

令和 2 年 6 月 10 日現在

機関番号：15501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K00341

研究課題名(和文)非対称結合を有する反応拡散ネットワーク：ステレオ視差・運動検出の数理モデル

研究課題名(英文)Reaction-diffusion network with asymmetric connection, and its application to motion and disparity detection

研究代表者

野村 厚志(NOMURA, Atsushi)

山口大学・教育学部・教授

研究者番号：40264973

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：研究代表者らはステレオ画像からその視差分布を検出する反応拡散アルゴリズムを提案している。従来のアルゴリズムでは、ニューロンの数理モデルであるFitzHugh-Nagumo素子を画像平面と視差の軸からなる3次元空間に格子状に配置し、隣接素子を一様・対称に結合した反応拡散ネットワークにより実現していた。本研究では、オクルージョン(隠れ領域)においてパターンの対応付けが困難なことを解決するため、隣接素子間の結合強度に非対称性を導入し、視差が既に検出されている領域から方向性をもって視差未定の領域に伝播させることを試みた。実現したアルゴリズムを評価用のステレオ画像に適用しその効果を確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

反応拡散アルゴリズムは、ノイズ除去やエッジ検出・領域分割など様々な画像処理・視覚情報処理機能の実現に応用されてきた。また類似のアルゴリズムとして拡散方程式を用いたものがあり、同様に様々な機能の実現に応用されてきた。しかし、従来のこれらのアルゴリズムでは、隣接素子の結合について非一様結合は試みられたものの、非対称結合までは考慮されていなかった。本研究成果は反応拡散アルゴリズムにおける非対称結合の有効性を指摘し、類似のアルゴリズムにおいてもその適用可能性を示唆するものであり、学術的意義がある。

研究成果の概要(英文)：We have proposed a stereo algorithm that detects stereo disparity distribution from a pair of stereo images. The algorithm utilizes a reaction-diffusion network consisting of FitzHugh-Nagumo neurons placed at three-dimensional grids of two-dimensional image plane and one-dimensional stereo disparity. A previous algorithm has uniform and symmetrical coupling strength among neighboring neurons of the network. In this research work, we proposed to impose asymmetrical coupling strength on the network and tried to solve the occlusion problem. This is intended for filling in disparity undetected areas from their neighboring disparity detected ones. By applying the proposed algorithm to a stereo image data set, we confirmed effectiveness in occlusion areas.

研究分野：非線形画像処理

キーワード：ステレオアルゴリズム 非線形素子 ニューロンモデル FitzHugh-Nagumo 反応拡散アルゴリズム 非対称結合 オクルージョン

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) ステレオ視によって 3 次元世界を捉えたとき、その左右のステレオ画像に映る物体パターンは水平線 (エピポーラ線) 上の異なる位置にある。この位置の違いをステレオ視差といい、3 次元奥行き分布を推定する重要な手がかりとなることから、左右の画像のみからステレオ視差を検出するステレオアルゴリズムの研究が数多く進められている。

(2) 研究代表者らは画像処理・視覚情報処理のアルゴリズムを提案してきた。これは自然界のパターン形成や情報伝播の様子を表す反応拡散方程式を離散化し近似した反応拡散ネットワークを用いていることから「反応拡散アルゴリズム」と名付けた。このステレオアルゴリズムでは、ニューロンの興奮・抑制の数理モデルである FitzHugh-Nagumo (FHN) 方程式で表される非線形素子を、画像平面と視差の軸からなる 3 次元の格子状に配置し、隣接素子を相互に結合した反応拡散ネットワークを用いる。FHN 方程式は時間に関する微分方程式であり、ネットワークの各素子の状態変化を数値計算すると、視差分布が自発的に現れる。

(3) ステレオ視差検出において複数の克服すべき問題が指摘されており、そのうちの一つに「オクルージョン (隠れ領域) 問題」がある。ステレオ視では異なる 2 つの位置から画像を撮影しているため、奥行き方向に重なり合う物体は、一方の画像には映っているが、他方の画像には映らない部分が生じる。視差検出には左右の画像間でのパターンの対応付けが必要となるが、それが不可能となって視差検出が困難となり誤対応を生じる問題が、オクルージョン問題である。この問題を解決するための一つのアイデアとして、視差分布は滑らかに変化すると仮定し、同一物体を映していると推定される隣接領域から既に検出されている視差を伝播させる方法が考えられる。

(4) 視差分布の滑らかさの仮定は、同一物体が映る領域内であれば有効であると考えられる。しかし、オクルージョン問題によって視差検出困難となっている領域が、その隣接領域と同一物体内にあるか否かの判定は一般に困難である。従来の反応拡散アルゴリズムや他のステレオアルゴリズムでは、画像中の明るさ・色や模様 (テクスチャー) の類似性を手掛かりとして隣接素子間の結合強度に非一様性を導入することで、物体の内・外を分離しようと試みた。しかし、内外を隔てる境界を検出するには、エッジ検出やテクスチャー検出がさらに必要となり、これもまた困難を伴う。

2. 研究の目的

(1) 反応拡散アルゴリズムにおいて、オクルージョン問題を解決することを目的とする。反応拡散方程式は、元々隣接領域に情報を伝播させる性質を有している。この性質を利用し、同一物体内の視差既知の領域から視差を伝播させる方法を提案し効果を確認する。

(2) 具体的には、反応拡散ネットワークにおける隣接素子間に非対称結合を課すことを試みる。ステレオ視の左画像を基準とした視差検出においては、オクルージョン領域は物体境界の左側に現れる。従って、視差情報をオクルージョン領域の右側から伝播させることは、物体境界を越えて視差を伝播させるため不可であるが、オクルージョン領域の左側から伝播させることは可となる。ここに非対称結合を導入することの効果も期待できる。また、視差既知の領域からオクルージョン領域へは伝播を許すが、逆方向の伝播は許さないことにより、誤対応を伝播させない効果も期待できる。

3. 研究の方法

(1) ニューロンの興奮・抑制の数理モデルの一つである FHN モデルは、時間 t における変数 $(u(t), v(t))$ を支配する次式で表される。

$$\begin{aligned} \frac{du}{dt} &= \frac{1}{\varepsilon} [u(u-a)(1-u) - v] + \mu S, \\ \frac{dv}{dt} &= u - bv \end{aligned} \quad \text{式(1)}$$

ここで a, b, ε は定数、 S は外部刺激、 μ はその係数を表す。また、ニューロンの状態として $u \approx 1$ のとき「興奮状態」、 $u \approx 0$ のとき「休止状態」という。FHN モデルは、パラメータ a, b, ε に応じて、1 つの安定な平衡解を持つ「単安定系」と、2 つの安定な平衡解を持つ「双安定系」がある。

(2) FHN モデルのような微分方程式を拡散結合することにより、反応拡散方程式が得られる。実際にこの方程式を数値的に解くには、拡散結合を空間離散化し近似する差分法を用いる。これによって離散化された式は、FHN モデルで表されるニューロン素子を空間格子上に離散的に配置して、隣接素子間を結合したネットワーク：反応拡散ネットワークと考えることができる。反応拡散ネットワークにより画像処理・視覚情報処理のいくつかの機能を実現できることは既に知られており、双安定系の 3 次元反応拡散ネットワークにステレオ画像の類似度分布を外部刺激として与えることで視差検出を行うことができる。

(3) ステレオ視差検出を行う反応拡散ネットワークにおいて、2次元画像の格子点を (i, j) とし、可能性のある視差を $d(\text{pixel})$ とする。3次元格子点 (i, j, d) におけるFHN素子の状態 $(u_{i,j,d}, v_{i,j,d})$ は次の反応拡散ネットワークにより支配される。

$$\begin{aligned} \frac{du_{i,j,d}}{dt} &= C_u(\bar{u} - u_{i,j,d}) + \frac{1}{\varepsilon} [u_{i,j,d}(u_{i,j,d} - a)(1 - u_{i,j,d}) - v_{i,j,d}] + \mu S_{i,j,d} \\ \frac{dv_{i,j,d}}{dt} &= C_v(\bar{v} - v_{i,j,d}) + u_{i,j,d} - b v_{i,j,d} \end{aligned} \quad \text{式(2)}$$

ここで C_u, C_v は隣接素子間の結合強度、 \bar{u} と \bar{v} は隣接素子の u 又は v の平均、 $S_{i,j,d}$ はステレオ画像間の類似度を表す。また、 a は他の視差レベルのネットワーク層と排他的に結合するように決める。

(4) 従来の反応拡散アルゴリズムでは、式(2)及び図1(a)のように隣接素子間の結合を方向性の無い対称結合としていた。ここでは、図1(b)のように C_u, C_v を水平(x)・垂直(y)成分に分割し、方向性を取り入れ可能な非対称結合とする。すると、図1(c),1(d)で比較して示すように、非対称結合の場合、興奮状態(白い領域)を表す波が、方向性をもって伝播することがわかる。(但し図1(a),1(b)ともに時間変化がわかりやすいように単安定系により計算し、異なる時間において得られた結果を重ね合わせた。)この性質をステレオアルゴリズムに導入することにより、オクルージョン領域における視差未検出の領域に周辺領域の左側のみから視差が伝播することを期待できる。

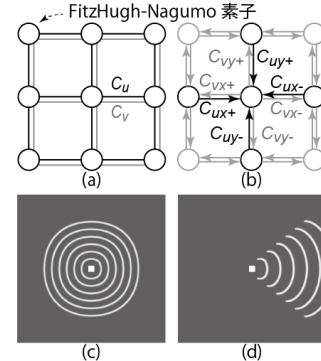


図1 2次元反応拡散ネットワーク(格子)と波の伝播
(a): C_u, C_v で対称結合の反応拡散ネットワーク
(b): 非対称結合を有する反応拡散ネットワーク
($C_{ux-}/C_{ux+}=C_{vx-}/C_{vx+}=0.1, C_{uy-}=C_{uy+}, C_{vy-}=C_{vy+}$)
(c),(d): 中央を刺激した場合の(a),(b)における伝搬波

4. 研究成果

(1) 本研究で提案の非対称結合を導入した反応拡散ネットワークによるステレオアルゴリズムを性能評価用のステレオデータセットに適用した。その結果、図2に示したように、 C_v の水平方向にわずかに非対称結合を入れたとき、隠れ領域に既に視差が検出された領域から埋め込まれる様子を確認した。また、全体的に非対称結合の場合の方が対称結合の場合よりも視差未検出の領域が小さくなり、検出精度も向上した。

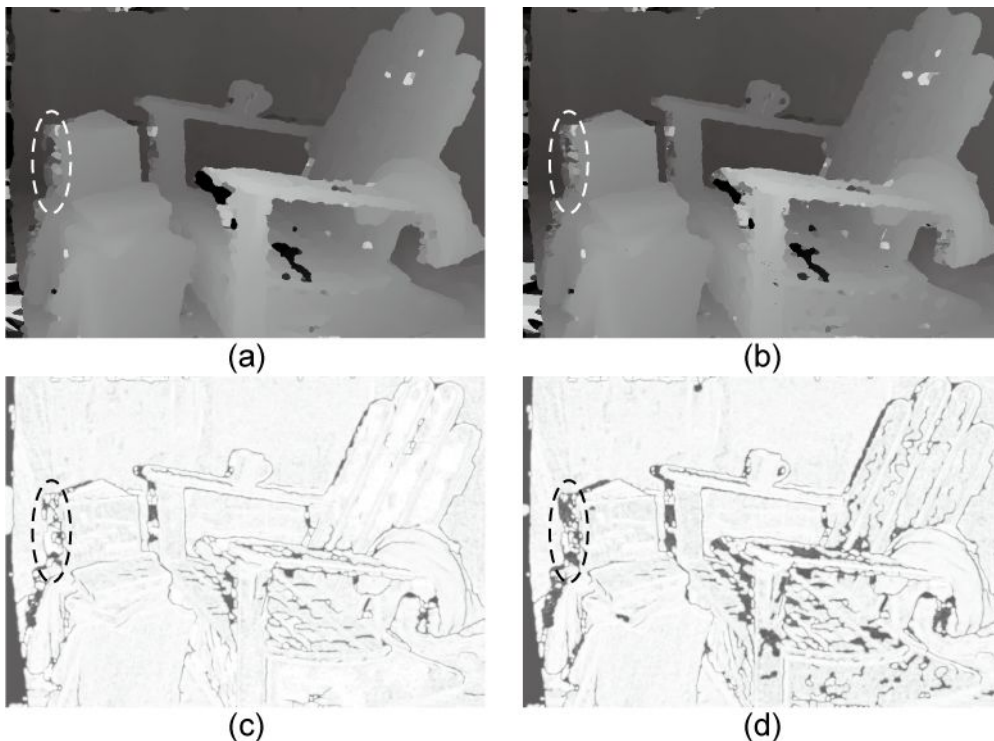


図2. ステレオ視差検出のための反応拡散アルゴリズムにおける(a)非対称結合の場合と(b)対称結合の場合の結果の比較。で公開されている評価用データセットのうち「Adirondack」(Qサイズ)のステレオ画像を解析した。(c)と(d)は検出された領域(白色)と未検出領域(黒色)の分布。特に注目すべき隠れ領域を点線楕円で記した。性能評価の結果は、誤対応割合(Bad Match Percentage: BMP・閾値 1.0)が(a)32.14%、(b)32.96%、平均誤差(avgErr)が、(a)3.47(pixel)、(b)3.73(pixel)であった。BMPとavgErrとも値が小さい方が良い評価を表す。

(2) 従来、反応拡散アルゴリズムや、類似のものとして拡散方程式を用いたアルゴリズムが提案されてきた。隣接素子の結合方法として非一様のはあったが、対称としていた。ここで提案した非対称結合は、新しい結合方法として学術的意義がある。

(3) 反応拡散アルゴリズムによって複数の画像処理・視覚情報処理の機能を実現できることがわかっているが、本研究を進める中で当初予定していなかったステレオアルゴリズムとエッジ検出アルゴリズムにおいて新たな知見を得た。ステレオアルゴリズムにおいては、従来初期条件と外部刺激に左右の画像間の類似度分布を与えていたが、全ての素子の初期条件をゼロとした場合でもステレオ視差分布の推定結果に違いがないことを見出した。このことは、反応拡散ネットワークのステレオ動画像からの動的な視差分布推定への適用可能性を示唆するもので興味深く、今後の発展が期待できる。

(4) また、エッジ検出のための反応拡散アルゴリズムにおいては、反応拡散ネットワークの初期条件として、従来は画像の明るさ分布を与えていたが、ガウシアンフィルタによる平滑化画像の勾配の絶対値を与えることで、エッジ検出精度が向上することを見出した。この研究成果を国際会議において発表したところ、Best Paper Award を受賞した。

< 引用文献 >

Scharstein, D., Szeliski, R., Hirschmuller, H., “Middlebury Stereo Vision Page,”

<http://vision.middlebury.edu/stereo/>, 2020 年 6 月 1 日確認

Nomura, A., Okada, K., Mizukami, Y., “Reaction-diffusion algorithm designed for image edge detection and its performance evaluation,” *Proceedings of International Conference on Computer Graphics, Visualization, Computer Vision and Image Processing 2018*, pp. 269-276.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 NOMURA Atsushi, OKADA Koichi, MIZUKAMI Yoshiki
2. 発表標題 Reaction-diffusion algorithm designed for image edge detection and its performance evaluation
3. 学会等名 The 12th International Conference on Computer Graphics, Visualization, Computer Vision and Image Processing, Part of the IADIS MCCSIS 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年～2019年

1. 発表者名 NOMURA Atsushi, OKADA Koichi, MIZUKAMI Yoshiki
2. 発表標題 Novel approach of reaction-diffusion network for image processing and computer vision
3. 学会等名 The International Conference on Signal Processing and Multimedia Applications (SIGMAP 2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 NOMURA Atsushi
2. 発表標題 Initial conditions of reaction-diffusion algorithm designed for image edge detection
3. 学会等名 International Conference on Image Analysis and Recognition (ICIAR 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 三池秀敏、古賀和利、橋本基、山田健仁、百田正広、長篤志、野村厚志、中島一樹	4. 発行年 2018年
2. 出版社 大学教育出版	5. 総ページ数 202
3. 書名 デジタル動画画像処理：理論と実践	

〔産業財産権〕

[その他]

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	岡田 耕一 (OKADA Koichi) (50452636)	山口大学・大学教育機構・講師 (15501)	
研究 分担者	水上 嘉樹 (MIZUKAMI Yoshiki) (60322252)	山口大学・大学院創成科学研究科・准教授 (15501)	
連携 研究者	櫻井 建成 (SAKURAI Tatsunari) (60353322)	山口芸術短期大学・芸術表現学科・教授 (45506)	
連携 研究者	北沢 千里 (KITAZAWA Chisato) (30403637)	山口大学・教育学部・准教授 (15501)	
連携 研究者	小野 史典 (ONO Fuminori) (90549510)	山口大学・教育学部・准教授 (15501)	