

Д.А. Гринюк, доц., канд. техн. наук;
Н.М. Олиферович, ст. преп.;
Н.И. Подтероб, студ.;
Д.О. Новицкая, студ.
(БГТУ, г. Минск)

СИНТЕЗ MODEL PREDICTIVE CONTROL

Построение систем Model Predictive Control это развитие принципа управления по модели, который был предложен в прошлом веке. В MPC для управления применяется частичная оптимизация, которая состоит из модели объекта в z-состоянии и целевой функции, которая может быть адаптирована к целям управления пользователя. Начиная с начального состояния, поведение выходной переменной системы прогнозируется на каком-то ограниченном горизонте прогнозирования. MPC позволяет предвидеть реакцию системы на возмущения и, одновременно, формировать управление с учетом ограничений системы. В отличие от классического подхода, оптимизация управляющего воздействия производится на ограниченном интервале, горизонте.

Отличие управления на основе MPC и ПИД-регулятора в следующем:

- математическую модель контролируемой системы в MPC, стратегия управления фокусируется на том, как будут вести себя выходные переменные на текущем состоянии системы и заданного горизонта планирования. В ПИД регуляторе управление формируется на основе текущей ошибки и прошлых значений с интегральной и дифференциальной составляющей регулятора.
- MPC стратегия строится на минимизации влияние возмущения путем упреждающего управления. Тогда как классический ПИД-регулятор будет реагировать на возмущение только когда оно проявится в обратной связи.
- При расчете управляющего значения технология MPC учитывает ограничения, что совсем не свойственно ПИД-регулятору за исключением перенастройки поведения, когда управляющее воздействие достигает ограничений.
- При синтезе MPC формируется многопараметрическое управление объекта управления, что не требует итерационного расчета, которое характерно для много параметрического ПИД управления.
- MPC на этапе проектирования может произвести учет нелинейностей в системе.

Одним из недостатков использования MPC регулирования является сложность в реализации и расчетах, что существенно ограничивает его применение на практике.

Существует широкий класс методов проектирования MPC управления. Условно их делят на прямые и косвенные [1]. При прямом синтезе задачи управления и модуляции формулируются и решаются на одном этапе, поэтому не требуется модулятор.

Методы прямого проектирования MPC можно разделить на: Прямое управление с прогнозированием модели с отслеживанием эталона (Direct model predictive control with reference tracking); прямое управление прогнозированием модели с гистерезисными границами (Direct model predictive control with hysteresis bounds); прямое управление прогнозированием модели с неявным модулятором (Direct model predictive control with an implicit modulator).

В косвенном MPC контроллер вычисляет модулирующий сигнал, вектор с реальным значением, который затем подается в модулятор для генерации команд переключения. Косвенные методы MPC подразделяют по виду сигнала модулятора: синусоидальная модуляция ШИМ (SPWM) и модуляцию пространственного вектора (SVPWM).

Перед синтезом MPC обычно получают модель объекта управления в пространстве состояния с непрерывным временем. Затем производят преобразование ее в дискретную область.

$$\frac{dx(t)}{dt} = Ax(t) + Bu(t), \Rightarrow x(n+1) = Ax(n) + Bu(n),$$

$$y(t) = Cx(t), \Rightarrow y(n) = Cx(n),$$

где x – переменные, которые отражают внутреннее состояние объекта; u – управляющее воздействие; y – выходные переменные; A, B, C – коэффициенты динамики в матричной форме.



Рисунок 1 – Переменные объекта управления

Следует отметить, что существует много способов перехода между непрерывной и дискретной областями. Важным аспектом является выбор времени дискретизации (sample time), что может существенно повлиять на стабильность работы. Приходится искать компромисс между быстроедействием и вычислительной нагрузкой.

Следующим этапом проектирования является выбор горизонтов прогнозирования и управления. Здесь также приходится искать баланс

между производительностью и эффективностью, чтобы обеспечить предсказание поведения и точность управления. Горизонт прогнозирования выбирается исходя величины основной постоянной времени объекта управления. Слишком длинный горизонт прогнозирования, несмотря на преимущества, имеет проблемы с вычислительной сложностью, памяти, временем отклика и чувствительность к неточностям модели. Длина горизонта управления находится в диапазоне горизонта прогнозирования и подчиняется компромиссному решению между степенью свободы и вычислительной нагрузке.

Расчеты будущего поведения производятся в каждый момент выборки в пределах горизонта прогнозирования. Поведение выходной переменной определяется в рамках горизонта управления на основании алгоритма оптимизации и выбирается та, которая удовлетворяет системным ограничениям, минимизируя целевую функцию. Этот итеративный процесс происходит в каждый момент выборки с учетом новой измеренной информации, пересчитывая управляющие последовательности благодаря обратной связи, введенной удаляющимся горизонтом.

Выбор целевой функции оптимизации для алгоритма управления также достаточно сложный процесс. Он также оказывает влияние на вычислительные требования к контроллеру.

При поиске рациональной целевой функции приходится обращать внимание на вид нормы – математического параметра, который производит численную оценку ошибки между прогнозируемыми и контрольными значениями, т.е. насколько близко поведение системы желаемой. В целевую функцию вводят систему штрафов для управляющего воздействия для балансировки компромисса между достижением цели управления и минимизацией управляющих действий, необходимых для ее достижения. Одним из сложных решений приходится принимать при выборе весовых коэффициентов целевой функции, которая упирается в проблему многокритериальной оптимизации. Практически всегда, целевая функция содержит жесткие и мягкие ограничения, которые накладывают физическими параметрами системы.

ЛИТЕРАТУРА

1. P. Karamanakos, E. Liegmann, T. Geyer and R. Kennel, “Model Predictive Control of Power Electronic Systems: Methods, Results, and Challenges,” in IEEE Open Journal of Industry Applications, Aug. 2020.

2. Blardone D.. Introduction to Model Predictive Control. URL: <https://imperix.com/doc/implementation/model-predictive-control>. (accessed: 13.12.2024).