

один. Если один из объектов группы начнет опасное движение по отношению к РТС, то его можно выделить из указанной группы по изменению векторов поля движения относительно среднего вектора группы.

Результаты тестирования программы показали, что вероятность правильного обнаружения транспортных средств на одной паре кадров равна 0,85, а на 3-х видеокадрах – 0,98.

Заключение. В работе предложен комплексный алгоритм анализа дорожной ситуации, основанный на частных алгоритмах оценки положения РТС относительно дороги, обнаружения подвижных и неподвижных объектов с помощью обработки и анализа принимаемой на РТС видеоинформации. Тестирование алгоритмов подтвердило их работоспособность.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Форсайт Д.А., Понс Ж.* Компьютерное зрение. Современный подход: Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2004. – 928 с.
2. *Веремеенко К.К., Желтов С.Ю., Ким Н.В. и др.* Современные информационные технологии в задачах навигации и наведения беспилотных маневренных летательных аппаратов / Под ред. Красильщикова М.Н., Себрякова Г.Г. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. – 556 с.
3. *Визильтер Ю.В., Желтов С.Ю., Князь В.А. и др.* Обработка и анализ цифровых изображений с примерами на LabView и IMAQ Vision. – М.: ДМК Пресс, 2007. – 464 с.

Ким Николай Владимирович

Московский авиационный институт.

Адрес: 125993, г. Москва, Волоколамское ш. 4.

E-mail: nkim2003@list.ru.

Тел.: 8 4991584549.

Кузнецов Андрей Григорьевич

E-mail: kag2006@mail.ru.

Косоруков Святослав Юльевич

E-mail: cube@rambler.ru.

Kim Nikolay Vladimirovich

Moscow aviation institute.

4, Volokolamskoe street, Moscow, 125993, Russia.

E-mail: nkim2003@list.ru.

Phone: 84991584549.

Kuznetsov Andrew Grigorevich

E-mail: kag2006@mail.ru.

Kosorukov Svyatoslav Yulevich

E-mail: cube@rambler.ru.

УДК 531.36;62-50

П.П. Кравченко

ЦИФРОВОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПОЛОЖЕНИЕМ ТЕЛЕЖКИ И ПЕРЕВЕРНУТЫМ МАЯТНИКОМ

Решение данной задачи базируется на наиболее полной из соответствующих известных нелинейных систем дифференциальных уравнений движения и использовании методологии оптимизированных дельта-преобразований второго порядка. Освещены принципы синтеза единого алгоритма управления маятником и тележкой, показана возможность обеспечения гарантированных показателей качества по точности и быстрдействию, де-

монстрируется движение при постоянных и изменяющихся задающих воздействиях, при различных видах трения.

Маятник; тележка; нелинейные дифференциальные уравнения движения; оптимизированные дельта-преобразования второго порядка; гарантированные показатели качества; оптимизация по быстродействию и точности; трение; задающие воздействия.

P.P. Kravchenko

DIGITAL CONTROL OF THE CART AND INVERTED PENDULUM POSITION

The decision of the given problem is based on one of the fullest corresponding known nonlinear systems of the differential equations of movement and using methodology of optimised delta-transformations of the second order. Principles of synthesis of uniform algorithm of management by the pendulum and the cart are dealt with, the possibility of maintenance of quality guaranteed performances on accuracy and speed is shown, movement at changing setting influences and various kinds of friction is demonstrated.

The pendulum; the cart; the nonlinear differential equations of the movement; optimised delta-transformation of the second order; quality guaranteed performances; optimisation on speed and accuracy; friction; setting influences.

Рассматривается одна из классических задач механики и теории управления, которая на практике связана с работой разнообразных установок, манипуляционных роботов, движением ракеты, сверхзвукового самолета, состава толкаемых буксиром барж – всех объектов, центр масс и точка приложения силы которых не совпадают [1, 2]. В то же время данная задача известна как одна из тестовых для оценки качества и эффективности методов синтеза алгоритмов управления и рассматривается в многочисленных источниках технической литературы, как правило, с введением различного рода упрощений и ограничений [4-9].

Решение данной задачи выполняется с учетом следующих важных с практической точки зрения положений: должны использоваться известные исходные нелинейные дифференциальные уравнения движения, которые в наибольшей мере соответствуют реальным процессам движения маятника на тележке; при имитации движения в модели не допускается упрощение или линеаризация исходных уравнений движения; методология синтеза должна базироваться на возможности использования гарантированных теоретических оценок; при синтезе алгоритмов цифрового управления должны использоваться принципы оптимизации переходных процессов по быстродействию и установившихся по точности с учетом нелинейностей исходных дифференциальных уравнений движения; должны учитываться возможности действия сил трения в оси маятника и при движении тележки; должна реализовываться возможность одновременного решения задачи перевода маятника из заданного положения в вертикальное, перемещения тележки из заданной начальной в заданную конечную точку или движения тележки в соответствии с изменяющимся задающим воздействием;

Тележка может двигаться только прямолинейно в горизонтальном направлении и приводится в движение прикладываемой силой в виде управляющего воздействия $\mu(t)$ в момент времени t [3]. Горизонтальное перемещение тележки характеризуется функцией $S(t)$, угловое отклонение маятника – $\varphi(t)$. Используются обозначения: m – масса маятника, L – расстояние между осью и центром тяжести ($2L$ – длина маятника), J – момент инерции относительно центра тяжести маятника, M – масса тележки, $T_c(t)$ – сила трения при движении тележки; f_p – коэффициент трения в оси маятника. В центре тяжести к маятнику прило-

жена сила mg (g – ускорение силы тяжести), а у оси – горизонтальная $H(t)$ и вертикальная $V(t)$ силы реакции.

Используемые исходные дифференциальные уравнения движения записываются в виде [3]:

$$\left. \begin{aligned} m\ddot{S}(t) + mL\ddot{\phi}(t)\cos\phi(t) - mL\dot{\phi}^2(t)\sin\phi(t) &= H(t); \\ -mL\ddot{\phi}(t)\sin\phi(t) - mL\dot{\phi}^2(t)\cos\phi(t) &= V(t) - mg; \\ J\ddot{\phi}(t) = LV(t)\sin\phi(t) - LH(t)\cos\phi(t) - f_p\dot{\phi}(t); \\ M\ddot{S}(t) &= \mu(t) - H(t) - T_c(t); \\ \phi(t = t_0); \dot{\phi}(t = t_0); S(t = t_0); \dot{S}(t = t_0). \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Данная система дифференциальных уравнений используется в экспериментальной модели для имитации поведения маятника и тележки без упрощений. При моделировании сила трения $T_c(t)$ вводится в виде постоянной величины или линейно изменяющегося значения в виде $T_c(t) = f_{c1} * \dot{S}(t)$, где $f_{c1} = const$, или в виде $T_c(t) = f_{c2}(|\dot{S}(t)|) * sign(\dot{S}(t))$, где $f_{c2}(|\dot{S}(t)|)$ – задаваемая графически нелинейно изменяющаяся функция; сила трения f_p вводится в виде постоянной величины.

Одной из проблем в решении данной задачи является то, что управление двумя переменными ($\varphi(t)$ и $S(t)$) должно быть обеспечено с помощью одного управляющего воздействия $\mu(t)$.

Сущность рассматриваемого решения задачи синтеза можно проиллюстрировать в виде совмещенных во времени процессов в действиях человека: выведение размещенной на пальце руки палки из заданного положения в вертикальное, движение в определенном направлении с удержанием палки в вертикальном положении и удержание палки в вертикальном положении в конечной точке (*разгоны/торможения*). Обеспечение направленности движения коррелирует с определенным наклоном палки. Решение задачи выполняется на основе методологии с использованием оптимизированных дельта-преобразований второго порядка, обеспечивающих, в частности, эффективный прогноз изменения ошибки управления и формирование кванта преобразования – основы для определения управляющего воздействия [10].

Введение связанных с данными особенностями решения допущений позволяет представить систему уравнений движения в более удобном для синтеза алгоритмов управления виде. Обозначаем $x_1(t) = \varphi(t)$, $\dot{x}_1(t) = \dot{\varphi}(t)$, $\ddot{x}_1(t) = \ddot{\varphi}(t)$, $x_2(t) = S(t)$, $\dot{x}_2(t) = \dot{S}(t)$, $\ddot{x}_2(t) = \ddot{S}(t)$, $U(t) = \mu(t)$, задающие воздействия $\ddot{y}_{зад,1}(t)$, $\ddot{y}_{зад,2}(t)$ и переходим в соответствии с освещенной в [10] методологией к записи уравнений с учетом ошибок:

$$\begin{aligned} \ddot{z}_1(t) = & -\frac{\cos x_1(t)U(t)}{L'(t)(M+m)} + \frac{\sin x_1(t)}{L'(t)} \left[g - L\dot{x}_1^2(t)\cos x_1(t) + \frac{LM\dot{x}_1^2(t)\cos x_1(t)}{M+m} \right] + \\ & + \frac{\cos x_1(t)T_c^*}{L'(t)(M+m)} - \frac{f_p^*\dot{x}_1(t)}{L'(t)mL} - \ddot{y}_{зад,1}(t); \end{aligned} \quad (2)$$

$$\ddot{z}_2(t) \approx x_1(t)g - \ddot{y}_{\text{зад},2}(t). \quad (3)$$

$$L'(t) = \frac{J + L^2 m \left[\sin^2 x_1(t) + \frac{M}{M+m} \cos^2 x_1(t) \right]}{mL};$$

$$x_1(t=t_0); \dot{x}_1(t=t_0); x_2(t=t_0); \dot{x}_2(t=t_0).$$

На основе (2), (3) вводим обозначения квантов преобразования $\ddot{Y}_{1,i+1}(t)$, $\ddot{Y}_{2,i+1}(t)$ и переходим к записи для $(i+1)$ -го шага (N – количество дискретных шагов ∇t моделирования):

$$\begin{aligned} \ddot{Y}_{1,i+1}(t) = & -\frac{\cos x_{1,i+1}(t)U_{i+1}(t)}{L'_{i+1}(t)(M+m)} + \\ & + \frac{\sin x_{1,i+1}(t)}{L'_{i+1}(t)} \left[g - L\dot{x}_{1,i+1}^2(t) \cos x_{i+1}(t) + \frac{LM\dot{x}_{1,i+1}^2(t) \cos x_{i+1}(t)}{M+m} \right] + \\ & + \frac{\cos x_{1,i+1}(t)T_c^*}{L'_{i+1}(t)(M+m)} - \frac{f_p^* \dot{x}_{1,i+1}(t)}{L'_{i+1}(t)mL}; \end{aligned} \quad (4)$$

$$\ddot{Y}_{2,i+1}(t) = x_{1,i+1}(t)g; \quad (5)$$

$$i = \overline{0, N}; \quad t \in [t_i; t_{i+1}].$$

Учитывая (4) и (5), уравнения (2), (3) представляем в виде

$$\ddot{z}_{j,i+1}(t) = \ddot{Y}_{j,i+1} - \ddot{y}_{j,i+1,\text{зад}}(t);$$

$$\ddot{Y}_{j,i+1} = \ddot{Y}_{j,i+1}(t) = \text{const} \text{ на } t \in [t_i; t_{i+1}]; \quad i = \overline{0, N}; \quad j = \overline{1, 2}.$$

Предполагаем, что ординаты ошибок и их производные

$$z_{j,i} = z_j(t_i) = x_{j,i} - y_{j,\text{зад},i}; \quad \dot{z}_{j,i} = \dot{z}_j(t_i) = \dot{x}_{j,i} - \dot{y}_{\text{зад},j,i} \quad i = \overline{0, N}; \quad j = \overline{1, 2}$$

являются измеряемыми, можно далее применять троичный алгоритм дельта-преобразования [10]:

$$\left. \begin{aligned} z_{ji} &= x_{ji} - y_{\text{зад},ji}; \quad \dot{z}_{ji} = \dot{x}_{ji} - \dot{y}_{\text{зад},ji}; \\ F_{ji}^1 &= z_{ji} + 2\dot{z}_{ji} \nabla t + (0,5(\dot{z}_{ji} \nabla t)^2 / c_j + 0,5c_j) \text{sign } \dot{z}_{ji}; \\ F_{ji}^2 &= z_{ji} + \dot{z}_{ji} \nabla t + (0,5(\dot{z}_{ji} \nabla t)^2 / c_j - 0,5c_j) \text{sign } \dot{z}_{ji}; \\ \text{если } F_{ji}^1 F_{ji}^2 &> 0, \text{ то } \Delta_{j,i+1} &= -\text{sign} F_{ji}^1; \\ \text{иначе } \Delta_{j,i+1} &= 0; \\ \ddot{Y}_{j,i+1} &= c_j^* \Delta_{j,i+1} / (\nabla t)^2; \quad t \in [t_i; t_{i+1}]; \quad c_j = 0,75c_j^*, c_j^* > 0; \quad j = \overline{1, 2}. \end{aligned} \right\} (6)$$

Сущность методологии синтеза алгоритмов управления состоит в том, что формируется процесс управления, эквивалентный процессу оптимизированного Д-преобразования второго порядка. Особенностью применения Д-преобразований для управления является, в частности, то, что для различных объектов имеют место фактически шаблонные характеристики для областей управляемости, качественные оценки и рекомендации, которые могут быть априорно использованы при проектировании цифровой системы управления. В частности, при отсутствии (или слабом влиянии) внешних возмущений качественные экспериментальные оценки существенно не отличаются от соответствующих теоретических значений гарантированных показателей дельта-преобразований второго порядка [10]:

- ♦ ошибка установившегося процесса (для троичного алгоритма):

$$|z_j(t)| \ll 0,5c_j^*; \quad (7)$$

- ♦ количество шагов и длительность переходного процесса ($\dot{z}_j(t_0) \approx 0$):

$$R_{j,пер} \approx 2 \sqrt{\frac{|z_j(t_0)|}{c_j^*}}, \quad j = \overline{1, n}; \quad T_{j,пер} \approx R_{j,пер} \nabla t. \quad (8)$$

Для проведения экспериментов принято: $M = 0,5$ кг, $m = 0,25$ кг, $L = 0,3$ м, $J = 0,03$ кгм². Значения M и m выбраны соизмеримыми по величине, что обеспечивает активное использование компоненты $H(t)$ в уравнениях движения. Численные значения времени задаются в секундах, углов – в радианах, положение тележки – в метрах.

Цифровое управление положением $x_1(t) \equiv y_{зад,1}(t)$ маятника без учета расположения тележки $x_2(t) \equiv S(t)$. На основе (4), выбранного значения $|\ddot{Y}_{1,i+1}|$ и с учетом возможной необходимости реализации моделирования с дополнительным дроблением шага ∇t на $\nabla \tau$ ($\nabla t = r \cdot \nabla \tau$, $\tau = \nabla \tau \cdot \sigma$; $t_{i+1,\sigma} = t_i + \nabla \tau \cdot \sigma$; $\sigma = \overline{0, 1, 2, \dots, (r-1)}$) получаем для управляющего воздействия

$$U_{i+1,\sigma} = -\frac{L'_{i+1,\sigma}(M+m)}{\cos x_{i+1,\sigma}} \left\{ \ddot{Y}_{1,i+1} - \frac{\sin x_{1,i+1,\sigma}}{L'_{i+1,\sigma}} \left[g - L\dot{x}_{1,i+1,\sigma}^2 \cos x_{1,i+1,\sigma} + \frac{LM\dot{x}_{1,i+1,\sigma}^2 \cos x_{1,i+1,\sigma}}{M+m} \right] - \frac{\cos x_{1,i+1,\sigma} T_{c,i+1,\sigma}^*}{L'_{i+1,\sigma}(M+m)} + \frac{f_p^* \dot{x}_{1,i+1,\sigma}(t)}{L'_{i+1,\sigma} mL} \right\}; \quad i = \overline{0, N}; \quad \sigma = \overline{0, (r-1)}.$$

Переменные $x_{1,i+1,\sigma}$, $\dot{x}_{1,i+1,\sigma}$, $\dot{x}_{2,i+1,\sigma} = \dot{S}_{i+1,\sigma}$, $\sigma = \overline{0, (r-1)}$, $\dot{S}_{i+1,0} = \dot{S}_i$ формируются и измеряются в процессе моделирования уравнений движения (1).

Эксперимент 1: $x_{1,0,0} = 3.14$ ($\varphi(t_0) \approx 180^\circ$); $\dot{x}_{1,0,0} = 0$; $\dot{x}_{2,0,0} = 0$; $c_1^* = 0,05$; $\nabla t = 0,1$; $y_{зад,1,i} = 0$; $r = 4$; $f_p^* = f_p = 0$; $T_c(t) = 2,0\dot{x}_2(t)$; $T_{c,i+1,\sigma} = 2,0\dot{x}_{2,i+1,\sigma}$. Параметры $T_c^*(t)$ и f_p^* характеризуют используемые варианты учета трения при движении тележки и в оси маятника в алгоритмах управления. На рис. 1,а – переходный и установившийся процессы координаты ($R_{nep} \approx 18, T_{nep} \approx 1,8$ с); на рис. 1,б – поведение $x_{1,i}$ в увеличенном масштабе ($|z_{1,i}| \approx 0,025$ м; $i > 18$); на рис. 1,в – последовательность дельта-признаков $\Delta_{1,i}$; на рис. 1,г – управляющее воздействие $U_{i+1,\sigma}$.

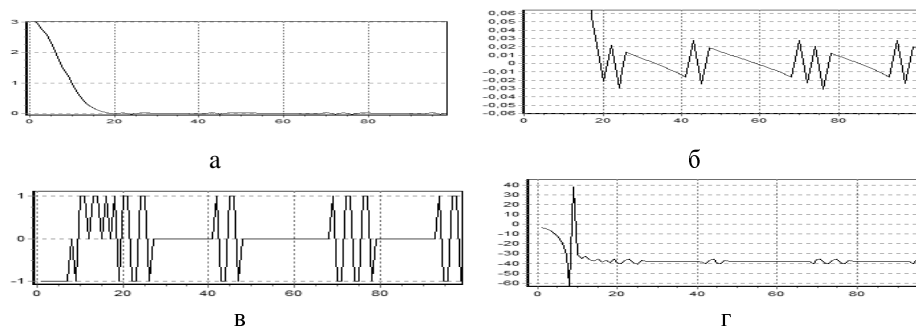


Рис. 1. Временные диаграммы по эксперименту 1

Одновременное цифровое управление положением $\varphi(t)$ маятника и $S(t)$ тележки. Для одновременного управления перемещением тележки по $S(t)$ и переводимого в вертикальное положение маятника необходимо обеспечивать режимы *разгона/торможения* путем задания в определенные моменты времени таких значений $y_{зад,1}(t)$ с соответствующим знаком, при которых гарантированно обеспечивается с учетом ошибки управления $\varphi(t) \approx y_{зад,1}(t)$ и $sign(\phi(t)) = sign(y_{зад,1}(t))$:

$$|y_{зад,1,i}| = 0,5bc_1^*, \quad b > 1; \quad (b \approx 2).$$

Управление режимами *разгон/торможение*, обеспечивающими перемещение тележки с обработкой задающего воздействия $S_i \equiv y_{зад,2,i}$, базируется на формировании дельта-признака $\Delta_{2,i}$ ($j = 2$) с помощью алгоритма дельта-преобразования (6) при данном $y_{зад,2,i}$ и введении в этот алгоритм при $j=1$ задающих воздействий $y_{зад,1,i} = |y_{зад,1,i}| \Delta_{2,i}$. Значение c_2^* для алгоритма (6) при определении $\Delta_{2,i}$ должно соответствовать

$$c_2^* = 0,5bc_1^* g(\nabla t)^2, \quad b > 1.$$

Эксперимент 2: $|U_{i+1,\sigma}| < 15$; $x_{1,0,0} = 3,14$; $\dot{x}_{1,0,0} = 0$; $x_{2,0,0} = 0$; $\dot{x}_{2,0,0} = 0$; $c_1^* = 0,05$; $\nabla t = 0,05$; $|y_{зад,1,i}| = c_1^*$; $y_{зад,2,i} = 5 \sin(0,1t_i)$; $f_p^* = f_p = 0,02$; $T_c(t) = f_{c2}(|\dot{x}_2(t)|) * \text{sign}(\dot{x}_2(t))$; $T_c^* = 2$; $r = 8$.
 Функция $T_c(t) = f_{c2}(\dot{S}(t))$ представлена на рис. 2.

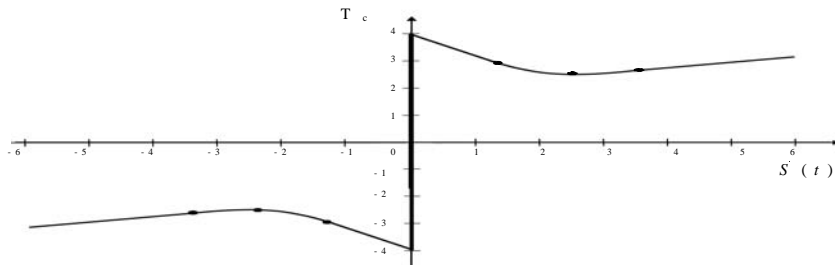


Рис. 2. Функция зависимости силы трения $T_c = f_{c2}(\dot{S}(t))$

На рис. 3,а – поведение $x_{1,i}$; на рис. 3,б – управляющее воздействие $U_{i+1,\sigma}$ ($N=50$); на рис. 3,в – $x_{1,i}$ в увеличенном масштабе; на рис. 3,г – переходный и установившийся процессы координаты $x_{2,i}$; на рис. 3,д – управляющее воздействие $U_{i+1,\sigma}$ ($N=3000$).

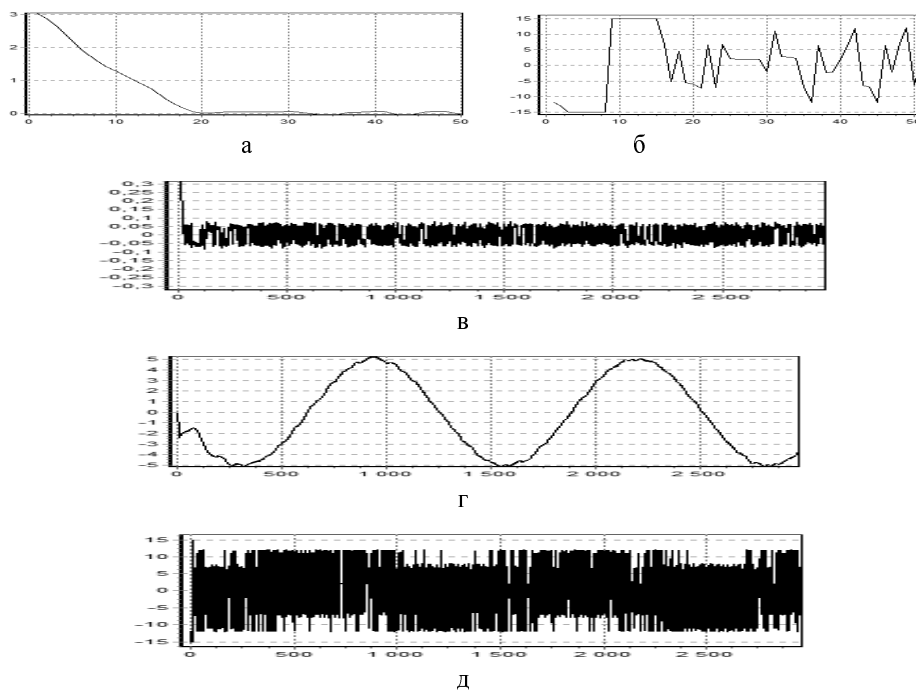


Рис. 3. Временные диаграммы по эксперименту 2

Заключение. По результатам приведенных в данной, а также выходящих за рамки данной статьи экспериментов можно сделать следующие основные выводы: решение задачи рассматривалось с учетом наиболее полного из известных описаний маятника и тележки в виде нелинейных дифференциальных уравнений; при отсутствии и слабом влиянии возмущающих воздействий обеспечиваются в соответствии с теоретическими оценками гарантированные показатели по быстродействию и точности (7), (8) для переменной $\varphi(t)$; полученные значения ошибки для $S(t)$ при $|y_{зад,1,i}| = 0,05 м$ в режиме стабилизации $|z_{2,i}| \ll 0,2$ рад; подтверждена возможность эффективного автономного управления маятником, а управления движением маятника и тележки на основе одного управляющего воздействия при различных задающих воздействиях для $S(t)$ (постоянных, гармонических); способность алгоритмов управления к проявлению грубости позволяет обеспечивать функционирование при различных видах трения; процедура синтеза алгоритмов цифрового управления отличается существенной простотой.

При проведении экспериментов не ставилась задача получения наилучших отдельных или комплексных конечных качественных характеристик, представляющих интерес для сравнения с другими методологиями решения поставленной задачи, так как данный вопрос является самостоятельным и должен решаться в единых условиях исходной постановки задачи синтеза.

Приведенное решение непростой известной задачи показывает, что использование оптимизированных дельта-преобразований второго порядка является перспективным для решения проблем управления сложными подвижными нелинейными объектами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алексаков Г.Н., Гаврилин В.В., Федоров В.А. Структурные модели динамических процессов. – М.: МИФИ, 1989. – 62 с.
2. Ропштейн А.П. Интеллектуальные технологии идентификации. <http://matlab.expone.ru/fuzzylogic/book5/references.php>
3. Квакернаак Х., Сиван Р. Линейные оптимальные системы управления. – М.: Изд-во "Мир", 1977. – 650 с.
4. Голубев Ю.Ф. Оптимальное по быстродействию управление перемещением неустойчивого стержня // Изв. РАН. Теория и системы управления. – 2008. – № 5. – С. 42-50.
5. Гришин А.А., Ленский А.В., Охоцимский Д.Е., Панин Д.А., Формальский А.М. О синтезе управления неустойчивым объектом, Перевернутый маятник // Изв. РАН. Теория и системы управления. – 2002. – № 5. – С. 14-24.
6. Колесников А.А., Медведев М.Ю. Современные методы синтеза систем управления: Учеб. пособие. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2003. – 128 с.
7. Решмин С.А., Черноусько Ф.Л. Оптимальное по быстродействию управление перевернутым маятником в форме синтеза // Изв. РАН. Теория и системы управления. – 2006. – № 3. – С. 51-62.
8. Dotoli M., Maione B., Naso D., Turchiano B. Fuzzy Sliding Mode Control for Inverted Pendulum Swing-up with Restricted Travel. Proceeding of FUZZ-IEEE 2001 – the 10-th IEEE Conference on fuzzy systems, Australia (2001).
9. Tao C.W., Taur J.S., Wang C.M., Chen U.S. Fuzzy hierarchical swing-up and sliding position controller for the inverted pendulum – cart system, Internat. J. Fuzzy Sets and Systems 159 (2008) 2763 – 2784.
10. Кравченко П.П. Основы теории оптимизированных дельта-преобразований второго порядка. Цифровое управление, сжатие и параллельная обработка информации: Монография. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2008. – 192 с.

Кравченко Павел Павлович

Технологический институт федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге.

E-mail: kravch@tsure.ru.

347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44.

Тел.: 88634314945.

Kravchenko Pavel Pavlovich

Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”.

E-mail: kravch@tsure.ru.

44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia.

Phone: 88634314945.

УДК 004.896:621.865: 623.43

А.В. Васильев

**МОБИЛЬНЫЕ МИНИ-РОБОТЫ РАЗВЕДКИ: ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ,
ХАРАКТЕРНЫЕ ЧЕРТЫ И ОБЩИЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ**

Анализируются текущее состояние и общемировые тенденции в сфере создания малоразмерных робототехнических средств обеспечения разведывательных операций. Выделяются основные принципы и перспективы развития мобильных мини-роботов. Результаты работы могут быть полезны при формировании концептуального облика вновь создаваемой техники рассматриваемого класса.

Анализ; мини-робот; мобильный; носимый; легкий; компактный; гусеничный; колесный; шасси; модульность; универсальность; адаптация.

A.V. Vasiliev

**MOBILE SCOUT MINI-ROBOTS: CURRENT STATE, TYPICAL FEATURES
AND GENERAL PROGRESS TRENDS**

The current state and worldwide tendencies of small scout robotic tools development are analyzed. The general design principles and trends of small unmanned ground vehicles (SUGV) are extracted. The analysis results may be useful for new SUGV concept development.

Assessment; mini-robot; mobile; man-portable; lightweight; compact; tracked; wheeled; chassis; modularity; versatility; adaptation.

Введение. В последнее десятилетие значительно возрос интерес к созданию различных типов сверхлегких и малозаметных робототехнических средств разведки, в том числе мобильных мини-роботов наземного базирования (далее MMP, в зарубежной литературе общепринята аббревиатура SUGV – Small Unmanned Ground Vehicles). Активизация работ в этой области связана с двумя объективными причинами. Во-первых, это доктрина ведения современных боевых действий, предусматривающая максимальную роботизацию вооруженных сил с целью минимизации потерь среди личного состава (а в перспективе – ведение боевых действий только лишь с помощью полу- или полностью автономных робототехнических систем). Примером здесь может служить действующая программа перевооружения армии США “Боевые системы будущего”. Во-вторых, это достигнутые успехи в области оптимизации и миниатюризации всех составных элементов роботов, как комплексных мехатронных систем: электромеханических приводов, ком-