



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	ホバリング制御に基づくエンタテインメントバルーンロボットの開発
Author(s)	川村, 秀憲; 角田, 久雄; 山本, 雅人 他
Citation	知能と情報 : 日本知能情報ファジィ学会誌 : journal of Japan Society for Fuzzy Theory and Intelligent Informatics, 17(2), 203-211
Issue Date	2005-04-15
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/52125
Type	journal article
File Information	110002699765.pdf



原著論文

ホバリング制御に基づく エンタテインメントバルーンロボットの開発†

川村 秀憲*1*2・角田 久雄*1, 山本 雅人*1*2・高谷 敏彦*1*3・大内 東*1*2

本稿では、人の呼びかけに反応して様々な動作を行うエンタテインメントバルーンロボットの開発と基礎的な実験について報告する。バルーンロボットにはワイヤレス CCD カメラとワイヤレスマイクが搭載され、人の拍手を感知して回転動作や上下移動を行う。人の呼びかけに対しては、確率的状態遷移機械を利用することによって、不確実な再現性をともなった動作系列の生成を実現した。バルーンは空調などの外乱に容易に影響を受けるので、連続的に動作可能な状態を維持することは困難であるが、地面に置かれたランドマークを利用したホバリング制御に基づいて制御することによって長時間安定してインタラクティブな飛行を可能とした。実験を通して、人とインタラクションをとりながら長時間飛行が可能であることを確認した。

キーワード：飛行船ロボット、ホバリング制御、確率的状態遷移機械、エンタテインメントロボット

1. はじめに

エンタテインメントのためのロボットはヒューマノイド型や動物・人形型など、さまざまなものが研究開発されているが、ここでは室内を飛行する小型バルーンロボットに着目する。ヘリウムを充填したバルーンロボットは中性浮力によって空中に浮かんでいるため、移動のためのエネルギーコストが小さく、床の段差や椅子・机などの障害物に影響されずに長時間移動が可能である。また、バルーンの形状はある程度自由に設計でき、室内ヘリコプターなどと比較して墜落に対する安全性も高い。キャラクタのバルーンと組み合わせるなどして、子供がいる環境でも安心して楽しめる新たなエンタテインメントを提供することが出来る。

軽量のバルーンは室内のわずかな風の影響を受けやすく、また非線形特性や慣性の影響も大きいので、飛行機やヘリコプターといった他の飛行体と比べて独自の制御法の確立が必要である。従来研究では、昆虫の飛行ナビゲーションのアナロジーを用いて飛行船型バルーンロボットを制御する研究や[1, 2], ビーコンを利用した位置検出によって制御する研究[3], カメラ画

像に基づいて飛行制御を行う研究[4, 5], 地上ロボットとの協調動作により屋外環境での調査を行う研究[6]などが行われている。それぞれ、バルーンロボットに与えられたタスクによって独自の飛行制御が提案されているが、エンタテインメントとして楽しめる飛行を目的とした制御については、まだあまり研究がなされていない。

エンタテインメントバルーンロボットは、見て楽しむ新たなエンタテインメントの実現のみならず、ロボット制御研究の見地からも興味深い対象である。安価で取り扱いが容易な機体と制御プログラムを開発する開発環境を提供できれば、ロボットを題材としたエデュテインメントとしても興味深い。更に、これらを通して培われた研究成果は、バルーンロボットによる被災建造物の調査[7]や安価な監視システム[8]などへの応用技術としても有用であると思われる。

以上の理由から、我々の研究グループではエンタテインメントを実現するための柔軟なバルーンロボットシステムの開発と、制御方法の確立を目指している。現在までに開発したバルーンロボットは、CCD カメラ、小型マイク、プロペラ駆動部を含めたバルーンコントロールユニットからなる[9]。将来的には、複数のバルーンロボットを同時に飛ばし、子供の呼びかけに反応して飛行するロボットや、バルーンロボットによるボイドの実現、強化学習などを組み込んだ実ロボットによる追跡問題、シンクロナイズドフライングなどのエンタテインメントバルーンロボットの実現を目指している。

本論文では、プリミティブなエンタテインメントとして、人の呼びかけに反応して動作を行うことによ

† Development of an Entertainment Indoor Blimp Robot Based on Hovering Control

Hidehiko KAWAMURA, Hisao KADOTA, Masahito YAMAMOTO, Toshihiko TAKAYA, Azuma OHUCHI

*1 北海道大学大学院情報科学研究科

Hokkaido University

*2 有限会社ソリューションテクノロジー

Solution Technology Co. Ltd

*3 リコーシステム開発株式会社

Ricoh System Kaihatsu Company Ltd

て、人とインタラクションしながら飛行するバルーンロボットの開発について報告する。バルーンロボットを長時間安定的に飛ばすためには様々な工夫が必要であるが、ここでは安定な連続動作実現のために、床に設置したランドマークを中心としたホバリング制御を開発した。それに基づいて、手拍子などの人の呼びかけに反応して回転動作や上下移動などといった動作を行うことで、不安定なバルーンをコントロールしながらインタラクティブな動作を実現した。

2. バルーンロボットの設計

屋外を中心としたバルーンロボットの研究では、高速移動時の空気抵抗の軽減と飛行の安定性から、楕円型の飛行船型を用いるのが一般的である。このような飛行船型は、前進・後退・上昇・下降を実現するプロペラ、方向転換をするためのプロペラを持ち、力学的にノンホロミックな系となっている。しかし、室内用のバルーンロボットにおいては高速な移動は必ずしも必要ではなく、また、室内の狭い空間を移動することを考えると、機体を旋回させずに水平方向にダイレクト移動できるようなプロペラ配置が有効であると考えられる。

そこで、プロトタイプ設計ではバルーン形状を円柱型とし、3次元動座標系における各軸方向にそれぞれ推力を発生できるホロミックな系に従う円柱型とすることとした。円柱型は浮力を得るためのバルーン容量を大きくとりやすく、プロペラユニット、センサなどを搭載するためのペイロードを多くとることができる。また、水平方向の各方向への移動について、偏りの小さい空気抵抗を実現することが可能である。プロペラの配置については、各軸方向について独立に設置することにより3軸を独立に制御できる。

図1が設計したシステムの概要である。バルーンロボットの制御システムは大きく分けて機体部・制御部・送信部の3つで構成されている。機体部はバルーン・プロペラユニット・ワイヤレス CCD カメラ・ワイヤレスマイクから成り立っている。制御部は画像・音声処理や制御のための計算などを行なう部分であり、計算量の多い処理が要求されるので、小型のコンピュータをバルーンロボットに搭載することはせず、外部に制御用の PentiumIII867MHz の PC を用意した。

バルーンロボットを製作するにあたり、プロペラユニット323.6[g]、CCD カメラ45.0[g]、マイク20.0[g]の重量に釣り合う浮力を実現する必要がある。ここで、直径 $D[m]$ 、高さ $H[m]$ の円柱型バルーンロボットを製作すると浮力 $B[g]$ は、空気の密度を $\rho_a[g/m^3]$ とし

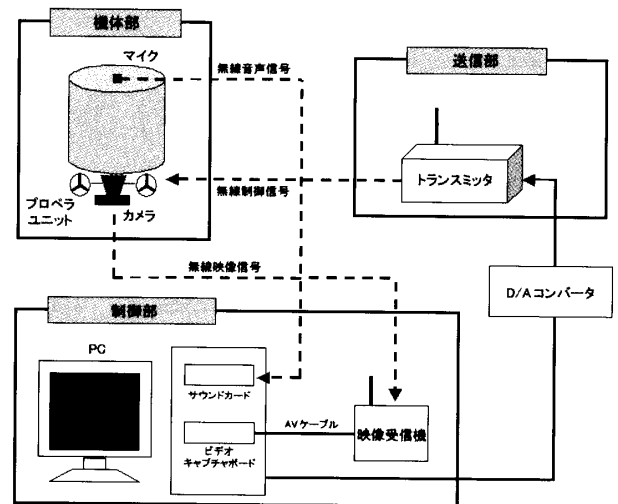


図1 制御システム

$$B = \pi \rho_a H \left(\frac{D}{2} \right)^2 \quad (1)$$

と計算される。また、バルーン内に充填させるためのヘリウムの密度を $\rho_h[g/m^3]$ とし、バルーンを $c[g/m^3]$ のアルミ蒸着フィルムで製作すると、機体部の総重量 $W[g]$ は、

$$W = \pi \rho_h H \left(\frac{D}{2} \right)^2 + \pi c D \left(H + \frac{D}{2} \right) + 388.6 \quad (2)$$

と計算される。ここで、バルーンロボットの動作環境における気温を $15^\circ\text{C} \sim 25^\circ\text{C}$ の範囲に想定し、その範囲で浮力 B が総重量 W を上回るように直径 D と高さ H を決定する。具体的には、 15°C 、1 atm の場合の空気とヘリウムの密度を、 $\rho_a = 1226[g/m^3]$ 、 $\rho_h = 169.3[g/m^3]$ 、 25°C 、1 atm の場合を $\rho_a = 1184[g/m^3]$ 、 $\rho_h = 163.6[g/m^3]$ とし、十分な浮力を確保できるサイズを計算し、図2のような高さ88.0[cm]、直径86.0[cm]の円柱型バルーンを製作した。なお、実験を行う際には装填するヘリウムの量を調整し、できるだけ中性浮力になるように調節することとする。

図3が示すように、このバルーンロボットのプロペラユニットには合計6つのプロペラが取り付けられる。鉛直下向きをZ軸の正方向とする動座標系において、XY平面(水平面)移動用のプロペラが十字型に4つ配置されており、特にY軸方向移動用の2つのプロペラはそれぞれ独立に制御できるので、これを利用して回転制御を行なうことが出来る。また、プロペラユニットの中心部に配置されている2つのプロペラによりZ軸(上下)方向移動を実現する。

制御部では、PCにとりつけられたビデオキャプチャボード、サウンドカードにより機体部のカメラ・マイ

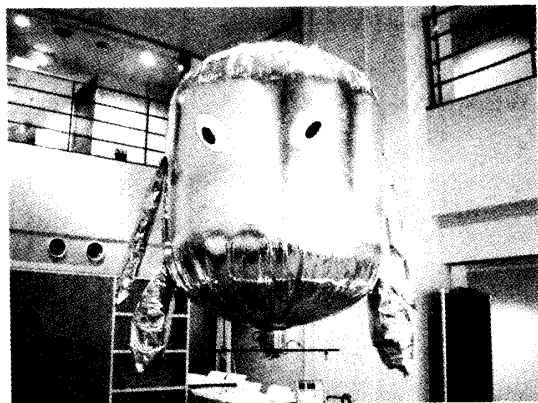


図2 円柱型バルーンロボット

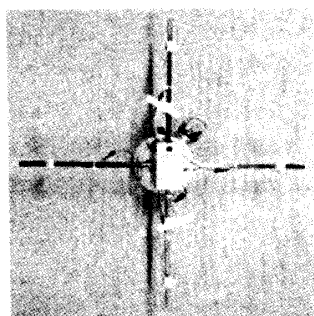


図3 プロペラユニット

クから無線で送られてくる画像・音情報を取り込む。カメラ画像処理においては、簡易な方法でできるだけ正確な3次元空間での座標を取得する為に、ランドマークを利用したバルーンロボットの位置・ヨー角度の取得を試みる。具体的には、図4に示すように、バルーンロボットが動作する環境に床に大小二つの赤い円をランドマークとして置き、カメラ画像を①赤色識別、②領域認識とエッジ点の検出、③円の中心・半径の推測、という流れで処理することによって、ランドマークを基点としたバルーンロボットの位置とヨー角を高



図4 床においたランドマーク

い精度で得ることが可能である[9]。また、マイクからの音については、音強度がある閾値を超えたあとに指数減衰するものを判別することによって、手をたたいた時に生じる衝撃単発音を高い確率で認識することが出来るように設計した。

センシングして得られた位置や音の情報をサンプリング間隔 $\Delta T = 0.3[\text{sec}]$ 以内で処理し、各プロペラの出力 m (ΔT に対する各プロペラモータの駆動時間比) を決定する。決定された出力はDAコンバータを介し送信部のコントローラへ送信される。コントローラは受信した出力を無線信号で機体部のプロペラユニットに送信することによりプロペラが駆動する。

使用するプロペラモータは与える電圧値を指定することで発生推力の大きさを変化させることが可能であるが、電圧値と実際に発生する推力の大きさの関係が不安定で非線形な特性を持っていた。従って、電圧値を変化させるのではなく、正回転 ($m > 1$)、逆回転 ($m < 1$)、停止 ($m = 0$) に対して常に一定の電圧を与え、時間間隔 ΔT 中に回転と停止を切り換えるタイミングを k 回 (ここでは $k = 5$) 設けることでプロペラモータの駆動時間を調整し、線形に近い特性を持った推力の発生を試みている。

3. 確率的状態遷移機械に基づく動作系列の生成

人が呼びかけた際にいろいろな反応を起こすインタラクティブ性を実現するためには様々な方法が考えられるが、ここでは出来るだけ複雑な処理は行わずに実現可能な以下の4つの基本動作に基づいて動作系列の生成を試みる。

- 上昇
- 下降
- 180度回転
- 10秒回転

なお、バルーンロボットの制御において、定点にとどまる制御[5, 9]や直線移動を行うための制御[2, 4]については研究例があるが、回転を積極的に行うための制御についてはあまり研究はなされていない。

基本動作からなるロボットの動作系列については、①実装が容易であること、②実現できる基本動作が増えても拡張が容易なこと、③不確かな再現性による意外性が実現できること、④連続して動作系列を実行する際に制御不能な状態へ陥らないこと、などを考慮して、図5に示すような確率的状態遷移機械によって生成することとした。

ここで、ロボットの確率的状態遷移機械の実現において、大きい円のランドマークの上空高度2m、または

異なる状態遷移確率
(単発衝撃音1回の時の遷移確率, 単発衝撃音2回の時の遷移確率)

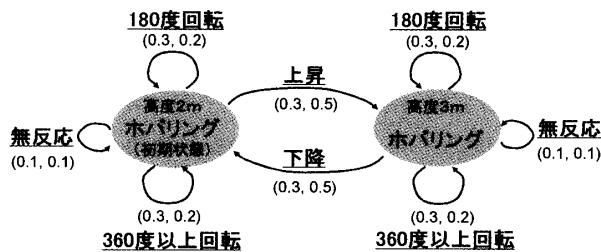


図5 動作系列を生成する確率的状態遷移機械

3 mにおいて一定のヨー角を保った状態に制御されているホバリング状態を基本状態とする。そこから、拍手などの単発衝撃音をトリガーとして遷移確率に従って基本行動を実行し、状態を遷移する。遷移確率には、衝撃音が単発の場合と連続して2回の場合の2種類のバリエーションを設定した。なお、最初の衝撃音検出後、1.5秒以内に再び衝撃音が検出された場合を2回連続とみなすこととした。

それぞれのホバリング状態においては、大きい円の中心からの距離が50[cm]以内、ヨー角度の偏差が±20[deg]以内を安定領域とし、バルーンが安定領域内に15秒間とどまることができたら安定状態であるとして、次の動作を実行可能とする。このように、安定状態に達した後に動作を行うことによって、バルーンロボットがランドマークを見失わずに動作が実行可能であると期待できる。安定領域の範囲と安定状態のための秒数については、CCDカメラの撮影範囲やプロペラの推力、実験環境の風の流れなどを考慮して、できるだけランドマークを見失うことなく次の動作に移ることができるよう経験的に設定した。

このように、ホバリング制御と安定状態を基本とした確率的状態遷移機械によって動作系列を構成することで、速度の出過ぎなどでランドマークを見失うなどして制御不能になることを回避しながらインタラクティブな反応を実現できると期待できる。

確率的状態遷移機械の状態や確率については、インタラククションを行う人の興味を惹きつけるような動作系列を生成できるように設定する必要がある。バルーンロボットが実行できる動作のバリエーションを増やすことができれば、状態の数を多めに設定することで、例えば活発に動作する状態や反応が悪い状態、特別な動作をする状態などを表現できる。また、同じ呼びかけが続くと反応が悪くなるなどといった確率を設定することで、受け手にとってはあたかもロボットか機嫌や意思を持っているように感じられることが期待できると考えられる。今回はロボットが実行できる動作の

バリエーションが少ないため、衝撃音が1回の場合はあるような動作が起こるか予想し難く、2回の場合は上下移動を行うことが多いと感じられるように設定した。また、どちらの場合においても0.1の確率で反応が起こらない状態を設定することで、人が不快に感じない程度にインタラククションが多くなることを期待した。

4. ホバリング制御に基づく動作系列の実行

ランドマークを基点としてホバリング制御を実現するためには、制御対象を正確にモデリングすることで制御系が設計できることが望ましい。しかし、バルーンロボットはバッテリーの消耗から生じる推力変化、バルーンの手作業製作による設計誤差、空調による環境外乱、移動時の慣性などが大きく影響するためモデリングが難しく、解析的に制御系を設計することは困難である。

そこで本研究では、モデリングが十分な精度でなされていない状況でも、設計が単純でパラメータを実験的に容易に調節することが可能なPD制御を用いる。PD制御では運動特性検討の際に、パラメータを実験的に調節可能であり、また、パラメータ設定の変更に対する運動特性の変化の直感的な判断が容易であるという利点を持つ。また、速度の監視を行なうD動作が制御に組み込まれているため、バルーンロボットの制御を不安定にする慣性に対してロバストな制御を行なうことが期待できる。

PD制御を用いたホバリング制御を実現する際、任意の時刻 t [sec]における各プロペラモータへの出力 $m(t)$ を以下のように決定することとした。ただし、Y軸移動用の2つプロペラは回転制御も行なうため、左右でそれぞれ異なる出力が決定される。

$$m_x(t) = KP_x \left\{ e_x(t) + TD_x \frac{de_x(t)}{dt} \right\} \quad (3)$$

$$m_{y_r}(t) = KP_y \left\{ e_y(t) + TD_y \frac{de_y(t)}{dt} \right\} + KP_\theta \left\{ e_\theta(t) + TD_\theta \frac{de_\theta(t)}{dt} \right\} \quad (4)$$

$$m_{y_l}(t) = KP_y \left\{ e_y(t) + TD_y \frac{de_y(t)}{dt} \right\} - KP_\theta \left\{ e_\theta(t) + TD_\theta \frac{de_\theta(t)}{dt} \right\} \quad (5)$$

$$m_z(t) = KP_z \left\{ e_z(t) + TD_z \frac{de_z(t)}{dt} \right\} \quad (6)$$

ここで e_x, e_y, e_z はそれぞれランドマークによる基点から計算される X, Y, Z 軸方向の目標状態への距離偏差であり、 e_θ は角度偏差である。また KP, TD はそれぞ

れ比例ゲイン，微分時間であり，これらのパラメータは予備実験によって試行錯誤的に求められた値（表1参照）を用いている。

上式で決定された出力はサンプリング間隔 ΔT に対するモータ駆動時間比で与えられ，2章で説明したように $m(t)$ が正の値ならば正回転，負の値ならば逆回転するようにプロペラモータに電圧値が与えられる。ただし出力は離散値で与えられるため以下の式のように $m(t)$ を離散値 $M(t)$ に変換する。

$$M(t) = \begin{cases} [m(t) \cdot k] / k & \text{if } |m(t)| < 1 \\ 1 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (7)$$

上式に従うと，時刻 t から $t + M(t)\Delta T$ までプロペラモータには正または逆回転用の電圧値が与えられ，プロペラは回転する。そして時刻 $t + M(t)\Delta T$ から $t + \Delta T$ までプロペラモータには停止用の電圧値が与えられる。

ホバリングを実現するときにはランドマークの大き

い円の中心から高度 2 m，または 3 m を目標状態とすることで制御を行う。上昇，下降を実現するときには，目標高度を 2 m $\rightarrow$ 3 m，3 m $\rightarrow$ 2 m と変更することで制御を行う。また，回転については，制御時におけるヨー角度に応じて目標ヨー角度を 180 度反転させることで実現している。このように，ホバリング制御に基づいて目標状態を変更することで可能な限り安定な制御を持続できるように構築した。

5. 実験

設計したバルーンロボットに関して，正確にホバリング・上下・回転が実現できているかどうかを確認するために，それぞれの動作に関して 3 回の飛行実験を行い，動作の安定性に関して確認した。実験時場所はおよそ $6 \times 4 \times 5$ [m] の大学構内のオープンスペースであり，気圧や温度の影響で若干浮力の変化が生じており，また空調や人の歩行の影響などで微妙な気流が観測された（図4参照）。

図6，7はそれぞれ上昇，下降動作時における目標状態までの垂直距離・ヨー角度偏差の時間変化である。3回の実験において，それぞれ15秒程度で偏差を減少させ，安定状態に達していることがわかる。また，図8，9は180度，10秒回転動作時における水平距離偏差，ヨー角度偏差を表している。回転動作時には，距離偏差を正確に制御することは困難であるが，回転

表1 パラメータの設定

パラメータ	KP_x	KP_y	KP_z	KP_θ
値	0.0067	0.0067	0.0034	0.7500
パラメータ	TD_x	TD_y	TD_z	TD_θ
値	0.5000	0.5000	2.5766	3.0000

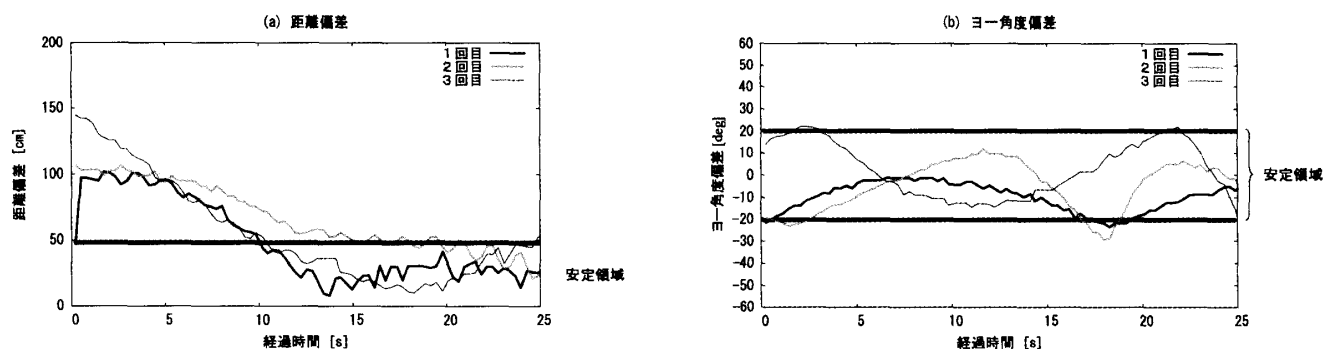


図6 上昇動作時における偏差の時間変化

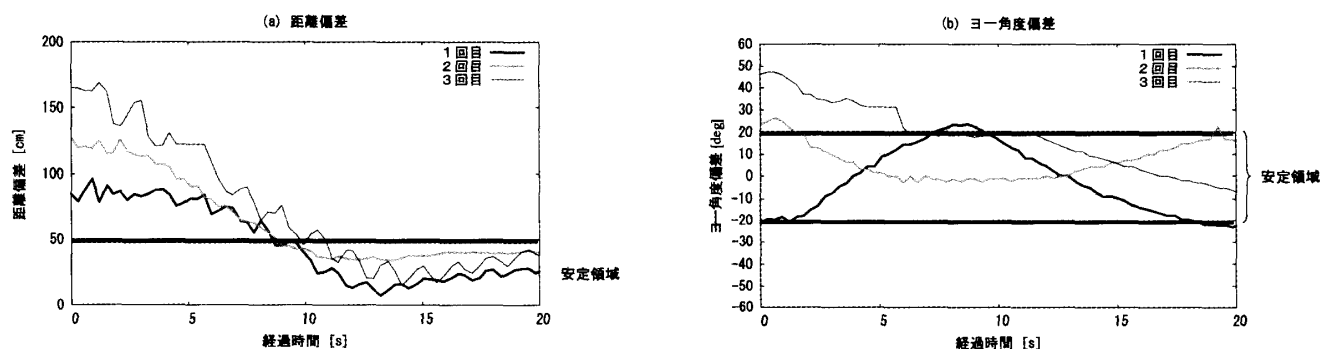


図7 下降動作時における偏差の時間変化

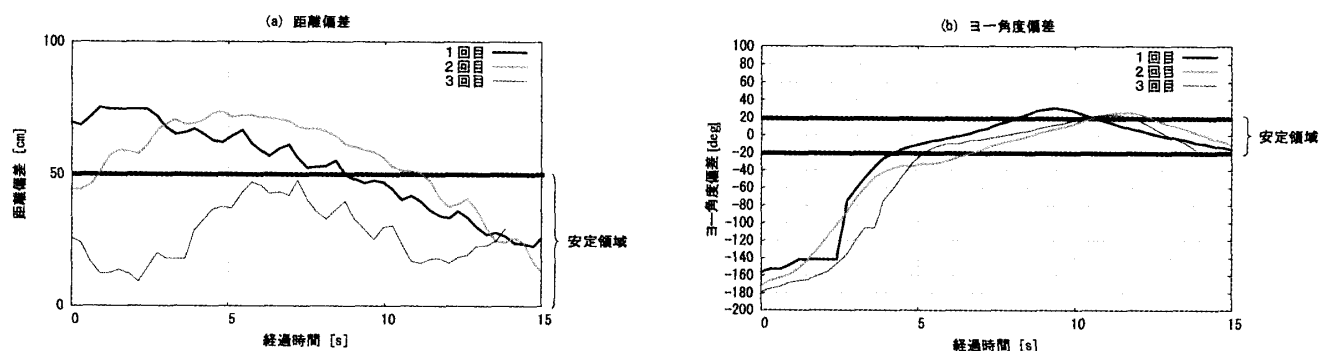


図8 180度回転時における偏差の時間変化

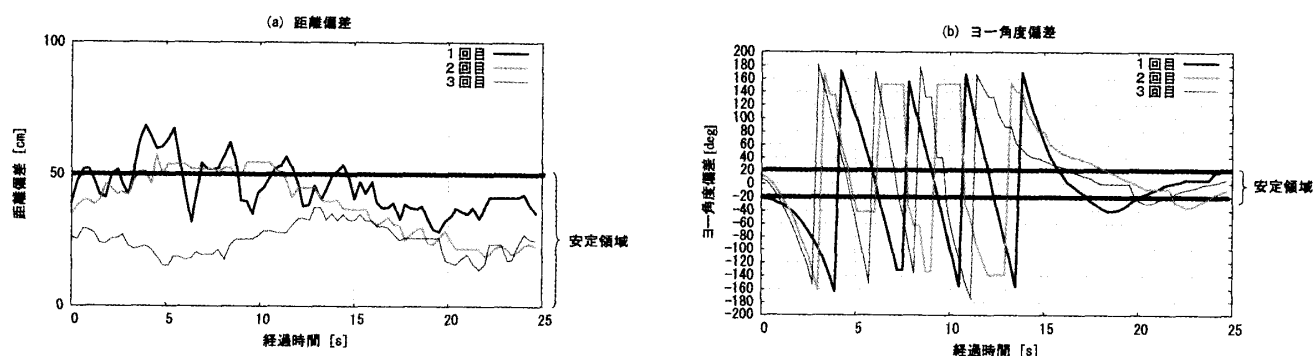


図9 10秒回転時における偏差の時間推移

の効果によって水平方向の位置が安定しているために偏差が安定に保たれていることがわかる。また、ヨー角度偏差についても、それほど大きなオーバーシュートを見せることなく目標値に達しており、視覚的に安定した飛行を実現できた。

図10は設計した動作系列を実装した連続的な飛行における、音入力音強度、バルーンロボットの高さ、ヨー角度、目標状態までの距離偏差の時間推移を示す。バルーンロボットは音強度が8を超えたときに拍手音を検出したと判断し状態遷移を行う。実験開始から39秒後に1回の拍手音を検出し確率的状態遷移機械により10秒間の回転動作を行っている。また、以後拍手音を検出するたびに②180度回転(拍手音1回:66秒後)→③10秒回転(拍手音2回:77秒後)→④高さ3m(拍手音2回:135秒後)→⑤高さ2m(拍手音2回:151秒後)→⑥180度回転(拍手音1回:170秒後)→⑦180度回転(拍手音1回:184秒後)→高さ3m(拍手音2回:205秒後)→⑧高さ2m(拍手音2回:226秒後)→⑨10秒回転(拍手音1回:241秒後)→⑩高さ3m(拍手音2回:267秒後)→⑪高さ2m(拍手音1回:286秒後)という動作系列を実行した。図10(d)からもわかるとおり、一連の動作系列において状態遷移直後は、回転動作や目標高さの変化などにより目標状態までの偏差が大きくなってしまっているが、カメラにより目標状態をただしく検出することで素早く目標状態へ戻るこ

が可能であった。また、図10(b)から、96秒後から目標状態から大きくずれてしまっていることがわかる。これは、回転動作によりバルーンロボットが目標状態から遠ざかってしまいランドマークを見失ってしまった結果である。しかしランドマークを見失った直後から、バルーンロボットは視野を広くするために上昇を行ったため、約10秒後には再びランドマークを検出し目標状態へ向かい、制御不能に陥ることはなかった。

実験では5分間に11回の状態遷移を実行することができ、確率的状態遷移機械により生成された動作を連続的に実現することができた。また、ある一点から見たバルーンロボットの回転動作の連続図を図11に示す。図からもわかるとおり、一定の位置に立ってバルーンロボットを観測するだけでも、バルーンロボットの前面・側面・後面を眺めることができるなど、長時間見ても飽きないエンターテインメント飛行を実現できた。飛行時の映像は[10]で公開している。

また、工学系の大学生4名にバルーンロボットとのインタラクションを実際に体験してもらい、自由形式の感想と、動作の安定性、意外性、面白さ、反応性に関する3段階(1:悪い, 2:どちらともいえない, 3:良い)の感想を答えてもらった。表2はその結果をまとめたものである。バルーンは一見不安定に見えるものの、様々な動作に対して安定して飛行しているという印象であり、また呼びかけに対して同じ反応を

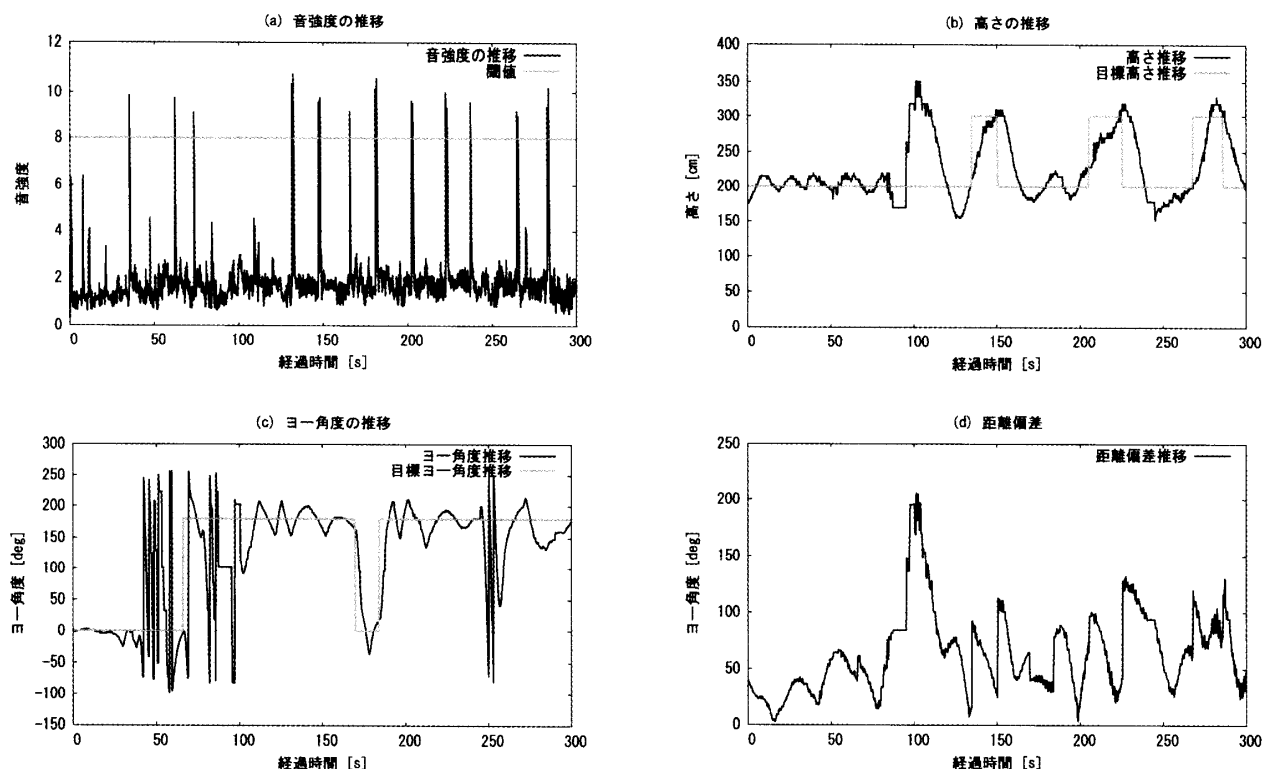


図10 一連動作における音強度、高さ、ヨー角度、距離偏差の推移

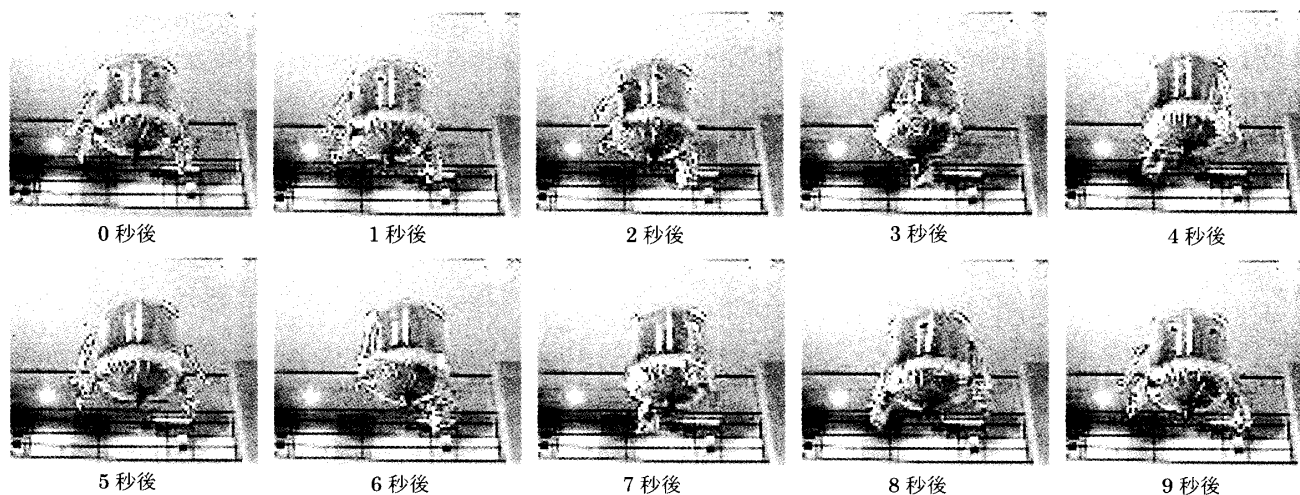


図11 回転動作時における連続映像

示すわけではないので、動作の意外性も感じられたようである。反応性に関しては、反応しない場合があるため、若干悪いと感じる場合もあったようであるが、概ね確率的状態遷移機械が生成するバルーンの動作とそのインタラクションを楽しむことができたと思われる。もう少し工夫を加えることによって子供だけではなく大人も十分に楽しめるものが開発できると思われる。

6. おわりに

本研究では、ホバリング制御と確率的状態遷移機械

を用いたエンタテインメントバルーンロボットの制御法について提案し、実機実験を通してその有効性を確かめた。今後、広い空間での位置認識をベースに[11]、例えば3体の重力モデルによる予測不能な協調飛行の実現や、プログラミングされたシンクロナイズドフライングなど、より楽しいインタラクションを実現する方向で研究を行う。また、動作の正確性が厳しく要求されないエンタテインメントで技術的な蓄積を行い、将来的にはパスプランニングをもとに[12]、監視や点検、撮影といった実用的タスクへ応用することも目指す。

表2 バルーンロボットとのインタラクションに関する感想

被験者	感 想	安定性	意外性	面白さ	反応性
A	話を聞いていたが、自分の目で見てみると予想以上に安定した動きをしていて、自分の拍手で本体が回転したり、上昇したりと反応してくれるのは、実際に体験していると、とても面白く、新鮮な感じがした。	3	2	2	3
B	拍手によってロボットが様々な動作をするというのが、実際目の当たりにして斬新さを感じた。また、拍手をしたときによっていろいろな動作をしていたのが、機械ではなく本当の生き物をみているかのように面白く思えた。	2	3	3	3
C	ぱっと見た感じでは、飛行船の飛行が不安定に見えるものの、拍手に対してはほぼ期待したとおりの飛行を見せてくれた。特に、回転している間は、安定して飛行しているように見えた。また、上昇して、周りを見回す様子は、飛行船の動きの中でおもしろい動作だったと思う。	3	2	3	1
D	宙に浮いたロボット自体が珍しいうえに、こちらからよ呼びかけに対して様々な反応を示してくれるので、非常に興味深く見る事ができた。また、同じ呼びかけに対しても一様の反応を示すわけではなく、思い通りに操作出来ない点がおもしろかった。	3	3	3	2

謝辞

本研究を進めるにあたりご支援、ご協力を頂いた株式会社日立東日本ソリューションズ、株式会社ノーステクノロジー、リコーシステム開発株式会社、はこだて未来大学システム情報科学部の鈴木恵二教授に深く感謝致します。また、当研究室を修了した西村絢子さんには本研究を進める上で多大な協力を頂きました。この場を借りて感謝申し上げます。なお、本研究の一部は北海道大学、株式会社日立東日本ソリューションズ、株式会社ノーステクノロジー、リコーシステム開発株式会社との共同研究「マルチエージェント技術を用いた移動体システムの制御技術に関する研究」で行われました。

参 考 文 献

1. 小林宏, 古川清一, 椎葉太一, 加藤良樹: 飛行船ロボットの屋内ナビゲーションに関する研究, ロボティクス・メカトロニクス講演会04 (2004)
2. F. Iida: Biologically inspired visual odometer for navigation of a flying robot, Robotics and Autonomous Systems 44, pp. 201-208 (2003)
3. C. Melhuish, J. Welsby: Gradient Ascent with a group of Minimalist Real Robots: Implementing Secondary Swarming, Proceedings of 2002 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, pp. 509-514 (2002)
4. J. Kobayashi, Y. Akatsuka, F. Ohkawa: Flight Control of Blimp based on CCD Camera Images, Proceedings of International Symposium on Advanced Control of Industrial Processes, pp. 269-274 (2002)
5. S. Zwaan, A. Bernardino, J. Santos: Visual Station Keeping for Floating Robots in Unstructured Environments, Robotics and Autonomous Systems 39, pp. 145-155 (2002)
6. A. Elfes, M. Bergerman, J. Carvalho, E. Paiva, J.

Ramos, S. Bueno: Air-Ground Robotics Ensembles for Cooperative Applications: Concepts and Preliminary Results, Proceedings of the International Conference on Field and Service Robotics, pp. 75-80 (1999)

7. 藪内武之, 小野里雅彦: 被災建造物内の探査を目的とした小型飛行船の開発, 第3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, 予稿集, Vol. 3, pp. 17-18 (2002)
8. 細井一弘, 杉本雅則: 群飛行ロボットを用いた自動監視システム, The 18th Annual Conference of the Japanese Society for Artificial Intelligence (2004)
9. 角田久雄, 川村 秀憲, 山本雅人, 高谷敏彦, 大内東: カメラ搭載型バルーンロボットシステムの開発とPD制御による位置制御の実現, 情報処理学会論文誌, Vol. 45, No. 6, pp. 1715-1724 (2004).
10. <http://ses3.complex.eng.hokudai.ac.jp/afo/index.html>
11. Hisao Kadota, Hidenori Kawamura, Masahito Yamamoto, Toshihiko Takaya, Azuma Ohuchi: "Vision-based Positioning System for Indoor Blimp Symposium on Intelligent Autonomous Vehicles, CD-ROM (2004)
12. Keiko Motoyama, Hidenori Kawamura, Masahito Yamamoto, Azuma Ohuchi "Design of Action-value Function in Motion Planning for Autonomous Blimp Robots" IEEJ Transactions on Electronics, Vol. 10, No. 124, pp. 1930-1937 (2004)

(2004年9月1日 受付)

(2004年11月30日 採録)

[問い合わせ先]

〒060-0814 札幌市北区北14条西9丁目
北海道大学大学院情報科学研究科複合情報学専攻
複雑系工学講座調和系工学研究室
川村 秀憲
TEL: 011-706-6499
FAX: 011-706-7834
e-mail: kawamura@complex.eng.hokudai.ac.jp

著者紹介



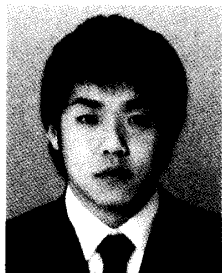
かわむら ひでのり
川村 秀憲 [非会員]

1973年5月3日生, 1996年 北海道大学工学部情報工学科卒業, 2000年 同大学大学院工学研究科博士後期課程期間短縮修了, 同年, 同大学大学院工学研究科助手, 2004年 同大学大学院情報科学研究科助手, 現在に至る。飛行船ロボット, マルチエージェントシステム, 複雑系工学, 観光情報学, などの研究に従事, 博士(工学), 情報処理学会, 電子情報通信学会, 人工知能学会, 計測自動制御学会, 日本オペレーションズ・リサーチ学会, 観光情報学会, 電気学会, 各会員。



たかや としひこ
高谷 敏彦 [非会員]

1959年5月2日生, 1984年 東京理科大学卒業, 1994年 電気通信大学大学院博士前期課程修了, 1984年 株式会社リコー入社, 画像機器の研究開発を経て, 1999年より, リコーシステム開発株式会社事業戦略センターに勤務, 事業戦略・技術戦略策定に従事し, 現在に至る。飛行船ロボット, 数値計算, 経営情報システム, ソフトウェア開発の生産性支援システムなどの研究に従事, 工学修士, 日本画像学会, 情報処理学会, 各会員



かどた ひさお
角田 久雄 [非会員]

1981年2月4日生, 2003年 北海道大学工学部情報工学科卒業, 同年 同大学大学院工学研究科システム情報工学専攻入学, 現在に至る。飛行船ロボットなどの研究に従事, 情報処理学会学生会員。



おおうち あずま
大内 東 [会員]

1945年8月19日生, 1968年 北海道大学工学部応用物理学科卒業, 1974年 同大学大学院工学研究科博士後期課程修了, 同年, 同大学工学部助手, 助教授, 1989年 同大学大学院工学研究科教授, 2004年 同大学大学院情報科学研究科教授, 現在に至る。飛行船ロボット, DNA コンピューティング, マルチエージェントシステム, 医療システムなどの研究に従事, 工学博士, 情報処理学会, 電子情報通信学会, 日本オペレーションズ・リサーチ学会, 人工知能学会, 計測自動制御学会, 電気学会, 医療情報学会, 観光情報学会, 各会員。



やまもと まさひと
山本 雅人 [非会員]

1968年7月30日生, 1991年 北海道大学工学部情報工学科卒業, 1996年 同大学大学院工学研究科博士後期課程修了, 同年1月日本学術振興会特別研究員(PD), 1997年 北海道大学大学院工学研究科助手, 2000年 同大学大学院工学研究科助教授, 2004年 同大学大学院情報科学研究科助教授, 現在に至る。飛行船ロボット, DNA コンピューティング, マルチエージェントシステムなどの研究に従事, 博士(工学), 情報処理学会, 電子情報通信学会, 人工知能学会, 計測自動制御学会, 日本オペレーションズ・リサーチ学会, 日本バイオインフォマティクス学会, 観光情報学会, 各会員。

Development of an Entertainment Indoor Blimp Robot Based On Hovering Control

by

Hidenori KAWAMURA, Hisao KADOTA, Masahito YAMAMOTO,
Toshihiko TAKAYA, Azuma OHUCHI

Abstract :

In this paper, we report the development of the entertainment blimp robot which can make several reactive behaviors for user's appeal. The blimp robot has a wireless CCD camera and wireless microphone at the bottom of body, and rotates or goes upward/downward by trigger of user's handclap. To make variety reactions of the blimp robot, a sequence of robot behavior is generated based on the nondeterministic finite state machine. In addition, the stable flying behavior is achieved by the proposed hovering control based on grounded red circle landmarks. Throughout an experiment, we confirm that the blimp robot can fly long-term with user-interaction.

Keywords : Blimp Robot, Hovering Control, Nondeterministic Finite State Machine, Entertainment Robot

Contact Address : **Hidenori KAWAMURA**

Hokkaido University

N14 W9, Kita-ku, Sapporo, 060-0814 Japan

TEL : 011-706-6499

FAX : 011-706-7834

Email : kawamura@complex.eng.hokudai.ac.jp