

令和 5 年 6 月 21 日現在

機関番号：12501

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19H02102

研究課題名（和文）ロボット体表面に配置された多眼高速視覚ネットワークによる視覚サーボ制御

研究課題名（英文）Visual servo control by multi-eye high-speed vision network placed on robot body surface

研究代表者

並木 明夫（NAMIKI, AKio）

千葉大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号：40376611

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,300,000円

研究成果の概要（和文）：従来の知能ロボットでは、使用するカメラ台数は少数に抑えられ、設置場所も人間のように頭部に装着するか、ハンドアイとして手先に装着するかのどちらかであり、視界は狭く、オクルージョンによる死角が頻繁に生じるという問題があった。そのため、複雑なタスクでは成功率が上がらず、作業速度も人間以上に遅くなっていた。本課題ではこの問題を解決するために、小型高速カメラをロボットの体表に高密度で配置することで、「無死角性」と「高速性」を実現する多眼高速ビジョンネットワークシステムを実現した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本課題では、ロボット体表面に多数の小型カメラを配置し、ロボット周辺の認識の死角をなくすという多眼ビジョンロボットのシステム構成手法とその有効性について検証した。近年の、小型カメラや小型画像処理装置の普及、低価格化は多数のカメラを使用することを容易とし、ロボットの多眼化に適した状況となっている。多眼視覚ロボットの計測戦略は、人間のそれとは大きく異なるが、高速性が求められるロボット固有の事情に適合しており、ロボットの動作性能の飛躍的な向上につながる事が期待される。

研究成果の概要（英文）：Conventional intelligent robots used only a small number of cameras, and the cameras were placed either on the head like humans or on the hand tips as hand-eye, resulting in a narrow field of view and many blind spots due to occlusion. As a result, the success rate of complex tasks do not increase, and work speed is also slower than that of humans. To solve this problem, in this project, a multi-eye high-speed vision network system with "no blind spots" and "high speed recognition" is realized by densely arranging small high-speed cameras on the robot's body surface.

研究分野：ロボット工学

キーワード：高速ビジョン 視覚サーボ制御 高速マニピュレーション 多眼ビジョン

1. 研究開始当初の背景

ロボットで人間の作業を代替する場合、人間と同等もしくは人間以上の速度での作業を求められることが多い。一方、現在普及している産業用ロボットでは人間以上の作業速度が実現されているのに対して、感覚情報処理を含む智能ロボットでは作業速度は人間に劣ることが多く、結果として実用化が困難になることがあった。その理由の一つとして、動作中に視覚情報が欠落した死角が生じることが多く、その死角において衝突が生じる可能性が挙げられる。人間は皮膚や関節のコンプライアンスにより衝突の影響を減じることができるが、ロボットの場合、金属部品が多いために重量が大きく、また、関節の減速機により機械的コンプライアンスが低いといった問題があり、衝突時の危険性が格段に高い。そこで、死角をなくし、ロボット周囲の環境を実時間で計測することができるセンサシステムが必要とされていた。

2. 研究の目的

本研究の目的は、ロボットの周囲の環境認識の死角をなくし、ロボットの高速度動作を実現するために、多数の高速ビジョンをロボットの体表に高密度で配置することで、「無死角性」と「高速性」を実現する高速ロボットシステムを開発する。具体的には、ロボットハンドの表面全体に多数の小型カメラとLEDを配置した高速視覚ネットワークシステムを開発する。さらに開発した多眼ビジョンロボットを用いて高速マニピュレーションを実現する。

3. 研究の方法

主に次の3つの課題について研究を行った。

(1) 多眼高速ビジョンネットワークシステムの試作

小型高速カメラを用いた検証システムを構築する。ロボットハンドは本研究室で構築中の高速ロボットハンドを改良することにし、ロボット指表皮にカメラを埋め込む。照明条件についても制御するために、小型LEDを各カメラ周辺に埋め込むものとする。

(2) ボールキャッチング

多眼ビジョンハンドの応用例の一つとして、投擲されたボールのキャッチングタスクを実現する。ハンド表面に取り付けた小型カメラと、ロボットの外部に設置された複数の外部カメラの譲歩を統合した新しい視覚サーボアルゴリズムを開発する。

(3) キャリブレーション

カメラパラメータと同時に、関節角の原点位置オフセットを推定する校正手法を開発する。本来、関節角の原点位置オフセットは、カメラの校正とは別に推定するのが望ましいが、ロボットハンドのような小型機構では推定が困難な場合があり、今回開発した同時推定手法はそのような場合に効果を発揮する。

4. 研究成果

(1) 多眼ビジョンロボット

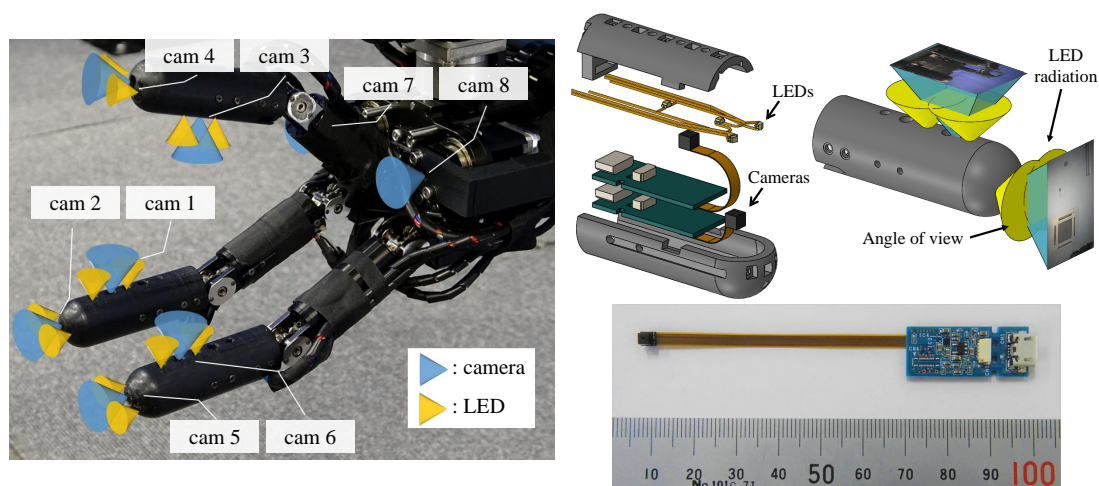


図 1: Multi-Eye Vision Hand: (Left): Overview, (Right):Finger configuration and camera

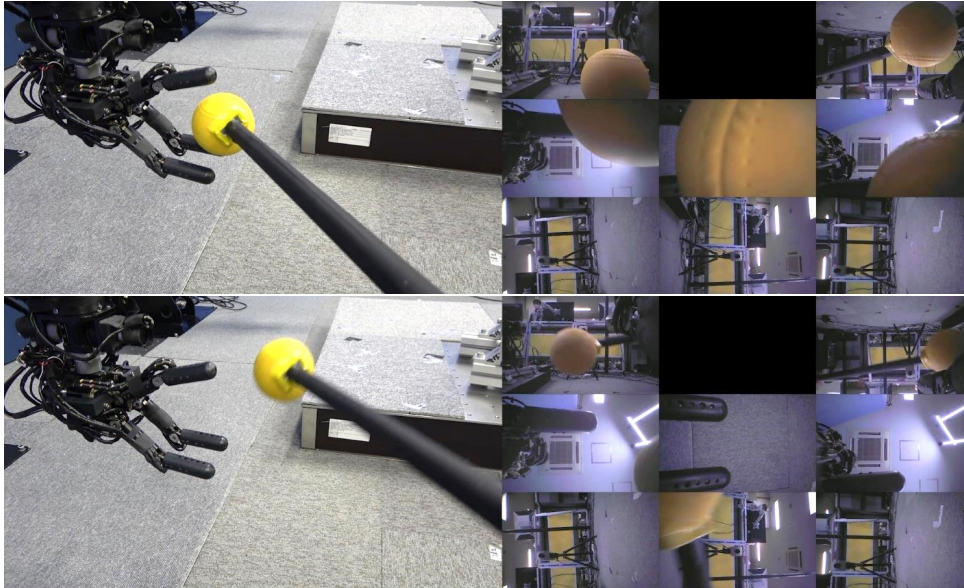


図 2: Camera view of multi-eye vision hand: (Left): External camera, (Right): Multi-camera view

多眼ビジョンロボットの一例として、特にロボットハンド部に複数カメラを搭載した多眼ビジョンハンド [1, 2] の外観を図 1 に示す。ハンドは 3 指で構成され、左右の指が 3 自由度、中央の指が 2 自由度の系 8 自由度を持つ。左右の指は旋回方向に 180deg という大きな可動範囲を与えることで、様々な把持形態に対応できるようになっている。小型カメラは、各指先モジュールに 2 台、掌部分に 2 台の計 8 台が装着されている。

各指先モジュールの指腹部と指頭部には各一台ずつカメラが搭載されている。指腹部のカメラによってハンド内の物体を撮影し、指頭部のカメラによってハンドに接近する物体の観測を行う。また補助光源として、各カメラの両端に LED が配置されている。小型カメラとしては IU233N2-Z (SONY 製) を使用した。大きさは $2.6 \times 3.3 \times 2.32\text{mm}$ と超小型であり、CSI-2 接続により解像度 320×200 で最大 240 Hz で画像出力が可能である。ただし CSI-2 接続は信号の最大伝送距離が短いため、変換基板を通して USB2 信号に変換する。この場合、画像出力は最大で 120Hz となる。一方、最大解像度 1280×720 では 7.5Hz となる。

図 2 に、ロボットハンドの前にボールを置いたときの各カメラの映像を示す。様々な視点からの画像が得られていることがわかる。

(2) ボールキャッチング

多眼視覚ハンドの適用例の一つとして、ボールキャッチを実現した [1, 2]。図 3 (左) に示すように、ボールの運動を外部のステレオカメラによって推定する。しかし、外部カメラは広視野かつロボットから離れた位置に配置されているので、十分な推定精度が得られない。そこで、指の小型カメラ群を用いた視覚サーボによりボール運動の推定誤差をリアルタイムで補正する。

まず、外部高速ビジョンによりボールの重心の 3 次元位置 $\boldsymbol{x} \in \mathbb{R}^3$ を計測する。計測した 3 次元位置より、カルマンフィルタを用いてボールの軌道を推定し、目標キャッチ位置・姿勢と目標キャッチ時間を推定する。さらに、ロボットアームの逆運動学を解くことで目標キャッチ関節角度 $\boldsymbol{q}_c \in \mathbb{R}^{N_q}$ (N_q : 関節数) を求める。

次に、 i 番目のハンドカメラの画像上に投影されたボールの重心位置を $\boldsymbol{m}_i \in \mathbb{R}^2$ とし、全てのハンドカメラの重心位置をまとめて $\boldsymbol{m} = [\boldsymbol{m}_1^\top, \dots, \boldsymbol{m}_{N_c}^\top]^\top$ とする (N_c : ハンドカメラの数)。 \boldsymbol{m} は関節角度 \boldsymbol{q} とボールの 3 次元位置 \boldsymbol{x} の関数として表されるので、時間微分により、

$$\dot{\boldsymbol{m}} = \boldsymbol{J}_m \dot{\boldsymbol{q}} + \boldsymbol{J}_b \dot{\boldsymbol{x}} \quad (1)$$

となる。ここで、 \boldsymbol{J}_m と \boldsymbol{J}_b は対応するヤコビ行列である。加えてハンドの姿勢制御の式も導入する。現在のハンド掌の単位 Z 軸ベクトルを $\boldsymbol{z} \in \mathbb{R}^3$ 、目標キャッチ姿勢での単位 Z 軸ベクトルを $\boldsymbol{z}_c \in \mathbb{R}^3$ とし、姿勢偏差を $\boldsymbol{e}_z = \boldsymbol{z}_c \times \boldsymbol{z}$ とする。 \boldsymbol{z} は \boldsymbol{q} の関数であることから、時間微分により、

$$\dot{\boldsymbol{e}}_z = \boldsymbol{J}_z \dot{\boldsymbol{q}} \quad (2)$$

となる。ここで、 \boldsymbol{J}_z は対応するヤコビ行列である。式 (1) と式 (2) から、視覚サーボによる関節

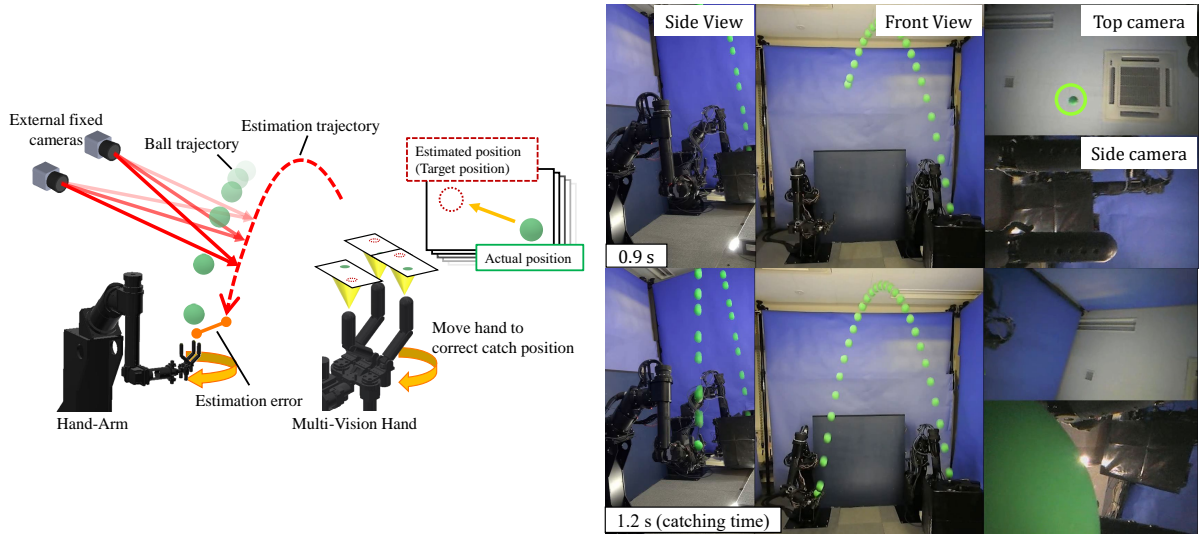


図 3: Catching by multi-eye vision hand: (Left): Catching control, (Right): Continuous photos of catching

角度補正則を次のように求める。

$$\Delta \mathbf{q} = \begin{bmatrix} \mathbf{J}_m \\ \mathbf{J}_e \end{bmatrix}^+ \begin{bmatrix} \mathbf{m}_d - \mathbf{m} + \mathbf{J}_b \Delta \hat{\mathbf{x}} \\ z_c - z \end{bmatrix} \quad (3)$$

ここで、 \mathbf{m}_d は視覚サーボ補正を行わない場合のボールの推定位置 $\hat{\mathbf{x}}$ を画像面へ投影した位置であり、仮想的な目標値である。 \mathbf{m}_d に \mathbf{m} を近づけるように関節角度を修正することで、推定ボール軌道が補正される。なお、画像座標による補正だけでは冗長となるために、姿勢角誤差 $z_c - z$ のフィードバックを導入している。

さらに、制御ステップ k における補正は次のように行う。

$$\mathbf{q}_m(k) = \mathbf{q}_c(k) + \mathbf{q}_{\text{offset}}(k) \quad (4)$$

$$\mathbf{q}_{\text{offset}}(k) = \Delta \mathbf{q}(k) + \mathbf{q}_{\text{offset}}(k-1) \quad (5)$$

ここで、 \mathbf{q}_m と \mathbf{q}_c はそれぞれ補正後と補正前の目標キャッチ位置であり、 $\mathbf{q}_{\text{offset}}$ は補正前後のオフセットである。ボールを見失うことなどが原因で視覚サーボが計算できない場合、前ステップのオフセットを使う。

ボールキャッチの様子を図 3 (右) に示す。ボール軌道の誤差を補正して正確なキャッチを実現できている。結果として、目標キャッチ位置の誤差が約 130mm 程度ずれていても対応可能であった。なお本手法では、マルチカメラの一部のカメラによるステレオにより大まかな軌道を推定し、残りの一部のカメラで視覚サーボによる補正を行っている。今回はステレオを外部カメラとしているが、組み合わせを変えて、ロボットの体表面のカメラをステレオで用いることもできる。

(3) 多眼視覚ロボットのキャリブレーション

[問題設定] ロボットの周囲に複数のチェッカーボードを配置し、ロボットを運動させ、ロボット上に配置された複数のカメラで撮像することで、各カメラパラメータ、ロボットの関節角の原点オフセットを同時に推定する。また、チェッカーボードの位置姿勢は未知とする。ただし、全ボードの位置姿勢と全関節角の原点オフセットを未知とすると不定問題となってしまうので、どれか 1 枚のボードの位置姿勢を拘束条件として与える。なお、この拘束条件は緩和することも可能である。

[キャリブレーション手法] バンドル調整に基づき、次の最適化を行う [3]。

$$\arg \min_{\Delta \mathbf{t}_i, \Delta \mathbf{r}_i, \Delta \mathbf{q}} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \left\| \mathbf{m}_{i,j} - \hat{\mathbf{m}} \left(\Delta \mathbf{t}_i, \Delta \mathbf{r}_i, \Delta \mathbf{q}, {}^b \hat{\mathbf{T}}_{\text{ch}_j} \right) \right\|^2 \quad (6)$$

ここで、 $\mathbf{m}_{i,j} \in \mathbb{R}^{2N_m}$ は i 回目の撮影で検出した j 番目のチェッカーボードの画像上の特徴点ベクトルであり (N_m : 特徴点数)、 $\hat{\mathbf{m}}$ はそれに対応する再投影位置である。 $\Delta \mathbf{t}_i \in \mathbb{R}^3$ と $\Delta \mathbf{r}_i \in \mathbb{R}^3$ はカメラの位置姿勢誤差、 $\Delta \mathbf{q} \in \mathbb{R}^{N_q}$ は関節角度の原点オフセットである (N_q : ハンドとアームの関節数)。 ${}^b \hat{\mathbf{T}}_{\text{ch}_j} \in \mathbb{R}^{4 \times 4}$ は j 番目のボードの同次変換行列の推定値である。

問題設定から ${}^b\hat{\mathbf{T}}_{\text{ch}_j}$ は値が未知である。そこで、規準となる既知のチェッカーボード (1 とする) から推定する。図 4 (右) に示すように、カメラ i_1 を用いてボード 1 を計測し、その後ロボットの状態を変えて、カメラ i_2 を用いてボード j を計測すると、その座標変換の関係は次のようになる。

$${}^{\text{ch}_1}\mathbf{T}_{\text{ch}_j} = {}^{\text{ch}_1}\mathbf{T}_{\text{cam}_{i_1}} {}^{\text{cam}_{i_1}}\mathbf{T}_{\text{cam}_{i_2}}^{t_1 \rightarrow t_2} {}^{\text{cam}_{i_2}}\mathbf{T}_{\text{ch}_j} \quad (7)$$

ここで、ch はボード、cam はカメラを表す。また、 t_1 , t_2 は各撮影時のロボットの姿勢を表す番号であり、 $t_1 \rightarrow t_2$ は姿勢を t_1 から t_2 まで変化させることを表す。注意が必要なのは、ロボットの姿勢 t_1 , t_2 、カメラ番号 i_1 , i_2 に複数の候補があり、関節角原点オフセットの誤差のために、組み合わせによって ${}^{\text{ch}_1}\mathbf{T}_{\text{ch}_j}$ にばらつきが生じることである。そこで、 t_1 , t_2 , i_1 , i_2 の全ての組み合わせについて平均を取ることで、チェッカーボードの位置姿勢を推定する。

$${}^b\hat{\mathbf{T}}_{\text{ch}_j} = {}^b\mathbf{T}_{\text{ch}_1} \text{meanT} \left({}^{\text{ch}_1}\mathbf{T}_{\text{ch}_j} \right) \quad (8)$$

ただし、meanT は同次変換行列の平均を取る関数である。実際の推定は式 (8) と式 (6) を繰り返す。

提案手法により、多眼カメラの外部パラメータと関節角原点オフセットが高精度で推定できることを検証した。なお、式 (6) ではボードの位置姿勢も探索変数に含めて最適化する直接法を用いることもできるが、ここで紹介した間接法の方が高精度で推定できることが確認された。また、ここではカメラの内部パラメータと歪みパラメータについては省略しているが、外部パラメータと同様に扱うことが可能である。

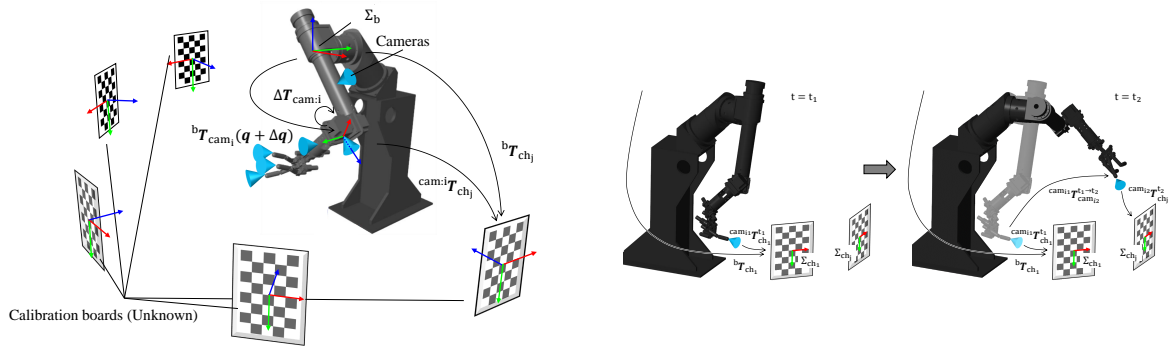


図 4: Camera calibration of multi-eye vision hand: (Left): Concept, (Right): Estimation of checkerboard

参考文献

- [1] Masaki Sato, Akira Takahashi, and Akio Namiki. High-speed catching by multi-vision robot hand. In *IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, pp. 9131–9136, 2020.
- [2] 佐藤将貴, 高橋晃, 並木明夫. 多眼視覚を備えたロボットハンドの開発と高速キャッチングへの適用. ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集, pp. 2P2–J19, 2020.
- [3] 佐藤将貴, 高橋晃, 並木明夫. 多眼視覚キャリブレーションの提案. 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, pp. 2B3–10, 2020.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 10件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Liu Yang, Sun Pansiyu, Namiki Akio	4. 巻 20
2. 論文標題 Target Tracking of Moving and Rotating Object by High-Speed Monocular Active Vision	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Sensors Journal	6. 最初と最後の頁 6727 ~ 6744
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/JSEN.2020.2976202	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Sato Masaki, Takahashi Akira, Namiki Akio	4. 巻 1
2. 論文標題 High-Speed Catching by Multi-Vision Robot Hand	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proc. of 2020 IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems	6. 最初と最後の頁 9131-9136
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/IRoS45743.2020.9340968	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Liu Yang, Namiki Akio	4. 巻 21
2. 論文標題 Articulated Object Tracking by High-Speed Monocular RGB Camera	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Sensors Journal	6. 最初と最後の頁 11899 ~ 11915
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/JSEN.2020.3032059	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Hsiu-Min Chuang, Dongqing He, and Akio Namiki	4. 巻 9(21)
2. 論文標題 Autonomous Target Tracking of UAV Using High-Speed Visual Feedback	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Applied Sciences	6. 最初と最後の頁 4552
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/app9214552	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Hsiu-Min Chuang and Akio Namiki	4. 巻 -
2. 論文標題 Direct Visual Servoing of UAVs Using Onboard Monocular Camera	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of 2020 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII 2020)	6. 最初と最後の頁 765-770
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/SII46433.2020.9026180	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yang Li and Akio NAMIKI	4. 巻 -
2. 論文標題 High-Speed Target Tracking of 3D Object by Monocular Camera	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of 2020 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII 2020)	6. 最初と最後の頁 121-126
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/SII46433.2020.9026194	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Namiki Akio, Yokosawa Shuichi	4. 巻 2021
2. 論文標題 Origami Folding by Multifingered Hands with Motion Primitives	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Cyborg and Bionic Systems	6. 最初と最後の頁 9851834
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.34133/2021/9851834	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 He Dongqing, Chuang Hsiu-Min, Chen Jinyu, Li Jinwei, Namiki Akio	4. 巻 33
2. 論文標題 Real-Time Visual Feedback Control of Multi-Camera UAV	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Robotics and Mechatronics	6. 最初と最後の頁 263 ~ 273
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20965/jrm.2021.p0263	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Fukuda Shotaro, Tadokoro Koichiro, Namiki Akio	4. 巻 -
2. 論文標題 Motion Strategy Using Opponent Player's Serial Learning for Air-Hockey Robots	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of 2021 IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems	6. 最初と最後の頁 952-957
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/IR0S51168.2021.9635854	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Takahashi Akira, Sato Masaki, Namiki Akio	4. 巻 -
2. 論文標題 Dynamic Compensation in Throwing Motion with High-Speed Robot Hand-Arm	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of 2021 IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation	6. 最初と最後の頁 6287-6292
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ICRA48506.2021.9560866	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計35件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 6件)

1. 発表者名 高橋 晃, 佐藤 将貴, 並木 明夫
2. 発表標題 投球動作における高速多指ハンドアームの動的補償
3. 学会等名 第26回ロボティクスシンポジウム講演論文集
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 福田 翔太郎, 田所 恒一郎, 並木 明夫
2. 発表標題 エアホッケーロボットにおける人の刺激系列学習を利用した動作戦略
3. 学会等名 第26回ロボティクスシンポジウム講演論文集
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Masaki Sato, Akira Takahasi, and Akio Namiki
2. 発表標題 High-Speed Catching by Multi-Vision Robot Hand
3. 学会等名 2020 IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高橋 晃, 佐藤 将貴, 並木 明夫
2. 発表標題 モデル予測制御のマクロマイクロマニピュレーションへの適用
3. 学会等名 第8回 制御部門マルチシンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 三枝 大希, 並木 明夫
2. 発表標題 次元圧縮による把持動作の特徴量抽出と遠隔制御への応用
3. 学会等名 SI2020 (第21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)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 寺田 直人, 中村 亮裕, 並木 明夫
2. 発表標題 ロボットハンドによる紙のたわみ生成戦略
3. 学会等名 SI2020 (第21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)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高橋 晃, 佐藤 将貴, 並木 明夫
2. 発表標題 投球動作における高速多指ハンドアームの動的補償
3. 学会等名 SI2020 (第21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)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐藤 将貴, 高橋 晃, 並木 明夫
2. 発表標題 多眼視覚キャリブレーション手法の提案
3. 学会等名 SI2020 (第21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)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中村 亮裕, 寺田 直人, 並木 明夫
2. 発表標題 折り目を考慮した紙と物理モデルの形状マッチング
3. 学会等名 SI2020 (第21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)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 福田 翔太郎, 田所 恒一郎, 並木 明夫
2. 発表標題 エアホッケーロボットにおける人の刺激系列学習を利用した戦略設計
3. 学会等名 SI2020 (第21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)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yang Liu and Akio Namiki
2. 発表標題 Energy Minimization Formulation of Articulated Object Tracking with High-speed Monocular Camera
3. 学会等名 第38回日本ロボット学会学術講演会予稿集
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Dongqing He, Hsiu-Min Chuang, and Akio Namiki
2. 発表標題 Real-time Visual Servoing Control of an UAV Having Two-Cameras
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2020 (ROBOMECH2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 王ケツ, 福田翔太郎, 松坂彩香, 劉楊, 並木明夫
2. 発表標題 エアホッケーロボットシステムにおけるマスタ・スレーブ制御と視覚提示の適用
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2020 (ROBOMECH2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐藤将貴、高橋 晃、並木 明夫
2. 発表標題 多眼高速ビジョンを備えたロボットハンドによる高速キャッチング
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2020 (ROBOMECH2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 三枝 大希, 白土 拓哉, 並木 明夫
2. 発表標題 マスタ・スレーブのための次元圧縮を利用した把持動作補助システム
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2020 (ROBOMECH2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中村 亮裕, 寺田 直人, 並木 明夫
2. 発表標題 RGB-D センサを用いた紙と物理モデルの形状マッチング
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2020 (ROBOMECH2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Hsiu-Min Chuang and Akio Namiki
2. 発表標題 Direct Visual Servoing of UAVs Using Onboard Monocular Camera
3. 学会等名 2020 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII 2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yang Li and Akio NAMIKI
2. 発表標題 High-Speed Target Tracking of 3D Object by Monocular Camera
3. 学会等名 2020 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII 2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yang Li and Akio NAMIKI
2. 発表標題 Target Tracking of Moving and Rotating Object by High-Speed Monocular Active Vision
3. 学会等名 2019 IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 金子昌也, 福田翔太郎, 並木明夫
2. 発表標題 エアホッケーロボットにおける対戦者の運動学的制約を考慮した攻撃評価
3. 学会等名 第25回ロボティクスシンポジウム講演論文集
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 永井知明, 並木明夫
2. 発表標題 異種カメラとカルマンフィルタリングによる高解像度・高フレームレートのオプティカルフローの生成
3. 学会等名 第25回ロボティクスシンポジウム講演論文集
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐藤将貴、高橋 晃、並木 明夫
2. 発表標題 多眼高速視覚を備えたロボットハンドによる視覚フィードバック制御
3. 学会等名 SI2019 (第20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)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高橋 晃, 甲村 直大, 並木 明夫
2. 発表標題 高速双腕ジャグリングロボットにおける最適軌道生成
3. 学会等名 第37回日本ロボット学会学術講演会予稿集
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 寺田 直人, 末石 悟, 並木 明夫
2. 発表標題 マスタスレーブを用いたロボットハンドの折り紙動作生成
3. 学会等名 第37回日本ロボット学会学術講演会予稿集
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 福田 翔太郎, 金子 昌也, 並木 明夫
2. 発表標題 エアホッケーロボットにおける動作パターンの生成
3. 学会等名 第37回日本ロボット学会学術講演会予稿集
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田所恒一郎, 並木 明夫
2. 発表標題 エアホッケーロボットにおけるスナップを利かせるための手首関節の開発
3. 学会等名 第22回計測自動制御学会SI部門講演会(SI2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中原海渡, 並木明夫
2. 発表標題 ガウス過程回帰と軌道生成による人間の動作予測手法,
3. 学会等名 第22回計測自動制御学会SI部門講演会(SI2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Chen Jinyu, Namiki Akio
2. 発表標題 Real-Time UAV navigation and occlusion detection system with multi-camera
3. 学会等名 第22回計測自動制御学会SI部門講演会(SI2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 LI JINWEI, Chuang Hsiu Min, Akio NAMIKI
2. 発表標題 UAV control system design for high-speed vision servo
3. 学会等名 第22回計測自動制御学会SI部門講演会(SI2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 三枝 大希, 並木 明夫
2. 発表標題 把持特徴量に基づいた動作分類と遠隔制御への利用
3. 学会等名 日本機械学会年次大会2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中村 亮裕, 山本 開, 並木 明夫
2. 発表標題 折り紙ロボットののための紙の形状認識システムの開発,
3. 学会等名 日本機械学会年次大会2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐藤 将貴, 並木 明夫
2. 発表標題 多眼視覚キャリブレーション
3. 学会等名 日本機械学会年次大会2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高橋 晃, 佐藤 将貴, 並木 明夫
2. 発表標題 Model Predictive Trajectory Generation によるハンドアームの投球動作制御
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2021 (ROBOMECH2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Akira Takahasi, Masaki Sato, and Akio Namiki
2. 発表標題 Dynamic Compensation in Throwing Motion with High-Speed Robot Hand-Arm
3. 学会等名 2021 IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shotaro Fukuda, Koichiro Tadokoro, and Akio Namiki
2. 発表標題 Motion Strategy Using Opponent Player's Serial Learning for Air-Hockey Robots
3. 学会等名 2021 IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems (国際学会)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

Namiki Laboratory Homepage http://www.em.eng.chiba-u.jp/~namiki/

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
研究分担者	妹尾 拓 (Senoo Taku) (10512113)	北海道大学・大学院情報科学研究院・准教授 (10101)	
研究分担者	山川 雄司 (Yamakawa Yuji) (90624940)	東京大学・大学院情報学環・学際情報学府・准教授 (12601)	

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