論文

機能言語理論によるデータ融合に関する一考察[†]

福山 義幸* 菅野 道夫*

我々の身のまわりには、音声情報、画像情報、言語情報、数値情報など様々な形態の情報が存在している。我々は、日常生活において発生する様々な問題を解決する場合、一つの形態の情報を利用することよりも、二つ以上の形態の情報を組み合わせて問題解決を図る機会が多い。人間は、二つ以上の異なる形態の情報もうまく融合させ、そこから有用な情報を得るという情報処理の手続きを無意識のうちにこなしている。このような人間の情報処理をデータ融合と呼ぶ。本研究の目的は、人間が日常行っているデータ融合を計算機上で実現することである。

人間の情報処理を考える上でまず第一に注目すべきことは、言語の使用である。人間は、言語を思考の手段として使用している。Wittgenstein は、「言語は思考の道具である。」と述べている。つまり、人間の情報処理において言語は必要不可欠である。したがって、様々な形態の情報を融合する場合、言語が基本となり、言語に基づいた融合が必要と考えられる。人間の、言語に基づいた情報処理をインテリジェントコンピューティングと呼ぶ。本研究では、インテリジェントコンピューティングを実現するための枠組について考察する。データ融合を実現するためには、「情報の意味」というものを考慮する必要がある。社会記号論において、情報を含めた記号の意味は、我々が日常生活している社会とその社会の中での我々の知的活動によって決定される、としている。我々は、情報の意味を扱うための手段として、選択体系機能言語理論を用いる。選択体系機能言語理論は、この社会記号論の枠組において言語をとらえようとするアプローチであり、インテリジェントコンピューティングの考え方を實現する上で重要であると考えられる。本研究では、選択体系機能言語理論に基づいた言語によるデータ融合の枠組を提案する。

データ融合の応用例として、ゲートボールゲームにおける、監督から打者に対しての口頭命令を生成するシステムを提案する。選択体系機能言語理論によれば、我々の社会には法律、イデオロギー、モラルなどの文化のコンテクストと呼ばれるものが存在し、情報の受け手である我々の倫理観や価値観などに影響を与えている。ゲームにおいても独自のルールや戦略などが存在し、ゲームの中という限定された社会において我々に影響を与えている。言い換えれば、ゲームは社会の一つのモデルと考えられる。本研究では、ゲームの一つとしてゲートボールゲームを取り上げる。本研究で提案するシステムは、ゲートボールにおけるルール、戦略、戦術を状況に基づいて解釈し、その状況に適したボールの打ち方を指示するシステムである。ゲートボールにおける状況を認識するためには、得点状況、経過時間などの数値情報だけではなく、各ボールの位置などの画像情報、ゲートの通過状況などの言語情報を融合させる必要がある。本システムは、これらの異種形態の情報を言語で融合させ、打者に対する口頭命令を生成するシステムである。本システムは、いくつかのモジュールから構成されているが、各モジュールにおけるデータ処理について説明する。

また、ゲートボールにおける一場面を入力し、本システムにおけるデータ処理の流れを概説するとともに、出力結果について考察する。

キーワード：選択体系機能言語理論、インテリジェントコンピューティング、データ融合

1. はじめに

我々の身の回りには、数値データ、画像データ、音声データなど様々な形態の情報が存在する。人間は、その社会生活において生じる様々な問題を解決する場合、扱うデータとして、単一の形態のデータだけではなく、複数の形態の情報をいくつか組み合わせて問題を解決することが多い。処理すべき問題が複雑になるにしたがって、単一の情報のみによって問題解決が図られることよりも、複数の形態の情報を組み合わせて

問題を解決する機会が増加すると考えられる。しかし、これら様々な形態の情報は、その処理方式がデータの形態ごとに固有であるため、異なる形態のデータをうまく融合させて処理することは困難である。センシングの分野などにおいて、複数のデータを処理する試みがなされているが、1つのデータの処理を補助する手段として他の形態のデータを利用するものが多い。一方、人間の情報処理においては、異なる形態の情報をうまく融合して処理している。これは、人間が様々な形態の情報を言語の形態に変換し、言語のレベルで推論しているためであると考えられる。

そこで、本研究では、異なる形態の情報を言語の形態で融合し、言語のレベルで推論、問題解決を図る試みを行なう。本研究において、言語に基づくデータ融

[†] A Study on Data Fusion Based on Functional Linguistic Theory

* Yoshiyuki FUKUYAMA and Michio SUGENO

東京工業大学システム科学専攻

Dept. of Systems Science, Tokyo Institute of Technology

合、推論、問題解決など一連の情報処理の方式をインテリジェントコンピューティングと呼ぶ。本研究では、異なる形態のデータとして、画像データ、数値データ、言語データを取り上げ、これらのデータを言語のレベルで融合する方法を提案するとともに、言語に基づく問題解決の例としてゲートボールゲームにおける監督の口頭命令を生成するシステムを取り上げる。

2. インテリジェントコンピューティング

人間が社会活動を営む上で、言語は重要な役割を担っている。例えば、外部から情報を取得し、その情報を処理する場合、あるいは、その情報に基づいて、ある問題の解決を図る場合、人間は、外部から得られた情報を言語情報に変換し、言語情報に基づいた情報処理を行なう。Wittgenstein は、「言語は思考の道具である。」と述べている[1]。人間の情報処理において、言語はその中心的役割を担い、様々な形態の情報(音声情報、画像情報、言語情報、数値情報など)を融合する場合、言語によって融合されると言える。

本研究の目的は、人間が行なう、このような情報処理のプロセスを計算機上で実現することである。

様々な形態の情報を言語情報に変換するメリットとして次の点があげられる。

- 人間の思考は、言語に基づいて行なわれる。
- 言語は、様々な形態をとる。
- 言語は、特定の状況における使用によって、その意味が決定される。
- 様々な形態の情報は、言語情報をもとにして融合することができる。
- 言語は、曖昧性、冗長性を持つ。

本研究では、言語情報に基づいた情報処理方式をインテリジェントコンピューティングと呼ぶ。インテリジェントコンピューティングの考え方は、次の通りである[2]。

- 情報の意味に基づく処理
- 言語情報の解釈におけるコンテキストの利用
- 言語に基づく情報融合

本研究では、このうち「言語に基づく情報融合」に関して考察する。

様々な形態の情報を扱う場合、それらの情報を統一的に扱う方法があれば便利である。しかし、これら様々な形態の情報は、それぞれの形態に基づいた固有の処理方式によって個々に処理されるため、統一的に扱うのは容易ではない。一方、人間はこれら様々な形態の情報をうまく融合させている。これは、人間が言語に基づいた情報処理を行なっているためと考えられる。そこで、本研究では、言語情報に基づいたデータ融合

を実現するための枠組について考察する。言語情報に基づいたデータ融合を実現するために、選択体系機能言語理論の考え方をを用いる。選択体系機能言語理論は、言語の意味を、その言語の「使用」の面からとらえようとするアプローチであり、各種情報の意味に基づくデータ融合を実現する上で不可欠と考える。

2.1 選択体系機能言語理論

様々な形態の情報を融合する場合、それらの情報の意味のレベルで融合する必要がある。しかし、情報の意味は、それ自体単独で存在するものではなく、その情報の取り巻く広い意味での環境を考慮しなければならない。言語を取り巻く環境を考えるための枠組として選択体系機能言語理論を用いる。選択体系機能言語理論は、M.A.K.Halliday らに代表される言語理論で、それによると言語の意味はある特定の状況におけるその言語の「使用」によって決定される[3]。つまり、言葉の意味は言葉自体に初めから存在するものではなく、その言葉を使用することによって初めて規定される。また、言語を社会記号体系の中の1つの体系としてとらえている。つまり言語は、特定の社会集団における文化、イデオロギー、社会活動と密接に結び付いていると考えられる。したがって、ある言葉の意味を考える場合、その言葉が社会活動の中でどのように使用されているか、あるいは、その言葉がある特定の社会集団における文化やイデオロギーとどのように結びついているかということを考慮する必要がある。

選択体系機能言語理論によれば、テキスト(言語)は、その社会集団における文化、価値観、イデオロギーである文化のコンテキスト、あるいは、その言語が使用される環境である状況のコンテキストによって具現される。つまり、文化は、特定の社会集団における様々な選択可能な記号の集合である記号体系であると同時に、特定の社会集団にとって意味のある場面の集合である社会体系である[4]。そして、この両者には一方が他方を規定するという相互規定の関係が存在する。また、文化の主要構成部分である言語も選択可能な意味の集合である言語体系とその言語を取り巻く環境である場面の脈絡という二面性を有し、一方が他方を規定するという相互規定の関係が存在する(図1)。ここで

図1 選択体系機能言語理論における言語の概念

場面の脈絡は、その言語によって何を伝えようとしているのかという言語活動領域(フィールド)、言語を伝達するお互いの関係である役割関係(テナー)、どのような形式でその言語が伝達されるかという伝達媒体(モード)の3つの要素から構成される。

また、選択体系機能言語理論において、記号体系は選択体系網というネットワークによって記述され、このネットワークの中から状況に応じて適切なパスが選択されることによって、人間の社会活動における記号の意味が決定される。選択体系機能言語理論の考え方に基づいてデータ融合を実現しようとする場合、ネットワーク上で融合するということが重要であり、データ融合には、このネットワークという考え方が必要不可欠である。さらに、このネットワークの中の選択肢からの選択が意味を決定することに相当する。

異なる形態の情報を融合するためには、意味レベルにおける情報の融合が必要となる。しかし、意味そのものを扱うことは困難である。選択体系機能言語理論において、言語の意味、情報の意味は、その言語、情報の、ある一定の状況における使用によって決定されとしている。具体的には、文化のコンテキスト、状況のコンテキストによって言語、情報の意味は規定される。したがって、情報の意味を間接的に扱うためには、選択体系機能言語理論が必要と考える。

3. データ融合

様々な形態の情報を融合し、1つの情報に統合することをデータ融合と呼ぶ。本節において、言語によるデータ融合について述べ、データ融合の枠組を提案する。融合する情報としては、画像情報と言語情報を取り上げる。画像情報と言語情報との融合は従来から研究されており、まず、現在までの研究経緯を概説する。

3.1 画像情報と言語情報との結合に関するこれまでの研究

まず、画像情報と言語情報との結合について、いくつかの類型に分類する。

言語と画像の研究は、「ヒューマンインターフェイス」や「マルチメディア」との関連において研究されてきた。その研究内容を分類すると次のようになる。

1. 言語情報の解析に画像情報を参照し、言語理解に画像情報を利用するタイプ
2. 画像情報の解析に言語情報を参照し、画像理解に言語情報を利用するタイプ
3. 言語情報を画像情報に変換し、画像を生成するタイプ
4. 画像情報を言語情報に変換し、言語を生成するタイプ

このうち、いままで画像情報と言語情報とのデータ融合という場合には、第2番目の言語情報を参照するタイプがほとんどであった。しかし、画像情報と言語情報とを単に結合するだけではなく、融合するためには、第3番目あるいは第4番目のタイプを考える必要がある。本研究では、第4番目の、画像を言語に変換して融合することについて論じる。

3.2 言語による融合

異なる形態の情報を融合する場合、それらの情報の意味レベルで融合する必要がある。しかし、意味そのものを扱うことは、困難であるため、融合のための情報の形態を決めておく必要がある。その形態として前述の理由により言語が最も優れていると考える。

次に、言語に基づくデータ融合のプロセスについて説明する。

データ融合のプロセスは、次の2つのサブプロセスから構成される。

- 各種形態の情報を言語化するサブプロセス
- 言語化された各種情報を融合するサブプロセス

次に、それぞれのサブプロセスについて説明する。融合する情報の形態として画像情報、言語情報を取り上げる。

3.3 言語化サブプロセス

まず、各種形態の情報を言語化するプロセスについて説明する。例として画像情報を取り上げる。元来、画像情報は各ピクセルにおけるR・G・Bの輝度値である。それが観測者によってある形状あるいは、ある事物として認識される。その認識結果は、観測者や観測者を取り巻く環境によって変化する。例えば、観測者の関心が画像の色彩にあれば、認識結果は、おもに色彩に関するものになるであろうし、形状に関心があれば、認識結果は、おもに形状に関するものになるであろう。また、2つの類似した画像が存在すれば、その違いのみを記述するだけで十分である。このように、認識結果は、その観測者及びそれを取り巻く環境に依存して変化する。

選択体系機能言語理論によれば、テキストは、それを取り巻く環境であるコンテキストによって具現される。この考え方によれば画像情報から得られる情報もそれを取り巻く環境である状況のコンテキストによって決定される。したがって、画像情報を言語化するにはその画像を取り巻く環境を考慮に入れる必要がある。画像情報と融合するものが言語情報である場合、画像情報を取り巻く環境として、言語情報を利用する。選択体系機能言語理論において、テキストの統一性とい

うのは、テキスト構造上の統一性とテキスト構成上の統一性に分類される。テキスト構造とは、会話などにおける形式全般あるいは全体的構造である。また、テキスト構成とは、文どうしの結び付きや語彙・文法的結束性である。このうちテキスト構造は、前述のフィールド、モード、テナーの特定の値のセットであるコンテキストの形相によって決定される。したがって、言語情報を参照することによって、言語情報の状況のコンテキストを画像情報に反映させる。つまり、ある言語情報によって画像認識の対象を決定し、それに基づいて画像認識を行なうことで画像情報の言語化が実現される。

3.4 融合化サブプロセス

融合サブプロセスにおいて使用する用語の説明を図2に示す。

言語化サブプロセスにおいて、画像データを言語データに変換すると、融合する相手の言語情報(Data-B)とテキストの統一性を持った言語データ(Data-A)が画像情報から生成される。これら2つの言語情報を融合するのが融合化サブプロセスである。画像情報から言語情報への変換において、融合する相手の言語情報を利用しているので、これら2つの言語情報は状況のコンテキストのうちテナーとモードは一致していると考えられ、融合するためにはフィールドのみ考慮すればよい。

3.5 データ融合のアルゴリズム

次にデータ融合のプロセスを示す。データ融合におけるデータ処理の流れを説明する。

1. Data-Bを単文に分解する。
2. これらを画像データの参照として使用する。
3. 画像認識の対象をData-Bから取り出す。
4. 画像認識を実行する。
5. 画像認識の結果を言語情報の形態に変換する。
6. Data-AがData-Bと矛盾しないかどうか調べ、Data-Aの中で矛盾するものを消去する。
7. Data-Aの残りとData-Bを1つにまとめる。
8. 文化のコンテキスト(常識など)を用いて簡略化する。

図2 融合化サブプロセスにおける用語の説明

図3にデータ処理の流れを示す。

図3 データ融合におけるデータ処理の流れ

4. 応用例

画像情報と言語情報との融合を実現する応用例として、ゲートボールゲームにおける監督の口頭命令を生成するシステムについて述べる。

選択体系機能言語理論によれば、我々の社会において、法律、イデオロギー、モラルなどが文化のコンテキストを形成し、我々の生活や価値観などに影響を与えている。ゲームにおいても独自のルールや戦略などが存在し、ゲームの中という限定された社会において我々に影響を与えている。言い替えれば、ゲームは社会の一つのモデルといえる。

本研究では、ゲームの一つとしてゲートボールゲームを取りあげる。ゲートボールとは、次のようなゲームである。

- 5人ずつ2チームに分かれてチームごとの得点を競う。
 - 各人は順番に自分のボールを自分のスティックで打つ。
 - コート上には、3ヵ所のゲートと1ヵ所のゴールが決められた位置に配置されている。
 - ある打者のボールがゲートを通った場合、またはゴールに到達した場合、その打者の得点が加算される。
 - 最終的に各個人の点数の合計の多いチームが勝ちとなる。
 - 各チームには、監督がひとりずついて、自分のチームの打者に対してどのように打つべきか指示を出す。
- また、ゲートボールのコートを図4に示す。

図4 ゲートボールのコートの寸法

ゲートボールには、ルール、勝つための戦略、戦術が存在する[5][6]。(以下、本論文において「戦略」とは講じるべき方策、いわばマクロな作戦のことを指し、「戦術」とは戦略を行なうときの具体的方法、いわばミクロな作戦を指す。)

このシステムは、ゲートボールのルール、戦略、戦術を状況に応じて解釈し、その結果をもとにして、次の打者に対して、どのようにボールを打つべきかという監督の口頭命令を生成する。

本論文の最後に、本システムで使用するゲートボールの戦術、ルールの一部を記載した。打者は自分のボールをゲートへ通過させるだけではなく、味方チームのボールがゲートを通過するのを助けたり、敵チームがゲートを通過するのを邪魔したりすることができる。したがって、打者がどのように自分のボールを打つべきかは、ゲートと自分のボールとの位置関係だけではなく、他のボールとの位置関係、各ボールのゲート通過状況、ゲームの残り時間など様々な要因を考慮しなければならない。また、最終的な出力は、監督の口頭命令である。この口頭命令における状況のコンテキストは、表1の通りである。

4.1 システムの概観

本論文で述べるシステム(以下、GCS(Gate-ball Command System)と略記する。)は、ゲートボールゲームにおける現在のゲームの状況(各ボールの位置、ゲート通過状況、残り時間など)を入力し、状況認識を行い、その状況に応じてルール、戦略、戦術を解釈、選択し、ゲームの状況にあった監督の命令を出力するシステムである。

表1 口頭命令における状況のコンテキスト

フィールド	監督の命令の内容
モード	口述形式、命令文の形態
テナー	監督から (様々な技量の) 打者

4.1.1 システムへの入力

GCSにおける入力は、次の通りである。

- 両チームの得点差(数値情報)
- 試合の経過時間(数値情報)
- 打者の技量(言語情報)
- 各ボールとゲートとの位置関係(画像情報、数値情報)
- 各ボールのゲート通過状況(言語情報)

4.1.2 ゲートボールの戦略文、戦術文、ルール文

ゲートボールの戦略文

GCSで使用するゲートボールの戦略文は次の通りである。

1. ダブルタッチをする
2. タッチ通過をする
3. 通過タッチをする
4. 他のボールをねらう
5. 危険な味方のボールを助ける
6. 敵のボールを妨害する
7. ゲートを通過する
8. 味方のボールの島をつくる
9. 安全な場所に移動する

GCSでは、上記の9個の戦略文をゲームにおける重要性から次の3つのランクに大別する。

- ランク A(重要性が高いもの) 1~3
- ランク B(重要性がやや高いもの) 4~7
- ランク C(重要性があまり高くないもの) 8、9

このランク分けは、後述する S-module において使用する。

ゲートボールの戦術文、ルール文

GCSでは、ゲートボールの戦術文を30個、ルール文を46個使用している。(本論文の最後に一部を記載。)これらの戦術文、ルール文は次の形式で記述されている。

1. 前件部
 - ～の場合には [条件]
 - ～の時には [時間]
 - ～においては [場所]
 - 前件部を持たないもの(上の3つの形式以外のもの)
2. 後件部
 - …しなければならない。[強制]
 - …してはいけない。[禁止]
 - …できる。[可能]
 - …できない。[不可能]
 - …ない。[否定]
 - …である。[肯定]
 - 上の6個の形式以外のもの([肯定]とみなす)

また、システムの内部では、次のように戦略文、戦術文、ルール文ともほぼ文節ごとに、区切って記述してある。

ゲート通過成立は、
最初の1回の
ゲート通過である。

4.2 システムの出力

システムの出力は、次の打者に対する監督の口頭による命令である。この命令は、ボールを何を目標として、どの方向に、どのくらいの強さで打つべきかを指示する。いくつかの口頭命令の例を示す。

- 「5番ボールの右側に強く打て」
- 「2番ボールと9番ボールの間をねらってやや弱めに打て」

4.3 GCSの構成

GCSのシステム構成は図5の通りである。GCSは、大きくわけて次の6つのモジュールから構成されている。また、モジュールの中には、さらにいくつかのサブモジュールから構成させているものがある。

- 入力と言語表現に変換するモジュール(L-module)
- 状況を認識するモジュール(R-module)
- 戦略文、戦術文、ルール文を状況に適合するように解釈するモジュール(I-module)
 - ー変換によって文を解釈するサブモジュール(I1-submodule)
 - ーシステムネットワークによって文を解釈するサブモジュール(I2-submodule)
- 戦略文、戦術文、ルール文を選択するモジュール(S-module)
 - ー戦略文を選択するサブモジュール(S1-submodule)
 - ー戦術文を選択するサブモジュール(S2-submodule)
 - ールール文を選択するサブモジュール(S3-submodule)

図5 GCSのシステム構成

module)

- ー戦術文を選択するサブモジュール(S2-submodule)
- ールール文を選択するサブモジュール(S3-submodule)

- タッチやゲート通過をねらう場合に次の方策を検討し、口頭命令に反映させるモジュール(N-module)
 - ー戦略が成功した場合のサブモジュール(N1-submodule)
 - ー戦略が失敗した場合のサブモジュール(N2-submodule)
 - ーN1-submoduleの出力とN2-submoduleの出力とを統合するサブモジュール(N3-submodule)

- 口頭命令を生成するモジュール(C-module)

また、GCSで扱うデータは、表2の通りである。次に各モジュールについて説明する。

4.4 入力言語化モジュール(L-module)

このモジュールでは、入力されたデータを言語表現に変換する。

入力の言語表現への変換方法は、次の通り。

4.4.1 時間

ゲートボールゲームの競技時間は30分。競技時間を言語表現するために図6のように経過時間のメンバーシップ関数を定め、競技時間を序盤、中盤、終盤、の3つに分類する。

表2 GCSで扱うデータの数

データ	データ数	データの形態
戦略	9	言語データ
戦術	30	言語データ
ルール	46	言語データ
得点差	1	数値データ
経過時間	1	数値データ
打者の技量	1	数値データ
ボール、ゲートの位置関係	-	画像データ
ボール、ゲートの距離	85	数値データ
ゲート通過状況	10	言語データ

図6 「経過時間」の言語表現

4.4.2 得点差

ゲートボールにおいて、チームの最高点(満点)は25点、最低点は0点である。得点差を言語表現するために図7のように得点差のメンバーシップ関数を定める。得点差は、かなり優勢である、やや優勢である、ほぼ同じである、やや劣勢である、かなり劣勢である、の5つの言語表現を使用する。

4.4.3 打者の技量

打者の技量は、数値ではないが、打者が、very skillful, more or less skillful, not skillful の3つの言語表現を使用する。打者の技量の言語表現は、ボールどうしの距離、ボールとゲートとの距離などを言語表現する場合に使用する。

4.4.4 ボールの位置

ボールの位置(ボールどうしの相互位置、ゲート、ゴールとの相対的位置、コート上での位置)を言語表現する。文献[7]によると、ゲートボールにおいて自分のボールが他のボールにほぼ確実にタッチできる距離は2mである。これをもとにボールの位置を言語表現する。また、打者の技量も考慮する。つまり、同じ距離であっても打者の技量によって言語表現が異なる。また、位置情報のすべてを言語表現するのではなく、状況に応じて必要な言語表現を選別して表現する。

本論文では、ボールの位置の言語表現の方法として次の2通りを使用する。

- ボール相互、ボールとゲートとの距離という数値情報を言語表現する。
- 画像情報からダブルタッチ、タッチ通過のためのテンプレートとのマッチングを計算し、その結果を言語表現する。

図7 「得点差」の言語表現

図8 ダブルタッチ、タッチ通過のための「く」の字型

このうち後者は、ゲートボールにおけるダブルタッチ、タッチ通過、などの可能性を調べるために使用する。ゲートボールでは、ボールの反発作用のため、ダブルタッチの場合には3個のボール、タッチ通過の場合には、2個のボールと1つのゲート、これらがある特定の形(多くの場合には、「く」の字型)になっていなければならない(図8)。したがって、数値情報(ボールやゲートの位置座標)を使って計算するよりも画像情報として取り扱う方がダブルタッチやタッチ通過の可能性を判断しやすいと考えられる。

したがって、ダブルタッチ、タッチ通過の可能性の判断には、位置座標からの判定よりも、図形としての比較(テンプレートとの類似度の判定)が有効である。

4.4.5 GCSにおける画像認識

ゲートボールではダブルタッチ、タッチ通過、通過タッチが成功すれば、タッチしたボールをスパーク打撃によって移動できるだけではなく、さらに2回打撃ができるので、ゲートボールの作戦としては非常に有効であり、戦略としての重要度は大きい。

GCSでは、コンピュータグラフィックを用いて、実際のゲートボールの場面でのボール、ゲート等の位置をシミュレーションしている。このコンピュータグラフィック上で、ダブルタッチ、タッチ通過が可能となる3個のボールあるいは2個のボールと通過すべきゲート(以下、ねらうボールと通過すべきゲートをともに「目標物」と記述する場合がある。)の位置関係を次の方法で認識する。

通過タッチ

通過タッチとは、1回の打撃で通過すべきゲートを通過した後に他のボールにタッチすることである。

通過タッチについては、次のように処理する。

- step 1 近くに通すべきゲートが存在するか調べる。存在しなければ終了。
- step 2 自分のボールの位置が、そのゲートのフロント方向か調べる。フロント方向でなければ終了。
- step 3 自分のボールの位置とゲートの位置によって決まる一定の領域(図9)に他のボールが存在するか調べる。存在しなければ終了。

図9 通過タッチの可能な領域

step 4 存在する場合には、戦略文「通過タッチをする」を「～番ゲート(通過すべきゲートの番号)を通過する」と解釈し、その適合度を「～番ゲートに近い」の適合度に一致させる。

タッチ通過

タッチ通過とは、1回の打撃で他のボールにタッチした後に自分のボールが通過すべきゲートを通過することである。

タッチ通過については、次のように処理する。

- step 1 近くに通過すべきゲートが存在するか調べる。存在しなければ終了。
- step 2 自分の位置が通過すべきゲートのフロント方向にあるか調べる。フロント方向になれば終了。
- step 3 通過すべきゲートと自分のボールとの間の特定の領域(図10)に他のボールが存在するか調べる。存在しなければ終了。
- step 4 そのボールと自分のボール、通過すべきゲート、この3つの中心点を結ぶ三角形を求める。(ゲートの中心点とは、図10の通り。)
- step 5 この三角形とあらかじめ用意された三角形のテンプレートとのマッチングを行なう。

ダブルタッチ

ダブルタッチとは、1回の打撃で他の2つのボールにタッチすることである。

ダブルタッチについては、次のように処理する。

- step 1 近くに他のボールが2個以上存在するか調べる。存在しなければ終了。
- step 2 2個のボールと自分のボールの合計3個のボールの中心線を結び三角形を作る。step 3 この三角形とテンプレートの三角形とのマッチングをおこなう。

タッチ通過とダブルタッチにおいては、テンプレートマッチングを行なうが、テンプレートマッチングには次の方法を用いる。

図10 タッチ通過の可能な領域と、3つの中心点のなす三角形

1. マッチングするテンプレートの形は、あらかじめ決まっているが(図11に例を示す)、2つのボールとゲートあるいは3つのゲートが形成する三角形ができた時点で、テンプレートの縮尺をマッチングさせる三角形に一致させる。つまり、自分のボールとそこから遠い方の目標物までの距離にテンプレートの三角形の最も長い辺を一致させる。
2. 「く」の字型の大きさ、形によってダブルタッチ、タッチ通過が成功するための打ち方がある程度決まっているので、各テンプレートの画像とその打ち方(打つ方向と強さ)をセットにしてデータベース化しておく。(本研究ではテンプレートと打ち方のセットを8組使用している。)
3. 縮尺を変更した8個のテンプレートと調べるべき三角形とのテンプレートマッチングをすべて計算する。
4. テンプレートマッチングには、残差逐次検定法(SSDA, Sequential Similarity Detection Algorithm)[8][9]を使用する。残差逐次検定法では、次の式からテンプレート画像と入力画像との残差 ER を求める。

$$ER_{(x,y)} = \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} |I_{(x,y)}(i,j) - T(i,j)|$$

ただし、 I は入力画像、 T はテンプレート画像で $m \times n$ 画素である。

5. 求められた残差 ER が、ある定められた閾値以下であれば、そのテンプレートとマッチングしたとみなす。
6. テンプレート画像の大きさと残差 ER から計算されるマッチングの度合いをそのまま「～番ボール(ねらうボールの番号)をねらう」の適合度とする。(適合度 = $1 - (\text{残差 } ER) / (\text{テンプレート画像の面積})$)
7. 適合したテンプレートとセットになっている強さ(「強く」、「やや強く」、「やや弱く」、「弱く」)と方向(「やや右に」、「かなり右に」、「やや左に」、「かなり左に」)を表す副詞を採用する。

図11 テンプレートの三角形と、強さと方向を表す副詞の例

4.5 状況認識モジュール(R-module)

このモジュールは、L-module において言語表現された入力を使用して状況の認識を行なう。

状況の認識には、システムネットワークを用いる。ゲートボールにおける状況を表現したネットワーク(表3)を使用して状況の認識を行なう。

L-module で言語表現された入力からネットワークの中のすべてのパスに対して適合度を割り当てる。

また、R-module において認識された状況を用いて辞書を作成する。この辞書が戦略文、戦術文、ルール文の解釈するために使用される。ここで、この辞書を状況辞書と呼ぶ。状況辞書は、表4の形式でリスト化される。このうち適合度とは、ある見出しの語をある意味と解釈する適合の度合いを表す。この適合度は、あらかじめ個々にメンバーシップ関数を定め、その関数のとる値を採用する。

4.6 戦略文、戦術文、ルール文解釈モジュール(I-module)

すべての戦略文、戦術文、ルール文を状況に適合するように解釈するモジュールである。

4.6.1 GCS における文の解釈

本研究における解釈とは、次の2つのプロセスによる処理である。

1. ゲートボールにおける専門用語のデータベースや状況辞書を用いて戦略文、戦術文、ルール文の文中の用語を「意味」で置換し、その戦略文、戦術文、ルール文の適合度を更新する。つまり、すべての戦略文、戦術文、ルール文の前件部と後件部には適合度の初期値 1.00 を与え、状況辞書などの参照によって戦略文、戦術文、ルール文及びそれらの適合度を更新する。(I1-submodule)
2. 変換が終了した戦略文、戦術文、ルール文の、文自体の適合度をシステムネットワークを利用して計算し、I1-submodule で得られた適合度を更新する。(I2-submodule)

4.6.2 変換による解釈(I1-submodule)

ゲートボールの専門用語のデータベースや状況辞書を用いて戦略文、戦術文、ルール文の文中の用語を「意味」で置換し、その戦略文、戦術文、ルール文の適合度を求める。たとえば、 i 番目の戦略文の前件部の中のある単語と状況辞書の j 番目の項目が一致した場合、 i 番目の戦略文、戦術文、ルール文の前件部は次の式を用いて適合度を修正するとともに一致した単語をその「意味」で置換する。

$$grade_{tactics(i)} = \min(grade_{tactics(i)}, grade_{dic(j)})$$

$grade_{tactics(i)}$: i 番目の戦術文の前件部
または後件部の適合度

表3 状況認識のためのネットワークの一部

表4 GCSにおける状況辞書

見出し	意味	適合度
敵	2 番	1.00
⋮	⋮	⋮
次の順番の味方	5 番	0.70
⋮	⋮	⋮
通過すべきゲート	1 番ゲート	0.00
通過すべきゲート	2 番ゲート	1.00
⋮	⋮	⋮

表5 状況辞書の例

見出し	意味	適合度
⋮	⋮	⋮
危険な敵	1 番	0.80
危険な敵	3 番	0.30
⋮	⋮	⋮

$grade_{dic(j)}$: 状況辞書の j 番目の項目の適合度

状況辞書の中に1つの項目に対して2つ以上の意味が存在する場合には、その項目と一致する語を含む戦略文、戦術文の解釈は意味の個数だけ生成される。

(例) 状況辞書が表5のように求められたとき、

$$\text{危険な敵のボール} \rightarrow \begin{cases} \text{解釈} & \text{適合度} \\ \text{1 番のボール} & 0.80 \\ \text{3 番のボール} & 0.30 \\ \vdots & \vdots \end{cases}$$

戦略文、戦術文、ルール文の解釈は、一致する状況辞書の項目が存在しなくなるまで繰り返し、その時点でその戦略文、戦術文の解釈は終了する。

4.6.3 解釈の重複に対する処理

すべての戦略文を解釈した結果、戦略文の解釈の中に同じ解釈が複数生成されることがある。これは、戦術文、ルール文でも同じである。このとき GCS では、次の式によって適合度を更新し、同じ解釈をまとめる。

$$grade_{new} = 1 - (1 - grade_a)(1 - grade_b)$$

$grade_a$: 文 a の適合度

$grade_b$: 文 b の適合度

$grade_{new}$: 文 a と文 b をまとめた適合度

特に戦略文の解釈において、異なるランクの戦略文どうしが解釈によって同じ文になった場合には、上位のランクの解釈にまとめる。

(例) 戦略文の解釈を次のように処理する。

(戦略文)	適合度	ランク
3 番ボールをねらう	0.80	A
3 番ボールをねらう	0.20	B

↓

(戦略文)	適合度	ランク
3 番ボールをねらう	0.84	A

4.6.4 変換された戦略文、戦術文、ルール文の解釈 (I 2-submodule)

次に、解釈が終了した戦略文、戦術文、ルール文を R-module で示したネットワークのすべてのパスと比較する。戦略文、戦術文、ルール文の前件部、後件部の中でネットワークの 1 つのパスに使用されている項目を 2 つ以上含んでいるものは、その適合度を次の式で更新する。

$$grade_{tactics(i)} = \text{Min}(grade_{tactics(i)}, grade_{path(j)})$$

$grade_{tactics(i)}$: i 番目の戦術文の前件部

または後件部の適合度

$grade_{path(j)}$: ネットワークの j 番目のパスの適合度

度

(例) 次のように適合度を更新する。

前件部 戦況がやや優勢であれば 適合度 0.90

↓

前件部 戦況がやや優勢であれば 適合度 0.70

表6 状況認識ネットワークのパスの適合度の例

時間	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
戦況	全体的	優勢	0.40		
		やや優勢	0.70		
		ほぼ互格	0.90		
		⋮	⋮		

4.6.5 「安全な(場所)」、「危険な(場所)」などの用語の解釈

「危険な敵」などの用語は、打順から容易に解釈できるが、「安全な(場所)」、「危険な(場所)」などの解釈は、様々な要因を考慮する必要がある。GCS では、次のようにして「安全な(場所)」、「危険な(場所)」などの用語を解釈している。

「危険な(場所)」とは、(危険性の高い順に)

1. 後の順番の敵のボールに近い
2. 敵のボールに近い
3. 集まっているボールに近い
4. ゲートに近い
5. ゴールに近い
6. 味方のボールに近い
7. インサイドラインから遠い
8. 現在の自分の場所から遠い

「安全な(場所)」についても同じように、複数の要因を考慮して計算する。

コート上での危険な場所、安全な場所の具体例は、図 12 の通り。(ただし、図 12 において大きさの縮尺は正確ではない。)

4.7 戦略文、戦術文、ルール文選択モジュール (S-module)

このモジュールでは、I-module において解釈され、適合度を更新した戦略文、戦術文、ルール文の中から、状況に適合するものだけを選択する。このモジュールは、次の 3 つのサブモジュールから構成されている。

1. 戦略文を選択するサブモジュール (S 1-submodule)
2. 戦術文を選択するサブモジュール (S 2-submodule)
3. ルール文を選択するサブモジュール (S 3-submodule)

各サブモジュールについて説明する。

図12 コート上で1 番ボールにとって「危険な(場所)」、「安全な(場所)」

4.7.1 戦略文を選択するサブモジュール(S 1-submodule)

次の方法で戦略文の解釈が選択される。

- step 1 ランク A の解釈のうち適合度がある定められた閾値より大きいものがあれば、その中の最大の適合度を持つ解釈を採用して終了。なければ次の step へ。
- step 2 ランク B の解釈のうち適合度がある定められた閾値より大きいものがあれば、その中の最大の適合度を持つ解釈を採用して終了。なければ次の step へ。
- step 3 ランク C の解釈のうち適合度が最大のものを採用する。

4.7.2 戦術文を選択するサブモジュール(S 2-submodule)

次の 2 つの条件をともに満たす戦術文の解釈が存在すれば、それらをすべて選択する。

- 前件部の適合度がある定められた閾値より大きい
- 後件部の適合度が 0.00 でない

前件部を持たない戦術文は、その適合度が 0.00 でない限り常に選択される。また、2 つの条件を満足する戦術文の解釈が存在しなければ、なにも選択しない。

4.7.3 ルール文を選択するサブモジュール(S 3-submodule)

次の 2 つの条件をともに満たすルール文の解釈が存在すれば、それらをすべて選択する。

- 前件部の適合度がある定められた閾値より大きい
- 後件部の適合度が 0.00 でない

前件部を持たないルール文は、その適合度が 0.00 でない限り常に選択される。また、2 つの条件を満足するルール文の解釈が存在しなければ、なにも選択しない。

4.8 次の方策を検討するモジュール(N-module)

このモジュールでは、S 1-submodule において決定した戦略が成功した場合と失敗した場合の方策を検討し、口頭命令に反映させる。

碁、将棋、チェスなどのように打つ場所が決まったとき、その場所に正確に石や駒が置かれるゲームであれば、何手もの先を読むことが有効であるが、ゲートボールでは打者の技量などの要因によって、ねらった場所にボールが正確に移動とはかぎらない。そこで GCS では、次の一手だけを考える。

次の手を決定するためには、戦術文、ルール文は使用せず、S 1-submodule で選択された戦略文だけを使用する。

N-module は、次の 3 つのサブモジュールから構成

される。

- 戦略が成功した場合、次の方策を検討し、口頭命令に反映させるサブモジュール(N 1-submodule)
- 戦略が失敗した場合、危険を避ける方策を検討し、口頭命令に反映させるサブモジュール(N 2-submodule)
- N 1-submodule の出力と N 2-submodule の出力とを統合するサブモジュール(N 3-submodule)

4.8.1 戦略が成功した場合のサブモジュール(N 1-submodule)

継続してプレーができるのは、次の 2 つの場合のみであるから、次の 2 つの場合を検討する。

1. ~番ボールをねらう→~番ボールにタッチする
2. ~番ゲートをねらう→~番ゲートを通過する

1 の場合(タッチの場合)、次の方法で方策を検討する。

- step 1 ねらうボールの近くに他の(第 3 の)ボールが存在するか調べる。
- step 2 存在すれば、第 3 のボールをねらえるように、強さを表す副詞「強く」、「やや強く」、「やや弱く」などと方向を表す副詞「やや右に」、「まんなかに」、「やや左に」などを選択して終了。
- step 3 ねらうボールの近くに自分が通過すべきゲートが存在するか調べる。
- step 4 存在すれば、ゲートをねらえるように、強さを表す副詞「強く」、「やや強く」、「やや弱く」などと方向を表す副詞「やや右に」、「まんなかに」、「やや左に」などを選択して終了。
- step 5 ねらう相手が味方である場合、ねらう相手の近くに、そのボールの通過すべきゲートが存在するか調べる。
- step 6 存在すれば、そのボールがゲートをねらえるように、強さを表す副詞「強く」、「やや強く」、「やや弱く」などと方向を表す副詞「やや右に」、「まんなかに」、「やや左に」などを選択して終了。存在しなければ、そのまま終了。

step 6 では、スパーク通過になるので、ねらうボールの、ゲートに近い側に当てる。(図 13)

図13 「やや左に」、「やや右に」

2 の場合(ゲート通過の場合)、次の方法で方策を検討する。

- step 1 打者のボールとゲートとの延長線上を結ぶ。
- step 2 その延長線の近くに他のボールが存在するかどうか調べる。
- step 3 存在する場合には、そのボールをねらうので、そのボールに近づくように強さを表す副詞「強く」、「やや強く」、「弱く」などを選択する。
- step 4 存在しない場合には、アウトボールせず、かつ安全なインサイドライン近くに、次の打撃に進めるように「強く」、「やや強く」、「弱く」などの副詞を選択する。

4.8.2 戦略が失敗した場合のサブモジュール (N 2-submodule)

戦略が失敗した場合、危険を避ける方策を検討し、口頭命令に反映させる。

これには、次の方法をとる。

1. 味方のボールをねらっていて、かつ近くに次の順番の敵のボールが存在しない場合、ねらうボールまでの距離に応じて、口頭命令文に「弱く」または「やや弱く」を付け加える。(戦略が失敗したときに自分のボールとねらう味方のボールが、近づいて、敵からねらわれやすいということがないため。)
2. ねらう対象の近くにインサイドラインが存在する場合、ねらう対象からインサイドラインまでの距離に応じて口頭命令文に「弱く」または「やや弱く」を付け加える。(アウトボールしないようにするため。)
3. その他の場合、口頭命令文に「やや強く」を付け加える。

4.8.3 N 1-submodule の出力と N 2-submodule の出力とを統合するサブモジュール(N 3-submodule)

次の方法で N 1-submodule の出力と N 2-submodule の出力とを統合する。

- 方向を表す副詞(「やや右に」、「まんなかに」、「やや左に」)は、N 1-submodule だけから選択されるので、それを採用する。
- 強さを表す副詞(「やや強く」、「強く」など)は、N 1-submodule と N 2-submodule で同じものが選択された場合、それを採用する。
- 強さを表す副詞が、N 1-submodule と N 2-submodule で正反対のもの(「強く」と「弱く」、「やや強く」と「やや弱く」など)が選択された場合、両方とも採用しない。
- 強さを表す副詞が、N 1-submodule と N 2-submodule で程度の違うもの(「強く」と「やや強く」、「弱く」と「やや弱く」など)が選択された場合、「戦況が優勢である」の適合度が 0.50 より小さければ

N 1-submodule の出力を採用し、0.50 以上であれば N 2-submodule の出力を採用する。

4.9 口頭命令を生成するモジュール(C-module)

S-module において選択された戦略文、戦術文、ルール文から口頭命令を生成するためのモジュールである。

次の方法で、選択結果を統合し、口頭命令を生成する。

1. S 1-submodule で選択された戦略文はそのまま採用する。
2. S 1-submodule でタッチ通過、ダブルタッチの戦略文から強さを表す副詞、方向を表す副詞が選択されている場合それらを採用する。
3. 選択された戦略文から動詞と目的語(対象、場所を表すもの)を抽出する。
4. S 2-submodule で選択された戦術文のうち戦略文の動詞と同じ動詞を含むものを選択する。(同じ動詞を含むものが存在しない場合には戦略文をすべて捨てる。)
5. この中で前件部の適合度が最大の戦術文を選択する。
6. 選択した戦術文の後件部のみを取り出す。
7. S 3-submodule で選択されたルール文から戦略文の動詞と同じ動詞または戦略文の目的語と同じ目的語を含むものを選択する。
8. 選択されたルール文が存在する場合には、文末の形式を利用して次のように変形し口頭命令に付け加える。
「～してはならない」⇒ 「～しないように」
「～できない」⇒ 「～するように」
「～しなければならない」⇒ 「～するように」
「～できる」
9. N-module で選択された副詞があれば、付け加える。
10. 強さを表す副詞、方向を表す副詞がいくつかのモジュールから選択された場合、次のように優先順位で副詞を採用する。
(a) S 1-submodule のタッチ通過、ダブルタッチの戦略文から選択された強さを表す副詞、方向を表す副詞
(b) N-module から選択された強さを表す副詞、方向を表す副詞
(c) 戦略文、ルール文の解釈から選択された強さを表す副詞、方向を表す副詞
11. 動詞を命令形に変換する。その他、日本語文法のデータベースを利用して動詞を語尾変化させる。
12. 選択された言葉を結合して命令文を作成する。

次のような戦略文、戦術文、ルール文が選択されたときに口頭命令を生成する例を示す。

(例)

戦略文 「3番ボールをねらう」

戦術文 「3番ボールをねらう場合には、強く打つ」

ルール文 なし

1. 戦術文の後件部だけ取り出す。「強く打つ」
2. 戦略文「3番ボールをねらう」と組み合わせて「3番ボールをねらって、強く打て」とする。

4.10 GCSにおけるデータ処理の例

次に、GCSにおけるデータ処理の一例を示す。

4.10.1 シミュレーションのサンプル

次に示すゲートボールにおける状況のサンプルは、文献[10]から得たゲートボールにおける一場面である。

- 経過時間：8分(文献[10]には経過時間について記述がなく、「3巡目」とあるがここでは8分と仮定する。)
- 得点状況：自分のチーム(赤チーム)が9点、敵のチーム(白チーム)が5点
- 打者の技量：次の打者が1番、技量は、more or less skillful(文献[10]には技量についての記述がないが、このように仮定する。)
- 各ボール、ゲートの位置関係及びゲート通過状況は図14の通り。

4.10.2 データ処理のプロセス

上記のサンプルを用いて、GCSにおけるデータの処理を説明する。

1. ゲームの状況を入力する。
2. 入力した状況をL-moduleにおいて言語表現する。
 - 経過時間(8分)の言語表現と適合度を求める。
 - 打者の技量：more or less skillful
 - 得点差(4点)の言語表現と適合度を求める。
 - 各ボール、ゲートの位置関係は、打者(1番)と他のボールとの距離、打者とゲートとの距離、味方(3、5、7、9番)と敵(2、4、6、8、10番)距離を言語表現する。他のボール、ゲートが「近い」とい

図14 例題における各ボールの位置の概略とゲート通過状況

う言語表現の適合度は、表7の通り。このとき打者の技量 more or less skillfull も考慮している。

3. 言語化された入力状況からR-moduleにおいて現在の状況を認識する。具体的には、状況認識のネットワークのすべてのパスに対して適合度を割り当てる。表8に、R-moduleで認識された状況の一部を示す。

また、言語表現された状況を状況辞書としてリスト化する。この例題で作成された状況辞書を表9に示す。

4. 認識された状況に基づき、I1-submoduleにおいて戦略文、戦術文、ルール文の解釈を行なう。解釈には、作成された状況辞書、ゲートボールの専門用語のデータベースを用いる。

(例)戦略文「敵のボールを妨害する」から、状況辞書及びゲートボールの専門用語のデータベースを用いて、次の5つの解釈が生成される。

- 「2番のボールをねらう」
(適合度 1.00)

表7 ボール、ゲートが「近い」という言語表現の適合度

言語表現	1番との距離	適合度
2番ボールが近い	24.7 m	0.00
3番ボールが近い	6.9 m	0.00
4番ボールが近い	14.2 m	0.00
5番ボールが近い	4.7 m	0.33
6番ボールが近い	22.9 m	0.00
7番ボールが近い	2.9 m	0.77
8番ボールが近い	17.1 m	0.00
9番ボールが近い	2.5 m	0.88
10番ボールが近い	11.6 m	0.00
1番ゲートが近い	21.4 m	0.00
2番ゲートが近い	2.2 m	0.95
3番ゲートが近い	17.1 m	0.00
ゴールが近い	10.5 m	0.00

表8 R-moduleにおいて認識された状況の一部

時間	序盤	0.60		
	中盤	0.30		
	終盤	0.00		
戦況	全体的	優勢	0.00	自分
		やや優勢	0.80	
		ほぼ互格	0.20	
		やや劣勢	0.00	
		劣勢	0.00	
	部分的	味方 team	次の順番の味方	敵 team
			⋮	
		敵 team	次の順番の敵	
			⋮	

- 「4 番のボールをねらう」
(適合度 1.00)
 - 「6 番のボールをねらう」
(適合度 1.00)
 - 「8 番のボールをねらう」
(適合度 1.00)
 - 「10 番のボールをねらう」
(適合度 1.00)
5. 生成された 5 個の解釈「～をねらう」の適合度を I 2-submodule において計算する。これは、ゲートボールにおける文化のコンテキストのデータベースを参照し、「ボールが近ければ、ボールをねらう」を抽出する。この命題の前件部「ボールが近い」の適合度は R-module で求められたシステムネットワークに記述されている。この結果を利用して、5 個の解釈結果の適合度を I 2-submodule 中の式を利用して更新する。
 6. I-module から求められた戦略文 9 個の解釈は、表 10 の通り。
 7. 表 10 より S 1-submodule において戦略文の解釈として「9 番ボールをねらう」が選択される。(選択のための閾値として明確な基準は存在しないが GCS では、0.70 を使用している。)
 8. 戦略文、ルール文については、解釈結果を記述しないが S 2-submodule から表 11 の戦略文の解釈が選択され、S 3-submodule から表 12 のルール文の解釈が選択された。
 9. N-module において「9 番ボールをねらう」の次の方策を検討する。
 - (a) N 1-module において戦略文「9 番ボールをねらう」が成功した場合を検討する。9 番ボールの近くには、1 番ボールから見て右の近い距離に 9 番ボールの通過すべきゲートが存在する。したがって、強さを表す副詞「弱く」と方向を表す副詞「やや右に」を選択する。
 - (b) N 2-module において戦術文「9 番ボールをねらう」が失敗した場合を検討する。ねらう対象である 9 番ボールの近くにインサイドラインが存在するので、強さを表す副詞「弱く」を選択する。
 - (c) N 3-submodule において、N 1-submodule の出力と N 2-submodule の出力とが統合され、強さを表す副詞「弱く」と方向を表す副詞「やや右に」が選択される。
 10. C-module において口頭命令が生成される。
 - (a) 戦術文「9 番ボールをねらう」を採用。
 - (b) 戦術文の後件部「弱く打つ」を選択。
 - (c) ルール文の解釈のなかから、戦略文の目的語と一致する「9 番ボールにタッチできる」を選択。
 - (d) 「9 番ボールにタッチするように」に変形。
 - (e) N-module で選択された副詞「弱く」「やや右に」を採用。

表9 例題の状況辞書

見出し	意味	適合度
先の順番の味方	9 番	1.00
先の順番の味方	7 番	0.60
：	：	：
次の順番の味方	3 番	1.00
次の順番の味方	5 番	0.60
：	：	：
タッチできるボール	9 番のボール	0.88
：	：	：
危険な味方	3 番	0.00
危険な味方	5 番	0.00
：	：	：
他のボール	2 番のボール	1.00
他のボール	3 番のボール	1.00
：	：	：
味方	3 番	1.00
味方	5 番	1.00
：	：	：
敵	2 番	1.00
敵	4 番	1.00
：	：	：
通過すべきゲート	2 番ゲート	0.00
通過すべきゲート	3 番ゲート	1.00
：	：	：

表10 I-moduleから得られた、例題における戦略文の解釈

言語表現	適合度	ランク
ダブルタッチをする	0.00	A
タッチ通過をする	0.00	A
通過タッチをする	0.00	A
2 番ボールをねらう	0.00	B
3 番ボールをねらう	0.00	B
4 番ボールをねらう	0.00	B
5 番ボールをねらう	0.54	B
6 番ボールをねらう	0.00	B
7 番ボールをねらう	0.00	B
8 番ボールをねらう	0.00	B
9 番ボールをねらう	0.98	B
10 番ボールをねらう	0.00	B
1 番ゲートをねらう	0.00	B
2 番ゲートをねらう	0.00	B
3 番ゲートをねらう	0.00	B
3 番ボールの近くに移動する	1.00	C
5 番ボールの近くに移動する	1.00	C
7 番ボールの近くに移動する	1.00	C
9 番ボールの近くに移動する	1.00	C
安全な場所に移動する	1.00	C

(f) 日本語文法のデータベースを使用して、口頭命令が作成される。

11. 最終的に次の口頭命令が生成される。

「9番ボールをねらって、9番ボールにタッチするようにやや右に弱く打て」

4.10.3 シミュレーション結果に対する考察

文献[10]によると、この例題の状況では、「自分のチームの得点が9点、敵のチームが5点とやや優勢であるが、味方の7番ボールがアウトボールであるという弱みがある。そのため1番ボールは9番ボールにタッチし、9番ボールに第2ゲートをスパークで通過させ、自分は第3ゲート近くのインサイドラインぎわで敵の出方をうかがう。」となっている。この方法をとるため

表11 S2-moduleで選択された戦術文の解釈

戦術文の解釈	適合度	
	前件部	後件部
9番ボールをねらう場合には、弱く打つ	0.88	1.00
3番ボールに近づかない	-	0.60
5番ボールに近づかない	-	0.60

表12 S3-moduleで選択されたルール文の解釈

ルール文の解釈	適合度	
	前件部	後件部
打撃放棄ができる	-	1.00
第3ゲート通過ができる	-	1.00
2番ボールにタッチできる	-	1.00
3番ボールにタッチできる	-	1.00
4番ボールにタッチできる	-	1.00
5番ボールにタッチできる	-	1.00
6番ボールにタッチできる	-	1.00
8番ボールにタッチできる	-	1.00
9番ボールにタッチできる	-	1.00
10番ボールにタッチできる	-	1.00
試合時間は30分である	-	1.00
第3ゲート通過成立はフロント方向からの通過でなければならない	-	1.00
第3ゲート通過成立は第3ゲート線を完全に通過でなければならない	-	1.00
第3ゲート通過成立は最初の1回の第3ゲート通過である	-	1.00
第2ゲート通過成立した場合には、第3ゲート通過ができる	1.00	1.00

には、口頭命令「9番ボールをねらって、9番ボールにタッチするようにやや右に弱く打て」は、合理的なものとする。

5. おわりに

異種形態の情報を統一的に扱うための枠組として、データ融合について考察した。また、データ融合を実現する方法として言語情報に基づくデータ処理の例を示した。

言語情報に基づくデータ処理を実現するために選択体系機能言語理論の考え方をを用い、異種形態の情報を言語に変換して、言語によるデータ処理を行なった。

ゲームという、かなり制約のある社会ばかりではなく、広く一般の日常生活においても我々の身の回りには法律、イデオロギー、モラルなど様々な文化のコンテキストが存在し、この文化のコンテキストの中で情報の意味が決定される。

様々な形態の情報も、その受け手である人間が、どのように解釈するかによって情報の意味が決定される。

一方、人間における情報処理を考える上で、言語の役割は重要であり、言語なくしては人間の情報処理は成り立たない。

したがって、異種形態を言語レベルで融合することは、情報の意味を理解するうえで重要と考える。

参 考 文 献

- [1] C. McGinn, ヴィットゲンシュタインの言語論, 勁草書房, 1990.
- [2] M. Sugeno, Intelligent Computing, 5th International Conference on Information Processing and Management of Uncertainty in Knowledge-Based System, July, 1994.
- [3] M. A. K. Halliday, R. Hassan(笈壽雄訳), 機能文法のすすめ, 大修館書店, 1991.
- [4] 山口登, 選択体系文法理論(前編), 福島大学教育学部論集, pp67-79, 1986.
- [5] 日本ゲートボール連合, 公式ゲートボール競技規則, 日本ゲートボール連合, 1993.
- [6] 日本放送協会, ベストゲートボール, 日本放送出版協会, 1986.
- [7] 藤原頼高, 必勝ゲートボール作戦, 日刊スポーツ出版社, 1985.
- [8] 南敏, 中村納, 画像工学, コロナ社, 1980.
- [9] 柴山守, X11による画像処理, 技術評論社, 1994.
- [10] 財団法人日本ゲートボール連合, 日本ゲートボール連合機関誌「健康・長寿・幸福〜ゲートボール」, 財団法人日本ゲートボール連合, 11月号, No.119, 1994.
(1995年2月24日 受付)
(1995年5月6日 再受付)

付録：本研究で使ったゲートボールにおける戦術文、ルール文の一部

A.ゲートボールの戦術文

敵のボールをねらう場合には、強く打つ

味方のボールをねらう場合には、弱く打つ

ペアで行動する

次の順番の敵のボールをスパーク打撃する場合には、そのボールをアウトボールにする

敵のボールをスパーク打撃する場合には、ゲートの反対側にアウトボールにする

敵のボールをスパーク打撃する場合には、遠い場所にアウトボールにする

複数のボールをスパーク打撃場合には、異なる方向にアウトボールにする

先の順番の敵のボールをスパーク打撃する場合には、島づくりの当て球にする

先の順番の敵のボールをスパーク打撃する場合には、併せ打ちの当て球にする

先の順番の敵のボールをスパーク打撃する場合には、通過タッチの当て球にする

味方のボールをスパーク打撃する場合には、上がりのための付け球にする

味方のボールをスパーク打撃する場合には、ゲート通過のための付け球にする

味方のボールをスパーク打撃する場合には、島づくりのための付け球にする

味方のボールをスパーク打撃する場合には、通過タッチのための付け球にする

味方のボールをスパーク打撃する場合には、敵のボールの付け球にする

不利な状況のとき味方のボールをスパーク打撃する場合には、敵のボールに併せる

B.ゲートボールのルール文

打撃放棄ができる

他のボールにタッチできる

ゲート通過ができる

ゲート通過成立は、フロント方向からの通過でなければならない

ゲート通過成立は、最初の1回のゲート通過であるゲート通過成立の場合には、さらに1回打撃ができる

スパーク成立の場合には、さらに1回打撃ができる第1ゲート通過した後にアウトボールした場合には、第1ゲート通過成立でない

スパーク打撃の場合には、スパーク放棄ができる

スパーク放棄の場合には、スパーク成立である

アウトボールした場合には、次の順番のときにアウトボールの打ち入れでなければならない

アウトボールの打ち入れの場合には、他のボールへタッチができない

アウトボールの打ち入れの場合には、ゲート通過成立ができない

アウトボールの打ち入れの場合には、上がりができない

ゲート通過成立の場合には、1点である

[問い合わせ先]

〒154 東京都世田谷区池尻1-2-24

防衛庁技術研究本部

第2研究所光波第3研究室

福山 義幸

TEL : 03-3411-0151 (内)738

FAX : 03-3422-9485

著者紹介

福山 義幸 (ふくやま よしゆき)

防衛庁 技術研究本部第2研究所

昭和59年 東北大学物理学科卒、同年防衛庁入庁。昭和62年 東京工業大学総合理工学研究科修士課程入学。平成元年 同課程修了、同年 復職、現在に至る。

菅野 道夫 (すげの みちお)

東京工業大学総合理工学研究科システム科学専攻

昭和37年 東京大学理学部物理学科卒、同年 三菱原子力工業株式会社、昭和40年同退社、同年 東京工業大学工学部制御工学科助手、昭和52年 東京工業大学総合理工学研究科助教授、昭和60年 同教授、現在に至る。平成3～5年 日本ファジィ学会会長。工学博士。

A Study on Data Fusion Based on Functional Linguistic Theory

by

Yoshiyuki FUKUYAMA and Michio SUGENO

Abstract :

Generally, a human being deals with various forms of data such as sound, image, numerical, and linguistic. In order to solve numerous problems which occur in our everyday lives, we usually use more than two forms of data. Unconsciously, a human being combines more than two forms of data and integrates them and acquires knowledge from them. This process of a human being is called data fusion. In the human intelligent activities, language plays an important role. A human being uses language for thinking. Wittgenstein said that language is a tool for thinking. Language is important for human data processing. For the purpose of data fusion of heterogeneous forms of data, we regard language as a basic forms of data. Data processing based on language is called intelligent computing. In this paper, we consider an approach to realizing intelligent computing. Furthermore, we propose a framework of data fusion. In order to integrate heterogeneous forms of data, the meanings of data must be considered. For the purpose of considering the meaning of data, we use systemic functional linguistic theory. According to this theory, the meanings of words are determined use of them. Using this theory, the meanings of heterogeneous forms of data are also determined use of them. Therefore, this theory is suitable for realizing the concept of the intelligent computing. In this study, we propose the framework of data fusion based on systemic functional linguistic theory.

This framework is applied to the system which generates verbal commands a game called gate-ball. According to systemic functional linguistic theory, in the society where we live, there are laws, ideologies, morals which are called context of culture and they effect us in our sense of values. In the games, there are rules, strategies of their own, they also effect us in their restricted worlds. In other words, a game is a model of the society where we live. The system we propose in this study interprets rules, strategies, tactics of the gate-ball game and gives the instructions to the player suitable for the situations. In order to recognize the situations of the gate-ball game, not only numerical data but also image data and linguistic data must be integrated. This system integrates them in the linguistic form. We give a certain situation of the gate-ball game to this system, describe the series of data processing in this system, and consider the results of data processing.

Keywords : Systemic Functional Linguistic Theory, Intelligent Computing, Data Fusion

Contact Address : **Yoshiyuki FUKUYAMA**

*2nd Research Center, Technical Research and Development Institute,
Japan Defence Agency
1-2-24 Ikejiri, Setagaya-ku Tokyo, 154 Japan
TEL : 03-3411-0151(ext.738)
FAX : 03-3422-9485*