

А. А. Дубанов, канд. техн. наук, доц.,alandubanov@mail.ru,
Бурятский государственный университет, г. Улан-Удэ

Модель группового преследования одиночной цели на основе следования ранее прогнозируемым траекториям

Приводится описание геометрической модели, когда группа из преследователей преследует одиночную цель. Движение происходит на плоскости, но при необходимости данную модель можно перенести на явно заданную поверхность. Скорость движения всех участников, как преследователей, так и цели, постоянна по модулю. Цели и стратегии каждого из преследователей, несмотря на различие траекторий, объединяет один критерий. Они стремятся подойти к точке пространства, связанной с преследуемым объектом, под заданным направлением, соблюдая ограничения по кривизне траектории. Цель и стратегия объекта преследования определяется поведением одного из преследователей.

Ключевые слова: преследование, уклонение, убежание, моделирование, алгоритм, цель, преследователь, траектория

Введение

Квазидискретные модели в задаче преследования — это возможность приближенного вычисления динамических процессов с дальнейшей визуализацией. В нашей задаче вводится период дискретизации по времени, в течение которого преследователь совершает шаг и сме-

ну направления движения. В данной статье рассматриваются вопросы следования преследователем заранее смоделированной траектории. Предполагается, что траектория, отвечающая заданным требованиям, будет моделироваться в автоматическом режиме в каждый момент времени. В качестве примера мы рассмотрели группу из четырех преследователей.

1. Моделирование траекторий

Рассмотрим задачу моделирования траектории преследователя. Траектория преследователя должна начинаться в точке P , скорость преследователя в этой точке равна V_p , достигнуть цель преследователь должен в точке T .

Предполагаемая траектория движения состоит из двух частей — из прямолинейного отрезка, соединяющего точки P и P_{tan} , и из дуги T, P_{tan} радиуса R_p (рис. 1).

Ограничение моделируемой траектории заключается в том, что радиус кривизны не может быть меньше величины R_p . Угол входа преследователя в точку T определяется вектором скорости V'_p . Направление данного вектора в тестовой программе было выбрано таким, чтобы вектор скорости преследователя V'_p был перпендикулярен вектору скорости цели V_T . Центр окружности, которая отвечает заданным условиям, вычисляется по формуле $C_T = T + R_p \begin{pmatrix} -V_T \\ |V_T| \end{pmatrix}$.

Для нахождения точки P_{tan} , которая также является точкой сопряжения прямой (P, P_{tan}) и дуги T, P_{tan} реализована следующая процедура. Задается локальная система координат с центром в точке P и с базисными векторами e_1 и e_2 : $e_1 = \frac{C_T - P}{|C_T - P|}$; $e_2 = \begin{bmatrix} -e_{1y} \\ e_{1x} \end{bmatrix}$. Базис (e_1, e_2) является ортогональным.

В такой системе координат точка C_T преобразуется к виду: $C_{T,n} = \begin{bmatrix} (C_T - P)e_1 \\ (C_T - P)e_2 \end{bmatrix}$. Очевидно, что координаты $C_{T,n}$ точки C_T в этой системе координат будут равны $C_{T,n} = \begin{bmatrix} |(C_T - P)| \\ 0 \end{bmatrix}$. Пусть модуль вектора $|(C_T - P)| = C_x$ (рис. 2), тогда в локальной системе координат (e_1, e_2) с центром в точке P координаты точки сопряжения $P_{tan,n}$ будут удовлетворять системе уравнений

$$\begin{aligned} (P_{tan,n} - C_{T,n})(P_{tan,n} - C_{T,n}) &= R_p^2; \\ (P_{tan,n} - C_{T,n})P_{tan,n} &= 0. \end{aligned}$$

Данная система уравнений в локальной системе координат (e_1, e_2) с центром в точке P имеет решение

$$P_{tan,n} = \begin{bmatrix} \frac{C_x^2 - R_p^2}{C_x} \\ \pm \frac{R_p \sqrt{(C_x + R_p)(C_x - R_p)}}{C_x} \end{bmatrix}.$$

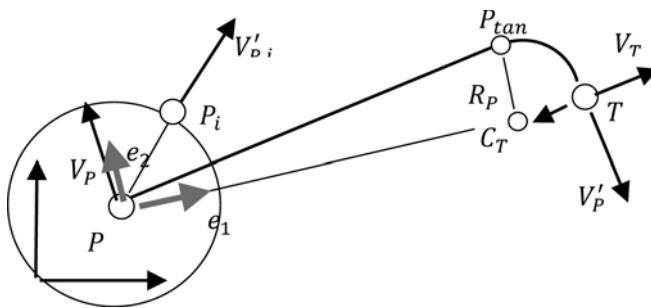


Рис. 1. Предполагаемая траектория следования преследователя

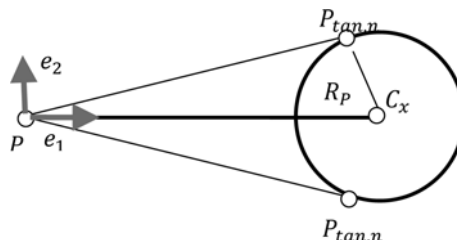


Рис. 2. Определение точки сопряжения в локальной системе координат

Для перевода точки $P_{tan,n}$ в мировую систему координат (H_1, H_2) , где $H_1 = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}$, $H_2 = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}$, необходимо получить выражения для базиса (H_1, H_2) в базисе (e_1, e_2) : $h_1 = \begin{bmatrix} H_1 e_1 \\ H_1 e_2 \end{bmatrix}$; $h_2 = \begin{bmatrix} H_2 e_1 \\ H_2 e_2 \end{bmatrix}$.

Тогда координаты P_{tan} точки $P_{tan,n}$ в мировой системе координат будут следующими: $P_{tan} = \begin{bmatrix} P_{tan,n} h_1 \\ P_{tan,n} h_2 \end{bmatrix} + P$. В тестовой программе, написанной по материалам главы, мы выбрали вариант, соответствующий верхнему положению точки $P_{tan,n}$ (рис. 2).

Поскольку мы рассматриваем квазидискретную модель задачи преследования, то вводим период дискретизации ΔT . Тогда в рамках настоящей модели, имеем, что шаг преследователя за период дискретизации равен $|V_p| \Delta T$.

Если минимальный радиус кривизны траектории преследователя равен R_p , то будет обоснованным считать, что угловая частота вращения преследователя P на виражах будет равна $\omega_p = \frac{|V_p|}{R_p}$. Угол поворота при выполнении шага итерации не может превышать величины $\omega_p \Delta T$.

2. Анализ координат точки касания P_{tan} прямой (P, P_{tan}) с окружностью (C_T, R_p) в системе координат преследователя

В нашей квазидискретной модели задачи преследования преследователь имеет целью

догнать преследуемый объект, чтобы в момент совпадения координат преследователь имел заданный вектор скорости, при этом минимальный радиус кривизны траектории не был меньше допустимого. Сформируем базис (v_1, v_2) с началом координат в точке P (рис. 3): $v_1 = \frac{V_P}{|V_P|}$; $v_2 = \begin{bmatrix} -v_{1y} \\ v_{1x} \end{bmatrix}$. В данную динамическую систему координат, зависящую от скорости преследователя, переведем координаты точки P_{tan} : $P_{tan.v} = \begin{bmatrix} (P_{tan} - P)v_1 \\ (P_{tan} - P)v_2 \end{bmatrix}$. Координаты преследователя в дискретный момент времени $P_{i.v}$ в системе координат (v_1, v_2) с началом в точке P будут равны

$$P_{i.v} = \begin{cases} \begin{bmatrix} |V_P| \Delta T \cos(\omega_P \Delta T) \\ |V_P| \Delta T \sin(\omega_P \Delta T) \end{bmatrix}, & \text{если } P_{tan.vy} \geq 0; \\ \begin{bmatrix} |V_P| \Delta T \cos(\omega_P \Delta T) \\ -|V_P| \Delta T \sin(\omega_P \Delta T) \end{bmatrix}, & \text{если } P_{tan.vy} < 0. \end{cases}$$

Если угол α меньше, чем угол $\omega_P \Delta T$, то координаты точки $P_{i.v}$ будут выглядеть иначе:

$$P_{i.v} = \begin{cases} \begin{bmatrix} |V_P| \Delta T \cos(\alpha) \\ |V_P| \Delta T \sin(\alpha) \end{bmatrix}, & \text{если } P_{tan.vy} \geq 0; \\ \begin{bmatrix} |V_P| \Delta T \cos(\alpha) \\ -|V_P| \Delta T \sin(\alpha) \end{bmatrix}, & \text{если } P_{tan.vy} < 0. \end{cases}$$

Угол α — это угол между вектором $P_{tan.v}$ и вектором v_1 . Далее следует перевести координаты $P_{i.v}$ из системы координат (v_1, v_2) в мировую. Для этого получим выражения для базиса (H_1, H_2) в базисе (v_1, v_2) :

$$h_{1.v} = \begin{bmatrix} H_1 v_1 \\ H_1 v_2 \end{bmatrix}; h_{2.v} = \begin{bmatrix} H_2 v_1 \\ H_2 v_2 \end{bmatrix},$$

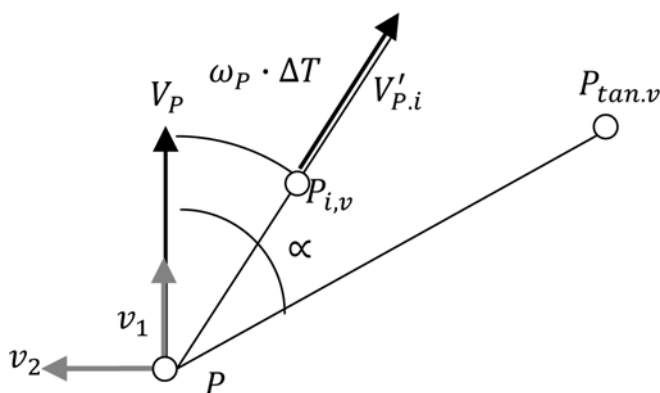


Рис. 3. Выбор направления движения преследователем

где $H_1 = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}$, $H_2 = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}$. Отсюда получаем выражения для точки преследователя P_i на следующем этапе итераций: $P_i = \begin{bmatrix} P_{i.v} h_{1.v} \\ P_{i.v} h_{2.v} \end{bmatrix} + P$. Итак, моделируемая траектория преследователя P_i приближается к прямой линии (P, P_{tan}) . Наша моделируемая траектория должна на определенных этапах итерационного процесса приближаться к сегменту дуги T, P_{tan} (см. рис. 1).

3. Анализ координат точек пересечения окружностей

Рассмотрим ситуацию, когда расстояние между преследователем P и центром окружности C_T меньше минимального радиуса кривизны траектории R_P (рис. 4). На рис. 4 показаны две пересекающиеся окружности с радиусами r_P и R_P , с центрами в точках P и C_T , соответственно, где $r_P = \omega_P \Delta T$, а R_P — минимальный радиус кривизны траектории преследователя. Целью задачи, описанной в данном разделе, является определение координат точки P_i в мировой системе координат на основе анализа точки P_{int} пересечения окружностей. Точку пересечения окружностей удобно получить в рассмотренной выше системе координат (e_1, e_2) с центром в точке P :

$$e_1 = \frac{C_T - P}{|C_T - P|}; e_2 = \begin{bmatrix} -e_{1y} \\ e_{1x} \end{bmatrix}.$$

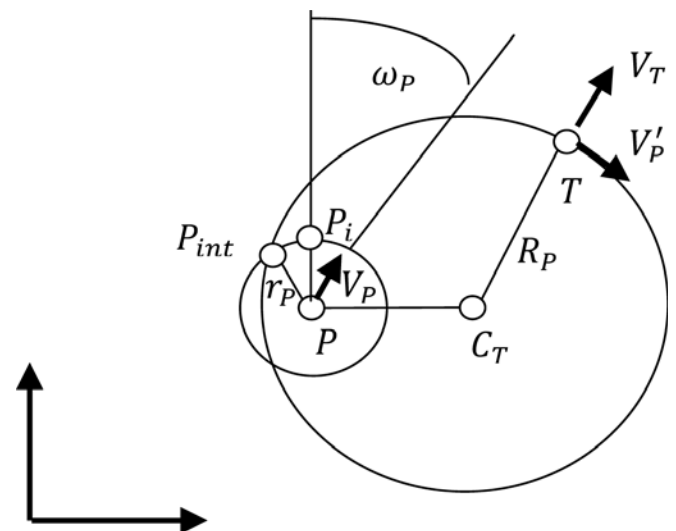


Рис. 4. Анализ координат точки пересечения окружностей

В этой системе координат выражения для точки пересечения окружностей $P_{int.n}$ имеют вид

$$P_{int.n} = \begin{bmatrix} \frac{C_X^2 - R_P^2 + r_P^2}{2C_X} \\ \pm \frac{\sqrt{(C_X + R_P - r_P)(C_X - R_P + r_P)} \times \sqrt{(R_P - C_X + r_P)(R_P + C_X + r_P)}}{2C_X} \end{bmatrix}.$$

В нашей тестовой программе во внимание принята только верхняя точка (рис. 4) с положительным знаком в локальной системе координат. Переведем координаты $P_{int.n}$ в мировую систему координат:

$$P_{int} = \begin{bmatrix} P_{int.n} h_1 \\ P_{int.n} h_2 \end{bmatrix} + P.$$

Базисные векторы h_1 и h_2 имеют вид:

$$h_1 = \begin{bmatrix} H_1 e_1 \\ H_1 e_2 \end{bmatrix}; \quad h_2 = \begin{bmatrix} H_2 e_1 \\ H_2 e_2 \end{bmatrix},$$

где $H_1 = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}$, $H_2 = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}$. Для анализа точки пересечения окружностей необходимо перейти в систему координат (v_1, v_2) с началом координат в точке P (рис. 5):

$$v_1 = \frac{V_P}{|V_P|}; \quad v_2 = \begin{bmatrix} -v_{1y} \\ v_{1x} \end{bmatrix}.$$

В системе координат (v_1, v_2) координаты точки P_{int} равны

$$P_{int.v} = \begin{bmatrix} (P_{int} - P)v_1 \\ (P_{int} - P)v_2 \end{bmatrix}.$$

Угол α на рис. 5 — это угол между вектором $P_{int.v}$ и вектором v_1 .

Если угол $\alpha \geq \omega_P \Delta T$, то координаты $P_{i.v}$ в системе координат (v_1, v_2) с началом в точке P имеют вид

$$P_{i.v} = \begin{cases} \begin{bmatrix} |V_P| \Delta T \cos(\omega_P \Delta T) \\ |V_P| \Delta T \sin(\omega_P \Delta T) \end{bmatrix}, & \text{если } P_{int.vy} \geq 0; \\ \begin{bmatrix} |V_P| \Delta T \cos(\omega_P \Delta T) \\ -|V_P| \Delta T \sin(\omega_P \Delta T) \end{bmatrix}, & \text{если } P_{int.vy} < 0. \end{cases}$$

Если угол $\alpha < \omega_P \Delta T$, то координаты точки $P_{i.v}$ будут выглядеть иначе:

$$P_{i.v} = \begin{cases} \begin{bmatrix} |V_P| \Delta T \cos(\alpha) \\ |V_P| \Delta T \sin(\alpha) \end{bmatrix}, & \text{если } P_{int.vy} \geq 0; \\ \begin{bmatrix} |V_P| \Delta T \cos(\alpha) \\ -|V_P| \Delta T \sin(\alpha) \end{bmatrix}, & \text{если } P_{int.vy} < 0. \end{cases}$$

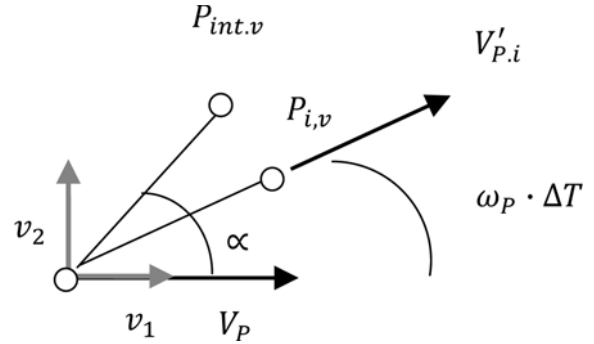


Рис. 5. Анализ, выполненный из системы координат преследователя

Далее следует перевести координаты $P_{i.v}$ из системы координат (v_1, v_2) в мировую. Для этого получим выражения для базиса (H_1, H_2) в базисе (v_1, v_2) :

$$h_{1.v} = \begin{bmatrix} H_1 v_1 \\ H_1 v_2 \end{bmatrix}; \quad h_{2.v} = \begin{bmatrix} H_2 v_1 \\ H_2 v_2 \end{bmatrix},$$

где $H_1 = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}$, $H_2 = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}$. Отсюда получаем выражения для точки преследователя P_i на следующем этапе итераций:

$$P_i = \begin{bmatrix} P_{i.v} h_{1.v} \\ P_{i.v} h_{2.v} \end{bmatrix} + P.$$

Итак, мы разобрали часть алгоритма, в котором преследователь стремится выйти на дугу $\overline{P_{int}, T}$ (см. рис. 4).

4. Случай непересекающихся окружностей

Во избежание в нашем алгоритме неизвестных ситуаций рассмотрим случай, когда $|P - C_P| < R_P - r_P$. В этом случае мы вправе назначить точку P_{int} на оси (P, C_P) слева от точки P (рис. 6). Если рассматривать точку P_{int} из системы координат (e_1, e_2) с центром в точке C_T , то это точка $P_{int.n} = \begin{bmatrix} -R_P \\ 0 \end{bmatrix}$.

Необходимо рассчитать угол α между вектором V_P , приложенным к точке P , и вектором $\overline{P, P_{int}}$.

Если угол $\alpha < \omega_P \Delta T$, и точка T в системе координат (e_1, e_2) с центром в точке C_T находится в верхней полуплоскости, то координаты точки $P_{i.v}$ на следующем этапе итераций в системе координат (v_1, v_2) с началом в точке P имеют вид

$$P_{i.v} = \begin{bmatrix} |V_P| \Delta T \cos(\alpha) \\ |V_P| \Delta T \sin(\alpha) \end{bmatrix}.$$

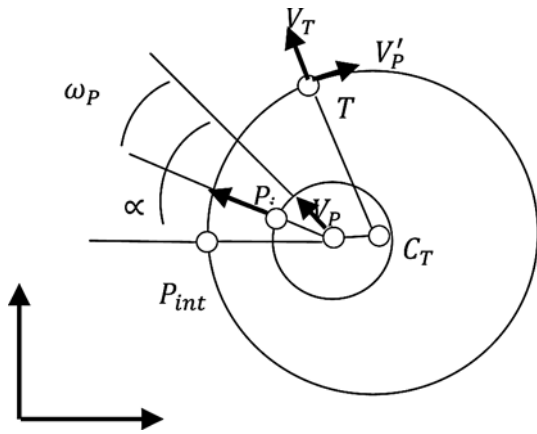


Рис. 6. Анализ случая непересекающихся окружностей

Если угол $\alpha < \omega_P \Delta T$, и точка T в системе координат (e_1, e_2) с центром в точке C_T находится в нижней полуплоскости, то

$$P_{i.v} = - \begin{bmatrix} |V_P| \Delta T \cos(\alpha) \\ |V_P| \Delta T \sin(\alpha) \end{bmatrix}.$$

Если угол $\alpha \geq \omega_P \Delta T$, и точка T в системе координат (e_1, e_2) с центром в точке C_T находится в верхней полуплоскости, тогда координаты точки $P_{i.v}$ будут следующими:

$$P_{i.v} = \begin{bmatrix} |V_P| \Delta T \cos(\omega_P \Delta T) \\ |V_P| \Delta T \sin(\omega_P \Delta T) \end{bmatrix}.$$

Если угол $\alpha \geq \omega_P \Delta T$, и точка T находится в нижней полуплоскости, то

$$P_{i.v} = - \begin{bmatrix} |V_P| \Delta T \cos(\omega_P \Delta T) \\ |V_P| \Delta T \sin(\omega_P \Delta T) \end{bmatrix}.$$

Следует отметить, в процессе моделирования данная ситуация встречалась в том случае, когда скорость преследователя намного превышала скорость цели. Также может повлиять низкая угловая скорость преследователя, т. е. цель на высокой скорости при большой инертности может попасть в ситуацию, когда $|P - C_P| < R_P - r_p$.

5. Цель и стратегия первого преследователя

Преследователь P_1 со скоростью V_1 имеет целью просто догнать объект T , что означает совмещение координат P_1 и T с некоторой степенью точности $|P_1 - T| \leq \varepsilon$. В качестве показателя точности можно предложить $\varepsilon = |V_1| \Delta T$, где ΔT — это период дискретизации по времени. Помимо этого объект P_1 обладает максимальной угловой скоростью вращения ω_1 , что огра-

ничивает радиус кривизны траектории движения $R_1 = \frac{|V_1|}{\omega_1}$.

Стратегия преследователя P_1 заключается в том, что координаты точки T пересчитываются в систему координат (v_1, v_2) с началом координат в точке P_1 (рис. 7):

$$v_1 = \frac{V_P}{|V_P|};$$

$$v_2 = \begin{bmatrix} -v_{1y} \\ v_{1x} \end{bmatrix}.$$

В этой системе координат координаты точки T будут следующими:

$$T_v = \begin{bmatrix} (T - P_1)v_1 \\ (T - P_1)v_2 \end{bmatrix}.$$

Далее анализируем координаты точки T_v на принадлежность к верхней или нижней полуплоскости в системе координат (v_1, v_2) с началом координат в точке P_1 :

$$P_{1.v} = \begin{cases} \begin{bmatrix} |V_1| \Delta T \cos(\omega_1 \Delta T) \\ |V_1| \Delta T \sin(\omega_1 \Delta T) \end{bmatrix}, & \text{если } T_{vy} \geq 0; \\ \begin{bmatrix} |V_1| \Delta T \cos(\omega_1 \Delta T) \\ -|V_1| \Delta T \sin(\omega_1 \Delta T) \end{bmatrix}, & \text{если } T_{vy} < 0. \end{cases}$$

Необходимо, постоянно сравнивать значения углов $\omega_1 \Delta T$ и α , где α — это угол между векторами $\overline{P_1 T}$ и V_1 .

Если угол α меньше, чем угол $\omega_P \Delta T$, то координаты точки $P_{1.v}$ будут выглядеть иначе:

$$P_{i.v} = \begin{cases} \begin{bmatrix} |V_P| \Delta T \cos(\alpha) \\ |V_P| \Delta T \sin(\alpha) \end{bmatrix}, & \text{если } T_{vy} \geq 0; \\ \begin{bmatrix} |V_P| \Delta T \cos(\alpha) \\ -|V_P| \Delta T \sin(\alpha) \end{bmatrix}, & \text{если } T_{vy} < 0. \end{cases}$$

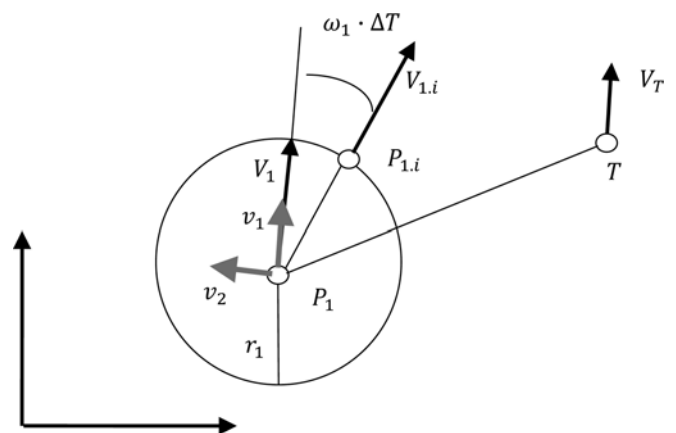


Рис. 7. Стратегия первого преследователя

6. Цели и стратегии второго и третьего объектов — преследователей

Преследователи P_2 и P_3 совершают движение со скоростями V_2 и V_3 , соответственно. Для объектов P_2 и P_3 целью является совмещение с определенной степенью точности ε не с точкой T , а с точками T_2 и T_3 , соответственно (рис. 8). Координаты точек T_2 и T_3 формируются следующим образом:

$$T_{2,3} = T + n_{2,3}.$$

Векторы нормалей

$$n_{2,3} = \pm \frac{1}{|V_T|} \begin{bmatrix} -V_{Ty} \\ V_{Tx} \end{bmatrix} \Delta S_{2,3},$$

где $\Delta S_{2,3}$ — это расстояния, на которые отстоят точки T_2 и T_3 от точки T .

Для траекторий объектов P_2 и P_3 выбирают такие условия, чтобы они подошли к точкам T_2 и T_3 с направлениями скоростей V'_2 и V'_3 . Радиусы кривизны траекторий не должны быть меньше $R_{2,3} = \frac{|V_{2,3}|}{\omega_{1,2}}$, где $\omega_{2,3}$ — максимальные угловые скорости вращения преследователей P_2 и P_3 .

Моделируемая траектория в некоторый момент времени состоит из прямолинейного участка $[P_{2,3}, P_{tan.2,3}]$ и сегмента дуги $P_{tan.2,3}, T_{2,3}$.

На каждом этапе итераций объекты P_2 и P_3 совершают дискретное вращение и дискретное поступательное перемещение, чтобы выйти на моделируемые траектории.

В нашей тестовой программе, написанной по материалам данного параграфа, объекты P_2 и P_3 , как только выходят на курс, параллельный курсу T , начинают двигаться со скоростями, равными V_T .

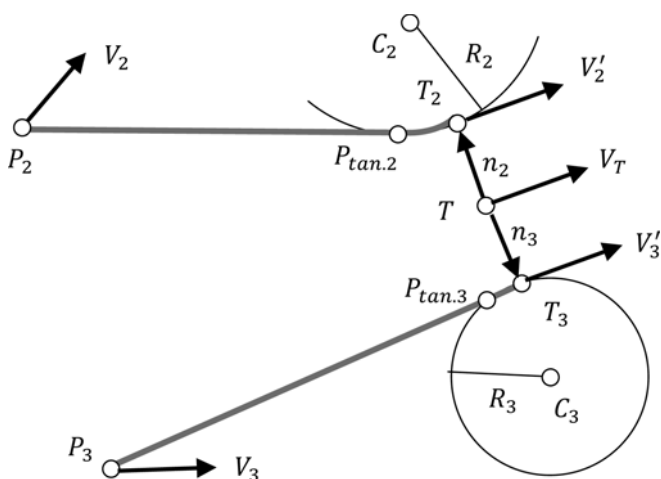


Рис. 8. Стратегии второго и третьего преследователей

7. Цель и стратегия четвертого преследователя

Рассмотрим четвертого участника из группы преследователей. Если первого участника можно квалифицировать как основного "загонщика", поведение второго и третьего преследователей можно квалифицировать как поведение помощников, не дающих ускользнуть цели, то роль четвертого преследователя можно трактовать как роль игрока из "засады".

На рис. 9 (см. вторую сторону обложки) показано два случая формирования траекторий четвертого преследователя. В первом случае траектория преследователя входит в точку положения непосредственно цели T , перпендикулярно ее скорости V_T . Во втором случае траектория преследователя входит в точку Q со скоростью, противоположно направленной скорости цели V_T . Точка Q расположена на прямой линии из точки T с образующей V_T .

Точку Q можно расположить в любой точке плоскости, никакие ограничения этого не запрещают. Просто цель может быть не достигнута.

При достижении точки Q можно поменять стратегию преследователя, допустим, сбросить скорость до 0 и ожидать приближения цели до расстояния меньше ε . Можно поменять стратегию при достижении точки Q на стратегию первого преследователя.

8. Цель и стратегия объекта преследования

Рассмотрим поведение объекта преследования. В нашей рассматриваемой модели целью объекта преследования выбрано отклонение от первого преследователя.

Рис. 10 иллюстрирует стратегию преследуемого объекта T . На этом рисунке объект T со скоростью V_T и с угловой скоростью вращения ω_T за период дискретизации ΔT совершает поворот на угол $\omega_T \Delta T$ и перемещение на расстояние $|T_i - T| = |V_T| \Delta T$.

Направление вращения точки T зависит от того, в какой полуплоскости находится преследователь P_1 .

Как альтернативную стратегию можно предложить стратегию, иллюстрация которой представлена на рис. 11.

На рис. 11 показано, что объект преследования T стремится свою скорость V_T сделать параллельной вектору скорости преследователя V_1 . Когда преследователь находится далеко, то предпочтительней для цели использовать стратегию параллельных скоростей, как на рис. 11.

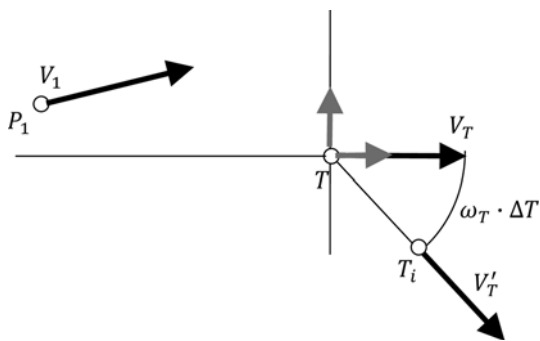


Рис. 10. Стратегия объекта преследования

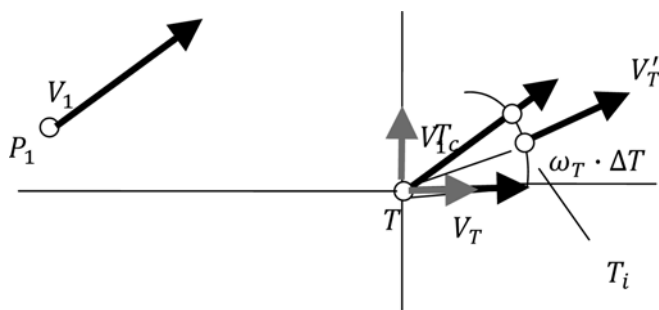


Рис. 11. Дополнительная стратегия объекта преследования

Когда преследователь подходит на дистанцию в нескольких шагов, т. е. для заключительного прыжка, для цели будет выгодна стратегия уклонения, как на рис. 11.

Заключение

На материалах, изложенных в данной главе, была написана тестовая программа в системе MathCAD, которая рассчитывает траектории группы из четырех преследователей и цели, уклоняющейся от них. У каждого участника геометрической модели своя цель и своя стратегия. На рис. 12 (см. вторую сторону обложки) показан скриншот с видео, где видно как один преследователь реализует погоню по следу. Два преследователя берут и сопровождают цель по параллельным траекториям. Один преследователь заходит перпендикулярно прогнозируемой траектории цели. В программе мы намеренно поменяли цель и стратегию четвертого преследователя, чтобы показать, что в рамках нашей программы это сделать достаточно просто, задав координаты точек входа и векторов входа в точки.

При написании данной статьи за основу приняты теоретические положения, изложенные в работах [1–6]. Описание алгоритма следования прогнозируемым траекториям, которых следует придерживаться, расположен на ресурсе [7]. Рис. 12 дополнен ссылкой на

ресурс [8], где размещено видео по результатам работы программы. Исходный текст программы размещен на ресурсе [9]. При разработке алгоритмов были проанализированы и использованы работы [10–18].

Список литературы

1. Айзекс Р. Дифференциальные игры. М.: Мир, 1967.
2. Понтрягин Л. С. Линейная дифференциальная игра убегания // Тр. МИАН СССР. 1971. Т. 112. С. 30–63.
3. Красовский Н. Н., Субботин А. И. Позиционные дифференциальные игры. М.: Наука, 1974.
4. Желнин Ю. Н. Линеаризованная задача преследования и уклонения на плоскости // Ученые записки ЦАГИ. 1977. № 3, Т. 8. С. 88–98.
5. Бурдаков С. В., Сизов П. А. Алгоритмы управления движением мобильным роботом в задаче преследования // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Информатика. Телекоммуникации. Управление. 2014. № 6 (210). С. 49–58.
6. Симакова Э. Н. Об одной дифференциальной игре преследования // Автоматика и телемеханика. 1967. № 2. С. 5–14.
7. Алгоритм следования прогнозируемым траекториям в задаче преследования. URL: <http://dubanov.exponenta.ru> (дата обращения: 22.07.2019).
8. Видео, групповое преследование одиночной цели. Раздел "Групповое преследование с различными стратегиями одиночной цели". URL: <https://www.youtube.com/watch?v=aC4PuXTgVS0&feature=youtu.be>.
9. URL: <http://dubanov.exponenta.ru>
10. Вагин Д. А., Петров Н. Н. Задача преследования жестко скоординированных убегающих // Известия РАН. Теория и системы управления. 2001. № 5. С. 75–79.
11. Банников А. С. Некоторые нестационарные задачи группового преследования // Известия Института математики и информатики УдГУ. 2013. Вып. 1 (41). С. 3–46.
12. Банников А. С. Нестационарная задача группового преследования // Труды Математического центра имени Н. И. Лобачевского. Казань: Изд-во Казанского математического общества. 2006. Т. 34. С. 26–28.
13. Измestьев И. В., Ухоботов В. И. Задача преследования маломаневренных объектов с терминальным множеством в форме кольца // Матер. междунар. конф. "Геометрические методы в теории управления и математической физике: дифференциальные уравнения, интегрируемость, качественная теория" Рязань, 15–18 сентября 2016 г., Итоги науки и техн. Сер. Соврем. мат. и ее прил. Темат. обз., 148, ВИНТИ РАН, М., 2018. С. 25–31.
14. Константинов Р. В. О квазилинейной дифференциальной игре с простой динамикой при наличии фазового ограничения // Математические заметки. 2001. Т. 69, Вып. 4. С. 581–590.
15. Панкратова Я. Б. Решение кооперативной дифференциальной игры группового преследования // Дискретный анализ и исследование операций. 2010. Т. 17, № 2. С. 57–78.
16. Петросян Л. А., Зенкевич Н. А., Шевкопляс Е. В. Теория Игр. СПб.: БХВ-Петербург, 2012. 424 с.
17. Петросян Л. А., Рихсиев Б. Б. Преследование на плоскости. Изд-во Наука, 1991. 94 с.
18. Петросян Л. А., Томский Г. В. Геометрия простого преследования. М.: Наука, 1983. 143 с.

Model of Group Pursuit of a Single Target Based on Following Previously Predicted Trajectories

This article describes the geometric model when a group of pursuers pursues a single target. The movement occurs on a plane, but if necessary, this model can be transferred to a clearly defined surface. The speed of movement of all participants, both the pursuers and the target, is constantly modulo. The goals and strategies of each of the pursuers, despite the difference in trajectories, are united by one criterion. They strive to approach a point in space associated with the pursued object, under a given direction, observing restrictions on the curvature of the trajectory. The goal and strategy of the object of pursuit is determined by the behavior of one of the pursuers.

Keywords: pursuit, evasion, escape, modeling, algorithm, goal, pursuer, trajectory

DOI: 10.17587/it.26.334-341

References

1. Isaacs R. Differential games, Moscow, World, 1967 (in Russian).
2. Pontryagin L. S. Linear differential runaway game, *Tr. Steklov Mathematical Institute of the USSR*, 1971, vol. 112, pp. 30–63 (in Russian).
3. Krasovsky N. N., Subbotin A. I. Positional differential games, Moscow, Science, 1974 (in Russian).
4. Zhelnin Yu. N. The linearized problem of pursuit and evasion on the plane, *Uchenye zapiski TsAGI*, 1977, no. 3, vol. 8, pp. 88–98 (in Russian).
5. Burdakov S. V., Sizov P. A. Algorithms for controlling the movement of a mobile robot in the pursuit problem, *Scientific and Technical Journal of St. Petersburg State Polytechnic University. Computer science. Telecommunications. Control*, 2014, no. 6 (210), pp. 49–58 (in Russian).
6. Simakova E. N. About one differential game of persecution, *Automation and Telemekhanics*, 1967, no. 2, pp. 5–14 (in Russian).
7. Algorithm for following the predicted trajectories in the pursuit problem, available at: <http://dubanov.exponenta.ru> (accessed: 07/22/2019) (in Russian).
8. Video, group pursuit of a single goal, available at: <https://www.youtube.com/watch?v=aC4PuXTgVS0&feature=youtu.be>.
9. Available at: <http://dubanov.exponenta.ru> Section "Group pursuit with various strategies of a single goal".
10. Vagin D. A., Petrov N. N. The pursuit of tightly coordinated runaways, *Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Theory and control systems*, 2001, no. 5, pp. 75–79 (in Russian).
11. Bannikov A. S. Some non-stationary problems of group pursuit, *Bulletin of the Institute of Mathematics and Computer Science, Udmurt State University*, 2013, iss. 1 (41), pp. 3–46 (in Russian).
12. Bannikov A. S. The non-stationary task of group pursuit, *Transactions of N. I. Lobachevsky, Kazan, Kazan Mathematical Society Publishing House*, 2006, vol. 34, pp. 26–28 (in Russian).
13. Izmetiev I. V., Ukhobotov V. I. The task of pursuing low-maneuverable objects with a terminal set in the form of a ring, *Materials 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. Ser. Lying. mat. and her adj. Theme. review, 148, Moscow, VINITI RAS, 2018, pp. 25–31 (in Russian).
14. Konstantinov R. V. On a quasilinear differential game with simple dynamics in the presence of a phase constraint, *Mathematical Notes*, 2001, vol. 69, iss. 4, pp. 581–590. (in Russian).
15. Pankratova Ya. B. Solution of the cooperative differential game of group pursuit, *Discrete analysis and investigation of operations*, 2010, vol. 17, no. 2, pp. 57–78. (in Russian).
16. Petrosyan L. A., Zenkevich N. A., Shevkoplyas E. V. *Game Theory*, Saint Petersburg, Publishing House "BHV-Petersburg", 2012, 424 p. (in Russian).
17. Petrosyan L. A., Rikhsiev B. B. *Harassment on the plane*, Moscow, Publishing House of Science, 1991, 94 p. (in Russian).
18. Petrosyan L. A., Tomsky G. V. *Geometry of simple pursuit*, Moscow, Publishing House of Science, 1983, 143 p. (in Russian).

IV Международная конференция «УСТОЙЧИВОСТЬ И ПРОЦЕССЫ УПРАВЛЕНИЯ»

Международная конференция «Устойчивость и процессы управления», посвященная 90-летию со дня рождения профессора, чл.-корр. РАН В. И. Зубова (1930—2000), будет проходить 5—9 октября 2020 г. в Санкт-Петербурге на базе факультета прикладной математики—процессов управления Санкт-Петербургского государственного университета (СПбГУ).

Организатор конференции
Председатель конференции

Санкт-Петербургский государственный университет
Петросян Леон Аганесович, профессор СПбГУ

Научные направления конференции

- Устойчивость
- Метод функций Ляпунова
- Теория динамических систем
- Управление механическими системами
- Управление и оптимизация в электрофизических системах
- Управление конфликтными системами. Динамические игры
- Методы анализа и синтеза систем с последствием
- Робастность
- Методы оптимизации
- Нелинейная механика и физика твердого тела
- Управление социально-экономическими системами
- Управление медико-биологическими системами
- Информатика и процессы управления
- Математические проблемы и методы распознавания образов
- Искусственный интеллект

Контактная информация:

Егоров Алексей Валерьевич, alexey.egorov@spbu.ru
Головкина Анна Геннальевна, a.golovkina@spbu.ru

Официальный сайт конференции

<http://www.apmath.spbu.ru/scp2020/>

