УДК 531.31:62-56

Принцип обратной связи по квазиускорению при безударной стабилизации за конечное время заданных многообразий механических и обобщённых систем

И. А. Мухаметзянов

Кафедра теоретической физики и механики
Российский университет дружбы народов
ул. Миклухо-Маклая, д. 6, Москва, Россия, 117198

Описана процедура применения «принципа обратной связи по квазиускорению» при построении самонастраиваемого управляющего вектора для приведения состояния механических и обобщённых систем без удара в заданное многообразие фазового состояния систем за конечный промежуток времени в условиях полной или частичной неопределённости массо-инерционных параметров системы и действующих на неё возмущений. Процесс такого управления назван безударной стабилизацией системы за конечное время. Многообразия состояния систем задаются совокупностью голономных и неголономных программных связей. Получено множество векторов управления, обеспечивающих решение этой задачи. Затем из этого множества выделяются векторы управления минимальной размерности и минимальной евклидовой нормы. Указаны примеры применения полученных результатов для решения задач прикладного значения, таких как управление безударной стыковкой надводных, подводных и космических аппаратов, безударной посадкой спускаемых аппаратов на подвижные платформы, а также захвата подвижных объектов, в том числе «космического мусора».

В отличие от предыдущих работ автора, посвящённых проблемам управления механическими системами, здесь, наряду с ними, рассматриваются также более общие системы, включающие в себя системы другой физической природы, такие как системы Гельмгольца, и широкий класс систем с переменными массами, зависящими, кроме обобщённых координат, ещё и от обобщённых скоростей. Кроме того, к таким системам можно отнести также экономические системы при их рассмотрении в качестве динамических аналогов механических и обобщённых систем. Следует отметить, что при вышеуказанном расширении класса исследуемых систем приходится считаться с тем, что обобщённая матрица квадратичной формы массо-инерционных характеристик системы может не являться определённо положительной, в отличие от механических систем, а лишь быть неособенной. Это обстоятельство не позволяет построить управление без использования элементов этой матрицы, что было возможно в случае механических систем. Вместе с тем в работе удалось построить универсальный вектор, не зависящий от этих элементов, для любых обобщённых систем, умножением которого на эту обобщённую матрицу, определяется закон управления любой данной обобщённой системой. Таким образом, результаты работы можно рассматривать в качестве существенного вклада в теорию самонастраиваемого управления механическими и обобщёнными системами и их динамическими аналогами, когда целью управления является безударное приведение состояния системы в многообразие, образованное программными связями при неполной информации о действующих на систему неуправляющих силах и возмущениях.

Ключевые слова: принцип обратной связи по квазиускорению, самонастраиваемое управление, безударное приведение в многообразие, конечное время, механические и обобщённые системы.

1. Введение

Работа посвящена развитию идей, заложенных в «принципе декомпозиции» [1] и развитых в работах [2–4].

Статья поступила в редакцию 25 июня 2014 г.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект 13-08-00535-а.

В данной работе предлагается «принцип обратной связи по квазиускорению», с помощью которого строятся универсальные алгоритмы безударной стабилизации за конечное время фазового состояния механических и обобщённых систем, заданного голономными и неголономными программными связями. В отличие от «принципа декомпозиции» [1] решение задачи возможно и при размерности вектора управления, меньшей числа степеней свободы системы. При этом предполагается, что массо-инерционные параметры системы и возмущающие силы известны неточно. Полученные результаты позволяют решать задачи прикладного характера, подобные рассмотренным в [5–7], более экономно, благодаря применению предложенного «принципа обратной связи по квазиускорению».

2. Управление механическими системами

Рассматривается механическая система, динамика которой описывается уравнениями Лагранжа второго рода

$$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}}\right) - \frac{\partial T}{\partial q} = Q + Q', \tag{1}$$

$$T = \frac{1}{2}\dot{q}^T A(q,t)\dot{q} + \dot{q}^T b(q,t) + T_0(q,t), \tag{2}$$

где A — определённо положительная матрица, b — вектор, T_0 — скаляр, $q,\ \dot{q} \in R^n$ — векторы обобщённых координат и скоростей. Элементы A, векторов Q', b и T_0 предполагаются непрерывными и ограниченными.

Пусть многообразие невозмущённого состояния механической системы задано с помощью непрерывных функций в виде

$$\bar{\omega}_1(q,t) = 0, \quad \tilde{A}(q,t)\dot{q} + \tilde{a}_2(q,t) = 0, \tag{3}$$

где $\bar{\omega}_1$ — k_1-мерный, а $\tilde{a}_2$ — k_2-мерный вектор, $\tilde{A}$ — $(k_2 \times n)$ матрица.

Предположим, что $\det \parallel \Omega\Omega^T \parallel \neq 0$, $\Omega = \parallel \partial\bar{\omega}_1/\partial q, \tilde{A} \parallel$ — матрица размера $k \times n$, $k = k_1 + k_2$. Задача заключается в построении Q для обеспечения безударного приведения за конечное время фазового состояния механической системы (1) в многообразие (3) при любых q_0, $\dot{q_0}$, $b(q,t)$, $T_0(q,t)$, Q'. Такой процесс назовём безударной стабилизацией системы за конечное время.

Для решения задачи переходим от координат q_ν к другим координатам $\omega_1, \omega_2, \ldots, \omega_{k_1}$ — элементам $\bar{\omega}_1$, и квазикоординатам $\omega_j (j = k_1+1, k_1+2, \ldots, k)$, где $k = k_1 + k_2$, а также координатам $p_1, p_2, \ldots, p_{n-k}$, ортогональным ω_i $(i = 1, 2, \ldots, k)$ [7].

Введём вместо $\dot{\bar{\omega}}_1$ квазискорости

$$\dot{\tilde{\omega}}_1 = \dot{\bar{\omega}}_1 + \mu\bar{\omega}_1, \tag{4}$$

где $\mu\bar{\omega}_1$ — вектор с элементами $\mu_\nu\omega_\nu$, $\mu_\nu = \mathrm{const} > 0$ $(\nu = 1, 2, \ldots, k_1)$. Присоединяя к (4) $\dot{\tilde{\omega}}_2 = \tilde{A}\dot{q} + \tilde{a}_2$, получим k-мерный вектор $\dot{\tilde{\omega}} = (\dot{\tilde{\omega}}_1, \dot{\tilde{\omega}}_2)$. Выражая T в виде $T = T_{\tilde{\omega}} + T_p + \tilde{T}_0$, где $T_{\tilde{\omega}} = \dot{\tilde{\omega}}^T A_\omega \dot{\tilde{\omega}}/2 + \dot{\tilde{\omega}}^T b_{\tilde{\omega}}$, $\tilde{T}_0 = T_0 + T^0_{\tilde{\omega}}$, $b_{\tilde{\omega}} = b_\omega - A_\omega \tilde{a}$, $T^{(2)}_{\tilde{\omega}} = \dot{\tilde{\omega}}^T A_\omega \dot{\tilde{\omega}}/2$, получим уравнение (1) в квазикоодинатах [7]:

$$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\left(\frac{\partial T_{\tilde{\omega}}}{\partial \dot{\tilde{\omega}}}\right) - \frac{\partial T_{\tilde{\omega}}}{\partial \tilde{\omega}} = Q_\omega + Q'_\omega + \frac{\partial T}{\partial \omega} - \frac{\partial T_{\tilde{\omega}}}{\partial \tilde{\omega}}. \tag{5}$$

Систему (5) представим в виде $A_\omega \ddot{\tilde{\omega}} = Q_\omega + \tilde{Q}'_\omega$. Вектор Q_ω квазиобобщённых управляющих сил ищем в виде:

$$Q_\omega = -(\operatorname{sign}\dot{\tilde{\omega}})(Q^0_\omega + \Delta Q_\omega), \tag{6}$$

где $\operatorname{sign}\dot{\tilde{\omega}}$ — диагональная матрица $(k \times k)$ с элементами $\operatorname{sign}\dot{\tilde{\omega}}_\nu (\nu = 1, 2, \ldots, k)$.

При $t = 0$ если $\dot{\tilde{\omega}}^T\ddot{\tilde{\omega}} \geqslant 0$, то для определения постоянной составляющей Q^0_ω, не используя информацию об элементах матрицы A_ω (а следовательно и матрицы A), сообщаем системе (6) при $t = 0$ управление

$$Q_\omega = -(\operatorname{sign}\ddot{\tilde{\omega}})(\lambda t), \tag{7}$$

где $\operatorname{sign}\ddot{\tilde{\omega}}$ — диагональная матрица, λ — вектор с достаточно большими положительными элементами.

Момент времени обращения $\ddot{\tilde{\omega}}$ в нуль обозначим через t_0. Заметим, что при $t = t_0$ имеет место

$$\tilde{Q}'_\omega = [\operatorname{sign}\ddot{\tilde{\omega}}(0)](\lambda t_0). \tag{8}$$

Теперь потребуем, чтобы при $t = t_0 + \Delta t$, $\Delta t > 0$, имело место

$$\dot{\tilde{\omega}}^T\ddot{\tilde{\omega}} = -\delta, \quad \delta = \mathrm{const} > 0. \tag{9}$$

Для этого при $t = t_0$ сообщим системе управление

$$Q_\omega = -(\operatorname{sign}\dot{\tilde{\omega}})(\lambda t_0 + \tilde{\Delta}), \tag{10}$$

где $\tilde{\Delta}$ — вектор с элементами $\Delta_\nu > 0$, при которых соблюдается неравенство в (9). В противном случае необходимо увеличивать Δ_ν.

Измерение или вычисление $\ddot{\tilde{\omega}}$ продолжим до тех пор, пока не наступит равенство

$$\dot{\tilde{\omega}}^T\ddot{\tilde{\omega}} = -\delta_0, \tag{11}$$

где $\delta_0 = \gamma\delta$, $1 > \gamma > 0$.

В момент времени $t_1 > t_0$ наступления (11) добавим к (10) дополнительно $\tilde{\Delta}$. Тогда (10) принимает вид

$$Q_\omega = -(\operatorname{sign}\dot{\tilde{\omega}})[\lambda t_0 + \tilde{\Delta}(1 + i)], \tag{12}$$

где $1 + i$ соответствует моменту времени №1 наступления равенства (11).

При продолжении измерения или вычисления левой части (9) возможно наступление следующего момента времени t_2, при котором имеет место (11). Заметим, что момента времени t_2, удовлетворяющего (11), может и не быть. Если t_2 существует, то i в (12) удваивается, т.е. заменяется на $i = 2$. Таким образом, процедура определения i в

$$Q_\omega = -(\operatorname{sign}\dot{\tilde{\omega}})[\lambda t_0 + \tilde{\Delta}(i + 1)] \quad (i = 1, 2, \ldots), \tag{13}$$

продолжается до тех пор, пока не наступит время обращения $\tilde{\omega}$ в нуль.

Необходимо отметить, что при $\dot{\tilde{\omega}}^T(0)\ddot{\tilde{\omega}}(0) < -\delta_0$ значения λ следует выбрать равным нулю.

Следовательно, искомые векторы Q^0_ω, ΔQ_ω в правой части (7) можно представить в виде

$$Q^0_\omega = (\lambda t_0 + \tilde{\Delta}) \operatorname{sign}[(\dot{\tilde{\omega}}^T(0)\ddot{\tilde{\omega}}_0(0) + \delta_0) + |\dot{\tilde{\omega}}^T(0)\ddot{\tilde{\omega}}(0) + \delta_0|], \quad \Delta Q_\omega = \tilde{\Delta} i \quad (i = 1, 2, \ldots).$$

Заметим, что предложенный выше способ самонастраиваемого управления представляет собой «принцип обратной связи по квазиускорению» в дискретные моменты времени t_ν $(\nu = 1, 2, \ldots)$, соответствующие $i = 1, 2, \ldots$.

Как показано в [7], в некоторый конечный момент времени $\tilde{t}_1$ изображающие точки $(\omega_\nu, \dot{\omega}_\nu)$, согласно (4), окажутся на линиях разрыва

$$\dot{\omega}_\nu + \mu_\nu \omega_\nu = 0 \quad (\nu = 1, 2, \ldots, k_1) \tag{14}$$

и при этом знаки $\omega_\nu(\tilde{t}_1)$ и $\dot{\omega}_\nu(\tilde{t}_1)$ будут противоположными, что необходимо для обеспечения управления системой в «режиме торможения» [7], обеспечивающего достижение одновременного обращения в нуль значений ω_ν и $\dot{\omega}_\nu$ в конечные моменты времени

$$\tilde{t}_{2\nu} = \tilde{t}_1 + \frac{2\,|\omega_\nu(\tilde{t}_1)|}{|\dot{\omega}_\nu(\tilde{t}_1)|} \quad (\nu = 1, 2, \ldots, k_1),$$

если элементы вектора управления Q_ω выбрать в виде [7]:

$$Q_{\omega_\nu} = -(\operatorname{sign} \dot{\tilde{\omega}}_{0\nu})[\lambda_\nu t_0 + \tilde{\Delta}_\nu(i+1)] \quad (i = 1, 2, \ldots), \tag{15}$$

где

$$\dot{\tilde{\omega}}_{0\nu} = \dot{\tilde{\omega}}_\nu \operatorname{sign} \dot{\tilde{\omega}}_\nu^2 + \dot{\tilde{\omega}}_{3\nu} \operatorname{sign}(1 - \operatorname{sign} \dot{\tilde{\omega}}_\nu^2), \tag{16}$$

$\dot{\tilde{\omega}}_\nu$ — элементы вектора $\dot{\tilde{\omega}}^T = (\dot{\tilde{\omega}}_1, \dot{\tilde{\omega}}_2)$,

$$\dot{\tilde{\omega}}_{3\nu}(\tau) = -\dot{\omega}_\nu(\tau) + \dot{\omega}_\nu(\tilde{t}_1) + \frac{\dot{\omega}_\nu^2(\tilde{t}_1)}{2\,\omega_\nu(\tilde{t}_1)}\,\tau \quad (\nu = 1, 2, \ldots, k_1), \quad \tau = t - \tilde{t}_1. \tag{17}$$

Заметим, что в (17) знаки $\omega_\nu(\tilde{t}_1)$ и $\dot{\omega}_\nu(\tilde{t}_1)$ в силу (14) являются противоположными.

Теперь управление исходной системой (1) с минимальной евклидовой нормой определяется в виде [8]:

$$u = \bar{\Omega}^T(\bar{\Omega}\bar{\Omega}^T)^{-1} Q_\omega, \tag{18}$$

где $\bar{\Omega} = \Omega^T(\Omega\Omega^T)^{-1}$.

Если Q задавать в виде $Q = M_0 \bar{U}$, где $M_0(q, \dot{q}, t)$ — матрица $(n \times r)$, U — r-мерный вектор управления, то из (18) следует

$$(\Omega\Omega^T)^{-1}\Omega M_0 U = Q_\omega. \tag{19}$$

При условии $\tilde{\Omega} = \Omega^T(\Omega\Omega^T)^{-1}\Omega M_0$, $\det \parallel \tilde{\Omega}\tilde{\Omega}^T \parallel \neq 0$ решения уравнения (19) относительно U можно представить в виде [8]

$$U = \tilde{\Omega}^T(\tilde{\Omega}\tilde{\Omega}^T)^{-1} Q_\omega + U_r, \tag{20}$$

где U_r — r-мерный вектор, удовлетворяющий условию $\tilde{\Omega} U_r = 0$, который можно представить в виде [8]:

$$U_r = [E - \tilde{\Omega}^T(\tilde{\Omega}\tilde{\Omega}^T)^{-1}\tilde{\Omega}]\tilde{U},$$

где E — единичная матрица, $\tilde{U}$ — произвольно задаваемый вектор.

Заметим, что при $r = k$ матрица $\tilde{\Omega}$ является квадратной. Следовательно, $U_r = 0$, так как при этом $\tilde{\Omega}^T(\tilde{\Omega}\tilde{\Omega}^T)^{-1}\tilde{\Omega} = E$. Отсюда следует, что минимальная размерность вектора управления U в случае $k \leqslant r$ может быть равна размерности k вектора ω, что является меньше числа степеней свободы системы (1). Следует отметить, что при $r > k$, полагая $U_r = 0$ в (20), получим управление U с минимальной евклидовой нормой.

3. Управление обобщёнными системами

В случае механических систем матрица A в (2) является определённо положительной по $\dot{q}$. При этом матрица A_ω в (6) тоже является положительно определённо. Для того, чтобы убедиться в этом, определим выражение A_ω через A следующим образом. Определим $\dot{q}$ через $\dot{\omega}$, дифференцируя ω_1 по t и присоединяя к ней второе равенство в (3). Получим

$$\frac{\partial\omega_1}{\partial q}\dot{q} = -\frac{\partial\omega_1}{\partial t} + \dot{\omega}_1, \quad \tilde{A}(q,t)\dot{q} = -\tilde{a}_2(q,t) + \dot{\omega}_2. \tag{21}$$

Учитывая предположение

$$\det \parallel \Omega\Omega^T \parallel \neq 0, \quad \Omega = \parallel \partial\bar{\omega}_1/\partial q, \tilde{A} \parallel, \tag{22}$$

получим решение (21) через $\dot{\omega}, \dot{\omega}_2$ в виде [8]:

$$\dot{q} = \Omega^T(\Omega\Omega^T)^{-1}\begin{Vmatrix}\dot{\omega}_1 & -\partial\bar{\omega}_1/\partial t\\ \dot{\omega}_2 & -\tilde{a}_2\end{Vmatrix}. \tag{23}$$

Подставляя (23) в $T_2 = \dot{q}^T A\dot{q}$, получим $T_\omega^{(2)} = \dot{\omega}^T[\Omega^T(\Omega\Omega^T)^{-1}]^T A\Omega^T(\Omega\Omega^T)^{-1}\dot{\omega}$, $\dot{\omega} = \begin{Vmatrix}\dot{\omega}_1\\ \dot{\omega}_2\end{Vmatrix}$. Отсюда следует, что $A_\omega = [\Omega^T(\Omega\Omega^T)^{-1}]^T A\Omega^T(\Omega\Omega^T)^{-1}$ является определённо положительной, если A — определённо положительная матрица. Если A не является определённо положительной, а лишь является неособенной и может зависеть кроме ω, t ещё и от $\dot{q}$, что имеет место в случае обобщённых систем [9], то матрица A_ω не будет определённо положительной.

Следует отметить, что к обобщённым системам относятся системы Гельмгольца [9] и широкий класс систем с переменными массами, зависящими кроме обобщённых координат и времени ещё и от обобщённых скоростей [10]. Заметим, что методы, разработанные здесь для обобщённых систем, применимы и к механическим системам, т.к. они являются частным случаем обобщённых систем.

В случае, когда A_ω в (6) является определённо положительной, в п. 2 удалось построить вектор Q обобщённых сил в (1) без информации об элементах матрицы A. В данном случае не удаётся этого добиться, но оказывается возможным представить Q в виде $Q = AR(\omega, \dot{\omega}, t)$, где R — вектор, определяемый без использования информации об элементах матрицы A.

Следовательно, для всех обобщённых систем с неособенной матрицей A, R является универсальным вектором, зависящим лишь от функций $\omega, \dot{\omega}$, определяющих многообразие (3) заданного фазового состояния обобщённой системы.

Для определения R систему (1) умножим на A^{-1}, после чего она становится аналогом механической системы с единичной матрицей A и вектором обобщённых сил Q, равным $R = A^{-1}Q$. Тогда система (6) представляется в виде

$$\tilde{A}_\omega\ddot{\tilde{\omega}} = R_\omega + R'_\omega, \tag{24}$$

где $\tilde{A}_\omega$ — матрица вида

$$\tilde{A}_\omega = [\Omega^T(\Omega\Omega^T)^{-1}]^T E\Omega^T(\Omega\Omega^T)^{-1}, \tag{25}$$

E — единичная матрица.

Умножая (24) на $\tilde{A}_\omega^{-1}$, получим $\ddot{\tilde{\omega}} = \tilde{R}_\omega + \tilde{A}_\omega^{-1}R'_\omega$, $\tilde{R}_\omega = \tilde{A}_\omega^{-1}R_\omega$.

Далее, повторяя рассуждения п. 2, из (15) после замены $\lambda_\nu t_0$ на $|\tilde{A}_\omega(0)\ddot{\tilde{\omega}}(0)|$, соответствующее начальному моменту времени $t_0 = 0$, получим вектор $\tilde{R}_\omega$ с элементами

$$\tilde{R}_{\omega_\nu} = -(\operatorname{sign}\dot{\tilde{\omega}}_{0\nu})[|\tilde{A}_\omega(0)\ddot{\tilde{\omega}}(0)| + \tilde{\Delta}_\nu(i+1)] \quad (i = 1, 2, \ldots), \tag{26}$$

где $\dot{\tilde{\omega}}_{0\nu}$ имеет вид (16). При этом отсчёт моментов времени t_ν наступления равенства (11) ведётся непосредственно после момента $t = 0$.

После этого определим $R_\omega = \tilde{A}_\omega \tilde{R}_\omega$, а из (18)

$$R = \bar{\Omega}^T(\bar{\Omega}\bar{\Omega}^T)^{-1}\tilde{A}_\omega\tilde{R}_\omega, \quad \bar{\Omega}^T = \Omega^T(\Omega\Omega^T)^{-1}. \tag{27}$$

Наконец, умножая R на A, получим обобщённый вектор управления системой (1):

$$Q = A\bar{\Omega}^T(\bar{\Omega}\bar{\Omega}^T)^{-1}\tilde{A}_\omega\tilde{R}_\omega, \tag{28}$$

$\tilde{A}_\omega, \tilde{R}_\omega, \bar{\Omega}, \Omega$ имеют выражения (25), (26), (27), (22).

Заметим, что вектор Q носит ступенчатый характер, так как R_ω теряет свою непрерывность или гладкость в моменты времени $t_0, t_\nu(\nu = 1, 2, \ldots), \tilde{t}_1$, предшествующие концу процесса управления, и в моменты времени $\tilde{t}_2 = \max \tilde{t}_\nu$ достижения системой состояния $\omega(\tilde{t}_2) = 0$, $\dot{\omega}(\tilde{t}_2) = 0$ без удара.

В заключение отметим, что в качестве примеров применения вышеизложенных результатов к решению задач прикладного значения могут служить задачи, рассмотренные в [5–7,9,10], и задачи управления экономическими процессами [11].

Литература

1. *Пятницкий Е. С.* Принцип декомпозиции в управлении механическими системами // Доклады АН СССР. — 1988. — Т. 300, № 2. — С. 300–303.
2. *Матюхин В. И.* Универсальные законы управления механическими системами. — Москва: МАКС Пресс, 2001. — 249 с.
3. *Матюхин В. И.* Безударный контакт твёрдых тел // ДАН. — 2009. — Т. 427, № 1. — С. 44–47.
4. *Ананьевский И. М.* Синтез непрерывного управления механической системой с неизвестной матрицей инерции // Известия РАН. Теория и системы управления. — 2006. — № 3. — С. 24–35.
5. *Мухаметзянов И. А., Чекмарёва О. И.* Безударная посадка тела на подвижную платформу // Труды X Международной Четаевской конференции. — Т. 3. — 2012. — С. 197–204.
6. *Мухаметзянов И. А., Чекмарёва О. И.* Самонастраиваемое управление процессом безударной стыковки двух подвижных объектов // Вестник РУДН. Серия «Математика. Информатика. Физика». — 2013. — № 4. — С. 154–160.
7. *Мухаметзянов И. А.* Самонастраиваемое управление процессом безударного приведения состояния механических систем в заданное многообразие // Вестник РУДН. Серия «Математика. Информатика. Физика». — 2013. — № 3. — С. 105–112.
8. *Мухаметзянов И. А.* Построение уравнений программных движений // Автоматика и телемеханика. — 1972. — № 10. — С. 16–23.
9. Аналитическая динамика систем Гельмгольца, Биркгофа, Намбу / А. С. Галиуллин, Г. Г. Гафаров, Р. П. Малайшка, А. М. Хван. — Москва: Успехи физических наук, 1997. — 324 с.
10. *Новоселов В. С.* Аналитическая механика систем с переменными массами. — Ленинград: Издательство Ленинградского университета, 1969. — 240 с.
11. *Мухарлямов Р. Г.* Моделирование динамики простейших экономических объектов как систем с программными связями // Вестник РУДН. Серия «Математика. Информатика. Физика». — 2007. — № 3-4. — С. 25–34.

UDC 531.31:62-56

The Principle of Feedback on the Quasi-Accelerations for Unstressed Stabilization in Finite Time of Given Manifolds of Mechanical and Generalized Systems

I. A. Mukhametzyanov

Department of Theoretical Physics and Mechanics
Peoples' Friendship University of Russia
6, Miklukho–Maklaya str., Moscow, Russian Federation, 117198

The procedure is described of application of the "principle of feedback on the quasi-accelerations" in the construction of auto-adjustment control vector for bringing the condition of mechanical and generalized systems without impact to a given manifold of phase state of systems in finite time, in full or partial uncertainty mass-inertial parameters of the system and disturbances acting on it. This process is called unstressed stabilization of system in a finite time. Varieties of the condition of systems are given by set of holonomic and nonholonomic soft links. A set of control vectors that provide a solution to this problem is obtained. Then from this set of vectors control vectors of minimal dimension and minimum Euclidean norm are allocated. The examples are shown of applying these results to solve problems of practical importance, such as process of control of unstressed docking of surface and underwater and spacecrafts objects, unstressed landing of landers to the moving platforms, and capture of fast moving objects, including "space debris".

In contrast to previous works of the author on the problems of control of mechanical systems, here, along with them, more general systems are also considered, including systems of other physical nature, such as the Helmholtz system, and a wide class of systems with variable masses, depending not only on generalized coordinates, but also on the generalized velocities. In addition, such systems may also include economic systems when considered as dynamic analogs of mechanical and generalized systems. It should be noted that in the above extension of the class of systems under study one have to reckon with the fact that the generalized matrix of quadratic form of the mass-inertial characteristics of the system may not be positive definite, unlike mechanical systems, but only to be nonsingular. This fact does not allow building a control without the use of elements of this matrix, it was possible in the case of mechanical systems. However, in the work a universal vestor could be built that does not depend on these elements, for any generalized systems, Multiplying that vector by this generalized matrix, the law of control of any given generalized system is determined. Thus, the results can be regarded as a significant contribution to the theory of auto-adjustment control of mechanical and generalized systems and their dynamic counterparts, when the goal of control is unstressed bringing of condition of system to given manifold, formed by program constraints, with incomplete information about the non-control forces and disturbances acting on system.

Key words and phrases: The principle of feedback on the quasi-accelerations, auto-adjustment control, unstressed bringing to manifold, finite time, mechanical and generalized systems.

References

1. E. S. Pyatnitsky, Principle of Decomposition in the Management of Mechanical Systems, DAN SSSR 300 (2) (1988) 300–303, in Russian.
2. V. I. Matyukhin, Universal Laws of Control of Mechanical Systems, MAKS Press, Moscow, 2001, in Russian.
3. V. I. Matyukhin, Unstressed Contact of Solids, DAN 427 (1) (2009) 44–47, in Russian.
4. I. M. Ananjevsky, Synthesis of Continuous Control of Mechanical Systems with Unknown Inertia Matrix, Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Theory and Control Systems (3) (2006) 24–35, in Russian.
5. I. A. Mukhametzyanov, O. I. Chekmaryova, A Nonimpacting Landing of the Body to the Mobile Plate, in: Proceedings of the 10th International Chetaev Conference, Vol. 3, 2012, pp. 197–204, in Russian.

6. I. A. Mukhametzyanov, O. I. Chekmaryova, Self-Adjusting Control of Non-Impact Docking of Two Moving Objects, PFUR Bulletin. "Mathematics. Information Sciences. Physics" (4) (2013) 154–160, in Russian.
7. I. A. Mukhametzyanov, Process Self-Adjusting Control of Non-Impact Bringing of the Condition of Mechanics Systems to Given Set, PFUR Bulletin. "Mathematics. Information Sciences. Physics" (3) (2013) 105–112, in Russian.
8. I. A. Mukhametzyanov, Construction of Equations of Program Motions, Automation and Remote Control (10) (1972) 16–23, in Russian.
9. A. S. Galliulin, G. G. Gafarov, R. P. Malayshka, A. M. Hvan, Analytical Dynamics of Systems of Helmholtz, Birkhoff, Nambu, Advances in Physical Sciences, Moscow, 1997, in Russian.
10. V. S. Novoselov, Analytical Mechanics of Systems with Variable Masses, Publishing house of the Leningrad University, L., 1969, in Russian.
11. R. G. Mukharlyamov, Modeling of Dynamics of the Elementary Economic Objects as Systems with Program Constraints, PFUR Bulletin. "Mathematics. Information Sciences. Physics" (3-4) (2007) 25–34, in Russian.