Обухов Павел Серафимович, Иванов Станислав Валерьевич, Гвинджилия Валерия Енвериевна, Саныгин Илья Александрович

СИНТЕЗ ЗАКОНА ТЕРМИНАЛЬНО-ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИМ ОБЪЕКТОМ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ МОДЕЛИ С ОБОБЩЕННОЙ УПРАВЛЯЮЩЕЙ ФУНКЦИЕЙ В УСЛОВИЯХ КОНФЛИКТА

В статье рассматривается задача оптимального терминального управления динамическим объектом с неопределенной управляющей функцией противоборствующего объекта. Особенной сложностью решения является задание управления объектом таким образом, чтобы в момент его движения в заданную терминальную область пространства он смог совершать маневры уклонения от противоборствующего объекта. Решение этой задачи сводится к одноточечной краевой задаче (задаче с закрепленным правым концом). Построение алгоритмов решения таких задач с возможностью их реализации в реальном масштабе времени современными бортовыми вычислителями остается важной для практики управления высокоскоростными динамическими объектами научной задачей .

Источник
Альманах современной науки и образования
Тамбов: Грамота, 2016. № 1 (103). C. 83-86. ISSN 1993-5552.
Адрес журнала: www.gramota.net/editions/1.html
Содержание данного номера журнала: www.gramota.net/materials/1/2016/1/

Список литературы

1. **Виноградов В. В.** Очерки по истории русского литературного языка XVII-XIX вв. М.: Учпедгиз, 1938. 448 с.
2. **Московские Ведомости от 18 июля 1703 г.** [Электронный ресурс]. URL: http://imwerden.de/cat/modules.php?name=books&pa=showbook&pid=2029 (дата обращения: 08.09.2015).
3. **Ожегов С. И., Шведова Н. Ю.** Толковый словарь русского языка. 4-е изд. М.: Азбуковник, 1997. 944 с.
4. **Пыляев М. И.** Старый Петербург. СПб.: Типографія А. С. Суворина, 1889. 496 с.
5. **Срезневский И. И.** Материалы для словаря древне-русского языка по письменным памятникам: в 4-х т. СПб.: Типография Императорской Академии Наук, 1902. Т. 3. 1684 с.
6. **Трубецкой Е. Н.** Умозрение в красках. М.: Тип. товарищества И. Д. Сытина, 1916. 44 с.
7. **Фасмер М.** Этимологический словарь русского языка: в 4-х т. М.: Астрель, 2004. Т. 4. 860 с.
8. **Черных П. Я.** Историко-этимологический словарь современного русского языка: в 2-х т. М.: Рус. яз. – Медиа, 2007. Т. 2. 559 с.

**URBANISTIC CONCEPTION “STREET”
IN PHILOSOPHICAL-ETYMOLOGICAL ASPECT OF RUSSIAN CULTURE**

Nikulushkin Konstantin Vladimirovich
Herzen State Pedagogical University of Russia
const.nickulushckin@yandex.ru

The article analyzes the terminology of architectural infrastructure in philosophical aspect explicating gnosiological involvement into the historical stratum of urban culture. The object of the research is the lexeme “street” included into the concept of urban ontology and acquiring semiotic meaning in urbanistic context. The analysis of the concept is carried out by the material of Saint Petersburg urban structure using hermeneutic and linguistic research methods.

Key words and phrases: philosophical modus; semantic propositions; terminological units; existential formula; esthetic form; reflection; cultural customary usage.

УДК 629.7.017.2
Технические науки

В статье рассматривается задача оптимального терминального управления динамическим объектом с неопределенной управляющей функцией противоборствующего объекта. Особенной сложностью решения является задание управления объектом таким образом, чтобы в момент его движения в заданную терминальную область пространства он смог совершать маневры уклонения от противоборствующего объекта. Решение этой задачи сводится к одноточечной краевой задаче (задаче с закрепленным правым концом). Построение алгоритмов решения таких задач с возможностью их реализации в реальном масштабе времени современными бортовыми вычислителями остается важной для практики управления высокоскоростными динамическими объектами научной задачей.

Ключевые слова и фразы: динамический объект; противоборствующий объект; объект-союзник; численное моделирование процесса управления; одноточечная краевая задача; закон терминально-оптимального управления; система дифференциальных уравнений.

Обухов Павел Серафимович, к.т.н., доцент
Иванов Станислав Валерьевич, к.т.н., доцент
Гвинджилия Валерия Енвериевна
Саныгин Илья Александрович
Донской государственный технический университет
pobuhov@spark-mail.ru; sta399@yandex.ru; sinedden@yandex.ru; ilyasanygin@mail.ru

СИНТЕЗ ЗАКОНА ТЕРМИНАЛЬНО-ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИМ ОБЪЕКТОМ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ МОДЕЛИ С ОБОБЩЕННОЙ УПРАВЛЯЮЩЕЙ ФУНКЦИЕЙ В УСЛОВИЯХ КОНФЛИКТА

Рассматривается задача оптимального терминального управления динамическим объектом с неопределенной управляющей функцией противоборствующего объекта. Предлагается подход к ее решению, включающий синтез управления на основе модели с обобщенным управлением.

Математическая формализация рассматриваемой конфликтной задачи может быть задана следующим образом. Пусть при управлении динамическим объектом заданы: интервал времени $\left[t_0, t_k\right] \in T$ – ограниченное ($t_k \le T$) время функционирования объекта; X – n-мерное, Y – m-мерное, U – r-мерное, W – p-мерное евклидовы пространства с элементами x, y, u, w соответственно; $f_x(x,t)$, $g_u(u,x,y,t)$ и $f_y(y,t)$, $g_w(w,y,x,t)$ – соответственно n-мерные и m-мерные непрерывные нелинейные функции. Текущие состояния динамического объекта союзника описываются фазовым вектором x(t), а состояния противоборствующего объекта – вектором y(t), и в фазовом пространстве задаются системой нелинейных дифференциальных уравнений [2; 8]:

$$\frac{dx}{dt} = f_x(x,t) + g_u(u,x,y,t)\,,\ x(t_0) = x_0\,; \tag{1}$$

$$\frac{dy}{dt} = f_y(y,t) + g_w(w,y,x,t)\,,\ y(t_0) = y_0\,, \tag{2}$$

где u, w – управляющие функции объекта-союзника ($u \in R^r$, $w \in R^p$); $t \in [t_0, t_k]$ – ограниченное время решения задачи, t_0 – начальный момент времени.

Заданы значения i-х ($i = \overline{1, n_1}$, $n_1 < n$) компонент вектора состояния j объекта союзника в конечный момент времени:

$$x_i(t_k) = \tilde{x}_i\,,$$

где $\tilde{x}_i$ – краевые значения, определяющие терминальную область пространства пункта назначения

$$x_i(t_k) - \tilde{x}_i = \Phi_i(x, t_k) = 0 \tag{3}$$

(Φ_i – вектор-функция размерности $n_1 \times 1$).

Органы управления динамического объекта формируют ограниченные управляющие воздействия:

$$\left| u_j(t) \right| \le \hat{u}_j\,,\ j = \overline{1, r}. \tag{4}$$

Векторы управлений u, w должны одновременно обеспечивать оптимумы (максимум и минимум) некоторого заданного функционала J, характеризующего расстояние между объектами:

$$J = D\left[x(t_k), y(t_k), t_0 \le t_k \le T \right], \tag{5}$$

где D – известная скалярная функция.

В сформулированной задаче поиск оптимального управления необходимо осуществлять из условия минимакса:

$$J\left[u^0, w^0(y,x,t)\right] = \min_{w} \max_{\left|u_j(t)\right| \le \hat{u}_j} \left\{ D\left[x(t_k), y(t_k), t_k\right] + \frac{1}{2}\int_{t_0}^{t_k} [w^T(t) S_1 w(t) - u^T(t) S_2 u(t)] dt \right\},\ j = \overline{1, r}\,, \tag{6}$$

где $S_1(t)$, $S_2(t)$ – симметричные положительно определенные функции-матрицы соответствующих размерностей.

Решение задачи

При синтезе алгоритма воспользуемся подходом, изложенным в работах [3; 7] и позволяющим свести сформулированную задачу к задаче гарантированного управления объекта-союзника. В этом случае нахождение оптимальной стратегии управления $u^0(t)$ осуществляется здесь из более узкого, в сравнении с (6), условия:

$$J\left[u^0; \bar{w}(y,x,t)\right] = \max_{\left|u_j(t)\right| \le \hat{u}_j} \left\{ J\left[u, \bar{w}(y,x,t)\right] \right\},\ j = \overline{1, r}\,, \tag{7}$$

где $\bar{w}(y,x,t)$ – допустимая функция управления динамического объекта. Предполагается, что управление противоборствующим объектом реализуется по принципу обратной связи на основе собственных наблюдений и допускает столкновение с объектом-союзником.

Вектор оптимального управления объекта-союзника находится при этом из условия максимума гамильтониана:

$$H(l(t), u^0(t), \bar{w}(t), \lambda(t), t) = \max_{\left|u_j(t)\right| \le \hat{u}_j} \left\{ H(l(t), u(t), \bar{w}(t), \lambda(t), t) \right\}\,,\ j = \overline{1, r}\,, \tag{8}$$

где $l(t) = \left[x(t)^T \quad y(t)^T \right]^T$ – объединенный вектор состояния (т – знак транспонирования); $\bar{w}(l,\lambda,t) = K_1^{-1} \left| \mathbf{0} \;\vdots\; \frac{\partial g_w}{\partial w}^{\mathrm{T}} \right| \lambda$; λ(t) – ($n$+$m$)-мерная вектор-функция, удовлетворяющая вместе с тройкой [l_0, $u^0(t)$, $\bar{w}(t)$] системе:

$$\frac{dl}{dt} = f\left[l(t), u^0(t), \bar{w}(t), \lambda(t), t\right] = f\left[l(t), \lambda(t), t\right]; \tag{9}$$

$$\frac{d\lambda}{dt} = -\frac{\partial H}{\partial l} = \phi\left[l(t), u^0(t), \bar{w}(t), \lambda(t), t\right] = \phi\left[l(t), \lambda(t), t\right], \tag{10}$$

где $f\left[l(t), \lambda(t), t\right] = \begin{vmatrix} f_y\left[l(t), t\right] + g_u\left[l(t), \lambda(t), t\right] \\ f_z\left[l(t), t\right] + g_w\left[l(t), \lambda(t), t\right] \end{vmatrix}$, с граничными условиями:

$$l_i(t_0) = l_{0i}\,,\ i = \overline{1, n+m}\,;\ l_j(t_k) = \Phi_j(l, t_k) = 0,\ \ j = \overline{1, n_1}\,;\ \lambda_p(t_k) = -\left.\frac{\partial D}{\partial l_p}^{\mathrm{T}}\right|_{t=t_k},\ \ p < n,\ \ p < m. \tag{11}$$

Приближенные алгоритмы решения двухточечной краевой задачи (9-11) могут строиться на основе применения различных методов, например, метода градиентного спуска. Однако все они содержат итерационные процедуры в каждом такте решения, что затрудняет их реализацию в реальном масштабе времени при управлении динамическим объектом.

Наиболее рациональное решение, свободное от указанных недостатков, может быть найдено при сведении двухточечной краевой задачи к одноточечной задаче для системы обыкновенных дифференциальных уравнений [2]. В этой методике вместо прямого решения (9-11) интегрируется в прямом времени система дифференциальных уравнений

$$\frac{d\tilde{l}}{dt} \approx M_1 \frac{d\lambda_0}{dt} + f(\tilde{l}(t), \tilde{D}(\tilde{l}(t)), t), \ l_i(t_0) = l_{0i}, \ i = \overline{1, n+m}; \tag{12}$$

$$\frac{dM_1}{dt} \approx \frac{\partial f(\tilde{l}(t)), \tilde{D}(t), t)}{\partial l} M_1 + \frac{\partial f(\tilde{l}(t)), \tilde{D}(t), t)}{\partial \lambda} M_2; \tag{13}$$

$$\frac{dM_2}{dt} \approx \frac{\partial \phi(\tilde{l}(t)), \tilde{D}(t), t)}{\partial l} M_1 + \frac{\partial \phi(\tilde{l}(t)), \tilde{D}(t), t)}{\partial \lambda} M_2, \tag{14}$$

где

$$\frac{d\lambda_0}{dt} \approx \left[\frac{\partial \tilde{D}(\tilde{l}(t)}{\partial l} M_1 - M_2 \right]^{-1} \times \left[-\frac{\partial \tilde{D}(\tilde{l}(t))}{\partial l} f(\tilde{l}(t)), \tilde{D}(t), t) + \phi(\tilde{l}(t), \tilde{D}(\tilde{l}(t)), t) \right].$$

Начальные условия для матриц чувствительности $\mathrm{M}_1 = \dfrac{\partial l(\lambda_0(t), t)}{\partial \lambda_0}$ и $M_2 = \dfrac{\partial \lambda(\lambda_0(t), t)}{\partial \lambda_0}$ имеют вид:

$$M_1 = 0; \ M_2 = \mathrm{E}, \tag{15}$$

где E – единичная матрица размера $(n+m)\times(n+m)$.

В результате интегрирования системы дифференциальных уравнений (12-15) получаем расчетную, близкую к оптимальной, траекторию объекта-союзника $\tilde{l}(t) = \left| \tilde{x}(t)^T \quad \tilde{y}(t)^T \right|^T$, реализующего уклонение от противоборствующего объекта и продолжение полета в пункт назначения, заданный конечной областью (3). Траектория получена, исходя из представления о наиболее вероятных действиях противоборствующего объекта, затрудняющих движение объекта-союзника, и с учетом ограниченности его энергетики в общей задаче полета в пункт назначения (3).

Известно, что реализация расчетной траектории $\tilde{l}(t)$ на всем интервале $(t_k - t_0)$, рассчитанной однократно для граничных условий (11, 15), не позволяет учитывать текущую навигационную информацию и реальные условия полета, что на значительных временных интервалах управления приводит к большим методическим погрешностям [2; 6; 8].

Решение задачи может быть обеспечено путем построения автопилота, который включает два контура: длиннопериодический контур – контур наведения, построенный на основе реализации многошагового алгоритма, и короткопериодический контур – контур стабилизации движения динамического объекта на каждом шаге реализации алгоритма наведения. Реализация многошагового алгоритма наведения с пересчетом траектории динамического объекта на каждом такте для обновляемых навигационных параметров и условий и целей полета эквивалентна замыканию на каждом такте наведения обратной связи по параметрам относительного движения объекта-союзника. При уменьшении такта в контуре наведения управление объектом-союзником приближается к управлению в форме закона управления.

Алгоритм управления объектом-союзником имеет вид, представленный на Рис. 1. Сущность его заключается в следующем.

По текущей навигационной информации определяются начальные условия $l(t_0^j) = l_0^j$ ($j = 0, \ 1, \ 2, \ldots$ – номер итерации в длиннопериодическом контуре – контуре наведения) и решения задачи, в контуре наведения прогнозируется субоптимальная траектория $\tilde{l}^j(t)$ на последующий интервал движения объекта-союзника $t \in \left[t_0^j, T \right]$ ($t_0^0 = t_0$, $t_0^j > t_0$). В короткопериодическом контуре (контуре стабилизации) решается задача стабилизации движения объекта-союзника относительно субоптимальной траектории $\tilde{l}(t)$.

В течение одного такта контура наведения по текущей навигационной информации $x\left(t_0^j\right)$ определяется расчетная траектория, а в короткопериодическом контуре выполняются несколько тактов стабилизации. Соответственно, такт решения задачи в контуре стабилизации определяется динамическими характеристиками объекта-союзника (устойчивостью, управляемостью и т.п.), а такт контура наведения – вычислительными возможностями бортовых вычислительных средств. При уменьшении временного интервала решения задачи в медленном контуре формируемое таким образом многошаговое управление все более стремится к управлению в замкнутой форме.

Пример

С целью обоснования реализуемости и оценки вычислительной эффективности представленного подхода было выполнено численное моделирование.

Полученные результаты позволяют сделать вывод об эффективности рассмотренной методики [5].

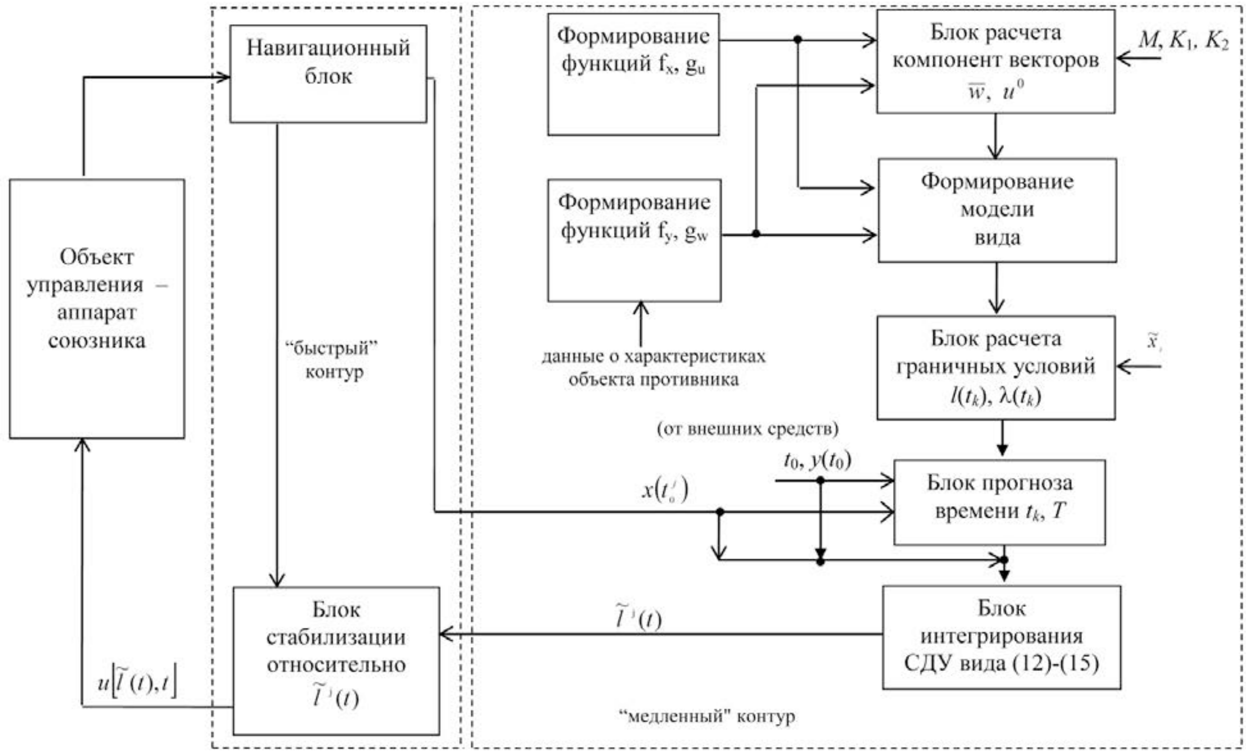

Рис. 1. *Блок-схема алгоритма синтеза управления объектом союзника*

Список литературы

1. **Аппазов Р. Ф., Сытин О. Г.** Методы проектирования траекторий носителей и спутников Земли. М.: Наука, 1987. 440 с.
2. **Барков В. В., Кочетков Ю. А.** Краевая задача оптимального управления нелинейными детерминированными системами // Известия РАН. Теория и системы управления. 1995. № 6. С. 184-193.
3. **Буков В. Н.** Адаптивные прогнозирующие системы управления полетом. М.: Наука, 1987. 232 с.
4. **Петров Б. Н.** Управление авиационными и космическими аппаратами. М.: Наука, 1983. 327 с.
5. **Половинчук Н. Я., Иванов С. В., Руденко Н. В.** Алгоритм терминального управления для автопилота летательного аппарата // Технические и технологические системы: сборник материалов Шестой международной научной конференции «Технические и технологические системы 2014». Краснодар: ФВУНЦ ВВС ВВА, 2014. С. 261-269.
6. **Половинчук Н. Я., Трофименко В. Н., Руденко Н. В., Иванов С. В.** Оптимальное терминальное управление структурно неопределенной динамической системой // Двойные технологии. 2013. № 4. С. 40-43.
7. **Половинчук Н. Я., Щербань И. В.** Методы и алгоритмы терминального управления движением летательных аппаратов. МО РФ, 2004. 138 с.
8. **Справочник по теории автоматического управления** / под ред. А. Красовского. М.: Наука, 1987. 712 с.

SYNTHESIS OF LAW OF TERMINAL-OPTIMAL CONTROL OF DYNAMIC OBJECTS THROUGH THE USE OF THE MODEL WITH GENERALIZED CONTROLLING FUNCTION IN THE CONDITIONS OF CONFLICT

Obukhov Pavel Serafimovich, Ph. D. in Technical Sciences, Associate Professor
Ivanov Stanislav Valer'evich, Ph. D. in Technical Sciences, Associate Professor
Gvindzhiliya Valeriya Enverievna
Sanygin Il'ya Aleksandrovich
Don State Technical University
pobuhov@spark-mail.ru; sta399@yandex.ru; sinedden@yandex.ru; ilyasanygin@mail.ru

The article discusses the problem of the optimal terminal control of dynamic objects with the undefined controlling function of the opposing object. The special complexity of the solution is the task to control the object in such a way that at the time of its motion into the specified terminal region of space it would be able to make evasive maneuvers from the opposing object. The solution of this task is reduced to a single-point boundary value problem (the task with the fixed right end). The construction of algorithms for solving such tasks with the ability to implement them in real time with the use of modern airborne computers remains an important scientific task for the practice of controlling high-speed dynamic objects.

Key words and phrases: dynamic object; opposing object; object-ally; numerical modeling of controlling process; single-point boundary value problem; law of terminal-optimal control; system of differential equations.