

Применение теории игр для оптимальной настройки ПИД-регулятора по выбранным критериям

В.А. Гуляев, Ю.К. Орлов

Донецкий национальный технический университет

gvard12@gmail.com

Гуляев В.А., Орлов Ю.К. Применение теории игр для оптимальной настройки ПИД-регулятора по выбранному критерию. В данной работе предлагается алгоритм для точной настройки коэффициентов ПИД-регулятора на базе концепции теории игр. Приведены базовые теоретические сведения, необходимые для понимания работы алгоритма. Сформулирован алгоритм настройки регулятора, Построена модель в системе MATLAB, которая соответствует одному циклу алгоритма. Приведен ручной просчет одного шага алгоритма.

Ключевые слова: ПИД-регулятор, теория игр, цена игры, итерация, оптимальность настройки

Введение

Настройка ПИД-регуляторов является одной из наиболее распространенных операций при настройке автоматических систем управления в процессе наладки и эксплуатации [1]. Среди промышленных систем автоматического управления существуют такие, в которых по технологии функционирования необходимо обеспечивать аperiodический характер переходных процессов, например, регуляторы уровней, частотные преобразователи и т.д. В качестве регуляторов в указанных системах обычно используются промышленные ПИ- или ПИД-регуляторы. Главной их задачей является уменьшение колебательности и перерегулирования в системе, приводящее переходные процессы к аperiodическому виду. Такие регуляторы могут быть реализованы как непосредственно в регулируемых системах, так и отдельным регулятором на базе некоторого микроконтроллера или программно в системе управления технологическими процессами.

Существует комплекс методов для расчета параметров ПИД-регулятора, часть из которых проста и менее точна (например, метод Циглера-Никольса, метод CHR [2]), другая часть более точна, но более трудоемка (настройка с использованием генетических алгоритмов [3]). Также следует упомянуть настройки при помощи правил нечеткой логики и нейросетей как достаточно новые и развивающиеся направления подбора коэффициентов ПИД-регулятора.

Большинство достаточно простых методов не дают оптимальных результатов настройки ПИД-регулятора, поэтому встает вопрос тонкой настройки для достижения наилучшего результата. Применение концепции теории игр в данном случае помогает и позволяет добиться наилучшего результата с заданной погрешностью.

В процессе создания статьи не было обнаружено исследований по данной тематике.

Теория ПИД-регуляторов

В общем виде система с ПИД-регулятором выглядит так, как показано на рисунке 1.

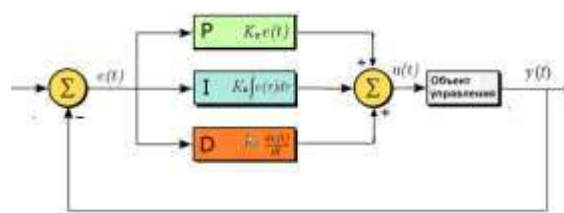


Рисунок 1 – Блок-схема модели управления с ПИД-регулятором

Основу ПИД-регулятора составляют три коэффициента:

K_P – пропорциональный коэффициент;

K_I – интегральный коэффициент;

K_D – дифференциальный коэффициент [4].

При помощи варьирования этих параметров достигается оптимальное входное воздействие на объект управления, причем каждый из параметров по-своему влияет на то, какой будет выходное воздействие модели. Результатом ПИД-регулирования должна стать устойчивая система, т.е. с затухающими колебаниями, с установившемся значением, которое удовлетворяет условию задачи. Были выделены следующие критерии оптимальности настройки ПИД-регулятора, которые наиболее часто встречаются при настройке, и значения которых должны стремиться к нулю:

- ошибка регулирования;
- перерегулирование;
- время регулирования [5].

В зависимости от условий задачи наладчик

выбирает один из параметров и относительно его подбирает коэффициенты.

Собственно говоря, теория ПИД-регуляторов намного более широка, однако для данной работы достаточно использования вышеописанных терминов.

Теория игр

В [6] приведено исследование теории игр для принятия решений в условиях неопределенности и рисков. Согласно ему предполагается, что есть 2 стороны – игрок, заинтересованный в наиболее выгодном для него исходе игры, и выступающий против участника, совершенно безразличного к результату. Составляется матрица $N \times M$, где N – число вариантов доступных первому игроку, M – число вариантов доступных второму игроку, в каждую ячейку которой заносится значение, называемое ценой игры – некоторое выражение, необязательно численное, которое говорит о том к какому результату приведет выбор некоторых вариантов первым и вторым игроком. Применив этот метод можно получить полный перебор возможных исходов при различных случаях выборов игроков, а используя такие критерии оптимальности можно получить численное представление эффективности выбора стратегии игры [7, 8]. К таким критериям относятся:

- критерий Байеса;
- критерий Лапласа;
- критерий Сэвиджа;
- критерий Гурвица;

Проведя расчёты по этим критериям лицо, принимающее решение, может получить полезную информацию для принятия решений.

В случае с простыми задачами теории игр достаточно ограничиться простым выбором наибольшей или наименьшей цены игры, т.е. воспользоваться принципом недостаточного обоснования Лапласа [9].

Концепция теории игр для настройки ПИД-регуляторов

Ключевая идея предлагаемого метода состоит в следующем: имея некоторые начальные значения регулятора, близкие к оптимальным, итеративно перебирать возможные варианты изменения параметров регулятора с заданным шагом до тех пор, пока не будет выполнено некоторое условие выхода.

Поскольку для настройки ПИД-регулятора используются 3 коэффициента, то классическое представление теории игр об игре между двумя сторонами необходимо преобразовать в игру между тремя сторонами – таким образом, матрица

игры превратится в трехмерную. Соответственно стратегиями игры будут выступать различные комбинации изменений параметров. Предлагается три варианта выбора для каждого из коэффициентов: оставить без изменений, уменьшить или увеличить на некоторое задаваемое наладчиком значение. Данный параметр может варьироваться, тем самым при уменьшении будет увеличиваться точность поиска, но также и увеличиваться время расчета при достаточно отдаленных от оптимума начальных значений.

Поскольку цена игры для сравнения в ходе итераций должна иметь численное значение, необходимо задать алгоритм, который бы определял какой её принимать. Предлагается следующая интерпретация: цена игры равна сумме 3 значений критериев оптимальности решения, умноженных на некоторые весовые коэффициенты, задаваемые пользователем на старте алгоритма. С помощью такого подхода можно обеспечить варьирование результатов в соответствии с предпочитаемым ожидаемым результатом.

На каждой итерации алгоритма после заполнения матрицы игры из всех элементов выбирается та цена игры, которая является наименьшей, в соответствии со стратегией по которой она сформирована обновляются коэффициенты ПИД-регулятора и алгоритм запускается заново.

Предполагается, что условием окончания работы алгоритма может служить одно из следующих условий:

- достигнут предел итераций алгоритма;
- достигнут предел времени работы алгоритма;
- решение на текущем шаге подразумевает сохранение предыдущих параметров ПИД-регулятора.

Реализация модели управления с возможностью варьирования коэффициентов регулятора

Для реализации предложенной концепции был выбран пакет прикладных программ MATLAB версии 2018a, поскольку он обладает возможностями по простой настройке ПИД-регуляторов и позволяет графически удобно представить модель и операции над ней.

В ходе разработки модели были использованы следующие модули программы:

- Simulink;
- DSP System Toolbox;
- Control System Toolbox.

На рисунке 2 показана разработанная модель управления.

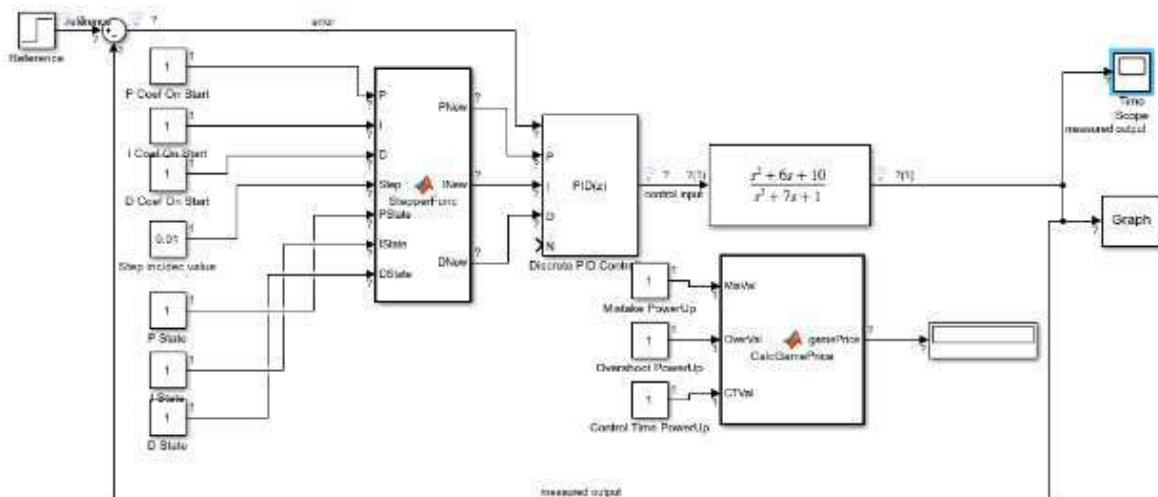


Рисунок 2 – Модель управления

Построенная модель является отображением одной итерации алгоритма. Пользователь задает следующие параметры:

- начальные коэффициенты ПИД-регулятора;
- шаг изменения коэффициентов;
- текущее состояние стратегии игры, выраженное в коэффициентах к каждому параметру (0 – уменьшение, 1 – без изменений, 2 – увеличение);
- весовые коэффициенты цены игры;
- собственно, передаточная функция, описывающая регулируемую систему.

На данной модели реализованы 2 функции – StepperFunc и CalcGamePrice. На вход функции StepperFunc приходят следующие параметры:

- начальные значения ПИД-регулятора;
- значение шага изменения параметров;
- коэффициенты состояния стратегии игры.

Сама функция представляет собой сравнение значений коэффициентов состояний и вывод скорректированных значений ПИД-регулятора непосредственно на блок регулятора. Далее реализуется базовая последовательность моделей регулирования, где после ПИД-контроллера идет непосредственно объект управления, описанный передаточной функцией. Полученные значения выводятся в блок TimeScore, который позволяет получить такие параметры системы, как перерегулирование и время регулирования, которые также записываются в переменную Graph.

Функция CalcGamePrice получает значения, записанные в переменную Graph, преобразует их, умножает на соответствующие весовые коэффициенты параметров и складывает их. Полученное значение, являющееся ценой игры, выводится в блок, после чего наладчик может получить данные и использовать в

дальнейшем.

Была разработана модель одной итерации предлагаемого алгоритма, поскольку это дает возможность достаточно просто модифицировать её и использовать, например, в связке с .NET приложением, что позволит использовать её при разработке промышленной системы типа SCADA.

Пример работы алгоритма

Для демонстрации эффективности работы алгоритма была взята модель системы управления как на рисунке 2. Путем подсистемы PID Tuner программы MATLAB были получены базовые коэффициенты регулятора (2,101 для пропорциональной, 1,274 для интегральной и 0,6729 для дифференциальной составляющих) [10]. На рисунке 3 показан график такой системы.



Рисунок 3 – График системы с изначальными параметрами регулятора

При этих значениях перерегулирование составляет 5,29%, время регулирования равно 0,293 с, ошибка регулирования равна 0 (система устойчива). Для данной задачи условлено, что необходимо добиться лучшего значения

перерегулирования, поэтому весовой коэффициент этого параметра принято считать 3, в то время как остальных – 1.

Для оценки того насколько текущее регулирование эффективно в сравнении с предполагаемыми на шаге алгоритма необходимо рассчитать его цену игры, она же станет одним из значений в ячейках матрицы игры при условии неизменения параметров регулятора:

$$p_{base} = 3 \times 0,0529 + 1 \times 0,293 + 1 \times 0 = 0,446.$$

Далее для начала алгоритма необходимо задать последний параметр – шаг изменения коэффициентов. Пусть значение шага равняется 0,01. Теперь можно приступить к реализации алгоритма. В таблице 1 показана развернутая матрица игры 3x3.

Таблица 1 – Матрица игры

		Кд >	Кд =	Кд <
Кп >	Ки >	0,447	0,445	0,448
	Ки =	0,446	0,444	0,446
	Ки <	0,444	0,443	0,444
Кп =	Ки >	0,446	0,449	0,45
	Ки =	0,441	0,446	0,449
	Ки <	0,441	0,446	0,446
Кп <	Ки >	0,447	0,445	0,446
	Ки =	0,448	0,447	0,446
	Ки <	0,449	0,449	0,447

В соответствии с матрицей игры наилучшими стратегиями игры являются при неизменной пропорциональной, увеличенной дифференциальной, и или неизменной, или уменьшенной интегральной составляющих, но при детализации вычислений все же минимум достигается при уменьшении интегральной части. Таким образом, после этого шага основными параметрами ПИД-регулятора являются 2,101 для пропорциональной, 1,264 для интегральной и 0,6829 для дифференциальной составляющих. График модели системы будет едва заметно отличим от того, который изображен на рисунке 3, поэтому в работе не приведен. Затем алгоритм повторяется до тех пор, пока не выполнится некоторое выбранное условие окончания.

Выводы

Таким образом, в ходе исследования был получен алгоритм точной настройки ПИД-регулятора по выбранным критериям. Данный алгоритм позволяет путем прямого перебора с заданным шагом получить такие коэффициенты регулятора, которые бы отвечали требованиям наладчика. В ходе исследования остались нерешенными следующие задачи:

- полноценная программная реализация алгоритма, которая бы давала готовый результат;
- оценка влияния на другие показатели регулирования и соответствие их требованиям наладчика.

На данном этапе результаты работы могут быть использованы на предприятиях промышленности, где повсеместно используются ПИД-регуляторы, специалистами АСУ для тонкой настройки параметров с целью повышения эффективности механизмов управления.

Литература

1. Тагиев, К.Ф. Технологические инновации на машиностроительном предприятии: риски и пути их снижения / К.Ф. Тагиев // Вестник экономики, права и социологии, 2010. – №4. – С.64–69.
2. Лазарева, Т. Я. Основы теории автоматического управления. Учебное пособие. 2-е изд., перераб. и доп. / Т. Я. Лазарева, Мартемьянов Ю. Ф. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2004. – 352 с.
3. Рубанов В.Г. Теория автоматического управления (математические модели, анализ и синтез линейных систем): учебное пособие: часть 1. – Белгород : Изд-во БГТУ, 2005. – 199 с.
4. Батицкий В.А. Автоматизация производственных процессов и АСУ ТП в горной промышленности / В.А. Батицкий, В.И. Куроедов, А.А. Рыжков. – М. : Недра, 1991. – 303 с.
5. Бесекерский, В.А. Теория систем автоматического управления / В.А. Бесекерский, Е.П. Попов.- 4-е изд., перераб. и доп.. – СПб. : Профессия, 2003. – 747 с.
6. Просветов Г.И. Математические методы в экономике: учебно-методическое пособие / Г.И. Просветов. – М. : Изд-во РДЛ, 2004. – 364 с.
7. Саймон Г.А. Теория принятия решений в экономической теории и в науке о поведении. Вехи экономической мысли: в 2 т. / Г.А. Саймон; под ред. В.М. Гальперина, С.М. Игнатъева, В.И. Моргунова. – СПб. : Экономическая школа, 2000. – 2 т.
8. Акимов, В.А. Основы анализа и управления рисков в природной и техногенной сферах / В.А. Акимов, В.В. Лесных, Н.Н. Радаев. – М. : Деловой экспресс, 2004. – 352 с.
9. Шиянов, Б.А. Методы анализа рисков в системе регулирования неравновесными состояниями экономических систем, основанные на теории игр и нечеткой логики / Б.А.

Шиянов, О.В. Силютин, В.С. Неженец / Вестник Воронежского государственного технического университета. – Воронеж: ВГТУ, 2010. – 126 с.

10. Чертков, А.А. Параметрическая настройка ПИД-регуляторов

динамических систем средствами MATLAB / А.А. Чертков, Д.С. Тормашев, С.В. Сабуров // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова, 2014. – №5. – С.164-171.

Гуляев В.А., Орлов Ю.К. Применение теории игр для оптимальной настройки ПИД-регулятора по выбранному критерию. В данной работе предлагается алгоритм для точной настройки коэффициентов ПИД-регулятора на базе концепции теории игр. Приведены базовые теоретические сведения, необходимые для понимания работы алгоритма. Сформулирован алгоритм настройки регулятора, Построена модель в системе MATLAB, которая соответствует одному циклу алгоритма. Приведен ручной просчет одного шага алгоритма.

Ключевые слова: ПИД-регулятор, теория игр, цена игры, итерация, оптимальность настройки

Gulyaev V.A., Orlov Y.K. Application of game theory for optimum setup of the PID-regulator by the chosen criterion. In this work the algorithm for precise control of coefficients of the PID-regulator on the basis of the concept of game theory is offered. The basic theoretical data necessary for understanding of work of an algorithm is provided. The algorithm of the regulator setup is formulated. The model in the MATLAB system which corresponds to one cycle of an algorithm is constructed. The manual calculation of one step of an algorithm is given.

Keywords: PID-regulator, game theory, game price, iteration, control optimality