

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 27 日現在

機関番号：17104

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2013

課題番号：25540110

研究課題名(和文) 視機性動眼反射に潜む非線形力学機構と脳型ロボットビジョン開発に関する研究

研究課題名(英文) Studies on nonlinear dynamics hidden in an optokinetic reflex and brain inspired robot vision development

研究代表者

佐藤 能臣 (Sato, Yasuomi D.)

九州工業大学・生命体工学研究科(研究院)・助教

研究者番号：40548442

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,600,000円、(間接経費) 780,000円

研究成果の概要(和文)：2011年3月の東日本大震災をきっかけに、災害中の現場に入って活動する災害救援ロボットの技術開発の動きは、ますます加速する。災害救援ロボット技術開発では、人間の脳の視覚情報処理過程を模擬し、その視覚機能に匹敵するロボットの眼「ヒューマノイドビジョン」開発は、急務の研究課題である。本研究課題では、視機性動眼反射の神経モデルやロボットビジョン運動制御で使われる神経モデルを用い、発火率勾配を導出することで神経モデルに潜む非線形性を解析する手法を提案し、神経活動の変化と分岐遷移との関係を明らかにした。また、神経モデル実装用の、人間の眼球の運動機能以上の性能を持つ両眼ロボットビジョン装置を開発した。

研究成果の概要(英文)：Robots, which are helpful assistants in dangerous situations where humans cannot safely operate, have been required since natural and man-made disasters happened in Japan on March 2011. In the assistant robot construction, developments of the robot vision with the visual ability comparable to visual perceptions in the human brain (called humanoid vision) are the urgent research tasks. In the developments of human-like robot vision, we used neural models for an optokinetic reflex as well as robotic motion controls, in order to propose analysis on slopes of the firing rate for each neural model. We revealed nonlinear dynamical mechanisms such as bifurcation transitions, which were related to changes of the firing rate that might significantly be related to eye movement controls. In addition, we developed a binocular robot vision device in which such neural models will be implemented.

研究分野：情報学

科研費の分科・細目：人間情報学・ソフトコンピューティング

キーワード：ロボットビジョン 神経振動子 非線形力学 分岐遷移 眼球運動制御 ニューラルネットワーク

## 1. 研究開始当初の背景

脳情報処理に潜む非線形力学機構の核心的な解明に向けた、超高度なヒトの視覚機能を模した脳型ロボットビジョン『ヒューマノイドビジョン』の実現である。

この実現には、眼球運動制御に潜む非線形力学機構の解明が不可欠である。眼球運動制御に潜む非線形力学機構が明らかになれば、ヒトの眼の繊細で滑らかな「動き」をリアルに再現したヒトや物体の追従可能な、汎用性の高い認識ロボットビジョンシステムの革新的創造が可能になると考えられる。

2011年の東日本大震災をきっかけに、災害中に現場で人間に代わって活動する災害救援ロボットの技術開発は、今後、ますます活発になると考えられる。上述の『ヒューマノイドビジョン』開発は、急務で、非常に重要な研究課題の1つである。

アメリカ防総省・国防高等研究計画局 (DARPA) 主催の災害救援ロボットの競技会「DARPA ROBOTICS CHALLENGE TRAILS 2013」では、ヒト型ロボットが大半を占めていたにも関わらず、障害物が存在する複雑な屋外の環境下では、人間の脳にとって、障害物の瞬時の認識・識別が容易な状況でさえも、ヒト型ロボットビジョンには、困難であることが分かった。

この困難を乗り越え、災害時にロボットが駆けつけ人間を助ける夢の実現には、脳・神経科学とロボット工学の両分野が有機的に結びつき、脳・神経科学に基づく知能創発の基盤となる、独自のコンピュータビジョン技術の確立が重要な役割を果たすと考えられる。

## 2. 研究の目的

ヒト脳の視覚情報処理過程を模擬し、その視覚機能に匹敵するヒューマノイドビジョンの実現が大きな柱である。人間の眼の視覚静定をロボットビジョン装置で再現するため、視機性動眼反射等の眼球運動制御に関する神経活動の数理モデルを用い、その神経活動の数理モデルに潜む非線形機構解明用の発火率勾配解析手法を提案し、眼球運動制御に密接に関与すると思われる神経活動に潜む非線形分岐特性遷移機構を明らかにする。その解析手法で得られる知見に基づき、ロボットビジョン実装用の新規の眼球運動制御モデルの提案の可能性を示唆する。更に、既存の視覚情報処理アルゴリズムを実時間処理用に改良し、開発中の両眼ロボットビジョンへ実装し、実環境での追跡性能を評価する。

## 3. 研究の方法

H24年度までに開発した物体検出アル

ゴリズム [ Sato et al., 2011; Sato and Kuriya, 2012 ] を顔検出・顔追跡用に改良。

眼球運動制御に関する神経活動の数理モデル・神経振動子に潜む非線形機構を解明するため、発火率勾配解析手法の提案。

発火率勾配を利用した眼球運動制御モデルの提案。

の顔検出アルゴリズム、の眼球運動制御モデル実装用のロボットビジョン装置の提案。

の運動制御性能の検証。

## 4. 研究成果

Gabor pyramid 画像処理技術の multi-scale 対応性を利用し、Elastic Graph Matching (EGM) の顔認識機能を残しつつ、処理コスト負担をできる限り軽減し、リアルタイム処理可能な顔検出アルゴリズム (Multi-Scale EGM) の開発に成功した。画像処理技術主体のコンピュータビジョン技術で、Viola & Jones によって提案された Haar-like 特徴量を用いた Adaboost-Cascade 顔検出器に比べ、Occlusion がない顔でも、1%以上高い 97.6%の検出率、サングラスなどで顔の一部が覆われても、約 8%以上高い 98.0%の高顔検出率を算出した。

位相縮約法と呼ばれる、 $n$ 次元非線形常微分方程式で表わされる神経活動の数理モデル・神経振動子が外部から受ける微小摂動を、1次元位相空間上で位相記述する方法を用い、計算論的神経科学で広く知られている位相応答曲線と発火率勾配との関係を明らかにした。

位相応答曲線と発火率勾配の関係性から、神経活動の数理モデルに潜む非線形力学特性の分岐特性遷移による、分岐点周りでの発火率の変化を見出した。本研究課題では、特に、2次元 Hindmarsh-Rose 型神経振動子に潜む、Saddle-separatrix loop (SSL) 分岐から Andronov-Hopf 分岐への分岐遷移による発火率の切替 [ Sato, 2013a ] や Hodgkin-Huxley 型神経振動子に潜む、SSL 分岐から Saddle-node on an invariant cycle 分岐への遷移による発火率の非線形的な変化を見出した [ Sato, 2013b ]。その他の分岐遷移での発火率の変化も見出し、このような発火率の変化には、位相応答曲線の面

積の変化が密接に関与することを明らかにした[ Sato, 2014; Sato and Aihara, 2014 ] .

の知見や, 大脳皮質・運動野の運動ニューロンの発火率勾配の修飾による発火活動の増強・減弱の生理学実験結果 [ Powers and Binder, 1995 ] に基づき, ロボットの歩行運動制御で広く使われている松岡神経振動子[ Matsuoka, 1985, 1987 ] を利用した, ロボットビジョンの物体追跡の制御モデルを新たに提案した .

また, で提案した発火率勾配解析法を松岡神経振動子に適用したところ, ロボットの運動制御で使われる膜電位ダイナミクス結合系では, 松岡神経振動子の非線形動力学特性を活かした制御の実現が困難である可能性を示唆した .

H24 年度まで の Multi-scale EGM アルゴリズムをロボットビジョン装置実装用に改良した . また, 将来の の松岡振動子を利用した眼球運動制御モデルの性能検証のため, OpenCV のライブラリの物体検出アルゴリズムを実装し, 下記の で運動制御性能の検証を行った .

また, H24 年度までに既に開発した両眼ロボットビジョン装置を改良した旧型装置の両眼それぞれにチルト用のサーボモータをとりつけ, 自由度を増やした . そして, 装置自体のコンパクト化も行った .

ロボットビジョン装置の2つのステレオカメラのリアルタイム物体追跡を実現した . また, 人間の目の動きと同等ないし, それ以上, 即ち, 角速度 900 deg/sec 以上の動的性能の実現を可能にした .

#### 5 . 主な発表論文等

( 研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線 )

[ 雑誌論文 ] ( 計 6 件 )

1. Yasuomi D. Sato and Kazuyuki Aihara: “Changes of Firing Rates Induced by Changes of Phase Response Curves in Bifurcation Transitions.” Neural Computation (Acceptance) 【査読有】
2. Yasuomi D. Sato: “Changes in Repetitive Firing Rate Related to

Phase Response Curves for Andronov-Hopf bifurcations.” Chinese Physics Letters, **31**(5) 050501, (2014)

【査読有】

3. Yasuomi D. Sato: “Frequency gradient with respect to temperature for determination of classification of phase response curves.” Chinese Physics Letters **30**(12) 128201, (2013) 【査読有】
4. Yasuomi D. Sato and Yasutaka Kuriya: “Multi-scale elastic graph matching for face detection.” EURASIP Journal on Advances in Signal Processing **2013**:175, (2013) 【査読有】【Highly Accessed】754 The top accessed in “Last 30 days” (21<sup>st</sup> December 2013) (<http://asp.eurasipjournals.com/content/2013/1/175/about>).
5. Yasuomi D. Sato: “An Optimal Power-Law of Synchrony and Lognormally Synaptic Weighted Hub-like Networks” Chinese Physics Letters **30**(9) 098701, (2013)【査読有】
6. Yasuomi D. Sato: “Transition frequencies in the neuronal oscillator” Europhysics Letters **102**(5) 58004, (2013) 【査読有】

[ 学会発表 ] ( 計 1 件 )

1. Yasuomi D. Sato: “Study on human brain inspired robot vision system developments (人間の脳に触発されたロボットビジョン開発に関する研究).” (Oral) IEICE General Conference 2014, (Niigata, Japan, December, 18<sup>th</sup> – 21<sup>st</sup>, 2014).

[ その他 ]  
ホームページ等

<http://www.brain.kyutech.ac.jp/~sato-y/>

6 . 研究組織

(1)研究代表者

佐藤 能臣 ( Sato, Yasuomi D. )

九州工業大学・大学院生命体工学研究

科・助教

研究者番号 : 40548442