

# AI(Artificial Intelligence)を組み込んだセンサーネットワーク A Sensor Network with AI(Artificial Intelligence)

郡 武治\*

Takeharu KOHRI

## Abstract:

I have proposed a novel sensor network with AI(Artificial Intelligence). AI is caused with if-then production rule. The production rule is planted in every node of a sensor network. The interference engine is constructed with these production rules. Then the sensor network unites to make optimum sensing and control.

In this paper, the principle of a sensor network with AI(Artificial Intelligence) is explained.

The three sensor network modes with following three AI methods are discussed.

- Production rule such as “if” and “then”
- The real and virtual rules which are the possible state tradition.
- Reproduction and estimation by using back and forward.

Finally, an application model such as avoidance of hazards by proposed sensor network is shown.

## 1. まえがき

環境埋め込み形センサーネットワーク、ネットワークロボットなど、周囲環境と協調して作用を行なう高度な認証制御を伴うセンサーネットワークの研究が行なわれている。本研究は、このようなネットワークに適合する方法として、AI(Artificial Intelligence)を組み込んだネットワークを検討するものである。

具体的な研究として、近年、小さな無線デバイスを環境に設け、ユーザの行動を認識し、協調したサービスを行なうシステムなど、環境に埋め込まれたセンサーネットワークとアクチュエータとの協調制御など高度な認識制御の研究がいろいろな角度から行なわれている。

また、総務省ではロボット技術とセンサーネットワーク技術を組み合わせたネットワークロボットに関する調査研究が行なわれ<sup>[1][3]</sup>、さらに、電子情報通信学会において、特集号<sup>[2]</sup>が組まれるなどこの分野の注目度は高い<sup>[15]</sup>。

情報処理技術としても、ロボティクスや機械知能の分野では、知能化に伴い増続ける多種・複数のセンサーから情報をどのように統合・融合するべきかが、重大な課題として認識され、センサフュージョンと呼ばれる研究分野を構成している<sup>[4]</sup>。

これまでの、取り組まれた具体的な方法として、センサーネットワーク、ロボットなどの、インターフェイスを標準化し、共通のプラットフォームに情報

を上げ、認識と制御を行っていた方法がある。この方法は、逐次変わるサービス内容に対し、サービスに合ったプラグインにより、異なる能力、機能を持つセンサー、アクチュエータを有機的に連携し、駆動する方法として、オーソドックスな方法であると考える。

問題点としては、プラットフォームに上げられるセンサーの情報が多いと、情報の爆発が起こり、認識機能、制御機能の低下ばかりでなく、ネットワークリソースも多く消費することになる。このため、機能の多くは末端であるロボット、認識センサーに持たせ、集約された情報のみプラットフォームに上げ、処理する構成となっている。

ここで、筆者は、従来単なる情報の伝送道具であったセンサーネットワークそのものに、認識の機能、制御機能を持たせることを考えた<sup>[16][17]</sup>。アプリケーションの内容をネットワークが理解し、有機的に結合し、認識、制御するものである。

着目したのは、AI技術である。

知識と推論エンジンにより、実行される手法をネットワークそのものに取り入れ、認識と制御を行うものである。

具体的方法として、3つのモデルを考えた。

- 各センサーノード、アクチュエータに if-then に基づくルールを入れておき、イベントが起きたときこのルールに従って、行動を起こすプロダクションシステム

2010年3月31日受理

\*理工学部 電気電子工学科

- ・ 仮想的に異なる認識制御をセンサーネットワーク上で実行させておき、最適時切り替える方法
- ・ 結果を時間的に前の認識制御に生かし、曖昧な過去の情報を補償し改善するトレイスフィードバック法

提案する AI 手法を取り入れたセンサーネットワークでは、アプリケーションの機能をネットワークそのものが実行することから、さまざまなサービスに即応できること、曖昧な条件でも、とりあえずスタートできることなど、優れた特徴を持つことが分かった。

本文では、上記の3つの具体的モデルの原理および特徴を説明する。さらに、電界強度を用いたメタルールなど無線伝送特有の性質を用いた AI 手法についても述べる。最後に応用事例として、車の危険防止に適用した事例を示す。

## 2. AI 技術によるセンサーネットワークシステムの原理

### (a) プロダクションシステム

プロダクションシステムを入れたセンサーネットワークシステムの原理を図1に示す。

ここで、各ノードは if-then に基づくプロダクションルールが埋め込まれているものとする。

プロダクションルールは知覚前提条件 (if) と行動 (then) からなるもので、各ノードの持つセンサー又は他ノードからの通知が条件(if)に適合すると、行動 (then) として、当該ノードがアクチュエータ、スイッチなどによる直接行動又は該当ノードへの通知を行う。

動作は次のように行われる。

- ① ノード A はセンサーを有し、センサーの値があらかじめ埋め込まれた条件(if)を満たす時、行動 (then)として、当該ノードへ通知する。当該ノードへの通知は、送り先 ID により、通知先を限定する場合と同報的に伝送し、受信側で選択する2つの場合が考えられる。
- ② ①におけるルールの実行はノード B においても同様に行われるものとする。
- ③ ノード C では、ノード A、B などからの通知内容があらかじめ埋め込まれた条件(if)を満たす時、行動(then)として、直接アクチュエータ、スイッチなどによる実行、又は、さらに上位のノード D へ通知を行う。

このように動作することにより、センサーネットワーク全体で、推進エンジンを構成し、実効することが可能となっている。

具体的例として、環境に埋め込まれたセンサーネットワークと移動するノードがある場合の構

成を図2に示す。

この場合、移動するノードにも同様にプロダクションルールを書き込む、ことにより、協調型インターフェイスを構成することができる。また、環境に埋め込まれたノードの持つプロダクションルールを別な手段で変更すれば、移動するノードに合わせて、新たな環境を創作することが可能である。

次のような特徴が考えられる。

プロダクションルールを入れ替えることにより、環境側を任意のユーザに合わせることができる。

移動ノードが近づいた時、環境側ノードの連絡を密にすれば、協調形インターフェイスを構成することができる。

一箇所に情報を集め制御する方法に比べ、分散自律型であることから、障害に強い。

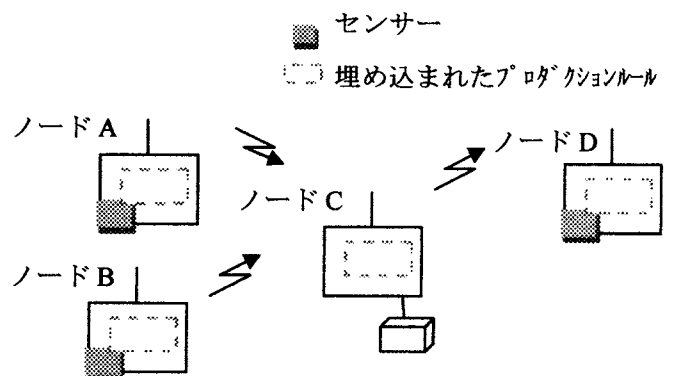


図1 プロダクションシステム入れたセンサーネットワークシステムの原理

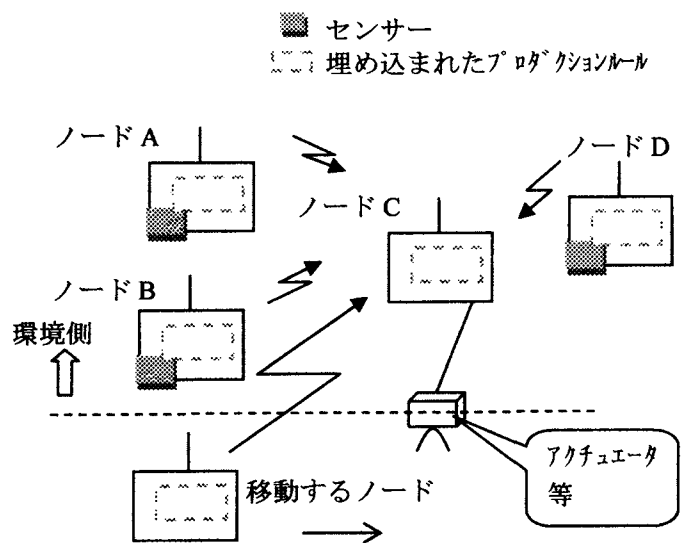


図2 環境に埋め込まれたセンサーネットワークと移動するノードがある場合

(b) 実空間認識制御と仮想空間認識制御を作り、両空間をセンサーネットワーク上で実行させておき、最適時、空間を切り替える方法

曖昧な認識、複数の制御パターンがある場合、複数の動作が考えられる。また、時間的にやり直しのできない場合もある。

このような時、現実の認識制御とは別に、別な認識制御を仮想的にしておけば、最適な方法が途中で見つかった場合、即座に対応できる。

そこで、ネットワークを含めて、仮想的な認識制御を冗長であるが、実行しておくことが考えられる。

図3に仮想制御を含む認識制御フローとノード間を伝送する信号を示す。

時刻Aにおいて、分岐があり、時刻Bにおいて、最適な分岐方向が見つかった場合、それまで、仮想空間を含め、複数認識制御を実行しておくことにより、時刻Bにおいて、実空間と仮想空間を切り替え、実行を継続することが可能である。

最近のCPUでは、同じような考えで、処理速度を向上させるために、分岐命令を投機的に先行実行させておき、後で間違いであることが分かった時のみ、立ち戻り実行する構成となっている。

本方法では、次のような特徴が考えられる。

曖昧な条件でも、ネットワークを含めた準備ができていることから、空間を切り替えることにより、即座に最適な認識制御が実行できる。

一箇所に情報を集め制御する方法に比べ、分散自律型であることから、サービスの変更、障害に強い。

<ノード間の伝送信号>

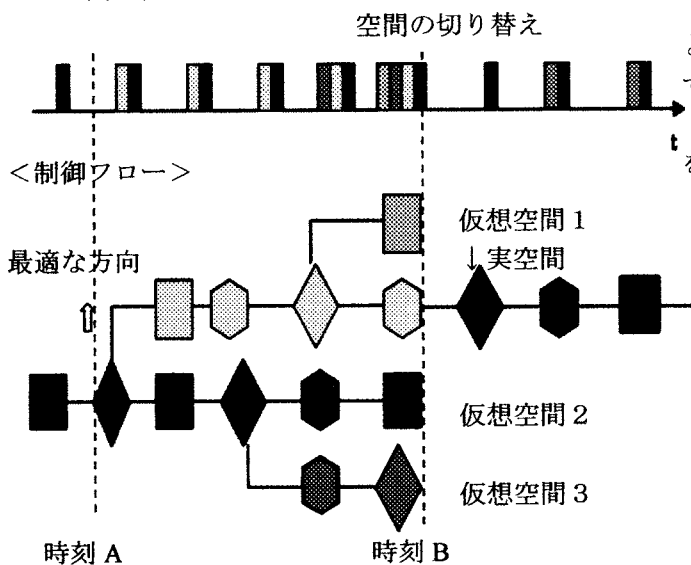


図3 仮想制御を含む認識制御フローとノード間を伝送する信号

(c) トレースフィードバック法

実社会では、後から“あの時、分かっておれば”と考えることがある。

このような結果を時間的に前の認識制御に生かせる方法をトレースフィードバック法と名付けた。

トレースフィードバック法の原理を、位置検出に適用させた場合を例にして説明する。

位置推定モデルを、対象物から送信される信号を面的に配置した検知センサーを付けたノードで検出し、位置を推定する構成にする。

最初は、対象物から送信される信号は周辺障害物などによる反射等において、曖昧になり、そのため位置検出精度は低い。しかしながら、時間の経緯とともに、統計的なノードにおいて受ける信号の統計的な処理、対象物の動きから、矛盾する受信データの排除処理などにより、位置検出精度は、高くなる。図4(a)は、定期的に検出される対象物の位置を示したもので、円の中に対象物があることを示している。時間の経緯とともに、検出精度が向上することから、次第に曖昧さが少なくなることを示している。

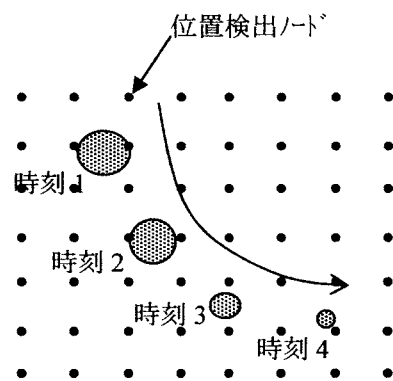
次に、過去の時刻1,2,3において、検出された各ノードの受信情報をもう一度用いて、位置を再推定すると、時刻4において向上した位置精度で時刻1,2,3における位置を確定することができる。図4(b)はこれを示したものである。

図4(c)は、時刻4までの、遅延時間はあるが、時刻1,2,3,4における対象物の位置推定情報をセンサーネットワークの位置情報として、伝送していくことができることを示している。

本方法では、次のような特徴が考えられる。

曖昧な条件でも、とりあえずスタートできる。ネットワーク側において、本処理を実行することから、ローカル的な部分に生じる曖昧度を改善することが可能である。

一箇所に情報を集め制御する場合、情報の圧縮を図ることができる。



(a) 定期的に検出される対象物の位置

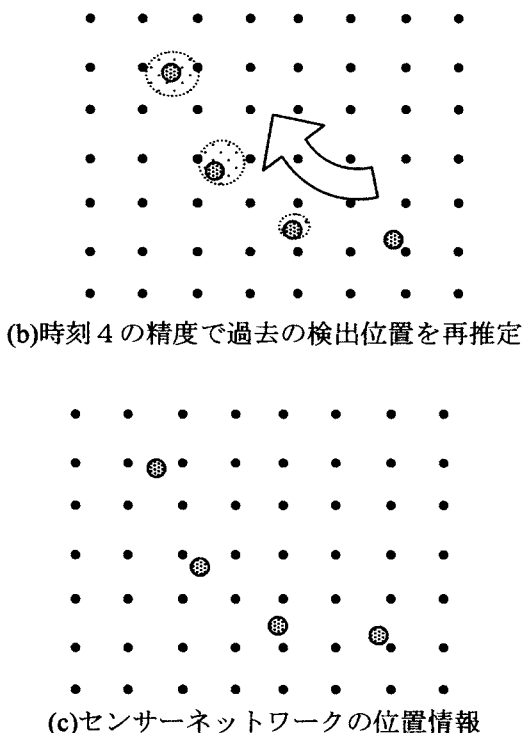


図4 トレースフィードバック法

3. 無線伝送特有特性を用いた AI 手法

AIにおける推論制御において、全体を制御するメタルールが大きな役割をする。

一方、無線伝送では、電波の強度により、エリアを任意に設定できる。従って、関連するノードを制御するメタルールを電波の強度を用いて伝送することにより、瞬時に当該ノードに送り、同時にメタルールによる制御を追加することができる。

図5は電波強度コントロールを用いたダイナミックエリアメタルール伝送方法を示したものである。

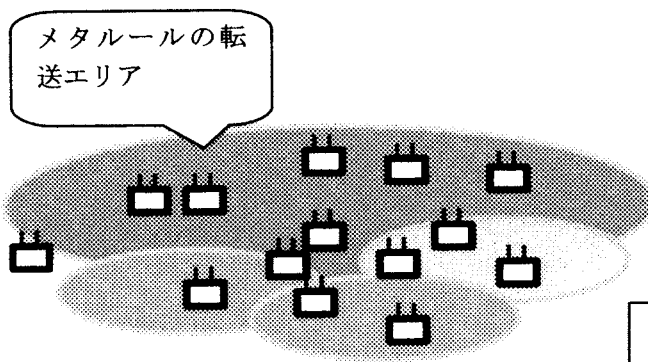


図5 電波強度コントロールを用いたダイナミックエリアメタルール伝送方法

4. アプリケーション例

提案する AI を用いた提案するセンサーネットワークシステムのアプリケーション例を示す。

<車の危険防止に適用した事例>

人間をノードと考えると、反応の遅延時間が大きい。例えば反射神経は 0.1 秒程度であるが人間の認識を含めると 0.5 秒に達する<sup>[13][14]</sup>。通信速度はそれに比べ2桁程度速い。そこで、車内にノードを張り巡らし、常に、仮想的な認識制御を同時実行させておき、危険な状態が近づいた場合、通信により、人間の認識よりも先回りし、ブレーキ、サスペンション等安全性に関する部分を準備しておけば、応答速度を早くし、危険を回避することが可能である。また、人間の意志により、制御が行われ、時間的な余裕がない場合においても、分岐に従って仮想的に実行することにより、即座に対応することが可能である。

図6は実施例を示したものである。

本例において、センサーネットワークは複数の仮想制御を同時に走らせ、状況（人間の応答、環境の状況）に応じて、最適な仮想制御を実制御に切り替えることができるようになっている。

人間が危険を感じ、ハンドルを右に切った場合、ネットワーク側は右、左の両方のパターンをすでに認識制御していることから、即座に対応することが可能となることがわかる。

条件

人間の認識：500msec

人間の応答：数 10msec

センサーネットワークの速度：数 msec

仮想制御を実行させる ノード間伝送信号

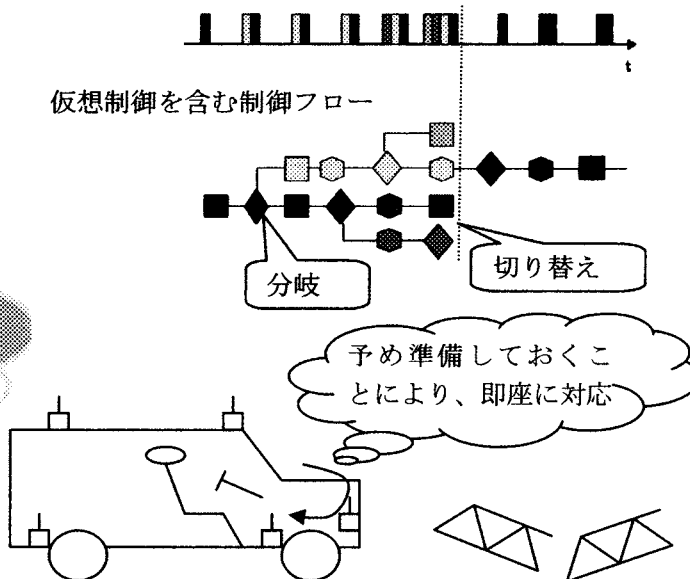


図6 車の危険防止に AI を用いたセンサーネットワークを適用した事例

## 5. あとがき

AI技術をネットワークに適用したセンサーネットワークシステムモデルを3つ検討した。

提案方法は自律分散したセンサーネットワークにおいて、実現したものであり、従来の集中制御形と異なる。

これから研究開発が加速されると思われるネットワークロボットなどに特に有効であると考えます。

今後は、実回路により検証する予定である。

## 6. 謝辞

本研究テーマを遂行するに当たり、貴重なご意見をいただいた上智大学理工学部服部武教授に深謝いたします。

## 文 献

- [1] 総務省、“ネットワークロボット技術に関する調査研究会報告書、”  
[http://www.soumu.go.jp/s-news/2003/030724\\_1.html](http://www.soumu.go.jp/s-news/2003/030724_1.html)
- [2] “特集 ネットワークロボット最前線”、電子通信学会誌、Vol.91,No.5,2008
- [3] 土井、萩田、小林、“ユビキタス技術 ネットワークロボット-技術と法的問題-”、オーム社、2007
- [4] M.Adlesee,R.Curwen,S.Hodges,J.Newman,P.Steggles,A.Ward,and A.Hopper, ”Implementing a sentient computing system,” IEEE Comput.Mag., vol.34,no8, pp50-56 Aug.2001
- [5] 西尾、“超小型デバイス用無線とセンサーネットワーク技術”、信学会誌 Vol.87, No.5(20040501) pp. 379-384,2004
- [6] 安藤、田村、戸辺、南、“センサーネットワーク技術”東京電機大学出版、2005
- [7] 石川 “アクティブセンシングとロボットハンド”、日本ロボット学会誌、vol.111、no7,pp938-942,1993
- [8] 鏡、石川 “センサフュージョン-センサーネットワークの情報処理構造”、信学論文誌 A Vol.J88-A No.12 pp1404-1412,2005
- [9] W.R.Heinzelman,J.Kulik and H.Balakrishnan, ”Adaptive protocols for information dissemination in wireless sensor networks”, Fifth ann.ACM/IEEE Int. Conf, MOBICOM, pp174-185, 1999
- [10] B.Chen,K.Jamieson,H.Balakrishnan and R.Morris,”Span:an energy-efficient coordination algorithm for topology maintenance in ad hoc wireless networks,”ACM MobiCom 2001
- [11] C.Intanagonwivat,R.Govindan and D.Estrin,”Directed diffusion: A scalable and robust communication paradigm for sensor networks”,Sixth Ann.ACM/IEEE Int. Conf.MOBICOM,pp56-67,2000
- [12] 荒井、小川、バロリ・レオナルド、“移動ロボット群協調制御のためのリアルタイム通信機構の性能解析”、信学技報 IN2005-81,2005
- [13] 本郷、廣重、豊田、熊田、小澤、福田、本間、標準生理学(第5版) pp115-137
- [14] ベンジャミン・ハット(下條訳) “マインド・タイム”、岩波書店,2005
- [15] 阪田 “センサーネットワーク”、オーム社、2008
- [16] 郡、“アクティブセンサーネットワークと協調型インターフェイスの研究”,信学技報 MoMuC2008-13,2008
- [17] 郡 “AI(Artificial Intelligence)を組み込んだセンサーネットワークの検討”,信学技報 USN2008-12,2008