

# RoboCup サッカーにおける動作による意思伝達 Intention transfer by operation in RoboCup soccer

戸田 英治<sup>1</sup>、西野 順二  
Eiji TODA, Junji NISHINO

電気通信大学 システム工学専攻  
Dept. of Systems engineering  
The University of Electro-Communications

Abstract: In this paper a technique of performing intention transfer by giving a meaning to the action instead of explicit communication (say) in a RoboCup soccer simulation was proposed. In the actual environment, radio communication have various problems, such as interference among many agents, and a transfer error by noise. We show that bodylanguage that is interference free communication is effective in pass-shoot scenario play.

## 1 はじめに

複数の自律エージェントを含むマルチエージェント環境における主な協調行動の実現方法としては、契約ネットプロトコルなど明示的なメッセージ交換による手法が提案されている[1]。サッカーロボットのような自律型エージェントでは、このメッセージ交換に無線通信を用いて実現している。しかし、実用環境においては、エージェント数の増加により多対多の通信となることで生じる混信や、環境から受けるノイズの影響による伝達エラーなど様々な問題が発生している。このため、無線通信に依存した協調行動は、実質的に失敗する場面が多く観察されている。

また、ロボットが人間社会において人と協調行動を実現するためには、人間とロボット間での意思の疎通が重要となる。そのために、ロボットが人間社会で用いられているものと同様の音声やジェスチャーなど無線通信によらないコミュニケーションを理解し、意思の疎通を行なうための研究[2]も行なわれている。

サッカーシミュレーションでは、無線通信路をモデル化した明示的通信路として say を用いたコミュニケーションの研究[3]が行なわれている。いっぽう、say によらないコミュニケーションは暗黙的に行なわれ積極的なボディランゲージを使用する例は少ない。

本研究では、無線通信などの明示的なメッセージを用いず各エージェントの動作に一定の意味を込めることで、協調行動のためのエージェント間の意思伝達を行う方法を実装し、その有用性を確かめることを目的とする。

## 2 RoboCup サッカーシミュレーションにおける通信

### 2.1 サッカーサーバ

RoboCup サッカーシミュレーション[4]は、サッカーサーバと呼ばれるシミュレータプログラムを用いたサーバ・クライアント方式によって競技を行なう。各チームは、プレイヤーの行動を制御するクライアントプログラム（以下プレイヤー）を用意しサーバへと接続する。サッカーサーバは、0.1秒に1つのコマンドをプレイヤーから受け取り、フィールド上の物体の動きをシミュレートする。プレイヤーは、センサー情報

<sup>1</sup>戸田 英治 電気通信大学  
〒182-0021 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1  
Tel:0424-43-5800, Fax:0424-43-8020  
E-mail:toda@fs.se.uec.ac.jp  
本研究の一部は科学研究費補助金、課題番号 14750179  
によって行なわれた

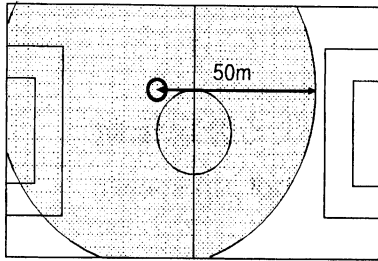


図 1: say の有効範囲

としてその結果を受け取り行動を決定する。

プレイヤーの基本動作は、ボールを蹴る”kick”、前進する”dash”、体の向きを変える”turn”の 3 種類である。また、これらとは別に、顔の向きを変える”turn\_neck”や、メッセージ伝達を行なう”say”などの動作を行なうこともできる。

## 2.2 聴覚情報 : say

プレイヤーは”say”コマンドを使用することで、他のプレイヤーへ 10bytes のメッセージを伝達することができる。メッセージは、図 1 に示すように送信を行なったプレイヤーから 50 メートル以内にいる全てのプレイヤーへと伝達される。

各プレイヤーの受け取ることのできるメッセージ数は、2 シミュレーションサイクル毎に各チームから 1 つである。同サイクル中に同じチームのプレイヤーから複数のメッセージが到着した場合は、最も早く到着したメッセージのみを受け取ることとなる。受け取ったメッセージについては、送られてきた方向のみ知ることができ、発信者については推定が必要である。

## 2.3 視覚情報

視覚には、情報の品質と視野角度があり、プレイヤーは 1 サイクルに 1 回変更することができる。情報の品質は high と low の 2 種類がある。high では、物体の距離と方向を知ることができ、low では、物体の方向のみ知ることができる。視野角度は、wide、normal、narrow の

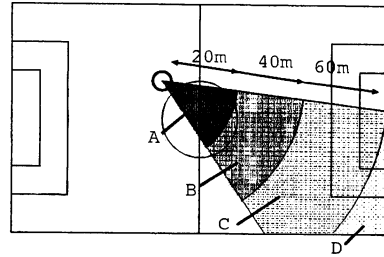


図 2: 視野の範囲

3 種類である。それぞれの角度は、プレイヤーの顔が向いている方向を中心に 180 度、90 度、45 度である。

視覚から得られるプレイヤーの情報は、チーム名、背番号、自分からの距離と方向、位置の変化の半径と角度、体の向き、顔の向きである。ボールに対しては、自分からの距離と方向、位置の変化の半径と角度である。プレイヤーに対する情報は、図 2 に示すように距離によって異なる。20 メートル以内の領域 A に存在する対象物については、全ての情報が得られる。20～40 メートル間の領域 B では、その距離に応じた確率によりチーム名と距離、角度のみの情報となる。40～60 メートル間の領域 C では、その距離に応じた確率により距離と角度のみの情報となる。60 メートル以上離れた領域 D では、距離と角度のみ得られる。

情報の受信間隔は、情報の品質と視野角度によって変化する。[normal、high] の組み合わせで 150 ミリ秒毎を基準として、情報の品質を low にすると  $\frac{1}{2}$  倍、視野角度を wide、narrow にするとそれぞれ 2 倍、 $\frac{1}{2}$  倍となる。すなわち、[narrow、high] の組み合わせにすると 75 ミリ秒毎に視覚情報を受信することができる。

## 3 動作による意思伝達方法

### 3.1 say との比較

say と視覚情報との主たる違いは、その伝達範囲と頻度及び対応数にある。say では、図 1 に示した半径 50 メートル以内にいるプレイヤーからのメッセージを受け取ることができる。視

覚情報では、図2に示した視野角度の範囲内にいる物体の情報に制限される。

say では、味方から受け取れるメッセージは2サイクル毎に1メッセージである。いっぽう視覚では1サイクル毎に視野の範囲内全てのプレイヤーの情報を受け取ることができる。

1度に受け取ることのできる情報量は、say では10bytesである。視覚では、視野内の全ての対象のプレイヤーの位置、速度、体と顔の向きであり、量としては10bytesをはるかに上回る。

本研究では、この視覚情報のもつ多対多の特性と、その豊富な情報量の有効利用を目指し、動作による情報伝達を試みる。

### 3.2 動作による伝達の特徴

各プレイヤーの行動は、視覚情報として他のプレイヤーによって観察される。そのため、プレイヤーが自分自身の動作に意味を込めることで、ボディーランゲージとしての意思の伝達手段となる。これは人間のサッカーでも行なわれている。

無線通信と比較した利点には以下のことがあげられる。

#### (1) 伝達速度の高速化

ボディーランゲージでは、視覚範囲を調節することで1サイクル毎に情報を受け取ることができるので、say 通信よりも高速は情報伝達が可能である。

#### (2) 送信者の特定

say 通信では視野外からの送信者を確実に知ることはできない。ボディーランゲージでは送信者の動きそのものから伝達された意思を読み取るので確実に知ることができる。

#### (3) 受信確認

say 通信では、送信したメッセージが他者との衝突により、必ず伝えられるとは限らない。ボディーランゲージでは、意思を伝えたい相手の視覚の範囲内に自分がいるこ

とを確認すれば、受信確認を送信者自身が行なうことができる。

#### (4) 多対多通信

say 通信の場合は各プレイヤーは1サイクルに受け取れるメッセージが1つと限定されているのに対して、ボディーランゲージでは、視界内の全てのプレイヤーからメッセージを受信することができる。

一方、欠点としては以下のものがある。

#### (5) 視野外の制限

say 通信の場合は、メッセージの伝達範囲が50メートル無指向性で、メッセージは視野外からも受信できるが、ボディーランゲージでは送信できない。

#### (6) メッセージ表現の多様性と不確実性

ボディーランゲージでは一連の動作をメッセージとして伝達する。しかし、行動はそれ自体が意味を持っており、意思を伝達するため行動との混同されてしまうという不確実性を伴う。また、視覚情報には誤差が含まれており伝達した意思が確実に伝達されないこともある。

(5)、(6)の課題は、通信による情報伝達に対して大きなデメリットであると考えられるが、伝達速度の高速化や送受信の確実性を活かすことができれば十分に実用可能である。

### 3.3 パスによる意思伝達

本研究では、伝達する意思としてパスの種類を対象とする。パスを対象とすることで、意思の送信者をパスを出すプレイヤー（以下Passer）と特定することができる。パスを受け取るプレイヤー（以下Receiver）は常にPasserを見ていることで、動作による意思伝達における視野の範囲外からのメッセージを受け取れないという欠点を緩和する。

パスの種類は、ReceiverがPasserへとすぐにボールを蹴り返す「ワンツーパス」と、受け取ってから行動が決められていない「通常パス」の2種類とする。

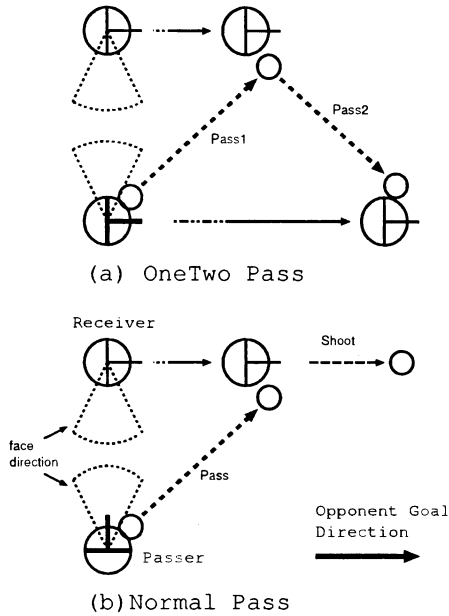


図 3: 体の向きによるパスの種類伝達  
(a) はワンツーパス (b) は通常パスの場合である

意思伝達の方法には、ボールを蹴った時の Passer の体の向きを用いる。図 3 に示すように、ワンツーパスの場合 (図 3(a))、Passer は相手のゴールラインの方向へと体を向けた状態でボールを蹴る。通常パスの場合 (図 3(b))、Passer は Receiver の方へと体を向けた状態でボールを蹴る。

Receiver は、Passer 付近でのボールの速度によって、パスが行なわれたかどうかの判断を行なう。パスが行われたと判断したとき、Receiver は Passer の体の向きによってパスの種類を推測する。

### 3.4 実験設定

Passer、Receiver の 2 人のプレイヤーを用いてシミュレーション実験を行なう。プレイヤーの役割を固定し、Passer はワンツーパスか通常パスかを決定しパスを行なう。Receiver は、パスが行なわれたと判断した場合に Passer の伝達したパスの種類を推測し、ワンツーパスの場合は Passer へとボールを蹴り返し、通常パスは

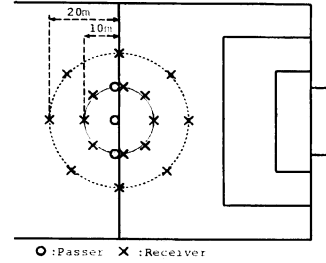


図 4: Passer の初期位置と Receiver の相対位置

ボールをゴールへと蹴るものとする (Shoot)。

視覚情報によって意思伝達を行うためには、Receiver が Passer とボールの情報を確実に得る必要がある。そのため、Receiver の視覚は [narrow, high] として、1 サイクル毎に視覚情報を得られるようにし、常にボールを見続ける。Passer は Receiver との距離が 20 以内であり、Receiver の視界に自分が入っている場合にのみパスを行う。Receiver の顔の向いている方向  $\pm 20$  度の範囲に Passer がいる場合を、Passer が Receiver の視界に入っているものとする。

開始からシュートまでを 1 シナリオとして、パスの組み合わせを S1:「ワンツーパスを 2 回行なって通常パス」、S2:「ワンツーパスを 1 回行なって通常パス」、S3:「通常パスのみ」の 3 種類とする。Receiver が Passer の行ったパスの種類と異なった判断をしたり、パスと判断することができなくなった場合には、その時点で 1 プレイの終了とする。Receiver はどの種類を行なうかは知らされておらず、Passer の伝達したパスの種類を推測してそれに応じた行動を行なう。

プレイヤーの初期位置を、図 4 に示す。Passer はフィールド中央の 3 箇所、Receiver は Passer を中心に前後左右など 8 方向、距離 10 メートル、20 メートルの 16 箇所、のべ 48 通りとする。各シナリオに対して 48 回、合計 144 回のシミュレーションを行なった。

### 3.5 シミュレーション結果

表 1 にシミュレーションにより得られたシナリオの成功率と、パスと判断できた割合、パスの種類の手当率などを示す。

表 1: シミュレーション結果 : カッコ内は (成功回数/実行回数)

シナリオ	S1	S2	S3	総計
プレイの成功率	79% (38/48)	81% (39/48)	85% (41/48)	82% (118/144)
パスの判断ミス回数	6回	3回	2回	11回
パス種類の誤認回数	4回	6回	5回	15回
パスの判断成功率	95% (120/126)	97% (85/88)	96% (46/48)	96% (251/262)
ワンツープスの正答率	95% (77/81)	88% (40/45)	-	92% (117/126)
通常パスの正答率	100% (38/38)	97% (38/39)	85% (42/48)	94% (117/125)

プレイの成功率とは、各組み合わせでの 48 回のプレイにおいて、Receiver がパスの種類を全て正しく判断しシュートまで行うことができたプレイの回数の割合である。パスの判断成功率は、パスの種類に関係なく Passer がパスを行った時にその行為を Receiver がパスと判断することができた割合である (パスの種類を正しく判断しない場合も含む)。ワンツープス、通常パスの正答率とは、Receiver がパスと判断できたものに対してそれぞれのパスの種類を正しく判断できた割合である。

## 4 考察

表 1 の結果より、Receiver はおよそ 95 % 程度の割合で Passer がパスを行ったことを認識することができた。パスの種類に関しても 90 % 程度の割合で正しく判断することができた。say による明示的通信を用いずに体の向きのみを用いてパスの種類を伝達することが可能であると言える。

### 4.1 パスの誤認識

Receiver がパスが行なわれたと判断できなかった場合の多くは、Passer の蹴ったボールの速度が十分でなかったためである。Passer は、Receiver との距離に応じてボールを蹴る速度を決定しているため、2 人の距離が近すぎる場合にはボールの速度は遅くなり、Receiver は自分へのパスと認識することができない。これは、Receiver のパスの判断を Passer からの一定の

距離以内において、ボールの速度がある速度以上になった場合としたことが原因である。

相手の行為を判断するには、ある一つの行動やボールの速度の観察だけでなくその前後の行動も考慮することが必要である。

### 4.2 パスの種類の誤認識

パスの種類を誤って認識した時の主な状況は、Receiver の位置が Passer から見た相手ゴールライン方向正面にいた場合と、Receiver の認識した Passer の体の向きが正しくなかった場合の 2 つである。

まず、Receiver が相手ゴールライン方向にいる場合には、ワンツープスを行なうために Passer が相手ゴールライン方向を向いてパスを行なっても、Receiver の方向を向いているため通常パスと判断されてしまう。これは、パスの意思伝達を行なう方法として体の向きのみとしているため、プレイヤーの位置関係によっては条件が同一になってしまう場合があることが原因である。このようなことを防ぐためには、意思伝達の方法として 1 行動のみを用いるのではなく、そのときの環境の状態や前後の行動を関連させる必要がある。

認識された Passer の体の向きが正しくなかった原因は図 5 に示すように、Receiver がパスと認識したサイクルと Passer がパスを出した時のサイクルが異なっているためである。

Passer 自身は、ボールを蹴った時点でパスを出したと認識する。Receiver はボールが十分な速度に達したときをパスを認識する。そのため、両者がパスを認識するのに 1 サイクルの

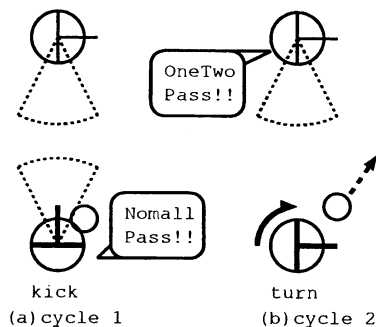


図 5: 認識サイクルの差によるパスの種類の違いの失敗例

差が生じてしまうことがある。この間 Passer は次の行動へと移り、Receiver がパスを認識した時の Passer の体の向きは、伝達したパスの種類とは異なる方向を向いてしまう場合が起こりうる。このような事を防ぐためには、意思を表す側のパス後の行動にも一定の制限をする必要がある。

### 4.3 say による意思伝達との比較

以上のように、動作によってより正確に意思伝達を行うためには、1つではなく前後の動作を用いることが必要な場合があることが分かった。複数の動作を用いることで、判断するまでの時間も増加する。時間だけを見ると、say の場合には2サイクルに1つのメッセージを受け取ることができるため、3サイクル以上の動作を必要とするメッセージの通信ではボディランゲージのほうが不利といえる。しかしパスの場合、伝達された意思を実行するのはReceiver がボールを受け取った後であり、これは数サイクル後であるため、それまでの時間は問題なく通信に用いることができる。

## 5 結論

本研究では、RoboCup サッカーシミュレーションを用いて、動作に意思を込めることによりプレイヤー間の意思伝達を行なう手法を実装し、その検証を行なった。パスを行なうときの

体の向きに意味を持たせることで、パスの種類を Receiver へと伝達することが可能であることがわかった。say を用いた場合には、すばやく正確に意思を伝達することが可能であるが、即応性を必要としない行動を伝達する場合には動作による意思伝達で十分に対応することができる。

伝達する意思をひとつの動作のみで表現したために、表現の衝突やプレイヤー間の認識サイクルに差が生じて正しく伝達できないという問題を明らかにすることが出来た。そのため、意思を表現する動作を複数用いることや表現が重なることのないような動作を用いる必要がある。

さらに、パスのような環境によって変化するような曖昧さをもつ動作を判断する場合には、ある1つの値では十分な判断を行なえないことがわかった。このような曖昧な行動を判断するためには、ファジィ的な考え方などを用いることが有効であると考えられる。

今後は1対1のような状況だけではなく、実際の競技のように複数のプレイヤーが存在する場合の検討が必要である。

## 参考文献

- [1] 桑原和宏, 石田亨, 大里延康. AgenTalk : マルチエージェントシステムにおける協調プロトコル記述, 電子情報通信学会論文誌 B-I, Vol J79-B- I, No 5, pp346-354, 1996.
- [2] 神田崇行, 石黒浩, 小野哲雄, 今井倫太, 中津良太. 人-ロボットの対話におけるロボット同士の対話観察の効果. 電子情報通信学会論文誌 D-I, Vol J85-D- I, No 7, pp691-700, 2002.
- [3] 中山康二, 竹内郁雄. かけ声によるチームプレイの実現 - RoboCup シミュレーションにおける協調動作の考察, 情報処理学会ゲーム情報学研究報告 2001-GI-6, pp27-34, 2001
- [4] Andreas Birk, Silvia Coradeschi, Satoshi Tadokoro. RoboCup2001: Robot Soccer World Cup V, Springer, 2002