

研究種目：基盤研究（B）
 研究期間：2006～2008
 課題番号：18360192
 研究課題名（和文） ロボットの高速で安定な行動を実現する運動視センシング機構の開発
 研究課題名（英文） Development of Active Visual Sensing Mechanism for Realizing Fast and Stable Robot Motions
 研究代表者
 出口 光一郎（DEGUCHI KOICHIRO）
 東北大学・大学院情報科学研究科・教授
 研究者番号：30107544

研究成果の概要：能動カメラによる追跡に基づく高速移動体の実時間追跡・形状認識システムを構築してロボットに実装し、ロボットの安定で高速な運動を実現した。また、対象の形状や自己および対象の運動に応じたカメラの効率的な注視制御方法を考案し、効率がどのような要因で決定されるのかなどを理論化した。多様な状況を設定し、多数の画像を取得して、有効性を確認した。

以上を総合して、ロボットの高速で安定な行動を実現する運動視センシング機構の構築を完成させた。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	5,800,000	1,740,000	7,540,000
2007年度	4,500,000	1,350,000	5,850,000
2008年度	3,900,000	1,170,000	5,070,000
総計	14,200,000	4,260,000	18,460,000

研究分野：画像計測・ロボット視覚

科研費の分科・細目：電気電子工学・計測工学

キーワード：ロボット視覚，コンピュータビジョン，画像理解，ロボット制御

1. 研究開始当初の背景

ロボットに搭載された視覚センサーは、外部世界の基準に対するロボットの相対的な位置姿勢を計測することができ、ロボットの運動制御に不可欠な「実環境におけるロボットの実際の動作」に関する情報を与えてくれる。ただし、ロボットの研究においては、視覚は動作計画や障害物検出などの高度なタスクに盛んに利用されている一方で、動作制御やバランス制御のような基本的な制御にはほとんど利用されていなかった。これは、視覚情報はデータ量が大きく、また、高度な処理が必要で、一般に動作制御のような瞬時の反応を必要とする制御系のためのセンシングには向かないように思われているから

である。

しかし、例えば人間の視覚系でも、眼球や脳からなる視覚情報処理系では、情報伝達と脳内での情報処理にかかる時間とを合わせると無視できない大きさになるが、それでも、人間は、時間遅れを含む視覚情報をうまく運動制御に利用している。単に直立するのにも、視覚情報が大きく寄与していることが確かめられている。

本研究では、上記の図に示すように、このような視覚センサーを制御系の一部として組み込むことで、視覚センサーそのものもつ能力を超えたセンシング機構の構成法を一般化することを目指した。

2. 研究の目的

人の視覚機能を実験的に調べる研究によって、人の視覚機能と運動制御の関わりが解明されつつあり、人や動物などの生物がもつ運動制御機構においては、視覚が動作制御において重要な役割を果たしていることが明らかになってきた。これらの生物がもつ運動制御機構と同様に、ロボットの運動機能を高めるためには視覚を運動制御に積極的に利用すべきであると考えられる。

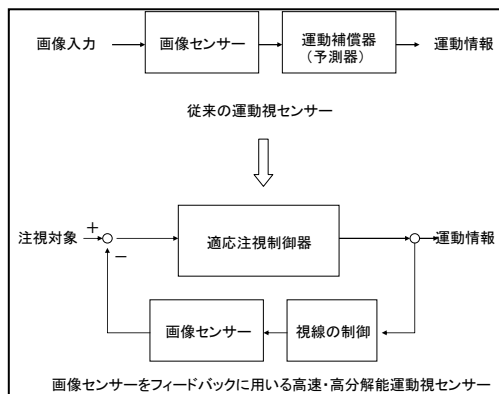
本研究では、この視覚を用いた動作計画、動作制御、バランス制御といった種々の運動制御を「ロボット動作の高速化と安定化」に結びつけ、その運動視覚による制御系の仕組みを明らかにするとともに、運動のための有効情報を獲得する運動視センシング機構を開発し、その新しい役割を確立する。本課題の期間では、特に、2足歩行ロボットが高速で安定に歩くための視覚センサーの役割を解明・実装し、動視覚センシングとも呼ぶべき新しいセンシング機構を構築する。

具体的には、まず、動物体の安定した注視と高速での追跡をする運動視のセンシングを実現し、次に、その運動視をフィードバックに用いて動作を安定化させる機構を実現させる。さらに、人間の運動視についても、本研究と関連付けたセンシングの立場から体系的に研究する。

3. 研究の方法

本研究は、人間の視覚の運動機構に関する知見と、研究代表者らのこれまでの能動視覚に関する研究成果を実用化に結びつけるため、ロボットの視覚と運動を中心とする機械知能の問題を、システム的な問題としてトータルでとらえ、統一的な能動視覚の原理を確立し、その上で、そこで実現する運動視覚の工学モデルを、次世代センシングシステムの構築へ発展させるものである。

すなわち、下図に示すように、従来の運動視センシングシステムを、運動機構と結びつけた動的なセンシングシステムとして再構築する。



具体的には、3つのシステムを実現する。

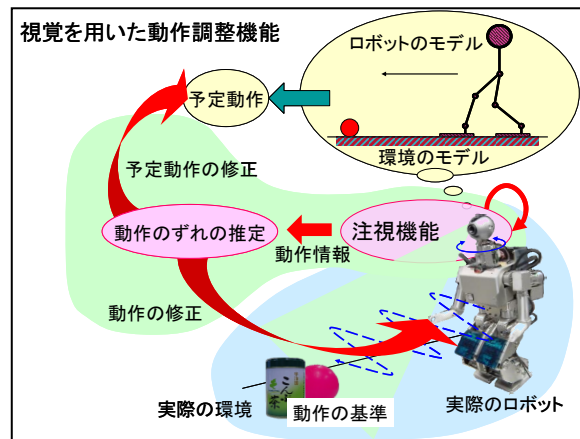
- (1) 能動カメラによる追跡に基づく高速移動体の実時間追跡・形状認識システム
- (2) 自己の運動、対象の運動により移動する対象を安定して注視し続ける、注視制御システム
- (3) 注視機構からの運動情報を有効に利用した運動制御システム

第一のシステムは、たとえば、移動ロボットの前方を横切る物体、監視カメラの前方を横切る車両などの立体形状を実時間で認識し、追跡するシステムを構築する。このとき、シーン中を移動する物体を発見したならば、それに視点を固定して追跡するようにカメラのパン、チルトを制御することで、立体形状が容易に計測しうる数理的な仕掛けが、すでに研究代表者らの研究によって示されている。本研究では、この原理をシステム化し実用性を確認する。

第二のシステムでは、人間の両眼を模した2台のカメラが注視点をそろえて協調して対象の動きをとらえ、安定して注視し続けると共に、対象形状を計測する。

第三のシステムでは、上記の注視機構で得た成果を、既存のヒューノイドロボットに実装し、運動視システムとしてロボットの安定で高速な運動を実現する新しい方式を提案し、実システムとして提示する。対象の形状や自己および対象の運動に応じたカメラの効率的な注視制御方法があるか、それは、どのような要因で決定されるのかなどを理論化することも、研究の目的である。

そして、これらの成果を統合し、人間の視覚情報処理における眼球の能動制御の仕掛けを解明するとともに、下図に示す、能動視覚をもつロボットを実現して、その視覚による空間知覚と運動制御を実現する研究の一般的な枠組みとする。



4. 研究成果

期間中に次の3つのシステムを設計、構築し、その性能の向上を図った。

(1) 能動カメラによる追跡に基づく高速移動体の実時間追跡・形状認識システム

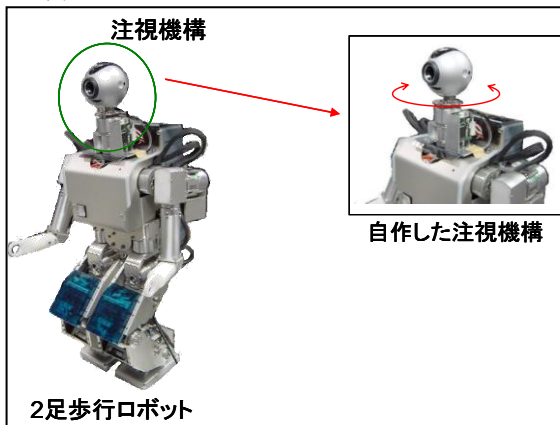
(2) 自己や対象の運動により移動する対象を安定して注視し続ける、注視制御システム

(3) 注視機構からの運動情報を有効に利用したロボットのための運動制御システム

(1)は、たとえば、移動ロボットの前方を横切る物体、監視カメラの前方を横切る車両などの立体形状を実時間で認識し、追跡するシステムであり、本年度では、全方向カメラを導入して、全周囲を見わたす高速物体検出アルゴリズムの実用性を確認した。

(2)では、複数台のカメラが注視点をそろえて協調して対象の動きをとらえ、安定して注視し続けると共に、その対象の立体形状を計測する。これについても、導入した全方向カメラによる画像と協調してよりの確な対象検出を行うシステムとして組み上げた。

(3)では、上記の注視機構で得た成果を、現有のヒューマノイドロボットに実装し、運動視システムとしてロボットの安定で高速な運動を実現した。対象の形状や自己および対象の運動に応じたカメラの効率的な注視制御方法を考案し、効率がどのような要因で決定されるのかなどを理論化した。多様な状況を設定し、多数の画像を取得して、有効性を確認した。



以上を総合して、ロボットの高速で安定な行動を実現する運動視センシング機構の構築を完成させた。

また、多視点により同時に画像を取得する下図に示すカメラシステム（左：25眼カメラ、右：5眼カメラ）を開発し、上記の(1)～(3)の成果を実装した。性能は確認中であるが、一部成果を論文発表している。



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 9件)

①Takayuki Okatani, Mikio Wada, and Koichiro Deguchi, Study of image quality of superimposed projection using multiple projectors, IEEE Transactions on Image Processing, Vol.18, No.2, pp. 424-429 (2008) (査読あり)

②Shun Ushida, Ken-ichiro, Fukuda, Koichiro Deguchi, Statistical Characteristics of Biometric Image-Based Inverted Pendulum Control Systems Using Just-In-Time Method, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.20, No.3, pp. 420-428 (2008) (査読あり)

③Koichiro Deguchi, An Information Theoretic Approach for Active and Effective Object Recognition, SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration, Vol.1, No.1, pp.33-39 (2008) (査読あり)

④福田憲一郎, 牛田俊, 出口光一郎, 人の視覚運動制御系を模擬したカメラ情報に基づく倒立振りむだ時間系の Just-In-Time 制御, システム制御/情報学会論文集, Vol.20, No.4, pp.167-173 (2007) (査読あり)

⑤Takayuki Okatani, Koichiro Deguchi, On the Wiberg Algorithm for Matrix Factorization in the Presence of Missing Components, International Journal of Computer Vision, 72(3), pp.329-337 (2007) (査読あり)

⑥出口光一郎, センシング情報学の構築, 横幹, vol.1, no.2, pp.80-87 (2007) (査読あり)

⑦牛田俊, 福田憲一郎, 李真娥, 出口光一郎, 人の視覚運動制御系の振舞いに基づく倒立振り系のむだ時間補償制御, システム制御/情報学会論文集, Vol.20, No.4, pp.160-166 (2007) (査読あり)

⑧ Daiki KAWANAKA, Takayuki OKATANI, Koichiro DEGUCHI, HHMM-based Recognition of Human Activity, IEICE Trans. Information and Systems, E89-D・7, pp.2180-2185 (2006) (査読あり)

⑨滝澤象太, 牛田俊, 出口光一郎, 注視による2足歩行ロボットの歩行動作の安定化, Vol.24, No.6, pp.727-734 (2006) (査読あり)

〔学会発表〕(計24件)

- ①Tomoya Okazaki, Takayuki Okatani, and Koichiro Deguchi, Shape reconstruction by combination of structured-light projection and photometric stereo using a projector-camera system, The 3rd Pacific-Rim Symposium on Image and Video Technology, Tokyo, Japan (2009.1.15), Tokyo
- ②阿部大輔, 岡谷貴之, 出口光一郎, 複数プロジェクトの重ね合わせ投影のための画像計算について, 第51回自動制御連合講演会(2008.11.25), 米沢
- ③Koichiro DEGUCHI, Hironari SAKURAI, and Shun USHIDA, A Goal Oriented Just-In-Time Visual Servoing for Ball Catching Robot Arm, 2008 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2008), (2008.10.25), Nice, France
- ④嵯峨智, 昆陽雅司, 出口光一郎, 反射像を用いた触覚センサにおける微小変位の検出, 日本バーチャルリアリティ学会第13回大会(2008.9.25), 奈良
- ⑤和田幹生, 岡谷貴之, 出口光一郎, 複数プロジェクトの投影像の重ね合わせによる超解像画像投影について, MIRU2008 第11回画像の認識・理解シンポジウム(2008.7.30), 軽井沢
- ⑥岡崎智也, 岡谷貴之, 出口光一郎, プロジェクタカメラシステムによる仮想反射特性の高品質な再現, MIRU2008 第11回画像の認識・理解シンポジウム(2008.7.30), 軽井沢
- ⑦石澤昂, 岡谷貴之, 出口光一郎, 被写界深度ボケの提示により奥行き感を強化する注視反応型ディスプレイ, MIRU2008 第11回画像の認識・理解シンポジウム(2008.7.30), 軽井沢
- ⑧武田悟郎, 岡谷貴之, 出口光一郎, 多眼カメラを用いたアピランスに基づく物体の姿勢推定, 第14回画像センシングシンポジウム(SSII2008)(2008.6.11), 横浜
- ⑨佐藤大雅, 牛田俊, 岡谷貴之, 出口光一郎, 柔軟物ハンドリングのための視覚計測システムの構成, 第24回センシングフォーラム, pp. 309-312 (2007.10.26), 仙台
- ⑩Kousuke Yoshimi, Shun Ushida, Koichiro Deguchi, Acquisition of Fixed Wide View Field of a Biped Robot during a Walking Motion, SICE2007, 1A08-2, (2007.9.15) Takamatsu
- ⑪Takayuki Okatani and Koichiro Deguchi, Variational Bayes Approach to Robust Subspace Learning, CVPR2007 (2007.6.22), Minneapolis
- ⑫牛田俊, 西川弘貴, 川村崇正, 出口光一郎, 視覚をもつ人型ロボットに対する身体動作模倣システムの構築, ロボティクス・メカトロニクス講演会2007、1A1-B04 (2007.5.11), 秋田
- ⑬牛田俊, 福田憲一郎, 出口光一郎, 視覚-ロボットアームからなる Just-In-Time 制御系の振舞いの統計解析, ロボティクス・メカトロニクス講演会2007、2A1-N08 (2007.5.11), 秋田
- ⑭岡崎智也, 岡谷貴之, 出口光一郎, アクティブライティングによる画像からの対象物の抽出, 情報処理学会コンピュータビジョンとイメージメディア (CVIM) 研究会, 159-13 (2007.3.19), 鹿児島
- ⑮櫻井裕音, 牛田俊, 出口光一郎, 捕球タスクに対するカメラキャリブレーションを必要としない視覚サーボ系の構築, 第12回ロボティクスシンポジウム, (2007.3.17), 長岡
- ⑯Ken-ichiro Fukuda, Shun Ushida and Koichiro Deguchi, Just-In-Time Control of Image-Based Inverted Pendulum Systems with a Time-Delay, SICE-ICASE International Joint Conference 2006, pp. 4016-4021, (2006.10.19), Bexco, Busan, Korea
- ⑰S. Ushida, K. Yoshimi, T. Okatani, and K. Deguchi, The Importance of Gaze Control Mechanism on Vision-Based Motion Control of a Biped Robot, in Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2006), pp. 4447-4452, (2006.10.14), Beijing
- ⑱Koichiro DEGUCHI, Hiromi OHTSU, An Information Theoretic Approach for Active and Effective Object Recognitions, ICPR2006, Tue-P-II-2 (2006.8.24), Hong Kong
- ⑲Manabu Ushizaki, Takayuki Okatani and Koichiro Deguchi, Video Synchronization Based on Co-occurrence of Appearance Changes in Video Sequences, ICPR2006, Wed-0-I-3b (2006.8.23), Hong Kong
- ⑳大津裕美, 出口光一郎, 情報理論に基づく物体認識のための行動選択方法, IS1-9, pp. 364-369, 画像の認識・理解シンポジウム(MIRU2006)(2006.7.21), 仙台
- ㉑牛崎学, 岡谷貴之, 出口光一郎, 画像の見かけの変化に基づく多視点カメラの時間同期取得, pp. 303-308, OS7B-3, 画像の認識・理解シンポジウム(MIRU2006)(2006.7.20), 仙台
- ㉒福田憲一郎, 牛田俊, 出口光一郎, Just-In-Time 法によるむだ時間倒立振子系の安定化制御, 計測自動制御学会第230回東北支部研究集会, 230-10 (2006.7.20),

仙台

- ②③ Takayuki Okatani and Koichiro Deguchi,
Autocalibration of an Ad Hoc
Construction of Multi-Projector
Displays, ProCams 2006: International
Workshop on Projector-Camera Systems,
pp. 44-53 (2006. 6. 18), New York
- ②④ 牛田俊, 李眞娥, 出口光一郎, ダイナミク
スにゆらぎをもつ確率システムの制御性能
向上に関する理論解析, 計測自動制御学会
第 6 回制御部門大会, pp. 391-396
(2006. 5. 15), 名古屋

[図書] (計 2 件)

- ① Pijush K. Ghosh and Koichiro Deguchi,
Mathematics of Shape Description --A
Morphological Approach to Image
Processing and Computer Graphics --,
John Wiley & Sons (Asia) Pte. Ltd. (2008),
総ページ数 254 ページ
- ② 出口光一郎, 本多敏, センシングのた
めの情報と数理, コロナ社 (2008),
総ページ数 163 ページ

[その他]

ホームページ

<http://www.fractal.is.tohoku.ac.jp>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

出口 光一郎 (DEGUCHI KOICHIRO)
東北大学・大学院情報科学研究科・教授
研究者番号：30107544

(2) 研究分担者

岡谷 貴之 (OKATANI TAKAYUKI)
東北大学・大学院情報科学研究科・准教授
研究者番号：00312637

牛田 俊 (USHIDA SHUN)
東北大学・大学院情報科学研究科・助教
研究者番号：30343114
(平成 20 年 3 月まで)

嵯峨 智 (SAGA SATOSHI)
東北大学・大学院情報科学研究科・助教
研究者番号：10451535
(平成 20 年 4 月より)