T2R2 東京科学大学 リサーチリポジトリ
Science Tokyo Research Repository

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	スラスタ自重補償型長尺多関節アーム ” 飛龍-I ” の開発
Title(English)	Development of “ Hiryu-I ” : Super Long Reach Articulated Manipulator with Gravity Compensation by Thrusters
著者(和文)	遠藤 玄, 中村吉秀, 萩原 哲夫, 難波江 裕之, 鈴森 康一
Authors(English)	Gen Endo, Yoshihide Nakamura, Tetsuo Hagiwara, Hiroyuki Nabae, Koichi Suzumori
出典(和文)	ロボティクス・メカトロニクス講演会2018 予稿集, Vol. , No. , pp.
Citation(English)	Proceedings of the 2018 JSME Conference on Robotics and Mechatronics, Vol. , No. , pp.
発行日 / Pub. date	2018, 6

Powered by T2R2 (Science Tokyo Research Repository)

スラスタ自重補償型長尺多関節アーム “飛龍-I” の開発

Development of “Hiryu-I”: Super Long Reach Articulated Manipulator with Gravity Compensation by Thrusters

○正　遠藤　玄 (東工大)　　中村吉秀（東工大）
正　萩原哲夫 (横浜ケイエイチ技研)　正　難波江裕之（東工大）
正　鈴森康一（東工大）

Gen ENDO, Tokyo Tech., endo.g.aa@m.titech.ac.jp
Yoshihide NAKAMURA, Tokyo Tech.
Tetsuo HAGIWARA, Yokohama KH Tech Corporation
Hiroyuki NABAE, Tokyo Tech.
Koichi SUZUMORI, Tokyo Tech.

A long reach manipulator is required to investigate infrastructures and disaster sight. This paper proposes a new super long reach articulated manipulator whose gravitational forces are cancelled by multiple thrusters. The proposed manipulator has possibility to permit us to construct 20-30 meters long. To prove basic principle of weight compensation by thrusters, we developed 3 units prototype whose length was 3.0 meters. We successfully demonstrated 3-dimensional movement using thrusters and joint actuators.

Key Words: Long Reach Manipulator, Gravity Compensation, Thruster

1　緒言

現在，老朽化したインフラの点検や，測量，地図作成，災害時の観測などに無人航空機（いわゆるドローン）を用いることが検討されている．GPS や慣性航法により広範囲の移動が可能となっているが，一方で頻繁なバッテリ交換や墜落による危険性も指摘されている．そこで筆者らは図 1 に示すように，ベース部で固定され，多数のリンクを関節により直鎖上に連結した構造体を有し，これをスラスタの揚力により自重補償する，従来にない全く新しいマニピュレータ ”飛龍 ” を提案している [1]．本手法は（1）リンク系で拘束することから外乱に対してロバストである，（2）数十メートルオーダーの長尺化の可能性がある，（3）有線給電による長時間の動作が可能である，（4）明示的に可動範囲を制約することができるため安全性が高い，（5）航空法の規制を受けない，などの利点がある．

本報告では，全 3 ユニットの試作機を製作し，スラスタによる自重補償および受動関節制御が可能かどうか実験的に検証したのち，3 次元の基本的運動を実現する．

2　飛龍コンセプト

前報において飛龍のコンセプトは自重補償を行うスラスタとしてプロペラを用いること，また関節はワイヤ駆動としていたが，必ずしもこれらに限定される概念ではないため，ここで改めて再定義する．提案するアームは（1）固定されたベース部をもつ，（2）リンクを関節で直鎖上に連結する構造をもつ，（3）スラスタにより自重を補償する，という三点に集約される．リンクを接続する関節は回転型・直動型どちらでもよく，また駆動という観点からは能動関節・受動関節・ブレーキ機構が考えられる．さらにスラスタとしては，プロペラ・ガスタービンジェット・高圧の流体による噴流 [2][3] などが考えられる．

本報告では，もっとも単純な形態として図 2 に示す機構を対象として原理確認を行う．1 ユニットは，鉛直軸周りに回転可能なヨー軸と，上下方向へ回動するピッチ軸で構成され，四節平行リンクを成すことで先端部のスラスタを常に鉛直に保持し，自重を補償することを考える．四節平行リンクは受動関節とし，スラスタ推力によってのみ自重補償およびピッチ角度制御を行う．ヨー軸はアクチュエータにより能動的に駆動を行う．

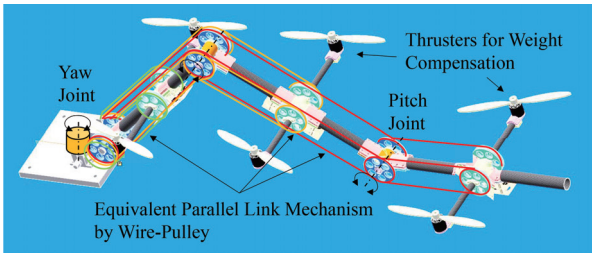


Fig.1 Basic concept of Hiryu

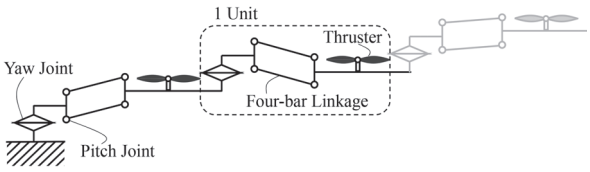


Fig.2 Configuration of 1st prototype “Hiryu-I”

3　試作

コンセプトの実現可能性を確かめるため，3 ユニット全長 3m の試作機の設計開発を行った．リンク構造材は CFRP で構成し，関節部はアルミニウム合金の曲げ板加工により軽量化している．ヨー軸駆動は，本来であれば重量物であるアクチュエータを基部に集中配置することが望ましいが，試作の簡便さから出力 30[W] の DC サーボアクチュエータ（ROBOTIS: MX-106R) をタイミングベルトにより 1.84 : 1 に減速して関節部に装備している．スラスタは CFRP 製のプロペラ（Tarot: TL2812），ブラシレス DC モータ（Tarot: 4114，出力 400[W]），モータドライバ（HOBBYWING: FLYFUN 40A V5) を用いた．定格電圧 25.2[V], 最大電流 15.6[A] において 24.3[N] の推力を発生させることができる．各ユニットに一対のスラスタを装備し，回転方向を逆にすることでスラスタの反トルクを相殺する．四節平行リンク機構のピッチ軸角度はポテンショメータにより計測する．制御システムの構成を図 4 に示す．マイコンによりピッチ軸角度を計

測し，PWM 信号によりモータドライバに指令することでスラスタ推力を制御する．ヨー軸の角度は RS485 により指令値を送る．操縦者からの指令は PC より UART を通じてマイコンに送ることができる．

ピッチ軸角度制御は，自重補償のための推力をフィードフォワード項として予め与え，目標角度を PID 制御する単純な制御系を各ユニットごとに構築した．本手法では静止状態においてスラスタ推力はピッチ軸角度に依らず常に一定である．リンクを動的に動かすときにのみ反力が生じ，それが他ユニットの外乱となる．事前に Matlab による動力学シミュレーションを行った結果，20[deg/s] 程度の角速度であれば各ユニットの独立の PID 制御で発振することなく目標値に追従できることが確かめられた．

4　実験

ピッチ軸制御の実験を行った．図 6(a) にピッチ軸角度指令値（破線）および実験値（実線），7 に動作の様子を示す．台座上に $\theta_{p1} = \theta_{p2} = \theta_{p3} = 0$[deg] である初期姿勢を設定し，次に $\theta_{p1} = \theta_{p2} = \theta_{p3} = 10$[deg] の指令を与えたところ，各節ともスラスタによる推力で上方に浮上し，およそ 10[sec] で目標値に到達した．次に $\theta_{p1} = 40$[deg] としたところ，およそ 16[sec] で θ_{p1} は目標値に達し，θ_{p2}, θ_{p3} は 10[deg] をそのまま保つことができた．以下，同様に各ユニットごとに指令値を与え，独立に角度制御できることを確かめた．このときの目標角度と計測値との誤差を図 6(b) に示す．おおよそ ±1[deg] 以内に制御されている様子が確かめられる．静止時の消費電力はおよそ 750[W] であった．

最後に，ヨー軸駆動とピッチ軸駆動を組み合わせた 3 次元駆動実験を行った．手先部には小型のアクションカメラ（SONY: HDR-AS100V, 質量 500[g]) を取りつけた．図 8 に実験の様子を示す．ヨー軸駆動が加わった場合でも問題なくピッチ軸制御が可能であることが確かめられ，ほとんどの場合において位置制御誤差は ±1[deg] 以内であった．手先カメラで撮影した動画のブレは非常に小さく，手先が滑らかな運動を実現できていることが確かめられた．

5　結言

本報ではスラスタにより自重補償を行う長尺多関節アーム” 飛龍-I ” を試作し，その基本的動作を確認した．今後，さらなる長尺化を目指す．

謝辞

この成果は，国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（ＮＥＤＯ）の委託業務の結果得られたものです．

参考文献

[1] 遠藤玄, 萩原哲夫, “プロペラによる自重補償を行うワイヤ駆動型超軽量冗長多関節アームの提案”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会，2P1-15a3, 2016.

[2] Silva Rico, J. A., ‘’Development of an actuation system based on water jet propulsion for a slim long-reach robot”, ROBOMECH Journal, Vol. 4, No. 8, DOI: 10.1186/s40648-017-0076-4, 2017.

[3] Ando, H. et al. “Aerial Hose Type Robot by Water-Jet for Fire Fighting”, Robotics and Automation Letters, Vol.3, No.2, pp.1128-1135, 2018.

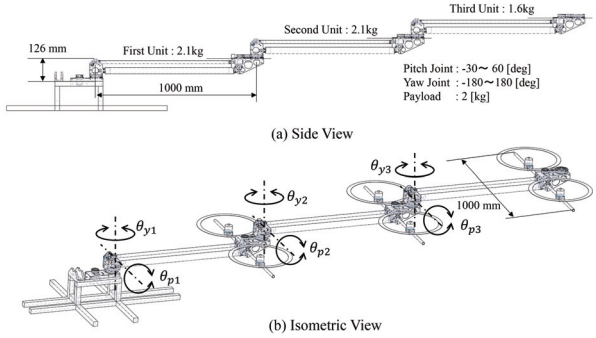


Fig.3 Prototype model of “Hiryu-I”

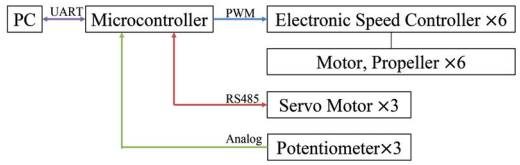


Fig.4 System configuration

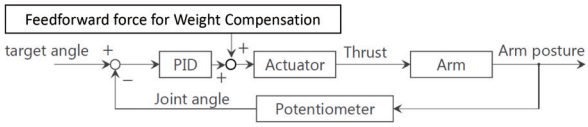


Fig.5 PID feedback control for pitch joint

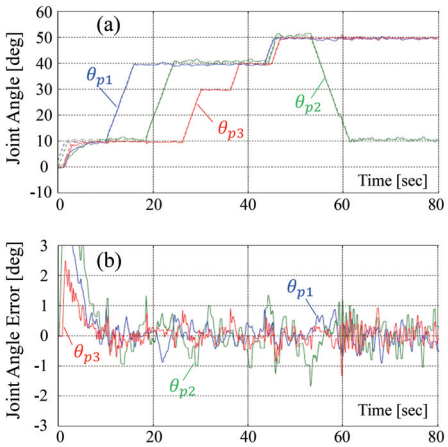


Fig.6 Pitch joint angle trajectories.

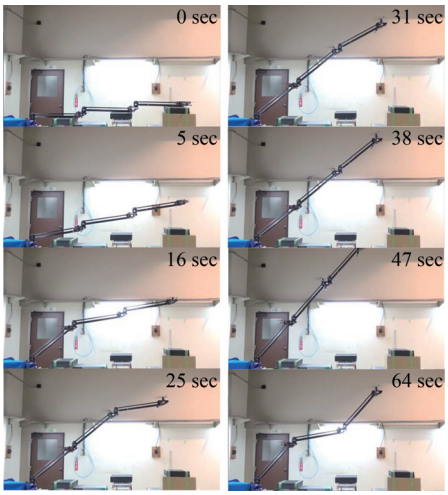


Fig.7 Pitch joint control experiment.



Fig.8 3 dimensional motion with on board camera