

平成 29 年 6 月 9 日現在

機関番号：12701

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26280056

研究課題名(和文)画像処理・認識のためのセル型回路網の進化的自動生成

研究課題名(英文)Evolutionary automatic construction of cellular networks for image processing and recognition

研究代表者

長尾 智晴(NAGAO, TOMOHARU)

横浜国立大学・大学院環境情報研究院・教授

研究者番号：10180457

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、比較的単純な機能の素子からなる小規模な回路を格子状に配置したセル型回路を用いて画像処理あるいは画像認識を行うための方法を開発した。本方式では、最適化法の一つである進化計算法を用いて、目的に合うセル型回路を自動的に構築している。この方式を、超解像処理や画像の領域分割、領域毎の意味付けを行うセマンティックセグメンテーションなどに適用し、その有効性を確認した。本方式には、小規模な回路の構造を決定するだけで様々な処理を実現することができるという大きな利点があり、実用的である。

研究成果の概要(英文)：The way to perform image processing and recognition using the cellular network which arranged a small-scale circuit which consists of rather simple functions in lattice grid has been researched in this project. In this method, evolutionary computation, which is a kind of optimization, was employed to construct the adequate cellular network for a given task automatically. We applied the method to the tasks such as super-resolution, image segmentation and semantic segmentation and so on, and verified the effectiveness of the method. This method has a big advantage that it is possible to construct various processing just by determining a small-scale circuit, and the method is also practical.

研究分野：進化計算法

キーワード：知能情報処理 進化計算法 人工知能 機械学習

1. 研究開始当初の背景

画像処理および画像認識は、今でこそ deep learning (深層学習) などのネットワーク構造による処理に脚光が当たっているが、本研究開始当初は経験と勘に頼って人手によって対象毎に個別に設計する場合の方が多かった。これらの設計には膨大な労力と時間が必要とされており、様々な画像処理・認識を統合的に設計可能な方式が期待されていた。この種のアプローチとして、研究代表者らが先に提案した進化的画像処理と呼ばれる一連の方法論がある。これは、画像処理・認識を画像処理フィルタなどの単目的の処理ユニットを進化計算法によって組み合わせることによって、様々な処理を全自動で構築することができる枠組みである。しかしながら、あらかじめ用意する画像処理フィルタなどによって生成できる処理が決まってしまうという課題があった。

2. 研究の目的

そこで本研究では、同じタイプの小型回路を格子状に並べた構造をもつセル型回路網を考え、その小型回路部分を変えることで様々な画像処理・認識を実現する方法論を確立することを目的とした。

3. 研究の方法

始めに同じタイプの小型回路を2次元平面の格子状に配置した2次元セル型回路網の自動構築の方法を開発する。次に、さらにそれを積層した構造をもった3次元セル型回路網の自動構築法を開発する。そして、それらの手法を、超解像処理、領域分割、セマンティックセグメンテーションなどの処理に適用して性能を評価する。

いずれの場合も、回路網の最適化には強力な最適化法の一つである進化計算法を用いる。これによって、生成した回路を評価するための学習データを用意するだけで、様々な処理回路を全自動で構築することを目指す。

4. 研究成果

得られた研究成果の要点を次に示す。

(1) 2次元セル型回路網による超解像処理の自動構築

ここでは、図1に示すように、進化計算法の一つであるCGP (Cartesian Genetic Programming) と呼ばれる手法によって回路を最適化した。

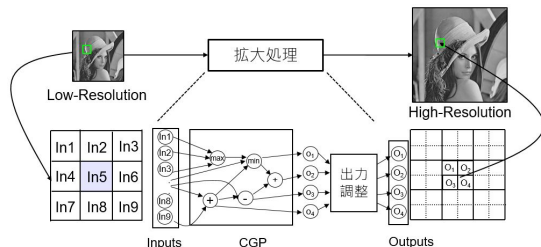


図1 CGPによる超解像処理の原理

セル型回路としてCGPによって自動構築した回路を採用する。しかしながら、単純に原画像(低解像度画像)とその理想的な出力画像(高解像度画像)のペアを入力してその関係性を学習するだけの単純な考え方では、高画質な高解像度画像を得ることが難しい。そこで本研究では、画質を向上させるために周囲の画素との関係性を用いるための補正項を導入した提案手法、画素の分類を用いた処理の選択を行う提案手法の2つを開発して性能を評価した。

実験結果を図2に示す。ここで、Lanczos, Sun, Glasner は従来手法である。上段が画質に関する結果であり、値が大きいほど高画質であることを示している。また、下段が処理時間[sec]であり、小さいほど良い。同図から、提案手法1および2は当時世界最高レベルであったGlasnerらによる手法とほぼ同画質であるとともに、処理速度はGlasnerの約9,000倍以上高速であることがわかる。

● 画質評価 (平均)

PSNR (dB)	Glasner			提案手法1		提案手法2
	Lanczos	Sun	拡大のみ	拡大+補正	拡大+分類	
Training	29.79	28.09	32.68	31.43	31.71	31.53
Test	28.76	27.40	30.87	30.15	30.31	30.22

SSIM	Glasner			提案手法1		提案手法2
	Lanczos	Sun	拡大のみ	拡大+補正	拡大+分類	
Training	0.924	0.892	0.949	0.937	0.942	0.939
Test	0.870	0.839	0.899	0.890	0.893	0.892

下線2番目の結果 Glasnerらの手法と比べて約9000倍以上高速

● テスト画像の処理時間 (sec) の平均

	Lanczos	Sun	Glasner*	拡大のみ	拡大+補正	拡大+分類
CPU	0.0221	11.58	1492	0.0441	0.1129	0.1615
GPU				0.001245	0.003645	0.001869

図2 シングルフレーム超解像の結果

セル型回路網によって、世界トップレベルの画質で、従来より約9,000倍高速な超解像処理を実現することができた。

(2) 2次元セル型回路網による領域分割

画像処理・認識において重要な処理が画像の領域分割である。この処理は、入力された画像の意味的あるいは性質上同じあるいは似ている部分を1つの領域とみなすことによって、入力画像を言わば「塗り絵」の画像のように境界線で囲まれた複数の領域に分けた線画像として出力するものである。画像の領域分割は segmentation と呼ばれ、画像認識やコンピュータビジョンのための、基礎的ではあるが極めて重要な処理と位置付けられている。領域分割の質が、続いて実行される画像認識の成否に大きな影響を与えると云っても過言ではない。なお、画像中の何に着目するかや、その後どのような処理を行うかによって、求められる領域分割の性質や粒度が異なるものになる。

そこでセル型回路網によって領域分割を行う際の評価関数を、学習事例として与えられた領域分割の例を参考にして進化計算法で自動構築することで、領域分割を行ないたい人にとって適切な領域分割処理を実現する方式を提案する。

本手法では、図3に示すように複数の類似度関数を用いて領域間の絶対値差を算出し、それらの総和が閾値以下の場合に領域を統合する。

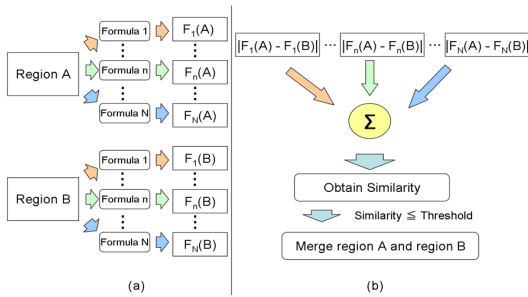


図3 複数の類似度関数を用いた領域統合

提案手法による領域分割の例を図4に示す。いずれの画像に対しても、複数のCGPを用いることで、目標として与えた領域分割と同様の領域分割結果を得ることができていることが確認できる。



図4 提案手法による領域分割の例

(3) 3次元セル型回路網によるセマンティックセグメンテーション

次にセル型回路網を積層した3次元の回路網によってsemantic segmentationを実現する方式を開発した。ある階層での挙動は図5に示す通りである。2次元的なセルラ回路だけを用いる場合、距離的に離れた地点の情報を得るためには何度も回路を動作させる必要があるという課題があり、結果的に局所的な情報によるセグメンテーションしかできないという課題がある。

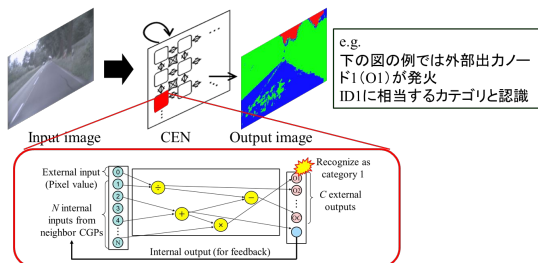


図5 ある階層でのセル型回路網の挙動

そこで、ここではセル型回路網の層を立体的に積層し、図6に示す Cellular Pyramid と称する3次元回路の構造を提案した。セル型回路網による多重解像度解析により、隣接する画素だけでなく、位置的に離れた場所との相互作用を行わせることができる。

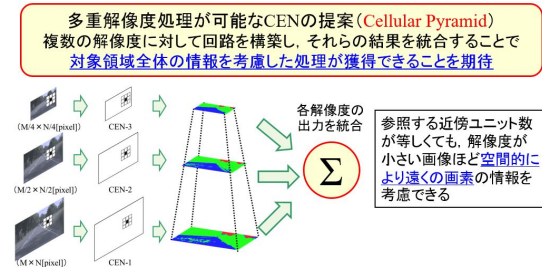


図6 提案する Cellular Pyramid

学習画像とは異なる未知画像に対する実験結果の例を図7に示す。同図で一番右側のものが提案手法による結果であり、比較的良好な処理が実現されていることがわかる。

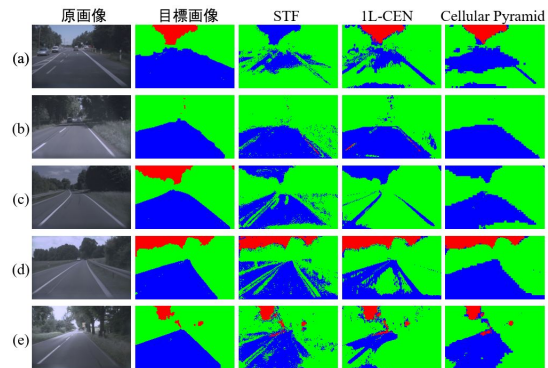


図7 Cellular Pyramid による実験例

Cellular Pyramid により、セルラ型回路の立体化が有効であるという知見を得ることができた。そこで本研究では、次に3次元セル型回路網の検討を行った。

図8に示すような3次元セル型回路網を一括して遺伝子型で表現し、全体を同時に最適化した。

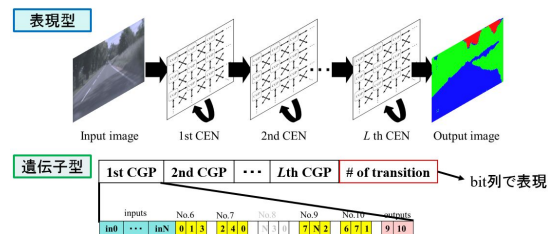


図8 3次元セル型回路網の構造

実験対象としては図7と同様に道路環境画像を用いた。実験結果の例を図9に示す。同図から、提案手法が最も適切に認識することができていることを確認することができる。

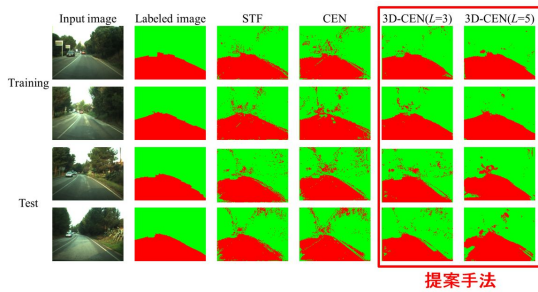


図9 3次元セル型回路網による処理例

構築された3次元セル型回路網のレベル毎の処理を可視化したものを図10に示す。低いレイヤでは比較的単純な局所処理が施されているが、深いレイヤではそれらが統合されて最終的な認識処理が行われていることを確認することができる。これは昨今のdeep learningの構造にも見られる処理でもあり、興味深いと考えられる。なお、提案方式で構造を決めているのはセル状に配置された極めて小規模な回路であり、その点において回路の可読性及び簡潔性が評価される。

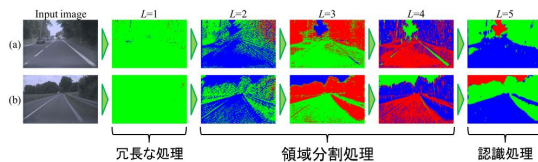


図10 各層での処理の可視化例

以上のように、本研究では、小規模な回路をセル状に2次元あるいは3次元的に配置したセル型回路網によって様々な画像処理・認識を行う手法を開発し、道路環境画像などに適用してその有効性を検証した。これにより、当初計画の目的を十分に達成することができる成果を得ることができた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計7件)

島崎謙,長尾智晴:セルラ進化型回路網を用いた画像の領域分割とその認識,電気学会論文誌C, Vol.137, No.3, pp.502-512 (2017) (査読あり)

<http://doi.org/10.1541/ieejciss.137.502>

菅沼雅徳,土屋大樹,白川真一,長尾智晴:遺伝的プログラミングを用いた階層的な特徴構築による画像分類,情報処理学会論文誌:数理モデル化と応用(TOM), Vol.9, No.3, pp.44-53 (2016) (査読あり)

<http://ci.nii.ac.jp/naid/40020906972>

菅沼雅徳,長尾智晴:異常検知のための自己組織化モデルとその監視映像への適用,情報処理学会論文誌:数理モデル化と応用(TOM), Vol.9, No.1, pp.23-32 (2016) (査読あり)

<http://id.nii.ac.jp/1001/00147587/>

崎津実穂,菅沼雅徳,土屋大樹,長尾智晴:決定木及び決定ネットワークによる画像分類過程の説明の自動生成,情報処理学会論文誌:数理モデル化と応用(TOM), Vol.9, No.1, pp.43-52 (2016) (査読あり)

<http://id.nii.ac.jp/1001/00147589/>

齊藤航太,長尾智晴:Cartesian Genetic Programmingを用いた特徴量の階層的な低次元化に基づく画像分類,進化計算学会論文誌, Vol.6, No.2, pp.55-66 (2015) (査読あり)

<http://doi.org/10.11394/tjpnsec.6.55>

島崎謙,長尾智晴:Cartesian Genetic Programmingを用いた領域成長法による画像の領域分割,進化計算学会論文誌, Vol.5, No.3, pp.45-52 (2014) (査読あり)

<http://doi.org/10.11394/tjpnsec.5.45>

夏井裕介,長尾智晴:Cartesian Genetic Programmingを用いたシングルフレーム超解像処理の自動構築,電子情報通信学会論文誌, Vol.J97-D, No.11, pp.1641-1650 (2014) (査読あり)

Online ISSN: 1881-0225

〔学会発表〕(計7件)

Ken Shimazaki and Tomoharu Nagao: Semantic Segmentation using Three-Dimensional Cellular Evolutionary Networks, Proc. of the 2016 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC 2016), October 9-12, Budapest, Hungary (2016) (査読あり)

DOI: 10.1109/SMC.2016.7844434

島崎謙,長尾智晴:Cellular PyramidによるSemantic Segmentationのためのセルラ回路の自動構築,情報処理学会第103回数理モデル化と問題解決研究会, 2015年6月23日~25日, 沖縄科学技術大学院大学 (2015) (査読なし)

島崎謙,長尾智晴:セルラ型Cartesian Genetic Programmingを用いたSemantic Segmentation手法の提案, 2015年電子情報通信学会総合大会, D-12-38, 2015年3月10日~13日, 立命館大学, 滋賀 (2015) (査読なし)

Yuichi Hirano and Tomoharu Nagao: Feature Transformation Using Filter Array for Automatic Construction of Image Classification, IEEE 7th International Workshop on Computational Intelligence & Applications 2014 (IWCIA 2014), pp.59-64, November 7-8, Hiroshima, Japan (2014) (査読あり)

DOI: 10.1109/IWCIA.2014.6988079

齊藤航太,長尾智晴:Cartesian Genetic Programmingを用いた階層的な特徴量の自動構築と画像分類への応用,進化計算シンポジウム 2014, P2-15, 2014年12

月 20 日～21 日，広島県廿日市市 (2014)
(査読なし)

島崎 謙，長尾智晴：シーン中の位置と共起を考慮した Semantic Segmentation に関する研究，2014 年度 画像電子学会第 42 回年次大会，2014 年 6 月 30 日，早稲田大学，東京 (2014) (査読なし)

夏井裕介，長尾智晴：学習の効率を考慮したシングルフレーム超解像処理の自動構築，2014 年度 画像電子学会第 42 回年次大会，2014 年 6 月 29 日，早稲田大学，東京 (2014) (査読なし)

[その他]

<http://nagao-lab.ynu.ac.jp/>

6．研究組織

(1)研究代表者

長尾 智晴 (NAGAO, Tomoharu)

横浜国立大学・大学院環境情報研究院・教授

研究者番号：10180457

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし

(4)研究協力者

なし