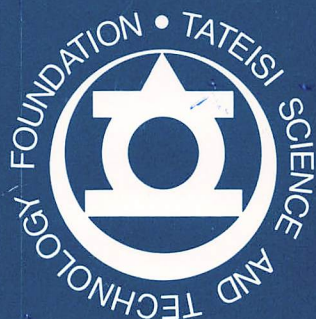


立石科学技術振興財団

助成研究成果集

【第2号】

平成5年(1993)



人間と機械の調和を促進する助成研究成果集

第 2 号

平成 5 年度 9 月 (1993)

財団法人 立石科学技術振興財団

Tateisi Science and Technology Foundation

設 立 趣 意 書

今日、日本の科学技術の進歩・発展は著しいものがありますが、エレクトロニクス及び情報工学の分野における技術革新も、いまでは社会的・経済的にきわめて大きな影響を及ぼしています。たとえば、工場では各種工程のオートメーション化が進むとともに、オートメーション機器をコンピュータや通信機器とつなぎ、工場全体を統合的に動かすシステムの実現へと向かっています。

一方、オフィスでは、ワークステーションやパソコンなどのOA機器の普及が目覚ましく、また通信技術を利用することにより、データベースへのアクセスや情報交換も盛んになりつつあります。さらに、家庭においても、いわゆるホームオートメーション機器が浸透しはじめています。

このように、人間が働き生活する環境に、エレクトロニクス技術に支えられた各種機器がどんどん入ってきており、しかもその技術は年々高度化・システム化してきています。しかしながら、その技術革新のスピードが速いだけに、技術革新がそれら機器やシステムを使う主体である人間に及ぼす影響が十分考慮されない傾向があります。このため、本当に使いやすい機器・システムの開発が大きな課題になっています。

一方、今後の技術の飛躍的な発展のためには、人間の素晴らしい知識能力を規範にしたファジィなどの人工知能技術を確立し、使いやすい機器・システムの提供はもちろん、人間がより楽しく創造的な活動をするのに広く役立たせることが期待されます。

このような情勢に鑑み、オムロン株式会社、立石一真及び立石孝雄の拠出資金により「立石科学技術振興財団」を設立し、エレクトロニクス及び情報工学の分野で、人間と機械の調和を促進する研究及び国際交流に対し助成をおこない、技術革新を人間にとって真に最適なものとするに寄与せんとするものであります。

助 成 研 究 成 果 集

目 次

1. 設立趣意書	
2. 理事長挨拶	2
3. 財団関係者寄稿（大野 豊 理事 京都大学名誉教授）	3
4. 第4回（平成5年度）助成課題一覧	4
(1) 研究助成（21件）	4
(2) 国際交流助成（11件）	5
5. 助成研究成果の掲載抄録一覧	6
6. 助成研究成果の抄録	8
7. 索 引（掲載号）	76
8. 財団の概要	80
役員・評議員名簿（五十音順）	81
9. 平成6年度助成課題候補募集案内	82
10. 編集後記	83

ごあいさつ

オムロン(株)の創業者でありました故立石一真が卒寿を迎えましたのを機に、人間と機械の調和を促進することを趣意として、ご賛同いただいた多くの方々のご尽力とご協力により、平成2年3月6日に財団法人立石科学技術振興財団を設立いたしました。本年5月には、第4回目の助成金贈呈式をとり行なうことができました。また昨年助成研究成果集の創刊号を発行したのに続き、ここに第2号を発行することができますことは誠に悦ば



しく、財団関係者の皆様をはじめ、多くの皆様の日頃のご支援に深く感謝申し上げます。次第でございます。

本成果集の発行は、助成研究の成果普及活動のひとつとして行うもので、助成対象となった研究課題の成果を、財団設立の趣意に添って、方向を同じくする研究者、研究機関と共有することを目的とすると共に、研究者の相互交流の一助となることを願って発行するものです。これからも毎年継続的に発行できるよう願っています。第2号の発行にあたり、ご寄稿頂きました研究者の皆様をはじめ、ご協力いただいた方々に厚く御礼申し上げます。

限らない情報化と科学技術の進歩の中で、豊かで健全な社会を創造するためには、科学技術と人間の調和の向上を求める努力も忘れてはならないことを考えています。本財団が、人間重視の視点にたって科学技術の健全な発展と最適化社会の創造のために、いささかでも寄与できますことを心から願っております。今後の本財団の活動に対し、引き続き皆様のご支援ご鞭撻を賜りますようお願い申し上げます。ご挨拶とさせていただきます。

理事長 立石孝雄

寄稿：不況下での研究推進

80年代の経済的好況のおかげで、わが国の研究は応用研究、基礎研究とも一応順調に推進された。特に外国からの基礎技術ただ乗り批判をかわすべく、国のみならず産業界においても基礎研究重視の方向が打ち出された。また、研究推進のために、産・官・学の共同による研究体制の整備もすすめられ、第三セクタの法人化による研究機関も種々の分野で設立された。

このような国や産業界の基本的方向は重要であり、また正しいものであるが、所詮は経済の発展と好調に支えられてのものであり、一旦、不況が訪れたときには、忽ちにして研究費は削減され、研究員は配置換えとなり、研究、特に基礎研究は打ち切られる。このようなことは戦後すでに例があり、今回のいわゆるバブル経済崩壊後の状況も、正に例外ではないことを示している。

しかしながら、国際的に見れば、先端技術を先頭に押し立てた産業の競争は休むことなく進み、不況だからといって、研究をある期間休止している間に、進歩のはげしい技術分野は決定的に遅れをとり、とりかえしが困難になったり、高価になったりする。基礎研究は直ちに企業利益に結びつかなくても、世界の各所では休まず進んでいるわけである。筆者の専門の情報技術の分野では、そろそろ、わが国の遅れが心配されるようになってきている。

企業では、不況の中で基礎研究をすすめるのは、確かに相当の覚悟を必要とするであろうし、限界もある。したがって、国や大学でその役割を果たすべきだと主張される所でもある。このような時期での大学の役割は重要であり、産業界よりも、一層の大学活用を考えてもよいのではないかと考えている。

大学の研究設備は必ずしも充分ではないが、人材は相当揃っているとも言える。大学への研究助成や研究委託は人件費その他が少なくすみ、比較的安価なものであり、人材育成にもつながる。

本財団での研究助成は、そのような趣旨から見ても大変貴重で重要である。さらに、積極的な展開を望むものである。



理 事・京 都 大 学 名 誉 教 授
立 命 館 大 学 理 工 学 部 長
大 野 豊

第4回（平成5年度）助成課題一覧

[研究助成]

(五十音順)

研究代表者氏名・所属機関・職名	研究課題名又は派遣先研究集会／機関名
赤 木 正 人 北陸先端科学技術大学院大学 情報科学研究科・助教授	調音結合処理のための文脈効果モデルに関する研究
赤 塚 孝 雄 山形大学工学部 電子情報工学科・教授	画像時系列からの動きの検出と評価の研究
浅 田 忠 裕 京都大学工学部・助教授	コレステリック液晶の複合化による偏光板を必要としない液晶光シャッターの開発に関する研究
井 上 和 夫 立命館大学理工学部 情報工学科・教授	自然な掴み動作を入力とする3次元インタフェースに関する研究
上 野 文 男 熊本大学工学部・教授	ファジィ・インターフェースをもつニューラル画像処理回路
宇佐見 義 之 神奈川大学工学部 物理学教室・助手	人間の脳の記憶系と計算機ネットワークとの共生進化についての数理的研究
大 松 繁 徳島大学工学部 知能情報工学科・教授	ニューラルネットワークによるインテリジェント制御系の設計に関する基礎的研究
近 江 和 生 大阪産業大学工学部 情報システム工学科・助教授	3次元オブティカルフローの高速処理に関する研究
小 堀 聡 龍谷大学理工学部 電子情報学科・助手	上肢トラッキング動作における手と目の協調運動の解析
下 山 勲 東京大学工学部 機械情報工学科・助教授	人工神経による昆虫の行動の解明と制御
都 甲 潔 九州大学工学部 電子工学科・助教授	味覚・嗅覚系を模したマルチチャネル脂質膜型の生物化学感覚認識システムの開発
富 川 義 朗 山形大学工学部 電子情報工学科・教授	電池駆動が可能な圧電式回転モータ 直線モータの体系的な研究
長 田 正 九州大学工学部・教授	複数台マニピュレータによる組立作業の自動化に関する研究
馬 場 充 岡山大学工学部 情報工学科・助教授	3次元形状計測用高速高機能複合画像センサの研究
松 尾 芳 樹 東京工業大学工学部・助教授	ロバスト制御理論に基づく伝達関数に注目した人間指向のマン・マシン制御系設計法
宮 崎 修 一 筑波大学物質工学系・助教授	マイクロアクチュエータ用形状記憶合金薄膜の開発
宮 崎 正 己 早稲田大学人間科学部・助教授	自動車内空調装置による生体に及ぼす影響

研究代表者氏名・所属機関・職名	研究課題名又は派遣先研究集会／機関名
山 本 眞 司 豊橋技術科学大学知情報工学系・教授	肺癌早期発見を目的とした専用X線CTシステムにおける診断支援サブシステムの開発
山 本 透 大阪大学基礎工学部システム工学系・助手	ニューラルネットワークを用いたインテリジェントチューニングPID制御系設計
吉 川 研 一 名古屋大学大学院人間情報学研究科・教授	非線形応答の高次元情報を活用した化学センシング
若 松 秀 俊 東京医科歯科大学医学部 保健衛生学科・教授	立体仮想臓器を用いた人工現実感を伴う解剖シミュレータの開発

研究助成総額 5,053万円

[国際交流助成]

(五十音順)

研究代表者氏名・所属機関・職名	研究課題名又は派遣先研究集会／機関名
池 口 徹 東京理科大学基礎工学部 電子応用工学科・助手	西オーストラリア大学数学科
宇佐川 毅 熊本大学工学部 電気情報工学科・助教授	The 2nd Conference on Recent Advances in Active Control of Sound and Vibration
田 中 雅 博 岡山大学工学部情報工学科・助教授	International Symposium on the Mathematical Theory of Networks and Systems (MTNS '93)
谷 塚 昇 大阪府立大学総合科学部・講師	物理システムの雑音と1/fゆらぎに関する国際会議
堀 川 洋 香川大学教育学部 情報科学科・講師	The IEEE 1993 International Conference on Neural Networks (ICNN '93)
松 本 豊 京都大学工学部 応用システム科学教室・助手	ニューラルネットワークと遺伝的アルゴリズムに関する国際会議
村 井 哲 也 北海道教育大学教育学部 函館分校総合科学課程情報科学教室・助教授	Fifth IFSA World Congress (The fifth Congress of the International Fuzzy Systems Association)
渡 辺 顕 科学技術庁航空宇宙技術研究所 制御部飛行シミュレーション研究室・室長	・Evans & Sutherland社 ・NADGUG Conference(ノースアメリカンデータゼネラルユーザーズグループ会議) ・General Electric社 ・Data General社 ・CAE社
高橋 清 東京工業大学・教授	第7回固体センサ国際会議へDr. ボルフガング・ゲッペルを招聘
萩原 朋道 京都大学工学部・助教授	京都大学工学部電気工学第2教室自動制御工学講座へDr. George Bitsorisを招聘
福田 敏男 名古屋大学工学部 機械情報システム工学科・教授	1993 IEEE/Nagoya University, WWW (World Wise men/women Workshop), On Learning and Adaptive System 他2件へ Dr. Robert J. Marks IIを招聘

国際交流助成総額 526万円
平成5年度助成総額 5,579万円

助成研究成果の掲載抄録一覧 (年度順五十音順)

- ◆ EXAFS 解析手法の標準化に関する研究 (901005) 8
Standardization of the Data Analysis of EXAFS
黒 田 晴 雄 東京理科大学 総合研究所・教授
- ◆ 広域ネットワークにおけるマルチキャスト技術の研究 (901010) 12
Study on Multicasting Technology in Wide Area Networks
森 島 晃 年 財団法人 京都高度技術研究所・研究員
- ◆ 制御戦略知識の獲得学習に基づく知的ファジィ制御に関する研究 (901017) 16
Development of Intelligent Fuzzy Control Systems with a Learning Capability of
Strategic-Skill Acquisition
樺 木 哲 夫 京都大学 工学部・助手
- ◆ 並列処理アルゴリズム開発の自動化を指向する設計支援システム (911001) 24
Design Support System for Developments of Algorithms in Parallel Processings
阿 曾 弘 具 東北大学 工学部情報工学科・教授
- ◆ 英日会話文データベースの構築とこれに基づく会話文の翻訳と
慣用表現検索システムの研究 (911007) 30
English-Japanese Conversational Text-base Construction and Study on Conversational Text
Translation System with Idiomatic Expression Retrieving
河 口 英 二 九州工業大学 工学部・教授
- ◆ 磁気センサを用いた調音器官の運動計測システムの開発研究 (911011) 32
Articulatory Measuring System Using Magnetometer Sensors
園 田 頼 信 熊本大学 工学部電気情報工学科・教授
- ◆ 作業空間の形状情報を高速に獲得するロボットビジョンシステムの検討 (911013) 36
On a Vision System for Shape Construction of 3D Robotic World
登 尾 啓 史 大阪電気通信大学 工学部精密工学科・助教授
- ◆ ヒューマンインターフェースにおける環境世界のモデル構築に関する研究 (911015) 40
Generation of Environmental Map for Human Interface
谷内田 正 彦 大阪大学 基礎工学部情報工学科・教授
- ◆ 音声対話時の引き込み現象の解明とそのヒューマン・インターフェースへの応用 (911019) 44
Analysis of Entrainment in Interpersonal Communication and Its Application to Human Interface
渡 辺 富 夫 山形大学 工学部電子情報工学科・助教授
- ◆ 最適化問題のニューラル解法システムの開発 (921003) 46
Neural Solution Systems for Optimization Problems
浦 浜 喜 一 九州工業大学 情報工学部電子情報工学科・助教授
- ◆ 集積化加速度センサの開発 (921004) 48
Development of Integrated Accelerometer
江 刺 正 喜 東北大学 工学部機械電子工学科・教授
- ◆ 広帯域信号の効率的圧縮への応用を考えた聴覚モデルの構成に関する研究 (921005) 52
Modeling of Auditory System for Data Compression of Wideband Audio Signal
江 端 正 直 熊本大学 工学部・教授

◆ 適応可能な論理演算 (Fuzzy ²) の開発 (921006)	54
On an Adaptive Logic (Fuzzy ²)	
太 田 道 男 筑波大学 構造工学系・教授	
◆ 4次元コンピュータグラフィックスのための超並列計算機	
アーキテクチャに関する研究 (921008)	58
A Study on Massively Parallel Processing Systems for 4-Dimensional Computer Graphics	
小 林 広 明 東北大学 大学院情報科学研究科・助教授	
◆ 重度障害児のメタルリハビリテーションのための図形表現システムの開発 (921009)	60
A Study on Cognitive Rehabilitation of the Handicapped Children by Computer Based Drawing System	
近 藤 文 良 滋賀大学 教育学部・助教授	
◆ 超高速通信マルチポートメモリ構造・高並列処理コンピュータの試作研究 (921012)	64
Massively Parallel Computer based on High-Speed Communication by Multi-port Memory	
堀 口 進 北陸先端科学技術大学院大学情報科学研究科・教授	
◆ 高並列計算機に於ける単一仮想空間上の並列オブジェクト指向	
プログラミング言語の研究 (921013)	68
Studies on the Parallel Object-Oriented Programming Language with Shared Virtual	
Space for Massively Parallel Computers	
牧之内 顕 文 九州大学 工学部情報工学教室・教授	
◆ 適応デバイスと自己組織化機能に関する研究 (921018)	72
Research on Adaptive Devices and Self-organization Function	
米 津 宏 雄 豊橋技術科学大学 電気・電子工学系・教授	

EXAFS 解析手法の標準化に関する研究

Standardization of the Data Analysis of EXAFS

901005

研究代表者

東京理科大学総合研究所 教授

黒田 晴雄

[研究の目的]

物質の X 線吸収スペクトルにおいて吸収端より高エネルギー側に 100 eV から 1000 eV の領域に出現する構造を「広域 X 線吸収微細構造」(Extended X-ray Absorption Fine Structure, “EXAFS” と略称) と呼ぶが, EXAFS を解析すると X 線を吸収する原子の周囲に存在する原子の数(配位数)と原子間距離とを決定することができる。この手法が「EXAFS 分光法」である。近年, シンクロトロン放射光を光源に用いることによって, X 線吸収スペクトルを短時間に高精度で測定できるようになり, EXAFS 分光法の応用が急速に拡大された。今日では, アモルファス物質や触媒の構造の研究, 酵素など金属を含むタンパク質の研究など様々な分野に EXAFS 分光法が応用されている。上に述べたような EXAFS 分光法の応用の拡大にともなって, X 線分光法を専門とする研究者ではない人々が EXAFS 分光法を構造研究の手段として用いる機会が増大したこともあり, EXAFS データの解析方法の標準化が大きな課題になっており, 標準化のための国際ワークショップも組織されている。筆者等は, さきに, 大型電子計算機用の EXAFS データ解析プログラムを開発して, それを自分達の研究に用いるとともに広く一般の利用にも提供して来たが, 最近のワーク

ステーションの性能の進歩を考えると, ワークステーション・レベルで十分に EXAFS のデータ解析を行うことが可能であり, また, ワークステーションの GUI 環境を利用して対話的に解析を進めることによって, EXAFS データの解析を大幅に改善することが可能であると期待される。

本研究では, 上に述べた観点から, ワークステーション用の EXAFS データ解析プログラムを作成して解析手法をできるだけ標準化するとともに, 最近の基礎理論の発展も取り入れてデータ解析の手法を高度化することを目標にしている。また, データ解析の標準化に資するデータベースの整備に関連した研究を行うことも一つの目的にしている。

[研究の内容, 成果]

1 ワークステーション用 EXAFS 解析プログラム

われわれが先に作成した大型電子計算機用の EXAFS 解析プログラム「EXAFS 2」をワークステーション用に書き直し, それをさらに改良してワークステーションの GUI 環境を生かして, コンピューターとの対話形式で EXAFS データの解析を進めるようにした。EXAFS データの解析の過程を図示すると図 1 のようになるが, このようなデータ解析過程には解析者の判断が必要な部分がある

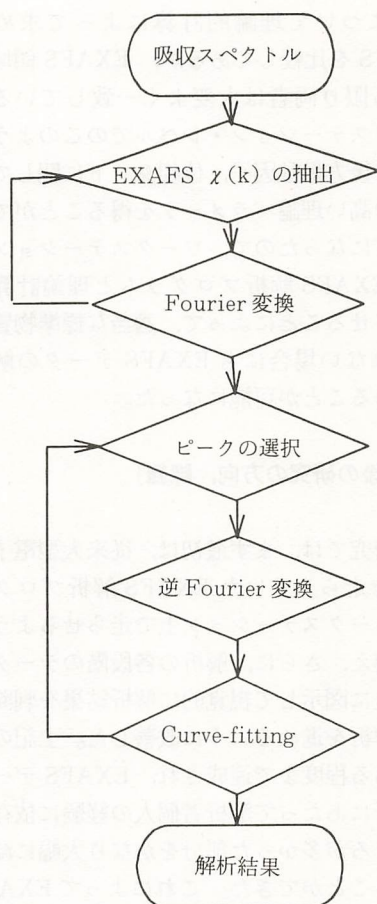


図1 EXAFSデータ解析の流れ

いろいろある。例えば測定した X 線吸収スペクトルから EXAFS 振動 $\chi(k)$ を抽出する過程では、実測スペクトルからバックグラウンドを差し引いた後、スペクトルを数個の区間に分割して Cubic Spline 法を用いて平滑な曲線でフィットさせて $\mu_0(k)$ 曲線を決定し、それと実測データとの差として $\chi(k)$ を求めるのであるが、区間の区切り方がよくないと正しい結果が得られない。ワークステーションのディスプレイに上記の処理の各段階の結果をグラフとして表示し、また、抽出した

$\chi(k)$ の Fourier 変換結果も同時にディスプレイすることによって、 $\chi(k)$ の抽出過程の妥当性をその場で判断することが出来るようにした。 $\chi(k)$ の抽出がすむと、それを Fourier 変換し、Fourier 変換曲線の特定のピークを取り出して Curve-fitting 解析を行うことになる。図2は、Fourier 変換の第1ピークにウィンドウをかけて、逆 Fourier 変換を行う過程のディスプレイ画面の写真である。画面上の Fourier 変換図形を見て注目すべきピークを選択し、そのピークを中心とする領域として適当な範囲をマウスで指定すると、直ちに画面上にその逆 Fourier 変換曲線が表示される。これによって、Fourier ウィンドウのかけ方の妥当性がその場で判断できることになった。

Curve-fitting 解析の過程では、対象とする Fourier ピークに寄与する原子の種類と原子間距離ならびに配位数を適当に仮定した初期条件を設定する必要がある。初期条件が不適当であると、正常に収束しない。場合によっては発散してしまうことがある。設定した初期条件に対応する EXAFS 曲線を計算し、逆 Fourier 変換曲線に重ねて画面上に表示して、両者の一致の程度を見ながら初期条件を手直した後、Fitting を実施するようにしたが、これによって Curve-fitting 解析が大幅に改善された。

2 多重散乱理論による EXAFS の計算

EXAFS の解析に不可欠なパラメータに後方散乱振幅と位相シフトがある。試料物質と構造がよく似た標準物質がある場合には、標準物質の EXAFS を測定して、その実測スペクトルを解析して求めた後方散乱因子や位相シフトを「経験パラメータ」として用いるが、適当な標準物質が得られない場合には、

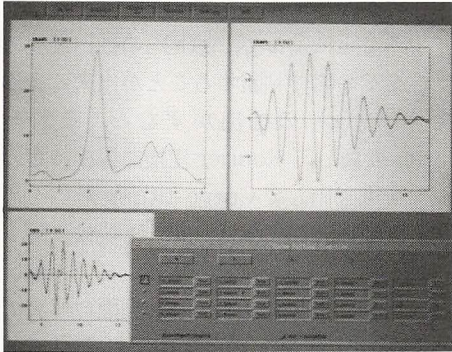


図2 Fourier変換のディスプレイ

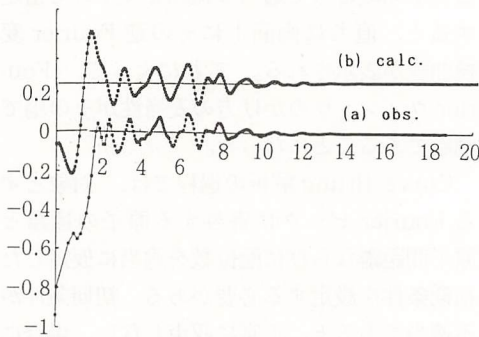


図3 Cu金属箔のEXAFS(a)と理論計算結果

理論的に計算した「理論パラメータ」を用いることになる。また、EXAFSの通常の解析では、多重散乱の効果を無視した「1回散乱近似」が採用されるが、物質の構造によっては多重散乱の効果が無視できないことが知られている。

多重散乱理論を用いた非経験的量子力学的方法で金属原子等、多数の原子から構成されるクラスターについてEXAFS振動を計算するプログラムをワークステーション上で走らせるようにし、その計算結果をEXAFSデータの解析過程に組み込むようにした。図3はCu金属のCu K-edgeのEXAFSの測定結果とCu原子50個からなるクラス

ターについて理論的計算によって求めたEXAFSを比較してあるが、EXAFS領域に関する限り両者は大変よく一致している。ワークステーション・レベルでのこのような計算で後方散乱因子、位相シフトに関して信頼度の高い理論パラメータを得ることができるようになったので、ワークステーションによるEXAFS解析プログラムと理論計算を結合させることによって、適当な標準物質が得られない場合にもEXAFSデータの解析を進めることが可能になった。

[今後の研究の方向、課題]

本研究では、まず最初は、従来大型電子計算機で走らせていたEXAFS解析プログラムをワークステーション上で走らせるように書き換え、さらに、解析の各段階のデータを画面上に図示して視覚的に解析結果を判断しつつ解析を進めるように改善した。上記の目的はある程度まで達成され、EXAFSデータの解析にあたって解析者個人の経験に依存するところが多かった部分をかなり大幅に減少させることができた。これによってEXAFSのデータ解析の標準化を大きく進展させる基盤をも築くことができた。今後は、さらにワークステーションのGUI環境を利用してコンピュータとの対話形式でデータ解析を進める方向に改善し、初心者でも容易にデータ解析を実行できる形にしたいと考えている。

これまでの研究によって、EXAFSデータの解析にEXAFS理論計算結果を利用することの有用性が明らかになったので、今後は、理論計算をEXAFSデータの解析過程により有機的に組み込むことによって、データ解析の信頼性を向上させる方向に研究を進める必要があると考える。

構造既知の物質の EXAFS ならびに XANES (吸収端微細構造) の測定データを集積したデータベースを整備することは、EXAFS 分光法の応用やデータ解析の標準化にとって重要な意味を持っている。EXAFS 標準化に関する国際ワークショップにおいてもこの種のデータベースの必要性が提唱され、データベース作成の方向に動きつつある。本研究では、われわれがこれまでに集積した標準試料のデータを用いて、データベース作成に関連した基本事項を検討したが、今後は、ネットワーク環境を利用してオンラインでデータベースを集積する方向に研究を進展させることを計画している。

本研究の実施にあたっては、小杉信博 (分子科学研究所)、朝倉清高 (東京大学)、船橋学 (理学電機工業) の諸氏の協力を得た。

[成果の発表, 論文等]

- 1) H. Kuroda, T. Yokoyama, K. Asakura and Y. Iwasawa: Temperature Dependence of EXAFS Spectra of Supported Small Metal Particles, *Faraday Discuss.*, **92**, 189 (1991)

- 2) M. Funabashi, T. Yokoyama, Y. Tanaka, T. Ohta, Y. Kitajima and H. Kuroda, Surface Structure of Cl/Ni (111) Determined by Surface EXAFS Spectroscopy and Soft X-Ray Standing Wave Method, *Surf. Sci.*, **242**, 59 (1991)
- 3) K. Akeyama, H. Kuroda and N. Kosugi: Cu K-edge XANES and Electronic Structure of Trivalent, Divalent and Monovalent Cu Oxides, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **32**, 98 (1993)
- 4) K. Asakura, N. Konishi, T. Ohta, Y. Kitajima and H. Kuroda: EXAFS Studies on the Adsorption Structure of P/Ni (111), *Jpn. J. Appl. Phys.*, **32**, 359 (1993)
- 5) H. Ishii, K. Asakura, H. Namba, T. Ohta, Y. Kitajima, N. Kosugi and H. Kuroda: EXAFS Studies of Sulfur Adsorbed on a Nickel Stepped Surface, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **32**, 365 (1993)
- 6) H. Ayato, S. Oda, Y. Satow, K. Asakura and H. Kuroda: Temperature-Dependent XAFS Study on AgBr_{1-x}I_x Solid Solution, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **32**, 640 (1993)

広域ネットワークにおけるマルチキャスト技術の研究

Study on Multicasting Technology in Wide Area Networks

901010

研究代表者	(財)京都高度技術研究所 研究員	森 島 晃 年
共同研究者	(財)京都高度技術研究所 研究員	菊 地 高 広
	慶 應 義 塾 大 学 助 手	楠 本 博 之
	WIDE プロジェクト マルチキャスト通信ワーキンググループ	

[研究の目的]

計算機ネットワークにおける計算機間の通信の形態として、マルチキャスト通信と呼ばれる形態が次第にその重要性を増しつつある。しかしながら、ローカル・エリア・ネットワークにおいてもその利用技術はいまだ確立されてはおらず、広域ネットワークにおいてはなおさらである。

本研究では、既存のマルチキャスト通信技術を広域ネットワークに適用するために必要な拡張、および、マルチキャスト通信を安定して行うために必要なトランスポート層のモデリングを行う。

広域に情報の同報的伝達を行う方法として、放送型の広域通信媒体がある。広域ネットワークにおいてマルチキャスト通信を効率的に行う方法として、この広域通信媒体を有効に利用できるようにするためにも、既存のマルチキャスト技術では不十分である。本研究ではまた、通信衛星を利用した広域マルチキャスト通信ネットワークを構築し、その性能評価を行う。

本研究は、広域分散環境研究プロジェクトである WIDE プロジェクトの、マルチキャスト通信ワーキンググループで行われているものである。

[研究の内容、成果]

1 マルチキャスト通信

計算機ネットワークにおける通信の形態としては、1) 1対1の通信(ユニキャスト型通信)、2) ブロードキャスト型通信、それに 3) マルチキャスト型通信がある。1) は、通信の相手がただ一つの場合で、もっとも広く使われている。2) は、ブロードキャスト機能をサポートしている物理媒体を用いて、その媒体に接続しているすべてのホストに対して情報を伝達するものである。3) のマルチキャスト型通信は、1対n型の通信であり、ある計算機のグループに対して通信を行うものである。

通常 TCP/IP プロトコル体系を基礎とする広域ネットワークにおいては単一の物理媒体は局所的にしか用いられず、ゲートウェイと呼ばれる複数の物理媒体に接続している計算機が経路制御を行うことによって、広域ネットワークの通信を実現している。現在の TCP/IP を用いた広域ネットワークとして代表的な Internet は、世界中数 10 万台とも言われる計算機が接続されている。このような Internet 環境で考えると、2) の形態はごく局所的な特殊な形態と言える。しかし、一方 Internet に接続されている計算機すべてに対する通信を行うことは、非現実的である。マルチキャスト型通信とは一見 1) と 2) の

中間の形態のように考えられるが、モデル上はむしろこの非現実的な「Internetの全計算機との通信」と1)との中間形態であると言える。したがって現実的には、マルチキャスト型の通信がもっとも一般的かつ複雑な形態であると言える。それだけに、その通信モデルや経路制御はかなり複雑になり、現在のところ確立されたものはないと言っている。

通常、マルチキャスト通信の場合、送信ホストから宛先ホスト群への経路は、木構造(Spanning Tree)を形成する。理想的な経路制御が行われた場合、データは、このSpanning Treeをたどり、枝分かれのところでデータも複製される。このようにすれば、同一のデータを複数のホストに非常に効率よく伝達することができる。

このような利点を持つマルチキャスト通信を利用できる応用、つまり、同一のデータを複数個所に送信することを目的としたアプリケーションは多数存在する。例えば、FTPと呼ばれるファイル転送プログラムがあるが、インターネット上で頻繁に利用されるフリーソフトは、さまざまな組織が必要に応じて転送しており、ネットワークの利用効率を下げた大きな原因になっている。実際、これらを、1個所から複数の組織に同時に転送できれば、ネットワーク資源(特にバンド幅)を別の目的に有効に活用できる。また、メーリングリストと呼ばれる、同時に複数の宛先に同じメールを送る場合でも、現状では複数回の転送が起きている。これをまとめられるのは効果が大きい。さらに、ネットワークニュースと呼ばれる電子掲示板システムでも、同一の記事を多くの計算機が共有しており、現状では、これは各計算機の管理者が協調して配送経路の最適化を計っており、アプリケーション層での人手による作業となっている。ネットワークが複雑になり、関与する計算機が増えてくるとこの作業はかなり大変になる。

ネットワークの不調によってトポロジーが変化した場合、迅速な対応は不可能であり、不調を起こしたネットワークを通して想定されていた記事がことごとく迂回することにより、やはりバンド幅を無駄に消費することが起こる。これらの問題点は、本来ネットワーク層で行われるべき経路制御を、アプリケーション層が行っているからに他ならず、これらのような、モデル的にはマルチキャストに属するアプリケーションを、ユニキャストで実現しているからに他ならない。マルチキャストの動的な経路制御は、ネットワークに常に必要最小限の負荷のみを与え、リンクの不調の場合も柔軟に対応できるRobustな構造を作るためには不可欠である。

上述したアプリケーションは、いずれもデータの流れが一方向で、1対nの通信になっているが、n対nと考えられるような通信形態も存在する。いわゆる電子会議と呼ばれるような形態がそうであり、参加者の誰が発言しても、それ以外の参加者に対して発言が届けられる。これは、1対nのn個の組み合わせとしても考えられるが、管理上はひとまとめにして扱えると都合がよい場合も考えられる。

2 マルチキャスト通信における経路制御

上述のように、マルチキャスト通信の経路制御においては、発信元ホストから宛先ホスト群に対する木構造(Spanning Tree)を作ることが基本になる。ユニキャストにおける経路制御を考えると、宛先ホスト(正確にはインターフェース)ごとに、next hopとなるゲートウェイ(ルータ)およびインターフェースが決まる。ホストの識別にはIPアドレスという番号を用いる。マルチキャストの場合、ホスト群を表現するために、ホスト群に対してIPアドレスを割り当てる。この割り当ては、ユニキャストのIPアドレスと異なり、ホスト群にホストが参加したり離脱

したりするたびに動的に変化する。それに対応して経路制御の木構造も変化することになる。したがって、マルチキャスト通信における経路制御を行う場合には、ホスト群にどのホストが属しているかという情報、すなわちメンバーシップ情報を管理することが重要になる。

ゲートウェイ間で経路制御情報をやりとりするためのプロトコル、経路制御プロトコルには、大きく分けて2種類の方法が存在する。一つは Distance Vector と呼ばれる方式であり、発信元から宛先までに通過すべきゲートウェイの数や、間のデータリンクの通過コストなどを基にして測った「距離」のもっとも短くなる経路を選択するものである。もう一つは Link State あるいは Shortest Path First と呼ばれる方式であり、すべてのルータが、それぞれに直接接続されているネットワークの状態を互いに交換することによって、ユニークなネットワークのトポロジーのデータベースを共有し、それを基にして経路を決定するものである。後者の方が、ネットワークトポロジーの変化への対応が迅速である。

現在試験的実装として存在しているのは、前者の Distance Vector 方式をマルチキャスト経路制御に適用した DVMRP (Distance Vector Multicast Routing Protocol) である。DVMRP では、発信元ホストから Internet の全計算機に向けて Broadcast を最短経路で行ったと仮定した際にできる木構造、Shortest Path Broadcast Tree を基にして、不必要なパケットの重複を避け、更にグループメンバーシップ情報による枝刈りを行うことによって、Shortest Path Multicast Tree を生成する、という方法をとる。グループメンバーシップ情報は、個々のネットワークに接続されているマルチキャスト・ルータが IGMP (Internet Group Membership Protocol) を用いて管理する。

3 広域ネットワークにおけるマルチキャスト通信

上述の方式は、広域ネットワークに適用しようとした場合にはいくつかの問題点がある。

- 1) 対象とされるネットワークの規模(範囲)が比較的小さいことを前提にしており、広域ネットワークにそのまま適用した場合、木構造の規模が巨大になり、交換される経路制御情報の量が非常に大きくなる。
- 2) 広域マルチキャストに適した放送型の物理媒体、すなわち通信衛星などの媒体の場合、通常コストの問題などから送信局1箇所、受信局が複数という形態になるが、この場合ユニキャストにおける経路が、行きと帰りで異なってしまうことになる。なぜならこの形態では通信衛星を用いた場合の情報の流れは一方方向だからである。ところが DVMRP では、この経路が一致しているという前提をおいている。したがって、単純に通信衛星を含めたネットワークにこれを適用すると、マルチキャストデータグラムは衛星を使わずに既存のネットワークを使って伝搬されてしまう。

これらの問題を解決するため、DVMRP を拡張し、地域 (Region) という概念を導入した経路制御プロトコル、HDVMRP (Hierarchical DVMRP) を考える。HDVMRP では、ネットワーク全体を、いくつかの地域 (Region) に分割し、各々に対して通信衛星の受信局を置く。受信局が接続されているルータを Region Master と呼び、送信局が接続されているルータを Root Region Master と呼ぶ。各地域内では DVMRP による経路制御を行い、外部の Region に対しては、Region Master が IP Tunneling 技術を用いて Root Region Master に転送する。Region Master 同士は互いにその存在を知らせるために別のプロトコルで情報を交換する。Region と Region の境界には Region

Border Router があり、隣接 Region へのマルチキャストデータグラムの伝搬を抑制する。

図に、送信局が一つの場合の HDVMRP による経路制御の様子を示す。

通信衛星もしくは送信設備が故障した場合や、ある Region の Region Master の受信設備が故障した場合には、Region Master 間の通信によって同様の機能を実現する。これは、通信衛星の存在を最初から仮定しない場合の、一般的な広域ネットワークにおけるマルチキャスト経路制御プロトコルとなっている。

4 通信衛星を用いたマルチキャストネットワークの構築

WIDE Project で、実際に通信衛星を用いたマルチキャストネットワークの構築を行っている。Satellite Adaptor と呼ばれる、計算機と送受信設備とのインターフェースをとるハードウェアおよびファームウェアを実装し、国内 4 箇所に受信設備、東京に送信設備を置き、通信実験を行った。現在のところ HDVMRP は開発中のため、Broadcast を用いた実験を行っている。

[今後の研究の方向、課題]

現在のマルチキャスト通信の実装では、いわゆる UDP、信頼性のないデータグラムプロトコルしか利用できない。マルチキャスト通信がアプリケーションから容易に利用できるようになるためには、ユニキャストにおける TCP に相当する、トランスポート層のプロトコルが必要である。しかし、マルチキャスト通信のトランスポートプロトコルは、ユニキャストのそれと比較しても、モデル的にも実装的にも非常に複雑になる。例えばマルチキャスト通信に参加しているある計算機との間のネットワークが切れた場合、通信全体を失敗したことにするか、その計算機のみを対象からはずすか。低速な回線で接続されて

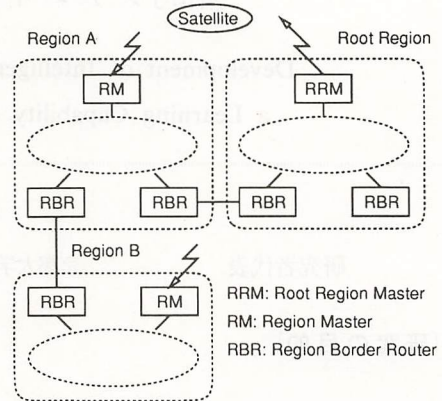


Fig. Routing Structure in HDVMRP

Fig. Routing Structure in HDVMRP

いる計算機と高速な回線で接続されている計算機が同じマルチキャストグループに属していた場合、通信のパフォーマンスをどうするか、などである。HDVMRP の実装とともに、マルチキャストトランスポートプロトコルのモデルの検討および設計・実装・実験、そしてマルチキャストに適したアプリケーションからの利用などを行っていく。

[成果の発表、論文等]

(財) 京都高度技術研究所テクニカルレポート

[謝辞]

WIDE プロジェクトマルチキャスト通信ワーキンググループのメンバーに感謝します。

制御戦略知識の獲得学習に基づく 知的ファジィ制御に関する研究

Development of Intelligent Fuzzy Control Systems with a Learning Capability of Strategic-Skill Acquisition

901017

研究者代表

京都大学工学部 助手

榎 木 哲 夫

[研究の目的]

近年ファジィ制御は、家電製品から大規模プラントに至るまでさまざまな分野において実用化が進められている。本来ファジィ制御は、熟練オペレータの経験的なノウハウをそのまま活用していくための手法として提唱されたものであるが、対象が複雑になった場合のオペレータの有するノウハウは文脈・状況に大きく依存することになり、現在までの画一的な制御則で記述し尽くすことは困難を極める。すなわち、現在のところファジィ概念として取り扱われているのは、個々の変数値の有する「末梢的」なあいまいさに限定されており、これらをよりマクロなレベルで構造的に制約付けている「体系的」なあいまいさを取り扱うための手法との円滑なカップリングを実現することが必須となる。本研究では、このような局所的なコントロールを実現するファジィ制御器に対し、より上位のスーパーバイザリな巨視的レベルにおいてコントロールしていくための枠組みとして、以下に示すような3つの視点からのアプローチを試みる。

- 1) オペレータの内的な認識内容を記述するモデル（メンタルモデル）の実装
- 2) プランニングによる目標生成と複数推論戦略のメタ制御決定問題の定式化
- 3) 資源制約下での言語制御則の最適設計

これらの研究はいずれも、オペレータの技能的な知識ともいえる「制御スキル」を産み出している背景に、

a) 人工知能分野における定性推論モデルや制約指向表現にみられるような対象を巨視的に捉えた「深い知識」に基づく推論が暗黙裡に行われている

b) 有限の資源しか持ち合わせないオペレータの情報処理負荷を最小限に抑えるような「経済的な合理性」の原理にたった意思決定構造がその背後に存在する

ことの認識に立ち、オペレータから産み出される挙動の背後で行われている内的な情報処理を明示化してモデル化し、システムへの実装を試みるものである。これにより現在制御の現場において問題となっている制御スキルの自動抽出と次世代への伝承のシステム化の課題の解決への貢献が期待される。なお本研究の一部は、筆者が平成3年から4年にかけて、米国スタンフォード大学工学部工学経済システム学科知能システムラボラトリにおいて客員研究員として滞在した際に行ったものである。

[研究の内容・成果]

1. オペレータの内的な認識内容を記述するモデル（メンタルモデル）の実装

本研究では、図1に示すような動特性を有する大型船舶の操舵シミュレータを対象とし、大局レベルでのプラン構造に基づいた知的ファジィ制御システムを開発する。このような単純なシミュレータをオペレータが制御する際の認識構造においても、以下のような異なる抽象化レベルが存在する。即ち、

1) 全体のゲート配置を考慮しながら全体を滑らかに通過するための船のコースどりを大局レベルでプランニングするタスク

2) 局所的な目の目標点を通過するべく操舵入力(Steering)を決定するタスク

の両者である。実船の操舵においては、前者は航海士(Navigator)と呼ばれるオペレータが船の呈する状態と航海プラン・航海マップ等の情報から目指すべき船の針路を決定し、後者のタスクは航海士からの指令を受けた操舵士(Helmsman)と呼ばれるもう一人のオペレータが、目標針路に船を追従させるべく操舵入力を決定している。したがって、本シミュレーションのオペレータは、このような両タスクを一人でConcurrentに行うことになる。

本システムでは、このような操舵シミュレータの制御器を構成するべく、まず操舵士の経験則をIf-then形式の知識として記述したファジィ制御器を構成した。ここでのルールは、船の角速度の次元上で定義される「オペレータの船の旋回状態に対する認識」の内容を表す変数(5つのファジィラベル)と、船の角変位の次元上に定義される「船から見た通過目標点への方向と船の現在の船首角とのずれに対する認識」を表す変数(7つのファジィラベル)の2変数でルール前件部を構成し、これら $5 \times 7 = 35$ の組み合わせの各々に対応する操作量(舵取り入力量)のファジィ変数を後件部にもつもので、操作量の決定はMin-max重心法に従っている。しかし、このようにして構成したファジィ制御器と熟練エキスパートによる制御パフォーマンスを比較検討した結果、以下のことが明らかになった。

熟練オペレータによる操舵入力は、極めて少頻度の入力がタイミングを計って行われている。これはファジィ制御器が目の目標の通過を目指した局所的な状況判断—操作入力

の繰り返しであるのに対し、熟練オペレータの制御は、与えられたゲート群の配置から、これらを滑らかに通過するための船の挙動パターンを、既に操舵を開始する以前に航路プランとして思い描いていることによる。そしてこのプランに基づいて概念駆動的(トップダウン)に大局的観点から計画された時点での操作入力を行う一方で、実際の操作の結果のフィードバック

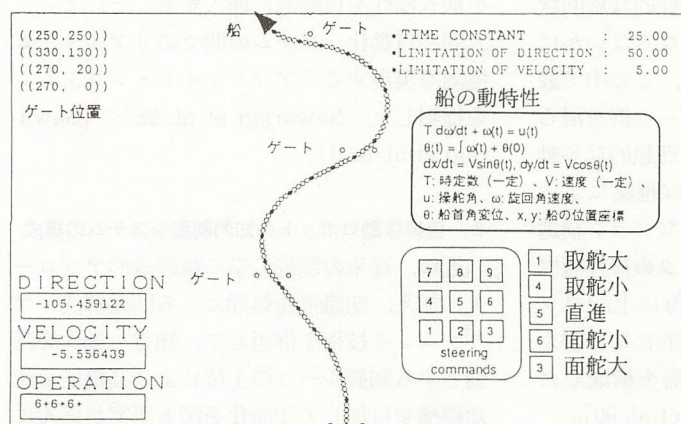


図1 操舵シミュレータの画面(文献[楳木他90a]より引用)

に基づくデータ駆動的（ボトムアップ）な制御を局所的に行っている。このような熟練オペレータに固有なプラン構造（認知心理学の分野ではメンタルモデルとも呼ばれる）に相当する部分は、画一的にルール記述を行ったファジィ制御器ではカバーしきれない部分であり、むしろ暗にシステム設計者によりファジィ制御器を構成する際の制御則のチューニングとしてシステム外で行われていたものである。

このような実験を通して得た所見をもとに、我々はこのような大局レベルでのプラン構造に基づいたファジィ制御器のチューニング・システムを開発した。ここでの航路プランは、船の挙動の一つ一つを厳密に規定するような数値解ではなく、よりマクロなレベルで船の常識的な運動法則に基づいた定性的な挙動を表現するものであり、実際には、隣接するゲートの相対位置関係と各ゲート通過時の船の旋回状態を正・負の定性値に分類し、これらの間で船の挙動に関して成り立つ常識的な知識をルール化したものである。このモデルを与えられたゲート配置に適用することにより、ゲート通過のために船の定性的な旋回状態がどのように遷移しなければならないかについてのすべてのケースを生成、この中で最小の変曲点を有するものが、ゲート群を滑らかに効率よく通過するための理想的な挙動（＝航路プラン）として記号的な推論によって導出した。さらに、このようなプラン構造に基づいて実際の熟練オペレータの操作履歴から、同定されたサブプラン毎に上記ファジィ制御器のパラメータを適応的に切り替え実行する適応型ファジィ制御器を構成した [榎木 他 90 a, b] [Sawaragi et al. 90]。

さらにこのようなオペレータのメンタルモデルとして、図2に示すように上述の航路プ

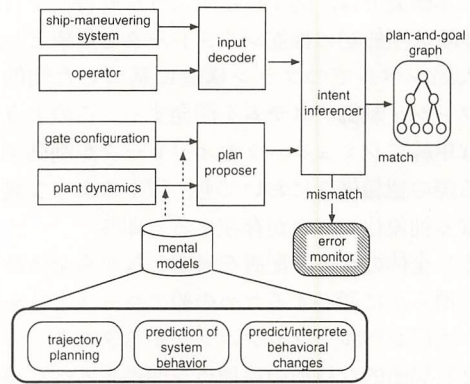


図2 操舵オペレータのためのアソシエイト・システムの構成

ラン以外に、操舵入力による船の動態を予測するための定性推論モデル、さらに不測の事象の生起による船の動特性の変化がその動態に与える変化を推論するための高次の定性推論（比較解析）モデルを開発した。これらのオペレータのメンタル操作の3つの側面を捉えたモデルの実装により、入力されたオペレータの操作系列を解釈し、これからその意図を抽出することによって、オペレータの誤判断操作を瞬時に認識し、警告ならびにこれを補う操作を自動的に挿入することによって、人間—自動化システムの間でのリアルタイム協調を実現する「アソシエイト・システム」を提唱した [Sawaragi et al. 92 c] [Sawaragi et al. 92 d]。

2. 自律移動ロボットの知的制御システムの構成

近年、従来の制御工学の数理論的アプローチに加え、知識情報処理による問題解決・プランニング技術を併用して、知覚—動作を基調とする制御ループの上位により高機能の認知機構を付加して知能化を図る研究が盛んに進められている。このように外界との動的なインタラクションをもちつつ知覚—動作の判

断に知識・記号レベルでの推論を介在させた広義の制御システムは「インテリジェント・エージェント (Intelligent Agent)」と総称される [榎木 92]。通常このような認知機構は多層の構成をとると考えられる。すなわち、下位の機能ほどプリミティブでありどのような状況下でも稼働しうるような普遍性をもつ行動のクラスであるのに対し、上位機能になるほど下位機能に付加的な制約が課せられ、より限定された特定の行動のクラスを実現することになる。筆者らはこのような制御の枠組みを自律移動ロボットの走行制御に適用し、局所的な障害物回避を行う機能をファジィ制御により、またこのための経路計画や目標値の設定という上位タスクを、実環境世界内の境界標 (ランドマーク) の間の位相関係に着目した定性的な環境マップから生成するシステムを開発した [榎木 他 90 c] [榎木 他 90 d] [榎木 他 90 e] [Sawaragi et al. 92 a]。本システムは図 3 に示すように、3つの独立したモジュールからなり、各々、知覚・計画・制御の個別マスクを請け負う。知覚モジュールはセンサ信号の処理、計画モジュールは実行すべき副目標事象の生成を、そして制御モジュールは、計画モジュールか

らの目標を受けて通常のファジィ制御によりステアリング量を決定する。とくに計画モジュールにおいては、動的に変動する外部世界に対処するため、実行前のオフライン計画生成に加え、実行時のオンライン計画生成の機能を備えている。すなわち動的に変化する環境のもとでは、実行前に生成したプランはもはや有効性を失っている場合が多く、実行時の再計画によってその有効性の欠如を補填していく必要がある。このようなモジュール構成のもとで、ロボットの獲得するセンサ情報からステアリング動作を決定する際に、以下の3つの推論戦略が可能となる [Sawaragi et al. 92 e]。

1) 即応制御戦略 (Reflexive Control Strategy): 知覚モジュールのうち近接センサの信号のみから近接する障害物との衝突を回避するためのステアリング制御を実行する。

2) 逐次目標達成戦略 (Incremental Goal-Seeking Strategy): タスク実行前に生成された経路計画に従って達成すべきランドマーク対の通過事象を副目標を逐次的に活性化する。そして視覚センサによりこのランドマーク対を識別し、これと近接センサからの信号との両者から障害物を回避しながら副目標を達成するようなステアリング制御を実行する。

3) 適応制御戦略 (Adaptive Control Strategy): 制御モジュールの機能は2)と同様であるが、副目標の生成をタスク実行中に動的に行う点が異なる。即ち、ある時点で観測され得るすべてのランドマーク群と、生成された初期経路情報の両者から、活性化されている複数の副目標を同時に達成できるような副目標を、空間推論 (Spatial Reasoning) によって動的に生成する。

各々の戦略で用いられるセンサの種類なら

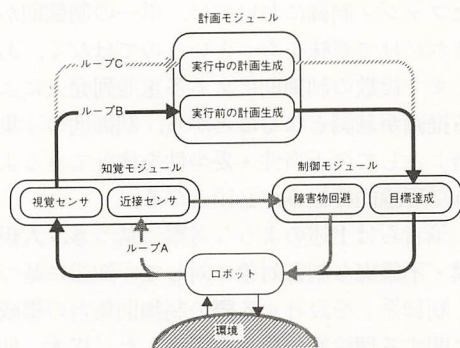


図3 自律移動ロボットののための知的制御システム

びに使用頻度は互いに異なる。従ってこれらのセンサ情報から進むべき進行目標方向を導出するための推論コストは戦略間で異なるのみならず、ロボットのおかれている周囲状況の違いによっても異なったものとなる。また決定時の視野(スコープ)についても戦略間で異なる。この違いは各々の戦略に従って行動することによって、その結果がどの程度当該目標の達成に寄与することができるかの度合いを決めることになる。また一般にセンシングにはあいまいさの混入が回避できないが、戦略によって使用するセンサの種類と頻度が異なることから、その出力する結果のもつ不確実さも戦略間で異なったものとなる。

そこで問題になるのは、このようなコスト・目標達成への寄与度・出力結果の不確実さがそれぞれ異なるような異種の複数推論戦略を、ロボットの直面する状況に応じていかに合理的に選択して使い分け、これらの協調を実現していくかである。選択された推論戦略のもとでのロボットのステアリング制御の意思決定を「基底レベル制御問題 (Base-level Control Problem)」と呼ぶのに対し、上述のような上位レベルでの推論戦略の決定問題を「メタレベル制御問題 (Meta-level Control Problem)」と呼ぶ。このメタレベルの決定に際しても、基底レベル同様、ロボットの有する視覚・近接両センサを介して得られる環境情報が利用可能であるものとする。ただしこれらの情報は決定の度毎に計測するのではなく、必要に応じて適宜情報を選択して利用していく能動的な制御機構の実現を図る必要がある。筆者らはこのようなメタレベルでの決定問題の定式化を意思決定分析を用いて行った [Sawaragi et al. 92 f] [榎木 他 93 a]。また、このようなメタレベル制御機構を有するロボットにより発現する挙

動の分析をコンピュータ・シミュレーションで行った [Sawaragi et al. 93 b]。

3. 資源制約下での言語制御則の最適設計

ファジィ制御は、従来の数理論的な制御が困難な悪構造の問題に対し、経験則(ヒューリスティクス)としての知識を言語表現のままで手軽に制御器を構成でき、かつその推論の仕組みも直感的で理解しやすく、制御則の定義の仕方次第ではきめ細かな制御が実現できることから、多岐にわたる分野においてその有効性が示されている。制御器の構成に当たってボトルネックとなるのは知識の獲得の問題である。即ち一般にファジィ制御の適用が求められる対象は、制御則が経験的にせよ未だ網羅的には明らかになっていない場合が多く、また仮に少数の規則が挙げることはできても、それが環境特性の変動や制御系に求められているタスク特性に変更がきたされた場合に、どれほど普遍性をもつものかについては明らかでないことが多い。いわば制御構造の同定に際しての方法論、並びに理論的定式化がなされていないのが現状であり、このことが構成されたファジィ制御器の解析を困難なものにしている一因にもなっている。またファジィ制御においては、単一の制御則がそれだけで意味をもつというのではなく、あくまで複数の制御則による多重並列発火による推論が基調となることから、制御則の「集合」としての正当性・妥当性を検証できるような理論的枠組みが必須となる。

筆者らは上述のような考察に基づき、大規模・不確実な制御対象に対して「知識に基づく制御系」を設計する際の制御則集合の構成に関する理論的枠組みを提案した [榎木 他 93 b] [Sawaragi et al. 93 a]。ファジィ制御(推論)のもつ側面として近似制御(推

論) (Approximated Control/Reasoning) を実現するものであるという見方がある。即ち、厳密な数理モデルに基づき最適性の保証された制御方策ではないにせよ、十分に満足化基準を満たす制御が実現でき、かつ制御決定を行うための計算コストも極めて低く抑えられることから、実用的な意味からはファジィ制御は前者を凌駕する制御方策であるとも言える。ファジィ制御のもつ「近似」の側面は図4に示すように、以下の2点に集約される。

1) コンパイルによる近似 (Approximation by Rule-compilation): 従来の厳密な数理モデルに基づく制御決定を、有限個の「状況—動作」の制御則の集合で近似する。

2) 言語変数による近似 (Linguistic Approximation): 制御則の記述を実測値のラベルで表現するのではなく、言語レベルに集約・抽象化した記述系で近似表現する。

一般にこのような近似のレベルは様々に考えることができ、たとえば近似の幅を大きくすると、合理的決定からの乖離は免れないものの、計算や推論にかかるコストは小さく抑えられ、また逆に近似の幅を小さく抑えようと、これとは逆の結果に陥る。どの近似レベルを

もって満足化の基準を満たす制御系が設計できるかについては、未だ完全な理論が整備されていないのが現状ではあるが、そのためにはこのようなトレードオフを陽に考慮した制御則を設計していくための「価値 (Value)」の定式化が必須の要件となる。

筆者らは多変数からなる入力—出力系からなる制御対象に対し、外界とのインターフェースとなるべきセンサ・アクチュエータに混入する不確実性、さらに、入出力変数間の因果関係に含まれる不確実性の両者を陽に取り扱い、これらと言語則の設計との関係について意思決定論に添った定式化を行った [Sawaragi et al. 93 a]。

[今後の研究の方向ならびに課題]

本研究を今後推し進めていく上で解決しなければならない課題点を以下に列举する。

1. オペレータの意図抽出とマン・マシン・リアルタイム協調

今後制御対象の複雑化とともに、完全自律の制御システムの実現は、技術的ならびにシステムの信頼性の観点からも、困難なものとなることが予想される。そこでは、人間—自律システムの両者が共生するようなシステムの構成にならざるを得ないわけであるが、そこで解決しなければならない課題は以下の点にまとめられる [樫木 93]。

- 1) 相互に授受できる情報の制約があるもとでの合理的意思決定
 - 2) マン・マシンそれぞれの決定判断の内容・根拠の透明化
 - 3) リアルタイム協調の実現
 - 4) 状況に応じた協調関係の可変性
- 即ち、従来のエキスパート・システムがオ

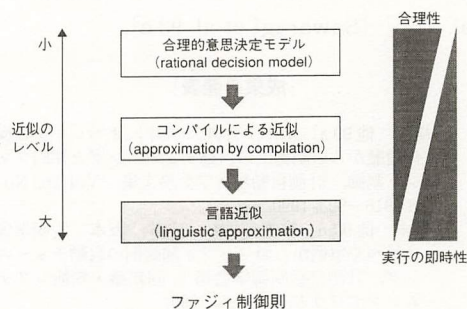


図4 近似処理の諸段階

フライン・定型的な支援形態に止まっていたのに対し、オンラインでユーザのおかれている状況や認知的負荷、タスクの進行具合に応じて、柔軟に支援の内容や形態を切り替えながら、人間の側の判断と機械の側に任せられる自律制御の間のタスクの割り当てを動的に行い、人間-機械をともに含んだシステムを、スーパーバイザリの視点からコントロールしていくシステムの樹立が要請される。

2. マルチエージェントシステムの協調制御

今日、計算機による統合的な支援が望まれる問題は益々大規模・複雑化してきており、介入する人間専門家も分業化が進んでいる。そこでは問題に対する決定の責任の所在が分散されており、これらの集積としての「複合的・組織的」な決定の構造に移行してきている。本研究で行ったロボットの制御問題においても、複数のロボットが協調して一つのタスクを遂行しなければならない状況に拡張する場合に、以下のような課題の解決が望まれる [榎木 93]。

1) 不完全・部分情報からの協調的な計画生成機構の樹立

2) 他者エージェントとの通信をも含めた資源配分の最適化

3) 組織的学習による組織知能の実現

4) エージェント相互の問題認識内容の理解や意思疎通の促進

3. 決定モデルの動的学習

動的に変化する環境のもとでの制御システムにおいては、対象のモデル並びに、これに依存して決まる自信の意思決定モデルを、学習の機能によりダイナミックに再構成していく必要がある。このようなモデルの学習には、機械学習 (Machine Learning) の分野にお

ける方法論が有望と考えられる。しかしながらここでの課題は、このようなモデルの更新自身にかなりのコストを伴うことから、学習に要するコストと期待されるパフォーマンス向上とのトレードオフ解析、さらに、モデル再構成に費やすべき計算資源の最適配分の機構の樹立が要請される [Sawaragi and Fehling 92] [Sawaragi et al. 94]。

4. センサ・フュージョン

知能ロボットや知能機械、画像・信号理解など、広く「マシン・インテリジェンス」の研究分野においては、複数異種情報 (知識) 源の融合処理 (Data and Knowledge Fusion) に関する研究が活発に進められてきている。通常これらの知識情報には「あいまいさ」が含まれ、また例えばこれらが除去できるとしても、単一の情報源からのみでは、十分に確定的な結論を導出することが困難な場合が多い。データ・フュージョンではこれらの不完全なデータや知識を融合処理することによって、より確実な解釈や理解を導きだそうとするものである。このようなニーズは多方面において認識されているものの、未だ確立された方法論や定式化が存在せず、その理論的整備が急がれている [榎木 他 91] [Sawaragi et al. 92 b] [Sawaragi et al. 93 c]。

[成果の発表]

[榎木 他 90 a] 榎木, 片井, 岩井: オペレータの操作履歴からの制御則の自動チューニングと知的ファジィ制御, 計測自動制御学会論文集, Vol. 26, No. 8, 916-923, 1990.

[榎木 他 90 b] 榎木, 片井, 岩井, 坂本: 説明学習に基づく事例からのファジィ制御則の自動チューニング, 計測自動制御学会第 11 回知識・知能システムシンポジウム, 93-98, 1990.

[榎木 他 90 c] 榎木, 片井, 岩井, 伊藤: 視野情報に基づく自走ロボットの Opportunistic Path-planning とファジィ走行制御, 第 12 回知能システムシンポジウム, 63-68, 1990.

- [Sawaragi et al. 90] Sawaragi, T., Katai, O. and Iwai, S.: Auto-Tuning of Fuzzy Control Knowledge Through a Deductive Analysis of Operator's Actions, 電気学会産業応用部門全国大会国際セッション, 1.1-1.8, 1990.
- [榎木 他90d] 榎木, 片井, 岩井, 伊藤: 局所観測情報による適応型経路プランニングに基づく移動ロボットのファジィ制御, 日本ファジィ学会第6回ファジィシステムシンポジウム, 37-43, 1990.
- [榎木 他90e] 榎木, 片井, 岩井, 伊藤: 変化する視野情報からの経路プランニングと自走ロボットのファジィ制御, 日本機械学会1990 Dynamics and Design Conference, 1990.
- [榎木 他91] 榎木, 柴田, 片井, 岩井, 塚田: ファジィ特徴抽出と構造化ニューラルネットに基づく画像理解, 日本ファジィ学会第7回ファジィシステムシンポジウム, 445-450, 1991.
- [榎木 92] 榎木: システム知能化の現状と課題, 計測と制御, Vol. 31, No. 1, 228-231, 1992.
- [Sawaragi et al. 92a] Sawaragi, T., Katai, O., Iwai, S. and Itoh, K.: Integration of Symbolic Path-Planning and Fuzzy Control for Intelligent Mobile Robot, to be Published in Lowen, B. and Roubens, M. (eds.) Fuzzy Logic: State of the Art (Selected Papers from IFSA'91 at Brussell), Kluwer Academic, 1993.
- [Sawaragi et al. 92b] Sawaragi, T., Shibata, K., Katai, O., Iwai, S. and Tsukada, K.: Integrated Cognitive Architecture for Image Understanding Using Fuzzy Clustering and Structured Neural Network, Proc. of IEEE International Conference on Fuzzy Systems 1992, 21-28, San Diego, 1992.
- [Sawaragi et al. 92c] Sawaragi, T., Katai, O. and Iwai, S.: Integrating Global Cognition and Reflexive Fuzzy Controller Using Multiple Qualitative Models, Proc. of 1992 International Fuzzy Systems and Intelligent Control Conference (IFSICC'92), 81-89, Louisville, USA, 1992.
- [Sawaragi et al. 92d] Sawaragi, T., Katai, O. and Iwai, S.: Interfacing between Fuzzy Linguistic Controller and Expert's Behavioural Skills via Qualitative Mental Models, Preprints of 5th IFAC/IFIP/IFORS/IEA Symposium on Analysis, Design, and Evaluation of Man-Machine Systems (MMS'92), 2.1.3., the Hague, Netherlands, 1992 (Also to be Appeared in IFAC Proceedings Series).
- [Sawaragi et al. 92e] Sawaragi, T., Katai, O., Iwai, S. and Sakamoto, T.: Design of an Intelligent Control System for a Mobile Robot with Multiple Reasoning Schemes, in Ming Leu (ed.), Proc. of the Japan U.S.A. Symposium on Flexible Automation, 1379-1386, 1992.
- [Sawaragi and Fehling 92] Sawaragi, T. and Fehling, M.R.: Decision-Theoretic Learning for Constrained Rational Agency, 計測自動制御学会第18回システムシンポジウム・第16回知能システムシンポジウム・第2回ニューラルネットワークシンポジウム合同シンポジウム予稿, 仙台, 265-272, 1992.
- [Sawaragi et al. 92f] Sawaragi, T., Katai, O. and Iwai, S.: Decision-Theoretic Coordination of Multiple Reasoning Schemes for an Autonomous Robot under Bounded Resources, 日本ソフトウェア科学会第2回マルチエージェントと協調計算ワークショップ資料, 1992, (Also to be Appeared in 石田 (編): マルチエージェントと協調計算II, 近代科学社刊, 1993).
- [榎木 93] 榎木: マルチエージェントによる組織的問題解決, Computer Today, No. 58, 1月号, 17-24, 1993.
- [榎木 93] 榎木: 意思決定論に基づく異種情報源の融合と協調, 計測と制御, Vol. 32, No. 3, 229-236, 1993.
- [榎木 他93a] 榎木, 片井, 岩井: 意思決定論に基づく自律移動ロボットのための資源制約下での協調推論の定式化, 計測自動制御学会第17回知能システムシンポジウム, 33-38, 東京, 1993.
- [榎木 他93b] 榎木, 片井, 岩井: 意思決定論に基づく資源制約下での言語制御則の最適設計, 日本ファジィ学会第9回ファジィシステムシンポジウム, 273-277, 1993.
- [Sawaragi et al. 93a] Sawaragi, T., Katai, O. and Iwai, S.: Bounded Rational Design of Linguistic Rules for Value-Based Approximate Control, to be Presented at the Fifth International Fuzzy Systems Association World Congress, Seoul, Korea, July 4-9, 1993.
- [Sawaragi et al. 93b] Sawaragi, T., Katai, O. and Iwai, S.: Decision-Theoretic Selection of Reasoning Scheme for an Autonomus Robot Under Resource Constraints, to be Presented at IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems-Intelligent Robots for Flexibility- (IROS'93), Kawasaki, July, 1993.
- [Sawaragi et al. 93c] Sawaragi, T., Muroi, A., Katai, O., Iwai, S. and Uede, Y.: Multi-Source Data and Knowledge Fusion Using Probabilistic Reasoning and Neural Network, to be Appeared at SICE'93, Kanazawa, August, 1993.
- [Sawaragi et al. 94] Sawaragi, T., Iwai, S. and Katai, O.: Dynamic Decision-Model Construction by Conceptual Clustering, to be Presented at the Second World Congress on Expert Systems, Lisbon, Portugal, January 10-14, 1994.

並列処理アルゴリズム開発の自動化を 指向する設計支援システム

Design Support System for Developments of Algorithms in Parallel Processings

911001

研究代表者

東北大学工学部情報工学科 教授

阿 曾 弘 具

[研究の目的]

多様で複雑な情報処理が今後増えてくるに従い処理の高速化が必要となる。高速化は処理の並列化で実現できる。しかし、並列処理アルゴリズムはその動作の並列性の故に人間にとって理解しにくく、現状では、その設計には経験と勘が要求される。本研究は、そのような熟練を不要にし、一般利用者が容易に並列処理システムを利用できるように、処理要求の仕様から並列処理アルゴリズムを自動生成する設計支援システムを開発することを目的とする。

行列計算、信号処理、画像処理、記号列処理などの各分野の専門家は、逐次処理アルゴリズムを作成している。本システムにより、人間にとって理解しやすく、その設計や正当性の評価も比較的容易である逐次処理アルゴリズムを設計することで、それに等価な並列処理アルゴリズムが半自動的に得られることになる。

[研究の内容、成果]

並列処理アルゴリズムとしてシストリックアルゴリズムを考え、その設計支援システムを開発した。シストリックアルゴリズムはシストリックアレーで実行される。その設計のための仕様として多重ループプログラムを考え、それから自動的に設計する方法をソフト

ウェアシステムとして実現した。

1. シストリックアレー

シストリックアレーは要素プロセッサを格子状空間に配置し、一様な結線をした並列処理機構である (図1参照)。要素プロセッサをセルと呼ぶ。セルは入力・出力ポートの集合 P_{in} , P_{out} , 処理対象データの集合 V , 各出力ポート $a \in P_{out}$ のデータを入力ポートにあるデータから計算するセル機能 f_a の組で定まる。入力ポートの数を z とすると f_a は V^z から V への関数とみなせ、その引数を $\langle v(e) \mid e \in P_{in} \rangle$ (順序付き集合, z 次元ベクトル) と記す。セルの配置空間を m 次元整数格子空間 Z^m とし, G とおく。 Z は整数の集合である。実際にセルをおく座標の集合を $R (\subseteq G)$ とおき, 配置領域と呼ぶ。セル座標は $\alpha \in G$ などで記す。セル間結線は, ポート間結線写像 $u: P_{in} \rightarrow P_{out}$ と近傍写像 $N: P_{in} \rightarrow G$ とで定まる。各セル α の入力ポート e をセル $\alpha - N(e)$ の出力ポート $u(e)$ に接続することを意味する。入力ポート e は長さ $\delta(e)$ のシフトレジスタからなり, 出力ポートは単なる端子とする。

シストリックアルゴリズムは, このシストリックアレーとそれへのデータ流の与え方で定まる。

2. 標準形プログラム

シストリックアレーの組織的構成のために

は次の形の多重ループプログラムが基本となる。この形を標準形プログラムと呼ぶ。

```
for  $j_1 = b_1$  to  $e_1$ 
  .....
for  $j_n = b_n$  to  $e_n$ 
{
  ...
   $a_p[k_p(J)] =$ 
     $f_p(J, \langle a_p^q[k_p^q(J)] \mid q \in \text{Occur}(p) \rangle)$ 
  ...
}
```

ただし、 $J = (j_1, \dots, j_n)$ は (ループ) 制御変数の組である。 a_p は p 番目の割当て文で値が更新される配列名、 a_p^q はその q 番目の参照変数の配列名、 $k_p(J)$ 、 $k_p^q(J)$ はそれぞれの要素を指定する添え字式、 f_p は値更新の計算式、 $\text{Occur}(p)$ は出現する参照変数を識別する番号の集合である。 $a_p[k_p(J)]$ を更新変数と呼ぶ。

制御変数 J がとる値の集合を $\text{Index} = \{(j_1, \dots, j_n) \mid b_1 \leq j_1 \leq e_1, \dots, b_n \leq j_n \leq e_n\} \subseteq Z^n$ とおき、その元を $\mathbf{j}$ と記す。各 b_i 、 e_i は $j_1, j_2, \dots, j_{i-1}$ に依存してよいとする。

ループ本体の $J = \mathbf{j}$ における計算で参照される参照変数 $a_p^q[k_p^q(J)]$ の値 $a_p^q[k_p^q(\mathbf{j})]$ は、その配列名 a_p^q と同じ配列名 a_p の更新変数 $a_p[k_p(J)]$ で、 $k_p(\mathbf{j}') = k_p^q(\mathbf{j})$ となる (添え字式の値が一致している) $\mathbf{j}'$ に最も近い過去の $\mathbf{j}'$ で更新された値 $a_p[k_p(\mathbf{j}')]$ である。この $\mathbf{p}'$ と $\mathbf{j}'$ は $\mathbf{p}$ 、 $\mathbf{q}$ 、 $\mathbf{j}$ から一意に定まる (逐次実行されているため)。そこでこれを、 $\text{st}(\mathbf{j}, \langle \mathbf{p}, \mathbf{q} \rangle) = \mathbf{p}'$ 、 $\mathbf{j} \triangleleft \langle \mathbf{p}, \mathbf{q} \rangle = \mathbf{j}'$ と表し、 st を文指定関数、 $\triangleleft$ を逆行関数と呼ぶ。ここで、 $\langle \mathbf{p}, \mathbf{q} \rangle$ は参照変数を指定する記号である。

リックアレーは、次の2つの写像を具体的に求めることで構成される。

計算時刻関数 $Tc: Z^n \rightarrow T$

計算セル関数 $Pc: Z^n \rightarrow G$

$\mathbf{j}$ における計算をセル $Pc(\mathbf{j})$ で時刻 $Tc(\mathbf{j})$ に実行させることを意味する。配置領域は、 $R = Pc(\text{Index})$ と決まる。各セルの機能は標準形プログラムの本体に対応し、セル関数は各計算式に対応する。従って、各更新変数が出力ポートに、参照変数が入力ポートに対応する。セル間結線を決める u と N は次のようになる。 $J = \mathbf{j}$ における f_p の計算に必要な q 番目の入力は、 $\mathbf{j} \triangleleft \langle \mathbf{p}, \mathbf{q} \rangle = \mathbf{j}'$ なるインデックスで $\text{st}(\langle \mathbf{p}, \mathbf{q} \rangle) = \mathbf{p}'$ 番目の計算式で計算されているから、セル $Pc(\mathbf{j})$ の入力ポート $\langle \mathbf{p}, \mathbf{q} \rangle$ はセル $Pc(\mathbf{j} \triangleleft \langle \mathbf{p}, \mathbf{q} \rangle)$ の出力ポート $\mathbf{p}'$ に接続する必要がある。従って、 $u(\langle \mathbf{p}, \mathbf{q} \rangle) = \text{st}(\langle \mathbf{p}, \mathbf{q} \rangle)$ 、 $N(\langle \mathbf{p}, \mathbf{q} \rangle) = Pc(\mathbf{j}) - Pc(\mathbf{j} \triangleleft \langle \mathbf{p}, \mathbf{q} \rangle)$ である。また、その計算は時刻 $Tc(\mathbf{j} \triangleleft \langle \mathbf{p}, \mathbf{q} \rangle)$ に実行され、時刻 $Tc(\mathbf{j})$ までその計算結果を保存しておかなければならない。すなわち、入力ポート $\langle \mathbf{p}, \mathbf{q} \rangle$ から計算素子 $\mathbf{p}$ の入力 $\mathbf{q}$ までに長さ Tc

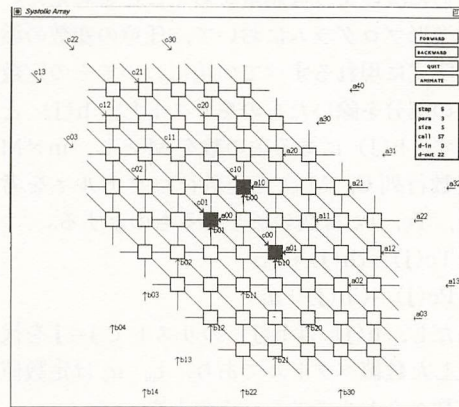


図1 シストリックアレー

Fig.1 Systolic Array

3. シストリックアルゴリズム設計法

標準形プログラムと同じ計算をするシスト

$(j) - Tc(j \triangleleft \langle p, q \rangle) = \delta(\langle p, q \rangle)$ のシフトレジスタを必要とする。 δ を時間調整写像という。上のことから、 Pc , Tc は次の条件を満たさなければならない。

(C1) $Pc(j) - Pc(j \triangleleft \langle p, q \rangle) = N(\langle p, q \rangle)$ は j に依存しない (結線の一様性)。

(C2) $Tc(j) - Tc(j \triangleleft \langle p, q \rangle) = \delta(\langle p, q \rangle)$ は j に依存しない (セル機能の一様性)。

(C3) $j \neq j \triangleleft \langle p, q \rangle$ ならば, $\delta(\langle p, q \rangle) > 0$ 。 $j = j \triangleleft \langle p, q \rangle$ ならば, $\delta(\langle p, q \rangle) \geq 0$ 。

(C4) 任意の $j, j' \in \text{Index}$ について, $Pc(j) = Pc(j')$ ならば $Tc(j) \neq Tc(j')$ 。

C4 は, $Tc(j) = t$ かつ $Pc(j) = \alpha$ のとき, t と α とから j が一意に決まることを意味する。すなわち, 同一セル, 同一時刻での計算は一意に決まる j での計算であり, データの衝突が起きないことを保証する。

以上の条件を満たす関数 Tc , Pc を求めるための従来の一般的な方法 (阿曾: “シストリックアレーの自動設計法”, 電子情報通信学会論文誌 D, J71-D, 8, 1988) は, 計算機上のプログラムとして簡単に実現することが難しい方法であった。そこで, この関数の形に次のような制限をおくことを考えた。標準形プログラムにおいて, 任意の変数の添え字式に現れるすべての項についてその定数倍の部分を除いたものをリストし, $h(J)$ と表す。 $h(J)$ にある項の数を M とし, $m \times M$ 定数行列 C , M 次元定数行ベクトル τ を考え, Tc , Pc は次の形をとるものとする。

$$Tc(j) = \tau h(j) + t_0,$$

$$Pc(j) = Ch(j) + \alpha_0$$

ただし, $h(j)$ は $h(J)$ のリストで $J=j$ を代入した数値ベクトルであり, t_0, α_0 は定数値, 定数ベクトルである。このとき, $\Delta h(j, p, q) = h(j) - h(j \triangleleft \langle p, q \rangle)$ とおくと,

$$Tc(j) - Tc(j \triangleleft \langle p, q \rangle) = \tau \Delta h(j, p, q)$$

$$Pc(j) - Pc(j \triangleleft \langle p, q \rangle) = C \Delta h(j, p, q)$$

と表される。従って,

$$\tau \Delta h(j, p, q) = \delta(\langle p, q \rangle),$$

$$C \Delta h(j, p, q) = N(\langle p, q \rangle)$$

である。任意の j についてこの式が成立するような τ, δ, C, N を求めればよいことになる。

各 $\langle p, q \rangle$ に対して, 集合

$$\{\Delta h(j, p, q) \mid j \in \text{Index}\}$$

(異なるベクトルの集合) の元を並べた行列を $D[p, q]$ とおく。 η を要素がすべて 1 の行ベクトルとする。次の結果が得られる。

【命題 1】 τ および C の各行は, すべての $\langle p, q \rangle$ について行列 $D[p, q] - d[p, q] \eta$ の核である。ただし, $d[p, q]$ は $D[p, q]$ のかってな一つの列である。

この命題は, M 次元未知ベクトル χ に対して, $\chi(D[p, q] - d[p, q] \eta) = 0$ なる方程式を各 $\langle p, q \rangle$ 毎に解き, その自由変数を適当に選ぶことによって, τ, C の行を定めることができることを意味している。 $\delta(\langle p, q \rangle), N(\langle p, q \rangle)$ は, τ, C と $D[p, q]$ のかってな一つの列との積として求まる。それらが条件 (C3), (C4) を満たすように τ と C を選んでおく必要がある。

標準形プログラムから定まるシストリックアレーへのデータ流を求める方法を示す。これによりシストリックアルゴリズムが求まることになる。

標準形プログラムにおいて参照される配列要素 $a_p^\mu[\mu]$ に注目して, それが時刻 t において存在するセルを $L(a_p^\mu, \mu, t)$ と表す。 $a_p^\mu[\mu]$ が初期値として与えられるインデックスは通常は一意に定まり, j_0 とおく。明らかに, $L(a_p^\mu, \mu, Tc(j_0)) = Pc(j_0)$ である。セル $Pc(j_0)$ の入力ポート $\langle p, q \rangle$ は長さ δ

$\langle p, q \rangle$ のシフトレジスタからなっており、初期値 $a_p^q[\mu]$ は時刻 $t_{pq} = Tc(j_0) - \delta(\langle p, q \rangle)$ に外部入力ポート $\alpha_{pq} = Pc(j_0) - N(\langle p, q \rangle)$ に配置すればよい。一般に次が成立する。

【命題 2】 $k_p(J) = k_p^q(J)$ が成立しているとき、 $L(a_p^q, \mu, t) = \alpha_{pq} + N(\langle p, q \rangle) \lceil (t - t_{pq}) / \delta(\langle p, q \rangle) \rceil$ 。 ($\lceil \rceil$ はシーリング関数)。

これはデータ流の配置を定めるものである。

4. プログラム変換システム

解きたい問題の解法を次の条件を満たすループプログラムとして記述する。

- (a) ループ制御以外の実行文は配列変数に関する if 文、割当文だけである。
- (b) 制御変数は本体内で値の更新はされない。
- (c) 添え字式は制御変数、定数からなる算術式である。

この仕様からそれと等価な標準形プログラムを組織的に求める変換システム SysTran (System for Transformation of Loop Programs) を実現した。

まず、仕様である多重ループプログラムの記述のために、言語 Loop-C を考案した。これは言語 C を記述に必要な部分に簡約化した言語で for 文、if 文、割当文からなり、割当文の右辺の計算式、if 文の条件式の演算には C のものがほぼ使えるようになっている。この言語による記述例を図 2 に示す。これは畳み込み演算を実行するものである。

Loop-C で記述された仕様からそれと等価な標準形プログラムへの変換は、(a) 処理の内部化、(b) If 文の除去、(c) 添え字式の統一化、(d) 流れ化・分枝・記憶変換からなる。これらの変換の例を図 3 に示す。図 2 のプログラムが変換を受けて、最終的に標準形が求まることを示している。SysTran は、Loop-

```

/* ci = Σk=0N ai-k bk, k = ⌊i/2⌋ - j */
for i=0 to N
{ if i%2==0 then c[i]=a[i/2]*b[i/2];
  else c[i]=a[i-i/2]*b[i/2]+a[i/2]*b[i-i/2];
  for j=1 to i/2
    c[i]=c[i]+a[i-i/2+j]*b[i/2-j]+a[i/2-j]*b[i-i/2+j];
  }

```

図 2 Loop-C プログラム
Fig. 2 A Loop-C Program

```

/* 処理の内部化 */
for i=0 to N
for j=0 to i/2
{
  if j==0 then {
    if i%2==0 then c[i]=a[i/2]*b[i/2];
    else c[i]=a[i-i/2]*b[i/2]+a[i/2]*b[i-i/2];
  } else {
    c[i]=c[i]+a[i-i/2+j]*b[i/2-j]+a[i/2-j]*b[i-i/2+j];
  }
}
↓
/* if 文の除去 */
for i=0 to N
for j=0 to i/2
{
  c[i]= if j==0 and i%2==0 then a[i/2]*b[i/2]
        else if j==0 and !(i%2==0) then
          a[i-i/2]*b[i/2]+a[i/2]*b[i-i/2]
        else c[i]+a[i-i/2+j]*b[i/2-j]+a[i/2-j]*b[i-i/2+j]
}
↓
/* 添え字式の統一 */
for i = 0 to N
for j = 0 to i/2
{
  c[i]= if j==0 && i%2==0 then a[i/2-j]*b[i/2-j]
        else if j==0 && !(i%2==0) then
          a[i-i/2+j]*b[i/2-j]+a[i/2-j]*b[i-i/2+j]
        else c[i]+a[i-i/2+j]*b[i/2-j]+a[i/2-j]*b[i-i/2+j]
}
↓
/* 流れ化変換 */
(次の文が c[i] の文の前に付加される)
a[i/2-j]=a[i/2-j]
b[i/2-j]=b[i/2-j]
a[i-i/2+j]=a[i-i/2+j]
b[i-i/2+j]=b[i-i/2+j]
↓
/* 分枝変換 */
/* 標準形 */
for i = 0 to N
for j = 0 to i/2
{
  1: a[i-i/2+j]=a[i-i/2+j]
  2: A[i/2-j]=if i/2-j==i-i/2+j then a[i-i/2+j] else A[i/2-j]
  3: b[i-i/2+j]=b[i-i/2+j]
  4: B[i/2-j]=if i/2-j==i-i/2+j then b[i-i/2+j] else B[i/2-j]
  5: c[i]= if j==0 && i%2==0 then A[i/2-j]*B[i/2-j]
          else if j==0 && !(i%2==0) then
            a[i-i/2+j]*B[i/2-j]+A[i/2-j]*b[i-i/2+j]
          else c[i]+a[i-i/2+j]*B[i/2-j]+A[i/2-j]*b[i-i/2+j]
}

```

図 3 SysTran による等価変換
Fig. 3 Equivalent Transformations by SysTran

Cに基づいて、語彙解析プログラム Lex とコンパイラコンパイラ yacc を用いて、実現されている。SysTran には、仕様として与える Loop-C プログラムの性質上、自動的に変換できない場合にも途中の情報を保存し、利用者が関与して対話的に標準形を求めることができる機能も実現している。

5. 設計支援システム

以上に述べてきた各種手法を半自動的に実行する設計支援システム SDS (Support System for Design and Development of Systolic Algorithms) を構築した。SDS は図 4 に示すように、プログラム変換システム SysTran と次に述べる制約条件導出システム FindEq, シミュレータ生成システム XsimGen からなり、必要な対話的インタフェースを付加したものである。

制約条件導出システム FindEq は、標準形プログラムから、 τ , δ , C, N に関する制約条件を求めるシステムで、 $D[p, q]$ を求める方法に基づいて、制約条件を方程式の形で表示出力する。実際には、同一の添え字式を持つ変数をまとめて、リンク候補とし、各リンク候補に対して方程式を作っている。図 5 に例を示す ($p=5, 1, 2$ は図 3 の標準形にある文番号である)。N についてのみ示しているが δ についても同じ方程式が成立する。出力された式から τ と δ , C と N を求めるわけであるが、それらが一意に決まるものではないので、利用者が机上で行う。図 5 の矢印以下にこの例の一つの解を示している。求めた δ , N, $Tc(J)=zh(J)+t_0$, $Pc(J)=Ch(J)+\alpha_0$ を C 言語の Define 文として作成する。そのフォーマットが表示されており、そこに書き込むという形で、ファイルの編集として実現している。

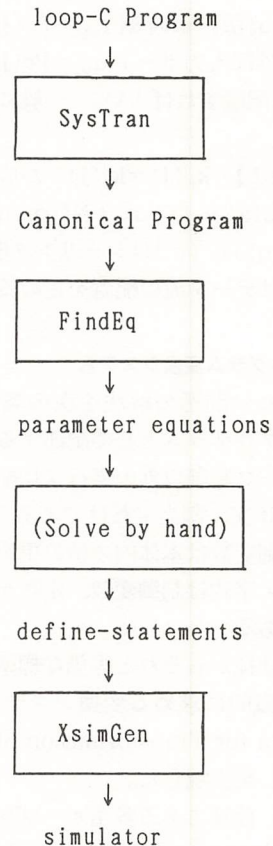


図 4 SDS の構成
Fig. 4 Structure of SDS

シミュレータ生成系 XsimGen は、時間調整写像 δ , 近傍写像 N, 係数パラメータ τ , C による Tc , Pc を記述した Define 文と標準形プログラムの本体を用いて、目的のストリッカルゴリズムのシミュレータを生成する。このシミュレータは 1・2 次元のストリッカルレーのプロセッサの配置や結線構造を X ウィンドウ上に表示し、ボタンのクリックによりデータの移動、活動セルやその処理内容などの動作の状況を表示するものである。表示の都合上、3 重ループ以下のルー


```

<5,7>:<c,c>, <1,1>:<a,a>, <2,2>:<A,A>
====Parameter Equations=====
N(<5,7>)= co[3]
N(<1,1>)= co[1]+co[2]
N(<1,1>)= co[1]-co[3]
N(<2,2>)= co[1]
N(<2,2>)= co[1]+co[2]+co[3]
parameter-equation
Pc= co[1]*(i)+co[2]*(i/2)+co[3]*(j);

```

↓

$N(<1,1>), N(<2,2>)$ の式から、 $co[2]+co[3]=0$
 一つの解：
 $N(<5,7>) = -1$
 $N(<1,1>) = 1$
 $N(<2,2>) = 0$ $Pc(i,j) = i/2 - j$
 $\delta(<5,7>) = 1$
 $\delta(<1,1>) = 1$
 $\delta(<2,2>) = 2$ $Tc(i,j) = 2*i - i/2 + j$

図5 制約条件方程式出力表示

Fig. 5 Equations of Constrained Conditions

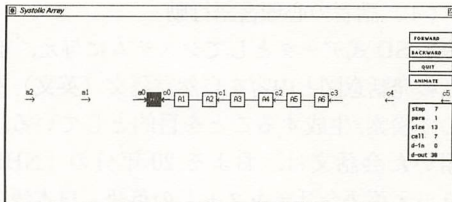


図6 畳み込み演算アレー

Fig. 6 Convolution Array

プログラムを対象としている。データの移動は命題2のデータ配置関数の結果を用いている。これによりシストリックアレーの基本的動作を視覚的に確認することができる。この表示の例を図6に示す。図6は図2に示した畳み込み演算の1次元のシストリックアルゴリズムであり、図3, 5の結果から生成されたものである。

図1は実は、通常の行列積プログラムから生成した2次元シストリックアルゴリズムの表示例である。

SDSにより、利用者が逐次処理として多

重ループプログラムを作成すれば、その機能を有するシストリックアルゴリズムが得られ、その動作や性能を確認できる。並列処理の組織的設計法を実現している。

[今後の研究の方向, 課題]

シストリックアルゴリズムの設計支援システムとして、細かなところで改良すべき点があるが、ほぼ完成したと言える。改良すべき点として、XsimGenの入力フォームがある。よりわかりやすいフォームで記述し、それをDefine文に変換する方法を考える必要がある。

実際にシストリックアレーを構成する場合は、そのサイズを無制限に大きくはできない。そこで、ある指定されたサイズのシストリックアレーで実現できるような自動設計法を課題のひとつにしていたが、これは今後に残された。

また、シストリックアレー以外の並列処理アーキテクチャが多数存在しており、それらを効率的に利用するためにアルゴリズム設計の自動化が望まれる。特にマルチプロセッサシステムはより汎用な並列処理を実現でき、その効率的利用のための並列処理アルゴリズムの設計が本研究で開発した手法の拡張として実現可能と思われる、その設計法を開発することは今後の課題である。

[成果の発表, 論文等]

- 1) 阿曾弘具: “非同期シストリックアルゴリズムとその設計法”, 第28回東北大通研シンポジウム論文集, (1991. 10.) pp. 163-172.
- 2) 白石勉, 阿曾弘具: “シストリックアルゴリズム開発支援システム”, 電子情報通信学会論文誌 A, (1993) (投稿中)

英日会話文データベースの構築とこれに基づく 会話文の翻訳と慣用表現検索システムの研究

English-Japanese Conversational Text-base Construction and Study on
Conversational Text Translation System with Idiomatic Expression Retrieving

911007

研究者代表
共同研究者

九州工業大学工学部 教 授
九州工業大学工学部 助 手

河 口 英 二
鎌 田 清一郎

〔研究の目的〕

文書文を対象にして進めてきた意味構造記述式 (SD 式) を会話文の意味構造記述に応用し, SD 式の有効性を確かめる。更にこれまでに蓄積している英日会話文データベースを増補し, 意味データを追加, SD 式による検索利用システムを構築する。また, 会話文を対象とする英日/日英翻訳アルゴリズムを開発する。

〔研究の内容, 成果〕

SD 式とは, 個々の単純概念ラベルを基にして, 概念の相互関係, 陳述文, 感情的発話, 人の心理言語行動規則, 推論規則等々の意味構造を, 曖昧さのない一つの文脈自由文法 (SDG と名付けている) の構文に従って記述するものである。この SD 式は, 個々の自然言語 (日本語, 英語, フランス語等) に依らない意味記述法であり, いわゆる中間言語と言える。従来から提案されてきた多くの中間言語の定式化が曖昧なままであったのに比べ, SD 式はその構文を厳密に定義している。

会話文の意味構造を実際に分析し, 意味のデータを作成してみると, “会話文の意味” が従来からの「スクリプト」, 「フレーム」等の観念的なモデルではあまりにもぎこちない

記述データしか得られないことが痛感される。本研究は SD 式モデルと言う明確な枠組みを用い, 実際の会話文データベースを資料として,

- (1) 会話場面の記述
- (2) 登場人物に関する知識
- (3) 話題知識
- (4) 話者の心理言語行動

等を SD 式データとしてシステムに与え, 会話の発話意図と内容を自然言語文 (英文) として検索/生成することを目的としている。用いた会話文は, およそ 20 年分の「NHK ラジオ英語会話テキスト」の英語, 日本語の台詞をデータベース化しているものである。

本研究では具体的には,

- (A) 会話文データの収集と意味構造データ (SD 式データ) の蓄積
- (B) SD 式処理システム (SDENV) の改良
- (C) 会話文検索システムの試作

に関する研究を実施した。以下はその概要である。

- (A) 会話文データの収集と意味構造データの蓄積

既に蓄積している会話文に加え, 新たな会話文テキストの MS-DOS ファイル化と意味構造データの作成を進めた。具体的なデータの作成作業は学生のアルバイトによって行っ

たが、この経験を通して、SD式モデルによる自然言語の意味構造記述が、非専門家にも容易に理解できるものであることが確認された。SD式として新たに蓄積したデータ量は7,000文程度である。

(B) SD式処理システム (SDENV) の改良

従来から Prolog を用いて作成してきたSD式実験プログラムパッケージ (SDENV) の高速化と高機能化を図った。高速化の主な手法は、奪索処理において以前の成功結果、不成功結果を効率的にシステム内に保存しておき、後の処理で再利用することである。この結果、例えば2つの概念の最近共通概念を求める問題では、多くの場合、これまでのものに比べて10-20倍もの高速処理が可能となった。

(C) 会話文検索システムの試作

システムに与えられた知識データを利用してデータベース内の会話文を意味情報を用いて検索可能となるシステムを試作した。このシステムでの検索キーとしては、

1. 一つのSD式
2. 陳述的な発話文に於ける機能項目
3. 概念ラベル
4. 英語/日本語例文

の4種を設定した。1. はSD式で与えられた発話の意図/意味に最も近い英語/日本語例文をデータベースから探し出すことである。2. は検索の際、発話者の発話意図、発話内容の主語/述語/目的語等々の意味的な機能項目に関する重みの指定を可能とするものであり、焦点を意味的に絞るものである。3. は概念ラベルの集合を指定し、その集合を意味的に包含する意味データを有する英日会話テキスト文を検索するものである。4. は検索キーとしてデータベース中の会話文(英語/日本語)を与え、それと意味的に類似する

例文を探し出すためのものである。以上の何れの場合も、会話文相互の意味的な近さの尺度を評価することが検索処理の中心である。この場合、システムに与えられた内部知識に基づくSD式間の詳述量による意味差の尺度を計算することが主な処理である。

[今後の研究の方向、課題]

当初本研究で目標とした会話的自然言語文の翻訳アルゴリズムの研究に関しては、SD式である「意味データ」を入力とする英語文生成システムのプロトタイプを作成するに留まり、英語←→日本語双方向の翻訳アルゴリズムの確立までには至らなかった。従って今後の研究方向は、この残されたアルゴリズムの完成と実験システムの作成である。この場合、膨大な知識データが必要であるが、このデータの蓄積と、処理の高速化が最大の課題となる。

[成果の発表、論文等]

- 1) 野崎剛一, 脇山正博, 河口英二: SD式モデルを利用した英会話文データベースの検索と英会話文の生成, 平成3年度情報処理学会自然言語処理研究会報告, 91-NL-83, Vol.91, No.37, pp.137-144, 1991
- 2) 野崎剛一, 脇山正博, 河口英二: SD式モデルを利用した英会話意味データベース, 平成3年度電気関係学会九州支部連合会大会講演論文集, No.1001, pp.557, 1991
- 3) 梅林功一, 鶴沼茂, 野崎剛一, 河口英二: 意味構造記述式を利用した英会話文データベースと検索システムの試作について, 平成3年度電気関係学会九州支部連合会大会講演論文集, No.1002, pp.558, 1991
- 4) Koichi Nozaki, Masahiro Wakiyama, Eiji Kawaguchi: A Semantic-Description Form of Natural Language Concepts and its application to a Story Understanding, Proceedings of the 4th ISAI, Cancun, pp.173-179, November 1991
- 5) Masahiro Wakiyama, Koichi Nozaki, Eiji Kawaguchi: "Semantic processing of story data by the SD-Form model approach, Proceeding of NLPRI91, Singapore, pp.288-295, November 1991.

磁気センサを用いた調音器官の運動計測システムの開発研究

Articulatory Measuring System Using Magnetometer Sensors

911011

研究者代表	熊本大学	教授	園田 頼 信
共同研究者	熊本大学	助手	守 啓 祐

[研究の目的]

人間の振る舞いに近いより高度な音声合成・認識の実現のためには、生理・調音レベルからの音声の生成過程の解明とその制御機構を把握することが重要であり、この分野からの研究が強く望まれている。本研究は、音声の生成過程を、調音レベルから研究を行うために必要な調音運動の計測システムの開発研究を行うことを主目的とする。これは外部から観測が不可能な舌の調音を磁気センサを用いて計測しようとするものであり、他の手法を併用することで、舌、下顎、口唇の調音運動の同時計測が可能な総合的な計測処理システムの実現を目指すものである。

[研究の内容、成果]

ここで開発した計測システムは、舌に微小な棒磁石（ペレット）を取り付け、その位置を磁気センサで検出することで運動計測を行うものである。微小なペレットを舌に取り付けるだけなので被験者の負担が少なく、またセンサの位置検出特性が理論式によく一致するので、理論式が実験式として適用でき、多点の計測ができる特長がある。

磁石の位置と傾きの検出原理

Fig. 1 は 1 個の磁石の位置および傾きを検出するときの磁石とセンサの座標関係を示したものである。ここで、センサは磁界の Z

方向成分だけを検出するものとし、検出に必要なセンサの数を m 個とする。また、舌に取り付けた磁石は Z 軸に垂直な一平面（計測面）内だけを移動するものと仮定する。磁石の傾きは、その軸と各座標軸となす角として定義し、それぞれ、 θ_x , θ_y および θ_z で表す。

$$H_{zi} = -\frac{K}{r_i^5} \left\{ \left[r_i^2 - 3(z - c_i)^2 \right] \cos \theta_z - 3(z - c_i) \left[(x - a_i) \cos \theta_x + (y - b_i) \cos \theta_y \right] \right\} \quad (i=1, \dots, m) \quad (1)$$

但し、

$$r_i^2 = (x - a_i)^2 + (y - b_i)^2 + (z - c_i)^2$$

$$K = M / (4\pi\mu)$$

(M : 磁気モーメント強度, μ : 透磁率)

$$\cos^2 \theta_x + \cos^2 \theta_y + \cos^2 \theta_z = 1$$

磁石をその磁気モーメントが M の磁気双極子とみなすと、センサ S_i ($i = 1, \dots, m$)

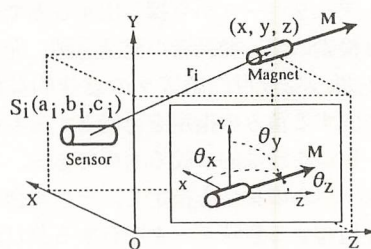


Fig.1 Geometric configuration of a magnetic rod (x, y, z) and magnetometer sensors (a_i, b_i, c_i).

が検出する磁界 H_{zi} は式(1) で表される。センサの出力電圧と磁界 H_{zi} の間には、線形関係が成立しているので、センサの出力電圧から磁石の座標 (x, y) と傾き (θ_x, θ_y) を求めるには、式(1) を基にした非線形連立方程式を解けばよい。1 個の磁石について 4 個の変数が存在するので、検出には 4 個以上のセンサが必要となる。磁石を n 個使用する場合には変数は $4n$ 個となり、 $4n$ 個以上のセンサが必要である。

センサの配置

以下本稿では、次の 3 つのセンサ配置について検討した。

- (1) 顎の下に配置する方法
- (2) 頬の横に配置する方法
- (3) 頬の両側に配置する方法

センサの配置 I (顎の下に配置する方法)

Fig. 2 は、磁石の傾きやずれがない、もしくは無視できるほど小さいときのセンサ配置を示し、センサを顎の下に配置している。この場合、磁石の位置 (x, y) を検出するために、2 個のセンサが必要となる。磁石の運動にともなう磁軸のセンサ軸 (Z 軸) に対する傾きや、計測平面からのずれ (Z 方向へのずれ, Z_g) はセンサの検出する磁界強度を変化させ、その影響は位置検出誤差として現れる。

Fig. 3 は、磁石のずれおよび傾きに起因する位置検出誤差 (距離誤差の標準偏差) を示したものである。また、誤差の評価は矢状断面上 $60 \text{ mm} \times 60 \text{ mm}$ の領域を対象としている。

図に示すように、誤差変化は、傾き $\theta_z = 0^\circ$ のとき以外は $Z_g = 0 \text{ mm}$ に対して非対称になる。例えば、傾きが 10° の場合には $Z_g = -5 \text{ mm}$ 程度で誤差が最小になる。

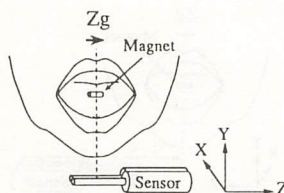


Fig. 2 Arrangement of magnetometer sensors for monitoring positions (x, y) of a magnet.

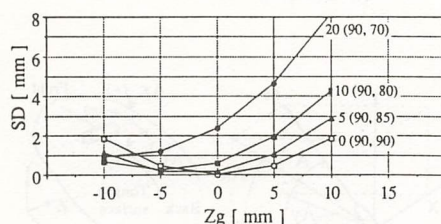


Fig. 3 Results of detection errors when distance (D) between two sensors is 80 mm .

誤差が 1 mm 以内となるずれは、磁石の傾きがない場合 $6 \text{ mm} \sim 6 \text{ mm}$ 程度、磁石の傾きが 10° の場合 $9 \text{ mm} \sim 2 \text{ mm}$ 程度となる。しかし、 20° の例からもわかるように、磁石の傾きが大きい場合には、磁石のずれがない ($Z_g = 0 \text{ mm}$) のときでも、その誤差は許容できないものとなっており、傾きの検出を行うなどの処置が不可欠と考えられる。

センサの配置 II (頬の横に配置する方法)

磁石の傾きを検出する場合には、磁石の傾きによるセンサの出力変化が大きくなるような位置にセンサを配置して検出することが望ましい。これは Fig. 4 に示すように、センサを頬の横に配置することに相当する。

視覚的に理解しやすいように傾き $(\theta_x, \theta_y, \theta_z)$ から (A, A_y, A_x) への変換を次式を用いて行った (Fig. 5)。

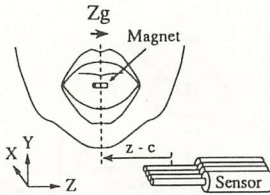


Fig. 4 Arrangement of four magnetometer sensors for monitoring positions (x, y) and inclination angles (θ_x, θ_y) of a magnet. Sensors are set at the side space of the jaw.

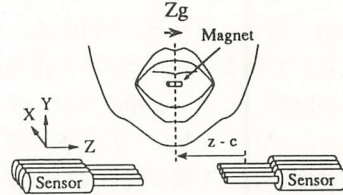


Fig. 6 Detection errors caused by lateral movements (Z_g) with the sensor arrangement in Fig. 4. (a) position (x, y) , (b) angle A . ($|z-c|=100$ mm and $D=60$ mm).

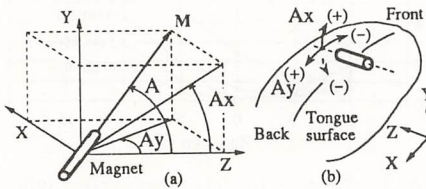


Fig. 5 Definition of inclination angles of a magnetic rod (a) and schematic diagram of the magnetic pellet on the tongue surface (b).

$$A_x = \tan^{-1} \left\{ \frac{\cos \theta_y}{\cos \theta_z} \right\}, A_y = \tan^{-1} \left\{ \frac{\cos \theta_x}{\cos \theta_z} \right\}$$

$$A = \theta_z \quad (2)$$

Fig. 6 は $(z-c) = -100$ mm, センサ間隔 $D = 60$ mm として, 磁石のずれに対する検出誤差を示したものである。ずれが大きくなるにつれて, 位置および角度検出誤差ともに急激に増加する。誤差 1 mm に許容されるずれは僅か -1 mm $\sim$ 1 mm 程度である。

このように本方法では, $Z_g = 0$ mm であれば, 磁石の位置と傾きを正確に検出することが可能であるが, 磁石のずれによる影響を受けやすく, 前述の方法 I よりも精度的に劣る可能性がある。問題解決の一方法として, 頬の両側にセンサを配置する方法についてつぎに述べる。

センサの配置Ⅲ (頬の両側に配置する方法)

磁石が Z 方向にずれる場合, その方向がセンサに近づく, あるいは遠ざかるかによって, センサの検出する磁界強度は, ずれのない場合 ($Z_g = 0$ mm) の磁界強度を基準として増減することになる。このため, 計測面に関してセンサの位置と対称な位置にもう一組のセンサを配置すれば, 磁石のずれによる磁界強度の増減は, 2 個のセンサでは互いに逆方向となり, ずれによる誤差の軽減が期待できる。Fig. 7 に, 計測面に関して相対する 2 個のセンサを一組として 4 組, 即ち 8 個のセンサを用いて, 磁石の位置および傾きを検出する場合のセンサ配置を示す。

Fig. 8 は $|z-c| = 100$ mm, センサ間隔 $D = 60$ mm の場合を例にとり, 磁石のずれに対する位置検出誤差および角度検出誤差を示したものである。傾きが $\theta_z = 10^\circ$, $\theta_x = 90^\circ$, $\theta_y = 80^\circ$ の例では, 検出誤差 1 mm に許容される磁石のずれは, Fig. 4 の方法 (点線) では -1 mm $\sim$ 1 mm 程度であるのに対して, 本方法では -10 mm $\sim$ 4 mm 程度と大幅に改善されている。また, 磁石の位置だけを検出する Fig. 2 の方法と比較しても優れている。特に傾きが 20° の場合, Fig. 2 の方法では, ずれがないときでも誤差を 1 mm 以内に抑えることはできないが, 本方法によれば -3 mm $\sim$

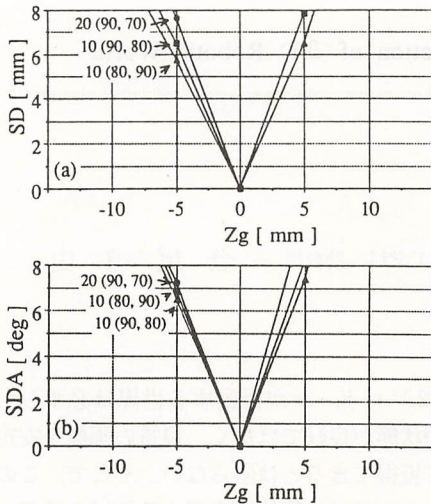


Fig. 7 Arrangement of eight magnetometer sensors for monitoring positions (x, y) and inclination angles (θ_x, θ_y) of a magnet. Four sensors are set at each side of the jaw.

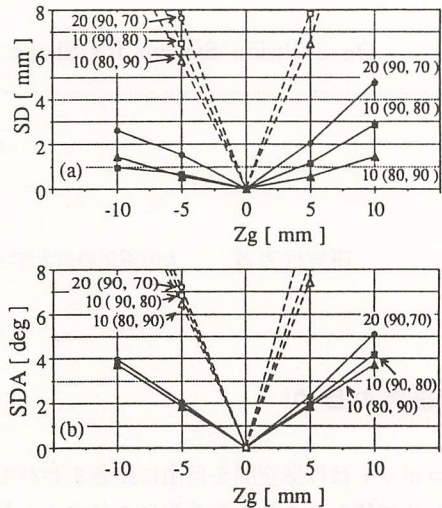


Fig. 8 Detection errors caused by lateral movements (Z_g). (a) position (x, y) , (b) angle A . Solid lines correspond to the sensor arrangement in Fig. 9 and dashed ones to the case of Fig. 4. ($|z - c| = 100\text{mm}$, $D = 60\text{mm}$).

3 mm程度のずれであれば、誤差を1 mm以内に抑えることができる。

【今後の研究の方向、課題】

本研究では、センサを頬の両側に配置して磁石の位置と傾きを検出することにより、磁石のずれに起因する検出誤差を軽減できる方法を見出した。今後は2ないし3個の磁石を同時に検出することが可能な多点計測処理システムの開発が必要である。このためには、更にセンサの配置とその個数及び検出、処理するためのアルゴリズムの開発が必須である。

【成果の発表、論文等】

- 1) "New development of articulatory measuring system using magnetometer sensors", Proceedings of 14th International Congress on Acoustics in CHINA, G 3-8 (September 1992).
- 2) "Improvements of magnetometer sensing

system for monitoring tongue point movements during speech" Proceedings of International Conference on Spoken Language Processing (ICSLP 92) CANADA (October 1992).

- 3) "磁気センサを用いた調音運動の計測システム" 電子情報通信学会論文誌 (A), J 76-A, 1, p. 9-17 (1993-01).
- 4) "磁気センサによる舌運動の計測システム—磁石ベレットの傾きの影響—" 日本音響学会平成3年度秋季研究発表会 (平成3年10月)
- 5) "発話時の舌運動の特徴" 日本音響学会平成4年度春季研究発表会 (平成4年3月)
- 6) "発話時の舌ベレットの傾き検出" 電子情報通信学会音声研究会 (平成4年3月)
- 7) "磁気センサによる調音運動の計測—センサの最適配置についての検討—" 日本音響学会平成4年度秋季研究発表会 (平成4年10月)
- 8) "磁気センサによる調音運動の計測—舌ベレットの傾きとずれを考慮したセンサ配置—" 電子情報通信学会音声研究会 (平成5年3月)
- 9) "磁気センサによる調音運動の計測" 平成5年電気学会全国大会 (平成5年3月)
- 10) "Articulatory measuring system using magnetometer sensors for tongue point movements during speech", IEEE Transactions on Magnetics (November 1993 投稿中).

作業空間の形状情報を高速に獲得する ロボットビジョンシステムの検討

On a Vision System for Shape Construction of 3D Robotic World

911013

研究代表者 大阪電気通信大学工学部精密工学科 助教授 登 尾 啓 史

〔研究の目的〕

ロボットは作業空間を自由に動きまわって、はじめて種々のタスクを柔軟にこなすことができる。しかし一般に、作業空間に存在する多数の物体はロボットの動きを頻繁に妨げる。ここでは、ロボットは動き回りながらカメラからそれらの物体を撮影し、それらが映し出された複数枚の画像を処理して作業空間のモデルをコンピュータ内に作り上げるロボットビジョンシステムを考察する。このシステムでは、ロボットが移動すればするほど、作業空間のモデルはそのなかの物体の形状をより正確に表現する。そして、行動する前にいつもロボットがこのモデルを参照すれば、むやみに物体と衝突することなく作業対象物に接近できる。

このロボットビジョンシステムは、次のような特徴をもつ。

（１）オクトツリーというソリッドモデルを作業空間モデルとして採用している〔３〕。このオクトツリーでは、３次元空間を形成するすべての領域が位置にもとづく階層構造で管理されているので、ロボットが物体と衝突することなく行動できる安全な領域、さらにはそのような動作が高速に抽出できる。

（２）ロボットが行動する世界は必ずしも照明状態が良好ではなく、良質の画像を安定して獲得できるとは限らない。そこで、このシステムでは、物体を表現する領域の輪郭という照明条件の影響を、最も受けにくい情報のみから作業空間のモデルを構築している。また、このシステムでは、人間の認知機構に近い Lab 表色系にもとづいて、劣悪な画像においても安定な領域分割ができるようにしている〔４〕。

（３）オクトツリーの階層構造を利用すると、画像から得られた物体の形状情報が関係する３次元領域においてのみ自動的にモデルへ登録される。このことにより、例えば多面体モデルを採用したときに発生する面と面の交差判定といった組み合わせ的処理が省かれ、システムのリアルタイム性が常時保たれる。

（４）カラー情報により物体を区別したうえでその形状を個別に復元するので、従来の錐体相貫法にもとづくアルゴリズム〔５〕よりも各々の物体の形状が正確に復元される〔１，２〕。

〔研究の内容、成果〕

カメラを搭載したロボットが作業空間を動

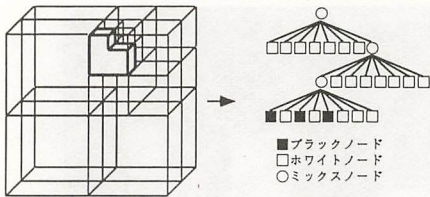


図1 作業空間モデルとしてのオクトツリー

きまわりながら多数の物体を映した画像を複数枚獲得し、それらからその作業空間のモデルを構築するロボットビジョンシステムを考察する。

このシステムでは、作業空間を統括的に表現するモデルとしてオクトツリーを採用した(図1)。このオクトツリーでは、物体が存在する領域を黒ノード、存在しない領域を白ノード、物体が一部に存在する領域をミックスノードで表現する。したがって、まず全体空間はミックスノードで表現される。そして、ミックスノードで表現される。そして、ミックスノードに対応する領域は8つのサブ領域に分割され、これにより新たに8つの子ノードが誕生する。さらに、それらの属性は、対応するサブ領域の状態に従って、白ノード、黒ノード、ミックスノードと分類される。そして、ミックスノードについて同様の処理を再帰的に行うことにより、オクトツリーの高さが増加し、物体形状の解像度が高まる。この再帰処理は、コンピュータの記憶容量を勘案して継続される。

このシステムでは、ロボットの常動性を利用することにより、各々の画像から得られた物体の形状情報をオクトツリーに登録していくが、それは次の3つの手続きからなる。

(1) 作業空間に存在する種々の物体をCCDカメラで撮影する。そして、カラー情

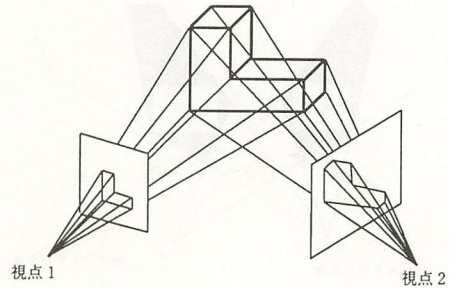


図2 錐体相貫法による物体形状復元

報にもとづき、その画像内で物体の領域を分割しそれを多角形近似する。本研究では、すべての物体は固有の色を持つと仮定しているので、それらにより物体が一意に認識できる。

(2) 画像の視点と多角形領域から物体毎に錐体を構成する。この錐体は各々の物体をかならず内包する(図2)。

(3) 各々の物体を内包する錐体が複数誕生したところで、それらをオクトツリーに分配し、その重なり合う部分を黒ノードの集合で表現する。もちろん、この分配の途中で白ノードも、それらを結合する役割のミックスノードも生成される。これによって、どのような形状の物体がどこに存在するのかが明確になったオクトツリーが、作業空間の地図として誕生する。これは、錐体相貫法と呼ばれる方法を、カラー画像により各々の物体を認識できるケースに拡張したものである。

これまでの錐体相貫法に基づくロボットビジョンシステム[5]では、すべての物体を区別せずそれらの形状を復元していたので、架空の物体領域がオクトツリー上に誕生し、それがロボットの行動を妨げてきた(図3)。これに対して、ここで提案したロボットビジョンシステムでは、すべての物体を色情報で区別したうえで形状復元しているので、そ

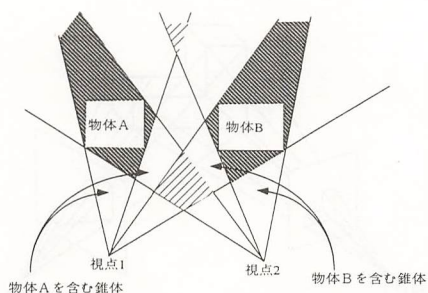
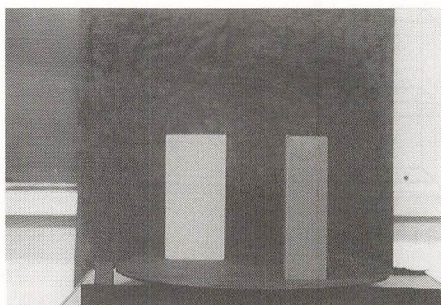
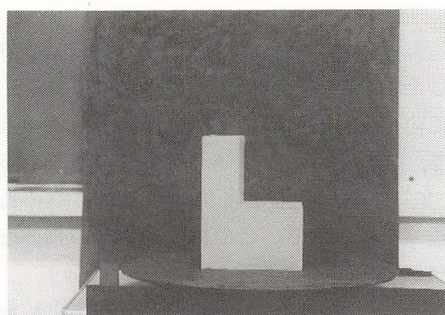


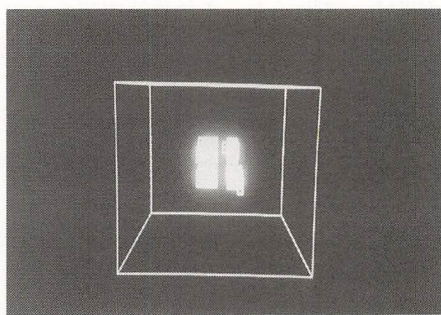
図3 従来の錐体相貫法の問題点



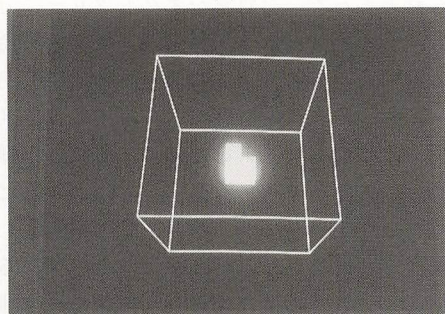
(a)



(a)

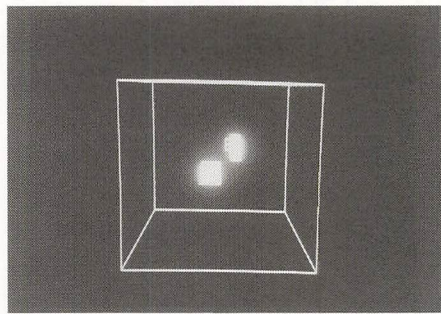


(b)



(b)

図4 1つの物体しか存在しない作業空間(a)
従来の錐体相貫法によるオクトツリー(b)
今回の錐体相貫法によるオクトツリー(b)



(c)

図5 2つの物体が存在する作業空間(a)
従来の錐体相貫法によるオクトツリー(b)
今回の錐体相貫法によるオクトツリー(c)

のような架空の領域が比較的誕生せず，ロボットがより適切に行動できる地図がオクトツリーとして形成される。

このことを検証する比較実験を行った。図4では，従来のシステムと今回のシステムを

利用し，1つの物体の形状をコンピュータにオクトツリーとして入力した結果である。このときには，前述のような架空の領域が生まれないのでそれらは同一のオクトツリーを生成する。しかし，図5のように2つの物体が

存在する空間を考えたとき、従来のシステムでは2つの架空の物体領域をオクトツリーに生むのに対し、今回のシステムではそれら2つの物体形状を正確に反映したオクトツリーを生成していることがわかる。

[今後の研究の方向・課題]

ここでは、ロボットは既に移動して複数枚の画像を獲得したという前提で作業空間モデルを構築している。しかし、これを、ロボットが動きながら画像を取り、それから作業空間モデルを更新するという逐次的な処理に変更する必要がある、現在そのようなアルゴリズムをインプリメントしている。

また、このシステムが安定に機能するかどうかは、画像において領域分割がどれだけ正確に行えるかに依るが、これについても現在機能向上を継続している。

[成果の発表、論文等]

- 1) H. Noborio and Y. Katahira, "A Stereo Volume Intersection Method for Reconstruction of 3D Multiple Objects," Proc. of the Second Int. Conference on Automation, Robotics and Computer Vision, pp. CV-5. 3. 1, CV. 5. 3. 5, 1992.
 - 2) 田中, 長田, 登尾 "ステレオ錐体相貫法によるオクルージョンをおこす3次元物体群の形状復元", 第10回日本ロボット学会学術講演会, pp. 209-212, 1992.
- 関連論文
- 3) C.L. Jackins and S.L. Tanimoto, "Oct-trees and their use in representing three-dimensional objects," Computer Vision, Graphics, Image Processing, vol. 14, pp. 249-270, 1980.
 - 4) S. Tominaga, "Surface Identification Using the Dichromatic Reflection Model," IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 13, no. 7, pp. 658-670, 1991.
 - 5) H. Noborio, S. Fukuda, and S. Arimito, "Construction of the Octree Approximating Three Dimensional Objects by Using Multiple Views," IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 10, no. 6, pp. 769-782, 1988.

ヒューマンインターフェースにおける 環境世界のモデル構築に関する研究

Generation of Environmental Map for Human Interface

911015

研究者代表

大阪大学基礎工学部 教 授

谷内田 正 彦

共同研究者

大阪大学基礎工学部 講 師

木 木 康 史

[研究の目的]

現在の機械による処理では、環境世界のよう空間的な情報は最も扱いにくい。従来の人間—機械系のインターフェースでは、この点において人間が機械に大幅に歩み寄ることによって実現されているため、人間にとって著しく扱いにくい。そこで本研究では、機械（ロボット）が環境内を移動することでカメラなどの視覚情報から直接環境モデルを構築する手法等を明らかにすることを目指す。

[研究の内容・成果]

我々は移動ロボット用視覚センサとして、円錐ミラーを用いた全方位視覚センサ（図1），及びこのセンサを用いロボットの周囲にある環境構造物までの位置情報を獲得する方式を提案した。本研究では、獲得された位置情報からロボットが移動可能な空間の推定また環境のモデル化を行う。

COPIS では、シーン中に存在する垂直物体がカメラで撮像された画像上で放射状に射影され、物体の観測方位角が直接画像面上での回転角として現れる特徴を持つ。この時、位置計測を行う任意の点 $P(X, Y, Z)$ に対する画像面上の写像点を $p(x, y)$ とすると、次式の関係がある。

$$\tan\theta = Y/X = y/x \quad (1)$$

即ち、 Y_p/X_p で定まる対象物体の方位角は、 y_p/x_p で定まる画像面内の像の方位角を算出することで得られる。

実際には、全方位画像を微分2値化し、

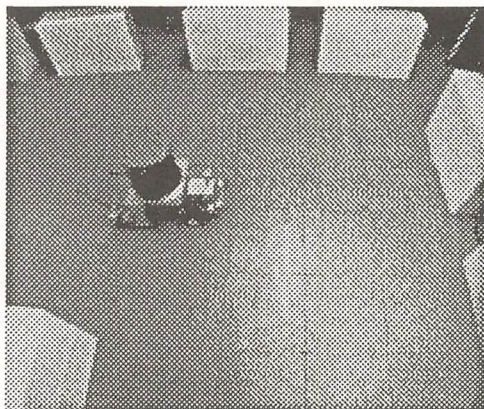


図1(a) COPIS外観

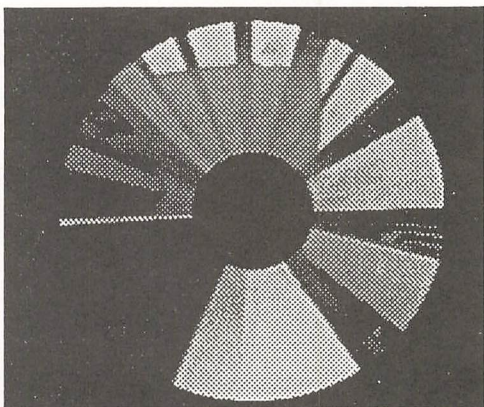


図1(b) 入力画像の一例

エッジ検出を行う。このエッジ画像を極座標変換し、各回転角 θ ごとに画素数を計数することで回転角方向への投影変換を行う。投影データの計数値が所定の閾値以上の領域を特徴領域とし、同領域内で投影データの平均回転角を抽出し、各エッジの方位角を決定する。

本研究ではこの特徴を利用し、垂直エッジ成分の方位角を観測することで、以下の環境マップ生成、自由空間の把握を行う。

(1) 環境マップの生成と自由空間の把握

ロボットは移動しながら全方位の情報を実時間で撮像し、時系列画像間での観測点（垂直エッジ）の移動軌跡を計測する。この移動軌跡の形状は垂直エッジまでの距離により一意に決定される幾何学的性質を持つ。式 (1) より対象物体の方位角は画像面に現われる垂直エッジの回転角から求められる。そこで、ロボット移動に伴う異なった観測点での物体方位角を計測することで、3角測量の原理から対象物体の相対位置が求められる。

求める対象物体の座標位置を $P_0 (X_0, Y_0)$ とする。今、移動ロボットが時刻 t における撮像位置において移動ベクトル $(V_x(t), V_y(t))$ で移動したとすると、点 P_0 のロボットから見た相対位置 (X_{p0}, Y_{p0}) は次式となる。

$$\begin{aligned} X_{p0} &= \int_0^t (-V_x(t))dt + X_0 \\ Y_{p0} &= \int_0^t (-V_y(t))dt + Y_0 \end{aligned} \quad (2)$$

従って、ロボットが移動したとき時刻 t における対象物体の方位角は次式となる。

$$\tan\theta(t) = \frac{Y_{p0}}{X_{p0}} = \frac{-Y(t) + Y_0}{-X(t) + X_0} \quad (3)$$

$$\left[X(t) = \int_0^t V_x(t)dt, Y(t) = \int_0^t V_y(t)dt \right]$$

ここで、ある時刻 t_1, t_2 での方位角が観測

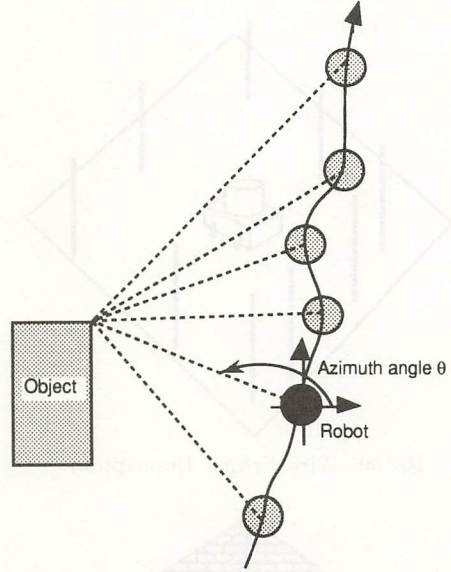


図2 位置情報の獲得

できれば、両時刻での式 (3) の関係から得られる連立方程式を解くことで対象物体の座標位置 (X_0, Y_0) は計算できる。即ち、2ヶ所で垂直エッジの方位角を観測することで、垂直エッジまでの位置情報が獲得できる。

なお図2に示す様に、実際には垂直エッジの方位角に計測誤差があるため、2点から計算するだけでは精度が悪い。そこで、計測精度を上げるためにロボットが移動しながら撮像した連続画像を用い、ロボット移動に伴い観測された方位角から最小二乗法を用いて位置情報を獲得する。

ロボットが環境内を移動する場合、移動可能か否か（通路か壁か）を判定する、即ち、ロボットの移動可能な自由空間を認識する必要がある。しかし、得られた位置情報は、垂直エッジ上でのデータでいわゆるワイヤフレームモデルである（図3 (a)）。

しかし、ナビゲーションを行うには、ロボットが動ける範囲が分かるように、面を同

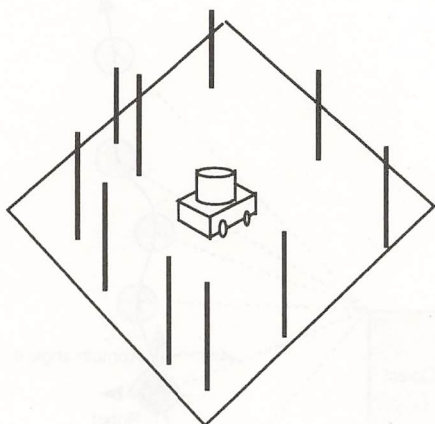


図3(a) Wire Frame Description

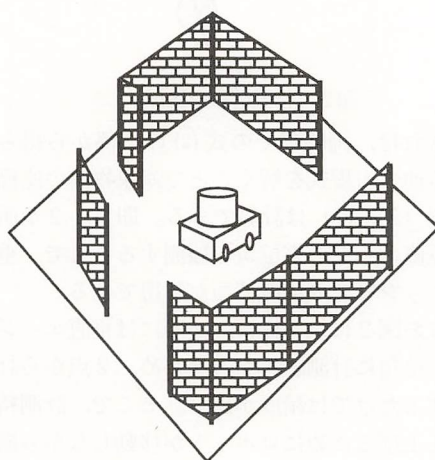


図3(b) Surface Frame Description

定し自由空間を決定する必要がある(図3(b))。

面を同定する方法は色々研究されているが、我々は、これまでに得られている環境マップのデータ構造を利用して、簡単で高速な次のような方法により自由空間を決定する。ただしこの方法では、当初(ロボットのスタート位置)、ロボットの周囲近傍には障害物は存在しないという前提を置く。そこで、画像中

で方位角が隣接したエッジ間は壁であるとの仮定を設けることで、ロボットが移動可能な自由空間を推定する²⁾。図4(a)～(d)に実験結果を示す。

[今後の研究の方向・課題]

本報告では、全方位視覚センサ COPIS を用いた移動ロボットシステムにおける、自由運動下においての環境マップの生成、即ち簡素な面同定・自由移動空間の把握の方法について述べた。本方法はロボットが移動可能な空間を推定すると言った視覚誘導の目的には有効な方法と考える。しかし、実空間内でロボットが作業する場合など、物体を認識、理解する必要が生まれることがある。従って今後の課題としては、面の同定に関して、ただ隣同士の垂直エッジを連結するだけでなく、本当に面であるのかどうかの判断を行い、物体の存在領域を推定する。

[成果の発表、論文等]

- 1) Y. Yagi, Y. Nishizawa, M. Yachida: Guidance of a Mobile Robot with Environmental Map using Omnidirectional Image Sensor COPIS, Proc. 1st Korea-Japan Joint Conf. Computer Vision, 268-273 (1991)
- 2) Y. Yagi, Y. Nishizawa, M. Yachida: Building Environmental Map for a Mobile Robot using Omnidirectional Image Sensor COPIS, Proc. 1st Korea-Japan Joint Conf. Computer Vision, 274-279 (1991)
- 3) 西澤慶満, 八木康史, 谷内田正彦, “全方位視覚センサ COPIS を搭載した移動ロボットによる環境マップの生成”, 情報処理学会研究報告, CV 73-10, pp. 73-80, (平成3年7月)
- 4) Y. Yagi, Y. Nishizawa, M. Yachida: Estimation of Free Space for Mobile Robot Using Omnidirectional Image Sensor COPIS, Proc. IEEE/IES Int. Conf. Industrial Electronics, Control, Instrumentation '91, 2, 1329-1334 (1991)
- 5) Y. Yagi, Y. Nishizawa, M. Yachida: Estimating Location, Avoiding Collision against Unknown Obstacle for the Mobile Robot Using Omnidirectional Image Sensor COPIS, Proc.

IEEE/RSJ Int. Workshop Intelligent Robots and Systems '91, 2, 909-914 (1991).

- 6) Y. Yagi, Y. Nishizawa, M. Yachida: Map Based Navigation of the Mobile Robot Using Omnidirectional Image Sensor COPIS, Proc. IEEE Int. Conf. Robotics and Automation, 1, 47-52 (1992).

- 7) 西澤慶満, 八木康史, 谷内田正彦, “全方位視覚センサ COPIS を搭載した移動ロボットのためのナビゲーション”, 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU'92) 講演論文集, Vol. II, pp. II-463-II-470, 札幌, (平成4年)

- 8) Y. Yagi, Y. Nishizawa, M. Yachida: Guidance of a Mobile Robot with Environmental Map using Omnidirectional Image Sensor COPIS, IEICE Trans. Information, Systems, E 76-D, 486-493 (1993)

- 9) 西澤義満, 八木康史, 谷内田正彦: 全方位視覚センサ COPIS を搭載した移動ロボットのための環境マップの生成と移動自由空間の推定, 日本ロボット学会誌, 印刷中

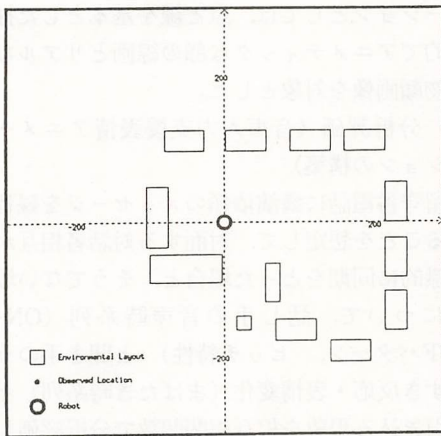


図4(a) 環境マップ生成結果 (1st frame)

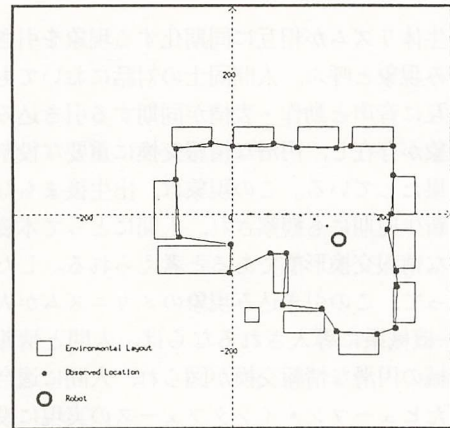


図4(c) 環境マップ生成結果 (35th frame)

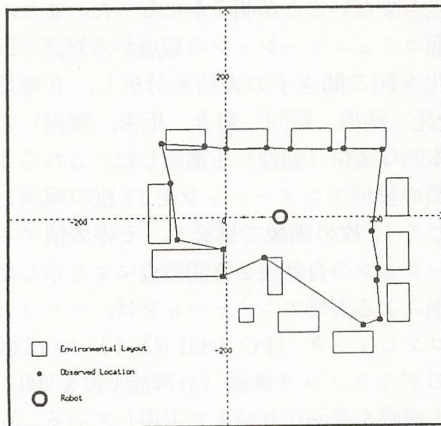


図4(b) 環境マップ生成結果 (15th frame)

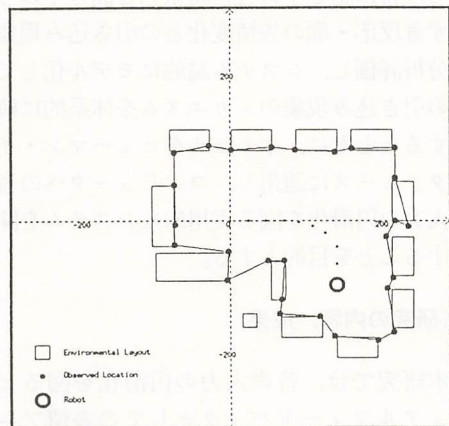


図4(d) 環境マップ生成結果 (Final frame)

音声対話時の引き込み現象の解明と そのヒューマン・インタフェースへの応用

Analysis of Entrainment in Interpersonal Communication and Its Application to Human Interface

911019

研究代表者 山形大学工学部電子情報工学科 助教授 渡辺 富夫

[研究の目的]

生体リズムが相互に同期化する現象を引き込み現象と呼ぶ。人間同士の対話においても相互に音声と動作・表情が同期する引き込み現象が存在し、円滑な情報交換に重要な役割を果たしている。この現象は、出生後まもない新生児期にも観察され、人間にとって本質的な情報交換形態であると考えられる。したがって、この引き込み現象のメカニズムが人間-機械系に導入されるならば、人間と情報機械の円滑な情報交換が図られ、人間に適合したヒューマン・インタフェースの実現に役立つと期待される。

本研究では、対話者相互の引き込み現象として、特に話し手の音声時系列と聞き手のうなずき反応・顔の表情変化との引き込み現象を分析評価し、システム論的にモデル化して、この引き込み現象のメカニズムを体系的に解明するとともに、本モデルをヒューマン・インタフェースに適用し、コンピュータへの音声入力 of 円滑化を図る実用的なシステムを開発することを目的とする。

[研究の内容、成果]

本研究では、音声入力 of 円滑化を図るビジュアルフィードバックとしての表情アニメーションの構築及びその表情アニメーションの合成的解析法による効果的な引き込み現

象の誘導法の研究を中心に行った。表情アニメーションとしては、点と線を基本とした抽象的でアニメティックな顔の線画とリアルな人物顔画像を対象とした。

1) 分析評価 (音声入力支援表情アニメーションの構築)

留守番電話に講演依頼のメッセージを録音することを想定して、対面する対話者相互が意識的に同期をとった場合と、そうでない場合について、話し手の音声時系列 (ON-OFF パターン、ピッチ特性) と聞き手のうなずき反応・表情変化 (まばたき時系列) との引き込み現象を相互相関関数で分析評価した。その結果、意識的に同期をとった場合には引き込み現象が顕著に出現すると同時に個人差も少ないことが明らかになった。また、対面コミュニケーションの観点から対話の円滑化を図る聞き手の表情を分析し、6種類 (受託、納得、疑問、驚き、拒否、無視) の基本的な表情 (動作) を選定した。これら6種類の表情アニメーションを12枚の線画と同じく12枚の画像で構築し、その表情アニメーションの有効性を官能検査により示した。線画による表情アニメーションは、パーソナルコンピュータ (PC-9801 RX 4) の12画面のグラフィック画面 (分解能 640 x 200) 上の線画を画面切り替えで実現している。一方、顔画像の表情アニメーションは、12枚の顔画像を格納した光動画ディスクファイル

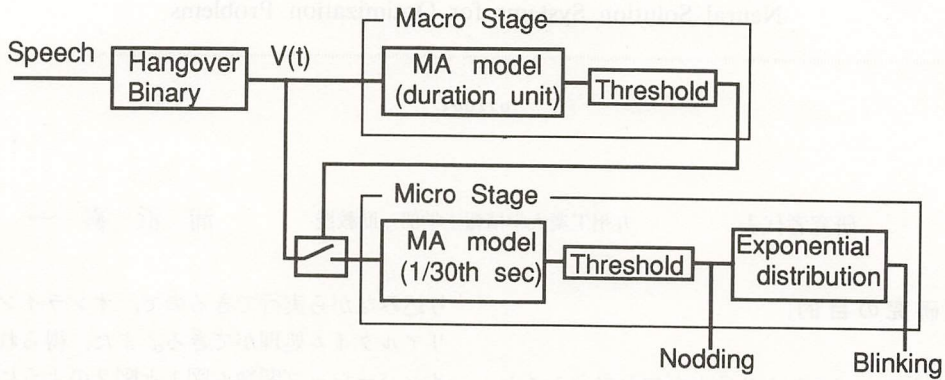


Fig. 1 Voice-Reactive Nodding and Eye-Blinking Feedback Model

(松下 TQ-2300 FA) をコンピュータ制御で表示し、実現している。その顔画像は実物の顔画像計測により得られた三次元情報に基づいて、384 個の三角形パッチからなるワイヤフレームモデルを構築し、表情に応じて変形させたモデルに原画像の濃淡値をマッピングして合成している。

2) モデル化

上記の分析評価を基にして、音声入力に対するビジュアルフィードバックとしての音声-表情反応モデルをシステム論的に構築した。本モデルは、音声の ON-OFF パターンに基づいてうなずき反応、まばたき反応を推定する階層モデル (Fig. 1) を中心に、音声の韻律情報に基づいて 6 種類の表情アニメーションを推定するモデルである。シミュレーションによりモデルの有効性を示した。

(3) システム開発

理論の実際的应用として、上記のモデルを組み込んだ、音声入力に対するビジュアルフィードバックシステムを DSP を用いてパーソナルコンピュータで実現した。このシステムは、人間の語り掛けに対して表情アニメーションが適切なタイミングで反応する話し易いシステムである。

[今後の研究の方向, 課題]

音声対話時の引き込み現象は、異文化、異民族間のコミュニケーションにおいても通用する、非言語的な共通語であると申請者は考えている。本研究で構築したモデル及びシステムの言語間のロバスト性を評価検討する予定である。

[成果の発表, 論文等]

- 1) T. Watanabe and A. Higuchi: Facial Expression Graphics Feedback for Improving the Smoothness of Human Speech Input to Computers, Advances in Human Factors/Ergonomics, 18 A, 4th International Conference on Human-Computer Interaction, pp. 491-497, 1991.
- 2) T. Watanabe, K. Mizukami, and N. Kobayashi: Quantitative Analysis of Neonatal Intrapersonal Synchrony between Crying Vocalization and Arm Movement, Trans. Biology of the Neonate, Vol. 60, pp. 86-93, 1991.
- 3) 渡辺富夫, 遠田安幸: フラクタル次元に基づく顔線画表情の定量化, 第 7 回ヒューマン・インタフェースシンポジウム, pp. 159-164, 1991.
- 4) N. Kobayashi, T. Ishii, and T. Watanabe: Quantitative Evaluation of Infant Behavior and Mother-Infant Interaction, Early Development and Parenting, Vol. 1, pp. 23-31, 1992.
- 5) 渡辺富夫: 音声対話時の聞き手のまばたき反応の分析とモデル化, 計測自動制御学会ヒューマン・インタフェース研究論文集, Vol. 1, pp. 35-42, 1992.
- 6) T. Watanabe: Voice-Responsive Eye-Blinking Feedback for Improved Human-to-Machine Speech Input, 5th International Conference on Human-Computer Interaction, (1993), in press.

最適化問題のニューラル解法システムの開発

Neural Solution Systems for Optimization Problems

921003

研究者代表

九州工業大学情報工学部 助教授

浦 浜 喜 一

[研究の目的]

人工ニューラルシステムがマンマシンインターフェースに使われるためにはリアルタイム動作が必須である。このためには新しいアルゴリズムとハードウェアの開発が不可欠である。本研究では画像認識やロボット制御等に現れる最適化問題をリアルタイムで解くシステムを開発するための基礎として、最適化の新しいニューラルネットアルゴリズムを開発し、それらを電流モードアナログ MOS 回路にインプリメントする。

[研究の内容、成果]

ファジィクラスタリング

通常のハードクラスタリングのアルゴリズムはこれまで数多く開発されており、最近ではニューラルネットによる方法も提案されてきている。しかしファジィクラスタリングについては、ファジィ C 平均法と呼ばれるアルゴリズムだけしか知られておらず、広範な応用範囲にもかかわらず、専らこのアルゴリズムだけが使われている。このファジィ C 平均法はバッチでデータを取り込まねばならず、データ数が多い場合や適応学習には使えない。そこで、ここではニューラルネットに基づくファジィクラスタリングのアルゴリズムを提案した。本方法はデータを一つずつ取

り込みながら実行できるので、オンラインでリアルタイム処理ができる。また、得られるメンバーシップ関数も図1と図2のように、本方法の方がファジィ C 平均法よりも自然である。図1と図2は、等間隔の9個の点を三つのグループに分けたときのメンバーシップ値である。

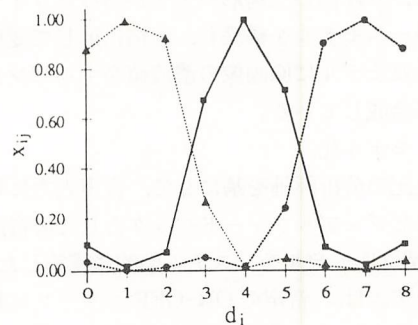


図1 ファジィC平均法によって得られたメンバーシップ関数

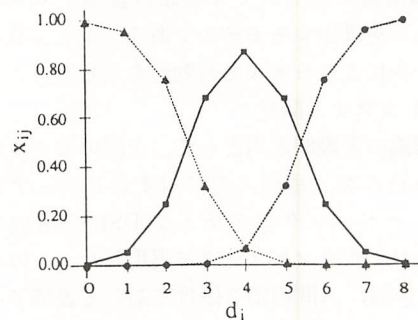


図2 本方法で得られたメンバーシップ関数

組み合わせ最適化

ホップフィールドが 1985 年に発表した、ニューラルネットを使って組み合わせ最適化問題を解く方法は大きな注目を集め、これまで数多くの問題に適用されてきた。しかし彼の方法はペナルティ法に基づいているため、しばしば非許容解も出力するのでリアルタイム処理には使えない。そこで、ここではラグランジュ乗数法に基づく方法を提案した。本方法は必ず許容解だけを出力する。また本方法の大きな特長はサブスレッショルド MOS トランジスタ回路によって実行できることである。従ってコンパクトで低消費電力の LSI で高速に解を得ることができる。このシステムは通信システムの経路制御のような高速な処理を要するシステムに有用であると期待される。図 3 に割当問題を解く回路の例を示す。本回路はクロスバのスイッチング制御における一次割当問題や巡回セールスマン問題等 NP 困難な問題をも解くことができる。

NP 困難な組み合わせ最適化問題に対するニューラル解法が従来の近似アルゴリズムに比べ研究が遅れている点の一つに、性能の理論的な保証がこれまで全く与えられていないことがある。そこで、ここでは基本的な NP 困難な問題である最大カット問題を例にとり、従来のホップフィールドネットと本研究で新しく開発したアルゴリズムの最悪誤差を理論

的に評価した。その結果本研究でのアルゴリズムはホップフィールドネットよりも性能が優れていることが示された。また本研究でのアルゴリズムは一般に p 分割最大カット問題に対しては、 $1/p$ 近似算法であることが理論的に保証された。これは従来の近似アルゴリズムと同等の性能であり、本研究のアルゴリズムの有用性が保証された。

[今後の研究の方向, 課題]

ファジィクラスタリングの方法を応用して階層的なクラスタリングを得る方法を開発する。また組み合わせ最適化問題の解法について、アニーリングを導入して性能を高める方法を研究する。本研究で開発した組み合わせ最適化アルゴリズムの性能について、グラフ分割問題や巡回セールスマン問題等の制約条件が、より複雑な問題に対する最悪誤差を解析する。

[成果の発表, 論文等]

- 1) K. Urahama : Performance of neural algorithms for maximum-cut problems, J. Circuits, Systems and Computers, 2, pp. 389-395 (1992, 12)
- 2) K. Urahama : Unsupervised learning algorithm for fuzzy clustering, IEICE Trans. E 76-D, pp. 390-391 (1993, 3)
- 3) 浦浜, 西雪: 配置問題のニューラル解法, 電子情報通信学会 CAS 研究会 (1993, 6)
- 4) 山本, 浦浜: 互いの距離が与えられたデータのクラスタリング, 電子情報通信学会 CAS 研究会 (1993, 6)
- 5) 浦浜, 大中, 上野: クラスタリングによる画像復元, 電子情報通信学会 DSP 研究会 (1993, 7)
- 6) K. Urahama: Analog method for solving combinatorial optimization problems, IEICE Trans. (submitted)

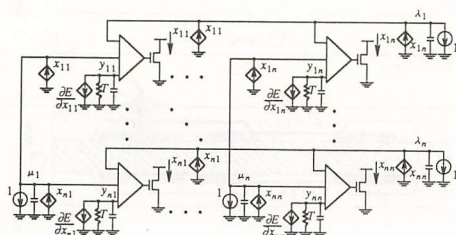


図 3 割当問題を解く電子回路

集積化加速度センサの開発

Development of Integrated Accelerometer

921004

研究者代表 東北大学工学部機械電子工学科 教授 江 刺 正 喜
共同研究者 東北大学工学部機械電子工学科 助教授 庄 子 習 一
東北大学工学部機械電子工学科 助手 南 和 幸

[研究の目的]

半導体微細加工技術による小型で高性能・安価なシリコン加速度センサの実用化が期待されているが、現段階では感度特性等の点で問題があり、付随する回路も複雑になるなど、実用化には不十分である。本研究では、センサの新しい構造を提案し、処理回路を集積化する事に依って、シンプルな加速度測定システムが構築できる実用的な加速度センサの開発を目指す。

[研究の内容、成果]

本研究は、新しいセンサ構造を提案して、実用的な加速度センサを開発する事を目的としている。加速度の検出原理には容量型と呼ばれる方法を用いた。容量型加速度センサは梁で支えられた重りの上側に電極が形成された構造をしている。加速度がかかると重りが変化して重りと電極の間の静電容量が変化するので、これより加速度を検出する。容量型は原理的に高感度であるが、寄生容量の影響を受けやすいためセンサ部に隣接して容量検出回路を集積化する必要がある。

そこで第一段階として、加速度センサ単体を製作して最適なセンサ構造について検討を行った。このセンサを図1に示す。このセンサは、シリコンの重りを気相反応成長法(CVD)によって堆積したシリコンオキシナイトライド(SiON)の梁で支えた構造になっている[1]~[3]。SiON薄膜は、膜内部

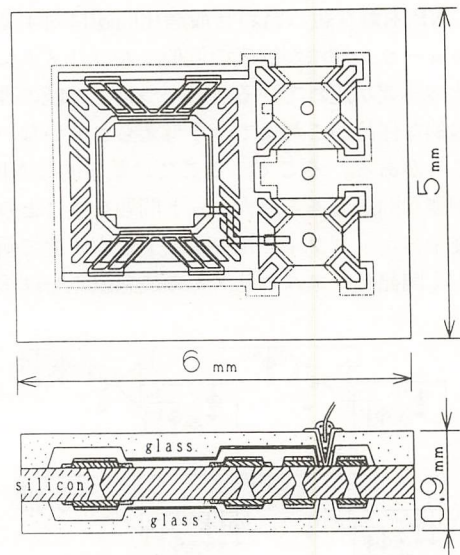


図1 容量型加速度センサの構造

の残留応力を材料ガスの流量比を変えることで制御できるため、梁のバネ定数の制御がしやすくセンサ感度のばらつきを少なくする事ができる。また、重りは上下の梁で支えられているため他軸感度を少なくする事ができる。

このセンサでは、重りの上下にガラスが張り合わされ、容量検出用の金属電極が形成された構造になっている。加速度センサに過大加速度がかかった場合には、上下のガラスが重りに対するストッパの役目をするため、このセンサは 1000 G 以上の対衝撃性を持っている事が確認できた。この加速度センサの静電容量の値は 15 pF であり 1 G 当たり 0.3 pF 変化する事が確認できた。

続いて第 2 段階として、センサの容量を検出する容量検出回路を CMOS 技術を用いて製作して、その特性を評価した [4] [5]。これらの回路は容量値を周波数に変換する型の回路であり、周波数出力のためデジタル処理しやすくかつ外来雑音の影響を受けにくいという特徴を持つ。また、CMOS 回路で構成されているためその消費電流の変化を検出すれば、電源ラインの 2 線のみで出力周波数を検出できる。このため回路へ接続するリード線の本数を必要最小限にできる。また、我々が開発してきた共通 2 線式システムが適用可能となり、共通の電源ラインに複数の回路を接続して、電源線にのせた信号で任意の回路を選択する事も可能となる。また、これらの回路は温度補償の機能も持っている。この回路を図 1 のセンサ上に搭載してハイブリッド型の加速度センサを製作した。そして、加速度の検出、およびセンサの温度補正ができる事を確認した [2]。

続いて第 3 段階ではこれらの成果を踏まえて、集積回路技術とマイクロマシニング技術を用いてセンサと検出回路を集積化した加速

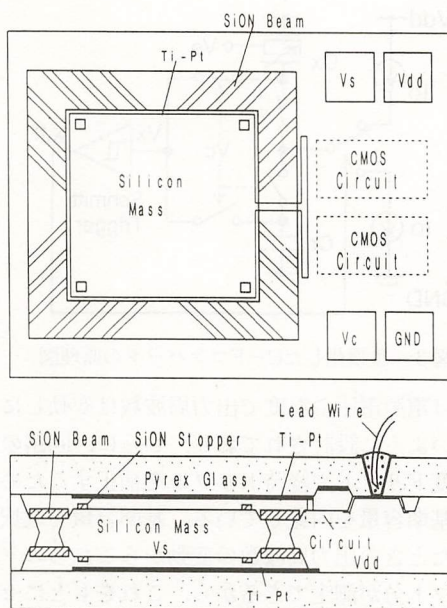


図 2 集積化容量型加速度センサの構造

度センサを製作した [6] [7]。このセンサの構造を図 2 に示す。大きさ $4.5 \times 1.7 \times 0.9 \text{ mm}^3$ と小型であり、回路とセンサが集積化されたシリコン基板を上下のガラスではさんだ構造になっている。図 1 のセンサと同様にシリコンの重りが上下の SiON の梁で支えられた構造になっており、重りと上側ガラスの電極の間の容量変化を同一シリコン基板上の容量検出回路で検出する。この際、ガラスとシリコンの間の空洞を気密封止しつつ、同時に空洞内の集積回路から電圧端子を取り出す必要がある。そこで、ガラスに微細穴を開け、ガラスの穴越しに電圧端子を取り出す構造を用いた。

センサに集積化された回路はシュミットトリガ回路を用いて容量を周波数に変換する回路である。この原理図を図 3 に示す。この回

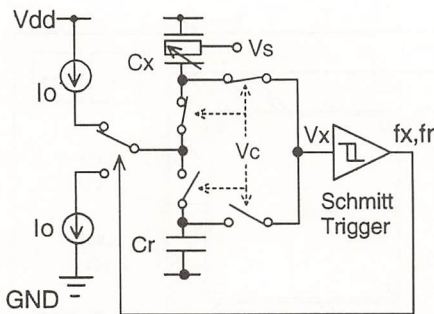


図3 集積化したC-Fコンバータの原理図

路は電源電圧や温度で出力周波数は変動しにくいように設計されており、さらに、回路の温度ドリフトや経時ドリフトを補正するために基準容量を内蔵している。基準容量を選択したときの出力周波数の変動からこれらのドリフト分が測定できるから、これをもとにセンサ容量を選択した時の出力周波数に補正をかけドリフト分を打ち消す事ができる。

このセンサは単体でも周波数出力型の加速度センサとして用いる事ができるが、一般に、容量型加速度センサは測定範囲や周波数特性が狭いという問題を持っており、これらの特性はセンサを静電サーボ方式で駆動する事で改善できる。そこで、各種の静電サーボ方式を比較、検討した後、集積化加速度センサに適した静電サーボ方式を考案した。

この静電サーボ方式を図4に示す。センサは周波数出力であるため Phase-Locked-Loop 回路を用いて静電サーボシステムを構成している。また、出力電圧と加速度を比例させるため、重りの上下を電位の異なる電極で挟み、重りの電圧を変えて静電引力をかけるという方式を用いた。この加速度測定システムは出力直線性に優れ、図4に示すように帰還係数 $\beta = 1$ の条件で 1 V/G の実用的な感度を持つ。さらに PLL 静電サーボ回路の

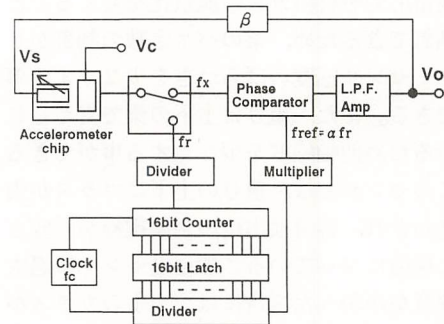


図4 Phase-Locked-Loop静電サーボシステム

基準周波数 f_{ref} を変化させると出力電圧の零点が調整できる。また、帰還係数 β を変化させる事で感度を調整できる。

このシステムの周波数特性は 6 Hz 程度であり、センサ実用化のためにはさらに改善が必要である。センサの周波数特性が悪いのは重りと電極の間に存在する空気のスクイズドフィルム効果のためである。このため、ガラスとシリコンを真空中で接合して空気をなくせば、周波数特性を広げることができる。そこで真空中での陽極接合について検討を行った[8][9]。これらの方法によってガラスとシリコンの間の空洞を真空封止できる事が確認できた。この技術を用いれば加速度センサの周波数特性を実用的な大きさまで広げる事が可能になる。

このシステムを用いて、小形、高性能、低価格な加速度測定システムが実現できれば、高精度の加速度情報を容易に得る事ができるようになり、ロボット、自動車などの高度な運動制御に寄与できると思われる。

[今後の研究の方向、課題]

今後は、真空中での接合技術を用いて周波数特性を改善した加速度センサの製作、評価

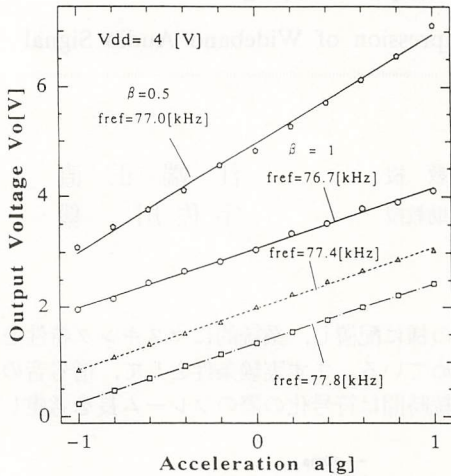


図5 加速度センサの特性

が課題である。また、より高精度の加速度測定を行うためには、温度特性や経時ドリフトを改善した加速度センサの開発が必要となる。さらに、より高温で動作可能な加速度センサを開発できれば自動車や航空機のエンジンの近くなどに加速度センサを設置する事が可能になり新たな応用分野が切り開かれると思われる。

[成果の発表, 論文等]

- 1) N. Ura and M. Esashi: "Differential Capacitive Silicon Accelerometer" Technical Digest of 10th Sensor Symposium, pp. 41-44, 1991.
- 2) 白井, 裏, 江刺: "2線式シリコン容量型加速度センサ", 電子情報通信学会論文誌 C-II, Vol. J 75-C-II, No. 10, pp. 554-562, (1992年10月)。
- 3) 吉田, 江刺: "製作工程で壊れにくい容量型加速度センサ", 第11回「センサの基礎と応用」シンポジウム講演概要集と文速報, p. 65, 1992.
- 4) 山口, 松本, 江刺: "電源電圧と温度の影響が小さな C-F コンバータ", 電子情報通信学会論文誌, C-II, Vol. J 74-C-II, No. 11, pp. 763-765, (1991年11月)。
- 5) 白井, 松本, 江刺: "差動容量型シリコン加速度センサ用容量検出回路", 第10回「センサの基礎と応用」シンポジウム講演概要集と文速報, p. 36, 1992.
- 6) Y. Matsumoto and M. Esashi: "Integrated Capacitive Accelerometer with Novel Electrostatic Force Balancing", Technical Digest of 11th Sensor Symposium, pp. 47-50, 1992.
- 7) Y. Matsumoto and M. Esashi: "Low drift Capacitive Accelerometer with PLL Servo Technique", Tech. Digest of the Transducers' 93, 1993.
- 8) M. Esashi, N. Ura and Y. Matsumoto: "Anodic Bonding for Integrated Capacitive Sensors", 5th Int. Workshop on Micro Electro Mechanical Systems, pp. 43-48, 1992.
- 9) 裏, 中市, 南, 江刺: "陽極接合による真空封止", 第11回「センサの基礎と応用」シンポジウム講演概要集と文速報, p. 63, 1992.

広帯域信号の効率的圧縮への応用を考えた 聴覚モデルの構成に関する研究

Modeling of Auditory System for Data Compression of Wideband Audio Signal

921005

研究代表者

熊本大学工学部 教授

江 端 正 直

共同研究者

熊本大学工学部 助教授

宇 佐 川 毅

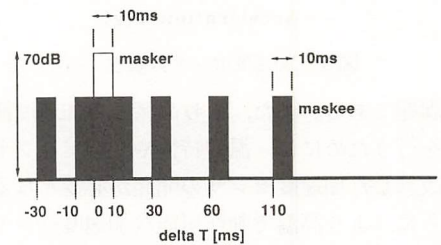
[研究の目的]

本研究は、人間の聴覚機構のもつ種々の特性を用いた広帯域音響信号の高精度・高能率圧縮符号化のための新しい手法の開発を目指した研究である。特に心理実験により従来十分に解明されていない条件下での聴覚現象について定量的解析を加えることにより、聴覚機構を模した数学的定量モデルを構築することを目的としている。

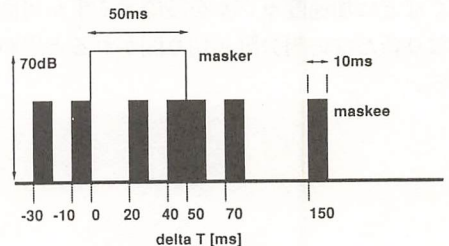
[研究の内容、成果]

これまでの圧縮符号化においては、信号の物理的・統計的な性質が利用されてきたが、音楽のような高品質な信号に対しては、十分な低ビット化が得られていない。このため、音楽のような信号の最終的な受容器は人間であることから、この点に注目した符号化手法についての研究が進められてきている。本研究は、これらの研究の基礎となるマスキング特性、特に継続時間の短い音に対する同時マスキング、フォワードマスキング、バックワードマスキングの特性を明らかにしている。マスキングに関するこれまでの研究は、WegelとLane(1924)の古い研究に始まり、多くの研究があるが、定常音のデータが多く、本目的には不向きである。継続時間の短い音のマスキングについても断片的なデータはあるが、十分ではない。そこで本研究では、信号音(マスカー)と妨害音(マスキー)を図

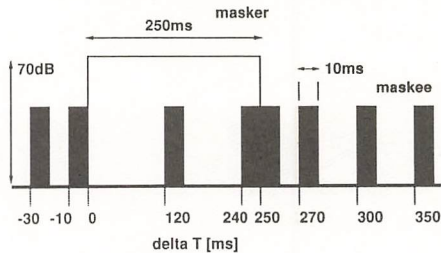
1の様に配置し、系統的にマスキング特性を求めている。まず実験条件として、信号音の継続時間は符号化の際のフレーム長を考慮し



(a) masker:10ms maskee:10ms



(b) masker:50ms maskee:10ms



(c) masker:250ms maskee:10ms

図1 信号音と妨害音のタイムパターン

て、10 ms とする。マスクの継続時間は、10 ms, 50 ms, 250 ms の3種類とする。信号音の周波数は、500 Hz および 1000 Hz, マスクの周波数はそれぞれ信号音の周波数を中心として16種類選んだ。マスクのレベルは70 dB とし、信号音、マスクともに3.5 ms の立ち上がり減衰時間を設けた。

得られた結果の例を図2に示す。マスクの周波数1 kHz, 継続時間50 ms の例であるが、マスキング量は同時マスキングが最大であり、フォワードマスキングはマスクと信号音の間隔が大きくなるにつれて減少し、100 ms ($\Delta t = 150$ ms) の時には、ほとんどみられない。またバックワードマスキングの効果は、信号音がマスクの直前にある場合にもほとんど観察されない。

同様の実験方法によって、信号音の継続時間の効果を求めた。継続時間を10 ms から160 ms まで変え、周波数も250 Hz より4000 Hz までの5種類について、検討した結果を図3に示す。各周波数とも継続時間が20 ~ 40 ms で最小値を示し、その後は継続時間が増すにもかかわらず微増している。これは、最初継続時間が増すにつれ信号のパワーが増加するために最小可聴限は低下するが、20 ~ 40 ms より長くなるとパワーの増加よりも、スペクトルの類似性の方が増大して再び最小可聴限が増加するものと考えられる。

以上の結果から、符号化の際に必要なマスキングデータが得られ、より効率のよい符号化が実現可能な状況になった。

[今後の研究の方向, 課題]

マスキングについては、かなり詳細なデータが得られたが、必ずしも十分ではない。信号音の周波数については、500 Hz および 1000 Hz のデータしか得られていないので、他の周波数については、外挿によらねばなら

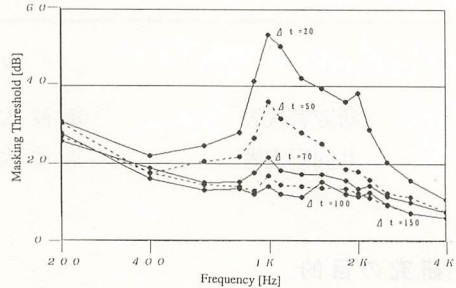


図2 マスクによる閾値の変化
(Masker : 50ms, 1kHz ; Maskee : 10ms)

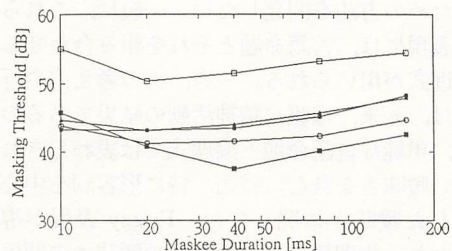


図3 信号音と妨害音が同一波数の場合のマスキングパターン (□ : 250Hz, ■ : 500Hz, ○ : 1kHz, ● : 2kHz, △ : 4kHz)

ない。今後は、この推定がどのくらい正当かどうかを検討する必要がある。また、マスクのレベルの効果については、検討していないので、レベルによる非線形性についても今後明らかにする必要がある。なお、本研究のデータに基づく基底膜モデルをすでに構成しており、今後このモデルを高帯域信号の圧縮に利用した場合の有効性について検討を進める。

[成果の発表, 論文等]

- 1) 江端他, “サブバンド・コーディングに利用可能なマスキングデータの解析” 日本音響学会秋季全国大会講演論文集, 1-9-11 (1992. 10)

適応可能な論理演算 (Fuzzy²) の開発

On an Adaptive Logic (Fuzzy²)

921006

研究者代表
共同研究者

筑波大学 教授
筑波大学 講師

太田道男
山海嘉之

[研究の目的]

人の精神活動や人の考え方、行動の論理などの表現を、論理式または論理回路として得るための方法を開発したい。一般に、これらの表現には、言語命題とそれを組み合わせる論理式が用いられる。一方、人の考え方や行動は、元来、複雑な精神活動の結果であるので、単純な言語命題と論理式では表わしきれない曖昧さを含む。言語、特に形容詞を中心とした曖昧さに関しては、Fuzzy 表現が導入され、物理量と、言語表現の曖昧さの関係を考慮している。すなわち、メンバシップ関数の導入がそれであり、一つの言語表現が、物理量の多くの値に対応する可能性を表現した。このメンバシップ関数は、いわば言語の量的な定義であり、論理とは別個に考えられるべきものであることはいうまでもない。また、言語の定義は、本来各人の間で、共通でないと話もしにくい、個人間の差があるのが現実である。しかし、これは各人のメンバシップ関数として、必要に応じて同定する事が出来るものである。

本研究の出発点は、人の考え方には論理的な曖昧さが含まれることも考慮しなければならないという点である。複雑な精神活動の結果が、単純な論理積、論理和などで表現できるとは考えられない。たとえば、論理積だけで表わされている単純な規則に基づいて行動する場合でさえ、個人差、つまり論理積との微妙な差が見られるのが現実であろう。そのような曖昧な論理を表現するために、ここで

は論理積と論理和だけではなく、連続して変化する論理を用いる。すなわち論理を、条件の成立度合（メンバシップ値）に対する関数、すなわち論理関数として考え、この関数をパラメタにより変化させることを考える。ここでは論理関数を、値の大きいものから順に、恒等的 1、論理和、論理積、恒等的 0 と並べ、一つのパラメタにより、これらが連続的に接続されるように工夫した。

ファジイ論理が、言語の曖昧さを真理値の連続化で解決したのに対し、本法ではさらに論理のファジイ化（連続化）を導入したので、ファジイの自乗ないしは Fuzzy² と略称する。具体的には次のような項目を実現する手段を開発することを目的とする。

1. AND, OR を含み、それらの間を連続的に補間し、拡張する論理表現を得ること (Fuzzy² Logic)。

2. 人の思想に関する入力、出力のデータから、それにマッチする論理表現を得るような手段を開発する (Adaptation)。

3. Fuzzy² 論理ユニットの結合からなる回路を、データにマッチさせた場合、不要な論理ユニットの消去を行うプログラムを開発する (Simplification)。

以上の考え方は、適応ファジイと似かよっているが、ここではメンバシップ関数は、別の方法で同定されるべきものとして、一応、不変なものとして考えている。

[研究の内容、成果]

1. 連続論理の表現としては次のようなも

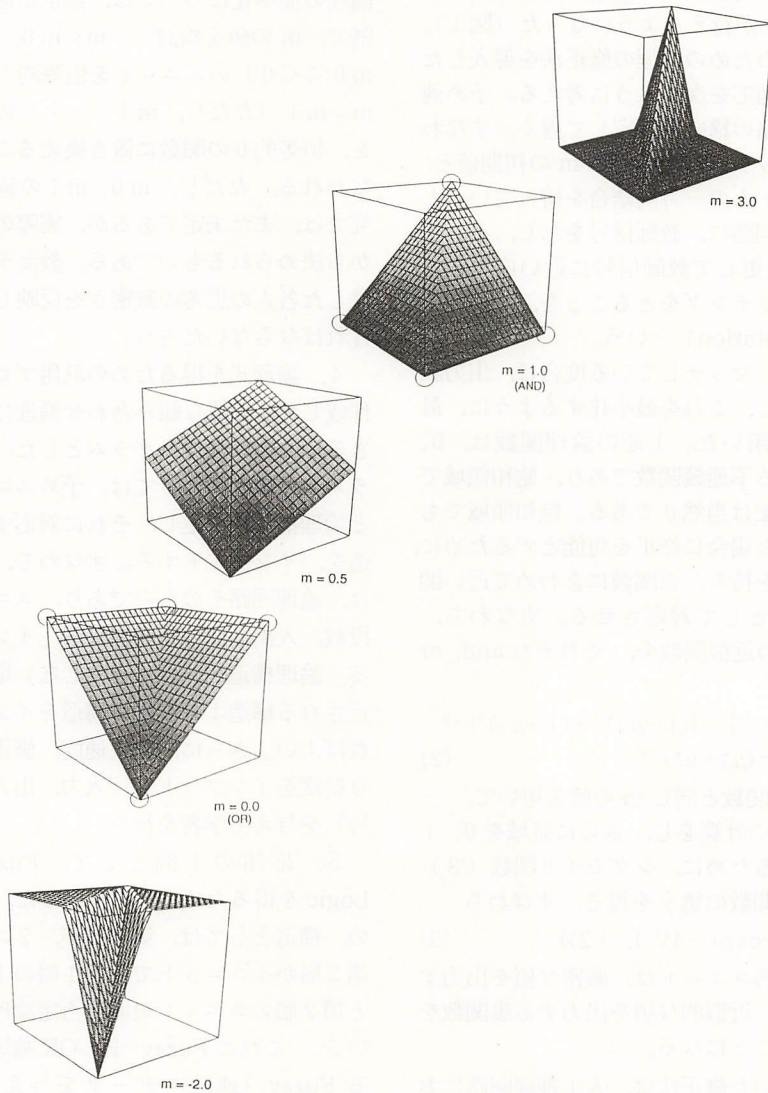


図1 ファジィ2ユニットの出力とパラメタ m の関係。底面が入力値で、縦軸が出力値。 $m=0, 1$ では、ファジィ理論のOR, ANDとなり、さらに図中の○印は、クリスプ論理を表わす。

のを提案した。すなわち、可変な論理ユニット V. L. (Variable Logic) を、正数 m を用いて

$$V. L. = m \cdot \text{AND} + (1-m) \cdot \text{OR} \quad (1)$$

ここで、AND, OR には、min, max 計算を用いた。これはガンマ論理を拡張して、ガ

ソマの変化範囲を拡大したものである。このことにより、論理表現の自動的簡単化 (Simplification) が行えるようになった (図1)。

2. 適応のための論理の修正法を導入した。ここでは、適応を次のように考える。予め適当な論理回路の構成を設定して置く。すなわち、各ユニットは、それぞれ m の初期値と、他のユニットとの一方向結合を持っているとする。この回路に、教師信号を示し、それぞれの m を変更して教師信号に近い応答を示すようにマッチングをとることを、ここでは適応 (Adaptation) という。

ここでは、マッチしている度合は、出力誤差の自乗とし、これを最小化するように、最急勾配法を用いた。上述の論理関数は、0, 1で飽和する不連続関数であり、飽和領域では関数の勾配は当然0である。飽和領域でも誤差があった場合に修正を可能とするために、そこで勾配を持ち、原関数にきわめて近い関数を裏関数として対応させる。すなわち、AND, OR の近似関数を、それぞれ and, or とすると、

$$\text{and}(\mu_A, \mu_B) = 1 - \{(1 - \mu_A)^n + (1 - \mu_B)^n\}^{1/n}$$

$$\text{or}(\mu_A, \mu_B) = (\mu_A^n + \mu_B^n)^{1/n} \quad (2)$$

とおき、原関数と同じ m の値を用いて、一旦式 (1) の計算をし、さらに値域を 0, 1 間に制限するために、シグモイド関数 (3) を用い、裏関数の値 y を得る。すなわち

$$y = \{1 + \exp(-4V.L. + 2)\}^{-1} \quad (3)$$

これにより各ユニットは、厳密な値を出力する原関数と、近似的な値を出力する裏関数を同時に持つことになる。

これを用いた修正法は、人工神経回路におけるバックプロパゲーション法と同じで、教師信号と出力との誤差と、各ユニットの m による、出力の偏微分とを用いて修正則を得る。この際、出力誤差は、原関数を用いて計算し、偏微分値は、裏関数を用いて計算する (図2)。

3. 論理式 (回路) の簡単化法を提案した
論理の簡単化については、修正が進行した段階で、 m の値を検討し、 $m < m_0$ (ただし、 $m_0 < 0$) のユニットを恒等的1の、また、 $m > m_1$ (ただし、 $m_1 > 1$) のユニットを、恒等的0の関数に置き換えることでおこなわれる。ただし、 m_0, m_1 の値は、本研究では、まだ未定であるが、実際の応用結果から決められるものである。教師データを提供した各人の思考の厳密さを反映して決めなければならないだろう。

4. 論理式を得るための汎用プログラムを作成した。複雑な組み合わせ論理にも対応できるよう柔軟なプログラムとした。本プログラムの使用に当たっては、予めユニットの数と論理構造を推定し、それに対応する結合構造を、インプットする。すなわち、結合構造は、論理回路そのものであり、ユニットの数、段数、入出力間の結合関係を、インプットする。論理構造が、はっきりしない場合は、推定される構造より複雑な構造をインプットすればよい。さらに、修正速度、修正の打ち切り精度をインプットし、入力、出力 (教師信号) を与えて学習を行う。

5. 応用の1例として、Fuzzy Crisp Logicを得るための学習を行った。この場合の、構造としては、第1層が、2ユニット、第2層が1ユニットで、第1層の1ユニットと第2層のユニットの間に否定論理を置いている。これにFuzzy Ex-OR 論理に相当するFuzzy (連続) データを与えて学習を行った。事前情報があれば、各ユニットに m の値として与えることも出来るが、ここでは全く情報が無いとして、全てのユニットで $m = 0.5$ とした。このような m の初期値では、如何なる組み合わせの入力値を与えても、この回路の出力はこうとうてきに0.5で、

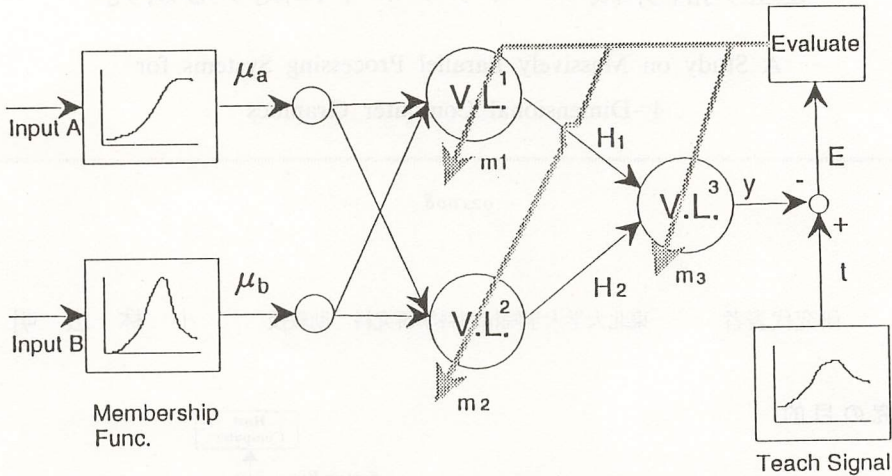


図2 ファジィ2論理回路の m 値の修正過程。各ユニットは、ファジィ2論理値を計算する関数とともに、修正速度を計算するために随伴する裏関数を持つ。

いわば無知の状態である。ランダムな組み合わせの入力とそれに対する教師信号による学習後は、第1層が、NAND, OR, 第2層がANDとなり通常のEx-OR回路となった。またこの学習は、教師信号に含まれる雑音の影響を受けることも判明した。

6. 応用の2として、職人芸の伝承というケースを想定した。ある倒立振子を制御する名人がいて、その名人は、実際は、角度と角速度の両変量のANDとORのちょうど中間($m = 0.5$)の論理で計算される操作量により制御を行っているが、弟子には、論理表現を教えずに、演技を通じてのみ指導するとする。弟子は自分で仮に $m = 0$ (OR)として論理計算して制御を試み、失敗した時点で教えを乞う。師はその時点での望ましい操作量を教え、弟子はこれを教師信号として、その時点での望ましい考え方を学習する。これを繰り返すうちに、制御の失敗もなくなり、名人の考え方を、両変量の論理関数として身につけたことが確認された。制御におけるサンプリ

ング間隔や修正速度に、学習が左右されたことはない。

7. 結論としては、Fuzzy²としての修正法則を考案し、汎用プログラムを開発し、学習効果を確認したので、一応所期の目的を達成したものと考えている。

[今後の研究の方向, 課題]

1. 論理としての否定, 肯定間の連続化の必要性和その方法について検討を行う。

2. スポーツの技術や、医学の診断などに関連して、人が正確な論理表現を述べられない場合に適用して、的確な論理表現を得ることを試みる。

3. 自己学習機能を導入して、人工知能、人工生命への発展を考える。

[成果の発表]

- 1) 適応可能な連続論理 Fuzzy²の開発, SICE 学術講演会, '92 (熊本)

4次元コンピュータグラフィックスのための 超並列計算機アーキテクチャに関する研究

A Study on Massively Parallel Processing Systems for 4-Dimensional Computer Graphics

921008

研究代表者 東北大学大学院情報科学研究科 助教授 小林 広 明

[研究の目的]

コンピュータグラフィックスは、良質なヒューマンインタフェースを提供するとして、様々な応用分野で取り入れられつつあるが、非常に高品質な画像による4次元コンピュータグラフィックスとしてのアニメーションの作成や視覚化シミュレーションを行うには、膨大な計算量を必要とする。本研究では、4次元コンピュータグラフィックスでの計算量に関する問題を、大量のプロセッサによる超並列処理により克服し、4次元コンピュータグラフィックスの応用分野を飛躍的に広めることを目的とする。

[研究の内容, 成果]

超並列画像生成システム

超並列画像生成システムの概要を図1に示す。本システムは、ホストコンピュータと多数のPE、フレームバッファコントローラ、フレームバッファ、ディスプレイから構成される。ホストコンピュータは初期データをPEにロードする。各PEはローカルメモリとプロセッサ、通信のためのネットワークインタフェースユニットからなる。フレーム

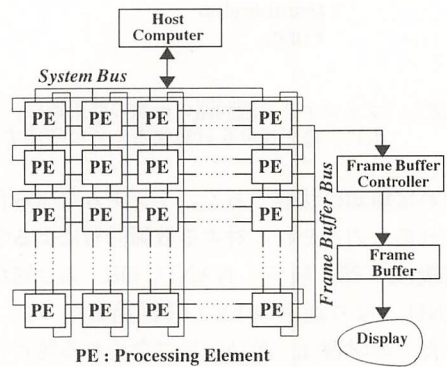


図1 超並列画像生成システム

バッファコントローラは各PEから送られてくる結果に従ってフレームバッファを更新する。

画像生成手順

画像生成は次の手順で行われる。

1) 初期設定段階

ホストコンピュータは、等分割された物体空間の情報をシステムバスを介して各PEに伝達する。すべての隣接部分空間を隣接プロセッサに割り当てるために各PEはトーラス状に結合されている。またこのように割り当てることによって、空間の一部で計算負荷が増大しても、これらの負荷を各PEに分散さ

せることができる。

2) ラジオシティ段階

まず、パッチをラジオシティの大きさに降順にソートし、大きなラジオシティ値を持つパッチを選び出す。

ソートの終了後、そのパッチを持つ PE からラジオシティの計算を始める。この計算には Hemi-cube 法を採用した。ラジオシティ伝播の計算においては、Hemi-cube の各ピクセルごとに並列化が可能である。ラジオシティが隣の空間に伝播する場合には、ラジオシティをラジオシティパケットとして隣接 PE へ転送する。すべての伝播が終了すると、再び未放射のラジオシティがソートされ、同様の計算が繰り返される。未放射のラジオシティ値がある値以下になった時点でこの段階は終了し、次の段階へ実行が移る。この段階の処理は視点独立なため、視点の変更による画像再生成の場合には、再度この段階の計算を行う必要はない。

3) レイトレーシング段階

ホストコンピュータは、ユーザにより指定された視点とスクリーンに基づき、視点から発せられた光線と交差する部分空間を求め、その空間が割り当てられた PE へ初期光線を送る。初期光線の発生は、画素の独立性に基づき、並列に行われる。光線パケットを受け取った各 PE は、光線と物体の交差判定を行い、交差した場合は輝度を計算し、フレームバッファコントローラに結果を送る。光線が交差しない場合には、光線方向の PE を求め、その PE へ光線パケットを送る。物体空間内で物体が光線と交差しなかった場合や、ユーザの指定する反射回数を超えると、光線パケットは消滅する。

フレームバッファコントローラに送られた輝度は、現在のフレームバッファの値に加算

される。最終的に、フレームバッファの内容が、生成されたイメージとしてディスプレイ上に表示される。

待ち行列モデルによる性能評価

本処理システムでは、光線の進行方向の部分空間を割り当てられた処理要素により光線に関する処理が行われる。従って、本システムは光線の伝播に基づいたデータ駆動制御モデルと捉えることができる。また、光線の伝播には方向性があるので、3次元プロセッサ空間内に非同期駆動のパイプラインが形成されることになる。本パイプラインのスループットは部分空間での平均処理時間の逆数で得られる。本理論解析では、非同期パイプラインのスループットを待ち行列モデルで解析し、本パイプラインの様々な特性を明らかにした。

[今後の研究の方向、課題]

本研究では、写実的画像の高速生成のための超並列処理システムの基本アーキテクチャを構築し、性能評価を待ち行列モデルにより検討した。今後の課題としては、より詳細なモデルのシミュレーションによる評価・検討などが挙げられる。

[成果の発表、論文等]

- 1) 山内, 磯田, 小林, 中村, “画像生成の並列化に関する検討”, 平成 5 年前期情報処理学会全国大会 論文集
- 2) H. Kobayashi and T. Nakamura, “A Massively Parallel Processing Approach to Fast Photo-Realistic Image Synthesis”, Proc. of CG International '93

重度障害児のメンタルリハビリテーションのための 図形表現システムの開発

A Study on Cognitive Rehabilitation of the Handicapped Children
by Computer Based Drawing System

921009

研究代表者	滋賀大学教育学部 助教授	近 藤 文 良
共同研究者	滋賀大学教育学部 教 授	藤 本 文 朗
	滋賀大学教育学部 教 授	窪 島 務
	日紅シンキング(株)	森 田 隆 尚

[研究の目的]

重度肢体不自由児は四肢の可動域制限や手指の巧緻性の制限を受けており、書字身振り、音声表出などによる意思表出が不自由である。我々はこれまで重度肢体不自由者を対象として、図形表現をコンピュータ支援によって可能にさせ、自らの外界への動作的かかわりと外界の変化の対応関係を獲得することにより、心的表象の発達（メンタルリハビリテーション）を促すシステムの予備の開発と実践、評価を行ってきた。「ドリームブロック」とよばれるこのシステムによって、重度障害者の予期的表象、プラン形成と認知的能力の回復に顕著な成績をもたらすことがわかった。しかし、これまでの「ドリームブロック」では、随意動作性の極度に制約された被験児や認知機能の発達のおくれの著明な被験児ではセンシングの失敗や画面構成の意味把握などが不可能とみられる行動が多く、「ドリームブロック」に橋渡しするゲームの開発が必要であった。

今回の研究では、(1) 著明な筋緊張低下、

筋力低下がみられる被験児、(2) 重度アテトーゼ型四肢麻痺疾患を有した被験児を対象に極度の動作性制限をうけた障害児にコンピュータを仲立ちにしたコミュニケーションを実現するための入力変換器およびソフト開発とその評価を目的とした。

[研究の内容、成果]

(1) 乳児脊髄性進行性筋萎縮症 (Werdnig-Hoffmann 病) 事例への適用。

KY 児 (1989 年 7 月 18 日生まれ)。岐阜市在住。国立療養所長良病院から「乳児脊髄性進行性筋萎縮症」と診断される。早期から著明な筋緊張低下、筋力低下がみられ、四肢の近位部の動きがほとんどみられず、人工呼吸器をつけ、在宅生活になる。意志表示をまばたきの速さで示すなどの応答的反応はあるが、コミュニケーション手段が制限されていることや生活経験の狭さがあり、自分から伝えたいという意欲と手段をどのように培っていくかが課題であった。

本研究では自発的反応意欲を高めるため、



図1 市販玩具のスイッチ入切をするKY児

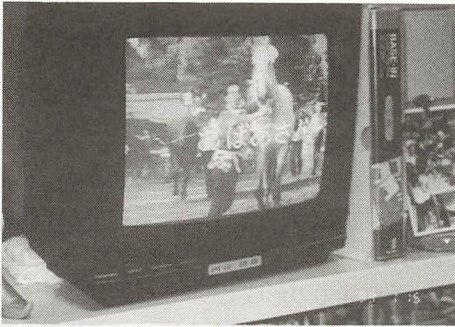


図2 テロップと画像の異同判断

第1に操作動機を高める玩具や周辺の家電製品などを被験児の軽度の身体接触によって2値入力可能な高抵抗型タッチセンサーを用意した。これにより乾電池で作動する市販の玩具や、照明器具、ビデオ、テレビなど一般家電製品を介助なしでコントロールできる状態を作った(図1)。

つぎに簡単な文字当てゲームを作った(図2)。これはMSXパソコンに静止画像を提示してテロップとして文字が右側から流れてくるとき文字と画像との異同判断をキータッチによって応答するものである。

KY児にこの環境を提供してから2カ月しか経過していないので、反応頻度分析と応答タイミングの適切性など定量的な分析は不可能であるが、介護者の記録によると、テロッ

プで好きな語が出現したときに笑顔を見せるとか、照明器具の点灯、消灯の自発的及び応答的動作が確実になったという。従来の応答活動は受身的であることがほとんどであったが、自発的言語や要求、伝達の意欲が増し、自らの行為を通して感覚運動的対応関係を知る機会を与えるものとなったと考えられる。本児の場合、早期から著明な筋緊張低下、筋力低下、関節拘縮がみられ、呼吸感染症への対応などから常時在宅のまま、人口呼吸器を装着したままという障害重度の極めて高い事例であることは特記すべきであろう。

(2) アテトーゼ型脳性まひ児の適用事例

被験児 MO(11歳男児)。仮死分娩の末脳性マヒと診断される。大津市在住。ボバース法、ボイタ法によりリハ訓練をうける。重度言語障害をともなう四肢マヒ。我々は発達診断と動作性の障害から本被験児の場合「ドリームブロック」の適用は困難であると判断した。そこで以下のゲームの製作と適用により認知的リハビリテーションを図ることにした。

〈1〉概念学習 「ドリームブロック」では具象的なキャラクターを選択して画面上に移動させる機能の他、幾何学的図形や閉曲線、開

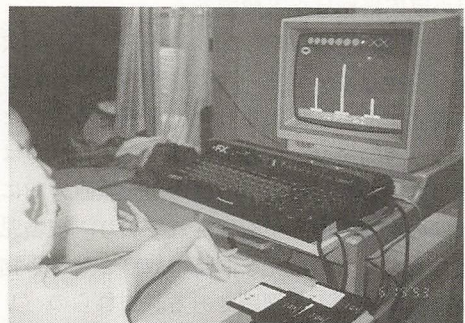


図3 リングゲームに取り組むMO児。左手でセンサーにタッチする。

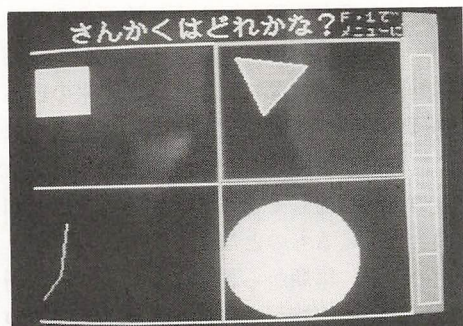


図4 形概念学習。カーソルがオートスキャンする。

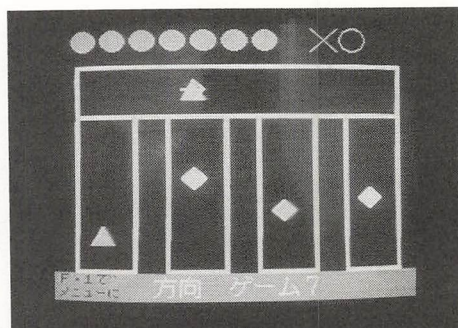


図5 方向遊びによる2次元交接概念の形成。

曲線、および色を組み合わせ、健常者の「ブロックあそび」のように多様な図形を表現する機能をもっている。この機能を利用して多彩な「図形描画」を行うためには諸概念の形成が要請される。我々は形、色、数、方向などの諸次元の概念学習を試みた。「かたちあそび1」では4種類の幾何図形の名称を学習させるためカーソルのオートスキャンによって形の選択を(図4)、「かたちあそび2」では任意の空間位置と色彩をもった幾何図形が出現した時に形の選択をするゲームを用意した。「かずあそび」では色、形にとらわれずに基数概念の形成を促すゲームを、また「いろあそび1」ではオートスキャン方式による色の選択をもとめるゲームをつくった。被験児の反応指標は正答数である。

〈2〉2次元交接概念の形成 2つ以上の次元が交接しカテゴリー間の論理的かけあわせが成立することによる概念を形成する遊びとして「方向遊び」を8種類作った。これらは水平方向の次元に1つの概念が、垂直方向には他の次元の概念が配列されており、被験児はこれら2つの次元を同時に成立させる事物を選択することが課題である。これらのバリエーションにはカーソルが固定するか移動するか、選択ターゲットが垂直方向か水平方向

か、カーソル移動がトップダウンかボトムアップかなどの組み合わせがある。

図5には色および形で一致するターゲットを選択する課題を行う場面である。「赤くて三角」の図形が移動する場面で下のターゲットの上に位置したときタッチすることが課題である。

〈3〉予測能力の形成 「ドリームブロック」では画面のメニュー上をカーソルが移動しながら該当するボックス上に位置したときに応答することが要求される。この操作を円滑に進めるためには被験者の適切な予測機能を形成する必要がある。我々は「リングゲーム」3種類、「UFOゲーム」5種類をつくり、ターゲットの位置(被験児のキーポジションとの距離)、ターゲットの移動速度、ターゲットの大きさ、利用可能な視野の大きさをパラメータとしたゲームをつくり動作的予測能力の形成を計った。

図6は「UFOゲーム」の1つであり、画面左から様々な物体(ターゲット)が移動してくるとき、右下のロケット(すなわち運動予期が一番しやすい)のクリックによって撃ち落とすゲームである。現在上記のパラメータとの関連でターゲット補足までの反応時間、反応の正答率に関したデータの収集を行って

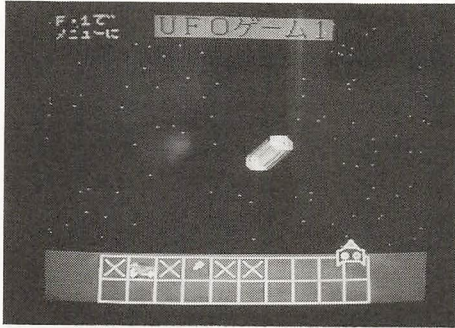


図6 予測能力形成のためのUFOゲーム

いる。

〈4〉空間構成「ドリームブロック」のような図形表現ツールを使用するとき必要とされるのは空間構合力である。実際に自らの動作表出の以前に表象のレベルで「どうすればどうなる」関係を把握することが認識の発達では重要な点となる。「ドリームブロック」を実際に使用する前に以下のゲームで習熟レベルを高めることが重要と考えた。我々が作ったのは図7にみられるようなパズルゲームである。

このゲームはスイカや椅子、家など12種類の図形パターンを 2×2 、 3×3 、 4×4 のピースに分解しこれらをジグソーパズルのように組み立てるものである。その際、記憶表象を手がかりに組み立てなければならない場合（モデルのない場合）とモデルが組み立ての際に存在している場合の2種類、および予め選んだピースをターゲット画面に置きながら移動させこの場所と思ったところでクリックさせる方法と、健常者がするように任意のピースを選択してから任意の位置を選択する方法の2種類を作成した。これらは空間構成に関する認知方略の発達に対応させることを考えたからである。パズルゲームではモデルの有無、ピース選択の自発性、分解ピースの数との関係でデータ収集が計られている。

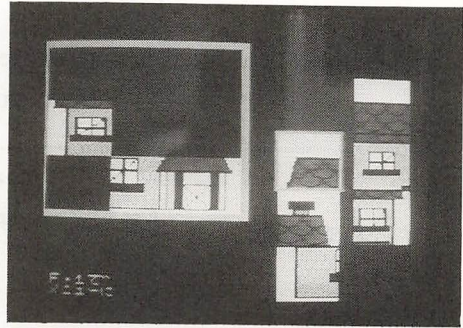


図7 空間構成のためのパズルゲーム

[今後の研究の方向，課題]

これまで述べられたように、現在データの集積中である。我々の作った図形表現システムに至るまでの中間段階としてのソフトおよびアダプタがどのような効果をもたらすかは今後の分析に依存する。また上記の行動学的データと共に、生体電気現象の一つである事象関連電位の変動を手がかりに被験児の潜在的な注意配分機能や習熟関数としての生体への負荷を捉えようとしている。同時に正答であったか否かという2値的な反応分析だけではなく、被験児のアナログ的な反応性を微弱な圧力変化として捉え、反応のタイミング、適切性、確実性の変化を定量的に分析するための準備を行っている。

[成果の発表，論文等]

- 1) 近藤文良 運動機能障害と図形表現システム、障害者問題研究, 1991, 65, 31-39.
- 2) 近藤文良・北川明美 両手共働の構造—運動連鎖モデルの検討, 滋賀大学教育学部紀要, 1992, 41.
- 3) 近藤文良 障害児のパソコン利用に関する研究 (3) —アトーゼ型脳性麻痺児へのソフトウェア環境の構築, 滋賀大学教育学部紀要, 1993, 42 (準備中).

超高速通信マルチポートメモリ構造・高並列処理 コンピュータの試作研究

Massively Parallel Computer Based on High-speed Communication by
Multi-port Memory

921012

研究代表者 北陸先端科学技術大学院大学 教授 堀 口 進
情 報 科 学 研 究 科

[研究の目的]

VLSI技術のめざましい発展により、多数のプロセッサからなるマルチプロセッサシステムの構築が可能になり、研究が盛んに行われている。プロセッサ間の通信速度は、マルチプロセッサの性能に最も影響を与え、その研究の重要性が指摘されている。本研究の目的は、多数のプロセッサ間の超高速データ通信が可能なマルチプロセッサシステムを構築することである。

現在まで、様々なマルチプロセッサシステムが研究されてきたが、多数のプロセッサからなる超並列システムは、従来のクロスバネットワークや多段ネットワークによるスイッチより実現することは困難である。本研究では、マルチポートメモリを用いた超高速通信を目的とした並列システムを試作構築し、超並列システムアーキテクチャについて研究を行った。その結果、プロセッサ間通信にマルチポートメモリを用いればプロセッサ間の様々なデータ転送方式を用いることが出来、特色ある並列処理システムとなることを明らかにした。

[研究の内容・成果]

近年、先端科学技術分野においてコンピュータの重要性は非常に高く、より一層のコンピュータパワーが必要になってきた。今後、スーパーコンピュータの分野ではテラ・フロップス時代に向けて超高速コンピュータ

としての超並列マルチプロセッサシステムおよび大規模シストリックアレイの実現が切に期待されている。更には、学習機能をもった大規模ニューロ・コンピュータの実現の可能性もある。これらの新しい時代のコンピュータの実現に向けて、解決しなければならない問題は多い。シストリックアレイは、プロセッサ間データ移動の局所性、プロセッサ配置の一様性により大規模集積回路に適し、超並列処理システムとして注目されているが、各プロセッサユニットの高機能化、高速データ転送による超高速並列処理を達成するために超高速通信を目指した並列システムの開発研究が不可欠である。マルチポートメモリをプロセッサ間通信に用いればこれら問題を解決する糸口を与えることができる。

1. ハードウェア構成

図1にデュアルポートメモリを用いた試作ハイパーキューブ型マルチプロセッサシステムの構成概念図を示す。各プロセッサは、MPU(Micro Processing Unit)、ローカルメモリ、デュアルポートメモリ、データ転送用ハードウェア、共通バスからなる。ハイパーキューブネットワークにはデータ転送用のスイッチがあり、MPUをネットワークから切り放す役割をする。データ転送にはデュアルポートメモリと独立したデータ転送用バスが使用され、MPUは通信リンクが確立されればデータの始まりとブロック数のみ指定すれば自動的にデータ転送が行われる。マル

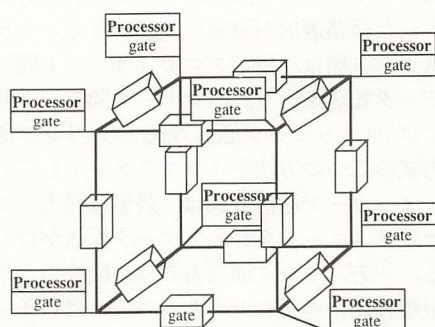


図1 ハイパーキューブ型マルチプロセッサシステムの構成

チプロセッサのアーキテクチャはハイパーキューブ結合形式のネットワーク構成でMIMD型の処理を行う。マルチプロセッサシステムを構成する各ユニットはMPUを有し、それぞれにメモリやI/Oを備える独立したプロセッサシステムである。但し、2次記憶装置やユーザーインターフェイスは用意せず、ホストシステムのサービスを利用する。

試作構築したマルチポートメモリ型並列システムは、4-Cubeのプロセッサ通信アーキテクチャを試験的に検証するために開発したシステムである。1台のプロセッサはMPUとしてMC 68000、FPUとしてMC 68882を用いた。各プロセッサは512 KBのローカルメモリ、通信用マルチポートメモリである128 KBのデュアルポートメモリを有している。VMEバスには2 MBの共有メモリを試作システム上に実現した。ホストコンピュータはMC 68030とMC 68882からなるUnixワークステーションMFAS-350を用い、VMEバスに接続されている。

2. プロセッサ間通信

プロセッサ間通信は、マルチポートメモリを用いて実現される。データ転送は、MPUのバスとは独立したバス（以下リンクと記述）を用いてブロック単位で行われ、高速

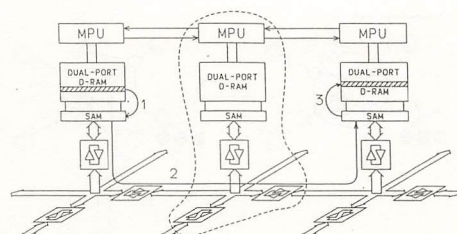


図2 プロセッサ間データ転送ハードウェアの構成

データ転送を実現する。転送はMPUの監視を必要とせずMPUバスも使用しないので、MPUの利用効率を上げることができる。リンクは基本的にn次元ハイパーキューブ結合を形成するが、隣接するユニット間の通信だけでなく任意のユニット間の通信も直接行える。この場合、転送経路上のユニットはリンクを使用することができないが、それ以外の制限は受けない。従って、プロセッサ間のデータ転送は1対1のデータ転送の他に、ブロードキャスト通信、1対多のデータ通信が可能である。マルチポートメモリの1つであるデュアルポートメモリを用いたプロセッサ間データ転送ハードウェアの構成概念を図2に示す。

プロセッサ間のデータ転送は通信メモリを介して行われる。データ転送は通信メモリブロックごとに行われ、データ転送の対象となる通信メモリブロックはPI/Tの平行ポートで指定される。通信メモリ制御は通信メモリの入出力を指定するのに用い読み出すと出力に、書き込むと入力に設定される。PI/Tは通信回路の制御とタイマ割り込みを実現する。

データ転送に関するI/Oは、TTLで構成されている。この領域は書き込み時と読み出し時の機能が異なる。よって、書き込まれた内容は読み出すことはできない。そこで通常は出力したデータをローカルメモリに保存し

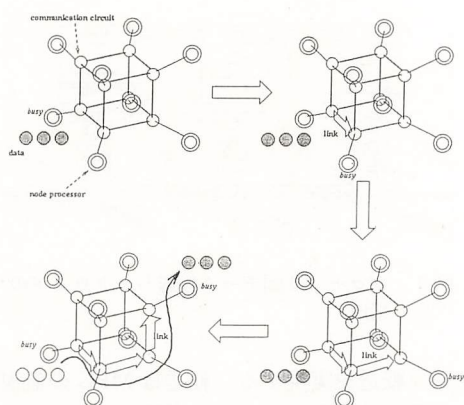


図3 ハイパーキューブ結合のリンク通信方式

ておく必要がある。それぞれの機能は3つの制御信号に割り付けられている。

プロセッサ間通信はマルチポートメモリの1つであるデュアルポート DRAM のシリアル入出力機能を用いて実現される。データ転送は MPU のバスとは独立したリンクを用いて 512 バイトのブロック単位で行われる。転送は MPU の監視を必要とせず、MPU バスも使用しないので転送終了時発生する割り込みを受けつけるまでの間 MPU は処理を継続することができる。リンクは基本的に 4 次元ハイパーキューブ結合であるが、隣接するユニット間の通信だけでなく任意のユニット間の通信も直接行える。この場合、転送経路上のユニットはリンクを使用することができないが、それ以外の制限は受けない。リンクと同時に補助信号を使用する場合にはその制御および中継を行う必要があるが、補助信号の変化時に割り込みを発生させることができるので、これを利用すれば効率の低下を押さえることができる。さらに 1 つの送信ユニットに対し複数の受信ユニットの接続 (1 対多通信) を行うこともできる。

ハイパーキューブ結合の最短経路選択は、簡単なビット制御により実現できる。実用的

にはノードやリンク故障、トラヒックを考慮に入れた経路選択が重要な問題になる。トランスポート層は、指定プロセッサノード間でのデータ転送を行う。プロセッサ間データ転送には (1) メッセージ通信方式、(2) リンク通信方式の二つの方法をインプリメントしている。メッセージ通信方式は、最短経路上のプロセッサユニットを介してデータ転送が行われる。一方、リンク通信方式は、図3のように最短経路上のプロセッサユニットはスイッチングを行うだけで、プロセッサ間のデータ通信はリング確立後に行う。

各プロセッサユニットは VME BUS のバスマスタとしての機能を持ち、VME BUS 上に接続されたメモリボードを介してホストシステムからのデータ転送、制御管理、共有 I/O のアクセスを行うことができる。試作機を用いてプロセッサ間のデータ転送の動作性能評価を行い、通信速度としてメモリアクセスと同程度の 4 MB/sec を得た。

3. システムソフトウェア

システムソフトウェアは最位下層と起動プログラムを除き、すべて C 言語で記述される。したがって下位層の関数ライブラリをとりこむ形で上位層が形成されることになる。システムソフトウェアは BIOS, BCF, Kernel の 3 つに分けて考えられる。BIOS は、基本入出力システムであり、ハードウェアを直接操作する関数の集まりである。5 つのプロセッサ間通信の階層構造では物理層、データリンク層に相当する。BCF (Basic Communication Function) は基本通信関数であり、プロセッサユニット間通信をサポートする関数の集まりである。OS の核である Kernel は、ハイパーキューブシステムの各ユニットのプログラムから構成される。プロセス制御、プロセス間通信などの各種システムコールを提供する。

ハイパーキューブ OS では、OS が保持す

べき情報（例えば、プロセステーブル、一意の名前付けに必要なテーブルなど）をどのように管理するかが問題となる。この置理法は主に、特定の役割を担うノードを固定しておく静的管理、全ノードに各テーブルを持たせ、通信によってたえずそのテーブル内容を交換する動的管理の2つに分類される。これら方式や他の方式も通信オーバーヘッドをいかに減らすかが焦点となる。

4. 並列アルゴリズム

超高速通信を目指したマルチポートメモリを用いたマルチプロセッサシステムの試作と並行して並列アルゴリズムについて研究も行った。高速フーリエ変換 FFT は、計算機トモグラフィ、音声認識、画像処理などの様々な分野で頻繁に用いられている。計算機の応用分野が広がるとともに、処理されるデータの数も、益々膨大になってきた。その結果、高速フーリエ変換といえども1つのプロセッサでの処理では高速計算の限界が見えてきた。そこで、FFT に並列計算を導入した各種の並列 FFT アルゴリズムが提案されてきた。

FFT の並列処理は、プロセッサがネットワークで結合されているため、変換の対象となるデータは各プロセッサに分割され、変換の際にデータ交換を行う。試作ハイパーキューブマルチプロセッサシステムで、プロセッサ間通信にデュアルポートメモリを用いた場合の FFT 処理性能を図4に示す。プロセッサ数による処理性能の不連続性は、プロ

セッサ間データ転送が512バイトのブロックで行われるためである。処理時間はプロセッサ数により大幅に改善されることが分かる。共有メモリ方式に関しても同様の性能評価を行ったが、プロセッサ数を増加させてもデータ数が多い場合、処理速度の向上が得られない。

[今後の研究の方向・課題]

マルチポートメモリを用いた高速データ転送可能なハイパーキューブ・マルチプロセッサシステムの試作機について研究を行ってきた。理想的なマルチポートメモリは実現されていないため、デュアルポートメモリを用いた超高速通信を目指した並列プロセッサシステムを構築した。現在、ネットワークと共有メモリを含めた並列システムソフトウェアの設計を行っている。システムソフトウェアのインプリメント終了後、マルチプロセッサシステムの性能評価を行いマルチポートメモリ方式の問題点などの検討が今後の課題である。また、試作機の性能評価により実用規模の超高速通信マルチプロセッサシステムの諸問題について研究を行う。

[成果の発表、論文等]

- 1) Tanno, Takeda, Horiguchi, "Parallel FFT Algorithms on an Eight-Neighbor Processor Array", Transputer/Occam JAPAN 4, pp.85-101 (1992. 6)
- 2) 井口, 堀口, "デュアルポートメモリを用いたハイパーキューブ・マルチプロセッサシステム" 電気関係北陸支部連合大会, pp. 353-354, B-186 (1992. 10)
- 3) Tanno, Takeda, Horiguchi, "Parallel 2D FFT Algorithms on an Eight-Neighbor Processor Array", Proc. of IEEE ICCS/ISI TA pp.621-627 (1992. 10)
- 4) 福田, 堀口, "巡回型ハイパーキューブ結合のWSI構成方式" 電子情報通信学会論文誌, Vol. J76-D-1, pp.88-98 (1993. 2)

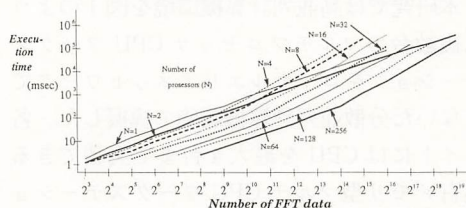


図4 デュアルポートメモリを用いた場合のFFT処理性能

高並列計算機に於ける単一仮想空間上の 並列オブジェクト指向プログラミング言語の研究

Studies on the Parallel Object-Oriented Programming Language
with Shared Virtual Space for Massively Parallel Computers

921013

研究代表者

九州大学工学部 教授

牧之内 顕 文

共同研究者

九州大学工学部 助手

天 野 浩 文

〔研究の目的〕

計算機の世界向上は目覚ましいものがあるが、もはや単一CPUの世界向上には限界が見え始めた。しかも、より高速な処理を必要とする応用は増えている。このような応用側からの要求に応えるために、多数のCPUを実装した並列計算機上での並列処理による高速化が期待されている。このような並列計算機には、数十個のCPUからなるメモリ共有型と数百から数千個のCPUを持つ非共有型(Shared-nothing型)の二種類がある。ところが実際に、それらシステムを使って並列処理プログラムを開発しようとなると、プログラムは次のような大きな困難に直面する。

- メモリ共有型と非共有型では番地方式が異なるため、共通のプログラミングが出来ない。
- 並列処理アルゴリズムを自然に表現できる高水準プログラミング言語がない。
- 並列プログラムのデバッグが極めて難しい。メモリ共有型並列計算機では番地空間が単一であり、従来の単一CPU計算機システムと

類似のプログラミングが可能である。しかし、非共有型では、プログラムは各ノードプロセッサ毎の番地空間を意識してプログラミングせざるを得ない。これは、従来の単一CPU計算機では無かったことである。

本研究では、上記難点を解決すべく、(1)各ノードの仮想空間を互いに共有できるような機構を非共有型並列計算機に導入し、プログラムが単一仮想空間上でプログラミングすることを可能にする基本ソフトウェアを開発する。(2)上記機能を生かした並列オブジェクト指向プログラミング言語の設計を行う。

〔研究の内容、成果〕

本研究では高並列計算機環境を図1のように複数台のマルチプロセッサCPUワークステーションをローカルエリアネットワークでつないだ分散並列計算機環境で模擬した。各サイトにはCPUを最大4台まで実装できる共有メモリ型マルチCPUワークステーションLUNA 88Kが置かれている。LUNA 88KはMachオペレーティングシステム下で

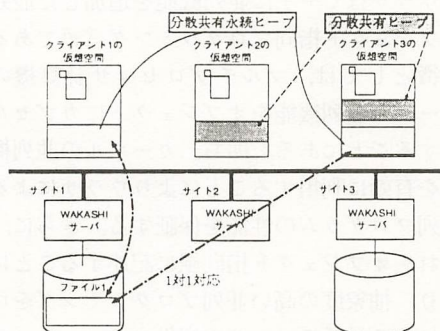


図1 分散並列計算環境

動いている。

この環境下で、各サイトの応用プログラムが各々の仮想空間（の一部）を共有することを可能とするための分散共有仮想空間（分散共同ヒープ）をソフトウェア的に実現するサブシステム『ワカシ』を開発した。このワカシでは、任意のファイルを仮想メモリにマップし、それを複数のサイトの応用プログラムが共有することを可能にする分散共有永続ヒープの機構も実現した。

一方、このワカシの機構を使って、並列プログラミングを容易に行える分散並列プログラミング言語『ワラサ』を設計した。本言語の特徴はオブジェクトタイプとしてC++のそれに加え新しい自律オブジェクト、排除オブジェクト、条件同期オブジェクトタイプを導入したことである。また、分散並列（非共有型並列）とメモリ共有型並列との区別を隠す同期機構を導入した。

以下ワカシとワラサについて概略を述べる。

ワカシ：

分散共有（仮想）メモリは、基本的に二種類のページングにより実現される。一つは、各プロセッサにローカルな実メモリと二次記憶上のページング領域間のページングであり、これにより各プロセッサにおける仮想メモリ

を実現する。もう一つは、各プロセッサの実メモリ間のページングで、これによりメモリのコヒーレンスを保持する。この分散共有メモリにおける二次記憶上のページング領域を、データベースファイルに対応させることによって、分散共有永続ヒープサーバワカシを実現した。

ワカシの分散共有永続ヒープでも、分散共有メモリと同じように二種類のページングが必要である。一つはプロセッサのローカル実メモリと二次記憶上のデータベースファイル間のページング（即ち、仮想メモリ方式）であり、これによって永続ヒープを実現する。もう一つは各プロセッサの実メモリ間のページング（即ち、分散共同メモリ方式）であり、各永続ヒープのメモリのコヒーレンスを保持する。

ワカシサーバは Mach オペレーティングシステム上で実現した。Mach オペレーティングシステムでは、ユーザレベルで仮想メモリ管理を行うことができる。ユーザレベルの仮想メモリ管理プログラム（外部ページャと呼ぶ）は、クライアントプログラムが写像した仮想メモリを、メモリオブジェクトとして管理するサーバとなる。ここでメモリオブジェクトとは、実メモリのページと二次記憶上のページとを対応づけ、両者へのアクセス機構を概念化し、仮想メモリを一般化したメカニズムのことである。

ワカシサーバは外部ページャとして実現される。ワカシサーバでは一つの分散共有永続ヒープを、永続ヒープオブジェクトと分散共有メモリオブジェクトという二つのメモリオブジェクトとして捉える。それぞれのメモリオブジェクトは二次記憶上のファイルと実メモリとの間、及び各クライアントの実メモリ間のページングを行い、データの永続性と一

貫性を保持する。ユーザはワカシサーバが提供したインタフェースを利用してこれらのメモリオブジェクトを動的に生成し、それらを各々の仮想空間にマップすることによって分散共有永続ヒープを得ることができる。

ここで、永続ヒープオブジェクトは分散共有メモリオブジェクトからのページリクエストに応じて、ページ単位でのファイル入力/出力を行う。永続ヒープオブジェクトは、ローカルファイルだけでなく、遠隔ファイルも NFS によりアクセスできる。

分散共有メモリオブジェクトは、サーバ方式（移動方式）の分散型アルゴリズムを実現している。各サーバの分散共有メモリオブジェクト同士は、全く同じアルゴリズムにより共同的にページ単位で各実メモリ間のメモリコヒーレンスを保持する。この方式では全てのサイトにサーバを置くことになるため、分散共有メモリのアクセスは各サイトに分散させることが可能となる。なお、システム全体としては、いわゆるシングラライター/マルチリーダー方式により分散共有永続ヒープへのアクセスを管理する。各分散共有メモリオブジェクトは、メモリオブジェクト内の各ページを、読み状態、書き状態、読み待ち状態、及び書き待ち状態の四つの状態に分け、そのページ状態を転換することにより、メモリコヒーレンスを保持する。ページ状態の転換は、クライアントがそのページを操作する時に、Mach カーネルからのページリクエストに依存して行われる。また、各サーバはローカルサイトのメモリオブジェクトのみを管理し、リモートサイトのメモリオブジェクトは、そのサイトのサーバが要求を受けて管理することになるので、サーバのボトルネックの軽減が期待できる。

ワラサ：

ワラサは C++ に並列機能を追加した並列オブジェクト指向プログラミング言語である。特徴としては、マルチプロセッサ計算機のカーネル並列機能をオブジェクトにカプセル化することにある。即ち、カーネルの並列機能を有効に利用することによりワラサによる並列プログラムの性能を保証する。さらに、それをオブジェクト指向風に記述することにより、抽象度の高い並列プログラミングを可能にする言語をユーザに提供する。

C++ に並列機能を追加するため、ワラサでは、Concurrent Pascal に C++ 流のオブジェクト指向パラダイムを付加するのと同様な考え方で、基本的な並列機能を分担するオブジェクトを提供している。それは自律オブジェクト (Autonomous Objects)、排除オブジェクト (Exclusive Objects) 及び条件同期オブジェクト (Synchronous Object) である。

自律オブジェクトは自律的オブジェクト (Active Objects) として、マルチスレッド (軽いプロセス環境) で並列に実行される。自律オブジェクトは二つの状態 (実行状態と待ち状態) があり、その状態は条件同期オブジェクトの操作によって変更される。排除オブジェクトは自律オブジェクト間の共有データをカプセル化したものであり、データの一貫性を保持するため、複数の自律オブジェクトから要求がなされる場合、一度に一つのメッセージしか受け取らない機能を提供している。条件同期オブジェクトは Mach OS が提供する同期プリミティブをカプセル化する。複数の自律オブジェクトがあれば、条件同期オブジェクトを通じて、同期をとりながら相互に協力して実行する。

このような自律オブジェクト群を複数台のマルチプロセッサ計算機がつながった分散環

境下で、容易に並列プログラムを書くことを可能とするため、ワラサでは、分散共有永続ヒープサーバ『ワカシ』を利用することによって、密結合 (Tightly-coupled) 環境と疎結合 (Loosely-coupled) 環境での同期のとり方を統合したオブジェクト指向同期機構を提供している。この同期機構はインタプロセッサ上での同期モデル (Data Sharing Model) と、カーネル同期プリミティブとをオブジェクト指向パラダイムで結合して実現した。

この同期機構によって、ワラサは並列・分散実行環境の全組み合わせ (Many-to-Many, Many-to-One and One-to-One) に対して、2種類の同期機能 (Broadcast-style and Signal-style) を提供している。また、単一サイトマルチプロセッサ計算機上での同期機能を提供できるばかりでなく、複数台のマルチプロセッサがつながる分散環境での同期機能も併せて提供する。しかも、自律オブジェクト群は密結合と疎結合環境での同期を区別せず、ただローカル条件同期オブジェクトを通じて、リモート自律オブジェクトとも簡単に同期をとれる。この機能によって、複数の自律オブジェクトは多サイトマルチプロセッサ計算機上で動いているがあたかも単一サイト上で動いているように見せることが可能である。

[今後の研究の方向, 課題]

上記ソフトウェアは分散環境上に実装されている。今後これを真の高並列計算機上に実装し評価することが第一の課題である。次に、ワラサとオブジェクト指向永続プログラミング言語イナダ [3] と結合し、それを高並列計算機上に実装することが必要である。

[成果の発表, 論文等]

- 1) Guangyi Bai and Akifumi Makinouchi, "Implementation and Evaluation of a New Approach to Storage Management for Persistent Data -Towards Virtual-Memory Databases", Proc. of the Second Far-East Workshop on Future Database Systems, pp. 211 - 220, Kyoto, Japan, April, 1992.
- 2) Yun Jiang and Akifumi Makinouchi, "WARASA: An Enhanced C++ for Concurrent Programming on Shared Memory Multiprocessor Computers", Proc. of the IEEE Conf. on Computer Software and Applications Conference, pp. 257 - 262, Chicago, US, Sept. 1992.
- 3) Masayoshi Aritsugi and Hirofumi Amano, "Views in an Object-Oriented Persistent Programming Language", Proc. of the International Symposium on Next Generation Database Systems and Their Applications, Fukuoka, Japan, Sept. 1993. (to appear)
- 4) 白光一, 天野浩文, 牧之内顕文, "メディアデータベースのためのストレージシステム WAKASHI/C", 電気情報通信学会論文誌, 1993. (投稿中)
- 5) Guangyi Bai, Masahiko Koyanagi, Hirofumi Amano and Akifumi Makinouchi, "Extending Distributed Shared Virtual Memory Approach to Support Storage Management for New Generation Databases", The Fourth International Conference on Extending Database Technology, Cambridge, UK, Mar. 1994. (投稿中)
- 6) 江 允, 牧之内顕文, "WARASA: 軽いプロセス上での並列オブジェクト指向プログラミング言語", 情報処理学会論文誌, 1993. (投稿中)
- 7) Yun Jiang and Akifumi Makinouchi, "A Transparent Object-Oriented Synchronization Mechanism for Parallel and Distributed Programming", 1993 International Conference on Parallel and Distributed Systems, Taipei, ROC, Dec. 1993. (投稿中)

適応デバイスと自己組織化機能に関する研究

Research on Adaptive Devices and Self-organization Function

921018

研究代表者

豊橋技術科学大学 電気・電子工学系

米 津 宏 雄

[研究の目的]

ニューロコンピューティングは、認識・判断といった人間の脳の高次機能や各種制御機器の環境への適応機能等に高い能力を将来発揮することが期待されている。これらの機能をハードで実現するためには学習による自己組織化機能が必須である。そこでは、学習信号によって動作状態を変える適応デバイスが必要である。本研究では汎用性の高い適応デバイスを実現するための基礎検討と、これを用いたネットワークの自己組織化機能を明らかにすることを目的とした。

[研究の内容、成果]

1. 適応デバイス

将来のニューロ・チップの構成については、1チップ型と多層チップ型が考えられる。1チップ型では学習信号に電気信号を用いれば既存のLSI技術で実現できる。ただし、ニューロン数が膨大でないネットワークに限られる。多層チップ型では、空間並列光配線を用いれば、高集積化時の膨大な数の配線に対処できる。したがって、光信号の学習信号も用いることができる。初期感覚機能の実現には、眼の網膜のように空間並列光信号が直接入る例が多いから、光信号で動作する適応デバイスも必要である。このため、電気適応デバイスと光適応デバイスの二種類について検討した。いずれの適応デバイスについてもニューラルネットワークの自己組織化ができることが明らかになった。

1.1 シナプス結合回路

これまでに本研究代表者等はシナプス結合の機能を有する回路として図1の基本回路を開発してきた。j番目のニューロンからの光

出力 V_j を受けて発生した光電流 I_{phj} 、または電圧出力 V_j を受けて流れるドレイン電流は適応デバイスT1とT2に分流する。適応デバイスT1、T2はフローティングゲートを有するMOSトランジスタであり、そこを流れる電流 I_1 、 I_2 はフローティングゲート内の電荷量 Q_{fg1} 、 Q_{fg2} によって定まる。

図1の上部のpMOSトランジスタによるカレントミラー回路によって I_1 は右側のpMOSトランジスタを流れる電流として転写される。したがって、T2のドレイン端から流れ出る入力電流 I_{ij} は $(I_1 - I_2)$ となり、サブスレシホールド領域下では次式で与えられる。

$$\begin{aligned} I_{ij} &\propto \Delta Q_{fg} \cdot I_{phj} \\ &\propto W_{ij} \cdot V_j \end{aligned} \quad (1)$$

すなわち、シナプス結合重み W_{ij} には両フローティングゲートの電荷量の差 $\Delta Q_{fg} = Q_{fg2} - Q_{fg1}$ が対応する。

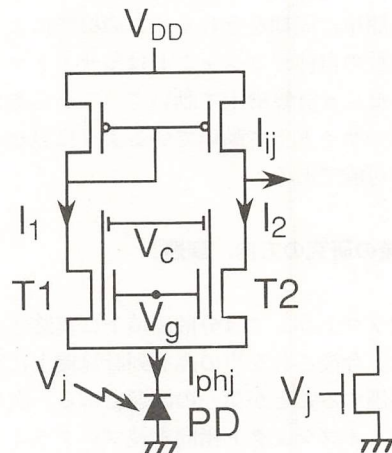


図1 シナプス結合回路

図1の基本回路では、適応デバイスのフローティングゲートへ電子を注入・放出するための制御端子が設けられている。ここへ学習アルゴリズムに基づく修正信号を入れて Q_{fg1} 、 Q_{fg2} を変え、 W_{ij} を変える。電子の注入・放出は約100 Åの薄いSiO₂膜（トンネル酸化膜）に高電界を加えることによって生ずるF-Nトンネルによって行われる。図1では V_0 と V_g の間に電圧を加える。

本研究では、修正信号に電圧信号を与える電気適応デバイスと光信号を与える光適応デバイスについてそれぞれ基本特性を検討した。

1.2 電気適応デバイス

図1において電子の注入用と放出用の制御端子を独立に設ける等の改良を加えた電気適応デバイスについて、学習・自己組織化に適した動作モードの検討を行った。制御端子に加える修正信号として、①パルス幅、②パルス密度、③直流振幅の三種類を実験に用いた。その結果、①、②においてシナプス結合回路の入力電流 I_{ij} 、即ち結合重み W_{ij} が修正信号にほぼ比例して変わることが分かった。

図2にパルス幅を変えたときの実験結果の一例が示されている。広い範囲にわたって $I_{ij}(\Delta I_{ij})$ がほぼ線形に変化し、パルス幅変調が学習信号に適していることが分かった。 I_{ij} の変化の速さは印加電圧 V_H と V_L の大きさに対して指数関数的に変化した。これはトンネル電流が電界の増加に対して指数関数的に増加するからである。なお、①については非線形性が強すぎて、とくに多層のネットワークの学習には不適切であることが明らかになった。

1.3 光適応デバイス

図1の適応デバイスT1、T2に光適応デバイスを用いれば、光修正信号によって結合重みが変わられる。図3(a)に光適応デバイスの断面構造を示す。ゲート(V_g)—書き込み領域(V_w)間にF-Nトンネル注入に必要な高い電圧を与えると、光信号 δW_{ij} の吸収によって発生した電子はフローティング

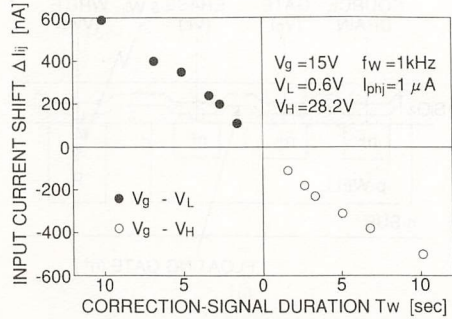


図2 電気適応デバイスを用いたシナプス結合回路のパルス幅変調特性

ゲートに注入される。その結果、光適応デバイスを流れる電流は減少する。図1において、T1側に光信号が入ると入力電流 I_{ij} は減り、結合重み W_{ij} が減少する。逆に、T2側に光信号が入ると I_{ij} は増え、 W_{ij} が増加する。

ピーク光出力0.26 nWの光パルス信号を加えたときの入力電流 I_{ij} の変化の実験結果が図3(b)に示されている。光パルス信号を加える度に入力電流が変化し、光パルス信号が加わっていないときには前の状態が保たれていることがわかる。 $I_{phj} = I_{\mu A}$ のとき、 $-0.5 \mu A \leq I_{ij} \leq 0.5 \mu A$ の範囲で I_{ij} は光信号のパルス数にほぼ比例して変化した。線形範囲が広いのは光子数に比例して発生した電子がF-Nトンネルに注入されるからである。なお、フローティングゲート内の電子が多くなり過ぎたときには、図3(a)の消去領域(V_E)に正の高電圧を加えて電子を放出する。

2. 自己組織化機能

上記の両適応デバイスの特性によってニューラルネットワークの自己組織化を実現できる見通しが得られた。すなわち、回路動作中に学習信号に応じてシナプス結合重みが変わり、所望の出力が得られるようになる。そこで、教師有り学習と教師無し学習の代表的なアルゴリズムを用いて自己組織化機能を実験およびコンピュータ・シミュレーションによって検討した。その結果、いずれの学習

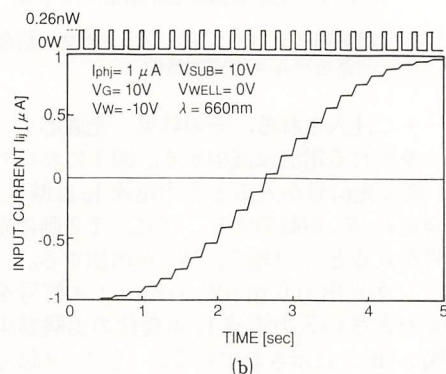


図3 光適応デバイスとシナプス結合重みの変化
(a) 光適応デバイスの断面構造
(b) シナプス結合回路の入力電流の変化

アルゴリズムに対しても自己組織化ができることが明らかになった。

2.1 教師有り学習

アルゴリズムにはバックプロパゲーション (BP) を用いた。実験には最も基本となる 2 層ネットワーク (ニューロン数: 2 (入力層) -1 (出力層)) を用いた。電気適応デバイスを用いてシナプス結合回路を構成し、教師信号と電子回路出力との差を減らすための修正信号にパルス幅変調を用いた。電子回路のブロック単位で Si 集積回路技術を用いて試作した。

0, 1 の入力組み合わせに対して所望の出力を出すように順次教師信号を与えていくと、結合重みが変わって教師信号に一致した出力を出すように電子回路が自己組織化する

ことが確かめられた。入力の間状態(0~1)に対しても中間的な出力が得られ、自己組織化が補完機能を有していることも分かった。

用いた電子回路はアナログ回路であるから、回路動作を解析的に表現できる。上記の学習過程をシミュレーションした結果、実験結果とシミュレーション結果はよく一致した。このため、3層ネットワークのBP学習について、電気適応デバイスを用いて最小規模(各層のニューロン数: 2(入力層)-2(中間層)-1(出力層))の回路シミュレーションを行った。XORの学習を行った結果が図4(a)に示されている。図4(b)のBPアルゴリズムに近い学習過程と結果が得られた。なお、光適応デバイスを用いてもBP学習を実行できることが明らかにされた。

2.2 教師無し学習

アルゴリズムには競合学習を用いた。ここでは、 i 番目のニューロンの結合重みの総和が学習前後で不変という規則が基礎になる。これを実現する電子回路が図 5 (a) に示されている。一定電流 ($1\mu\text{A}$) が各適応デバイスに分配されている。どれかの適応デバイスのフローティングゲート内の電子が減って流れる電流が増えれば、他の適応デバイスを流れる電流は減る。各電流による負荷抵抗での電圧降下の大きさをシナプス結合の重みとして図 1 と同様の回路を構成すれば、式 (1) の I_{ij} を得ることができる。ただし、 $T1$ と $T2$ はこの場合通常の nMOS トランジスタであり、 $T2$ のゲートに上記の電圧降下した電位が与えられ、 $T1$ のゲートに基準の電位が与えられる。Hebb 則として、 i 番目のニューロンの出力と j 番目のニューロンの出力の積 $V_i \cdot V_j$ に比例した大きさの修正信号が図 5 (a) の j 番目の適応デバイスに与えられる。したがって、この固有回路では電気適応デバイスでも光適応デバイスでも用いることができる。

図5(b) に図5(a) の回路のシミュレーション結果を示す。1番目の電気適応デバイ

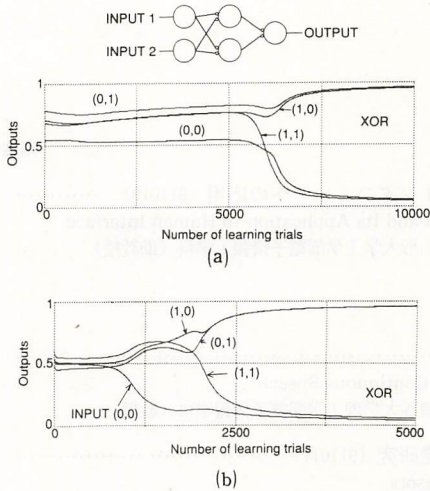


図4 教師有り学習（3層BP：2-2-1）のシミュレーション結果：XORの学習過程
(a) 電気適応デバイスを用いた電子回路
(b) BPアルゴリズム

スのフローティングゲートの電位 (ΔV_1) を上げていくと、すなわちフローティングゲート内の電子を放出していくと、1 番目の電気適応デバイスを流れる電流 I_1 は大きくなり、他の電流は小さくなっていく。したがって、上記の回路を用いれば競合学習を実現できることが分かった。

[今後の研究の方向・課題]

適応デバイスを用いてニューラルネットワークの自己組織化が広くできることが基本的に明らかになった。しかし、デバイスの特性のばらつきをネットワーク上でどのようにして解決するか、また高集積化したときに冗長性をどの程度確保すべきか等、実用化レベルの規模に対して問題点と解決策を検討していく必要がある。また、電気配線および光配線についても高密度配線の具体的手法について検討しなければならない。これらの研究結果の上にとって1チップおよび多層チップのLSIおよび光電子集積回路 (OEIC) が具体化し、環境への適応機能を有する制御機器や

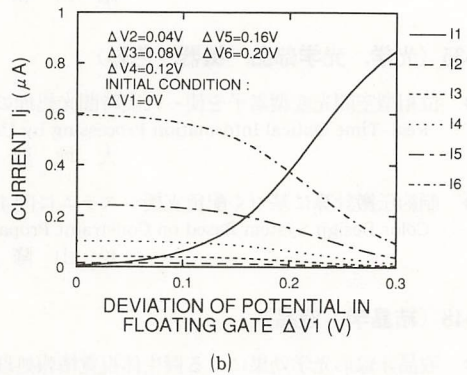
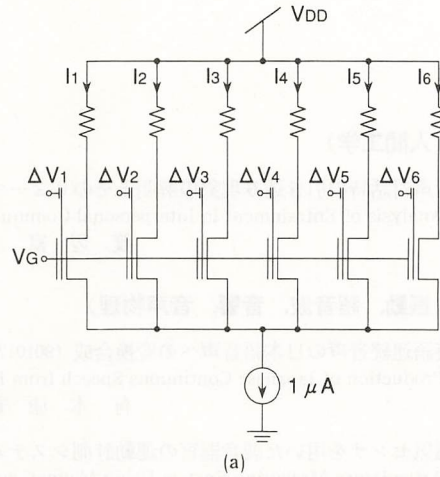


図5 教師無し学習（競合学習）の固有回路
(a) 適応デバイスを用いた回路
(b) シミュレーション結果

高次機能を有するセンサー、ロボット及びコンピュータ等への応用が開かれていくと考えられる。

[成果の発表、論文等]

- 1) H. Yonezu and K. Tsuji, "Integrated Optoelectronic Neuro-Devices", Optoelectronics-Devices and Technologies-, Vol. 8, pp.73-84 (1993).
- 2) 辻, 柴尾, 朴, 米津, "光適応デバイス", 第40回応用物理学関係連合講演会, 講演予稿集, No. 1, 31 a-ZC-2, p. 929 (1993).

索引 (掲載号)

007 (人間工学)

掲載号

- ◆ 音声対話時の引き込み現象の解明とそのヒューマン・インタフェースへの応用 (911019) 2
Analysis of Entrainment in Interpersonal Communication and Its Application to Human Interface
渡 辺 富 夫 山形大学工学部電子情報工学科 (助教授)

534 (振動, 超音波, 音響, 音声物理)

- ◆ 英語連続音声の日本語音声への変換合成 (901012) 1
Production of Japanese Continuous Speech from English Continuous Speech
有 木 康 雄 龍谷大学理工学部電子情報学科 (教授)
- ◆ 磁気センサを用いた調音器官の運動計測システムの開発研究 (911011) 2
Articulatory Measuring System Using Magnetometer Sensors
園 田 頼 信 熊本大学工学部電気情報工学科 (教授)

535 (光学, 光学部品, 機器, 色彩)

- ◆ 位相型空間光変調素子を使った実時間光処理の研究 (911006) 1
Real-Time Optical Information Processing by Using a Spatial Light Phase Modulator
大 坪 順 次 静岡大学工学部 (助教授)
- ◆ 制約伝搬計算に基づく配色支援システムに関する研究 (901016) 1
Color Design System Based on Constraint Propagation
松 山 隆 司 岡山大学工学部情報工学科 (教授)

548 (結晶学, 液晶)

- ◆ 液晶非線形光学効果による擬生体視覚情報処理複合回路網に関する研究 (911009) 1
Simulation of Visual Excitation Using Nonlinear Optics of Liquid Crystals
杉 村 明 彦 大阪産業大学工学部情報システム工学科 (助教授)

61 (医学, 医用電子機器, 安全工学)

- ◆ CAD 技術の外科手術への応用 (901011) 1
Application of CAD Technology for Surgical Operation
千代倉 弘 明 慶応義塾大学環境情報学部 (助教授)
- ◆ 皮膚電気反射を用いた覚醒と睡眠の計測制御 (911016) 1
Control and Estimation of Human Emotion and Drowsiness Using Galvanic Skin Reflex
山 本 辰 馬 岡山大学工学部 (教授)

621.315 (電子材料, 半導体, 超電導)

- ◆ VLSI GaAs デバイスの新しいオーミック・コンタクト材の開発研究 (911014) 1
Development of New Ohmic Contact Materials for VLSI GaAs Devices
村 上 正 紀 京都大学工学部 (教授)

621.375.8 (レーザ, 半導体レーザ, レーザ装置)

- ◆ レーザスペckル法による粘膜血流画像化装置の開発 (901002) 1
Visualization of Blood Flow in Gastric Mucosa Using Laser Speckle Method
藤 居 仁 九州工業大学情報工学部 (教授)

621.38 (半導体素子, 光電素子, X線装置)

- ◆ X線用多層膜反射鏡を用いた軟X線増幅の研究 (901007) 1
Promotion of Soft X-ray Intensity by a Multilayer Mirror
原 民 夫 理化学研究所 (研究員)
- ◆ 光触媒反応によるII-VI族半導体の物性制御とディスプレイデバイスへの
応用に関する基礎研究 (901008) 1
Fundamental Research on Photocatalytic Growth of II-VI Semiconductors
for Their Property Control and Applications to Display Devices
藤 田 茂 夫 京都大学工学部 (教授)

621.39 (電気通信工学, 通信理論, 情報理論)

- ◆ コミュニケーション行動の実態と通信系ニューメディアの受容性に関する研究 (901018) 1
Acceptance of New Telecommunication Media and Daily Communication Behavior
吉 井 博 明 文教大学情報学部 (教授)
- ◆ 広域ネットワークにおけるマルチキャスト技術の研究 (901010) 2
Study on Multicasting Technology in Wide Area Networks
森 島 晃 年 財団法人京都高度技術研究所 (研究員)
- ◆ 高度情報化生産システムにおける通信ネットワーク構成技術の開発 (911012) 1
Development of Construction Technology for Communication Networks
in Manufacturing Systems
手 塚 慶 一 大阪大学工学部通信工学科 (教授)

681.3 (情報処理, データの自動処理, 計算機)

- ◆ 自己組織により空間パターン生成回路を構成するニューラルネットワークの研究 (901001) 1
Study on Neural Network Organizing Pattern Generation Circuit by Self-Organization
岡 部 洋 一 東京大学先端科学技術研究センター (教授)

681.301 (情報処理の理論)

- ◆ 適応可能な論理演算 (Fuzzy²) の開発 (921006) 2
On an Adaptive Logic (FUZZY²)
太 田 道 男 筑波大学構造工学系 (教授)

681.302 (情報処理システム, データベース, 構成, 装置, 要素)

- ◆ エネルギー・データの視覚・情報化に関する研究 (901004) 1
A Study on Visualization and Informative Processing of Energy Data
辻 毅一郎 大阪大学工学部 (教授)
- ◆ 初心者のための情報処理教育支援システムの開発 (901003) 1
Development of a System for Beginner to Support an Information Processing Education
山 田 善 一 京都大学情報処理教育センター (長・教授)
- ◆ 並列処理アルゴリズム開発の自動化を指向する設計支援システム (911001) 2
Design Support System for Developments of Algorithms in Parallel Processings
阿 曾 弘 具 東北大学工学部情報工学科 (教授)
- ◆ 最適化問題のニューラル解法システムの開発 (921003) 2
Neural Solution Systems for Optimization Problems
浦 浜 喜 一 九州工業大学情報工学部電子情報工学科 (助教授)

- ◆ 広帯域信号の効率的圧縮への応用を考えた聴覚モデルの構成に関する研究 (921005) 2
Modeling of Auditory System for Data Compression of Wideband Audio Signal
江 端 正 直 熊本大学工学部 (教授)
- ◆ 英日会話文データベースの構築とこれに基づく会話文の翻訳と
慣用表現検索システムの研究 (911007) 2
English-Japanese Conversational Text-base Construction and Study on Conversational Text
Translation System with Idiomatic Expression Retrieving
河 口 英 二 九州工業大学工学部 (教授)
- ◆ EXAFS 解析手法の標準化に関する研究 (901005) 2
Standardization of the Data Analysis of EXAFS
黒 田 晴 雄 東京理科大学総合研究所 (教授)

681.306 (ソフトウェア, OS, 言語, 開発手法)

- ◆ 音声認識アルゴリズムの大語彙向き高度化に関する研究 (911008) 1
A Study on Advanced Algorithms for Large Vocabulary Speech Recognition
好 田 正 紀 山形大学工学部 (教授)
- ◆ 高並列計算機に於ける単一仮想空間上の並列オブジェクト指向
プログラミング言語の研究 (921013) 2
Studies on the Parallel Object-Oriented Programming Language with Shared Virtual
Space for Massively Parallel Computers
牧之内 顕 文 九州大学工学部情報工学教室 (教授)

681.306.1 (AI, ファジイ)

- ◆ 加工プロセス最適化のためのファジイ理論の応用 (911004) 1
Application of Fuzzy Theory for Optimizing Machining Process
稲 崎 一 郎 慶応義塾大学理工学部 (教授)
- ◆ 制御戦略知識の獲得学習に基づく知的ファジイ制御に関する研究 (901017) 2
Development of Intelligent Fuzzy Control Systems with a Learning Capability of
Strategic-Skill Acquisition
榎 木 哲 夫 京都大学工学部 (助手)

681.306.2 (画像処理, 人工現実感)

- ◆ 大規模仮想空間を歩行するための人工現実感 (911005) 1
Artificial Reality for Walking Through Large Scale Virtual Space
岩 田 洋 夫 筑波大学構造工学系 (講師)
- ◆ ファジイ・ニューラルネットによる線画像の認識 (901019) 1
Line Drawing Image Recognition based on Fuzzy Neural Network Technology
廣 田 薫 法政大学工学部計測制御教室 (教授)
- ◆ 計算機仮想空間における人間の運動制御特性に関する研究 (911017) 1
Study on Human Motor Control Characteristics in the Virtual Reality Space
吉 澤 誠 豊橋技術科学大学知識情報工学系 (助教授)
- ◆ 作業空間の形状情報を高速に獲得するロボットビジョンシステムの検討 (911013) 2
On a Vision System for Shape Construction of 3D Robotic World
登 尾 啓 史 大阪電気通信大学工学部精密工学科 (助教授)

681.32 (ハードウェア, 電子計算機, ASIC)

- ◆ 4次元コンピュータグラフィックスのための超並列計算機
アーキテクチャに関する研究 (921008) 2
A Study on Massively Parallel Processing Systems for 4-Dimensional Computer Graphics
小 林 広 明 東北大学大学院情報科学研究科 (助教授)

- ◆ 超高速通信マルチポートメモリ構造・高並列処理コンピュータの試作研究 (921012) 2
 Massively Parallel Computer Based on High-Speed Communication by Multi-port Memory
 堀 口 進 北陸先端科学技術大学院大学情報科学研究科 (教授)
- ◆ 適応デバイスと自己組織化機能に関する研究 (921018) 2
 Research on Adaptive Devices and Self-organization Function
 米 津 宏 雄 豊橋技術科学大学電気・電子工学系 (教授)

681.327 (入出力装置, マンマシンインタフェース, 照合, 認識装置)

- ◆ 計算論的学習理論とそのマンマシンインタフェースへの応用 (901013) 1
 Algorithmic Learning Theory and Its Applications
 有 川 節 夫 九州大学理学部基礎情報学研究施設 (教授)
- ◆ 身振りのコード化とヒューマン・インタフェースへの応用 (901015) 1
 Gesture Coding and Its Application to Human Interface
 黒 川 隆 夫 京都工芸繊維大学工学部 (教授)
- ◆ 連続音声認識のための単語連想機構の構築に関する研究 (911010) 1
 Construction of Word Associative Processor for Speech Recognition System
 関 口 芳 廣 山梨大学工学部 (助教授)
- ◆ CAD システムにおけるマン・マシンインタフェースに関する研究 (901006) 1
 A Study of Man-Machine Interface in Computer Aided Design System
 橋 本 正 治 摂南大学工学部機械工学科 (教授)
- ◆ 手先の自然な動きを入力とするインタフェースの研究 (901009) 1
 A Research of Man-computer Interface Using Natural Hand Movement
 辺 見 一 男 長崎総合科学大学情報科学センター (講師)
- ◆ 高分解能触覚画像表示装置の開発 (911018) 1
 The Development of a High Resolution Tactile Display Screen
 米 沢 義 道 信州大学工学部情報工学科 (教授)
- ◆ 重度障害児のメンタルリハビリテーションのための図形表現システムの開発 (921009) 2
 A Study on Cognitive Rehabilitation of the Handicapped Children by Computer Based Drawing System
 近 藤 文 良 滋賀大学教育学部 (助教授)

681.532 (機械的量の制御, ロボット, 数値制御)

- ◆ ニューラルネットによる多自由度前腕筋電義手の制御法に関する研究 (911003) 1
 Study on an EMG Controlled Prosthetic Forearm with Multi Degrees
 of Freedom Using Neural Networks
 伊 藤 宏 司 豊橋技術科学大学情報工学系 (教授)

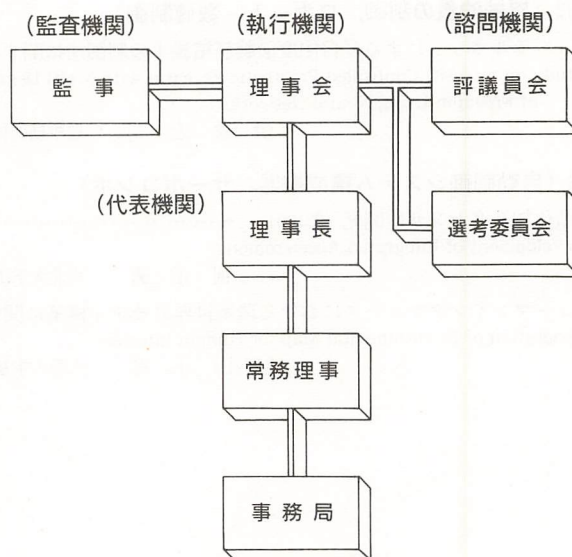
681.58 (自動制御システム構成機器, サーボコンポ)

- ◆ 集積化加速度センサの開発 (921004) 2
 Development of Integrated Accelerometer
 江 刺 正 喜 東北大学工学部機械電子工学科 (教授)
- ◆ ヒューマンインタフェースにおける環境世界のモデル構築に関する研究 (911015) 2
 Generation of Environmental Map for Human Interface
 谷内田 正 彦 大阪大学基礎工学部情報工学科 (教授)

財団の概要

- 名 称 財団法人 立石科学技術振興財団
(英文名 Tateisi Science and Technology Foundation)
- 所 在 地 京都市右京区花園土堂町10番地
TEL.(075)461-4771 FAX.(075)465-3697
- 理 事 長 立石 孝雄
- 設立年月日 1990年3月6日
- 目 的 エレクトロニクス及び情報工学の分野で、人間と機械の調和を促進する研究及び国際交流に対し助成を行い、技術革新と人間重視の両面から、真に最適な社会環境の実現に寄与することを目的とする。
- 事業内容
 1. エレクトロニクス及び情報工学の分野で、人間と機械の調和を促進するための研究に対する助成。
 2. エレクトロニクス及び情報工学の分野で、人間と機械の調和を促進するための国際交流に対する助成。
 3. エレクトロニクス及び情報工学の分野で、人間と機械の調和を促進するための研究成果の普及。
 4. その他、本財団の目的を達成するために必要な事業。
- 基本財産 現金10億円 株式1億3,125万円(額面)

●財団の組織



役員・評議員

(1993-7-1 現在)

役員

理事長	立石孝雄	オムロン株式会社	取締役会長
常務理事	三笠薫	オムロン株式会社	常勤顧問
理事	伊夫伎一雄	株式会社三菱銀行	会長
理事	大澤弘之	科学技術会議議員・元科学技術庁事務次官	
理事	大野豊	立命館大学理工学部 学部長・京都大学名誉教授	
理事	尾佐竹 洵	東京大学名誉教授	
理事	熊谷信昭	前大阪大学総長・名誉教授	
理事	黒田眞	三菱商事株式会社	専務取締役・元通産省審議官
理事	巽外夫	株式会社住友銀行	会長
理事	立石義雄	オムロン株式会社	取締役社長
理事	盛田昭夫	ソニー株式会社	取締役会長
監事	辻 敢	辻会計事務所	会長（公認会計士）
監事	戸 倉 晴美	戸倉法律事務所	所長（弁護士）

(50 音順)

評議員

評議員	相磯秀夫	慶応義塾大学環境情報学部 学部長	
評議員	朝倉利光	北海道大学電子科学研究所 教授	
評議員	荒巻 禎一	京都府 知事	
評議員	岩田 一明	大阪大学工学部電子制御機械工学科 教授	
評議員	立石信雄	オムロン株式会社	取締役副会長
評議員	寺野寿郎	国際フェジィ工学研究所 所長・東京工業大学名誉教授	
評議員	長柄喜一郎	理化学研究所 理事・元科学技術庁研究開発局長	
評議員	長谷川利治	京都大学工学部数理工学科 教授	
評議員	秦野 勲	オムロン株式会社	専務取締役
評議員	葉原耕平	株式会社国際電気通信基礎技術研究所	取締役副社長
評議員	洲 一博	東京大学工学部電子情報工学科 教授	
評議員	山崎 弘郎	東京大学名誉教授	

(50 音順)

財団法人 立石科学技術振興財団

平成6年度 助成候補募集案内

（財）立石科学技術振興財団においては、下記の通り平成6年度の研究助成及び国際交流助成を行うことといたしましたので、お知らせいたします。

記

（1）助成対象

助成金の交付対象は、次に掲げるものとします。

- ① エレクトロニクス及び情報工学の分野で人間と機械の調和を促進するための研究活動。
- ② エレクトロニクス及び情報工学の分野で人間と機械の調和を促進するための研究活動を行う研究者の、海外派遣または招聘。

人間と機械の調和を促進することの内容とは、必ずしも、マンマシン・インターフェースに関する狭義の科学技術のみを意味するものではなく、上記の範囲で、科学技術を人間にとって最適なものとするための地道な草の根的基礎研究活動をも含み、広義でとらえるものとします。

（2）件数及び金額

- | | | |
|-----------|-----------------------|----------|
| ① 研究助成金 | 5千万円（1件250万円程度、20件程度） | |
| ② 国際交流助成金 | 5百万円（1件50万円程度、10件程度） | 総額5千5百万円 |

（3）応募資格

- ① 研究者であれば、個人、グループを問いません。
- ② 同一内容で他の財団から既に助成を受けているか、または受ける予定になっている個人、またはグループはご遠慮ください。
- ③ 当財団に、結果と収支の報告書提出が可能な方。

（4）募集期間

平成5年9月1日～平成5年10月31日（郵便局消印まで）当財団の所定用紙に記入して応募してください。

（5）助成金交付の時期

選考委員会での選定と理事会での決定後、平成6年5月の予定。

（6）申請書類請求及び問い合わせ先

〒616 京都市右京区花園土堂町10（財）立石科学技術振興財団事務局

☎（075）461-4771, FAX.（075）465-3697

申請書類のご請求は、ファックスでお願いいたします。

以上

編 集 後 記

昨年の創刊号に続いて、お蔭様ではば予定通り今年も第2号を発行することができました。ご寄稿下さいました大野理事はじめ研究者の皆様、また財団関係者及び編集にご協力くださいました皆様、大変ありがとうございました。

昨年の9月に発行した創刊号は、約400部を主に大学や公立の図書館、研究所をはじめ、研究者の方々にお配りしましたところ、研究者の方からお電話をいただいたり、図書館から継続の受領を希望されたりして、この成果普及活動がどこかでお役に立ちそうな感触を得られたような気がして喜んでいます。国会図書館より世界科学情報システムの一環であります国際逐次刊行物データシステムに登録したことと、文化財として永く保存する旨通知を受けました。今後継続していくためにも励みになります。今後ともよろしくお願いいたします。

今回の第2号に掲載した研究課題の抄録は、第3回（平成4年度）助成課題の中で研究計画の終了したものと、それ以前の課題の中で前号発行以後に終了した研究課題のものを集録しています。配列は助成年度順の五十音順です。国際交流助成につきましては、本誌発行の目的から巻頭の助成課題一覧の中で、派遣、招聘の要点のみをご紹介しますにとどめました。

この第2号も創刊号同様、成果の抄録集とすることを継承しています。この号から巻末に索引を設け、既刊のどの号にどんな課題が掲載されているか分かるようにしました。索引は、できるだけJICSTのシソーラスにそって分類することに努めましたが、財団の趣意からして大分類と小分類を混在して用いることになりました。また、分類の基準は、研究の目的によるよりも、追及する、あるいは基本となる科学技術要素によることとしましたが、中には成果である目的によって分類した方が分かりやすいと判断した場合は、そのようにいたしました。一つの課題が複数の分類コードに該当する場合も多々ありましたが、より深く関係すると思われる一つに決めました。

毎年1回8～9月頃発行の予定です。助成研究成果普及活動としての本誌に関し、皆様のご意見、ご感想、ご希望などございましたらお寄せください。お待ちしております。

（財）立石科学技術振興財団 事 務 局

財団法人 立石科学技術振興財団
Tateisi Science and Technology Foundation
助成研究成果集 第2号
平成5年9月(1993)

発行 財団法人 立石科学技術振興財団
〒616 京都市右京区花園土堂町10 TEL (075) 461-4771
FAX (075) 465-3697

印刷 (株) 中野新文社
〒604 京都市中京区壬生相合町80-14 TEL (075) 821-4466

(本紙の一部又は全文の掲載を希望される時は、財団と研究代表者の許可を得てください。)