ハーモニックポテンシャルフィールドに基づく 機体周囲の情報を用いたクワッドロータの誘導制御*

本仲 君子[†]・渡辺 桂吾[‡]・前山 祥一[‡]

Control System for a Quadrotor Using the Harmonic Potential Field Information around the Robot*

Kimiko MOTONAKA[†], Keigo WATANABE[‡] and Shoichi MAEYAMA[‡]

The autonomous control of the quadrotor has received attention. In the previous research, we proposed the kinodynamic control using a harmonic potential field (HPF), which is a method to design a control input by considering kinematic constraints and dynamic constraints simultaneously. However, it was assumed that the environment was already known and the HPF of the environment was prepared in advance. Therefore, in this paper, assume that a final target position is given to the quadrotor and it moves only by relying on the mounted sensors, without using the HPF information calculated in advance. It is confirmed, by a simulation using the Matlab, that the proposed method can guide the quadrotor to the target position.

1. はじめに

クワッドロータは近年レスキューや物資運搬、インフラ点検といった用途で広く用いられつつある。それに伴い、これらの作業において重要となるクワッドロータの自律飛行に関する研究が盛んに行われている。クワッドロータの自律飛行においては、機体の動力学に基づく空中での姿勢維持と環境から受ける障害物などの運動学的な拘束の両方を考慮する必要がある。これらの動力学と運動学を同時に考慮した動作計画はキノダイナミック動作計画とよばれ、すでにさまざまなアプローチが存在する [1–5]。中でも、Masoud は環境内の障害物と目標位置の情報から算出したハーモニックポテンシャルフィールド (HPF) を制御対象の動力学に基づく制御入力に付加することでキノダイナミック動作計画が可能となるこ

とを質点の制御により示した [6]。キノダイナミック動作計画では、運動学的な拘束と動力学的な拘束を同時に考慮した制御入力の設計を目標としている。これには、姿勢の制御系と位置の制御系を分けることなく同時に考慮することで、姿勢を崩しながら移動するといった兼ね合いを考慮することができるという利点があり、クワッドロータのように姿勢制御が重要となる制御対象においては特に有用である。そこで本研究ではクワッドロータの制御において姿勢の維持と障害物の回避および位置制御を同時に満たす制御入力の生成を実現する。著者らは先行研究においてこの概念を用い、設計した制御入力による姿勢維持および誘導制御が可能となるよう HPF の勾配と非ホロミック制御入力を組み合わせることでクワッドロータを誘導するためのキノダイナミック制御入力を設計した [7]。未知環境におけるナビゲーションについては各種車輪型移動ロボット [13–16] に対してすでに多くの研究がなされているが、本研究ではキノダイナミック動作計画により、機体の動力学特性と誘導制御を同時に解決するための制御入力の設計を行っている点が特徴である。また、本論文で用いる HPF においては、あらかじめセンシング可能な移動範囲全体のポテンシャル勾配を算出しておくことで、外乱などにより軌道に多少の逸脱が生じていても機体の現在位置を参照することで柔軟に目標点へ到達するための制御入力を生成できるという利点もある。

* 原稿受付 2017 年 7 月 31 日
第 61 回システム制御情報学会研究発表講演会にて発表 (2017 年 5 月)

[†] 関西大学 システム理工学部 Faculty of Engineering Science, Kansai University; 3-3-35 Yamate-cho, Suita-shi, Osaka 564-8680, JAPAN

[‡] 岡山大学 大学院 自然科学研究科 Graduate School of Natural Science and Technology, Okayama University, 3-3-1 Tsushima-naka, Kita-ku, Okayama 700-0082, JAPAN

Key Words: quadrotor, autonomous control, motion planning, kinodynamics.

Fig. 1 クワッドロータの模式図と座標の定義

先行研究において設計した制御入力シミュレーションおよび実機にて検証し、クワッドロータを任意の目標位置まで障害物を避けながら誘導可能であることが確認された。ただし、このとき環境は既知であるという前提のもと、事前に環境全体のHPFを作成し用いていた。一方で、災害現場や人の生活環境といったさまざまな未知状況において自律移動を実現するためには、搭載されたセンサで観測できる範囲の情報のみを用いた移動が必要となる[8-10]。そこで本研究においてはクワッドロータに搭載したセンサのみを用いてセンシングできる範囲を考慮し、機体周囲の環境情報のみを用いた誘導方法について提案し、シミュレーションによる検証を行う。また、制御に用いるゲインを調整することで、機体の動作の安定化を図る。以下では、第2節においてクワッドロータの動力学モデルと提案する制御入力について述べ、3節にて機体周囲のHPFを算出する方法について説明する。また、4節では提案手法を用いた動作シミュレーションについて述べ、5節に本論文のまとめを記述する。

2. クワッドロータの動力学モデルと制御入力

Fig. 1のように定義される m [kg] の質量をもつクワッドロータの動力学モデルは、並進位置の制御入力 U_1 、およびロール ϕ 、ピッチ θ 、ヨー ψ の姿勢角の制御入力 U_2 、 U_3 、 U_4 を用いて以下のように表される。

$$\begin{cases}
 \ddot{x} = (\sin\theta\cos\phi\cos\psi + \sin\phi\sin\psi) \frac{1}{m} U_1 \\
 \ddot{y} = (\sin\theta\sin\phi\cos\psi - \sin\phi\cos\psi) \frac{1}{m} U_1 \\
 \ddot{z} = (\cos\phi\cos\theta) \frac{1}{m} U_1 - g \\
 \ddot{\phi} = \dot{\theta}\dot{\psi} \left(\frac{I_y - I_z}{I_x} \right) - \frac{J_r}{I_x} \dot{\theta}\Omega + \frac{l}{I_x} U_2 \\
 \ddot{\theta} = \dot{\phi}\dot{\psi} \left(\frac{I_z - I_x}{I_y} \right) - \frac{J_r}{I_y} \dot{\phi}\Omega + \frac{l}{I_y} U_3 \\
 \ddot{\psi} = \dot{\phi}\dot{\theta} \left(\frac{I_x - I_y}{I_z} \right) + \frac{1}{I_z} U_4
 \end{cases} \quad (1)$$

I_x , I_y , I_z はそれぞれ X, Y, Z 軸周りの慣性モーメントであり、 J_r はロータの慣性モーメント、 Ω は全ロータの回転速度の合計、 l は機体の中心からロータの中心までの長さである。

提案手法では、前述したモデルの制御入力に対し、ホバリング状態で姿勢を安定化させるための非ホロノミック制御入力と HPF から算出された勾配とを組み合わせる制御入力を与えることでキノダイナミック動作計画を実現する。このとき、非ホロノミック制御入力 $\mathbf{u}_c$ と HPF の勾配に基づく制御入力 $\Delta \mathbf{u}$ を合成した制御入力 $\mathbf{U} = [U_1 \ U_2 \ U_3 \ U_4]$ は以下ようになる。

$$\mathbf{U} = \mathbf{u}_c + \Delta \mathbf{u} \quad (2)$$

以下に非ホロノミック制御入力および HPF の勾配に基づく制御入力についてそれぞれ詳細を述べる。

まず、機体を一定高度でホバリングさせるための非ホロノミック制御入力 $\mathbf{u}_c$ は以下のようになる[11]。

$$\begin{cases}
 u_{c1} = \frac{mg}{\cos\phi\cos\theta} - \frac{m\hat{U}_1}{\cos\phi\cos\theta} \\
 u_{c2} = -\frac{I_x}{l}(\phi - \phi^d) - k_1\dot{\phi} \\
 u_{c3} = -\frac{I_y}{l}(\theta - \theta^d) - k_2\dot{\theta} \\
 u_{c4} = -I_z(\psi - \psi^d) - k_3\dot{\psi}
 \end{cases} \quad (3)$$

ϕ^d , θ^d , および ψ^d はそれぞれの角度の目標値であり、通常は 0 に設定する。 $\hat{U}_1$ は、

$$\hat{U}_1 = k_4(z - z^d) + k_5\dot{z} \quad (4)$$

とし、 z^d は Z 軸方向の目標値（目標高度）である。つまり、非ホロノミック制御部分においては高度の制御のみに焦点を当てており、X 軸、Y 軸方向については制御を行わないことになる。

つぎに、並進移動のための HPF に基づく追加制御 $\Delta \mathbf{u}$ について述べる。XY 方向の移動には、機体の高度を含む X-Z 平面の HPF を用いる。クワッドロータの機体の座標を $\mathbf{x} = [x \ y \ z]^T$ 、HPF の勾配 $\nabla V(\mathbf{x}) = [f_x \ f_y \ f_z]^T$ とするとき、追加制御 $\Delta \mathbf{u}$ は X-Y 平面上の HPF の勾配 ∇V と HPF の勾配選択ゲイン行列 $K_v \in \mathbb{R}^{4 \times 3}$ を用いて以下のように表せる。

$$\Delta \mathbf{u} = -K_v \nabla V(\mathbf{x}) \quad (5)$$

上述の選択ゲイン行列 K_v の非零要素の選択方法は、制御対象の運動特性や元の動力学制御則の形（とくに線形則か非線形則か）に依存する。クワッドロータは姿勢を傾けることにより位置を移動することができるため、たとえば X-Y 面の 2 次元空間では、Fig. 1 からわかる

とおり、機体を $-\theta$ の方向へ傾ければ機体は X 軸方向へ移動し、機体を ϕ 方向へ傾ければ Y 軸方向へ移動する。そこで、非ホロミック制御器により一定の高度でホバリングするクワッドロータの X-Y 平面における制御を考える場合、X-Y 平面における各軸方向の HPF の勾配を追加の制御入力 Δu として非ホロミック制御入力におけるロール方向 ϕ の制御入力 u_{c2} 、およびピッチ方向 θ の制御入力 u_{c3} に付加することで X-Y 方向の制御を実現できると考えられる。

これらの議論から、X-Y 面での運動に限定するとき、選択ゲイン行列 K_v は以下ようになる。

$$K_v = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & k_v & 0 \\ k_v & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (6)$$

ただし、 $k_v > 0$ とする。以上より、選択行列を作用させた後の拡張ポテンシャル勾配 $\nabla V_e(\mathbf{x}) \in \mathbb{R}^{4 \times 3}$ を導入すると、HPF の勾配に基づく制御入力は以下のように書ける。

$$\Delta u = -k_v \nabla V_e(\mathbf{x}) \quad (7)$$

ただし、 $\nabla V_e(\mathbf{x}) = [0 \ f_y \ f_x \ 0]^T$ であり、 f_x および f_y は地点 (x, y) における各軸方向の HPF の勾配である。一例として、Fig. 2 にフィールドの中央に矩形の障害物が存在する環境において算出された HPF の勾配を示す。なお、HPF では障害物の境界情報からの斥力と任意に決定した目標位置からの引力に基づいてフィールド全体の勾配を決定する。HPF の勾配の導出に関する詳細は文献 [6] を参照されたい。フィールド内に記載された矢印が算出された勾配であり、障害物からの反力と目標位置 $(x, y) = (10, 10)$ 地点からの引力により計算されている。ただし、図中の矢印は参照のためフィールドを粗く分割した場合の結果であり、実際の制御にはフィールドをさらに細かく分割して算出した勾配を用いる。

また、Z 方向の移動は XZ 平面上の HPF より算出された Z 方向の勾配 f_z を (4) 式における目標高度 z_d に加えることで実現する。Z 方向の勾配を加えた場合の式は以下ようになる。

$$\hat{U}_1 = k_4 \{z - (z^d + k_z f_z)\} + k_5 \dot{z} \quad (8)$$

ただし、ここでは簡便化のため Z 方向の動力学的な制御は完了しているとみなし、近似的に以下の式を用いる。

$$\hat{U}_1 = k_z f_z + k_5 \dot{z} \quad (9)$$

上式を用いることで、Z 方向の目標高度が勾配によって変化し、機体を HPF の勾配に沿って誘導することができる。本制御手法に関連する既知環境における基礎的な実機検証については文献 [12] を参照されたい。

Fig. 2 HPF に基づく勾配の算出例

3. ポテンシャルフィールドの生成

本論文では、未知環境における動作を想定し、センサで計測可能な範囲内のポテンシャルのみを用いて制御可能であることを確認する。なお、クワッドロータには任意の位置が最終目的地として与えられるとする。具体的な状況としては、クワッドロータにはレーザセンサなどの距離測定装置が搭載されており、距離情報から障害物の境界情報が得られることを想定する。この境界情報よりクワッドロータが移動できる範囲を決定しその範囲内に HPF の生成を行う。ただし、本論文においてはレーザセンサから得られた誤差を含むデータに対してカルマンフィルタなどを用いた濾波を行うことで測定誤差を軽減し、問題のない精度の境界情報が得られるものと仮定する。また、HPF の生成には障害物などの境界情報からの斥力と目標位置からの引力が必要となるため、クワッドロータが到達可能な位置に目標位置を設定する必要がある。このため、実環境における移動を行う際には HPF の生成後にあらかじめ勾配をたどって目標位置まで到達可能であるか判定を行い、場合によっては一時的な目標点を変更するなどの対策をとっておくことが望ましい。

センサで計測可能な範囲のポテンシャルのみしか用いることができない場合、ハーモニックポテンシャルフィールドの特性上、生成したフィールドの中に一時的な目標位置を設定する必要がある。本研究においては機体周囲の X-Y、X-Z、Y-Z 平面上をそれぞれを円形に観測できる状況を想定し、目標位置の設定に以下の手法を用いる。ただし、ここでは一例として X-Y 平面上における場合について述べる。まず機体の現在位置 (x_0, y_0) と最終目的地 (x_T, y_T) とを直線で結ぶ。ここで機体を中心とした半径 R の円との交点から a m 離れた位置を一時的な目標位置 (x_n, y_n) とした。 a は任意に決定可能であるが、本研究では $a = 1$ [m] として用いた。本手法の模式図を Fig. 3 に示す。このとき、各値は以下のように算出できる。

Fig. 3 一時的な目標位置の生成

$$L = \sqrt{(x_T - x_0)^2 + (y_T - y_0)^2}$$

$$x_n = x_0 + \frac{(R-a)(x_T - x_0)}{L} \quad (10)$$

$$y_n = y_0 + \frac{(R-a)(y_T - y_0)}{L}$$

X-Z 平面, Y-Z 平面においても同様に算出が可能である。ただし本研究では, X-Y 方向の誘導には X-Y 平面の HPF を用い, Z 方向の誘導には X-Z 平面の HPF を用いている。X-Z 平面のポテンシャルを生成する際には, X 方向の目標位置は X-Y 平面において生成された目標位置に固定して算出した。

なお, ポテンシャルフィールドをリアルタイムで更新しながら移動することは, 最終的に機体に搭載可能な処理装置のみを用いることを考えると現実的でない。そこで, クワッドロータは, 上記の方法でセンサの計測範囲内に設定した一時的な目標位置に移動し, 到達した際にセンサデータを更新するものとした。さらに, 生成したポテンシャルフィールド内においてクワッドロータが障害物を回避不可能であった場合, フィールドを逸脱することも想定される。この場合, ポテンシャルフィールドを逸脱した時点で移動を停止したままセンサデータを更新し, 同様の方法で再度一時的な目標位置を定め, 移動を再開する。生成した一時的な目標位置が障害物などの影響により到達不可能な位置に存在することも考えられるが, この場合, 生成した一時的な目標位置を機体方向に近づけることで, 到達可能な位置に再設定する。一例として, 一定高度を保ちながら X-Y 平面において局所的な HPF を用いて移動した場合の移動軌跡を Fig. 4 に示す。図中の実線が移動軌跡であり, 円形で囲まれた領域がポテンシャルフィールドが生成された領域である。

4. 動作シミュレーション

本節では, 提案手法を用いることでクワッドロータを目標位置へ誘導可能であることを MATLAB を用いたシミュレーションにより検証する。このとき, 制御に係る

Fig. 4 局所的な HPF を用いた移動の一例

Table 1 クワッドロータのパラメータ

Parameter	Description	Value	Unit
g	Gravity	9.80665	m/s^2
m	Mass	0.4	kg
l	Distance	0.248	m
I_x	Roll inertia	0.01467	$\text{kg}\cdot\text{m}^2$
I_y	Pitch inertia	0.01467	$\text{kg}\cdot\text{m}^2$
I_z	Yaw inertia	0.02331	$\text{kg}\cdot\text{m}^2$
J_r	Rotor inertia	175.69×10^{-6}	$\text{kg}\cdot\text{m}^2$
b	Thrust factor	0.0000434	
d	Drag factor	0.000002188	

ゲインを調整することでより安定した飛行が可能となることも確認する。

4.1 シミュレーション環境

本シミュレーションにおいては一辺が 20m の立方体の空間中をクワッドロータが飛行する状況を想定する。シミュレーション環境において, クワッドロータは初期位置 $(x_0, y_0, z_0) = (18\text{m}, 18\text{m}, 18\text{m})$ からスタートし, 最終的な目標位置 $(x_T, y_T, z_T) = (4\text{m}, 4\text{m}, 4\text{m})$ まで姿勢を崩すことなく移動することを目標とする。環境内には X-Y 平面に接するように $6\text{m} \times 6\text{m} \times 10\text{m}$ の直方体状の障害物が一つ配置されている。センサの観測可能範囲 R については, 距離計測に広く用いられている測域センサ (LRF) の計測範囲を考慮し, 5m とした。また, 機体の質量や慣性モーメントといった値については, 実機を想定し Table 1 に示すパラメータを用いた。勾配を付加する際のゲイン k_v については $k_v = 0.0001$ とした場合と $k_v = 0.00005$ とした場合について比較した。

4.2 結果

Fig. 5 に誘導結果を示す。図中の灰色で描かれた直方体は障害物であり, 細線は $k_v = 0.0001$ とした場合の,

Fig. 5 想定環境におけるクワッドロータの誘導軌跡

Fig. 6 X-Y平面上における誘導軌跡

太線は $k_v = 0.00005$ とした場合のクワッドロータの誘導軌跡を示している。Figs. 6–8 はそれぞれ、X-Y、X-Z、および Y-Z 平面上における誘導軌跡である。なお、破線は $k_v = 0.0001$ とした場合の、実線は $k_v = 0.00005$ とした場合の結果である。また、Fig. 9 は飛行中のクワッドロータの位置の推移、Fig. 10 は角度の推移を示している。想定した環境においては、初期位置から目標位置へ移動するために合計 6 回のポテンシャルフィールドの生成が確認された。

4.3 考察

Figs. 5–8 より、提案手法を用いることで想定した環境においては障害物を避けながらクワッドロータを任意の目標位置へ誘導可能であることが確認できた。障害物付近においては、機体を中心に生成した半径 5m のポテンシャルフィールドの範囲のみでは回避するのに十分なスペースを確保することができず生成したポテンシャルから逸脱する状況がしばしば生じていたが、フィールド逸脱後にポテンシャルフィールドを再生成し、最終的には目標位置へと移動可能であった。また、Figs. 5–8 からわかるとおり、制御に係るゲイン K_v を小さく設定す

Fig. 7 X-Z平面上における誘導軌跡

Fig. 8 Y-Z平面上における誘導軌跡

ることにより機体のオーバーシュートを抑制し、より安定した飛行が可能となることを確認した。実際に、Fig. 6 を見ると、ゲイン $k_v = 0.0001$ とした際にはオーバーシュートにより障害物との接触が生じてしまっているように見えるが、ゲイン $k_v = 0.00005$ まで小さくした場合には、オーバーシュートが抑制され、障害物に接触することなく目標地点まで到達できていることがわかる。また、ゲイン $k_v = 0.00005$ と設定した場合において、位置 (x, y, z) が目標位置である $(4m, 4m, 4m)$ に到達できていることが Fig. 9 より確認できる。Fig. 10 については、想定したクワッドロータが 0.2 rad 程度の揺れであれば問題なく飛行できるため、機体の角度変化は十分に現実的であり、実際の飛行においても問題のない範囲に収まっているといえる。なお、本シミュレーションにおいては外乱を考慮していないが、外乱の影響を考慮する際にはゲイン k_v を可変とし、外乱の度合いに応じてその値を変更することが望ましい。また、袋小路のような特殊な環境においても、壁からの反力を利用することで抜け出せる可能性はあるが、より確実に目標点に到達するためには袋小路を抜け出すためのアルゴリズムを別途併用することが必要となる可能性がある。

Fig. 9 クワッドロータの位置の推移

Fig. 10 クワッドロータの姿勢角の推移

5. おわりに

本論文では、屋内の未知環境におけるクワッドロータの自律飛行を目的とし、任意の最終目的地が与えられた場合に、機体周囲の環境情報のみを用いてHPFを生成し移動する手法を提案した。具体的には、機体の動力学的な拘束を反映した非ホロノミック制御入力に機体周囲の環境における運動学的な拘束を反映したHPFの勾配とを組み合わせた制御入力を設計することで、最終的な目標地点への誘導を実現した。提案手法はMATLABを用いたシミュレーションにより検証され、クワッドロータが障害物を避けながら目標地点まで制御対象を誘導可能であることを確認した。今後の課題としては、外乱の考慮や外乱に応じた制御ゲインの調整、センサの死角への対応、他の環境における動作検証、動的な障害物への対応、実際のセンサデータからのHPFの生成手法の確立、および実機による検証などがあげられる。

謝 辞

本研究の一部は科研費(17K06449)、および関西大学若手研究者育成経費による。

参 考 文 献

- [1] B. Donald, P. Xavier, J. Canny and J. Reif: Kinodynamic motion planning; *J. of the ACM*, Vol. 40, No. 5, pp. 1048–1066 (1993)
- [2] S. M. LaValle and J. J. Kuffner: Randomized kinodynamic planning; *Int. J. of Robotics Research*, Vol. 20, No. 5, pp. 378–400 (2001)
- [3] Q. Pham, S. Caron and Y. Nakamura: Kinodynamic planning in the configuration space via admissible velocity propagation; *Proc. of Robotics: Science and Systems* (2013)
- [4] E. Rimon and D. Koditschek: Exact robot navigation using artificial potential functions; *IEEE Trans. on Robotics and Automation*, Vol. 8, No. 5, pp. 501–518 (1992)
- [5] J. Peng and S. Akella: Coordinating multiple robots with kinodynamic constraints along specified paths; *Int. J. of Robotics Research*, Vol. 24, No. 4, pp. 295–310 (2005)
- [6] A. Masoud: Kinodynamic motion planning; *IEEE Robotics & Automation Magazine*, Vol. 17, No. 1, pp. 85–99 (2010)
- [7] K. Motonaka, K. Watanabe and S. Maeyama: Kinodynamic motion planning and control using anisotropic damping forces; *Proc. of Int. Symp. on Artificial Life and Robotics (AROB)* (2013)
- [8] D. Mellinger and V. Kumar: Minimum snap trajectory generation and control for quadrotors; *Proc. of Int. Conf. on Robotics and Automation* (2011)
- [9] M. Bangura and R. Mahony: Real-time model predictive control for quadrotors; *Proc. of IFAC World Congress* (2014)
- [10] S. Shen, Y. Mulgaonkar, N. Michael and V. Kumar: Vision-based state estimation and trajectory control towards high-speed flight with a quadrotor; *Proc. of Robotics: Science and Systems IX* (2013)
- [11] S. Bouabdallah, P. Murrieri and R. Siegwart: Design and control of an indoor micro quadrotor; *IEEE Robotics and Automation Magazine*, Vol. 5, pp. 4393–4398 (2004)
- [12] K. Motonaka, K. Watanabe and S. Maeyama: Obstacle avoidance for autonomous locomotion of a quadrotor using an HPF; *Int. J. on Smart Material and Mechatronics*, Vol. 2, No. 2, pp. 110–115 (2016)
- [13] J. Xiang, Y. Tazaki, S. Inagai and T. Suzuki: Variable-resolution map building and real-time path planning of omni-directional mobile robots; *Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation (ICRA)*, pp. 3014–3019 (2010)
- [14] 田中, 永谷, 岩井: Generalized Voronoi Graphを用いた移動ロボットの未知環境探索動作-ステアリング型移動ロボットの経路の評価と経路の生成-; 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会講演論文集, Vol. 2001, Iss. 5, pp. 2P2.F2(1)–2P2.F2(2) (2001)

- [15] B. Tovar, R. Murrieta-Cid and S. M. LaValle: Distance-optimal navigation in an unknown environment without sensing distances; *IEEE Trans. on Robotics*, Vol. 23, Iss. 3 (2007)
- [16] M. Shayestegan and M. H. Marhaban: Mobile robot safe navigation in unknown environment; *Proc. of 2012 IEEE Int. Conf. on Control System, Computing and Engineering (ICCSCE)* (2012)

著者略歴

もと なか きみ こ
本 仲 君 子 (正会員)

2014年3月 岡山大学大学院自然科学研究科産業創成工学専攻博士課程修了。博士(工学)取得後、日本学術振興会特別研究員を経て、関西大学システム理工学部に勤務、現在電気電子情報工学科助教。垂直離着陸型の飛行ロボットを中心に、自律制御や環境地図に関する研究に従事。日本機械学会、日本ロボット学会、計測自動制御学会、IEEEなどの会員。

わた なべ けい ぞ
渡 辺 桂 吾 (正会員)

1976年徳島大学工学部機械工学科卒業、1978年同大学院修士課程修了。1980年1月九州大学助手、静岡大学工業短期大学部助教授を経て、1990年佐賀大学理工学部助教授、1993年同教授。2009年4月岡山大学大学院自然科学研究科教授、2018年3月定年退職、同4月より同研究科特任教授、現在に至る。ソフトウェア、インテリジェント制御、各種移動ロボットの開発とその制御などの研究に従事。工学博士。日本機械学会フェロー、計測自動制御学会フェロー、日本ロボット学会、日本知能情報ファジィ学会、IEEEなどの会員。

まえ やま しょう いち
前 山 祥 一

1993年筑波大学第三学群情報学類卒業、1997年8月筑波大学大学院博士課程中退。同年同月 筑波大学電子情報工学系助手、機能工学系助手を経て、2002年大阪電気通信大学工学部電子機械工学科講師、2005年8月岡山大学大学院自然科学研究科講師、2018年4月香川大学創造工学部教授、現在に至る。移動ロボットの自律移動と動作計画、探索型レスキューロボットの遠隔操縦などの研究に従事。博士(工学)。日本ロボット学会、日本機械学会、計測自動制御学会、IEEEなどの会員。