

# 「空間的にシームレスな局所的通信システムの 実用化に向けた小型化および通信特性の検証」

新井 義和（ソフトウェア情報学部、准教授）、  
赤川 徹朗（ソフトウェア情報学研究科、学生）

## <要旨>

著者らが開発してきた赤外線を通信媒体とした局所的通信システムは、物理的な隣接関係にある機器間のみで通信することから、輻輳を気にすることなく複数の通信を同時に実現可能であり、送信方向に応じて異なる情報を送信可能であるという電波を用いた通信では実現できない大きな特徴を備えている。さらには、送受信素子を回転することによって、通信不感帯が存在しない空間的にシームレスな通信を実現している。本研究では、第一に通信品質の向上に向けた改良方法の検討ならびに改良したシステムの通信特性を検証する。第二に本局所的通信システムの実用化に向けた小型化を目指す。

## 1 研究の概要

複数のロボットが同一空間で作業する群ロボット環境においては、ロボット間で互いの衝突を回避する動作が必要不可欠である。衝突回避を効率的に行うためには、相手の位置だけでなくその行動を考慮することが望ましい。これに対して、鈴木ら [1] は、赤外線を通信媒体として用いた局所的通信システムを構築し、ロボット間で互いの行動情報を直接交換する手法を提案している。この手法では、二次元平面上を移動するロボット同士が全周方向に存在するロボットと通信するために、各ロボットに複数の赤外線送受信素子が放射状に配置されている。しかし、このような構成では、隣接した素子同士の指向性の谷間に通信不感帯が生じるという課題が存在する。また、送信方向に応じて情報を切り替える際の分解能が、配置する素子の数に依存することから、ロボットの設計段階でその分解能が決定されるため、アプリケーションに応じて自由に変更することが困難である。

Kemppainen ら [2] は、各ロボットから発信されたパルス信号をシームレスに検出することによって、ロボット間の位置関係を認識するシステムを提案している。送信機に円錐ミラーと赤外線送信素子を設置し、赤外線送信素子から発信されるパルス光を円錐ミラーに当てて反射させることによって、ロボットの全周方向に同パルスを送信する。一方、受信機には回転する台座とミラーが設置されており、そのミラーを介して全周方向からのパルス光をシームレスに受信する。しかし、このシステムでは、全周方向に対して固有周波数のパルスを送信するのみであるため、情報の伝送までは意図されていない。

これらの課題に対して、著者らは、図 1 に示すように赤外送信機と受信機をそれぞれ回転させることによって、空間的にシームレスな局所的通信システムを開発してきた [3]。しかし、同システムでは通信速度が送受信機の物

理的な回転速度に依存することから、やみくもに高速化することができず、その通信速度は十分とは言い難い。

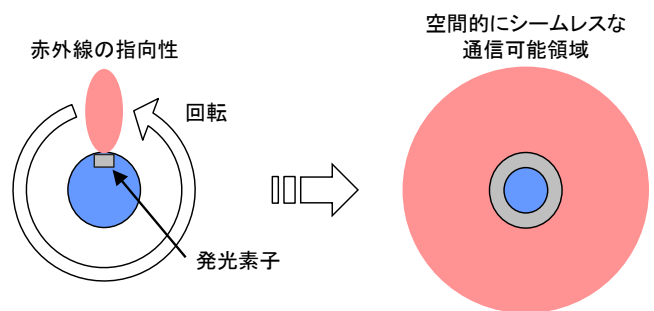


図 1: 空間的にシームレスな局所的通信システムのご概念

同システムの通信速度を改善するために、送信信号を重畳する搬送波に対して複数の周波数を適用させて信号を多重化してフレーム長を短縮する手法を提案した [4][5]。これらの研究では、図 2 に示すように 1 種類の周波数  $f_1$  からなる搬送波でヘッダ部を表し、4 種類の周波数  $f_2 \sim f_4$  からなる搬送波をデータ部に導入することによって、8bit 情報を 3 つのパルスで構成した。このフレーム構造を用いた送受信機の試作機 (図 3) を製作し、互いに回転させた状態で送受信機間の距離を変えながら通信実験を行った結果、10 倍に通信速度が向上した。しかし、図 4 に示すようにその受信成功率は平均 70 [%] 程度であり、通信が不安定であった。本論文では同局所的通信システムの実用化を目指して、その通信特性の向上ならびに小型化に取り組む。

## 2 研究の内容

図 4 の通信特性に基づいてシステムの構成を再確認した結果、4 つの問題点を見出し、その対策を検討した。

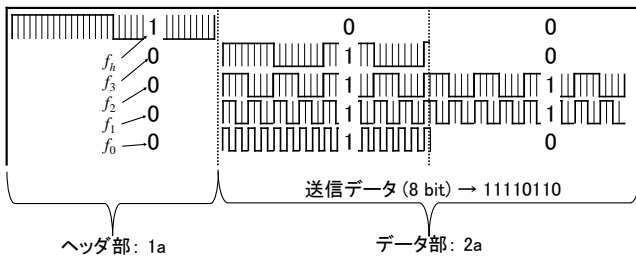


図 2：送信信号のフレーム構造

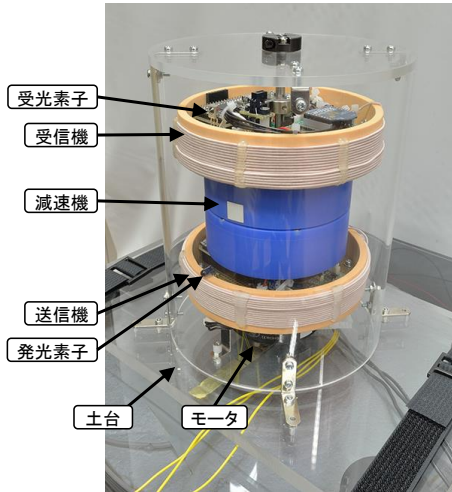


図 3：試作システム

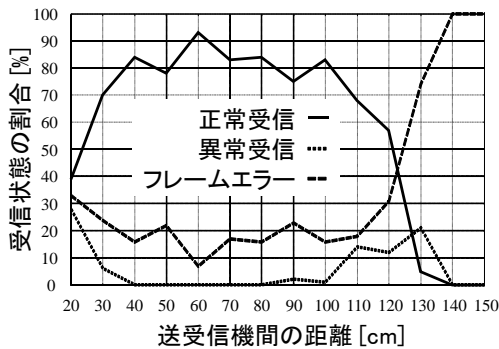


図 4：従来手法による通信特性

それぞれについて、以下に示す。

## 2.1 ノイズの発生

本システムでは送受信機は常時回転しながら通信を行っているため、送受信素子が正対してデータの送受信が行われている間にも、受信機に対する送信素子の向きは変化する。同時に送受信素子にはそれぞれの指向性の幅があることから、受信素子には正対の位置を通り過ぎて向きが傾いた送信素子からも信号が受信される。このとき、指向性の外側に近づくほど信号の受信強度は弱くなり、結果として信号の有無を判定する閾値付近に受信強度が重なった結果、ノイズが発生する。送受信機が正対する前にも同様の条件が成立することから、送受信素子の正対の前後にノイズが含まれることになる。

この問題に対して、第一に受信機において閾値によって信号の有無を判定する素子として、従来のコンパレータの代わりにシュミットトリガ付きのバッファを導入する。結果として、立ち上がり時により大きな値が、立ち下がり時にはより小さな閾値が設定されるため、ノイズの発生を軽減できる。第二に、ノイズが混入した受信信号に対しても正常に搬送波パルスを認識可能とするよう、デコード手法に改良を加える。従来の搬送波パルスの認識は、受信した波形に含まれる ON パルスの幅をそれぞれ記録しておき、その中でパルス幅が最長であったパルスを搬送波パルスと認識する。この際の搬送波パルスの識別を行うタイミングは、搬送波の抽出処理で ON パルスを検出するたび、すなわち、新しい ON パルスの幅が記録されるたびに行われていた。しかし、ノイズを含む受信信号においては、不完全なパルスに対しても上記識別を行うこととなり、通信品質の低下を招いていた。以上の検討に基づいて搬送波パルスの認識タイミングを以下のように調整する。

素子の正対状態判定：受信信号の立ち上がりを検知した場合、信号を受信したとして送受信素子が正対していると判断する。

素子の未正対状態判定：受信信号のサンプリング中、一定時間以上の OFF を連続して受信した場合、送受信素子が正対していないと判断する。

搬送波パルスの認識のタイミング：正対状態から未正対状態へ遷移した場合、送受信素子が正対し終えたと判断して、これまで受信した ON パルスのパルス幅に基づいて搬送波パルスを識別する。

## 2.2 領域内の受信不可範囲の発生

図 3 に示す試作システムでは、空間分割の分解能を 45 [deg] と設定するために、送受信機の回転速度を 1920 [rpm] と 240 [rpm] の 8:1 の比率としている。したがって、受信機が 1 回転の 1/8 である 45 [deg] 回転するごとに、送信機が 1 回転することになり、受信機の全周を分解能ごとに分割した個々の受信領域を受信素子が通過する間に、同領域内に送信素子が存在すれば、送受信素子が正対することが保証される。しかし、受信機の受信素子 SFH2500FA の指向性は  $\pm 10 \sim 15$  [deg] であり、上記分解能と受信素子の指向性が完全に一致していないことから、受信領域内に受信不可能な範囲が発生する。

この問題に対して、より広い指向性を持つ受信素子を選定した。求められる指向性は、受信素子の向きが次の領域へと切り替わった瞬間、切り替わり後の領域全体に受信素子の指向性が展開できることが条件となる。したがって、システムの空間分割の分解能に合わせて、受信素子 SFH205FA (指向性  $\pm 45$  [deg]) を採用した。

### 2.3 回転速度の誤差による正対タイミングのずれ

送受信機の回転速度には少なからず誤差が存在することから、受信機の周囲の各受信領域内における送受信素子の正対タイミングは前後する。すなわち、送受信素子の正対タイミングがずれた結果、1つの受信領域内で2回送受信素子が正対するケースが発生する。また、そのケースでは、いずれかの正対時間が極端に短くなることから、送信機からの信号を正常に受信できない。

この問題に対して、搬送波パルスの認識のタイミングにおける判定基準に正対時間の概念を付け加える。送受信素子が1回の正対ですれ違うまでにかかる時間は、用いている送信素子の指向性と送信機の回転速度から計算すると1.91 [ms]となった。また、正対し始め、正対し終わりのタイミングにはノイズが含まれる可能性があることから、搬送波パルスの認識に必要な ON パルスの数は3つ以上あることが望ましい。したがって、 $1/f_h$  の周期の3倍に当たる1.2 [ms] 以上の間、正対状態であった場合のみ搬送波パルスの認識を実行するように変更する。

### 2.4 近距離通信時の正常受信の低下

一般に、赤外線通信における受信強度は、通信距離が延びる程弱くなり、また、通信距離が縮む程強くなる。特に通信距離が短い場合は、受信機内の増幅によって受信信号が飽和することが、図4の送受信機間の距離20 [cm] 付近における正常受信の低下の原因である。

この問題に対して、受信素子にマイナス電源を供給することにより、周波数応答性の改善を通して、近距離の通信における受信信号の飽和の影響の軽減を図る。

## 3 これまで得られた研究成果

以上の4つの問題点に対する改良を試作機に適用した上で、図4と同じ環境で再度通信品質の評価実験を行った結果を図5に示す。通信距離が20~100 [cm] までの間の通信において、図4の通信品質よりも正常受信の割合が改善され、平均90[%]以上であることが確認できる。

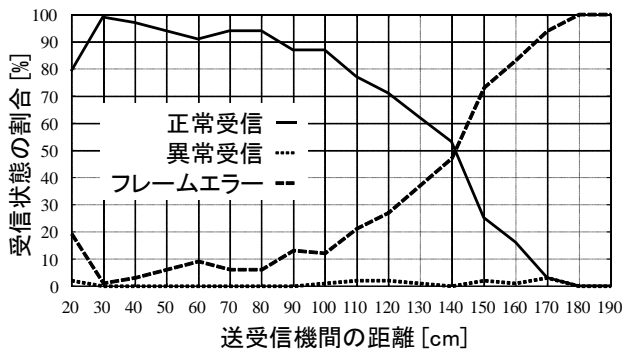


図5：提案手法による通信品質

一方、システムの小型化も推進した。回転している送受信機に対して有線で電力を供給することは困難であることから、本システムでは送受信機はワイヤレス給電システムによって電力を確保している。しかし、従来の給電システムは特に送電部を他プロジェクトから流用した背景から、その寸法は長さ330 [mm]、幅400 [mm]、高さ75 [mm] であり、図3に示す試作機における直径130 [mm] の円筒形の送受信機に対して送電部が大きくはみ出していた。ここで、本通信システム全体の小型化を目指し、送電部を新しく製作した。その寸法は長さ160 [mm]、幅160 [mm]、高さ145 [mm] となった。高さ方向の拡大が否めないものの、体積としては大幅な小型化が図られた。給電能力としては従来通りの5 [V] × 200 [mA] = 1 [W] を確保しており、送受信機を駆動するのに十分な性能を有している。

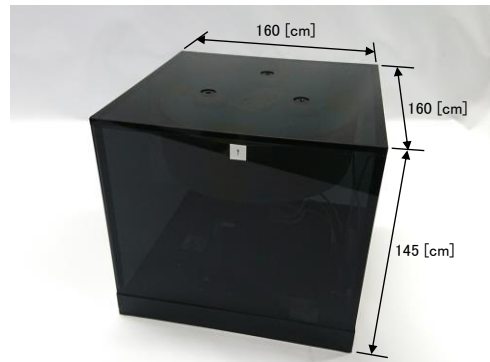


図6：小型化したワイヤレス給電送電部

## 4 今後の具体的な展開

今後は自己組織化ロボットへの搭載をターゲットとして同局所的通信システムの開発を進める。具体的には、自己組織化ロボットを構成する個々のモジュール間の通信に利用する。同モジュールは互いに結合・分離をくり返すことにより、任意の形状に再構成可能であることを特徴とすることから、周囲の任意の場所に存在する複数のモジュールとの通信を同時に行う必要があり、そのような通信を実現するために本局所的通信モジュールが適している。モジュールへの搭載のためには、さらなる小型化が不可欠であることから、本通信システムに備えられた機能から取捨選択を行うことによって、上記アプリケーションに特化したシステムへと改良を進めていく。

## 5 論文・学会発表等の実績

赤川徹朗, 新井義和, 今井信太郎, 猪股俊光, “信号多重化技術を用いた空間的にシームレスな局所的通信システムの小型化と通信品質改善”, ロボティクス・メカトロニクス講演会 '18 講演論文集, 2018. (発表予定)

## 6 参考文献

- [1] 鈴木昭二, 新井義和, 琴坂信哉, 浅間 一, 嘉悦早人, 遠藤 勲: “マルチ移動ロボット環境における衝突回避のための局所的な通信を利用したセンサシステムの開発”, 日本機械学会論文集 (C 編), vol. 62, no. 602, pp. 14-20, 1996.
- [2] Anssi Kemppainen, Janne Haverinen, Juha Röning: “An Infrared Location System for Relative Pose Estimation of Robots, Romansy 16 Robot Design Dynamics and Control”, Springer, pp. 379-386, 2006.
- [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通信性能の検証”, 第 58 回自動制御連合講演会, 1G1-3, 2015.
- [4] 赤川徹朗, 新井義和, 今井信太郎, 猪股俊光: “信号多重化技術を用いた空間的にシームレスな局所的通信システムの通信速度改善”, ロボティクス・メカトロニクス講演会, 1A1-E03, 2017.
- [5] 赤川徹朗, 新井義和, 今井信太郎, 猪股俊光: “信号多重化技術を用いた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を考慮したデコード手法”, 第 35 回日本ロボット学会学術講演会, 1H2-04, 2017.