



Doctoral Thesis

Toward massively parallel multi-objective optimization with application to particle accelerators

Author(s):

Ineichen, Yves

Publication Date:

2013

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-009792359> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

DISS. ETH NO. 21114

**TOWARD MASSIVELY PARALLEL
MULTI-OBJECTIVE OPTIMIZATION WITH
APPLICATION TO PARTICLE ACCELERATORS**

A dissertation submitted to
ETH ZÜRICH
for the degree of
Doctor of Sciences

presented by
YVES INEICHEN,
Master of Science ETH in Computer Science, ETH Zürich
born on April 5th, 1982
citizen of Eglisau, Switzerland

accepted on the recommendation of
Prof. Dr. Peter Arbenz, examiner
Prof. Dr. Lothar Thiele, co-examiner
Dr. Andreas Adelman, co-examiner
Dr. Costas Bekas, co-examiner

2013

Abstract

Particle accelerators are invaluable tools for research in the basic and applied sciences, in fields such as materials science, chemistry, the biosciences, particle physics, nuclear physics and medicine. The successful design, commission, and operation of accelerator facilities is a non-trivial problem. Today, tuning machine parameters, i.e., bunch charge, emission time and various parameters of beamline elements, is most commonly done manually by running simulation codes to scan the parameter space. This approach is tedious, time consuming and can be error prone. In order to be able to automate the process of reliably identifying optimal configurations of accelerators we propose to formulate the investigation for an optimal set of tuning parameters as a large-scale multi-objective design optimization problem.

This involves significant computer modeling using accelerator simulation codes such as PSI's OPAL (Object Oriented Parallel Accelerator Library) framework. Despite the fact that these codes are parallel, typical simulation parameters (e.g. a small number of macroparticles and mesh size) for individual runs, limit their scalability to several hundred or a few thousand processors. This represents a strong impediment in view of the petascale regime, therefore parallelization on multiple levels, e.g. running multiple parallel simulations in parallel, becomes a necessity. On the other hand, introducing a low-dimensional scalable model enables multi-resolution simulation runs.

We present a general-purpose framework for simulation-based multi-objective optimization methods that allows the automatic investigation of optimal sets of machine parameters. The implementation is based on a master/slave paradigm, employing several masters and groups of workers to prevent communication hot-spots at master processes. In addition, we exploit information about the underlying network topology when placing master processes and assigning roles. Solution states are exchanged between masters in a rumor routing fashion on a social network graph using one-sided communication.

Using evolutionary algorithms and OPAL simulations as optimizer and forward solver in our framework, we demonstrate the feasibility and scalability of our approach on real applications in the domain of particle accelerators.

Zusammenfassung

Neben ihrer fundamentalen Bedeutung innerhalb der theoretischen Grundlagenforschung besitzen Teilchenbeschleuniger eine gleichwertige Relevanz für die angewandten Wissenschaften. Das Design, die Inbetriebnahme sowie der permanente Betrieb eines Teilchenbeschleunigers stellen einen komplexen Problembereich dar. Die Feineinstellung der Parameter eines Teilchenbeschleunigers, wie zum Beispiel die Teilchenladung, die Emissionszeit sowie zahlreiche andere Parameter der Beamline Elemente, werden heutzutage meist durch manuelles Absuchen des Parameterraumes mit Hilfe von Simulationen erreicht. Dieser Vorgang ist oft sehr zeitraubend sowie fehleranfällig. In dieser Arbeit formulieren wir diesen Prozess als multikriterielle Design- Optimierungsprobleme, welche anschliessend mit Hilfe von multikriteriellen Optimierungsverfahren gelöst werden können. Mit diesem Ansatz schaffen wir eine automatisierte und zuverlässige Grundlage für das Bestimmen von optimalen Konfigurationen von Teilchenbeschleuniger.

Die Realisierung solcher Lösungsansätze bedingt die Verfügbarkeit von komplexen Rechenmodellen, wie beispielsweise die am PSI entwickelte Teilchensimulation OPAL (Object Oriented Accelerator Library). Trotz der schon vorhandenen Parallelisierung der Implementierung wird die Skalierung von typischen Simulationsparametern (zum Beispiel eine geringe Anzahl Makropartikel und eine kleine Gittergrösse) auf einige tausend Prozessoren limitiert. Dies ist ein grosses Hindernis im Zeitalter der Petascale-Rechenzentren und eine Parallelisierung auf mehreren Ebenen wird zur Notwendigkeit. Das Einführen von zusätzlichen und parallel effizienten Modellen verschiedener Detailauflösung erlaubt es uns im Laufe des Optimierungsprozesses, Teilchensimulationen mit verschiedener Auflösung einzusetzen.

In dieser Arbeit präsentieren wir die Implementierung eines universellen Software-frameworks für die automatisierte Suche nach optimalen Konfigurationen für Teilchenbeschleuniger. Diese Implementierung basiert auf dem Master/Slave Prinzip. Da die Netzwerkverbindungen zum Master-Knoten durch viele Nachrichten der zahlreichen Slaves saturiert werden, teilen wir die verfügbaren Knoten in Master/Slave-Gruppen ein. Für die Vergabe der Rollen nützen wir zusätzliche Informationen über den Netzwerkgraph für eine optimalere Verteilung. Um globale Synchronisationspunkte zu vermeiden, werden die Zustandsräume während des Optimierungsvorganges mittels rumor routing auf einem Graphen eines sozialen Netzwerks mit Hilfe von einseitiger Kommunikation propagiert.

Die Machbarkeit und Skalierung unseres Ansatzes, unter Verwendung eines evolutionären Optimierungsverfahrens und OPAL als Simulationskomponente, wird anhand von Beispielen aus der Teilchenphysik präsentiert.