

DYNAMISCHE OPTIMIERUNG VON MODELICA-BASIERTEN MODELLEN

Gerald SCHWEIGER¹

Einleitung

Modelica ist eine objektorientierte Sprache für die Modellierung physikalischer Systeme. Gegenüber anderen Modellierungssprachen, die auf kausalen Ansätzen basieren (e.g. Simulink), ergeben sich zwei wesentliche Vorteile. (i) Modelica unterstützt die akausale Modellierung auf Basis von impliziten „differential-algebraic equation“ (DAE) Systemen. Die akausale Modellierung erhöht die Wieder verwendbarkeit von Modellen im Vergleich zu Modellen, die in kausalen Sprachen modelliert sind, in denen die Input-Output Kausalität fixiert ist. In Modelica können sowohl kausale als auch akausale Modelle erstellt werden; des Weiteren können in einem Modell beide kombiniert werden. (ii) Modelica unterstützt die Modellierung von Multi-Domain Systemen. Beide Punkte sind Bereich der Modellierung von Energiesystemen von Vorteil: vielversprechende konzeptionelle Überlegungen für zukünftige Energiesysteme basieren auf der sektoralen Kopplung (Strom-Wärme-Gas); um das Potential dieser Systemkonzepte zu bewerten und verschiedene Konzepte zu vergleichen, müssen diese in Multi-Domain Modellen abgebildet werden. Die objektorientierte akausale Modellierung unterstützt Rapid Prototyping. Dies ist in einem interdisziplinärem, sich schnell entwickelnden Forschungsfeld enorm wichtig. Des Weiteren eignet sich Modelica, um dynamische Optimierungsprobleme und Parameterschätzprobleme zu definieren.

Modelica-basierte Optimierung

Ursprünglich wurde Modelica für simulationsbasierte Analysen entwickelt, ohne eine direkte Unterstützung für Optimierung. Um Modelica-basierte Optimierung zu ermöglichen, wurde die Erweiterung Optimica eingeführt [1], welche unter anderem die Formulierung von Zielfunktionen und Nebenbedingungen erlaubt (Abbildung 1).

Dynamisches Optimierungsproblem

$$\underset{x,y,u}{\text{minimize}} \int_{t_0}^{t_f} L(t, x(t), y(t), u(t)) dt$$
 Allgemeine Form der Zielfunktion

$$\text{s. t. } F(t, \dot{x}(t), x(t), y(t), u(t)) = 0$$
 "System dynamics" beschrieben durch ein implizites System von DAEs.

$$\begin{aligned} g_i(x(t), u(t)) &\leq 0 \\ g_e(x(t), u(t)) &= 0 \end{aligned}$$
 Nebenbedingungen

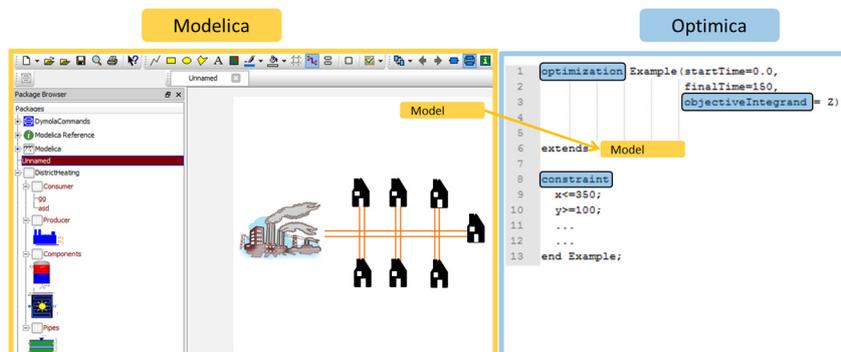


Abbildung 1: Dynamische Optimierung in Modelica:
In gelb: Das Modelica-Modell kann direkt in die Optimierung übernommen werden
In blau: Formulierung des Optimierungsproblems

¹ AEE INTEC - Institut für Nachhaltige Technologien, Feldgasse 19, 8200 Gleisdorf, Tel.: +43 3112 5886-0, Fax: +43 3112 5886-18, g.schweiger@aee.at, www.aee-intec.at

X bezeichnet die Zustandsvariablen, y algebraische Variablen und u Kontrollvariablen. Der große Vorteil von Modelica-basierter Optimierung liegt darin, dass das Modell, welches in einer Simulationsumgebung, die eine graphische, akasale, hierarchische Komponentenmodellierung ermöglicht („drag and drop“ Komposition), direkt in die Optimierung übernommen werden kann (gelb markiert in Abbildung 1). Zusätzlich zu dem Modell muss die Zielfunktion und optional Nebenbedingungen definiert werden (blau markiert in Abbildung 1). Optimica wird aktuell von JModelica.org und OpenModelica unterstützt. JModelica.org hat eine Schnittstelle zu dem Tool CasADi, welches (i) eine symbolische Repräsentation des Optimierungsproblems und (ii) die benötigten ersten und zweiten Ableitungen liefert. Diese Repräsentation wird dann verwendet, um das unendlich-dimensionale Problem mittels lokaler Kollokation zu diskreditieren; das Ergebnis ist ein nichtlineares Optimierungsproblem (NLP). Das NLP wird dann mittels eines Interior-Point Algorithmus (IPOPT) gelöst; da viele Probleme im Bereich der Energiesystemoptimierung nicht konvex sind, kann kein globales Optimum garantiert werden. In OpenModelica gibt es neben einem ähnlichen Workflow (CasADi, IPOPT) noch die Möglichkeit, OpenModelica in Verbindung mit dem Tool ADOL-C zu nutzen [2]. JModelica.org ist sowohl im akademischen Bereich als auch in der Industrie am weitesten verbreitet. Es wurde in verschiedenen Bereichen der Energiesystemoptimierung eingesetzt: Optimierung von GuD-Kraftwerken [3], Optimierung eines Kesselstartes [4], dynamische Optimierung von Fernwärmenetzen [5], Optimierung von Speichern im elektrischen Netz [6].

Zukünftige Herausforderungen

Optimierung ist grundsätzlich komplexer als Simulation; die Anforderungen an den Anwender als auch an Tool-Entwickler sind dementsprechend höher. Im Zuge der laufenden empirischen Studie zum Thema „Modelica-based optimization: state of the art and future challenges“ [7], werden neben zukünftigen Anforderungen auch die Stärken, Schwäche, Chancen und Möglichkeiten von Modelica-basierter Optimierung analysiert. Weiteres soll die Frage beantwortet werden, welche Barrieren aktuell für Modelica-basierte Optimierung vorliegen und wie diese bestmöglich beseitigt werden können. Erste Ergebnisse zeigen, dass die Community folgende Punkte als zentrale Barrieren ansieht: (i) Es gibt wenige Bibliotheken, die für Simulation und Optimierung geeignet sind; aufgrund mathematischer Restriktionen ist die Entwicklung von Bibliotheken für die Optimierung um einiges aufwendiger. (ii) Sogenannte „Gemischt-ganzzahlige Optimierungsprobleme“ (MINLP) sind weit verbreitet im Bereich der Energiesystemoptimierung. Aktuell unterstützt Modelica/Optimica keine Formulierung von solchen Problemen, es wäre jedoch ohne großem Aufwand möglich, die Sprache dahingehend zu erweitern. Aufgrund der Komplexität von MINLP Problemen könnten jedoch nur sehr simple Probleme gelöst werden. (iii) Es werden standardisierte Fallstudien benötigt, die einen fairen Vergleich von verschiedenen Methoden ermöglichen. Grundsätzlich sieht die Community vor allem im Bereich von Model-Predictive-Control von (hybriden) Energiesystemen für Modelica-basierte Optimierung ein großes Potential.

Literatur

- [1] J. Åkesson, “Optimica — An Extension of Modelica Supporting Dynamic Optimization,” 2008.
- [2] G. Schweiger, B. Falay, G. Engel, and I. Leusbrock, “Multi-domain, open general tools for modelling urban energy systems.,” *Energy* (submitted), 2017.
- [3] K. Dietl, S. G. Yances, and A. Johnsson, “Industrial application of optimization with Modelica and Optimica using intelligent Python scripting,” in *10th International ModelicaConference*, 2014, pp. 777–786.
- [4] F. Belkhir, D. K. Cabo, F. Felgner, and G. Frey, “Optimal Startup Control of a Steam Power Plant Using the JModelica Platform,” *IFAC-PapersOnLine*, vol. 48, no. 1, pp. 204–209, 2015.
- [5] G. Schweiger, P. Larsson, F. Magnusson, and P. Lauenburg, “District heating and cooling systems - Framework for Modelica-based simulation and dynamic optimization,” pp. 1–13, 2017.
- [6] M. Ceraolo, G. Lutzemberger, D. Poli, V. Ruge, and B. Bachmann, “Dynamic optimisation of price arbitrage techniques,” in *2016 IEEE 2nd International Forum on Research and Technologies for Society and Industry Leveraging a better tomorrow (RTSI)*, 2016, pp. 1–6.
- [7] G. Schweiger, D. Blum, and M. Wetter, “Modelica-based optimization: State of the art and future challenges.,” 2017.