

チューニング事例DBの構築とそれを用いた最適化の予測について

橋本政朋

RIKEN AICS

ATOS10

1

Plan

- Evidence-based Tuning (EBT)
- 関連研究
- 概要
 - チューニング事例DB (EBT/DB)
 - Fact抽出・補完
 - 構成と利用
 - 適切なプログラム最適化の予測 (EBT/P)
- Case Study
- 課題

ATOS10

2

性能チューニング

- プログラム性能(実行時間、サイズ、消費電力等)をその意味を変える事なく向上させる
 - コンパイラオプションの変更
 - プログラムパラメタ変更
 - プログラム書換え
- 一般に自動化は困難
 - 組合せ爆発(例:GCCの性能関連flag数は約100)
 - 専門知識、勘が必要

ATOS10

3

性能チューニングの支援

- 実践・伝授の合理化・効率化
 - 根拠に基づく性能チューニング (EBT: Evidence-Based Tuning) cf. 根拠に基づく医療
 - 事例のデータ化とDBへの蓄積
 - ソースコード、性能測定値
 - 補完情報 (Variant系統関係、適用最適化、等)
 - DB検索とデータマイニング
 - DBに基づく適切な最適化の予測 (機械学習)
 - 例:「block2のループをブロッキングして2段アンロールすると速くなる確率が0.76かも」

ATOS10

4

関連研究

- [Collective Mind](#) (cTuning: Crowd Tuning) [Fursin+2011]
 - Machine learning enabled self-tuning compiler
 - Collective repository
- [PerfExpert](#) [Burtscher+2010]
 - Detection/diagnosis of performance bottlenecks
 - Pattern based source code transformation
 - Suggestions for bottleneck remediation
- [TAU](#)(Tuning and Analysis Utilities) [Shende+2006]
 - API/Toolkit for perf. data management (TAUdb)
 - Framework for perf. data mining (PerfExplorer)
 - ML with TAUdb/PerfExplorer [Chaimov+2013]

ATOS10

5

簡易比較

	cTuning	PerfExpert	TAU	EBT
主機能	コンパイラ heuristics改善	ボトルネック解 析	性能計測	専門家支援
DB	Prolog	RDB(SQLite3) L,MySQL,Oracle, H2,Derby)	RDB(PostgreSQL ,MySQL,Oracle ,H2,Derby)	RDF Triple Store(Virtuoso)
Data Mining			○	○
予測対象	コンパイラオプ ション組み合わ せ	一般的な対処 法	Variant選択 wrapper	最適化組合せ
予測実現方式	機械学習	固定	機械学習	機械学習

ATOS10

6

チューニング事例DB(EBT/DB)

- 事例
 - ソースコード(チューニング前後)
 - 性能計測データ(無ければ計測)
 - ソースコードの系統関係(推定可能)
 - 適用最適化(推定可能)
 - メタデータ(ログ、ドキュメント、等)
- DB内容
 - Fact(事例から抽出・補完するデータ単位)

ATOS10

7

Factの抽出・補完

- 構文解析
 - ソースコード → 抽象構文木(AST: Abstract Syntax Tree)
- Variant間変更解析 [Hashimoto+2008]
 - 系統解析、最適化パターン解析に必要
 - ASTノード/部分木に対する編集操作列(削除、移動、等)
 - ASTノード間対応
 - AST類似度/距離
- Variant系統解析
 - 距離行列からVariant系統樹(phylogenetic tree)を推定可能 [Hashimoto+2008] cf. 分子系統学
- 最適化パターン解析
 - 適用されたと思しき最適化(例:ループ分割、アンローリング)
- 性能測定値
 - 性能測定区間とASTノードとの対応

ATOS10

8

EBT/DBの構成と利用

- RDF Triple Store に蓄積
 - スキーマ不要、推論機構 cf. NoSQL, Semantic Web
 - FactはRDF tripleで表現される
 - (subject, predicate, object)
 - 例: (fjpa1:1234, fjpa:flops, 12345)
 - Factの集合はgraphを成す
- SPARQLで検索
 - W3Cによる標準的なクエリ言語 cf. SQL
- データマイニング
 - ODBC経由で外部クライアント利用
 - SPARQL Protocol 経由で外部クライアント利用
 - 例: [gvizier](#) (visualization via SPARQL)

ATOS10

9

適切なプログラム最適化の予測

- 機械学習利用
 - 訓練データ $\{(x_i, c_i)\}$ から識別器 $C : \mathbf{x} \mapsto \mathbf{c}$ を得る
- 訓練データ
 - チューニングして性能が向上した場合のデータ
 - \mathbf{x}_i : プログラム特徴ベクトル
 - ソースコードメトリクス(例:ループ中の浮動小数点演算数)
 - 性能測定値
 - \mathbf{c}_i : プログラム最適化
 - ラベル(例:LoopUnroll, LoopFusion等)

ATOS10

10

Case Study

- MG (Multi-Grid) from [NPB](#)
 - 多重格子法によるボアソン方程式の求解
 - AICS運用技術部門によるチュートリアル用チューニング
- NICAM (Nonhydrostatic Icosahedral Atmospheric Model)
 - 非静力学正20面体大気モデル
 - AICS運用技術部門によるチューニング
 - 7つの計算カーネル
- TuningCatalog(今の所非公開)
 - AICS運用技術部門による基本的なループ最適化の効果確認のためのマイクロベンチマーク
 - 65個の計算カーネル

ATOS10

11

ソースコード

Sample	Variant数	SLOC(平均)
MG (NPB)	4	6957(1739)
NICAM:diffusion (水平拡散項)	20	7329(366)
NICAM:div2rev (単調性保存制限風上差分発散項)	30	21540(718)
NICAM:divdamp3D (鉛直方向音波重力波陰解法)	18	5965(331)
NICAM:divergence (水平発散項)	13	1823(140)
NICAM:gradient (水平勾配項)	10	3313(331)
NICAM:nsw6 (雲微物理)	9	23716(2635)
NICAM:radiation (放射過程)	3	14526(4842)
TuningCatalog	2 x 65	3089(47)

チューニング事例データ提供:AICS運用技術部門

ATOS10

12

Factの抽出・補完

- 自作Fortran parserによる構文解析
- Diff/TSIによるAST差分解析 [Hashimoto+2008]
 - 最適化=変更パターン
- [Phylib](#) [U. Washington]による系統樹推定
 - ソースコードのチューニング前後関係
- SPARQLクエリによる適用最適化の検索
- 富士通精密PAによる性能測定(京で測定)
 - 今のところ単体性能に注目
 - 測定区間指定、ハードウェアカウント
 - 出力の構造化(CSV→YAML)

ATOS10

13

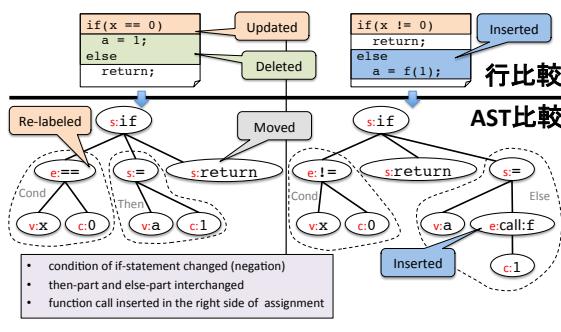
自作Fortran Parser

- 対応規格
 - 95を基本に、77、90、2003一部、2008一部
 - 各種方言(PGI、IBM、Intel)
 - 各種ディレクティブ(OMP, OCL, XLF, CPP)
- 特徴
 - プログラム断片も可能な限り構文解析
 - プリプロセッサディレクティブも可能な限り構文解析
 - ASTをfactとして抽出
- テスト
 - NICAM, NPB, EigenExa, TINKER, Quantum Espresso, Gaussian, NWChem, GAMESS, ...

ATOS10

14

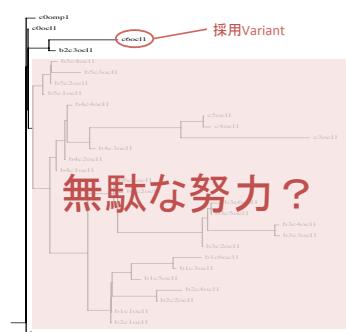
行比較 vs. AST比較



ATOS10

15

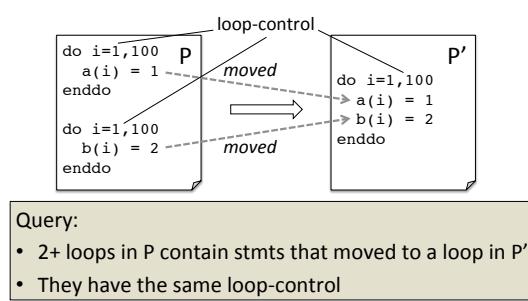
NICAM(div2rev)系統樹



ATOS10

16

最適化パターン検索: Loop Fusion



ATOS10

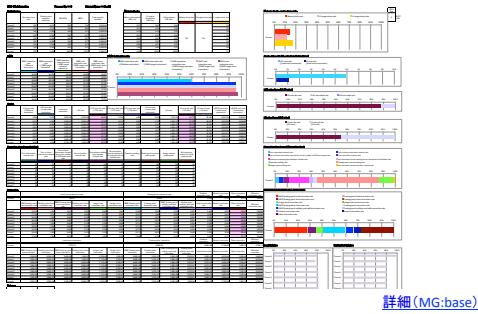
17

最適化パターン同定例

[Demo](#)

18

富士通プロファイル(FAPP)

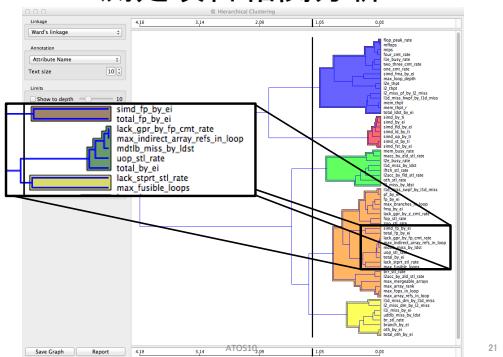


EBT/DBの構成と利用

- [Virtuoso](#) [Openlink]DBMS利用
 - DBサイズ: 922MB、トリプル数: 13,617,349
- データマイニング
 - 例: 性能測定項目相関分析 ([Orange](#) 利用)
- 適切なプログラム最適化予測
 - マルチラベル学習(通常は2値学習)
 - 特徴ベクトル
 - プロファイル測定値(55項目)
 - ソースコードメトリクス(8項目)
 - 対象最適化
 - ループアンローリング、ディレクティブ追加等、45種類

ATOS10 20

測定項目相関分析



マルチラベル学習アルゴリズム

- Binary Relevance
 - 2値学習に分割(ラベル独立性仮定)
- Classifier Chain
 - 2値学習のチェイニング(ラベル独立性考慮)
- Clustering Tree
 - Clustering + decision tree induction (conceptual clustering)
- Clustering Random Forest
 - Clustering + random forest(アンサンブル学習の一種: Bagging+属性のランダム選択)
- ...

ATOS10 22

予測モデルの評価

5分割交差検証(サンプル数469、k=10)

Method	Brier Score (avg)	Global Accuracy	Mean Accuracy
Binary Relevance (kNN)	0.0466	0.5096	0.9693
Classifier Chain (kNN)	0.0485	0.5096	0.9688
Clustering Tree	0.0485	0.4904	0.9663
Clu. Random Forest	0.0413	0.4904	0.9701

- brier score: 誤差の集積
- global accuracy: 緊密一致
- mean accuracy: 最適化毎accuracyの平均

ATOS10

23

課題

- さらなる事例収集(何かあればお願ひします!)
- アンチパターン(探索空間削減?)
- 異なる性能測定条件の事例対応
 - 性能測定条件の正規化
 - アーキテクチャ、コンパイラオプション
- 特徴ベクトルの最適化
- 最適化の詳細化(例: アンロール段数)
- 静的性能予測
 - キャッシュミス

ATOS10 24

References

- [EBM1992] Guyatt et al. Evidence-Based Medicine: A New Approach to Teaching the Practice of Medicine, *JAMA*, 1992.
- [Fursin+2011] Fursin et al. Milepost GCC: Machine Learning Enabled Self-tuning Compiler, *IJPP*, 2011.
- [Shende+2006] Shende et al. The TAU Parallel Performance System, *IHPCA*, 2006.
- [Burtscher+2010] Burtscher et al. PerfExpert: An Easy-to-Use Performance Diagnosis Tool for HPC Applications, *SC*, 2010.
- [Chaimov+2013] Chaimov et al. Tools for Machine-Learning-based Empirical Autotuning and Specialization, *IHPCA*, 2013.
- [Hashimoto+2008] Hashimoto et al. Diff/TS: A Tool for Structural Change Analysis, *WCRE*, 2008.