

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 6 月 16 日現在

機関番号：25403

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2012～2015

課題番号：24560472

研究課題名(和文) 赤外線通信による移動ロボットネットワークのための時間空間分割型プロトコル

研究課題名(英文) Time-Space division protocol for mobile robot network using infrared communication

研究代表者

高井 博之 (Takai, Hiroyuki)

広島市立大学・情報科学研究科・助教

研究者番号：20264963

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、移動ロボットのための通信方式に関する研究である。本研究では三角形の幾何学的性質を利用して混信を抑制する。受信範囲を60°以下に制限した送受信素子を並べる。あるノードで混信が起きたとき、角が最大のノードでは混信は起きない、それゆえ、なす角が最大となるノードは他のノードとの通信を調停できると考えた。

この考案を確かめる実験装置の開発に取り組んだ。信号の到来方向の角度を検知するため光入射角センサを用いた。光入射角は受信信号強度を元に計算する。通信信号パルスの到来をトリガとし、光入射角の計算やデータの受信など実験装置が意図の通り動作することを確認した。

研究成果の概要(英文)：This study is a communication system for mobile robots. I had gotten an idea that a method of suppressing wireless communication interference using the geometric nature of the triangle. Each receiver has limited reception area to 60 degrees or less. When communication interference occurs on a node, the node that has the widest angle of the triangle does not occur interference. Therefore, the node that has the widest angle of the triangle can be arbitrating communications with other nodes. I tried to develop the experimental equipment to confirm this idea. In order to detect the arrival direction of the signal using incident angle sensor. The incident angle is calculated based on the received signal strength. It waits the arrival of a communication signal pulse as a trigger. The experimental equipment operates as intended, such the incident angle calculation and the data reception.

研究分野：メカトロニクスインタフェース

キーワード：通信方式 移動ロボット アドホックネットワーク 空間分割通信 並行送受信 空間光通信 赤外線通信

## 1. 研究開始当初の背景

放射能や有害物質に汚染された施設の除染や解体など、人の立ち入りが困難な場所で効率的に作業を遂行する一つの方法として、複数の移動ロボットによる協働を考えた。しかし、作業期間短縮のために作業空間に投入するロボットの台数を増やしたとき、ロボット同士の衝突も同時に増加し作業の遂行を妨げる。近接するロボットが相互に作業のタイミングを計ることができればロボットの衝突を減らし作業効率が向上すると考えた。

近接する移動ロボットが衝突を避け、効率よく作業を遂行するために、互いに作業のタイミングを計る方法の一つとして、移動ロボットの相互通信を考えた。従来、移動ロボットでは無線通信を用いるが、一般的な無線通信は周囲全方向に送信するため、通信相手だけでなく意図しない場所にも信号が届き、図1に示すような、隠れ端末問題やさらし端末問題と呼ぶ混信の原因になっていた。

混信を減らし効率よくロボットが作業するため、意図した相手とだけ通信する方法として、指向性通信を用いた移動ロボットの相互通信を考えた。指向性通信では、向い合う相手との通信が良好で混信に強い反面、異なる方向からの通信を取り逃す“デフネス”が起きる。本研究は、混信と“デフネス”を解消可能な、移動ロボット相互通信のための指向性通信について研究した。

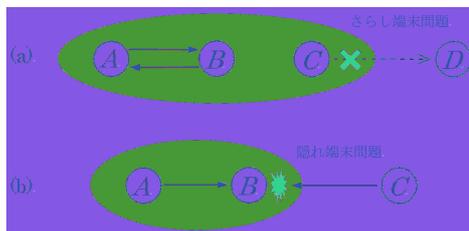


図1.無線通信の混信のモデル

## 2. 研究の目的

効率的に複数のロボットが協働するため、移動ロボット相互の通信の方式として指向性通信を用いることを検討した。指向性通信は、向かい合う意図した相手との通信が良好で混信に強い反面、異なる方向から来た通信を取り逃す“デフネス”が起きる。ここで、“デフネス”は、一つの指向性送受信器を意図した相手に向けたため、異なる方向からの信号を受けることができないことで生じる。そこで、複数の指向性送受信器を用い送受信範囲が360°となるように並べれば、異なる方向から来る信号をそれぞれ異なる送受信機で受信でき“デフネス”が解消できると考えた。研究代表者は、移動ロボット相互通信の方式として、複数の指向性送受信器を一つに組み合わせた空間分割型通信を考案した。

考案した空間分割型通信は、複数の指向性送受信器を一つに組み合わせて構成する。それぞれの送受信器が独立して送受信できるので、異なる方向から同時に来る

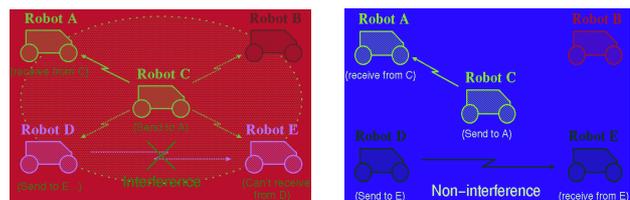
複数の信号を分離して受ける“並行受信”が可能となるので、“デフネス”が解消できる。本研究では考案した空間分割型通信の構成と機能を確認するため、送信器として赤外線LEDを、受信器として光入射角センサを用いた空間分割通信の実験装置を開発した。この実験装置を用いて混信や“デフネス”を減らし“並行受信”を実現するための制御プログラムや通信手順について検討した。

## 3. 研究の方法

本研究では、移動ロボット間の相互通信を想定した空間分割型通信の実験装置を開発し、混信を減らし同時に“並行受信”によって“デフネス”を解消する制御プログラムや通信手順について検討した。

### (1) 指向性通信による混信低減の原理

従来の無線通信では、周囲全方向に送信するため、通信相手だけでなく意図しない場所にも信号が届いて、混信の原因となっていた。そこで混信を解消する方法として、指向性通信を用いた移動ロボットの相互通信について検討した。図2に指向性通信を用いた混信抑制の概念を示す。



(a) 全方位通信の混信 (b) 指向性を用いた通信

図2.指向性通信を用いた混信抑制の概念

意図した相手に向けて信号を送る指向性通信は、全方位通信に比べて通信範囲が細く狭く制限されているので、意図しない場所には信号が届かない。それゆえ、同じ空間で作業するロボットとの混信を減らすことができると考えた。混信は、少なくとも通信範囲内に一つの受信ロボットと二つの送信ロボットがあり、一つの受信ロボットに向けて二つの送信ロボットが同時に送信した時に起こる。赤外線を用いた指向性通信実験装置を開発し、一つの受信ロボットに向けて二つの送信ロボットが同時に送信した時に起こる混信発生の様子を観察した。

### (2) 通信途絶対策

一般に指向性通信は互いに向い合っている必要があり、それぞれの向きにズレを生じれば通信が途絶する。それゆえ、それぞれが移動し位置を変える移動通信に指向性通信は不向きと考えられている。本研究では互いに移動しても指向性通信が維持できるように、複数の指向性送受信器を送受信範囲が360°となるように並べた空間分割型通信について研究した。

空間分割型通信で通信中のロボットの移動や回転を考える。指向性通信は通信範囲が制限されており、常に相手の方向に送受信器を向けなければならない。そのため、通信相手が周囲を廻るとき、空間分割型通信は適宜相手に向く隣接した送受信器に切り替えて通信を維持する。通信相手の移動方向を検知するため、受信器に光入射角センサを用いた実験装置を開発した。実験装置に組み込んだ受信切替回路の概念図を図3に示す。図の左側“IR receiver module”から受信信号が、下側“IR detector module”から到来方向符号がそれぞれ入力され、選択された受信信号が右側“Serial Interface”に出力される。

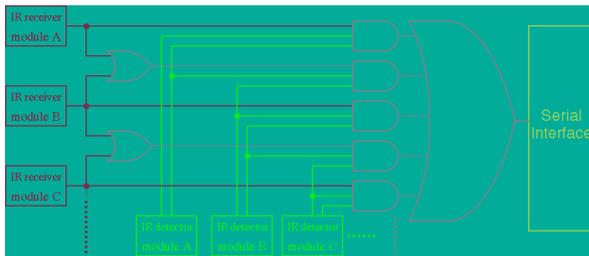


図3.空間分割型通信の受信切替回路の概念図

考案した空間分割型通信では、隣り合う受信器の受信範囲の端と端が重なるように配置する。通信相手が移動して向きが変わり、隣り合う受信器の受信範囲の間に来たとき、隣り合う受信器は同じ信号を受けると同時に到来方向符号でそれらの受信器の間の方向であることを示す。一時的に隣り合う二つの受信器で信号を受けることで通信の途絶を回避する。図3の空間分割型通信の受信切替回路の概念図において、隣り合う二つの“IR receiver module”に同じ信号が現れ、対応する隣り合う二つの“IR detector module”の到来方向符号がその間を指すとき、隣り合う二つの“IR receiver module”の出力信号の和信号を受信信号として扱う。これらの動作を論理回路シミュレーションで確認した。

### (3) “並行受信”機能の検討

図3に示した空間分割型通信の受信切替回路の概念図において、異なる方向の通信相手から来た信号は異なる“IR receiver module”の受信信号として現れる。しかし、一つの“Serial Interface”では一つの相手としか通信できない。そこで、受信切替回路と“Serial Interface”を多重化した“並行受信”機能の実装について検討した。“IR detector module”から来る到来方向符号の一部をマスクすることで、意図した方向からの信号を選択できる。

隣り合っていない“IR receiver module”の受信信号は、それぞれ異なる相手からの信号と推定できる。一方、隣り合う“IR receiver module”の出力信号は、同じ相手の信号なのか、それとも異なる相手からの信号な

のか容易に判断できない。そこで、対応する“IR detector module”から来る到来方向符号の並びで判断する。これらの動作を論理回路シミュレーションで確認した。

### (4) 幾何学的な通信の制御

混信は、少なくとも通信範囲内に一つの受信ロボットと二つの送信ロボットがあり、一つの受信ロボットに向けて二つの送信ロボットが同時に送信した時に起こる。そこで、それぞれのロボットの配置や角度について検討した。混信を生じた受信ロボットと送信ロボットでつくる三角形に着目した。三角形の内角の総和は $180^\circ$ で一定であるから、受信範囲を $60^\circ$ 以下に制限すれば、混信を減殺できると考えた。

考案した空間分割型通信では、複数の指向性送受信器を送受信範囲が $360^\circ$ となるように並べる。それぞれの受信範囲を $60^\circ$ 以下に制限すると、混信を生じたとき通信リンクのなす角が $60^\circ$ 以上になるロボットが一つ以上存在するので、通信リンクのなす角が最大となるロボットは混信することなく通信できる。そこで、混信の恐れがある通信リンクを使用しないよう、通信リンクのなす角が最大となるロボットを介して、ロボット相互の通信を調整する方法について検討した。図4に幾何学的な通信制御の概念図を示す。

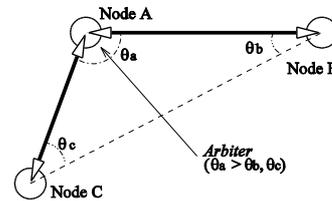


図4.幾何学的な通信制御の概念図

## 4. 研究成果

本研究では、移動ロボット間の相互通信を想定した空間分割型通信の実験装置を開発し、併せて、混信を減らすと同時に“並行受信”によって“デフネス”を解消する通信制御プログラムや通信手順を検討した。提案した空間分割型通信の実験のため、受信器に光入射角センサを用いる赤外線を使った実験装置の開発に取り組んだ。本研究では、赤外線の送信受信の制御や光入射角に基づく信号到来方向の検出、受信切替回路の制御など主としてOSI参照モデルの物理層、および、データリンク層MAC副層の一部に該当する部分の研究である。

### (1) 混信検出方法の検討

混信は、少なくとも通信範囲内に一つの受信ロボットと二つの送信ロボットがあり、一つの受信ロボットに向けて二つの送信ロボットが同時に送信した時に起こる。受信器にあたる光入射角センサ(浜松ホトニクス

S6560)に向けて、2つの赤外線 LED(キングブライト L-53F3BT)から調歩同期式通信のパルス信号を送信し、混信の発生を観察した。

光入射角センサは、感受した光の強度に応じて電流を出力する。オペアンプ(アナログデバイセズ AD8066)で1.0 M $\Omega$  を介して電流を電圧に変換し、さらに10倍増幅ののちコンパレータで閾値と比較、調歩同期式通信のパルス信号に復元した。パルス信号への復元は背景光の影響を強く受け、閾値を変動させる必要がある。混信の検出は、背景光の強度、閾値決定アルゴリズム、受信信号の強度が相対的に関係するので定量的に一意に決めることはできなかった。表1に二信号同時入感時の定性的なパルス検出結果を示す。二信号の受信信号強度差が大きく、一方がもう一方の10%以下の強度しかない場合、閾値より低くノイズとみなされ調歩同期式通信のパルス信号として復元できた。しかし、信号強度差が小さく、一方がもう一方の40%以上の強度がある場合は、どちらが正規の信号か判断ができないので調歩同期式通信のパルス信号として復元できなかった。閾値決定アルゴリズムの他に、誤りに強い信号符号化方式などの組み込みが必要と考える。

表1.二信号同時入感時のパルス検出の結果

信号強度差	パルス信号復元	光入射角度検出
大きい(10%以下)	大きい方(条件付き)	大きい方(条件付き)
小さい(40%以上)	不可	混乱

### (2)通信途絶対策と“並行受信”機能の検討

一般に指向性通信は互いに向い合っている必要があり、それぞれの向きにズレを生じれば通信が途絶する。そこで、複数の指向性送受信器を送受信範囲が360°となるように並べた空間分割型通信について検討した。図3に示した受信切替回路をFPGAに集積実装することを想定し、FPGA開発ツールを用いてシミュレーションを行った。このシミュレーションでは良好な結果が得られた。

“並行受信”機能を実現するため、先の図3に示した受信切替回路の多重化についてもシミュレーションを行った。隣り合わない受信器で受信した信号は、到来方向符号を使ってそれぞれの信号を目的の出力先に切替できることを確認した。隣り合う受信器で受信した信号は、同じ相手からの信号か異なる相手からの信号かを到来方向符号で区別しなければならない。異なる相手からの信号を隣り合う受信器で受信した場合、混信を避けるため、それぞれに調停が必要なことを伝える。

### (3)幾何学的な通信の制御

図4に示したように、空間分割型通信で隣り合う受信器で異なる相手からの信号を受信した場合、それぞれに調停が必要なことを伝え、混信を避ける。この手続きは、

本来 OSI 参照モデルのデータリンク層 LLC 副層に当たると考えており、今回の研究範囲を若干外れる。簡易な計算機上で行ったマルチプログラミングによるシミュレーションでは、意図の通りの結果が出たが、現実のシステムとの乖離が大きいと思われる。

## 5. 主な発表論文等

### 6. 研究組織

#### (1) 研究代表者

高井 博之 (TAKAI, Hiroyuki)  
広島市立大学・情報科学研究科・助教  
研究者番号:20264963

#### (2) 研究分担者

橘 啓八郎 (TACHIBANA, Keihachiro)  
大阪学院大学・情報学部・非常勤講師  
研究者番号:80029090

安田 元一 (YASUDA, Gen'ichi)  
長崎総合科学大学・情報学部・客員教授  
研究者番号:10174509

#### (3) 研究協力者

岸田 昌己 (KISHIDA, Masami)

山田 雄一 (YAMADA, Yuichi)