

マイクロ・ナノ融合技術を用いた ユビキタス生活デバイスの実現

下山勲 松本潔

情報理工学系研究科知能機械情報学専攻

概要

我々のグループでは、マイクロ・ナノ融合領域での新機能を探求し、それを応用したウェアラブル/モバイル/インターフェースを構築する。さらにそれを発展させ、ユビキタス生活デバイスの実現を目指す。本年度は、常に人の側に仕え、必要な時に必要な情報および動作を提示するユビキタスアシスタントロボットを提案し、その基礎的な機能の確認を行った。

1. はじめに

ユビキタス社会においては、いつでもどこでも情報にアクセスすることができる。しかしその次のステップ、その情報へのリアクションは、人に頼らざるを得ない。本研究では、情報を用いた行動、特に動作を伴う行動をサポートするユビキタスアシスタントロボットを提案する。このロボットは、常に人に従い、必要な情報を提示するとともに、必要となる行動を行い、人間をサポートする。

一般に、ロボットが社会で受け入れられるためには共通の問題点がある。それは、ロボットによって心理的圧迫感を感じる場合があることである。実際、産業用ロボットに対しては、「冷たい、怖い」というネガティブなイメージを持つ人が多い。それに対して、最近ではペット型ロボットのように、人間とのコミュニケーションを目的としたものが登場してきた。これは仕事を行なうことを目的にしておらず、ユーモラスな動作を行なうことで人々の心を和ませる。

本研究で求められるアシスタントロボットは、上記産業用ロボットとペット型ロボットの間で存在しなければならない。

2. アシスタントロボットの機能

本研究ではユビキタスアシスタントロボットとに必要な機能を、以下のように考えた。

- ・ 外見、動作が威圧感を与えないこと
- ・ 常に人に付き従うこと
- ・ 必要な情報を提示できること
- ・ 必要な動作、行動を行えること

本年度は上記項目のうち最初の2つについて、基礎的な検証を行った。

威圧感を与えず、逆に愉快的、楽しいイメージを与えるものとして、倒立振子型ロボットを採用した。倒立振子型ロボットは、実用上利用可能な移動手段としても用いられている。倒立振子は本来不安定な機構ではあるが、制御によってうまく直立を保つことが可能で、安定した動作を実現できる[1]。

またユビキタス[2]という観点で常に人に付き従いアシスタンスを行うために、常に人との距離を認識するためのトランスポンダー型超音波センサを開発した。このロボットは、たとえ人混みの中でも特定の主人を認識しなければならぬ。また道路、会社の居室のような障害物の多い環境でも誤動作してはいけない。これらの必要性から、反射型ではなく、一種のハンドシェイクを行うトランスポンダー型とした。

本研究では、以上を検証するためまず倒立振子型ロボット、トランスポンダー型超音波センサを試作し、各々の動作実験を行った。さらにこれらを組み合わせて人への追従を行わせ、システムの有効性を検証した。

3. アシスタントロボット

3.1 全体構成

Fig. 1 に、本研究のアシスタントロボットの機構と超音波センサの方式を示す。

倒立振子の機構には、Fig. 1 (a)に示す二輪型倒

立振子を用いた。二輪を同方向に回転させることで、制御すべき量は振子の傾き角、および車輪の回転角の2つとなる。その制御に必要となる入力は、振子の傾き角、振子の傾き角速度、車輪の回転角、車輪の回転速度の4つである。これら4入力をもとにPID制御を行い、倒立姿勢の保持、および移動動作を行う。2つの車輪を逆相に回転させることで、倒立姿勢を保持したまま方向転換を行うこともできる。

追従を行わせるには、人とロボットとの距離・角度情報が必要になる。そこでこれらの情報を得るため、Fig. 1 (b)に示す超音波による測定方式を採用した。ロボットはまず送信部から超音波を発生し、人側に要求信号を発生する。人側では、要求信号を受けた後、しばらく時間を置いてから、長さの異なる応答信号をロボット側に送り返す。ロボット側では、左右に取り付けられた受信機でその応答信号を受け取る。要求信号を出してから応答信号を受け取るまでの時間により人とロボットの間の距離を、左右の受信機で応答信号が検出される時間差により人とロボットの間の角度を、それぞれ検出する。

人側で要求信号を受けてから応答信号を発生するまで時間をおくのは、要求信号の周囲環境からの反射をロボットがうけて、応答信号と混同するのを防ぐためである。さらに要求信号と応答信号の長さを変えて、両者の区別をしやすくしてある。直接届く直接波と障害物で反射して届く反射波では、直接波の方が早く到達する。本方式では、人側での要求信号の検出、ロボット側での応答信号の検出とも最も早い時間に入ってきた信号、すなわち直接波で動作するため、反射波の多い込み入った環境でも、安定に動作する。

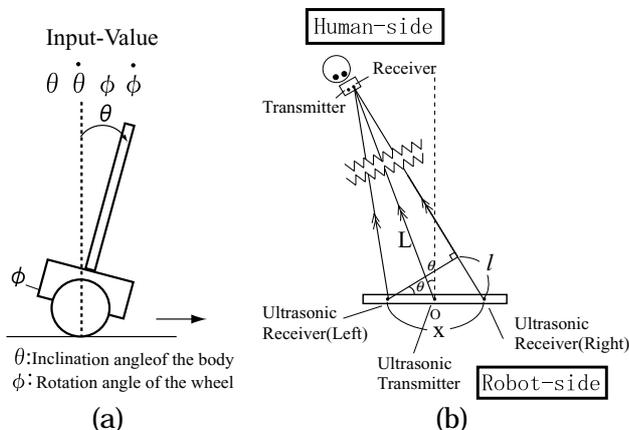
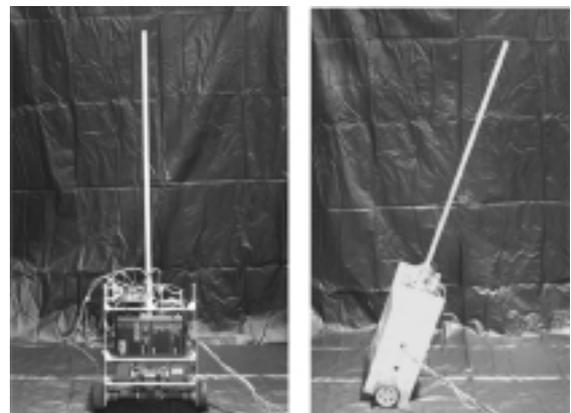


Fig. 1 Inverted pendulum model & ultrasonic measurement system

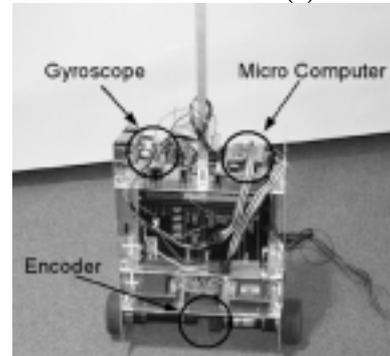
3.2 二輪型倒立振子

製作した倒立振子型ロボットを Fig.2 に示す。ジャイロを用いて振子の傾き角速度を、エンコーダを用いて車輪の回転角を計測する。振子の傾き角は角速度の積分、車輪の回転角速度は回転角の微分により生成している。ロボットに搭載されたマイコンでPID演算を行い、左右のモータへの出力トルクを決定している。

製作したロボットを用いて、本体の安定性を測定する実験を行った。その結果を Fig. 3 に示す。電源投入から 10 [s] の間安定させた後、外力を加えた。電源投入数秒後には安定化していることが分かる。さらに、この機体を用いて、前進、後退、右旋回、左旋回を行った。前進・後退に関しては、移動させる方向に本体を微小角だけ傾かせることで実現した。1 回の前進で、約 600 [mm] 程度移動することが可能であった。旋回に関しては、制御式によって算出されたトルクに対して、さらに左右で逆方向の同じ大きさのトルクを左右のモータへ重ね合わせて出力することで実現した。240 [deg/s] までの角速度の範囲では、転倒せずに旋回を行なうことが可能であった。



(a) Front view (b) Side view



(c) Close-up of the body
Fig. 2 Inverted pendulum robot

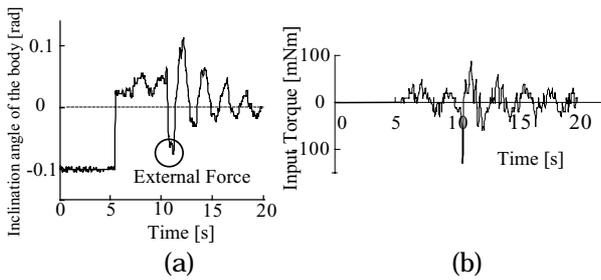
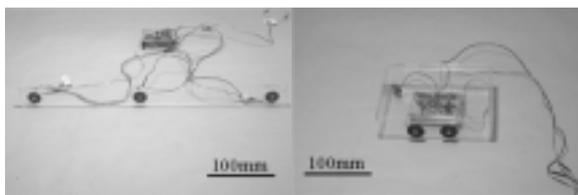


Fig. 3 Input torque & inclination angle of the body

3.3 トランスポンダー型超音波センサ

Fig.4 に、トランスポンダー型超音波センサを示す。Fig.4(a)はロボット側であり、アームのセンタに送信機が、両脇に2つの受信機が取り付けられている。Fig.4(b)は人側であり、送信機および受信機を1つずつ持つ。

Fig.5 に、トランスポンダー型超音波センサのハンドシェイク動作を示す。ロボット側は、まず0.8[ms]の幅の要求信号を送る。人側では、要求信号を受信して4 [ms]たった後、4 [ms]幅の応答信号を送付する。応答信号はロボット側の2つの受信機で受信される。このとき、ロボット側が要求信号を送ってから応答信号を受信するまでの時間 T により、ロボットと人との距離がわかる。さらにロボット側の2つの受信機が応答信号を受信する時間差 t により、ロボットから見た人の方向を知ることができる。



(a) Robot side (b) Human side
Fig. 4 Ultrasonic transponder

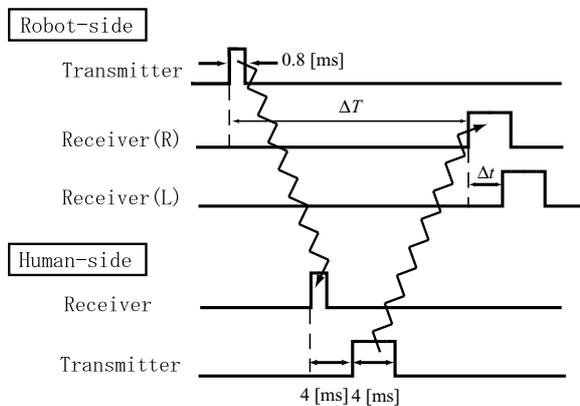
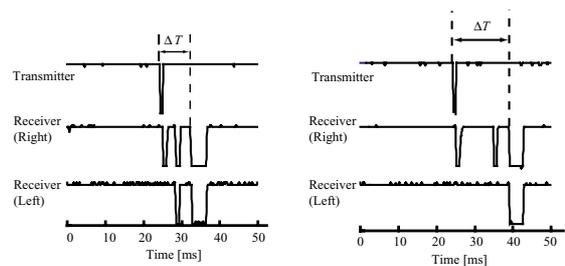


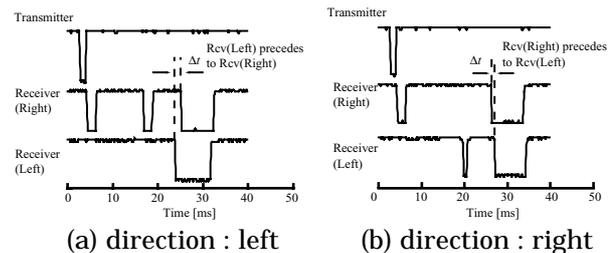
Fig. 5 Handshake of ultrasonic transponder

ロボット側での、送信した要求信号と受信した応答信号の波形を Fig.6 に示す。Fig.6(a),(b)は、各々人との距離が 1[m], 右側が 3[m]のときのものである。後者の方が時間 T が大きくなっている。Fig.7 は、ロボットの受信機に対して、応答信号が左側、右側から入った場合の波形である。時間差 t が方向により反転しており、さらにこの大きさから到達角度が計算できる。

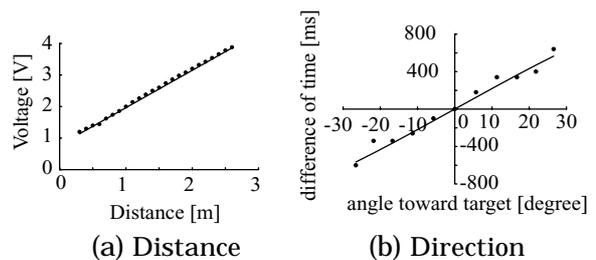
幾つかの点をプロットして得られた実験結果を、Fig. 8 に示す。Fig. 8(a)は、時間 T から計測された距離を D/A 変換により電圧として出力したものである。直線性よく計測できている。動作範囲は、ロボットと人との距離が、300 [mm] から 3000[mm] の間である。Fig. 8(b)は、時間差 t から計算された、応答信号の到達方向である。検出可能角度は ± 30 [deg]程度であった。これは、実験に用いた超音波センサの指向性が強すぎたためである。



(a) distance:1m (b) distance:3m
Fig. 6 Distance measurement by transponder ultrasonic sensor



(a) direction: left (b) direction: right
Fig. 7 Direction measurement by transponder ultrasonic sensor



(a) Distance (b) Direction
Fig. 8 Results of measurement

4. アシスタントロボットによる追従実験

総合的な評価実験として、倒立振り子型ロボットとトランスポンダー型超音波センサを組み合わせ、追従実験を行った。追従の方式を Fig.9 に示す。

まず超音波センサからの角度情報により、ロボットの進行方向に対して対象者が 20 [deg]以上離れていた場合、対象者の方向へ旋回を行う。信号の誤入力による誤作動を防ぐ為に、5 回連続して同様の入力を得られたときに旋回を行わせた。

次に、前進・後退を行うか否かを決定する。人との距離が 2 [m] 以上離れている場合は前進を行なう。この際も誤作動を防ぐため同様の入力信号が 5 回連続で得られたときに前進を行わせた。逆にロボットと対象との距離が 400 [mm] より小さくなった場合、後退動作を行った。

上記の設定によって追従実験を行った。まず、前進・後退のみによる 1 次元方向で実験を行なった。この場合は、問題なく対象に追従することができた。次に回転動作を含めた 2 次元での追従実験を行った。実験結果を Fig. 10 に示す。Fig. 10 は、5 秒ごとの人とロボットの軌跡をプロットしたものである。

対象者が滑らかな曲線を描くように移動したとき、ロボットは常に約 2 [m] の距離をにおいて対象者に追従している。ただし本実験では、人が持つセンサからの応答信号がロボット側のセンサで受信できない場合があり、その時は追従をせずその場に留まった状態になった。これは先に述べたように、実験に用いた超音波センサの指向性が強すぎたためである。また、人が小刻みに方向を変えて移動した場合には、人を見失うことがあった。これはロボットが方向転換を行うのに時間がかかり、その間に人が動いて超音波センサの検出範囲をはずれてしまったからである。

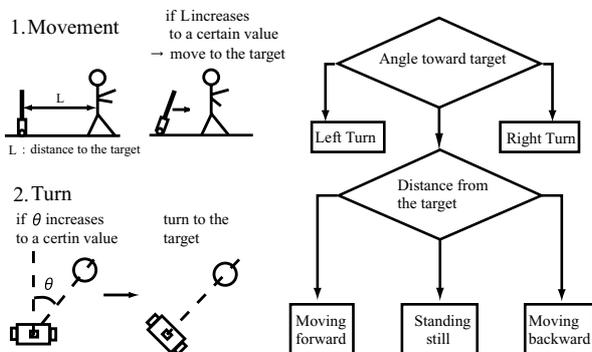


Fig. 9 Method of following

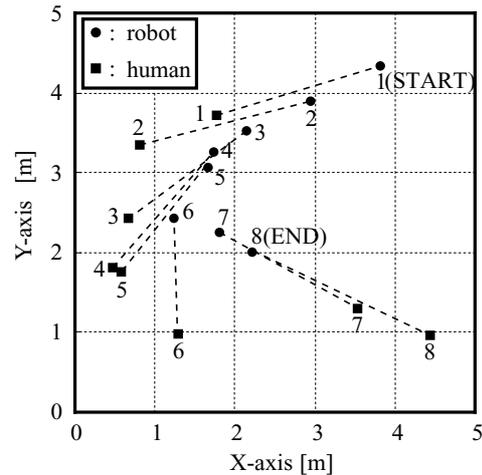


Fig. 10 Results of the following motion

5. 結論

ユビキタス社会における人の行動をサポートするロボットとして、ユビキタスアシスタントロボットを提案した。その一つの実現形態として倒立振り子型ロボットのプロトタイプングを行い、倒立動作と人への追従動作の確認を行った。

倒立振り子型ロボットによる倒立動作では、安定な直立、および前進、後退、右旋回、左旋回の 5 つの動作を実現した。また人とロボットの距離を計測するために、トランスポンダー型超音波センサを開発した。このセンサを用いて、距離、角度の情報を一定の範囲内で取得することを実現した。

倒立振り子型ロボットと超音波センサ組み合わせることにより、人への追従実験を行った。人がなめらかな曲線を描いて移動する場合には、十分追従可能であることを示した。

本実験では超音波センサの指向性が強かったために、左右で 30 [deg] 程度の角度までしか検出できなかった。しかし、さらに広範囲で角度が検出できれば、目標を見失うことなく、人の機敏な動きに対してもより大きく旋回を行なわせることによって十分追従可能である。

参考文献

- [1] 宮下敬宏, 石黒浩, "同軸 2 輪倒立振り子型ヒュ マノイドの多自由度制御," ロボット学会創立 20 周年記念学術講演会, 2002.
- [2] 福田敏男, "21 世紀のロボット工学-ユビキタスロボットを目指して-," 計測と制御, vol. 40, no. 1, 2001.