

УДК 62-50

УПРАВЛЕНИЕ ГАРАНТИРОВАННЫМ ПОИСКОМ ПОДВИЖНОГО
ОБЪЕКТА ПРИ МИНИМАЛЬНЫХ СВЕТОВЫХ ЭНЕРГОЗАТРАТАХ
Аветисян В.В., Мартиросян С.Р.

Ключевые слова: гарантированный поиск, оптимальное управление.

Keywords: guaranteed search, optimal control.

Վ.Վ. Ավետիսյան, Ս.Ր. Մարտիրոսյան

Շարժական օբյեկտի երաշխավորված փնտրման դեկավարումը ըստ նվազագույն լուսային էներգածախսերի

Մշակվել է տրված լուսավորության պայմաններում մանիպուլյատորի բռնիչի շարժման օպտիմալ՝ ըստ նվազագույն լուսային էներգածախսերի դեկավարման մի ալգորիթմ, որն ապահովում է որոնելի օբյեկտի հայտնաբերումն իրականացնել երաշխավորված ժամանակում: Գտնվել և թվային հաշվարկներով հիմնավորվել է, որ հնարավոր են օպտիմալ երաշխավորված փնտրման պրոցեսներ, որոնց ընթացում չնայած ծախսվում է միևնույն քանակի լուսային էներգիա, սակայն մի դեպքում օպտիմալ երաշխավորված փնտրումն իրականացվում է արագ և պահանջվում է լույսի աղբյուրի մեծ հզորություն, իսկ մյուս դեպքում՝ ընդհակառակը:

V.V. Avetisyan, S.R. Martirosyan

Control the guaranteed search of moving objects at minimum expense of light energy

An algorithm of control manipulator gripper movement in given light conditions with optimal, minimum expense of light energy has been developed, provides the location of the searched object within the planned timeframe. It has been found and justified through digital calculations that optimal processes of guaranteed search are possible which require same volume of light energy expense, but, however, in one case the optimal guaranteed search is implemented quickly and needs a great light source, while in the other case the requirements are opposite.

Разработан алгоритм оптимального по минимальным световым энергозатратам управления движением схвата манипулятора, обеспечивающий при заданной освещенности в процессе поиска обнаружение искомого объекта за гарантированное время. Установлено и численными расчетами обосновано, что возможны оптимальные режимы поиска, доставляющие одинаковое значение минимизирующему функционалу, при этом, быстрый поиск осуществляется при большей потребной мощности источника света, и наоборот.

1. Постановка задачи. Пусть имеется трехзвенный электромеханический манипулятор, звенья которого перемещаются друг относительно друга в трех взаимно перпендикулярных направлениях Ox_1 , Ox_2 , Ox_3 . Движение схвата рассматриваемого манипулятора описывается уравнениями [1,2]:

$$n_i k_i \dot{x}_i = u_i, \quad |u_i| \leq U_i, \quad i = 1, 2, 3, \quad (1.1)$$

$$D = \{(x_1, x_2, x_3) : 0 \leq x_i \leq c, \quad i = 1, 2, 3\},$$

где u_i – управляющее напряжение i -го электродвигателя, U_i , k_i – заданные электрические постоянные, n_i – размерное передаточное отношение ($\omega_i = n_i \dot{x}_i$), D – рабочее пространство манипулирования схвата.

Пусть на основании рабочего пространства манипулятора

$$\bar{D}(a_1, a_2) = \{(x_1, x_2) : 0 \leq x_i \leq a_i, \quad a_i \leq c, \quad i = 1, 2\} \quad (1.2)$$

имеется некоторый точечный подвижный объект Y , совершающий простое движение в области (1.2):

$$\begin{aligned} \dot{y} &= v, \quad y(t_0) = y^0, \quad \sqrt{v_1^2 + v_2^2} \leq V, \\ y(t) &= (y_1(t), y_2(t)) \in \bar{D}, \quad t \geq t_0. \end{aligned} \quad (1.3)$$

Координаты $y(t_0) = y^0$ и текущая скорость $v(t)$ подвижного объекта Y управляемой стороне X – схвату манипулятора – неизвестны. Будем полагать, что на схвате X манипулятора расположен изотропный точечный источник света, при помощи которого на основании \bar{D} образуется подвижная и изменяющаяся информационная область чувствительности – световой круг

$$G(x(t)) = \left\{ \bar{o} \in R^2: |\bar{o} - \bar{x}| \leq r = C_1 x_3, \quad \bar{x} = (x_1, x_2) \in \bar{D}, \quad 0 < x_3 \leq c, \quad C_1 > 0 \right\} \quad (1.4)$$

с центром в точке $\bar{x}(t) = (x_1, x_2) \in \bar{D}$ и с радиусом $r = C_1 x_3$, $C_1 = \text{tg}(\delta/2)$ (x_3 – расстояние схвата манипулятора до основания \bar{D}), который можно перемещать в “темной” области $\bar{D} \subset R^2$ с целью обнаружения (освещения) искомого объекта Y при попадании последнего в эту область – $y \in G(x(t))$ [3].

Искомый объект при попадании его в световой круг (1.4) может быть обнаружен или распознан только при достаточной освещенности E , которая определяется по формуле [2]

$$E = kQ/(\Omega x_3^2). \quad (1.5)$$

Здесь Ω – телесный угол конуса направлений световых лучей; x_3 – расстояние от источника света до плоскости освещения; k – коэффициент пропорциональности; Q – мощность световой энергии.

Функционал, характеризующий энергозатраты светового устройства в процессе поиска при постоянных E , $\Omega = \text{const}$, определяется выражением [2]

$$J = \int_{t_0}^T Q dt = \frac{E\Omega}{k} \int_{t_0}^T x_3^2 dt. \quad (1.6)$$

Рассмотрим следующую задачу оптимального управления.

Задача. Для схвата манипулятора (1.1) при фиксированных x_1^0 , x_2^0 требуется найти начальную вертикальную координату $0 < x_3^0 \leq c$ и управление $u(t) = (u_1(t), u_2(t), u_3(t))$, при которых обнаружение искомого подвижного объекта Y в области \bar{D} осуществляется за гарантированное время поиска $t = T$ при минимальной величине световых энергозатрат (1.6).

2. Алгоритм решения задачи. Перейдем к безразмерным переменным в соотношениях (1.1)–(1.6). Полагая в них [2]

$$E\Omega/k = 1; \quad n_i k_i = 1, \quad i = 1, 2, 3; \quad U_3 = 1, \quad \bar{U} = \min(U_1, U_2),$$

эти соотношения (1.1) и (1.6) упростятся и примут вид [2]:

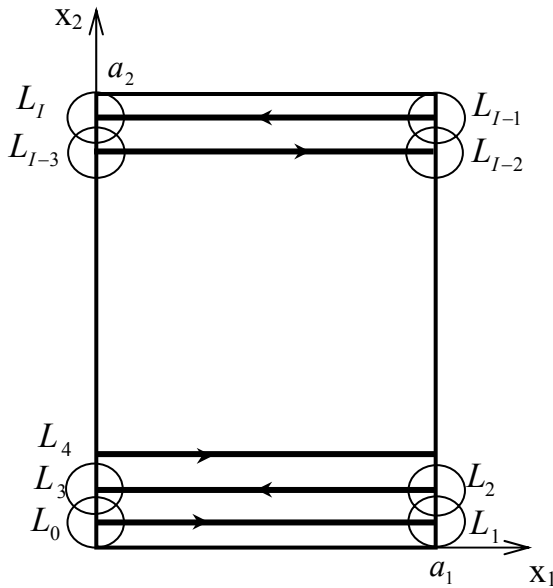
$$\dot{x}_i = u_i, \quad i = 1, 2, 3; \quad \sqrt{u_1^2 + u_2^2} \leq \bar{U}, \quad |u_3| \leq 1, \quad (2.1)$$

$$J = \int_0^T x_3^2 dt. \quad (2.2)$$

Пусть в начальный момент $t_0 = 0$ схват манипулятора находится в некоторой точке $x^0 = (x_1^0, x_2^0, x_3^0)$, $x_1^0 = 0$, $x_2^0 = r_0$, $0 < x_3^0 \leq 1$, где r_0 – начальный радиус круга обнаружения:

$$r_0 = C_1 x_3^0 < \min(a_1, a_2). \quad (2.3)$$

При условии (2.3) можно обходить тривиальный случай $G \supset \bar{D}$.



Фиг. 1

Рассмотрим исходящую из точки x^0 траекторию, проекция L которой на прямоугольное основание \bar{D} в плоскости Ox_1x_2 показана на фиг. 1. Здесь $L = L_0L_1\dots L_I$ – ломаная с конечным числом вершин на сторонах прямоугольника. Движение проекции схвата – центра круга обнаружения – по каждому участку ломаной L происходит с максимальной скоростью $\sqrt{u_1^2 + u_2^2} = \bar{U}$ и с постоянным радиусом обнаружения r_0 (2.3), т.е. $u_3 = 0$.

Как видно из фиг. 1, вершины начального участка траектории $L = L_0L_1L_2L_3L_4$, который повторяется с каждой

пятой вершины $L_j\dots L_{j+4}$, $j = 0, 1, \dots, I-4$, со сдвигом на величину $|L_3L_4| = h$, h – шаг перемещения центра круга обнаружения: $h \leq 2r_0$, определяются следующими условиями:

$$\begin{aligned} L_0 = (0, r_0), \quad L_1 = (0, r_0), \quad L_2 = (a_1, r_0), \quad L_3 = (a_1, r_0 + h), \\ L_4 = (0, r_0 + h), \quad L_5 = (0, r_0 + 2h), \end{aligned} \quad (2.4)$$

так как, в соответствии с законом движения схвата (1.1) и выбранного способа управления

$$\begin{aligned} x_1(t_1) = \bar{U}t_1 = a_1, \quad x_2(t_2) = \bar{U}(t_2 - t_1) = h, \\ x_1(t_2) = a_1, \quad x_1(t_3) = a_1 - \bar{U}(t_3 - t_2) = 0. \end{aligned} \quad (2.5)$$

Здесь промежуток времени $[0, t_3]$ соответствует времени прохождения (просмотра) центром круга обнаружения начального участка траектории $L_{0,4} = L_0\dots L_4$.

Очевидно, что если выполняется условие [4,5]

$$(2r_0 - h)/V \geq t_3, \quad (2.6)$$

то искомый объект Y , находящийся в начальный момент времени в наихудшем для объекта X положении – вне полосы $\{x_1, x_2 : 0 \leq x_1 \leq a_1, 0 \leq x_2 \leq 2r_0\}$, не может избежать обнаружения до момента времени $t = t_3$. Поэтому, движение схвата манипулятора по описанному способу при условии (2.6) гарантирует обнаружение подвижного объекта Y за конечное время T .

Из соотношений (2.5) следует, что $t_1 = a_1 / \bar{U}$, $t_2 - t_1 = h / \bar{U}$, $t_3 - t_2 = a_1 / \bar{U}$. Учитывая (2.6), получаем

$$t_3 = (2a_1 + h) / \bar{U} \leq (2r_0 - h) / V, \quad (2.7)$$

$$0 < h \leq h_{\max}, h_{\max} = 2(r_0 \bar{U} - a_1 V) / (\bar{U} + V) < 2r_0. \quad (2.8)$$

Очевидно, что в соответствии с (2.3)

$$r_0 / a_1 > V / \bar{U} = m, m < 1. \quad (2.9)$$

При заданных исходных параметрах задачи a_1, a_2, \bar{U}, V рассмотрим следующую положительную функцию N от r_0 и h :

$$N(r_0, h) = \frac{a_2 - 2r_0}{h}, r_0 \in (0, a_2 / 2). \quad (2.10)$$

В силу (2.9) и (2.10)

$$ma_1 < r_0 < a_2 / 2. \quad (2.11)$$

Функция $N(r_0, h)$ при фиксированном $r_0 \in (ma_1, a_2 / 2)$ является монотонно убывающей функцией относительно h на интервале (2.8):

$$\min_{0 < h \leq h_{\max}} N(r_0, h) = \frac{a_2 - 2r_0}{h_{\max}} = \frac{(a_2 - 2r_0)(\bar{U} + V)}{2(r_0 \bar{U} - a_1 V)} = N(r_0), r_0 \in (ma_1, a_2 / 2),$$

или, в соответствии с (2.9),

$$\min_{0 < h \leq h_{\max}} N(r_0, h) = (1 + m) \frac{a_2 / 2 - r_0}{r_0 - a_1 m} = N(r_0), r_0 \in (ma_1, a_2 / 2). \quad (2.12)$$

Функция (2.12) относительно $r_0 \in (ma_1, a_2 / 2)$ также является монотонно убывающей. Обозначим

$$R_0 = \{r_0 \in (ma_1, a_2 / 2) : N(r_0) = [N(r_0)]\}, \quad (2.13)$$

где символ $[\cdot]$ означает целую часть действительного числа.

Для значений $r_0 \in R_0$ целое число $N(r_0)$ в (2.13) определяет то минимальное количество перемещений с левой стороны прямоугольника \bar{D} (1.2) к правой и наоборот, при которых движение по траектории L центра круга обнаружения с

постоянным радиусом r_0 заканчивается в точке $(ma_1, a_2 - h_{\max}(r_0))$, $r_0 \in R_0$, когда $N(r_0)$ – четное целое число, и в точке $(a_1, a_2 - h_{\max}(r_0))$, $r_0 \in R_0$, когда $N(r_0)$ – нечетное целое число. Ясно, что паре $(r_0, h_{\max}(r_0))$, $r_0 \in R_0$, соответствует ломаная $L = L_0 L_1 \dots L_I$, $I = 0, 1, \dots, 4N$ минимальной длины по сравнению с другими ломаными, соответствующими значениям $(r_0, h(r_0))$, $r_0 \notin R_0$. Таким образом, управление, при котором движение центра круга обнаружения происходит по траектории L , можно задавать следующим образом:

$$u_L(t) = \begin{cases} u_1(t) = \bar{U}, & u_2(t) = 0, & u_3 = 0; & t_{4p} \leq t \leq t_{4p+1}, & p = 0, 1, \dots, N/2 \\ u_1(t) = 0, & u_2(t) = \bar{U}, & u_3 = 0; & t_{2p+1} \leq t \leq t_{2p+2}, & p = 0, 1, \dots, N \\ u_1(t) = -\bar{U}, & u_2(t) = 0, & u_3 = 0; & t_{4p+2} \leq t \leq t_{4p+3}, & p = 0, 1, \dots, (N-1)/2, \end{cases} \quad (2.14)$$

где $N(r_0)$ определяется по формуле (2.13).

При движении схвата по управлению (2.14) горизонтальные полосы, замечаемые кругом обнаружения, покрывают прямоугольник со взаимными пересечениями с шириной $h_{\max}(r_0)$, $r_0 \in R_0$. При этом движение по заключительному участку траектории обеспечивает приведение схвата в конечную точку траектории L : в точку $(0, a_2 - h_{\max}(r_0))$, $r_0 \in R_0$ или в точку $(a_1, a_2 - h_{\max}(r_0))$, $r_0 \in R_0$.

Будем полагать, что движение проекции схвата манипулятора на промежутках времени $t_{2p} \leq t \leq t_{2p+1}$, $p = 0, 1, \dots, N$ в соответствии с (2.14) происходит при включенном свете и с постоянным радиусом светового круга $r_0 = \text{const}$, а на промежутках времени $t_{2p+1} \leq t \leq t_{2p+2}$, $p = 0, 1, \dots, N$ – при отключенном свете, т.е. $Q = 0$ (1.5).

Подставляя (2.14) в уравнения (2.1) и интегрируя при граничных условиях (2.4), находим моменты переключений t_i , $i = 1, \dots, 4N$ управления (2.14). При найденных моментах t_i , $i = 1, \dots, 4N$ функционал (2.3), характеризующий световые энергозатраты на промежутке гарантированного времени поиска $0 \leq t \leq T$, где

$$T(r_0) = t_{4N} = |L_0 L_1 \dots L_I| / \bar{U}, \quad I = 0, 1, \dots, 4N(r_0), \quad r_0 \in R_0 \quad (2.15)$$

представится следующей формулой:

$$J = a_1 C^{-1} \bar{U}^{-1} r_0^2 (1 + N(r_0)), \quad r_0 \in R_0. \quad (2.16)$$

Тем самым, поставленная задача сводится к решению следующей задачи минимума:

$$J^* = \min_{r_0 \in R_0} J(r_0). \quad (2.17)$$

Ясно, что задача (2.17) имеет решение, так как согласно (2.11) множество R_0 непусто.

Рассмотрим задачу минимизации (2.16) в интервале $(ma_1, a_2/2) \supset R_0$ (в соответствии с (2.13)).

Тогда, подставляя $N(r_0)$ из (2.12) в (2.16), получим

$$J = (a_1 C^{-1} \bar{U}^{-1}) \{ (-2r_0 m - 2a_1 m + a_2(1+m)) / 2(r_0 - a_1 m) \} r_0^2, \quad (2.18)$$

$$r_0 \in (ma_1, a_2/2).$$

Приравнивая к нулю производную функции J (2.18) по r_0 , имеем

$$\dot{J} = Z_1(r_0) - Z_2(r_0) = 0, \quad (2.19)$$

где

$$Z_1(r_0) = -r_0^2 + \{ ma_1 + (a_2(1+m)/2m - a_1) \} r_0 - ma_1(a_2(1+m)/2m - a_1) \quad (2.20)$$

$$Z_2(r_0) = \{ (a_2(1+m)/2m - a_1) - ma_1 \} r_0 / 2. \quad (2.21)$$

Корни квадратного трехчлена $Z_1(r_0)$

$$r_0' = ma_1, \quad r_0'' = a_2(1+m)/2m - a_1. \quad (2.22)$$

Согласно (2.11), (2.22) при $m \in (0,1)$ имеем

$$0 < r_0' < a_2/2 < r_0''. \quad (2.23)$$

В соответствии с (2.22), выражения (2.20), (2.21) перепишутся в виде

$$Z_1(r_0) = -r_0^2 + (r_0' + r_0'')r_0 - r_0'r_0'', \quad Z_2(r_0) = (r_0'' - r_0')r_0/2. \quad (2.24)$$

Подставляя (2.24) в (2.19), получаем квадратное уравнение относительно r_0

$$\dot{J}(r_0) = -r_0^2 + (3r_0' + r_0'')r_0/2 - r_0'r_0'' = 0, \quad (2.25)$$

$$r_0 \in (ma_1, a_2/2),$$

дискриминант которого имеет вид

$$D = ((3r_0' - r_0'')^2 - 4r_0'r_0'')/16 > 0, \quad (2.26)$$

где r_0' и r_0'' определяются выражениями (2.23).

С помощью графо-аналитических методов исследования получаем простые условия, позволяющие найти решение поставленной задачи.

Возможны следующие случаи:

- 1) $D < 0$, что имеет место при $r_0'' < 9r_0'$ или, в соответствии с (2.22),

$$a_2/2a_1 < m(9m+1)/(m+1). \quad (2.27)$$

Тогда, согласно (2.25)

$$\dot{J}(r_0) < 0, \quad r_0 \in (ma_1, a_2/2). \quad (2.28)$$

2) $D = 0$, что имеет место при $r_0'' = 9r_0'$ или, в соответствии с (2.22),

$$a_2 / 2a_1 = m(9m + 1)/(m + 1). \quad (2.29)$$

Тогда уравнение (2.25) имеет единственное решение $r^* = (3r_0' + r_0'')/4$, которое согласно (2.29) и (2.22) определяется выражением

$$r^* = 3r_0' = 3ma_1 \quad (2.30)$$

и является точкой минимума $r_0^{\min} = r^*$ функции $J(r_0)$ в интервале (r_0', r_0'') .

В силу (2.29) имеем

$$r_0' < r^* < a_2/2 \text{ при } m > 1/3 \text{ и } r_0' < a_2/2 \leq r^* \text{ при } m \leq 1/3. \quad (2.31)$$

3) $D > 0$, что имеет место при $r_0'' > 9r_0'$ или, в соответствии с (2.22),

$$a_2 / 2a_1 > m(9m + 1)/(m + 1). \quad (2.32)$$

Тогда уравнение (2.25) имеет два решения

$$r_0^{+,-} = ((3r_0' + r_0'') \pm \sqrt{(3r_0' - r_0'')^2 - 4r_0'r_0''})/4, \quad (2.33)$$

причем

$$r_0' < r_0^- < r_0^+ < r_0'' \text{ при всех } m \in (0,1) \quad (2.34)$$

и

$$\dot{J}(r_0) < 0, r_0 \in (r_0', r_0^-) \cup (r_0^+, r_0''); \dot{J}(r_0) > 0, r_0 \in (r_0^-, r_0^+). \quad (2.35)$$

Таким образом, функция (2.18) в точке $r_0 = r_0^-$ достигает минимума, а в точке $r_0 = r_0^+$ – максимума:

$$J(r_0^-) = J^{\min}, \quad J(r_0^+) = J^{\max}, \quad r_0 \in (r_0', r_0''). \quad (2.36)$$

В соответствии с вышеизложенным (1–3)), решение задачи (2.17) имеет вид:

1. При $a_2 / 2a_1 < m(9m + 1)/(m + 1)$, $m \in (0,1)$;

при $a_2 / 2a_1 = m(9m + 1)/(m + 1)$, $m \in (0, 1/3]$ и

при $a_2 / 2a_1 > m(9m + 1)/(m + 1)$, $m \in (0, 1/3]$, $a_2/2 \leq r_0^-$ имеем

$$r_0^{\min} = a_2/2 - \Delta, \quad (2.37)$$

где $\Delta > 0$ однозначно определяется из условия

$$[N(r_0)]_{r_0=a_2/2} = N(r_0)_{r_0=a_2/2-\Delta} = N(a_2/2 - \Delta) \quad (2.38)$$

с использованием формулы (2.12).

2. При $a_2 / 2a_1 = m(9m + 1)/(m + 1)$, $m \in (1/3, 1)$ имеем

$$r_0^{\min} = \begin{cases} r^* - \Delta' & \text{при } J^{\min} = J(r^* - \Delta') = \\ & = \min\{J(r^* - \Delta'), J(r^* + \Delta'')\} \\ r^* + \Delta'' & \text{при } J^{\min} = J(r^* + \Delta'') = \\ & = \min\{J(r^* - \Delta'), J(r^* + \Delta'')\} \\ r^* - \Delta' \text{ или } r^* + \Delta'' & \text{при } J^{\min} = J(r^* - \Delta') = J(r^* + \Delta''), \end{cases} \quad (2.39)$$

где $\Delta', \Delta'' > 0$ определяются из соотношений

$$[N(r_0)]_{r_0=r^*} = N(r_0)_{r_0=r^*-\Delta'} = N(r^* - \Delta'), \quad (2.40)$$

$$[N(r_0)]_{r_0=r^*} = N(r_0)_{r_0=r^*+\Delta''} = N(r^* + \Delta''). \quad (2.41)$$

3. При $a_2/2a_1 > m(9m+1)/(m+1)$, $m \in (0, 1/3]$, $a_2/2 > r_0^-$ и при $a_2/2a_1 > m(9m+1)/(m+1)$, $m \in (1/3, 1)$ имеем

$$r_0^{\min} = \begin{cases} r_0^- - \Delta_1 & \text{при } J^{\min} = J(r_0^- - \Delta_1) = \\ & = \min\{J(r_0^- - \Delta_1), J(r_0^- + \Delta_2)\} \\ r_0^- + \Delta_2 & \text{при } J^{\min} = J(r_0^- + \Delta_2) = \\ & = \min\{J(r_0^- - \Delta_1), J(r_0^- + \Delta_2)\} \\ r_0^- - \Delta_1 \text{ или } r_0^- + \Delta_2 & \text{при } J^{\min} = J(r_0^- - \Delta_1) = J(r_0^- + \Delta_2), \end{cases} \quad (2.42)$$

где $\Delta_1, \Delta_2 > 0$ определяются из соотношений

$$[N(r_0)]_{r_0=r_0^-} = N(r_0)_{r_0=r_0^- - \Delta_1} = N(r_0^- - \Delta_1), \quad (2.43)$$

$$[N(r_0)]_{r_0=r_0^-} = N(r_0)_{r_0=r_0^- + \Delta_2} = N(r_0^- + \Delta_2). \quad (2.44)$$

Таким образом, и в случае (2.39), и в случае (2.42) минимальное значение функционала (2.16) достигается при различных значениях r_0 . Из (2.12), (2.15), (2.3), (1.5) следует, что чем больше r_0 , тем меньше количество циклов и время поиска, и больше потребная мощность источника света при постоянной освещенности. Это означает, что при минимальных энергозатратах в процессе поиска в одном случае выигрывая во времени, проигрываем в потребной мощности источника света и, наоборот.

3. Результаты расчетов. Пусть имеются следующие безразмерные значения исходных параметров задачи: $m = 1/2$, $a_1 = 1/2$, $a_2 = 2$. Поскольку $a_2 / 2a_1 = 2$, а $m(9m + 1)/(m + 1) = 11/6$, то $a_2 / 2a_1 > m(9m + 1)/(m + 1)$. Так как $m \in (1/3, 1)$, то имеем случай 3. Следовательно, оптимальное значение функционала достигается при r_0^{\min} , определяемый по формулам (2.42)-(2.44).

В результате численных расчетов имеем: $r_0^- = 0.625$, $\Delta_1 = 0.052$, $\Delta_2 = 0.075$, откуда следует, что $r_0^- - \Delta_1 = 0.573$, $r_0^- + \Delta_2 = 0.7$, при этом $N(r_0^- - \Delta_1) = 2$; $J(r_0^- - \Delta_1) = 0.987\bar{\gamma}$, а $N(r_0^- + \Delta_2) = 1$; $J(r_0^- + \Delta_2) = 0.98\bar{\gamma}$, где $\bar{\gamma} = 1/C_1\bar{U}$ – постоянный множитель.

Таким образом, с точностью до сотых имеем $J^{\min} = J(r_0^- - \Delta_1) = J(r_0^- + \Delta_2)$. Однако при этом гарантированное время поиска $T_1(2.15)$ при $N(r_0^- - \Delta_1) = 2$ больше, чем $T_2(2.15)$ при $N(r_0^- + \Delta_2) = 1$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аветисян В.В. Управление поиском неподвижного объекта с целью захвата // Изв. РАН. Теория и системы управления. 2006. № 6. С. 160-168.
2. Аветисян В.В., Мартиросян С.Р. Оптимальный управляемый поиск электромеханическим манипулятором при минимальных световых энергозатратах // Изв. НАН Армении. Механика. 2007. Т. 60. № 2. С. 100–109.
3. Меликян А. А. Оптимальное гарантирующее управление динамической системой с поиском целевой точки // ДАН СССР. 1991. Т. 316. № 4. С. 815-819.
4. Черноусько Ф.Л. Управляемый поиск подвижного объекта // ПММ. 1980. Вып. 1. С. 3-12.
5. Аветисян В.В., Меликян Т.Т. О задаче гарантированного поиска подвижного объекта в прямоугольной области // Изв. РАН. Теория и системы управления. 1999. № 2. С. 31-39.

Институт механики НАН
Армении

Поступила в редакцию
10. 04. 2007