

УКЛОНЕНИЕ ПОДВИЖНОГО ОБЪЕКТА В КОНФЛИКТНОЙ СРЕДЕ ОТ ОБНАРУЖЕНИЯ СИСТЕМОЙ РАЗНОРОДНЫХ НАБЛЮДАТЕЛЕЙ

Т.Г. Абрамянц, А.А. Галяев, Е.П. Маслов, И.М. Рудько, В.П. Яхно

Представлены формализация и результаты решения задачи об уклонении на плоскости подвижного объекта от обнаружения системой разнородных неподвижных наблюдателей, осуществляющих обнаружение объекта по излучаемым последним сигналам первичного (пассивный режим) и переизлученного вторичного (активный режим) полей. Приведены результаты моделирования.

Ключевые слова: поиск подвижного объекта, система разнородных наблюдателей, оптимальный закон уклонения от обнаружения.

ВВЕДЕНИЕ

В связи с широким применением разнообразных беспилотных аппаратов в целях охраны и предотвращения несанкционированного доступа на охраняемую территорию в последние годы сформировался новый класс задач поиска — уклонения. В англоязычной литературе этот класс задач получил название «Path Planning in the Threat Environment» [1], в русскоязычной — задачи управления подвижными объектами в конфликтной среде [2, 3]. Под конфликтной средой понимается совокупность объектов (их называют конфликтующими), сближение с которыми для управляемого объекта нежелательно в ходе выполнения им основной задачи. Цель управления объектом, при движении в конфликтной среде, заключается в минимизации негативного воздействия конфликтующих объектов на управляемый объект путем выбора его маршрута и параметров движения. Негативным воздействием является факт обнаружения объекта.

Для описания механизмов обнаружения в литературе наиболее часто применяются два подхода [1—8]. Один из них состоит в оценке интегрального уровня сигнала, поступившего на вход относительно пространственно распределенной информационно-наблюдательной системы за все время

наблюдения. В литературе такую систему принято называть сенсором [3]. Оценка интегрального уровня сигнала на входе сенсора определяется с учетом решения задачи об оптимизации закона управления подвижным объектом, перемещающимся в течение заданного промежутка времени из фиксированной начальной точки в фиксированную конечную точку маршрута и уклоняющимся при этом от обнаружения наблюдателем (группой наблюдателей), расположенным в заданном районе. Этот механизм соответствует процессу обнаружения объекта по сигналам первичных полей. Задачи об оптимизации закона уклонения подвижного объекта от обнаружения по излучаемым объектом сигналам первичных полей рассматривались в ряде работ. Постановки задач отличаются предположениями о характеристиках информационных полей, в которых происходит обнаружение, классами допустимых законов управления, видом критериев качества, числом обнаружителей, объемом и характером информации, доступной конфликтующим сторонам — см. статьи [3—5] и библиографию к ним.

Другой подход к описанию механизма обнаружения состоит в том, что наблюдатель отождествляется с точечным объектом, снабженным круговой зоной обнаружения фиксированного радиуса, центр которой совпадает с текущей позицией наблюдателя. В литературе такой наблюдатель при-

нято называть информационным детектором (или просто детектором). Цели, попавшие внутрь круга, обнаруживаются достоверно; цели, не попавшие в круг, не обнаруживаются. Радиус этого круга для краткости будем называть радиусом детектора. Указанный подход описан, например, в работе [6] и соответствует модели обнаружения объекта по вторичному (переизлученному им) полю.

Развитие постановок задач заключается в учете ограничений на траекторию уклонения и/или управление (скорость) уклоняющегося. Ограничения на траекторию имеют место, например, при решении задачи о форсировании канала [8] — физическими ограничениями служат границы канала; в статье [8] описано решение задачи об оптимизации закона уклонения от обнаружения при наличии прямолинейного координатного ограничения.

Задача об оптимизации закона управления подвижным объектом при наличии разнородных средств обнаружения, рассматриваемая в настоящей статье, авторами также трактуется как задача оптимизации при наличии ограничений на траекторию уклонения. Систему разнородных наблюдателей образуют сенсоры и детекторы — в том информационном смысле, который был им придан выше. Так как попадание подвижного объекта в круговую зону обнаружения детектора с неизбежностью приводит к его мгновенному обнаружению, то задача об оптимизации закона уклонения от обнаружения системой разнородных наблюдателей сводится к задаче уклонения от обнаружения сенсором (системой сенсоров), но при наличии круговых запретных зон (круговых ограничений) — зон обнаружения детекторов.

Особенность задач уклонения от обнаружения состоит в том, что во всех случаях текущий уровень сигнала I на входе наблюдателя зависит от текущей дистанции D до уклоняющегося объекта, а для некоторых полей — и от текущей скорости v объекта. Для описания указанной зависимости в литературе широко используется степенная модель [3]:

$$I \sim v^m/D^k. \quad (1)$$

Показатель степени k служит характеристикой физического поля, в котором осуществляется обнаружение. Показатель степени m характеризует зависимость уровня интенсивности излучаемого сигнала от скорости движения объекта. Такая зависимость имеет место для сигналов первичного гидроакустического поля. Задача уклонения от обнаружения по сигналам гидроакустических полей рассматривается далее.

1. ПОСТАНОВКА И РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ

На плоскости, в декартовой системе координат XOY , в течение заданного времени T из фиксированной начальной точки $A(x_A, y_A)$ в фиксированную конечную точку $B(x_B, y_B)$ маршрута перемещается подвижный объект. На плоскости расположены $M(a_i, b_i)$ сенсоров, $i = 1, \dots, M$, и $N(f_s, g_s)$ детекторов, $s = 1, \dots, N$; каждый детектор имеет круговую зону обнаружения радиуса r_s .

Критерием служит вероятность обнаружения объекта, т. е. вероятность обнаружения хотя бы один раз хотя бы одним сенсором за время движения объекта по маршруту. Оптимизация сводится к нахождению траектории и закона изменения скорости объекта, доставляющих минимум указанному критерию, при условии, что попадание объекта внутрь зоны обнаружения какого-либо детектора исключается.

Критерий образуется следующим образом. Известно, что большинство приемных систем работает периодически, накапливая и обрабатывая сигнал в течение фиксированного времени (однократное наблюдение) T_0 . Затем процесс повторяется [9, 10].

Вероятность обнаружения объекта отдельным сенсором по результатам обработки информации за время однократного наблюдения вычисляется по формуле [10–12]

$$P_{\text{обн}}(v, D) = 1 - F_n\left(\frac{h_F}{\sigma_c^2(v, D)/\sigma_{\text{ш}}^2 + 1}\right), \quad (2)$$

где $F_n(\cdot)$ — функция χ^2 -распределения с n степенями свободы,

$$F_n(x) = \frac{1}{2^{n/2}\Gamma(n/2)} \int_0^x u^{n/2-1} e^{-u/2} du. \quad (3)$$

Приняты следующие обозначения: $\sigma_{\text{ш}}^2$ — дисперсия помех (шума) на входе приемной системы сенсора; $\sigma_c^2 = \sigma_c^2(v, D)$ — дисперсия сигнала, излученного объектом, прошедшего через среду распространения и поступившего на вход сенсора, которая зависит от текущей скорости движения объекта v и текущего расстояния D между ним и сенсором; h_F — квантиль уровня $(1 - \alpha)$ χ^2 -распределения с n степенями свободы, $\alpha = P_{\text{лт}}$ — вероятность ложной тревоги; $n = 2T_0\Delta F$, ΔF — полоса пропускания входного фильтра системы обнаружения.

В рамках степенной модели (1) дисперсия σ_c^2 описывается формулой [9, 10]

$$\sigma_c^2 = \sigma_{c0}^2 (v/v_0)^m (D_0/D)^k, \quad (4)$$

где σ_{c0}^2 — интенсивность сигнала (т. е. энергия сигнала, излученная объектом) в стандартных условиях (в гидроакустике измеряемая обычно на частоте 1 кГц в полосе 1 Гц на расстоянии $D_0 = 1$ м от точки излучения [9]); отношение $(v/v_0)^m$ — определяет степенную зависимость энергии сигнала объекта от его скорости, v_0 — эталонная (например, минимальная малозумная) скорость. Наиболее часто используется квадратичная зависимость затухания сигнала от дистанции ($k = 2$), определяемая сферическим законом распространения сигнала в среде.

Дисперсия $\sigma_{ш}^2$ на входе приемной системы определяется интенсивностью (энергией) помехи в районе расположения приемника и характеристикой его направленности (коэффициентом концентрации антенны A):

$$\sigma_{ш}^2 = \sigma_m^2 / A, \quad (5)$$

где σ_m^2 — энергия помехи на входе пространственного фильтра (антенны) сенсора, определяемой уровнем морского волнения, интенсивностью судорождства в районе и др.

В гидроакустике [9] отношение сигнал/помеха принято выражать в терминах отношения интенсивностей сигналов. В том случае, когда спектральные плотности мощности сигнала и помехи можно считать постоянными в пределах анализируемого частотного диапазона, а зависимость уровня интенсивности излученного объектом сигнала от его скорости и закон распространения гидроакустического сигнала в среде носят степенной характер, формулы (2), (4), (5) переписываются следующим образом:

$$P_{обн}(v, D) = 1 - F_n \left(\frac{h_F}{\frac{I_c(v, D)}{I_{ш}} + 1} \right).$$

$$I_c(v, D) = I_c(v_0) \left(\frac{v}{v_0} \right)^m \left(\frac{D_0}{D} \right)^2,$$

$$I_{ш} = \frac{I_n(f)}{A(f)}.$$

На рис. 1 изображен график зависимости вероятности обнаружения объекта $P_{обн}(v, D)$ от рас-

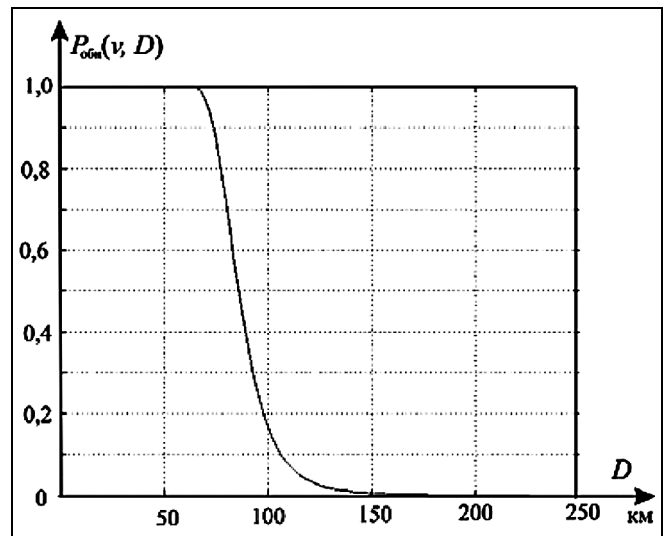


Рис. 1. Зависимость вероятности обнаружения объекта от расстояния

стояния D между объектом и сенсором за время однократного наблюдения. График рассчитан для значений параметров [9]: $v_0 = 1$ м/с; $v = 2$ м/с; $I_c(v_0) = 94$ дБ; $I_n(f) = 48$ дБ; $A(f) = 300$.

В том случае, когда длительность T_0 обработки однократного наблюдения намного меньше времени T движения объекта по маршруту и в течение одного наблюдения скорость объекта и расстояние его до наблюдателя можно считать постоянными, вероятность обнаружения объекта одним сенсором хотя бы один раз за время движения по маршруту находится по формуле:

$$P_{обн} = 1 - \prod_{j=1}^J (1 - P_{обн}(v_j, D_j)), \quad (6)$$

где $J = T/T_0$, v_j — скорость объекта, D_j — расстояние между объектом и сенсором в пределах j -го однократного наблюдения.

В случае, когда имеется M сенсоров, принимающих решения об обнаружении независимо, вероятность обнаружения объекта хотя бы один раз хотя бы одним сенсором за время движения объекта по маршруту определяется по формуле:

$$P_{обн}^T = 1 - \prod_{j=1}^J \prod_{i=1}^M (1 - P_{обн}(v_j, D_{ji})), \quad (7)$$

где D_{ji} — расстояние между объектом и i -м наблюдателем на j -м однократном наблюдении.

В работе [13] показано, что в том случае, когда отношение сигнал/помеха на входах приемных систем сенсоров мало в течение всего времени

движения объекта по маршруту, все сенсоры имеют одинаковые характеристики, применяют одинаковые алгоритмы обработки информации и осуществляют прием в одних и тех же помеховых условиях, а ограничения на траекторию движения объекта отсутствуют, оптимизация закона уклонения подвижного объекта от обнаружения сводится к решению вариационной задачи о минимизации функционала

$$R = \int_0^T \sum_{i=1}^M \frac{(\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2})^m}{(x(t) - a_i)^2 + (y(t) - b_i)^2} dt \rightarrow \min_{(\dot{x}, \dot{y}, x, y)} \quad (8)$$

при наличии граничных условий

$$x(0) = x_A, \quad x(T) = x_B, \quad y(0) = y_A, \quad y(T) = y_B. \quad (9)$$

Интеграл (8) пропорционален энергии, поступившей на систему обнаружения за время движения объекта по маршруту, и получил название риска.

Обозначим $d(s, t)$ — текущее расстояние между объектом и детектором с номером s . Тогда в течение всего маршрута должно выполняться неравенство

$$\min_{0 \leq t \leq T} [d(s, t) - r_s] > 0, \quad s = 1, \dots, N. \quad (10)$$

Система (8)–(10) определяет постановку вариационной задачи об оптимизации закона уклонения подвижного объекта от обнаружения системой сенсоров и детекторов. Для найденного решения вариационной задачи далее по формулам (2), (3), (6) и (7) вычисляется вероятность обнаружения (или необнаружения) объекта за все время его движения по маршруту.

Конкретно, в данной статье вероятность необнаружения определяется как величина, соответствующая целям маневрирования.

В том случае, когда система обнаружения включает в себя один сенсор, задача (8)–(10) решается аналитически, независимо от числа детекторов, входящих в систему. В статьях [4, 5] приведено аналитическое решение задачи об уклонении объекта от обнаружения системой, состоящей из единственного сенсора. В работе [14] приведено аналитическое решение задачи уклонения от обнаружения системой, состоящей из одного сенсора и одного детектора.

Однако аналитическое решение задачи об оптимизации закона уклонения подвижного объекта от системы, содержащей более одного сенсора, в литературе неизвестно. Для решения задач уклонения от систем обнаружения с несколькими сенсорами был разработан ряд вычислительных ме-

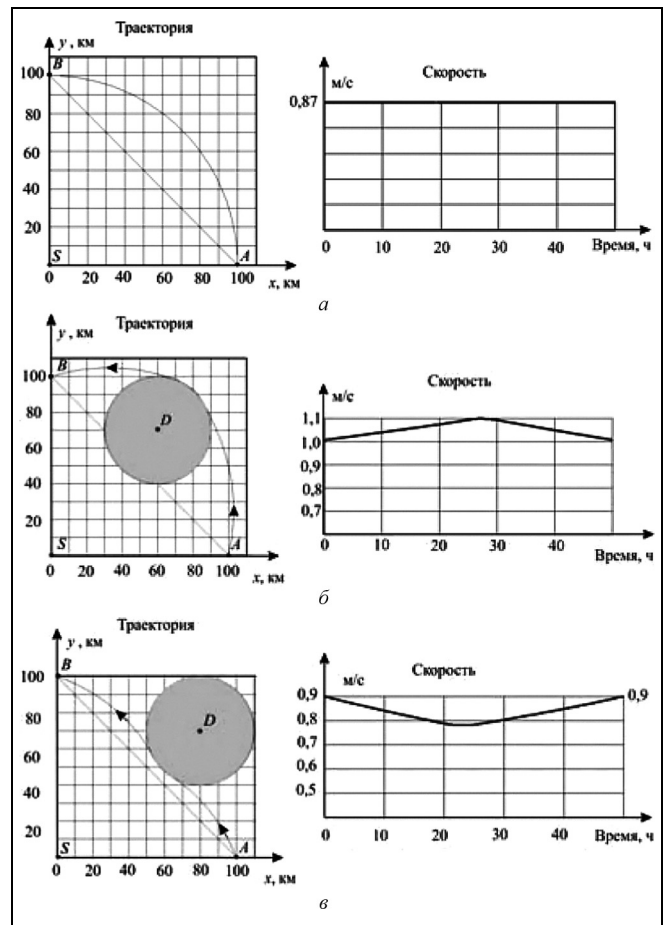


Рис. 2. Результаты верификации алгоритма оптимизации: а — система обнаружения в составе сенсора; б, в — системы обнаружения в составе сенсора и детектора

тодов на основе алгоритма Дейкстры [15]. Для решения отдельных задач эти методы описаны, например, в статьях [1, 11, 12]. Перед применением алгоритма Дейкстры представляется корректным провести его верификацию для рассматриваемой задачи, а именно, сравнить результаты моделирования и результаты решения аналогичной теоретической задачи, для которой оптимальный закон управления получен аналитическими методами.

Аналитическое решение задачи (8)–(10) об уклонении от обнаружения системой, состоящей из одного сенсора и одного детектора, было использовано для верификации применимости метода для решения задачи оптимизации с несколькими сенсорами при квадратичной зависимости уровня излучаемой энергии от скорости движения объекта ($m = 2$ в формуле (8)). Верификация проводилась путем сравнения рисков, найденных при решении задач уклонения аналитически и методом моделирования. Вначале была решена задача ук-



лонения от обнаружения системой, состоящей из единственного сенсора. В результате были найдены оптимальная траектория уклонения, оптимальный закон изменения скорости и размер риска, соответствующего оптимальному закону управления. Затем в систему обнаружения был добавлен детектор. Расположение детектора на плоскости выбиралось так, чтобы через соответствующий круг обнаружения проходил значительный участок оптимальной траектории уклонения, найденной в предыдущей задаче (в отсутствие детектора). Для двух различных расположений детектора аналитически были решены задачи оптимизации, найдены соответствующие значения риска и вычислены относительные приращения рисков, соответствующие расширению состава системы обнаружения. Затем для тех же трех конфигураций системы обнаружения были найдены решения оптимизационных задач методом моделирования и вычислены значения тех же относительных приращений рисков. Результаты практически совпали с аналогичными значениями, найденными аналитически. Такая высокая точность аппроксимации позволила рассматривать численный метод в качестве возможного способа оптимизации закона управления подвижным объектом в задачах уклонения от обнаружения системой, состоящей из групп сенсоров и детекторов. Полученные моделированием в задачах верификации оптимальные траектории уклонения и графики изменения скорости объекта иллюстрируются рис. 2. Сенсор находится в начале координат. Объект переходит из точки $A(100; 0)$ км в точку $B(0; 100)$ км за 50 ч; координаты точек расположений двух детекторов $(60; 70)$ км и $(80; 70)$ км; радиус детектора 30 км. Траектории движения объекта снабжены стрелками.

2. РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Целями моделирования были оптимизация закона уклонения объекта от обнаружения системой, включающей в себя несколько сенсоров и детекторов; оценка вклада каждого сенсора в вероятность обнаружения объекта; оценка зависимости вероятности обнаружения объекта от числа и расположения систем обнаружения.

Результаты моделирования иллюстрируются рис. 3–6. Рисунки отличаются составом наблюдателей в районе. На рисунках указаны положения начальной A и конечной B точек маршрута, количество и расположение сенсоров S_i и детекторов D_i . Перемещение объекта происходит в районе размерами 240×300 км в течение 45 ч. Положения точек $A(160; 90)$, $B(80; 300)$, $S_1(200; 90)$ км фиксированы во всех вычислительных экспериментах.

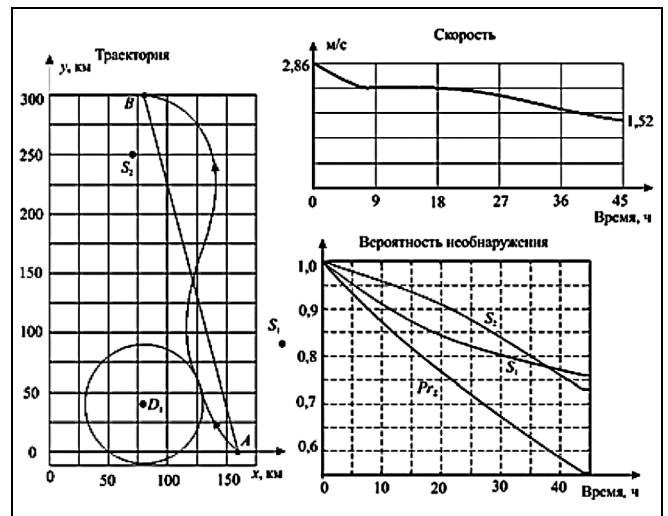


Рис. 3. Траектория объекта и параметры его движения (два сенсора, один детектор): координаты сенсоров, детектора и его радиус: $S_1(200, 90)$; $S_2(70, 250)$; $D_1(80, 40)$; $r_1 = 50$, вероятности необнаружения: $Pr(S_1) = 0,756$; $Pr(S_2) = 0,730$, $Pr_\Sigma = 0,552$

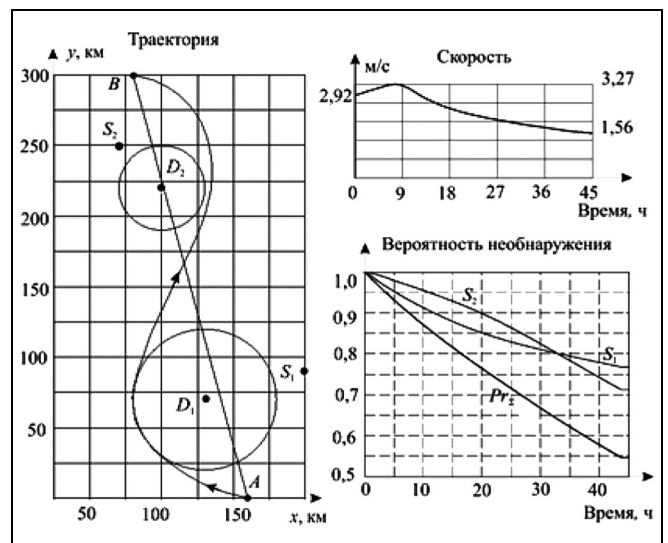


Рис. 4. Траектория объекта и параметры его движения (два сенсора и два детектора): координаты сенсоров и детекторов и их радиусы: $S_1(200, 90)$, $S_2(70, 250)$; $D_1(130, 70)$; $r_1 = 50$, $D_2(100, 220)$; $r_2 = 30$, вероятности необнаружения: $Pr(S_1) = 0,767$; $Pr(S_2) = 0,711$, $Pr_\Sigma = 0,545$

На каждом из рис. 3–6 изображены:

— составляющие оптимального закона управления подвижным объектом — оптимальная траектория уклонения (снабженная стрелками) и оптимальный закон изменения скорости как функция текущего момента времени; на всех графиках указано максимальное значение скорости объекта на траектории, ось абсцисс соответствует нулевой

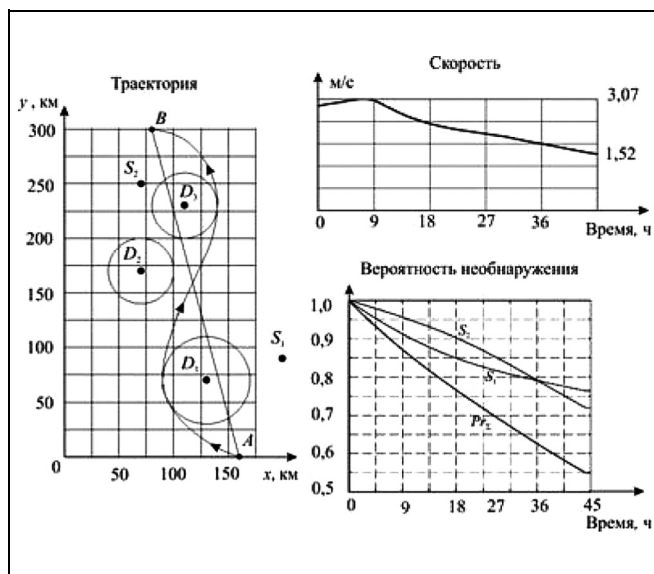


Рис. 5. Траектория объекта и параметры его движения (два сенсора и три детектора): координаты сенсоров и детекторов и их радиусы: $S_1(200, 90)$; $S_2(70, 250)$; $D_1(130, 70; r_1 = 40)$, $D_2(70, 170; r_2 = 30)$, $D_3(110, 230; r_3 = 30)$; вероятности необнаружения: $Pr(S_1) = 0,763$; $Pr(S_2) = 0,719$, $Pr_{\Sigma} = 0,55$

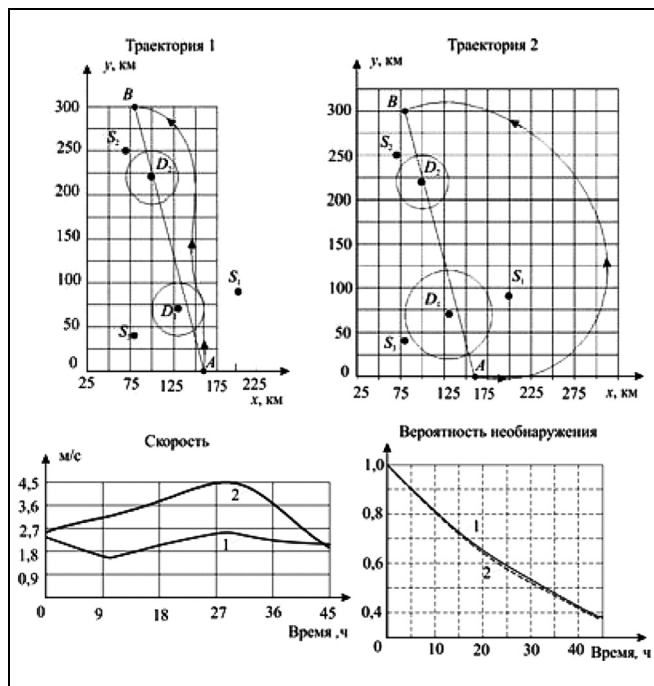


Рис. 6. Траектория объекта и параметры его движения (три сенсора и два детектора): координаты начальной $A(160, 90)$ и конечной $B(80, 300)$ точек траектории; координаты сенсоров, детекторов и их радиусы: $S_1(200, 90)$; $S_2(70, 250)$; $S_3(80, 40)$; $D_1(130, 70; r_1 = 30)$; $D_2(100, 220; r_2 = 30)$; вероятности необнаружения: $Pr(S_1) = 0,692$, $Pr(S_2) = 0,695$, $Pr_{\Sigma} = 0,38$

скорости; на некоторых графиках указаны также значения начальной и конечной скоростей;

— значения вероятности необнаружения объекта, как функции текущего момента времени, рассчитанные для каждого сенсора и системы сенсоров в целом; индекс S_i при кривой указывает номер соответствующего сенсора; индексом Pr_{Σ} снабжена результирующая кривая, характеризующая вероятность необнаружения системой в целом.

Введение нового сенсора или детектора в систему наблюдателей приводит к изменению положения и увеличению числа локальных минимумов функционала обнаружения при решении задачи оптимизации. Однако только один из этих минимумов будет глобальным при произвольном выборе положения и типов наблюдателей. Значения функционала обнаружения на траекториях, соответствующих локальным минимумам, могут различаться сколь угодно мало. Поэтому подбирая параметры сенсоров и детекторов, можно добиться ситуации бифуркации траекторий, когда одному и тому же значению функционала соответствует несколько оптимальных траекторий движения объекта. Пример возникновения бифуркации иллюстрируется рис. 6. В многопараметрической задаче изменялся единственный параметр — радиус обнаружения детектора D_1 ; в расчетах радиусы полагались равными 30 км и 50 км. Индекс 1 относится к первому случаю, индекс 2 — ко второму. Несмотря на существенную разницу траекторий и законов изменения скорости графики вероятности необнаружения практически совпадают на всем протяжении маршрута.

На практике имеет смысл предъявлять для сравнения все траектории локального минимума функционала, достаточно близкие к оптимальной, с указанием значений вероятности с целью последующего выбора более удобного, в смысле других критериев, маршрута для подвижного объекта.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведены результаты решения задачи об уклонении на плоскости подвижного объекта от обнаружения системой разнородных неподвижных наблюдателей (сенсоров и детекторов), осуществляющих обнаружение объекта по излучаемым объектом сигналам первичного (пассивный режим) и переизлученного вторичного (активный режим) полей. Задача решена в предположении, что зона обнаружения детектора представляет собой круг с центром, совпадающим с положением детектора, а попадание объекта в эту зону приводит к мгновенному и достоверному его обнаружению. При этом предположении задача об оптимизации закона уклонения от обнаружения по



совокупности полей сведена к задаче уклонения от обнаружения по сигналам первичного поля, но при наличии траекторных ограничений, связанных с наличием детекторов.

Направления дальнейших исследований могут быть связаны с формализацией и решением задачи об оптимизации закона уклонения от обнаружения системами, в состав которых входят подвижные обнаружители, а также с учетом неполноты информации о расположении и параметрах системы обнаружения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Zabaranin M., Uryasev S., Pardalos P. Optimal Risk Path Algorithms // Cooperative Control and Optimization. Ch. 1 / Eds. Murphrey R., Pardalos P. — Dordrecht: Kluwer Acad., 2002. — P. 271–303.
2. Воронин А.Н., Ясинский А.Г., Шворов С.А. Синтез компромиссно-оптимальных траекторий мобильных роботов в конфликтной среде // Проблемы управления и информатики. — 2002. — № 2. — С. 12–18.
3. Бортовой комплекс управления скрытностью морских подводных объектов с оперативно-советующей системой // Е.И. Якушенко и др. // Вестник компьютерных и информационных технологий. — 2012. — № 10. — С. 9–16.
4. Галяев А.А., Маслов Е.П., Рубинович Е.Я. Об одной задаче управления движением объекта в конфликтной среде // Изв. РАН. Теория и системы управления. — 2009. — № 3. — С. 134–140.
5. Галяев А.А., Маслов Е.П. Оптимизация законов уклонения подвижного объекта от обнаружения // Изв. РАН. Теория и системы управления. — 2010. — № 4. — С. 52–62.
6. Szechtman R., Kress M., Lin R. Models of Sensor operations for border Surveillance // Naval Research Logistic. — 2008. — Vol. 55. — N 3. — P. 27–41.
7. Корепанов В.О., Новиков Д.А. Задача о диффузной бомбе // Проблемы управления. — 2011. — № 5. — С. 66–73.
8. Галяев А.А., Маслов Е.П. Оптимизация закона уклонения подвижного объекта от обнаружения при наличии ограничений // Автоматика и телемеханика. — 2012. — № 6. — С. 83–94.
9. Бурдик В.С. Анализ гидроакустических систем. — Л.: Наука, 1988. — 392 с.
10. Добровидов А.В., Кулида Е.Л., Рудько И.М. Выбор траектории движения объекта в конфликтной среде // Проблемы управления. — 2011. — № 3. — С. 64–75.
11. Абрамянц Т.Г., Маслов Е.П., Яхно В.П. Уклонение подвижного объекта от обнаружения группой наблюдателей // Проблемы управления. — 2010. — № 5. — С. 73–79.
12. Уклонение подвижного объекта от обнаружения группой наблюдателей при малых отношениях сигнал/помеха // Т.Г. Абрамянц и др. // Информационно-управляющие системы. 2011. — № 2. — С. 2–7.
13. Сысоев Л.П. Критерий вероятности обнаружения на траектории в задаче управления движением объекта в конфликтной среде // Проблемы управления. — 2010. — № 6. — С. 65–72.
14. Галяев А.А., Маслов Е.П. Уклонение в конфликтной среде от обнаружения системой разнородных наблюдателей // Изв. РАН. Теория и системы управления. — 2014. — № 4. — С. 18–27.
15. Dijkstra E. A note of two problems in connection with graphs // Numerische Mathematik. — 1959. — Vol. 1. — P. 269–271.

Статья представлена к публикации членом редколлегии
Б.В. Павловым.

Абрамянц Тамара Гургеновна — канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник, ☎ (495) 334-91-81, ✉ abramnc@ipu.ru,

Галяев Андрей Алексеевич — д-р техн. наук, вед. науч. сотрудник, ☎ (495) 334-91-81, ✉ galaev@ipu.ru,

Маслов Евгений Петрович — д-р техн. наук, зав. лабораторией, ☎ (495) 334-91-81, ✉ e-masl@yandex.ru,

Рудько Игорь Михайлович — канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник, ☎ (495) 334-79-59, ✉ igor-rudko@mail.ru,

Яхно Виктор Павлович — канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник, ☎ (495) 334-88-91, ✉ vic_iakhno@ipu.ru,

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



XV Международная конференция «Системы проектирования технологической подготовки производства и управления этапами жизненного цикла промышленного продукта (CAD/CAM/PDM—2015)»

Москва, Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН,
26 — 28 октября 2015 г.

Основные направления работы конференции

- Организация структур технических и программных средств проектирования и управления. Средства взаимодействия, структуры данных, международные стандарты
- Компьютерная графика и CAD/CAM/PDM-системы в учебных процессах (программы обучения по дисциплинам, методические материалы, тестирование). Средства виртуальной реальности в промышленных системах
- Интегрированные производственные системы и управление технологическими процессами. PDM-системы
- Проектирование в машиностроении и строительстве
- Проектирование в радиоэлектронике

Подробная информация о конференции находится на сайте <http://lab18.ipu.rssi.ru>.

Контакты: ✉ conf18@spm.ipu.ru, ☎ (495) 334-93-50, 📠 (495) 334-91-29.

Председатель Оргкомитета — д-р техн. наук Алексей Вячеславович Толоч.

Ученый секретарь — канд. техн. наук Сергей Владимирович Смирнов.