

OS2-3

首振り指示による移動ロボット操作インタフェースに関する研究

Research on an operation-interface of livelihood support mobile robot using neck movement

柴田論 (愛媛大学) ○前田一樹 (愛媛大学) 山本智規 (愛媛大学)

Satoru SHIBATA, Ehime University
Kazuki MAEDA, Ehime University
Tomonori YAMAMOTO, Ehime University

Abstract: A human-robot system in which a mobile robot moves according to the instruction of the laser spot projected by the laser pointer attached at the human head is considered. Human gives instruction of desired movement to the robot by rotating his or her head. Three modes, stopping mode, following mode, and a mode to move to the desired position autonomously, are introduced. In the following mode, robot can realize intended movement by following the movement of the laser spot on the floor. Kansei controller is introduced between the instruction movement of the laser spot and following motion of the robot to realize psychologically acceptable motion of the robot. The effectiveness of the proposed system is discussed experimentally using an omni-directional robot.

Key Words: Human-robot Interface, Instruction of Neck Movement, Mobile Robot, Kansei controller, Mode change

1. はじめに

近年、高齢社会の到来に伴い、医療や社会福祉の分野において、身体障害者の機能代替や高齢者の介護補助などにロボットを応用する取り組みがなされている。また、高齢者や障害者のリハビリ支援、家庭内での生活支援などを果たすロボットの必要性が高まってきた⁽¹⁾。このような背景のもと、人間が指示を出し、それに従い動作を行うロボットについての研究が生活支援の分野で種々行われている。例えば、ロボットに搭載されたカメラから取得した画像情報に対して直接指示をする生活支援ロボットシステム⁽²⁾、ポインティングデバイスによるカーソル操作に基づく食事支援ロボット⁽³⁾、顔の向きや視線を用いて電動車いすを走行させるシステム⁽⁴⁾、筆者らの指先指示に協調するロボットシステム⁽⁵⁾などが報告されている。

ここでは、発話や上肢に障害を持つ人でもロボットへの指示を行う事のできる、首の運動による顔の向きを移動ロボットへ与える指示命令とするインタフェースを考える。これを、操作者にとってより直感的にわかりやすいインタフェースとするために、頭頂部にレーザーポインタを取り付けて移動ロボットの動作環境上にレーザー光線を照射し、床面上の光点をロボットに追従させるための指示点とする。レーザーポインタを用いることで、人間の顔の向きと指示点の位置関係が明確にでき、人間は自らの顔の向きを表す指示点を意識することができる。

レーザーポインタを用いた移動ロボットの指示に関する研究として、高橋ら⁽⁶⁾の報告がある。彼らの報告では、レーザーポインタは移動ロボットの操作対象物を指し示すためのみに用いられているが、本報告では、走行面に照射された光点の動きにロボットが追従するため、ロボットの運動を操作者が自分にとって好ましいように逐次指定することが出来る。また、彼らの報告では、レーザーポインタは手を用いて操作することを前提としており、首の運動による操作する本研究は異なるアプローチである。

本提案システムでは、操作者の操作性、好み、経験度、操作目的等を考慮し、3つのモード、すなわち、停止モード、光点に追従する追従モード、光点により目標点を指定し、そこへ自律的に移動するモード(以下、自律移動モード)を導入する。また、追従モードにおいてロボットの運動を生成する際に、指示命令を滑らかなものに変換する特

性関数(以下、“感性コントローラ”)を用いてロボット運動を生成する。これにより、首振り指示運動に追従するロボット運動は、人間心理に好ましい滑らかなものとなることが期待できる。

2. 提案するシステム

2-1 システム構成

本研究で用いるロボットのシステム構成を図1に示す。操作者は頭頂部に取り付けられたレーザーポインタを床に向かって照射する。レーザーは赤色レーザーで平均波長は650nm、出力パワーは1mW未満のクラス2に属するものであり、5m以内では照射点の大きさは直径6mm未満の性能を持つ。ここで床に照射されたレーザーの光点(指示点)は操作者の顔の向きに対応している。指示点は上部に取り付けた2台のCCDカメラによりサンプリングタイム毎に撮影され、画像処理用コンピュータにてステレオカメラの原理により座標値が算出される。算出された座標はEthernet接続された全方向移動ロボットへ送られる。ロボットでは送られてきた指示点の座標の変化に追従する運動を生成する。なお、全方向移動ロボットのサンプリングタイムは10msである。

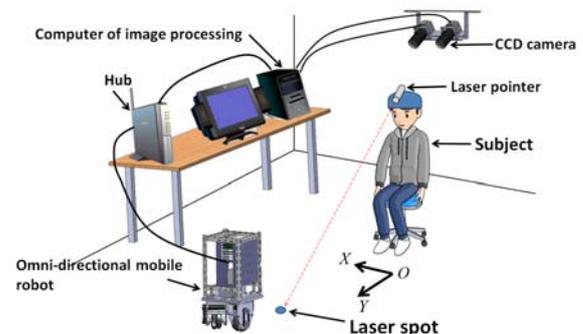


Fig.1 Construction of the mobile robot system to follow instruction of neck movement

2-2 全方向移動ロボット

首振りによるレーザーポインタ指示に追従する移動ロボ

ットは、レーザー光点の任意の平面運動に追従する必要があるので、足回りにオムニホイールを有する全方向移動型とした。その外観を図2に示す。

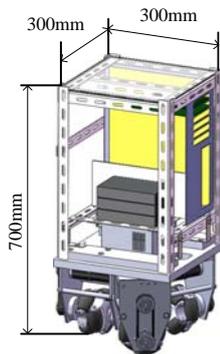


Fig.2 Mobile robot with omni-wheel

2-2 ステレオカメラによる光点の3次元計測

操作者の頭部のレーザーポインタから床面上に照射された光点は、2台のカメラによるステレオ法によりその位置が計測される。図3は、本研究で用いた2台のカメラによるステレオマッチング法に基づくレーザー光点の3次元計測のモデル図を示している。2台のカメラは同じCCDカメラで焦点距離等の設定も同じに調整しており、光軸と画像平面内の水平方向を平行に設置する。これにより、左右の画像平面内における特徴点の対応付けは、同じ座標値を持つエピポーラライン上の探索により容易に行える。

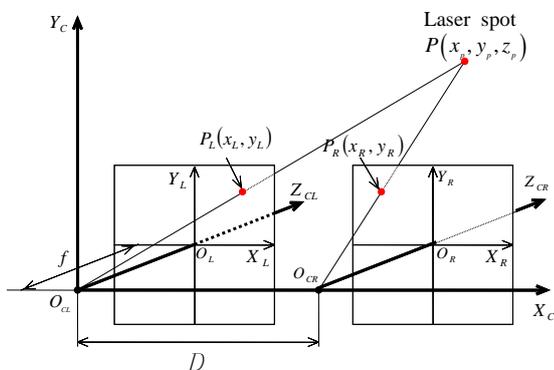


Fig.3 Measurement of laser spot using stereo matching method

ステレオマッチング法を用いて特徴点の3次元位置を計測するためには、2台のカメラから左画像および右画像を取得し、画像処理を用いて特徴点（レーザーポインタの光点）の画像平面内での位置を求める必要がある。本研究では日立高速画像処理ボード IP7000BD を2枚使用し、2枚の画像の取得、およびそれらの画像処理を行った。

まず、左右画像を IP7000 により YUV カラー画像として取り込む。それらの画像を YRT 画像に変換して2値化し、ノイズ除去手法である収縮・膨張処理によりノイズを除去する。なお、500lx の明るさの室内環境においてレーザーポインタの光点を誤認識なく閾値処理により抽出できることを確認している。そして、ラベリングを施して特徴点領域の重心を算出し、それを画像平面内での特徴点の位置と

する。これにより、左画像中の特徴点 $P_L(x_L, y_L)$ 、それに対応する右画像中の特徴点 $P_R(x_R, y_R)$ が得られる。ただし、右画像中の特徴点を見つける際には、エピポーラライン上を探索している。

3. モード切替の導入

操作者がロボットをある場所に止めておきたい場合は停止モードとしてその場にロボットを停止させ、ロボットを首振り指示により走行面上の光点に追従させたい場合は追従モードとしてロボットを操作する。そしてレーザー光点を動作目標点に照射し、ロボットはその目標点に自律的に移動するモードの3つのモードを導入し、それらのモード切り替えを首振り指示により容易に行えることができれば理想的である。そこで、レーザーの光点の挙動によりモード切り替えを行う操作方法を提案する。

3-1 停止モードへの切り替え

ロボットが顔の向きに追従して動く場合は、図4のように、床面に照射されたレーザーの光点に追従する。操作者がロボットを停止させようとした場合、図5のようにレーザーの光点をロボットの前面のパネルに取り付けられたLEDの線（長さ320mm、床からの高さ150mm）より上に照射することで、追従モードから停止モードへ切り替わり、ロボットはレーザーの光点に追従せずその場にとどまる。停止モードへは、光点がパネルのこの位置に照射されると即座に移行する。

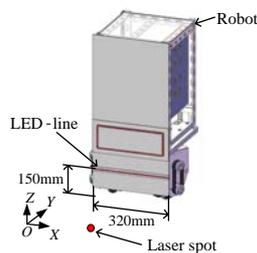


Fig.4 Following mode

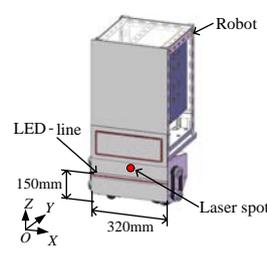


Fig.5 Stopping mode

ロボットを停止させた状態から再びロボットを動作させる場合は、図6のようにロボット前方床面の長方形のエリア内に操作者がレーザーの光点が入るように首振り指示を行う。そしてレーザーの光点がこの長方形のエリア内に照射されたことをシステムが認識したとき、停止モードから追従モードへ切り替わる。以降はロボットがレーザーの光点に追従して動作する。

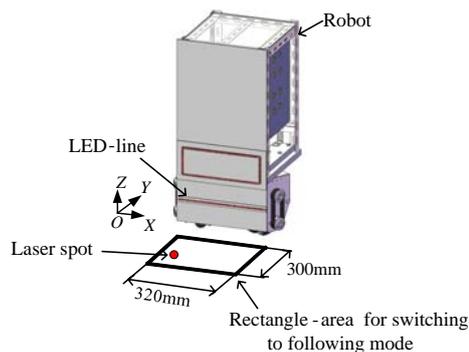


Fig.6 Switch to following mode

3-2 自律移動モードの導入

ここでは、操作者が目標点のみを指示し、その場所へロボットが現在の場所から自律的に移動するという自律移動モードを導入する。操作者は、図7に示すように、ロボット前面のパネルに新しく配置した枠内に T_1 秒間レーザーの光点を照射することにより、ロボットのモードは自律移動モードに移行する。

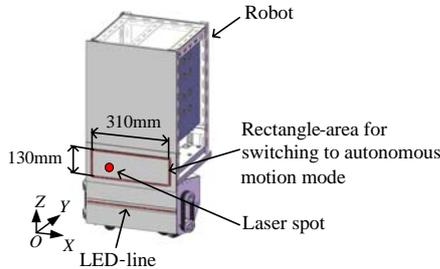


Fig.7 Switch to autonomous motion mode

自律移動モード移行後は、操作者がロボットの望ましい目標点へレーザー光点をある一定の時間照射し続けると、システムはロボットへ目標点が指示されたものと認識し、現在位置から目標点まで自律的になめらかな軌道のもと移動を行う。

4. 感性コントローラの導入

ロボットに代表される知能機械が人間の指示運動に追従する場合、遅れなしに即座に追従するより、やわらかさ、滑らかさを付加した追従運動を生成する方が心理的に望ましいことが期待される。筆者ら⁽⁵⁾は指先指示運動に協調するロボットシステムにおいて、指先の指示運動とロボットの追従運動の間に二次遅れ系の伝達関数で表される調整関数を導入し、より指示者にとって心理的に好ましい追従運動の生成を実現している。本報告においても、首振りによるレーザーポインタの光点の運動を指示運動とし、それにロボットが追従するという関係は、人間の指示運動に追従する知能機械と見なすことが出来、調整関数を導入することにより追従運動の心理的効果が期待できる。

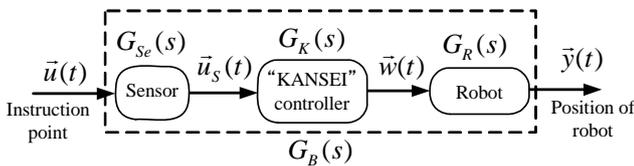


Fig.8 System including Kansei controller

本研究では、この調整関数を感性コントローラと呼び、図8に示すようにセンサ（画像処理、ステレオ法）により測定されたレーザーポインタの指示点 $\vec{u}_s(t)$ とロボットへの目標位置指令 $\vec{w}(t)$ の間に挿入する。実際の指示光点 $\vec{u}(t)$ とロボットの追従位置 $\vec{y}(t)$ の間の伝達関数 $G_B(s)$ （以下、広義の感性伝達関数と呼ぶ）の望ましい特性を与え、それを満たすように感性コントローラを設定する。広義の感性伝達関数として、以下に示すような無駄時間+二次遅れ要素のものを用いる。ここで、 ζ は減衰係数で、 ω_n は固有周

波数である。

$$G_B(s) = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} e^{-Ls} \quad \dots (1)$$

広義の感性伝達関数は、センサの伝達関数 $G_{Sc}(s)$ 、感性コントローラ $G_K(s)$ 、ロボットの伝達関数 $G_R(s)$ の積となり、

$$G_B(s) = G_{Sc}(s) \cdot G_K(s) \cdot G_R(s) \quad \dots (2)$$

で与えられる。画像処理を含むセンサの伝達関数は

$$G_{Sc}(s) = K_S e^{-L_s s} \quad \dots (3)$$

で表され、ロボットの伝達関数を

$$G_R(s) = \frac{K_R}{1 + T_R s} \quad \dots (4)$$

で近似すると、感性コントローラは

$$\begin{aligned} G_K(s) &= \frac{G_B(s)}{G_{Sc}(s) \cdot G_R(s)} \\ &= \frac{K_B \omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} \frac{1 + T_R s}{K_R} e^{-(L-L_s)s} \\ &= \frac{K_B \omega_n^2}{K_R} \left\{ \frac{1 - T_R \omega_n}{(s + \omega_n)^2} + \frac{T_R}{s + \omega_n} \right\} e^{-(L-L_s)s} \quad \dots (5) \end{aligned}$$

式(5)において $L = L_s$ の条件の下、サンプリングタイム T でサンブラと零時ホールドを付加し、 Z 変換、逆 Z 変換を行うことにより、入力に対するロボットへの指示点を表わすサンプリングタイム毎の差分方程式を求めると以下のように導かれる。

$$\begin{aligned} w(k) &= \frac{K_B}{K_S} \left\{ (1 - e^{-\omega_n T}) + \left(T_R - \frac{1}{\omega_n} \right) T e^{-\omega_n T} \omega_n^2 \right\} u(k-1) \\ &\quad - \frac{K_B}{K_S} \left\{ (1 - e^{-\omega_n T}) + \left(T_R - \frac{1}{\omega_n} \right) T \right\} e^{-\omega_n T} u(k-2) \quad \dots (6) \\ &\quad + 2e^{-\omega_n T} y(k-1) - e^{-2\omega_n T} y(k-2) \end{aligned}$$

5. 実験

5-1 実験方法

ここでは、本システムの有効性を以下に示されるような実験を通じて検証する。

本システムにおいて感性コントローラを通して生成されたロボットの運動特性を考察するために、実際に被験者にロボットを操作してもらった実験を行う。被験者はレーザーポインタが取り付けられた帽子を被り、原点に設置された椅子に着座する。その後、被験者は追従モードにおける首振り指示により、ロボットを右の円から左の円へ移動させる。そして被験者はロボットが円内に入ったと判断したとき、停止モードに移行し、その時点を動作終了とする。右の円の中心と左の円の中心を結ぶ直線は被験者の両肩を結ぶ直線と平行である。なお、運動軌道、運動速度、運動時間は被験者の任意である。感性伝達関数のパラメータについては、減衰係数 ζ は振動成分が生じない 1.0 と固定し、固有周波数 ω_n は 0.5rad/sec, 1.0rad/sec, 2.0rad/sec の条件で実験を行った。

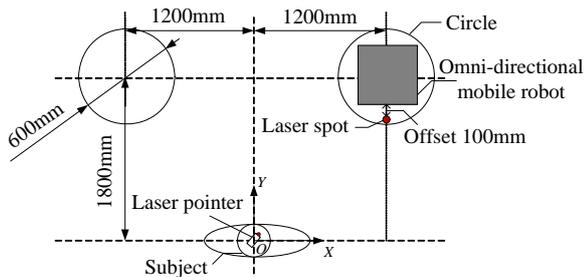


Fig.9 Experimental condition in which human subject moves the mobile robot from the initial position to the target position

また、それぞれの条件において、評定尺度法を用いた主観的評価手法によりロボットの追従運動と操作性について心理的評価を行った。評定尺度法における形容詞対は、滑らかなーぎこちない、速いー遅い、安心できるー不安な、好きなー嫌いな、操作しやすいー操作しづらい、快適なー不快な、の6つであり、7段階のいずれかを刺激程度に応じて被験者が印を付けることにより行った。

5-2 実験結果

ω_n を 1.0rad/sec とし、首振り指示により移動ロボットを初期位置から目標位置へ移動させたときの path を図 10 に示す。

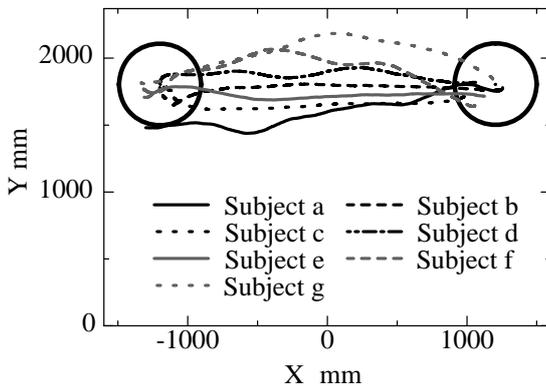


Fig.10 Generated paths of the mobile robot when $\omega_n = 1.0\text{rad/sec}$

被験者により軌跡に個人差はあるものの、全ての被験者は良好に初期位置から目標位置へ移動ロボットを移動させていることがわかる。

次に、評定尺度法の結果を図 11 に示す。ただし、図では形容詞対間の 7 段階に 1 ずつの得点を与えたときの平均と分散を示している。図の結果から、「ぎこちないー滑らかな」の項目に注目すると、平均値が中央かあるいは右に位置する好評価の傾向が見られた。これは感性コントローラの効果であり、追従運動が滑らかなものになったためと考察される。また固有周波数に着目すると、 $\omega_n = 1.0[\text{rad/s}]$ が速さの項目以外全て中央より右に位置し、好評価であった。固有周波数 $\omega_n = 2.0[\text{rad/s}]$ の場合、指示に対して反応が早すぎ、「安心ー怖い」の項目で評価が悪くなり操作性に関する評価も悪化している。逆に $\omega_n = 0.5[\text{rad/s}]$ と小さい場合、指示に対する反応が $\omega_n = 1.0[\text{rad/s}]$ に比べるとゆるやか過ぎ、被験者の評価がやや悪化していると考えられる。

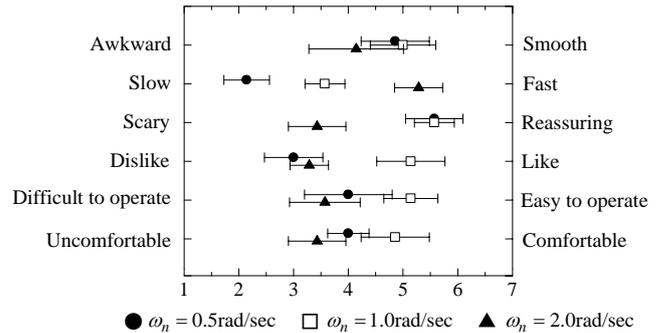


Fig.11 Results of the psychological evaluations

6. 結言

本研究では、人間の顔の向き動き（首振り運動）に追従して運動するロボット操作システムを提案した。特に、人間がより直感的に操作しやすいものとするために、頭部に装着したレーザーポインタから照射された床面上の光点にロボットが追従するシステムを構築した。これにより人間の顔の向きと指示点の位置の関係が明確にでき、人間は自らの顔の向きを表す指示点を意識することができる。また、移動ロボットの運動軌道を操作者が逐次指定することが出来、安心である。

また、操作者の操作性、好み、経験度、操作目的等を考慮し、3つのモード、すなわち、停止モード、追従モード、自律移動モードを導入した。さらに、追従モードにおいて、床面上の指示光点の運動と、移動ロボットの追従運動の間に感性コントローラを挿入した。これにより、移動ロボットの運動は滑らかなロボット運動となり人間心理に好ましい運動が生成できた。

参考文献

- (1) 藤江正克, 福祉機器研究開発の動向と将来, 日本ロボット学会誌, vol. 21, no.4, pp.336-339, 2003.
- (2) 相澤伸, 小菅一弘, 生活支援ロボットシステム-MARY-第2報: 複数作業への対応一, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会' 03講演論文集, 1A1-2F-D8, 2003.
- (3) 石井雅人, 増田良介, 箸操作機構を用いた食事支援ロボットの設計, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会' 03講演論文集, 1A1-2F-C6, 2003.
- (4) 伊野智行, 松本吉央, 今井正和, 小笠原司, 顔と視線方向による電動車椅子の走行支援, 第18回日本ロボット学会学術講演会予稿集, pp.405-406, 2000.
- (5) 柴田論, 山本智規, 神代充, 指先指示運動に協調するロボットシステムに関する一考察, 日本福祉工学会, vol.11, no.2, pp.30-36, 2009.
- (6) 高橋伸寿, 中沢洋介, 梅田和昇, レーザポインタを用いたホームロボット操作システムの構築, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会02講演論文集, 2P1-K03, 2002.
- (7) Design of Acceptable Handing Motion of an Arm-robot Utilizing the "Kansei" Transfer Function, Satoru Shibata and Tomonori Yamamoto, Trans. of the Society of Instrument and Control Engineers, vol. 43, No.11, pp.946-954, 2007.