

Адаптивное и робастное управление  
Работа №2  
Отчет В-17

Кирилл Лалаянц  
Егор Прокопов

September 9, 2024

Преподаватель: Козачёк О.А.

## 1 Цель работы

Освоение принципов построения систем адаптивного и робастного управления на примере задачи слежения выхода скалярного объекта за эталонным сигналом.

## 2 Выполнение

### 2.1 Адаптивная система с возмущением

В этом задании проведено моделирование системы

$$\begin{cases} \dot{x}_m = -\lambda x_m + \lambda g \\ \dot{x} = \hat{\theta}x + u + \delta \\ u = \hat{\theta}x - \lambda x + \lambda g \\ \varepsilon = x_m - x \\ \dot{\hat{\theta}} = -\gamma x \varepsilon \end{cases},$$

где внешнее возмущение:

$$\delta(t) = (1+t)^{-1/8} \left[ 1 - \theta(1+t)^{-1/4} - \frac{3}{8}(1+t)^{-5/4} \right]$$

При моделировании использовались следующие значения параметров:  $\gamma = 0.25$ ,  $x(0) = 1$ ,  $\hat{\theta}(0) = 1$ ,  $\lambda = 2$ . Сигнал  $g(t)$  был принят равным нулю. Полученный результат представлен на рис. 1 - 6.

С течением времени ошибка слежения и выход регулятора стремятся к ограниченному множеству, в то время как ошибка оценки параметра  $\theta$  линейно растет, что видно на рис. 6. Это соответствует теоретическому предположению  $\hat{\theta} = Ct$ .

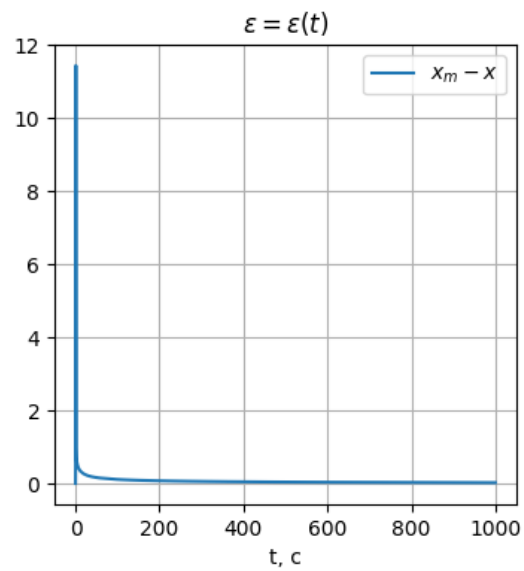


Рисунок 1: График ошибки слежения адаптивной системы управления с внешним возмущением.

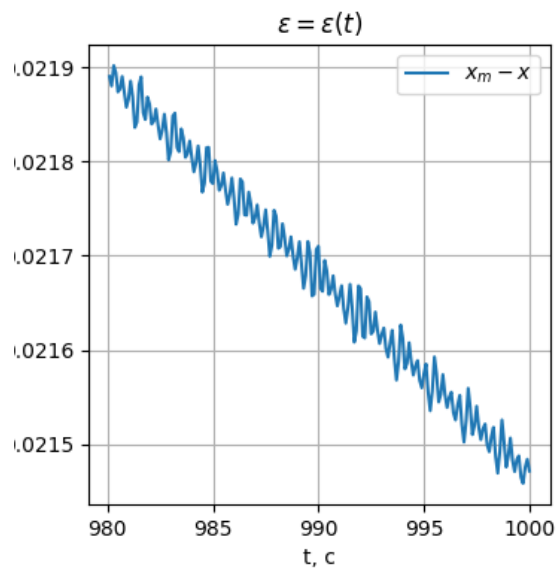


Рисунок 2: График ошибки слежения адаптивной системы управления с внешним возмущением на последних 20 секундах моделирования.

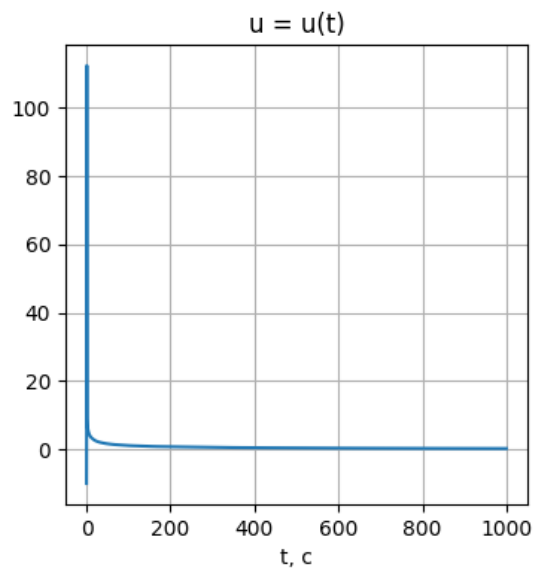


Рисунок 3: График выхода регулятора адаптивной системы управления с внешним возмущением.

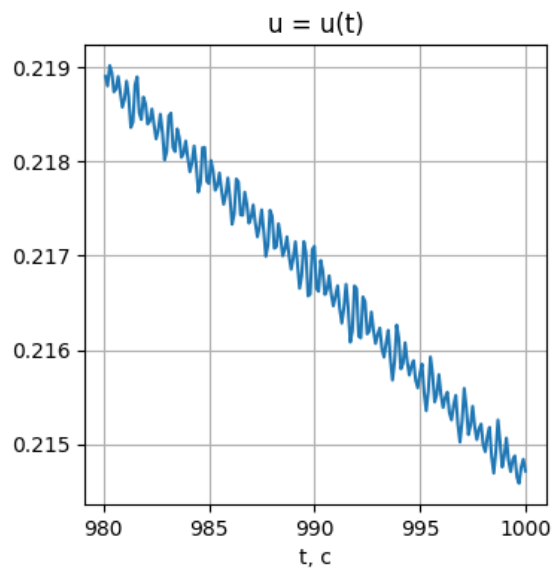


Рисунок 4: График выхода регулятора адаптивной системы управления с внешним возмущением на последних 20 секундах моделирования.

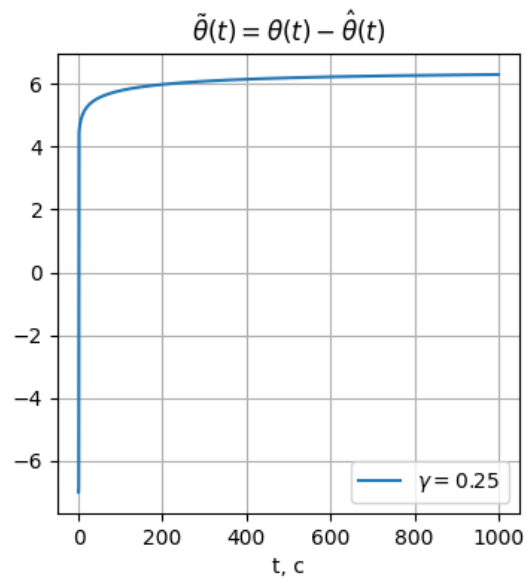


Рисунок 5: График ошибки оценки параметра  $\theta$  адаптивной системы управления с внешним возмущением.

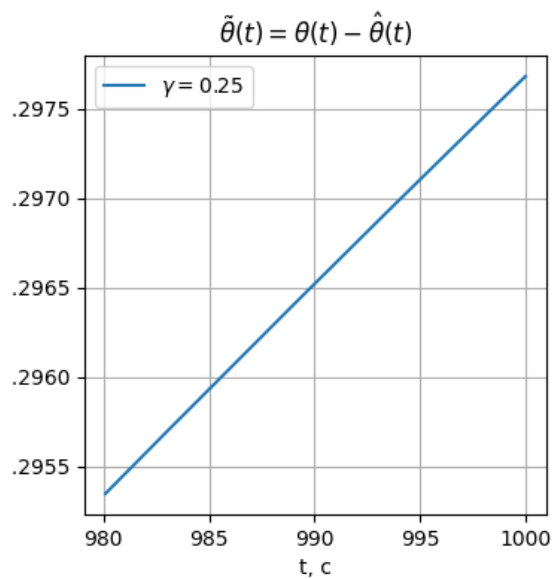


Рисунок 6: График ошибки оценки параметра  $\theta$  адаптивной системы управления с внешним возмущением на последних 20 секундах моделирования.

## 2.2 Статическая обратная связь

$$\begin{cases} \dot{x}_m = -\lambda x_m + \lambda g \\ \dot{x} = \hat{\theta}x + u + \delta \\ u = \hat{\theta}x - \lambda x + \lambda g \\ \varepsilon = x_m - x \\ \dot{\hat{\theta}} = -\gamma x \varepsilon \end{cases}$$

В этой задаче, для обеспечения ограниченности всех сигналов и робастности к внешнему возмущению используется модификация адаптивной системы. Данный алгоритм является статическим и нелинейным и гарантирует ограниченность сигналов  $\varepsilon$  и  $\hat{\theta}$ .

При моделировании использовались следующие значения параметров: набор  $\gamma = \{0.25, 100, 1000\}$ ,  $x_0 = 1$ ,  $\lambda = 2$ ,  $g(t) = \cos(4t)$ . Полученный результат представлен на рис. 7-10.

Видно, что ошибка и выходное воздействие ограничены (для наглядности также добавлены графики последних 20 секунд моделирования), причем, чем больше значение  $\gamma$ , тем меньше ошибка.

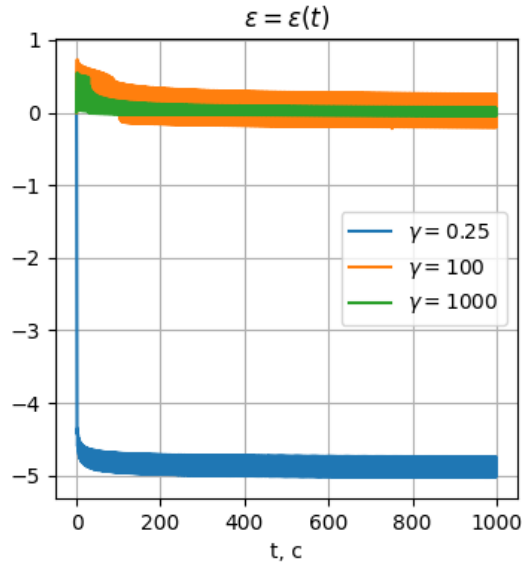


Рисунок 7: График ошибки слежения системы со статической обратной связью.

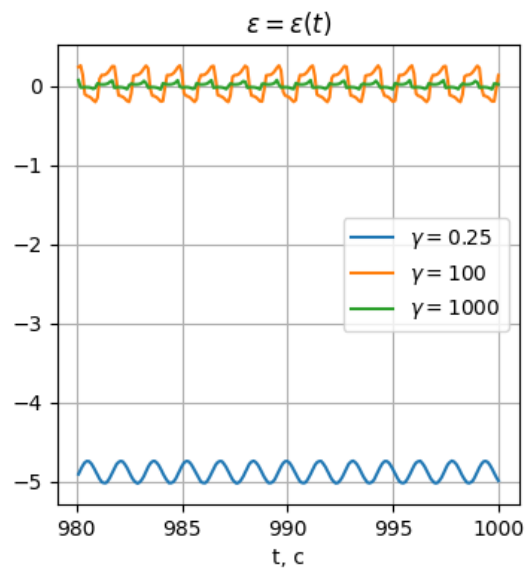


Рисунок 8: График ошибки слежения системы со статической обратной связью на последних 20 секундах моделирования.

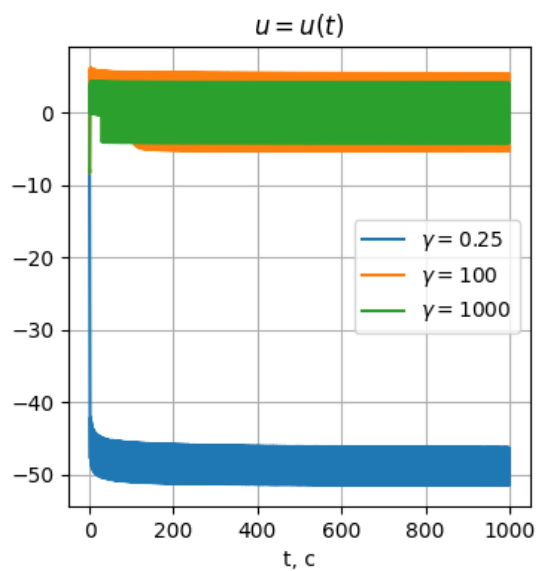


Рисунок 9: График выхода регулятора системы со статической обратной связью.

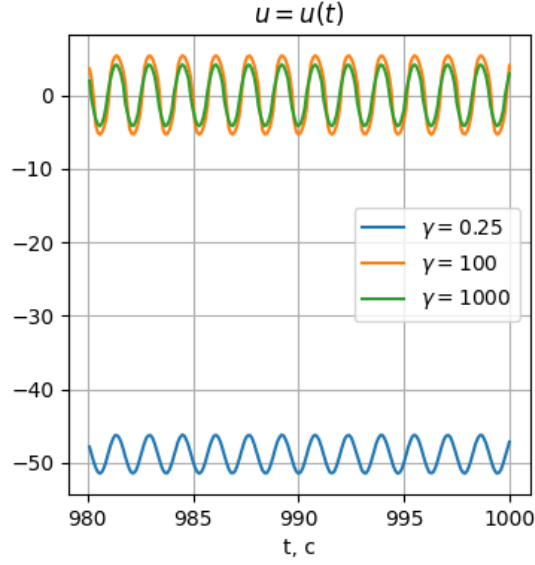


Рисунок 10: График выхода регулятора системы со статической обратной связью на последних 20 секундах моделирования.

### 2.3 Робастная $\sigma$ -модификация алгоритма адаптации

В этой задаче, для решения проблем регулятора со статической обратной связью используется робастная  $\sigma$ -модификация алгоритма адаптации.

$$\begin{cases} \dot{x}_m = -\lambda x_m + \lambda g \\ \dot{x} = \hat{\theta}x + u + \delta \\ u = \hat{\theta}x - \lambda x + \lambda g \\ \varepsilon = x_m - x \\ \dot{\hat{\theta}} = -\sigma \hat{\theta} - \gamma x \varepsilon \end{cases}$$

При моделировании использовались следующие значения параметров:  $\gamma = 0.25$ , набор  $\sigma = \{0, 0.1, 1\}$ ,  $x_0 = 1$ ,  $\lambda = 2$ ,  $g(t) = \cos(4t)$ . Полученный результат представлен на рис. 11-12.

Видно, что при уменьшении  $\sigma$ , уменьшается верхняя граница ошибки.



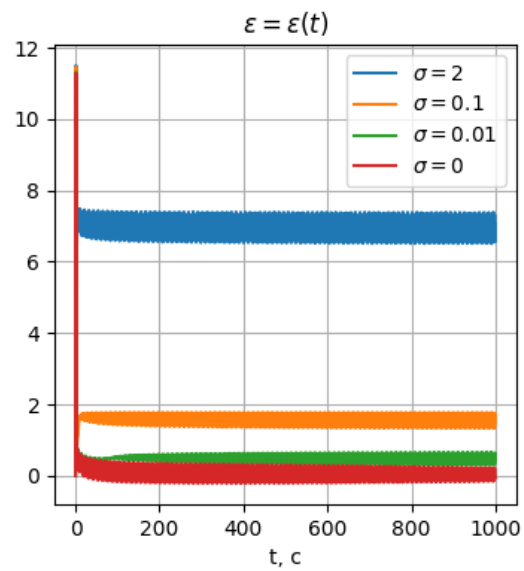


Рисунок 11: График ошибки слежения системы с робастной  $\sigma$ -модификацией алгоритма адаптации.

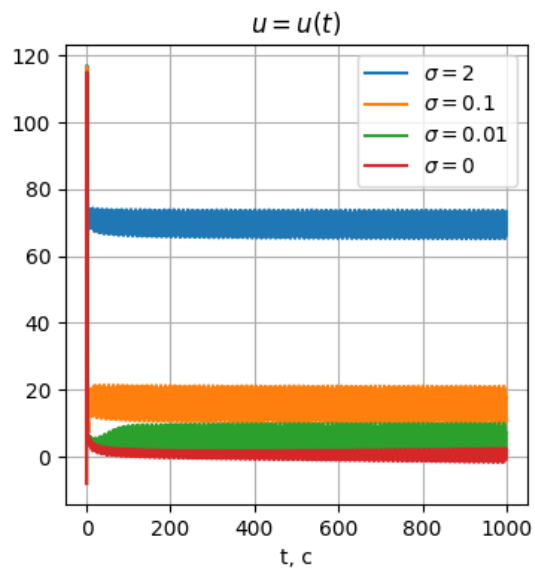


Рисунок 12: График выхода регулятора системы с робастной  $\sigma$ -модификацией алгоритма адаптации.

### 3 Заключение

В работе были проведены эксперименты с двумя способами решения задачи слежения выхода скалярного объекта за эталонным сигналом при наличии шумов в системе. На практике было проверено, что алгоритм адаптации из первой лабораторной не ограничивает оценку  $\hat{\theta}$  параметра системы. Новые подходы справляются с этой задачей.

Статическая обратная связь имеет следующие недостатки:

- при отсутствии возмущения, установившаяся ошибка  $\varepsilon$  может быть отлична от нуля;
- управление пропорционально величине  $x^2$ ;
- $u \propto \gamma$  и  $\gamma^{-1} \propto \Delta \rightarrow$  уменьшение интервала сходимости происходит только при увеличении  $\gamma$ , что ведет к росту значения сигнала регулятора.

Робастная  $\sigma$ -модификация алгоритма адаптации, в отличие от статической обратной связи:

- $\sigma \propto \Delta \rightarrow$  позволяет снижать границу интервала сходимости путем уменьшения параметра  $\sigma$ , который не влияет напрямую на величину сигнала регулятора;
- есть гибридная  $\sigma$ -модификация, обнуляющая  $\sigma$  при незначительном входном воздействии.