

Д.А. Гринюк, доц., канд. техн. наук;
И.О. Оробей, доц., канд. техн. наук;
С.Н. Бирюков, студ.; Ю.Д. Сандихаев, студ.
(БГТУ, г. Минск)

МЕТОДЫ НАСТРОЙКИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Несмотря на то, что существует множество сложных стратегий управления (таких как моделирующее прогнозирование, скользящий режим, адаптивное управление, нейронное и нечеткое управление), в инженерной практике управления наиболее широко используются пропорционально-интегрально-дифференциальные (ПИД) структуры управления. Используются в более чем 95% случаях от промышленных применений благодаря их простой структуре, хорошей стабильности, высокой надежности, приемлемой производительности с обратной связью и надежностью. Ключевой проблемой при разработке ПИД-регулятора, обеспечивающего эти функции, является точная и эффективная настройка параметров. Настройка параметров контроллера в процессе Multi-Input-Multi-Output (MIMO) может стать сложной проблемой, особенно в случае сильной связи выходных каналов, для которых развязанные контуры Single-Input-Single-Output (SISO) могут повлиять на производительность [1-3]. С годами методы ПИД-настройки эволюционировали от эмпирических (Циглер-Николс, Козн-Кун) и аналитических (внутренняя модель, размещение полюсов, запас по фазе усиления) к адаптивным и основанным на оптимизации. В отличие от эмпирических и аналитических методов, которые обеспечивают слабую или только удовлетворительную производительность, методы оптимизации, применяемые для настройки ПИД-регулятора, обеспечивают хорошую производительность (подавление помех, отслеживание заданного значения) и надежность. Поэтому в последние десятилетия проблема разработки оптимального ПИД-регулятора, который приводит системы в желаемое поведение, все большего привлекает внимание специалистов по автоматическому управлению.

Чтобы найти оптимальный ПИД-регулятор, необходимо решить многокритериальную задачу оптимизации с ограничениями. Хотя нет четкой методологии для определения функции стоимости для оптимизации (обычно для минимизации), большинство из них основано на изменении ошибки отслеживания (как на переходных, так и на установившихся зонах в динамике сигнала). Например, среднеквадратическая ошибка (RMSE) и интегральная RMSE являются основными критериями минимизации, из которых были получены различные вари-

анты, такие как интегральная абсолютная ошибка, интегральная квадратичная ошибка, интегральная квадратичная ошибка времени [1], интегральная взвешенная по времени квадратичная ошибка и интегральная временная абсолютная ошибка [2]. По умолчанию минимизация этих критериев гарантирует компромисс между набором желаемых, но противоречивых показателей эффективности управления (например, перерегулирование, время установления, время нарастания, коэффициент затухания, установившаяся ошибка). Кроме того, в реальных приложениях, поскольку на выходные данные процесса влияют возмущения окружающей среды и/или измерения (экзогенные шумы), которые носят стохастический характер, индексы производительности не могут быть вычислены с помощью выражений в закрытой форме. В этом случае построение многокритериальной функции затрат – непростая задача. Должен быть найден компромисс между противоположными желаемыми характеристиками. Обычно для этой цели определяют критерий взвешенной суммы с некоторыми экспериментально установленными весами. В литературе чаще всего упоминаются два основных класса методов оптимизации для оптимального проектирования ПИД-регулятора. Первый представлен традиционными (точными) методами оптимизации, применяемыми в контексте линейной/нелинейной теории управления. Второй связан с метаэвристикой.

Интересно, что некоторые методы, обычно использующие представления пространства состояний, могут быть адаптированы для поиска оптимальных ПИД-регуляторов. Например, можно упомянуть методы синтеза линейно-квадратичных регуляторов H -бесконечных регуляторов (с помощью процедуры оптимизации линейного матричного неравенства). Этот подход был успешно использован для проектирования многопараметрических и многоконтурных ПИД-регуляторов, реализованных как в непрерывном времени, так и в дискретном времени. Тем не менее, этот подход требует развитой математической основы и сложных алгоритмов. Кроме того, предлагаемые решения кажутся недостаточно протестированными для зашумленных выходных сигналов. Второй класс занимается нетрадиционными методами оптимизации, также называемыми метаэвристикой, в основном основанными на искусственном интеллекте, которые привели к эволюционным вычислениям. В последние два десятилетия метаэвристика привлекла все большее внимание в различных областях исследований, включая технику управления, благодаря своей способности находить оптимальные решения (часто близкие к глобальным оптимумам) в многомерных пространствах поиска с разумной вычислительной нагрузкой и хорошей производительностью, компромисс между несколькими целями

производительности. Многие метаэвристики используют роевой интеллект, проявляющийся в естественном (индивидуальном и социальном) поведении некоторых живых существ (насекомых, животных). Как сообщается в литературе [1], при оптимальном проектировании ПИД использовался широкий спектр метаэвристик. Например, предпочтение отдавалось следующим метаэвристикам: генетическим алгоритмам; оптимизация роя частиц; оптимизация колонии муравьев; искусственная пчелиная семья; дифференциальная эволюция; алгоритм Firefly; поиск с кукушкой; оптимизация алгоритма летучих мышей; поиск симбиотических организмов и Grey-Wolf Optimization.

В литературе сообщалось об интенсивных исследованиях по настройке параметров ПИД-регуляторов или ПИД-регуляторов дробного порядка [3] с использованием метаэвристики в оригинальных или улучшенных версиях. Кроме того, многочисленные сравнительные исследования подчеркивают превосходство метаэвристики над другими или над эмпирическими методами настройки. Большинство работ касаются ПИД-регуляторов SISO с непрерывным временем. Насколько нам известно, лишь немногие вклады касаются разработки оптимальных ПИД-регуляторов для реальных процессов ММО. При этом конструктивные характеристики объекта, условия эксплуатации и, кроме того, помехи, искажающие полезные сигналы, накладывают существенные ограничения. Более того, в реальных процессах часто не удается проверить некоторые достаточные гипотезы, обычно используемые для доказательства надежности разработанных контроллеров. Это связано с необходимостью проверки надежности для каждого контроллера.

ЛИТЕРАТУРА

1. Денисенко, В. В. Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием / В. В. Денисенко. – М.: Горячая линия – Телеком, 2009. – 610 с.
2. Гринюк, Д. А. Модификация интегральных критериев для повышения запаса по устойчивости / Д. А. Гринюк, И. О. Оробей, И. Г. Сухорукова // Труды БГТУ. № 6, Физ.-мат. науки и информатике. – 2012. – С. 118-121
3. Гринюк Д. А., Оробей И. О., Сухорукова И. Г. Оптимизация каскадной системы регулирования для распределенных объектов на основе интегральных критериев // Труды БГТУ. 2007. № 6: Физ.-мат. науки и информатика. С. 97–100.