

パラレルリンク機構を用いた両眼視覚システムの開発

Development of Binocular Vision System based on Parallel-Link Mechanism

辻田哲平*, 近野敦*, 内山勝*

Teppeï Tsujita*, Atsushi Konno*, Masaru Uchiyama*

*東北大学

*Tohoku University

キーワード： 能動ステレオ視 (active stereo vision), パラレル機構 (parallel mechanism)

連絡先： 〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉01 東北大学大学院工学研究科航空宇宙工学専攻 内山研究室
辻田 哲平, Tel.: (022)217-6973, Fax: (022)217-6971, E-mail: tsujita@space.mech.tohoku.ac.jp

1. はじめに

動的複雑環境下において、移動ロボットが周囲の環境と調和し活動するためには、周囲の状況を検知する能力が必要である。この外界情報を得る有効な手段として視覚情報がある。人間の場合、外界情報のほとんどを視覚を通して得ている。移動ロボットにおいても、視覚による環境の認識および移動物体の発見・追跡は、行動計画を立てる際に重要な役割を果たす。特に、高速に移動する物体に対応した行動をするためには、視覚情報を可能な限り高速に処理できる能力が不可欠である。

これまでのロボット視覚システムの研究においては、NTSCやPALなどの標準規格カメラで画像を入力し、専用の画像処理ボードで視覚情報処理をする方法が一般的であった。視覚情報処理を高速に行うために、局所相関演算に基づくトラッキングビジョン¹⁾や日立画像処理装置IP5000²⁾などが開発された。このような近年の処理回路の進

歩により、ビデオレートでの画像処理が容易に実現できるようになってきた。三ツ谷はNTSC規格の超小型CCDカメラと日立画像処理装置IP5000を用いて、四脚歩行ロボット搭載用両眼視覚システムを開発した³⁾。しかしこのような方法では、カメラ画像を画像処理ボードのメモリに読み込む必要があり、そのため得られる画像処理結果は1~数フレーム分遅れたものとなる。そのため、動的複雑環境下でリアクティブに行動するには限界がある。

より高速な画像処理システムを実現するため、二次元平面に配置された光センサの情報を同じチップ上に並列配置された処理回路に入力し、完全並列に処理を行うことによって、高速視覚処理を実現する手法が提案されている。このように受像と画像処理を同時に行う回路をビジョンチップと呼び、現在多数の研究機関で開発が進められている⁴⁾。しかし、同じ平面に光センサと処理回路を配置し、高機能な画像処理機能を実現しようとする、

光センサ部に比較し処理回路部が相対的に大きくなる。その結果、光センサの開口率の減少、ひいては集光量、解像度の低下を招くことになる。すなわち二次元集積化では高機能化と高開口率化はトレードオフの関係にある。

小柳らは三次元集積化技術を用い、複数層から成る三次元ビジョンチップを開発した^{5, 6)}。小柳らが開発した三次元ビジョンチップは人間の網膜機能を模倣したもので、最上層が視細胞を模倣した光センサ、二層目が水平細胞と双極細胞を模倣した画像処理回路、三層目が神経節細胞を模倣したデータ出力回路となっている。このように積層化することで、最上層の光センサの開口率を大きく保ったまま、大規模、高機能な処理回路が実現できる。また、人間の網膜のように複数の特徴抽出を受像と同時に行うことができる。

本論文では、小柳らが開発しているビジョンチップを用いて並列視覚処理および脳型情報処理を歩行ロボットの制御に応用することを目的とし、ビジョンチップの高速性を最大限に引き出すための高速ステレオカメラヘッドの開発について述べる。

現在のステレオカメラヘッドはシリアル機構で構成されているものがほとんどである。しかしシリアル機構では高速応答性に問題があり、人間の目のような素早い動作の実現は難しい。画像処理が高速であってもステレオカメラヘッドの応答が遅くては、その特徴を生かせない。そのため、本論文では高速応答性、剛性に優れたパラレル機構を用いた。

2. 人間型能動両眼視覚システム

本研究で開発する視覚システムは、移動ロボット用視覚システムといった目的に加え、人間の脳機能に学んだ新しい情報処理システム開発のための視覚プラットフォームという目的も持つ。人間の視覚情報処理を模倣し、人間と同等の眼球運動

を有する人工の目を用いてそれを検証することは、人間の視覚機能の解明へも有効なアプローチであると考えられる。そこで、本研究では人間の眼球運動の機構を単純化し模擬することとする。

搭載予定のビジョンチップは、人間の網膜構造を模擬しており、眼球運動のうち随意運動のための指令に当たる情報を出力する。随意運動には、以下の三通りの運動がある。

- 円滑性追跡運動：ゆっくりと動く対象を追うときに現れるスムーズで低速の眼球運動。対象の速度が $25\sim 30$ [$^{\circ}/s$] 以内で可能。
- サッカード：対象の速度に追い付けなくなったときに現れる非常に高速で跳躍的な眼球運動。最高速度は 600 [$^{\circ}/s$] と言われている。
- 輻輳開散運動：遠くを見たり近くを見たりするとき、両眼の視線の方向を合わせる眼球運動。

本研究では、このような眼球運動を模擬できるような、高速応答性に優れた駆動機構を開発する。

3. 設計要求

3.1 ビジョンチップ搭載カメラ部

搭載予定のビジョンチップは現在開発中であり、カメラ全体の詳細な寸法・仕様等は決定していない。ステレオカメラヘッド設計において、大まかにカメラの外形寸法をFig. 1のように想定した。また、全体質量は 320 [g]と想定した。Fig. 1に示すように、ビジョンチップはアダプタに格納する。

3.2 自由度構成

人間の視覚処理機能を模倣するという観点から、本研究では人間の眼球系を単純化した機構を用いることとする。Fig. 2に示すように左右カメラの上下回転(Tilt)角を共通化し、水平回転(Vergence)角は独立にとるようにする。

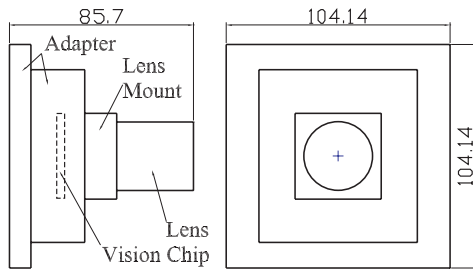


Fig. 1 Dimensions of the camera.

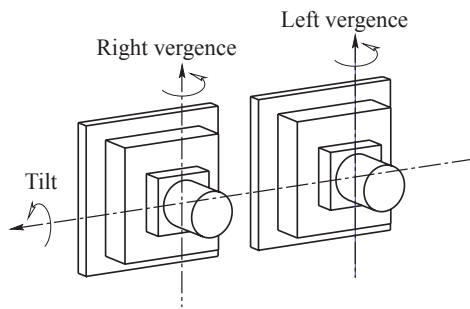


Fig. 2 Degrees of freedom of the stereo camera head.

3.3 必要トルク

画角 50° 程度のレンズを使用すると想定し、人間の眼球運動において最高角速度の運動であるサッカーを模擬するのに必要なトルクを概算した。各回転軸の最大トルクを Table 1 に示す。

左右のカメラが正面を向いている状態を基本姿勢とし、基本姿勢付近で重力の影響を考慮に入れた Tilt 方向の最大トルクも Table 1 に付記した。

4. 機構概要

4.1 パラレル機構

人間の眼球運動において最高角速度の運動であるサッカーの $600^\circ/\text{s}$ の運動を模擬しつつ、移動ロボットに搭載できるようにシステム全体の重量を抑えるには工夫が必要である。三ツ谷は、軽量の CCD カメラを用いて、Fig. 2 と同じ自由度構成を有するロボットヘッドをシリアル機構を用いて作

Table 1 Required torques.

Axis	Torque
Right or Left vergence	1.6×10^{-2} [Nm]
Tilt (without gravity compensation)	3.2×10^{-2} [Nm]
Tilt (with gravity compensation)	5.2×10^{-2} [Nm]

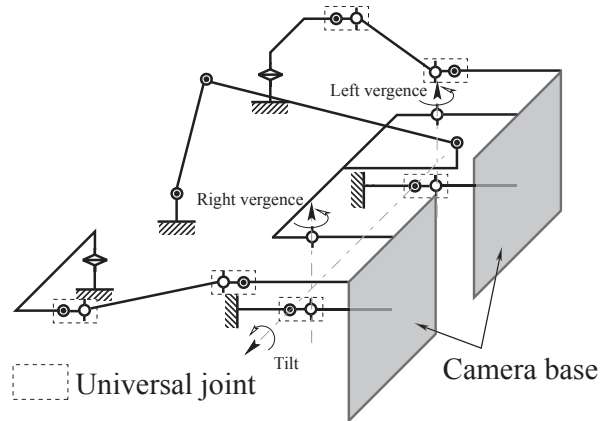


Fig. 3 Conceptual design of the stereo camera head.

成した³⁾。しかしながら通常のシリアル機構ではモータがローカルに配置されるため、根本のモータがそれより先に配置されたモータを動作させる必要があり、効率が悪い。そこで、本研究ではパラレル機構を用い、すべてのモータをベースに配置できるステレオカメラヘッドを開発することにした。

パラレル機構は、高精度、高負荷、高剛性、高速性を有した機構である⁷⁾。すべてのモータをベース部に配置することによって、モータの出力すべてをカメラの駆動に用いることができ、サッカーなどの超高速運動を模擬可能なステレオカメラヘッドを開発できる。

4.2 機構モデル

本研究で考案したステレオカメラヘッドの機構概念図を Fig. 3 に示す。この機構に基づき、S-tratasys 社製樹脂溶解型 RP (Rapid Prototyping) 装

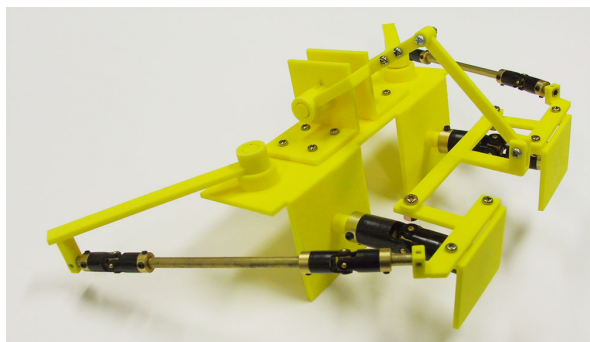


Fig. 4 Rapid prototyping mechanical model.

置を用いて、機構模型を作成した (Fig. 4) . この模型により、Fig. 3 に示した機構が実際に動作することを確認した .

5. 実モデルの設計

4.2節に示した機構概念に基づき実モデルの設計を行った .

5.1 機構の改善

Fig. 3 に示した機構概念では、回転軸とカメラの間の距離が大きく、慣性モーメントが大きくなってしまったため、モータの必要トルクが増大してしまう . そこで、実際の設計では Fig. 5 のように二つのカメラをフレーム内に配置し慣性モーメントを極力小さくしている .

また、この機構に関しても同様に Fig. 6 に示す RP を用いた片目分のみの模型を作成し動作を確認している .

5.2 設計詳細

本研究にて開発するロボットヘッドは、四脚歩行ロボット JROB-2⁹⁾ に搭載する予定である . JROB-2 の筐体寸法に合わせ設計した CAD モデルを Fig. 7 に示す .

モータは、できる限りコンパクトかつ部品点数を減らせるようハーモニックドライブシステム

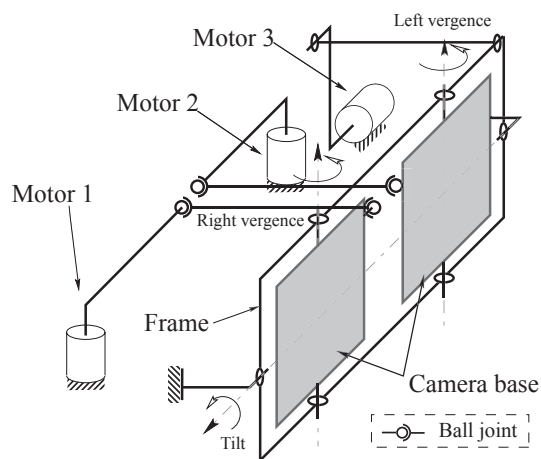


Fig. 5 Simplified mechanism of the stereo camera head.

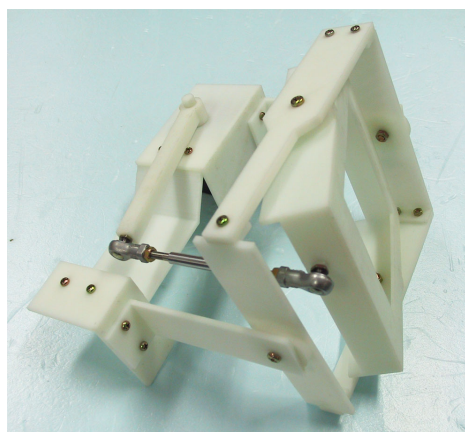


Fig. 6 Rapid prototyping model of the detailed design.

ズ社製 DC サーボアクチュエータ、RH-8D 6006 を使用する . このモータは、ハーモニックドライブ減速機・モータ・エンコーダが一体化されており非常にコンパクトにまとまっている . Table. 2 に使用したモータの仕様を示す . ボールジョイントは、THK 社製 AL 4D を追加工した . この追加工により、Fig. 8 に示すように、揺動角が $40 [^\circ]$ から $70 [^\circ]$ へと広がっている .

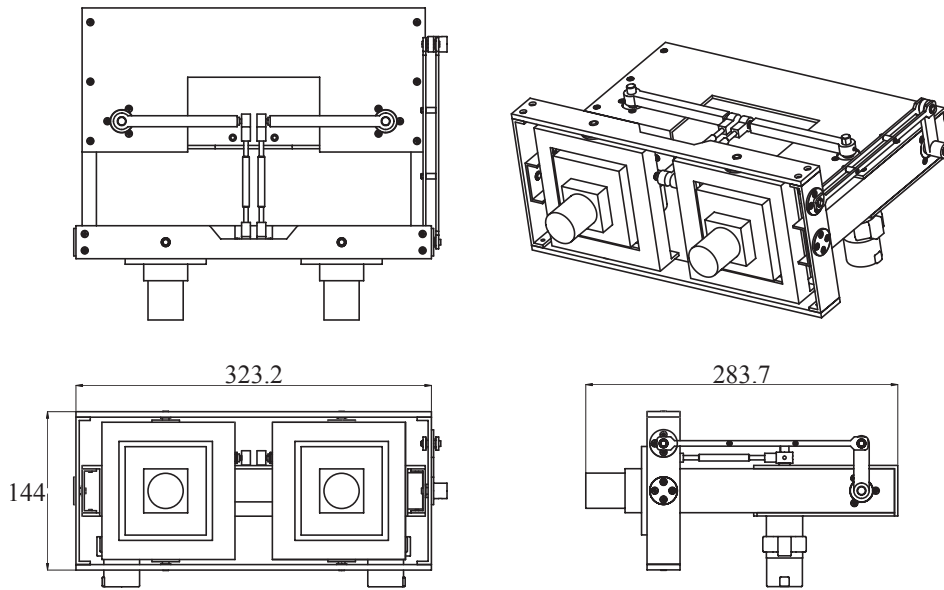


Fig. 7 Design of the stereo camera head for the JROB-2.

Table 2 Specifications of motor

Power	Rated torque	Max. speed	Max. load	
			Radial	Axial
8.6 [W]	1.4 [Nm]	100 [r/min]	196 [N]	98 [N]

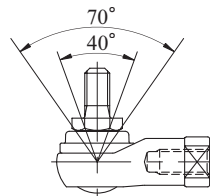


Fig. 8 The improved ball joint.

5.3 干渉回避

パラレル機構の可動範囲は、運動伝達特性を考慮するとかなり狭くなる。実際には、連結連鎖間の干渉によりさらに作業領域が限定される可能性がある。設計時には広範囲に干渉回避をねらってリンク形状をきめなければならない⁷⁾。そこで、本研究では、Solidworks社製3D-CADソフトウェアSolidWorks2001PLUSと、SRAC社製機構システムシミュレーションソフトウェアCOSMOS/MOTIONを使用し、干渉チェックを行いながら設計を行った。

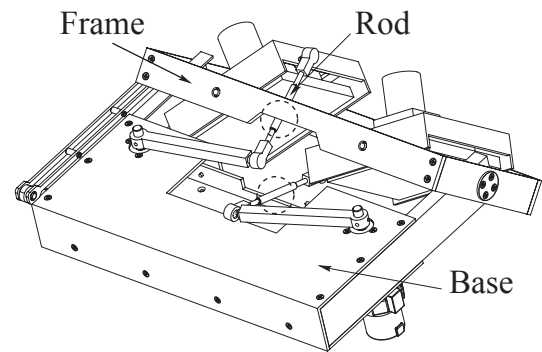


Fig. 9 Example of the interference.

Fig.9に、Tilt角 $+45 [^\circ]$ 、Right vergence角 $+38 [^\circ]$ 、Left vergence角 $+47 [^\circ]$ の場合の例を示す。各軸回りの角度は基本姿勢を $0 [^\circ]$ とし、符号はFig. 5による。Fig.9に示すように、FrameおよびBase部に切り込みを入れ、可動範囲の拡大を図っている。

6. おわりに

本論文では、ビジョンチップを用いたカメラ等の大型の視覚システムを搭載するための機構を提案した。今後、作成したCAD図面に基づき実機の製作を行う。また、本機構の運動学解析を行った

後，制御システムの構築も行う．ロボットヘッド全体のシステムが完成し次第，ビジョンチップを用いた両眼視覚システムの検証を行う予定である．

謝辞

本研究の一部は科学技術進行事業団戦略的基礎研究推進事業(CREST)の補助を受けた．

参考文献

- 1) 井上博允, 稲葉雅幸, 森武俊, 立川哲也: 局所相関演算に基づく実時間ビジョンシステムの開発, 日本ロボット学会誌, 13-1, 134/140 (1995)
- 2) <http://www.hicos.co.jp/seihin/gazou/ip5000/ip5000.html>
- 3) 三ツ谷祐輔: 四脚歩行ロボットの視覚に基づく行動制御に関する研究, 東北大学大学院工学研究科修士論文, (2001).
- 4) 石川正俊, 小室孝: デジタルビジョンチップとその応用, 電子情報通信学会論文誌C, J84-C-6, 451/461 (2001)
- 5) Mitsumasa Koyanagi, et al.: Proc. of the 2001 IEEE International Solid State Circuits Conference, 270/271 (2001)
- 6) 栗野浩之, 中川源洋, 李康旭, 中村共則, 山田裕介, 諸岡哲, 稲村清, 朴起台, 小柳光正: 三次元集積化技術を使ったビジョンチップ, 信学技報, 29/35 (2001)
- 7) 特集パラレルメカニズム, 日本ロボット学会誌, 10-6, 695/769 (1992)
- 8) 広瀬茂男, 佐藤幹夫: 多自由度ロボットの干渉駆動 日本ロボット学会誌, 7-2, 128/135 (1989)
- 9) Atsushi Konno, Noriyoshi Kato, Yusuke Mitsuya and Masaru Uchiyama: Design and Development of the Quadrupedal Research Platform JROB-2, Proceedings of the 2002 IEEE International Conference on Robotics and Automation, 1056/1061 (2002)

付録

Fig. 6に示す機構模型は，実機と同じ寸法で設計されている．これにより求められた可動範囲の概算をFig. 10に示す．

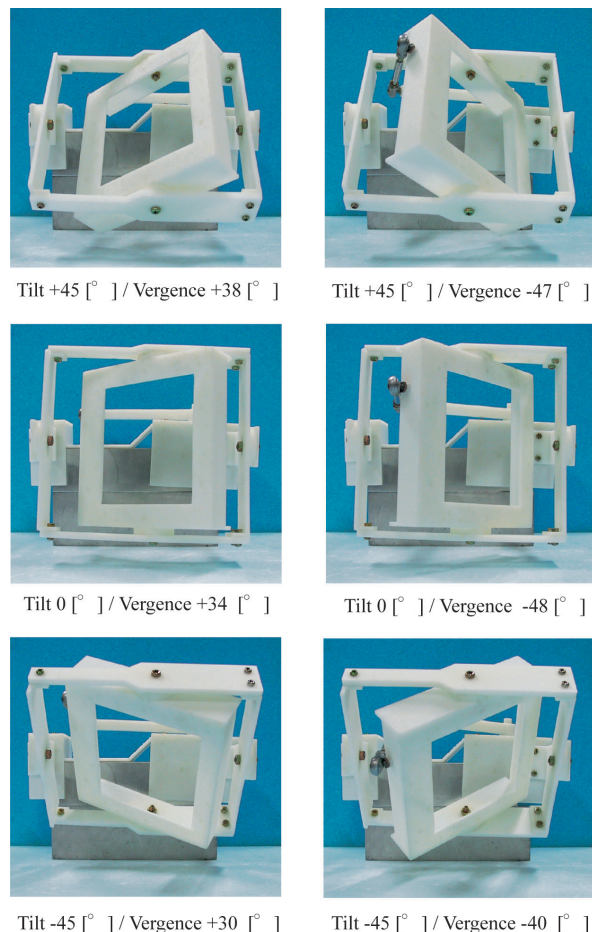


Fig. 10 Movable space