

3.2 第11回情報シナジー研究会

平成25年2月25日に開催された「第11回情報シナジー研究会」における講演の内容を掲載する。

第11回 情報シナジー研究会

東北大学サイバーサイエンスセンターでは、先端的情報技術の研究発表と情報交換を目的として情報シナジー研究会を企画・開催しております。今般、第11回研究会を下記の要領で開催致しますので、奮ってご参加下さい（参加申し込み・予約等は必要ありません）。

日時：平成25年2月25日（月） 10:00～12:30

会場：サイバーサイエンスセンター・本館5階・講義室

プログラム：

- **開会**

10:00～10:25

複合型計算システム向けのOpenACCの拡張

菅原誠⁽¹⁾, 平澤将一⁽¹⁾⁽³⁾, 小松一彦⁽²⁾⁽³⁾, 滝沢寛之⁽¹⁾⁽³⁾, 小林広明⁽²⁾

⁽¹⁾ 東北大学大学院情報科学研究科, ⁽²⁾ 東北大学サイバーサイエンスセンター, ⁽³⁾ JST CREST

10:25～10:50

メモリバンド幅および通信バンド幅に着目した大規模並列システムの性能モデルに関する一検討

安田一平⁽¹⁾, 小松一彦⁽²⁾⁽³⁾, 江川隆輔⁽²⁾⁽³⁾, 滝沢寛之⁽¹⁾⁽³⁾, 小林広明⁽²⁾

⁽¹⁾ 東北大学大学院情報科学研究科, ⁽²⁾ 東北大学サイバーサイエンスセンター, ⁽³⁾ JST CREST

10:50～11:15

コネクタ接触点分布とインダクタンスの関係に関する検討

上原和也⁽¹⁾, 林優一⁽¹⁾, 水木敬明⁽²⁾, 曽根秀昭⁽²⁾

⁽¹⁾ 東北大学大学院情報科学研究科, ⁽²⁾ 東北大学サイバーサイエンスセンター

11:15～11:40

クライアント証明書によるローカル認証を用いた耐災害無線LANローミングシステムの性能評価

木下峻一⁽¹⁾, 渡辺俊貴⁽¹⁾, 山崎康広⁽²⁾, 後藤英昭⁽¹⁾, 曽根秀昭⁽¹⁾

⁽¹⁾ 東北大学サイバーサイエンスセンター, ⁽²⁾ NECクラウドシステム研究所

11:40～12:05

カメラネットワークを用いた人物位置検出システムにおける出力品質制御法

Adrian Agusta⁽¹⁾, 阿部亨⁽²⁾, 菅沼拓夫⁽²⁾

⁽¹⁾ 東北大学大学院情報科学研究科, ⁽²⁾ 東北大学サイバーサイエンスセンター

12:05～12:30

A Faster Phase-Only Correlation-Based Method for Estimations of Translations, Rotation and Scaling in Images

Xiaoyong Zhang⁽¹⁾, Noriyasu Homma⁽¹⁾, Kei Ichiji⁽²⁾, Makoto Abe⁽²⁾, Norihiro Sugita⁽³⁾, Makoto Yoshizawa⁽¹⁾

⁽¹⁾ Cyberscience Center, Tohoku University, ⁽²⁾ Department of Electrical and Communication Engineering, Graduate School of Engineering, Tohoku University, ⁽³⁾ Department of Management Science and Technology, Graduate School of Engineering, Tohoku University

- **閉会**

問合せ・連絡先： 東北大学情報部情報基盤課

Tel. 022-795-3407

複合型計算システム向けの OpenACC の拡張

菅原 誠^{*} 平澤 将一^{*} 小松 一彦[†] 滝沢 寛之^{*} 小林 広明[†]

概要

高い理論性能を持つ Graphics Processing Unit(GPU) などの高並列プロセッサをアクセラレータとして用いる複合型計算システムを活用するために、これまでアプリケーションを書き換える再実装が必要な OpenCL や CUDA などの開発環境が用いられてきた。近年、これらの開発環境と比べ、C や Fortran で実装された既存のアプリケーションを再実装することなく容易に GPU へ移植可能なディレクティブベースの開発環境である OpenACC が注目されている。本稿においては、ディレクティブベースの OpenACC と既存の OpenCL で実装可能な性能最適化技法の差を議論し、OpenCL において実装可能な性能最適化技法の一部が OpenACC において実装できないことを指摘する。そこで本研究においては、OpenCL と同様の性能最適化技法を実装可能とすることを目的に、OpenACC に対してバリア同期を行う拡張ディレクティブを提案する。提案する拡張ディレクティブを用いて OpenCL と同様の性能最適化技法を実アプリケーションに実装した結果、OpenCL で実装されたアプリケーションと同等の実行性能を達成できることが示された。

^{*} 東北大学大学院情報科学研究科

[†] 東北大学サイバーサイエンスセンター

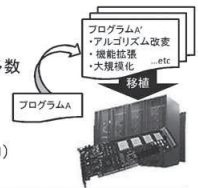
目次

- 研究の背景と目的
- GPU向けの一般的な性能最適化技法
- OpenACCの拡張
- 性能評価
- まとめ

2/24

背景

- 大規模な科学技術アプリケーション
 - 長期間利用された既存アプリケーションが多数
 - 実行時間が長大
- 複合型計算システム (GPUクラスタ)
 - 汎用プロセッサ (CPU) + アクセラレータ (GPU)
 - 高い電力効率・演算性能



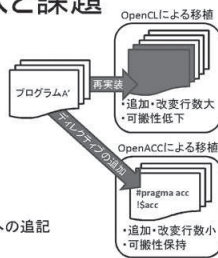
科学技術アプリケーションを複合型計算システムにより高速化したい

- 既存アプリケーションの複合型計算システムによる高速化
 - 複合型計算システムへの移植 (アクセラレータとしてGPUに着目)
 - ハードウェア構成を意識したプログラミング → 高い実行性能の達成

3/24

複合型計算システムのための 開発環境の現状と課題

- OpenCL
 - 移植コスト: 大
 - OpenCLのAPIによるプログラムの再実装
 - ハードウェア構成を高度に考慮した性能最適化技法が記述可能
- OpenACC
 - 移植コスト: 小
 - OpenACCのディレクティブのプログラムへの追記



現状のOpenACCにおける課題

- GPU向けの性能最適化技法が不明
- ハードウェア構成を高度に考慮した性能最適化技法が記述不可能

4/24

目的とアプローチ

OpenACCにおいてもOpenCLと同等の性能を達成
→ 複合型計算システムによる高速化が容易に実現可能

- 目的
 - OpenCLと同等の実行性能を達成可能なOpenACCの拡張の実現
- アプローチ
 - OpenACCの拡張ディレクティブの提案
 - OpenCLと同様の性能最適化技法の記述を実現
 - OpenCLと同様の性能最適化技法の適用
 - OpenACCにおけるGPU向けの性能最適化技法を明確化

5/24

目次

- 研究の背景と目的
- GPU向けの一般的な性能最適化技法
- OpenACCの拡張
- 性能評価
- まとめ

6/24

OpenCLで用いられる一般的な性能最適化技法

実アプリケーションの多くに適用可能

- opt1. CPU-GPU間のデータ転送の削減
 - ディレクティブによりデータ転送を制御
 - dataディレクティブの使用
 - updateディレクティブの使用
- opt2. コアレッシングによるオフチップメモリアクセスの効率化
 - ディレクティブ以外のプログラムの改変によりコアレッシングを活用
 - メモリアクセスパターンの変更
 - データバインディング
- opt3. カーネル実行パラメータの調整
- opt4. オンチップメモリを用いたデータアクセスの効率化

OpenACCにおいて

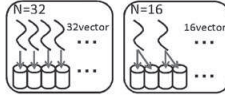
opt1, opt2 → 記述可能 opt3, opt4 → 記述不可能な場合あり

7/24

カーネル実行パラメータの調整

- ハードウェア利用率を考慮
 - カーネル実行パラメータ: vector数等
 - vector_length節, num_gangs節, ...
 - 記述可能な処理に制限あり
 - reduction節

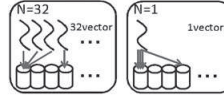
依存関係のない処理



```
#pragma acc parallel vector_length(N)
{
    #pragma acc loop vector
    for(i=0; i<32; i++) A[i] ++;
}
```

アトミック(不可分)操作を記述不可能
→ 結果不正(N=32)

依存関係のある処理



```
#pragma acc parallel vector_length(N)
{
    #pragma acc loop vector
    for(i=0; i<32; i++) A[B[i]] ++;
}
```

8/24

オンチップメモリを用いたデータアクセスの効率化

- データアクセスの局所性を活用

- GPUのメモリ階層

- オフチップメモリ: 大容量・低速
- オンチップメモリ: 小容量・高速
 - work-item間・vector間でデータを共有可能

- データアクセスの局所性

- 各work-item・vectorで同じデータへ複数回アクセス
- work-item・vector間で同じデータへ複数回アクセス
 - オンチップメモリを共有して使用: データアクセスの効率化が可能

OpenCLにおけるオンチップメモリの使用例

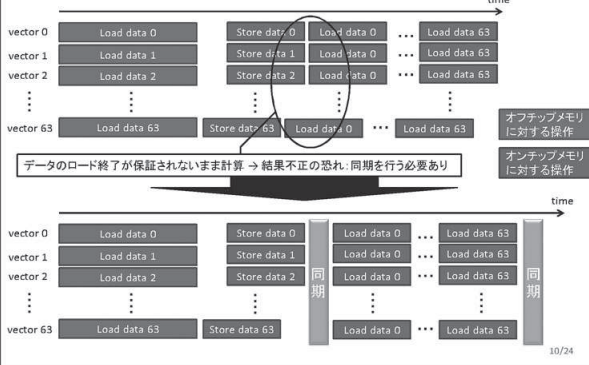
- オンチップメモリにデータをロード
- 同期 (barrier) 関数
- オンチップメモリ上のデータを共有して使用
- 同期 (barrier) 関数

OpenACC: 同期を記述するディレクティブがない

→ OpenACCにおいては記述不可能

9/24

同期を用いたオンチップメモリの利用



目次

- 研究の背景と目的
- GPU向けの一般的な性能最適化技法
- OpenACCの拡張
- 性能評価
- まとめ

11/24

OpenACCの拡張ディレクティブ

- 提案する拡張ディレクティブ (OpenACC+)

- atomicディレクティブ

- 各vectorのアトミック操作を指示

- barrier(gang)ディレクティブ

- 同一gang内のvector間の同期を指示

- barrier(kernel)ディレクティブ

- 全vector間の同期を指示

- OpenACC+に対応するトランスレータ

- Compiler (OpenACC) は中間コードとしてOpenCLやCUDAを使用
 - CAPS Compiler, PGI Compiler, ...etc

- 中間コード上に対応する処理を追加

12/24

性能最適化技法と拡張ディレクティブの対応

- 提案する拡張ディレクティブ (OpenACC+)

- atomicディレクティブ

- カーネル実行パラメータの調整
 - アトミック操作が必要な処理 → 単一vectorの処理として記述

- barrier(gang)ディレクティブ

- オンチップメモリを用いたデータアクセスの効率化
 - vector間でオンチップメモリ上のデータを共有して使用 → 記述不可能

- barrier(kernel)ディレクティブ

- オンチップメモリを用いたデータアクセスの効率化
 - カーネル間でオンチップメモリ上のデータを共有 → データの再配置

拡張ディレクティブを用いることで
OpenCLと同様の性能最適化技法を記述可能

13/24

atomicディレクティブ

- vector間のアトミック操作を指示
 - OpenCLのアトミック操作に対応
 - atom_inc, atom_xchg, ...etc (OpenCL 1.2)
 - 未提供のアトミック操作はプログラマが記述
 - アトミック操作の記述が可能
 - 記述可能な処理の自由度が向上 (OpenCLと同様の自由度)
- 実装方針
 - OpenCLのアトミック操作
 - OpenCLのアトミック操作を組み合わせた処理

```
#pragma acc parallel vector_length(32)
{
    #pragma acc loop vector
    for(i=0; i<32; i++){
        #pragma acc atomic
        A[B[i]]++;
    }
}
```

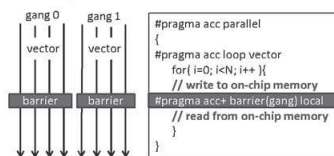


14/27

barrier(gang)ディレクティブ

- 同一gang内のvector間の同期を指示
 - OpenCLの同期 (barrier()関数) に対応
 - 同一work-group内のwork-item間の同期
 - global節 → CLK_GLOBAL_MEM_FENCE (オフチップメモリへの操作)
 - local節 → CLK_LOCAL_MEM_FENCE (オンチップメモリへの操作)
 - オンチップメモリを用いたデータアクセスの効率化を記述可能
 - OpenCLと同様にオンチップメモリを利用可能

NVIDIAのOpenCL SDK version 5.0
22/36アプリケーションで使用



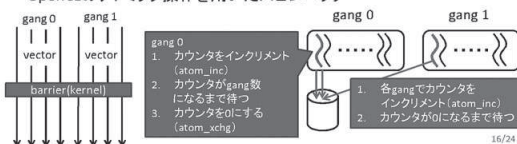
オンチップメモリへのデータの配置 → cacheディレクティブ

1. オンチップメモリにデータをロード
2. 同期 (barrier(gang))
3. オンチップメモリ上のデータを共有して使用
4. 同期 (barrier(gang))

15/24

barrier(kernel)ディレクティブ

- 全vector間の同期を指示
 - OpenCLやCUDAにおいて関数として提供されていない
 - カーネルの分割 → カーネル間でオンチップメモリのデータを共有不可
 - アトミック操作を用いた記述 → 高度なプログラミングが必要
 - カーネルを分割することなく全vector間の同期を記述可能
 - 高度なプログラミングをプログラマから隠す
- 実装方針
 - OpenCLのアトミック操作を用いたスピニング



16/24

目次

- 研究の背景と目的
- GPU向けの一般的な性能最適化技法
- OpenACCの拡張
- 性能評価
- まとめ

17/24

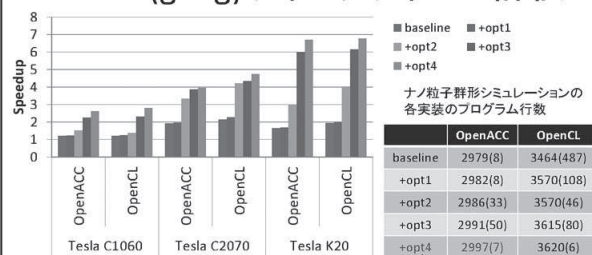
評価条件と対象とする性能最適化技法

- 評価項目
 - 拡張ディレクティブの有効性の評価 (@評価対象1, 2, 3)
 - OpenCLと同様の性能最適化技法の有効性の評価 (@評価対象1)
- 評価対象
 1. barrier(gang)ディレクティブの評価
 - ナノ粒子群形成シミュレーション
 - opt1, opt2, opt3, opt4を適用
 2. atomicディレクティブの評価
 - ヒストグラム計算
 3. barrier(kernel)ディレクティブの評価
- 評価環境
 - Compiler (OpenACC) : CAPS Compiler 3.3.0
 - GPU : NVIDIA Tesla C1060, NVIDIA Tesla C2070, NVIDIA Tesla K20

	性能最適化技法の詳細
opt1	CPU-GPU間のデータ転送の削減
opt2	コアレスシングによるオフチップメモリアクセスの効率化
opt3	カーネル実行パラメータの調整
opt4	オンチップメモリを用いたデータアクセスの効率化

18/24

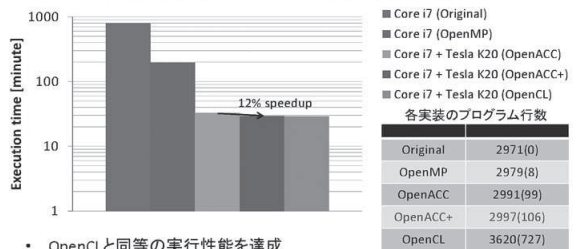
barrier(gang)ディレクティブの評価



- OpenCLと同様の性能最適化技法が有効
 - barrier(gang)ディレクティブ → OpenCLと同等の高い実行性能を達成可能
- OpenCLによる実装と比較して少ないプログラム行数
 - 各性能最適化技法の適用に要するプログラム行数の改変も少ない場合が多い

19/24

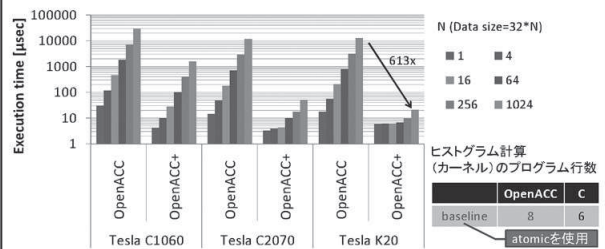
ナノ粒子群形成シミュレーションの 各実装における実行時間



- OpenCLと同等の実行性能を達成
 - 現状のOpenACCに対して拡張ディレクティブ (OpenACC+) により約12%の性能向上
- OpenCLによる実装と比較して少ないプログラム行数
 - 拡張ディレクティブを用いた場合においてもOpenCLと比較して少ないプログラム行数

20/24

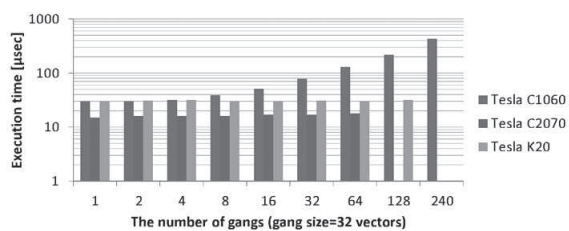
atomicディレクティブの評価



- 単一vectorで実行した場合から最大約613倍の性能向上
 - atomicディレクティブ → 記述可能な処理の自由度向上 + 性能向上可能
- 移植コスト小 (元のプログラムに2行のディレクティブの追記)
 - atomicディレクティブ: プログラム構造不変 (プログラムの可搬性保持)

21/24

barrier(kernel)ディレクティブの評価



- 同期のオーバーヘッドがFermi世代以降のGPUでは小さい
 - カーネルを分割することなく容易に全vector間の同期を低オーバーヘッドで実現可能
- 一定gang数 (C1060: 240, C2070: 112, K20: 200) 以上でデッドロック
 - GPUのレジスタ数不足 → スピンロックによる実装△

22/24

目次

- 研究の背景と目的
- GPU向けの一般的な性能最適化技法
- OpenACCの拡張
- 性能評価
- まとめ

23/24

まとめ

- 目的
 - OpenCLと同等の実行性能を達成可能なOpenACCの拡張の実現
- アプローチ
 - OpenACCの拡張ディレクティブの提案
 - OpenCLと同様の性能最適化技法の適用
- 評価結果
 - OpenCLと同様の性能最適化技法がOpenACCにおいても有効
 - 拡張ディレクティブによりOpenCLと同等の実行性能を達成可能
- 今後の課題
 - プログラムの可搬性の保持と性能向上を両立可能な拡張の検討

24/24

大規模並列システムのデータ供給性能を考慮した 性能モデルに関する一検討

安田 一平¹ 小松 一彦^{2,3} 江川 隆輔^{2,3} 滝沢 寛之^{1,3} 小林 広明²

概要：近年の大規模並列システムは、演算性能に比べプロセッサが利用可能なメモリバンド幅やノード間の通信性能バンド幅などのデータ供給性能の向上率が低い。そのため、データ供給性能を考慮した大規模並列システムにおけるアプリケーションの性能解析が強く求められている。データ供給性能を考慮したアプリケーションの性能解析やその解析結果に基づいた最適化指針を与える方法として、性能モデルを用いたボトルネック解析が挙げられる。しかしながら、利用するスレッド数ごとに変化するメモリバンド幅やノード間の通信を考慮した性能モデルやボトルネック解析手法は確立されていない。本報告では、スレッド数ごとに変化するメモリバンド幅とノード間の通信バンド幅を考慮した性能モデルを提案する。SX-9, Nehalem EX クラスタ, FX1, FX10, SR16000 の5つの大規模並列システムと複数のベンチマークを用いて提案する性能モデルの検証を行い、提案する性能モデルが実アプリケーションのボトルネックを解析できることを示した。

¹ 東北大学大学院情報科学研究科
Graduate School of Information Sciences, Tohoku University

² 東北大学サイバーサイエンスセンター
Cyberscience Center, Tohoku University

³ 科学技術振興機構戦略的創造研究推進事業
Japan Science and Technology Agency, Core Research for
Evolutional Science and Technology

メモリバンド幅および通信バンド幅に着目した 大規模並列システムの性能モデルに関する 一検討

安田 一平, 小松 一彦, 江川 隆輔, 滝沢 寛之, 小林 広明
東北大学大学院 情報科学研究科
yasuta@sc.isc.tohoku.ac.jp

背景(1)

- 大規模並列システム
 - アプリケーションの高精度化による高性能化の要求
 - データ供給性能の向上率 < 演算性能の向上率
- 大規模並列システムの高い実効性能を利用
 - ボトルネック解析および解析結果に基づくコード修正
 - データ供給性能を考慮したボトルネック解析が必要
 - ⇒ 性能モデルを用いたボトルネック解析

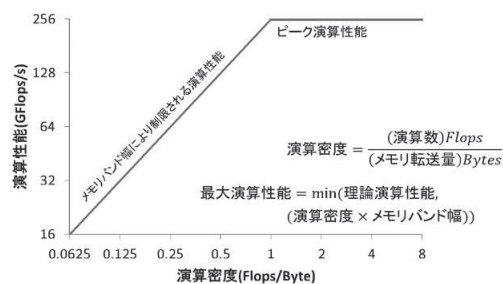
2013/2/25

情報シナジー研究会

2

背景(2)

ルーファインモデル

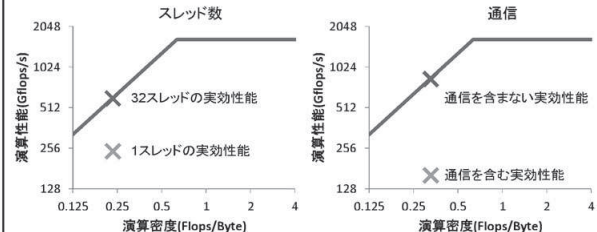


2013/2/25

情報シナジー研究会

3

問題



- × スレッド数ごとのメモリバンド幅変化を考慮していない
- × ノード間通信を考慮していない
- ⇒ これらの要素を考慮した性能モデルが必要

2013/2/25

情報シナジー研究会

4

目的

- アプリケーションの性能ボトルネックの特定
 - ボトルネック解析結果を解消する最適化指針の提示
- アプローチ
 - データ供給を考慮した2つの性能モデルの提案
 - スレッド数による実効メモリバンド幅を考慮した性能モデル
 - 通信バンド幅を考慮した性能モデル

2013/2/25

情報シナジー研究会

5

スレッド数による実効メモリバンド幅を 考慮したボトルネック解析

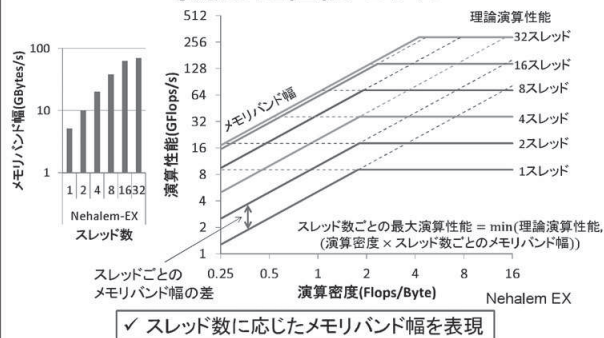
- 着眼点
 - スレッド数による実効メモリバンド幅の変化によりボトルネックが変化することに着目
- 目的
 - スレッド数が変化した場合のボトルネック解析
 - スレッド数を減少させる最適化の可能性を調査

2013/2/25

情報シナジー研究会

6

スレッド数による実効メモリバンド幅を考慮した性能モデル



2013/2/25

情報シナジー研究会

7

スレッド数による実効メモリバンド幅を考慮した性能モデルの利用手順

手順

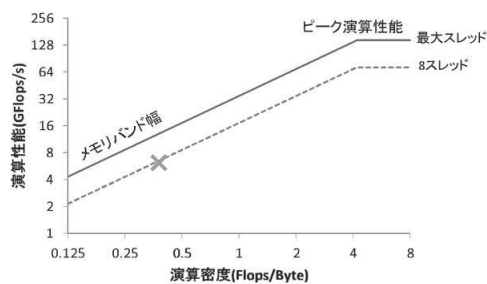
1. スレッド数に応じたアプリケーションのボトルネック解析
2. ルーフラインが近接しているスレッド数の探索
3. スレッド数の減少による最適化

2013/2/25

情報シナジー研究会

8

スレッド数に応じたボトルネック解析

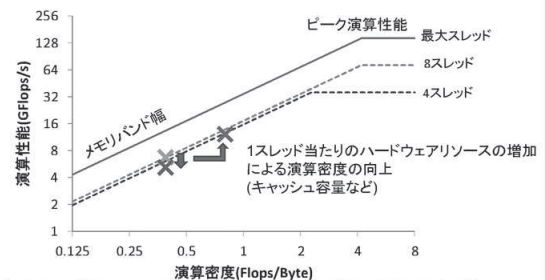


2013/2/25

情報シナジー研究会

9

適切なスレッド数の探索



- スレッド数の増減により相反する影響
 - ✓ 演算密度向上による実効演算性能の向上の可能性
 - × メモリバンド幅低下による実効演算性能の低下の可能性
- ⇒ 性能向上の可能性を可視化し適切に判断

2013/2/25

10

通信バンド幅を考慮したボトルネック解析

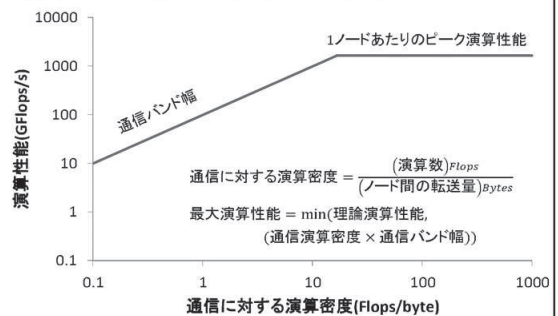
- 着眼点
 - 通信バンド幅により、通信を含むアプリケーションが律速されることに着目
- 目的
 - 通信バンド幅によるボトルネックの解析と最適化指針の提示

2013/2/25

情報シナジー研究会

11

通信バンド幅を考慮した性能モデル



- ✓ マルチノード実行の性能の制約となりうる通信バンド幅を採用

2013/2/25

情報シナジー研究会

12

通信バンド幅を考慮した 性能モデルの利用手順

• 手順

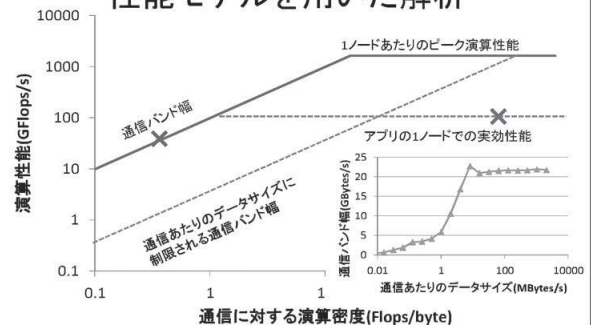
1. アプリケーションの実効性能通信に対する演算密度および通信あたりのデータサイズなどのデータを取得
2. 実効通信バンド幅や、補助線の要素である通信あたりのデータサイズによる通信バンド幅の取得
3. 通信あたりのデータサイズなどの補助線の描画
4. アプリケーションの点を描画してボトルネック解析
5. ボトルネック解析結果をもとに最適化指針の提示
 - 通信削減による最適化
 - ノード内の演算などのボトルネック解消
 - 補助線が示すボトルネック解消

2013/2/25

情報シナジー研究会

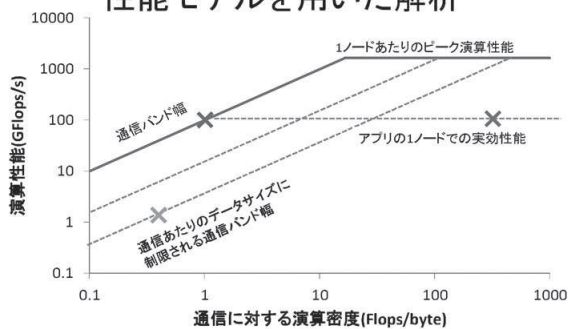
13

通信バンド幅を考慮した 性能モデルを用いた解析



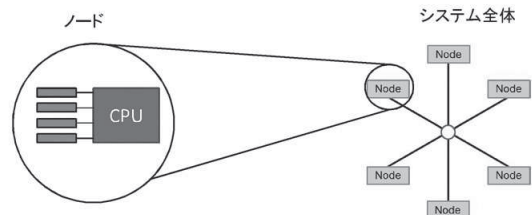
✓ 通信を含むアプリケーションの解析と最適化指針の提示が可能

通信バンド幅を考慮した 性能モデルを用いた解析



✓ 通信を含むアプリケーションの解析と最適化指針の提示が可能

提案する2つの性能モデルの関係



- 2つの性能モデルを組み合わせ
システム全体の解析を行うことができる
- ノード内⇒通信の手順で行う
 - ノード内に関する性能モデルを用いて解析と最適化を行う
 - 次に通信を含む性能モデルの解析を行う

2013/2/25

情報シナジー研究会

16

スレッド数とメモリバンド幅を考慮した 性能モデルの評価

• 評価目的

- 性能モデルを用いた解析と最適化の検証

• 評価環境

– アプリケーション

- Ocean Current
 - 全球順圧海洋モデルのシミュレーション
 - » 浅水モデル: 偏微分方程式の二次精度の有限差分法
 - » 演算密度: 0.53 ⇒ メモリボトルネック
- Turbulent Flow
 - 平行平板間乱流における流体線の解析
 - » 直接数値シミュレーション
 - » 演算密度: 0.5 ⇒ メモリボトルネック

– Nehalem EXを搭載したマシン

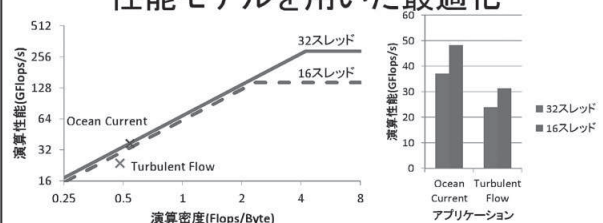
- 4ソケット 32コア
- 共有L3キャッシュ (24MB)

2013/2/25

情報シナジー研究会

17

スレッド数とメモリバンド幅を考慮した 性能モデルを用いた最適化



32スレッドから16スレッドに変更した場合
Ocean Current : 30%の性能向上
Turbulent Flow: 31%の性能向上

✓ 適切なスレッド数選択による性能向上の達成

2013/2/25

18

通信バンド幅を考慮した 性能モデルの評価

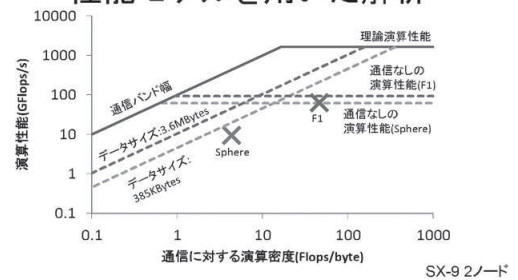
- 評価目的
 - 性能モデルを用いたボトルネック解析
- 評価環境
 - 数値流体計算アプリケーション(BCM)
 - 異なる性質を持つ2つのデータを利用
 - Sphere
 - » 演算に比べて通信量が大きく、かつ1通信あたりのデータサイズが300KB程度と小さい
 - F1
 - » 演算に比べて通信量が小さく、かつ1通信あたりのデータサイズが3MB程度と大きい

2013/2/25

情報シナジー研究会

19

通信バンド幅を考慮した 性能モデルを用いた解析



- ✓ 実アプリケーションのボトルネック解析が可能
- ✓ データサイズの補助線を用いることで解析が可能

2013/2/25

情報シナジー研究会

20

まとめ

- 目的
 - アプリケーションの性能ボトルネックの特定と最適化指針の提示
- 提案手法
 - スレッド数とメモリバンド幅を考慮する性能モデル
 - 通信バンド幅を考慮する性能モデル
- 評価結果
 - スレッド数とメモリバンド幅を考慮する性能モデルを用いたボトルネック解析と最適化が可能
 - 通信バンド幅を考慮する性能モデルを用いたボトルネック解析が可能
- 今後の展開
 - より複雑なネットワークを持つシステムのネットワーク混雑度を考慮した性能モデルの構築

2013/2/25

情報シナジー研究会

21

ご清聴ありがとうございました

コネクタ接触点分布とインダクタンスの関係に関する研究

上原和也^{†1}、林優一^{†1}、水木敬明^{†1†2}、曾根秀昭^{†1†2}

^{†1} 東北大学 大学院情報科学研究科

^{†2} 東北大学 サイバーサイエンスセンター

本稿では、コネクタ接触点分布とインダクタンスの関係を明らかにするため、7種類の接触点分布モデルを用い、接触点分布と回路素子の関係を Time-Domain Reflectometry (TDR) 測定により検討した。各モデルの抵抗値はほぼ一定であったのに対して、インダクタンス値はモデル毎に異なった値を示した。この結果より、コネクタの接触点数が同じ場合、その接触面で発生する抵抗値は接触点分布の変化によらずほぼ一定であり、インダクタンス値は接触点分布が偏るほど増大することが明らかとなった。

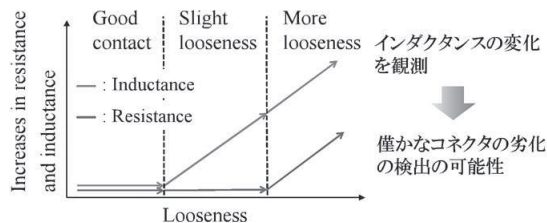
さらに、インダクタンス値増大のメカニズムを明らかにするために、モデルによって増大した電流路長の総和と測定したインダクタンス値を正規化し、比較した結果、両者は良好な一致を示した。また、各モデルのインダクタンス値と電流路長の増分の総和が理想的な比例関係である $y=x$ に近い線形近似曲線を得ることができ、両者に良好な相関があることも観測された。これらの結果より、インダクタンスが増大するメカニズムはコネクタの非接触部により迂回することによる電流路長の増分の総和であることが明らかとなった。以上より、同軸コネクタの設計指針として、接触面が僅かに劣化した場合にも4点の接触点が等間隔で接触するよう設計することにより、インダクタンス値増大を抑制可能であることが明らかとなった。

劣化したコネクタ接触面で発生する回路素子

➤ 同軸コネクタが劣化したときに発生する回路素子

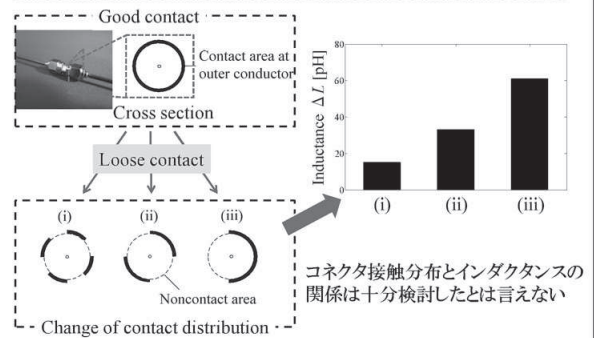
劣化したコネクタ接触面 ➡ 接触抵抗値とインダクタンスが増大

➤ 増大する回路素子の順序



▶ 2

コネクタの接触分布に依存するインダクタンス



▶ 3

本研究の目的

- 劣化したコネクタ接触面では接触抵抗とインダクタンスが増大
- 僅かに劣化したコネクタ接触面ではインダクタンスのみ増大
- インダクタンス値がコネクタ接触分布に依存



Time-Domain Reflectometry (TDR) 測定法を用いて、コネクタ接点分布と発生する回路素子の関係の検討

▶ 4

測定対象と測定環境

▶ 5

接触不良モデル

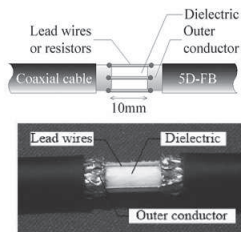
➤ 接触不良モデルの適用[*]

同軸コネクタの接触状態を模擬

- ▶ 接触抵抗
- ▶ 接触点数
- ▶ 接触点分布

➤ 本研究で用いるモデル

4本のリード線を用いて接触点を模擬

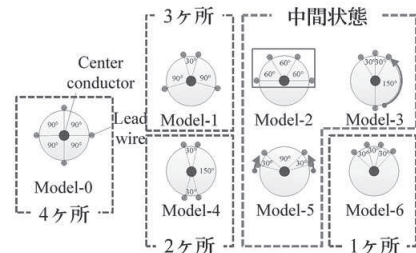


Contact Failure Model

[*] Y. Hayashi and H. Sone, "Fundamental Measurement of Electromagnetic Field Radiated from a Coaxial Transmission Line Caused by Connector Contact Failure," IEICE Trans. Electron., vol. E91-C, no. 8, pp. 1306-1312, 2008.

▶ 6

接触点分布の異なった7種類のモデル

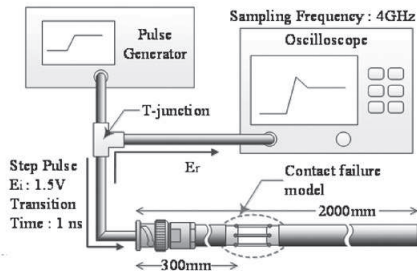


接触不良モデル断面図

▶ 7

Time-Domain Reflectometry(TDR) 測定

- 接触分布モデルで発生した回路素子を推定するために、Time-Domain Reflectometry (TDR)測定を行う
- 接触分布モデル以外の影響を除外するために、モデルが存在するケーブルと存在しないケーブルのTDR測定を行い、その差分を観測



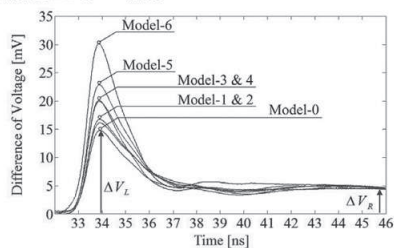
▶ 8

測定結果

▶ 9

TDR測定結果

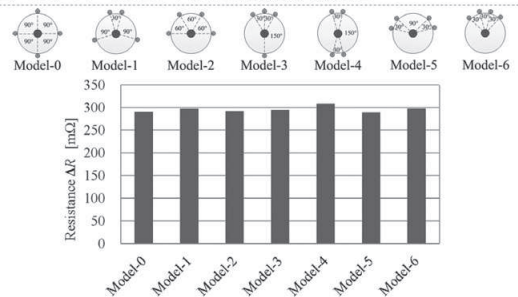
- 接触分布モデルが存在したケーブルのTDR結果から存在しないケーブルのTDR結果を差し引いた結果



- ▶ 各モデルにおいてインダクタンス値と抵抗値が上昇
- ▶ ΔV_L と ΔV_R を用いて、各モデルの接触抵抗値とインダクタンス値を求める

▶ 10

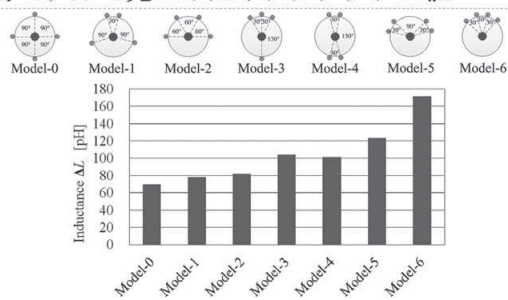
各モデルで発生した接触抵抗値



接触抵抗値は接触点分布に依存しない

▶ 11

各モデルで発生したインダクタンス値



接触点分布が集中するほどインダクタンス値が増大

▶ 12

インダクタンス値と電流路長の増分の総和の比較

▶ 13

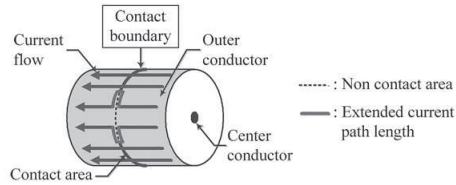
電流路長の増分の総和とインダクタンスの比較

- インダクタンス値と接触点分布による電流路長の増分と比較



* Model-0 の値で正規化

- コネクタ接触面の非接触部により迂回する電流の様子



同軸コネクタ接触面

▶ 14 [*] E. Matsuda, Y. Hayashi, T. Minski and H. Sone, "Mechanism of Increase in Inductance at Loose Contact Boundary", IECE TRANS. ELECTRON., VOL. E95-C, NO. 9, 2012

電流路長の増分の総和とインダクタンスの比較

- 非接触部の電流路長増分の近似計算

a : 非接触区間ABの角度

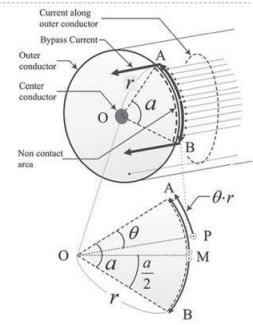
r : 外部導体の半径

l : 電流路長の増分

$$l_A = \int_0^a \theta \cdot r \cdot d\theta = r \cdot \frac{a^2}{8}$$

$$l_B = l_A$$

$$l_{AB} = l_A + l_B = r \cdot \frac{a^2}{4}$$



同軸コネクタ接触面

▶ 15 [*] E. Matsuda, Y. Hayashi, T. Minski and H. Sone, "Mechanism of Increase in Inductance at Loose Contact Boundary", IECE TRANS. ELECTRON., VOL. E95-C, NO. 9, 2012

接触分布モデルにおける電流路長の増分の総和

- 接触分布モデルにおける電流路長の増分の総和の近似計算式

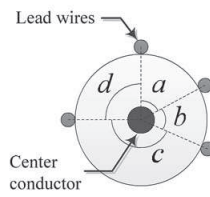
a, b, c, d : 各非接触区間の角度

r : 外部導体の半径

l : 電流路長の増分

$$l_{AB} = r \cdot \frac{a^2}{4} \text{ より}$$

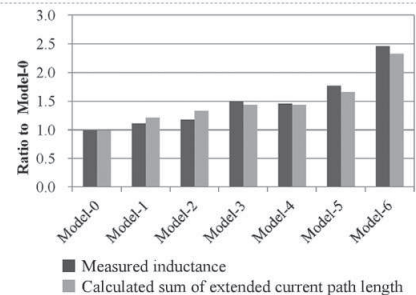
$$l_{all} = r \cdot \frac{1}{4} (a^2 + b^2 + c^2 + d^2)$$



接触分布モデルの断面図

▶ 16

インダクタンスと電流路長の増分の総和の比較



電流路長の増分の総和とインダクタンス値が良好な一致

▶ 17

まとめ

Time-Domain Reflectometry (TDR) 測定法を用いて、コネクタ接点分布と発生する回路素子の関係の検討



- 抵抗値はどのモデルでもほぼ一定
- インダクタンス値は各モデルで異なった値を示し、接触分布を検出できる可能性
- 電流路長の増分の総和とインダクタンスが良好な一致

▶ 18

クライアント証明書によるローカル認証を用いた 耐災害無線 LAN ローミングシステムの性能評価

木下 峻一[†] 渡辺 俊貴[†] 山崎 康広[‡] 後藤英昭[†] 曾根秀昭[†]

[†] 東北大学サイバーサイエンスセンター 〒980-8578 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-3

[‡] NEC クラウドシステム研究所 〒211-8666 神奈川県川崎市中原区下沼部 1753

E-mail: [†] {s-kinoshita, t-watanabe, hgot, sone}@isc.tohoku.ac.jp, [‡] y-yamasaki@ay.jp.nec.com

あらまし 災害時、無線 LAN 環境を災害時に開放するような運用が検討されている。この際、ユーザの属性によって異なるアクセス権の認可を行うことが望ましい。さらに避難所に入る一般被災者や、避難所を巡回する自治体職員などに対してシームレスにネットワークを提供するためには、認可と連携したローミング認証の仕組みが必要となる。本発表では、クライアント証明書によるローカル認証によって、耐災害性を有する無線 LAN の認証・認可システムを提案する。さらに、プロトタイプシステムの評価についても述べる。

Evaluation of Disaster-Tolerant Wireless LAN Roaming System with Local Authentication Using Client Certificates

Shunichi KINOSHITA[†] Toshiki WATANABE[†] Yasuhiro YAMASAKI[‡]

Hideaki GOTO[†] and Hideaki SONE[†]

[†] Cyberscience Center, Tohoku University 6-3 Aramaki Aoba, Aoba-ku, Sendai-shi, Miyagi, 980-8578

[‡] Cloud System Research Laboratories, NEC Corporation

1753 Shimonumabe, Nakahara-ku, Kawasaki-shi, Kanagawa, 211-8666

E-mail: [†] {s-kinoshita, t-watanabe, hgot, sone}@isc.tohoku.ac.jp, [‡] y-yamasaki@ay.jp.nec.com

クライアント証明書によるローカル認証を用いた耐災害無線LANローミングシステムの性能評価

木下峻一*, 渡辺俊貴*, 山崎康広**, 後藤英昭*, 曾根秀昭*

*東北大学サイバーサイエンスセンター

**NEC クラウドシステム研究所

1

研究背景

2

災害時における無線LAN

- ▶ 災害時の情報インフラの確保は重要な課題
 - 避難所となった施設でインフラを開放
 - ・ 一般被災者、自治体職員、警察、消防、ボランティア等へのインフラの提供
 - 被災地/被災建物から避難してきた職員へのインフラの提供
- ▶ 無線LANによる情報インフラが有用
 - 近年、無線LAN端末/無線LANインフラが急速に普及
 - 被災直後は落下物・転倒物が床に散乱しているため、有線より無線接続の方が物理的に安全

3

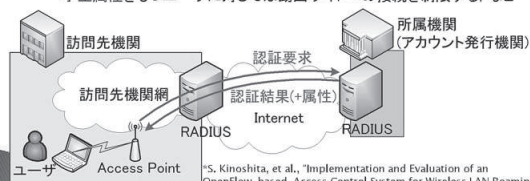
災害時における認証・認可の必要性

- ▶ アクセス制御(認可)が必要
 - アクセス可能範囲の制御
 - ・ 避難してきたユーザにはプライベートサーバにアクセスさせたくない、自治体職員にはネットワークプリンタの利用を認めたい、等、
 - 通信優先度の制御
 - ・ 警察、消防のユーザには最優先で帯域を割り当てたい、等、
- ▶ 認可を行うためには前提として認証が必要
 - ユーザの立場等を識別する必要があるため
- ▶ 避難先でも同じアカウントで認証・認可可能であることが望ましい
 - アカウントを逐一作成する手間からの解放

4

無線LANローミング

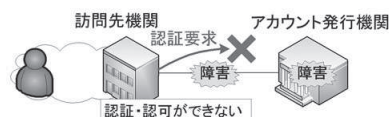
- ▶ ユーザが自身の所属機関のアカウントで、他の機関のインフラを利用する
 - 学術無線LANローミング基盤“eduroam”が運用中、
- ▶ 認証要求を転送し、ユーザのホーム機関で認証を行う
 - 認証結果にユーザの属性情報を含めることで、認可も実現可*
 - ・ 職員属性をもつユーザに対しては特定のサーバへのアクセスを認める、学生属性をもつユーザに対しては動画サイトへの接続を制限する、など



5

課題と研究目的

- ▶ 既存のローミング認証方式は、回線・発行元サーバの障害時は利用不可
 - 認証要求の転送を前提としているため



- ▶ 研究目的:
 - ある程度の障害発生時でも認証・認可が可能な無線LANローミングシステムの開発・評価

6

クライアント証明書による ローカル認証・認可

7

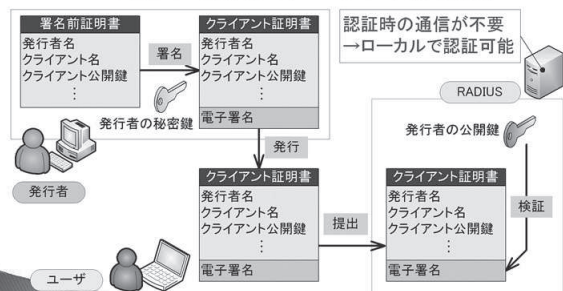
求められる要件

- ▶ Internet接続を用いず、ローカルで認証が完結すること
 - 回線・アカウント発行元の障害時でも、認証を行うため
- ▶ ユーザ属性情報を正しく取得できること
 - アクセス制御を行うため
- ▶ 作成したアカウントが、他の場所でも利用可能であること
 - 避難先においてもシームレスにインフラを利用できるようにするため
- ▶ アカウントを随時追加で発行できること
 - あらかじめアカウントを持たないユーザにも臨機応変にインフラを提供するため
- ▶ 端末側(サブリカント側)に追加実装が不要であること
 - ユーザの負担軽減および利用促進のため

8

クライアント証明書認証

- ▶ EAP-TLSで対応している認証方式 (X.509形式の証明書を利用)



9

ユーザ属性情報の取り扱い

X.509 (ver. 3)証明書の構成

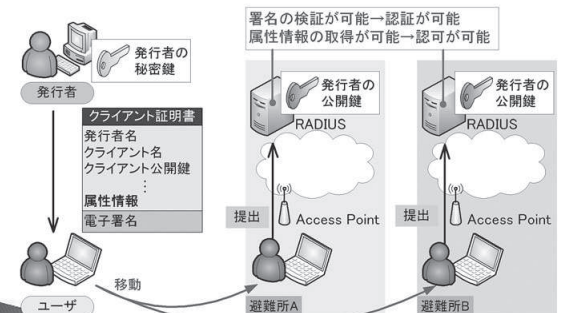
署名前証明書	発行者名
バージョン	ユーザ名等
シリアルナンバー	
アルゴリズム識別子	
発行者	
有効期間	
主体者	
主体者公開鍵情報	
発行者ユニーク識別子	
主体者ユニーク識別子	
拡張領域	
署名アルゴリズム	
署名値	

- ▶ 任意のデータを任意個追加可能
 - ◆ ユーザ属性情報の追加が可能
- ▶ 署名の対象内
 - ◆ 属性情報の保証が可能 (改ざんが不可能)

X.509形式をそのまま用いて、属性情報を埋め込み可

10

ローミング認証・認可



11

求められる要件との対照

- ▶ Internet接続を用いずローカルで認証が完結すること○
 - 発行者の公開鍵をRADIUSに入れておけばローカル認証が可能
 - ・ 例えば、発行者を都道府県に限定すれば、RADIUSに入れる公開鍵は47個となり、運用可能なレベル
- ▶ 認可に必要なユーザ属性情報を取得できること○
 - 証明書の拡張フィールドにユーザ属性情報を追記可能
- ▶ 作成したアカウントが他の場所でも利用可能であること○
- ▶ アカウントを随時追加で発行できること○
 - 予めアカウント発行者の公開鍵をRADIUSに保存しておくことで可能
- ▶ 端末側(サブリカント側)に追加実装が不要であること○
 - クライアント証明書認証はEAP-TLSでサポートされているため不要

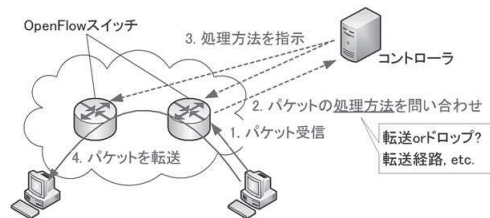
12

プロトタイプシステム・性能評価

13

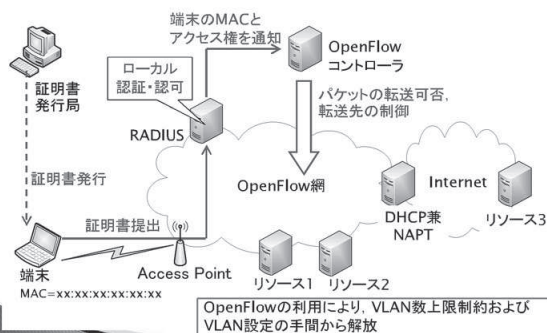
OpenFlow網とは

- 複数のOpenFlowスイッチと、1つのOpenFlowコントローラから構成
- パケットのL1～L4情報を元に、コントローラがネットワークを一元管理



14

プロトタイプシステム



15

評価1:動作検証

- 発行したアカウントと、各属性に付与したアクセス可否権

ユーザ属性	
ユーザA	regular
ユーザB	privileged
ユーザC	normal

想定

ユーザA: 正規のサービス利用者
ユーザB: 自治体職員など
ユーザC: 一般被災者など
リソース1: 大学/企業のプライベートサーバなど
リソース2: ネットワークプリンタなど
リソース3: 情報共有掲示板、インターネットなど

ユーザ属性	アクセス可否	リソース1	リソース2	リソース3
regular	○	○	○	○
privileged	×	○	○	○
normal	×	×	○	○

- 結果

- いずれのユーザも認証に成功
- ping応答にてアクセス可否制御が正しく行われていることを確認

提案方式の認証・認可が正常に機能することを確認

16

評価2:サーバ負荷

- TLS認証単体(属性情報抽出なし、非OpenFlow網)の場合と比較
- パケットの送受信時刻より、1認証あたりの処理時間を推計
 - 下図赤線部時間を合計



- 結果

推定サーバ処理時間(12回計測中の最大・最小を除いた平均、単位:msec)

TLS認証のみ	提案方式(属性値に基づく認可・制御つき)
11	131

- 1ユーザあたり1時間に1回の割合で認証要求を出すとすると、およそ27,480ユーザ*まで対応可能

実用には耐える程度の負荷に収まる

* 60*60/(131/1000) ≈ 27480

17

評価3:接続時間

- TLS認証単体(属性情報抽出なし、非OpenFlow網)の場合と比較
- 接続を開始してから、IPアドレスを取得するまでの時間を計測
 - 最初のRADIUSパケットからDHCP-ACKまでの時間
 - APIに隣接したブリッジでパケットをキャプチャ

- 結果

接続時間(12回計測中の最大・最小を除いた平均、単位:msec)

TLS認証のみ	提案手法(属性値に基づく認可・制御つき)
91	293

- ユーザビリティの観点では、問題にならないレベル
 - 参考)Webにおける8秒ルール*

十分短い時間内に収まる

*Zona Research社, "The Need for Speed," 1999.

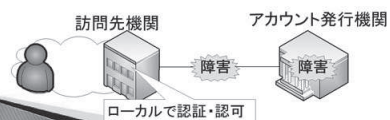
18

まとめ

19

まとめ

- ▶ 障害に強い無線LANローミング方式として、クライアント証明書を利用した、ローカル認証・認可方式を提案
- ▶ プロトタイプシステムを実装
 - 認証・認可が正しく行われることを確認
 - サーバ負荷, 接続時間は許容範囲であることを確認
- ▶ 今後の課題
 - 中間証明書への対応
 - クライアント証明書の配布方法の検討



20

謝辞

- ▶ 本研究の一部は、総務省の委託研究「情報通信ネットワークの耐災害性強化のための研究開発(大規模災害においても通信を確保する耐災害ネットワーク管理制御技術の研究開発)」プロジェクトで実施された。

21

カメラネットワークを用いた人物位置検出システムにおける 出力品質制御法

Adrian Agusta ^{†1}

阿部 亨 ^{†1†2}

菅沼 拓夫 ^{†1†2}

^{†1} 東北大学 大学院情報科学研究科

^{†2} 東北大学 サイバーサイエンスセンター

近年、カメラネットワークを用いてユーザの位置を獲得し、その結果を利用するアプリケーションが多数提案・開発されている。カメラネットワークを用いユーザ位置を獲得する場合、一般に、ネットワーク経由でカメラから送信された映像がサーバで処理され、得られた位置情報がアプリケーションへ出力される。その際、各アプリケーションは各々異なる品質（出力頻度、遅延など）を位置情報に対し要求し、また、ネットワークやサーバの負荷が変動するとアプリケーションへ出力される位置情報の品質は大きく変化する。そこで、本稿では、要求された様々な品質の位置情報を、種々変化する状況の下で、品質間のトレードオフを考慮しつつ安定に出力するための制御法を提案する。

カメラネットワークを用いた人物位置検出システムにおける出力品質制御法

Adrian Agusta⁽¹⁾ 阿部亨⁽²⁾ 菅沼拓夫⁽²⁾

⁽¹⁾東北大学大学院情報科学研究科

⁽²⁾東北大学サイバーサイエンスセンター

第11回 情報シナジー研究会

本論文の構成

1. 序論
2. 関連研究
3. 提案手法
4. 評価実験
5. 結論

2013/2/25

第11回 情報シナジー研究会

2

1. 序論

1.1 背景

- 各種センサネットワーク技術, Context-awareアプリケーションの高度化
⇒ センサネットワークで利用者の位置情報を検出し各種アプリケーションで利用
(ライフロギング[2], 防犯・監視[3], 現実仮想空間連携[4], 高齢者見守り[7], 等)
 - 位置情報の品質 (Quality of Service: QoS) [10][12]
 - 検出頻度, 遅延, 精度, 対象領域, 分解能
 - センサネットワークが利用するリソース
 - ネットワークの帯域, サーバの計算能力
- ↓
- 位置情報に対し要求される品質は, アプリケーション毎に異なる
 - リソース量が状況で変化すると, 出力される位置情報の品質が変動
- ↓
- 要求された多様な品質の位置情報を, 品質間のトレードオフを考慮し, 様々な状況の下で安定に出力するシステムが必要

2013/2/25

第11回 情報シナジー研究会

3

1. 序論

1.2 目的・課題・提案・効果

- 目的
 - カメラネットワークで得られる映像を用い, アプリケーションが要求する多様な品質の位置情報を, 様々な状況の下で安定に出力するシステムの実現
- 課題
 - (P1) 出力(位置情報)の品質に対する要求は, アプリケーション毎に異なる
 - (P2) リソース量が状況で変化すると, 出力される位置情報の品質が変動
- 提案
 - 位置情報の品質に対する要求の違いや状況の変化に対応するために, システムのパラメータを動的に制御する手法
- 効果
 - 様々なアプリケーションが位置情報を利用するための基盤システムを提供

2013/2/25

第11回 情報シナジー研究会

4

2. 関連研究

2.1 対象とするセンサネットワーク

- 利用者の位置情報検出には種々のセンサを利用可能
(赤外線センサ, 超音波センサ, カメラセンサ, ...)
⇒ 本研究の対象: カメラネットワーク
- カメラネットワークを用いる利点
 - 利用者がデバイスを装着する等の手間が不要
 - (比較的)低コストなためカメラ台数の増設が容易
 - 多様な情報(2次元・3次元位置情報, 映像情報)を取得可能
- カメラネットワークを用いる際の欠点
 - 映像を送信するためネットワークのトラフィックが大きい
 - 映像から位置情報を得るための処理が複雑

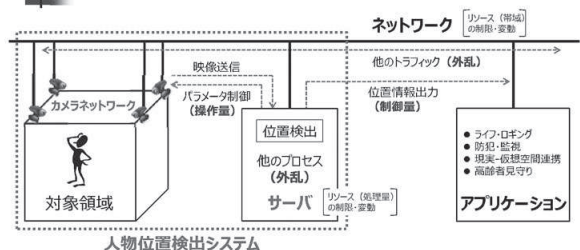
2013/2/25

第11回 情報シナジー研究会

5

2. 関連研究

2.2 カメラネットワークを用いた位置検出システムの例



人物位置検出システム

- 人物位置検出システムのQoS
 - パラメータの変更, リソース量の変動により, 出力(位置情報)の品質が変化
 - 利用可能なリソース量は, 出力品質の変化に伴い変動

2013/2/25

第11回 情報シナジー研究会

6

2.3 従来研究

■ カメラネットワークシステムのリソース消費量制御

- 映像中のオブジェクトの移動方向を推定 [6][9]
→ 撮影に使用するカメラ台数を制御し消費電力を削減
- トラッキングエージェントをスマートカメラの間で移動[10]
→ カメラネットワーク全体の処理量を削減
- 映像中のオブジェクトの移動速度を推定 [6][11]
→ 各カメラでの処理量を制御し消費電力を削減

■ 問題点

- 位置情報品質に対するアプリケーションの様々な要求に対応困難
- 状況(リソース量)が変化した場合、位置情報品質の維持が困難

カメラネットワークを用いた位置検出システムに対する
QoS制御手法が必要

2013/2/25

第11回 情報シナジー研究会

7

3.1 本研究で対象とするパラメータ・位置情報品質

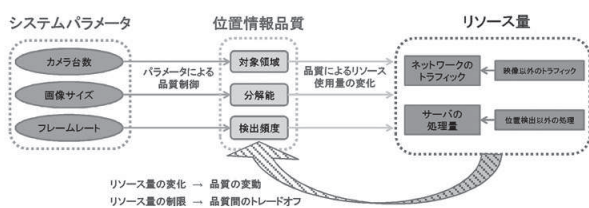
- 操作量: システムパラメータ
 - カメラ台数: 設置したカメラの中で撮影に使用する台数
 - フレームレート: カメラで映像を撮影する際のフレームレート
 - 画像サイズ: カメラで映像を撮影する際の画像サイズ
- 制御量: 位置情報品質 (目標値=アプリケーションからの要求)
 - 検出頻度: 単位時間当たりの位置情報出力回数
 - 対象領域: 位置情報を検出可能な領域の広さ
 - 分解能: 位置情報で区別可能な最小距離
- 外乱: 状況(リソース量)の変化
 - サーバの処理量
 - ネットワークのトラフィック

2013/2/25

第11回 情報シナジー研究会

8

3.2 システムパラメータと位置情報品質の関係



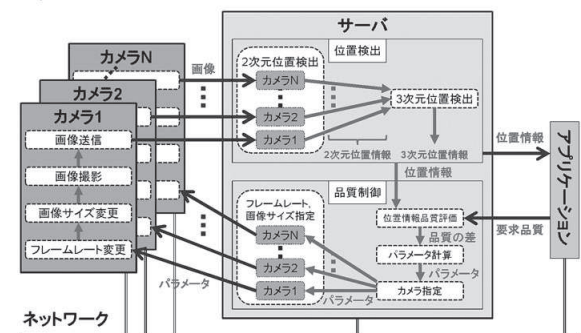
- パラメータ変更 → 品質変化 → リソース量変化 → 検出頻度変化
⇒ 検出頻度が優先の場合、フィードバック制御を実行

2013/2/25

第11回 情報シナジー研究会

9

3.3 システム構成



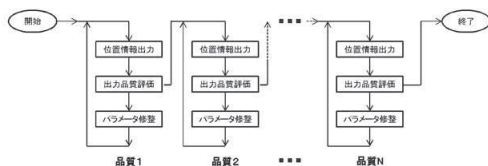
2013/2/25

第11回 情報シナジー研究会

10

3.4 システムパラメータの制御

1. 各品質に対し、優先度と目標値を設定
2. 優先度が高い品質から順に関連するパラメータを修整
 - a. 目標値に到達しない場合、パラメータの修整と位置情報の出力を反復
 - b. 以下の場合、修整を終了し、優先度が次に高い品質の制御に移行
 - 品質が目標値に到達した場合
 - 品質が変化しない場合
 - より優先度の高い品質で目標値との差が増加する場合



2013/2/25

第11回 情報シナジー研究会

11

3.5 品質の種類による制御

- キャリブレーション
 - 事前の計測でパラメータと品質の関係を推定
- 品質(検出頻度)の制御
 - 出力と目標値で検出頻度を評価
 - キャリブレーションの結果に基づき、差が縮小するようパラメータを修整
 - フレームレートを修整
 - 対象領域、分解能の優先度が低い場合 → カメラ台数、画像サイズを修整
- 品質(対象領域、分解能)の制御
 - 対象領域 - カメラ台数の関係に基づき、パラメータを修整
 - 分解能 - 画像サイズの関係に基づき、パラメータを修整
 - 検出頻度の優先度が高い場合
 - 出力と目標値で検出頻度の差が縮小するようパラメータを修整

2013/2/25

第11回 情報シナジー研究会

12

4.1 実験環境

■ 実験環境

- CPU, RAM: Intel Core i7 870 @ 2.93GHz, 8.0 GB
- ネットワーク帯域: 100Mbps
- 2次元位置検出手法:
OpenCV Histogram of Oriented Gradient (HOG) for Human Detection[8]
- サンプル映像: "EPFL" data set: Multi-camera Pedestrian Videos (<http://cvlab.epfl.ch/data/pom/>)
 - Terrace sequences
 - seq.1 cam.0~3,
 - seq.2 cam.0~3
 - 25 fps
 - 画像サイズ 360x288画素
(倍率: 0.4~2.0 → 画素数: 144x115~720x576)



2013/2/25

第11回 情報シナジー研究会

13

4.2 実験1: 要求品質の変更への対応

■ 目的

- 要求品質の変更に対する提案(QoS制御)手法の有効性を評価
- キャリブレーションの結果を用いたQoS制御の有効性を評価

■ 方法

実験1-a: キャリブレーションの例

- 画像サイズ-最大検出頻度の関係をカメラ8台の場合について計測
- 計測結果を用いて、同様の関係をカメラ1~7台の場合について推定

実験1-b: 品質の目標値変更への対応

- 各品質に対する優先度: 検出頻度 > 対象領域 > 分解能
- 品質(検出頻度)の目標値: 2 → 6 → 22 (回/sec)

実験1-c: 各品質の優先度変更への対応

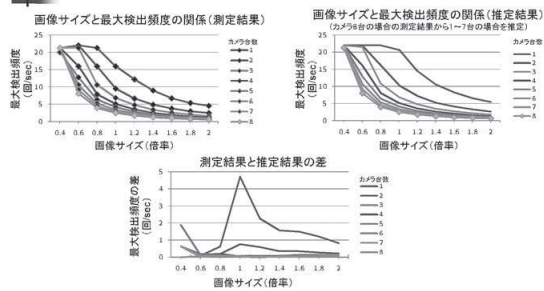
- 各品質の優先度: 分解能 > 検出頻度 > 対象領域
→ 検出頻度 > 対象領域 > 分解能
→ 対象領域 > 分解能 > 検出頻度

2013/2/25

第11回 情報シナジー研究会

14

4.2 実験1-a: キャリブレーションの例



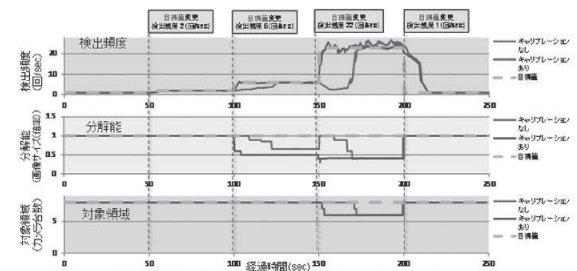
- カメラ8台の場合の計測結果から、異なるカメラ台数での関係を推定可能
⇒ 推定結果(画像サイズと最大検出頻度の関係)をQoS制御に利用

2013/2/25

第11回 情報シナジー研究会

15

4.2 実験1-b: 品質の目標値変更への対応



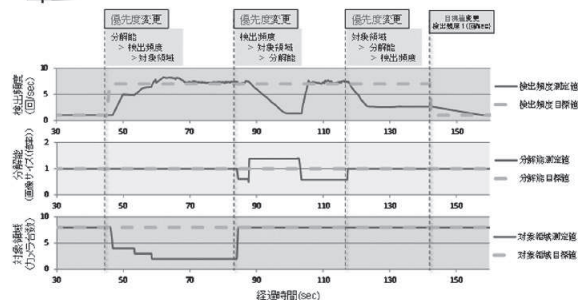
- パラメータを動的に制御し目標値の変更に対応(P1の解決)
(パラメータ制御のみでは対応できない場合、優先度の低い品質の目標値を変更)
- キャリブレーションの結果を用いることで制御時間短縮

2013/2/25

第11回 情報シナジー研究会

16

4.2 実験1-c: 各品質の優先度変更への対応



- 優先度の低い品質の目標値を変更し、優先度の変更に対応(P1の解決)

2013/2/25

第11回 情報シナジー研究会

17

4.3 実験2: 状況の変化への対応

■ 目的

- サーバ負荷の変化に対するQoS制御の有効性を評価
- ネットワーク負荷の変化に対するQoS制御の有効性を評価

■ 方法

- 優先度: 検出頻度 > 対象領域 > 分解能
- 目標値: 検出頻度=7(回/sec)
(カメラ台数8台, 画像サイズ360x288画素(倍率1))

実験2-a: CPU負荷の変化への対応

- 外乱として50%のCPU負荷を発生

実験2-b: ネットワーク負荷の変化への対応

- 外乱として66.6Mbpsのネットワークのトラフィックを発生

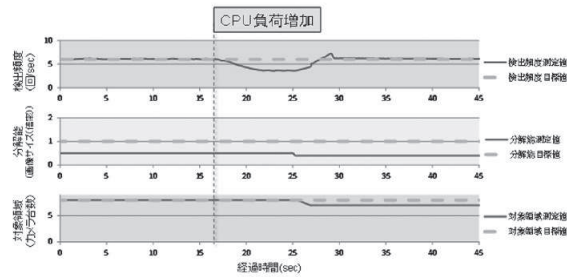
2013/2/25

第11回 情報シナジー研究会

18

4. 評価実験

4.3 実験2-a: CPU負荷の変化への対応



- CPU負荷が増加した場合、パラメータの制御と、優先度の低い品質の目標値を変更することで、検出頻度を維持(P2の解決)

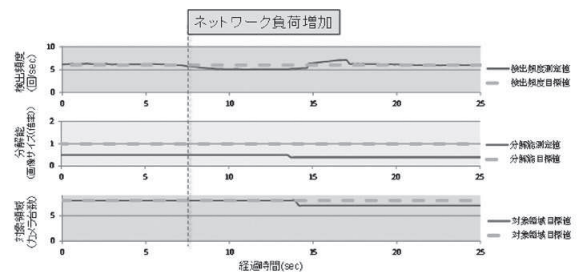
2013/2/25

第11回 情報シナジー研究会

19

4. 評価実験

4.3 実験2-b: ネットワーク負荷の変化への対応



- ネットワークの負荷が増加した場合、パラメータの制御と、優先度の低い品質の目標値を変更することで、検出頻度を維持(P2の解決)

2013/2/25

第11回 情報シナジー研究会

20

5 結論

■ 目的

- カメラネットワークで得られる映像を用い、アプリケーションが要求する様々な品質の位置情報を安定に出力するシステムの実現

■ 課題

- (P1) 出力 (位置情報) の品質に対する要求はアプリケーション毎に異なる
- (P2) 出力の品質は状況により変動。出力の品質間にはトレードオフが発生

■ 提案

- 位置情報の品質に対する要求の違いや状況の変化に対応するために、システムのパラメータを動的に制御する手法

■ 今後の課題

- 他の品質 (精度等) やリソース (消費電力等) を考慮した制御手法の開発
- 複数の位置検出手法を要求品質や状況に応じ交換する手法の開発

2013/2/25

第11回 情報シナジー研究会

21

参考文献

- [1] M. Shoaib, T. Elbrandt, R. Dragon, J. Ostermann, "Altcare: Safe living for elderly people," *2010 4th International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare (PervasiveHealth)*, pp.1-4, 22-25 March 2010
- [2] K. Jeong, J. Won, C. Bae, "User activity recognition and logging in distributed Intelligent Gadgets," *MFI 2008. IEEE International Conference on Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems*, pp.683-686, 20-22 Aug. 2008
- [3] F. Yan, S. Liu, "Research on monitoring hiding technology in protection system," *2011 3rd Symposium on Web Society (SWS)*, pp.158-161, 26-28 Oct. 2011
- [4] H. Noguchi, T. Suganuma, T. Kinoshita, "Perceptual Integration of Real-Space and Virtual-Space Based on Symbiotic Reality," *1st International Workshop on Symbiotic Computing and Multiagent Systems (SCMAS2010)*, 2010.11.
- [5] B. Jiang et al., "Energy efficient sleep scheduling in sensor networks for multiple target tracking," *4th Int. Conf. Distributed Computing in Sensor Systems*, pp.498-509 (2008).
- [6] M. Casares, S. Velipasalar, "Adaptive Methodologies for Energy-Efficient Object Detection and Tracking With Battery-Powered Embedded Smart Cameras," *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, vol.21, no.10, pp.1438-1452, Oct. 2011

2013/2/25

第11回 情報シナジー研究会

22

参考文献

- [7] H. Takahashi, K. Yamanaka, S. Izumi, Y. Tokairin, T. Suganuma, N. Shiratori, "Gentle Supervisory System based on Integration of Environmental Information and Social Knowledge," *International Journal of Pervasive Computing and Communications*, Vol.6, No.2, pp.229-247, 2010.09.
- [8] N. Dalal, B. Triggs, "Histograms of oriented gradients for human detection," *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2005.*, pp.886-893 vol. 1, 25-25 June 2005
- [9] B. Jiang, K. Han, B. Ravindran, and H. Cho, "Energy efficient sleep scheduling based on moving directions in target tracking sensor network," *IEEE IPDPS*, 2008.
- [10] M. Bramberger, A. Doblender, A. Maier, B. Rinner, H. Schwabach, "Distributed embedded smart cameras for surveillance applications," *Computer*, vol.39, no.2, pp. 68-75, Feb. 2006
- [11] M. Casares and S. Velipasalar, "Resource-efficient salient foreground detection for embedded smart cameras," in *Proc. IEEE Int. Conf. AVSS*, Aug. 2010, pp. 369-375.
- [12] R. Steinmetz and K. Nahrstedt, *Multimedia Systems*, Springer, 2004.

2013/2/25

第11回 情報シナジー研究会

23

A Faster Phase-Only Correlation-Based Method for Estimations of Translations, Rotation and Scaling in Images

Xiaoyong Zhang^{a,*}, Noriyasu Homma^a, Kei Ichiji^b, Makoto Abe^b, Norihiro Sugita^c, Makoto Yoshizawa^a

^a*Research Division on Advanced Information Technology, Cyberscience Center, Tohoku University, Sendai, Japan.*

^b*Department of Electrical and Communication Engineering, Graduate School of Engineering, Tohoku University, Sendai, Japan.*

^c*Department of Management Science and Technology, Tohoku University, Sendai, Japan*

Abstract

This paper presents a faster phase-only correlation (POC)-based method for estimations of translations, rotation, and scaling in images. Conventional POC-based methods for translations, rotation, and scaling estimations are computationally expensive since these methods need the two-dimensional (2-D) discrete Fourier transform (DFTs) seven times. To reduce the computational cost, we propose a new method that decomposes the 2-D POC of images into two one-dimensional (1-D) POCs of image projections to estimate the translations between two images. Combined with a log-polar transform, the proposed method is extended to scaling and rotation estimations. Compared with conventional POC-based methods with complexity of $O(N^2 \log_2 N)$, the proposed method performs in a lower complexity of $O(N \log_2 N)$. Experimental results demonstrate that the proposed method is capable of estimating large translations, rotation and scaling in images, and its accuracy is comparable to that of the conventional 2-D POC-based methods. The experimental results also show that the computational cost of the proposed method is much lower than that of the conventional 2-D POC-based methods.

Keywords: image registration, translations, rotation, scaling, phase-only correlation, log-polar transform

*Corresponding author

Email addresses: xiaoyong@ieee.org (Xiaoyong Zhang), homma@ieee.org (Noriyasu Homma), ichiji@yoshizawa.ecei.tohoku.ac.jp (Kei Ichiji), abe@yoshizawa.ecei.tohoku.ac.jp (Makoto Abe), sugita@yoshizawa.ecei.tohoku.ac.jp (Norihiro Sugita), yoshizawa@yoshizawa.ecei.tohoku.ac.jp (Makoto Yoshizawa)

A Faster Phase-Only Correlation (POC)-Based Method for Estimations of Translations, Rotation and Scaling in Images

○ Xiaoyong ZHANG ⁽¹⁾, Noriyasu HOMMA ⁽¹⁾, Kei ICHIJI ⁽²⁾,
Makoto ABE ⁽²⁾, Norihiro SUGITA ⁽²⁾, and Makoto YOSHIZAWA ⁽¹⁾

¹ Cyberscience Center, Tohoku University
² Graduate School of Engineering, Tohoku University

Background

1

- Image registration: align images of the same scene
- Critical task is to estimate translations, rotation, and scaling in images.
- Phase-Only Correlation (POC)-based method



Registration of aerial images

Contents

2

- Background
- Previous Work
 - Phase-only correlation (POC)
 - Translations, rotation and scaling estimations using 2-D POC
- Proposed Method
 - 1-D POCs of image projection for translations estimation
 - Extension of 1-D POCs for rotation and scaling estimations
- Experimental Results
- Conclusions

Phase-Only Correlation (POC)

3

- Fourier shift theorem

$$\text{Spatial domain: } I_1(n_1, n_2) = I_2(n_1 - \tau_1, n_2 - \tau_2)$$

$$\text{Frequency domain: } F_1(k_1, k_2) = F_2(k_1, k_2) e^{-j2\pi \left(\frac{k_1 \tau_1}{N_1} + \frac{k_2 \tau_2}{N_2} \right)}$$

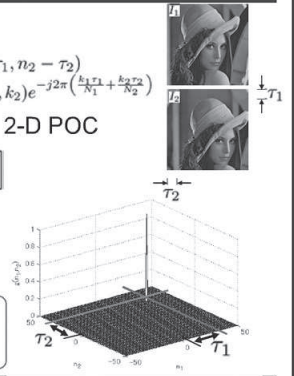
- Translations estimation using 2-D POC

$$g(n_1, n_2) = \text{IDFT} \left[\frac{F_1(k_1, k_2)}{|F_1(k_1, k_2)|} \frac{F_2^*(k_1, k_2)}{|F_2^*(k_1, k_2)|} \right]$$

$$= \text{IDFT} \left[e^{j2\pi \left(\frac{k_1 \tau_1}{N_1} + \frac{k_2 \tau_2}{N_2} \right)} \right]$$

$$= \begin{cases} 1, & (n_1, n_2) = (-\tau_1, -\tau_2) \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

Translations (τ_1, τ_2) can be estimated by locating the peak of the 2-D POC of two images.



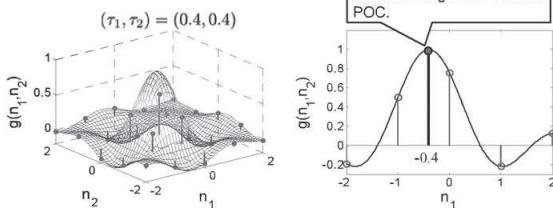
Sub-pixel Translations Estimation

4

- Extension of POC to sub-pixel translations estimation[†]

$$g(n_1, n_2) = \text{IDFT} \left[e^{j2\pi \left(\frac{k_1 \tau_1}{N_1} + \frac{k_2 \tau_2}{N_2} \right)} \right]$$

$$\approx \text{sinc}(n_1 + \tau_1) \text{sinc}(n_2 + \tau_2)$$



[†] H. Foroosh, et al., "Extension of phase correlation to sub-pixel registration," *IEEE Trans. on Image Process.*, 2002.

Translations, Rotation and Scaling in Images

5

- Spatial domain:

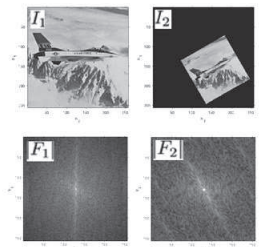
$$I_1(n_1, n_2) = I_2(Sn_1 \cos \theta_0 - Sn_2 \sin \theta_0 - \tau_1, \\ Sn_1 \sin \theta_0 + Sn_2 \cos \theta_0 - \tau_2)$$

S : scaling factor θ_0 : rotation angle
 (τ_1, τ_2) : translations

- Frequency domain:

$$|F_1(k_1, k_2)| = \frac{1}{S^2} \left| F_2 \left(\frac{k_1}{S} \cos \theta_0 - \frac{k_2}{S} \sin \theta_0, \right. \right. \\ \left. \left. \frac{k_1}{S} \sin \theta_0 + \frac{k_2}{S} \cos \theta_0 \right) \right|$$

$|F_1|$ is a rotated and scaled replica of $|F_2|$ with rotation angle θ_0 and scaling factor $1/S$, and both spectra share the same center of rotation regardless the translations are present in images.



Convert Rotation and Scaling into Translations

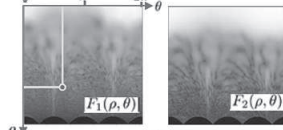
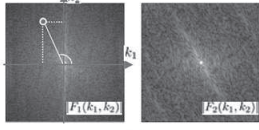
6

Log-polar transform

$$|F_1(k_1, k_2)| = \frac{1}{S^2} \left| F_2 \left(\frac{k_1}{S} \cos \theta_0 - \frac{k_2}{S} \sin \theta_0, \frac{k_1}{S} \sin \theta_0 + \frac{k_2}{S} \cos \theta_0 \right) \right|$$

$$|F_1(\rho, \theta)| = \frac{1}{S^2} |F_2(\rho - \log S, \theta + \theta_0)|$$

Can be solved by POC.



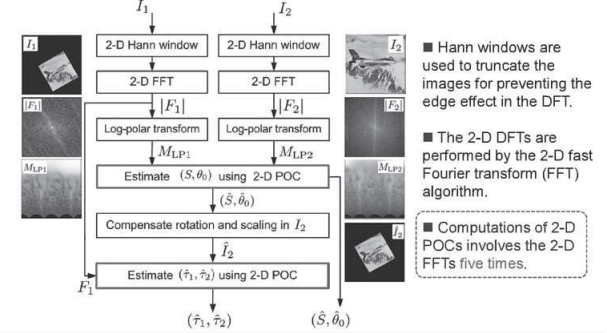
$$\begin{cases} \rho = \log(\sqrt{k_1^2 + k_2^2}) \\ \theta = \arctan(k_2/k_1) \end{cases}$$

Convert the rotation and scaling into translations by representing the spectra $|F_1|$ and $|F_2|$ in log-polar grids

Estimations of Translations, Rotation and Scaling

7

Computational procedure



Decomposition of 2-D POC into 1-D POCs

8

2-D POC of images

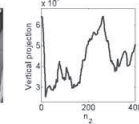
$$g(n_1, n_2) = \text{IDFT} \left[\frac{F_1(k_1, k_2)}{|F_1(k_1, k_2)|} \frac{F_2^*(k_1, k_2)}{|F_2^*(k_1, k_2)|} \right] = \begin{cases} 1, & (n_1, n_2) = (-\tau_1, -\tau_2) \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

Case 1: $k_1 = 0$

$$g_v(n_2) = \text{IDFT} \left[\frac{F_1(0, k_2)}{|F_1(0, k_2)|} \frac{F_2^*(0, k_2)}{|F_2^*(0, k_2)|} \right] = \begin{cases} 1, & n_2 = -\tau_2 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$F_1(0, k_2) = \sum_{n_2=0}^{N_2-1} \left[\sum_{n_1=0}^{N_1-1} I_1(n_1, n_2) \right] e^{-j2\pi \frac{k_2 n_2}{N_2}}$$

$$F_2(0, k_2) = \sum_{n_2=0}^{N_2-1} \left[\sum_{n_1=0}^{N_1-1} I_2(n_1, n_2) \right] e^{-j2\pi \frac{k_2 n_2}{N_2}}$$



$g_v(n_2)$ is the 1-D POC of the image projections along the vertical direction.

Decomposition of 2-D POC into 1-D POCs

9

2-D POC of images

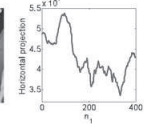
$$g(n_1, n_2) = \text{IDFT} \left[\frac{F_1(k_1, k_2)}{|F_1(k_1, k_2)|} \frac{F_2^*(k_1, k_2)}{|F_2^*(k_1, k_2)|} \right] = \begin{cases} 1, & (n_1, n_2) = (-\tau_1, -\tau_2) \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

Case 2: $k_2 = 0$

$$g_h(n_1) = \text{IDFT} \left[\frac{F_1(k_1, 0)}{|F_1(k_1, 0)|} \frac{F_2^*(k_1, 0)}{|F_2^*(k_1, 0)|} \right] = \begin{cases} 1, & n_1 = -\tau_1 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$F_1(k_1, 0) = \sum_{n_1=0}^{N_1-1} \left[\sum_{n_2=0}^{N_2-1} I_1(n_1, n_2) \right] e^{-j2\pi \frac{k_1 n_1}{N_1}}$$

$$F_2(k_1, 0) = \sum_{n_1=0}^{N_1-1} \left[\sum_{n_2=0}^{N_2-1} I_2(n_1, n_2) \right] e^{-j2\pi \frac{k_1 n_1}{N_1}}$$

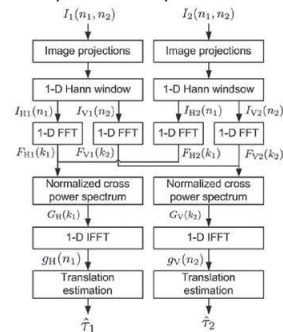


$g_h(n_1)$ is the 1-D POC of the image projections along the horizontal direction.

Estimations of Translations Using 1-D POCs

10

Computational procedure



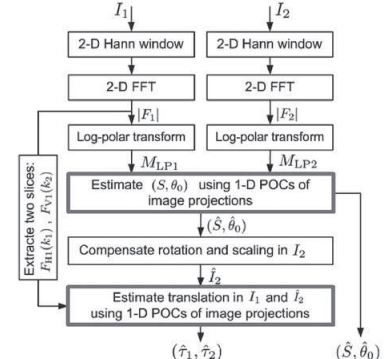
■ Hann windows are used to truncate the images for preventing the edge effect in the DFT.

■ The 1-D DFTs are performed by the 1-D fast Fourier transform (FFT) algorithm.

■ Computations of 1-D POCs involves the 1-D FFTs six times.

Estimations of Translations, Rotation, and Scaling

11



Analysis of Computational Cost

12

Table 1: Theoretical numbers of arithmetic operations (additions, multiplications, divisions and square roots) involved in POC computation.

		2-D POC-based methods [†]	Proposed method
Projection	Add	0	$6 \times (N - 1)$
Hann Window	Mul	$3 \times N^2$	$6 \times N$
FFTs	Mul	$3 \times N^2 \log_2 N$	$6 \times \frac{N}{2} \log_2 N$
	Add	$3 \times 2N^2 \log_2 N$	$6 \times N \log_2 N$
NCPS	Mul	$2 \times N^2$	$4 \times N$
	Div	$2 \times N^2$	$4 \times N$
	Sqrt	$2 \times N^2$	$4 \times N$
IFFTs	Mul	$2 \times N^2 \log_2 N$	$4 \times \frac{N}{2} \log_2 N$
	Add	$2 \times 2N^2 \log_2 N$	$4 \times N \log_2 N$

Mul: Multiplication, Add: Addition, Div: Division, Sqrt: Square root.
NCPS: Normalized Cross Power Spectrum.

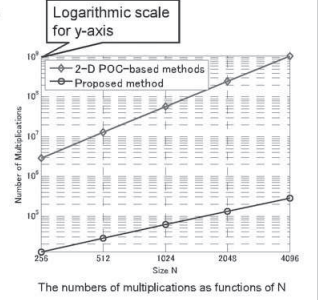
[†] K. Takita, et. al, High-accuracy subpixel image registration based on phase-only correlation, *IEICE Transactions*, 2003.

Analysis of Computational Cost (2)

13

Table 1: Computational cost when $N = 512$.

	2-D POC-based methods [†]	Proposed method
Add	23,592,960 (100%)	49,146 (0.21%)
Mul	13,107,200 (100%)	28,160 (0.20%)
Div	524,288 (100%)	2,048 (0.39%)
Sqrt	524,288 (100%)	2,048 (0.39%)



[†] K. Takita, et. al, High-accuracy subpixel image registration based on phase-only correlation, *IEICE Transactions*, 2003.

Experimental Data

14

	Original image	Rotated, scaled, and translated images			
<i>Lena</i> (512 × 512)					
<i>F16</i> (512 × 512)					
<i>Pentagon</i> (1024 × 1024)					
<i>Head CT</i> (1024 × 1024)					

Experimental Results

15

■ *Lena* (512 × 512)

Table 1: Experimental results on the image *Lena*.

	Actual parameters	2-D POC-based method [†]	Proposed method
	$S = 0.875$ $\theta_0 = 120^\circ$ $(\tau_1, \tau_2) = (0, 0)$	$\hat{S} = 0.878$ $\hat{\theta}_0 = 119.82^\circ$ $(\hat{\tau}_1, \hat{\tau}_2) = (-0.51, 0.05)$	$\hat{S} = 0.872$ $\hat{\theta}_0 = 119.74^\circ$ $(\hat{\tau}_1, \hat{\tau}_2) = (-0.18, -0.45)$
	$S = 0.500$ $\theta_0 = 60^\circ$ $(\tau_1, \tau_2) = (10, 20)$	$\hat{S} = 0.498$ $\hat{\theta}_0 = 60.13^\circ$ $(\hat{\tau}_1, \hat{\tau}_2) = (9.78, 20.48)$	$\hat{S} = 0.5000$ $\hat{\theta}_0 = 60.16^\circ$ $(\hat{\tau}_1, \hat{\tau}_2) = (9.69, 19.59)$
	$S = 0.350$ $\theta_0 = 30^\circ$ $(\tau_1, \tau_2) = (3, 9)$	$\hat{S} = 0.346$ $\hat{\theta}_0 = 29.91^\circ$ $(\hat{\tau}_1, \hat{\tau}_2) = (2.72, 8.16)$	$\hat{S} = 0.350$ $\hat{\theta}_0 = 29.90^\circ$ $(\hat{\tau}_1, \hat{\tau}_2) = (2.78, 8.19)$

[†] K. Takita, et. al, High-accuracy subpixel image registration based on phase-only correlation, *IEICE Transactions*, 2003.

Experimental Results

16

■ *F16* (512 × 512)

Table 1: Experimental results on the image *F16*.

	Actual parameters	2-D POC-based method [†]	Proposed method
	$S = 0.900$ $\theta_0 = 95^\circ$ $(\tau_1, \tau_2) = (0, 0)$	$\hat{S} = 0.905$ $\hat{\theta}_0 = 94.67^\circ$ $(\hat{\tau}_1, \hat{\tau}_2) = (-0.43, 0.31)$	$\hat{S} = 0.898$ $\hat{\theta}_0 = 94.68^\circ$ $(\hat{\tau}_1, \hat{\tau}_2) = (-1.22, 0.45)$
	$S = 0.700$ $\theta_0 = 25^\circ$ $(\tau_1, \tau_2) = (3, 15)$	$\hat{S} = 0.697$ $\hat{\theta}_0 = 25.02^\circ$ $(\hat{\tau}_1, \hat{\tau}_2) = (3.10, 15.65)$	$\hat{S} = 0.697$ $\hat{\theta}_0 = 25.03^\circ$ $(\hat{\tau}_1, \hat{\tau}_2) = (2.58, 15.37)$
	$S = 0.500$ $\theta_0 = 10^\circ$ $(\tau_1, \tau_2) = (20, 5)$	$\hat{S} = 0.498$ $\hat{\theta}_0 = 10.09^\circ$ $(\hat{\tau}_1, \hat{\tau}_2) = (19.68, 4.80)$	$\hat{S} = 0.499$ $\hat{\theta}_0 = 10.13^\circ$ $(\hat{\tau}_1, \hat{\tau}_2) = (19.69, 4.80)$

[†] K. Takita, et. al, High-accuracy subpixel image registration based on phase-only correlation, *IEICE Transactions*, 2003.

Experimental Results

17

■ *Pentagon* (1024 × 1024)

Table 1: Experimental results on the image *Pentagon*.

	Actual parameters	2-D POC-based method [†]	Proposed method
	$S = 0.800$ $\theta_0 = 80^\circ$ $(\tau_1, \tau_2) = (0, 0)$	$\hat{S} = 0.797$ $\hat{\theta}_0 = 80.24^\circ$ $(\hat{\tau}_1, \hat{\tau}_2) = (0.23, -0.50)$	$\hat{S} = 0.802$ $\hat{\theta}_0 = 80.22^\circ$ $(\hat{\tau}_1, \hat{\tau}_2) = (0.16, -1.01)$
	$S = 0.600$ $\theta_0 = 45^\circ$ $(\tau_1, \tau_2) = (7, 25)$	$\hat{S} = 0.599$ $\hat{\theta}_0 = 45.11^\circ$ $(\hat{\tau}_1, \hat{\tau}_2) = (6.73, 25.76)$	$\hat{S} = 0.600$ $\hat{\theta}_0 = 45.12^\circ$ $(\hat{\tau}_1, \hat{\tau}_2) = (6.81, 25.15)$
	$S = 0.300$ $\theta_0 = 5^\circ$ $(\tau_1, \tau_2) = (18, 6)$	$\hat{S} = 0.299$ $\hat{\theta}_0 = 4.77^\circ$ $(\hat{\tau}_1, \hat{\tau}_2) = (17.72, 5.54)$	$\hat{S} = 0.299$ $\hat{\theta}_0 = 4.77^\circ$ $(\hat{\tau}_1, \hat{\tau}_2) = (17.14, 5.78)$

[†] K. Takita, et. al, High-accuracy subpixel image registration based on phase-only correlation, *IEICE Transactions*, 2003.

Experimental Results

18

■ Head CT (1024 × 1024)

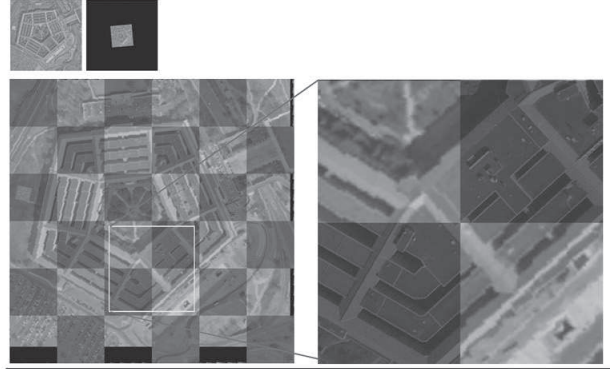
Table 1: Experimental results on the image *Head CT*.

Actual parameters	2-D POC-based method [†]	Proposed method
 $S = 0.875$ $\theta_0 = 110^\circ$ $(\tau_1, \tau_2) = (0, 0)$	$\hat{S} = 0.877$ $\hat{\theta}_0 = 109.86^\circ$ $(\hat{\tau}_1, \hat{\tau}_2) = (-0.62, 0.23)$	$\hat{S} = 0.871$ $\hat{\theta}_0 = 109.81^\circ$ $(\hat{\tau}_1, \hat{\tau}_2) = (0.16, 1.14)$
 $S = 0.700$ $\theta_0 = 50^\circ$ $(\tau_1, \tau_2) = (8, 22)$	$\hat{S} = 0.699$ $\hat{\theta}_0 = 50.06^\circ$ $(\hat{\tau}_1, \hat{\tau}_2) = (7.93, 22.11)$	$\hat{S} = 0.698$ $\hat{\theta}_0 = 50.07^\circ$ $(\hat{\tau}_1, \hat{\tau}_2) = (7.50, 22.57)$
 $S = 0.400$ $\theta_0 = 20^\circ$ $(\tau_1, \tau_2) = (20, 5)$	$\hat{S} = 0.400$ $\hat{\theta}_0 = 19.87^\circ$ $(\hat{\tau}_1, \hat{\tau}_2) = (20.10, 4.92)$	$\hat{S} = 0.400$ $\hat{\theta}_0 = 19.83^\circ$ $(\hat{\tau}_1, \hat{\tau}_2) = (19.53, 4.30)$

[†] K. Takita, et. al, High-accuracy subpixel image registration based on phase-only correlation, *IEICE Transactions*, 2003.

Checkerboard Alignment

19



Computational Time Cost

20

■ Computational Time Cost

- MATLAB 2012b with Window 7 Pro
- Intel(R) Corei7 @ 3.30GHz

Table 1: Average computational time [sec./image pair] in rotation, scaling, and translations estimation.

Image resolution	2-D POC-based method [†]	Proposed method
(<i>Lena</i> , <i>F16</i>)	0.22	0.10
512 × 512	(100%)	(45.5%)
(<i>Head CT</i> , <i>Pentagon</i>)	0.44	0.19
1024 × 1024	(100%)	(43.2%)

[†] K. Takita, et. al, High-accuracy subpixel image registration based on phase-only correlation, *IEICE Transactions*, 2003.

Conclusion

21

- A faster POC-based method for image registration
 - Decomposition of 2-D POC of images into 1-D POCs of image projection for translations estimation
 - Extension of translations estimation to rotation and scaling estimations
 - Reduction of computational cost from $O(N^2 \log_2 N)$ to $O(N \log_2 N)$
- Experimental results demonstrated the effectiveness of proposed method in terms of accuracy and computational cost