

# Augmented Social Space : 対話における制約の動的な振る舞いによる ロボットの文脈適応的な行動の実現

Augmented Social Space: Robot's Context-Adaptive Behaviors Utilizing Spatial Functions in Communication

今吉 晃\*<sup>1</sup>      児玉 渉\*<sup>1</sup>      棟方 渚\*<sup>1</sup>      小野 哲雄\*<sup>1</sup>  
Akira Imayoshi      Wataru Kodama      Nagisa Munekata      Tetsuo Ono

\*<sup>1</sup>北海道大学大学院情報科学研究科

Graduate School of Information Science and Technology Hokkaido University

In this paper we propose a concept of “Augmented Social Space(ASS)” which enhances a social space from the viewpoint of information science. Humans can behave context-adaptively using the features of the social space emerged by their communications. ASS enables robots recognize the social space and behave context-adaptively as well as humans. It is a distributed system which is configured by mobile terminals of humans or robots. We discuss the validity and availability of our proposed concept of ASS.

## 1. はじめに

ロボットは人間と共に実世界で働くことが想定されているにもかかわらず、人間と円滑にコミュニケーションを行うことができていない。それは、コミュニケーションを行う上での文脈を認識して、それに適応した行動を選択する機能を持たないことが原因であると考えられる。

私たち人間は、コミュニケーションの文脈を推定するために、個人や集団を取り巻く空間を認識している。個人を取り巻く空間は、パーソナルスペースとして定義されている [1][2][3]。パーソナルスペースは、他人が侵入することがないような、個人を取り巻く目に見えない境界線で囲まれた領域であり、領域に侵入しようとする者がいると、強い情動反応が引き起こされる。また集団を取り巻く空間は、社会空間として定義されており [1]、メンバー同士の結び付きを強めたり、メンバー以外の者がその集団に参加することを拒否する働きがある。社会空間は、空間を構成する人間による相互作用によってできていると考えられている [4][5]。空間の外部にいる人は、目の前にいる人の位置関係や会話の状態から社会空間を認識し、その雰囲気に適した行動をとる。

このような空間を認識をする機能がなければ、ロボットは現実世界への適応が困難であると考えられる。塩見らの研究では、ロボットは、床センサから人間の位置を推定し、集団の認識を行い、さらにその集団のメンバーの位置関係からどのような状態か推定を行っている [6]。この手法では、床センサを用いて正確に人の位置を検出できるものの、環境を構築するためのコストが高くなり、また検出できるエリアも限られたものになる。

そこで本研究では、スマートフォンとセンサネットワーク技術に着目する。スマートフォンの普及により、1人1台の多機能かつ高性能な端末を携帯する世界が現実的なものとなり、センサネットワーク技術の発展によって、屋内外での位置推定を行う手法が可能となっている [7]。本研究では携帯端末とセンサネットワーク技術を用いて、社会空間を情動的に拡張する Augmented Social Space システムを提案する。このシステムは、各ユーザ(人間)とロボットが持つ携帯端末を1つのユニットと定義して、分散的に構成する。ユニットは、他ユニットと位置や向き、音声の情報をアドホックに通信する。各ユニット

はそれらの情報を入力とした活性伝播型のモデルを持ち、社会空間の認識と状態の推定を行う。このシステムでは、ロボットもユニットの1つであり、周辺のコミュニケーションに関する情報を他ユニットから取得して、社会空間を認識し、その状態に応じた行動が可能となる。

## 2. Augmented Social Space

### 2.1 社会空間のモデル化

本節では、ASS システムでの社会空間という概念のモデル化を行う。このシステムでの社会空間は、人間同士がコミュニケーションを行っている時にできる空間と定義する。コミュニケーションを構成する要素の単位は、人間である。複数の要素が新しくコミュニケーションを始めることで、そこに1つの社会空間を認める。その空間の要素は、コミュニケーションに参加する人間であり、空間は内部と外部を区別する境界を持つ(図2)。

また、ある空間外の要素は、その空間のコミュニケーションに新たに加わることで、空間の要素として認められる(図2)。逆に、空間内の要素は、コミュニケーションから離れることで、空間の要素から外れる(図2)。つまり空間の要素は、動的に入れ替わり、その空間内のコミュニケーションが終了すれば、その空間は破棄されることになる。

ある空間外にいる要素が受信するその空間に関する情報は、その空間の要素によるコミュニケーションによって生成される。その情報は、空間外にいる人に対して、行動決定のための判断材料となる。

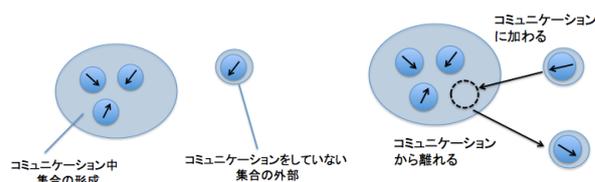


図 1: 社会空間の形成

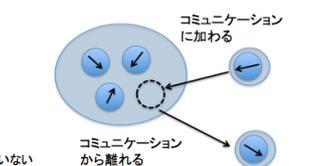


図 2: 空間を構成する要素の動的な変化

連絡先: 今吉晃, 北海道大学大学院情報科学研究科,  
imayoshi@complex.ist.hokudai.ac.jp

## 2.2 システムユニット

Augmented Social Space(ASS) システムは、各ユーザが持つ携帯端末を1つのユニットとして、分散的に構成される。各ユニットはユニット間のアドホックな通信によって情報を共有し、自身の情報世界を構築する(図3)。つまりこのシステムには、大域的に情報世界を管理するコンピュータは存在せず、1つの1つのユニットが、それぞれの局所的な情報世界を持つ。

各ユニットは、前節で説明したモデルに基づいて、自身の情報世界に社会空間を拡張するための、3つの機能を持つ。1つ目は、自分自身の位置、向いている方向、音声情報を観察する機能である。2つ目は、他ユニットとアドホック通信によって、位置、向いている方向、音声情報を受信する機能である。3つ目は、それらの情報から、2.1節で説明したコミュニケーションモデルに基づいて、社会空間の認識と状態の推定を行う機能である。

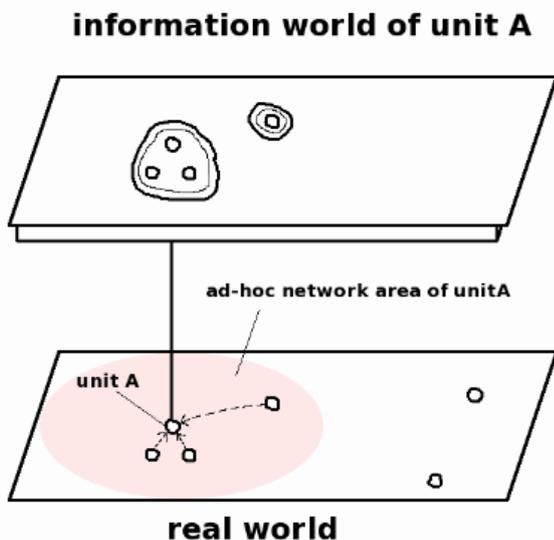


図3: ユニットAが構築する情報世界

ASSシステムのユニットは、3つ目の機能である社会空間の認識と状態を推定する機能を活性伝播モデルを用いて実装する。活性伝播モデルは、ノードとノード間を繋ぐ重み付きリンクからなる有向グラフ構造を持つ。

社会空間の認識を行うためのグラフ構造の例を図4に示す。ノード“AB-direction”は、人Aと人Bの体の向きに関する情報が入力される(AとBが向き合っていると、このノードの活性度が高くなる。つまりコミュニケーションをしている可能性が高いということである)。また“AB-distance”は、AとBの間の距離に関する情報が外部から入力される(AとBの距離が近いと、このノードの活性度が高くなる)。“AB-form a group”は、“AB-direction”と“AB-distance”からリンクが接続されている。つまり、“AB-direction”と“AB-distance”の活性度が高いと、伝播によって“AB-form a group”の活性度が高くなる。AB間に社会空間が存在しているか認識するためには、“AB-form a group”の活性度を参照し、活性化されているか否かで判断する。なお、“ABC-form a group”が活性化して、ABC間に社会空間が存在していると認められた場合は、そのリンク元のノードである“AB-form a group”、“BC-form a group”、“CA-form a group”から得られる認識結果よりも優先される。

次に、社会空間の状態を抽出するためのグラフ構造の例を図

5に示す。これは、社会空間の状態として、空間内の活性度(盛り上がり)について抽出する例である。“AB-speech”は、AとBの音声に関する情報が入力される(両者が発話していると活性度が高くなる)。“AB-group activation”は、社会空間ABの盛り上がりに関するノードである。“AB-group activation”が活性化している場合、システムは社会空間は盛り上がっていると判断する。ただし、“group activation”の属性を持つノードが活性化するには、リンク元のノードである“form a group”が活性化している必要がある。

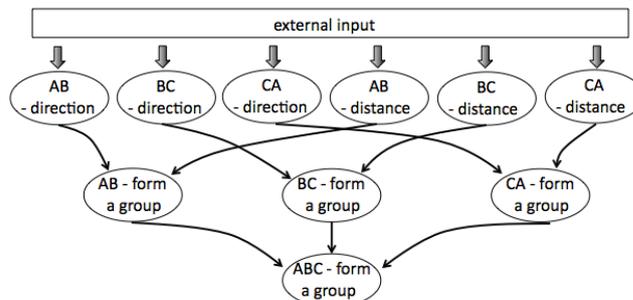


図4: 活性伝播モデル:社会空間の認識

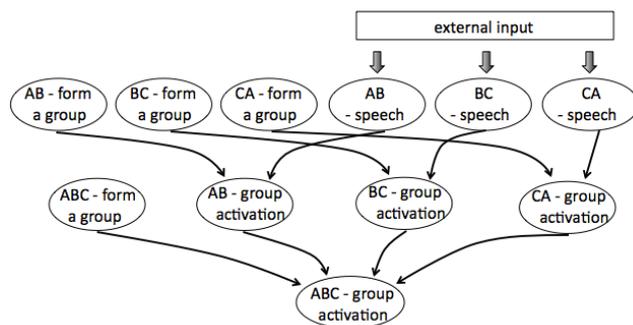


図5: 活性伝播モデル:社会空間の状態の抽出

以下、活性伝播のアルゴリズムを数学的に説明する。

- (1) 時刻  $t$  のノード  $i (i = 1 \dots N)$  の活性度を  $A_i(t) (0 < A_i(t) < 1.0)$  とおき、 $A_i(0) = 0$  で初期化する。また外部入力とノード、ノードとノード間のリンクを形成し、ノード  $i$  と外部入力  $j$  とのリンクの重みを  $w_1[i, j] (0 < w_1[i, j] < 1.0)$ 、ノード  $i$  とノード  $k$  のリンクの重みを  $w_2[i, k] (0 < w_2[i, k] < 1.0)$  とおく。
- (2) ノード  $i$  が時刻  $t$  に、外部入力から受信する活性度の大きさ  $I_i(t)$  は、以下の式に従う ( $m_i$  はノード  $i$  に接続されている外部入力数、 $ExternalInput_j(t)$  は時刻  $t$  の外部入力  $j$ )。
 
$$I_i(t) = \sum_{j=0}^{m_i} w_1[i, j] \times ExternalInput_j(t) \quad (1)$$
- (3) ノード  $i$  が時刻  $t$  に、接続されているノードから受信する活性度の大きさ  $R_i(t)$  は、以下の式に従う ( $n_i$  はノード  $i$  に接続されているノード数)。
 
$$R_i(t) = \sum_{k=0}^{n_i} w_2[i, k] \times A_k(t) \quad (2)$$
- (4) 減衰係数を  $D$  とおき、ノード  $i$  の活性度の更新式を次のよ

うに定義する。

$$A_i(t) = D \times A_i(t-1) + I_i(t) + R_i(t) \quad (3)$$

ただし、 $A_i(t)$  が 1.0 を超えた場合は  $A_i(t) = 1.0$  とする。

(5) “form a group” の属性を持つノード  $i$  の  $A_i(t)$  を参照し、閾値  $\theta$  を超えている場合は、そのノードに含まれているメンバーによって社会空間が形成されていると判断する。ただし、そのノードを起源としてリンクによって接続している、“form a group” の属性を持つノードが閾値  $\theta$  を超えている場合は、その認識結果をシステムは優先する。

(6) “group activation” の属性を持つノード  $i$  の  $A_i(t)$  を参照し、閾値  $\phi$  を超えていて、ノード  $i$  に従属する “form a group” の属性を持つノードが活性化している場合、ノード  $i$  に対応する社会空間は活性化していると定義する。

(7)(2) から (6) を繰り返す。

### 2.3 ロボットへの応用

ロボットにも 2.2 節で説明した機能を実装することで、ASS システムのユニットの 1 つとなり、コミュニケーションに関する局所的な情報世界が構築される。この機能を用いてロボットは、人間と同様に現実世界の社会空間の境界を認識して、社会空間に干渉しないように回避行動をとることができる。また、ロボットがある社会空間に対して働きかける必要がある時に、その空間の状態（活性度）を参照することで、適切なタイミングで働きかけることが可能となる。社会空間が持つ境界は、ロボットのコミュニケーションの対象を決める基準を作ることができる。つまり、ロボットがある社会空間内でインタラクションを行っている場合、情報世界を参照することによって、その社会空間に所属しているメンバーを把握することが可能となり、そのメンバーから発信される情報にのみ処理を集中することができる。このように、ASS システムをロボットに応用することは、ロボットに対して文脈適応的に行動するための社会空間という概念を与える。

## 3. ASS システムの実装例

この章では、ASS システムの実装例を説明する。ASS システムは、2.2 節で説明したように、各ユーザとロボットが持つ端末がユニットとなってシステムを構築する。

今回説明する実装例では、各ユニットには Android 端末を用いる。システムが管理するエリア内に、固定ノードとなる無線 LAN 発信器を設置し、各端末は 3 カ所以上の固定ノードからの受信信号強度 (RSSI : Received Signal Strength Indicator) を測定することで、自身の位置の推定を行う。また Android 端末に内蔵されている方位センサを用いて、ユーザの向いている方向の推定を行う。さらに各ユーザにヘッドセットを装着して、音声情報を取得する。ユニット間の通信は、P2P 通信方式を用いて局所的に行う。各端末は、これらの機能によって取得した情報を入力として、2.2 節で説明した活性伝播モデルを実装し、社会空間の認識と状態の推定を行う。

ロボットにも、位置、方向の推定、他ユニットとのアドホックな通信機能を実装し、社会空間の認識と状態の推定を行う。さらにロボットに Kinect for Xbox360[8] を装着し、前方に居るユーザのより正確な位置や向きを観測する (図 6)。

### 3.1 人と人の向きに関する情報-direction

人  $i$  と  $j$  の向きに関する入力情報は、両者が向き合っている場合を 1.0、背を向いている場合を 0 とし、それ以外の 2 人の向きの関係を 0 から 1.0 の間で定義する。

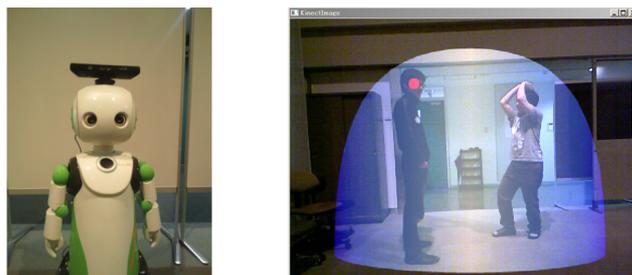


図 6: ロボットの社会空間の認識 [8][9]

### 3.2 人と人の距離に関する情報-distance

距離に関する定数  $L$  を定義する。Kinect から観測される人  $i$  と  $j$  の距離を  $\text{distance}(i,j)$  としたとき、システムに対する  $i$  と  $j$  の間の距離に関する入力情報  $\text{InputOfDistance}$  を以下の式で示す。

$$\text{InputOfDistance}(i,j) = 1.0 - \frac{\text{distance}(i,j)}{L} \quad (4)$$

ただし、 $\text{distance}(i,j) > L$  の場合は、 $\text{distance}(i,j)=L$  とする。

### 3.3 会話の活性度-speech

2 者間の会話の活性度を定義する。ここでは、2 人が同じ時間帯に発話している場合を、会話が活性化されている状況とする。個人の発話量は、有声区間検出を行い、その区間を 1 つのクラスタとして考える。それぞれのクラスタに対して長さや時刻  $t$  との時間差から値  $H$  を定義する。時刻  $t$  での個人の発話量は、時刻  $t$  以前で直近の 5 つのクラスタの値  $H$  の和とする (図 7)。時刻  $t$  での 2 者間の会話の活性度は、最大を 1.0 とし、両者の発話量が共に高い時ほど 1.0 に近くなるように設計する。

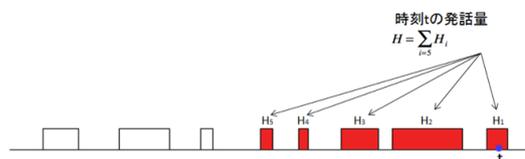


図 7: 時刻  $t$  の発話量に寄与するクラスタ

## 4. 議論

第 4 章では、Augmented Social Space システムの有用性について、2 つのシナリオから分析する。

### 4.1 社会空間の回避

#### 4.1.1 シナリオ-1

あなたは、友人達と休憩スペースで立ち話をしている。あなたと友人達との距離は、少し離れている。そこへ ASS システムを実装したロボットがやってくるが、あなた達が会話をしていて、社会空間を作っていると認識したので、あなた達の会話を邪魔をしないように迂回して進んだ。あなた達は、ロボットに対して、身構えたり、何かをされるという意識を持つことなく、会話を継続して楽しんだ。

#### 4.1.2 シナリオ-1 に関する議論

このシナリオでは、ロボットが社会空間の認識をして、その空間を壊さないよう行動する例である。このシナリオに登

場する人とロボットは、携帯端末をそれぞれ身に付けていて、ASSシステムのユニットとなっている。あなたのユニットは、友人達のユニットとアドホック通信を行い、距離や向きの情報から友人達と社会空間を形成していることを認識する。そして、その場に現れたロボットは、あなた達のユニットから送られてきた情報から、そこに社会空間が形成されていることを認め、その空間に干渉しないよう行動をとる。もしASSシステムを実装していない、障害物だけを回避するロボットであるならば、少し距離の空いている人と人を通してしまふ可能性がある。この場合、会話の最中にロボットが目の前を通ることになるので、会話をしている人にとっては、空間を壊された気分になる。よって、社会空間を適切に回避する行動は、人間が行っているコミュニケーションを阻害しないという点で、ユーザビリティの向上に繋がると考えられる。

## 4.2 適切なタイミングで文脈適応的に働きかける

### 4.2.1 シナリオ-2

あなたは、友人達と博物館に来ている。あなた達は、ある展示物に対して興味を抱き、その展示物の前で、その展示物に関する議論で盛り上がっていた。そして、その議論が少し落ち着いた頃、ロボットがあなた達の傍にやって来て、その展示物に関する情報を提供しようかと尋ねてきた。あなた達は、丁度その展示物の話をしていたので、ロボットからの問いかけに対して違和感を覚えることなく、その展示物に関する情報提供をロボットに頼んだ。

### 4.2.2 シナリオ-2に関する議論

このシナリオで登場するロボットは、博物館の説明員のタスクを担うロボットである。ある展示物周辺にいる来館者に対して、その展示物の説明を行うことが主なタスクである。ここでは、ASSシステムの機能によって、ロボットが来館者に対してインタラクションを行うタイミングを知ることができた。シナリオ1と同様に、登場する人とロボットが携帯する端末が1つのユニットとなっている。このシナリオでは、認識した社会空間の活性度が低くなっている時に、ロボットはインタラクションを働きかけている。ASSの機能を持ちあわせていないロボットの場合は、対象の社会空間の状態に気を使うことなくインタラクションを働きかけることになり、来館者の議論の最中に割り込むこと可能性が高くなる。

## 5. まとめ

本研究では、社会空間を情報的に拡張する Augmented Social Space システムを提案した。ASSシステムは、人間やロボットが持つ携帯端末を1つのユニットとして、ユニット間でアドホックに通信しながら、自身の情報世界を構築する。ユニットが持つ情報世界では、コミュニケーションの境界が定義され、この境界を利用することで、社会空間を回避するといったような、ロボットの文脈適応的な行動の選択が可能となることを示した。今後としては、実世界でASSシステムを組み込んだロボットの実験とその評価を行う。またユーザに入出力デバイスを装着することで、ユーザが所属している社会空間を情報的に拡張するコミュニケーションツールとしてのASSシステムも開発していく予定である。

## 参考文献

- [1] 渋谷昌三, “人と人との快適距離 パーソナル・スペースとは何か,” 日本放送出版協会, 1990.
- [2] エドワール・ホール, “隠れた次元,” みすず書房, 1970.

- [3] Sommer, R. 1959 “Studies in personal space. Sociometry,” 22, 247-260.
- [4] Cheyne, J.A. & Efran, M.G. 1972 “The effect of spatial and interpersonal variables on the invasion of group controlled territories,” Sociometry, ” 35, 477-489.
- [5] Lindsold, S. , Albert, K. P. , Baer, R. & Moore, W.C. 1976 “Territorial boundaries of interacting groups and passive audiences,” 39,71-76.
- [6] 塩見昌裕, 神田崇行, 野原健太, 石黒浩, 荻田紀博, “コミュニケーションロボットのための対人距離に基づく集団状態推定手法の提案,” 日本ロボット学会誌, Vol.27, No.9, pp.1058 ~ 1065, 2009.
- [7] 猿渡俊介, 森川博之, “ユビキタスセンサネットワーク,” 日本ロボット学会誌, Vol.28, No.3, pp.1 ~ 4, 2010.
- [8] Microsoft, “ Kinect for Xbox360, ” <http://www.xbox.com/ja-JP/kinect>, 2012.
- [9] ヴィストーン株式会社, “ RobovieR3(ロボビー アールスリー), ” [http://www.vstone.co.jp/products/robovie\\_r3](http://www.vstone.co.jp/products/robovie_r3), 2010.