

令和 4 年 5 月 25 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2021

課題番号：18K18089

研究課題名（和文）運動手指の高速トラッキングに向けた装着型マーカーの研究

研究課題名（英文）Wearable markers for high-speed tracking of dynamic fingers

研究代表者

末石 智大（Sueishi, Tomohiro）

東京大学・情報基盤センター・特任講師

研究者番号：80807842

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）：広域移動する人間の手指の姿勢情報を高速に取得し即時情報呈示に活かす装着型マーカーの実現が本研究の目的である。主な研究成果として、複数の立体的楕円から成る指輪マーカーを新規開発した。パラメトリックな曲線表現である楕円形状を3Dプリントで再現し、2ミリ秒以下の特徴抽出・最適化処理を含む高速画像処理アルゴリズムを開発し、低遅延高速プロジェクタと連携させ手のひらへのダイナミックプロジェクションマッピングも実現させた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

人間の手指を入出力に用いる情報機器において、従来技術ではセンシング機器の高速性や装着性に大きな課題があった。特に高速低遅延性と装着持続性の両立は、人間のダイナミクスへの自然な対応・高度な人間機械協調システムに肝要であり、主たる研究成果である楕円群指輪マーカーはその両立戦略を具現化した要素技術である。高速映像投影による即時情報フィードバック系の一例も示したことで、高度な人間機械協調システムへの更なる活用が期待される。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this research is to realize wearable markers that can acquire posture information of human hands moving over a wide area at high speed and use it for immediate information feedback. The main result of this research is the development of a new finger-ring marker consisting of multiple three-dimensional ellipses. The elliptical shape, a parametric curvilinear expression, is reproduced by 3D printing, and we have developed a high-speed image processing algorithm that includes feature extraction and optimization processing in less than 2 milliseconds, and have realized dynamic projection mapping on the palm by cooperating the marker with a low-latency high-speed projector.

研究分野：画像計測

キーワード：高速ビジョン 高速画像処理 三次元トラッキング 姿勢推定 マーカー 再帰性反射 ジェスチャー認識

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、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

(1) 人間の運動手指計測の課題：本研究では、物理世界である人間と、機械を含む情報世界との一番の接点である、人間の運動手指を計測対象とする。赤外照明を利用した市販のジェスチャー認識装置、多色の模様を有するグローブを用いた手法など、手の認識手法には様々なものが提案されているが、広範囲を動き回る人間の手指の複雑な状態を、高速・高解像度に計測することは一般のカメラシステムでは困難である。そのため、人間の作業支援や動作改善、機械との協調動作等への応用には計測面で大きな技術的課題を有している。本研究が目指すのは、既存手法では困難な広範囲かつ詳細な運動手指の即時な理解である。

(2) アクティブビジョンの可能性：一般のカメラを固定した画像計測システムでは、イメージセンサの限られた画素数による運動対象の計測において「画角と解像度のトレードオフ」が存在する。この制約下では、広範囲を自由に動き回る物体の継続的かつ詳細な計測は困難である。一方、カメラの光軸を光学的に制御する「アクティブビジョン」という概念[1]を導入すると、画角と解像度を両立した画像計測が可能となる(図1)。カメラの光軸を運動対象に合わせて続けさえできれば運動対象の詳細情報が取得可能で、広範囲な運動手指計測への活用が期待できる[2]。

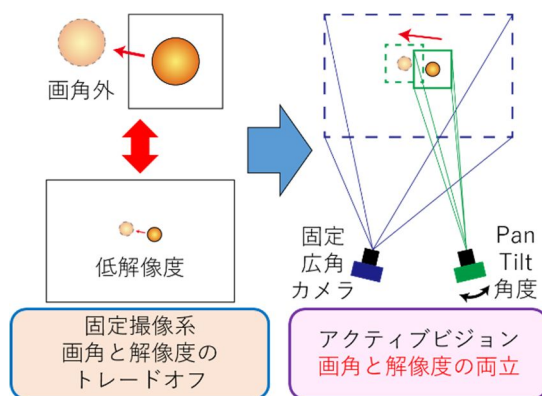


図1：アクティブビジョン

2. 研究の目的

(1) 手指装着型マーカーの開発と応用：本研究では、運動手指を高速画像処理で認識するための、装着型マーカーの開発を目的とする。アクティブビジョンとの連携を想定して、変形する手指の状態を高速に認識するため、高速性を意図したマーカー技術を開発する。主な装着位置・方法として腕輪・指輪・付け爪(図2)を想定する。ハードウェアとしてのマーカーの製作、ならびに対応するソフトウェアとしての高速画像処理によるマーカー検出手法を提案・実装・実現することを目的とする。また本研究の有用性も示すため、即時情報提示の応用システムも実証する。

(2) 手指装着型マーカー性能の追究：本研究で開発する手指装着型マーカーでは、特に装着性・高速性・遮蔽性・連携性の4点について研究・追究する。装着性は自然な装着感がある形態を目指し、計測の長時間化を意図する。高速性は1~数ミリ秒程度での認識を目指し、光軸・映像・機械制御など低遅延フィードバックに活用することを意図する。遮蔽性は手指自体による遮蔽への頑健性の向上を意図し、連携性は装着性や操作性も考慮して、最小限のマーカー構成となることを意図する。

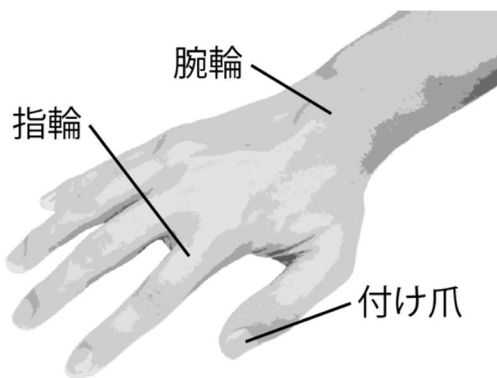


図2：マーカー装着位置

3. 研究の方法

(1) マーカーの設計・造形戦略：研究代表者が既に有する高速アクティブビジョン技術・装置をベースとするため、本研究ではマーカー技術開発そのものに焦点を当てる。また研究代表者が別途有するカメラ校正パターンに関するマーカー設計技術を基に、装着型マーカーとして望ましい形状等の設計を進める。マーカーの造形には近年技術的に成熟してきている3Dプリントを主として活用する。再帰性反射材などの光学的な工夫も、立体的形状に合わせて取り入れる。

(2) マーカーの画像認識戦略：複数のドットを計測対象に付与することで実現する高速画像処理技術をベースに、立体的形状を有するマーカーとの相性および認識の高速性を損ねない画像認識アルゴリズムを開発する。ミリ秒オーダーの高速性維持と遮蔽への頑健性も両立させる。

(3) 応用システム開発：開発した装着型マーカーの高速認識技術を用いた、即時情報提示の応用システムを構築する。具体的には、人とロボットの協調動作や、手指に対するダイナミックプロジェクションマッピングを候補として開発し、提案マーカーの有用性を示す。

4. 研究成果

(1) 装着性の高いマーカー形状・造形方法および認識アルゴリズムの高速性：本研究では，3種類の形状の開発検討を行い，各々での知見を得た．最初に指輪・腕輪に相当する立体的リング状ドットマーカー[3]に取り組んだ．高速性維持を念頭に置いたドットマーカー方式で，広い観測角度を維持するために再帰性反射の法線方向もシミュレーション含め設計に導入したが，指輪のような小さな形態での課題も明らかになった．2番目に，付け爪に相当するネイルマーカー[4]にも取り組んだ．立体的リングマーカー[3]と同様に，高速性維持を目的としたドットマーカー方式である．微小剛体曲面への造形方法としての3Dプリントに対するネイルプリントの優位性や，カメラによる姿勢推定精度としての平面マーカーに対する曲面状のネイルマーカーの優位性が確認できた一方で，ドットベースの密なマーカー配置としての課題も判明した．以上2種類の方式の課題を基に，当初予期していなかった新しいタイプの装着型マーカーとして，楕円形状特徴を活用した新しい指輪マーカー[5,6]を提案・開発した．実空間における円や楕円はカメラという透視投影変換により画像平面上に射影された後も，楕円というパラメトリックな曲線で表現されることを積極的に活用し，楕円の少ないパラメータを推定することで高速な姿勢推定が可能となる形状である．また，交差する楕円も可能であることから，ドットマーカーと異なり画像処理用の特徴を密に配置することができ，装着型マーカーとしての小型化も可能な形態となる．複数の楕円を組み合わせた指輪形状を，3Dプリントにより比較的容易に造形可能であることを確認し(図3上)，再帰性反射材の塗布によって画像計測を容易にすることもできることが確認できた．また，二値化・輪廓検出等を駆使した部分遮蔽にも対応した画像特徴抽出と，各楕円へのフィッティングによる姿勢推定としての最適化处理(図3下)により，2ミリ秒以下の高速な姿勢推定と単一マーカーによる回転並進6自由度の推定が可能なることを示すことができた．

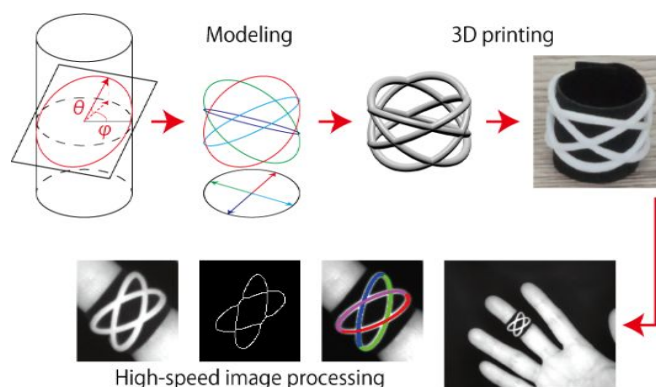


図3：マーカーのモデリングと高速画像処理

(2) 人間機械協調システムへの応用性：新たに提案した楕円群指輪マーカーを用い，最小遅延3ミリ秒の低遅延高速プロジェクタと組み合わせた，手のひらへのダイナミックプロジェクションマッピング(図4)を実証した．本成果は，ランダムに動き回る予測が困難な人間の手指に対して，遅延による違和感が殆ど無いレベルの情報呈示を行う低遅延フィードバックシステムの一例であり，高度な拡張現実感や人間機械協調への発展が期待されるものである．単に手指の動きをデータ化するだけでなく，人間の動きに自然に連動した情報システムの要素技術として，高速アクティブビジョン技術と組み合わせるなどにより，様々な分野への活用が期待される技術を本研究期間に新しく創出することができた．

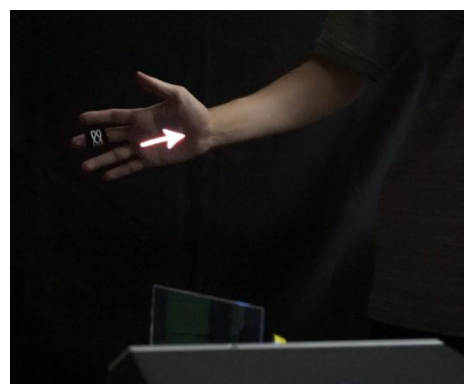


図4：手のひらへの高速投影

<引用文献>

- [1] 奥村光平 奥寛雅 石川正俊: アクティブビジョンの高速化を担う光学的視線制御システム，日本ロボット学会誌，Vol.29, No.2, pp.201-211 (2011)
- [2] 伊藤光一郎，末石智大，山川雄司，石川正俊： じゃんけんロボットに向けた高速アクティブセンシング，第16回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2015) (名古屋，2015.12.14) / 講演会論文集，pp.321-323
- [3] 菅間拓実，末石智大，石川正俊： 手指の高速姿勢推定に向けた再帰反射特性に基づく立体的リング状マーカーの検討，第25回画像センシングシンポジウム (SSI2019) (横浜，2019.6.13) / 講演論文集，IS2-20
- [4] 末石智大，石川正俊： 高速指先姿勢推定に向けたネイルマーカーの試作，第24回日本バーチャルリアリティ学会大会 (VRSJ2019) (東京，2019.9.12) / 論文集，5C-07
- [5] Tomohiro Sueishi and Masatoshi Ishikawa: Ellipses Ring Marker for High-speed Finger Tracking, The 27th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology (VRST2021) (Osaka, 2021.12.10 [online]) / Proceedings, Article No.31, pp.1-5
- [6] 末石智大，石川正俊： 手指高速トラッキングに向けた楕円群指輪マーカーの開発，第22回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2021) (鹿児島，2021.12.16 [オンライン]) / 講演会論文集，pp.1382-1387

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 菅間拓実, 末石智大, 石川正俊
2. 発表標題 手指の高速姿勢推定に向けた再帰反射特性に基づく立体的リング状マーカの検討
3. 学会等名 第25回画像センシングシンポジウム (SSI2019) (横浜, 2019.6.13) / 講演論文集, IS2-20
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 末石智大, 石川正俊
2. 発表標題 高速指先姿勢推定に向けたネイルマーカの試作
3. 学会等名 第24回日本バーチャルリアリティ学会大会 (VRSJ2019) (東京, 2019.9.12) / 論文集, 5C-07
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 末石智大, 石川正俊
2. 発表標題 手指高速トラッキングに向けた楕円群指輪マーカの開発
3. 学会等名 第22回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2021) (鹿児島, 2021.12.16 [オンライン]) / 講演会論文集, pp.1382-1387
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tomohiro Sueishi, Masatoshi Ishikawa
2. 発表標題 Ellipses Ring Marker for High-speed Finger Tracking
3. 学会等名 The 27th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology (VRST2021) (Osaka, 2021.12.10 [online])/Proceedings, Article No.31, pp.1-5 (国際学会)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 情報処理システム、情報処理装置、情報処理方法及びプログラム	発明者 末石智大、三河祐 梨、宮地力、石川正 俊	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2020-097872	出願年 2020年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

石川グループ研究室ホームページ（楯円群指輪マーカ） http://ishikawa-vision.org/mvf/RingMarker/
--

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
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------