

機関番号：11201

研究種目：基盤研究 (C)

研究期間：2008～2010

課題番号：20500771

研究課題名 (和文) 低消費電力型クラスタ PC の試作と並列処理教育教材開発のための基礎研究

研究課題名 (英文) Prototyping of a low power consumption-cluster PC and developing educational materials related to parallel processing

研究代表者

木村 彰男 (KIMURA Akio)

岩手大学・工学部・講師

研究者番号：00281949

研究成果の概要(和文):通常動作時の消費電力が 10 ワット以下の小型クラスタ PC を試作し、このクラスタ PC 上で並列的に動作する簡易画像処理システムを開発した。さらに、このシステム構築手順を組み込みソフトウェアの観点から学べる PBL (Project Based Learning) 型の演習教材を製作し、その効果を実際の教育を通じて検証した。

研究成果の概要 (英文) : A prototype of battery-friendly small cluster PC was newly developed, whose power consumption is less than 10 watts, and a simple parallel image processing system using this cluster PC was also developed. Moreover, a project based learning-style educational material which enables the learners efficiently to learn about the procedure of constructing the system viewed from embedded software developments was produced and its educational effects were verified through the practical teaching.

交付決定額

(金額単位:円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2009年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2010年度	800,000	240,000	1,040,000
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：科学教育・教育工学・科学教育

キーワード：計算機システム、クラスタ PC、並列分散処理、画像処理工学

## 1. 研究開始当初の背景

申請者が在住している岩手県では、2003～4年頃から組み込み産業新興へ向けた取り組みが盛んに行われており、研究会やシンポジウム、各種セミナーや企業と大学の共同出展といった活動が非常に活発に行われてきた。しかし、そういった多くの活動があったにもかかわらず、IPA (情報処理推進機構) による 2007 年版組み込みソフトウェア産業実態調査

では、組み込みに関する技術を有した人材の不足が指摘されており、組み込みソフトウェア技術者の育成と品質の向上が不可欠、といった意見が圧倒的に多いという現状があった。

そもそも組み込み技術とは、ユビキタス情報化社会のインフラを整備する上でのキーテクノロジーと考えられている技術であるが、近年の組み込み機器はハードウェアが高度に複雑化してきており、組み込みソフトウェア設計開発のためには、通常の汎用 PC やハイエ

ンド PC を用いたアプリケーション開発のために必要な知識に加え、キャッシュメモリやバス帯域の制限、ハードウェア直接制御や CPU アーキテクチャに関する知識、さらにはアセンブラなどの低レベルプログラミング言語を用いた開発経験までもが必要となっていた。また、自動車、携帯電話、家電製品などにおける“部品の共通仕様化”が進んでいたため、製品の差別化を図るには組込みソフトウェア側の質で勝負しなければならず、組込みソフトウェアエンジニアに課せられる技術的なハードルはかなり高いといえる状況にあった。

さらに、次世代のユビキタス情報化社会においては、組込み機器そのものをネットワーク化・クラスタ化して小規模システムを実現する、あるいは組込み用の CPU にマルチコア CPU を導入して処理の効率化を図る、といった新しい技術が導入されることも予想されていた。この場合には、通常の（組込みに関する）技術だけでなく、ネットワーク分散処理やメモリ協調型処理といった並列処理に関する知識も不可欠となるため、組込みソフトウェアエンジニアにはますます高度な知識が要求されると考えられていた。したがって、次世代を見据えた高度な技術を有するスペシャリストを如何にして育成し、またそのための教育環境を如何に整備していくかが、我々研究教育機関に求められている緊急かつ重要な課題であった。

## 2. 研究の目的

このような背景を踏まえ、本研究では、組込み技術に長けた高度なソフトウェアエンジニアを育成するための教育プログラムを確立させることを主目的とし、特に、並列処理に関する技術を有したスペシャリストの輩出を目指した。より具体的には、並列画像処理技術を用いた組込みシステムに焦点を当て、そのシステム構築を通じて組込みソフトウェア開発の視点から効果的に技術力が身につけられるような PBL (Project Based Learning) 型の演習教材を開発することを目的とした。また、これを実現することにより、次世代技術者の育成・輩出が可能な教育基盤を整えようというのが本研究であった。

## 3. 研究の方法

本研究の目的を遂行するため、研究開始当初におおよそ次のような計画を立てて研究を進めた。

- (1) 組込み機器用の低消費電力型 CPU を複数用いた小型低消費電力クラスタ PC を試作する。

はじめに、なるべく低発熱で消費電力が低い CPU を搭載した CPU ボードを準備し、これを計算ノードとするような、小型かつ低消費電力タイプのクラスタ PC を試作する。最終的には並列処理教育用の教材作成が目的であるので、なるべく多くの計算ノードが相互にネットワーク接続された形で並列処理が実行できる、いわゆるネットワーク分散型のクラスタ PC を構築する。なお、申請者が所属する研究室で所有している既存のソフトウェア資産を最大限に活かすため、クラスタ PC の OS には Linux を採用する。

- (2) 試作クラスタ PC 専用の並列処理プログラム開発環境を構築する。

試作するクラスタ PC における一つ一つの計算ノードがもつ CPU 性能はそれほど高くないので、このクラスタ PC 上で直接的にプログラム開発作業を行うことは効率的ではない。そこで、別途、高性能な開発用サーバを準備し、そちらにクロス開発環境を構築する。さらに、教材開発の下準備として、試作クラスタ PC において各種デバイス（センサー含む）を制御するためのライブラリを開発し、その性能評価テストを試みる。

- (3) クラスタ PC 上で各種の画像処理を並列的に実行するプログラムを実装する。

実際の教材は並列画像処理に関連する内容で作成する計画であるので、クラスタ PC 上で並列的に動作する基本的な画像処理プログラムを開発する。この際、複数の計算ノードを最大効率で利用できるような実装を試み、応答時間が重視されるようなアプリケーションも取り扱えるような形での実現を目指す。

- (4) 並列画像処理ライブラリを基にした PBL (Project Based Learning) 型の演習教材を開発する。

クラスタ PC を利用した何らかの簡易並列画像処理システムを考え、そのシステム開発過程を組込みソフトウェア開発の視点から効果的に学べるような PBL 型の並列処理教育用教材として実現させる。もちろん、この演習教材では(3)の並列画像処理ライブラリを積極的に利用し、教材を利用する学習者の負担をなるべく軽減させるような工夫を凝らす。

- (5) PBL 型演習教材の教育的効果について検証する。

教材がある程度出来上がった段階で、申請

者の研究室に新規に配属された学生達に対して実習を試みる。学生達は、配属直後の段階では画像処理や並列処理に関してそれほど明るくないため、教材の出来を評価する上でこの実習は非常に効果的であると考えている。そして、実際に教材を使って並列画像処理システムを学んだ学生達の理解度を追跡調査し、教材の効果検証、問題点や改善点についての検討などを試みる。

#### 4. 研究成果

以下では、前節で示した(1)～(5)の研究計画にしたがって、各々の成果を述べる。

##### (1) 小型で低消費電力タイプのクラスタ PC を初めて実現した。

本研究では、比較的入手しやすい小型の CPU ボードとして、(株)アットマークテクノが販売している Armadillo を選び、これを 4 枚準備して相互にネットワーク接続 (100Base-TX) した形のクラスタ PC を構築した (図 1)。このクラスタ PC は、コントロール用のノート PC を経由して、いわゆるネットワーク分散型の並列処理が可能であり、消費電力は最大でも 12 ワット程度とかなり低く抑えられている (汎用 PC1 台と比べて約 1/5)。筐体サイズも 260mm×190mm×190mm とクラスタ PC としてはかなり小さく、もちろん持ち運びが可能である。このような小型低消費電力タイプのクラスタ PC は (試作時点では) 市場に存在しておらず、その意味でも実現の意義は大きいと考えている。なお、クラスタ PC (およびコントロール用の PC) の OS としては、他の組み込み機器にも広く利用されている Linux を採用しており、既存のソフトウェア資産を容易に利用することができる。

##### (2) クラスタ PC 専用の並列処理プログラム開発環境を新たに構築した。

試作したクラスタ PC 上で直接開発を行うことも可能ではあるが、個々の CPU ボードに搭載されている CPU は i.MX31 という ARM11 互換の比較的無力なプロセッサであるため、これを利用した開発作業はかなり非効率的

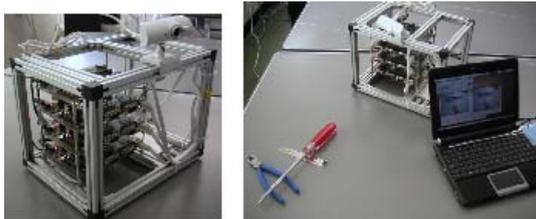


図 1. 試作したクラスタ PC

であるといわざるを得ない。そこで本研究では、別途、Quad-Core CPU を搭載した高性能サーバを用意し、その上に ARM CPU 用のクロス開発環境を構築した。このサーバはいつでもコントロール用のノート PC とネットワーク接続することができ、サーバ上で開発されたプログラムが直ちにテストできるような環境となっている。さらに、教材開発の下準備として、クラスタ PC の USB ポートに接続された画像入力デバイス (例えば、図 1 に示したような USB カメラ) から、任意のタイミングで静止画像を取り込むためのライブラリや、画像データをフレームバッファ経由で VGA 出力するためのライブラリなどを開発した。

##### (3) クラスタ PC 上で並列実行される画像処理プログラムを開発し、性能評価を行なった。

本研究で開発する教材の利用者には、何らかの画像処理プログラムの製作を通じて並列処理に関するスキルを身につけてもらうことを目的としているが、この際、利用者に「並列化による効果」を実感してもらうためには、計算量の多い画像処理アルゴリズムを題材とすることが重要である。そこで本研究では、まず、画像のウェーブレット変換、画像のアフィン変換、画像の Hough 変換、文書画像の自動傾き抽出といった、比較的計算量の多い画像処理に着目し、これらの処理を試作済クラスタ PC によって効率良く並列実行できるように並列画像処理プログラムを開発した。開発にあたっては、これらのプログラムを教材として利用するであろう初学者の技術的なハードルを下げつつ、かつプログラム自体の汎用性や移植性を高めるために、オープンソースの並列処理ライブラリ (MPICH) を一部に採用した。また、先にも

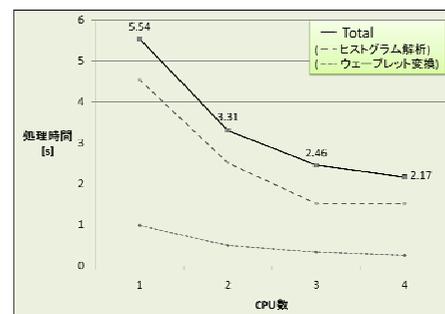


図 2. 画像の傾き推定と性能評価

述べたように、試作したクラスタ PC の計算性能はそれほど高くないので、たまたみ計算の効率化やパラメータの階層的探索といったさまざまな工夫を加え、なるべくプログラム実行時の性能が高められるように実装した。

さらに、上で述べたいくつかの並列画像処理プログラムを用いて、クラスタ PC の性能評価テストを行った。図 2 は、入力画像をウェーブレット変換し、その変換係数のヒストグラム化による解析によって入力画像の傾きを推定した結果の一例と、計算ノード数の増加に伴う処理時間の違いをグラフ化して示したものである。計算ノードを 1 から 4 に増やすことで、処理時間は 1/3 程度にまで短縮できることを確認したが、Core2Duo プロセッサを搭載した汎用 PC 1 台の処理性能に匹敵させるにはまだ困難であることも明らかになった。また、通信に伴うネットワーク遅延や搭載メモリの制限によって、400×300 画素以上の画像に対しては実際的な時間で処理が困難であることも判明した。しかしその一方で、処理実行時の消費電力はいずれの場合においても 10 ワット以下に抑えられることが確認でき、使用目的や用途を限定すれば十分に実用的かつエコノミカルな並列画像処理システムを構築できる見通しが立てられた。

(4) 並列画像処理ライブラリを利用した PBL (Project Based Learning) 型の演習教材を開発した。

先の (3) の開発に当たっては、いわゆる画像のノイズ除去やエッジ抽出といった、ごく基本的な画像処理機能も (複数の計算ノードを利用して行う) ライブラリとして実装したので、これらをベースとした PBL タイプの演習教材を開発した (図 3 に、その内容の一部を示す)。内容は、試作したクラスタ PC の開発環境構築手順 (OS インストールも含む)、WEB カメラ利用のための設定手順、カメラに映っている画像を複数 CPU で並列的に 2 値化するプログラム作成手順、同じくカメラ画像を並列的にウェーブレット変換するプログラムの作成手順、等を取りまとめたものであり、この教材を一通り試してみることで、組込みソフトウェアや並列画像処理に関する

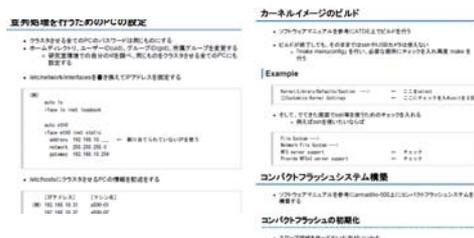


図 3. 開発した教材の一部

基本的知識が身に付くように構成されている。組込みシステムと並列処理を同時に学ぶことができるような初学者向けの教材というのはあまり前例がないため、この意味でもこの教材開発の意義は大きいものと考えている。

(5) PBL 型演習教材を用いた教育を実践し、教材の問題点について検証した。

最後に、これまでの成果を踏まえて、試作済クラスタ PC を用いた演習教材の効果検証を試みた。具体的には、(4) で作成した教材を利用して、(申請者の研究室に新規に配属された) 学生達に対する実習を試み、学生の理解度を分析した。その結果を簡単にまとめると、画像処理アルゴリズムを MPICH (オープンソースの並列処理ライブラリ) によって並列実装する、いわゆる並列プログラミング部分については問題なく理解できていたようであり、教材には含まれていない画像の Hough 変換処理などについても、特に指導することなく自力で並列実装することができていた。この意味では、本研究の目的の一つである「並列プログラミング技術を有する人材の育成」という面に対して、ある程度の成果を挙げられたものと考える。しかしながら、その一方で、学生達はクラスタ PC への OS インストールやネットワーク分散協調処理のためのシステム構築、あるいはクラスタ PC で USB カメラを使うためのドライバ設定といった、よりハードウェアに近い部分を苦手としていることも明らかとなった。この点に関しては、基本的な事項の記述をさらに充実させるなどの工夫が不可欠であり、今後の課題である。また、最近では、本研究を始めた当初には存在していなかったマルチコアタイプの低消費電力 CPU も市場に出回っており、今回開発した教材のままでは 1~2 年で内容面が陳腐化してしまうことが懸念される。したがって、今後は、市場の技術進歩に合わせた形で継続的にクラスタ PC や教材の更新を進めていくことも重要であると考えている。

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 3 件)

- ① 木村彰男, 遠藤卓弥, 渡辺孝志, 差分チェインコードの統計的性質を利用した輪郭線画像の効率的な圧縮符号化, 電子情報通信学会論文誌, 査読有, Vol. J93-A, No. 3, 2010, 229-234
- ② Yu KIKUCHI, Akio KIMURA and Takashi WATANABE, A Study on Parallelization of Digital Image Processing using MPICH, International Workshop on

Advanced Image Technology 2010, 査読有, CD-ROM, 6 pages

- ③ Kimihito SUGIYAMA, Akio KIMURA and Takashi WATANABE, A Study on Parallel Image Processing System using Compact and Battery-Friendly Cluster PC, International Workshop on Advanced Image Technology 2010, 査読有, CD-ROM, 6 pages

[学会発表] (計 14 件)

- ① Akio KIMURA, Research trends in object detection/categorization problem, Kyrgyz-Japan Joint Workshop on Photonics and Information Technology 2010, 2010. 10. 19, Iwate University (招待講演)
- ② 赤根行繕, 木村彰男, 阿部英志, 渡辺孝志, 特異値分解を用いた電子透かし手法の効率化に関する一検討, 平成 22 年度電気関係学会東北支部連合大会, 2010. 8. 27, 八戸工業大学 (青森県)
- ③ 工藤英訓, 木村彰男, 阿部英志, 渡辺孝志, 独立成分分析を用いたテクスチャ画像自動分類法の検討, 平成 22 年度電気関係学会東北支部連合大会, 2010. 8. 27, 八戸工業大学 (青森県)
- ④ 豊間根一志, 木村彰男, 渡辺孝志, 阿部英志, 投票処理を用いたアフィン変換不変な物体認識法の検討, 平成 22 年度電気関係学会東北支部連合大会, 2010. 8. 27, 八戸工業大学 (青森県)
- ⑤ 長谷川浩之, 木村彰男, 阿部英志, 渡辺孝志, ウェーブレット変換の多重スケール情報を利用した効果的なエッジ抽出法の検討, 平成 22 年度電気関係学会東北支部連合大会, 2010. 8. 26, 八戸工業大学 (青森県)
- ⑥ 菊池佑, 木村彰男, 阿部英志, 渡辺孝志, クラスタ PC を用いた並列画像処理システムの検討 I - 汎用 PC の場合, 平成 21 年度電気関係学会東北支部連合大会, 2009. 8. 21, 東北文化学園大学 (宮城県)
- ⑦ 杉山公仁, 木村彰男, 阿部英志, 渡辺孝志, クラスタ PC を用いた並列画像処理システムの検討 II - 低消費電力型 PC の場合, 平成 21 年度電気関係学会東北支部連合大会, 2009. 8. 21, 東北文化学園大学 (宮城県)
- ⑧ Akio KIMURA, A Study on Intelligent Digital Image Processing/Recognition System, International Joint Seminar on Information Science and Technology 2009, 2009. 5. 21, Iwate University (招待講演)
- ⑨ 福島弘和, 木村彰男, 阿部英志, 渡辺孝志, 離散フーリエ変換を用いた画像の電

子透かし手法とその攻撃耐性評価, 平成 20 年度電気関係学会東北支部連合大会, 2008. 8. 22, 日本大学 (福島県)

- ⑩ 工藤拓也, 木村彰男, 阿部英志, 渡辺孝志, ウェーブレット変換のスケール間情報を用いた輪郭線抽出法検討, 平成 20 年度電気関係学会東北支部連合大会, 2008. 8. 22, 日本大学 (福島県)
- ⑪ 滑澤桂, 木村彰男, 阿部英志, 渡辺孝志, ウェーブレット変換に基づくノイズを含んだ画像からの輪郭線抽出法, 平成 20 年度電気関係学会東北支部連合大会, 2008. 8. 21, 日本大学 (福島県)
- ⑫ 渡邊文明, 木村彰男, 阿部英志, 渡辺孝志, 独立成分分析を用いた混合画像分離法の比較検討, 平成 20 年度電気関係学会東北支部連合大会, 2008. 8. 21, 日本大学 (福島県)
- ⑬ 坂本慎治, 木村彰男, 阿部英志, 渡辺孝志, 投票処理を用いたアフィン変換に不変な任意図形検出, 平成 20 年度電気関係学会東北支部連合大会, 2008. 8. 21, 日本大学 (福島県)
- ⑭ 工藤裕明, 木村彰男, 阿部英志, 渡辺孝志, ウェーブレット変換を用いた局所の変形を有する図形の認識手法, 平成 20 年度電気関係学会東北支部連合大会, 2008. 8. 21, 日本大学 (福島県)

[その他]

国際学術交流会

- ① Akio KIMURA, Studies on digital image recognition and their developments, 西北農林大学との学術交流会, 2010. 9. 10, 西北農林大学 (西安市, 中国)
- ② Akio KIMURA, Studies on digital image recognition and their developments, 西安科技大学との学術交流会, 2010. 9. 8, 西安科技大学 (西安市, 中国)

ホームページ等

<http://www.mips.cis.iwate-u.ac.jp/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

木村 彰男 (KIMURA AKIO)  
岩手大学・工学部・講師  
研究者番号: 00281949