

移動ロボット制御用計算機 (SONY : PCG-R505FR-D)

移動ロボットに搭載し、ネットワークを介して受け取った操縦者の歩行情報からロボットの制御を行い、同時に獲得した全方位動画像をネットワークを介して操縦者側へ送信する。

歩行装置 (SOLIDRAY : WalkMaster)

磁気センサの情報から操縦者の歩行動作を検出する。操縦者は歩行装置上で定点位置で歩行可能である。

歩行装置制御用計算機

磁気センサの情報から歩行装置を制御すると同時に、移動ロボット側へ磁気センサの情報を伝送する。

没入型投影ディスプレイ (SOLIDRAY : VisualValley)

大型傾斜型 3 面ディスプレイ (図 3) であり、移動ロボットからの映像を表示する。

映像表示用計算機 (SGI : ONYX3800)

DV デッキから送られてきた全方位画像を平面透視投影画像に変換する。

映像受信用計算機

ネットワークを介して送られてきた映像を受信し DV デッキに送る。

DV デッキ

得られた映像情報を映像表示用計算機へ、音声情報を没入型投影ディスプレイ上部のステレオスピーカに出力する。

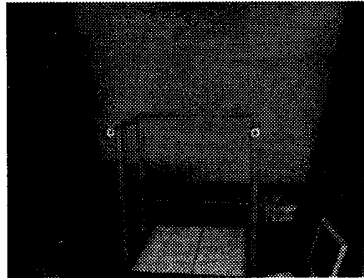


図 2 : 移動ロボット 図 3 : 没入型投影ディスプレイ

3. 歩行動作の検出

本システムで用いた歩行装置 WalkMaster は、構成しているベルトが前方後方、左右に移動可能な構造となっている。そのため操縦者は前後左右の 2 次元平面上を自由に歩行が可能である。操縦者は両足の膝に磁気センサを装着し、歩行を行った際の両足の位置情報を磁気センサによって獲得する。その位置情報から仮想的に重心位置を求め、その重心位置を歩行装置の中心に戻すようにベルトを制御する。これにより操縦者は常に定点位置で歩行動作を行うことができる[5]。この無限平面上での歩行動作によって得られた仮想的な重心位置はベルトの制御に使用されると同時にネットワークを介して遠隔地にある移動ロボット側に送信される。

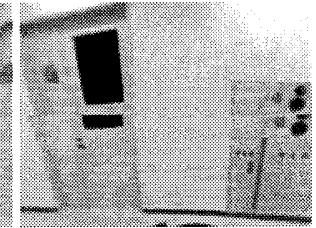
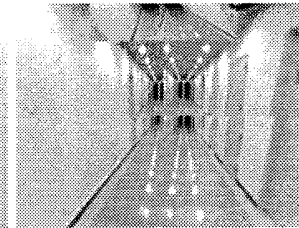
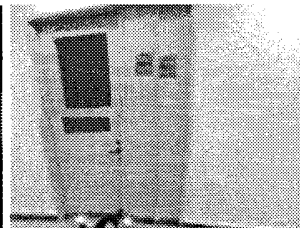
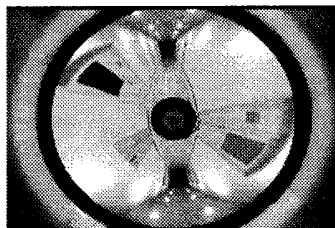


図 4 : 全方位画像と 12 個のプロジェクトにより投影されるバックミラー付き画像

4. ネットワーク伝送処理

本システムでは映像伝送と操縦命令伝送の大きく分けて 2 つのネットワークによる情報伝送がある。映像伝送は移動ロボット側を送信側、操縦者側を受信側とし、操縦命令では操縦者側を送信側、移動ロボット側を受信側として情報伝送を行っている。本システムでは学内 LAN ネットワークを用いて有線 100Mbps、無線 54Mbps の帯域幅で伝送を行う。

4.1 映像情報伝送時の処理

本システムでは映像伝送時に Fatware 社の DVcommXP というソフトウェアを用いて全方位動画像をネットワークを介して伝送する。DVcommXP は Digital Video Transport System (DVTS) [6] を基本ウェアとし、様々な機能を付加したソフトウェアである。DVTS はネットワークを介して伝送できるシステムあり、デジタルビデオデータを約 30Mbps の帯域幅を利用して高品質な動画像(720x480,30fps)を伝送することが可能である。但し本システムでは無線 LAN の実質的な帯域幅の制約を考慮し 10frame/sec で映像伝送を行う。送信側では移動ロボットの上部視点位置に設置された全方位画像センサからの全方位動画像を DVcommXP を用いて送信する。受信側では得られた全方位画像を DV デッキを介して映像を映像表示用計算機に送り、そこで平面透視投影画像を作成し、没入型投影ディスプレイに表示する。

4.2 作成上の注意

操縦者が歩行装置上で行った歩行動作は両足の膝に取り付けてある磁気センサによって検出され、その情報は TCP/IP を用いたソケット通信によりネットワークを介して受信側の移動ロボットに搭載された移動ロボット制御用の計算機に伝送される。移動ロボット側では得られた情報をロボットの移動に適切な情報に変換し移動ロボットを制御する。これにより移動ロボットの操縦が可能となる。

移動ロボットは前進後退、左右の回転を行うことで自由に空間を動き回ることができる。そこで操縦者の前進後退を移動ロボットの前進後退に、操縦者の左右への移動を移動ロボットの左右の回転に割り当てる。

5. 映像提示

本システムでは映像提示に没入型投影ディスプレイを用いる。この没入型ディスプレイは前方と左右の 3 つのスクリーンからなり、それぞれのスクリーンは傾斜型で平面形状をしている。このスクリーン 1 つに対し映像を投影するプロジェクタは 4 台存在している。4 つのプロジェクタから投影される映像は互いに重なりあう領域が存在するため、

それを考慮した映像提示を行う。まず、移動ロボット側からネットワークを介して伝送されてきた全方位画像を映像表示用計算機において文献[7]の手法を用いてリアルタイムで平面透視投影画像をプロジェクタの数と同数の12枚作成する。そしてそれぞれの画像を適切なプロジェクタより没入型投影ディスプレイに表示する。後方の情報も確保するために、さらに2枚の平面透視投影画像を作成し、前方のスクリーン上部にバックミラーとして提示する(図4)。

6. 移動ロボットの遠隔操縦実験

6.1 動作実験

6.1.1 実験の概要

本研究で作成したシステムを用いて実際に動作実験を行った。操縦者は本学ベンチャービジネスラボラトリーの一室にて膝に磁気センサを装着し、本学情報棟一階ロビーに配した移動ロボット側の映像を見ながら操縦を行う。情報棟一階ロビーとベンチャービジネスラボラトリーは200m程度離れており、操縦者から移動ロボットは直接目視することはない。映像の更新頻度はDVcommXPの設定を変更し10frame/secとした。これは映像提示される映像が10frame/sec以上であれば妥当とされていることを考慮したためである。図5、図6に実験の様子を示す。

6.1.2 実験の結果と考察

本実験により操縦者の歩行動作により移動ロボットの遠隔操縦が可能であることを確認した。移動ロボット側よりネットワークを介して映像を没入型ディスプレイに提示するまでにかかる時間は約1sec程度、歩行動作から移動ロボットが移動を始めるまでの時間は約1sec程度であった。この移動開始にかかる遅延はネットワーク遅延だけでなく、移動ロボットを制御しているモータが稼働状態に切り替わる際の機械的遅延に起因すると考えられる。稼働状態での速度変化に関してはモータの切り替えが無く電圧が滑らかに変化するだけなので大半がネットワークによる遅延の影響である。そのため速度変化に関しては0.5msec程度で変化が現れる。また、移動命令と映像の双方の遅延により歩行動作を開始して映像に変化が現れるまで最大約2秒の遅延が発生している。現状では操縦者はある程度空間を映像から把握し、この遅延を考慮した操縦が必要であると考えられる。

また、実験環境内で無線LANの送受信状況が悪化する場所では10frame/secよりも映像の更新頻度が減少した。これは今後無線LANの基地局を増やすことにより無線の受信状況が向上すれば問題はないと考える。また、無線LANの帯域幅の増大と映像提示に用いている計算機の性能が向上すれば映像の更新速度を早くすることができると考える。さらに帯域幅の増大と高解像度のカメラを用いることで、解像度の高い映像を操縦者に提示することが可能であると考えられる。

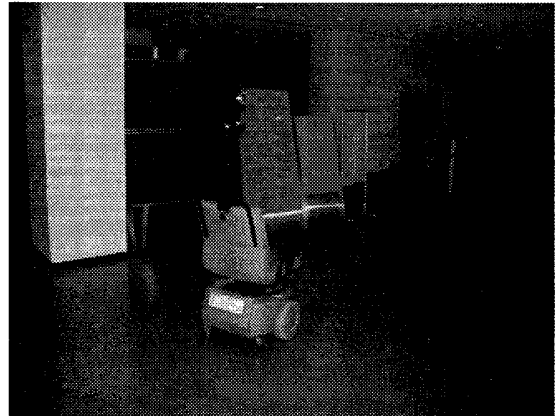


図5：移動ロボット側の実験風景

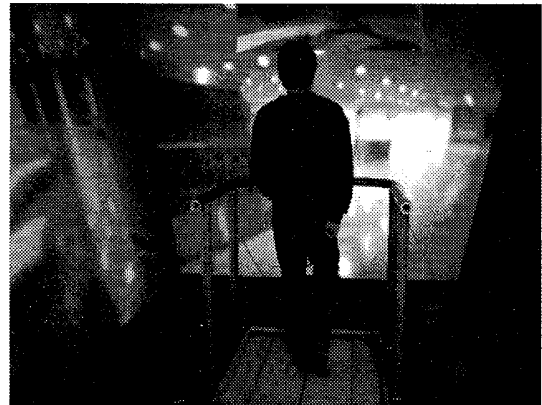


図6：操縦者側の実験風景

6.2 評価実験

6.2.1 実験の概要

評価実験では、複数の被験者が遠隔操縦を行い、目標達成時間等を計測した。

タスク1：前方にある障害物手前で停止する実験

前方にある障害物に可能な限り近づいて停止するというものであり、前方直進を行うだけである。障害物と移動ロボットの初期位置の間の直線距離は4m25cmである。目的として、移動ロボットの遠隔操縦における遅延がどの程度操縦に影響を及ぼしているかを距離感の把握によって確認する。

タスク2：目標地点に到達する実験

直進のみでは目標地点に到達できない初期位置設定で、途中に障害物のない環境内で目標地点までを自由な経路で移動し、到達するというものであり、初期状態で操縦者はスクリーンを介して目標地点が目視できている。目標地点までの直線距離は5m60cmである。目標地点は前方では無いため、回転を行いながら前進する必要がある。本システムがどれだけ直感的であるかを検討するための実験である。

タスク3：障害物を回避して目標地点に到達する実験

タスク3では複数の障害物を配した空間の中を障害物を回避しながら目標地点に到達するという実験である。目標地点までの直線距離は6m70cmであるが、障害物を回避する必要があるため、実際にはより長い距離を操縦する必要がある。また、初期状態で操縦者はスクリーンを介して目標地点が目視できている。タスク3では障害物に衝突しない

いように移動することが重要である。この実験で本システムの操縦性の検討をする。

実験はタスク1, タスク2, タスク3は被験者数は10人であり, タスク3ではタスク1, 2を行った被験者aからjのうち被験者jが別の被験者kと入れ替わっている。また, 被験者kを除く10人は本システムで遠隔操縦を行うのは初めてである。

6.2.2 実験の結果と考察

まず, タスク1における結果について述べる。タスク1での障害物と移動ロボットが停止した地点までの距離, 停止までの時間を表1に示す。距離がマイナスの値を取ったものは障害物と衝突後さらに停止まで移動した距離を示している。タスク1では操縦における時間, 障害物と移動ロボットが停止した地点までの距離に多少のばらつきが見られる。障害物に衝突した被験者も3人いた。結果には1mから-35cmの範囲でばらつきがあった。遅延の影響が約2秒であることを考えると, 時速2kmで走行した場合, 2秒で1m程度の差が生じるため, 妥当な範囲であるといえる。目標達成時間にはさほど差はでていないが, やはり時間をかけて操縦した人のほうが遅延時間内に進む距離が少ないためによい結果がでていることがわかる。

次にタスク2における結果について述べる。タスク2での目標地点到達にかかった時間を表1に示す。タスク2では目標地点到達にかかった時間にばらつきはあるものの, 軌跡にはさほど大きな差異は見受けられなかった。タスク2では被験者は回転を伴った前進を行って目標地点に到達する, もしくは回転して目標地点を正面に向けてから前進を行うことにより目標地点に到達することができる。本実験では多くの被験者が回転を伴いながら前進する方法をとった。これは目標地点までの距離があるため, 走行しながら方向を何度も変化させて正面に目標地点を持つことが可能であるからだと考えられる。

続いてタスク3における結果について述べる。タスク3での目標地点到達にかかった時間を表1に示し, 移動ロボットの軌跡を図7に示す。目標地点到達にかかった時間および軌跡にばらつきが見受けられる。タスク3では障害物を回避するために正確な操縦を行う技術が問われる。表1から分かるように, 目標を達成するのに時間のかかった人を見受けられた。これは障害物を避ける段階で切り返しを

繰り返す行い, または速度を落として確実に回避したためである。そして多くの被験者は障害物を回避するこのタスクは困難であるといっており, 理由として, ロボット周辺環境からのフィードバックが無いこと, 映像の解像度が低いこと, 距離感が掴み辛いことなどを挙げていたが, やはり一番大きな要因として遅延を挙げていた。

7. まとめ

本稿では歩行動作と没入型ディスプレイを用いたネットワークを介した移動ロボットの遠隔操縦システムを提案し, 実際に作成したシステムの動作実験を行った。

今後の展望として, 遅延を考慮し, 移動ロボットにセンサ類を装着して移動ロボットが自律的に障害物を回避もしくは手前で静止する, 映像提示側にはCGで歩行動作によって移動ロボットが現在存在していると思われる位置を表示することなどが挙げられる。

参考文献

- [1] tmsuk, <http://www.tmsuk.co.jp>
- [2] 米田, 山澤, 竹村, 横矢, “全方位動画像からの両眼ステレオ画像生成による移動ロボットの遠隔操縦,” 信学技報, PRMU2000-107, Nov.2000.
- [3] 宅間, 中, 星野, 加賀美, 稲葉, 井上, “ポータブルネットワークロボットの開発とそれを用いた遠隔対話システム,” ロボティクス・メカトロニクス講演会'00講演会講演論文集, pp.2P1-35-047, 2000.
- [4] 山澤, 八木, 谷内田, “移動ロボットのための全方位視覚センサ HyperOmni Vision の提案,” 信学論, Vol. J79-D-II, No.5, pp. 698-707, 1996.
- [5] H. Iwata, “Walking About Virtual Environments on an Infinite Floor,” Proc. IEEE Virtual Reality '99, pp.286-293, 1999.
- [6] A. Ogawa, K. Kobayashi, O. Nakamura, and J. Murai, “Design and Implementation of DV Stream Over Internet,” Proc. IWS Internet Workshop, No. 99EX385, 1999.
- [7] 山澤, 尾上, 横矢, 竹村, “全方位画像からの視線追従型実時間画像生成によるテレプレゼンス,” 信学論, Vol. J81-D-II, No.5, pp.880-887, 1998.

表1: タスクにおける目標達成時間と停止地点から障害物までの距離

タスク	操縦者	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k
1	目標達成時間(sec)	14	16	12	22	17	12	13	22	15	11	-
	停止地点から障害物までの距離(cm)	1	-35	40	-5	70	35	100	-10	10	90	-
2	目標達成時間(sec)	23	18	22	19	35	42	26	43	26	21	-
3	目標達成時間(sec)	41	93	91	70	130	132	50	50	71	-	30

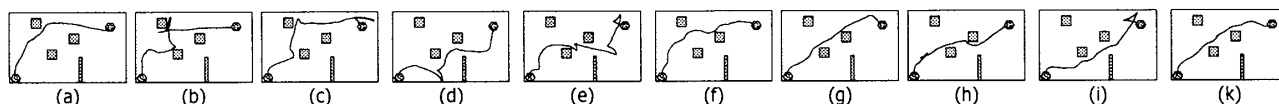


図7: タスク3の遠隔操縦実験における移動ロボットの軌跡