

移動体間を結ぶ光通信機構の実装*

4N-5

中村 淳

矢向 高弘

安西 祐一郎†

慶應義塾大学‡

1 はじめに

ロボットを含めた移動体の無線通信には、電波が利用されることが多い。しかし、電波を用いた通信機構で大量データ伝送を行なうと、帯域の長時間専有という問題が生じる。したがって、移動体通信の手段を通信用途に応じて変化させることを考える必要がある。本研究では、大量データ通信に光通信を用いることを提案する。ここでの光通信とは、光を用いた空間伝送を示す。移動体通信に光通信を用いるのは、光軸合わせが困難なため、不向きのように思われる。しかし、電波通信を用いて光軸合わせの支援を行なうことにより、光通信を効率的に行なうことが可能になる。本研究では、光通信機構を移動体通信に適用するため、移動体間での光軸合わせを行なうアルゴリズムを提案し、自律移動ロボット Einstein I 上に設計、実装する。

2 光通信の必要性

近年、ロボットに、より高度な機能を持たせるための研究が盛んである。その一例として、ロボットに視覚機能をもたせ画像処理を行うことにより、より高度な能力を持ったロボットとする研究が行なわれている [1][2][3]。

しかし、ロボットが視覚機能や他の機能を持つにつれて、ロボット間やロボット-ワークステーション間で画像データの交換を行なう必要性が生じる。画像データは巨大であるため、データ伝送に時間がかかる。これは、一つのチャネルを複数の局が利用する電波通信では、長時間チャネルを専有することになり通信効率が悪くなるという問題が生じる。この問題を解決するため、大量データ伝送に光通信を用いることを考える。光には指向性があるため、電波による通信のようにチャネルを専有することはない。したがって光通信は、電波通信よりも大量のデータ伝送に適している。

3 光軸合わせの概要

3.1 光軸合わせを行なう上での仮定

光軸合わせを考える前に、次のような仮定を設ける。

- 光軸の高さは常に一定であるものとする
- 通信する2台のロボットは光の届く範囲内に存在する
- ロボットは、自分の位置情報 (x, y, θ) を保持している

3.2 光軸合わせの方法

光軸合わせをする際には、次の点を考慮しなければならない [4][5]。

- 光軸合わせ時間の短縮
- 周囲の通信に影響を与えない

光軸合わせの時間短縮をするためには、送信機、受信機それぞれの走査する範囲を小さくすることが重要である。光軸合わせの方法として次の3通りが考えられる。

1. 送信機に周囲全体へ向けて発光させ、受信機を回転させることにより光軸を合わせる
2. 受信機に周囲全体からの受信を可能にし、送信機を回転させながら光ビーコンを出すことにより光軸合わせをする
3. 位置情報を電波を用いて送信することにより光軸を相手の方向に向け、電波通信によるフィードバックを用いて微調整することにより光軸合わせをする

1の方法は、周囲全体に向けて発光することが周囲の通信に影響を与えてしまうため好ましくない。2の方法は、周囲からの余計な通信を受けてしまう。3の方法は、1、2の方法に比べ周囲の影響に関与しないと思われる。また、光通信部をそのまま光軸合わせに使用でき光通信機構が簡単になると思われるため、今回はこの方法を採用した。

3.3 光軸合わせアルゴリズム

光軸合わせアルゴリズムを述べる前に、次のような定義をする。ロボットは、光軸合わせをする際、通信相手のロボット Id と自分の光送受信機の方角を表す角度情報を、ビーコン光として送信するものとする。また、ビーコン光を受信した時、ビーコン光で送られてきた角度情報を相手に電波通信でフィードバックするものとする。さらに、相手が存在している範囲を不確定視野角 Ω_u 、光送受信機の調整可能な角を調整角 θ_{mv} 、受信可能な最小角を受信限界角 Ω_{min} 、光ビームの広がり角を半値角 θ_0 とする。ただし、 $\theta_{mv} \geq \frac{1}{2}\theta_0$ 、 $\Omega_u > \Omega_{min}$ とする。

まず、送信側ロボットについての光軸合わせアルゴリズムを述べる。

1. 電波通信を用いて自分の位置情報 (x, y, θ) を相手に伝える。そして、電波通信で受信した相手の位置情報に基づき相手の存在している方向に光送受信機を向け、電波通信により相手に光送受信機移動完了通知を送る。そして、相手からの電波通信による光送受信機移動完了通知を受信するまで待つ。
2. 光送受信機は、 θ_{mv} ずつ回転しながら Ω_u の範囲でビーコン光を送信する。光送受信機が Ω_u の範囲を全て移動したら、ビーコン光走査完了通知を電波通信で相手に伝え、光送受信機移動完了通知を待つ。

*Optical communication system between mobile robots

†Atsushi NAKAMURA, Takahiro YAKOH, Yuichiro ANZAI

‡Keio University

3. 相手からの電波通信によるフィードバック情報を受信するまで、2を繰り返す。もし、 Ω_u を往復した回数 N が、 $\frac{1}{2}N > \Omega_{min}$ になってもフィードバック情報を受信できない場合は、 Ω_u の範囲を広げ、エラー通知を電波通信で送り1からやり直す。
4. 相手からのフィードバック情報から得られる角度情報に従い光送受信機の方角を合わせ静止し、相手に電波通信で光送受信機移動完了通知を伝える。そして、不定視野角 Ω_u を狭め、ビーコン光を出し続ける。
5. 相手からビーコン光走査完了通知が届いた場合、光送受信機は、 θ_{mv} だけ回転する。もし、狭められた Ω_u の全範囲を移動するか、タイムアウト時間 T_{out} を過ぎてもビーコン光を受信できない場合は、エラー通知を電波通信で送り2からやり直す。
6. ビーコン光を受信したら、ビーコン光で送られてきた角度情報を電波通信で相手に伝える。
7. 相手からの電波通信による光送受信機移動完了通知が届いたら、光通信で相手に光軸合わせ終了通知を送る。そして、相手からの光通信による光通信準備完了通知を受信したら、光通信を開始する。もし、タイムアウト時間 T_{out} を過ぎても光通信準備完了通知を受信できない場合は、エラー通知を電波通信で送り、不定視野角 Ω_u を狭め、2からやり直す。

次に、受信側ロボットの光軸合わせアルゴリズムを述べる。

1. 送信側の時の1と同じ。
2. 相手からの電波通信によるビーコン光走査完了通知を受信したら、光送受信機は、 Ω_{min} だけ回転する。もし、 Ω_u の全範囲を移動するか、タイムアウト時間 T_{out} を過ぎてもビーコン光を受信できない場合は、 Ω_u の範囲を広げ、エラー通知を電波通信で送り1からやり直す。
3. ビーコン光を受信した場合、ビーコン光で送られてきた角度情報を電波通信で相手に伝える。そして、相手からの電波通信による光送信機移動完了通知を待つ。
4. 光通信機を θ_{mv} ずつ回転しながらビーコン光を送信する。相手からの電波通信によるフィードバック情報を受信する前に、相手からのビーコン光を受信できなくなった場合、逆回りに光通信機を回転させる。それでも、光軸が合わない場合は、ビーコン光走査完了通知を電波通信で相手に送り、2からやり直す。また、 Ω_u の全範囲を移動するか、タイムアウト時間 T_{out} を過ぎても相手からの電波通信によるフィードバック情報を受信できない場合は、エラー通知を電波通信で相手に送り、1からやり直す。
5. 相手からの電波通信によるフィードバック情報から得られる角度情報にしたがい光送受信機の方角を合わせ、相手に電波通信で光送受信機移動完了通知を伝える。そして、ビーコン光を出し続ける。
6. 相手からの光通信による光軸合わせ終了通知が届いたら、光軸合わせを終了する。そして、光通信により相手に光通信準備完了通知を送る。もし、タイムアウト時間 T_{out} を過ぎても光軸合わせ終了通知を受信できない場合は、エラー通知を電波通信で送り、不定視野角 Ω_u を狭め、2からやり直す。

4 光通信機構の実装

光送受信機は、送信部に赤外線 LED を、受信部に PIN フォトダイオードを用いており、双方向通信可能、最大伝送速度 10Mbps、変調方式は、ベースバンド変調である。また、赤外線 LED は、半値角 ± 10 度ものを使用した。

光送受信機は、我々の研究室で開発した自律移動ロボット Einstein I の中央部に固定され、ロボットの回転により、向きを変えるようにした。光通信機構を実装した自律移動ロボット Einstein I の仕様を表 1 に示す。Einstein I 上には、同様に本件研究室で開発された OS PULSER が実装されている。そして、光送受信機間の距離 0.5m において、前述の光軸合わせアルゴリズムに従い光通信をロボット間で行い、移動体間での光通信が可能であることを確認した。

制御部：	CPU 東芝 TMP68301 × 1(モトローラ MC68000 互換、含むシリアルインタフェース×3、パラレルインタフェース×1、タイマ×3)
駆動部：	パルスモータ×2
センサ部：	超音波センサ×4
通信部：	無線(電波)通信機×1、TNC モデム×1
その他：	電磁石ハンド×1

表 1: 自律移動ロボットの仕様

5 まとめ

自律移動ロボット間に光通信機構を導入するため、電波によるフィードバックを利用した光軸合わせアルゴリズムを提案し、実装した。実験の結果、光通信も移動体の無線通信の一つとして使用可能であり、通信系の通信効率をあげる手段の一つになり得ることが分かった。

参考文献

- [1] 石黒 浩：移動ロボットの視覚システム，日本ロボット学会誌，Vol.10, No2, pp.159-164, 1992.
- [2] 佐藤 宏介，井口 征士：3D 視覚センサ，日本ロボット学会誌，Vol.10, No2, pp.171-177, 1992.
- [3] 谷内田 正彦：ロボットビジョンの概要と今後の展望，日本ロボット学会誌，Vol.10, No.2, pp.140-145, 1992.
- [4] 森永 規彦：光通信理論とその応用，光通信理論研究会，pp333-362, 1988.
- [5] 滝田 好宏，肥田 祐司，背戸 一登：光追尾サーボを用いた自立走行ロボットの制御，日本ロボット学会誌，Vol.10, No.3, pp.361-366, 1992.