

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 30 日現在

機関番号：17401

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2016

課題番号：26630189

研究課題名(和文) 初期視覚構造と眼球運動の連携で発現するバーニア速度知覚の提案と速度計測法への展開

研究課題名(英文) Vernier speed perception realized by cooperation between early vision structure and eye movement, and its application to velocity measurement

研究代表者

山口 晃生 (YAMAGUCHI, Teruo)

熊本大学・大学院先端科学研究部(工)・講師

研究者番号：50230363

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：生物の眼球を高度な機能を実現している能動的スマートセンサと捉え、生体の眼球運動により網膜像上に生じる見かけの運動と網膜類似の時空間計算構造の組み合わせにより従来の測定限界を越える分解能と測定範囲を両立して速度を計測する手法を研究した。具体的なアルゴリズムは画像速度に関して既知量の補償を階層的に適用するものになっており、この手法を実装した速度計算プログラムを用いて提案手法の実行可能性を確認した。さらに、補償法により大きな並進成分を除いた画像から回転や発散のような高次運動成分を抽出することを試み、正確ではらつきの少ない推定値が得られることを確認した。

研究成果の概要(英文)：The eyeball of human beings can be regarded as an active smart sensor realizing advanced functions, for example the resolution exceeding the conventional measurement limit. They are realized by combining apparent motion generated on the retinal image by the eye movement.

A specific algorithm hierarchically applies a known amount of compensation in terms of image velocity was proposed, and the feasibility of the proposed method was confirmed using a velocity calculation program implementing this method.

Furthermore, we tried to extract higher order motion components such as rotation and divergence from the image excluding large translational component by the compensation method, and confirmed that accurate and stable estimated value can be obtained.

研究分野：計測工学

キーワード：オプティカルフロー 動画画像処理 センサー 補償法 運動計測 速度計測 時空間微分法 動体視力

1. 研究開始当初の背景

(1) 人間の眼が視細胞の空間配置で決まる理論限界を越えた視力を示す現象はバーニア(副尺)視力と呼ばれ、その発現機構については神経生理学から数理工学までの分野で仮説やモデルが提案されている。一方、速度知覚は運動対象の速度を感知する視覚能力であり、人間の視覚系は対象速度がごく微小な場合から高速の場合までの広い範囲の速度を切れ目なく正確に知覚できる。人間の眼がこのような速度知覚を有することは初期視覚における網膜構造と速度計算原理だけでは説明がつかないため、従来は大脳皮質の高次機能の関与が必要とされてきた。しかし、もし能動的な眼球運動との適切な連携ができれば、上述の速度知覚が発現し得ることが我々の従来研究から示唆されている。

我々は、これまで視線制御機能を有するビデオカメラ、動画像から対象の速度分布を計算するアルゴリズム、抵抗ネットワークを用いて空間微分を計算する回路など、運動を扱う視覚センサに必要な諸技術の研究を行ってきた。これらの研究を通して、生体の眼球運動が視覚像に及ぼす影響に着目してこれらの要素技術を統合すれば従来困難だった広範な速度の計測(従来は限定された範囲の速度しか扱えない)が可能になると考えるに至った。この提案は最初に述べたバーニア視力の原理とも関係する補償法(compensation method)の考え方に基いており、センサ単独の空間・時間特性の限界を越えた速度分布測定法、すなわち「バーニア速度知覚」と呼ぶべき機能の実現が期待され、高精度かつ測定範囲の広い速度計測法としての応用が期待される。

2. 研究の目的

(1) 本研究は、生物の眼球を高度な機能を実現している能動的スマートセンサと捉え、生体の眼球運動により網膜像上に生じる見かけの運動と網膜類似の時空間計算構造の組み合わせにより、従来の測定限界を越える分解能と測定範囲を両立して速度を知覚できる「バーニア速度知覚」と呼ぶべき機能が実現できることを、計測アルゴリズムの具体的な構築とそれを実装した速度計測装置の試作および実験により実証することを目標とする。

(2) 提案する「バーニア速度知覚」の原理に基いて実装される速度センサは、視野中を不規則に移動する対象にも適応してその速度を算出することができ、既存の視覚センサでは対応が難しい外乱振動の多い環境下での複数対象物の速度分布を画素分解能の限界を越えて測定できると期待される。

3. 研究の方法

(1) 「バーニア速度知覚」を具体的に実現するため、本研究ではまず補償法に基づく速度

計算アルゴリズムを確立した。本研究では動画像を階層構造化して、「主尺速度」に相当する補償速度を実現し、この速度との差に相当する「副尺速度」を時空間微分法に基づく手法で計測する。

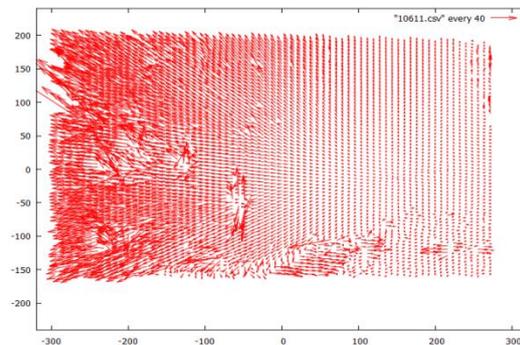
(2) 計算ハードウェアによる実証実験と提案手法を応用して構築する実時間計算可能なデモシステムを試作する。

4. 研究成果

(1) 平成 26、27 年度の研究では画像の解像度に着目し、最適な補償速度を決定する方法を提案した。具体的には、画像の解像度を段階的に低下させた階層構造画像を作り、これを利用して補償速度を低解像画像から順次推定することを考えた。低解像画像上では画像全体に対する1画素分の大きさが大きくなり、対象の見かけの移動量を小さくできる。見かけの移動量が小さいと、時空間微分法により計算できる速度範囲を拡大でき、より正確な補償速度の決定が可能となる。この手法で推定できる速度を解像度の1段高い画像における補償速度として用いることで、補償速度と比較的小さい速度差を持つ摂動速度成分を時空間微分法で計測できる。この手法を4階層画像に順次繰り返して適用することで最後には元の解像度画像上での速度推定に至ることができる。ここまでの速度計算に要する時間は、元解像度からのオプティカルフロー計算と比較して、1.75倍程度の増加で済むため顕著な計算時間の増加は生じない。



(a)



(b)

図1 階層的補償法に基づく速度計測例。(a) 測定対象とした速度差の大きい運動対象。(b)速度計測結果。左手前側の方は実際と同じ大きな速度が観察されている。

(2) 平成 26 年度の研究成果を踏まえ、平成 27 年度は本研究で提案しているパーニア速度知覚の原理に基づいた速度計測システムの高速化と、この原理を応用してより正確に高次運動パラメータを測定できる手法の提案と評価を行った。平成 28 年度製作の速度計測デモシステムでは、パーニア速度知覚の要素技術である補償法に基づいた速度計算を、ビデオカメラで得られる画像に対してリアルタイムに行うことが求められる。そのため、今年度はマルチコア CPU 上での効率的な計算プログラムの実装と評価を行った。実測の結果、4 コア～6 コアの CPU を持つ PC では MPI を利用する並列プログラム化により、約 3.7 倍～5.2 倍の計算速度を達成できることが確かめられた。本研究の速度計測原理に基づく計算プログラムはこれまで局所的処理だけで実装されてきたため並列化が容易であり、MPI の導入の際にも処理内容やその実行順序の変更は必要なく、プロセスの多重化だけで移行が可能であった。

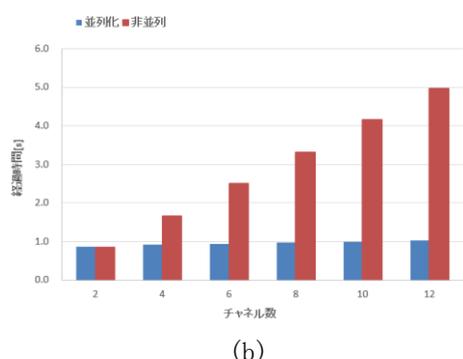
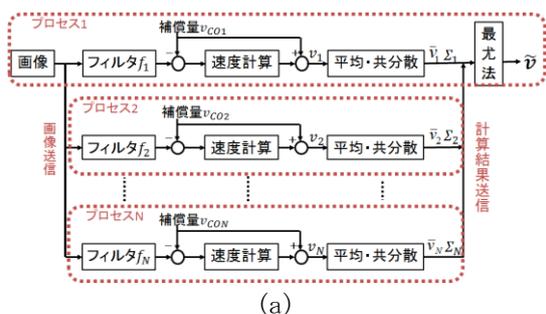


図 2 マルチチャンネル法に基づく速度計算法の並列化。(a) この手法は各チャンネルそれぞれを MPI により容易に並列プロセス化できる。(b) 並列化による計算速度の実測結果。6 コアの CPU による計算では 1 コアに 2 チャンネルを割り振った場合計 12 チャンネルまでほとんど計算時間が増加しない。

(3) 平成 27 年度までに動画像中の大きな速度 (並進運動) がパーニア速度知覚の原理により抽出できることが確かめられた。その際、並進運動成分を差し引いた動画像には定常並進運動より高次の運動成分 (角速度、拡大縮小運動、加速度の成分) が残ることに注目し、本年度はその運動成分を分離計測する手

法の提案と評価を新たに行った。この方法は大きな並進運動成分に隠れた微小な高次運動成分を、並進運動成分を介さずに直接抽出することができるのでより正確な推定が可能になると期待される。実際の流体画像を用いた評価により、パーニア速度知覚原理を適用した後の画像から並進速度成分の影響を受けずに高次運動パラメータが抽出できることが確認できた。

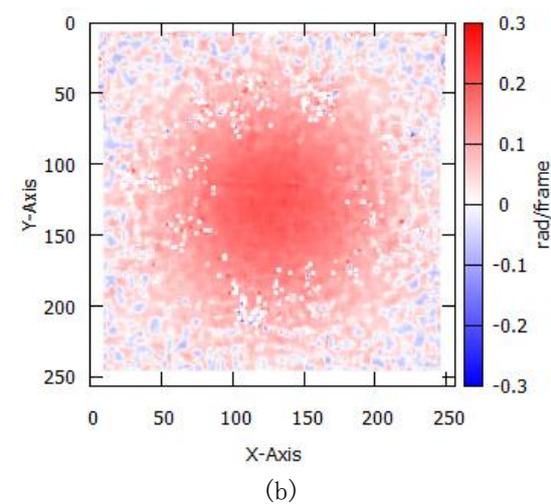
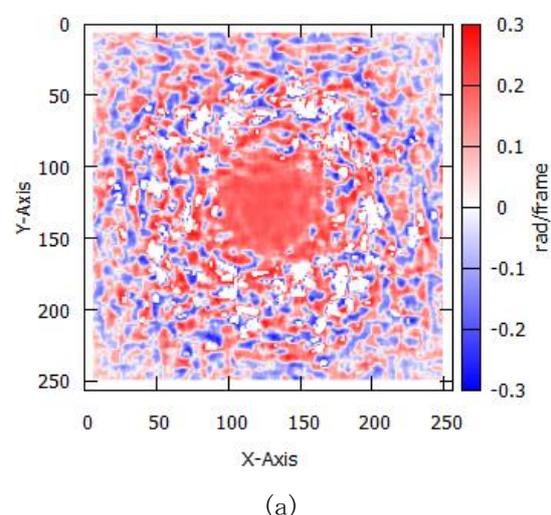


図 3 渦度分布の測定結果。(a) アルゴリズム改善前。中心部以外の速度の大きい領域ではばらつきが大きく全体的に不正確になっている。(b) 提案手法を適用して計測した渦度分布。図 1 と比較して全体的に正確な値が推定されている。

5. 主な発表論文等
 [雑誌論文] (計 7 件)
 ① Yuta Hamada, Teruo Yamaguchi, Hiroshi Harada, Parallel optical flow estimation with capturing images in real time, Proceedings of 16th International Conference on Control, Automation and Systems 2016 (ICCAS 2016), 査読有り, 123-127, 2016 年, DOI: 10.1109/ICCAS.2016.7832308

- ② Ryota Hirakawa, Teruo Yamaguchi, Hiroshi Harada,
Improvement of optical flow obtained by compensation method using multilayer resolution structure,
Proceedings of 16th International Conference on Control, Automation and Systems 2016 (ICCAS 2016), 査読有り, 392-396, 2016年,
DOI: 10.1109/ICCAS.2016.7832350
- ③ Yuta Eto, Teruo Yamaguchi, Hiroshi Harada,
Moving object analysis with optical flow using multi-resolution images and its application in traffic environment,
Proceedings of 15th International Conference on Control, Automation and Systems 2015 (ICCAS 2015), 査読有り, 351-355, 2015年,
DOI: 10.1109/ICCAS.2015.7364937
- ④ Yukihiro Sugiki, Teruo Yamaguchi, Hiroshi Harada,
Implementation of Optical Flow Measurement System with an Embedded Processor,
Proceedings of 15th International Conference on Control, Automation and Systems 2015 (ICCAS 2015), 査読有り, 347-350, 2015年,
DOI: 10.1109/ICCAS.2015.7364936
- ⑤ Yusuke Miyajima, Teruo Yamaguchi, Hiroshi Harada,
Parallel optical flow estimation by dividing image in section,
Proceedings of 15th International Conference on Control, Automation and Systems 2015 (ICCAS 2015), 査読有り, 342-346, 2015年,
DOI: 10.1109/ICCAS.2015.7364935
- ⑥ Junichi Oura, Teruo Yamaguchi, Hiroshi Harada,
A Method of Estimating Motion Trajectory with Combining Particle Filter and Optical Flow,
Proceedings of 14th International Conference on Control, Automation and Systems 2014 (ICCAS2014), 査読有り, 1052-1055, 2014年,
DOI: 10.1109/ICCAS.2014.6987946
- ⑦ Marina Morimitsu, Teruo Yamaguchi, Hiroshi Harada,
Designing of the input filter group of the multichannel optical flow estimate method,
Proceedings of 14th International

Conference on Control, Automation and Systems 2014 (ICCAS2014), 査読有り, 1070-1075, 2014年,
DOI: 10.1109/ICCAS.2014.6987935

[学会発表] (計 12件)

- ① Yuta Hamada, Teruo Yamaguchi, Hiroshi Harada,
Parallel optical flow estimation with capturing images in real time,
16th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS2016), 2016年10月, Gyeongju (South Korea)
- ② Ryota Hirakawa, Teruo Yamaguchi, Hiroshi Harada,
Improvement of optical flow obtained by compensation method using multilayer resolution structure,
16th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS2016), 2016年10月, Gyeongju (South Korea)
- ③ Yuta Eto, Teruo Yamaguchi, Hiroshi Harada,
Moving object analysis with optical flow using multi-resolution images and its application in traffic environment,
15th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS2015), 2015年10月, Busan (South Korea)
- ④ Yukihiro Sugiki, Teruo Yamaguchi, Hiroshi Harada,
Implementation of Optical Flow Measurement System with an Embedded Processor,
15th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS2015), 2015年10月, Busan (South Korea)
- ⑤ Yusuke Miyajima, Teruo Yamaguchi, Hiroshi Harada,
Parallel optical flow estimation by dividing image in section,
15th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS2015), 2015年10月, Busan (South Korea)
- ⑥ Junichi Oura, Teruo Yamaguchi, Hiroshi Harada,
A Method of Estimating Motion Trajectory with Combining Particle Filter and Optical Flow,
14th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS2014), 2014年10月, Seoul (South Korea)
- ⑦ Marina Morimitsu, Teruo Yamaguchi, Hiroshi Harada,

Designing of the input filter group of the multichannel optical flow estimate method, 14th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS2014), 2014 年 10 月, Seoul (South Korea)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山口 晃生 (YAMAGUCHI, Teruo)
熊本大学・先端科学研究部・講師
研究者番号：50230363