

ニューラルネットとファジィシステムの融合 技術： 民生機器への応用

Takagi, Hideyuki
Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.

<https://hdl.handle.net/2324/4488700>

出版情報：1993-10. サイエンス社
バージョン：

権利関係：出版社との取り決めにより、一次情報（PDF）の変更・印刷・内容のコピー不可



3 ニューラルネットとファジィシステムの 融合化技術：民生機器へ応用

高木英行

本章では、融合化技術そのものについては簡単に済ませるか参考文献に譲り、具体的応用事例を紹介する。

1 ファジィシステムとは

我々が人間のモデルを作る場合、そのベースになる知識には定性的な表現が多く含まれる。特に技能に関わる知識がそうである。車の運転や書道など、実演はできても明示的に全てを表現することは大変難しい。しかしながら、縦列駐車での「左後輪が前の車の後輪と並んだらハンドルを左に切り、右後輪が車の列に入ったらハンドルを右に切る」^[1]などの知識はだれでもが容易に示すことができる。この知識を直接表すことができれば、システムの設計が容易になる。

もちろん運動方程式や状態方程式のような数式モデルによる表現も不可能ではないが、この例のように人間の技能をモデル化する場合、数式モデルそのものは知識の直接表現ではないことに加え、精度を求めることが拘束条件を厳しくし、複雑なシステムの場合コスト高を招くことも念頭におく必要がある。例えば上例の場合、タイヤの位置関係が路肩と完全並行(0°)になるまでハンドルを切らないように固定することは、制御の選択の余地を狭めることになるし、我々の日常生活の感覚、実際の行動の自然なモデルと言えない。

このようなあいまいさ、定性表現を含む知識を実際のシステムに移植して実行させるためには、この部分を別に定量的に表さなければならない。タイヤの位置関係と路肩とがなす角度が0°の場合はもちろんのこと、1°であっても98%並行である、と中間状態を認める考え方、これが上例の場合における「ハンドルを切り始める場合の並行位置」を定義するファジィ集合で、これを定義した関数をメンバーシップ関数という。

ファジィ推論の大きな特徴は、あいまいさを含んだ知識(狭義のルール)と

あいまいさの定義（メンバーシップ関数）を分離することによって、人間の知識を直接表現する方法論を与えたことにある。このためモデルの設計が直接的、かつ容易になった。ファジィ制御システムが盛んに実用化されている理由は、非線形制御が可能であること以上に、経験の浅い技術者にも容易に設計でき、開発コストが低減できることが大きい。

[ニューラルネットとの接点]

ファジィ推論システムはニューラルネットと類似性がある。第1の類似点は、初めに全体を構成する部分があり、その部分の合成として全体の系が表される点である。この等価性を議論した論文^[2]も発表されている。ファジィ推論システムでは各変数毎にメンバーシップ関数を定義することによって、入力空間をファジィ分割する。1つの部分空間は1つの推論ルールに対応する。推論ルール全体がつくり出す全体の系は、部分空間の合成結果として表される。ニューラルネットの全体像も同様に、各ニューロン関数の合成の結果として表される。全体の調整は、全体を構成する部分、すなわちメンバーシップ関数またはニューロンの結合強度の調整によって行う。これに対し数式モデルでは、全体を定義するモデルを初めに定義し、数式のパラメータを調整することでモデルのチューニングを行う。

第2は演算の類似性である。複数の入力を重み付けして1つの出力値を決定するというニューロンの演算は、推論ルールへの複数の入力をメンバーシップ値で重み付けして最終出力を推論する過程と共通する。

一方、ニューラルネットとファジィシステムはお互いにはない特長を持っている。ニューラルネットの場合学習機能であり、ファジィシステムの場合明示的な論理表現である。ニューラルネットとファジィシステムの融合化技術は、各々の類似点を重畳させる方法と、お互いの特長を補完的に組み合わせる方法がある。これらの研究の歩みは文献^[3]に譲り、以下では民生機器に絞って実用化された融合化技術を紹介する。

2 民生機器への応用の課題

一般に民生機器への技術応用は産業機器への応用以上に難しい側面を持っている。第1は技術実現に対するコスト要求が厳しいこと、第2は要求される信頼性が非常に高いことである。

どんなに有効で完成度の高い技術であっても、応用した最終製品・機器の価格性能比が悪ければ実用化技術にならない。周辺技術が将来改革されるのを待つか、最悪、日の目を見ない技術になってしまう。一般に民生機器は産業機器に比べてコスト面での制約が厳しいので、その応用技術は技術的完成度以外にコスト面での要求仕様を満たすことが強く要求される。ニューラルネットの学習時間の問題は、それを実行するチップコストに直接関わる。また、機器の低コスト化が新たな問題を生み、それを解決するために新たな技術が要求される場合もある。例えば、安価なモータを採用したため、周波数依存性が高い回転トルク特性に対応した非線形制御が要求されるような場合である^[17]。なおこの事例ではファジィ制御でこの2つの問題を解決している。

第2の困難な点は、民生機器が不特定多数のユーザーを対象にしているため、信頼性に対する要求が非常に厳しいことである。トラブルが起きた場合、技術者が現場で対応することができないので、即、欠陥品として扱われ、その商品のみならずメーカー全体に対する信用イメージを著しく低下させてしまう。ニューラルネットを民生機器に導入する目的の一つにユーザーサイドでの学習機能の実現がある。しかしながら学習機能を追加したために開発時に予期しない状態に陥ったり、誤った学習を行わせて性能低下を招く可能性が十分に考えられる。現在の関心の一つに、いかに安全性・性能保証を保ちつつ学習機能を実現させるかという課題がある。

これまでに実現されたニューラルネット技術を用いた民生機器開発を振り返ってみると、1990年末から始まった学習機能のない民生機器と1991年夏から始まった学習機能の実現の2つのフェーズに分けられる。この展開を先の2つの観点から見ると、まずコスト面での制約は、開発段階で用いる、ファジィシステムをコンパイルし table-lookup 方式に変換してから実装する、小さなモデル規模にとどめる、新規モデルを開発し学習速度対価格比を向上させる、等である。一方、学習機能の実現はまだ始まったばかりであり、安全性・性能保証の問題を十分に解決しているわけではない。

3 NN の 応 用

以下の章では、具体的に民生機器へ応用された事例を紹介し、どのようにニューラルネットが用いられ、どのようにファジィシステムとの補完を果たして

表1 日本におけるニューラルネット技術応用民生機器
(1991年9月20日現在)

松下電器産業	エアコン ジャー炊飯器 電子レンジ	洗濯機 石油ファンヒータ 電磁調理器	掃除機 ジャーボット
三洋電機	洗濯機 家具調こたつ 石油ファンヒータ	乾燥機 ホットカーペット ジャー炊飯器	電子レンジ 扇風機
日立製作所	ジャー炊飯器 掃除機	石油ファンヒータ	洗濯機
シャープ	冷凍冷蔵庫 石油ファンヒータおよびFF式石温風暖房機	洗濯機	ジャー炊飯器
三菱電機	石油ファンヒータ	IHジャー	
東芝	電子レンジ	洗濯機	
富士通ゼネラル	石油ファンヒータ		
コロナ販売	石油ファンヒータ		
トヨタミ	石油ファンヒータ		

いるかを見てみよう。以下では、学習機能のないニューラルネットと学習機能のあるニューラルネットに大別して紹介する。

これまでに民生機器に用いられたニューラルネット技術の使用形態には以下の5つがある。

- (1) 開発ツール型：ファジィシステムの開発において従来試行錯誤的に行われてきたメンバーシップ関数の調整を、設計も含めて自動化する。
- (2) 独立機能型：ファジィ技術とは独立にニューラルネットを用いるもの。以下の紹介では非線形関数の近似機能が利用されている。
- (3) 補正型：センサー情報の追加に伴うファジィシステムの全体の再設計をする代わりに、追加したセンサー情報を入力し追加前のシステムの出力を補正するニューラルネットを組込む。
- (4) 縦属組合せ型：ファジィシステムの出力をニューラルネットの入力とする、あるいはその逆のシステム。ファジィシステムとニューラルネットシステムの役割分担を図る。

3章 ニューラルネットとファジィシステムの融合化技術：民生機器へ応用 211

- (5) 学習機能の実現：第4節では、標準システムに対する個人の好み・補正を現場学習するもの。各家庭毎の機器使用パターンあるいは機器使用環境を記憶しそれに対応した動作をする機器を紹介する。

なお、学習機能がないニューラルネット組込み機器では意味がないかのような論調の意見も聞かれるが、学習機能はニューラルネットを用いる理由の一つであって、非線形性の利用、アルゴリズム的な知識獲得など他の特徴を活かした応用事例の意義も同様に評価すべきであろう。

1991年の9月20日現在で日本には表1のような14種類の民生機器にニューラルネットが用いられている。日本ではファジィ制御応用が1990年に急速に広がったことと関連して、表1の機器はすべてファジィ技術とニューラルネットが組合わせて用いられている点が特徴である。

日本以外では韓国にその応用製品が見られる。1991年11月にソウルで開かれた3つの学会の合同会議^[4]の展示では、金星のエアコン、金星、三星、大宇の洗濯機、三星の石油ファンヒータ、そして金星の電子レンジの4機種にニューラルネット技術が応用されていた。

[応用事例1：開発ツール型]

ファジィシステムは定性的な表現を含む知識を直接ルールとして扱うが、そのファジィ量を定義するメンバーシップ関数は具体的に持ち合わせない場合が大半なので、試行錯誤の調整によってシステムの性能を最大にする必要があった。このメンバーシップ関数の調整をアルゴリズムックに行い、開発時間の短縮と性能の向上を図ろうとする技術の一つが、ニューラルネットを用いる方法である。この研究は、多次元の入力空間を直接ファジィルール分割する非線形多次元曲面のメンバーシップ関数を設計するようニューラルネットを用いることから始まり^[5,6]、現在、メンバーシップ関数の形状に制限を加える代わりに高速化を図る方法^[7-9]が実用化されている。

具体的に洗濯機を例にとって説明する(図1)。この例の場合、布量・水濁度・水濁度の時間変化の3つの入力変数から成る入力空間をファジィルール分割するのであるが、一次元の三角形のメンバーシップ関数を仮定して、各変数軸毎にこの三角形メンバーシップ関数で入力空間を分割する。この分割によって、例えば、布量が「かなり少ない」「やや少ない」～「かなり多い」まで複数分割

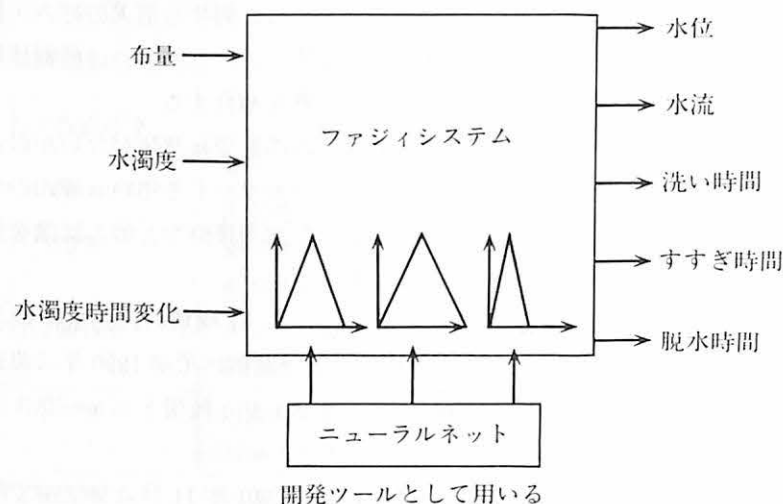


図1 ニューラルネットでメンバーシップ関数を決定するシステム

される。

この時、どのような三角形のメンバーシップ関数を用いてルール分割するかによってファジィシステム全体の性能が左右される。三角形をその中心位置と幅によって規定し、学習データに対するファジィシステムの理想出力と実出力の誤差を最小にするような二等辺三角形メンバーシップ関数の中心位置と幅を最急降下法で求める。すなわち、重み係数が2変数で規定される三角メンバーシップ関数値のネットワークを考え、最急降下法で誤差を最小にするネットワークを求めることと等価になる。

このアプローチは主に松下電器グループ各社の製品開発に採用されている。

[応用事例2：独立機能型]

単独でニューラルネットが用いられている事例である。

快適さについて、体からの発熱量と体から外部に吸収される熱量のバランスが取れた時が最も快適である、という考え方がある。この指標として国際標準化機構ではPMV (Predicted Mean Vote) ^[10]をISO-7730で定義している。これは図2の右に示す6変数からなる関数である。この指標値が得られれば、快適値に近づけるようなエアコン制御の目標ができる。

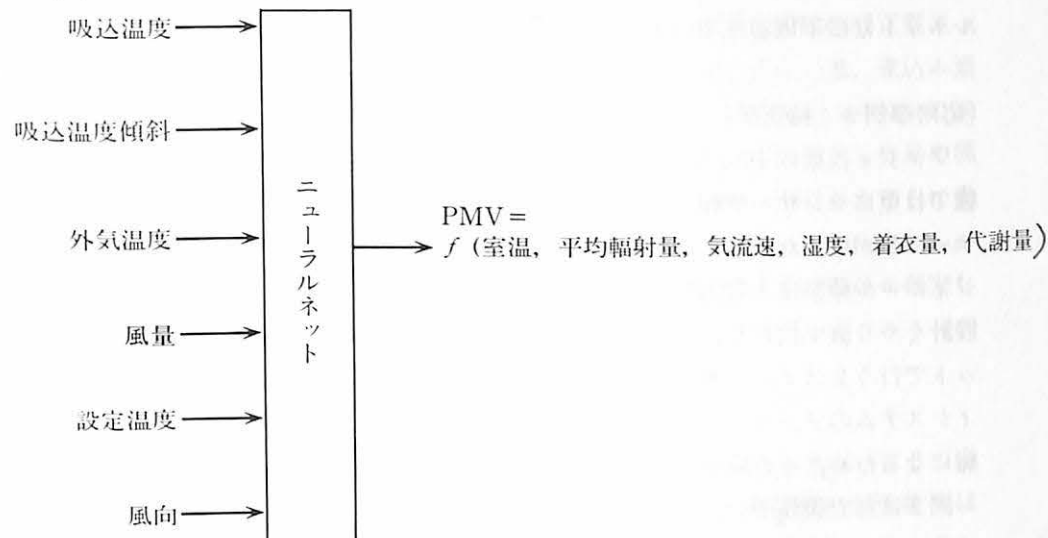


図2 6次元空間から6次元空間への非線形写像

しかしながら、着衣量や代謝量の変数を考えても判るように、通常のセンサーでの計測は困難であり、室内のエアコン利用者に計測を強制すれば大変使い勝手の悪いものになる。一方図2の左に示す変数はセンサーでの計測が容易なものばかりである。

そこで、図の左の6変数からなる入力空間から、図の右の6変数からなる空間への写像関係が得られれば、快適指標値を推定することができる。もちろん、図左の6変数は図右の6変数の情報をすべて包含しているわけではないので、正確な推定が得られるわけではないが、許容範囲内の誤差であれば実用化が可能である。

問題は、多次元空間どうしの非線形な写像関係をいかに求めるかであるが、これはニューラルネットに適した課題である。1つの室内環境で、図左の6変数を計測して入力データとし、図右の6変数を計測してPMVを求めこれを教師データとする。この室内環境を変化させることで複数の学習データを収集し、ニューラルネットにこの写像関係を学習させる。こうして快適指標を推定するニューラルネットが出来上り、この推定指標を基にエアコンが制御される^[11]。機器に組込まれたこのニューラルネットは学習機能を持たないが、非線形な関数近似機能を利用したニューラルネットらしい応用と言えよう。このニューラ

ルネットは松下電器産業のエアコンに組込まれている。

[応用事例 3：補正型]

ファジィ技術は 1990 年から各社の民生機器に応用され始めた。そして後続機種では更にセンサー情報を増やしてきめ細かな制御を目指した。しかし、センサーの数が増えれば増えるほど入力空間の次元数が増え、その空間の最適ファジィルール分割は大変困難になる。第 3 の事例は、一からファジィシステムの設計をやり直す代わりに、追加したセンサー情報に対する補正をニューラルネットで行うシステムである。このシステムが用いられた最大の理由は、ファジィシステムのメンバーシップ関数の調整が入力空間の次元数の増加とともに困難になるため、その開発コストの増加を押さえることにある。

図 3 は日立製作所の洗濯機の事例^[12]で、上部のファジィシステムは初期のモデルのシステムであり、下部のニューラルネットは新規に追加した汚れ具合を示す導電度に対する補正量を出力する。補正後の全システムの出力値と教師信号との誤差が最小になるよう、ニューラルネットを学習させる。三洋電機の洗濯機の事例^[13]でも、追加したセンサー情報が気温であることと、補正の対象となる気温に関わる出力が洗濯時間と脱水時間であるという違いはあるものの、同様なニューラルネットの応用がなされている。

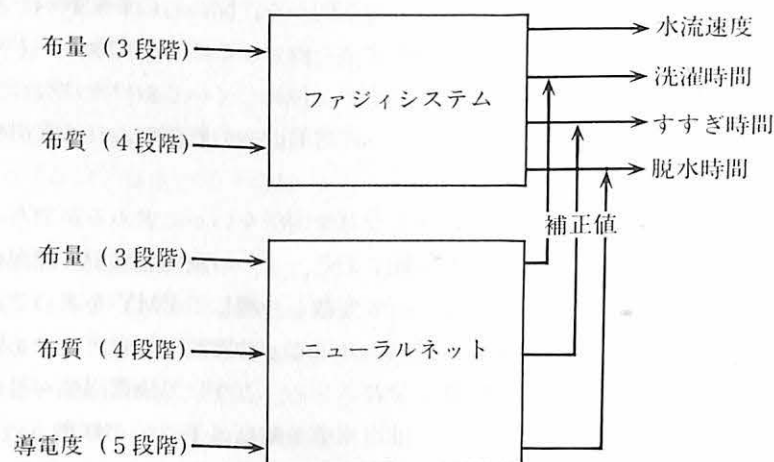


図3 ニューラルネットでファジィシステムを補正するシステム

3 章 ニューラルネットとファジィシステムの融合化技術：民生機器へ応用 215

さらに三洋電機ではオープンレンジのファジィシステムに同様の補正型ニューラルネットを組込んだ^[14]。従来製品では、食品の温度、食品の量、煮込み温度を入力とするファジィシステムで沸点の検知、加熱時間や煮込みパワーの決定をしていた。これに対し補正型の融合化システムでは、対応できる食品の種類を増加させ夏冬の出来上りむらをなくするために、センサー出力からさらに食品の種類、食品の初期温度、外気温を推定してニューラルネットの入力とし、このニューラルネット出力が従来のファジィシステムを補正する製品を発売している。

[応用事例 4：縦属組合せ型]

ファジィシステムの出力をニューラルネットの入力にする、あるいはその逆の組合せ形態で全体のシステムを構成する事例である。三洋電機の扇風機^[15]は前者の形態でリモコンの方向検出を行い、扇風機の首を回転移動させている。

基本的なりモコンの赤外線入射角検出は扇風機の台に組込まれた 3 つのセンサーを用いて行う。この推定方向はリモコンと扇風機のセンサーとの距離に依存する。そこでまず距離を推定し、次にセンサー出力から左右のバランスを求め、先の距離と併せてリモコンの方向を推定する。距離の推定にはファジィ推論が、方向の推定にはニューラルネットが使われている。後者にニューラルネットを用いた理由は、距離とセンサーの出力比から赤外線の入射角を推定するのに、数式モデルやファジィルールでの記述がうまくいかなかったためである。こうして出来た最終システムの入射角推定誤差は、単にセンサー出力値を統計処理した方法の推定誤差 $\pm 10^\circ$ が $\pm 4^\circ$ にまで減少した^[16]。

4 学習機能の実現

以上紹介した事例は、設計時にニューラルネットの学習を行い、学習で得られたシステムを機器に組み込むものであった。以下に紹介する事例は機器使用時に学習をユーザーサイドで行うものである。なお応用事例 3 と 4 についてはニュースリリースを基に紹介しているが、ニューラルネットの学習に関する技術情報が十分でなかったため、あるいは不確かな点があるかも知れない。

[応用事例 1：予熱時間の短縮]

三洋電機は石油ファンヒータのバーナの点火待ち時間を短縮するため機器使用時間パターンを各家庭で学習するようにニューラルネットを組込んだ^[17,18]。

石油ファンヒータではガス化バーナで灯油を気化させて燃焼させる。この時に気化を促進するため加熱する必要があるが、ユーザーが点火スイッチを押してから待ち時間をできるだけ短縮することが望ましい。一つの方法はヒータで加熱することで、同社の90年度製品では600Wのヒータを予熱に用いた。ここで紹介するモデルは、使用時間帯を現場で学習し、ヒータのON/OFFを出力するニューラルネットを組込んで、ヒータの消費電力を半分に抑えつつ点火待ち時間を短縮させた。

このヒータのON/OFFは現在時刻(CT)、燃焼時間帯と現在時刻との時間差(ΔT)、最低室温(IT)の3情報を入力し、5個の中間層ユニットを持つ3層のfeed-forward型ニューラルネットワークによって決定される。CTは午前と午後のパターン差を区別するため、 ΔT は燃焼時刻の予想のため、ITは季節による使用時間帯の変化への対応や予熱時間の調整を行うため、各々用いられている。設計時には431個の使用例データを用いて学習させている。

石油ファンヒータのような商品では誤った使い方をすると危険が伴う。ニューラルネットの学習機能をユーザーサイドで実現させる場合は、誤った学習が行なわれることが十分考えられるので、安全性確保には十分気を配る必要がある。この三洋電機の応用例では、最悪の学習結果になったとしても、予熱のための消費電力が大きくなるかユーザーの点火待ち時間が長くなるという性能劣化の段階で済むよう、応用を予熱ヒータに絞ることで安全性の問題に対処している。

なお、この商品では室温制御にファジィ制御が、部屋サイズ推定にファジィルールベースが用いられている。

[応用事例2：個人の快適度補正]

前節の独立機能型で紹介したエアコンは、その後、ユーザーによる補正機能を追加した。入力情報が完全でないためにニューラルネットで推定したPMVが本来の快適指標には完全になり得ないことや、個人の好みに対応することが補正機能追加の理由である。ユーザーがリモコンで+または-の入力を行うと、その時の環境値(室温、外気温、設定温度、経過時間)を入力し、ユーザ

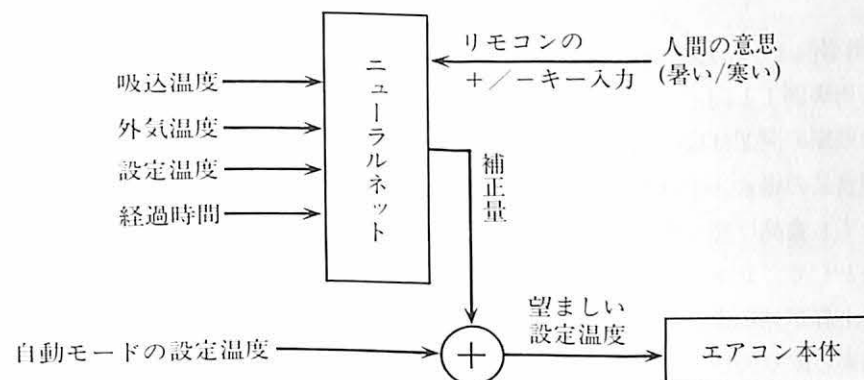


図4 個人の好みを学習し、制御を補正するシステム

ーの+または-を教師信号にニューラルネットの学習をし直す(図4)。

ニューラルネットは簡易学習が可能になるよう、新規開発のモデルを組んでいる^[19]。民生機器組込みの場合、一般によく使われるfeed-forward型のモデルをバックプロパゲーションアルゴリズムとセットにしたニューラルネットでは、学習速度、メモリの点で不適当になる場合が多くなると考えられる。従って、機器の要求仕様を満たす新規ニューラルネットモデルの開発が要求される場合が今後増えてこよう。

[応用事例3：部屋の実値補正]

ジャー炊飯器の炊き上がり時間予約機能と同じく、きめ細かな暖房機器には、点火時刻ではなく設定温度になる時刻をタイマー予約できることが望まれる。ところがジャー炊飯器と異なり、暖房機器の場合使用する部屋の実値が判らなければ設定温度になる時刻をタイマー予約することができない。幸いなことに、多くの場合暖房機器は同じ部屋で使用されるので、初めに部屋の温度特性が判れば以後は補正することができる。

シャープの石油ファンヒータとFF式石油温風暖房機に採用されたシステムでは、木造家屋やコンクリート家屋など使用する部屋によって異なる温度の立ち上がり特性を現場で記憶し、以後は点火時間を調整して設定時間に設定温度になるよう調整するシステムが取り入れられている^[20]。

[応用事例4：冷却時刻の予測]

応用事例1と同じくユーザーの日々の利用パターンを学習するものである。

冷蔵庫の開閉は庫内温度を上昇させるため保存食品の品質劣化を招く。特に、冷凍食品の場合 -18°C 以下に保つ必要があるが、たとえこれよりも温度が高くなっても食品は堅く凍っているため気づくことが少ない。この問題を解決する方法として、シャープの冷凍冷蔵庫では、日々の扉開閉頻度パターンを学習し、温度上昇が見込まれる時間帯の前には十分に冷却することで、食品の温度上昇を出来る限り押さえるようにニューラルネットとファジィ技術が利用されている^[21]。

5 将来あるべきシステム

1990年から始まったニューラルネットの民生機器への応用は、翌年から学習機能の実現に広がっている。今後も使いやすい知的な機器実現の一手段として学習機能は重要な技術になろう。この学習機能を具体化する要素技術としてのニューラルネットには、応用サイドから色々な要求が出されて来ると思われる。ハードウェア化に対する要求と新しいモデルの要求である。

民生機器への応用を考えた場合、専用ニューロチップが実用になるかどうかは厳しい性能価格比の要求をクリアできるかどうかにかかっている。汎用DSPによるソフトウェアモデルの方が早く採用されるかもしれない。応用サイドからはコストの観点から、機器組込みマイコンによるニューラルネットの実現要求が大きいので、汎用マイコン上で実行可能な実用に耐え得る新しいニューラルネットモデル開発が必要であろう。現在までに多くのモデルが提案されてきたが、この要求に応えられるモデルは極めて少ない。

しかしながら単に学習機能を実現するだけでは将来のシステムに対して不十分である。ユーザーサイドでの学習機能を許したがために、性能劣化を招いたり、最悪の場合危険な状態に陥ることも十分に考えられる。特に幅広いユーザー層を前提にしている民生機器の場合、この危険性は高い。つまり、安全性を確保した学習機能が求められるのである。

この一つの実現アプローチとして、論理と学習機能との組合せが考えられる。論理で安全性を確保し、その許容範囲でニューラルネットの学習機能を利用す

3章 ニューラルネットとファジィシステムの融合化技術：民生機器へ応用 219

るというものである。ニューラルネットとファジィ論理との融合化モデルの一つのテーマに、この明示的な知識と非明示的な知識の扱いがある。さらに一歩進んで、高次の知識処理との組合せへと展開されていくことであろう。ここに、ニューラルネット、ファジィ論理、従来のAIを包含した新しいAIが生まれ、より柔軟な知的処理が可能となる。いわゆるSoft Computing^[22,23]はこの分野を支える代表的な計算パラダイムであり、ヒューマンフレンドリィな機器への展開が期待できる。

参 考 文 献

- [1] 西川, 塚本, 須賀, 波多野: "ファジィ時代がやってきた", 東京教育情報センター(1989)
- [2] J.-S. Jang and C.-T. Sun: "Functional Equivalence Between Radial Basis Function Networks and Fuzzy Inference Systems," *IEEE Trans. on Neural Networks*, Vol. 4, No. 1, pp. 156-159(1993)
- [3] 高木英行: "あいまいさと知識情報処理", システム/制御/情報, Vol. 34, No. 5, pp. 263-273(1990)
- [4] The First Joint Conference & Exhibition on Artificial Intelligence, Neural Networks and Fuzzy Systems (Nov. 6-8, 1991)
- [5] 林, 高木: "神経回路網モデルによるファジィ推論の定式化", 第4回ファジィシステムシンポジウム, pp. 55-60(1988年5月)
- [6] H. Takagi and I. Hayashi: "NN-driven Fuzzy Reasoning", *Int'l J. of Approximate Reasoning, (Special Issue of IIZUKA '88)*, Vol. 5, No. 3, pp. 191-212(1991)
- [7] 市橋, 渡辺: "簡略ファジィ推論を用いたファジィモデルによる学習型制御", 日本ファジィ学会誌, Vol. 2, No. 3, pp. 157-165(1990)
- [8] 野村, 林, 若見: "最急降下法によるファジィ推論の自動チューニングと障害物回避への応用", 第6回ファジィシステムシンポジウム, pp. 423-426(1990年9月)
- [9] 野村, 林, 若見: "デルタルールによるファジィ推論の自動チューニング手法と障害物回避への応用", 日本ファジィ学会誌, Vol. 4, No. 2, pp. 379-388(1992)
- [10] P. O. Fanger: "Thermal Comfort-Analysis and Application in Environmental Engineering-", McGraw-Hill(1970)
- [11] 斉藤, 中, 吉田, 赤嶺: "ニューラルネットワークによる快適感の推定", 日本

冷凍協会学術講演会講演論文誌, pp. 125-128(1990)

- [12] "ニューロ & ファジィ全自動洗濯機とファジィ乾燥機", 日立家電販売株式会社ニュースリリース, No. 91-024(1991年2月26日)
- [13] "ニューロ & ファジィ全自動洗濯機 ASW-50 V 2", 三洋電機株式会社ニュースリリース(1991年3月29日)
- [14] "センサーオープンレンジ 2 機種", 三洋電機株式会社ニュースリリース(1991年7月8日)
- [15] "1991 年度扇風機", 三洋電機株式会社ニュースリリース (1991年3月14日)
- [16] "解説: 家電業界に新たな潮流, ニューラル・ネットとファジィ組み合わせる", 日経エレクトロニクス, No. 528, pp. 165-169(1991. 5, 27)
- [17] 森戸, 杉本, 大沢, 田島: "ファジィ制御とニューラルネットワークを用いた石油ファンヒータ <CFH-A 12 JD>", 三洋電機技報, Vol. 23, No. 3, pp. 93-100(1991)
- [18] "1991 年度石油暖房機器", 三洋電機株式会社ニュースリリース(1991年6月10日)
- [19] 中, 志田, 吉田, 赤嶺: "ニューラルネットの空調機器への応用", 電子情報通信学会技術報告 HC 92-37, pp. 9-16(1991年12月)
- [20] "1991 年度シャープ石油暖房機器 <9 タイプ, 19 機種> を開発", シャープ株式会社ニュースリリース, No. 3-032(1991年6月11日)
- [21] "スリム 66, 新・左右開き冷蔵庫を発売", シャープ株式会社ニュースリリース, No. 3-053(1991年9月5日)
- [22] "ファジィ技術の応用とソフト・コンピューティング—Zadeh 教授を囲む座談会(抜粋)—", 日本ファジィ学会誌, Vol. 5, No. 2, pp. 261-268 (1993)
- [23] 高木英行: 用語解説 "ソフトコンピューティング (Soft Computing)", 日本ファジィ学会, Vol. 5, No. 2, p. 291 (1993)