

ウェアラブルミニチュアヒューマノイドロボットの設計

Design of a Wearable Miniature Humanoid Robot

井上順博, 妻木勇一

Nobuhiro Inoue and Yuichi Tsumaki

弘前大学

Hirosaki University

キーワード: コミュニケーション (Human communication), 人型アバター (Humanoid avatar), 相互テレグジスタンス (Mutual telexistence), テレコミュニケーター (Telecommunicator)

連絡先: 〒 036-8561 弘前市文京町 3 番地
弘前大学大学院 理工学研究科 知能機械システム工学専攻
井上順博, Tel & Fax: (0172)39-3686 E-mail: h07gs502@stu.hirosaki-u.ac.jp

1. 序論

遠隔地に居る人とコミュニケーションを図るために, 電話を始め様々なものが世の中に普及している. 最近では, より密度の濃いコミュニケーションを実現する方法が求められており, 様々なコミュニケーションシステムが提案・開発されている^{1, 2, 3)}. 我々もこれまで, テレコミュニケーターと呼ぶコミュニケーション用のテレロボットシステムを提案してきた⁴⁾. テレコミュニケーターとは, 遠隔地に居る操作者のアバターとしてロボットを使用し, これを無線ネットワークを介して操作することで, 現地の人と臨場感溢れる経験を共有することができるシステムである. テレコミュニケーターには携帯型と移動型の 2 種類が考えられている. テレコミュニケーター概念図を Fig. 1 に示す.

ウェアラブルテレコミュニケーターは, 現地に居る人が身に着けた小型のロボットアバターを遠隔地に居る人が操作することで, ジェスチャを交えながらコミュニケーションを図る

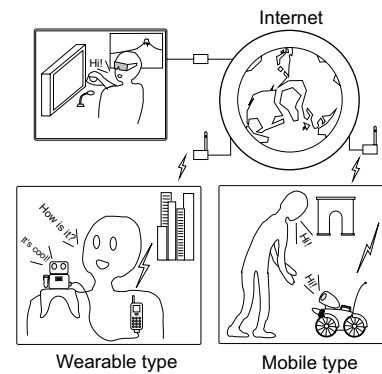


Fig. 1 Concept of the telecommunicator

システムである. これまでウェアラブルテレコミュニケーターのアバターとして, T1, T2, T3 と呼ぶ 3 台のロボットアバターを開発してきた. T1 は高機能化を目指し, T2 は軽量化を重視したモデルである. T3 は T1, T2 では実現できなかった装着者に対する臨場感を提示するために, 胴体部に操作者を映し出すことのできる液晶モニターを搭載したモデルである⁵⁾. しかし, 液晶モニターを使用して操

作者のジェスチャを提示しているため、操作者が現地にいるかのような高い臨場感を提示することは困難であった。また、液晶モニターは日が射すと見えにくくなるなどの問題もあった。そこで本論文では、腕部と頭部の自由度を拡張し、外観を人間の容姿に近づけたウェアラブルミニチュアヒューマノイドロボットを操作者のアバターとして用いるシステムを提案する。さらに、研究用プラットフォームとして用いるウェアラブルミニチュアヒューマノイドロボットのプロトタイプモデルの設計について述べる。

2. ウェアラブルミニチュアヒューマノイドロボット

遠隔コミュニケーションにおいて、より高い臨場感を提示するために、ウェアラブルな小型ヒューマノイドロボットの導入を提案する。これをウェアラブルミニチュアヒューマノイドロボットと呼ぶ。ロボットに人間に準じた自由度を持たせることで、操作者は自己のジェスチャを柔軟に表現することができる。また、装着者や周囲の人間へは実物の持つ高い臨場感によって操作者がその場にいるかのような感覚を提示することが期待できる。このようなロボットは、リアルなジェスチャを提示できれば良いので自立型である必要はないが、ウェアラブルにするため小型・軽量化が望まれる。また、人間のジェスチャを提示するためには、比較的早い動作が実現できなければならない。さらに、操作者への臨場感を提示するためには、ロボット頭部の動きに合わせた映像を取得する必要がある。

3. プロトタイプモデルの設計

3.1 設計概要

提案するシステムの有効性を検証するため、ウェアラブルミニチュアヒューマノイドロボットのプロトタイプモデルを設計・製作した。プロトタイプモデルの完成予想図を Fig. 2 に示す。製作するロボットは、片腕 4 自由度の双腕と 3 自由度の頭部からなる全 11 自由度の

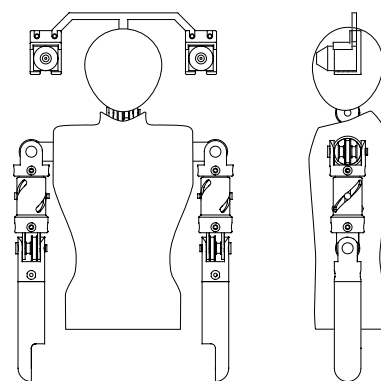


Fig. 2 Conceptual design

ロボットである。4 自由度の腕部は人間が持っている腕の自由度と同じであり、1 自由度の冗長性を持っている。この冗長性を持った 4 自由度の腕部を用いることにより、今までのロボットアバターよりも豊かな表現が可能となる。3 自由度の頭部には 2 つの小型 CCD カメラを搭載できるアーチ型のカメラ取付具を備えており、ロボット頭部の動きに合わせた映像を取得することが可能となる。

一方、ウェアラブルミニチュアヒューマノイドロボットは、その要求から小型化しなければならない。しかし、これらのことを設計において両立させるためには、従来のヒューマノイドロボットのような関節部に直接モータを配置する機構では困難である。そこで、関節の駆動系にワイヤ駆動を用いることにした。ワイヤ駆動は、モータを関節部ではなくロボットアバター外部に配置することができるため、小型化に適している。

今回実際に、設計・製作したプロトタイプモデルの外観図を Fig. 3 に、組立図を Fig. 4 に、自由度配置を Fig. 5 に示す。

プロトタイプモデルの全高は 176 mm, 肩幅は 99 mm, 奥行きは 26 mm であり、重量は 265 g である。また、プロトタイプモデルの腕部の直径は最大 $\phi 16$ mm, 腕部の長さは 103.5 mm, 片腕の重量は約 62 g である。材質には主にステンレス鋼を用いているが、腕部先端の部品には腕部の軽量化を施すために樹脂を用いている。さらに、正面と背面のカバーには透明なアクリルを用いており、胴体内部の状態を容易に観察することができる。

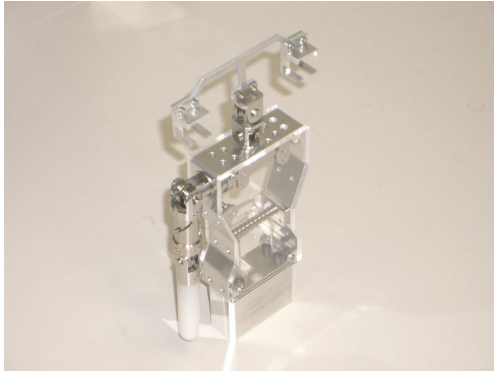


Fig. 3 Overview of the prototype

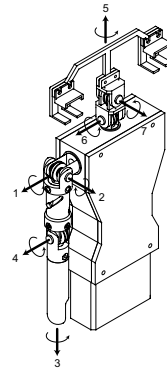


Fig. 5 Distribution of degrees of freedom

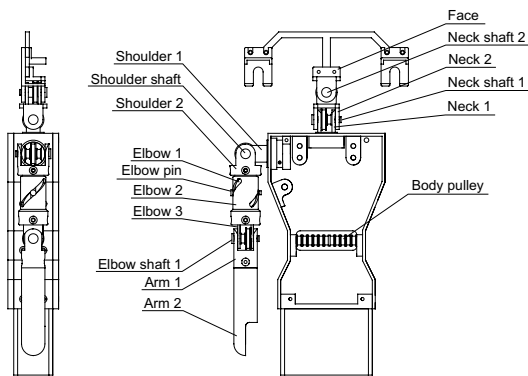


Fig. 4 Assembly drawing of the prototype

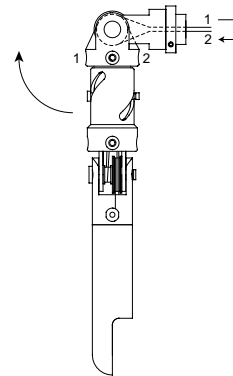


Fig. 6 Wire mechanisms for joint 2

3.2 ワイヤ駆動

プロトタイプモデルの腕部と頭部の駆動系にはワイヤ駆動を用いる。Fig. 5 に示す 2 軸まわりの関節におけるワイヤの張り方を Fig. 6 に、冗長自由度である 3 軸まわりの関節における機構の概略図を Fig. 7 に、1 軸まわりの関節におけるワイヤの張り方を Fig. 8 に示す。

2 軸まわりの関節は、ボルトにより腕部の外側に固定した 2 本のワイヤを関節軸に取り付けたプーリに互い違いに 1 周巻きつけてから腕部の中心にあけた穴に通す機構にした。Fig. 6 に示すように、1 のワイヤを引張り、2 のワイヤを緩める場合、2 軸まわりの関節を矢印の方向へ回転させることができる。2 軸まわりの関節の可動範囲は共に $\pm 90 \text{ deg}$ である。また、腕部における 4 軸まわり、および頭部における 6, 7 軸まわりの関節も同様の機構となっている。

冗長自由度である 3 軸まわりの関節は、Fig. 7

に示すように縦方向に溝の入った内側の部品と螺旋状に溝の入った外側の部品の 2 重構造とピンを用いて駆動させる。この溝の入った 2 つの部品を組み合わせた後、外側から溝にピンを挿入し、このピンを腕部中心に通した 2 本のワイヤを用いて上下方向に駆動させることで、ピンが通る 2 つの溝の経路の違いから外側の部品を回転させることができる。この機構による可動範囲は $\pm 60 \text{ deg}$ である。

1 軸まわりの関節は、胴体内部において肩付け根部品に固定した 2 本のワイヤを、肩付け根部品円周に互い違いに 1 周巻きつけた後、Fig. 8 の右図に示すように胴体内部のプーリに中継させる機構にした。1 軸まわりの関節の可動範囲は $\pm 180 \text{ deg}$ である。また、頭部における 5 軸まわりの関節も同様の機構となっている。

駆動部を通過するワイヤは、腕部および頭部に開けられた中心の穴に通すことで、他の

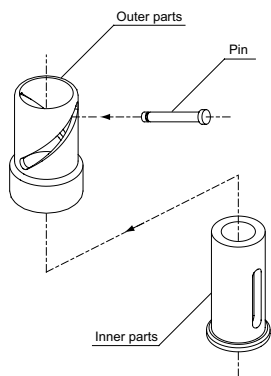


Fig. 7 Mechanisms for twist motion of the arm

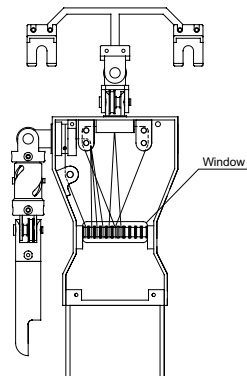


Fig. 9 Wire mechanisms in the body

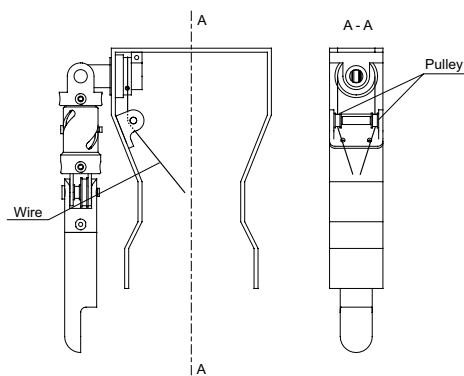


Fig. 8 Wire mechanisms for joint 1

関節の駆動の影響を受けにくい機構となっている。また、肩部および首部付け根の部品から出る全てのワイヤは、Fig. 9 に示すように胴体内部の中継プーリを介してプロトタイプモデルの背面カバーに開けられた窓から取り出し、プロトタイプモデルの外部に取り付けたモータによって巻き取る機構となっている。

3.3 関節トルク

プロトタイプモデルの腕の各関節を駆動させるのに必要なモータのトルクを求めるため、ポヒマスセンサを用いて実際の人間の運動を測定した。ポヒマスセンサは、半径 750 mm の半球内で、3次元の位置と姿勢、またその時の時間を検出することができる磁気センサである。前方を指差す、手を振る、腕を広げる場合の人間の腕の関節角速度と関節角加速度を求め、プロトタイプモデルの腕の慣性モーメン

Table 1 Joint torque

| Joint | Torque mNm |
|----------------------------|------------|
| Shoulder joint (no.1 axis) | 54.61 |
| Shoulder joint (no.2 axis) | 34.88 |
| Elbow joint (no.3 axis) | 14.31 |
| Elbow joint (no.4 axis) | 7.242 |

トから、各動作時に必要なモータのトルクを算出した。モータに必要なトルクを Table. 1 に示す。ただし、関節部やワイヤにおける摩擦を考慮して効率を 50 %とした。

ワイヤを巻き取るモータは、減速器を用いることなく低速・高トルクを得ることができる超音波モータを使用することにした。使用する超音波モータの起動・保持トルクは、68.6 mNm で、付属のエンコーダの分解能は 2400 pulse/r である。超音波モータは、圧電セラミックスによって励振されたステータとの摩擦力でロータを回転させる機構であるため、無通電状態でも保持トルクを発生させることができる。そのため、停止時に発熱がなく、省エネルギー化が期待できる。

3.4 実験装置

プロトタイプモデルの腕部の機構を確認するために製作した実験装置の外観図を Fig. 10 に示す。超音波モータをプロトタイプモデルの外部に取り付け、背面カバーの窓から出るワイヤを巻き取る機構になっている。また、超音

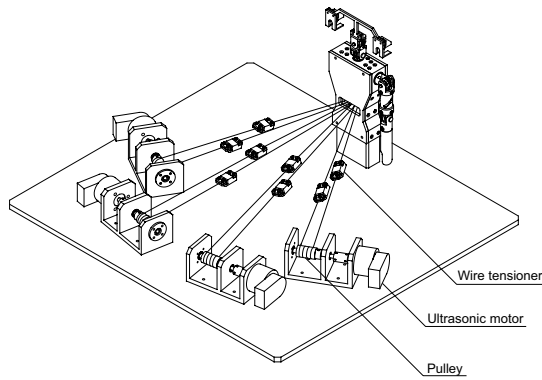


Fig. 10 Overview of the experimental set-up

波モータにワイヤの張力によるラジアル荷重が作用しないように、プーリの軸の両端を軸受で支え、カップリングを用いてプーリに駆動力を伝達する機構としている。ワイヤを巻き取るプーリにはウォームギアを用いる。ウォームギアの螺旋の歯溝にワイヤを巻きつけ、歯溝とワイヤの摩擦力でワイヤを固定する機構にした。また、ワイヤの張力を調整するためにワイヤ伸展器を導入した⁶⁾。このワイヤ伸展器により、ワイヤの張力を幅広く調整することができる。

4. 結論

本論文では、ウェアラブルテレコミュニケーターとして、実物の持つ存在感(リアリティ)を利用するためウェアラブルミニチュアヒューマノイドロボットを使用することを提案した。また、研究用プラットフォームとして、プロトタイプモデルを設計・製作した。今後は、プロトタイプモデルの動作を確認するとともに、その有効性を検証する予定である。

参考文献

- 1) R. Tadakuma, Y. Asahara, H. Kajimoto, N. Kawakami and S. Tachi: "Development of Anthropomorphic Multi-D.O.F. Master-Slave Arm for Mutual Telexistence," IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, Vol. 11, No. 6, pp. 626-636, 2005.
- 2) D. Sekiguchi, M. Inami, S. Tachi: "Robot-PHONE: RUI for Interpersonal Communica-

tion," CHI2001 Extended Abstracts, pp. 277-278, 2001.

- 3) S. Oyama, H. Kuzuoka, K. Yamazaki, M. Mitsuishi and K. Suzuki: "Development of a Mobile Robot which Embodies a Remote Instructor," Proc. of the 2000 IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems, pp. 1014-1019, 2000.
- 4) 妻木勇一, 藤田雄太郎, 田村哲也, 菅原康人, 葛西昭治: "ウェアラブルテレコミュニケーター", 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 10, No. 4, pp. 467-474, 2005.
- 5) 田村哲也, 河合聡, 妻木勇一, 葛西昭治: "ウェアラブル型双方向トレイグジスタンスシステムの開発", 日本機械学会 [No. 05-4] ロボティクス・メカトロニクス講演会'05 講演論文集, 1P2-N-053, 2005.
- 6) 広瀬茂男, 有川敬輔: "研究用プラットフォームとしての普及型歩行ロボット TITAN-VIIIの開発", 日本ロボット学会誌, Vol. 17, No. 8, pp. 1191-1197, 1999.