



ITMO UNIVERSITY

Современная теория систем управления

Борисов Олег Игоревич

Факультет систем управления и робототехники, Университет ИТМО

1–4 февраля 2022

1. Что такое теория управления?

2. Почему управлять не просто?

3. Карта теории управления

Что такое теория управления?

- ▶ Теория управления — наука о принципах и методах достижения желаемого поведения объектов различной физической природы с помощью системного анализа.
- ▶ Система — совокупность взаимосвязанных элементов.
- ▶ Области применения теории управления
 - ▶ Технические системы (КФС, робототехника)
 - ▶ Биологические системы (медицина)
 - ▶ Химическая промышленность
 - ▶ Социальные и экономические системы
- ▶ Специалисты теории управления изучают динамику протекания процессов с помощью математических методов.
- ▶ Обратная связь как основополагающий принцип управления.

- ▶ Теория управления — наука о принципах и методах достижения желаемого поведения объектов различной физической природы с помощью системного анализа.
- ▶ Система — совокупность взаимосвязанных элементов.
- ▶ Области применения теории управления
 - ▶ Технические системы (КФС, робототехника)
 - ▶ Биологические системы (медицина)
 - ▶ Химическая промышленность
 - ▶ Социальные и экономические системы
- ▶ Специалисты теории управления изучают динамику протекания процессов с помощью математических методов.
- ▶ Обратная связь как основополагающий принцип управления.

- ▶ Теория управления — наука о принципах и методах достижения желаемого поведения объектов различной физической природы с помощью системного анализа.
- ▶ Система — совокупность взаимосвязанных элементов.
- ▶ Области применения теории управления
 - ▶ Технические системы (КФС, робототехника)
 - ▶ Биологические системы (медицина)
 - ▶ Химическая промышленность
 - ▶ Социальные и экономические системы
- ▶ Специалисты теории управления изучают динамику протекания процессов с помощью математических методов.
- ▶ Обратная связь как основополагающий принцип управления.

- ▶ Теория управления — наука о принципах и методах достижения желаемого поведения объектов различной физической природы с помощью системного анализа.
- ▶ Система — совокупность взаимосвязанных элементов.
- ▶ Области применения теории управления
 - ▶ Технические системы (КФС, робототехника)
 - ▶ Биологические системы (медицина)
 - ▶ Химическая промышленность
 - ▶ Социальные и экономические системы
- ▶ Специалисты теории управления изучают динамику протекания процессов с помощью математических методов.
- ▶ Обратная связь как основополагающий принцип управления.

- ▶ Теория управления — наука о принципах и методах достижения желаемого поведения объектов различной физической природы с помощью системного анализа.
- ▶ Система — совокупность взаимосвязанных элементов.
- ▶ Области применения теории управления
 - ▶ Технические системы (КФС, робототехника)
 - ▶ Биологические системы (медицина)
 - ▶ Химическая промышленность
 - ▶ Социальные и экономические системы
- ▶ Специалисты теории управления изучают динамику протекания процессов с помощью математических методов.
- ▶ Обратная связь как основополагающий принцип управления.

Три фундаментальные составляющие теории систем управления:

- ▶ Физика: фундаментальные законы, определяющие динамические процессы в зависимости от рассматриваемого приложения
- ▶ Математика (математическая инженерия): моделирование динамических процессов, синтез алгоритмов управления, анализ устойчивости
- ▶ Информатика (программирование): имплементация синтезированных алгоритмов управления

Три фундаментальные составляющие теории систем управления:

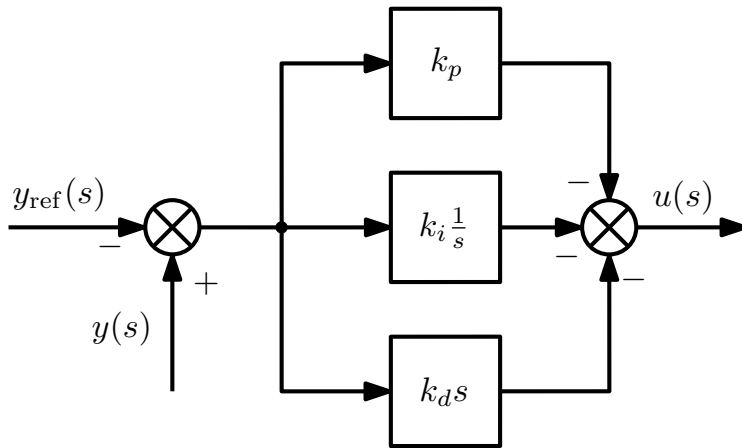
- ▶ Физика: фундаментальные законы, определяющие динамические процессы в зависимости от рассматриваемого приложения
- ▶ Математика (математическая инженерия): моделирование динамических процессов, синтез алгоритмов управления, анализ устойчивости
- ▶ Информатика (программирование): имплементация синтезированных алгоритмов управления

Три фундаментальные составляющие теории систем управления:

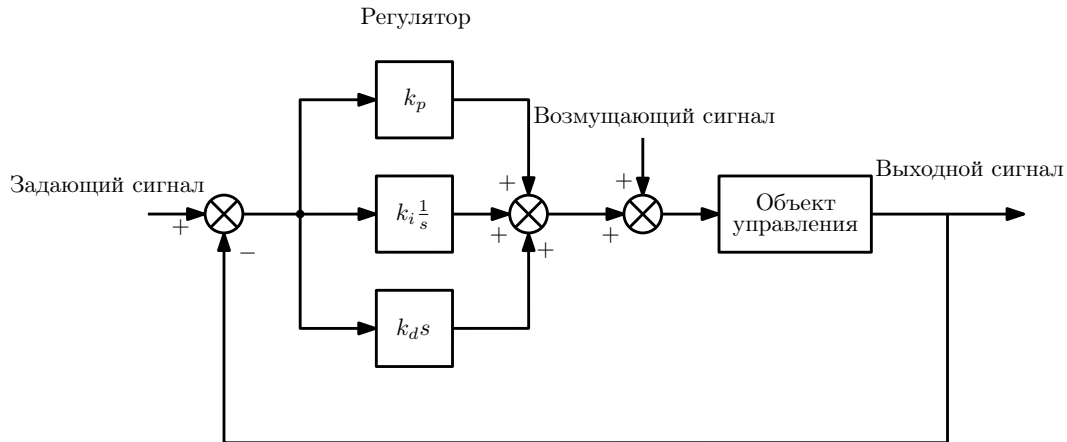
- ▶ Физика: фундаментальные законы, определяющие динамические процессы в зависимости от рассматриваемого приложения
- ▶ Математика (математическая инженерия): моделирование динамических процессов, синтез алгоритмов управления, анализ устойчивости
- ▶ Информатика (программирование): имплементация синтезированных алгоритмов управления

$$\lim_{t \rightarrow \infty} |y(t) - y_{\text{ref}}| = 0 \quad (\text{стабилизация})$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} |y(t) - y_{\text{ref}}(t)| = 0 \quad (\text{слежение})$$



ПИД регулятор



- ▶ Однако, ПИД регулятор представляет собой инженерный инструмент, позволяющий приемлемо решать достаточно простые (упрощенные) задачи частного характера.
- ▶ С другой стороны, во множестве приложений динамика самих объектов может быть достаточно сложной, как и условия их функционирования.
- ▶ Специалисты теории систем управления заинтересованы в развитии алгоритмов управления с целью усложнении сценариев функционирования объектов без усложнения их аппаратной оснастки или конструкции (на программном уровне).
- ▶ Таким образом, постановки задач могут быть нетривиальны, что приводит к необходимости разработки сложных алгоритмов управления, учитывающих ряд факторов, присущих реальным приложениям.

- ▶ Однако, ПИД регулятор представляет собой инженерный инструмент, позволяющий приемлемо решать достаточно простые (упрощенные) задачи частного характера.
- ▶ С другой стороны, во множестве приложений динамика самих объектов может быть достаточно сложной, как и условия их функционирования.
- ▶ Специалисты теории систем управления заинтересованы в развитии алгоритмов управления с целью усложнении сценариев функционирования объектов без усложнения их аппаратной оснастки или конструкции (на программном уровне).
- ▶ Таким образом, постановки задач могут быть нетривиальны, что приводит к необходимости разработки сложных алгоритмов управления, учитывающих ряд факторов, присущих реальным приложениям.

- ▶ Однако, ПИД регулятор представляет собой инженерный инструмент, позволяющий приемлемо решать достаточно простые (упрощенные) задачи частного характера.
- ▶ С другой стороны, во множестве приложений динамика самих объектов может быть достаточно сложной, как и условия их функционирования.
- ▶ Специалисты теории систем управления заинтересованы в развитии алгоритмов управления с целью усложнении сценариев функционирования объектов без усложнения их аппаратной оснастки или конструкции (на программном уровне).
- ▶ Таким образом, постановки задач могут быть нетривиальны, что приводит к необходимости разработки сложных алгоритмов управления, учитывающих ряд факторов, присущих реальным приложениям.

- ▶ Однако, ПИД регулятор представляет собой инженерный инструмент, позволяющий приемлемо решать достаточно простые (упрощенные) задачи частного характера.
- ▶ С другой стороны, во множестве приложений динамика самих объектов может быть достаточно сложной, как и условия их функционирования.
- ▶ Специалисты теории систем управления заинтересованы в развитии алгоритмов управления с целью усложнении сценариев функционирования объектов без усложнения их аппаратной оснастки или конструкции (на программном уровне).
- ▶ Таким образом, постановки задач могут быть нетривиальны, что приводит к необходимости разработки сложных алгоритмов управления, учитывающих ряд факторов, присущих реальным приложениям.

Почему это не просто?

- ▶ Нелинейности
- ▶ Неопределенности
- ▶ Нестационарность параметров
- ▶ Внешние воздействия
- ▶ Многомерная и многосвязная структура
- ▶ Запаздывания по времени в каналах измерения и управления

Вышеперечисленные факторы мотивируют ученых по системам управления на разработку новых и развитие существующих подходов и методов современной теории систем управления .

Принцип линейности

$$f(ax + ay) = af(x) + af(y)$$

- ▶ Линейность является допущением, необходимым для упрощения синтеза законов управления (линеаризация).
- ▶ Теория линейных систем является достаточно проработанным разделом теории управления.
- ▶ Теория нелинейных систем, в свою очередь, не имеет настолько унифицированных и обобщенных инструментов синтеза и анализа, какие имеются в теории линейных систем.
- ▶ Однако, реальные приложения являются нелинейными.

Принцип линейности

$$f(ax + ay) = af(x) + af(y)$$

- ▶ Линейность является допущением, необходимым для упрощения синтеза законов управления (линеаризация).
- ▶ Теория линейных систем является достаточно проработанным разделом теории управления.
- ▶ Теория нелинейных систем, в свою очередь, не имеет настолько унифицированных и обобщенных инструментов синтеза и анализа, какие имеются в теории линейных систем.
- ▶ Однако, реальные приложения являются нелинейными.

Принцип линейности

$$f(ax + ay) = af(x) + af(y)$$

- ▶ Линейность является допущением, необходимым для упрощения синтеза законов управления (линеаризация).
- ▶ Теория линейных систем является достаточно проработанным разделом теории управления.
- ▶ Теория нелинейных систем, в свою очередь, не имеет настолько унифицированных и обобщенных инструментов синтеза и анализа, какие имеются в теории линейных систем.
- ▶ Однако, реальные приложения являются нелинейными.

Принцип линейности

$$f(ax + ay) = af(x) + af(y)$$

- ▶ Линейность является допущением, необходимым для упрощения синтеза законов управления (линеаризация).
- ▶ Теория линейных систем является достаточно проработанным разделом теории управления.
- ▶ Теория нелинейных систем, в свою очередь, не имеет настолько унифицированных и обобщенных инструментов синтеза и анализа, какие имеются в теории линейных систем.
- ▶ Однако, реальные приложения являются нелинейными.

- ▶ На практике реальные параметры систем зачастую являются неизвестными или могут менять свои значения в процессе функционирования.
- ▶ Структурные неопределенности могут быть обусловлены неучтенной динамикой, соответствующей, например, динамике исполнительных приводов.
- ▶ Количество физических измерений, используемых в регуляторе, соответствует количеству датчиков, интегрированных в систему.
- ▶ Важно иметь в виду, что физические измерения не могут быть абсолютно надежными в силу подверженности датчиков влиянию внешней среды.
- ▶ Синтез подходов, нацеленных на сокращение количества используемых датчиков (в особенности датчиков выходных переменных), представляет особый интерес.
- ▶ Бездатчиковое управление является относительно новым и активно развивающимся направлением современной теории систем управления.

- ▶ На практике реальные параметры систем зачастую являются неизвестными или могут менять свои значения в процессе функционирования.
- ▶ Структурные неопределенности могут быть обусловлены неучтенной динамикой, соответствующей, например, динамике исполнительных приводов.
- ▶ Количество физических измерений, используемых в регуляторе, соответствует количеству датчиков, интегрированных в систему.
- ▶ Важно иметь в виду, что физические измерения не могут быть абсолютно надежными в силу подверженности датчиков влиянию внешней среды.
- ▶ Синтез подходов, нацеленных на сокращение количества используемых датчиков (в особенности датчиков выходных переменных), представляет особый интерес.
- ▶ Бездатчиковое управление является относительно новым и активно развивающимся направлением современной теории систем управления.

- ▶ На практике реальные параметры систем зачастую являются неизвестными или могут менять свои значения в процессе функционирования.
- ▶ Структурные неопределенности могут быть обусловлены неучтенной динамикой, соответствующей, например, динамике исполнительных приводов.
- ▶ Количество физических измерений, используемых в регуляторе, соответствует количеству датчиков, интегрированных в систему.
- ▶ Важно иметь в виду, что физические измерения не могут быть абсолютно надежными в силу подверженности датчиков влиянию внешней среды.
- ▶ Синтез подходов, нацеленных на сокращение количества используемых датчиков (в особенности датчиков выходных переменных), представляет особый интерес.
- ▶ Бездатчиковое управление является относительно новым и активно развивающимся направлением современной теории систем управления.

- ▶ На практике реальные параметры систем зачастую являются неизвестными или могут менять свои значения в процессе функционирования.
- ▶ Структурные неопределенности могут быть обусловлены неучтенной динамикой, соответствующей, например, динамике исполнительных приводов.
- ▶ Количество физических измерений, используемых в регуляторе, соответствует количеству датчиков, интегрированных в систему.
- ▶ Важно иметь в виду, что физические измерения не могут быть абсолютно надежными в силу подверженности датчиков влиянию внешней среды.
- ▶ Синтез подходов, нацеленных на сокращение количества используемых датчиков (в особенности датчиков выходных переменных), представляет особый интерес.
- ▶ Бездатчиковое управление является относительно новым и активно развивающимся направлением современной теории систем управления.

- ▶ На практике реальные параметры систем зачастую являются неизвестными или могут менять свои значения в процессе функционирования.
- ▶ Структурные неопределенности могут быть обусловлены неучтенной динамикой, соответствующей, например, динамике исполнительных приводов.
- ▶ Количество физических измерений, используемых в регуляторе, соответствует количеству датчиков, интегрированных в систему.
- ▶ Важно иметь в виду, что физические измерения не могут быть абсолютно надежными в силу подверженности датчиков влиянию внешней среды.
- ▶ Синтез подходов, нацеленных на сокращение количества используемых датчиков (в особенности датчиков выходных переменных), представляет особый интерес.
- ▶ Бездатчиковое управление является относительно новым и активно развивающимся направлением современной теории систем управления.

- ▶ На практике реальные параметры систем зачастую являются неизвестными или могут менять свои значения в процессе функционирования.
- ▶ Структурные неопределенности могут быть обусловлены неучтенной динамикой, соответствующей, например, динамике исполнительных приводов.
- ▶ Количество физических измерений, используемых в регуляторе, соответствует количеству датчиков, интегрированных в систему.
- ▶ Важно иметь в виду, что физические измерения не могут быть абсолютно надежными в силу подверженности датчиков влиянию внешней среды.
- ▶ Синтез подходов, нацеленных на сокращение количества используемых датчиков (в особенности датчиков выходных переменных), представляет особый интерес.
- ▶ Бездатчиковое управление является относительно новым и активно развивающимся направлением современной теории систем управления.

- ▶ Существуют два типа внешних воздействий: задающие сигналы и возмущающие сигналы.
- ▶ Задающие сигналы отражают желаемое поведение систем. Если они представлены функциями времени, то необходимо выполнить компенсацию установившейся ошибки, вызываемой ненулевыми производными задающего сигнала.
- ▶ Примером решения задачи слежения является управление манипуляционным роботом в режиме слежения за заданной траекторией.
- ▶ Возмущающие сигналы препятствуют достижению желаемого поведения систем. Они могут быть представлены как сумма стохастической нерегулярной и детерминированной регулярной составляющих. Компенсация возмущений является важной задачей в теории управления.
- ▶ Примером влияния возмущающих сигналов является надводное судно, подверженное действию волн, течения и ветра.

- ▶ Существуют два типа внешних воздействий: задающие сигналы и возмущающие сигналы.
- ▶ Задающие сигналы отражают желаемое поведение систем. Если они представлены функциями времени, то необходимо выполнить компенсацию установившейся ошибки, вызываемой ненулевыми производными задающего сигнала.
- ▶ Примером решения задачи слежения является управление манипуляционным роботом в режиме слежения за заданной траекторией.
- ▶ Возмущающие сигналы препятствуют достижению желаемого поведения систем. Они могут быть представлены как сумма стохастической нерегулярной и детерминированной регулярной составляющих. Компенсация возмущений является важной задачей в теории управления.
- ▶ Примером влияния возмущающих сигналов является надводное судно, подверженное действию волн, течения и ветра.

- ▶ Существуют два типа внешних воздействий: задающие сигналы и возмущающие сигналы.
- ▶ Задающие сигналы отражают желаемое поведение систем. Если они представлены функциями времени, то необходимо выполнить компенсацию установившейся ошибки, вызываемой ненулевыми производными задающего сигнала.
- ▶ Примером решения задачи слежения является управление манипуляционным роботом в режиме слежения за заданной траекторией.
- ▶ Возмущающие сигналы препятствуют достижению желаемого поведения систем. Они могут быть представлены как сумма стохастической нерегулярной и детерминированной регулярной составляющих. Компенсация возмущений является важной задачей в теории управления.
- ▶ Примером влияния возмущающих сигналов является надводное судно, подверженное действию волн, течения и ветра.

- ▶ Существуют два типа внешних воздействий: задающие сигналы и возмущающие сигналы.
- ▶ Задающие сигналы отражают желаемое поведение систем. Если они представлены функциями времени, то необходимо выполнить компенсацию установившейся ошибки, вызываемой ненулевыми производными задающего сигнала.
- ▶ Примером решения задачи слежения является управление манипуляционным роботом в режиме слежения за заданной траекторией.
- ▶ Возмущающие сигналы препятствуют достижению желаемого поведения систем. Они могут быть представлены как сумма стохастической нерегулярной и детерминированной регулярной составляющих. Компенсация возмущений является важной задачей в теории управления.
- ▶ Примером влияния возмущающих сигналов является надводное судно, подверженное действию волн, течения и ветра.

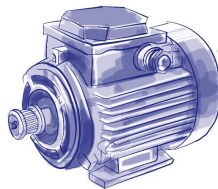
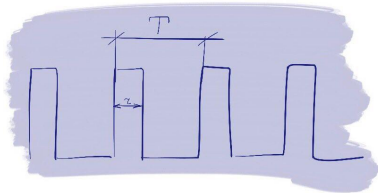
- ▶ Существуют два типа внешних воздействий: задающие сигналы и возмущающие сигналы.
- ▶ Задающие сигналы отражают желаемое поведение систем. Если они представлены функциями времени, то необходимо выполнить компенсацию установившейся ошибки, вызываемой ненулевыми производными задающего сигнала.
- ▶ Примером решения задачи слежения является управление манипуляционным роботом в режиме слежения за заданной траекторией.
- ▶ Возмущающие сигналы препятствуют достижению желаемого поведения систем. Они могут быть представлены как сумма стохастической нерегулярной и детерминированной регулярной составляющих. Компенсация возмущений является важной задачей в теории управления.
- ▶ Примером влияния возмущающих сигналов является надводное судно, подверженное действию волн, течения и ветра.

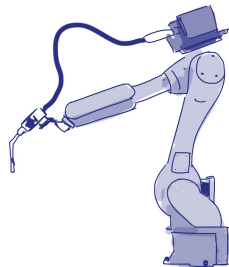
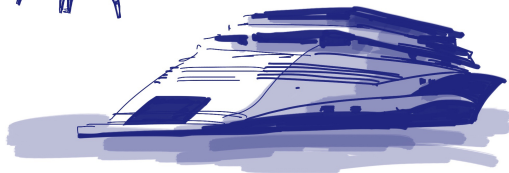
Нелинейные системы — системы, в которых не выполняется принцип линейности $f(ax + ay) = af(x) + af(y)$.

Примеры типовых нелинейностей:

- ▶ Реле
- ▶ Гистерезис
- ▶ Гармонические осциллятор
- ▶ Зона нечувствительности
- ▶ Трение
- ▶ Люфт
- ▶ Насыщение

- ▶ Широтно-импульсная модуляция: коэффициент заполнения не может быть более 100%
- ▶ Управление открытием клапана: клапан нельзя открыть более максимальной величины площади поперечного сечения
- ▶ Управление двигателями: развиваемая скорость вращения двигателя всегда ограничена сверху





Примеры систем с многомерной и многосвязной структурой

Карта теории управления

- ▶ Линейные дифференциальные уравнения
- ▶ Передаточные функции
- ▶ Частотно-временной анализ
- ▶ Метод пространства состояний
- ▶ Управляемость / наблюдаемость
- ▶ Наблюдатели состояния
- ▶ Модальное управление
- ▶ Оптимальное управление (LQR)
- ▶ Управление с прогнозирующими моделями (MPC) и т.д.

- ▶ Нелинейные дифференциальные уравнения
- ▶ Метод функций Ляпунова
- ▶ Линеаризация (линеаризация по обратной связи)
- ▶ Backstepping
- ▶ Управление в скользящем режиме
- ▶ Робастное управление (геометрический подход)
- ▶ Адаптивное управление и т.д.

- ▶ Киберфизические системы (сетевые системы, мультиагентные системы)
- ▶ Дискретные системы
- ▶ Стохастические системы
- ▶ Отказоустойчивое управление
- ▶ Системы с распределенными параметрами
- ▶ Хаотические системы

Управление с высоким коэффициентом усиления (по сильной обратной связи)

Передаточная функция замкнутой системы

$$\frac{y}{y_{\text{ref}}} = \frac{C(s)P(s)}{1 + C(s)P(s)},$$

где $P(s)$ содержит неопределенные и возможно нестационарные (в ограниченных пределах) параметры, $C(s)$ содержит фиксированные параметры такие, что $|C(j\omega)P(j\omega)| \gg 1$ и, соответственно, $y \approx y_{\text{ref}}$ несмотря на все неопределенности и нестационарности (в ограниченных пределах) параметров $P(s)$.

Управление в скользящем режиме

Управление в скользящем режиме является нелинейным подходом управления, основанным на синтезе регуляторов с переменной структурой, вырабатывающих разрывный управляющий сигнал, который обеспечивает движение траекторий системы в направлении к гиперповерхности и удержание их в ее пределах, что называется скользящим режимом.

- ▶ Изначально адаптивное управление разрабатывалось для систем с меняющимися характеристиками в силу нестационарности параметров и меняющихся условий функционирования (режимов работы).
- ▶ Адаптация — способность технической системы самонастраиваться и корректировать свое поведение на базе собранной информации о собственной динамике.
- ▶ Адаптивное управление позволяет обеспечивать точечную настройку параметров регулятора для эффективного управления в условиях неопределенностей и, особенно, нестационарностей.
- ▶ Адаптивные регуляторы за частую представляют собой динамически настраиваемые модификации таких подходов, как робастное управление, управление в скользящем режиме, модальное управление, управление с эталонной моделью и т.д.

- ▶ Изначально адаптивное управление разрабатывалось для систем с меняющимися характеристиками в силу нестационарности параметров и меняющихся условий функционирования (режимов работы).
- ▶ Адаптация — способность технической системы самонастраиваться и корректировать свое поведение на базе собранной информации о собственной динамике.
- ▶ Адаптивное управление позволяет обеспечивать точечную настройку параметров регулятора для эффективного управления в условиях неопределенностей и, особенно, нестационарностей.
- ▶ Адаптивные регуляторы за частую представляют собой динамически настраиваемые модификации таких подходов, как робастное управление, управление в скользящем режиме, модальное управление, управление с эталонной моделью и т.д.

- ▶ Изначально адаптивное управление разрабатывалось для систем с меняющимися характеристиками в силу нестационарности параметров и меняющихся условий функционирования (режимов работы).
- ▶ Адаптация — способность технической системы самонастраиваться и корректировать свое поведение на базе собранной информации о собственной динамике.
- ▶ Адаптивное управление позволяет обеспечивать точечную настройку параметров регулятора для эффективного управления в условиях неопределенностей и, особенно, нестационарностей.
- ▶ Адаптивные регуляторы за частую представляют собой динамически настраиваемые модификации таких подходов, как робастное управление, управление в скользящем режиме, модальное управление, управление с эталонной моделью и т.д.

- ▶ Изначально адаптивное управление разрабатывалось для систем с меняющимися характеристиками в силу нестационарности параметров и меняющихся условий функционирования (режимов работы).
- ▶ Адаптация — способность технической системы самонастраиваться и корректировать свое поведение на базе собранной информации о собственной динамике.
- ▶ Адаптивное управление позволяет обеспечивать точечную настройку параметров регулятора для эффективного управления в условиях неопределенностей и, особенно, нестационарностей.
- ▶ Адаптивные регуляторы за частую представляют собой динамически настраиваемые модификации таких подходов, как робастное управление, управление в скользящем режиме, модальное управление, управление с эталонной моделью и т.д.

- ▶ Адаптивное управление является эффективным инструментом в задачах с существенным дефицитом информации о динамике объекта и динамике окружающей среды.
- ▶ Адаптивные регуляторы восстанавливают необходимую информацию во время функционирования системы на базе измерений выхода или состояния.
- ▶ Адаптивные регуляторы полезны в задачах управления системами с различными режимами, меняющимися условиями функционирования, а также для упрощенной настройки параметров регулятора.

- ▶ Адаптивное управление является эффективным инструментом в задачах с существенным дефицитом информации о динамике объекта и динамике окружающей среды.
- ▶ Адаптивные регуляторы восстанавливают необходимую информацию во время функционирования системы на базе измерений выхода или состояния.
- ▶ Адаптивные регуляторы полезны в задачах управления системами с различными режимами, меняющимися условиями функционирования, а также для упрощенной настройки параметров регулятора.

- ▶ Адаптивное управление является эффективным инструментом в задачах с существенным дефицитом информации о динамике объекта и динамике окружающей среды.
- ▶ Адаптивные регуляторы восстанавливают необходимую информацию во время функционирования системы на базе измерений выхода или состояния.
- ▶ Адаптивные регуляторы полезны в задачах управления системами с различными режимами, меняющимися условиями функционирования, а также для упрощенной настройки параметров регулятора.

Структура

Системы с адаптивным управлением как правило включают следующие блоки

- ▶ Объект управления
- ▶ Генератор возмущения (при рассмотрении влияния окружающей среды)
- ▶ Настраиваемый регулятор
- ▶ Закон адаптации

Цели

Различают две цели

- ▶ Цель управления
- ▶ Цель адаптации (идентификация, наблюдение)

1. Формализация цели управления
2. Синтез номинального закона управления
3. Формализация цели адаптации
4. Синтез закона адаптации
5. Синтез адаптивного регулятора

- ▶ Управление на основе динамических моделей / данных
- ▶ Управление на базе обратной связи / прямой связи '
- ▶ Прямое / не прямое / гибридное адаптивное управление
- ▶ Управление с явной / неявной эталонной моделью
- ▶ Модальное управление
- ▶ Законы адаптации (SPR-Луарипов, метод градиентного спуска, фильтр Калмана, МНК, DREM)
- ▶ Непараметрические подходы
 - ▶ Gain scheduling
 - ▶ Итеративные обучающиеся подходы
 - ▶ Нейронные сети (машинное обучение, нечеткая логика и т.д.)

Следующая лекция:

Геометрический подход к синтезу
робастных законов управления