

Задачи оптимизации гарантии в динамических системах

Н.Ю. Лукоянов

Институт математики и механики им. Н.Н. Красовского УрО РАН

Конфликтно-управляемая динамическая система

Уравнение движения

$$\dot{x}(t) = f(t, x(t), u(t), v(t)), \quad t_0 \leq t \leq \vartheta$$

- $x(t) \in \mathbb{R}^n$ — вектор состояния
- $u(t) \in P \subset \mathbb{R}^p$ — полезное управление
- $v(t) \in Q \subset \mathbb{R}^q$ — неконтролируемая помеха (противодействие)

Начальное условие

$$x(t_0) = x_0 \in D \subset \mathbb{R}^n$$

Допустимые реализации u и v — измеримые функции

$$\begin{aligned} u[t_0[\cdot]\vartheta] &= \{u(t) \in P, \quad t_0 \leq t < \vartheta\} \\ v[t_0[\cdot]\vartheta] &= \{v(t) \in Q, \quad t_0 \leq t < \vartheta\} \end{aligned}$$



Реализация движения — абсолютно непрерывная функция

$$x[t_0[\cdot]\vartheta] = \{x(t) \in \mathbb{R}^n, \quad t_0 \leq t \leq \vartheta\}$$

Условия на правую часть системы

F1: Непрерывность отображения

$$[t_0, \vartheta] \times \mathbb{R}^n \times P \times Q \ni (t, x, u, v) \mapsto f(t, x, u, v) \in \mathbb{R}^n$$

F2: Подлинейный рост

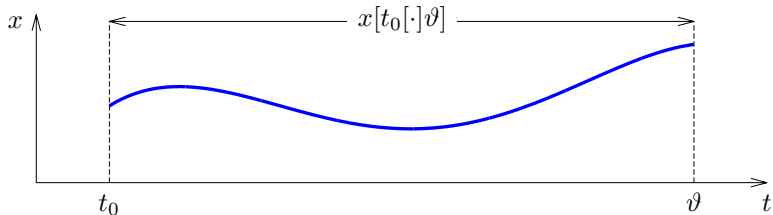
$$\|f(t, x, u, v)\| \leq c(1 + \|x\|), \quad c = \text{const} > 0$$

F3: Локальная липшицевость

Для любого ограниченного множества $D \in \mathbb{R}^n$ существует константа $\lambda = \lambda(D) > 0$:

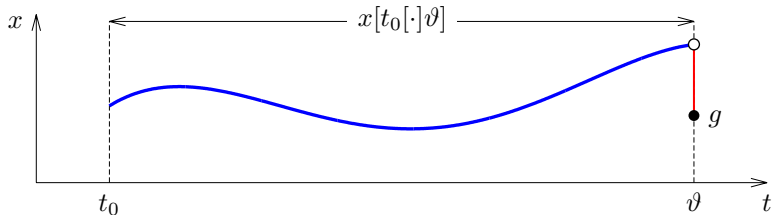
$$\|f(t, x, u, v) - f(t, y, u, v)\| \leq \lambda \|x - y\|, \quad x, y \in D$$

Оптимизируемый показатель качества



$$\gamma = \mu(x[t_0[\cdot]\vartheta]) + \int_{t_0}^{\vartheta} h(t, x(t), u(t), v(t)) dt \longrightarrow \min_u \max_v$$

Оптимизируемый показатель качества

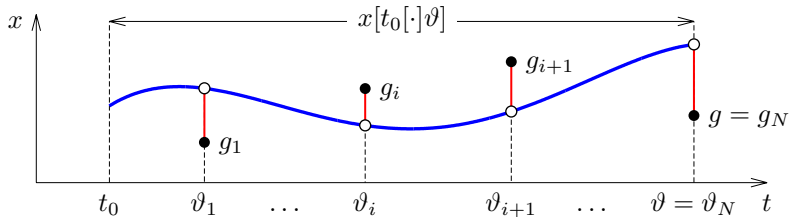


$$\gamma = \mu(x[t_0[\cdot]\vartheta]) + \int_{t_0}^{\vartheta} h(t, x(t), u(t), v(t)) dt \longrightarrow \min_u \max_v$$

Терминальный случай:

$$\mu(x[t_0[\cdot]\vartheta]) = \mu(x(\vartheta))$$

Оптимизируемый показатель качества



$$\gamma = \mu(x[t_0[\cdot]\vartheta]) + \int_{t_0}^{\vartheta} h(t, x(t), u(t), v(t)) dt \longrightarrow \min_u \max_v$$

Терминальный случай:

$$\mu(x[t_0[\cdot]\vartheta]) = \mu(x(\vartheta))$$

Нетерминальный случай:

$$\mu(x[t_0[\cdot]\vartheta]) = \mu(x(\vartheta_1), x(\vartheta_2), \dots, x(\vartheta_N))$$

G1: Непрерывность отображений

$$\begin{aligned} C([t_0, \vartheta], \mathbb{R}^n) \ni x(\cdot) &\mapsto \mu(x(\cdot)) \in \mathbb{R} \\ [t_0, \vartheta] \times \mathbb{R}^n \times P \times Q \ni (t, x, u, v) &\mapsto h(t, x, u, v) \in \mathbb{R} \end{aligned}$$

G2: Подлинейный рост

$$|h(t, x, u, v)| \leq c(1 + \|x\|), \quad c = \text{const} > 0$$

G3: Локальная липшицевость

Для любого ограниченного множества $D \in \mathbb{R}^n$ существует константа $\lambda = \lambda(D) > 0$:

$$|h(t, x, u, v) - h(t, y, u, v)| \leq \lambda \|x - y\|, \quad x, y \in D$$

Характерные особенности

Принципиальная обратная связь

$$\dot{x} = u - v, \quad 0 \leq t \leq 1, \quad x \in \mathbb{R}, \quad |u| \leq 1, \quad |v| \leq 1$$

$$x(0) = 0, \quad \gamma = |x(1)| \longrightarrow \min_u \max_v$$

- Оптимальная гарантия в классе программных управлений = 1
- Оптимальная гарантия в классе позиционных стратегий = 0

Нелинейность, разрывность оптимальных стратегий

- Оптимальная стратегия $u^0 = -\text{sign}(x)$

Целесообразность использования стратегий с памятью

$$\dot{x} = u, \quad 0 \leq t \leq 3, \quad x \in \mathbb{R}, \quad |u| \leq 1, \quad \gamma = |x(3) - x(1)| \longrightarrow \min_u$$

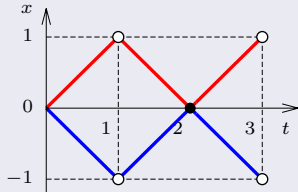
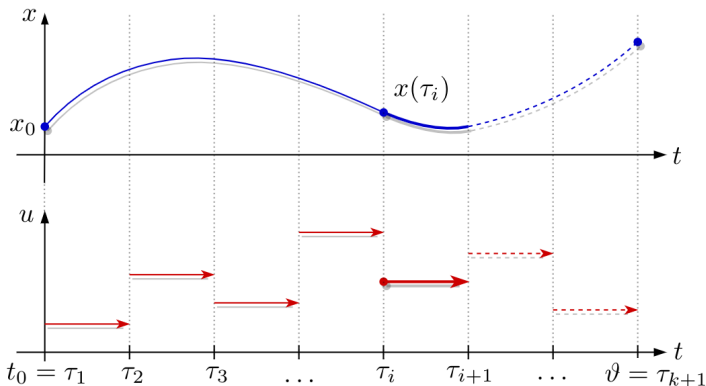


Схема управления: допустимый закон управления $\{U, \Delta_\delta\}$

- Стратегия управления с памятью: $U = U(t, x[t_0[\cdot]t]) \in P$
- Разбиение промежутка управления $[t_0, \vartheta]$:
 $\Delta_\delta = \{\tau_i : \tau_1 = t_0, 0 < \tau_{i+1} - \tau_i \leq \delta, i = 1, \dots, k, \tau_{k+1} = \vartheta\}$

$\Downarrow$

$$u(t) = U(\tau_i, x[t_0[\cdot]\tau_i]), \tau_i \leq t < \tau_{i+1}, i = 1, \dots, k$$



Формализация задачи оптимизации гарантии

Допустимый закон управления $\{U, \Delta_\delta\}$

- Стратегия управления с памятью: $U = U(t, x[t_0[\cdot]t]) \in P$
- Разбиение промежутка управления $[t_0, \vartheta]$:

$$\Delta_\delta = \{\tau_i : \tau_1 = t_0, 0 < \tau_{i+1} - \tau_i \leq \delta, i = 1, \dots, k, \tau_{k+1} = \vartheta\}$$



$$u(t) = U(\tau_i, x[t_0[\cdot]\tau_i]), \tau_i \leq t < \tau_{i+1}, i = 1, \dots, k$$

$$x(\tau_1) = x(t_0) = x_0 \Rightarrow \Downarrow \Leftarrow v[t_0[\cdot]\vartheta]$$

Оптимальный гарантированный результат управления

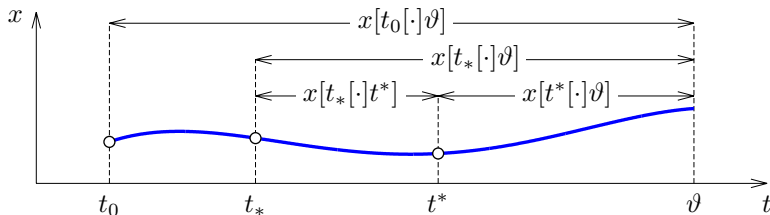
$$\Gamma_0 = \inf_U \lim_{\delta \downarrow 0} \sup_{\Delta_\delta} \sup_{v[t_0[\cdot]\vartheta]} \gamma$$

Оптимальная стратегия управления U^0

Для любого $\zeta > 0$ существует такое $\delta_\zeta > 0$, что для любых $0 < \delta \leq \delta_\zeta$ и Δ_δ закон управления $\{U^0, \Delta_\delta\}$ гарантирует неравенство

$$\gamma \leq \Gamma_0 + \zeta$$

Позиционный показатель качества



$$\gamma = \mu(x[t_0[\cdot]\vartheta])$$

- $\mu(x[t_*[\cdot]\vartheta]) = \sigma(x[t_*[\cdot]t^*], \beta)$, $\beta = \mu(x[t^*[\cdot]\vartheta])$, $t_0 \leq t_* < t^* \leq \vartheta$
- функционал $\sigma(x[t_*[\cdot]t^*], \beta)$ непрерывен и не убывает по β

$\Downarrow$

$$U^0 = U^0(t, x(t), \varepsilon)$$

Примеры позиционных показателей

$$\mu_1 = \sum_{i=1}^N \|x(\vartheta_i)\|, \quad \mu_2 = \max_{t_0 \leq t \leq \vartheta} \|x(t)\|$$

Линейно-выпуклый случай: терминальный показатель

Уравнение движения

$$\dot{x}(t) = A(t)x(t) + f(t, u(t), v(t)), \quad t_0 \leq t \leq \vartheta, \quad x(t_0) = x_0$$

$$x(t) \in \mathbb{R}^n, \quad u(t) \in P \in \mathbb{R}^p, \quad v(t) \in Q \in \mathbb{R}^q$$

Показатель качества

$$\gamma = \mu(x(\vartheta)) \rightarrow \min_u \max_v, \quad \mu(\cdot) - \text{норма}$$

Метод выпуклых сверху (вогнутых) оболочек

- $G = \{m \in \mathbb{R}^n : \mu^*(m) \leq 1\}$
- $\Delta_\delta = \{\tau_i : \tau_1 = t_0, 0 < \tau_{i+1} - \tau_i \leq \delta, i = 1, \dots, k, \tau_{k+1} = \vartheta\}$
- $\Delta\psi_j(m) = \int_{\tau_j}^{\tau_{j+1}} \min_{u \in P} \max_{v \in Q} \langle m, X(\vartheta, t)f(t, u, v) \rangle dt, \quad m \in G$

$$\varphi_{k+1}(m) = 0, \quad \varphi_j(m) = \{\Delta\psi_j(m) + \varphi_{j+1}(m)\}_G^*, \quad j = k, k-1, \dots, 1$$

Линейно-выпуклый случай: терминальный показатель

Оптимальный гарантированный результат

$$\Gamma_0 \approx \max_{m \in G} [\langle m, X(\vartheta, t_0)x_0 \rangle + \varphi_1(m)]$$

Оптимальный закон управления

$$u^0(t) = U^0(\tau_j, x(\tau_j), \varepsilon), \quad \tau_j \leq t < \tau_{j+1}, \quad j = 1, \dots, k$$

$$U^0(\tau_j, x(\tau_j), \varepsilon) = \arg \min_{u \in P} \left[\max_{v \in Q} \langle s_j^0, f(\tau_j, u, v) \rangle \right]$$

$$s_j^0 = \frac{X^T(\vartheta, \tau_j)m_0}{\sqrt{1 + \|X^T(\vartheta, \tau_j)m_0\|^2}} \varepsilon(\tau_j), \quad \varepsilon(\tau_j) = e^{(\tau_j - t_0)\lambda} \sqrt{\varepsilon + (\tau_j - t_0)\varepsilon}$$

$$m_0 \in \arg \max_{m \in G} \left[\langle m, X(\vartheta, \tau_j)x(\tau_j) \rangle + \varphi_j(m) - \varepsilon(\tau_j) \sqrt{1 + \|X^T(\vartheta, \tau_j)m\|^2} \right]$$

Линейно-выпуклый случай: нетерминальный показатель

Уравнение движения

$$\dot{x}(t) = A(t)x(t) + f(t, u(t), v(t)), \quad t_0 \leq t \leq \vartheta, \quad x(t_0) = x_0$$

$$x(t) \in \mathbb{R}^n, \quad u(t) \in P \in \mathbb{R}^p, \quad v(t) \in Q \in \mathbb{R}^q$$

Показатель качества

$$\gamma = \mu\left(D_1(x(\vartheta_1) - g_1), \dots, D_N(x(\vartheta_N) - g_N)\right) \rightarrow \min_u \max_v$$

- ϑ_i – моменты времени оценки качества движения

$$t_0 \leq \vartheta_1, \quad \vartheta_i < \vartheta_{i+1}, \quad i = 1, \dots, N-1, \quad \vartheta_N = \vartheta$$

- D_i – постоянные $d_i \times n$ -матрицы, $i = 1, \dots, N$
- $g_i, i = 1, \dots, N$, – целевые векторы
- $\mu(\cdot)$ – норма

Линейно-выпуклый случай: нетерминальный показатель

Достаточный информационный образ истории движения

$x[t_0[\cdot]t] \Rightarrow \mathbf{W}(t) = (w_1(t), w_2(t), \dots, w_N(t)) \in \mathbb{R}^{d_1} \times \mathbb{R}^{d_2} \times \dots \times \mathbb{R}^{d_N} :$

$$w_i(t) = \begin{cases} D_i(X(\vartheta_i, t)x(t) - g_i), & \text{если } t < \vartheta_i \\ D_i(x(\vartheta_i) - g_i), & \text{если } t \geq \vartheta_i \end{cases}$$



Уравнение движения

$$\dot{\mathbf{W}}(t) = \mathbf{F}(t, u(t), v(t)), \quad t_0 \leq t \leq \vartheta, \quad u(t) \in P \in \mathbb{R}^p, \quad v(t) \in Q \in \mathbb{R}^q$$

Показатель качества

$$\gamma = \mu(w_1(\vartheta), w_2(\vartheta), \dots, w_N(\vartheta)) = \mu(\mathbf{W}(\vartheta)) \rightarrow \min_u \max_v$$

Пример 1: Конфликтно-управляемая динамическая система

Уравнение движения

$$\begin{aligned}\dot{x}_1(t) &= x_2(t) - 0.8 u_1(t-1), \\ \dot{x}_2(t) &= -x_1(t) - 0.1 x_2(t) + y_1(t) + 0.8 v_1(t), \\ \dot{x}_3(t) &= x_4(t), \\ \dot{x}_4(t) &= -1.5 x_3(t) - 0.1 x_4(t) + y_2(t) + v_2(t), \\ \dot{y}_1(t) &= y_2(t) - 2 u_2(t-1), \\ \dot{y}_2(t) &= 2 u_1(t) + u_2(t) + v_3(t)\end{aligned}\quad 0 \leq t \leq 10$$

Начальные условия

$$\begin{aligned}x_1(0) &= 0, \quad x_2(0) = 1, \quad x_3(0) = 0, \quad x_4(0) = 0.5, \quad y_1(0) = 0, \quad y_2(0) = 0 \\ u_1(\tau) &= \cos(\pi\tau), \quad u_2(\tau) = \sin(\pi\tau), \quad \tau \in [-1, 0)\end{aligned}$$

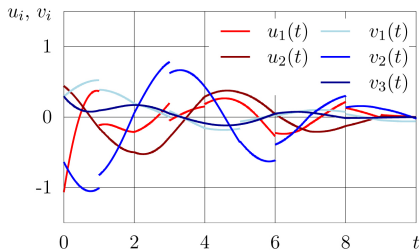
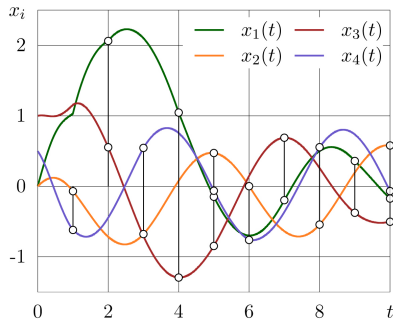
Пример 1: Оптимизируемый показатель качества

$$\begin{aligned}\gamma = & \left(x_2^2(1) + x_4^2(1) + x_1^2(2) + x_3^2(2) \right. \\ & + x_2^2(3) + x_4^2(3) + x_1^2(4) + x_3^2(4) \\ & + x_1^2(5) + x_2^2(5) + x_3^2(5) + x_4^2(5) \\ & + x_2^2(6) + x_4^2(6) + x_1^2(7) + x_3^2(7) \\ & + x_2^2(8) + x_4^2(8) + x_1^2(9) + x_3^2(9) \\ & \left. + x_1^2(10) + x_2^2(10) + x_3^2(10) + x_4^2(10) \right)^{1/2} \\ & + \int_0^{10} \left(0.5 u_1^2(t) + u_2^2(t) \right) dt - \int_0^{10} \left(v_1^2(t) + 0.5 v_2^2(t) + v_3^2(t) \right) dt\end{aligned}$$

Пример 1: оптимальное управление — контр-оптимальная помеха

Оптимальный гарантированный результат управления

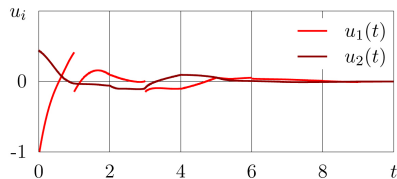
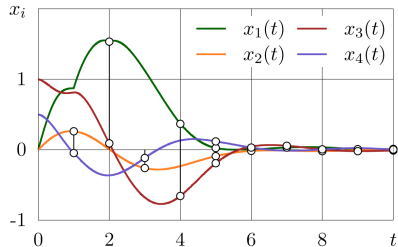
$$\Gamma_0 \approx 2.673$$



Реализовавшееся значение показателя качества

$$\gamma \approx 2.672 \approx \Gamma_0$$

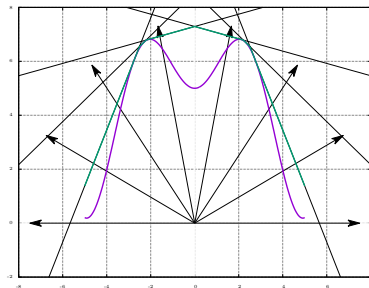
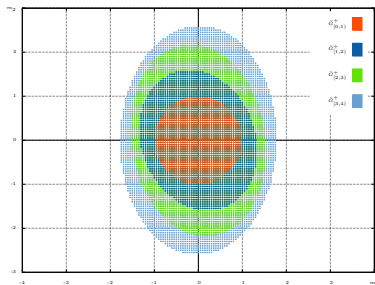
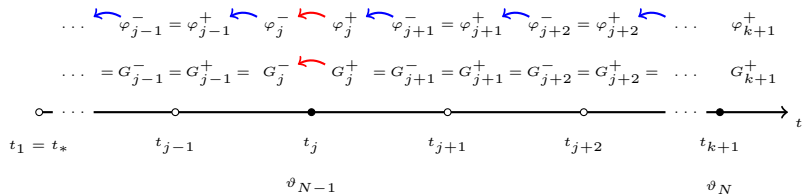
Пример 1: оптимальное управление — нулевая помеха



Реализовавшееся значение показателя качества

$$\gamma \approx 2.121 < \Gamma_0$$

Линейно-выпуклый случай: позиционный показатель



Пример 2

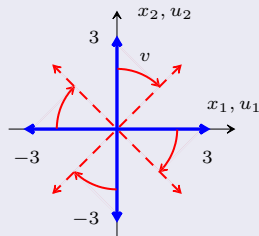
Уравнение движения

$$\ddot{x}_1 = -0.1 \dot{x}_1 + u_1 \cos v - u_2 \sin v$$

$$\ddot{x}_2 = -0.1 \dot{x}_2 + u_1 \sin v + u_2 \cos v$$

$$t_0 = 0 \leq t < \vartheta = 2, \quad x = (x_1, x_2) \in \mathbb{R}^2$$

$$u = (u_1, u_2) \in P \subset \mathbb{R}^2, \quad v \in Q \subset \mathbb{R}$$



Ограничения на управление и помеху

$$P = \{(0, 3), (3, 0), (0, -3), (-3, 0)\}, \quad Q = \{v \in \mathbb{R}: |v| \leq 0.5\}$$

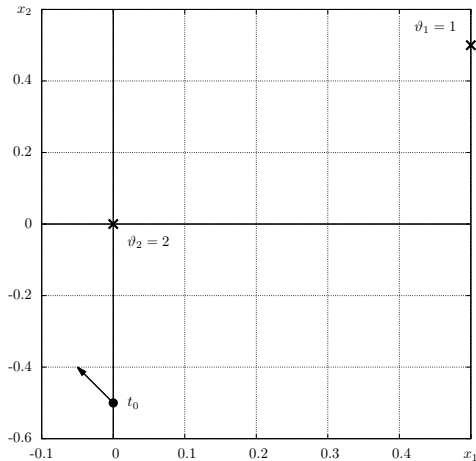
Начальное условие

$$x_1(0) = 0, \quad \dot{x}_1(0) = -0.5, \quad x_2(0) = -0.5, \quad \dot{x}_2(0) = 1$$

Показатель качества

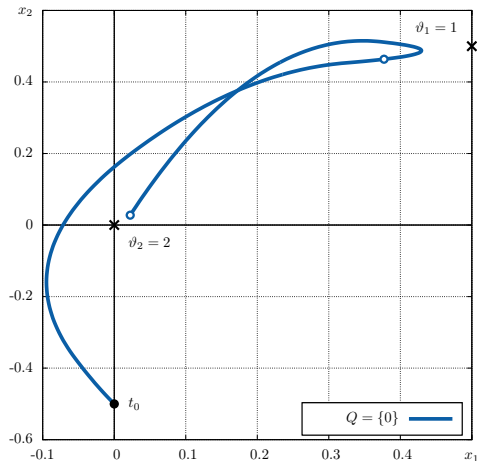
$$\gamma = \sqrt{(x_1(1) - 0.5)^2 + (x_2(1) - 0.5)^2 + x_1^2(2) + x_2^2(2)}$$

Пример 2: оптимальный гарантированный результат управления



$$\Gamma_0 \approx 0.521$$

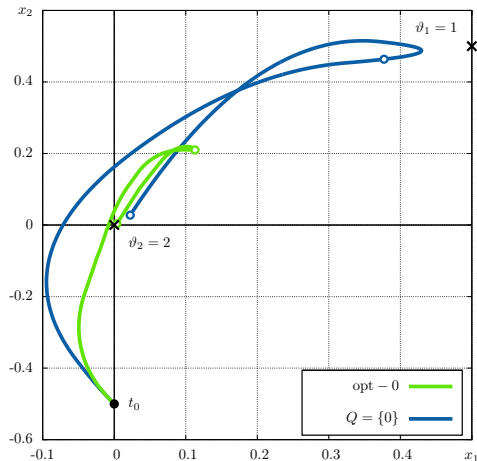
Пример 2: оптимальное управление без помехи



$$\Gamma_0 \approx 0.521$$

$$\gamma = 0.132 \ll \Gamma_0$$

Пример 2: оптимальное управление – нулевая реализация помехи

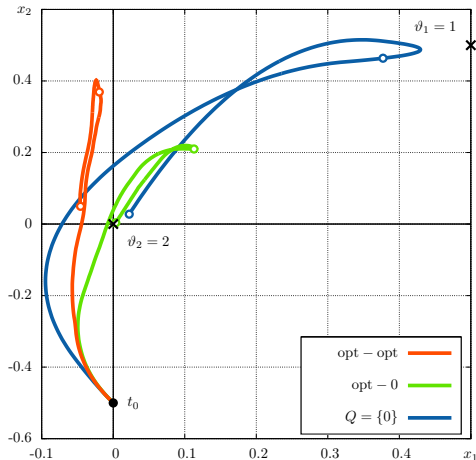


$$\Gamma_0 \approx 0.521$$

$$\gamma = 0.132 \ll \Gamma_0$$

$$\gamma = 0.483 < \Gamma_0$$

Пример 2: оптимальное управление – контр-оптимальная помеха



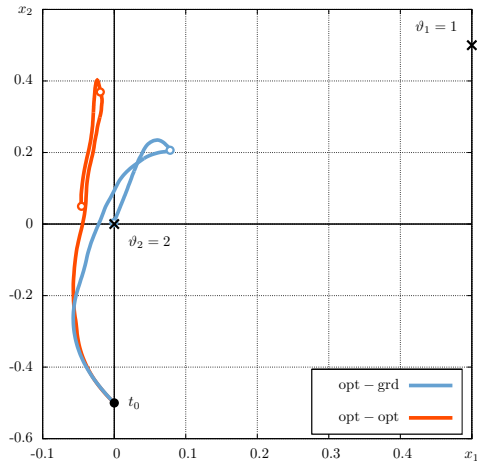
$$\Gamma_0 \approx 0.521$$

$$\gamma = 0.132 \ll \Gamma_0$$

$$\gamma = 0.483 < \Gamma_0$$

$$\gamma = 0.539 \approx \Gamma_0$$

Пример 2: оптимальное управление – «жадная» помеха



$$\Gamma_0 \approx 0.521$$

$$\gamma = 0.539 \approx \Gamma_0$$

$$\gamma = 0.514 < \Gamma_0$$

Пример 3.1

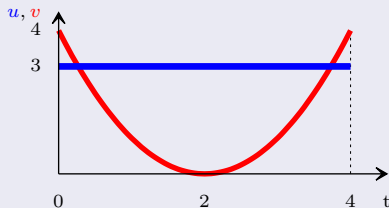
Уравнение движения

$$\dot{x}_1 = x_2, \quad \dot{x}_2 = 3u + (t-2)^2 v$$

$$t_0 = 0 \leq t < \vartheta = 4$$

$$x = (x_1, x_2) \in \mathbb{R}^2$$

$$u \in P \subset \mathbb{R}, \quad v \in Q \subset \mathbb{R}$$



Ограничения на управление и помеху

$$P = \{u \in \mathbb{R}: |u| \leq 1\}, \quad Q = \{v \in \mathbb{R}^1: |v| \leq 1\}$$

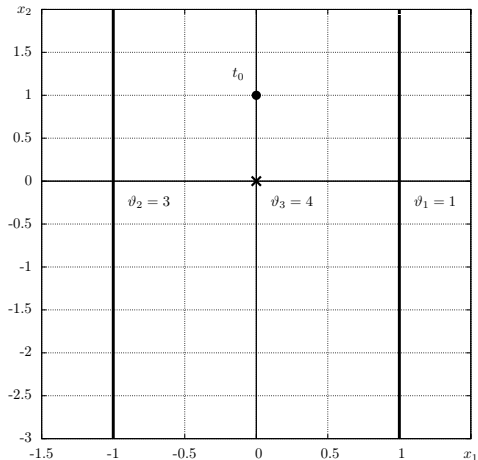
Начальное условие

$$x_1(0) = 0, \quad x_2(0) = 1$$

Показатель качества

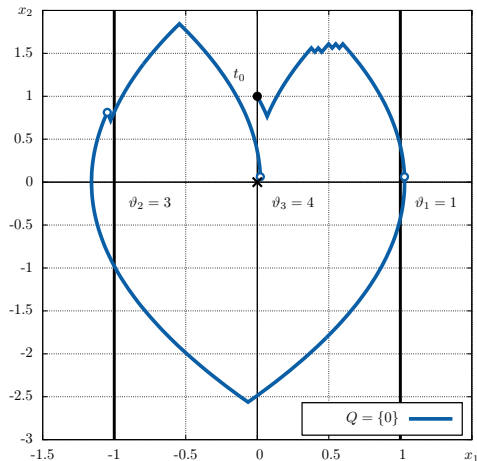
$$\gamma = \sqrt{(x_1(1) - 1)^2 + (x_1(3) + 1)^2 + x_1^2(4) + x_2^2(4)}$$

Пример 3.1: оптимальный гарантированный результат управления



$$\Gamma_0 \approx 0.797$$

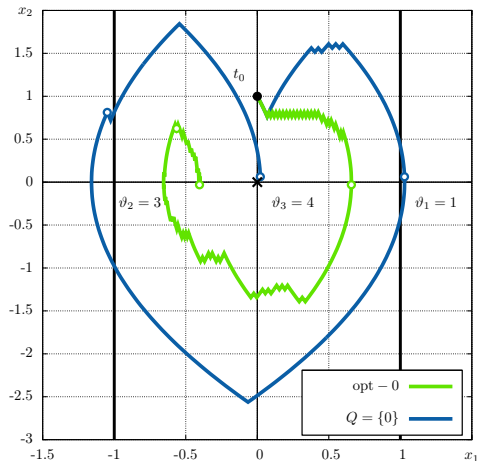
Пример 3.1: оптимальное управление без помехи



$$\Gamma_0 \approx 0.797$$

$$\gamma = 0.087 \ll \Gamma_0$$

Пример 3.1: оптимальное управление – нулевая реализация помехи

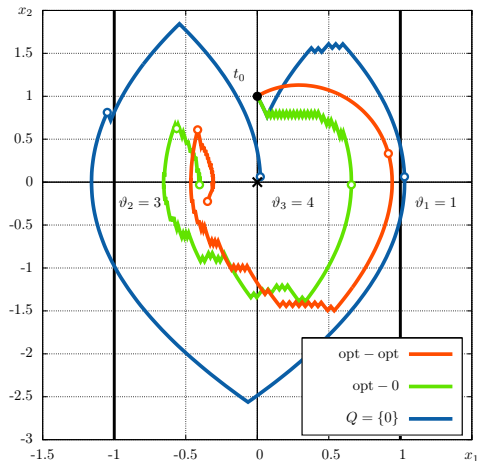


$$\Gamma_0 \approx 0.797$$

$$\gamma = 0.087 \ll \Gamma_0$$

$$\gamma = 0.686 < \Gamma_0$$

Пример 3.1: оптимальное управление – контр-оптимальная помеха



$$\Gamma_0 \approx 0.797$$

$$\gamma = 0.087 \ll \Gamma_0$$

$$\gamma = 0.686 < \Gamma_0$$

$$\gamma = 0.720 \approx \Gamma_0$$

Пример 3.2

Уравнение движения

$$\begin{aligned}\dot{x}_1(t) &= x_2(t), & t_0 = 0 \leq t < \vartheta = 4, \\ \dot{x}_2(t) &= 3u(t - \tau) + (t - 2)^2 v, & \tau = 0.25 \\ x &= (x_1, x_2) \in \mathbb{R}^2, \quad u \in P \subset \mathbb{R}, \quad v \in Q \subset \mathbb{R}\end{aligned}$$

Ограничения на управление и помеху

$$P = \{u \in \mathbb{R} : |u| \leq 1\}, \quad Q = \{v \in \mathbb{R}^1 : |v| \leq 1\}$$

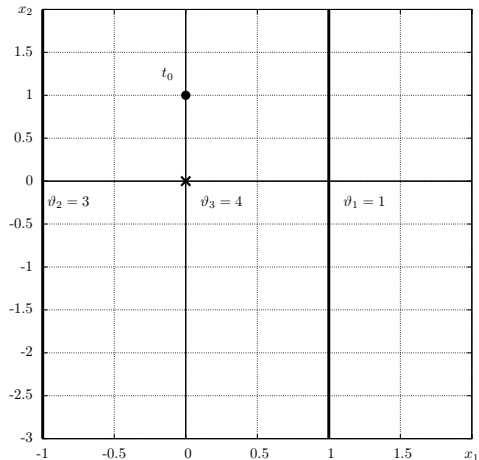
Начальное условие

$$x_1(0) = 0, \quad x_2(0) = 1$$

Показатель качества

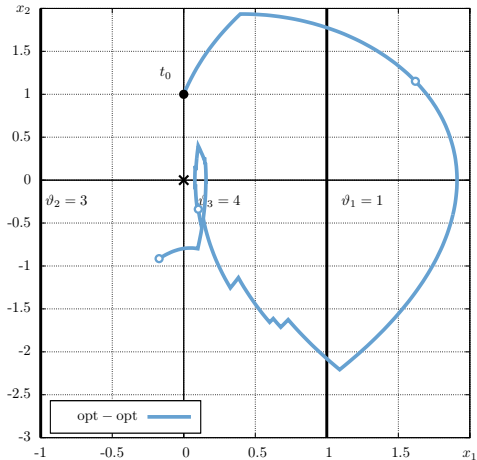
$$\gamma = \sqrt{(x_1(1) - 1)^2 + (x_1(3) + 1)^2 + x_1^2(4) + x_2^2(4)}$$

Пример 3.2: оптимальный гарантированный результат управления



$$\Gamma_0 \approx 1.639$$

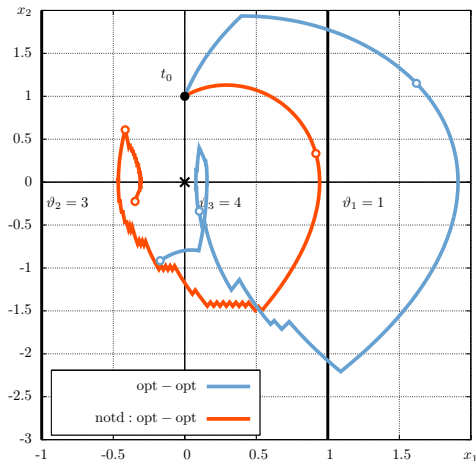
Пример 3.2: оптимальное управление – контр-оптимальная помеха



$$\Gamma_0 \approx 1.639$$

$$\gamma = 1.569 \approx \Gamma_0$$

Пример 3.2: оптимальное управление – контр-оптимальная помеха

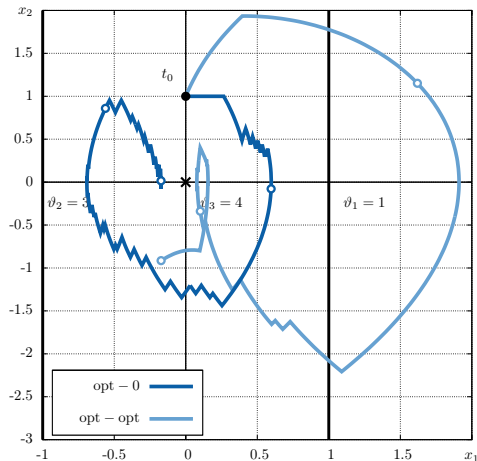


$$\Gamma_0 \approx 1.639$$

$$\gamma = 1.569 \approx \Gamma_0$$

$$\gamma = 0.720$$

Пример 3.2: оптимальное управление – нулевая реализация помехи



$$\Gamma_0 \approx 1.639$$

$$\gamma = 1.569 \approx \Gamma_0$$

$$\gamma = 0.620 < \Gamma_0$$

Пример 4

Уравнение движения

$$\dot{x} = b(t)u + c(t)v, \quad 0 \leq t < 2, \quad x \in \mathbb{R}, \quad u \in \mathbb{R}, \quad v \in \mathbb{R}$$
$$b(t) = 5 \sin(3\pi t)(t - 1), \quad c(t) = t/4$$

Ограничения на управление и помеху

$$|u(t)| \leq 1, \quad |v(t)| \leq 1, \quad 0 \leq t < 2, \quad \int_0^2 |u(t)| dt \leq \rho_0 = 1$$

Начальное условие

$$x(0) = -1$$

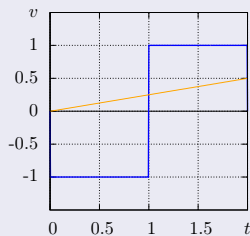
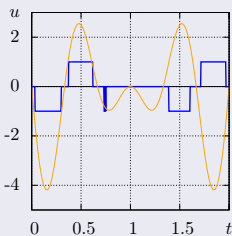
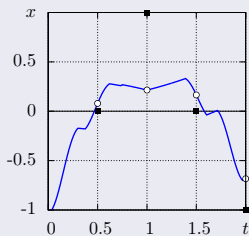
Показатель качества

$$\gamma = \sqrt{|x(0.5)|^2 + |x(1) - 1|^2 + |x(1.5)|^2 + |x(2) + 1|^2}$$

Пример 4: оптимальное управление – контр-оптимальная помеха

Оптимальный гарантированный результат управления

$$\Gamma_0 \approx 0.868$$

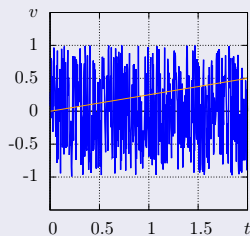
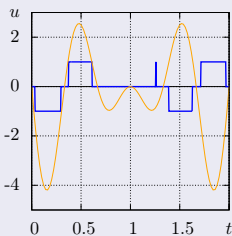
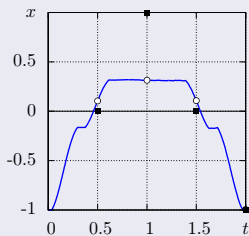


$$\gamma = \sqrt{|0.079|^2 + |0.214 - 1|^2 + |0.165|^2 + |-0.684 + 1|^2} \approx 0.866 \approx \Gamma_0$$

Пример 4: оптимальное управление – случайная помеха

Оптимальный гарантированный результат управления

$$\Gamma_0 \approx 0.868$$

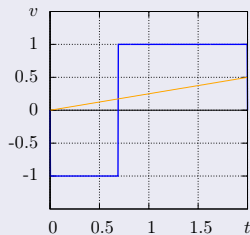
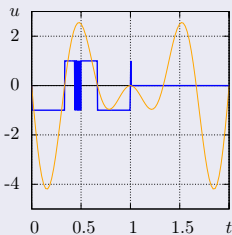
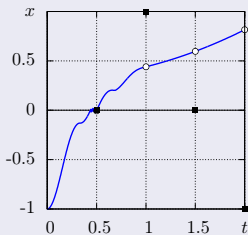


$$\gamma = \sqrt{|0.104|^2 + |0.313 - 1|^2 + |0.107|^2 + |-0.995 + 1|^2} \approx 0.703 < \Gamma_0$$

Пример 4: «жадное» управление – контр-оптимальная помеха

Оптимальный гарантированный результат управления

$$\Gamma_0 \approx 0.868$$



$$\gamma = \sqrt{|-0.006|^2 + |0.440 - 1|^2 + |0.596|^2 + |0.815 + 1|^2} \approx 1.990 > \Gamma_0$$

Пример 5

Уравнение движения

$$\dot{x}_1 = x_2 + c(t)v, \quad \dot{x}_2 = -0.5x_1 - 0.05x_2 + b(t)u, \quad 0 \leq t < 2$$

$$x = (x_1, x_2) \in \mathbb{R}^2, \quad u \in \mathbb{R}, \quad v \in \mathbb{R}$$

$$b(t) = \begin{cases} 2 + 2 \cos 2\pi(t - 0.5), & t \in [0.5, 1.5], \\ 4, & \text{иначе,} \end{cases} \quad c(t) = \begin{cases} 0.3, & t \in [0.6, 1.4] \\ 0.1, & \text{иначе} \end{cases}$$

Ограничения на управление и помеху

$$\|u(t)\| \leq 1, \quad \|v(t)\| \leq 1, \quad 0 \leq t < 2, \quad \int_0^2 \|u(\tau)\| d\tau \leq \rho_0 = 1$$

Начальное условие

$$x_1(0) = 0.5, \quad x_2(0) = 0.1$$

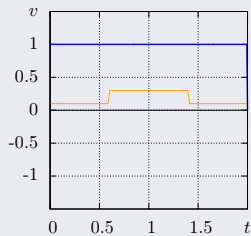
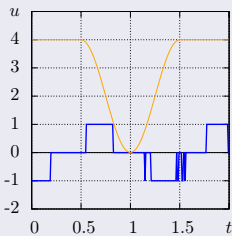
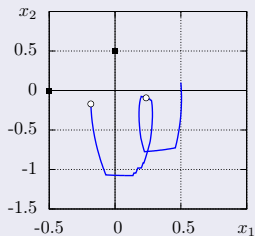
Показатель качества

$$\gamma = \sqrt{|x_1(1)|^2 + |x_2(1) - 0.5|^2 + |x_1(2) + 0.5|^2 + |x_2(2)|^2}$$

Пример 5: оптимальное управление – контр-оптимальная помеха

Оптимальный гарантированный результат управления

$$\Gamma_0 \approx 0.702$$



$$\gamma = \sqrt{|0.235|^2 + |-0.093 - 0.5|^2 + |-0.184 + 0.5|^2 + |-0.17|^2} \approx 0.73 \approx \Gamma_0$$

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ !