

論文

無線 LAN を用いた移動型視覚装置の開発

高田 光寛 田中 康寛 高田 達雄

パソコン等の端末の小型化に伴い, LAN の配線にとらわれずに端末を自由に配置したり, 気軽に LAN にアクセスしたいとの要望が強まり, 無線 LAN への期待が高まっている. また, IEEE 802.11 で無線 LAN の標準化がほぼ完了したこともあり, 急速に注目を集めている. ロボットの分野でも, データ通信媒体として無線 LAN への期待は高い. 本論文では, この無線 LAN を利用した 3 次元視覚移動ロボットについて紹介する.

キーワード: 無線 LAN, 移動ロボット

1 はじめに

近年関心の高まっているバーチャルリアリティー (人工現実感) の基本概念にトレイグジスタンス (遠隔存在) というものがある. これはロボットなどを遠隔地に置き, そのロボットのある環境を人間側に提示することで, ロボットの環境を仮想体験することができるというものである. この技術の応用として, 人間に危険の及ぶ環境 (原子炉, 宇宙ステーション等) にロボットを設置し, 遠隔操作を行うことで, 人間は危険にさらされることなく作業

できることが期待される [1].

我々は人間の頭部姿勢角を圧電型振動ジャイロを用いて計測し, 人間の頭部動作に追従するロボット (視覚装置) の開発を行ってきた [2]. このロボットには 2 つの CCD カメラが搭載されており, 人間が頭を動かすことで自由な方向を見ることができる.

本研究ではマスター-スレーブ間のデータ通信に無線 LAN を用い, この視覚装置を移動体に搭載した移動型視覚装置の開発を行った. 無線化を行う際には, 人間側に

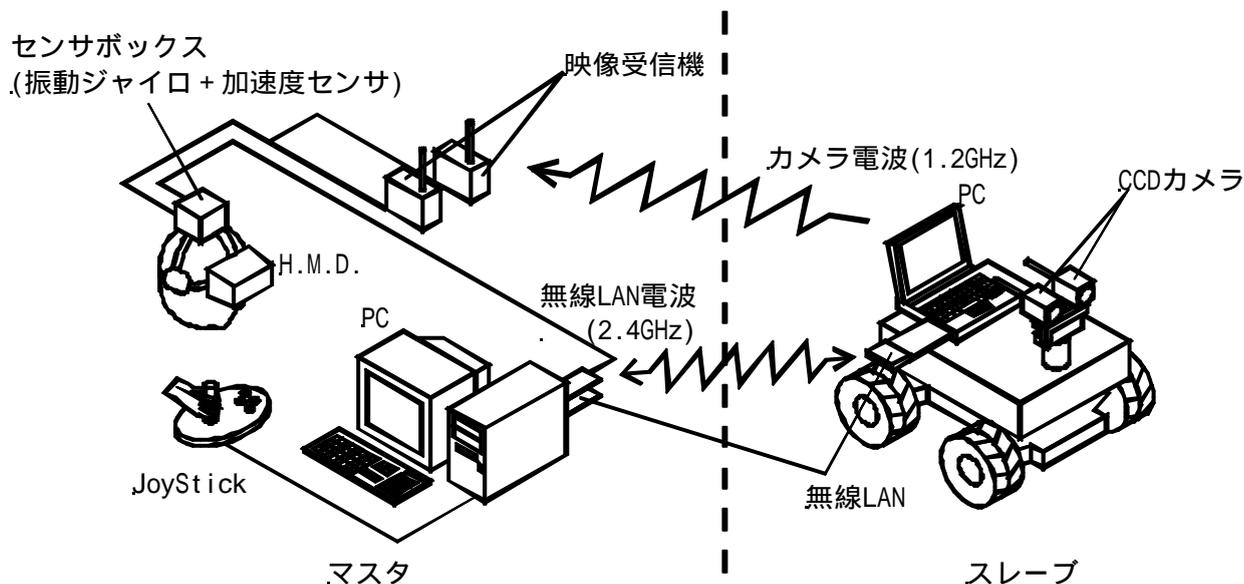


図 1 移動型視覚装置の概略図

TAKADA Mitsuhiro
 武蔵工業大学大学院工学研究科 2000 年度卒業生
 TANAKA Yasuhiro
 武蔵工業大学工学部助教授
 TAKADA Tatsuo
 武蔵工業大学環境情報学部教授

臨場感を持たせるため人間の動作を時間遅れなくロボットに伝達する事が重要である. 以下に製作した移動型視覚装置の概略と無線 LAN による通信・時間遅れについて説明する.

2 移動型視覚装置の概略

図 1 に移動型視覚装置の概略を示す. 移動型視覚装置

とは以下の条件を満たし、人間がロボットのいる環境を仮想体験できるというものである。

ヘッドマウントディスプレイ(H.M.D.)上に配置されたセンサ(振動ジャイロ+加速度センサ)により人間の頭部姿勢角を計測し、ロボットに人間の頭部と同様の運動をさせる

ロボットに取り付けられた2つの CCD カメラにより人間の左右の目に独立な映像を提示し、立体画像を見せる

ロボットを移動体に搭載することにより、自由に移動できる

図1の点線で示されるように、移動型視覚装置はマスタとスレーブに大別される。マスタでは振動ジャイロと加速度センサにより人間の頭部姿勢角を計測し、無線 LAN によりスレーブに送信する。スレーブでは姿勢角データを受信して2台のモータにより CCD カメラを動かす。移動体は JoyStick の操作で制御でき、この信号も無線 LAN によりスレーブに送信される。スレーブ CCD カメラの映像はカメラ内蔵トランスミッタによりマスタに送信され、マスタでは映像受信機により受信する。この映像は H.M.D.によって左右独立の立体映像として人間に提示される。

3 マスタ-スレーブ間のデータ通信

本装置では、マスタ-スレーブ間のデータ通信に無線 LAN を用いている。制御信号・映像の全データを単一回線(無線 LAN)で通信することが望ましいが、2つの CCD カメラの画像を無線 LAN で送信するには転送速度が十分ではなく、画像をパソコンに取り込み圧縮処理を行うには CPU の高速な処理速度を要求するため、本装置では姿勢角・移動体制御信号を無線 LAN で、映像信号は CCD カメラに内蔵されている送信機で、それぞれ別々に通信を行っている。

3.1 無線 LAN によるデータ通信

無線により遠隔制御を行う場合、通信における応答が重要となる。そこで、無線 LAN によるデータ通信の性能を評価するために、次のような実験を行った。

無線 LAN で接続された2台のパソコンにおいて、マスタから正弦波状の模擬データを送信し、スレーブでは受信したデータをそのままマスタに送り返す。この時のマスタにおける送信時刻 t_s 、受信時刻 t_r 、およびデータ値を記録した。図2にマスタ-スレーブ間のデータの流れを示す。ここで、時間遅れ t_d を式(1)により定義する。

$$\text{時間遅れ } t_d = \text{受信時刻 } t_r - \text{送信時刻 } t_s \quad (1)$$

研究室内で、マスタの位置を固定してスレーブの位置を移動させた。また、それぞれの位置でのスレーブにお

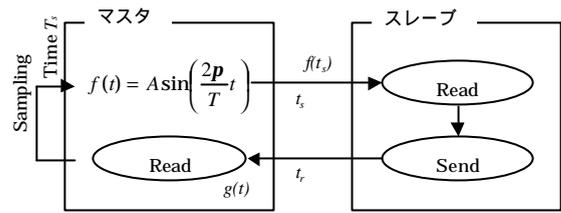
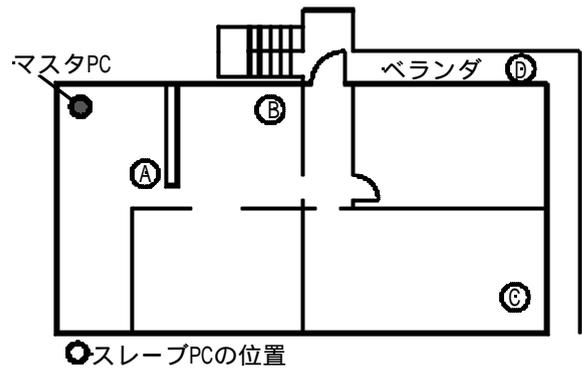


図2 マスタ-スレーブ間のデータの流れ



●スレーブPCの位置

図3 マスタとスレーブ配置位置の関係



図4 RSSI による通信品質表示

ける電波の受信強度(RSSI)を測定した。RSSIとは受信している電波信号の強度を示す値で、通信品質を評価する目安となる。マスタ-スレーブの位置関係を図3、RSSIの測定値と通信品質の関係を図4、各位置での通信の様子を図5に示す。

無線 LAN 通信の性能と比較を行うために、有線 LAN を用いた場合の通信結果を(a)に示す。平均時間遅れは1.6msでほとんど変動も無く、最高値は3ms程度となっている。(b)~(d)は測定位置A~Cのときの実験結果を示す。なお、測定位置Dのとき(RSSI=46)は通信がまったく行えず、測定不能であった。

ここで、時間遅れはデータがマスタ-スレーブ間を往復するのにかかる時間であること、マスタのサンプリング周期が10msであることから、マスタの動きに対しスレーブを違和感無く追従させる条件を次のように設定する。

- 時間遅れが一定、またはばらつきが少ない(送信波形と受信波形が等しい)
- 時間遅れが小さいほど良い(約50ms程度)
- すべてのデータが受信されていること

図5より、測定位置A, Bでは、送信波形に対し受信

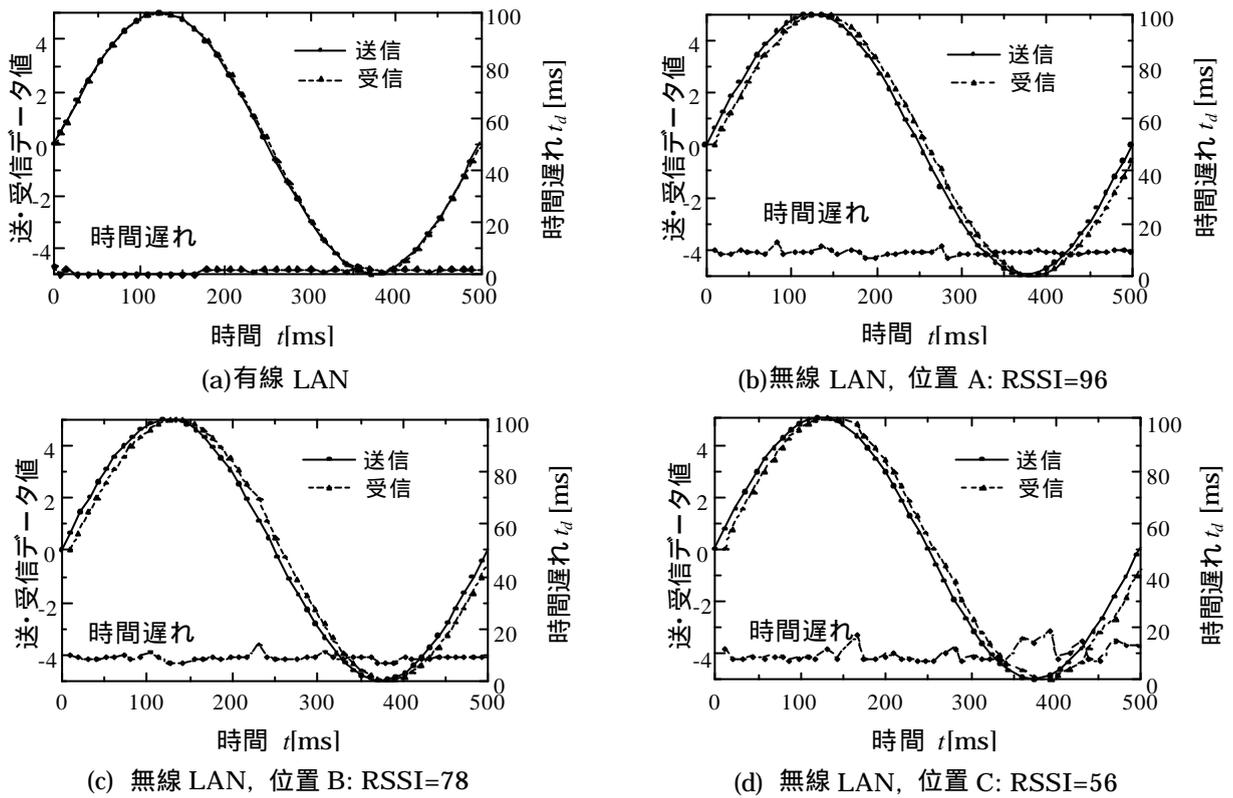


図5 各位置でのデータ値の送・受信応答と時間遅れ

波形がきれいに追従していることがわかる。時間遅れも有線 LAN の場合と比較すると大きな値を示しているが約 10ms 程度と小さく、約 10ms で一定値を示している。測定位置 C においては、測定位置 A、B の場合と比較すると RSSI の値は低く、時間遅れに多少のばらつきはあるが、受信波形は送信波形を十分に再現している。

このことから、無線 LAN は障害物の多い室内であっても、研究室程度の広さの場所であれば通信が可能であることが確認された。ただし、鉄・コンクリートなどは電波の減衰が大きいので、位置 D のような室内から室外への通信は行えなかった。

3.2 無線 LAN 制御信号とカメラ映像信号の混信

移動型視覚装置は制御データを無線 LAN で、CCD カメラによる映像をカメラ内蔵トランスミッタで通信する。しかし、無線 LAN とカメラ内蔵トランスミッタで同時に通信を行うと、電波の干渉により大きな時間遅れが発生し、通信が不安定になってしまった。この時の通信における時間遅れのヒストグラムを図 6 の実線に示す。人間(マスタ)の頭部運動を違和感無くスレーブに伝えるためには、時間遅れは 50ms 以下であることが望ましいが、カメラ内蔵トランスミッタとの同時送信により、50ms を越える時間遅れが発生し、最大で 1 秒近い遅れが発生している事がわかる。また、この時の通信のモデルを図 7

に示す。td で示された部分で大きな時間遅れが発生している。マスタが送信を行うのはデータが受信された後なので、マスタは送信すべき波形を送信できず、スレーブでは送信波形を再現できていない。このような大きな時間遅れが発生すると、正しい姿勢角が送信できず、スレーブはマスタの動きを再現できない。

この原因を調査するため、カメラ内蔵トランスミッタのアンテナからの出力をスペクトラムアナライザで確認した。結果を図 8(a)に示す。

カメラ内蔵トランスミッタの送信周波数は規格より 1.2GHz 帯であるが、2 倍波、3 倍波、4 倍波...と出力されており、無線 LAN の用いる 2.4GHz 帯でも高い出力が見られる。したがって、この出力が無線 LAN の無線信号に干渉を起していることが考えられる。

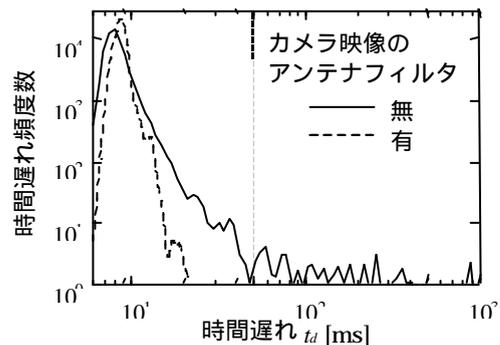


図6 時間遅れのヒストグラム

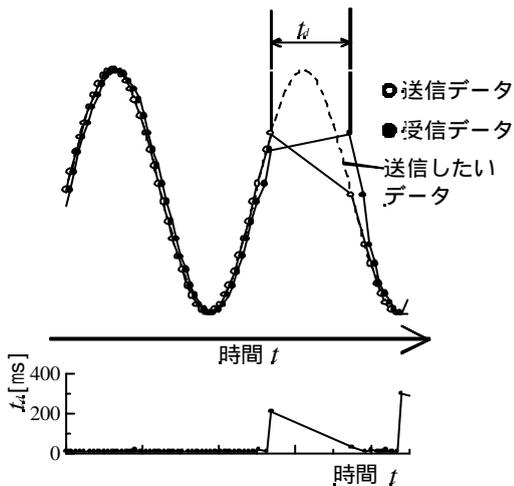
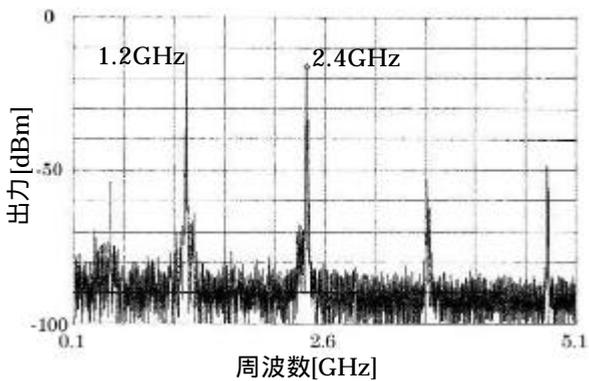
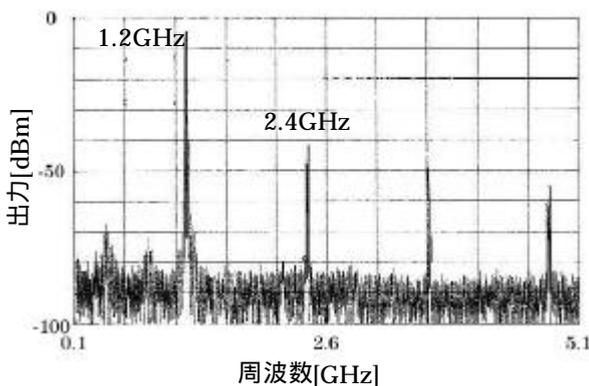


図 7 大きな遅れが生じた場合通信の様子 (上段: 送・受信波形 下段: 時間遅れ)



(a) 内蔵トランスミッタのアンテナ出力



(b) アンテナフィルタを取付けた内蔵トランスミッタのアンテナ出力

図 8 カメラ映像アンテナ出力のスペクトラム

そこで、2.4GHz の出力を除去するために、アンテナフィルタ(マイクロストリップ LPF)を挿入した。このフィルタを用いた際のアンテナ出力を図 8(b)に示す。

図 8(a)と比較すると、アンテナフィルタを用いたことにより 2.4GHz の出力が約 30dB 下げられたことがわかる。したがって、無線 LAN への干渉を防ぐことができると考えられる。

アンテナフィルタを挿入したカメラ内蔵トランスミッタと無線 LAN の同時通信時の時間遅れを図 6 の破線で示す。時間遅れの数値はほぼ 10ms で安定しており、最大時間遅れも 20ms と、カメラ内蔵トランスミッタによる通信を行わない場合(図 5)と同様の結果が得られた。したがって、このアンテナフィルタを用いたことにより、無線 LAN とカメラ内蔵トランスミッタの電波の干渉は無くなったと言える。

4 まとめ

本研究では、マスター-スレーブ間のデータ通信に無線 LAN を用い、移動型視覚装置を完成させた。移動型視覚装置の写真を図 9、規格を表 1 に示す。無線 LAN の通信距離は 400m(見通し)であるが、有線 LAN との中継にアクセスポイントを用いることで、通信範囲の拡張を行うことができる。しかし、CCD カメラの映像は別の電波で通信しているため、移動型視覚装置の通信距離はカメラ内蔵トランスミッタの通信距離に依存する。また、



図 9 移動型視覚装置

表 1 移動型視覚装置の規格

| | | |
|----------------|--------------|-------------------------|
| サンプリング周期 | | 10ms |
| マスター-スレーブ間時間遅れ | | 10ms(代表値) |
| 通信距離 | 無線 LAN | 約 400m (有線 LAN で延長可) |
| | カメラ内蔵トランスミッタ | 300m |

無線 LAN とカメラ内蔵トランスミッタの電波の干渉はアンテナフィルタを用いることにより解消し、通信時に生じる時間遅れは約 10ms 程度となった。

参考文献

- [1] マルチメディア通信研究会：標準 LAN 教科書，アスキー出版，1998
- [2] 山下秀昭：三次元姿勢角センサの開発，武蔵工業大学大学院工学研究科生産機械工学専攻 平成 9 年度修士論文，1998