

機関番号：15501

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2008～2010

課題番号：20500206

研究課題名(和文) 自然現象のパターン形成機構による計算機視覚のための反応拡散アルゴリズム系の構築

研究課題名(英文) Nature-inspired computer vision algorithms with reaction-diffusion models describing pattern formation processes

研究代表者

野村 厚志 (NOMURA ATSUSHI)

山口大学・教育学部・准教授

研究者番号：40264973

研究成果の概要(和文)：自然におけるいくつかのパターン形成過程は、興奮・抑制の反応拡散モデルによって記述される。このモデルを用いた計算機視覚のためのアルゴリズムを構築した。特に、初期視覚系の情報統合機構に着目し、両眼視差検出へのエッジ情報の統合機構について、視差推定精度の点からアルゴリズムを検討した。その結果、強い抑制性拡散をエッジ領域に課すことで、視差検出精度の向上が期待できることを見出し、情報統合機構として提案した。

研究成果の概要(英文)：A reaction-diffusion model with an excitation-inhibition mechanism describes pattern formation processes observed in nature. In this research work, we built computer vision algorithms by utilizing reaction-diffusion models. In particular, we focused on a reaction-diffusion stereo algorithm, and proposed to integrate image edge information into the algorithm. We found that the imposition of strong inhibitory diffusion on the algorithm at image edge positions is effective with respect to accuracy of stereo disparity detection for several test stereo images.

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	700,000	210,000	910,000
2010年度	700,000	210,000	910,000
年度	0	0	0
年度	0	0	0
総計	2,800,000	840,000	3,640,000

研究分野：コンピュータビジョン・ソフトコンピューティング・パターン形成・パターン認識  
 科研費の分科・細目：情報学・感性情報学・ソフトコンピューティング  
 キーワード：反応拡散アルゴリズム、パターン形成、ステレオアルゴリズム、興奮・抑制、視覚情報の統合、エッジ検出、結合振動子系

## 1. 研究開始当初の背景

人間の初期視覚系はいくつかのモジュールから構成されており、それらの中で情報が統合・処理されている。具体的には、エッジ検出や両眼視差検出、運動検出の機能を実現するモジュールがある。計算機とカメラを用いて人間の視覚系と同様のものを実現しようとするコンピュータビジョン(計算機視覚)の分野においても、様々な視覚機能を実現し、それらを統合して系を構築しようとする

る試みがある。

視覚心理学の分野では、人間の視覚特性を実験的に観察することにより、統合過程の系を明らかにしようとする試みが行われている。両眼立体視における視差検出と画像の明るさ分布から得られる情報が統合されて奥行きが知覚されるとする報告もある。

これまで、報告者らは、反応拡散モデルやその離散版である結合された興奮・抑制の振動子系によって両眼画像からの視差検出や

単眼明るさ画像からのエッジ検出の機能が実現されることを確認した。

これらの先行研究から、計算機視覚のアルゴリズムに、情報統合過程を取り入れることを着想した。最も初歩的なものとして、視差検出に単眼明るさ画像のエッジ情報を統合するアルゴリズムを着想するに至った。

## 2. 研究の目的

本研究課題では、反応拡散モデルを用いて視差検出とエッジ検出の視覚情報処理機能を実現し、それらの統合系を提案することを目的とする。特に、抑制性拡散の大きさや拡散の異方性が、視差検出の精度に与える影響に着目し、その効果について明らかにする。

## 3. 研究の方法

両眼視カメラによって3次元シーンを撮影すると、シーン中の物体は、左右のカメラからの見え方の違いによって、画像平面上での位置に違いが生じる。その位置の違いを視差といい、その視差から3次元の奥行き情報を得ることができる。

両眼画像から視差を検出するためには、左右の画像間で対応関係を見出すことが必要である。一般の3次元シーンは、対応関係においてあいまいさを含み、付加的な拘束条件を課すことが必要となる。その拘束条件として、視差分布に関する連続条件と唯一条件が一般に課される。連続条件とは、視差マップ上の隣接する領域において、類似の視差を持つとする条件であり、唯一条件とは、各点で一つしか視差の値を持たないという条件である。

まず、視差検出を実現するための反応拡散アルゴリズムを構築した。これは、複数組のFitzHugh-Nagumo型の反応拡散モデルからなる。各モデルには視差レベルが対応づけられ、また、対応する視差レベルを持つであろう領域を支配する。反応拡散現象によってその領域を広げるように反応拡散モデルが機能することで、連続条件を実現する。複数の反応拡散モデル間で相互排他的に結合することによって、唯一条件を実現する。反応拡散モデルは、興奮性因子の変数と抑制性因子の変数を持ち、それらに関する拡散係数によって、連続条件の強さが決まる。

次に、離散的に結合されたFitzHugh-Nagumo型の興奮・抑制の要素からなる、単眼画像からのエッジ検出アルゴリズムを構築した。これは、反応拡散モデルの離散化されたものと考えられることができる。

反応拡散モデルによる視差検出アルゴリズムを用いて、抑制性因子の拡散係数の精度依存性を確認した。抑制性因子は、連続条件を抑制する働きを持つ。その拡散係数を変化させることで、視差マップの微細な構造や不

連続性を有する領域の視差推定精度に、どの程度・どのような影響があるか確認した。

視覚心理学における知見から、単眼画像の明るさの情報が奥行き知覚に統合されているとの示唆がある。これは、人間の視覚系が様々な視覚機能を実現するモジュールから構成され、それらの情報が統合されているとの仮説を裏付けている。

反応拡散モデルの興奮性因子と抑制性因子の2つの拡散係数に、単眼画像の明るさから得られるエッジ情報を統合することを試みた。視差検出のための連続条件は、物体境界のような視差の急激に変化する奥行き不連続領域では満足されない。また、明るさ分布におけるエッジと奥行き不連続領域とは必ずしも一致しないが、明るさエッジは物体境界を推定するための手掛かりとなりうる。

以上より、興奮性と抑制性の拡散係数に、明るさエッジの情報を統合する以下の2通りの統合方法を試みた。

- ・統合方法 1：明るさエッジのある位置において、興奮性・抑制性の拡散係数を小さくする統合方法。これによって、視差の急激に変化すると思われる領域において、連続条件を弱めることとなる。
- ・統合方法 2：明るさエッジのある位置で、なおかつ、仮に評価された視差マップで不連続性があると予測される位置において、抑制性の拡散係数の強さを大きくする統合方法。興奮性の拡散係数は固定する。抑制性拡散は、支配領域が広がるのを妨げるように働く。

これら2つの統合方法を反応拡散アルゴリズムに導入し、テスト画像を用いてそれらの精度を確認した。

なお、両眼視差検出への明るさエッジ情報の統合モデルを検討する際、エッジ検出アルゴリズムについても再考し、新しいアルゴリズムを提案している。

## 4. 研究成果

視差検出アルゴリズム評価用の4組の両眼画像とそれらの正しい視差分布がMiddlebury Stereo Vision Pageのwebsiteで公開されている(<http://vision.middlebury.edu/stereo/>)。両眼画像から視差分布を推定し、正しい視差分布と比較することで、アルゴリズムの精度を評価することができる。評価方法として、BMP(%)とRMS(pixel)の2種類を用いた。BMPは誤対応率を評価するもので、視差マップの各点において、1pixel以上の誤りを含む点の評価領域全体に対する割合を表す。また、RMSは推定された視差の誤りの平均二乗誤差を表す。

オリジナルの反応拡散アルゴリズムと、上

で示した統合方法1及び統合方法2を4組の両眼画像に適用し、BMPとRMSによって視差の推定精度を評価した。表1の評価結果によると、画像No.2について、方法2がオリジナルのアルゴリズムや方法1のそれに比べて、大きく精度が向上している。特に奥行き不連続領域：disc.においての精度向上が著しい。その他のテスト画像については、大きな差はなかった。

図1に、画像No.2に対するオリジナルの反応拡散アルゴリズムと統合方法2のアルゴリズムによる視差マップとその誤差分布、統合方法2において設定された抑制性因子の拡散係数の分布を示した。この結果より、確かに、統合方法2の方が奥行きの不連続領域において誤差が小さくなっており、さらに、その領域と抑制性拡散を大きく設定した領域が重なっていることがわかる。

表1 視差検出における反応拡散アルゴリズムの評価結果。Middlebury Stereo Vision Pageで公開されているアルゴリズム評価用の4つの両眼画像を用いた(No.1: TSUKUBA, No.2: VENUS, No.3: TEDDY, No.4: CONES)。それぞれの評価領域(nonocc.: 非オクルージョン領域、all: 全領域、disc.: 奥行き不連続領域)について、BMP(%)とRMS(pixel)を用いて評価した。下線は3つのアルゴリズムのうち、最もよい評価のものを示す。

画像No.	評価領域	オリジナル Nomura et al., <i>Mach. Vis. Appl.</i> , 2009		統合方法1 Nomura et al., <i>Proc. VISAPP</i> , 2009		統合方法2 Nomura et al., <i>Proc. IADIS</i> , 2010	
		BMP (%)	RMS (pixel)	BMP (%)	RMS (pixel)	BMP (%)	RMS (pixel)
1	nonocc.	<u>6.77</u>	<u>1.42</u>	8.51	1.54	7.02	1.47
	all	<u>8.53</u>	<u>1.61</u>	10.23	1.72	8.54	1.64
	disc.	18.68	<u>2.47</u>	19.42	2.52	<u>18.55</u>	2.60
2	nonocc.	2.81	0.75	3.17	0.77	<u>1.21</u>	<u>0.59</u>
	all	3.97	0.92	4.33	0.92	<u>2.44</u>	<u>0.80</u>
	disc.	21.64	2.01	19.62	1.88	<u>8.12</u>	<u>1.52</u>
3	nonocc.	14.26	<u>2.19</u>	<u>14.00</u>	2.38	14.56	2.29
	all	20.26	<u>3.23</u>	<u>20.00</u>	4.36	20.64	3.32
	disc.	29.19	<u>3.36</u>	28.89	3.48	<u>27.98</u>	3.45
4	nonocc.	<u>5.03</u>	1.94	5.08	<u>1.85</u>	5.21	1.88

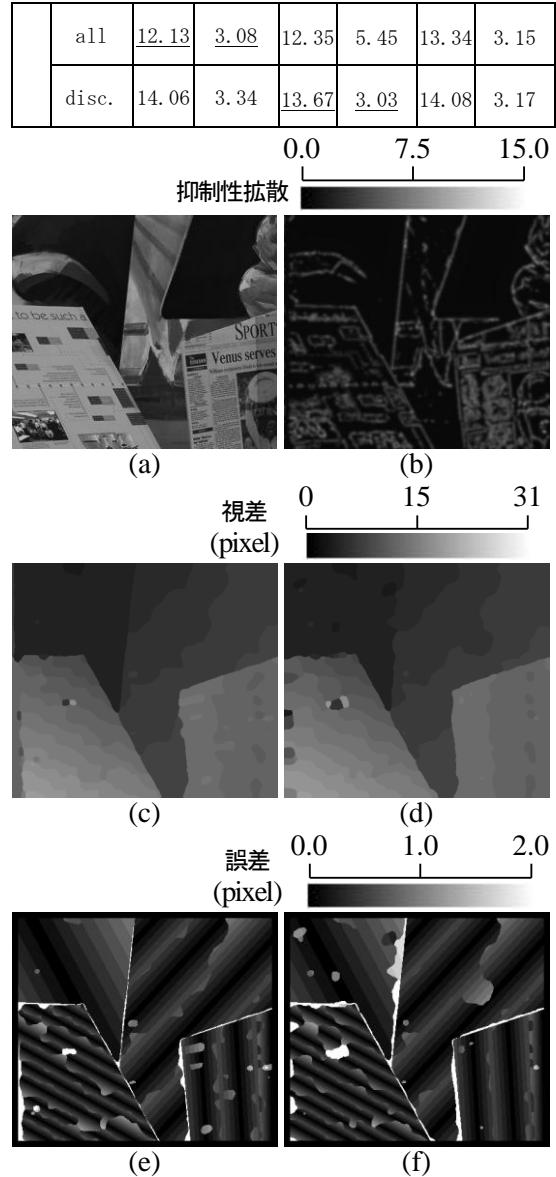


図1 両眼画像(No.2, VENUS)からの視差分布の推定結果とその誤差分布。(a)テストに用いられた両眼画像のうちの左画像[画像サイズ:434×383(pixel)、視差レベル:0~19(pixel)の20段階]、(b)抑制性拡散係数の分布、(c)統合方法2による視差検出結果、(d)オリジナルの反応拡散アルゴリズムによる視差検出結果、(e)視差検出結果(c)の誤差の絶対値の分布、(f)視差検出結果(d)の誤差の絶対値の分布。

以上の結果から、両眼画像からの視差検出アルゴリズムへのエッジ情報の統合方法として次のことが明らかになった。明るさエッジのある位置で、なおかつ、仮に推定された視差マップに不連続性があると推定された位置において、抑制性因子の拡散係数を大きく設定することで、検出精度が著しく向上する場合がある(特に奥行き不連続の領域でBMPが半分以下)。また、この統合方法で、オ

リジナルの反応拡散アルゴリズムやエッジ位置で拡散係数を弱める統合方法と比較して、検出精度が大きく低下することはない。

本研究成果は、視覚系における情報統合過程を探る研究に対して、一定の示唆を与えると期待できる。また、抑制性因子に強い拡散係数を課すことは、自然における静止パターン形成のための条件と類似しており、興味深い結果と位置付けられる。

今後の発展として、非一様な拡散係数に着目した視差検出アルゴリズムの修正を考えている。人間の視覚系には異方性が存在することが知られている。奥行き知覚においても、水平方向に視差勾配がある場合と、垂直方向に視差勾配がある場合とでは、検出精度や知覚されるまでの時間が異なることが知られている。反応拡散アルゴリズムの拡散係数に異方性を課すことで、人間の奥行き知覚と同様の特性が得られないか検討する。

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計1件)

- ① Nomura, A., Ichikawa, M., Okada, K., Miike, H., Sakurai, T.: "Edge detection algorithm inspired by pattern formation processes of reaction-diffusion systems," *International Journal of Circuits, Systems and Signal Processing*, Vol. 5, No. 2, pp. 105-115 (2011) (査読無) (On-line Journal).  
<http://www.naun.org/journals/circuitssystemssignal/19-557.pdf>

[学会発表] (計6件)

- ① Nomura, A., Ichikawa, M., Okada, K., Miike, H.: "Long-range inhibition in reaction-diffusion algorithms designed for edge detection and stereo disparity detection", *Proceedings of Advanced Concepts for Intelligent Vision Systems, the 12th International Conference, ACIVS 2010, Part I*, (December 13-16, 2010, Sydney, Australia), pp. 185-196 / *Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 6474, 2010.  
[http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-17688-3\\_19](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-17688-3_19)
- ② Nomura, A., Ichikawa, M., Okada, K., Miike, H., Sakurai, T.: "Reaction-diffusion systems in pattern formation and pattern recognition processes", *Proceedings of 10th WSEAS International Conference on Signal Processing, Computational Geometry and Artificial Vision (ISCGAV '10) -- New*

*Aspects of Signal Processing, Computational Geometry & Artificial Vision* (August 20-22, 2010, Taipei, Taiwan), pp. 161-166.

<http://www.wseas.us/e-library/conferences/2010/Taipei/ISCGAV/ISCGAV-29.pdf>

- ③ Nomura, A., Ichikawa, M., Okada, K., Miike, H.: "Reaction-diffusion stereo algorithm with anisotropic inhibitory diffusion", *Proceedings of IADIS International Conferences Computer Graphics, Visualization, Computer Vision and Image Processing 2010*, (July 27-29, 2010, Freiburg, Germany), pp. 379-384.
- ④ Nomura, A., Ichikawa, M., Okada, K., Miike, H.: "Edge strength evaluation with reaction-diffusion systems," *Proceedings of the 24th International Image and Vision Computing New Zealand Conference (IVCNZ 2009)* (November 23-25, 2009, Wellington, New Zealand), pp. 442-447.  
<http://dx.doi.org/10.1109/IVCNZ.2009.5378365>
- ⑤ Nomura, A., Ichikawa, M., Okada, K., Miike, H.: "Reducing computation time in a reaction-diffusion stereo algorithm," *Proceedings of the 14th International Fall Workshop on Vision, Modeling, and Visualization 2009 (VMV'09)* (November 16-18, 2009, Braunschweig, Germany), pp. 383-384.  
<http://vmv09.tu-bs.de/downloads/posters/nom09.pdf>
- ⑥ Nomura, A., Ichikawa, M., Okada, K., Miike, H.: "Integration of intensity edge information into the reaction-diffusion stereo algorithm," *Proceedings of International Conference on Computer Vision Theory and Applications* (February 5-8, 2009, Lisboa, Portugal), pp. 580-586.

[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  
なし

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

野村 厚志 (NOMURA ATSUSHI)  
山口大学・教育学部・准教授  
研究者番号：40264973

(2) 研究分担者

岡田 耕一 (OKADA KOICHI)  
山口大学・大学教育機構・講師  
研究者番号：50452636

(3) 連携研究者

三池 秀敏 (MIIKE HIDETOSHI)  
山口大学・大学院理工学研究科・教授  
研究者番号：10107732

一川 誠 (ICHIKAWA MAKOTO)  
千葉大学・文学部・准教授  
研究者番号：10294654

櫻井 建成 (SAKURAI TATSUNARI)  
千葉大学・大学院理学研究科・准教授  
研究者番号：60353322