



TECHNISCHE UNIVERSITÄT  
CHEMNITZ

# Professur Praktische Informatik

## OpenTuner: An Extensible Framework for Program Autotuning

# Professur Praktische Informatik

## OpenTuner: An Extensible Framework for Program Autotuning

**Matthias Tietz**  
Betreuung: Prof. Dr. Gudula Rünger, Dr. Michael Hofmann

20. November 2016

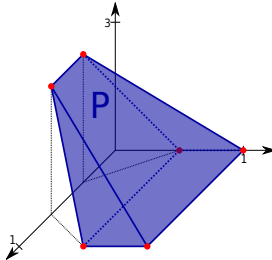


# Gliederung

1. Einleitung
2. Das OpenTuner Framework
3. Konkrete Anwendungen der Entwickler

## 1. Einleitung

- ▶ Suchraum: Menge von Parametern die durchsucht werden soll
- ▶ geeignete Suchverfahren abhängig von der Beschaffenheit dieser Menge
- ▶ komplexe Struktur und Größe des Suchraums macht Handoptimierung oder vollständige Suche unmöglich (bzw. extrem ineffizient)  
→ Nadel im Heuhaufen



- ▶ Ziele:
  - ▶ automatisierter und einfacher Optimierungsprozess
  - ▶ bessere und portierbare Performance von domänenspezifischen Programmen

## Die 3 wesentlichen Anforderungen an ein Autotuning-Framework:

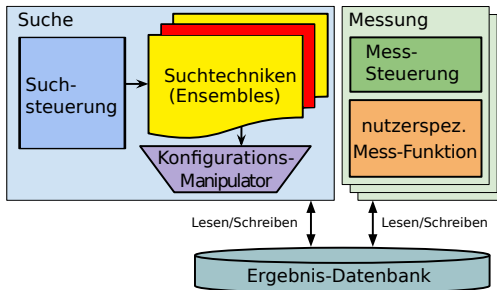
- ▶ 1. Eine passende Konfigurations-Repräsentation
  - ▶ Darstellung der domänenspezif. Datenstrukturen und Bedingungen
  - ▶ Qualität dieser Repräsentation entscheidend für Effizienz des Autotuners
- ▶ 2. Größe des validen Konfigurations-Raumes
  - ▶ durch Kürzen des Konfigurations-Raumes geht für viele Probleme gute Lösungen verloren (bei bisherigen Autotunern ist dies gängige Praxis, da vollständige Suche)
  - ▶ riesige Konfigurationsräume möglich → intelligente Suchtechniken notwendig
- ▶ 3. Landschaft des Konfigurations-Raumes
  - ▶ Suchräume in der Praxis meist sehr komplex
  - ▶ domänenspezif. Suchtechniken notwendig um optimale Lösung effizient zu ermitteln

## Deshalb OpenTuner:

- ▶ Erstellen domänenspezifischer und multi-objective Programm-Autotuner
- ▶ vollständig anpassbare Konfigurations-Repräsentation
- ▶ erweiterbare Repräsentation für Suchtechniken und Datentypen
- ▶ Kombination mehrerer Suchtechniken (*Ensembles*), dynamische Zuweisung der Testanteile für die jeweiligen Suchtechniken
- ▶ einfache Schnittstelle zur Kommunikation mit dem zu optimierenden Programm

## 2. Das OpenTuner Framework

- ▶ Autotuning-Problem → Suchproblem
- ▶ Suchraum: Menge der Konfigurationen (Belegung von Parametern)
- ▶ Messung: 1 konkrete Konfig. wird gemessen: Ausführung → Ergebnis
- ▶ Möglichkeit mehrere Messungen parallel auszuführen



## Verwendung

- ▶ 1. Suchraum definieren (Konfig.-Manipulator)
- ▶ 2. `run()`-Methode definieren: Auswerten der Konfig. im Suchraum → Ergebnis
- ▶ 3. Festlegen des Optimierungsziels
- ▶ Umsetzung mittels kleinem Python-Programm (OpenTuner API), Framework ist ausschließlich in Python geschrieben

## Suchtechniken

- ▶ OpenTuner stellt Suchtechniken für viele Suchraum-Typen bereit
- ▶ Ausführen mehrerer Suchtechniken gleichzeitig (Ensembles)
- ▶ dynamische Testzuweisung anhand Erfolges dieser Techniken
- ▶ erweiterbar: benutzerdefinierte Suchtechniken

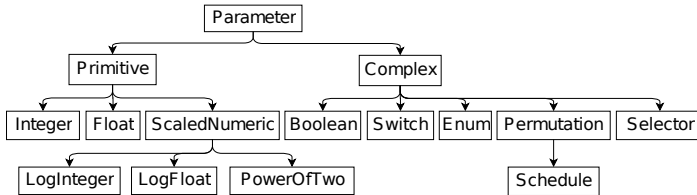
## Konfigurations-Manipulator

- ▶ Abstraktionsschicht zwischen Suchtechnik und roher Konfigurations-Struktur
- ▶ Liste der Parameter/Datenstruktur ist dynamisch erweiterbar
- ▶ Konfiguration wird als Dictionary verwaltet

## Parameter-Typen

- ▶ jeder Parametertyp ist verantwortlich für Schnittstelle zwischen roher Parameterrepräsentation und stand. Ansicht dieses Parameters für die Suchtechnik
- ▶ Parameterrepräsentation und Abstraktion erweiterbar/konfigurierbar





## Primitive Parameter

- ▶ numerische Werte mit Unter-/Obergrenze
- ▶ **Float** und **LogFloat** ( $-\text{Int}$ ) gleiche Repräsentation in der Konfiguration, aber untersch. Ansicht des zugrundeliegenden Wertes für die Suchtechnik (skaliert)
- ▶ Grund: ohne Logskal. würde Effekt der Wertänderung mit steigender Parametergröße sinken
- ▶ ähnlich bei **PowerOfTwo** → Quadrat nur zulässiger Wert des Parameters

## Komplexe Parameter

- ▶ haben ein variables Set an Manipulatoren, welche stochastische Änderungen an den Parametern vornehmen
- ▶ einfach domänenspezif. Strukturen zum Suchraum hinzuzufügen
- ▶ `Boolean`, `Switch` und `Enum` bewusst als komplex. Parameter, da Suchtechniken bei primitiven Parametern nach Gradients (Steigungen) suchen. Diese Parameter sind aber ungeordnete Sammlung → es existiert dafür kein Gradient.
- ▶ `Permutation`: Liste von Werte inkl. Manipulatoren zur randomisierten Änderung der Reihenfolge
- ▶ `Schedule` ist Sonderfall von `Permutation`: topolog. Sortierung nach jeder Änderung
- ▶ `Selector`: Mapping von Integer-Input auf Enum-Type (Darstellung als Baum)

## Parameter-Interaktion

- ▶ Zusätzlich existieren erweiterbare Methoden für die Suchtechniken um zwischen mehreren Parametern zu interagieren. (z.B. Differenz-Funktion)

## Optimierungsziele

- ▶ OpenTuner unterstützt mehrere Ziele, standardmäßig wird nach der Zeit optimiert
- ▶ Genauigkeit, Energie, Größe oder ein nutzerdef. Ziel
- ▶ Es können auch mehrere Ziele zugleich verfolgt werden, bspw. Genauigkeit einhalten, gleichzeitig Zeit minimieren

## Suchen und Messen

- ▶ kommunizieren ausschließlich über die Ergebnis-Datenbank
- ▶ Motivation für die Unterteilung zwischen diesen beiden Modulen:
  - ▶ Ermöglichen der Parallelität zwischen mehreren Prozessen (Suchen und Messen)
  - ▶ Autotuning während Ausführung der Anwendung oder in Wartezeit (Online/Sideline Learning)
  - ▶ Mess-Modul einfach ersetzbar ohne das gesamte Framework zu modifizieren (Domäne: Embedded/Mobil → leichtgewichtiges Mess-Modul)

## Ergebnis-Datenbank

- ▶ vollfunktionale SQL-Datenbank
- ▶ alle grundlegenden DB-Typen unterstützt, default: SQLite
- ▶ Abfragen und Eintragen der Ergebnisse in einer Vielzahl von Möglichkeiten
- ▶ nützlich für die Performance-Beobachtung der Suchtechniken

### 3. Konkrete Anwendungen der Entwickler

Vorstellen eines Beispiels aus einer bestimmten Kategorie

#### a) GCC/G++ Flags

- ▶ klassische Parameter-Optimierung
- ▶ unterstützte Flags: `g++ --help=optimizers`
- ▶ Parameter inkl. zulässiger Wertebereiche: `params.def` (gcc source code)
- ▶ Implementierung des Autotuners:
  - ▶ 1. Erstellen des `configuration manipulator`: Set der Parameter (Suchraum)
  - ▶ 2. Erstellen der `run`-Funktion
  - ▶ 3. Festlegen des Optimierungsziels

```

import opentuner
from opentuner import ConfigurationManipulator
from opentuner import EnumParameter
from opentuner import IntegerParameter
from opentuner import MeasurementInterface
from opentuner import Result

GCC_FLAGS = [
    'align-functions', 'align-jumps', 'align-labels',
    'branch-count-reg', 'branch-probabilities',
    # ... (176 total)
]

# (name, min, max)
GCC_PARAMS = [
    ('early-inlining-insns', 0, 1000),
    ('gcse-cost-distance-ratio', 0, 100),
    # ... (145 total)
]

```

```

class GccFlagsTuner(MeasurementInterface):
    def manipulator(self):
        """
        Define the search space by creating a
        ConfigurationManipulator
        """
        manipulator = ConfigurationManipulator()
        manipulator.add_parameter(
            IntegerParameter('opt_level', 0, 3))
        for flag in GCC_FLAGS:
            manipulator.add_parameter(
                EnumParameter(flag,
                              ['on', 'off', 'default']))
        for param, min, max in GCC_PARAMS:
            manipulator.add_parameter(
                IntegerParameter(param, min, max))
        return manipulator

```

```

def run(self, desired_result, input, limit):
    """
    Compile and run a given configuration then
    return performance
    """
    cfg = desired_result.configuration.data
    gcc_cmd = 'g++ raytracer.cpp -o ./tmp.bin'
    gcc_cmd += ' -O{0}'.format(cfg['opt_level'])
    for flag in GCC_FLAGS:
        if cfg[flag] == 'on':
            gcc_cmd += ' -f{0}'.format(flag)
        elif cfg[flag] == 'off':
            gcc_cmd += ' -fno-{0}'.format(flag)
    for param, min, max in GCC_PARAMS:
        gcc_cmd += ' --param {0}={1}'.format(
            param, cfg[param])

    compile_result = self.call_program(gcc_cmd)
    assert compile_result['returncode'] == 0
    run_result = self.call_program('./tmp.bin')
    assert run_result['returncode'] == 0
    return Result(time=run_result['time'])

if __name__ == '__main__':
    argparser = optparser.default_argparser()
    GccFlagsTuner.main(argparser.parse_args())

```