

ПРОГРАММНАЯ 3D-ТРАЕКТОРИЯ ЗАЩИТНИКА В АДТ-ИГРЕ ПРИ НЕПОЛНОЙ АПРИОРНОЙ ИНФОРМАЦИИ У ЦЕЛИ[#]

А. П. Потапов*, Е. Я. Рубинович**

Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН, г. Москва

*✉ potapov@ipu.ru, **✉ rubinvch@gmail.com

Аннотация. В трехмерном пространстве рассматривается АДТ-игра (англ. *Attacker–Defender–Target*), в которой Цель (*Target*) совершает плоское движение по окружности с постоянной скоростью. Атакующий игрок (*Attacker*) движется равномерно и прямолинейно из произвольной точки верхней полусферы. Специфика постановки состоит в том, что на борту Цели имеется мобильный Защитник (*Defender*), в задачу которого входит перехват всех возможных опасных для Цели (в смысле точечной встречи) траекторий движения Атакующего. Задача осложняется тем, что Цель и Защитник в процессе движения не видят атакующего игрока. Им известен лишь начальный пеленг, в то время как текущий пеленг, начальная и текущая дистанции до Атакующего им не известны. По этой причине движение Цели и Защитника предполагается программным.

Ключевые слова: АДТ-игра, программные движения, ограничения на кривизну траектории.

ВВЕДЕНИЕ

Интерес к математической формализации процессов взаимодействия мобильных объектов типа беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) или автономных необитаемых подводных аппаратов (АНПА) в последнее время постоянно растет. Этот тренд обусловлен рядом всем известных объективных причин.

Одной из таких формализаций являются так называемые МДТ- или АДТ-игры (англ. *Missile–Defender–Target* или *Attacker–Defender–Target*). В них кроме традиционных для игр преследования – уклонения участников (как собственно преследователя, так и преследуемого им уклоняющегося игрока-цели) принимает участие третий игрок – Защитник. Защитник и уклоняющийся игрок-цель, действуя согласованно, образуют коалицию, которая играет против атакующего игрока. В задачу Защитника входит перехват Атакующего на траектории его движения или отвлечение Атакующего

от намеченной им траектории преследования в случаях, когда Защитник играет роль ложной цели.

В этих задачах особое место занимает вопрос об априорной и текущей информации, доступной игрокам в процессе преследования и уклонения.

В статье [1] решается плоская дифференциальная игра одного преследователя против коалиции двух целей – истинной и ложной. В этой игре преследователь, имеющий круговую зону обнаружения радиуса R , минимизирует время до момента пересечения круга обнаружения с ложной целью; истинная цель, имеющая начальное положение вне зоны обнаружения, максимально увеличивает минимальное расстояние до преследователя.

В работе [2] задача перехвата решена для случая, когда преследователь оборудован зоной обнаружения, где опасными для Цели являются все те траектории движения преследователя, по которым Цель входит в эту зону. В данной работе решается задача построения и оптимизации траектории ложной цели при не полностью известных фазовых координатах преследователя. Публикация [2] является продолжением работы, начатой в статьях [3–5].

[#] Работа выполнена при частичной поддержке РФФ, грант № 23-29-00448.

Основная идея, предложенная в работе [2] и используемая в настоящей работе, заключается в том, что траектория ложной цели строится таким образом, чтобы перехватывать преследователя на тех траекториях, на которых создается опасность для истинной цели, движущейся по выбранному пути уклонения. В данном случае в статье [2] опасной для истинной цели является та единственная траектория преследователя, на которой реализуется его задача: встреча с истинной целью на выбранной прямолинейной траектории уклонения.

Результаты последних исследований представлены в работах [6–22]. В этих статьях все утверждения касаются проблем с точной информацией о текущих позициях игроков. Проблема, рассматриваемая в этой статье, связана с неполнотой информацией. Цель знает о нападающем только два параметра: его скорость и начальный пеленг. Важная информация о расстоянии до преследователя недоступна.

Эта формулировка является простейшей математической формализацией последующих действий в следующих реальных жизненных ситуациях.

- Тяжелый бомбардировщик уклоняется от атаки ракетой класса «воздух – воздух». Предполагаемая схема передачи информации соответствует тому, что самолет оснащен (пассивным) электронно-оптическим датчиком.

- Подводная лодка уклоняется от торпедной атаки.

- Подводная лодка уклоняется от мобильной поисковой системы.

Следует отметить, что настоящая работа является продолжением работы Р. Бойелла [4, 5]. Однако это не теоретико-игровой анализ сценария защиты Цели, и основное внимание уделяется кинематике боя в условиях неполной априорной информации. Еще раз подчеркнем, преследователь не маневрирует – он сохраняет курс – но курс преследователя и расстояние до преследователя неизвестны коалиции, защищающей Цель.

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Рассматривается игра трех игроков в трехмерном пространстве – Атакующего A , Защитника D и Цели T . Известно, что Цель движется по окружности фиксированного радиуса R с постоянной линейной скоростью v_T .

В начальный момент времени Цель получает информацию о том, что с выделенной прямой (линия начального пеленга) по Цели был выпущен атакующий объект A . При этом точка старта Ата-

кующего для Цели не известна, однако известно, что Атакующий движется из верхней полусферы по заранее выбранной прямой с постоянной скоростью $v_A > v_T$. В ответ на это в тот же момент времени Цель выпускает Защитника, движение которого программно, а скорость v_D постоянна, причем $v_T < v_D < v_A$.

Требуется построить такую траекторию движения Защитника, которая перехватывала бы Атакующего на всех возможных опасных для Цели (в смысле точечной встречи Цели и атакующего игрока) траекториях его движения.

2. ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ЗАДАЧИ

Обозначим параметрическое время задачи через τ и предположим, что Защитник планирует перехватить Атакующего в некоторый упреждающий момент времени $t = t(\tau)$. Зафиксируем τ и рассмотрим рис. 1, иллюстрирующий геометрическое описание задачи.

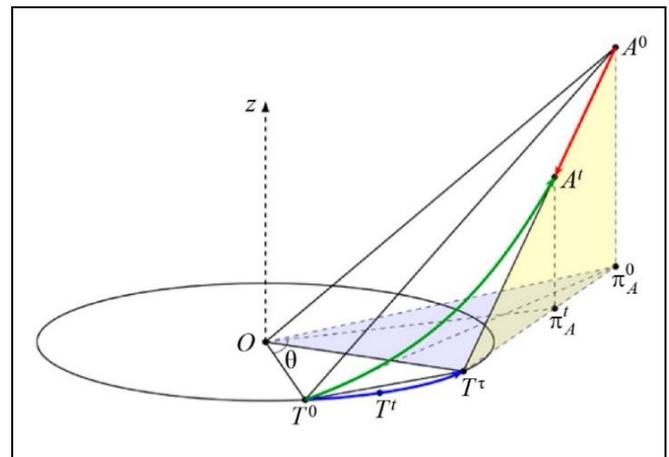


Рис. 1. Геометрическое описание задачи

Точкой O обозначим центр окружности, по которой движется Цель. Точками A и T обозначены положения Атакующего и Цели соответственно, причем верхним индексом отмечен момент времени, в который соответствующий игрок находился в данной точке пространства. Например, T^0 и A^0 – точки, в которых находились Цель и Атакующий соответственно в начальный момент времени ($\tau = 0$). Точки π_A^0 и π_A^t , в свою очередь, суть проекции точек A^0 и A^t на плоскость OT^0T^tau соответственно.

Выделенная на рис. 1 синим дуга $\cup T^0T^tT^tau$ – траектория движения Цели за время τ . Пусть v



момент времени $\tau=0$ Цель получила информацию, что из некоторой неизвестной начальной точки A^0 в верхней полусфере, расположенной на известном луче, выходящем из точки T^0 , прямолинейно с постоянной скоростью движется атакующий объект. Наклон прямой A^0T^0 при этом задается двумя углами: $\angle OT^0\pi_A^0 = \gamma$, $\angle A^0T^0\pi_A^0 = \lambda$.

Тогда для перехвата Цели в точке T^τ в момент времени τ Атакующий, начав движение из точки A^0 , должен двигаться по отрезку A^0T^τ . При этом длина пройденного Атакующим пути с момента старта будет составлять $A^0T^\tau = v_A\tau$.

Для противодействия Атакующему (чтобы он не перехватил Цель в точке T^τ) Цель выпускает в начальный момент времени $\tau=0$ Защитника, задача которого – перехватить Атакующего в упреждающей точке A^t в некоторый момент времени $t(\tau) \leq \tau$.

Для аналитического описания этого эпизода введем цилиндрическую систему координат с центром в точке O , осью Oz , направленной вверх перпендикулярно плоскости OT^0T^τ , и углом θ , отсчитываемым от прямой OT^0 в направлении движения Цели.

3. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ

Найдем координаты точки A^t в выбранной цилиндрической системе координат. Для этого рассмотрим треугольник ΔOT^0T^τ . Для него верны соотношения

$$\angle T^0OT^\tau = \eta = \frac{v_T}{R}\tau, T^0T^\tau = L = 2R \sin \frac{\eta}{2}. \quad (1)$$

Тогда угол

$$\angle T^\tau T^0\pi_A^0 = \zeta = \frac{\pi - \eta}{2} - \gamma.$$

Обозначим отрезок $T^0T^\tau = v$. Тогда по теореме косинусов для треугольника ΔOT^0T^τ

$$v^2 \cos^2 \lambda + L^2 - 2Lv \cos \lambda \cos \zeta = (T^\tau\pi_A^0)^2.$$

С другой стороны,

$$(T^\tau\pi_A^0)^2 + (A^0\pi_A^0)^2 = v_A^2\tau^2, \text{ где } A^0\pi_A^0 = v \sin \lambda$$

что приводит к следующему квадратному уравнению относительно v :

$$v^2 - 2Lv \cos \lambda \cos \zeta + L^2 - v_A^2\tau^2 = 0.$$

Его решение имеет вид

$$v = L \cos \lambda \cos \zeta \pm \sqrt{L^2 (\cos^2 \lambda \cos^2 \zeta - 1) + v_A^2\tau^2}.$$

Утверждение. При $v_A > v_T \forall \tau \geq 0$ справедливо неравенство

$$v_1 = L \cos \lambda \cos \zeta - \sqrt{L^2 (\cos^2 \lambda \cos^2 \zeta - 1) + v_A^2\tau^2} \leq 0.$$

Доказательство.

В случае, если первое слагаемое меньше нуля, неравенство автоматически верно. Поэтому рассмотрим случай, когда первое слагаемое неотрицательно.

Перенесем корень в правую часть неравенства и возведем в квадрат полученное выражение. Тогда получим неравенство

$$L^2 \cos^2 \lambda \cos^2 \zeta \leq L^2 (\cos^2 \lambda \cos^2 \zeta - 1) + v_A^2\tau^2.$$

Очевидно, что это неравенство равносильно следующему:

$$L^2 \leq v_A^2\tau^2.$$

С учетом равенств (1) последнее неравенство эквивалентно

$$2R \sin \left(\frac{v_T}{2R} \tau \right) \leq v_A \tau.$$

С учетом вида функций в левой и правой части неравенство будет верным, если верным является соответствующее неравенство для производных левой и правой частей при $\tau=0$:

$$v_T \leq v_A,$$

что действительно верно по условиям теоремы. ♦

В таком случае из подобия треугольников $\Delta T^\tau\pi_A^0A^0$ и $\Delta T^\tau\pi_A^tA^t$ (выделены желтым на рис. 1) координата z точки A^t выражается как

$$z = \pi_A^t A^t = v \sin \lambda \cdot \frac{\tau - t}{\tau}.$$

Следующим шагом найдем косинус угла $\angle OT^\tau\pi_A^0 = \omega$. Для этого запишем теорему косинусов для треугольников $\Delta OT^0\pi_A^0$ и $\Delta OT^\tau\pi_A^0$:

$$(O\pi_A^0)^2 = R^2 + v^2 \cos^2 \lambda - 2Rv \cos \lambda \cos \gamma,$$

$$(O\pi_A^0)^2 = R^2 + v_A^2\tau^2 - v^2 \sin^2 \lambda -$$

$$- 2R\sqrt{v_A^2\tau^2 - v^2 \sin^2 \lambda} \cos \omega.$$

Приравнивая правые части равенств, получаем выражение для $\cos \omega$:

$$\cos \omega = \frac{v_A^2\tau^2 + 2Rv \cos \lambda \cos \gamma - v^2}{2R\sqrt{v_A^2\tau^2 - v^2 \sin^2 \lambda}}.$$

Далее, записывая теорему косинусов для треугольника $\Delta OT^\tau\pi_A^t$, выводим следующее выражение для отрезка:

$$(O\pi_A^t)^2 = r^2 = R^2 + v_A^2(\tau - t)^2 -$$

$$- z^2 - 2R\sqrt{v_A^2(\tau - t)^2 - z^2} \cos \omega.$$

Аналогично, записывая для этого же треугольника теорему синусов, находим

$$\sin \varphi = \frac{\sqrt{v_A^2 (\tau - t)^2 - z^2}}{r} \sin \omega, \text{ где } \varphi = \angle T^\tau O \pi_A^t.$$

Таким образом, получаем следующие выражения для локализации точки A^t в цилиндрической системе координат:

$$z = v \sin \lambda \cdot \frac{\tau - t}{\tau}, \quad (2)$$

$$r^2 = R^2 + v_A^2 (\tau - t)^2 - z^2 - 2R \sqrt{v_A^2 (\tau - t)^2 - z^2} \cos \omega, \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \theta &= \eta + \varphi \\ &= \eta + \arcsin \frac{\sqrt{v_A^2 (\tau - t)^2 - z^2}}{r} \sin \omega. \end{aligned} \quad (4)$$

Замечание. Имеет место также другой случай расположения прямой $O\pi_A^0$, отличный от представленного на рис. 1 – когда эта прямая пересекает отрезок $T^0 T^\tau$. Такая конфигурация геометрических объектов приводит к тому, что в последней формуле итоговый координатный угол θ будет выражаться разностью углов (5), а не суммой (4), что нужно учитывать при моделировании:

$$\theta = \eta - \varphi. \quad (5)$$

Непосредственной проверкой также можно убедиться, что изменения других величин, например, угла ζ , на конечный результат влияния не оказывают. ♦

Таким образом, в момент времени t защитник должен находиться в точке A^t с координатами, удовлетворяющими уравнениям (2)–(4). При этом известно, что в цилиндрической системе координат квадрат модуля скорости удовлетворяет равенству [23]

$$v_D^2 = \dot{r}^2 + r^2 \dot{\theta}^2 + \dot{z}^2, \quad (6)$$

где точка означает оператор производной $\frac{d}{d\tau}$.

С учетом того, что $r = r(t(\tau), \tau)$, $\theta = \theta(t(\tau), \tau)$, $z = z(t(\tau), \tau)$, подстановка выражений (2)–(4) в формулу (6) приводит к следующему уравнению динамики для времени перехвата $t(\tau)$:

$$A(t(\tau), \tau) \dot{t}^2 + B(t(\tau), \tau) \dot{t} + C(t(\tau), \tau) = 0. \quad (7)$$

Коэффициенты уравнения (7) получаются путем дифференцирования равенств (2)–(4). Собственно аналитические выражения для этих коэф-

фициентов были получены при помощи пакета символьных вычислений Maple; в частности, оказалось, что $A(t(\tau), \tau) = v_A^2$. Другие же коэффициенты, ввиду их громоздкости, здесь не приводятся.

Уравнение (7), как квадратное по $\dot{t}(\tau)$, можно записать в виде, разрешенном относительно производной

$$\begin{aligned} \dot{t}(\tau) &= (-B(t(\tau), \tau) \pm \\ &\pm \sqrt{B^2(t(\tau), \tau) - 4A(t(\tau), \tau)C(t(\tau), \tau)}) \times \\ &\times (2A(t(\tau), \tau))^{-1}. \end{aligned}$$

В качестве начального условия выберем $t(0) = 0$. Это делается из тех соображений, что для перехвата Цели в момент времени $\tau = 0$ Атакующий и Цель должны находиться в одной точке пространства. Это означает, что позиция Защитника должна совпадать с положением Цели и Атакующего в один и тот же момент времени, т. е. время перехвата равно нулю.

4. ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

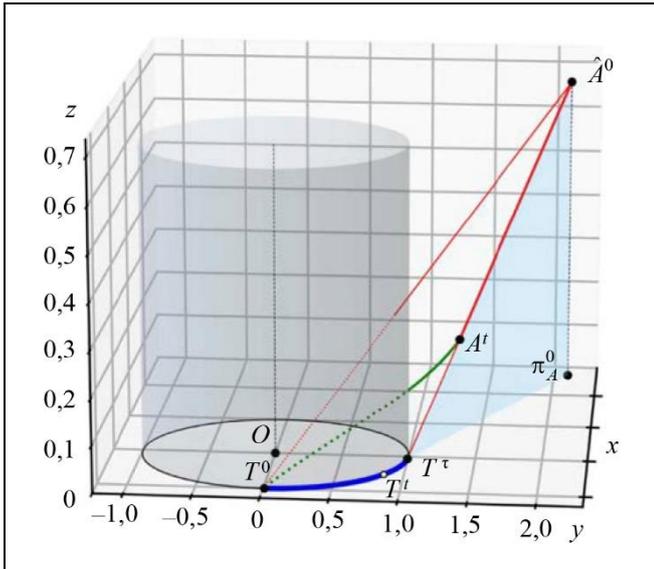
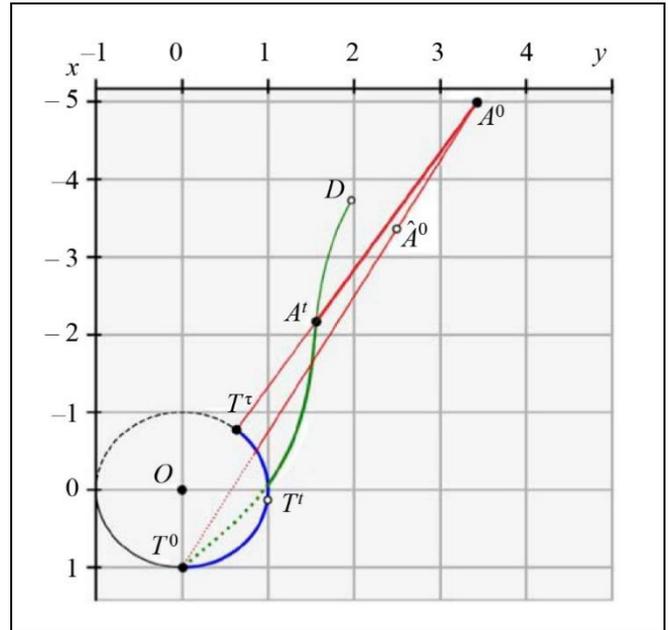
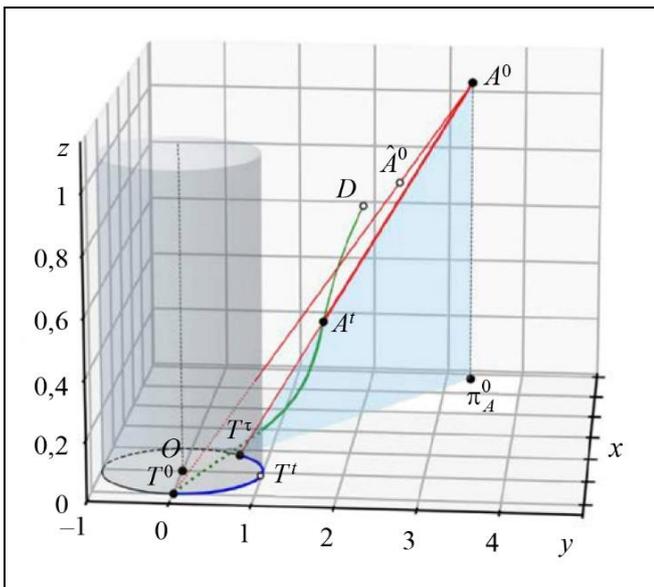
Выберем следующие значения параметров модели:

$$\begin{aligned} R &= 1, v_A = 1, v_D = \frac{3}{4}, v_T = \frac{1}{2}, \\ \gamma &= \frac{\pi}{6}, \lambda = 0,05\pi, \tau \in [0; 3,5]. \end{aligned}$$

При таких значениях параметров численное моделирование дает результат, представленный на рис. 2. На нем серым цветом выделен цилиндр радиуса R , построенный на окружности O , по которой уклоняется Цель. Толстой синей линией (дуга $\cup T^0 T^\tau$) выделена траектория движения Цели, толстой красной линией (отрезок $\hat{A}^0 A^t$) выделена траектория движения Атакующего, толстой зеленой линией ($T^0 A^t$) выделена траектория движения Защитника. При этом пунктиром выделена часть траектории, лежащая внутри цилиндра.

Прямая $T^0 \hat{A}^0$ – линия начального пеленга, \hat{A}^0 – точка, из которой должен начать движение Атакующий, чтобы перехватить Цель в точке T^τ , а точка π_A^0 есть проекция точки \hat{A}^0 на плоскость окружности O .

Проведем моделирование при тех же значениях параметров, но увеличим время моделирования до 5. Результаты приведены на рис. 3 и 4.

Рис. 2. Результаты численного моделирования при $\tau \in [0; 3,5]$ Рис. 4. Результаты численного моделирования при $\tau \in [0; 5]$ в проекции на плоскость xy Рис. 3. Результаты численного моделирования при $\tau \in [0; 5]$

На рис. 3 и 4 введены те же обозначения, что и на рис. 2, но здесь \hat{A}^0 – точка, из которой должен начать движение Атакующий, чтобы перехватить Цель в момент времени $\tau = 3,5$ (т. е. совпадающая с точкой \hat{A}^0 на рис. 2), а A^0 есть точка, из которой должен начать движение Атакующий, чтобы перехватить Цель в точке T^τ при $\tau = 5$.

При этом, если провести моделирование до $\tau = 7$, то после точки A^1 Защитник продолжит движение по кривой A^1D до некоторой точки D и далее.

Интересным представляется также случай использования двух или более защитников. В рассмотренной постановке это не имеет смысла, так как точку возможного перехвата можно восстановить однозначно, используя имеющуюся информацию о движении атакующего. Однако, например, если скорость атакующего неизвестна, но может принимать лишь ограниченное число значений, то можно построить множество точек возможного перехвата, которые, в свою очередь, можно распределить по защитникам и к каждой применить описанный выше алгоритм. Более того, в такой постановке имеет смысл распределение атакующих объектов по степени опасности, что будет рассмотрено в дальнейшем.

Известным может быть в том числе и диапазон значений скорости атакующего. В таком случае имеет смысл постановка оптимизационной задачи, решением которой была бы траектория защитника, обеспечивающая минимальную вероятность перехвата цели. Естественно предположить, что использование более чем одного защитника в такой задаче может существенно повысить выживаемость защищаемого объекта.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотрен маневр уклонения равномерно движущейся по окружности на плоскости Цели от атаки из верхней полусферы равномерно и прямо-

линейно движущегося атакующего игрока. Для срыва атаки Цель использует мобильного Защитника, который, двигаясь программно, по угловой информации об Атакующем в момент начала преследования, строит свой маневр так, чтобы перехватывать все опасные для Цели (в смысле точечной встречи с Преследователем) траектории движения Преследователя.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ivanov, M.N., Maslov, E.P.* On One Problem of Deviation // Automation and Remote Control. – 1984. – Vol. 45, no. 8. – P. 1008–1014.
2. *Zheleznov, V.S., Kryakovskii B.S., Maslov, E.P.* On a Catch Problem // Automation and Remote Control. – 1996. – Vol. 57, no. 8. – P. 1072–1078.
3. *Rubinovich, E.Ya.* Missile-Target-Defender Problem with Incomplete a Priori Information // Dynamic Games and Applications. – 2019. – Vol. 9. – P. 851–857.
4. *Boydell, R.L.* Defending a Moving Target against Missile or Torpedo Attack // IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst. – 1976. – Vol. AES-12, no. 4. – P. 582–586.
5. *Boydell, R.L.* Counterweapon Aiming for Defence of a Moving Target // IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst. – 1980. – Vol. AES-16, no. 3. – P. 402–408.
6. *Shneydor, N.A.* Comments on “Defending a Moving Target against Missile or Torpedo Attack” // IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst. – 1977. – Vol. AES-13, no. 3. – P. 321–321.
7. *Garcia, E., Casbeer, D.W., Pham, K. and Pachter, M.* Cooperative Aircraft Defense from an Attacking Missile // Proc. of the 53th IEEE Conference on Decision and Control (CDC). – Los Angeles, USA, 2014. – P. 2926–2931.
8. *Pachter, M., Garcia, M., and Casbeer, D.W.* Active Target Defense Differential Game // Proceedings of 52nd Annual Allerton Conference on Communication, Control, and Computing. – Allerton, 2014. – P. 46–53.
9. *Perelman, A., Shima, T., and Rusnak, I.* Cooperative Differential Games Strategies for Active Aircraft Protection from a Homing Missile // Journal of Guidance, Control, and Dynamics. – 2011. – Vol. 34, no. 3. – P. 761–773.
10. *Rusnak, I., Weiss, H., and Hexner, G.* Guidance Laws in Target-Missile-Defender Scenario with an Aggressive Defender // Proc. of the 18th IFAC World Congress. – Milano, Italy, 2011. – P. 9349–9354.
11. *Rusnak, I.* The Lady, the Bandits and the Body-Guards – a Two Team Dynamic Game // Proc. of the 16th IFAC World Congress. – Prague, Czech Republic, 2005. – P. 441–446.
12. *Shima, T.* Optimal Cooperative Pursuit and Evasion Strategies against a Homing Missile // AIAA Journal of Guidance, Control, and Dynamics. – 2011. – Vol. 34, no 2. – P. 414–425.
13. *Yamasaki, T., and Balakrishnan, S.N.* Terminal Intercept Guidance and Autopilot for Aircraft Defense against an Attacking Missile via 3D Sliding Mode Approach // Proc. of the 2012 American Control Conference (ACC). – Montreal, 2012. – P. 4631–4636.
14. *Yamasaki, T., Balakrishnan, S.N., and Takano, H.* Modified Command to Line-of-Sight Intercept Guidance for Aircraft Defense // Journal of Guidance, Control, and Dynamics. – 2013. – Vol. 36, no. 3. – P. 898–902.
15. *Liu, Y., Qi, N., and Shan, J.* Cooperative Interception with Double-Line-of-Sight-Measuring // Proceedings of the AIAA Guidance, Navigation, and Control (GNC) Conference. – Reston: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2013. – Art. no. AIAA 2013-5112.
16. *Qi, N., Sun, Q., Zhao, J.* Evasion and Pursuit Guidance Law against Defended Target // Chinese Journal of Aeronautics. – 2017. – Vol. 30, no. 6. – P. 1958–1973.
17. *Weissand, M., Shimazand, T., Rusnak, I.* Minimum Effort Intercept and Evasion Guidance Algorithms for Active Aircraft Defense // Journal of Guidance, Control, and Dynamics. – 2016. – Vol. 39, no. 10. – P. 2297–2311.
18. *Garcia, E., Casbeer, D.W., Pachter, M.* Active Target Defense Differential Game with a Fast Defender // IET Control Theory and Applications. – 2017. – Vol.11, no. 17. – P. 2985–2993.
19. *Garcia, E., Casbeer, D.W., Pachter, M.* The Complete Differential Game of Active Target Defense // Journal of Optimization Theory and Applications. – 2021. – Vol. 191. – P. 1–25.
20. *Gong, X., Chen, W., Chen, Z.* Intelligent Game Strategies in Target-Missile-Defender Engagement Using Curriculum-Based Deep Reinforcement Learning // Aerospace. – 2023. – Vol. 10, no. 2. – Art. no. 133.
21. *Галяев А.А., Самохин А.С., Самохина М.А.* Моделирование отсрочки поимки цели в АДТ-игре с использованием одного или двух защитников // Проблемы управления. – 2024. – № 2. – С. 83–94. [*Galyaev, A.A., Samokhin, A.S., Samokhina, M.A.* Modeling of Target’s Interception Delay in an ADT Game with One or Two Defenders // Control Sciences. – 2024. – No. 2. – P. 72–87.]
22. *Потапов А.П., Галяев А.А.* Противодействие алгоритму наведения в игре трех игроков. // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2024. – Т. 25, № 11. – С. 575–584. [*Potapov, A.P., Galyaev, A.A.* Countermeasures Against the Attacker’s Homing Algorithm in a Game of Three Players // Mekhatronika, Avtomatizatsia, Upravlenie. – 2024. – Vol. 25, no. 11. – P. 575–584. (In Russian)]
23. *Маркеев А.П.* Теоретическая механика: Учебник для университетов. – М.: ЧеРо, 1999. – 572 с. [*Markeev, A.P.* Teoreticheskaya mekhanika: Uchebnik dlya universitetov. – М.: ЧеРо, 1999. – 572 s. (In Russian)]

Статья представлена к публикации членом редколлегии В.Н. Афанасьевым.

Поступила в редакцию 31.10.2024,
после доработки 04.12.2024.
Принята к публикации 05.12.2024.

Потапов Антон Павлович – математик,
✉ e-mail: potapov@ipu.ru
ORCID iD: <https://orcid.org/0009-0008-5899-5588>

Рубинович Евгений Яковлевич – д-р техн. наук,
✉ e-mail: rubinvch@gmail.com
ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-2949-0440>

Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН,
г. Москва.

© 2024 г. Потапов А. П., Рубинович Е. Я.



Эта статья доступна по [лицензии Creative Commons «Attribution» \(«Атрибуция»\) 4.0 Всемирная](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).



BUILDING A DEFENDER'S 3D PROGRAM PATH IN AN ADT GAME WITH INCOMPLETE A PRIORI TARGET INFORMATION

A. P. Potapov* and E. Ya. Rubinovich**

Trapeznikov Institute of Control Sciences, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

*✉ potapov@ipu.ru, **✉ rubinvch@gmail.com

Abstract. This paper is devoted to an Attacker–Defender–Target (ADT) game in the 3D space. The Target makes flat circumferential movements with a constant velocity. The Attacker moves uniformly and rectilinearly from an arbitrary point in the upper hemisphere. The distinctive feature of the problem statement is that the Target has an onboard mobile Defender. The Defender is intended to intercept the Attacker's possible paths dangerous to the Target (in the pointwise meeting sense). This task is complicated since the Target and Defender do not see the Attacker during the movements. They know only the initial bearing; the current bearing and the initial and current distances to the Attacker remain uncertain. For this reason, the Target and Defender are assumed to move along a program path.

Keywords: ADT game, program movements, path curvature constraints.

Funding. This work was supported in part by the Russian Science Foundation, project no. 23-29-00448.