

Die sequentielle Parameteroptimierung - Ein Werkzeug zum Tunen von Computerprogrammen

Prof. Dr. Thomas Bartz-Beielstein
bartz@gm.fh-koeln.de, Tel. 02261/8196-6391

Prof. Dr. Wolfgang Konen
wolfgang.konen@fh-koeln.de

Dipl.-Inform. Jörg Ziegenhirt
joerg.ziegenhirt@fh-koeln.de

Abstract:

Moderne Verfahren zur Simulation und Optimierung komplexer technischer Vorgänge werden heutzutage computerbasiert durchgeführt. Die erforderlichen Programme erfordern die Auswahl günstiger Einstellungen (Parameter), um möglichst effizient ablaufen zu können. Meistens erfolgt die Parametrisierung des Modells, das sog. Tuning, nach subjektiven Kriterien. Wir demonstrieren, wie eine systematische Vorgehensweise zur Modellselektion mittels SPO (sequentieller Parameteroptimierung) diesen Vorgang objektivieren kann. Diese Vorgehensweise konnte erfolgreich in mehreren theoretischen wie auch praktischen Problemen eingesetzt werden.

Zielsetzung

Verfahren der Computational Intelligence (CI) haben in den letzten Jahrzehnten einen festen Platz im Repertoire der Simulations- und Optimierungsverfahren erobert. Neuronale Netze (NN), Evolutionsstrategien (ES) oder genetisches Programmieren (GP) – um nur einige CI-Verfahren zu nennen – werden tagtäglich in der industriellen Praxis eingesetzt. Die Bestimmung der Parameter

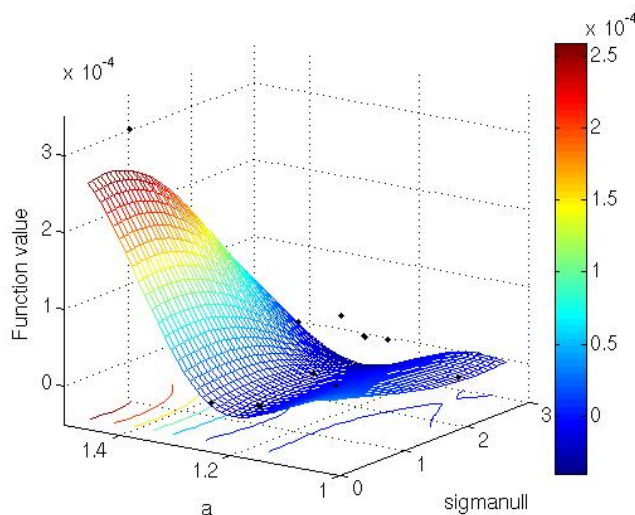


Abbildung 1: Bereits geringe Änderungen der Parametereinstellungen können das Ergebnis drastisch verbessern. SPO findet gute Einstellungen automatisch. Obwohl die zugrunde liegenden statistischen Verfahren komplex sind, benötigt der Anwender zur Interpretation der Ergebnisse lediglich Grundkenntnisse der Statistik.

dieser Verfahren wird dabei häufig von subjektiven Kriterien beeinflusst. Als Kriterien können hier z.B. die Vorgaben in der Literatur genannt werden, die aber für das individuelle Problem nicht besonders geeignet sind. Nach unserer Erfahrung spielt bei dieser Auswahl der Zufall eine große Rolle. Nur in seltenen Fällen erfolgt die Einstellung allein nach objektiven Maßstäben. Außerdem ist es nicht ausreichend, die beste Einstellung zu bestimmen, da dieses Tuning selbst möglichst optimal durchgeführt werden sollte: der Findungsprozess selbst muss optimal gestaltet werden.

Der Fluch der Dimensionen

Die sequentielle Parameteroptimierung (SPO) kombiniert bewährte Verfahren aus dem Bereich der klassischen Versuchsplanung (Design of Experiments) mit Verfahren der modernen statistischen Analyse (Design and Analysis of Computer Experiments sowie Computational

Statistics)[1-3,10,13,14]. Im Rahmen unserer Arbeit haben wir verschiedene Algorithmen getuned, wie zum Beispiel Neuronale Netze (NN), Echo State Networks (ESN), Nonlinear AutoRegressive models with eXogenous inputs (NARX), finite impulse response filter (FIR), Differentialgleichungen (ODE) oder Integralgleichungen (INT) [4,5,12].

Die von uns untersuchten Modelle besitzen bis zu 20 Parameter. Selbst bei nur drei verschiedenen Einstellungen pro Parameter, beispielsweise "kalt", "warm" und "heiss", gibt es mehr als drei Milliarden verschiedene Kombinationen. In vielen Situationen wird versucht, manuell, d.h. durch Probieren, günstige Parametereinstellungen für das Modell zu finden. Die sog. one-factor-at-a-time (OAT) Vorgehensweise findet dabei häufig Anwendung. Allerdings wächst die Anzahl der möglichen Einstellungen mit der Anzahl der Faktoren exponentiell. Daher besitzt die OAT-Vorgehensweise in vielerlei Hinsicht große Nachteile im Vergleich zu einer systematischen Vorgehensweise. Im Bereich der Simulation wurde dies von Kleijnen ausführlich dargestellt [6].

Sequentielle Parameteroptimierung

SPO wurde speziell für Optimierungsprobleme entwickelt [2]. Während eines SPO-Laufes wird ein eingangs kleiner Stichprobenumfang mit wenigen Wiederholungen sequentiell vergrößert. Zur Bestimmung neuer Stichproben und der Anpassung der Anzahl der Wiederholungen fließen die bisher gewonnenen Informationen ein, so dass das Modell sequenziell verbessert und die Aussagen immer zuverlässiger werden. Die sequenzielle Vorgehensweise ermöglicht ein Lernen der zugrunde liegenden Abhängigkeiten. SPO kann zudem automatisiert ablaufen und ist für die numerische Simulation und Optimierung praktisch konkurrenzlos. Uns ist zurzeit kein vergleichbares Verfahren bekannt, welches einem Anwender mit geringem Aufwand die Anpassung, den Vergleich und die Analyse verschiedener Modelle ermöglicht.

Ergebnisse

Die manuellen Ergebnisse eines Experten konnten durch SPO nochmals um 30-40% gesteigert werden [5,12]. Durch die SPO erschließen sich oftmals überraschende Einsichten über die Modellierung sowie Ansätze, wie sich möglicherweise ein verbessertes Modell bauen lässt. Die SPO selbst zeigte sich als robustes Optimierungsverfahren, das mit einer kleinen Samplezahl gestartet werden kann.

Kooperationen

Die Bestimmung günstiger Einstellungen und geeigneter Modelle ist Gegenstand aktueller Forschung, in Kooperation mit der Technischen Universität Dortmund (Prof. Rudolph), Universität Karlsruhe (PD Dr. Branke), der Vrije Universiteit Amsterdam (Prof. Eiben) und der University Tilburg (Prof. Kleijnen) durchgeführt wird. Im Rahmen dieser Kooperationen wurden Forschungsanträge beantragt, so dass regelmäßige Treffen, Gastaufenthalte und kooperative Promotionsvorhaben durchgeführt werden können.

In Kooperation mit Forschern aus Dänemark und Portugal entstand zudem ein Buchprojekt, indem SPO und ähnliche Ansätze beschrieben werden [7,8,9].

Ergebnisse unserer Arbeiten wurden auch im Rahmen des Dagstuhl-Seminars "Sampling-based Optimization in the Presence of Uncertainty" [13] präsentiert. Auf der GECCO, der weltgrößten und wichtigsten Konferenz im Bereich CI wurde ein Tutorium zu SPO gehalten. Der Besuch dieser Konferenz wurde durch ein DAAD-Reisestipendium gefördert. Weitere Tutorien wurden auf diversen Konferenzen durchgeführt, wie z.B. auf der PPSN [16].

Danksagung

Das Projekt wird vom Bundesministerium für Forschung und Bildung (BMBF) unter dem Projektnamen FIWA (AiF FKZ 17N2309, Förderlinie „Ingenieurnachwuchs“) gefördert. Die Vorbereitungen zu diesem Projekt wurden von der FH Köln im Rahmen des anerkannten

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Forschungsschwerpunktes COSA gefördert.

Ansprechpartner: Prof. Dr. Thomas Bartz-Beielstein, Prof. Dr. Wolfgang Konen, Dipl.-Inf. Jörg Ziegenhirt, Dipl.-Inf. Oliver Flasch
Institut: Institut für Informatik (F10)
Kooperationspartner: TU Dortmund, Universität Leiden, Universität Amsterdam, University of British Columbia (Vancouver, CA), DIP Dortmund Intelligence Project GmbH (Dortmund), Quaesta Capital GmbH (Frankfurt am Main), Technische Werke Emmerich GmbH (Emmerich am Rhein)

Literatur

- [1] Bartz-Beielstein, T.; Parsopoulos, K. E.; Vrahatis, M. N.: Design and analysis of optimization algorithms using computational statistics. *Applied Numerical Analysis and Computational Mathematics (ANACM)* 1 (2004) 2, S. 413–433.
- [2] Bartz-Beielstein, T.; Lasarczyk, C.; Preuß, M.: Sequential Parameter Optimization. In: *Proceedings 2005 Congress on Evolutionary Computation (CEC'05)*, Edinburgh, Scotland (McKay, B.; et al., Hg.), Bd. 1, S. 773–780. Piscataway NJ: IEEE Press. 2005.
- [3] Bartz-Beielstein, T.: *Experimental Research in Evolutionary Computation—The New Experimentalism*. Natural Computing Series. Berlin, Heidelberg, New York: Springer. 2006.
- [4] Bartz-Beielstein, T.; Bongards, M.; Claes, C.; Konen, W.; Westenberger, H.: Datenanalyse und Prozessoptimierung für Kanalnetze und Kläranlagen mit CI-Methoden. In: *Proc. 17th Workshop Computational Intelligence* (Mikut, R.; Reischl, M., Hg.), S. 132–138. Universitätsverlag, Karlsruhe. 2007.
- [5] Bartz-Beielstein, Thomas ; Zimmer, Tobias ; Konen, Wolfgang: Parameterselktion für komplexe Modellierungsaufgaben der Wasserwirtschaft – Moderne CI-Verfahren zur Zeitreihenanalyse. In: Mikut, R. (Hrsg.) ; Reischl, M. (Hrsg.): *Proc. 18th Workshop Computational Intelligence*, Universitätsverlag, Karlsruhe, 2008. – im Druck
- [6] Bartz-Beielstein, Thomas: Review: Design and Analysis of Simulation Experiments by Jack P. C. Kleijnen. In: *INFORMS Computing Society News* (2008), Fall 2008. – <http://computing.society.informs.org/newsletter.php>
- [7] Bartz-Beielstein, Thomas (Hrsg.) ; Chiarandini, Marco (Hrsg.) ; Paquete, Luis (Hrsg.) ; Preuss, Mike (Hrsg.): *Empirical Methods for the Analysis of Optimization Algorithms*. Berlin, Heidelberg, New York : Springer, 2009
- [8] Bartz-Beielstein, Thomas ; Lasarczyk, Christian ; Preuss, Mike: The Sequential Parameter Optimization Toolbox. In: Bartz-Beielstein, Thomas (Hrsg.) ; Chiarandini, Marco (Hrsg.) ; Paquete, Luis (Hrsg.) ; Preuss, Mike (Hrsg.): *Empirical Methods for the Analysis of Optimization Algorithms*. Berlin, Heidelberg, New York : Springer, 2009, S. 337–360
- [9] Bartz-Beielstein, Thomas ; Preuss, Mike: The Future of Experimental Resaerch. In: Bartz-Beielstein, Thomas (Hrsg.) ; Chiarandini, Marco (Hrsg.) ; Paquete, Luis (Hrsg.) ; Preuss, Mike (Hrsg.): *Empirical Methods for the Analysis of Optimization Algorithms*. Berlin, Heidelberg, New York, 2009, S. 17–46
- [10] Bartz-Beielstein, Thomas ; Preuß, Mike ; Schwefel, Hans-Paul: Model Optimizati-on with Evolutionary Algorithms. In: Lucas, K. (Hrsg.) ; Roosen, P. (Hrsg.): *Emergence, Analysis, and Evolution of Structures—Concepts and Strategies Across Disciplines*. Berlin, Heidelberg, New York : Springer, 2009, S. 48–62
- [11] Hutter, Frank ; Bartz-Beielstein, Thomas ; Hoos, Holger ; Leyton-Brown, Kevin ; Murphy, Kevin P.: *Sequential Model-Based Parameter Optimisation: an Experimental*

Investigation of Automated and Interactive Approaches Empirical Methods for the Analysis of Optimization Algorithms. In: Bartz-Beielstein, Thomas (Hrsg.) ; Chiarandini, Marco (Hrsg.) ; Paquete, Luis (Hrsg.) ; Preuss, Mike (Hrsg.): Empirical Methods for the Analysis of Optimization Algorithms. Berlin, Heidelberg, New York : Springer, 2009, S. 361–414

[12] Flasch, Oliver ; Bartz-Beielstein, Thomas ; Koch, Patrick ; Konen, Wolfgang: A Hybrid Genetic Programming Method for Predictive Control in Environmental Engineering. In: Hoffmann, Rank (Hrsg.) ; Mikut, Ralph (Hrsg.): Proceedings 19. Workshop Computational Intelligence, Universitätsverlag Karlsruhe, 2009

[13] Bartz-Beielstein, Thomas: Sequential Parameter Optimization. In: Branke, Jürgen (Hrsg.) ; Nelson, Barry L. (Hrsg.) ; Powell, Warren B. (Hrsg.) ; Santner, Thomas J. (Hrsg.): Sampling-based Optimization in the Presence of Uncertainty. Dagstuhl, Germany : Schloss Dagstuhl - Leibniz-Zentrum fuer Informatik, Germany, 2009 (Dagstuhl Seminar Proceedings 09181). – URL <http://drops.dagstuhl.de/opus/volltexte/2009/2115>. – ISSN 1862-4405

[14] Bartz-Beielstein, Thomas ; Lasarczyk, Christian ; Preuß, Mike: Sequential Parameter Optimization Toolbox / Universität Dortmund, Germany. 2009. – Technical Report. Im Druck

[15] Bartz-Beielstein, Thomas ; Preuß, Mike: Experimental research in evolutionary computation–The Future of Experimental Research (Tutorial). Genetic and Evolutionary Computation Conf. (GECCO 2009), Montreal, CA. July, 2009

[16] Bartz-Beielstein, Thomas ; Preuß, Mike: The Future of Experimental Research (Tutorium). 10th International Conference on Parallel Problem Solving From Nature (PPSN), Dortmund. September 2008