

## COSPI: コミュニケーションの状態に依存した環境センサシステム

石井 健太郎<sup>†</sup> 今井 倫太<sup>††,†††</sup>

本稿では、コミュニケーションロボットのための環境センサシステム COSPI を提案する。コミュニケーションロボットが人間とインタラクションするためには、センサを用いて環境を認識する必要がある。しかし、ロボットに搭載されているセンサでは十分な情報を獲得することができない可能性がある。本研究では、ロボットに搭載されているセンサを補うために環境にセンサを配置し、広範囲のデータ取得を実現する。しかし、人間とのインタラクションを円滑に進めるためには、インタラクションの状況に応じてセンサデータを選択する機構がさらに必要となる。本研究では、ロボットに定義されている行動からコミュニケーションの状態を定義し、COSPI のセンサデータ選択に用いる。

## COSPI: Environmental Sensors Dependent on Communication State

KENTARO ISHII<sup>†</sup> and MICHITA IMAI<sup>††,†††</sup>

This paper proposes environmental sensors named COSPI for communication robots. The communication robots need to recognize environments to interact with humans. However, the robots can't get enough information from their own sensors. In this research, we set sensors in an environment to obtain wide and rich environmental data from the environmental sensors. In order to achieve a smooth interaction, robots have to select data from the sensors according to the situation of the interaction. COSPI selects data by communication states defined by robot actions.

### 1. はじめに

人間とロボットが円滑なインタラクションを行うためには、人間を含む環境をロボットが認識する必要がある。特にコミュニケーションロボットは、人間とインタラクションすることを前提に開発されており、センサで環境を認識する。

しかし現状のロボットが搭載するセンサの認識能力は低く、得られるデータの範囲もロボット近傍に限られてしまう。このため、インタラクションに必要な情報を十分に獲得することができない。

ロボットの環境認識能力を補う方法として、環境にあらかじめセンサを配置する研究が行われている。インテリジェントスペース<sup>1)</sup> は、センシング能力、データ処理能力、ネットワーク機能が一体となったデバイス DIND を分散配置した知能化空間である。

人間の平面位置を追跡し、ロボットが人間に追従することを可能にする。Networked Robot<sup>2)</sup> は、視覚センサを部屋の四隅に配置し、その情報を用いて経路探索をすることができる。分散視覚システム<sup>3)</sup> は、環境に配置され相互にネットワーク接続された多数の視覚センサによって構成される。視覚センサに移動の軌跡をあらかじめ教示しておき、各視覚センサの局所的な画像情報に基づきロボットを誘導する。

これらのシステムでは、環境センサから得られるデータが単一のタスク (人物追跡・経路探索) に用いられる。一方、コミュニケーションロボットを想定すると、単に環境センサを用いるだけでは不十分である。なぜならば、コミュニケーションロボットは人間とインタラクションを円滑に進めるため必要があるからである。特にインタラクションでは、場面ごとに認識の対象が異なり、場面に応じてセンサデータを選択しなければならない。

本研究では、環境に配置されたセンサに対してロボットの行動によって定義されるコミュニケーションの状態を用いたシステム COSPI を提案する。COSPI では 3 台の視覚センサを環境に固定し、環境内の人間の 3 次元位置と動作の有無を認識する。

<sup>†</sup> 慶應義塾大学 理工学研究科  
Graduate School of Science and Technology, Keio University

<sup>††</sup> 慶應義塾大学 理工学部  
Faculty of Science and Technology, Keio University

<sup>†††</sup> 科学技術振興機構 さきがけプログラム  
PRESTO, JST

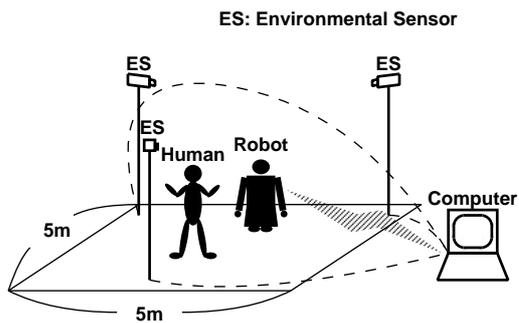


図 1 環境センサの配置



図 2 視覚センサの画像

ロボットのコミュニケーションの状態を用いて環境センサから得られるデータを選択することにより、インタラクションの状況に応じて人間の動作に対する解釈を変えることができる。

続く 2 章において、COSPI が動作するロボット環境を述べる。3 章では、COSPI の構成、基本認識モジュール、センサデータの選択について述べる。4 章では、COSPI の動作例を示す。5 章で COSPI に関する検討を行い、6 章において、本稿をまとめる。

## 2. 実装環境

本章では、設置している環境センサ、使用したコミュニケーションロボット Robovie について述べる。

### 2.1 環境センサ

COSPI では 3 台の視覚センサを配置している。視覚センサは 5 メートル四方の空間内に固定されている (図 1)。各視覚センサは 1 台のコンピュータに接続されている。

視覚センサは、毎秒 30 フレームの画像をキャプチャすることができる。図 2 に各視覚センサの画像を示す。



図 3 コミュニケーションロボット Robovie

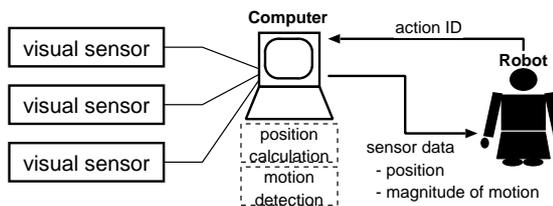


図 4 システム構成

### 2.2 コミュニケーションロボット Robovie

本研究では、コミュニケーションロボット Robovie<sup>4)</sup>を使う (図 3)。Robovie は片側 4 自由度の腕と 3 自由度の頭を持っており、ハンドジェスチャやアイコンタクトをすることができる。また、移動するために台車を備えている。環境を認識するためのセンサとしては、感圧導電式接触センサ、超音波距離センサ、視覚センサ、マイクロフォンを備えている。Robovie 内部には、あいさつ、うそなき、パトロールなど、人間が言葉で表せる単位で行動が定義されている。

## 3. COSPI

本章では、システム構成、認識モジュール、ロボットに送信されるデータ、COSPI が定義するコミュニケーションの状態、COSPI によるセンサデータの選択について述べる。

### 3.1 システム構成

図 4 にシステム構成を示す。3 つの視覚センサは 1 つのコンピュータに接続されている。コンピュータは画像処理を行い集約されたデータをロボットに送信する。また、ロボットから行動 ID を受け取り、コミュニケーションの状態を決定する。

### 3.2 認識モジュール

COSPI は環境内の物体の位置と動作の大きさを計算する。本節では、算出方法を説明する。

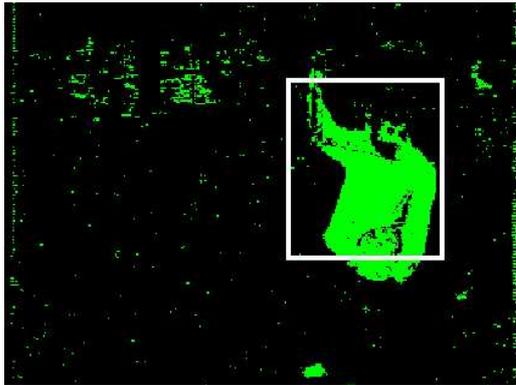


図 5 背景差分画像

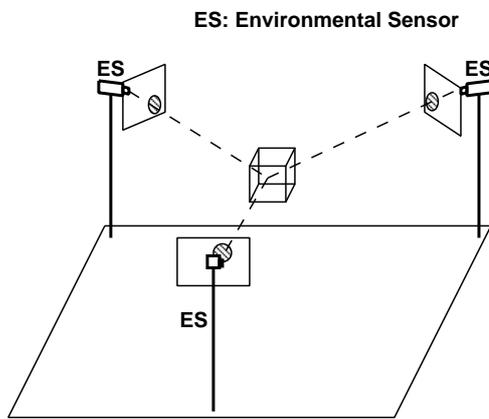


図 6 3次元位置計算

### 3.2.1 3次元位置計算

COSPIは環境内の物体の3次元位置を計算する。視覚センサの背景差分画像により、画像上の物体の位置を取得する(図5)。5m四方、高さ3mの空間を1辺が1mの立方空間(75個)に分割する。視覚センサが環境に固定されているため、立方空間が背景差分画像に射影される位置はあらかじめ決まっている(図6)。図5の長方形は1つの立方空間を背景差分画像に射影したものである。COSPIは背景差分画像の定位置を調べることで、立方空間の物体の存在を判断する。ノイズ除去のため、射影位置に含まれる背景差分の画素数が一定しきい値以下である場合は無視する。これを、75個の立方空間すべてに対して繰り返す。

COSPIは0.5秒で上記の計算を行うことができる。

### 3.2.2 動作検出

COSPIは動作の大きさを視覚センサのフレーム間差分画像を用いて計算する。まず、物体の存在が認められた画像上の領域をフレーム間差分画像から切り出し、差分値に対するしきい値処理後、差分画素数を数え上げる。COSPIは差分画素数を動作の

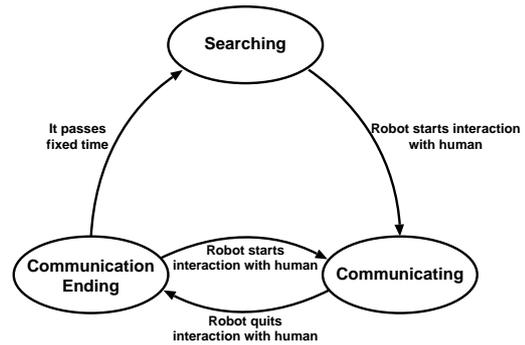


図 7 コミュニケーション状態の遷移

大きさとする。

差分値に対するしきい値処理の目的の1つにノイズ除去がある。しかし、コミュニケーションの状態によるセンサデータ選択の際、このしきい値を変化させており、センサデータの選択にこのしきい値処理が重要な役割を果たす。詳細は3.5節で後述する。

### 3.3 送信データ

コンピュータがロボットに送信するデータは、物体の3次元位置と動作の大きさの組である。環境内に存在する物体は、3.2.1節で述べた方法により3次元位置が計算される。さらに、3.2.2節で述べた方法により、各物体の動作の大きさを取得することができる。コンピュータは環境内に存在するすべての物体の情報を、3次元位置と動作の大きさの組としてロボットに送信する。

### 3.4 コミュニケーションの状態

本研究では、以下に示す3つの状態をロボットに定義されている行動より決定する。

- インタクション相手を探索中 (Searching)
- 人間と対話中 (Communicating)
- 対話終了時 (Communication Ending)

2.2節で述べた通り、Robovieの行動は人間が言葉で表せる単位で定義されている。本研究では、Robovieの行動をインタクションに関係のあるもの(あいさつ、握手など)とそうでないもの(睡眠、パトロールなど)に分類する。コミュニケーションの状態は行動により決定される。ロボットがインタクションに関係のある行動を始めると“Communicating”状態となる。人間とのインタクションが終了したときは“Communication Ending”状態となる。ロボットがインタクションに関係ない行動を一定時間行くと“Searching”状態となる。図7にコミュニケーション状態の遷移図を示す。

### 3.5 センサデータの選択

COSPIはコミュニケーションの状態に応じて3.2.2

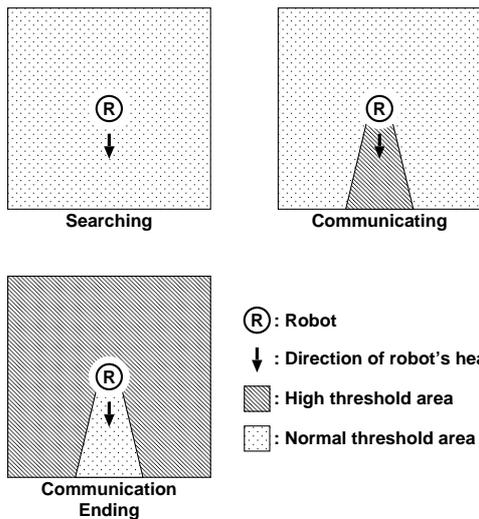


図 8 動作しきい値の変化

節で説明したフレーム間差分画像のしきい値を変化させる。図 8 に、コミュニケーションの状態ごとのしきい値を示す。ロボットが注目すべき領域は通常のしきい値とし、それ以外の領域はしきい値を引き上げる。

しきい値を引き上げた領域では、同じ動作をしてもフレーム間差分画素数が小さくなる。このことにより、人間の動作に対する解釈を変えることができる。

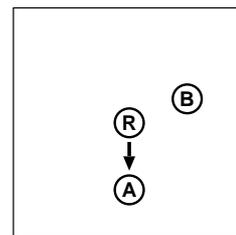
“Searching” 状態は、環境内にいるインタラクションの相手を探している状態であるので、特に制限を設けない。“Communicating” 状態は、人間とインタラクション中の状態であるので、周りからの割り込みよりもインタラクション相手を優先するべきである。インタラクション相手は正面にいるようにロボットの行動は設計されているため、COSPI はロボット正面のデータに注目する。“Communication Ending” 状態は、インタラクションが終了した状態であり、次のインタラクションの相手を探し始める状態である。直前までインタラクションしていた相手を避けてデータを選択することにより、同じ相手とのインタラクションを繰り返すという不自然な行動を避けることができる。このため、COSPI はロボット正面のデータを制限する。

#### 4. 動作例

COSPI の動作例を示す。3.5 節で述べた通り、COSPI はコミュニケーションの状態によってフレーム間差分画像のしきい値を変化させる。以下は COSPI を動作させた結果を示す。

##### 4.1 動作条件

環境内に 2 人の人間と 1 台のロボットが存在する。



(R) : Robot  
(A) (B) : Human  
↓ : Direction of robot's heading

図 9 人間とロボットの位置関係



図 10 動作風景

開始時の位置関係は図 9 の通りであり、人間 A がロボットの正面、人間 B がロボットの後側方である (図 10)。

ロボットは人間とインタラクションを次々を行うことを目的とする。人間もインタラクションを実現するため、ロボットを自分に引きつけることを目的とする。目的を実現するため、人間は以下のように行動する。

- ロボットが自分とインタラクションを開始するまでは手を振る
- ロボットが自分とインタラクションを開始したときはロボットに合わせてインタラクションを開始する

一方、ロボットに実装されている行動は以下の通りである。

- 環境内の最も動作の大きい人をインタラクションの相手とし、相手が正面にいない場合は方向を変え相手の正面に回る
- 相手が正面にいる場合はインタラクションを開始する

開始時のコミュニケーション状態は “Searching” 状態である。

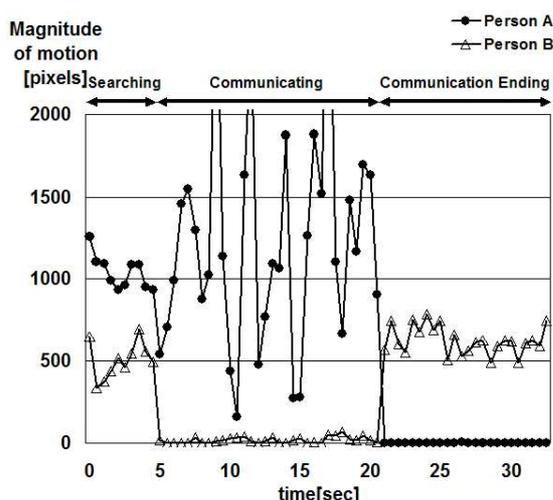


図 11 コミュニケーション状態に依存した動作の大きさ

## 4.2 動作結果

図 11 は COSPI が算出した動作の大きさの推移を示したものである。横軸は時間軸であり、縦軸はフレーム間差分画像の画素数である。

コミュニケーションの状態はグラフの上方に示す通りである。始めは“Searching”状態である。時刻 5 において人間 A とインタラクションを開始し、“Communication”状態となる。時刻 21 において人間 A とのインタラクションを終了し、“Communication Ending”状態となる。

“Communication”状態の間、人間 B の動作が小さくなっており、ロボットの正面方向以外のデータを制限していることがわかる。同様に、“Communication Ending”状態の間、人間 A の動作が小さくなっており、ロボットの正面方向のデータを制限していることがわかる。

## 5. COSPI に関する検討

本章では、4 章で示した動作例に関する検討、今後の課題について述べる。

### 5.1 動作例に対する検討

動作例の間、人間 B は常に手を振る動作を行っている。しかし、COSPI が認識する動作の大きさはコミュニケーションの状態に応じて変化している。これは、COSPI が人間の動作の解釈を変えていることを意味する。手を振る動作を続けている間と異なり、インタラクション中は様々な動作を行うため、動作の大きさも上下する(時刻 5 から時刻 21 までの人間 A)。人間 B の解釈を変えずに実行させた場合には、時刻 11 において人間 B の動作が大きくなると予想される。その場合、ロボットに実装されている行動ルールにより、インタラクションを中断する

ことになる。コミュニケーションの状態に応じてセンサデータを選択することにより、インタラクションをより円滑に進めることができる。

先に述べた動作例では、COSPI に実装されている認識機構は非常に単純なものである。しかし、人間とインタラクションを次々に行うという目的は達成できている。コミュニケーションに応じてセンサデータを選択することで、より単純な認識機構で同じ目的を達成することができる。コミュニケーションロボットは環境の認識以外のタスク(アクチュエータの制御、会話文の生成など)も持っており、認識機構の計算コストを抑えることが必要である。その点において、本手法を利用する可能性が考えられる。

### 5.2 今後の課題

COSPI に定義されているコミュニケーションの状態と実装されている認識モジュールは、非常に単純なものである。今後はさらに細かいインタラクションの状況を考慮し、コミュニケーションの状態を増やす予定である。また、それぞれの状態に対応する認識機構を実装する予定である。

本稿では、視覚センサのみを環境センサとして用いた。しかし、インタラクションを円滑にするためには、さらに多くのデータが必要である。実装予定の認識機構を実現するためにも他の種類のセンサを増やす必要がある。現在本研究では、超音波距離センサと温度センサの導入を進めている。

COSPI のコミュニケーションの状態は、認識機構の開発に際して 1 つずつ新たに作成している。この方法では、ロボット行動の開発者がインタラクションの状況を考慮し、開発する行動に適した状態を定義しなければならない。想定するインタラクションの状況が多岐になるほど定義する状態が多くなり、開発の効率が低下してしまう。このため、ロボット内部の行動から COSPI のコミュニケーションの状態を自動的に決定する機構を開発する必要がある。

本稿では、センサデータをインタラクションの状態に応じて選択するシステムを提案した。動作実験を行いインタラクションをより円滑に進めることを確認した。しかし、現段階の実装は単純なものであり、厳密な評価を行っていない。今後実装を進めた上、評価を行う必要がある。

## 6. ま と め

本稿では、ロボットの行動から定義されるコミュニケーションの状態に依存して、環境センサのデータを選択するシステム COSPI を提案した。COSPI は、インタラクションの状況に応じてセンサデータ

を選択することで、インタラクションを円滑に進めることができる。

今後、さらに細かいインタラクションの状況を考慮し、コミュニケーションの状態を増やす予定である。また、環境センサの種類を増やし、それぞれの状態に対応する認識機構を実装する予定である。

## 参考文献

- 1) Lee, J.-H. and Hashimoto, H.: Intelligent Space – concept and contents, *Advanced Robotics*, Vol. 16, No. 3, pp. 265–280 (2002).
- 2) Hoover, A. and Olsen, B.: Sensor Network Perception for Mobile Robotics, *Proc. 2000 IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, San Francisco, USA, IEEE, pp. 611–614 (2000).
- 3) Sogo, T., Ishiguro, H. and Ishida, T.: Mobile robot navigation by a distributed vision system, *New Generation Computing*, Vol. 19, No. 2, pp. 121–137 (2001).
- 4) 神田崇行, 石黒浩, 小野哲雄, 今井倫太, 前田武志, 中津良平: 研究用プラットフォームとしての日常活動型ロボット“ Robovie ”の開発, *電子情報通信学会論文誌 D-I*, Vol. J85-D-I, No. 4, pp. 380–389 (2002).