

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 6月22日現在

機関番号：13903

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21700028

研究課題名（和文） 自動解像度調整機能を備える動画画像処理環境

研究課題名（英文） A Media Processing Framework with Auto Resolution Adjustability

研究代表者

津邑 公暁（TSUMURA TOMOAKI）

名古屋工業大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：00335233

研究成果の概要（和文）：

実行時に処理解像度を自動的に変動可能な動画画像処理ライブラリ、および、処理解像度をユーザに意識させないための動画画像処理記述フレームワークを提案・実装した。自動解像度調整により、リアルタイム処理の記述が容易になった。また、新しい記述フレームワークにより、画像における画素、動画画像におけるフレームといった、処理対象の単位が明確になることで、効率的な自動並列化も実現した。この自動並列化の枠組みでは、ユーザに特殊な記述を要求することなく、マルチスレッドによる並列処理はもちろんのこと、GPU、Cell/B.E.などの特殊な環境を使用するための処理を自動的に生成することを可能とした。

研究成果の概要（英文）：

I have proposed and implemented (1) a media processing library which can change processing resolutions (special/temporal resolutions) and (2) a programming framework which can conceal pixels and frames from programmers. The library allows programmers to write real-time video processing applications easily, and the programming framework allows the library to parallelize video processing automatically. With this auto-parallelization framework, programmers can benefit from multi-threading, GPUs and Cell/B.E. without using any libraries or notations for them.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2010年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2011年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・ソフトウェア

キーワード：計算機システム、動画画像処理、プログラミング言語、ライブラリ、自動並列化

1. 研究開始当初の背景

動画像処理アプリケーションは携帯電話等でも扱えることが必須となりつつあり、携帯端末から汎用 PC まで幅広いプラットフォームで動作させる必要がある一方で、それぞれのプラットフォーム上で効率的に動作させるには、集積度向上によって複雑化しつつあるプロセッサアーキテクチャ・メモリアーキテクチャに対する深い知識が必要である。またプラットフォーム毎に、処理精度やバッテリー持続時間等、重要視される要求性能ポイントが異なるため、これも考慮しつつアプリケーション開発を行う必要がある。これらはプログラマにとって大きな負担となっている。

そこで本研究では、ユーザが予め指定した優先度パラメータに基づき、解像度（時間解像度・空間解像度）を動的かつ透過的に変動させることを可能にする動画像処理環境を提供する。これにより単一のプログラムを様々なプラットフォームに対応させることが容易となり、また要求性能ポイントの差異も吸収し易くなる。また、解像度を動的に変更するためにはプログラマから解像度情報を隠蔽する必要があるが、これはプログラマにとって障害とはならず、むしろ本来人間の映像認識過程には存在しない「画素」「フレーム」などの概念から開放されることで、より直感的なプログラミングが可能となる。

## 2. 研究の目的

本研究の主旨は「実行時の解像度自動変動と、プログラマからの解像度の隠蔽」である。まず解像度の自動変動により、以下の2点が可能となる。

- リアルタイム性が要求される動画像処理において、自動的に解像度（時間解像度・空間解像度）を低減させることで、高負荷時にも擬似リアルタイム処理を実現する。
- 入力動画像に変化が現れない場合などに自動的に解像度を低減させることで、処理による消費電力を削減する。

また、解像度の隠蔽により、以下の2点が可能となる。

- 本来、人間の映像認識過程に存在しない「画素」「フレーム」の概念を排除することで、より直感的な動画像処理プログラミングへのパラダイム転換。
- 動画像処理中の繰り返し処理単位が明確になることで、プログラム中のデータ並列性や処理並列性の抽出を容易とする。

以上より、動的に解像度を変動させる動画像処理ライブラリおよび解像度記述を排除する動画像処理記述言語を、研究期間内に実現する。動画像処理ライブラリは実行環境の負荷状況に応じて解像度を低減させることでリアルタイム性を疑似的に保証すること、

および、入力動画像の変化を検出して変動のない場合に解像度を低減させることで省電力化を図る機能を有する。また動画像処理記述言語は解像度を隠蔽する仕様を持ち、トランスレータによって動画像処理ライブラリを使用する C++ プログラムに変換される。一般に動画像処理はさまざまな粒度での並列化が可能である。

たとえば人物検出では2値化、エッジ抽出、ハフ変換などの一連の処理がパイプライン化可能であり、各ステージの処理もデータ並列性を持っている。トランスレータは、ユーザの使用環境に適した並列化を、パイプライン化、マルチスレッディング、SIMD 等を用いて施す機能を有する。

## 3. 研究の方法

まず、自動的に解像度を変動させることができる動画像処理ライブラリ、および解像度情報をプログラマから隠蔽する動画像処理記述言語の仕様を固め、トランスレータおよびライブラリの実装を行った。

ライブラリには、まず負荷状況に応じて解像度を変動させる機能を実装した。具体的には、入力動画像ストリームに対して出力フレームレートが低下してしまう場合を検出し、解像度（処理画素数または処理フレーム数）を低減させる。また、自動省電力化機能も実装した。動物体が現れない場合は自動的に解像度を低減させることで処理量を削減する機能を実現した。また、代表的な動画像処理アプリケーションをパイプライン処理で実際に動作させ、汎用的で適切なパイプライン化の枠組みを模索した。

並行して、解像度非依存型動画像処理記述言語の仕様を決定した。トランスレータの際にデータ並列性や他の並列性を抽出し易くなるよう言語仕様を決定する必要があった。特に解像度を隠蔽することにより画素単位やフレーム単位の繰り返し処理を、ループを使用せずに記述する枠組みを考える必要があった。

ストリーミング動画像処理や画像認識処理においては、一連の処理を複数ステージに分割し、これをパイプライン的に実行可能であるものが多いため、複数計算機や複数プロセッサを用いたパイプライン処理が有効である。そこで、解像度非依存型動画像処理記述言語に対し、ユーザ定義関数をパイプラインステージとして容易に実現可能とする記法、およびパイプラインを容易にドライブ可能とする記法を実装した。

また、策定した記述言語仕様に基づいて記述されたプログラムを、解像度変動ライブラリを用いた C++ プログラムに変換するトランスレータを実装した。トランスレータには、

上記パイプラインステージを、MPI やマルチスレッディングにより計算機やプロセッサに自動的にマッピングする機能を実装した。

さらに、記述言語では繰り返し処理がループレスな記述として実現されているため、一般のプログラムよりもデータ並列性を抽出し易い。そこでトランスレート時にプログラム解析を行い、スレッドレベルや SIMD 命令を用いた自動並列化を実現した。さらに、GPU が利用できる環境では CUDA 等を用いたコードを出力し、Cell/B.E. 等のヘテロマルチコアプロセッサに対応したコードを出力するなど、多ターゲットプラットフォームに対応する機能も追加拡張した。

#### 4. 研究成果

2009 年度においては、自動的に解像度を変動させることができる動画像処理ライブラリ、および解像度情報をプログラマから隠蔽する動画像処理記述言語の仕様を決定し、トランスレータおよびライブラリの実装を行った。

ライブラリには、まず負荷状況に応じて解像度を変動させる機能を実装した。具体的には、入力動画像ストリームに対して出力フレームレートが低下してしまう場合を検出し、解像度（処理画素数または処理フレーム数）を低減させる。また、自動省電力化機能も実装した。動物体が現れない場合は自動的に解像度を低減させることで処理量を削減する機能を実現した。また次年度以降に備え、代表的な動画像処理アプリケーションをパイプライン処理で実際に動作させ、汎用的で適切なパイプライン化の枠組みを模索した。

一方で、解像度非依存型動画像処理記述言語の仕様を決定した。トランスレートの際にデータ並列性や他の並列性を抽出し易くなるよう言語仕様を決定した。特に解像度を隠蔽することにより画素単位やフレーム単位の繰り返し処理をループを使用せずに記述する枠組みを考案した。

2010 年度は、開発中のライブラリを GPU および Cell/B.E. に対応させることを主たる目標として研究を行った。従来はその使用に特殊な知識を必要とした GPU および Cell/B.E. におけるプログラムを、統一的な記法により記述することを可能にし、GPU 向けには CUDA コードを、また Cell/B.E. 向けには DMA 転送等を行うコードを自動的に生成・挿入することで、ユーザが意識することなく、GPU および Cell/B.E. による高速化を享受できる枠組みを実現した。評価の結果、CUDA/GPU を使用した場合には従来の RaVioli プログラムの最大約 164 倍、Cell/B.E. を使用した場合には PPE 単体による実行の

最大約 5 倍の速度向上が、ユーザによるプログラム書き換えなしで得られることを確認した。この成果は、国際会議論文 1 件、国内研究報告 1 件にまとめた。

またもう一つの研究主題として、動画フレーム内のそれぞれの領域において自動的に処理量を調整することで、フレームレートおよび処理対象領域の画素精度の両方を維持する方式を提案・実装した。具体的には、フレーム間で変化のないようなフレーム内領域は高い処理精度を必要としないと考え、それらを自動的に検出して当該領域の処理精度を低下させることで、本当に処理が必要である領域の処理精度を高く保つ方式を、開発中のライブラリに実装した。この成果は国内研究報告 1 件にまとめた。

2011 年度は、まず前年度に取り組んだ、動画フレーム内のそれぞれの領域において自動的に処理量を調整することで、フレームレートおよび処理対象領域の画素精度の両方を維持する方式に対する改良方式を実装した。フレーム間で変化のないようなフレーム内領域は高い処理精度を必要としないため、それらを自動的に検出して当該領域の処理精度を低下させることで、本当に処理が必要である領域の処理精度を高く保つ方式を、開発中のライブラリに実装した。この成果は国際会議論文 1 編にまとめた。

次に、昨年度までに実現した、GPU の性能を自動的に引き出すことが可能なライブラリフレームワークの考え方を一歩すすめ、動画像処理を記述するためのプログラミング言語を提案し、この言語で記述されたプログラムをこれまで実装したライブラリを使用する C++ プログラム形式に変換するプリプロセッサを提案・実装した。これにより、動画像処理記述の抽象度をさらに上げることができ、動画像の空間・時間解像度のみならず、GPU 利用のためのインタフェースも完全に隠蔽することができるようになり、プログラマは GPU の存在を一切意識することなく、GPU の恩恵をパフォーマンスの面で受けることができるようになった。この成果は国際会議論文 1 編にまとめた。

これら主要な成果の他にも、さまざまなプラットフォーム上におけるプログラミングを簡素化するための方式を複数、提案・実装した。ひとつは Cell/B.E. 向け開発環境である CellSs に対し、タスクを自動的に切り出す機能を追加することにより並列化単位をプログラマに意識させないようにする拡張を提案・実現した。また、従来の CellSs が持つ制約を一部取り除くことで、より多くのプログラムに対応可能とした。ふたつめは、GPU や Cell/B.E. を含む様々なバックエンドに汎

用的に適用可能なプログラミングフレームワークである OpenCL に対し、並列化単位の粒度を調節することで性能を向上させる拡張を提案・実現した。これらの結果は、国内研究会発表 2 編にまとめた。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 4 件)

- ① 【査読有り】 Katsuhiko KONDO, Ami ONO, Takafumi INABA, Tomoaki TSUMURA, Hiroshi MATSUO: "Tiling with Different Spatial Resolutions for Pseudo Real-Time Video Processing Library RaVioli", Proc. of The 7th Int'l Conf. on Signal-Image Technology and Internet-Based Systems (SITIS2011), pp.253-260 (Nov. 2011)  
DOI: 10.1109/SITIS.2011.25
- ② 【査読有り】 Ami ONO, Katsuhiko KONDO, Takafumi INABA, Tomoaki TSUMURA, Hiroshi MATSUO: "A GPU-supported High-Level Programming Language for Image Processing", Proc. of The 7th Int'l Conf. on Signal-Image Technology and Internet-Based Systems (SITIS2011), pp.245-252 (Nov. 2011)  
DOI: 10.1109/SITIS.2011.66
- ③ 【査読有り】 Katsuhiko KONDO, Takafumi INABA, Hiroko SAKURAI, Masaomi OHNO, Tomoaki TSUMURA, Hiroshi MATSUO: "RaVioli: a GPU Supported High-Level Pseudo Real-time Video Processing Library", Proc. 19th Int'l. Conf. on Computer Graphics, Visualization and Computer Vision (WSCG2011), pp.39-48 (Jan. 2011)
- ④ 【査読有り】 Hiroko SAKURAI, Masaomi OHNO, Shintaro OKADA, Tomoaki TSUMURA, Hiroshi MATSUO: "RaVioli: a Parallel Video Processing Library with Auto Resolution Adjustability", Proc. IADIS Int'l. Conf. Applied Computing 2009 (AC2009), Vol.1, pp.321-329 (Nov. 2009); Alan Hotel Mantegna (Rome, Italy)

[学会発表] (計 9 件)

- ① 澤田 晃平, 稲葉 崇文, 今井 満寿巳, 津邑 公暁, 松尾 啓志: "OpenCL における処理量自動調整によるデータ並列処理の

高速化", 情報処理学会第 74 回全国大会講演論文集, Vol.1, pp.207-208, 学生奨励賞 受賞 (Mar. 2012); 2012/03/08 名古屋工業大学 (名古屋市)

- ② Katsuhiko KONDO, Ami ONO, Takafumi INABA, Tomoaki TSUMURA, Hiroshi MATSUO: "Tiling with Different Spatial Resolutions for Pseudo Real-Time Video Processing Library RaVioli", Proc. of The 7th Int'l Conf. on Signal-Image Technology and Internet-Based Systems (SITIS2011), pp.253-260 (Nov. 2011); 2011/11/30 ブルゴーニュ大学 (Dijon, France)  
DOI: 10.1109/SITIS.2011.25
- ③ Ami ONO, Katsuhiko KONDO, Takafumi INABA, Tomoaki TSUMURA, Hiroshi MATSUO: "A GPU-supported High-Level Programming Language for Image Processing", Proc. of The 7th Int'l Conf. on Signal-Image Technology and Internet-Based Systems (SITIS2011), pp.245-252 (Nov. 2011); 2011/11/28 ブルゴーニュ大学 (Dijon, France)
- ④ 今井 満寿巳, 津邑 公暁, 松尾 啓志: "Cell/B.E.向けフレームワーク CellSs のタスク自動切り出しによる改良", 信学技報 (SWoPP2011), Vol.IEICE-111, No.IEICE-CPSY-163, pp.43-48 (Jul. 2011); 2011/07/29 かがしま県民交流センター (鹿児島市)
- ⑤ Katsuhiko KONDO, Takafumi INABA, Hiroko SAKURAI, Masaomi OHNO, Tomoaki TSUMURA, Hiroshi MATSUO: "RaVioli: a GPU Supported High-Level Pseudo Real-time Video Processing Library", Proc. 19th Int'l. Conf. on Computer Graphics, Visualization and Computer Vision (WSCG2011), pp.39-48 (Jan. 2011); 2011/02/03 西ボヘミア大学 (Plzen, Czech)
- ⑥ 稲葉 崇文, 大野 将臣, 櫻井 寛子, 津邑 公暁, 松尾 啓志: "GPU 及び Cell/B.E.に対応した解像度非依存型動画画像処理ライブラリ RaVioli の提案と実装", 信学技報 (SWoPP2010), Vol.IEICE-110, No.IEICE-CPSY-167, pp.7-12 (Aug. 2010); 2010/08/04 金沢市文化ホール (金沢市)
- ⑦ 近藤 勝彦, 大野 将臣, 津邑 公暁, 松尾 啓志: "動画画像処理ライブラリ RaVioli における領域別処理量調整の実現", 信学技報 (SWoPP2010), Vol.IEICE-110, No.IEICE-CPSY-167, pp.13-18 (Aug. 2010); 2010/08/04 金沢市文化ホール (金

- 沢市)
- ⑧ Hiroko SAKURAI, Masaomi OHNO, Shintaro OKADA, Tomoaki TSUMURA, Hiroshi MATSUO: "RaVioli: a Parallel Video Processing Library with Auto Resolution Adjustability", Proc. IADIS Int'l. Conf. Applied Computing 2009 (AC2009), Vol.1, pp.321-329 (Nov. 2009) ; 2009/11/21 Alan Hotel Mantegna (Rome, Italy)
  - ⑨ 大野 将臣, 櫻井 寛子, 津邑 公暁, 松尾 啓志: "解像度調整機能を備える並列動画処理ライブラリ RaVioli の実装", (SWoPP2009) (Aug. 2009) ; 2009/08/06 フォレスト仙台 (仙台市)

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

[その他]

ホームページ等

<http://www.matlab.nitech.ac.jp/>

## 6. 研究組織

### (1)研究代表者

津邑 公暁 (TSUMURA Tomoaki)

名古屋工業大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号 : 00335233