

分散・協調型環境に立脚した画像処理手法の知能化

(課題番号 14580435)

平成14年度～15年度 科学研究費補助金(基盤研究(C)(1))
研究成果報告書

平成16年3月

研究代表者 渡邊 栄治
(甲南大学理工学部助教授)

はしがき

平成 14 年度～15 年度科学研究費補助金 (基盤研究 (C)(1)) を受けて実施した研究課題「分散・協調型環境に立脚した画像処理手法の知能化」の研究成果を以下の通り報告する。

研究組織

研究代表者： 渡邊 栄治 (甲南大学理工学部・助教授)
研究分担者： 尾関 孝史 (福山大学工学部・講師)
研究分担者： 石川 洋 (福山大学工学部・助手)

交付決定額 (配分額)

(金額単位：千円)

	直接経費	間接経費	合計
平成 14 年度	2,900	0	2,900
平成 15 年度	800	0	800
総計	3,700	0	3,700

研究発表

(i) 学会誌等

1. Eiji Watanabe, Takashi Ozeki, and Hiroshi Ishikawa: A cooperative learning algorithm for multi-layered neural networks using a PC cluster, Proc. of the 9-th International Workshop on Systems, Signals and Image Processing, pp. 463–473, 2002-11.
2. 尾関 孝史, 渡邊 栄治, 石川 洋, 小林 富士男: 判別分析法を用いた劣化画像からのエッジ領域の自動抽出, 財団法人日本産業科学研究所 研究報告, Vol. 11, pp. 41–47, 2002 年 12 月.
3. 石川 洋, 尾関 孝史, 渡邊 栄治: PC クラスタにおける並列計算の動的負荷分散, 福山大学工学部紀要, Vol. 26, pp. 125–130, 2002 年 12 月.
4. Eiji Watanabe and Katsumi Mori: A Compression Method for Color Images Using Multi-layered Neural Networks, Systems and Computers in Japan, Vol. 34, No. 2, pp.2131–2139, 2003-02.
5. Eiji Watanabe, Takashi Ozeki, and Hiroshi Ishikawa: A compression method for color images by multiple layered neural networks, Proceedings of the 10th International Workshop on Systems, Signals and Image Processing, pp. 32–25, 2003-09.
6. Hiroshi Ishikawa, Takashi Ozeki, and Eiji Watanabe: A proposal on a model of an autonomous agent using the meta-level architecture, Proc. of the International Conference on Integration of Knowledge Intensive Multi-Agent Systems KIMAS'03, pp. 83–87, 2003-10.

7. 尾関 孝史, 渡邊 栄治, 石川 洋, 小林 富士男: 多項式の因数分解を利用した劣化画像の復元法, 福山大学工学部紀要, Vol. 27, pp. 219–224, 2003 年 12 月.
8. Takashi Ozeki, Eiji Watanabe, Hiroshi Ishikawa, and Fujio Kobayashi: An algorithm to find all solutions of blind deconvolution, Proc. of the International Workshop on Advanced Imaging Technology 2004, pp. 165–169, 2004-01.

(ii) 口頭発表

1. 渡邊 栄治, 尾関 孝史, 渡邊 栄治, 石川 洋, 広田 卓治: 複数の階層型ニューラルネットワークを用いた画像の領域分割, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. NC2002-72, pp. 37–41, 2002 年 11 月.
2. 渡邊 栄治, 森 克巳: 階層型ニューラルネットワークによる CG 画像における光源パラメータの推定, 画像電子学会第 31 回年次大会, pp. 37–38, 2003 年 6 月.
3. 渡邊 栄治, 尾関 孝史, 石川 洋: 階層型ニューラルネットワーク間の競合による画像の領域分割, 映像メディア学会ヒューマンインフォメーション研究会, pp. 1–4, 2003 年 10 月.
4. 尾関 孝史, 渡邊 栄治, 石川 洋, 小林 富士男: ブラインドコンボリューションの可解性に関する一考察, 平成 15 年度電気・情報関連学会中国支部連合大会, No. 182234, p. 504, 2003 年 10 月.
5. 尾関 孝史, 渡邊 栄治, 石川 洋, 小林 富士男: 多項式の因数分解を利用した畳み込み画像の分解法, 画像電子学会第 206 回研究会予稿集, No. 03-05-04, pp. 21–26, 2003 年 11 月.
6. 尾関 孝史, 渡邊 栄治, 石川 洋, 小林 富士男: 多次元畳み込み信号の分解法, 電子情報通信学会 2004 年総合大会 (2004 年 3 月発表予定).

(iii) 出版物

1. 渡邊 栄治: (山川 宏 編) 最適設計ハンドブック — 基礎・戦略・応用 —, 朝倉書店, pp.130–137, 2003 年 3 月.

研究成果による工業所有権の出願・取得状況

なし.

研究概要

単一の階層型ニューラルネットワークを、領域分割をはじめとする画像処理などの大規模な実問題へ適用する際、学習能力および汎化能力が劣化することが知られており、大規模な問題を小規模なタスクに分割し、個々のタスクに対して各階層型ニューラルネットワークを割り当てるモジュール構造型ニューラルネットワークへの期待が高まっている。しかしながら、タスク分割が容易に行なえるケースは稀であり、また不適切なタスク分割により全体としての学習能力や汎化能力が劣化することがある。

本研究では、仮想的な並列計算機である PC クラスタを用いた分散・協調型環境を構築し、そのような開発環境に立脚した画像処理の知能化について検討する。具体的には、以下の内容について検討した。

1. 画像の領域分割問題を対象とした階層型ニューラルネットワークに対する学習法の知能化：

画像全体を複数の小領域に分割し、各領域を各階層型ニューラルネットワークに割り当てることにより、各領域の特徴に応じた分割処理を実現するための手法を構築し、実験によりその有効性を確認した。

2. パターン分類問題を対象とした階層型ニューラルネットワークに対する学習法の知能化：

階層型ニューラルネットワーク間において荷重係数値などの獲得知識を相互に交換する(協調処理)ことにより、処理速度の改善を図るための手法をも構築し、実験によりその有効性を確認した。

3. 劣化画像の復元問題を対象とした非線形最適化手法の知能化：

ぼけ画像などの劣化画像を復元する問題において、空間的に分割された領域毎に点広がり関数を非線形最適化手法により推定しつつ、画像全体として整合性のある点広がり関数を決定するための手法を構築した。

4. 分散・協調型開発環境の改善：

PC 台数が増加する場合や、分散処理の粒度が細かい場合、各 PC 間において通信時間が増大し、オーバーヘッドが生じる。このような問題点に対し、画像処理分野に限定した負荷の動的な分散手法について検討した。

画像の領域分割問題を対象とした階層型ニューラルネットワークに対する学習法の知能化

数年来、汎用プロセッサの高性能化と低価格化に伴い、複数のパーソナルコンピュータ(PC)から構成される PC クラスタと呼ばれる仮想的な並列計算機が出現してきた。汎用プロセッサから構成される PC クラスタでは、専用の並列計算機に比べて効率的なプログラミング環境が提供されるために、画像処理やニューラルネットワークへの適用が容易になりつつある。

本研究では、仮想的な並列計算機である PC クラスタを用いた階層型ニューラルネットワークの分散型協調学習法を提案する。提案する分散型協調学習法では、クラスタリング手法の考え方に基づいて、対象とする学習データを階層型ニューラルネットワーク間において相互に交換することにより、各階層型ニューラルネットワークにおける学習負荷を分散するとともに、階層型ニューラルネットワーク群としての学習能力の改善を図る。提案する分散型協調学習法を画像の領域分割問題および非定常時系列に対する区間分割問題へ適用し、各階層型ニューラルネットワークの学習能力に対応して学習負荷が分散され、タスクの自動分割が実現できることを具体的に示した。

パターン分類問題を対象とした階層型ニューラルネットワークに対する学習法の知能化

本研究では、仮想的な並列計算機である PC クラスタを用いた階層型ニューラルネットワークの協調学習法を提案し、パターン分類問題への適用結果について報告する。提案する協調学習法では、まず荷重係数の初期値が異なる複数の階層型ニューラルネットワークが BP 法により並列に学習される。つぎに、複数の階層型ニューラルネットワーク間において荷重係数値などの獲得知識を相互に交換することにより、学習パターンや出力層ユニット間の学習速度のアンバランスを防ぎ、階層型ニューラルネットワーク群としての学習速度の改善を図る。さらに、提案する協調学習法における必要な処理時間を算出し、処理時間の観点から提案学習法について検討する。最後に、提案する協調学習法をビットマップ形式の漢字フォントを分類する問題に適用し、階層型ニューラルネットワーク間における学習性能のアンバランスを抑えることが可能であることを具体的に示した。

劣化画像の復元問題を対象とした非線形最適化手法の知能化

判別分析法を用いた劣化画像からのエッジ領域の自動抽出法

観測した画像は、大気の大攪乱、光学系の歪、カメラのぶれなどによる歪みやぼけによって、しばしば、劣化する。一般に、画像の劣化は各画素がその周りの画素の影響を受けて起きるタイプと画素の位置に無関係に発生する雑音によるタイプの2つに分類される。前者は劣化の原因となる物理現象を表す劣化関数（点広がり関数）を原画像に畳み込むという形で表現される。その後、雑音が加わったものが画像の劣化モデルとしてよく取り扱われている。このような劣化画像の画像回復を行うためには、この点広がり関数を推定する必要がある。劣化した画像自身からのこの点広がり関数を推定するために、

- (1) 原画像に鮮明な点が存在すると考えられる場合は、劣化した画像でのこの点の像が点広がり関数そのものを表している。例えば、天文学の画像のぼけた星の像がこの例である。
- (2) 原画像に鮮明な線が存在すると考えられる場合は、CTの画像再生で用いられるコンピュータ断層法で点広がり関数を推定できる。

(3) 原画像に鮮明なエッジが存在すると考えられる場合は、微分を用いて、(2)の場合に帰着できる。

といった方法が用いられている。

しかし、劣化画像から点、線、エッジの位置を正確に取り出すことは難しく、このため、しばしば良好な復元画像が得られないことがある。そこで、本検討ではエッジそのものを扱う代わりに少し範囲を広げて、エッジを含む部分画像に注目した。エッジを含む部分画像は、しばしば2値画像と見なせることがある。この考えに基づき、エッジを含むある部分画像ができるだけ2値画像に近くなるように画像の復元を行うという新しい復元条件を提案し、その有効性を計算機実験を用いて検証した。そして、画像の2値化手法である判別分析法を利用して、画像のエッジを含む部分を自動的に抽出する方法を提案した。計算機による実験の結果、原画像では、部分画像の大きさに関係なく、ほぼ同じ位置の部分画像を取り出すことができた。また、ガウスぼけによる劣化画像に関しても、同様の実験を行ったところ、劣化の度合いに関係なく原画像の場合とほぼ同じ位置の部分画像が抽出できた。これらの実験結果から、提案した手法は、劣化画像からでも、エッジを含む部分画像を充分に取り出すことができることが検証できた。

多項式の因数分解を利用した畳み込み画像の分解法

通常、観測画像は観測を通して劣化しており、2つの信号の畳み込みで表される。1つは原画像であり、もう一つは劣化の要因となった点広がり関数である。劣化画像の情報のみから原画像と点広がり関数を推定しようとする問題はブラインドデコンボリューション(BD)と呼ばれている。

この問題を解く方法として、AyersとDaintyが提案したフーリエ反復法がある。この反復法は、推定した解と真の解の誤差を計る評価関数ができるだけ小さくなるように、画像の制約条件とフーリエ変換を用いて近似解を更新していく方法である。反復法は、評価関数の設定が簡単なことや画像に対するさまざまな制約条件を導入し易いことから、その後のBD問題を解くさまざまな方法に使用されている。これとは別に、LaneとBatesらが提案しているゼロシート法がある。この方法は、 z 変換と因数分解を用いることによって、BDを解決しようとする方法である。どちらの方法も解が一意に決まることを仮定している。

しかし、一般には2つの信号に特別な制約条件を設けなければ、BDは必ずしも唯一の解を持つとは限らない。また、最悪の場合にはBDは無数の解を持つこともある不定な問題である。しかしながら、BDの不定性を取り扱った論文はほとんど見当たらない。

そこで、本検討では点広がり関数及び原画像が有界であるという境界条件を与えることで、2次元ブラインドデコンボリューション問題の解候補が有限個になることを証明した。また、その全ての解候補を求めるアルゴリズムを提案した。提案したアルゴリズムは、2次元問題を1次元問題に帰着しているため、画像が大きい場合にも有効に使用できる。また、簡単なテスト画像に対して、数値実験を行ない、点広がり関数と原画像の両方とも復

元できることを確認した。

分散・協調型環境の構築に関する考察

分散・協調型環境を構築する上で、適切なハードウェアおよびソフトウェアの選択・設計が重要である。本研究では、そのような環境を PC クラスタ、フリーな UNIX 系 OS、並列計算ライブラリを選択し、自己反映計算の概念を利用した動的負荷分散機構を設計し提案した。

PC クラスタとは一般的に入手可能なパーソナルコンピュータを複数台ネットワークで接続して構築するメモリ分散型の並列計算機である。近年の CPU やメモリの飛躍的なコストパフォーマンス向上や、異機種混合なマシンの利用が可能であることから、比較的廉価で数十台規模のシステムが容易に構築できる。

PC クラスタ上で並列計算を実現しようとするとき、C、C++、Fortran などのコンパイラの他に、各 PC の CPU の支配下にあるメモリ内のデータをアクセスするための並列ライブラリが必要となる。代表的な並列ライブラリには PVM(Parallel Virtual Machine)、MPI(Message Passing Interface) などがある。

PC クラスタを効率良く利用して並列計算を実行するためには、すべてのコンピュータに対し、その処理能力に見合った作業量を分担させる仕組みが必要である。この仕組みを負荷分散という。プログラムの実行前にあらかじめ仕事量がわかっていないときには特にこの仕組みは有用である。負荷分散には、プログラムの実行前に、仕事をプロセッサに割り付けておく静的なもの、プログラム実行中にプロセッサに仕事を割り付ける動的なものがある。動的負荷分散を実現するためには、計算システムが自分自身や、分散・協調環境の状態を知り、適切に負荷を調整できる機構が必要である。その機構を提供する枠組として自己反映計算が知られている。

計算システムが、自分自身の表現を計算システム内部に持ち、それを操作することによって自分自身の構造や振舞いを変更することを自己反映計算と呼ぶ。自己反映計算を実装する方法としては、メタインタープリタの無限の自己反映階層による方法がある。これは、通常計算を記述するプログラムの解釈、実行をメタレベルのインタープリタで行い、メタレベルのインタープリタはメタメタレベルのインタープリタで行われるという階層を無限に構成して行くというものである。このような構造を持つ計算システムを、メタレベルアーキテクチャを持つ計算システムと呼ぶ。

本来の目的である通常計算をベースレベルの計算とみなせば、計算システムの負荷分散計算は、計算の主体であるシステムを変更するという意味でメタレベルの計算である。また、計算システム自身で、負荷の偏った計算システムを、負荷の分散されたものへと動的に変化させるという操作をすることになるので、自己反映計算を行っていると考えることができる。

本研究では、並列計算ライブラリ MPI を用い、自己反映計算の概念を利用して分散・協調計算を効率良く行うための動的負荷分散機構を提案している。