

局所的通信システムにおける 光強度に基づくデバイス間の相対位置推定

新井 義和（ソフトウェア情報学部、准教授）、佐藤 凌（ソフトウェア情報学部、学生）、
清野 寛幸（ソフトウェア情報学部、学生）

<要旨>

著者らが開発している空間的にシームレスな局所的通信システムでは、送受信機が常に回転しており、信号を受信した方向は、その信号を送信した周囲のロボットが存在する方向を表す。しかし、同システムにおける通信の有無によって認識されるその存在方向は、通信の際に分割された通信領域ごとの分解能にとどまっていた。本研究では、通信媒体として用いる赤外光の受光強度に基づいて相手のロボットが存在する方向をより精細に認識する手法を提案する。

1 研究の概要

複数台のロボットが自律的に協調作業を行う場合、ロボット同士の衝突回避が重要な課題となる。効率的に衝突回避を実現するためには、周囲のロボットの現在位置や移動速度ベクトルを取得し、相手の行動を考慮することが望ましい [1]。周囲の物体の移動速度ベクトルを推定する手法は、数多く研究されている [2]。しかし、移動速度ベクトルは、推定するより通信で直接情報を交換した方が高い精度が期待できる。これに対して、著者らはロボット間の局所的通信によって周囲のロボットの移動速度ベクトルおよびその存在方向を認識する手法を提案している [3]。すなわち、図 1 に示すように、赤外線発光素子および受光素子をモータで回転することによって空間的にシームレスな局所的通信システムを開発している。従来は、おおよそ楕円形の指向性を持つ複数の素子を放射状に配置して全周方向の指向性を確保していたが、それらの素子間には、わずかに指向性の谷間が発生し、連続的な通信が不可能であった。これに対して、同通信システムでは、あらゆる方向に等距離の通信可能範囲を確保することが可能となる。図 2 に同通信システムの試作システムを示す。本試作システムでは、土台の上にモータが設置され、モータのロータに送信機が固定されており、モータの回転が直接送信機に伝達される。さらに、送信機が減速機の入力軸に、減速機の出力軸が受信機にそれぞれ固定されており、モータの回転が減速機で減速された後に受信機に伝達される。結果として、送信機と受信機は減速機の減速比に応じて異なる速度で回転する。本システムでは、送受信機が常に回転していることから、信号を受信した方向は、その信号を送信した周囲のロボットが存在する相対的な方向（以下、ロボットの存在方向）として認識できる。同時に、ロボット同士が接近して互いの通信可能範囲に入ると、通信によってロボット間で互いの移動速度ベクトル情報を直接交換することができる。ただし、本システムでは、ロボット間の距離を直接計測することができないことから、本システムによ

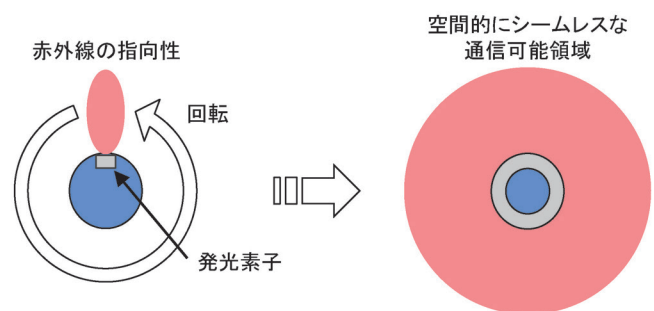


図 1：空間的にシームレスな局所的通信システムの概念

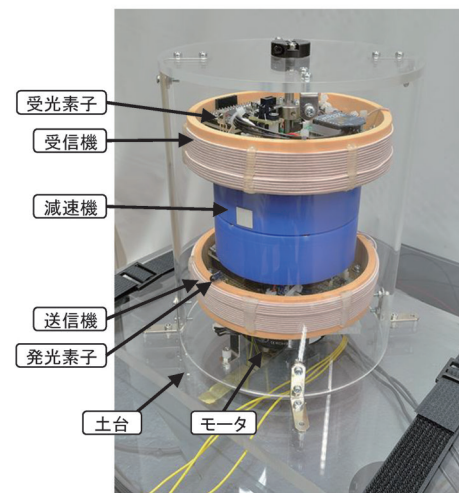


図 2：試作システム

って得られた周囲のロボットの移動速度ベクトルおよび存在方向の時系列情報に基づいて相手のロボットの相対位置を推定していた [4]。時刻 $t-1$ におけるロボット A の位置を原点とした座標系における同ロボットと周囲ロボット B との位置関係を図 3 に示す。時刻 t におけるロボット X の位置を P_X 、移動距離を d_X 、移動方向を θ_X 、移動ベクトルを $m_X(d_X, \theta_X)$ とする。ただし、 $X=A, B$ である。移動ベクトルは移動速度ベクトルに通信間隔を乗ずることによって算出される。また、時刻 t のロボッ

ト A を基準とするロボット B の相対的な存在方向を ϕ_t とする。これらの、時刻 t までに得られる時系列の各情報に基づいて、ロボット B の相対位置を推定する。しかし、同相対位置推定手法においては、通信の際に設定されるロボットの周囲の通信領域の分解能が通信速度とトレードオフの関係にあることからやみくもに詳細に設定することができず、認識される周囲のロボットの存在方向が離散的であるがゆえに、推定される相対位置の精度に課題が残された。

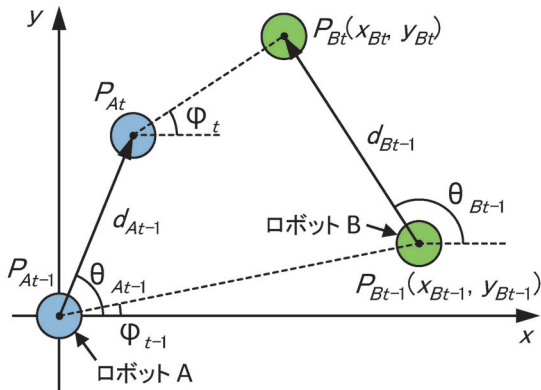


図 3: 2 台のロボット間の位置関係

本研究では、通信媒体として用いる赤外光の受光強度に基づいて、相手のロボットが存在する方向をより詳細に検出する手法を提案するとともに、それらを実現するための新しい受光部を実装する。

2 研究の内容

空間的にシームレスな局所的通信システムで認識される周囲のロボットの存在方向が離散的なのは、ロボットの周囲の設定された通信領域ごとに伝送している送信方向に応じた情報の授受によってそれを認識しているからである。送信情報をデジタル信号にエンコードしてパルス状の赤外光によって通信を行っていることから、同領域内では同一の情報しか得られず、言い換えれば、その情報を受信したとき、その領域のどこかに相手のロボットが存在することのみを認識することが可能である。

本研究では、より詳細に相手のロボットの存在方向を認識するために、受光強度の変化に注目する。同通信システムでは、送信機および受信機のいずれもが回転していることから、発光素子および受光素子の指向性に基づいて、両者が正対した瞬間に最も強い光が受光され、その瞬間から離れるにつれてその強度は小さくなる。すなわち、受光強度を時系列で観測したとき、発光素子および受光素子が正対した瞬間をピークとする山型の分布を示すことが予測される。

前述の通り、従来のシステムでは、パルス状の信号を授受することによって通信を実現している。送信信号は

38 [kHz] の搬送波で変調されており、受光素子には同周波数のバンドパスフィルタによって復調した信号をコンパレータによって 2 値化する機能を持った素子を使用している。この受光素子では、受光強度を連続的に検出することが不可能なため、通信のための受光素子とは別に、信号をアナログ的に処理する受光部を導入する。そのブロック図を図 4 に示す。受光素子には受光強度の変化を電圧の変化として出力するフォトダイオードを使用する。フォトダイオードの出力には、38 [kHz] の搬送波が重畳されているため、そのまま電圧をサンプリングするには適さない。したがって、同搬送波を除去するために包絡線検波を行う。ここで得られた包絡線が、送信信号を受け取った際の受光強度の変化を表している。この受光強度を A/D 変換することによってサンプリングし、極大値を検出する。受光強度が極大値を示した時点が発光素子と受光素子が正対した瞬間であり、そのとき受信素子が向いていた向きが相手のロボットの存在方向である。

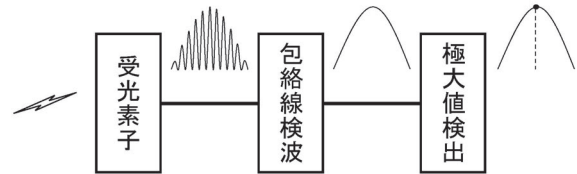


図 4: アナログ受光部のブロック図

受光強度は、発光素子と受光素子が向き合う角度だけでなく、両者の距離によっても変化する。すなわち、距離が近いと受光強度の分布が全体的に大きな電圧を示し、遠いと小さな電圧を示す傾向がある。両者間の距離、すなわちロボット間の距離はロボットの移動に応じて常に変化するため、少なくとも設定された通信可能範囲内のすべての距離に対応する必要がある。距離が近すぎれば、受光強度に応じて変化する電圧が、A/D 変換の入力レンジを超えて、その部分が最大レンジで飽和するため、極大値を適切に検出することができない。一方、遠すぎれば、受光強度の分布が小さくなることから、ノイズに埋もれて、極大値を適切に検出することができない。これらの問題に対して、図 5 に示すように、受光素子の出力を複数の系統に分配し、それぞれの系統にゲインの異なる増幅器を設置した上で、それぞれを A/D 変換してサンプリングすることによって最も適した分布を選択する。すなわち、A/D 変換の最大入力レンジ付近に閾値を設定し、その閾値を超えたサンプル点をカウントする。そのカウント値が大きい分布は、距離が近すぎて入力電圧が飽和していることを示している。このカウント値が小さくて、かつ最も大きなゲインによって増幅された信号から得られた分布を最も適した分布とする。

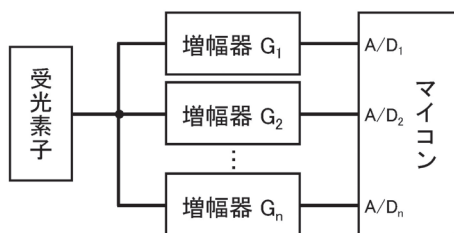


図 5：最適な分布の選択

3 これまで得られた研究の成果

3.1 アナログ受光部の実装

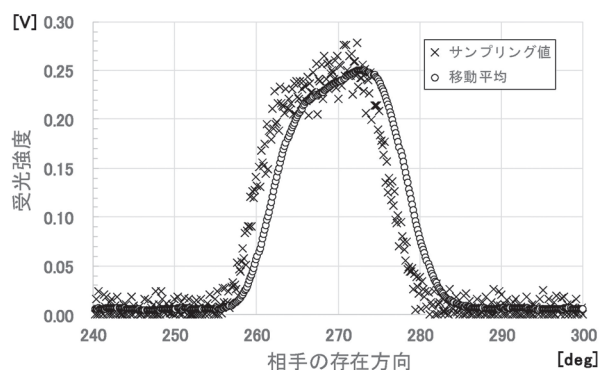
本研究で開発したアナログ受光部の詳細を以下に示す。図 2 に示した試作システムの諸元は表 1 の通りである。同試作システムでは、送信機を直接接続されているモータで 1,920 [rpm] の速度で回転している。この速度を減速機で減速して受信機は 240 [rpm] の速度で回転している。また、受信素子として SHARP 社製 PT480F を採用しており、その指向性は ± 13 [度] である。以上の条件から、瞬間的な正対の状況を適切にサンプリングするために、100 [μsec] 毎、すなわち 0.144 [度] 毎の分解能で A/D 変換を行ってサンプリングすることとした。

表 1：試作システム諸元

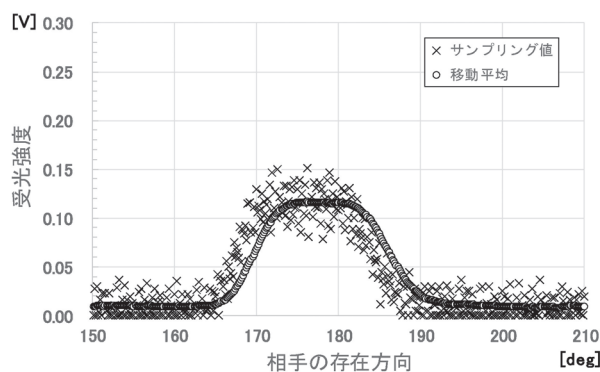
送信機回転速度	1,920 [rpm]
受信機回転速度	240 [rpm]
減速比	8
空間分解能	45 [度]
通信速度	0.53 [bps]

3.2 サンプリング実験

開発したアナログ受光部を用いて、周囲のロボットからの送信信号の受光強度を観測する実験を行った。図 6 に実験結果を示す。同図 (a) は、270 [度] 方向に通信相手のロボットを配置、同図 (b) は同様に 180 [度] 方向に配置した例である。これらの図に示すように、生のサンプリング値には、高周波のノイズが混入していることが分かった。したがって、極大値を境に単調増加および単調減少となるよう 31 点の移動平均をとることによってローパスフィルタをかけることとした。結果として、フィルタ後の受光強度は、15 点のサンプル分、すなわち 2.16 [度] だけ位相が遅れるとともに、いずれもおおよそ山型の分布を示していることが分かる。検出された極大値が得られた存在方向は、同図 (a) の場合で 272.91 [度]、同図 (b) の場合で 179.74 [度] であることから、その認識誤差は、ローパスフィルタによる位相遅れを考慮して、それぞれ 0.75 [度]、-2.42 [度] であった。これは、表 1 に示す送信情報の切り替えの空間分解能 45 [度] と比較すると大きく精度が向上したといえる。



(a) 270 [度] 方向に通信相手を設置



(b) 180 [度] 方向に通信相手を設置

図 6：実験結果

4 今後の具体的な展開

本研究では、著者らが開発してきた空間的にシームレスな局所的通信システムを用いて周囲のロボットの相対位置を推定するために必要な情報の一つである同ロボットの存在方向をより精細に検出する手法を提案した。結果として、 ± 3 [度] 程度の誤差で周囲のロボットの存在方向を検出することが可能となった。ここで示した実験結果は、静止している 2 台のロボット間で検証した。今後の課題としては、実際に移動しているロボット間で、互いの存在方向ならびに両者間の距離が刻々と変化する状況において、リアルタイムに互いの存在方向が検出できるかどうかの検証が不可欠である。リアルタイムで得られたそれらの状況に応じて互いの相対位置を実際に推定する実験を通じた検証を行う。

5 論文・学会発表等の実績

なし

6 受賞・特許

なし

7 参考文献

- [1] 新井義和, 藤井輝夫, 浅間 一, 鈴木昭二, 嘉悦早人, 遠藤 勲: “群ロボット環境における局所的通信に基づく衝突回避”, 日本ロボット学会誌, vol. 19, no. 1, pp. 45-58, 2001.
- [2] 奥村 亮, 竹村 裕, 溝口 博: “LRF を用いた追従対象の速度ベクトル推定 – 一緒に散歩してくれるロボットを目指して–”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 '10 講演論文集, 2A2-D2, 2010.
- [3] 菅原 誠, 新井義和, 今井信太郎, 猪股俊光: “空間的にシームレスな局所的通信システムにおける回転する送受信機の通信性能の検証”, 第 58 回自動制御連合講演会, 1G1-3, 2015.
- [4] 佐藤 亮, 新井義和, 今井信太郎, 猪股俊光, “局所的通信システムを用いた時系列情報に基づく周囲ロボットの相対位置推定”, 情報処理学会第 78 回全国大会, pp. 3-419-3-420, 2016.