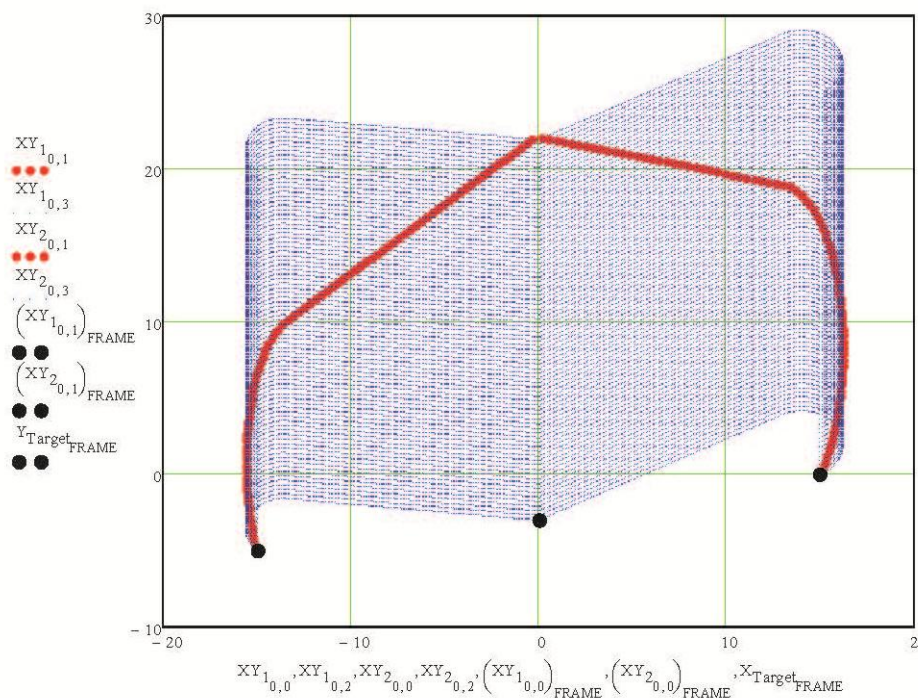


Рис. 2. Однопараметрические сети прогнозируемых траекторий

Если i -й преследователь в момент времени t_j находится в точке P_{ij} , имея при этом прогнозируемую траекторию движения $l_{ij}(s)$, соединяющую с положением цели T_{ij} , то следующая точка траектории преследователя будет точка $P_{i,j+1}$ (рис. 3).

Точка $P_{i,j+1}$ есть точка пересечения линии $l_{i,j+1}(s)$ и окружности с центром в точке P_{ij} и радиуса $|V_{ij}| \cdot \Delta t$, $\Delta t = t_{j+1} - t_j$. Цель находится в момент времени t_{j+1} в точке $T_{i,j+1}$.

В модели, рассматриваемой в статье, группа преследователей преследует группу целей. Каждый преследователь P_i стремится достичь своей цели T_i . Некоторые преследователи могут иметь совпадающие цели, как показано на рис. 1 и 2.

Преследователь P_i достигает цели T_i за время t_i , двигаясь со скоростью V_i . Для того чтобы цели были достигнуты одновременно, необходимо равенство всех значений t_i .

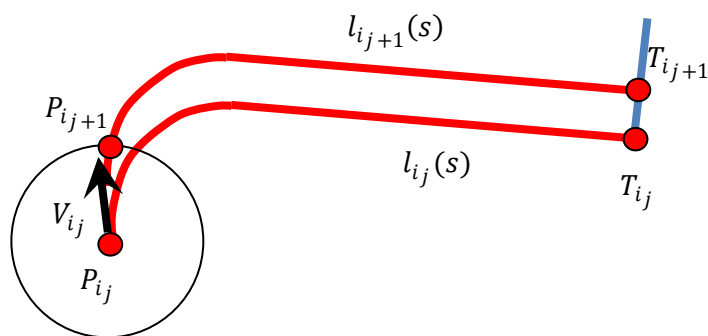


Рис. 3. Шаг преследователя

Для изменения длины прогнозируемой траектории можно изменять радиус касательной окружности (см. рис. 1).

В итерационном процессе происходит плавный переход к методу параллельного сближения с соблюдением ограничений по кривизне (см. рис. 2).

Целью статьи является описание метода, при котором преследователи достигают своих целей в назначенные значения времени из допустимых.

В модели статьи использовался многофакторный анализ, описанный в монографии В.Я. Волкова и М.А. Чижик [1]. В работе опирались на теоретические результаты основоположников теории игр Р. Айзекса, Л.С. Понтрягина и др. [2–5]. Тестовая программа одновременного достижения целей доступна на ресурсе [6]. По результатам работы программы изготовлены анимированные изображения [7–10, 15, 16]. Также учитывались результаты работ [11–14].

1. Метод

По результатам исследований разработана тестовая программа, написанная в системе компьютерной математики, одновременного достижения целей преследователями [6]. В этой программе реализован алгоритм, в котором использована итерационная схема расчета траектории преследователя (рис. 3).

Считается, что существует зависимость для преследователя P , который достигает своей цели T за время t : $t = F(P_s, T_s, n_p, n_T, V_p, V_T, R)$. P_s, T_s – координаты точек положения преследователя и цели в момент начала процесса преследования, n_p, n_T – единичные векторы направления движения преследователя и цели в момент начала процесса преследования, V_p, V_T – модули скоростей равномерного движения преследователя и цели, R – радиус окружности (см. рис. 1, 3). В программе подсчитывается число шагов, за которые преследователи достигают цели.

Так как цель движется прямолинейно и равномерно, то зависимость времени достижения цели в начавшемся итерационном процессе можно считать функцией от двух переменных: $t =$

$F(V_p, R)$, от модуля скорости преследователя и от радиуса кривизны окружности.

В модели считается, что преследователь движется с постоянной скоростью V_p , но возможно изменение значений модуля скорости и радиуса кривизны.

При расчете с применением эпюра Радищева модуль скорости преследователя принимает дискретные значения из ряда $V_{p_i}, i \in [1:N]$, а радиус окружности из рис. 1, 3 принимает значения $R_j, j \in [1:M]$.

В дальнейшем рассматривается эпюр Радищева [1], где используются координатные плоскости (R, V) и (R, t) (рис. 4).

Показаны графики временных зависимостей $t_{i,j} = F(V_{p_i}, R_j)$ (см. рис. 4).

На плоскости проекций (R, t) показаны графики зависимостей времени достижения цели преследователем от радиуса окружности R при фиксированном значении скорости V_p .

Одним из оптимизирующих факторов [1] на плоскости проекций (R, t) выбирается равенство $t = t_0$, где t_0 – требуемое время достижения цели.

На плоскости проекций (R, V) оптимизирующим фактором выбирается равенство $V_p = V_{p_0}$, где V_{p_0} – это постоянная скорость преследователя.

В постановке задачи говорится о том, что модуль скорости преследователя является неизменным, ввод ряда значений скоростей необходим для расчета радиуса окружности R_0 на плоскости проекций (R, V) .

По линиям связи на плоскости проекций (R, V) находятся соответственные точки пересечения с линиями уровня скоростей V_{p_i} (см. рис. 4).

По полученным точкам в программе выполняется полиномиальная регрессия со сплайн-интерполяцией. В итоге получается функция зависимости скорости преследователя от радиуса окружности, при которой происходит достижение цели за время t_0 .

После находится точка пересечения функции $V_p = f(R)$ с линией уровня $V_p = V_{p_0}$ (см. рис. 4). Абсцисса точки пересечения R_0 и есть искомым радиус окружности, от значения которого зависит

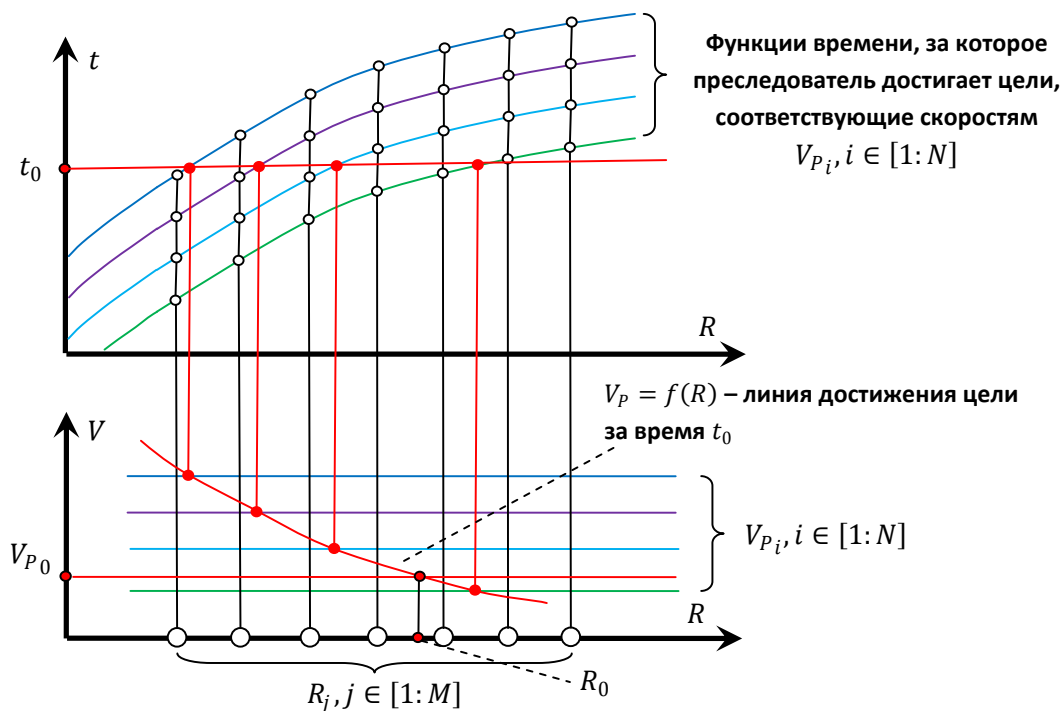


Рис. 4. Эпюр Радищева при определении радиуса кривизны касательной окружности

время достижения цели T преследователем P за время t_0 со скоростью V_{P_0} .

Если цель изменяет направление или модуль скорости движения, то для ее достижения рассчитывается новый радиус окружности составной базовой линии. Назначается новое время достижения при прежней скорости преследователя.

Минимальное время достижения цели при ее равномерном и прямолинейном движении происходит тогда, когда скорость p

преследователя направлена в точку K на окружности Аполлония [2–5] (рис. 5).

Окружностью Аполлония называется геометрическое место точек, отношение расстояний от которых до двух заданных точек – величина постоянная: $|PK|/|TK| = |V_P|/|V_T|$ (рис. 5).

При рассмотрении преследования группы целей группой преследователей в программе производится предварительный расчет траекторий движения преследователей при заданных начальных параметрах.

Из рассчитанных предварительно значений времени достижения целей для расчета одновременного достижения выбирается наибольшее время.

Наибольшее значение времени выбирается критерием для расчета траекторий остальных преследователей (см. рис. 2). Рис. 2 дополнен ссылкой на анимированное изображение одновременного достижения цели двумя преследователями.

На рис. 6 показано, что для одного из преследователей было установлено более короткое время

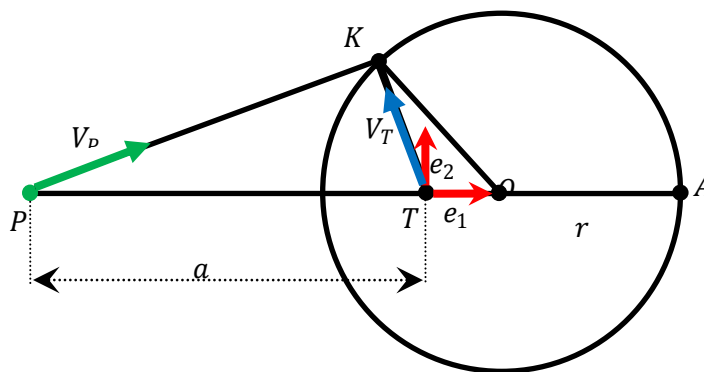


Рис. 5. Точка на окружности Аполлония

достижения цели. И он достигает своей цели раньше остальных двух преследователей.

Рис. 6 дополнен ссылкой на анимированное изображение, где можно посмотреть достижение целей в различные назначенные значения времени.

2. Результаты и обсуждения

На рис. 7 приведены результаты многофакторного анализа в задаче одновременного достижения цели двумя преследователями.

Для каждого преследователя построен ряд допустимых значений скорости. Ряд допустимых значений радиуса окружности варьируется при помощи дискретных значений переменной dR (см. рис. 7).

На плоскости проекций (dR, t) строится однопараметрическая сеть линий.

Каждая линия соответствует определенному значению скорости из множества допустимых и выражает зависимость времени достижения цели от приращения радиуса окружности.

На графике рис. 7 показана однопараметрическая сеть линий значений скорости одного из преследователей. Для второго преследователя в программе построена аналогичная сеть.

Для преследователя выбирается первый оптимизирующий фактор [1], отвечающий за одновременное достижение, $t = t_0$, где t_0 – наибольшее из значений времени достижения цели.

На плоскости проекций (dR, t) ищутся точки пересечения с линией уровня $t = t_0$ с образами линий уровня значений скоростей.

Точки пересечения находятся при помощи встроенных процедур решения уравнений. В системе компьютерной математики MathCAD это может быть процедура *root* или вычислительный блок *Given – Find*. Найденным точкам пересечения на плоскости проекций (dR, t) соответствуют значения dR и V на плоскости проекций (dR, V) .

К полученным точкам на плоскости проекций применяется встроенная процедура полиномиальной регрессии и сплайн-интерполяции.

В результате находится характеристическая кривая зависимости скорости от радиуса окружности составной базовой линии, которые приведены на рис. 1.

На рис. 7 на плоскости проекций (dR, V) изображена такая же характеристическая линия зависимости скорости и для другого преследователя. Далее применяется второй оптимизирующий фактор $V_1 = V_2 = V_0$. В программе объекты движутся с одинаковыми скоростями.

Встроенными средствами компьютерной математики ищутся точки пересечения с линией уровня $V = V_0$. Этим точкам соответствуют значения dR_1 и dR_2 .

При начальных данных итерационного процесса со значением времени достижения цели t_0 ,

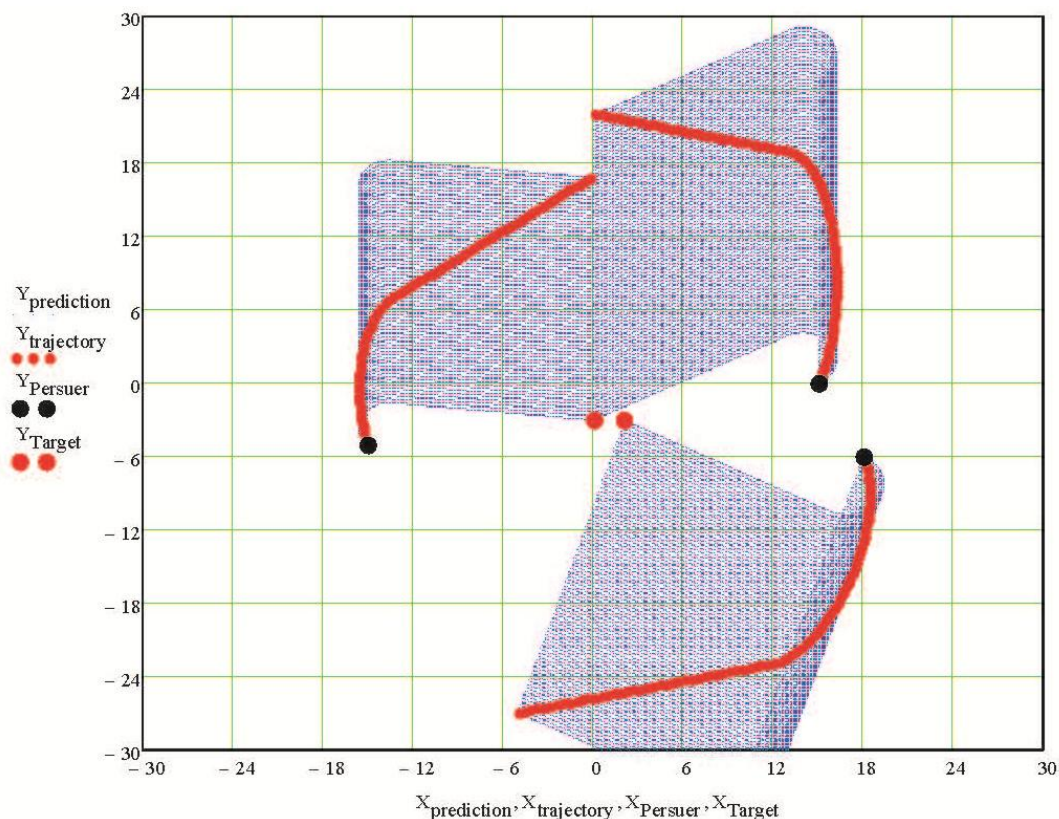


Рис. 6. Достижение целей в назначенные значения времени

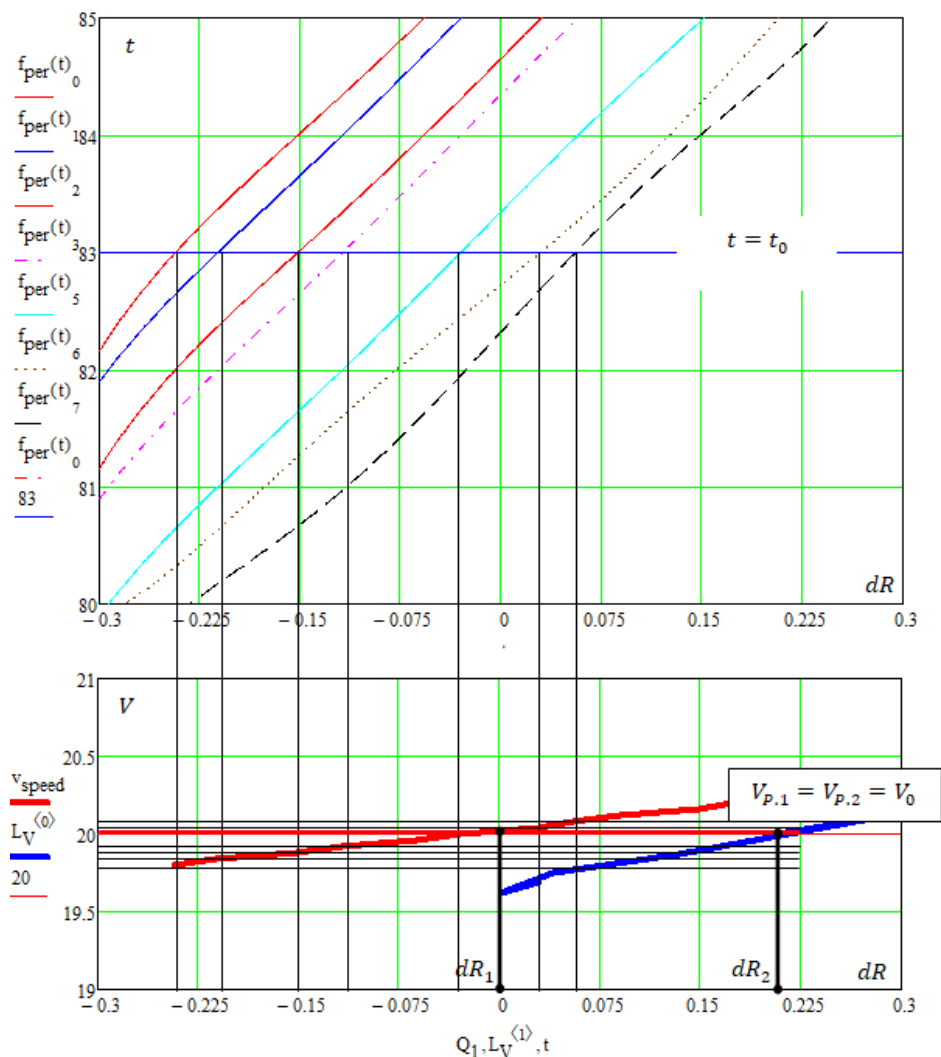


Рис. 7. Результаты проведенного анализа скоростей и ограничений по кривизне траекторий движения

с заданными модулями скоростей движения V_0 , с найденными значениями приращений dR_1 и dR_2 к начальному радиусу окружности достигнуто одновременное достижение цели двумя преследователями (см. рис. 2).

В статье предложен метод достижения группой преследователей множества целей, в котором могут назначаться различные допустимые значения времени достижения. Одновременное достижение целей рассматривается как частный результат описанного метода.

Данный метод является развитием метода параллельного сближения при начальных произвольных направлениях движения преследователя и цели.

При реализации метода в пространстве следует добиться того, чтобы векторы преследователя и цели находились в одной плоскости.

Если задача преследования происходит в трехмерном пространстве и мы хотим свести ее к методу параллельного сближения, но скорость

преследователя направлена произвольно, то прогнозируемую траекторию движения преследователя следует строить в плоскости, образованной линией визирования и скоростью преследователя.

Следующим шагом преследователя будет точка пересечения сферы с радиусом, соответствующим промежутку времени, и базовой линии, параллельно перенесенной так, чтобы один ее конец совмещался с точкой положения цели.

Окружность Аполлония будет находиться в плоскости, образованной линией визирования и скоростью цели.

Параметры окружности Аполлония, такие как центр окружности (т. Q), радиус окружности r , точка Аполлония (т. A), точка K , определяются вектором скорости цели, модулем скорости преследователя, положениями преследователя и цели. Имеется аналитическое решение этой задачи в плоской системе координат (см. рис. 5).

Центр координат находится в точке положения цели, вектор абсцисс будет единичным векто-

ром вдоль линии, соединяющей точку положения преследователя P с точкой K (см. рис. 5).

Выводы

Результаты исследований, проведенные в рамках данной статьи, могут быть востребованы разработчиками беспилотных летательных аппаратов, которые выполняют групповые согласованные задачи в условиях автономного управления.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке инновационного гранта Бурятского государственного университета в 2021 году «Управление четырехзвенным манипулятором по сигналам, полученным с нейроинтерфейса». Научный руководитель А.А. Дубанов.

Литература

1. Волков, В.Я. *Графические оптимизационные модели многофакторных процессов: моногр.* / В.Я. Волков, М.А. Чижик. – Омск: ОГИС, 2009.
2. Айзекс, Р. *Дифференциальные игры* / Р. Айзекс. – М.: Мир, 1967.
3. Понтрягин, Л.С. *Линейная дифференциальная игра уклонения* / Л.С. Понтрягин // *Тр. МИАН СССР*. – 1971. – Т. 112. – С. 30–63.
4. Красовский, Н.Н. *Позиционные дифференциальные игры* / Н.Н. Красовский, А.И. Субботин. – М.: Наука, 1974.
5. Петросян, Л.А. *Дифференциальные игры преследования* / Л.А. Петросян. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1977. – 222 с.
6. <http://dubanov.exponenta.ru>. Раздел «Одновременное достижение цели на плоскости» (дата обращения 22.05.2021).
7. Видео, результаты программы моделирования одновременного достижения цели. – <https://www.youtube.com/watch?v=7VNHNwCbWrg> (дата обращения 22.05.2021)
8. Видео, результаты моделирования одновременного достижения двух целей тремя преследователями с визуализацией сети линий прогнозируемых траекторий. – <https://www.youtube.com/watch?v=NNJDJOJT34I> (дата обращения 22.05.2021)
9. Видео, результаты моделирования одновременного достижения двух целей тремя преследователями без визуализации сети линий прогнозируемых траекторий. – <https://www.youtube.com/watch?v=tdbgoNoby3A> (дата обращения 22.05.2021)
10. Видео, результаты моделирования одновременного достижения двух целей тремя преследователями в назначенные значения времени. – <https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=F6MTsWZL2BY&feature=youtu.be> (дата обращения 22.05.2021)
11. Вагин, Д.А. *Задача по преследованию скоординированных беглецов* / Д.А. Вагин, Н.Н. Петров // *Известия РАН. Теория и системы управления*. – 2001. – № 5. – С. 75–79.
12. Банников, А.С. *Некоторые нестационарные задачи группового преследования* / А.С. Банников // *Труды Института математики и информатики УдГУ*. – 2013. – Вып. 1 (41). – С. 3–46.
13. Банников, А.С. *Нестационарная задача группового преследования* / А.С. Банников // *Труды Математического центра Лобачевского*. – Казань: Изд-во Казанского математического общества, 2006. – Вып. 34. – С. 26–28.
14. Измestъев, И.В. *Задача преследования маломаневренных объектов с терминальным множеством в виде кольца* / И.В. Измestъев, В.И. Ухоботов // *Материалы международной конференции «Геометрические методы в теории управления и математической физике: дифференциальные уравнения, интегрируемость, качественные теория»* Рязань, 15–18 сентября 2016 г. *Итоги науки и техники. Темат. обз.*, 148. – М., ВИНТИ РАН, 2018. – С. 25–31.
15. Видео, результаты моделирования одновременного достижения двух целей тремя преследователями с визуализацией сети линий прогнозируемых траекторий, <https://www.youtube.com/watch?v=NNJDJOJT34I>
16. Видео, результаты моделирования одновременного достижения двух целей тремя преследователями без визуализации сети линий прогнозируемых траекторий, <https://www.youtube.com/watch?v=tdbgoNoby3A>

Дубанов Александр Анатольевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры геометрии и методики преподавания, Бурятский государственный университет им. Доржи Банзарова (Улан-Удэ), alan-dubanov@mail.ru, Spin-код: 137019, ORCID: 0000-0002-1855-2562, Publons: AAG-6697-2021

Поступила в редакцию 23 июня 2021 г.

APPLICATION OF METHODS OF MULTIDIMENSIONAL DESCRIPTIVE GEOMETRY IN THE ANALYSIS OF VELOCITIES IN THE PROBLEM OF GROUP PURSUIT OF A SET OF TARGETS

A.A. Dubanov, alandubanov@mail.ru, Spin-код: 137019, ORCID: 0000-0002-1855-2562,
Publons: AAG-6697-2021
Banzarov Buryat State University, Ulan-Ude, Russian Federation

This article is devoted to the topic of how, in the problem of group pursuit, to reach simultaneous achievement of targets by pursuers. In the pursuit model considered in the article, the pursuer strives to achieve the goal by adhering to a network of predicted trajectories. The predicted trajectory of movement is formed at each moment of time. This trajectory is a compound curve, taking into account curvature constraints. The pursuers reach their targets over a period of time, depending on the pursuer's velocity modulus and the minimum radius of curvature of the pursuer's trajectory. The article analyzes the velocity of movement of pursuers and the curvature constraints of their trajectories for the simultaneous achievement of targets. In multivariate analysis in the problem of group pursuit of a set of targets, the methods of multidimensional descriptive geometry are used. On the radius of curvature – velocity projection plane in the Radishchev drawing, a family of parallel horizontal lines, corresponding to the pursuer's velocity range, is displayed. Although according to the data of the problem, the velocity of the pursuer is constant, the range of velocity is introduced to obtain the function of the dependence of the velocity on the radius of curvature. Next, on the projection plane (radius of curvature, time to reach the target), the corresponding images of the family of horizontal velocity lines are constructed. The appointed time for achieving the target by the pursuer is one of the optimizing factors. So, on the radius of curvature - time to reach the target projection plane, a set of intersection points with the velocity lines with the level line of the designated time of reaching the target by the pursuer is formed. Next, along the lines of communication, the images of these points on the projection plane (radius of curvature, velocity) with subsequent polynomial regression are formed. As a result, the function of the dependence of the velocity on the radius of curvature of the pursuer trajectory in order to reach the target in a specified fixed time is obtained. Next, on the projection plane (radius of curvature, velocity), a line of the velocity level as the second optimizing factor is built. The point obtained as a result of the intersection of the lines is the value of the radius of curvature and the velocity to reach the target at the appointed time. The proposed method of analyzing velocities in problems of group pursuit of a set of targets allows to obtain the result in an automated mode without an operator and may be of interest to developers of UAVs equipped with elements of artificial intelligence.

Keywords: multidimensional geometry, descriptive geometry, Radishchev drawing, radius of curvature.

References

1. Volkov V.Ya., Chizhik M.A. *Graficheskiye optimizatsionnyye modeli mnogofaktornykh protsessov* [Graphic Optimization Models of Multifactor Processes]. Omsk, Izdatel'sko-poligraficheskiy tsentr OGIS Publ., 2009. 101 p.
2. Ayzeks R. *Differentsial'nyye igry* [Differential Games]. Moscow, Mir Publ., 1967.
3. Pontryagin L.S. *Lineynaya differentsial'naya igra ukлонeniya* [Linear Differential Game of Evasion]. Tr. MIAN SSSR [Proceedings Steklov Mathematical Institute of the USSR], 1971, vol. 112, pp. 30–63. (in Russ.)
4. Krasovskiy N.N., Subbotin A.I. *Pozitsionnyye differentsial'nyye igry* [Positional Differential Games]. Moscow, FIZMATLIT Publ., 1974. 456 p.
5. Petrosyan L.A. *Differentsial'nyye igry presledovaniya* [Differential Pursuit Games]. Leningrad, Izd-vo LGU Publ., 1977. 222 p.
6. *Razdel "Odnovremennoye dostizheniye tseli na ploskosti"* [Section «Simultaneous Achievement of the Goal on the Plane»]. Available at: <http://dubanov.exponenta.ru> (accessed 22.05.2021)
7. *Video, rezul'taty programmy modelirovaniya odnovremennogo dostizheniya tseli* [Video, the Results of the Simulation Program for the Simultaneous Achievement of the Goal]. Available at: <https://www.youtube.com/watch?v=7VNHnWcbWrg> (accessed 22.05.2021)
8. *Video, rezul'taty modelirovaniya odnovremennogo dostizheniya dvukh tseley tremya presledovatelyami s vizualizatsiyey seti liniy prognoziruyemykh trayektoriy* [Video, Simulation Results of the Simultaneous Achievement of Two Goals by Three Pursuers with Visualization of a Network of Lines Of Predicted Trajectories]. Available at: <https://www.youtube.com/watch?v=NNJDJOJT34I> (accessed 22.05.2021)

9. Video, *rezul'taty modelirovaniya odnovremennogo dostizheniya dvukh tseley tremya presledovatelyami bez vizualizatsii seti liniy prognoziruemykh trayektoriy* [Video, the Results of Modeling the Simultaneous Achievement of Two Goals by Three Pursuers without Visualizing the Network of Lines of Predicted Trajectories]. Available at: <https://www.youtube.com/watch?v=tdbgoNoby3A> (accessed 22.05.2021)

10. Video, *rezul'taty modelirovaniya odnovremennogo dostizheniya dvukh tseley tremya presledovatelyami v naznachennyye znacheniya vremeni* [Video, Simulation Results of the Simultaneous Achievement of Two Goals by Three Pursuers at Designated Times]. Available at: <https://www.youtube.com/watch?app=desktop>

11. Vagin D. A., Petrov N. N. [The problem of pursuing coordinated fugitives]. *Izvestiya RAN. Theory and control systems*, 2001, no. 5, pp. 75–79.

12. Bannikov A.S. [Some Non-Stationary Problems of Group Pursuit]. *Proceedings of the Institute of Mathematics and Informatics of UdsU*, 2013, iss. 1(41), pp. 3–46.

13. Bannikov A.S. [The Nonstationary Problem of Group Pursuit]. *Proceedings of the Lobachevsky Mathematical Center*. Kazan, Publishing house of the Kazan Mathematical Society, 2006, vol. 34, pp. 26–28.

14. Izmistiev I.V., Ukhobotov V.I. [The Problem of Pursuing Low-Maneuverable Objects with a Terminal Set in the Form of a Ring]. [Proceedings of the International Conference “Geometric Methods in Control Theory and Mathematical Physics: Differential Equations, Integrability, Qualitative Theory”. Ryazan, September 15–18, 2016, Results of Science and Technology. Topic. Obz., 148]. Moscow, VINITI RAN Publ., 2018, pp. 25–31.

15. Video, *simulation results of simultaneous achievement of two goals by three pursuers with visualization of a network of lines of predicted trajectories* [Video, Simulation Results of Simultaneous Achievement of Two Goals by Three Pursuers with Visualization of a Network of Lines of Predicted Trajectories]. Available at: <https://www.youtube.com/watch?v=NNJDJOJT34I>

16. Video, *the results of modeling the simultaneous achievement of two goals by three pursuers without visualizing the network of lines of predicted trajectories* [Video, the Results of Modeling the Simultaneous Achievement of Two Goals by Three Pursuers without Visualizing the Network of Lines of Predicted Trajectories]. Available at: <https://www.youtube.com/watch?v=tdbgoNoby3A>

Received 23 June 2021

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Дубанов, А.А. Применение методов многомерной начертательной геометрии при анализе скоростей в задаче группового преследования множества целей / А.А. Дубанов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2021. – Т. 21, № 4. – С. 64–72. DOI: 10.14529/build210408

FOR CITATION

Dubanov A.A. Application of Methods of Multidimensional Descriptive Geometry in the Analysis of Velocities in the Problem of Group Pursuit of a Set of Targets. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture*. 2021, vol. 21, no. 4, pp. 64–72. (in Russ.). DOI: 10.14529/build210408