

資料

新情報処理技術に関する総合的調査研究
— 米国実態調査報告書 —

平成 2 年 3 月



財団法人 日本情報処理開発協会

この資料は、日本自転車振興会から競輪収益の一部である
機械工業振興資金の補助を受けて平成元年度に実施した「新
情報処理技術に関する総合的調査研究」の成果をとりまとめ
たものであります。

請求 番号		資料		登録 番号	
著者名 新情報処理技術に関する総合的調査報告書					
書名 一 米国実態調査報告書 一					
所属	帯出者氏名	貸出日	返却 予定日	返却日	

借り出したときは

- 本は大切に保管しましょう。
- 必ず期日を守りましょう。
- よごさないようにしましょう。
- 折目をつけないようにしましょう。
- また貸しをやめましょう。



序

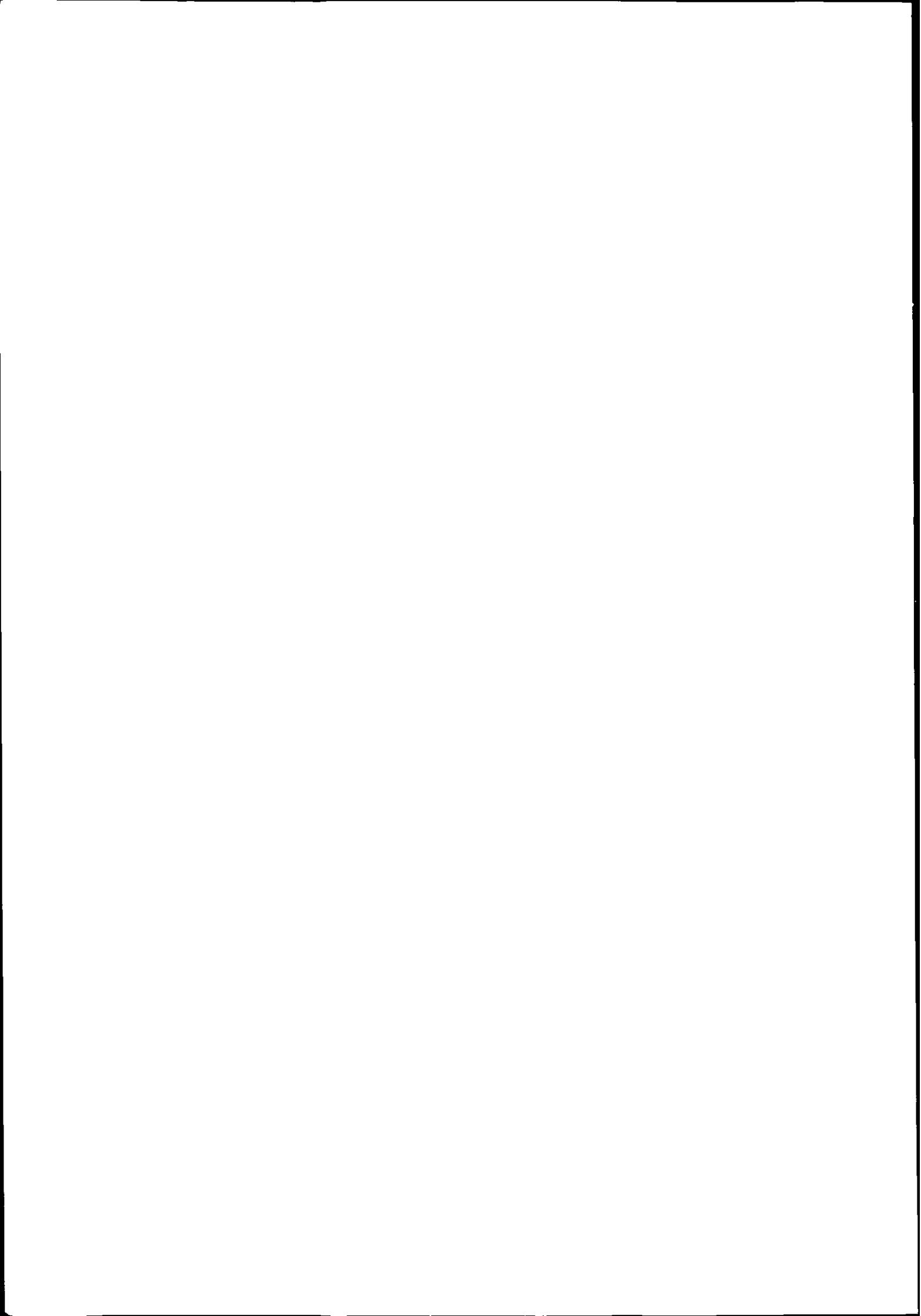
過去30余年にわたる情報処理技術の進歩は著しく、その成果を支えに社会の情報化も急速に進展し、コンピュータは今やわれわれの社会活動にとって不可欠のものとなった。しかしながら、その利用範囲の拡大や多様化にともない、情報処理機能の一層の高度化が求められ、特に最近では、固定化した逐次処理型の情報処理機能から、人間に取って親和性に富む、より柔軟性の高い知的情報処理機能への変革が、強く期待されるようになった。

このため、従来のコンピュータが不得手とする、人間の脳が行っているような、高度かつ多彩な情報処理の実現に向けて、必要とされる機能、計算原理および実装技術、さらには、革新的な情報処理技術と社会の係わり等を含めた総合的な調査研究を、平成元年度から開始した。

元年度は、通商産業省における新情報処理技術調査研究委員会の下部機構として、当協会に基礎技術、新機能、社会応用の3分科会および超並列・超分散処理、学習、光技術・新デバイス、3次元情報処理、認識・理解、自律・協調の6ワーキンググループを設置し、調査研究を実施するとともに、大学・研究所への研究委託、海外調査等により、21世紀を目指す革新的な情報処理技術がいかにあるべきかを、ニーズ、ノーズの両面から追求し新しいナショナルプロジェクトとしての可能性を検討した。

最後に、本調査研究に多大なご協力を頂いた各分科会およびワーキンググループの委員各位に厚く御礼申し上げる次第である。

平成2年3月



新情報処理技術調査研究 米国実態調査参加者

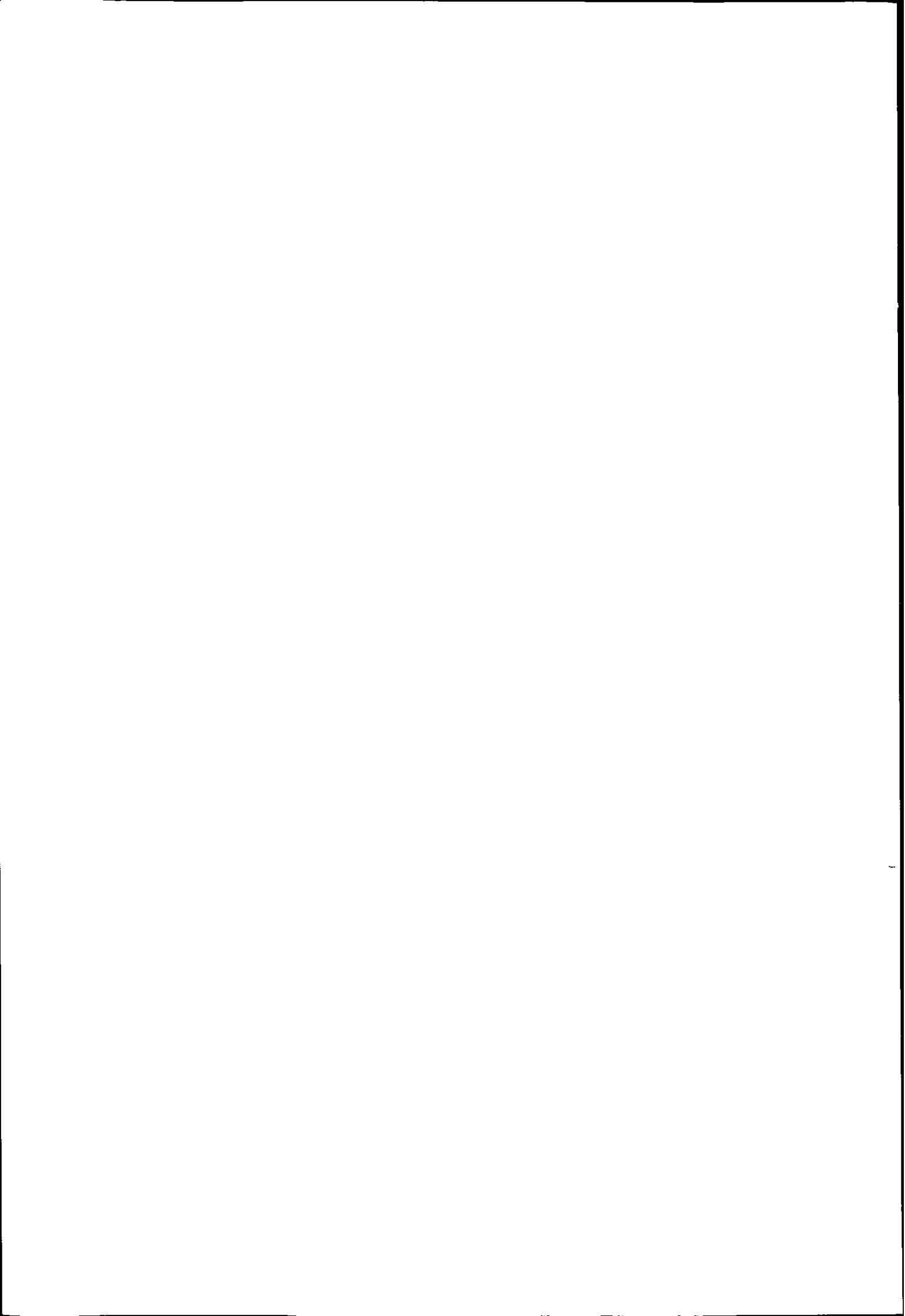
(役職名は参加時のもの)

西川 泰藏	通商産業省機械情報産業局電子機器課 課長補佐
比留川博久	通商産業省機械情報産業局電子機器課 技官
浅川 和雄	(株)富士通研究所ノシステム研究部第一研究室 室長
安西祐一郎	慶応義塾大学理工学部電気工学科 教授
石川 正俊	東京大学工学部計数工学科 助教授
大津 展之	工業技術院電子技術総合研究所情報科学部情報数理研究室 室長
小柳 滋	(株)東芝 総合研究所情報ノシステム研究所 主任研究員
久間 和生	三菱電機(株) 中央研究所量子エレクトロニクス研究部 第一グループマネージャー
小池 誠彦	日本電気(株) C&Cノシステム研究所コンピュータシステム研究部 部長
米谷 忠篤	三洋電機(株)研究開発本部筑波研究所知能システム研究室 主任研究員
杉江 昇	名古屋大学工学部電気第2学科 教授
高森 晃	松下電器産業(株) 半導体研究センター光半導体研究所 研究員
立石 雅彦	沖電気工業(株) 総合ノシステム研究所知識情報処理研究部 研究員
田中 厚夫	ソニー(株) 情報ノシステム研究所第一開発部 主任研究員
東条 敏	(株)三菱総合研究所 情報技術開発部情報技術第二室 研究員
廣瀬 通孝	東京大学工学部産業機械工学科 助教授
船橋 誠壽	(株)日立製作所 ノシステム開発研究所第一部 主任研究員
浜中 栄治	(財)日本情報処理開発協会 新技術調査研究室研究課 課長

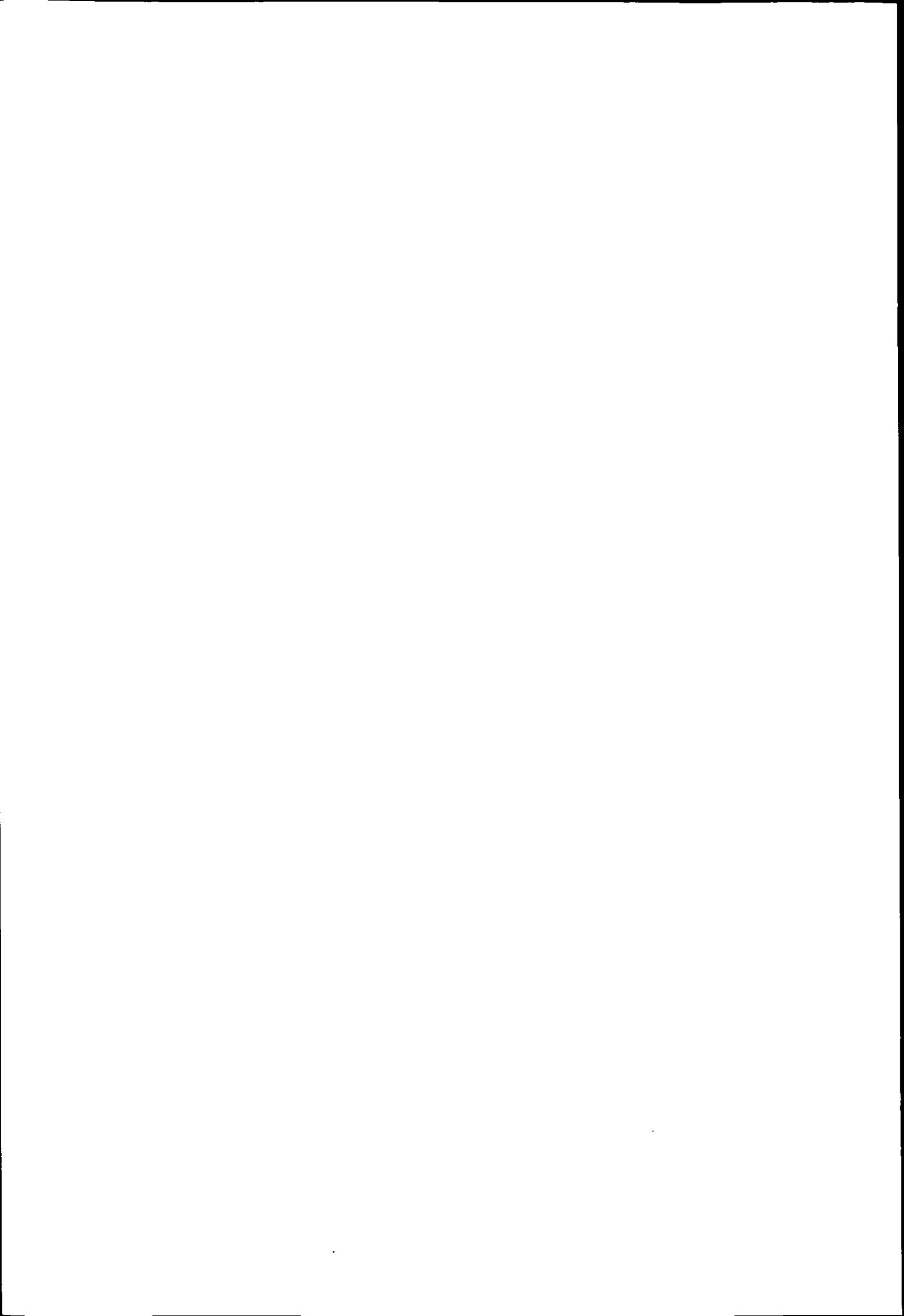


米国実態調査報告書 目次

I. 概要	1
1. 調査目的	1
2. 調査日程	1
II. 訪問調査記録	5
1. AT&T	5
2. CalTech	17
3. CMU	28
4. HNC	37
5. IBM	43
6. MIT	51
7. Neurogen Inc.	65
8. Northeastern Univ.	71
9. SAIC	77
10. SALK Institute	85
11. Stanford Univ.	90
12. UCB	104
13. UCSD	114
14. USC	121
III. IJCNN報告	131
1. セッション報告	131
2. IJCNNセッション一覧	196
IV. 太平洋通信会議(PTC'90)報告	205



I 概 要



I . 概 要

1 調査目的

今回の米国調査は、「新情報処理技術に関する総合的調査研究」事業の一環として実施したものである。調査の主要な目的は、米国に於ける「新情報処理技術」の動向把握と、我々が現在進めている調査研究についての技術的な意見交換と、それに関する国際的な共同研究の可能性についての意見交換を目的としたものである。

そのため、調査メンバーは、当調査研究事業のワーキンググループ(WG)の主査、幹事および委員を中心に構成し、それに通産省および事務局として当協会等からもメンバーに加わった。

具体的な訪問先および調査結果の詳細については後述するか、AT&T、CalTech、IBM、MIT、USC等、米国に於ける「新情報処理技術」の最先端機関を数多く訪問することかてきた。また、IJCNN-WASH-90とPTC 90 の2つの国際会議に参加することにより、貴重な最新情報の入手と、「新情報処理技術」に関する意見交換を行うことかてきた。

2 調査日程

本調査団は総計18名で構成されているが、「1 調査目的」でも示したように、短期間に集中的にかつ効率的に調査するために表1に示すような5名前後からなる班を構成し、各班とも、GL（グループリーダ）を中心に調査活動を実施した。それぞれの訪問先では、現在我々が調査研究を進めている「新情報処理技術」の概要を説明し、それについての討論を行うとともに、現地研究者による研究報告等による最新情報を入手した。

表1に全体スケジュールと班構成を示す。これから分かるように、調査の前半（1月10日から14日まで）はサンフランシスコ、ロサンゼルス、サンティエゴ等米国西海岸にある大学、研究所、ベンチャー企業に対する訪問調査を実施した。後半（1月15日から21日まで）は、東海岸に移動しワシントンDCで開かれた国際会議「IJCNN-90」への参加を中心に、ニューヨーク、ホuston、ピッノバーグにある大学、研究所、ベンチャー企業に対する訪問調査を実施した。

米国との往復の移動日を含めて12日間という極めて短期間に実施した厳しい調査スケジュールにもかかわらず、14機関という多くの訪問調査を実施することかてきた。なお、個々の訪問記録は次の「II 訪問調査記録」に詳述してある。また、IJCNN-90の詳細は「III IJCNN 報告」に示す。

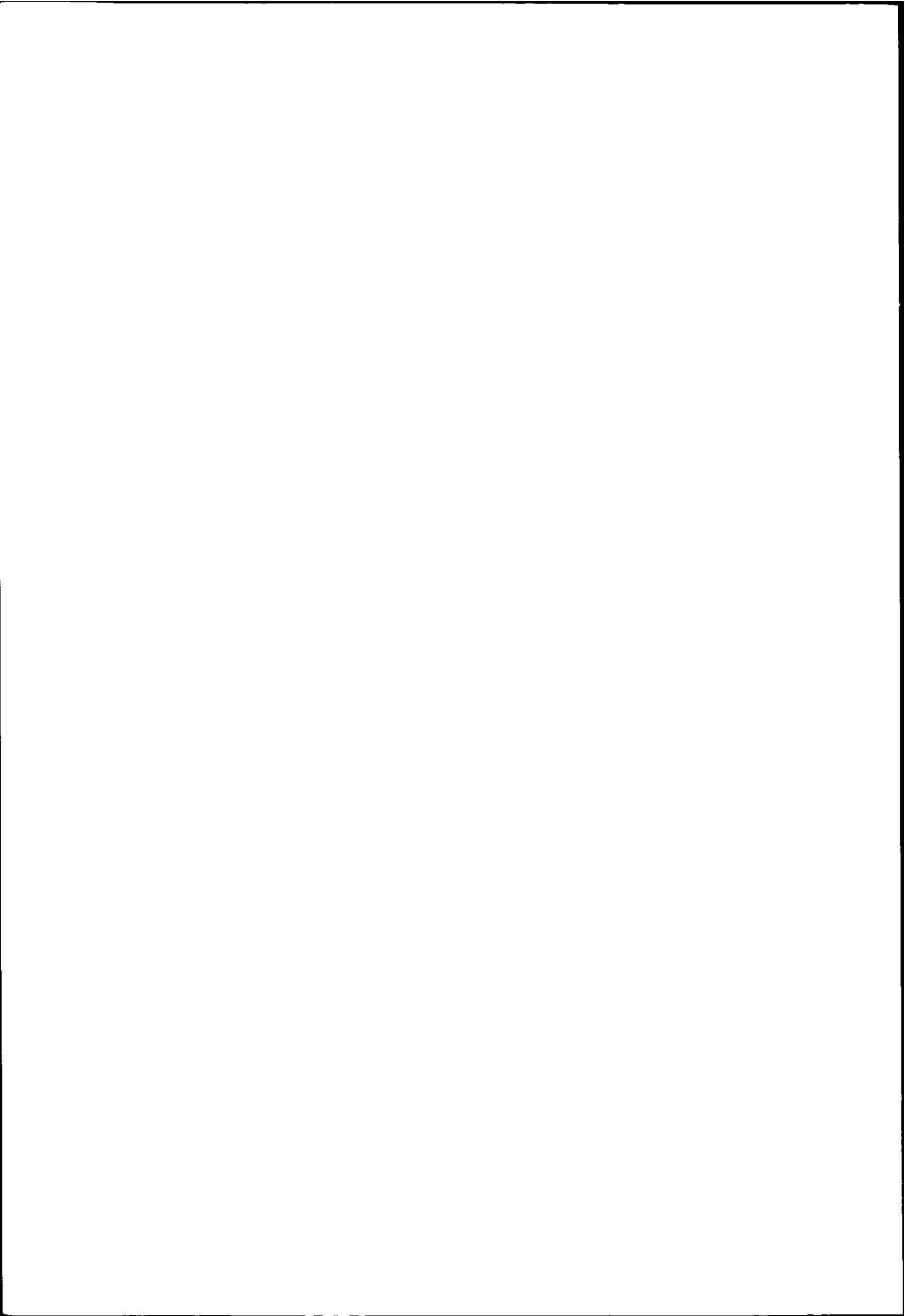
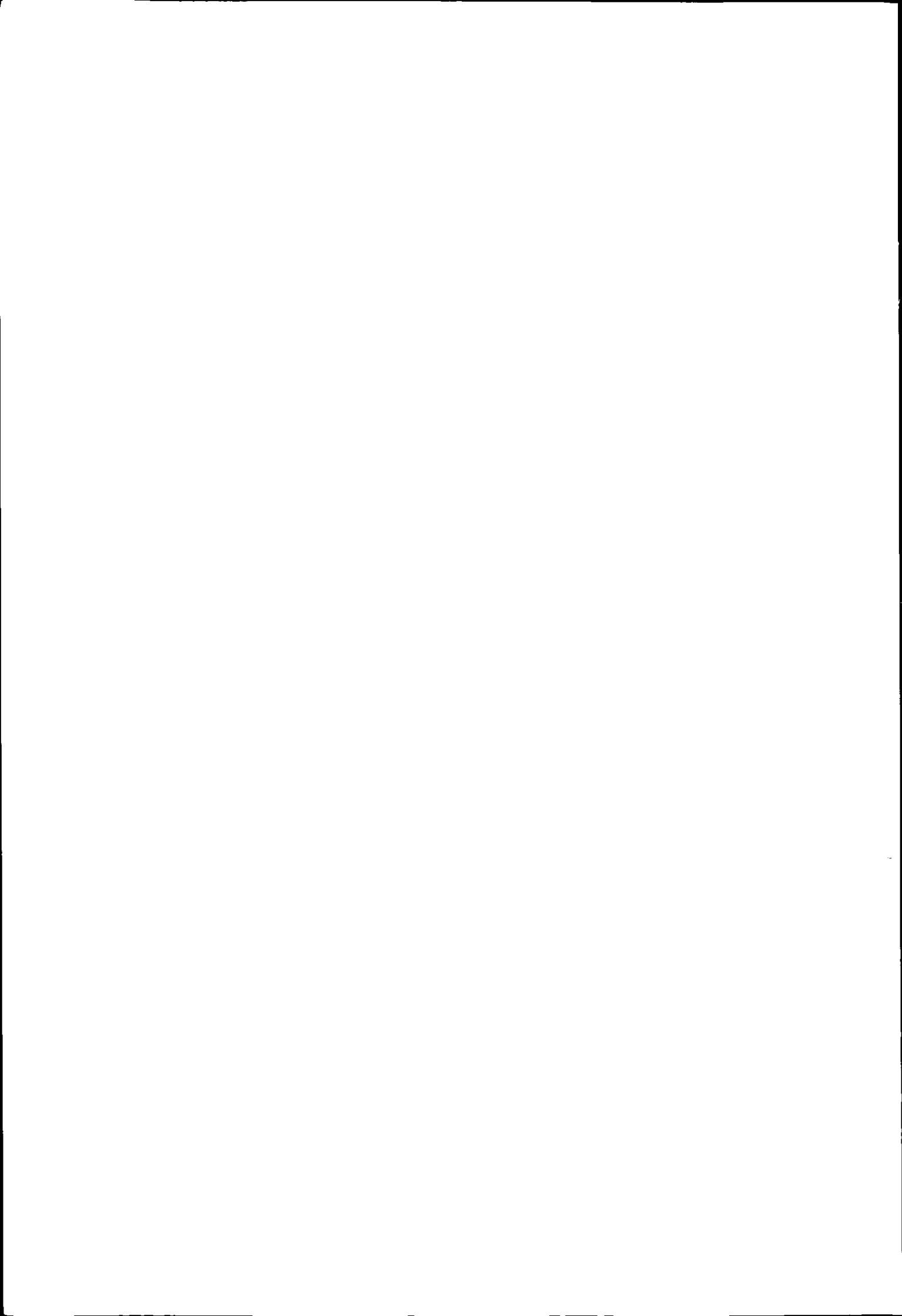


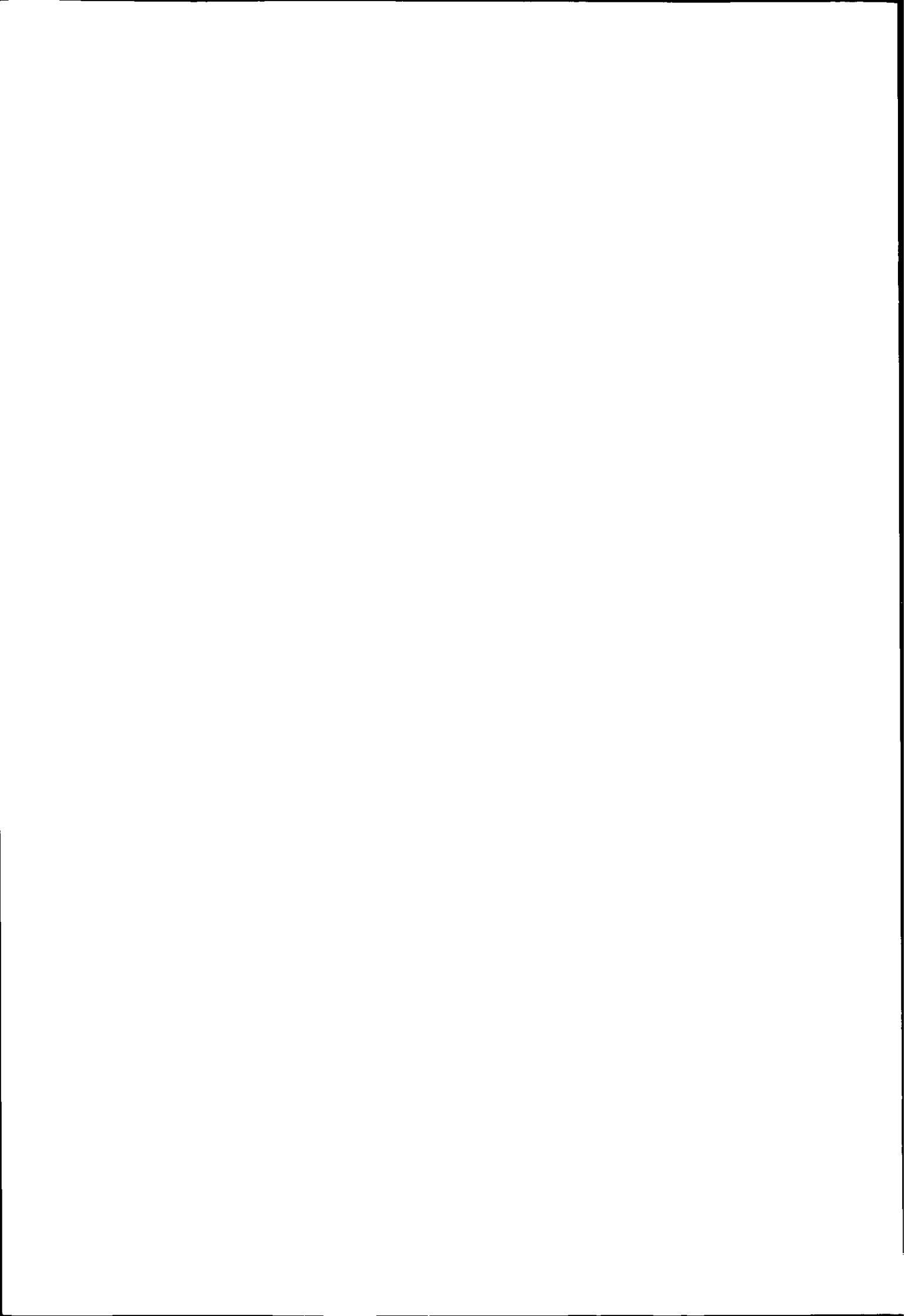
表1 米国実態調査スケジュールと班構成 (1990 1)

(西海岸)	(SF 班)	(LA 班)	(SD 班)	
1/10 (水)	出国	出国	出国	
11 (木)	UCB	CalTech	SAIC SALK Institute HNC	
12 (金)	Stanford Univ	USC	UCSD	
13 (土)	資料整理・打合せ	資料整理・打合せ	資料整理・打合せ	
14 (日)	移動	移動	移動	
班メンバー	広瀬(G L) 西川、高森 立石、杉江、浜中	久間(G L) 浅川、石川 米谷、田中	小池(G L) 比留川、大津 小柳、東条、船橋	
(東海岸)	(NY 班)	(MIT 班)	(CMU 班)	(DC 班)
1/15 (月)	IBM Watson Research	IJCNN	IJCNN	IJCNN
16 (火)	AT&T Bell Lab	"	"	"
17 (水)	移動 IJCNN	" 移動	"	"
18 (木)	IJCNN	MIT	移動	"
19 (金)	"	Neurogen Inc Northeastern Univ	CMU	"
20 (土)	移動	移動	移動	移動
21 (日)	帰国	帰国	帰国	帰国
班メンバー	西川(G L) 石川、比留川(*) 広瀬、浜中	大津(G L) 浅川、杉江、田中 船橋	安西(G L) 米谷、高森 東条	小柳、久間 小池、立石

(*) 1/15-1/16の間、ハワイで開催された太平洋通信会議(PTC 90)に参加



II 訪問調査記録



II . 訪問調査記録

I . A T & T (Solid State Technology Center)

1. 訪問日： 1990年 1月16日(火)

2. 面接者：

Dr. C.M.Melliari-Smith

Vice President, Lightwave Strategic Business Unit, AT&T Microelectronics

Dr. William M. Sherry

Manager, Lightwave Product Marketing, AT&T Microelectronics

Dr. Arlen R. Martin

Marketing Operations Manager, International Datacom Market,

AT&T Microelectronics

Dr. Niloy K. Dutta

Supervisor, Laser Design and Fabrication Group, AT&T Bell Laboratories

Dr. Yong K. Park

Member of Technical Staff, AT&T Bell Laboratories

Dr. Philip J. Anthony

Head, Optoelectronic Devices, AT&T Bell Laboratories

Dr. Kinichiro Ogawa

Department Head, Advanced Lightwave Subsystems Design,

AT&T Bell Laboratories

3. 所在地： Route 222, Breinigsville, PA 18031-9359, U. S. A.

4. 調査結果：

ニューヨークのマンハッタンから車で約2時間、広漠とした平原のなかの小高い丘の上にAT&T Bell研究所のSSTC(Solid State Technology Center)がある。そこはすでにPennsylvania州であり、パンフレットによるとLehigh Valley(ただし、名刺のaddressはBreinig

svilleとなっている)と呼ばれる所である。AT&T Bell研究所は、実際にはここだけでなく幾つかの場所に散在しており、有名な所ではMurray HillやHolmdel等の研究所がある。これらの研究所は、通常、地名で区別されているか、ここだけは地名ではなくSSTCと呼ばれている。

このSSTCは、Bell研究所が光関係の研究を推進するため約1年前に本格的に活動を始めた新しい研究所である。Bell研究所で40年前に発明されたトランジスタに端を発したエレクトロニクス時代(Electronic Age)が終わりを告げ、来るべき情報の時代(Information Age)を担うキーテクノロジーとしての光技術(Lightwave Technology or Photonics)に対応すべく、新たに設立された研究所である。

4.1 AT&Tにおける光技術の概要と位置づけ

まず、C M Melliar-Smith氏より、AT&Tにおける光技術の概要と位置づけが示された。AT&Tでは、現在、4つの大部門を抱えている。電話やFAX等のCommunication Products、ミニコンピュータやUNIXを中心としたData Systems、電話回線サービスを行うCommunications Services、およびそのハードウェアを作るNetwork Systemsという4つである。光関係はNetwork Systemsの中のAT&T Microelectronicsに所属している。Bell研究所はこれらのグループとは原則として分離された組織になっているか、研究内容では広くこれらの分野に関係している。図1にその様子を示す。

AT&Tで光技術に取り組むようになったきっかけはやはり光ファイバであり、現在も光通信を中心として研究開発の中核をなしていることは間違いない。ただし、その研究は研究の進展とともに幅を増し、光コンピュータ等の開発にも着手している。AT&Tにおける研究の概要を表1に示す。

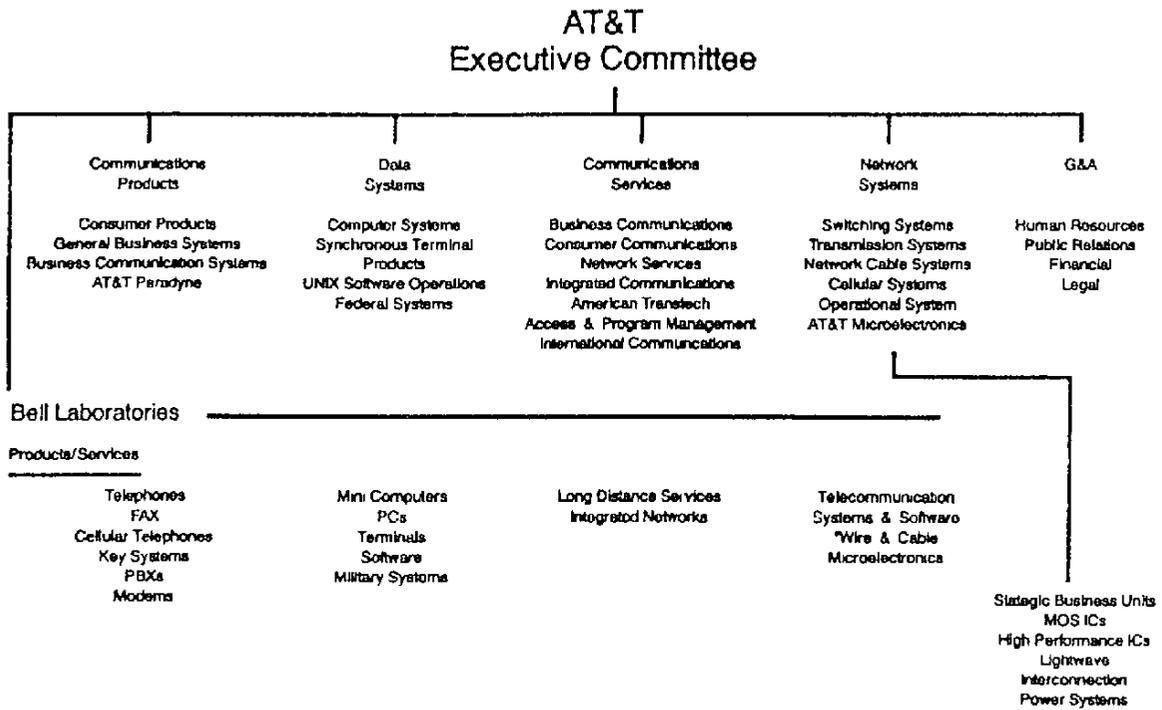


図1 AT&Tの組織と光技術の位置づけ (出典: AT&T)

表1 AT&Tの光技術 (出典: AT&T)

PHOTONICS IN AT&T	
FIBER/CABLE	MULTIMODE, SINGLE MODE, SPECIAL FIBER, CONNECTORS, APPARATUS, PREMISES DISTRIBUTION
SYSTEMS	LONGHAUL, LOOP FEEDER, LOOP DISTRIBUTION, SUBMARINE, DATACOM, CATV, MILITARY
DEVICES	LASERS, LEDs, PINs, APDs, PASSIVES, AMPLIFIERS, OPTICAL LOGIC, T/R SUBSYSTEMS (DIGITAL, ANALOG, COHERENT)
MANUFACTURING/MATERIALS TECHNOLOGY	VPE (ALL TYPES), CRYSTAL GROWTH, PACKAGING, TESTING
RESEARCH	ALL ASPECTS OF MATERIALS, DEVICES AND SYSTEMS WORK

4.2 高速光通信実験

続いて具体的な研究の紹介が3件あった。一つ目は、Dutta氏による高速光通信実験の紹介である。光ファイバ通信に有利な $1.0\mu\text{m}$ から $1.7\mu\text{m}$ の波長帯域の光による通信実験について説明があった。

送信側は、図2に示す構造を持つ $1.3\mu\text{m}$ のDFB(Distributed Feedback)レーザーである。実験では 20mW で 18GHz の周波数応答が得られており、agingのデータも示された。受信側にはavalanche photodiodes(APDs)あるいはPIN photodiodesを用いている。APDは、InGaAs/InP separated absorption and multiplication(SAM)タイプのプレーナ型である。説明では実験室レベルの研究から信頼性テストの段階にきていることが強調され、ライフタイムのテストによると促進試験の結果を 30°C に換算すると 10^4 年以上持つとのことであった。信頼性テストは 8Gb/s で 43km の伝送実験が行われ、 $10^{-5}\sim 10^{-10}$ 程度のエラーレートが得られている。また、PIN photodiodesを受信側に用いた場合には、 22GHz の周波数応答が得られており、これを用いて図3のような実験系により、 16Gb/s で 65km の通信実験が示されている。この結果が図4であり、最終的に $1\text{Tb/s}\cdot\text{km}$ の通信が実現されている。実験室レベルあるいはテハイスレベルではなく、システムレベルで検証が行われている点が評価に値するものと考えられる。

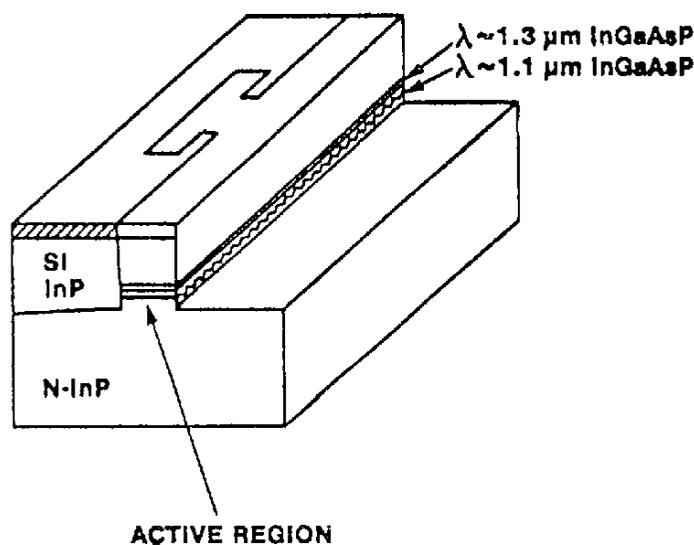


図2 $1.3\mu\text{m}$ DFB レーザー (出典 AT&T)

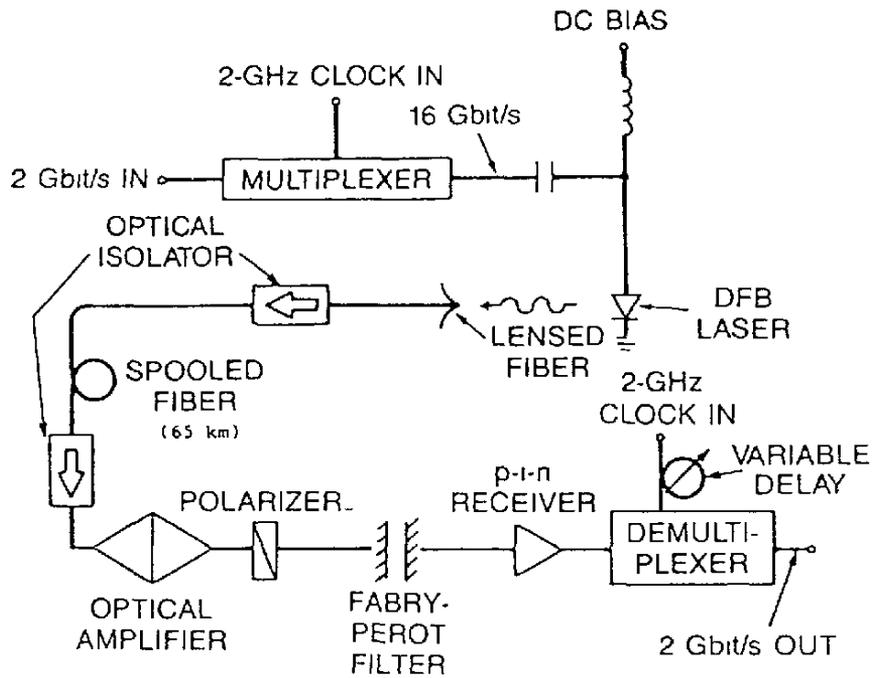


図3 テラbit-km 伝送の実験系 (出典: AT&T)

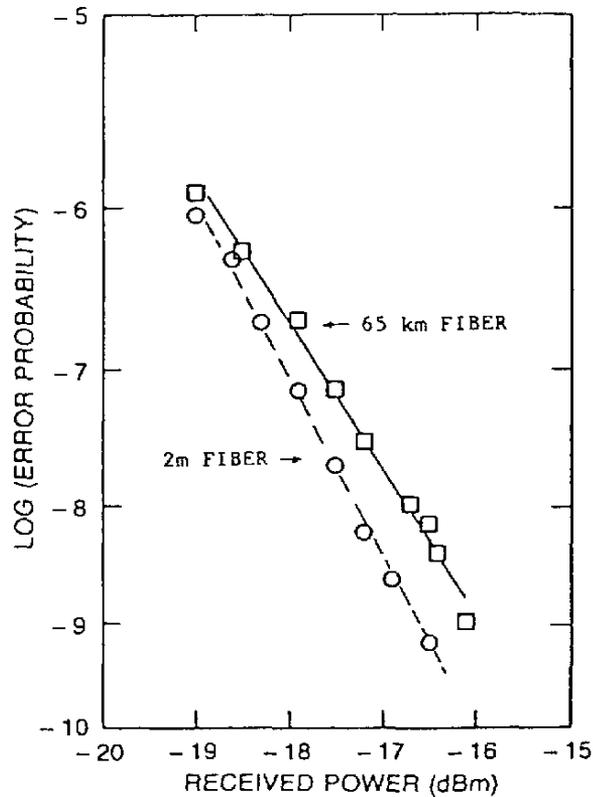


図4 テラbit-km 伝送の実験 (受信パワーとエラーレートの関係) (出典: AT&T)

4.3 コヒーレント通信実験

続いてPark氏より、コヒーレント通信のフィールドテストの結果が示された。コヒーレント通信の利点は、きれいなスペクトルを持つため消費電力も少なく感度やノイズに対する安定性もよいということである。コヒーレント通信の概念図を図5に示す。この図に示されるように、主としてFSKによる信号は局部発振器の信号とミキシングされ、フォトディテクタにより検出される。この際中間周波数はノイズが最小になるように決定される。具体的な回路を図6に示す。レーザーにはDFBレーザーを用い、検出にはPolarization Diversity Receiverを用いている。

これらを用いて、実際に1.7Gb/sの伝送レートで50km離れた地点間のフィールドテストを行っている。世界で初めてフィールドテストに成功したとのことであった。結果を図7に示す。光パワーが-32.5dBm~-35dBmで一日に1エラー以下に抑えることかできた。Park氏に言わせるとアメリカは実用化は遅いと言われてきたか、我々は早かったとのことである。

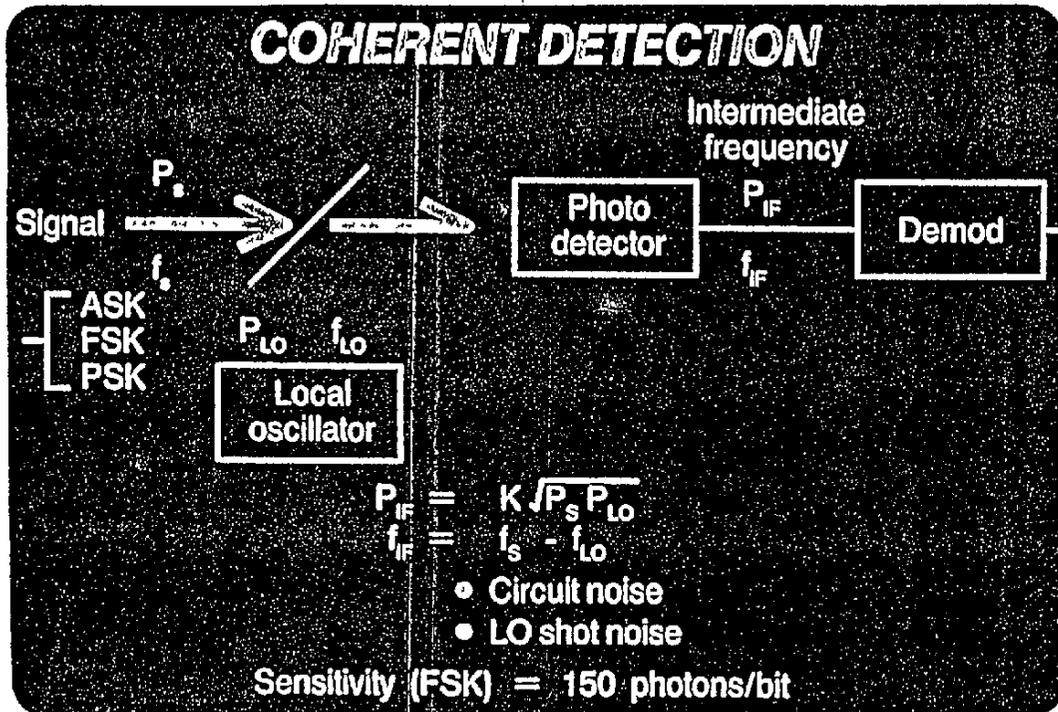


図5 コーヒーレント通信の概念図 (出典: AT&T)

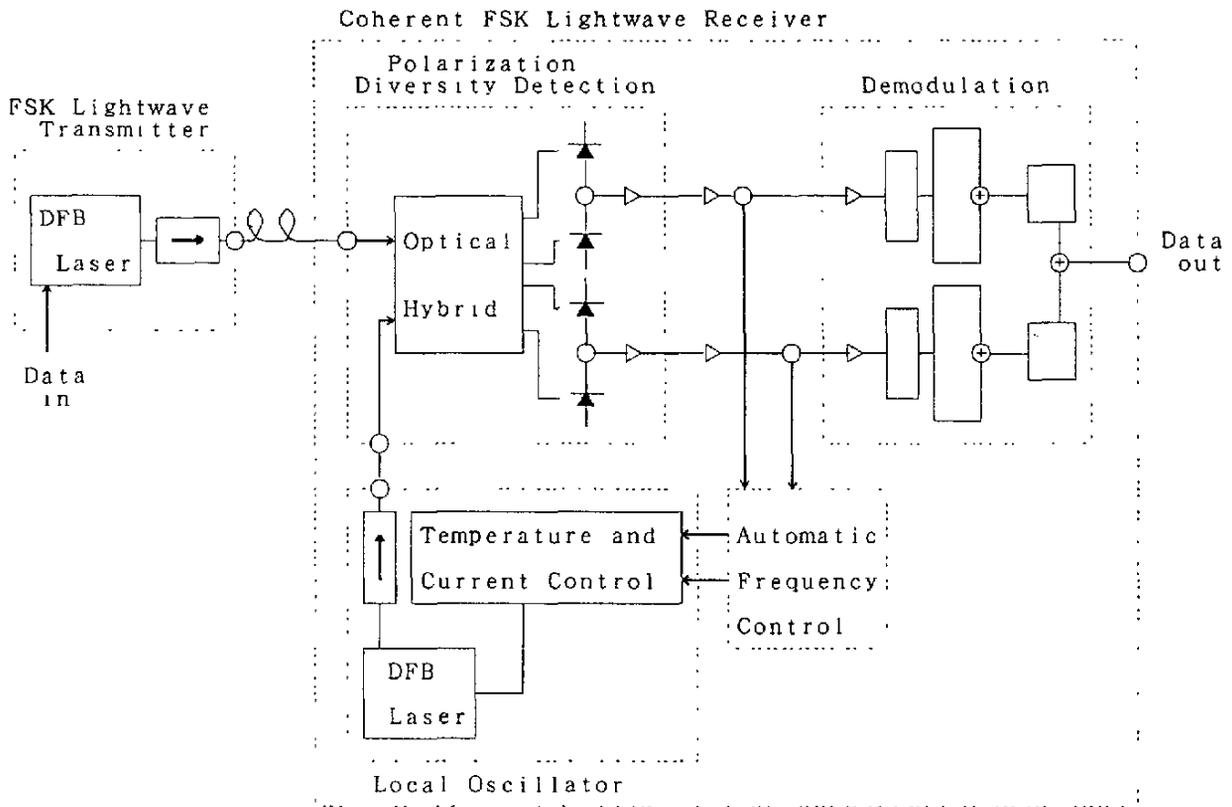


図6 コーヒレント通信回路 (出典: AT&T)

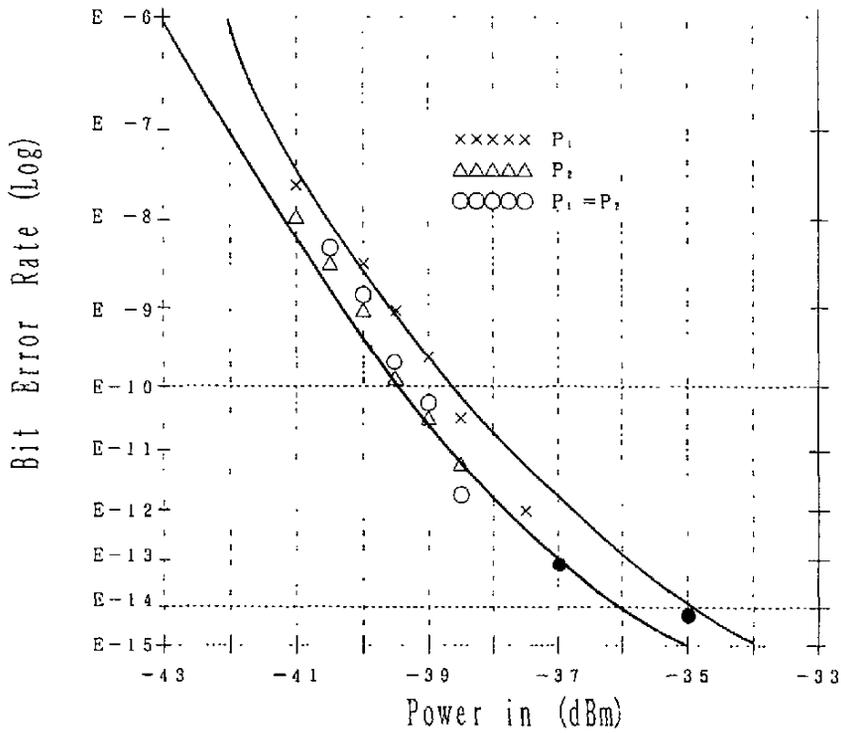


図7 コーヒレント通信のフィールド実験結果 (出典: AT&T)

4.4 光スイッチング

続いてAnthony氏より光スイッチングデバイスについて説明があった。まず図8を使って情報処理システムの進歩のステーションが示された。これによるとエレクトロニクスによる情報処理システムに比へて、光による情報処理システムは伝送のレベルは過ぎているかまたコントロールがきかない状態であるという。つまり図9に示すようにエレクトロニクスではすでに完成された技術であるスイッチングも光に対してはまた実験レベルのものが多いという。では、何か光の魅力かという、表2に示すように容量性の遅延がないとか自由空間での相互接続の可能性といった通信分野での成功によって裏付けられた特徴をそのままあげることかできる。しかし、そこには弱点もあり表3に示すようにシリコンとの対決や技術としての複雑さ、記憶の問題や相互作用のなさなどが問題になる。

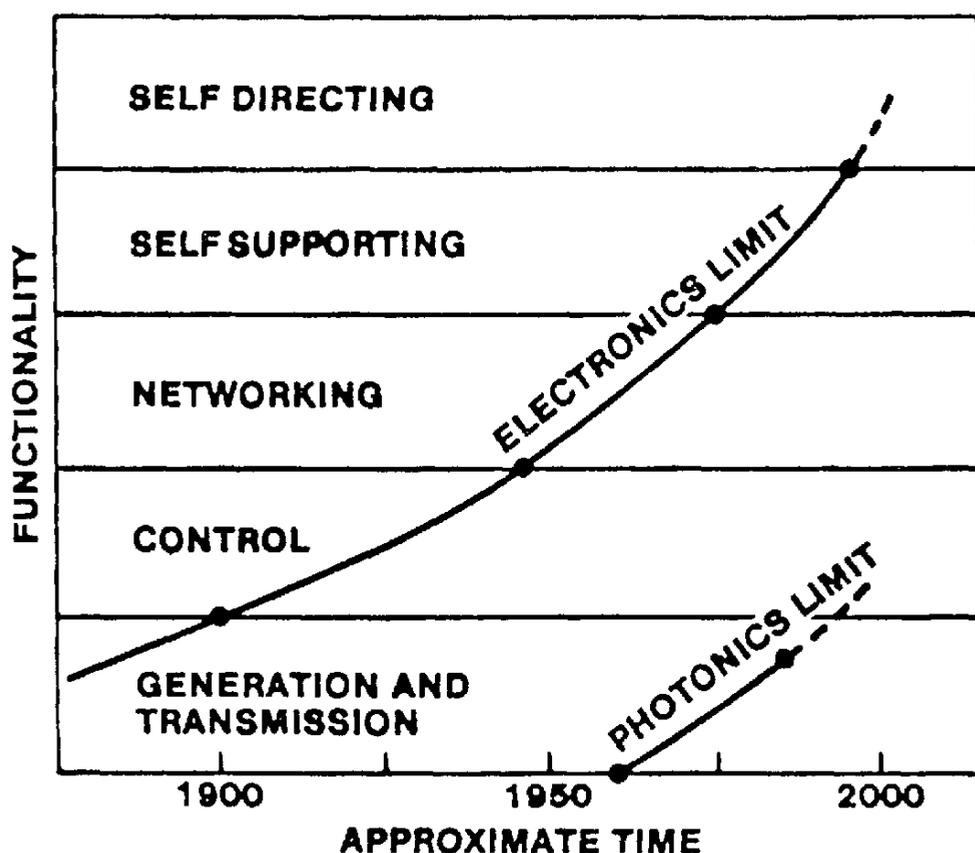


図8 エレクトロニクス技術と光技術の技術的ステーションの違い (出典: AT&T)

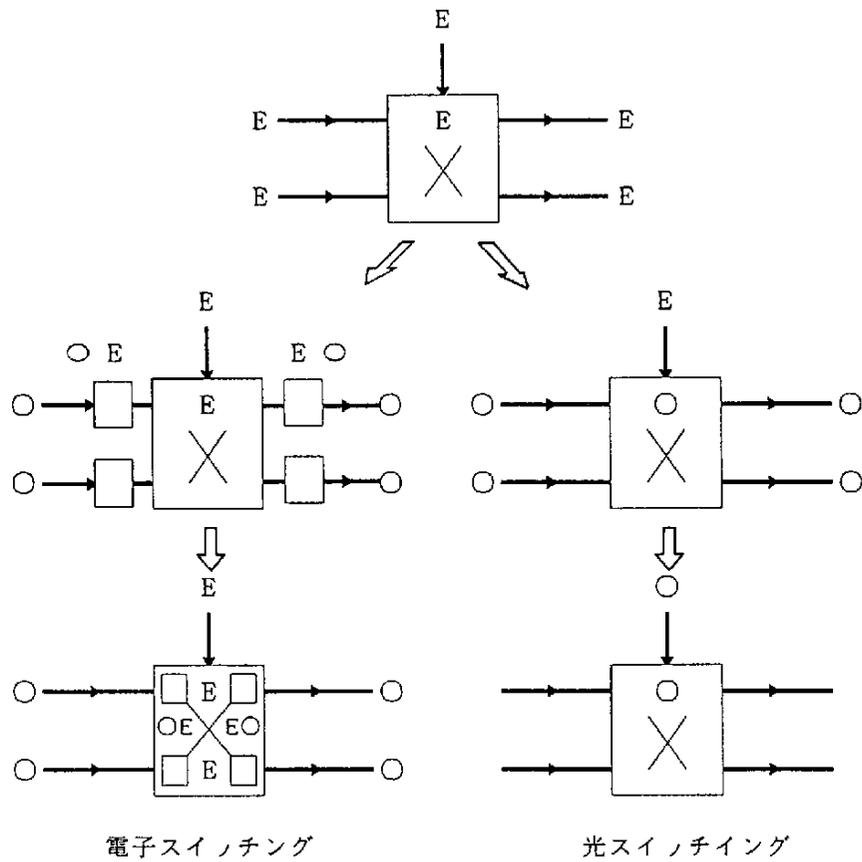


図9 光スイッチングの流れ (出典: AT&T)

表2 光スイッチと光演算における長所 (出典: AT&T)

- Noise Immunity
- No ground Loops
- No line capacitance
- Low loss
- Parallel interconnects(free space)
- Very high bandwidth interconnects

表3 光スイッチング技術の限界 (出典 AT&T)

- Competition with Si IC s for almost all applications
- Complexity of adding new technology
- Ease of availability of optical power
- Memory
- Weakness of optical interactions

そのような状況の中でこれらの問題点を解決するものとして、Bell研究所ではSEED(Self Electrooptical Effect Device)を開発している。このSEEDは、原則としてMQW(Multiple Quantum Well)デバイスであり、図10に示すように2つのデバイスを対象に置くことによって種々の機能を安定に実現している。現在種々の大きさの素子を開発しているが、1チップに2000素子程度まで実現できる技術が蓄積されている。スイッチング時間は100ns以下でスイッチングエネルギーは0.8pJ程度が実現されており、図11に示す光の限界に近い値である。

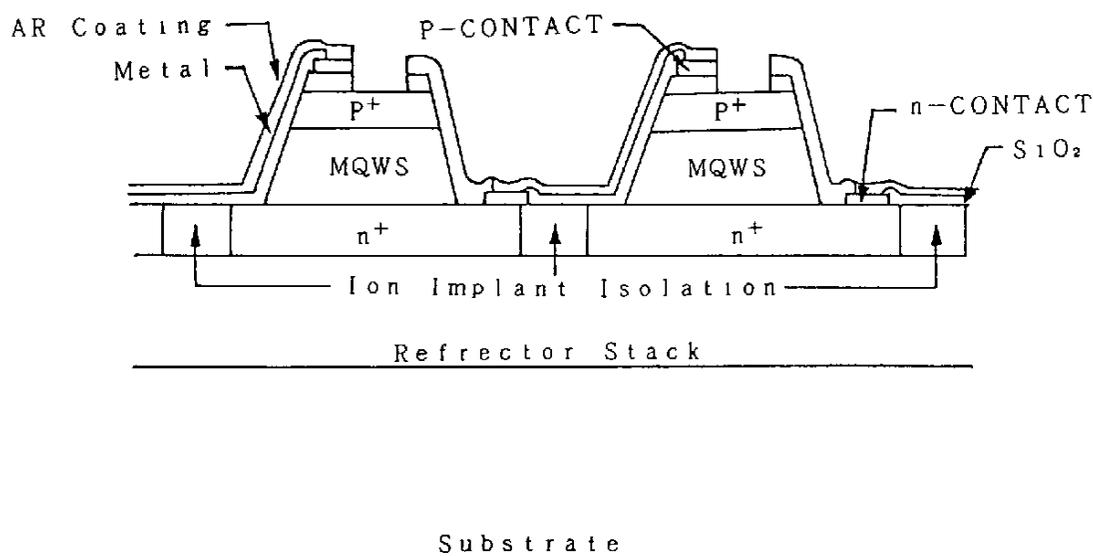


図10 対称型SEEDの構造 (出典: AT&T)

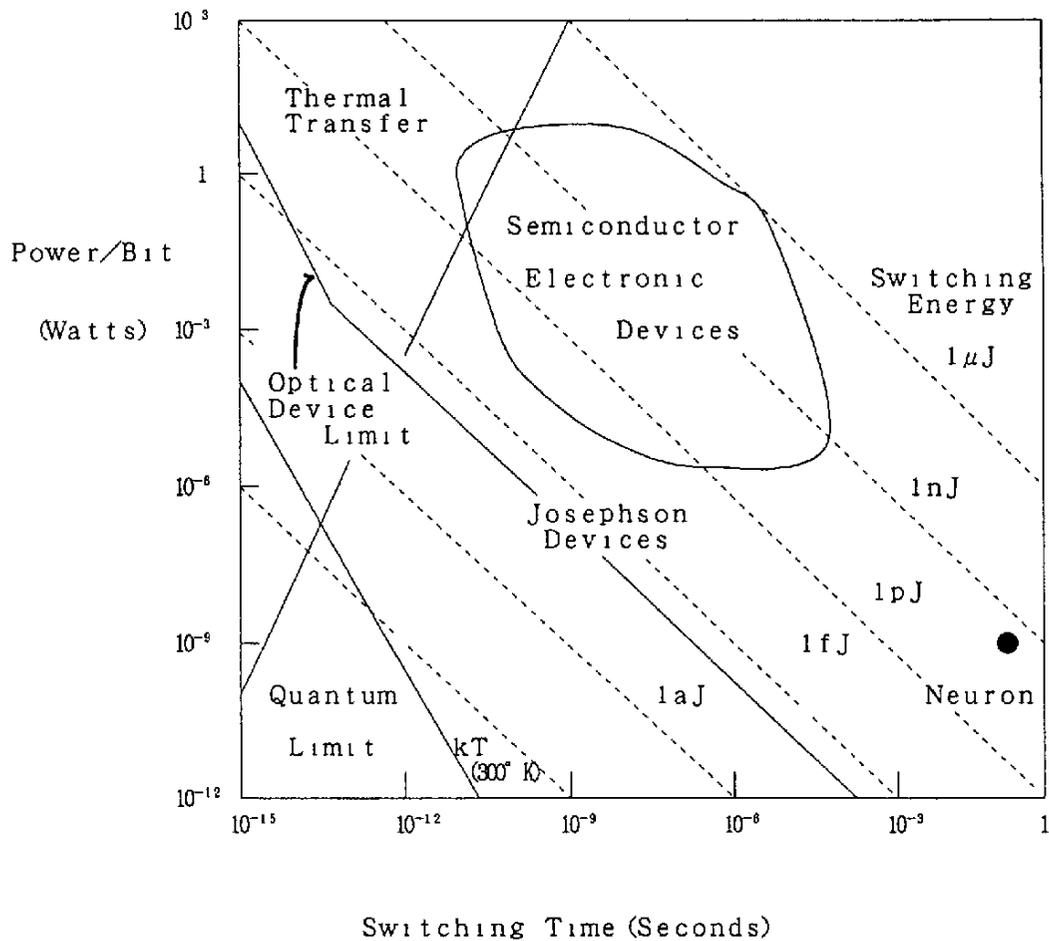


図11 光技術と電子技術の比較 (出典 AT&T)

4.5 討論

その後、SSTCの見学(研究の見学は上述したPark氏のところだけで主として建物の見学であった)のあと、こちらから日本の光技術の紹介を行った上で討論を行った。討論では、AT&TのOptical Computingに対する姿勢を聞いたか、かなり積極的な姿勢であることを強調していた。また、将来性も期待をかけているとの回答であった。特に論理デハイスに自信があるように例えば「新情報処理」における研究交流もアーキテクチャレベルでの交流を中心として、原則的に歓迎とのことであった。

5 感想

光技術を中心として次世代の情報処理システムに対する考え方を調査したわけであるが、予想されたとおり通信を主体にとらえているようである。光技術としてはすでに実績のある光ファイバ通信を中心に展開していくのは当然のことであり、むしろ注意しなければならないのはその展開の幅である。プレゼンテーションがあった中ではSEEDかその視点に注意を払っているのか目を引いた。

しかし、今回の調査でBell研究所のすべての考え方を代表しているかということそうでもない。なぜなら、今回の担当者は、主としてテハイスの研究部門に所属しており、アーキテクチャレヘルの話はまったくなかった。ちなみに同じBell研究所の中でニューロチップを手掛けているグループのことを聞いてみたか、研究内容や担当者の名前をあげてもまるで知らないとのことであった。彼らも言っていたか、またテハイス技術だけでもやることか多く、アーキテクチャレヘルとのキャップは大きいという印象であった。

ただ、彼らの光技術への期待は想像していた以上に大きい。研究所のパンフレットをみると彼らか抱く光技術への夢かいろいろと書かれており、光コンピュータについても従来のコンピュータより1,000倍速いものを作るという目標か掲げられている。また、少しずつはあるか光コンピュータのイメージ作りも着々と進んでいるようである。イノベーションに対して保守的でないところか見ていてすかすかしい。

[石川 正俊]

6 参考・入手文献

[1] OHPのコピー一式

[2] AT&T Bell Laboratories, Solid State Technology Center 概要紹介パンフレット

2. CalTech (California Institute of Technology)

1 訪問日 1990年 1月11日(木)

2 面接者 (1) Prof Amnon Yariv, Applied Physics

Dr Aharon Agranat

(2) Prof Demetri Psaltis, Electrical Engineering

Mr Alan Yamamura

3 所在地 California Institute of Technology,

Pasadena, CA 91125, U S A

4 調査結果

4.1 CalTech におけるニューロサイエンスの研究の概要と教育体制

(1) 研究の概要 今回訪問したA Yariv教授、D Psaltis教授の他にも、J Hopfield、C Koch、C Mead、V Essen、J Bower教授等、ニューロサイエンスの様々な分野で世界的に著名な教授が揃っている。具体的研究テーマもニューラルネットワークモデルの研究、シミュレーション技術の研究、視覚および聴覚システムの実験およびモデル化の研究、マシニングなどへの応用を目的としたアナログVLSIの設計と試作、ニューロン回路およびSI-LSI回路の理論、光ニューロコンピュータ、並列計算機など多岐にわたる。研究に関しては CalTech内あるいはJPL(Jet Propulsion Lab)と適宜協力している。

(2) 「計算とニューラルシステム」と題するPhD学生用プログラムを数年前に始めた。このプログラムは、多学科(電気、数学、物理、生物、計算機など)にまたがる横断的なカリキュラムで、PhDの学生がニューロバイオロジー、情報理論、計算機ハードウェア、ソフトウェア、SI-VLSI技術、光技術など幅広い分野の知識と研究素養を獲得することを目的としている。

4.2 Yariv研究室

4.2.1 研究の概要

Yariv 教授は、光エレクトロニクス研究のパイオニアの一人として著名な教授で、過去、

半導体レーザ、OEIC（光電子集積回路）、位相共役素子等の分野で先駆的な研究成果を輩出している。現在の具体的研究テーマは以下の3分野に分類される。

(1) 光エレクトロニクスデバイス

光通信、光情報処理への応用を目的として、化合物半導体を用いた先端光デバイスの研究を進めている。結晶成長には、GaAs系にはMBE(分子線エピタキシャル結晶成長法)とLPE(液相エピタキシャル結晶成長法)を、またInP系に対してはLPE法を用いている。最近は主に量子効果光デバイスの研究を中心として、それらの概要を以下にまとめる。

- ①超高速光デバイス・GaAs系量子井戸構造を用いた電極分割型モートルック半導体レーザによる超短パルス列(パルス幅=2.4ps、周期=108GHz)の発生。
- ②広帯域波長チューニングデバイス GaAs系量子井戸レーザと波長選択用回折格子による発振波長の広帯域チューニング(発振波長~800nm、チューニング幅~120nm)。広帯域波長チューニングレーザの集積化の提案。
- ③半導体レーザ 単一量子井戸構造を用いた超低しきい値半導体レーザ。発振波長~850nmのGaAs/AlGaAsレーザでは、しきい値電流 $I_{th}=0.55\text{mA}$ (端面反射率=80%)、発振波長950nmのInGaAs/AlGaAsレーザでも、 $I_{th}=0.9\text{mA}$ (端面反射率=85%)を達成。
- ④その他 量子効果を応用した光電子デバイスとして、波長 $10.6\mu\text{m}$ の赤外線検出素子およびトンネル注入デバイスの研究。

(2) 非線型光学

BaTiO₃(チタン酸バリウム)、SBN(ストロンチウム・バリウム・ナイオヘイト)などの光屈折性誘電体結晶の光学的物理現象、非線型光学デバイスおよび画像処理への応用に関する研究を進めている。

- ①光屈折性結晶 外部制御電圧により特性(回折効率)が変化する新しい光屈折性結晶(kTN ポタンウム・タンタレイト・ナイオヘイト)を試作。最大回折効率>50%、応答周波数 $\leq 20\text{kHz}$ 。
- ②光屈折性効果を利用した光情報処理・モータスクランブラと光屈折性結晶(BaTiO₃)を利用した一種の光分散記憶装置による欠落画像の回復。
- ③その他 超格子(化合物半導体)構造の非線型光学

(3) ニューラルネットワーク

1986年に世界に先駆け、ホログラムと位相共役ミラーを利用した光連想メモリを発表したか、最近では CCDやフォトタイオードを基本素子に用いた光電子ハイブリッド型ニューロチップの研究を行っている。

①光ニューロチップ：Si-CCD を利用した256ニューロン素子を試作し、その基本動作の測定に成功。但し、光てンナプス結合強度を書き込む本格的実験は今後の課題。

4.2.2 注目すべき研究成果

①広帯域波長チューニングレーザ

最近、発振波長か注入電流によって可変のチューナブル半導体レーザの研究か盛んである。しかし、従来報告されているチューニング幅は数nm~10nmである。Yariv教授等は、量子井戸構造の波長に対する光利得特性か、高電流注入（高励起ポンピング）によって平滑化、広帯域化されることを利用した広帯域チューナブル半導体レーザの提案、試作を行っている。実験に用いた構成図を図1(a)に示す。井戸幅75 の単一量子井戸レーザに高電流($>1000\text{A}/\text{cm}^2$)を注入し、外部回折格子を回転して発振波長を選択する。GaAs/AlGaAsレーザに対して、中心発振波長~800nm、チューニング幅~120nmを得ている。また、70nm以上の広い領域にわたって、200mW(パルスモード)以上の高出力パワーか得られている。

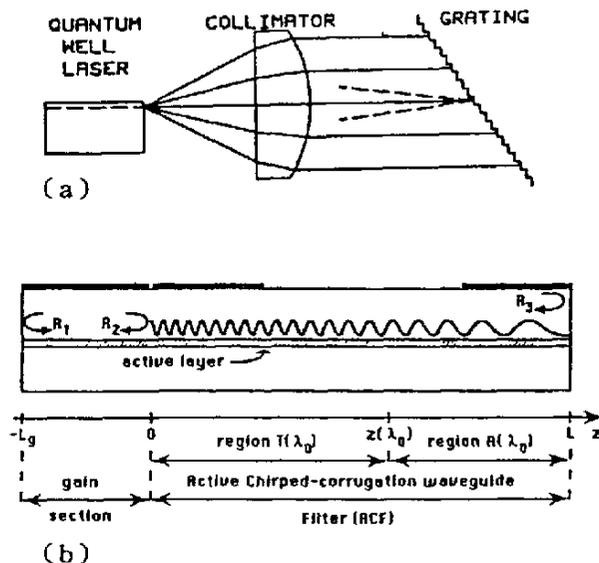


図1 広帯域波長チューニング半導体レーザの構成図。

- (a)量子井戸レーザの利得平滑化と外部回折格子による
- (b)集積化広帯域波長チューニングレーザ

さらに、図1(b)に示すように、広帯域波長チューニングレーサのモノリシック集積化の提案をしている。外部回折格子の代わりに、素子内部にチャープ状の回折格子を形成し、これを発振波長選択用アクティブフィルタとして用いる。現在、チューニング特性の計算機シミュレーションが進められている。

②位相共役素子を用いた画像処理

位相共役光学は、コヒーレント光学の比較的新しい応用分野である。ある入射光に対して、何らかの方法で、位相すなわち波面が反転した光波を発生して、入射光と逆向きに伝播させる機能を持つ素子を位相共役ミラーと呼んでいる。従来、位相収差媒質（例えば、大気の擾乱等）を通過して歪んだ画像が、位相共役ミラーの作用によって回復できることが報告されている。

最近、Yariv教授等は、位相歪のみでなく画像の一部が欠落した情報（位相歪に対して振幅歪に相当する）をも回復する光システムの研究を進めている。実験システムを図2に示す。

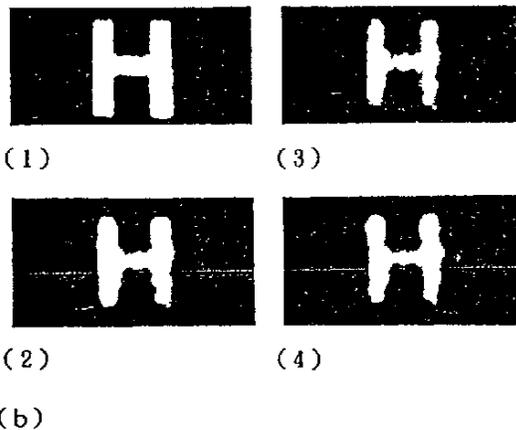
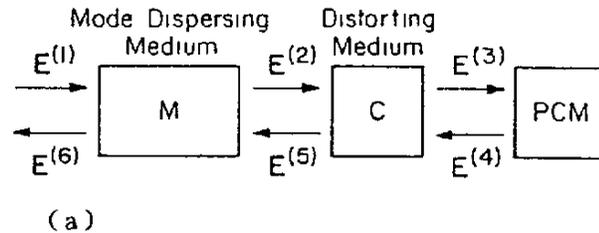


図2・モートスクランブラと位相共役ミラーによる欠落画像の回復。

(a) システムの構成図、(b) 実験例。

(b)において、(1)は完全画像、(2)は完全画像の位相共役像、

(3)(4)はそれぞれ23%、53%の欠落があったときの回復像。

従来の位相共役ミラーとモートスクランブラ（本実験では多モートファイバを利用して）を組み合わせた構成である。ここで、モートスクランブラは短期分散記憶装置として働く。動作原理は、以下のとおりである。まず入射画像情報はモートスクランブラによって多くのモートに分散され、それぞれモート固有の角度で放射される。この時、スクランブラの効果ですべてのモートか入射画像情報を記憶していることかポイントである。したがって、モートスクランブラと位相共役ミラーの間に障害物か存在して、一部光か遮断されても、生き残った光か位相共役ミラーに入射、反射され、再びモートスクランブラを逆向きに伝播することにより、完全な画像か復元される。

③光電子ハイブリットニューロチップ

図3(a)に、CalTechのYariv教授等か提案する、CCD(Carge-Coupled-Device)をノナプス結合素子用いた光電子ハイブリット型のニューラルネットワークの構成図を示す。連想機能を目的とした完全結合型のネットワークである。ノナプス結合行列は、空間光変調素子を透過した光情報を2次元CCDアレイ上に並列に照射し、CCDの各井戸に光強度に対応した電荷を誘起、蓄積させることによって得られる。図3(b)に、CCDチップに形成された信号処理系を示す。CCDに蓄積された電荷は、1次元のANDゲートに逐次転送され、その出力はアキュムレータで時間積分される。アキュムレータ出力はしきい値処理された後、ANDゲートのもう一方の端子に帰還される。この連想ニューラルネットワークをクロックレート10MHz、解像度1,000×1,000のCCDを用いると、理論的にニューロンの状態更新速度 10^{-4} secか得られる。

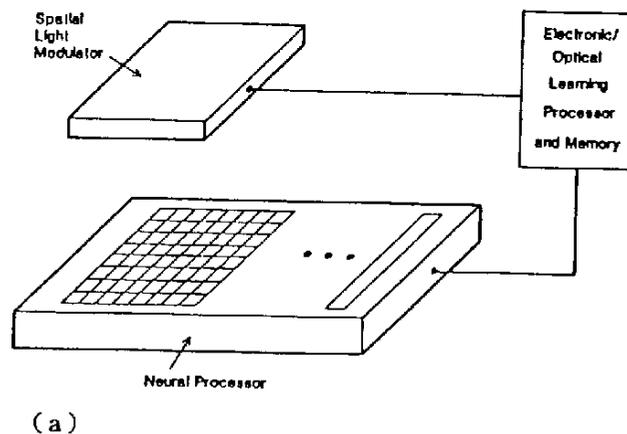
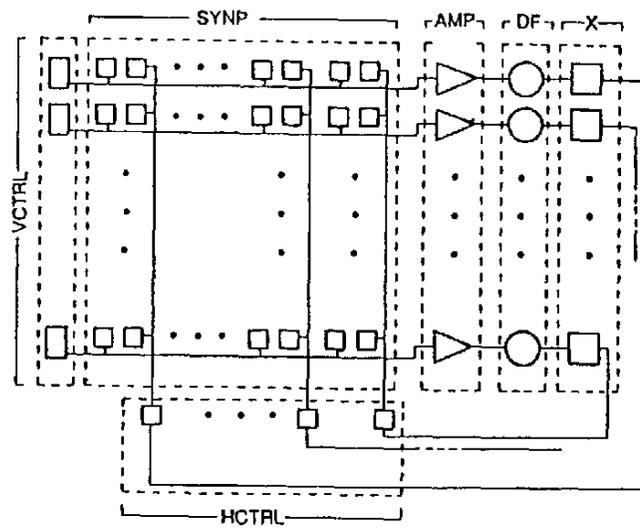


図3 CCDを用いた光ニューロチップ。

(a) CCDへのノナプス結合行列の光学的書き込み法



(b)

図3：CCDを用いた光ニューロチップ (b)信号処理系の構成図

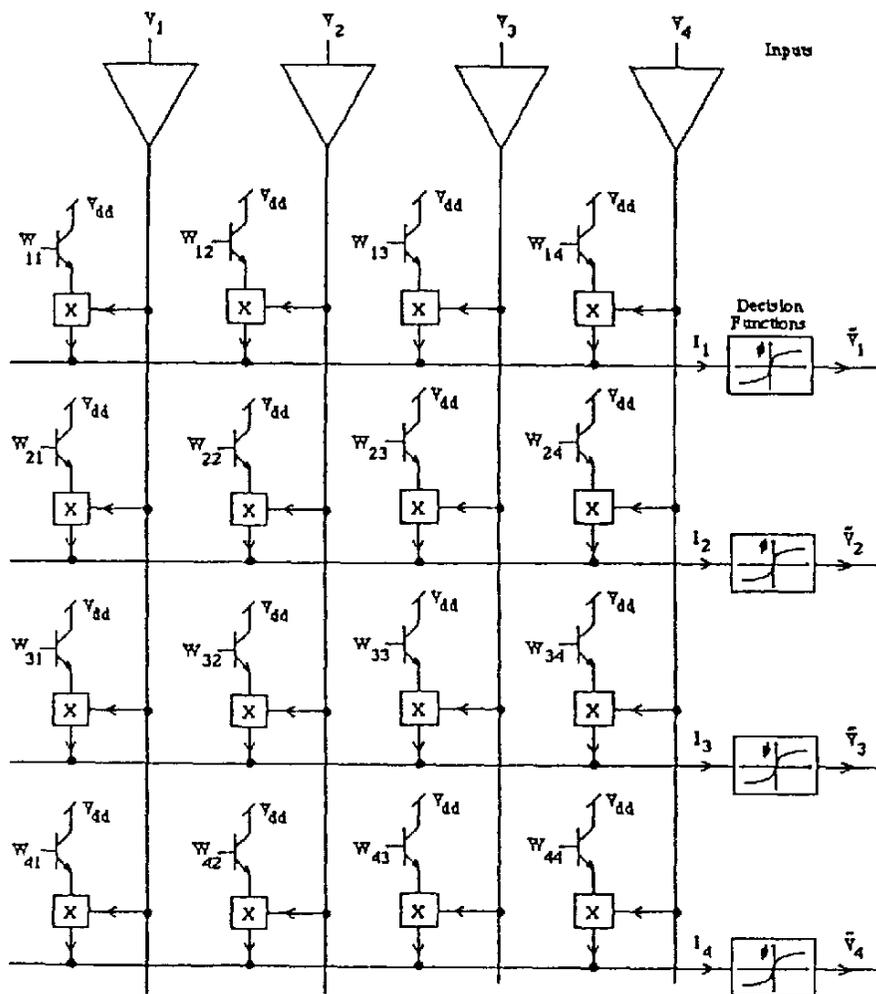


図4：フォトトランジスタアレイを用いたニューロチップの構成図

今回試作されたチップは、ニューロン数 256、シナプス結合数 65,536 のネットワークである。CCD にシナプス結合行列を電氣的にアドレスする方式の予備実験が報告された。その結果、アドレス時間 = 0.5ms、演算速度 = 0.5×10^9 connections/sec を得ている。

Yariv 教授等はさらに、CCD アレイを、フォトトランジスタと FET をマトリクス状に集積化したネットワークで置き換えたチップを提案している。図 4 にチップの構成図を示す。シナプス結合行列のアドレスばかりでなく、ヘクトル/マトリクス乗算も完全並列に行うことを目的にしている。MOSIS $3\mu\text{m}$ ルールで、ニューロン数 32、シナプス結合数 32×32 、シナプスサイズ $50 \times 50\mu\text{m}^2$ のチップを作製し、3 ニューロン分を利用して、光アドレス方式で 2 層構造の XOR 回路の試作に成功している。

今後、シナプス結合行列を光学的に書き込む空間光変調素子の開発と、その実装法が技術的問題と思われる。

4.3 Psaltis 研究室

4.3.1 研究の概要

Psaltis 教授は、長年、ホログラムや音響光学素子を用いたアナログ光情報処理の研究を続けている。特に、光ニューラルネットワークのパイオニアとして知られている。現在も光ニューロコンピュータの研究を、様々な角度から精力的に進めている。

① ホログラムの応用

BaTiO₃ や LiNbO₃ (リチウムナイオヘイト) 等の光屈折性結晶、すなわち実時間体積ホログラム材料を、ダイナミックなシナプス結合素子に用いた光ニューラルネットワークの研究を進めている。ホログラムの中に形成される回折格子を一つのシナプス結合素子に対応させると、理論的に $10^{11} \sim 10^{12}$ connections/cm² のシナプスを実装できる。この能力を実現するための基本実験を行っている。

② 光ディスクの応用

光ディスクのニューラルネットワークへの応用を提案している。高密度、大容量の光ディスクをシナプス結合強度の記憶素子に利用するアイデアで、特に、画像認識への応用を考えている。5 インチ、 $1\mu\text{m}$ スペースの光ディスクは 10^9 ビットの容量があるので、計算機ホログラムの技術を用いると、各々 100 万の画像を約 1,000 枚蓄積できる。光ディス

クの並列読出しを行うために、フォトタイオードとMOS トランジスタで構成されたニューロン数11のチップも試作し、光ディスクと組み合わせた実験を進めている。

4 3 2 注目すべき研究成果

① 光相互連想メモリ

実時間ホログラムに用いた相互連想メモリの研究を行っている。相互連想メモリとは、情報Aから情報Bを、又は情報Bから情報Aを連想想起するメモリである。基本構成図を図5に示す。情報の書き込みは、入力面および制御面から、それぞれ情報A、情報Bのレーザ光を光屈折性結晶に露光してホログラムを作ることによって行われる。一方、情報の読み出しは、制御面から情報Bを結晶に照射することにより行われ、出力面に情報Aが想起される。この時、読み出し用の情報Bは、不完全情報でも完全情報Aが得られる。このような操作を複数のペアの情報に対して繰り返せば、一つの結晶中に大容量の情報を蓄積できる。数字1、2、3から一、二、三を相互連想する実験がなされている。

この連想メモリは、ホログラムが發明されて以来提案されているか、最近の成果は、光屈折性結晶技術の発展によって、書換えが可能になったことである。

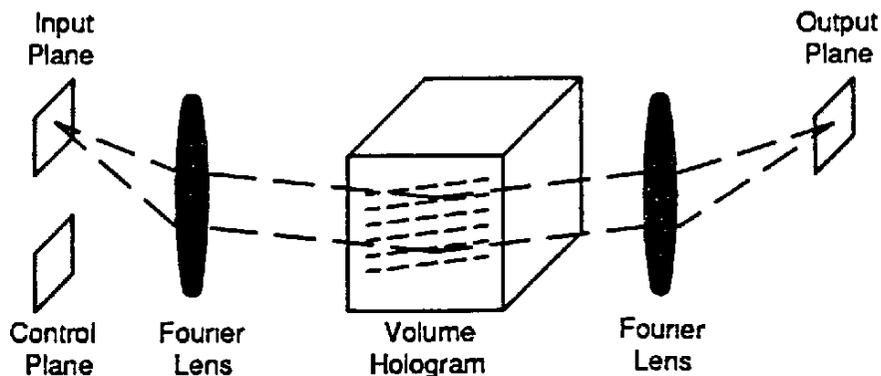


図5 . 実時間体積ホログラムを用いた相互光連想メモリの原理図

入力面と制御面にある情報A、Bがホログラムに蓄積される。

情報Aを入力すると情報Bが、また情報Bを入力すると情報Aが出力面に現れる。

② 光パーセプトロンの基礎実験

入力パターンを分類する機能を、学習により自己組織化するパーセプトロンに類似した

光ニューラルネットワークの基礎実験を進めている。図6に基本構成図を示す。入力画像を入力面に提示して、光の干渉効果を利用して、光屈折性結晶内に回折格子を形成する。光ビーム2を遮断して、光ビーム1で読み出すと、そのエネルギーの一部は回折され、光検出器／比較器でそれぞれ光電変換、しきい値処理される。図において、入力画像の画素の各々か入力ニューロンに、各画素か結晶内に作る回折格子の回折効率かノナプス結合強度に、また、光検出器／比較器か出力ニューロンに対応する。このシステム機能は、様々な入力画像を、比較器出力（0か1）として分類することである。

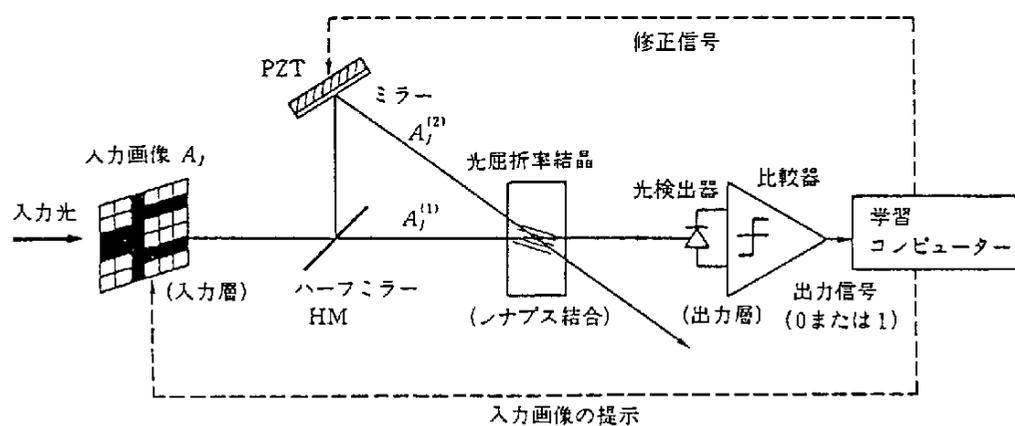


図6 . 実時間体積ホログラムを用いた階層型ニューラルネットワークの基本構成図
理論的には、 1 cm^2 のホログラムに $10^{12}\sim 10^{14}$ 個のノナプスを搭載できる。

学習は、次のように行われる。ある入力画像に対して出力が正しければ次の画像の提示に移る。もし、正解が0（1）であるのに出力が1（0）のときには、光検出器での受光パワーが大きすぎる（小さすぎる）わけであるので、ミラーに付けられたPZTに電圧V（0）を一定時間だけ印加して、干渉縞の変調度を0（1）とし、回折格子を弱く（強く）する。このような修正を何度か繰り返すと、ネットワークは、すべての入力画像の集合に対して、正しく答えるようになる。実験結果によると、188回の画像の提示によって、15の画像（ピクセル数100）が正しく分類された。

また、 LiNbO_3 導波路技術を用いて、上記システムのチップの試作も進めている。

③光ディスクの利用

図7に光ディスクと光電子ハイブリッドニューロチップを用いた多層光ニューラルネットワークを示す。光ディスクは各層間のシナプス結合行列の記憶素子として働く。アナログチップには、フォトダイオードとトランジスタで構成されたマトリクス状のシナプス素子が集積化されている。また、電子回路で構成された外付け入出力ニューロンは、このシナプスチップを介して配線される。

動作原理は次のとおりである。まず、光ディスクに一樣な光を照射して、第1層と第2層間のシナプス結合行列（ハイナリ）を並列に読み出し、チップ上に照射する。これと同期させて、入力ニューロンの出力ベクトルをシナプス素子アレイに入力すると、行列とベクトルの積和が得られる。これを、出力ニューロンでしきい値処理すれば、第2層の出力電圧が得られる。次に、光ディスクを回転して、同様の操作を繰り返すことによって、多層構造のニューラル処理が実現される。

例えば、ワンチップに 10^4 個のシナプスを集積化して、光ディスクのアクセス時間を $10 \mu s$ とすれば、 10^9 connections/sec の演算速度が得られる。

Psaltis 教授等は、図7に示すシナプス数 $15 \times 15 = 225$ のチップを試作して、ニューロン数11の3層構造の相互連想機能を持つ光ニューラルネットワークの基礎実験を行っている。

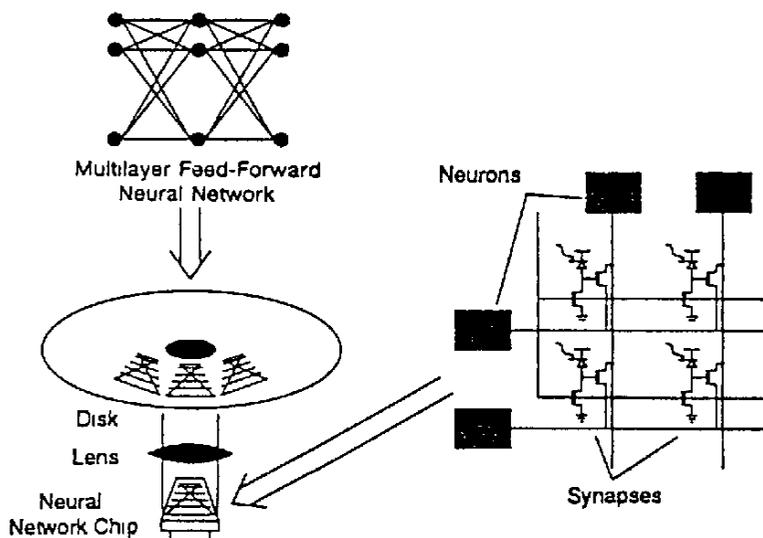


図7：大容量光ディスクをシナプス結合行列の記憶素子として用いた光ニューラルネットワークの概念図。光ディスクから読み出された情報は、フォトトランジスタとトランジスタで構成された光ニューロチップで処理される。

5 感想（その他の意見のまとめ）

① CalTechでは、数年前にニューロサイエンスに関する組織的な PhD学生用カリキュラムが作られている。このような新しい学問分野に素早く対応できる土壌は、今後、独創的研究成果を期待される我が国にとっても重要であろう。

② 「新情報処理」調査研究に関する意見

・個人的には興味があるか、参加の可能性に関しては、DARPA、NSFなどの意見を聞かねば発言できない。米国の大学と日本の企業が協力するのは奇異である。日本の大学はなぜ参加できないのか。成果の所有権はとうなるか。この膨大な研究範囲を実施するには、MITIはかなりの研究費を出さねばならないだろう（Yariv教授）。

・研究内容に非常に興味がある。また、出来れば参加したい。しかし、DARPAの承認が必要だろう。CalTechの内部でも相談したい（Psaltis教授）。

[久間 和生]

3. CMU (Carnegie-Mellon University)

1 訪問日 . 1990年1月18日(木)

2 面接者 James McClelland
David Servan-Schreiber
Axel Cleeremans
金出 武夫
富田 勝

3 所在地

Schenley Park, Pittsburgh, PA 15213, U S A

4 調査結果・

4.1 Dr John McClellandの研究室訪問

数人の大学院学生および post-doctorから最近の研究内容についてプレゼンテーションを受け、その後フリーディスカッションを行った。

① Servan-SchreiberとCleeremansによる文法発見アルゴリズムの研究について

ある文字列について、次に来る文字を予測するネットワークアーキテクチャをElmannのモデルに従って開発した。ネットワークは時刻 $t-1$ での情報を隠れたユニットとして用い、これを時刻 t での入力情報と一緒に activate することにより、時刻 $t+1$ での文字を予測する。

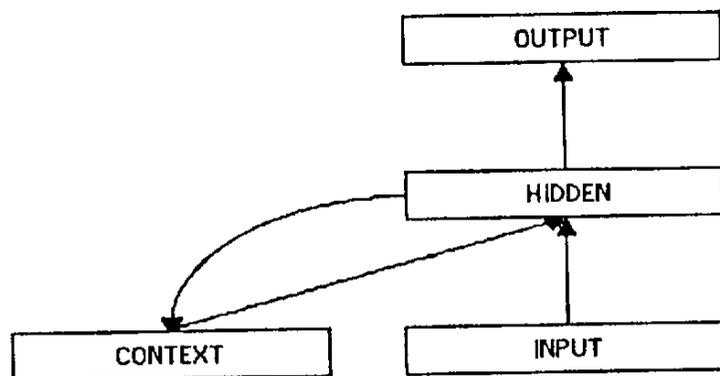


図1 文法発見アルゴリズム(a)

もしネットワークが正しい文法に基づいて入力された文字列の上で訓練された場合、このネットはやかて正しく次の入力文字を予測するようになる。しかしながら、このネットによる予測は完全な有限状態のrecognizerとなる必要はない。重要なのはこのネットワークが統計的に十分正しく次の文字を予測することである。

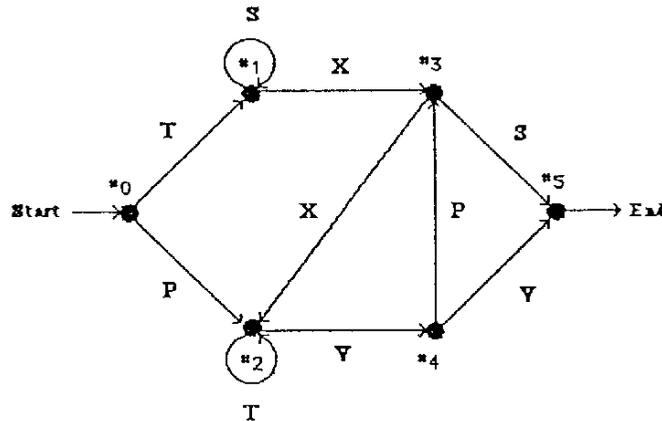


図2 文法発見アルゴリズム (b)

このシステムは、文字列を認識する際に、一つの文字列のうち離れた文字の間にある関係、すなわち間に幾つか余計な文字が入り込んでいるような文字列において、離れた位置にある文字間の関係を正しく推論する能力に特長がある。このような離れた依存関係は、その間の文字列と全く無関係なときは失われてしまいかちであるか、間の文字列と何か関係を保つとき比較的容易に依存関係を維持することかてきる。このような依存関係は自然言語文においても埋め込み文として存在し、それらは以前の情報と必ずしも無関係ではないため将来の解析においても有用となるはずである。

② Hinton 門下の学生による家系認識ネットワークの研究

5層のバックプロパゲーションを用いて概念の分散表現を学習するネットワークの研究についての紹介。概念と概念をある関係で結ぶということをネットワーク上で実現しようとすると様々な問題がある。特にロール(role)に幾つかのユニットからなるネットの一部を与え、そのロールにアサインされた概念をそのロールの中のユニットのとり状態て表現しようとする、一つの概念が様々なところで異なった表現をされることになる。これを回避するため、ロールのネットに対して、個々の概念のほうも一つのネットを与えておいて両者を結びつけることをロールアサインであると考えた方式をとる。

この方式に基づいて、2人の人間とその間の関係 (person-1 relationship person-2) の例を数多くネットに学習させ、person-1とrelationshipからperson-2を導出するネットを構成する。人間の間関係には図3の家系図を用いる。

図4は最下層においてperson-1とrelationshipが入力として与えられたときに最上層においてperson-2を出力した状態を示す。白い四角はユニットの活性度の状態を示す。

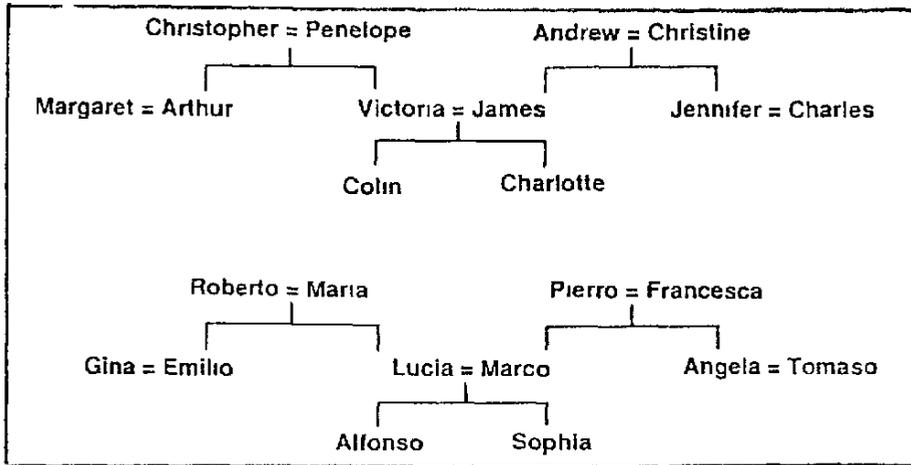


図3 家系図

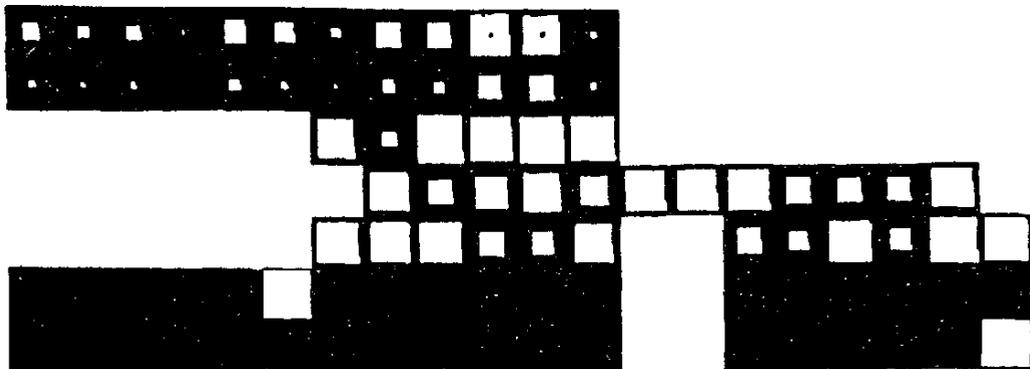


図4 最上層におけるperson-2の出力状態

図5は入力として与えるperson-1とrelationshipの状態を表す。白と黒の四角はそれぞれポジティブ、ネガティブの活性状態、大きさは活性度を表す。

なお、図3にはイギリス人名とともに同様な家系図を持ったイタリア人の家系図があるが、これは家系を学習させたときに同じネットを用いて人名だけイタリア人にしても同様に正しい関係が出力されることが示されている。

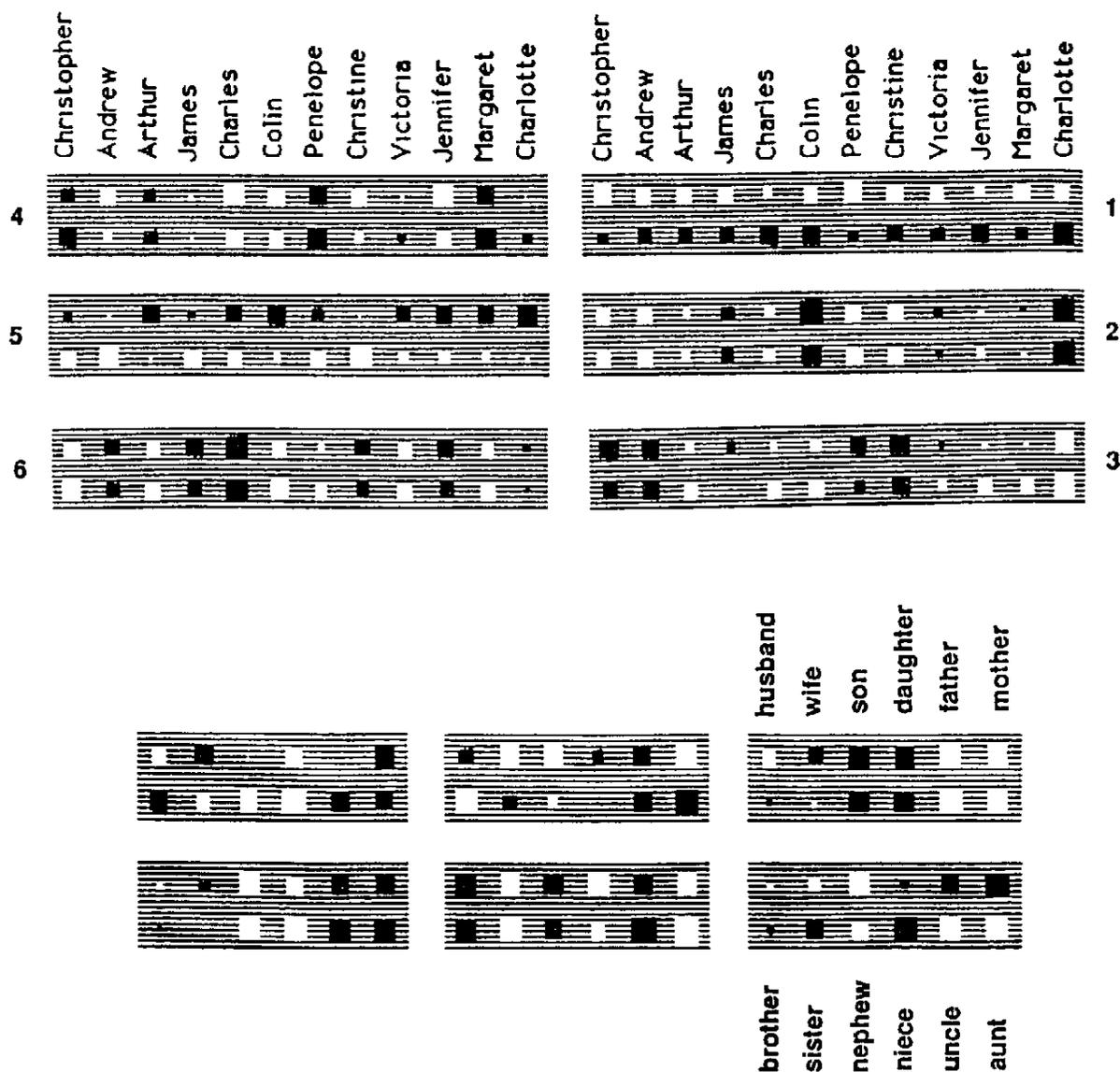


図5 person-1とrelationshipの状態

③ J McClellandとのディスカッション

J McClellandから最近のニューラルネットワークに対する関心と有望性に関する見解を聞いた。特にこれまでのノンホル計算のやり方では困難とされていたパターン認識などの能力に関してニューラルネットワークは確かに飛躍的な性能の向上を望むことができるという意見であった。

特に後半のディスカッションにおいては、これまでの人工知能のやり方との対比に関する意見を聞いた。すなわちニューロカ推論など高度な知能活動を記述するには不向きであることは既に一般的な意見であるかニューロとノンホル計算による人工知能との融合が可能であるか、というのか主たる話題である。McClelland自身は学問の進む方向としてやかては両者の接合が可能であろうし、またそうしなければ人工知能の実現はありえないということを示へたか、同時にまた、当面長期的展望に立って両者の研究を並行に進めていくしか現在は手かなく、その接合というのは今日や明日行かうような研究ではないことを強調している。

④ 学生のニューロコンピューティングにおける統計的安定性に関する研究

最近のニューラルネットワークの研究で重要な視点となっているのは、いわゆる「計算」というものの結果かこれまでのノンホル計算のように 1/0 のロノクではなく、安定性なと連続値をとる概念か計算の評価結果として入り込んできたことにある。ところかこの評価を行うための数学かいわゆる古典的な統計学であるため、計算機を動かした結果を評価する道具としてはまたまた不足な点か多い。ここでは計算結果か統計理論にのるためのよい制御のアルコリズムと同時に、逆に計算結果の安定性を計る道具としての統計をいかにコンピュータサイエンスに取り入れていくかという視点に立っての研究か紹介された。

4.2 機械翻訳センター訪問

機械翻訳のプロノクトはJ Carbonellと富田勝両教授により、1986年に開始された。メンバーは流動的であるかコンピュータサイエンスと言語学の両分野で数十人の研究者から成る。これまで文化系の独立した分野として研究されたきた言語学の成果を積極的に取り入れようというのかここでの思想である。ここの機械翻訳システムの特徴は、それか知識ベースに基づくものであることである。すなわちここでは言語に根ざした文法・単語と、翻訳システムか扱う対象領域の分離か試みられている。知識ベースは通常のフレームを用

いて概念定義を行う。すなわちフレーム間で継承関係、スロットなどか定義される。文法はLFG(Lexical Functional Grammar)をベースにしたものか用いられている。このルールは構文解析と文生成の両方向に使えるように工夫されている。これらを用いて「医者と患者の会話」という場面設定で翻訳システムか研究されたか、このシステムは現在音声認識とtalkシステムとも接合されて、音声入力・音声出力か可能になっている。

とま り
 苦米地氏が研究しているシステムのデモを見学した。主にシンボル計算とrecurrent network の結びつきについての試みを紹介された。苦米地氏自身はR Schankの流れを組む研究者で、Charniakなどの提唱したシンボル同志を結線してホトムアップに秩序を作るコネクショニストモデルに基づく機械翻訳システムの研究をしている。コネクショニストモデルはニューロと同様に並列分散を基調としたモデルであり、このあたりの研究はシンボル処理とニューラルネットワークの接点として今後大いに注目されるものと思われる。図6は単語情報を弁別するのに個々の語のもとにリカレントネットワークか動いているモデルを図示したものである。

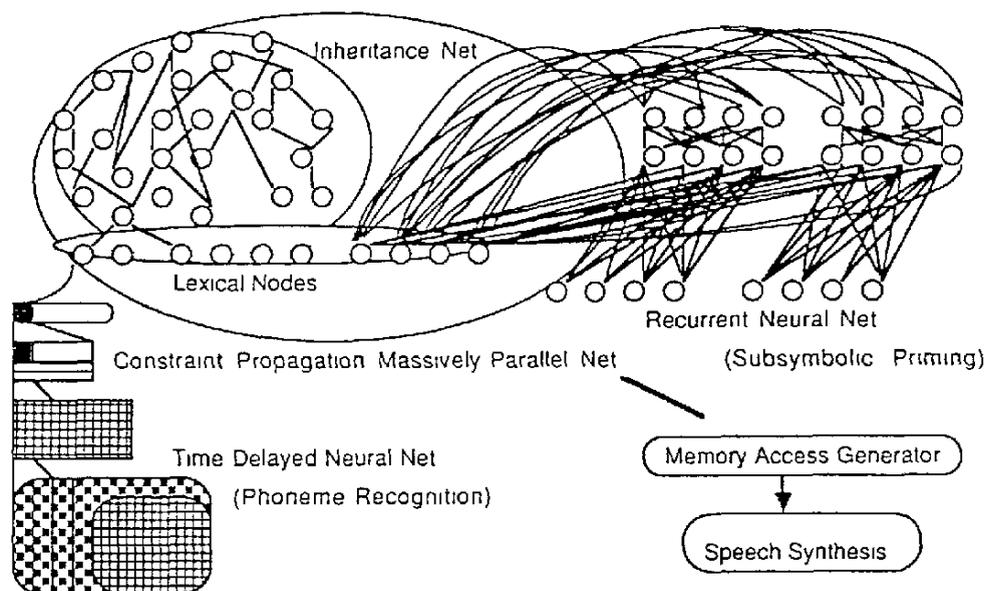


図6 リカレントネットワーク

4.3 ロボティクス研究所訪問および金出教授とのディスカッション

最近のニューロブームに対する意見と「新情報処理」に対する意見のヒアリングを行った。金出教授の意見としてあかってきたのか、昨今のニューラルネットワークブームへの

警鐘である。ニューロの研究は人間の脳の仕組みを解析するという立場からは有意義な研究であろうか、人工知能の諸問題を解決するためにニューラルネットワークの研究を行うというのでは過度の期待を抱き過ぎてると思うという見解であった。すなわち金出教授の視点からすれば、ニューロで解こうとする問題は現在のコンピュータシステムにとって不可能なわけでもないだろうし、したかつて、ニューロの研究自体が何か解ける問題領域を拡大するとはあまり思えないという考えである。

さて、ては国家プロジェクトとして次世代は何を目指すかとなると、にわかにはテーマを選びにくい。たた言えることは、これまでの計算機の研究などに根ざした上でなければ研究自体が非常に怪しいものになるということである。例えば10億プロセッサを作ってみるといのは、本来目的意識を明らかにしなければならぬプロジェクトにおいては説明しかたいか、これまでの計算機の能力に対して挑戦するという意味で面白い実験であると思うし、その実現する過程で何か有意義な研究内容かてきてくる期待がある。いますくニューロのブームに飛びつくよりはすっとヘターであるとの見解であった。

ティスカノンの後、金出教授の案内でロボト研究所の中を見学。ここの研究所の特徴は人工知能か机上もしくは、計算機内のソフトの議論たけではなく、視覚や手足の運動といった、そもそもンホル計算による人工知能では困難とされていた問題に早くから取り組んでおり、それらをロボトのパーツと位置つけてハードウェアとして実現させているところにある。今回見せてもらったものの中には人工の手、足、そして球面や形状を認識する視覚システムなとかある。

この研究所かこれまでやってきた研究の目玉は自動走行車ALV(Automated Land Vehicle)である。ここにあるピクアノトラクは世界一高価であると言われている。なにしろSUN3を4台、スーパーコンピュータWARPを2組、レーザーレンセンサ、そしてTVカメラか搭載されている。これらはすへて画像認識に使われる。すなわち落葉や影などにかくされた道路を検出し、その道路に沿うように無人トラクを運転させるシステムである。この人工の眼のためにはレーザーセンサ用とTVカメラ用の2つの独立したモジュールか必要である。主役はレーザーセンサのほうで、レーザー光を発して跳ね返ってくる時間と反射角で3次元の形状をとらえる。レーザーは一つの画面を64×256に分割して各セルに連続的に照射される。たたしこれたけで道路の端を検出するのはやや弱い。前述したように木の影や道路のひひなとか道路の端よりも強いコントラストを作るからである。そこで色を見るためにTVカメラを用いる。色さえ分かれば少なくとも芝生とアスファルトの区別はつ

く。TVカメラは現在4 mに1回静止画をとるだけであるか、やかては連続画をとることも計画にあった。この2つの画像を処理するのかWARPと呼ばれるCMUが独自に開発したスーパーコンピュータである。H. Kungのアイディアによるこのマシンは内部にバスを設けずにプロセッサを並列に幾つもつなげて処理速度を高める仕組みになっている。とにかくこの2つの画像の認識だけでALVを動かすにはまた不安である。走行を安定させるためには自身にプランニングの機能を持たせることが希求される。これは自らの中に大まかな地図をもって、眼て見た情報から、自らの位置を把握し、どこを走るか決めるものである。この大まかな地図とはトポロジーを記述したものに過ぎない。すると眼て見た情報をそのまま捨てるのではなく、逆にこれを利用して地図を詳しくすることも考えられる。ALVはこのように地図作成のモジュールも持つ。そして何より難しいのか「走る」「見る」「プランニング」などの複数プロセスの自律と協調である。この並列処理を行うモジュールはCOGGER (Communication Database with GEometric Reasoning) と呼ばれ、従来のブラックホートのアーキテクチャ、すなわちまわりのどのモジュールからも見える共通データベースの概念を拡張したものになっている。

このALVを継承したのは六本足を持った自動走行ロボットである。これは今世紀末の火星大接近の際にNASAが調査・探食用ロボットとして送り込もうという計画になっている。現在研究所の裏手の倉庫の中には既に実験用の足かてきあかっている、将来の完成をめぐして研究が続けられている。

4.4 フリーディスカッション

(省略)

5 感想:

CMUは伝統的に軍関連の資金による規模の大きい研究をやっている。特にALVや機械翻訳のように実際のシステムを作って実証してみるというやり方は非常に評価できるものである。ただCMUというとシンボル計算の人工知能においては多くの功績があるイメージであるか、実際にはニューラルネットワークに興味をもって集まる学生は思ったより多いらしい。

[東条 敏]

6. 参考・入手文献:

- [1] G.E.Hinton: Learning Distributed Representations of Concepts, DRAFT (1986)
- [2] D.Servan-Schreiber, A.Cleeremans, and J.L.McClelland: Encoding Sequential Structure in Simple Recurrent Networks, Carnegie-Mellon University technical report, CMU-CS-88-183 (1988)
- [3] A.Cleeremans: Learning Sequential Structure, DRAFT (1989)
- [4] H.Tomabechi: Symbolic and Subsymbolic Massive-Parallelism for Speech-to-Speech Translation, InfoJapan'90, DRAFT (1990)
- [5] E.H.Nyberg, 3rd: Weight Propagation and Parameter Setting, Ph.D. Proposal to Department of Philosophy, Carnegie-Mellon University (1989)

4 . H N C (Hecht-Nielsen Neurcomputer Corporation)

1 訪問日： 1990年 1月11日(木)

2 面接者： R Hecht-Nielsen, Chairman
T K O'Rourke, Regional Sales Manager

3 所在地： 5501 Oberlin Drive, San Diego, CA 92121-1718, U S A
Tel (619)546-8877 Fax (619)452-6524

4 調査概要：

4 1 会社概要：

1986年にTRW からスピニアウトしたR Hecht-Nielsen によって創設された、ニューロコンピューティング技術ベンチャーである。製品はIBM PC/AT などパソコン向けのアクセラレータボードおよびシミュレーションソフトである。ビジネスとしてとれほと成功しているか不明だが、Hecht-Nielsen がニューロコンピューティングの商用化の草分け的な存在であることから、軍関係からの委託研究開発が多いそうである。従業員は約40名で、研究開発スタッフは20名である。

4 2 主要製品

(1) ニューロコンピューティングツール

IBM PC/AT、Sun 向けの Anzaと呼ぶアクセラレータボードおよびシミュレーションソフトが主要な製品である。最近では PC/ATとコンパチブルなパソコンの提供も始めている。

アクセラレータボードは浮動小数点演算器(Weitech社製)に周辺回路を付加したもので、IBM PC/AT、Sunワークステーションをホストとする。これらの商品系列に加えて、現在、陸軍からの委託を受けて(金額：\$500K、委託元：US Army Laboratory)を受けて、Battlefield Neurocomputerの名前の下に、新たに VLSI(CMOS)を開発中である。本開発の目標性能は500MCPS(Million Connection Per Second：現状各社のアクセラレータボードの概略性能は12MCPS程度)でスーパーコンの水準の性能をボードレベルで実現することをねらっている。陸軍はこのBattlefield Neurocomputer を、画像処理関連に適用予定とのこと

ある。

シミュレーションソフトとしては、これまで、著名なニューラルネットを10数種類（バックプロパゲーション、ネオコグニトロンなど）をパッケージ（Neurosoft）として提供していたが、AXONと呼ぶニューラルネットワーク記述言語を開発、リリースを開始した。この言語は、Hecht-Nielsen がTRW に在職していた頃から積み上げてきた、マルチプロセッサへの負荷の割り付け技術が生かされているため、その処理性能は高いと主張している。

この他、実用上からも理論面からも、非常に重要なネットワークからのルール抽出、ネットワーク出力に関する説明などの機能を備えたソフトソールKnowledgeNetを開発中といている。ただし、現段階では開発アナウンスをするだけに留まっており、1990年夏のニューラルネット国際会議（開催地：サンティエゴ）にはデモンストレーションをしたいとのことである。

(2) アプリケーション

クレジット審査、為替変動予測、スペースシャトル姿勢認識、科学プラント特性モデル化などをユーザと共同で手掛けている。これらかとの程度まで実用に近づいているかは不明である。日本企業での応用としては、クレジット審査、自動サスペンション制御などの適用検討が進んでいるとのことである。ユーザとの主要なアプリケーション検討例を以下に述べる。

① 金融関連への応用

・個人への貸与審査

年齢、収入、職業、資産など97項目を入力として、貸付の可否を判断するネットワークを生成した。17,000件のデータの内、ネットワークの学習に10,000件のデータを用い、学習済みネットワークの評価に残りの7,000件のデータを用いた。評価の結果では、現状の審査方法の代わりにこのネットワークを採用することにより、27%の増収益をもたらすと推定された。

・抵当スクリーニング

貸付審査と内容的には類似しているが、この場合には、スクリーニングの判断材料が数100項目にのほり、貸付審査よりも問題としては込み入っている点である。現状では、審査者の判断補助の位置つけて利用されているらしい。

・市場分析

外国為替取引データへの応用として、ポント、円、マルクなどの通貨の変動モデル作成が検討されている。円データにネットワークを適用して解析した結果、時系列的な変動の特徴として約25個の時間変動パターンが抽出された。このパターンで学習したネットワークにマルクのデータを与えたところ、マルクデータに対してもパターンをネットワークは検出することを確認された。さらに、ネットワークには、パターンに引き続いて起こる事象を学習させた。このネットワークを使うことによって、経験の浅いトレータでも為替売買の収益をあげるることかできることか実験では確認された。

② 化学プロセス制御への応用

メリーラント大学の化学工学科では、二つの流入を持つ反応槽（一つの流量は固定）でのpH変動のモデル化にニューラルネットを応用している。入力として、流入量およびpHの時間的变化を与え、将来のpH（5 サンプルング期間）を出力とするネットワークで、

入力層 15ユニット、中間層 5 ユニット、出力層 5 ユニット

からなる。バックプロパゲーションで学習済みのネットと、従来から化学工学で使われてきた線型モデルと予測性能の面から比較した。pHレベルが学習時と同じ場合には、いずれのモデルも同等の性能を示したか、学習時のpHレベルと異なる場合には、ニューラルネットの方がよい性能を示した。化学プロセスの適応制御に新しい局面が開ける可能性かあるとしている。

③ 医療分野への応用

患者の心拍信号の雑音フィルタリングにニューラルネットの適用か試みられている。ここでは、見本信号に雑音を重畳してネットワークに入力し、教師信号としては、見本信号を与える。ネットワークへの入力は、入力信号を保持する40個直列につなかれたシフトレジスタの内容であり、10個の中間層を経て見本信号に対応する出力か出される。バックプロパゲーションによる学習後の性能について、従来手法と比較された。比較対象の従来手法は適応フィルタであるか、図1に示すようにニューラルネットによるフィルタリングは高周波の雑音成分をよく取り除いているように見える。

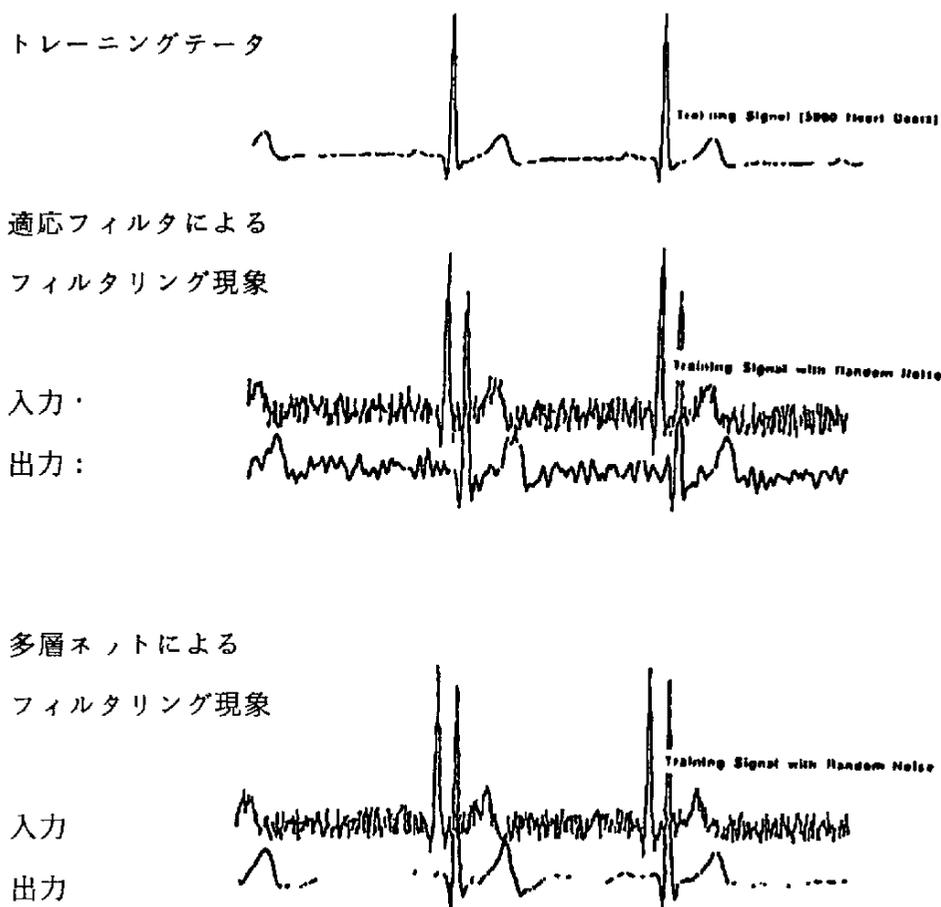


図1 ニューラルネットによる心拍計測値のフィルタリング効果

④ 信号処理への応用

ロッキート・ミサイル&スペース・カンパニーでは、ソナーの周波数観測値から、潜水艦の存在有無を判定するニューラルネットが開発されている。このネットワークは、ピーク周波数強度およびその近傍の卓越周波数の強度の総計11強度を入力として、潜水艦か地表のいずれかの反射波であるかを出力する。6,093個のデータがネットワークの学習に用いられた。このうち、潜水艦の反射波は1,767個であった（学習用データに対する正当率は99.77%であった）。検証用のデータとして、学習用のデータと同じく潜水艦と地表の反射波が使われた。それぞれの的中率は100%、98%であった。これらの検証に加えて、別の種類の潜水艦からの反射波の認識性能も測定された。この場合は、90%の正当率を得た。

⑤ 物体認識

検出目標としている物体がイメージの視野内にあるかどうか、さらには、物体の姿勢角

などを測ることのできるニューラルネットの開発がNASAで進められている。具体的には、スペースシャトルを対象物体としている。ニューラルネットの学習のために、3次元空間内での姿勢を変えたシャトルの680個のイメージが準備され、シャトルイメージからの特徴抽出ネットワークが作られた(図2)。このネットワークは、シャトルの有無および姿勢を検出するために必要な特徴量を出力するもので、コホーネンネットが用いられた。このネットワークは、3次元空間内で20度ごとに变化させたシャトルイメージに対して、95%以上の正当率で認識することを確認された。認識システムを確立するのに要する時間は、同等の認識水準の従来方式に比べてより少なくすむと結論付けている。

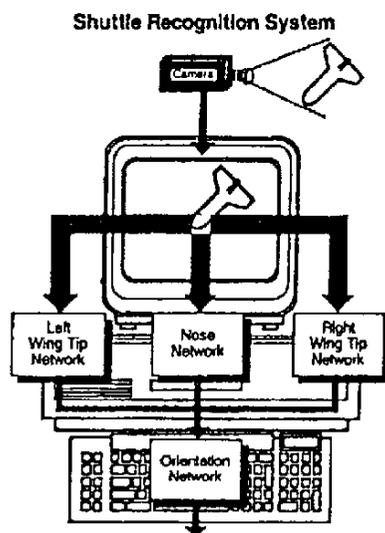


図2 スペースシャトル認識のためのネットワークの構成

⑥ 文字認識

手書き文字認識用のネットワークが開発されている。デントイサから入力された文字パターンを10×15の絵素グリッドに展開して、これを中間層として40個のユニットを持つ多層ネットワークに入力する。この方式は、数字の認識だけに限られるか、さらに多様な入力パターンに対応できるように、処理の前段階で特徴抽出のためのネットワークを置くことも検討されているようである。手書き漢字の認識に対しても、強い自信を持っている。

5 Hecht-Nielsen氏へのインタビュー

ニューロコンピューティングの事業化のパイオニアである Hecht-Nielsen氏に、今後のニューロコンピューティングの事業展開について尋ねた。彼の意見は、次のように要約さ

れる。

「ニューロコンピューティングはまた生まれたばかりの技術であり、今後、生理学者などと共同して育てて行かねばならない。ただし、多層ネットワークおよびバックプロパゲーションは、最初に抱いていた感触以上に市場に拡がり、ニューロコンピューティング技術への世の中の期待を高めたように思う。今日の電子情報技術の水準は非常に高度な段階に達しており、作ろうと決意すれば何でもできる時代になっている。このような段階では、市場とコストとの折合いを見出すことが重要になっている。この観点からみると、今後の有望な分野は、ヒューマンインタフェース関連（音声入力、ビジュアルセンサ、自然言語など）であろう。現在のニューロコンピューティングは、AIにおけるロジックプログラミングと別個に検討されているか、今後、ニューロとロジックとを融合させてゆかねばならないだろう。この融合の鍵は、新たな知識表現形式の開発であり、Kosoko教授（南カルフォルニア大学）の提案しているFuzzy Cognitive Map は、その一つの入口になるのではないかと考えている。」

6 その他

HNC の製品は日本では住商電子から供給されている。日本での販売実績は約60セクトとのことである。日本以外には、韓国一台、台湾、イタリア、フランス、西ドイツ、オーストラリア、インドに代理店を持っており、海外依存率は20%以上とPRしている。

[松橋 誠壽]

5 . I B M - Thomas J Watson Research Center

1 訪問日 1990年1月15日(月)

2 面接者 . Dr A Peled, Vice President

Dr Winfried Wilcke, Sr Manager, Microsystems

Dr E Scott Kirkpatrick, Manager, Workstation systems Laboratory,
Research Division

Dr R A Iannucci, Manager, Hybrid Dataflow Systems

Dr Paul M Horn, Director, Physical Sciences Department,
Research Division

3 所在地 IBM, Thomas J Watson Research Center

Yorktown Heights, Newyork 10598, U S A

4 調査結果

4 1 研究所全般に関する説明

Dr A Peledより、研究所全般に関する説明があった。まず、IBMは全世界に4つの基礎研究所(T J ワトソン、アルマンテン、チューリヒ、東京)を有しており、研究者数は、全体で3,200人になる。そのうち、3,100人がT J ワトソン研に所属している。基礎研究所の目的は“科学と技術の統合”であって、研究分野は、基礎科学、論理素子、メモリ素子、I/O技術システム、製造技術など、広汎にわたっている。これまでのIBM基礎研の成果としては、FFT、フラクタル幾何学、高温超電導、STMなどをあげることかできる。

さて、計算機システムの分野では、図1に示すような各分野が研究されているか、現在最も問題意識を持っているのは、図2にあげるような点、すなわち、近年の経済のバブルとなるような巨大なコンピュータネットワークの構築並びに人間の知的能力を格段に増大しえる強力なコンピュータの開発である。特に、近年のLSI技術によるメモリコストの低減、光ファイバ技術による通信容量の爆発的増大を背景として、新しい概念に基づく、計算機のあり方が検討されている。

- ・ Processors and operating system
- ・ Distributed Systems and Communications
- ・ Software Technology
- ・ Applications
- ・ VLSI and Micro Systems

図1. IBM基礎研の研究分野

- + Massive Networks of Computers from the
Backbone of the Modern Economy
 - Electronic Flow of information
 - Integrated with Business Processes, Designs,
Manufacturing, Marketing and Accounting
 - Key to industrial Competitiveness
- + Powerful Computers acting as the Amplifiers of
Human Intellectual
 - Substitute Computation for Experiment
 - More Optional Design
 - Human Cooperation Augmented by Computing
and Communication

図2. 現在の問題意識

また、音声認識、機械翻訳、手書き文字認識、動作（ネスチャ）によるコマンド入力、CGなど、計算機と人間との関係改善にも力か入れられている。最近の研究例としては、CGと物理世界のシミュレーションを結合させ、計算機内部に人工の物理世界(Virtual world)を構築する方法論の研究が行われている。

4.2 IBMにおける並列計算機研究

Dr W Willekeより、研究所における並列計算機に関する説明があった。IBMにおける並列計算機の位置づけは、これからの10~15年間、非常に重要な技術として認識されている。

最近のアプリケーション分野の拡大に伴い、計算機の数、メモリ容量に対する要求は非常に苛酷なものとなっている。例えば、従来、ガス分子単位のシミュレーションで済んでいたものを、表面化学の分野まで拡大するだけで、要求性能は1~2けた異なってくるのか普通である。こうした事態に対応するため、最も有効とされているのが並列計算機である。

いま、簡単な指標として、逐時処理型の計算機による演算時間を、並列処理型の計算機による演算時間で除したものを s と呼ぶことにすると、 s は図3に示すような性質、すなわち、問題の規模が大きくなればなるほど並列化が有効であり、並列化をすることによって、問題の規模に対するスケールなパフォーマンスが実現できる（もちろん並列台数に完全に比例したパフォーマンスが得られる訳ではないが、実測値によれば、例えば1,024台のCPUによる並列計算において、 s の値は、流体計算や材料力学的計算で700~500という値を得ている。）。

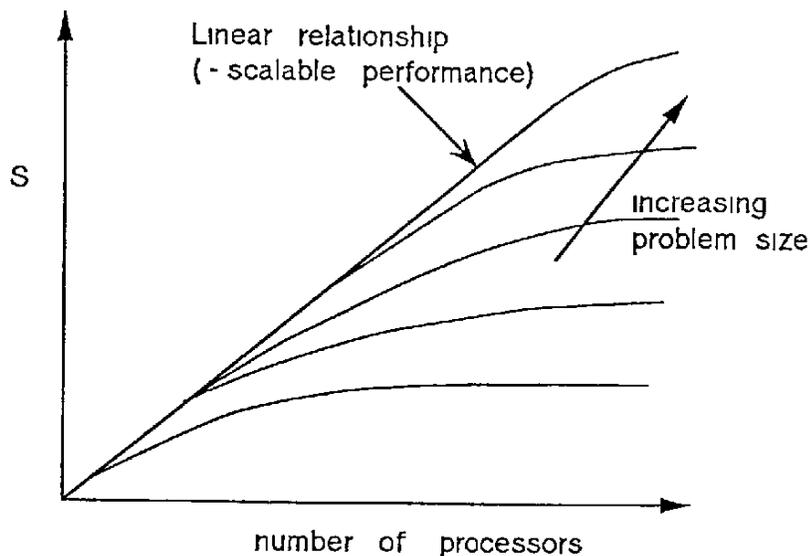


図3 並列計算のメリット

並列処理の有効性を見積もる上で、プロセッサ間の通信速度とプロセッサの演算速度の比がよく使用される。いま、全体として要求される演算速度による通信速度/演算速度比を C 、1台のプロセッサの演算速度による通信速度/演算速度比を C' としたとき、 $C <$

< C' であれば、プロセッサの処理性能それ自体が問題であるから、並列化による線型な速度向上が期待できる。C = C' の領域では、通信によるオーバーヘッドが問題となり、線型な速度改善は期待できない。C >> C' であれば、並列化によるメリットは期待できない。

大スケールの並列計算機としては、今後、次のような機能が要求されることになる。

- ・ 特定のアプリケーションに依存した専用機
- ・ メンテナンス交換機能
- ・ マルチステートネットワーク
- ・ 同期機能
- ・ 並列演算のモニタ機能
- ・ 1,000ノードまでのスケーラビリティ
- ・ C' 値が概略 1 Mbps/Mflop
- ・ 1ディスク/1プロセッサ
- ・ カスタムOS 等

現在進められている並列計算機関連のプロジェクトを表1に示す。また、一般的な並列計算機アーキテクチャを図4(a)~(d)に示し、プロジェクトの各々の計算機かとのアーキテクチャに対応するかも示しておく。

表1 並列計算機関連のプロジェクト

プロジェクト名	プロセッサ数	プロセッサ	MIMD/SIMD	CONFIGURATION	状況
ACE	8	RC/RT	MIMD	SHARED BUS	OPERATIONAL
GF11	576	CUSTOM	MIMD	NETWORK	BRINGUP
VL/W	8	CUSTOM	MIMD	-----	DESIGN
VULCAN	32,000	-----	MIMD	NETWORK	DESIGN
VICTOR	256	T8000	MIMD	MESH	OPERATIONAL
RP3	---	-----	MIMD	SWITCH	-----

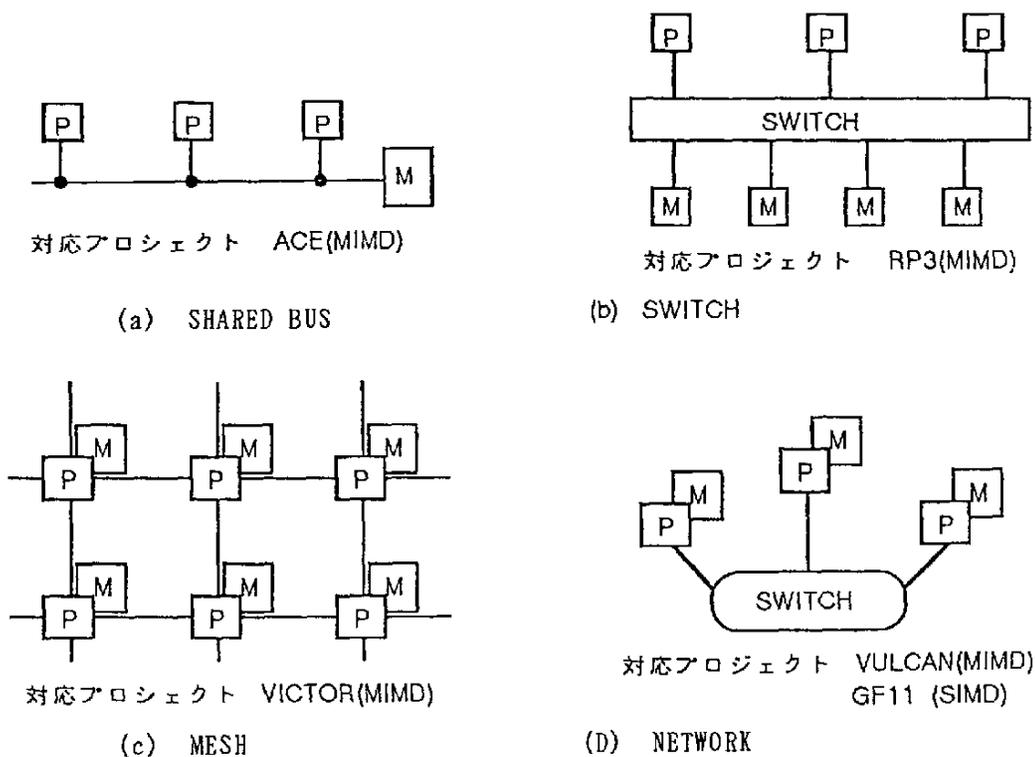


図4 並列計算機アーキテクチャ

これらのプロジェクトのうち、代表的なものについて、若干詳細に説明しておく。まず VICTOR についてであるが、これは、メッシュ結合された並列計算機であり、すでにオペレーションが開始されている。想定されるアプリケーションは、回路シミュレータ、ニューロネット、環境 (Environmental) シミュレータなど、多くの数値計算の分野が考えられており、準備中のものまで含めると、10例程度が用意されている。ニューロネット関連では、3層のバックプロパケーション付ネットによるアルファベット文字の認識などが試みられている。

RP3は、Multistage Network(OMEGA)を有する並列計算機であり、メッセージ交換の原理で動作を行う。現在、64Wayのシステムが完成した段階にある。

ACEは、メモリを共有するタイプの並列計算機で、プロセッサはPC/RTである。共有バスとしては、PC Busを使用している。

Hybridは、Bob Iannucciの設計によるもので、スケーラブルな、汎用な並列計算機たることを目標としている。30dbのDynamic Range、すなわち、1→1000プロセッサの動的な切

替か可能なことを目標としている。同期に関しても注意が払われており、コミュニケーションの遅延に対し、それかとれほど大きくとも、安定な動作を保障する機構を有している。しかも、CPUに負担の少ない同期機構として、いわゆる "Dance Hall Organization" 方式が採用されている。こうしたアーキテクチャは、データフロー計算を実行する上で、非常に好都合である。

VL/Wは、"Very Long instruction Word Architecture"の略である。その名のとおり、非常に長い語長をもつアーキテクチャを有している。逐次型のプログラムの数ステップか、専用プロセッサによって、一つの命令に変換され、それか一度に並列実行されるという訳である。

GFIIは、3段のインタコネクションを介して相互結合されたプロセッサ群から成る。各プロセッサのプログラムは同一であるから、SIMD型である。プログラムは、C類似の言語によって記述されるか、自動分割はまた行っていない。

4.3 IBM社内におけるニューロネット研究について

Dr Kirkpatrickが中心となって、IBM社内の、ニューロ・ネットワーク研究の概略について説明した。IBMとしては、必ずしもニューロ1本に絞って研究を行っている訳ではなく、その意味では可能性を模索中という段階である。ニューロ関係の研究に従事している研究者数は、大体10~20FTE (FTE Full Time Equivalent) つまり10数人の体制である。

最近の社内の研究報告に掲載されたニューロ関係のテーマを分野別に整理してみると、

• Manufacturing

- + wafer
- + plastics modeling
- + design consequences
- + RIE

• Commercial

- + credit scoring
- + time series prediction
- + "predictive dialing"

• I/O

- + visual sensor
- + OCR
- + sonar

• Theory

- + learning rates and convergence
- + attentive learning
- + clustering and approximation algorithm

・ Biology

+ visual cortex

+ self organization

+ hippocampus

+ synopsis structures and their logical consequences

などであって、また広くテーマが分散している。これらの研究は、ほとんど全部が IBM の自力研究で行われている。唯一の例外は、ソナーの信号処理であって、これには海軍が投資している。

もっとも IBM の基礎研究に対する政府資金（ DARPA、 NSF、 NIH など）の割合は必ずしも高いものではなく、全体の 3% 程度にしかない。

5 感想

全般的感想としては、多数のプロジェクトが同時並列して進行していること、しかも、実証試験のレベルにまでかなりのものが達していることに驚きを感じた。米国の得意とする、良く言えば網羅的、悪く言えばしゅうたん爆撃的な実証的方法論を実感した。

個人的に言えば、並列計算機の研究は、こうした方法論をとらざるを得ないのではないかと考える。現実にはハードウェアを作って、実際に運用して、初めて様々な問題が明白になって来るであろうからである。未知の設計に対し、最初から問題を予測することはほとんど不可能に近いからである。

特に、現在とどのような計算機アーキテクチャが並列機として最も優れているかを答えることは非常に難しい。どのアーキテクチャかどのような問題をはらむかについて、机上の議論はほとんど寄与しないだろうからである。超並列機の場合、プロセッサ数が多いということだけで多くの問題が生じるはずである。つまり、典型的なシステム工学的問題という訳である。

計算機に限らず、何か問題であるかについては、実機を持ち、その運用経験を重ねることが非常に重要である。したがって、今後数年にわたり、調査した並列機が使用に供されるうちに、多くの問題点が浮き彫りにされていくのではないかと予想される。また、それに対する解決策も考案されると考えられる。恐らくかなりの独創的な技術が開発されていくのではないかと。

例えば、興味を持ったのは、Dr Wilckeの解説の中で、並列計算の実行状態をモニタすることか重要であるという言葉である。Victorを見学した際にも、プログラムの実行状態のモニタについて、現在、どのような表示か必要なのか、彼ら自身にも良く分かっていないということであるか、実証試験を通じて、並列計算の可視化 (Visualization) というテーマで、数多くの魅力的アイディアが生まれて来るのではないかという予感を持った。

新しいアイディアが発生するためには、新しい環境が必要であるとは良く言われることである。その意味で、ワトソン研の並列計算機グループは、かなり良い環境におかれていることが出来るであろう。

[広瀬 通孝]

6 参考・入手文献

特になし。

6. M I T (Massachusetts Institute of Technology)

6-1 その1 (Department of Brain and Cognitive Sciences)

1 訪問日・ 1990年 1月18日(水)

2 面接者 (1) Professor Emilio Bizzi, M D , Department Head
(2) Dr Michael I Jordan, Assistant Professor

3 所在地 . 77 Massachusetts Avenue
Cambridge, MA 02139, U S A

4 調査結果 .

4.1 Professor Emilio Bizzi

(1) Departmentの概要

設立は1986年で、約30人のfaculty members と60名弱のgraduate students が、この学科に所属している。

この学科の目指すところは、極めて複雑で高度な情報処理システムとしての脳の解明である。アプローチは、神経生物学と神経科学の実験的テクノロジーを、人工知能と認知科学の分野での理論的パワーと組み合わせるものである。

したがって、主な研究分野は、

- a) 神経生物学
- b) システム神経科学
- c) 計算論的神経科学
- d) 認知科学

の4分野となると、入手資料には記載されている。ただし、Bizzi 教授は、b)とc)をまとめて、3つの分野として紹介したので、以下では、3つの分野についてその内容を説明する。

(2) 研究分野

① 神経生物学

分子レベルに焦点を当てた、molecular neurobiologyの研究を行っている。

この分野での研究の一つは、ノウノウハエ (*Drosophila*) を用いたもので、資料によれば、W G Quinn 準教授が担当している。ハエの記憶・学習に関係する遺伝子に異常のある突然変異を起こしたハエと正常なハエとの比較を行っている。神経化学的方法による研究の結果、cyclic AMPの代謝が学習に関与していることが判明した。この結果は、ウミウシ (*Aplysia*) と呼ばれる軟体動物から得られた知見とよく合うものである。さらに、最近になって、プロテインキナーゼ C (protein kinase C) も関与していることが分かった。これら複数の物質が、相互にどのように記憶・学習にかかわっているかを知ること、今後の課題である。

第2の研究は、脳発達の分子機構に関するもので、資料によれば、R D G McKay 準教授とA D Lander助教授が担当している。これは、胚から細胞が分化して、大脳や小脳かどのように形成されて行くかを調べようとするものである。哺乳類の視覚系のうち、網膜から外側膝状体への結合かどのように形成されるかを研究している。神経軸索の生長と、目標とするニューロンへの結合のメカニズムを分子レベルで明らかにすることを目指している。

② 神経科学と人工知能の結合

この分野は、この学科の中核をなすもので、視覚系と運動系を主な対象としている。視覚については、神経生理学、心理学、計算理論と幅広く研究が行われている。神経生理学的研究は、R A Anderson準教授による、頭頂葉での空間表現、運動立体視の研究、P H Schiller教授による前頭眼野と上丘での眼球運動に関連したニューロンの研究などがある。心理学的研究は、J M Wolfe 準教授による両眼立体視と両眼視野闘争の研究などがある。計算理論の立場からは、E C Hildreth助教授とS Ullman教授による運動視を中心とした研究、T Poggio教授による両眼立体視や正則化理論の研究が有名である。

運動については、E Bizzi 教授らか、感覚座標系から運動座標系への変換、運動のプランニング、運動の実行等について人間の被験者を用いた研究を行っている。運動の制御は、flexorとextensor (拮抗筋) の対の張力の平衡点の移行と考える。C G Atkeson 助教授とJ Hollerbach準教授は、人間の腕の運道軌道から、計算論的手法によるそのメカニズムの解明、Utah/MITハント (4本指のロボットの手) による把持の研究などを行っている。

③ 認知科学

言語機能の獲得過程について、K N Wexler教授が研究を行っている。この問題は、N Chomsky の仮説か論議の的となってきたか、同教授は、理論的にどのような言語か、学
習可能かを明らかにし、そのような言語は、自然言語に見られる性質を持っているという。さらに、英語と中国語を子供が獲得する過程を調べた。また、統語機能の発達の理論を提案した。

(3) その他

① 研究設備

各教授が個人的にfundを獲得し、自分用の設備費と人件費に当てている。学科として共通の高価な設備は、企業などからの資金に頼っている。

② 学際的研究

学際研究を奨励するため、incentive として研究費を配分している。また、大学院生を、幾つかの研究室の間をローテーションさせるようにしている。

③ 国際協力

ECからPh Dコースの院生を受け入れる。手始めに、イタリアのトリエステ大学との間に公式の協定が結ばれている。

(4) 感想

Bizz1 教授の専門は運動制御の機構の生理学的、行動学的研究で、MIT の機械2 学科のN Hogan と共著で計算論的な論文も発表している。理論的な側面について質問したか、さほど突っ込んだ議論とはならなかった。

個人的には、Poggio教授や、Ullman教授と専門が近いので、会いたいと思ったか不在でかなわなかった。研究所の雰囲気は、各研究室はほぼ独自の運営をしていて、基礎中心の機関という印象を受けた。

[杉江 昇]

(5) 参考・入手文献

- [1] Graduate Programs in the Brain and Cognitive Sciences, MIT
(39ページの学術紹介がウェブ、faculty members 各人につき1ページの紹介にあてられている)
- [2] E Bizzi & F A Mussa-Ivaldi Motor Control in Handbook of Neuro-psychology, Vol 2 edited by F Boller and J Grafman (1989)
- [3] F A Mussa-Ivaldi & N Hogan Solving kinematic redundancy with impedance control a class of integrable pseudoinverses Proc IEEE International Conf Robotics & Automation, pp 283-288 (1989)
- [4] Bizzi教授発表文献リスト
(MIT Industrial Liaison Program 調査のリスト: 14の文献がリストアップされている。
以下参照)

----- MIT Industrial Liaison Program 調査のリスト -----

1. Neural, Mechanical, and Geometric Factors Subserving Arm Posture in Humans. By: Hogan,N.; Bizzi,E.; Whitaker College of Health Sc & Technology. Repr: Journal of Neuroscience, Vol. 5, No. 10, Oct 1985, pages 2732-2743.. 11 Pages. AVAILABLE FROM MIT LIBRARIES: J0186-023.
2. CENTRAL PROCESSES CONTROLLING ARM MOVEMENT IN VERTEBRATES. By: Bizzi,E.; Hogan,N.; Mussa-Ivaldi,F.; Department of Psychology. R XXX Congress of International Union of Physiological Sciences, J 1986, 1 page.. 1 Pages. AVAILABLE FROM MIT LIBRARIES: J0486-399.
3. THE ROLE OF GEOMETRICAL CONSTRAINTS IN THE CONTROL OF MULTI-JOINT POSTURE AND MOVEMENT (Abstract). By: Mussa-Ivaldi,F. Hogan,N.; Bizzi,E.; Department of Brain and Cognitive Science. 1 Pages. AVAILABLE FROM ILP: S0689-494.
4. EFFECT OF TEMPORARY PATH CONSTRAINT DURING PLANAR ARM MOVEMENT (Abstract). By: McKeon,B.; Hogan,N.; Bizzi,E.; Department of Bra and Cognitive Science. 1 Pages. AVAILABLE FROM ILP: S0689-495.
5. INVARIANT FEATURES OF HAND POSTURAL STIFFNESS (Abstract). By: Mussa-Ivaldi,F. A.; Hogan,N.; Bizzi,E.; Department of Brain and Cognitive Science. 1 Pages. AVAILABLE FROM ILP: S0689-496.
6. CONTROL OF MULTI-JOINT ARM POSTURE (Abstract). By: Hocherman,S.; Mussa-Ivaldi,F. A.; Bizzi,E.; Hogan,N.; Department of Brain and Cognitive Science. 1 Pages. AVAILABLE FROM ILP: S0689-497.
7. A Neural Network Model for Limb Trajectory Formation. By: Massone,L.; Bizzi,E.; Department of Brain and Cognitive Science. Repr: Biol. Cybern., Vol. 61, No. 6, pages 417-425.. 9 Pages. AVAILABLE FROM MIT LIBRARIES: X1189-060.
8. Regulation of Multi-Joint Arm Posture and Movement. By: Bizzi,E.; Mussa-Ivaldi,F. A.; Hogan,N.; Department of Mechanical Engineering. Repr: Progress in Brain Research, Vol. 64, pages 345-351.. 7 Pages. AVAILABLE FROM MIT LIBRARIES: J1287-270.
9. Arm Trajectory Formation in Monkeys. By: Hogan,N.; Bizzi,E.; Accornero,N.; Chapple,W.; Department of Mechanical Engineering. Exp. Brain Res., Vol. 46, pages 139-143.. 5 Pages. AVAILABLE FRO LIBRARIES: J0788-129.
10. Controlling Multijoint Motor Behavior. By: Hogan,N.; Bizzi,E.; Mussa-Ivaldi,F.; Flash,T.; Department of Mechanical Engineering. Repr: Exercise and Sport Sciences Reviews, Vol. 15, pages 153-19 37 Pages. AVAILABLE FROM MIT LIBRARIES: J0788-130.
11. PROCESSES UNDERLYING ARM TRAJECTORY FORMATION. By: Bizzi,E.; Accornero,N.; Chapple,W.; Hogan,N.; Department of Mechanical Engineering. 17 Pages. AVAILABLE FROM ILP: A0489-036.
12. Central and Peripheral Mechanisms in Motor Control. By: Bizzi,E.; Accornero,N.; Chapple,W.; Hogan,N.; Department of Mechanical Engineering. Repr: New Perspectives in Cerebral Localization, pages 23-34.. 11 Pages. AVAILABLE FROM MIT LIBRARI J0189-238.
13. Multi-Joint Arm Posture -- New Perspectives and the Control of Arm Posture. By: Bizzi,E.; Mussa-Ivaldi,F. A.; Hogan,N.; Departm of Mechanical Engineering; Department of Brain and Cognitive Sci Repr: Clinical Aspects of Sensory Motor Integration, pages 291-2 6 Pages. AVAILABLE FROM MIT LIBRARIES: J0289-118.
14. CONTROL OF MULTIJOINT MOVEMENT. By: Bizzi,Emilio; Abend,William K.; Department of Psychology. Repr: Comparative Neurobiology: Mo of Communication in the Nervous System, Chapter 15, pages 255-27 22 Pages. AVAILABLE FROM MIT LIBRARIES: J0586-388.

4.2 Michael I. Jordan

M. I. Jordan氏からは2つの研究内容の紹介があった。

(1) Control of Speech Robotics

(2) Learning of Modular Networks

(1)については田中か、(2)については杉江か中心に報告する。

(1) Control of Speech Robotics

これは、音声の生成過程のシステム同定問題と考えられるということである。音声生成過程に見られるような人間の連続的な動作というのは、高次のパラレリズムを特徴としており、彼はコネクショニストのアプローチから得られるネットワーク（特にバックプロパゲーション型のネットワーク）を用いてこの連続的な動作の理論的な取り扱いを検討している。

図1にJordanが我々に説明するために白板に書いたものに類似した図を載せる。

(6 参考・入手文献参照)

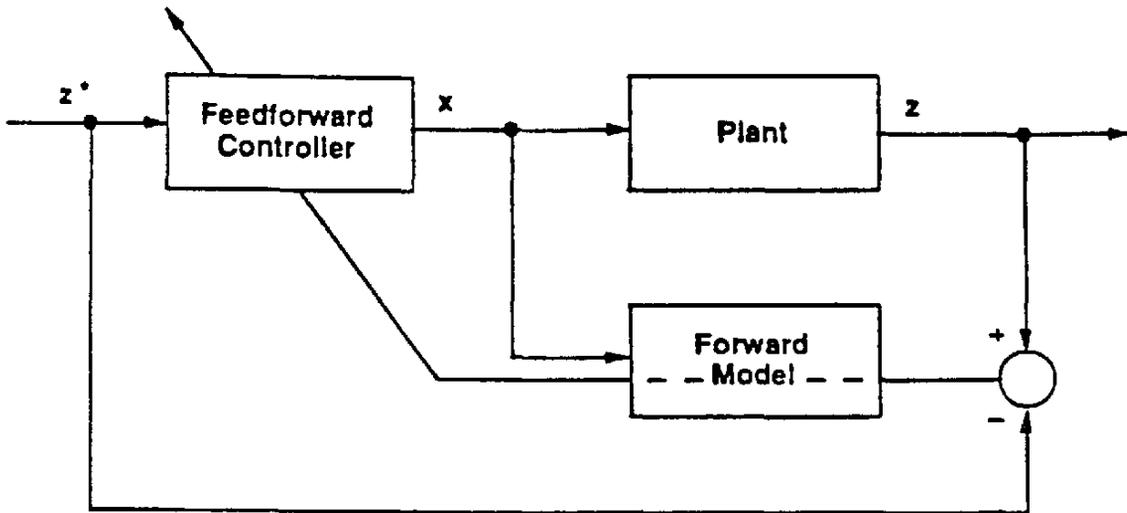


図1 Learning a Controller

Jordanは、調音パラメータは6個用いており、音声生成モデルは、例えば、CNETの前田氏が開発したような声道モデルに基づいていると言及していた。音声スペクトルのような音響情報から調音パラメータを推定する問題でもあり、一種のシステム同定問題と考えら

れる。この調音パラメータ推定の部分は、図2ではフィードフォワードコントローラ（以下、略してコントローラと呼ぶ）に相当しており、バックプロパゲーション方式に基づく3層のニューラルネットワークで構成されている。同様に、調音パラメータから音声スペクトルを生成する部分か図2のプラント（フォワードモデル）に相当しており、これもバックプロパゲーションに基づく3層のニューラルネットワークで構成されている。ただし、時間特性を持たせるためにネットワークはリカレントな構造になっている。

コントローラの入力として、特定の音声スペクトルを与えた場合、その出力として調音パラメータが得られ、フォワードモデルの入力として、この調音パラメータの値を与えると、その出力として音声スペクトルが得られる、という構成になっている。したがって、最初与えた音声スペクトルと最終的に得られた音声スペクトルを比較することによって、その誤差が得られるか、この誤差をフォワードモデルのネットワークに逆伝播させ、更にコントローラのネットワークに逆伝播させて学習を行うタイプのものである。誤差の伝播に際しては、誤差ベクトルに乗する偏微分係数マトリックス（ヤコビヤン）が必要であるかコントローラのネットワーク構成やフォワードモデルが決めれば計算可能である。ただし、彼は最急降下法の基準を与える評価関数として、誤差のほかに、スムーズさ（smoothness）や顕著さ（distinctiveness）もあげており、誤差の計算はもっと複雑なものになると考えられる。

通常、物理的に調音パラメータから音声スペクトルを得る手法は、例えば音響管モデルから得られる声道モデルによりモデル化かされている。音声スペクトルから調音パラメータを推定する問題は、非線形の最適化問題であるとともに、余分の自由度を持っており一意に決定出来ない問題でもある。したがって、不良設定問題に相当している。例えば、幼児の発声を学習するプロセスでは、ある音声スペクトルに合わせるように学習が行われるか、声道をとう動かせばその音声スペクトルになるのかは分かってはおらず、経験を通してのみ学習されるものであり、説明かしにくいものである。これと同様に、音声スペクトルから調音パラメータを推定する関数はアプリアリに知るか出来ないものである。

コントローラはプラントの逆プロセスになっているので、一つのアプローチとして、プラントの入出力関係を対比しなからコントローラの入出力を逆にして与えなから学習させることによってこのコントローラのネットワークを作成することも出来る。彼の方法は一旦フォワードモデルを学習させてから固定し、コントローラとフォワードモデルを接合し

てコントローラまで誤差を伝播させて直接コントローラを学習させる点から、彼はこの方法を「Direct Inverse System Identification」と呼んでいた。この結論はスタンフォード大学の Rumelhart 教授との共同研究で得られたものでもあるとのことであった。

このように、不連続な音素表現と連続的な調音プロセスのインタフェースに生じる理論的な問題の幾つかに関して、このアプローチが解答を与える見込みかありそうとのことである。彼は、ATR の川人氏とリカレントネットワークについて共同研究を行っているとも話していた。音声生成の結果を持っているかという質問に対して、スペクトルテータという形で既に持っているとのことだった。

(2) Learning of Modular Networks

これは、幾つかの modules からなるネットワークの学習法についての研究である。各モジュール (module これを expert と呼ぶ) は、それぞれ最初はランダム結合のネットワークである。これらに入力を加え、出力を観測する。幾つかのモジュールのうち、ある課題に対して、他より良好な振舞をするものを見つけ競合学習をほどこす。このような学習法により、あるモジュールは、網膜上の物体の位置 (where) を出力できるようになり、また別のモジュールは、物体の種類 (what) を出力できるようになった。前者は線形操作モジュールで、後者は隠れ層を含む非線形操作モジュールとなった。

5 感想

(1) 6 個の調音パラメータで取り扱っていて、現在、母音に対してはうまくいっているという話であった。人間の調音機構をモデル化して音声生成を行うという研究は歴史もあり、その研究課題に再度迫ろうとしている姿勢には感心するか、子音の取り扱いや時間方向の表現、すなわち、複雑な調音結合や調音構造を、これらのパラメータと今のリカレントネットワークのみで表現できるかという点でも、その検証はこれからか、大変難しい問題に迫ろうとしている、という印象を持った。しかし、彼のアプローチではこの種の問題の解析的な解を与える訳ではないか、取り扱う方法論が確立されるという点で期待出来るのではないかと考える。また、これまでの実績も含め、これからの彼のアクティビティにも期待したいところである。

[田中 信夫]

(2) に紹介した研究内容は、まあまあ面白いアイデアである。サルの大脳皮質の視覚領には、10数個のモジュール（形、両眼視、色、動きなどを専業とする）が並列的かつ階層的に配置されていることが知られている。M. I. Jordanの研究は、並列的にモジュールが配置された場合についてのものに過ぎないが、さらに階層性を導入して研究してみるといいだろう。階層性のない場合と比べて、モジュール間の競合だけでなく協調も含めて考察することが要求されるであろう。 [杉江 昇]

6. 参考・入手文献

- [1] Michael I. Jordan and Robert A. Jacobs : "Learning to Control an Unstable System with Forward Modeling" to be published.
- [2] Michael I. Jordan : "Motor Learning and the Degree of Freedom Problem", in press: Attention and Performance, X⁷ . (Ed. by M. Jeannerod) Cambridge, MA: MIT Press. (38 頁)
- [3] Jordan 助教授発表文献リスト
(MIT Industrial Liaison Program 調査のリスト: 3 論文がリストアップされている。
以下参照)

----- MIT Industrial Liaison Program 調査のリスト -----

- 1. ACTION. By: Jordan, Michael I.; Rosenbaum, David A.; Department of Brain and Cognitive Science. 68 Pages. AVAILABLE FROM ILP: S1088-147.
- 2. SUPERVISED LEARNING AND SYSTEMS WITH EXCESS DEGREE OF FREEDOM. By: Jordan, Michael I.; Department of Brain and Cognitive Science Pages. AVAILABLE FROM ILP: S1088-148.
- 3. INDETERMINATE MOTOR SKILL LEARNING PROBLEMS. By: Jordan, Michael I.; Department of Brain and Cognitive Science. 34 Pages. AVAILABLE FROM ILP: S0289-124.

6-2 その2 (Artificial Intelligence Laboratory)

1 訪問日 . 1990年 1月18日(水)

2 面接者 Dr Rodny A Brooks
Associate Professor of Computer Science
Artificial Intelligence Laboratory
Computer Science

3 所在地 545 Technology Square
Cambridge, Massachusetts 02139, U S A

4 調査結果

AIラボの最近の研究には、ロボティクス、ビジョン、自然言語、推論、問題解決、深いエキスパートシステム、コンピュータ支援プログラミング、スーパーコンピューティング、基礎理論などが含まれ、22人の教授陣と、10人の大学スタッフ、38人の研究陣およびサポートスタッフ、125人の学生を合わせて200人程度のメンバとなっている。米国政府関連機関のほか、アップル社、DEC そのほかの民間企業からの資金援助かなされている。日本企業では富士通からの資金援助もあり、訪問研究員として富士通のほか、マノタ、シャープからも研究者が派遣されていた。訪問したBrooks氏はロボティクスの中でも移動ロボットをテーマとしており、彼のメンバは約20人という話であり、その内、10人程度が学生である。彼の研究室では移動ロボットの構築と知性をいかに組織化するかの理論の検証を行ってきている。様々な行動を一つの整合のとれたものに組織化すること、急激な環境変化の中であらかじめ基準を持たずに動く知覚システムの開発、極端に小さなロボットの作成などの点で成果が得られている。

Brooks氏は速い口調で、定められた時間の中(1時間程度)で多くのことを意欲的に紹介し、精力的に説明してくれた。最初に、彼の部屋のある8階から下の階に降り、幾つかのロボットが並べられた部屋に案内された。彼の研究室のドアの一つに「AIラボ」の代わりに「Artificial Insect Laboratory」と書いて少し茶化した側面を見せてくれた。ま

ず、既に一部解体されていたか、彼の最初のロボット「Allen」について簡単に紹介した後、ソータ缶を見つけて、それをつかみ上げる「Herbert」と呼ばれるロボット（これもコネクションマシンを茶化してコレクションマシンと説明が付けられていた）を少し詳しく説明してくれた。

彼は、完全に自律した移動ロボットを目指しており、これらのロボットは「サブサンプションアーキテクチャ (Subsumption Architecture)」と名付けられた移動ロボットをコントロールするメカニズムをベースにしている。サブサンプションアーキテクチャとは、異なるタスク実行のプロセスが階層的に構成されているか、上位のタスク実行のプロセスは下位のプロセスから得られる結果を用いて処理する形になっているため、下位層の結果を抑制することもでき、下位層を包含した形で階層化できるものとなっている。下位層は上位層が追加されても、修正せずに従来通り働く機構になっているため、新たな上位層を付け加えて拡張する場合に、下位層のことは前提条件として気にしなくて済む形になっている。このような点から「Subsumption」という用語が使われている（図1参照）。

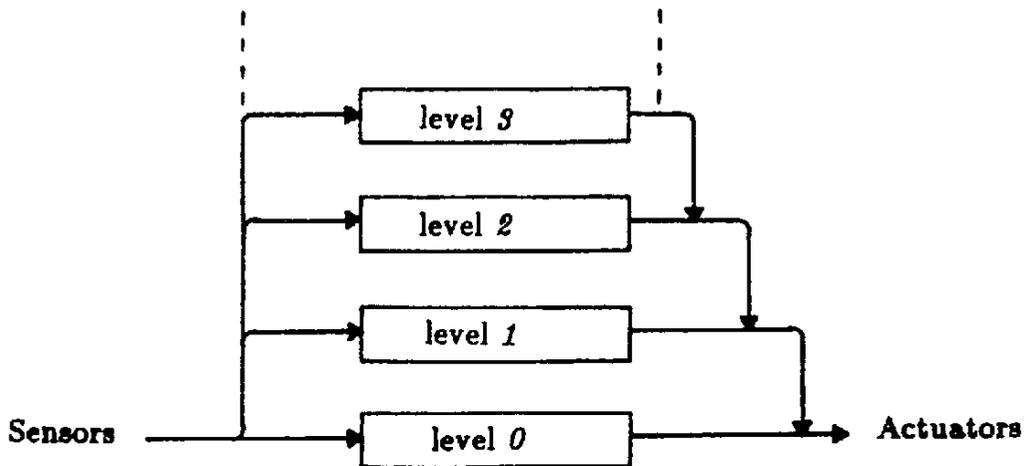


図1 Subsumption Architecture

(Rodney A Brooks, "A Robust Layered Control System for a Mobile Robot",

AI Memo 864, Sep, 1985. より)

Herbert では、サブサンプションアーキテクチャは、24個の別々のボード上に組み込まれた24個のプロセッサ（日立製CMOSの8ビットマイコン6800）で動作する。それぞれのプロセ

ソータ缶はゆるく結合した形になっており、全体をコントロールする機構を持っていない。センサとして、ソータ缶を見付けるなど知的な検知器としてヘリウムネオンレーザを用いたスキャナ、近くの障害物を避けるための30個の近接赤外センサ、ソータ缶を実際につかむために指や腕に相当する部分にスイッチや単純なセンサが搭載されている。Herbert は最初廊下や部屋の中をうろうろ歩き回り、一旦ソータ缶を見付けると、それをつかみあげるモードに入って、つかみ上げた後、記憶した道筋をたどり元に戻るといった仕事を行うという説明であった。

「Genghis」は10kgの6本脚ロボット（写真参照）で、各足の自由度は2（上下と前後）であり、12個のモータとそれぞれの力検知器、2本のひげと6個の焦電検知器などを有している。Brooks氏によれば、複雑なAIシステムは計画にも手間が掛かり高価なプロジェクトについてしまい、失敗すれば結果は悲惨である。今までも、うまくプランされていて冗長な側面もあって、しかも十分信頼のおける品質の良いコンポーネントを使うことかいい結果につながってきていることを強調していた。これに関連して、このGenghisのコンセプトを考えついでから、たった12週間で作り上げた点についても触れ、プロジェクトを始めるオーバーヘッドを無くし、インプリメンテーションの期間を短縮する有用性を強調した。Genghis では約50秒程度で学習が終わるといった説明があり、実際に最初、バタバタと各足を動かしているうちに突如、各足が同期的に動くようになり、前進して動き始める光景を見ることか出来た。しかし、彼自身も原理的に同期化が課題であるとも述べていた。

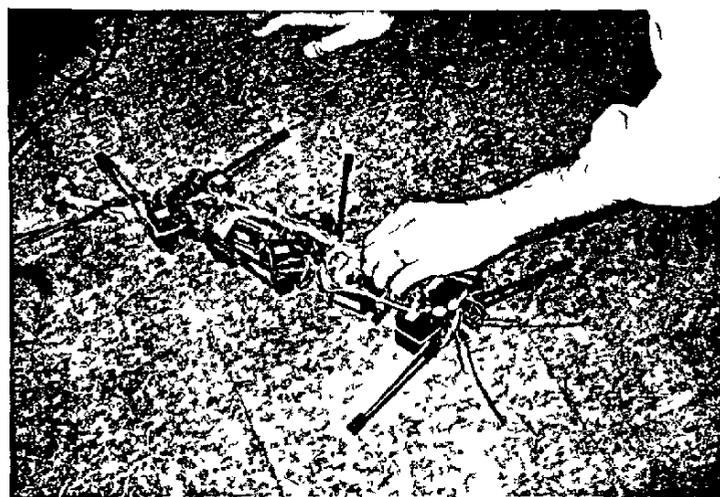


写真1 G e n g h i s

このほか、シリコンチップ上に刻まれた $200\mu\text{m}$ の径をもつ超小型モータを見せてくれて、モーターやアクチュエータがチップ上に搭載できれば、センサ、コントロール部、電源も搭載して、小さな蚊（Gnat）程度のロボット（シングルチップロボット）の実現か期待できると述べていた。また、小型シャイロを見せながら、体が動いていても特定の物体を見据えたり追跡できる機構を検討していることやリアルタイムのモーションティテクタを省パワーのために CCDカメラなどの受動的センサで行うことを検討していることについて話した。「Seymour」は超小型ロボットの実現に向けて開発されているロボットで、9個のカメラを持っており、DSPを使って68000ヘースてイメージ処理を行っている。

最後に紹介してくれたロボットは1992年に月に打ち上げる予定の新しいパーシジョンの6本脚ロボットで、某米国企業の資金援助によるものとのことである。先に見た6本脚ロボット・Genghisと違って各脚毎に3つのモーターを装備しGenghisより重く、16kgとなる模様である。ひっくり返っても元に反転せずにそのまま動けるように脚が設計されている。また、ひげが障害物に当たった場合には自動的に引っ込めて、その障害物を乗り越えて行くことかできる。目のセンサだけは特別に浜松ホトニクスと開発しているとのことだが、水銀を使った小型の上下センサなど、他のセンサはすべて市販のものを使っている。月面の場合を想定しているため、音のセンサは持っていない。

見学後の討議では、月面に大きなステーションを作るという清水建設の計画に関して、彼は、清水建設に対して小さいロボットをたくさん潜入させる方が遙かに安上りた、ということ提案してると話していた。これは、シャヘルの付いた1kg程度のロボットを数10から数100個程度の群で共同作業をさせる計画である。それぞれは単純なタスクで自律的に同期せずに行動し、ローカルな通信をするだけだが、全体的にはまとまった仕事をするというストーリーである。近くのロボット同士で通信しなから、ステーションのための深い溝を掘ったり、月の土を採集したり、日光から守るために土でステーションを隠したりする作業を行うものである。制作費用、打ち上げの重量の軽減、地上での準備などの点で安上りかのアプローチであることを強調していた。現状では15cm程度の大きさのシャヘル付きロボットで実験を進めていく予定である。

プランニングについてはどうするかという質問に対して、確かに課題であることを認めて

いた。また、昆虫というのは進化の過程という観点では行き着いた形になっているか、環境変化への対応のためにむしろパンチをあてる形で、いわばつきはぎの最適化を行って来ているという杉江氏の指摘にも彼は同意していた。目の動き方のモデルについては、既に20年以上前に杉江氏のIEEEの論文があることに驚いた様子であったか、人間のカラービジョン、ビジョンなどではそれぞれいろんな機能が別々に働いている点など、彼のアプローチを支持する内容の指摘に対して、彼は大いに鼓舞されたことを表明した。大津氏からはビジョンに対する理論的な取り扱いについて説明があった。最後に、彼は我々に彼の呼び名を胸にあしらったTシャツを見せてくれ、彼のロボティクス研究のトレードマーク「FAST CHEAP AND OUT OF CONTROL」と書いたハンカチを各人にくれた。

5 感想

サブサンジョンというの考えに基づいて、全体を組み上げていく方法は、たとえ、それぞれのプログラム自身か最初から仮説的な人工的なものであっても、興味がある。プログラムは比較的単純な命令セットになっていても、その並列的な処理か全体的に見て知的な活動になっていくという仮説で、どこまでのことか出来るかは疑問に感ずるか、具体的にロボットを着々と組み上げて行き、動かしているのを見ると、生体の動きの真理の一面を具体的に証明していているような気がしないでもない。月や太陽系の惑星に何100ものロボット軍団を潜入させるという彼の意気込みにも感心させられるし、しかも、マイクロロボットを人間の中に潜入させるというSFまかしの好奇心も駆り立てられ、彼自身、何等かの結論を出すだろうという、若さとハイタリティを感じた。

[田中 信夫]

6 参考・入手文献

- [1] Rodney A Brooks and Anita M Flynn "Fast Cheap and Out of Control
A Robot in Vision of the Solar System", JBIS, Oct (1989)

7. Neurogen Inc.

- 1 訪問日 1990年1月19日(金)
- 2 面接者 Dr Michael Kuperstein
- 3 所在地 325 Harvard Street, Suite #202
Brookline, Massachusetts 02146
U S A

4 調査結果

4.1 概要

Neurogen Inc は、1988年にDr M Kuperstein によってBoston近郊のBrooklinに設立された。主な事業は、ニューラルネット技術の研究開発とその応用である。3名の従業員と1名の顧問スタッフからなる私企業である。NASA DARPA, NSF(National Science Foundation) などから開発補助金を受けたり、開発契約を結んでいる。委託研究テーマは、ロボットの適応制御へのニューラルネットの応用である。NSF とは、フルライセンス契約を結んでいるとのことである。なお、Kuperstein氏は、MITからBrain Science のPh D の学位を取得している。

ロボット制御への応用では、INFANT(Interacting Networks Forming Adaptive Neural Topologies) とよぶプロトタイプを開発している。INFANTは、パーセプトロンと似たニューラルネットであり、学習により運動の逆キネマティクスを獲得し、ピジョンセンサの座標系からロボットアームの関節座標系への座標変換を行う。このINFANTは、スイスの心理学者であるJean Piagetの幼児心理やニューロン同士の生理学的な信号のやりとりを基本にして構成されている。

Neurogen Inc は、リスクの大きいR&D たけではなく事業資金を得るための研究として手書き文字認識システムINSCRIPTの商品開発を行っている。INSCRIPTは、1989年6月に開発された手書き文字認識システムである。このシステムは、IBM PCへのプラグインボードとして開発されており、手書き文字や印刷文字の認識かてきる。手書き文字や印刷文字の使用が多い銀行、クレジットカート、保険、郵便関連業界での普及か狙いてある。

4.2 Kuperstein 氏の「新情報処理」へのコメント

Kuperstein氏に新情報処理の概要を説明した結果、以下のコメントがもたらされた。

- ・ 研究テーマは、おおむね賛成であるか、あいまいな部分も多いのか気になる。
- ・ Neurogen Inc はNSF とフルライセンスを結んでいるし、また、NASAやDARPA との共同研究もあるので新情報処理への参画についての早急なコメントは控えたい。
- ・ 提案書に関しては、プロジェクトで開発された発明、特許、ノウハウの所有権かはっきりしていないのか米国との共同研究で問題となるだろう。国際プロジェクトとするには、この点を明確にすへきてある。米国では、図1のような研究開発に関わる契約システムがきている。たとえば、Neurogenが政府機関からの依頼により開発した技術に関しては、政府機関での使用は無料、企業での使用は有料としている。

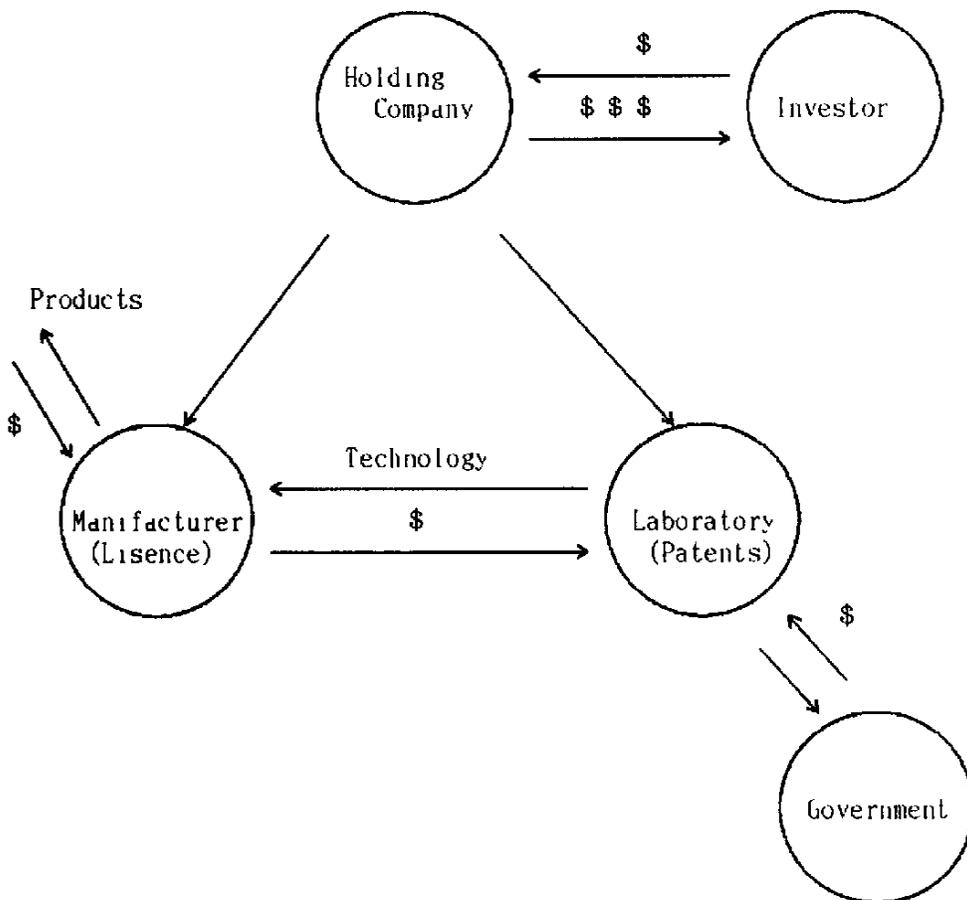


図1 米国の技術開発に対する資金の流れ

(Dr M Kuperstein の説明)

4.3 INFANT システム

ロボットアーム制御でのセンサ座標系からロボットアームの関節座標系への座標変換マトリックスをニューラルネットにマッピングし、複雑なソフト開発工数の低減や未知のシステムに対する適応能力を高めることを目的として開発されたシステムである。

プロトタイプシステムは以下のとおりである。

- ・上下左右に回転できる2台のTVカメラと5自由度のロボットアームを使用
- ・心理学の知見に基づく教師無し学習と生理学を基本とした誤差学習
- ・ピンジョン座標系から関節座標系への座標変換の学習（逆キネマティクスの獲得）

位置決めの平均誤差はアーム長の4%、姿勢誤差の平均は4°である。

このニューラルネットの学習アルゴリズムにより、センサの数や関節の数によらず座標変換を学習することかできる。学習は、図2の手順で行われる。ロボットアームへのモータ信号は、ピンジョン信号と相関があることに着目して学習が行われる。学習時の処理は、a, b, c, d, (e+f), gの順番で行われる。両者の相関関係の学習は、gのステップで行われる。この学習が終わると、ピンジョン信号から得られたターゲット位置を基に、正確にそれをつかむための関節角が得られる。なお、学習終了後の実行は、c, d, e, bの順に行われる。

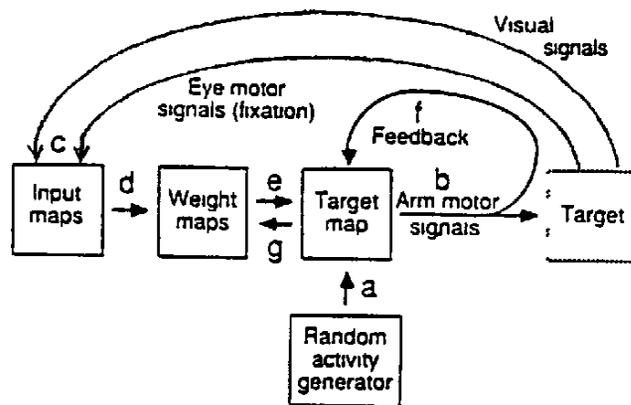


図2 INFANTシステム

プロトタイプシステムでは、TVカメラを6本の筋肉により上下左右に各々60°の範囲で回転させる。また、ピンジョン信号は、50×50の2値のマトリックス信号としてニューラルネットに入力される。ニューラルネットは図3に示すよに3層構造で、EYE MUSCLES部とRETINE部にモジュール化されている。入力層と中間層間の結合は、J. Piagetが提唱している幼児心理学の知見に基づいて結合される。結合荷重は、固定値の荷重を持つ。また、

中間層と出力層間の結合荷重は双方のモジュールとも可変となっており、誤差学習により調整される。これらの基本概念は、3層パーセプトロンと同様の考え方といえる。

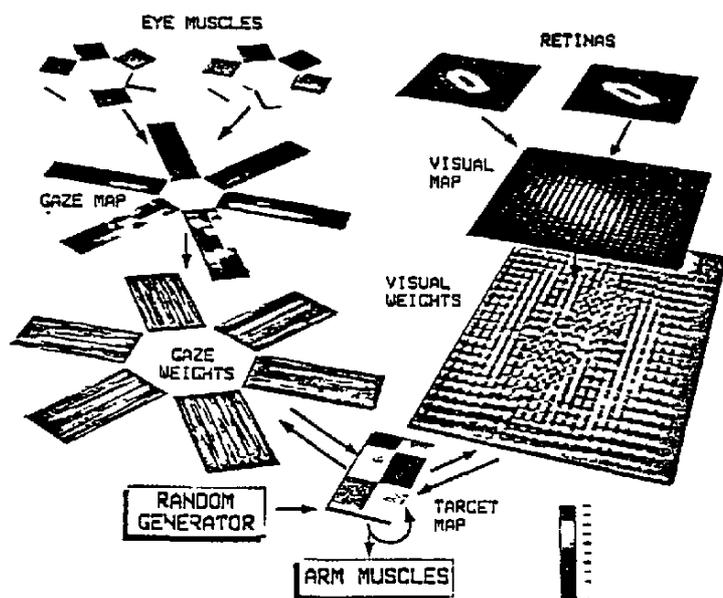


図3 INFANTシステムのニューラルネット

VTR を使ったデモでは、まず、ロボットアームにノリシタ状の白い棒を持たせて、ピンヨセンサでこれを認識するところから始まる。背景およびロボットアーム本体は黒に塗ってある。三脚に固定された2台のTVカメラから得られるカメラの姿勢情報とピンヨン情報 (EYE MUSCLES とRETINA) から、ターゲットを掴むためのロボットアームの各関節角度をTARGET MAPからARM MUSCLES として出力する。

誤差学習部では、ARM MUSCLES の値とターゲットを掴んでいる実際のアームの関節角度を比較して、誤差を低減するようにGAZEとVISUALの重みを変更する。ピンヨンセンサの全視野で色々な姿勢をロボットアームかとりセンサにターゲットの認識をさせれば、誤差学習により、センサやロボットアームの特性やキネマティクスが未知の場合でも座標変換のための逆モデルが獲得できる。実際には、20,000にも及ぶ位置・姿勢でのターゲットを学習している。

この逆キネマティクスの獲得は、3層ニューラルネットの汎化機能を利用したものである。したがって、バックプロパゲーション法でも同様のことはできる。原理的に新しい技術とは言にくい。また、当方からの技術的な質問に対しては、ノーコメントとして拒否されたため、詳細は不明である。

4.4 INSCRIPT システム

手書き文字や印刷文字を認識するニューロシステムであり、商品化されている。12~18カ月のクライアント方式による導入販売をターゲットとしている。本システムは、IBM PC/AT のプラグインカードとC言語で書かれたソフトからなる。ポートは、高速演算プロセッサとしてDSP を採用しており、10MIPSの処理速度を実現している。メモリ容量は、256k W である。認識処理速度は、200 cps (characters per second) である。ただし、ソフトのみでは、4 cps である。認識の正答率は、99.5%と高い。ニューラルネットの構造についての質問に対してはノーコメントであり、不明である。

図4にINSCRIPTシステムの概念図を示す。INSCRIPTは、Neural Classifier と呼ぶアルゴリズムを基本としている。Neural Classifier は、入力パターンと識別パターン間の関係を学習する。Spatial Analyzerは、入力パターンをモジュールに分解する。このモジュールは、Adaptive Classifier によりクラスにマッピングされる。このマッピングにより、入力パターンを表現している最も近いパターンクラスが決められる。

INSCRIPTシステムは、0から9の数字とコンマ「,」、ダッシュ「-」、ピリオド「.」からなる6~24桁の文字を認識することかてきる。文字の高さ、幅、傾き、スペースのばらつきなどに影響を受けずに文字認識を実行する。しかし、重なり合った文字の処理はできない。

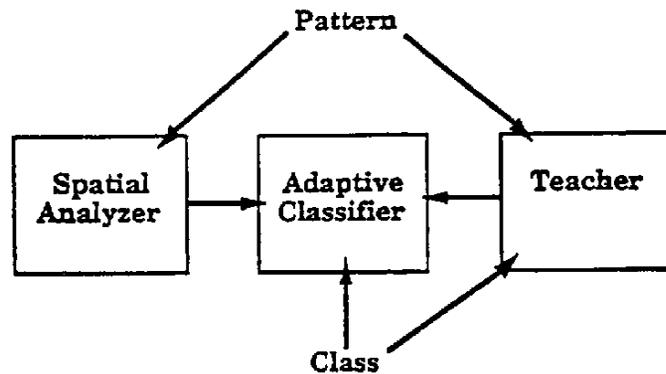


図4 INSCRIPTシステムの概念図

23654

INSCRIPT Result:	2	3	6	5	4
Confidence Ratings:	97/17	98/22	93/27	94/28	84/22

図5 INSCRIPTによる手書き文字認識の例 (郵便番号の認識)

図5は、INSCRIPTによる5けたの郵便番号"23658"の認識例である。図中の手書き文字の下は認識結果であり、その下か確信率である。確信率（confidence ratings）に記されている2つの値のうちの前のは確信率（0から100）であり、後ろの値は2番目に高い確信率の値との差である。この場合、5けた目の数字8を4と間違えている。この間違いを指摘するのは人間でも難しいとしている。また、このエラーに対しては、エラーを起こしたサンプルのみを学習し直せば、エラーを訂正し精度の高い認識をすことかできるとしている。

このシステムは、小切手、クレジットカードの領収書、郵便番号の認識への応用か期待されている。U S Post Office, Duch Post Office, La Poste などでは、郵便番号の70%はタイプ、残りの30%か手書きであるとコメントしている。

5 感想

大学の訪問ではフランクな議論を持たたか、Neurogen社では日本と米国との経済摩擦に代表されるいやなものを感じた。面会した時からKuperstein氏はかなり構えた態度であったため、慎重な態度での意見交換となってしまった。社交事例として簡単なデモはVTRで見せてくれたか、技術的な質問にはノーコメントとして拒否された。

また、ニューラルネット研究の共同研究に関していうと、既に政府機関との共同研究を実施している企業の新情報処理プロジェクトへの参画は機密保持の観点から難しいのではないかと感じた。

新情報処理の国際プロジェクト化については、開発技術（特許、ノウハウ、開発成果など）の所有権を国際的観点から検討し直す必要かあると思われる。特に、米国企業との共同研究では大きな問題となりそうである。米国方式を検討しても良いのではないか。

今回、新情報処理の米国調査団に参加し、貴重な経験をすることかできたことを、関係各位に感謝致します。

[浅川 和雄]

6 参考・入手文献

- [1] Michael Kuperstein "Neural Model of Adaptive Hand-Eye Coordination for Single Postures", Science, Vol 239, pp 1308-1311 (1988)
- [2] Neurogen Inc パンフレット

8 . N o r t h e a s t e r n U n i v e r s i t y

- 1 訪問日 1990年 1月19日 (金)
- 2 面接者 Prof Ronald J Williams
College of Computer Science
- 3 所在地 161 Collinane hall,
360 Huntington Ave , Boston, MA 02115, U S A

4 調査結果・

ホストン市内西部にある Northeastern大学は、近くのMIT、Boston大学とともに米国東部におけるニューロ研究の一拠点をなしている。当大学には、ニューラルネットワークを用いたエキスパートシステム MACIEの開発で知られる Stephen I Gallant を中心とする知識処理指向の研究グループと、誤差逆伝播法の提案者の一人として知られUCSDから移籍した Ronald J Williams を中心とする学習理論指向の研究グループとかある。

今回の訪問は、当初、正規の予定には無かったか、昨年暮れ ETLへWilliams氏を招待して知り合った筆者（大津）の個人的な訪問予定を、急遽、追加訪問として、Williams氏にお願いしたものである。前日の MIT訪問と当日午後のNeurogen社訪問の間の午前の時間を利用して、MIT 班全員で訪問することになった。Gallant氏は、NTTの招待で中期訪問中のため、残念なから不在であった。

Williams氏は、「Neural Network Learning Algorithms」という題目で、一般的な概論と、彼自身の研究テーマである reinforcement learning および recurrent networks に関する最近の研究について、1時間近く講演をしてくれた。以下、その概略について報告する。

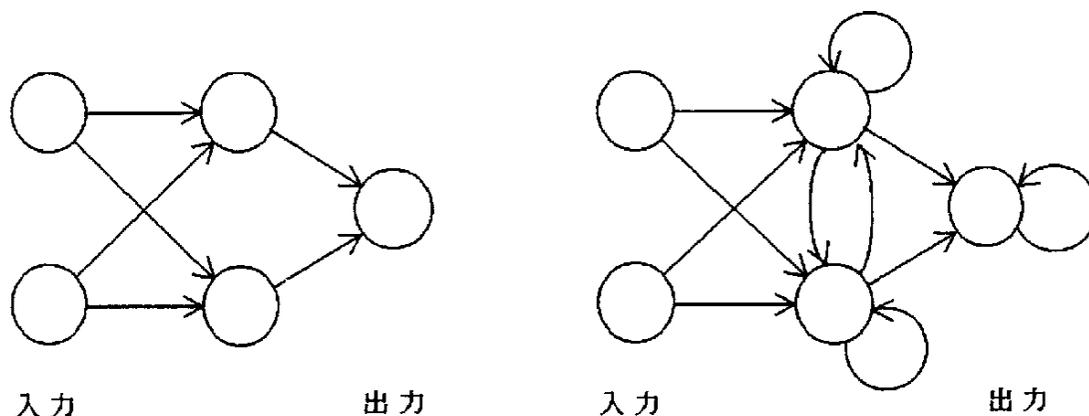
4.1 コネクショニストネットワーク

一般に、コネクショニストネットワークは、比較的簡単な計算素子と、それらを結び簡単な情報を運ぶ結線からなる計算マシンとしてのネットワークであり、いわゆるプログラ

ムは全結線の重みによって決められる。その特長をあげると、次のとおりである。

- ・ 神経回路網にマッチしたアーキテクチャを持つ。
- ・ 高度に並列処理である。
- ・ 強力な連想記憶の性質を持つ。
- ・ 準最適解に落ち着く能力を持つ。
- ・ (情報の変容に対して) ロバストであり、ひとく性能が落ちることはない。
- ・ 学習はすべて、パラメータ学習である。

ネットワークアーキテクチャとしては、入力層から出力層へと信号が一方向に流れる feedforward (前進結合、階層) 型と、出力が入力に帰還され繰返される recurrent (相互結合、回帰) 型がある。



a) feedforwardネットワーク

b) recurrentネットワーク

図1 ネットワークアーキテクチャ

4.2 学習アルゴリズム

コネクショニストネットワークの学習パラダイムとしては、まず、望ましい出力(正回答)そのものが教師信号として直接与えられる場合の supervised learning (教示学習)がある。いわゆるニューロコンピューティングブームの発端となった有名な誤差逆伝播法

は、この場合の代表的なアルゴリズムである。一方、より一般的な場合として、入出力に対して何等かの評価（例えば、評点、報酬など。確率的でもよい）が環境を介して強化信号として与えられる reinforcement learning（強化学習）がある。この場合、ユニットは試行錯誤的な動作の必要から確率的に出力を出しつつ、平均としてより良い評価の得られる方向へと自己探索的に学習を進めなければならない。

Williams氏は、これらの学習について主に理論的な立場から研究を行っているか、彼がこれまで提案してきた学習アルゴリズムの概要を以下に示す。

(a) 誤差逆伝播アルゴリズム [1]・

feedforward ネットワークに対する代表的な教師学習の方法であり、結合重みに関する誤差の勾配を計算するための効率的かつ完全に局所的な計算法に基づいている。staticなパターン認識の諸問題に適用できる。

(b) REINFORCEアルゴリズム [2], [3]・

平均として、評価（報酬）の期待値の勾配を登るように結合重みを更新する、強化学習のための一般的な方法。この数学的基盤としては、確率学習オートマトン（Stochastic Learning Automata）がある。

(c) REINFORCE/MENTアルゴリズム [4], [5]・

上記アルゴリズムの「探索の性質」を強調した拡張版である。MENTは、最大エントロピー（情報量）基準を用いることにちなんで名付けられている。Simulated Annealing や Genetic Algorithms同様に、ブラックボックス的な評価関数の最適化（学習）問題へのアプローチとして有望と思われる。

4.3 最近の研究

彼の最近の主な関心と研究は、次のようである。

(a) feedforward ネットワークの教師学習において「rule-like」な訓練データを用いる方式の展開（学生 R. Greene との共同研究 [6]）。

(b) REINFORCE/MENTアルゴリズムの展開と、組み合わせ最適化問題（例えば、グラフの分割問題等）への応用（学生 J Peng との共同研究[4],[5]）。

(c) recurrentネットワークにおける時系列教示学習への実時間アプローチの研究（UCSDのD Zipser との共同研究[7],[8]）。この研究は、いわゆる時系列の認識や生成の問題を含んでいて、

- ・ content-addressable な連想記憶
- ・ システム同定
- ・ 音声認識
- ・ ロボティクスや制御

などの分野への応用（特に実時間アプローチ）が考えられる。

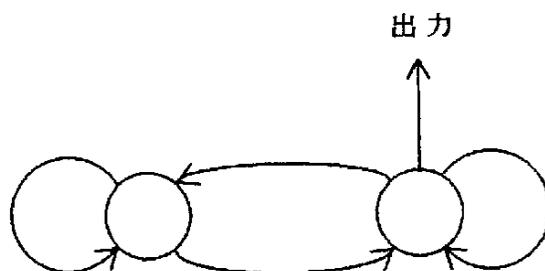


図2 sine-waveを出力するrecurrentネットワーク

以上が講演の概要である。その後、学習や最適解の探索（発見）の問題について、今後の研究の展望を含めて1時間近く自由討論を交わした。近くのタイ・レストラン（彼の気に入りの店）で昼食を共にした後、親切にも彼の車で次の訪問先であるNeurogen社へ我々一同を送ってくれた。

5 感想

Williams氏は数学の出身であり（UCSDでホモトピー論で博士号を取得）、温厚で沈着な人柄である。UCSDでの初期PDPグループに参画し、Rumelhart, Hintonと共に誤差逆伝播法

の考案者の一人となった後、より一般的な状況での学習（強化学習）、そしてZipserとの接近により、時系列の学習（recurrent ネットワークによる）へと研究範囲を広げつつある。彼の研究は、単にアイデアとその応用だけではなく、しっかりとした数学的な基礎の上に立って、より一般的で本質的な問題にしっかりと腰を据えてチャレンジしている。

今後、ニューロコンピューティングの研究は、こうしたより一般的な枠組みでの学習や自己組織の問題へと範囲を広げて行き、原理的な基礎研究から機能応用まで、研究のスペクトルは広がるものと思われる。スタティックな認識問題への誤差逆伝播法の応用や、その改良といった、ある意味では安易なケーススタディが氾濫している中で、今後の研究方向をにらんだ本格的で先導的な研究か、ますます重要となるであろう。

こうした本格的な研究者が数多くいる米国の層の厚さ、また一方で、新しい応用を次々と見つけ出してゆくエネルギー、そしてそれらが密接に速やかに連携している様子は、今回の訪米調査で一番印象に残った点であった。

わが国での今回の新情報処理の研究開発も、是非そうありたいものである。また、その条件の上にこそ真の対等な国際研究協力があるものと思う。

[大津 展之]

6 参考・入手文献

- [1] Rumelhart, D E, Hinton, G E & Williams, R J Learning representations by backpropagating errors Nature 323 533-536 (1986)
- [2] Williams, R J A class of gradient-estimating algorithms for reinforcement learning in neural networks, Proc ICNN-87, Vol II, 601-608 (1987)
- [3] Williams, R J On the use of backpropagation in associative reinforcement learning, Proc ICNN-88, Vol I, 263-270 (1988)
- [4] Williams, R J & Peng, J Reinforcement learning algorithms as function optimizers Proc IJCNN-89, Vol II, 89-95 (1989)
- [5] Williams, R J & Peng, J Function optimization using connectionist reinforcement learning algorithms, Technical Report NU-CCS-89-29, Northeastern University, College of Computer Science (1989)
- [6] Greene, R L & Williams, R J An approach to using rule-like training

data in connectionist networks, Technical. Report. NU-CCS-89-30,
Northeastern University, College of Computer Science (1989)

[7] Williams, R. J. & Zipser, D. : Experimental analysis of the real-time
learning algorithm, Connection Science, 1, 87-111 (1989)

[8] Williams, R. J. & Zipser, D. : A learning algorithm for continually running
fully recurrent neural networks, Neural Computation, 1, 270-280 (1989)

9. SAIC (Science Applications International Corporation)

1 訪問日 . 1990年1月11日(木)

2 面接者 Junifer Humphrey

Daniel J Bozich

Tim Kraft

原口栄治, 渡部功一(センチュリリサーチセンタ)

3 所在地

4161 Campus Point Court, MS53, San Diego CA92121, U S A

4 調査結果

4.1 J Humphrey氏によるSAICの概要紹介(ビデオ使用)

SAIC(Science Applications International Corporation)は1969年に設立され、防衛・エネルギー・環境などの複合的な科学や工学の問題に対してソフトウェア開発を行ってきた。SAICは政府・民間の両方をビジネスの対象としている。

SAICの主な業績は以下のとおりである。

- ・ ADAの処理系の主たる開発者である
- ・ SAICは新しいソフトウェア工学において重要な役割を果たしてきた
- ・ SAICの開発ソフトは数10億ドルにのほる
- ・ ソフトの開発対象はパソコンからメインフレームまでをカバーする
- ・ ソフトの再生と向上に寄与し、ソフトの生命を長らえる技術を持つ

SAICは11,000人の雇用者からなる。特に会社としては会社の固有の資産というものを作らず、すべての所員が各人の寄与に応じた分だけ会社の施設を私有するというownership制を用いている。18のdivisionからなり、各divisionには85~90人の科学者がいる。

4.2 Dr Don BozichによるVibration Reduction Systemの紹介

4層ニューラルネットワークを用いたバックプロパゲーションによる振動吸収システムの紹介。

力学的な力を作り出したり、利用したりするすべてのプロセスは、振動に敏感である。回転部分を持つ機器、例えばタービンジェネレータ、冷却ポンプ、ホイラー水圧ポンプ、圧縮空気によるファン、コンデンサポンプ、ヘルトコノヘア、推進ポンプなどはいずれも振動の影響を受けるし、またプラントシステムともなるとより一層振動との関係が重要になってくる。振動が隣接する機器に与える影響は重要である。大型の機械、トラック、航空機、宇宙船などの操縦者はこの振動によって過度の疲労をする。またこの振動は精密なロボット、カメラ、その他の自動機器に悪影響を及ぼす。振動の減少は近年の大型プラントの常なる目標である。

この研究は振動吸収システムを複雑なターボ機械に応用したものである。研究の目的は、ある特定の場所を振動から守るため、その場所の振動を減衰させ、静かに保つようにする制御システムの構築である。基本的なアイデアは、振動している箇所のセンサからその振動波を読み取り、そこに位相が反転した振動波を与えて、その箇所の振動をキャンセルしようということである（図1）。

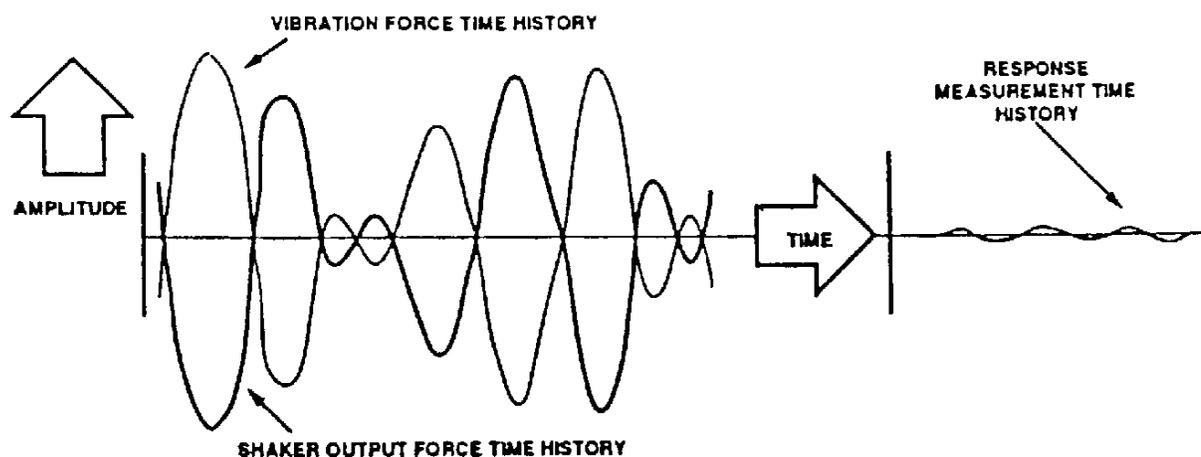


図1 振動吸収システム

このコンセプトそのものはきわめてシンプルであるか、実現は難しい。振動波の完全なキャンセルは不可能であるか、振動波の重要成分はかなりの精度で取り除くことかできる。問題は、この反振動波を作り出すのに十分速く、かつ正確であるようなハードウェアである。SAICが開発したシステムは、この要求に応えるべく、ニューラルネットワーク (ANS artificial neural system) を応用し、いかに速く正確に反振動波を作り出すかを自律的に学習する機能を備えたものである。

<<実験システム概要>>

テーブルくらいの大きさの鉄棒を水平に置き、数個の独立した振動源をその下において鉄棒に振動を与える。振動の様子はこの鉄棒上の数カ所に接着してあるコップの中の液体の様子から観察することかできる。この鉄棒上の一箇所に聴診器のようなセンサを置き、その地点での振動を計算機に伝えて反振動波を作り出し、その地点での振動を減衰させることをシステムの目的とする。この結果、このセンサの近くのコップの中の液体はほとんど静止するか、他の箇所のコップの液体はより一層激しく振動する(図2)。

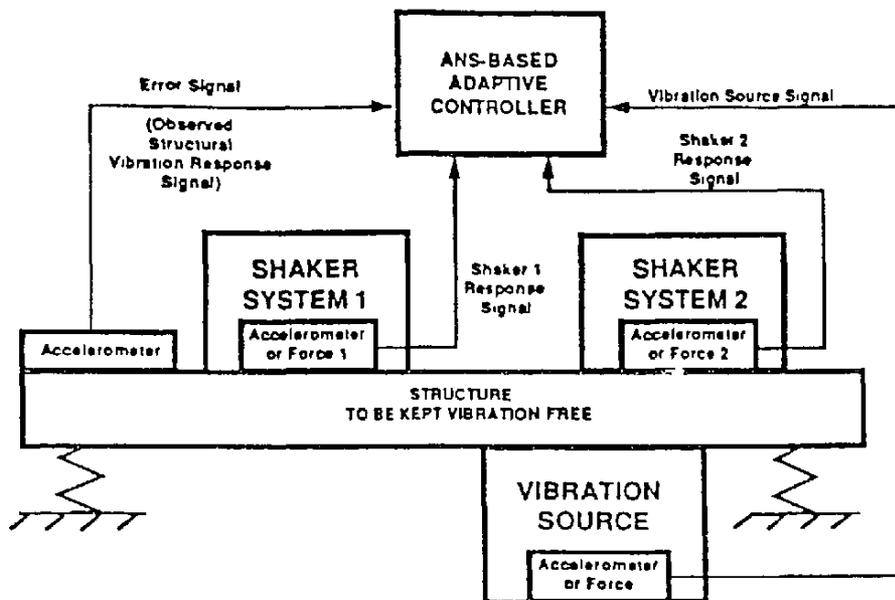


図2 実験システムの概要

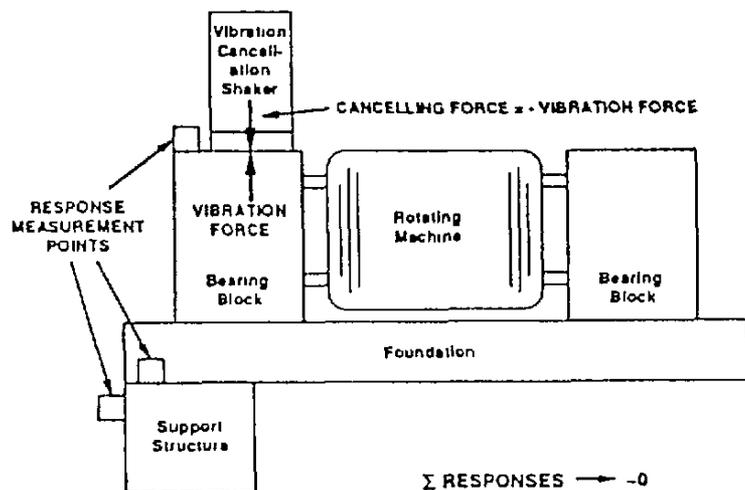


図3 振動吸収システムの構成

回転機器に取り付けられた振動吸収システムの構成は、図3のとおりである。回転機械が振動源であり、その振動は支えの台を通じて周辺に伝わる。振動の吸収波はシェイカと呼ばれるもので作り出す。これは支え台に取り付けてある。

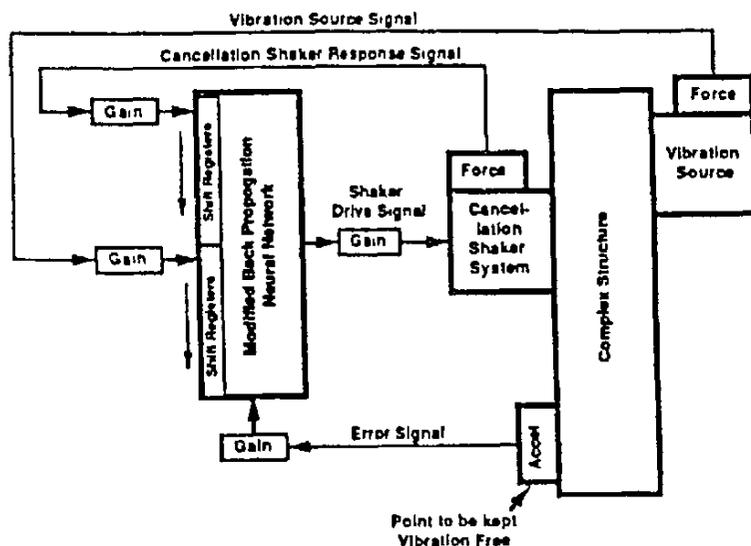


図4 ブロックダイヤグラム

図4はテータを得るためのシステムのブロックダイヤグラムである。

振動を計測するには加速度測定装置を用い、この情報がニューラルネットワークによる振動吸収システムへのインプットとなる。システムはニューラルネットワークを用いた制御システムと2つのシェイカの位置および振動吸収を行う箇所て決まる。

この制御システムはバックプロパケーションのアルゴリズムによる。このシステムの目的は振動をキャンセルすることにあるため、センサのシグナルか、バックプロパケーションの言葉ていうところの「出力ユニットから入力ユニットに逆伝播される誤差」ということになる。すなわち、この測定された誤差か、目標値からネットの出力値を引算するというアルゴリズムによる計算値に置き代わる。結論として、その誤差はバックプロパケーションのアルゴリズムに直接与えられ、振動吸収のための制御パラメータになる。振動吸収を行う場所と加速度測定装置のシグナルは、そのまま誤差の発生場所と誤差シグナルになる。

図5にはこの振動吸収システムて用いられたニューラルネットワークワークステーションであるSAIC SIGMA IIのブロックダイヤグラムを示す。

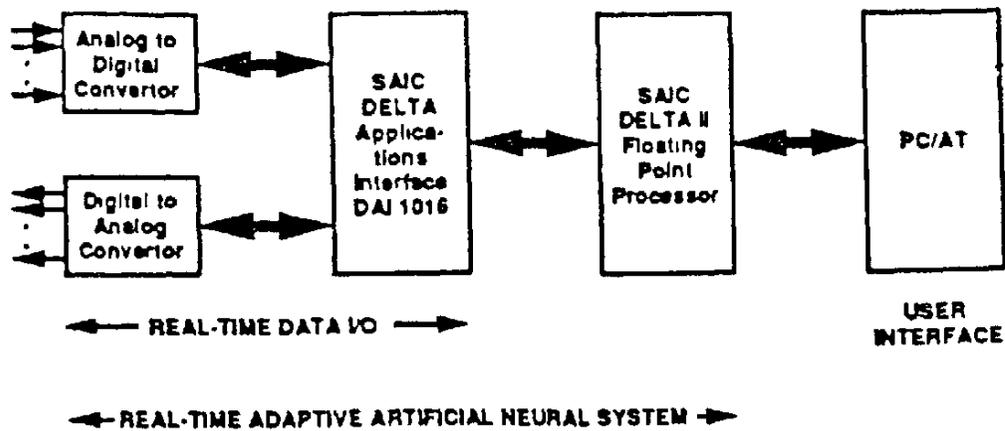


図5 SAIC SIGMA IIのブロックダイヤグラム

4.3 Tim Kraftのプレゼンテーション

ニューラルネットワークを開発する場合には、通常の計算機上においては演算処理能力およびメモリの制限から、小規模なシステムしか望めない。SAICのニューラルネットワーク開発環境はDELTA IIという専用ホストを核とするため、より高速な処理を期待することかてきる。SAICで開発されたニューロのためのソフトウェア環境は、このDELTA II上を仮定して、学習パラタイムを提供するANSimなど多数あるが、Kraftの考案するプログラミング言語ANSpecもこの延長上にある。

最新の情報処理技術のもっと進んだ形態としてロボティクスをターゲットに置き、これに進むための方法論としてスーパーコンピュータ、第五世代、ニューラルネットワーク、そして大規模並列処理(massively parallel computation)の4つを軸に考える。Kraftは、このうちのニューラルネットワークと大規模並列処理を融合させたものを主軸に考え、そのような情報処理を行うのにふさわしい新しいプログラミング言語のパラタイムを提示している。これはANSpec (an Actor Language for Artificial Neural System Specification) と呼ばれ、エージェント指向に基づき、大規模並列を記述しやすいようにしていることを特徴とする。

ANSpecはMITで開発された分散協調型モデルのActorをベースにしており、大規模並列処理システム構築時に必要となる複数のネットワーク間の相互関係記述を容易にする。ANSpecは各ニューロンを個々のActorに割り当て、このActorが並列処理の単位となる。各ActorにはBehaviorを定義し、その中で他のActorとの関係、操作を記述する。すなわち、他のActor又は自分自身への情報伝達、他のActorの生成あるいは自分自身の振舞を変える

ことかてきる。

ANSpecの思想と仕様について以下にまとめる。

ANS専用言語の必要性は次のようになる。

- ・現在の人工神経回路網はCやFortranなどの従来型言語で記述されている
- ・ANSにより関連した言語で記述すればANSの問題をより容易に定式化できる
- ・DELTAのような高速並列処理系用の言語が必要である

言語仕様のアプローチとしては、以下の方向をとる。

- ・多相型並列アーキテクチャを記述できる高レベルの言語を目指す
- ・並列の仕様を一つもしくは多数のプロセッサに割り当てる
- ・この割り当てをヘクタ、オペレータオーバーロード、継承で最適化する

並列仕様を記述するためActorモデルを応用する。そこに現れる概念について説明する。

Actor 並列処理をするエージェント

Behavior Actorのプロセス応答

Communication Protocol 並列プロセスのシンクロナイズ

Polymorphic Behavior Class アクタの、サイズや属性変更可能なクラス

Architecture アクタと連絡プロトコルが接合したネットワーク

これらの概念を用いてANSpecは、アクタによりプログラミングという考え方をする。具体的には、アルゴリズムやデータを処理エレメントの中に埋め込み、アーキテクチャの中のサイズや属性を変更できるように多相型のルールを使用し、アーキテクチャのクラスを初期化することによりネットワークを生成・処理し、ネットワークを結ぶことによりシステムを構築する。

Actorについてももう少し詳しく述べる。Actorとは次の性質をもつものである。

- ・Actorとは独立した並列プロセスのエージェントである
- ・Actorは自身のメールボックスを持ち、メールシステムで交信する
- ・イベントとは他のActorもしくは外界からの受信である
- ・イベントに対するActorの反応はBehaviorとして内部に書かれてある

その基本的なレスポンスの仕組みは図6のようになる。

ANSpecの仕様を並列プロセス通信(CCP, communicating concurrent processes)と逐次型プロセス通信(CSP, communicating sequential processes)という観点も含めて他の言語との比較を行うと図7のようになる。

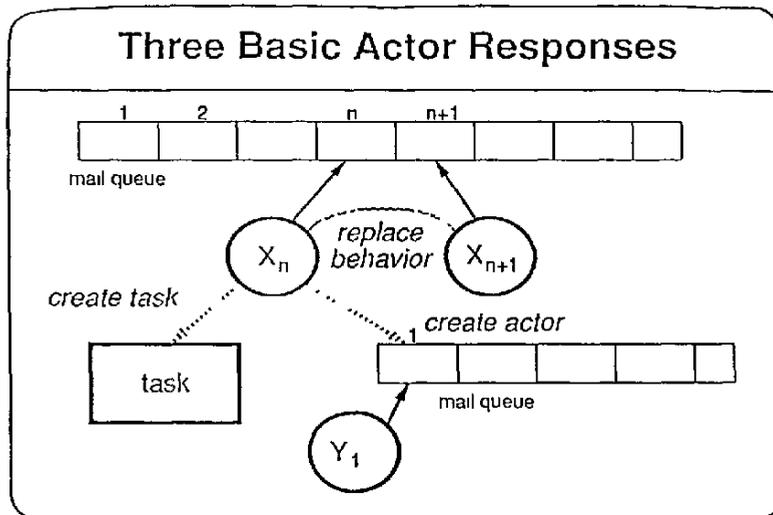


図6 Actorの基本的なレスポンスの仕組み

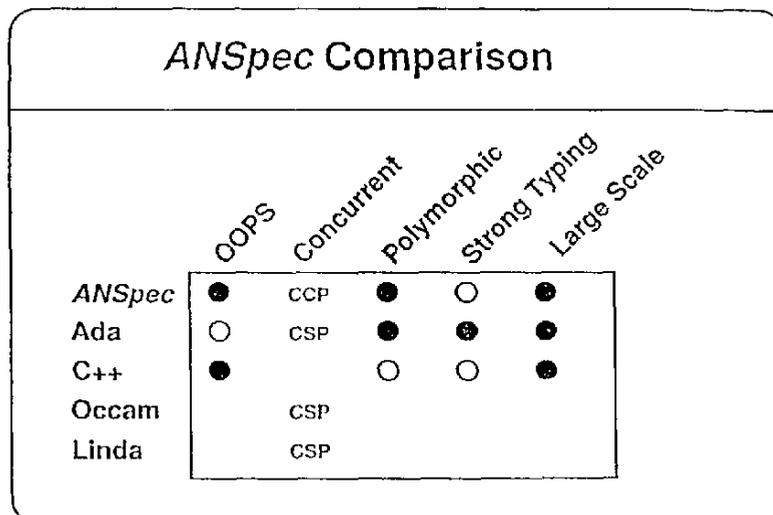


図7 多言語との比較

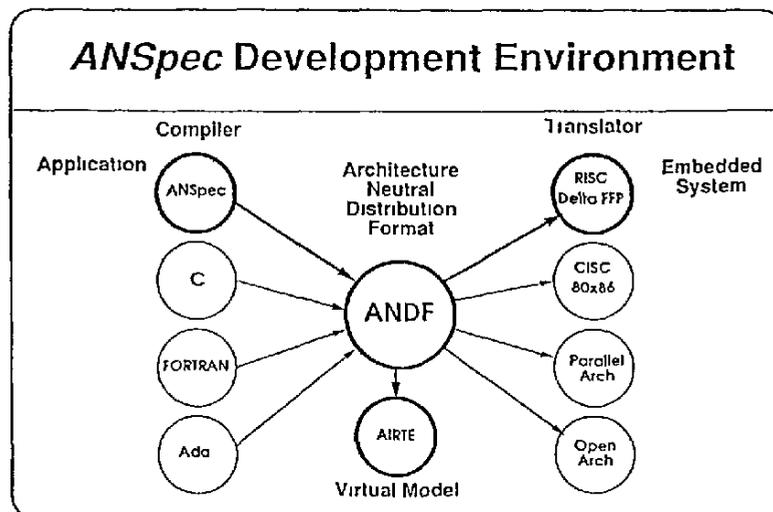


図8 ANSpecの開発環境の拡大

最後にANSpecの開発環境は図8のように拡大されることになる。

4.4 「新情報処理」プロジェクトについてプレゼンテーション

内容省略

5 感想

建物等を含めて研究施設は思ったより大きく新しい。研究内容も商業ベースのものから基礎的なものまで幅広く、この分野に対しての積極的な姿勢かうかかわれた。

[東条 敏]

6 参考・入手文献

- [1] Delta II, ANSim センチリ・リサーチ・センター (Computrol No 29からのコピー)
- [2] ニュラルネット開発用高速プロセッサ「Delta II」 (Information Oct 1989からのコピー)
- [3] ANSpec - "an actor oriented language for artificial neural system specification", Tim Kraftのプレゼンテーション用資料
- [4] D J Bozich and H B MacKay Adaptive vibration reduction using artificial neural systems, Proceedings in AUTOFACT 89
(以下、SAIC提供資料)
- [5] Science Applications International Corporation, - Software Capabilities -
- [6] 1969-1989 SAIC Twenty Years of Achievement
- [7] ANSPEC - An Actor Oriented Environment for PDP specification
- [8] Delta II Floating Point Processor
- [9] Delta II/ANSim Benchmarks for Backpropagation Learning

1 0 . S a l k I n s t i t u t e

- 1 訪問日 1990年 1月 11日 (木)

- 2 面接者 Prof Terrence J Sejnowski
Dr Jeffrey L Elman
Dr Allen Selverston
Dr Halbert White
他 Sejnowski 研究室の学生

- 3 所在地 P O Box 85800
San Diego, California 92138, U S A

4 調査結果

Salk Instituteは、生理学の基礎研究所として世界有数の研究所であり、1960年に設立された。研究者数は500名、その内PhDが200人、ノーベル賞受賞者3名の優れた研究所である。その中にはカンセンター、遺伝センター、脳研究センター、分子医学センター、植物学センター、AIDS研究センターの6つの研究センターがある。脳研究センターでは、UCSDのSejnowski教授が兼任しており、彼の研究室はすべてSalk Instituteに属している。Salk Instituteは、純研究機関であり、その資金はNIH, NSF等公共のものも多く、成果はすべて公表されている。

Sejnowski教授はニューロ応用システムとして有名なNETtalk (back propagationにより英単語の発音を学習するシステム)の開発で著名な研究者であり、John Hopkins 大学よりUCSDに最近移られた。現在はハイオの方に関心か移っている。彼の研究室の研究範囲は次の分野である。

Neuro Science	biologyの知見に基づいたモデルの構築
Visual Science	動物や人間の視覚
Cognitive Science	PDPの発祥地としての伝統

Artificial Intelligence

Mathematical Science

Social Science : 確率、統計などを用いて経済学への応用

Computer Engineering . optical computingとそのVLSI化

このように幅広い分野に関心を持っているか、特にbiological modelに基づくNeuro Scienceが中心的なテーマとなっている。Sejnowski の主張は分子レベルからシステムレベルまでの各レベル間を関連付け、その間のギャップを埋めるようなモデルの研究が重要ということである。この間には次のようなレベルが存在する。

1m	CNS
10cm	Systems
1cm	Map
1mm	Network
100 μ m	Neuron
1 μ m	Synapse
1	Molecule

このようなレベルの中で、少なくとも3つ以上のレベルを関連付けるモデルの研究が重要である。現在のニューラルネットでは、ネットワークとニューロンの2つだけに焦点を合わせたモデルである。このようなモデルの研究を行うためには、いろんな分野の研究者が交流することが必要であり、また交流による再発見 (rediscovery) が大切であると主張した。この考え方は、ある分野で既に知られている知見を、他の分野に持ち込むことにより新しい工学的な価値を生み出すことを意味するものであり、ニューロのような学際的な分野においては非常に有効な考え方である。なお、異なる分野の専門家間の議論は困難ではないのかという質問に対しては、共通のベースとして数学を用いることにより可能であるという答えてあった。

Elmanは認知科学の研究者であり、リカーレントネットワークを用いた文法の学習を研究している。Elmanは人間の情報処理能力の研究に関心がある。ElmanはPDPの昨日、今日、明

日というタイトルで次のようなプレゼンテーションをした。

昨日 interaction activation model

typing/reading/speech recognition等の応用に適用された。

特徴・文脈の取り扱い、高速な統合機能、高い信頼性

欠点：プログラミングが必要、表現の問題

今日 learningの導入によるdynamic networkの構築

NETtalk, speech, image compressionへの応用

文法の解析、単語の類似度への適用

明日・大規模な応用に向けて次の課題の解決が必要

scaling

system level network

heterogeneous network

application & implementation

このように、並列分散の考え方から学習へと発展し、今後リカレントネットワーク等を含むより複雑な構造のネットワークにより大規模な応用へと向かうことを分かりやすく説明された。

Selverstonはニューラルネットによるリズム的な運動制御の研究を行っており、今回のIJCNNで招待講演した。本訪問では、内容の説明はなかった。

なお、UCSDでは、Sejnowskiを中心にInstitute for Neural Computation(INC)の設立の準備を進めている。この研究所は、40人のfaculty memberより構成される大規模なものであり、メンバーの出身母体は次のような分野から構成される。

認知科学	4 (人)	コンピュータ科学・	5 (人)
経済学	1	計算機工学	6
言語学	0 5	神経科	5 5
眼科学	1	哲学	2

物理学	0 5	精神病学	1
心理学・	5 5	海洋学	2
Salk Institute・	3		

この分野を更に分類すると、次のようになる。

生理学・	1 5 5 (人)
社会科学・	1 3
工学・	1 1 5

INCの研究目標(課題)は、次の4項目である。

- ・ 観察、実験、構造のモデル化による神経システムの機能のモデル化
- ・ 心理学的実験やPDPモデルによる認知原理の発見
- ・ ニューロ計算の工学的、科学的な問題への適用
- ・ ニューロ計算原理に基づく超並列コンピュータの創造

これらの4つの課題を個別でなく、関連させながら解くことを目指している。

INCはニューロ関連の研究所として全米最大規模のものであり、生理学から認知科学までをカバーしている点か他大学にない特徴である。faculty memberの中にはSejnowskiを中心にPatricia Churchland, Gary Cottrell, Jeffrey Elman, Robert Hecht-Nielsen, David Zipserなどの著名な研究者が含まれている。PDPグループの発祥の地という伝統と、生理学と密接に結びついている点、近傍にSAIC HNC等のニューロ関連企業が集中している点、およびUSC, Caltech等と近いため交流が活発であるという点を生かして、今後世界有数のニューロ研究センターとなることか予想される。また、SejnowskiはMIT pressより発行されている新しい雑誌Neural ComputationのEditor-in-Chiefでもあり、この分野における世界的なリータの一人として積極的に活躍している。

また、INCは産業界との交流のためIndustrial Affiliates Programを設けている。これはINCに属する研究者との個別の交流や、研究所内のセミナー、ノンポinumへの参加、研究レポートの入手、リクルート、INCの研究者の派遣、INCへの研究者の受け入れなどの窓口となる予定である。

5 感想

Sejnowski氏は、ハイタリティの溢れる若手研究者である。熱の入った早口の話ふりて、ニューロ研究にける夢を強烈に訴えていた。Salk Instituteについての説明はほとんどなく、UCSDの教授としての立場での説明であった。特に、PDPグループの発祥の地であり、かつニューロのノリコンハレーと呼ばれるサノティエコの中心的な役割を果たすUCSDのINSをニューロ研究の拠点とする意気込みを強く感じた。

本プロジェクトに対するコメントとしては、非常に野心的なプロジェクトであり、大いに興味をもたれた。また、国際的な研究交流についても関心を示された。プロジェクトの進め方については、6つのWGが独立に検討するのではなく、各WG間を関連付けて検討することか大切であるとコメントされた。これは、Sejnowski氏の持論から明らかなように、異なる分野の専門家の交流か大切という主張であり、本プロジェクトにおいても、テハイス、ハート、ソフト、モデル、応用を総合的に捉え、各々の専門家か共同して働く環境か必要であると感じた。

訪問時間か短く、十分に研究内容の紹介を受けられなかったか、研究室を一巡したところ、地道なハイオの研究を着々と進めており、地に足のついた研究の進め方を感じた。伝統あるハイオと認知科学の2つの分野をニューロコンピューティングでつなごうというアプローチは

、新しいニューロモデルを生み出すための基礎的な研究を進める上で重要である。ニューロの基礎研究を進める優れた研究環境か UCSDのINCにおいて準備されつつあることか印象深かった。

[小柳 滋]

6 参考・入手文献

- [1] Proposal for Establishment of an Institute for Neural Computation,
University of California at San Diego, December (1989)
- [2] A Profile of the Salk Institute for Biological Studies,
A Unique Research Center
- [3] Terrence J Sejnowski, Christof Koch, and Patricia S Churchland
Computational Neuroscience, Science, Vol 241, pp 1299-1306, September (1988)

4.2 技術討論

①ニューロコンピュータにおけるノンホルの扱いについて

ノンホルには2つの役割がある。

- 1)直感的な答えのフィルタとしての役割。アナログ処理で得た結論のチェックを論理レベルで行うフィルタリング。
- 2)ニューラルネットワークへのteacherの役割。Synthetic inputをニューラルネットワークに供給する。例えば、人間は本を読んで実際に体験していないことについて知識を得る。

ノンホルとはイメージであり、外的な世界を内的に実現するもの。表現の形式には、外部の表現と内部の表現がある。内部の表現(イメージ)の例として次の2つが示された。

例1)内語: 人間は本を読んだり、ものを考えるのに言葉を使う。本を読む場合は声を出して読みそれを耳で聞いて理解するか、実際には声を出さずに頭の中で声を出しそれを聞くことかできる。つまり外部の感覚器を使わずに頭の中だけで処理できる。

(Rumelhart教授は、それをショートカット(short cut)と呼んでいた。)

例2)そろばん: そろばんの熟練者は、実際にそろばんを使わなくてもそれを頭の中にイメージして計算を行うことかできる。つまり、アナログパターン処理=イメージかノンホル処理でも重要な役割を果たしている。

このようにイメージを頭の中で処理できる能力は人間だけに備わっており、それが人間の優秀性につながっている。

②バックプロパゲーション(BP)による自然言語処理の試みについて

意味論的(semantic)な認識は難しい。構文的(syntactic)な理解は可能。現在の単語から、次に続く単語を予測するのは難しいか、そのカテゴリを予測することはできる。

例として、James L. McClelland (Carnegie Mellon Univ.) と Elman (UCSD)の仕事の紹介があった。前者は関係詞や節も扱えるもので、20,000センテンスで、単語を1語ずつ入力して行き、その格を学習させることを試みている。後者は単語を次々と入力して行き、次に来る単語のカテゴリを予測させるものでこの問題のためのネットワークは入力層、中間層(hidden unit)、出力層からなり、中間層ではフィードバックがかかるというものがある。

③BPの効率化について

トレーニングの効率化を図るために、あらかじめ分かっている知識をネットワークに最初から組み込む (Pre-Connection, Prior Knowledge) という手法がある (杉江教授も、この考え方を取り入れたニューラルネットワークで文字認識の実験を行っており、その結果は今回のIJCNN-90でも発表された。)

その例として、

1) ロボットのための空間マップ作り:

これは、 64×64 の2次元平面を動くロボット制御において、あらかじめ平面を100程度のクラスタに分け (prior clustering)、それを隠れユニット (hidden layer) のレベルに対応させて、後にBPで学習させる。

2) 音声認識:

連続音声信号から単語 (words unit) を認識する場合に、中間層に音素 (phoneme) を対応させる。図1に示すように、初めにネットワークを2つのサブシステムに分け、別々に学習させた後に一つにまとめる。その後もう一度学習させる。

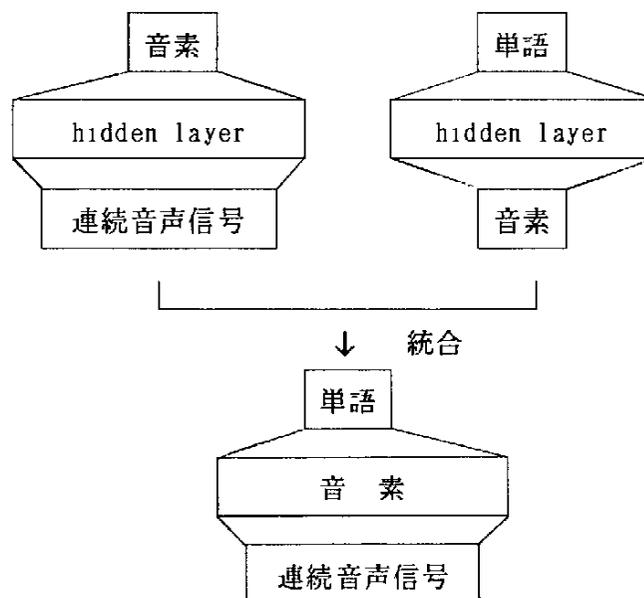


図1 Prior Knowledge の活用例。初めに2つのネットワークを別々に訓練し、統合した後もう一度学習させる。

3)BPの欠点として、

- ・学習パターンを数多く用意する必要がある
- ・何回も学習させなければならない

等がある。学習時間はパターンの数が増えれば当然長くなる。これらを改良した学習法として、

- 学習パターン (training data)
- 検証パターン (validation data or test data)

の2組のデータセットを用意し、aを使って一回学習させる度に、bを使ってネットワークの能力を検証するという方法がある。無駄な学習を省くことで高速化を図っている。

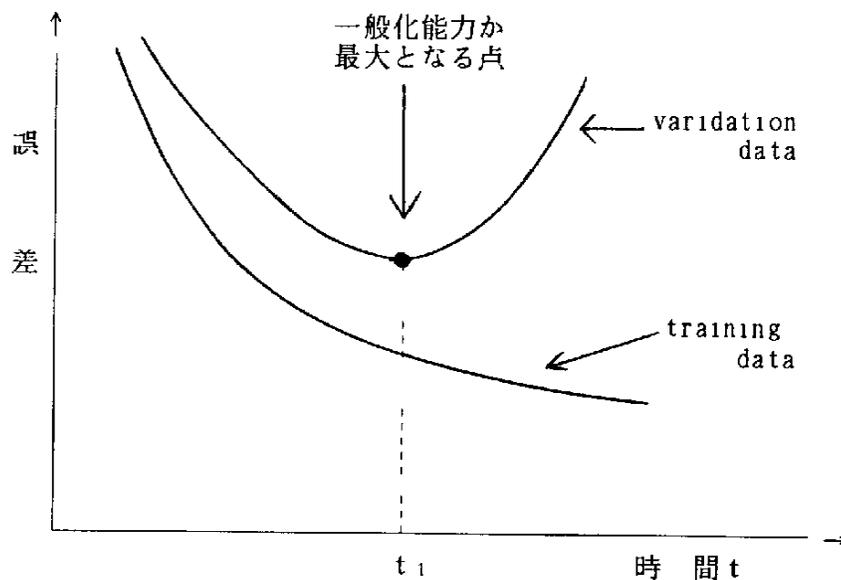


図2 時間 t_1 から先は、これ以上学習させても無意味でノイズを学習するだけになる。

④ニューラルネットワークのテスト方法について

「ニューラルネットワークはテストするのが難しく、動作を保証することもできない。これは産業的応用にニューラルネットワークを組み込むことが危険であることを意味する。」との立石氏の問題提起に対し、Rumelhart 教授はニューラルネットワークをプログラムとしてではなく、一つの統計的手法と考えるべきであるとのことであつた。

⑤ ホップフィールドネットワークについて

スウェーデンの Peterson という研究者がホップフィールドネットワークを使って多くの最適化問題を解いた。これはホルツマンマンの近似で mean field 法と呼ばれており、その結果は従来知られている最良の数学的手法 (Wilshaw & Durbin の Elastic Ring) より優れている。1989年11月に米国デンバーで開催されたNIPS (ニューラルネットワークの国際会議) において、数100都市を対象にした巡回セールスマン問題で種々の方法が提示された。mean field 法と elastic ringとは最適化という点で共通点のあることが示されている。

⑥ 光コンピューティングとニューラルネットワークの関係について

光の持つ並列性、広帯域性、接続のしやすさ: connectivity等の点で、ニューラルネットワークとの相性は非常に良い。将来的には必ず両者は良い形で結びつく (happy marriage) であろう。欠点は、選択性に乏しいことや、今のところサイズが大き過ぎることである (レンズやフィルタを使って光学ベンチ上に組まれた並列光演算装置のようなものを連想してのことか?)。

光コンピュータの中に入って行く過程は、従来型のコンピュータにおいて、

ホートレヘル → チップレヘル → 光コンピュータ

と段階的に進むだろう。今のところ、光コンピューティングとニューラルネットワークとの隔たりは大きい。

⑦ ニューラルネットワーク研究で博士号を取得する学生数について

また、数はそんなに多くない。Rumelhart 教授のところでは6人。全米においても100人前後だろう。

⑧ ニューラルネットワークによる文字認識について

「ニューラルネットワークで文字認識を行った場合、認識カテゴリ外の文字を認識できないという欠点があるかこれについてどう考えるか」という問題提起に対して、Rumelhart 教授の答えは、「可能である」であった。その例として、カテゴリ化のためのネットワークを用意し、その出力結果によって、それぞれ専用のニューラルネットに入力パターンを入力すればよい。この方法の他に、カテゴリ化の情報も一緒に入力する方法も

ある。実際に実験を行っているか、なかなか良い結果が得られている（この方法の基本的な考えは、徐々に文字の細かい特徴を見るということである。）。

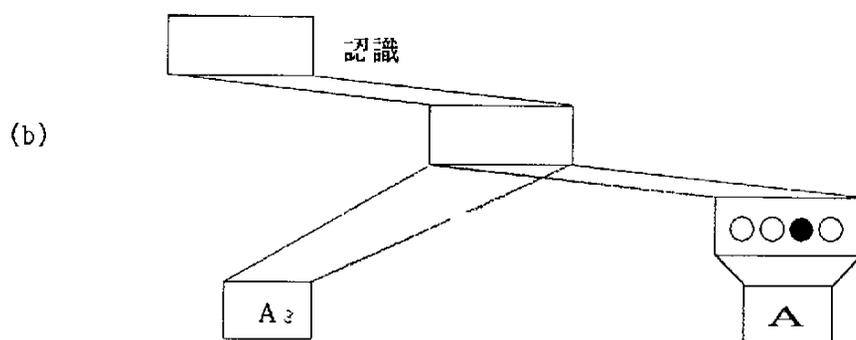
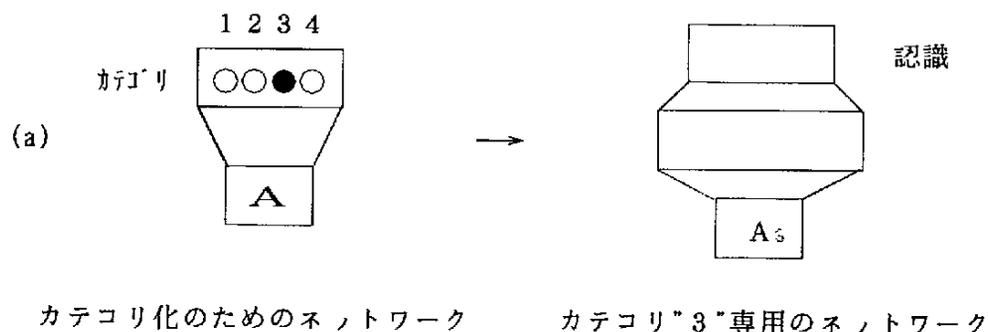


図3 ニューラルネットワークによる文字認識

5 感想

スタンフォード大学はエンジニアリングを初めとする自然科学の分野のみならず、心理学、認知科学等の分野においても米国有数の大学である。今回のニューラルネットワークのブームも認知科学における第一人者である David Rumelhart 教授を中心としたグループによってもたらされたといっても過言ではない。彼らは、神経回路網のモデルについて考察してきた人たちで、ニューラルネットワークという言葉も彼らが使っていたことばである。今回の訪問では、話かややBPに偏ってしまった感がある。できればもっと多くのニューラルネットワークモデル、あるいはもっと広範囲の話題、例えば生理学、心理学、AIなどについても討論したかったという気がするが、短い時間でもあり仕方ないと思う。も

っても、生理学、心理学などは教授の専門でもあり、こちら側にそれらのヘースがなく提供できるものかないので、単に話を聞くだけに終わってしまうかも知れないか。

立石氏のかねてより Rumelhart教授の仕事に興味を持ち、かつBPなど研究テーマもかわりか深く、ティスカノンも技術的にも内容か濃く、得るものも多く貴重な経験となったようた。

ワノントンでの IJCNN-90 国際会議でも感しられたか、1～2年前に比へてニューロブームはやや鎮静化してきた様に思われる。Rumelhart 教授など認知科学者、神経生理学者などの活躍によって活気ついたこのブームも峠を越えた印象を持った。当初、BP、ホップフィールドモデルへの期待か大きすぎ、知的学習かBPててきるといふ期待を持って参入した研究者か離れていっているのは事実であろう。一時的なブームは去ったものの、今後は落ち着きを取り戻し地道な研究かこれからも続けられるたろう。

今回の訪問でも、BPなどのパラタイムの中で改良や用途の拡大かはかられ、徐々にてはあるか成果か出つつあるといった印象を受けた。

[高森 晃]

11-2 その2 (Prof David G Stork)

1 訪問日 . 1990年 1月 12日 (金)

2 面接者 : Prof David G Stork

3 所在地 Departments of Psychology and Electrical Engineering
Jordan Hall, Stanford University,
Stanford, CA 94305, U S A

4 調査結果・

Stork教授はホストン大学でAdaptive Resonance Theory(ART)を研究していた。Stork教授と我々の行ったミーティングの主な議題は以下の3項目である。

- 1 ARTの解説
- 2 Stork教授がIJCNN-90-WASH-DCで講演予定の
"Preadaptation in Neural Circuits"
の概要
- 3 MITI資料の説明

以下、これらについて説明する。

4 1 ARTの解説

ARTはホストン大学のGail A CarpenterとStephan Grossbergによって考案されたニューラルネットワークのモデルである。ARTの機能的な特徴としては、

- (1) 変動する環境 (つまり同一の入力パターンが2度以上呈示されない) の下で動作する。
- (2) 教師無学習によりハイナリパターンの認識を行う。

の2点があげられる。ARTにはART1, ART2, ART3 の3つのバージョンがあり、今回我々が聞いたのはART1の解説であった。なおART3に関してはIJCNN-90でGail A Carpenterが講演を行っている[1]。

4 1 1 ARTの構成・学習

ARTはF1、F2 の2つの層から構成されるニューラルネットワークである。その構成を図1に示す。F1は入力層で、外部から入力パターンを受け取る。F2のノードはそれぞれ一つのカテゴリに相当し、F1から最も大きな重み付け入力を受け取ったノードがONとなり、他のノードはOFFとなる(Winner Take All)。F1とF2は全結合されており、結合は非対称である。ここで入力パターンをI、F1に現われたパターンをX、F1のONノードの数を $|X|$ で表すことにする。

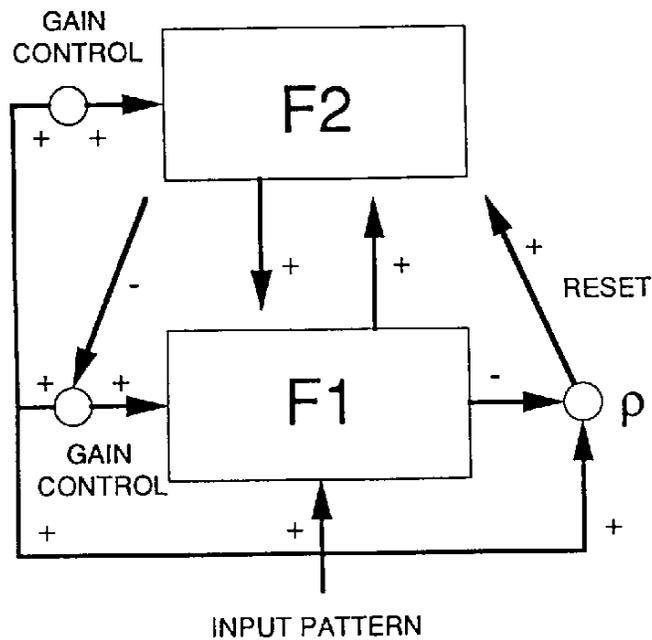


図1 ARTの構成

Iが入力されると、F1の出力がF2に伝わり、F2のとれか1つのノードをONにする。これを勝者ノードと呼ぶ。そして勝者ノードの出力は今度は逆にF2からF1に伝わる。このトップダウンの信号は、ニューラルネットワークが想起したパターンに相当し、過去の学習によって記憶されたものである。この時点でF1には実際に入力パターンIと、想起されたパターンとの相互干渉が起これ、F1には新しいパターンYが現われる。ここでARTはXとYのONノード数の比率 $|Y|/|X|$ と定数 ρ との比較を行い、以下の(1)(2)のいずれかの動作をする。 ρ はARTのカテゴリ化機能を制御する定数で、その値は学習中一定の値(0と1の間)に固定される。

(1) $|Y|/|X| < \rho$ の場合

勝者ノートはリセットされ、F2からF1への信号は消滅する。F1には再びXが現れ、F2の別のノートが勝者ノートとなる。もし、どのノートも $\geq \rho$ を満たさなければ、Iを新しいカテゴリのパターンと判断し、F2に新しいノートを生成する。

(2) $|Y|/|X| \geq \rho$ の場合

Iは勝者ノートのカテゴリに属するとみなす。そしてF1のONノートと勝者ノートの間のシナプス荷重を強化する(図2)。

$\rho = 0.75$ の場合のネットワークの判断を図3に示す。

一般に ρ が小さければ粗いカテゴリ化が行われ、大きければ細かいカテゴリ化が行われる(図4)。

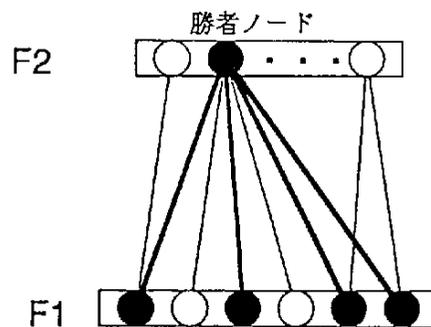


図2 シナプスの強化

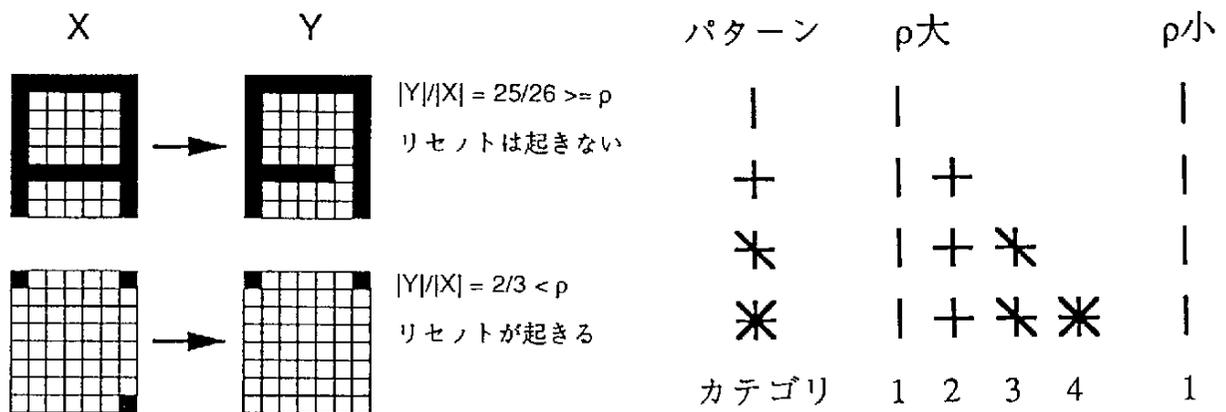


図3 $\rho = 0.75$ の場合の動作

図4 ρ の値によるカテゴリ化の違い

4 1 2 ARTの限界

ARTには以下のような限界がある。

- (1) 1対多、多対1のマッピングかてきない(図5)。
- (2) ARTのカテゴリ化はパターン全体における相違の比率に基づく。したかつて、図6のようなパターンはうまく認識できない。
- (3) すべてのマッピングか可能なわけではない。

例) XOR か解けない。

単語と発音のマッピング

1対多

through => [θru:]

thorough => [θəro(u)]

多対1

to => [tu]

too => [tu]

図5 1対多、多対1の例

パターン	望ましいカテゴリ化	実際のカテゴリ化
は は [〃]	異なるカテゴリ	同じカテゴリ
1 1 ^ト	同じカテゴリ	異なるカテゴリ

図6 うまく認識できないパターンの組み合わせ

4.2 Preadaptation in Neural Circuits の概要[2]

生物の世界では、最初ある目的のために発達した器官か、進化の過程で別の目的に使用されるようになり、最終的に後者の目的に適合することもある。以下にその例を示す。

[a] 鳥の翼は、最初餌となる昆虫をたたき落とすための機構だったか、高い位置を飛んでいる虫を捕らえるためジャンプするという動作を繰り返すうちに飛行能力が備わり、以後飛行のための機構として発達した。

[b] サリカニの尻尾は、最初泳ぐ(Swimming)目的で使用されていたか、進化の過程で、すばやく敵から逃れる(Flipping)ために使用されるようになった。

(Swimmingでは尻尾の関節をすへて曲げるのに対し、Flippingでは胴体に最も近い関節のみを曲げ、他の関節は曲げない。)

このように、最初ある目的のために発達した器官か、別の目的のために使用されるようになったとき、その制御をする神経回路は後者の目的を達成するための最適な回路にはならない可能性がある。これを検証するため、サリカニの例について7個のニューロンからなる神経回路を用いてノミュレーションを行い、世代の進行と目的に対する適合度を調べた。ノミュレーションは次の2つの個体群A、Bについて行われた。

A 最初Swimmingに適合させ、途中でFlippingに適合させる。

B 最初からずっとFlippingに適合させる。

A、Bはそれぞれ60の個体から構成される。次の世代を作るのに使用した遺伝子操作アルゴリズム(genetic algorithm)は突然変異(mutation)、染色体乗り換え(crossover)、複写(direct duplication)である。

AとBを比較したところ、AはBより最終的な適合度が低く(図7)、またBには見られない構造(不用なノブスなど)が生じた。

この結果は、神経回路の進化の研究におけるノミュレーションの有用性を示している。また、生体の神経回路の構造や、生理学的制約との整合性を重視するニューラルネットワークアプローチに疑問を投げかける。なぜなら、歴史的な要因か最適な神経回路の形成を妨げているかもしれないからである。

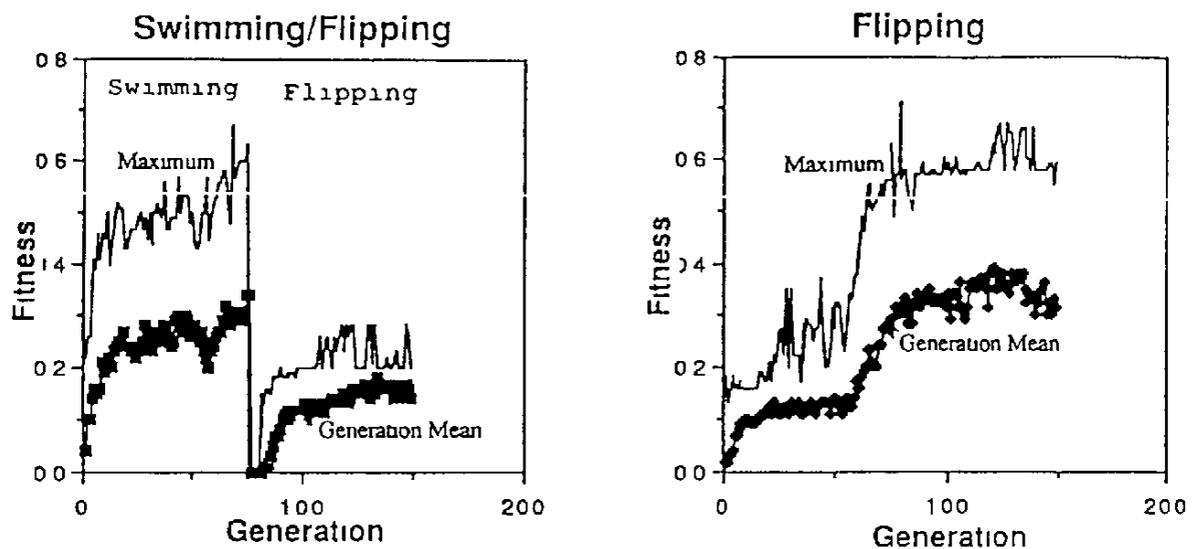


図7 世代の進行と適合度[2]

(IJCNN-90-WASH-DC, Vol 1, p 204)

4.3 MITI資料の説明

MITI資料説明後のStork教授の感想は“Ambitious”であった。Stork教授から出された質問を以下に示す。

- Q1 ワーキンググループの人数、構成（大学教授や私企業の研究者は含まれているか等）はどうなっているか。全員日本人か。
- A1 ワーキンググループの構成や、我々かとのグループに属しているかを説明。
- Q2 なぜ新しいプロジェクトが必要なのか。ICOTの継続てはいけないのか。
- A2 新しいプロジェクトが必要な理由として、次の2つをあげた。
- ・ ICOTと共通するテーマもあるか、ICOTより研究対象が広い。
 - ・ 予算の確保が容易になる。
- Q3 ICOTはうまくいっているか。
- A3 ICOTはよい成果をあげており、外国から研究者を招く等の国際的な協力関係もうまくいっている。
- Q4 新プロジェクトの予算はどの程度か。
- A4 ICOTと同等か、それ以上。
- Q5 新プロジェクトと大学との関係はどうなっているのか。

A5 大学とも共同研究をする計画がある。

Q6 今回の視察団の日程、訪問先はどこか。

A6 全体の人数と、数班に分かれて西海岸、東海岸を調査することを述べ、各班の主な訪問先について簡単に説明。

5 感想

(1) ARTは一般にあまりよく理解されていないか、実際はそれほど難しくないとこのStork教授の意見である。しかし立石には難しく感じられた。

(2) 4.2に示した“Preadaptation in Neural Circuits”は神経回路の進化をシミュレーションによって調べるというアプローチで、非常に興味を持った。ミーティングの間、Stork教授は“Neurally inspired system”、つまり実際の脳の構造や生理学的制約に捕らわれないシステムを考えるべきであると強調していたか、その主張の正しさは、このシミュレーションでもよく示されていると思う。

(3) 新プロジェクトについての質問では、ICOTとの関連を問うものか多かった。

U C Berkley を訪問したときにも同様な質問があり、ICOTへの関心の高さ伺われた。今度このような機会があったら、新プロジェクトのICOTに対する位置づけを詳しく説明すると興味を持って聞いてもらえるのではないだろうか。

(4) 余談になるか、訪問先の心理学科棟は入口に心地よいソファがあり、Stork教授を待つ間、我々はそこに座ってゆったりくつろぐことかできた。日本の大学にもこんなスペースか欲しいというのか全員の共通した感想であった。

我々の訪問した12日は IJCNN-90の始まる3日前であり、Stork教授はその準備に忙しい中、我々を快く歓迎してくれた。この場を借りて感謝する。

[立石 雅彦]

6 参考・入手文献

- [1] Carpenter, G A and Grossberg S , ART3 HIERARCHICAL SEARCH CHEMICAL TRANSMITTERS IN SELF-ORGANIZING PATTERN RECOGNITION ARCHITECTURES, IJCNN-90-WASH-DC, 2 30-34 (1990)
- [2] Stork D G , Walker, S Burns M and Jackson, B , Preadaptation in neural circuits, IJCNN-90-WASH-DC, 1, 202-205 (1990)

1 2 . U C B (University of California Berkeley)

1 訪問日 1990年 1月11日 (木)

2 面接者 Prof M A Harrison

Prof Richard J Fateman, Chairman of Computer Science Division

Electrical Engineering and Computer Sciences

Stuart J Russell, Assistant Professor, Computer Science Division

David E Culler, Assistant Professor, Computer Science Division

David P Anderson, Assistant Professor, Computer Science Division

Prof N Morgan

3 所在地 University of California at Berkeley Computer Science Division

Berkeley, California 94720, U S A

4 調査結果

4 1 学科全般に関する説明

R J Fateman 教授 (主任教授) より、UC Berkely Computer Science Divisionの研究体制全般に関する説明があった。

Computer Science Division(CS)は、2名のチューリング賞受賞者を含む32名 (FTE Full Time Equivalent) の教授陣から成る。教授陣の興味は、図1に示すとおりであり、計算機科学のほとんど全分野を網羅している。

過去に行われた主要プロジェクトは図2に示すとおりであり、特に、Berkeley版UNIXは世界的に有名である。

現在進行中のプロジェクトは、図3に示すとおりである。主要なものについて若干の解説を加えておくと、まず、“MAMMOTH”は、光ディスクと100Mbit/secの光ファイバネットワークを利用して、強力なメモリサーバを供給しようというプロジェクトであり、知識ベース、マルチメディアデータベース、科学技術計算などの各分野への貢献が期待されている。

Faculty Interests (89-90)

AREA	FTE
Architecture	7.0
Artificial Intelligence / Robotics	5.75
Database Systems	2.3
Graphics	2.0
Languages / Interfaces	4.3
Scientific Computing	1.05
Operating Systems / Perf. Eval	3.3
Theory	6.0
TOTAL :	31.7

図1 教授陣の興味分布 (FTE: Full Time Equivalent)

Significant Projects of the Past Few Years

Berkeley 4BSD UNIX
IEEE Floating-Point Standard
INGRES relational database
RISC I, II, SOAR, SPUR chips
MAGIC, CAESAR VLSI design tools
Franz Lisp, Vaxima
Prolog machine (Aquarius)

図2 主要プロジェクト

Major Experimental Projects

MAMMOTH : Massive Information Storage and Use
 (optical disk, optical fiber network)

RAID : High Performance I/O

SPUR-Sprite Operating System

DASH : Distributed Operating System

BAIR : Artificial Intelligence

POSTGRES : database system

UniGrafix

Robotics / Vision

BEST : Berkeley Environment for Software Technology
 (EECS projects)

CAD / VLSI OCT-VEM

Circuit Simulation (SPICE)

Optimization

Signal Processing, etc. etc.

図3 進行中のプロジェクト

“SPUR”は、UNIXを進化させた分散OSであり、CMUの“MACH”と競争関係にあるOSである。両者とも基本はUNIXであるので、技術的には大差はないものと考えられる。

“DASH”もまた分散型のOSであるか、これは、音声・画像など、マルチメディア並びにReal-Timeに力点をおいているのか特色である。その意味でかなり野心的なプロジェクトであるということかてきよう。

“BAIR”は、人工知能関連のプロジェクトであり、応用として自然言語、UNIXのアトハイシステム、ロボティクス、各種のマイクロセンサの統合などを含む全学的プロジェクトである。

“POSTGRES”は、関係データベースプロジェクトINGRESの後継であり、オブジェクト指向データベースのプロジェクトである。マルチメディアによる地図情報などのアプリケーションか考えられている。

“UniGrafix”はCGにおけるレンタリングツールであり、Engineering Designの分野をターゲットとしている。

“BEST”とは、Berkeley Environment for Software Technologyの略であり、その名の示すように、非常に広範な分野への貢献か期待されている。例えば、Fateman教授の関連では、数式の操作、各種データの表現形式の変換などをあげることかてきる。

理論の分野では、図4に示すような研究か進行中である。

Theoretical Areas

Computational Complexity
Data Structures
Computational Geometry / Motion Planning
Scheduling
Cryptography / Secure
Communication
Numerical and Symbolic Math

図4 理論の分野

New Hardware Areas

Parallel signal processing
'FLUENT' Computer
'MONSOON' Dataflow
Neural network simulation

図5 ハードウェアの分野

ハードウェアの分野では、図5に示すようなプロジェクトが存在しており、主として超並列計算機の開発に主眼が置かれている。特に、“MONSOON”は113,000台のCPUを有するものであり、数の上ではコンネクションマシンを凌駕する。

Major Computer Equipment EECS Research(+some Instruction)	Instruction-only Equipment
291(+24) SUN3,4 36(+2) Sun Fileservers 165 MicroVAX II, 6 VAX 11/785, 4 VAX 8600-8800, 14 VAX 11/750 21 HP workstations 40 Dec Stations 10 TI Explorers 2 CCI 6/32 2 Sequent 31 other Xerox Tek, Apollo, Sony, Symbolics 55 IBM PC/clone	Extra Instruction Only 30 SUN 3 11 MicroVAX II 1 VAX 11/785 shared access to Cray XMP/14, IBM3090 numerous Macintosh, PC, various other
various special-purpose machines BBN Butterfly, Intel IpSC, TM, NCube, MIPS, etc access to Cray XMP/14, IBM3090	

図6 主要な計算機設備

その他、学科としての統計学的数学を整理しておく、主要な計算機設備は図6に示すとおりであり、ワークステーションを中心とした、かなり強力な研究体制が整備されている。これとは別に、教育専用の設備が整備されており、特に、新入生教育専用30台のワークステーションが用意されていることは特筆に値するであろう。

研究経費としては、1989～90に24,000,000ドルが使用されており、中でも国防省(DoD)関連の予算が47%、約半分を占めている。しかし、近年の緊張緩和の情勢下では国防予算の割合は低下しつつある。国防省以外の予算の内訳は、産業界から23%、カリフォルニア州から6%、他の連邦予算から24%という内訳である。

以上がCS全般における状況の要約である。以下、現在進行中のプロジェクトのうち、主要なものについて、少し詳しく解説を行うこととする。

4.2 MAMMOTHプロジェクト

S J Russell教授より、“MAMMOTH”プロジェクトに関連した説明があった。本プロジェクトは、巨大データベースの構築を目標としている。

現在のAIプログラムは、どれもあまり大きいものではなく、したがって、実際の用途に使うためには多くの問題点を含んでいる。特に大きな問題としては、多くの実験的なエキスパートシステムは、ごく限られた分野にしか使うことが出来なかったり、推論結果が著しく安定性を欠く(ロバスト性がない)ということである。

ロバスト性を有するエキスパートシステムを実現するためには、多くの知識の集積体であるところの「常識」が必要である。ある種の抽象化された知識構造(おそらくこれはアプリケーションには依存しない)を用意しておき、多くの用途に使おうという訳である。(事実、こうした試みは、UC Berkeleyに限らず、例えば、MCC(Texas)のCYCプロジェクトなどにおいても行われている。CYCプロジェクトは、 10^6 のファクト、3,200リレーションを含む巨大な計画である。)

ところで、こうしたアイデアを実装(インプリメント)する場合において問題となるのか、

- (1) データベースのスペースの問題と
- (2) アクセススピードの問題

である。

“MAMMOTH”は、こうした問題意識に基づいて開発された知識ベースである。すなわち、

ハードウェアとしては光ディスクユニットと 120Mbpsの光ファイバ通信路を用いて、強力なメモリサーバを構築し、エキスパートシステムの存在するワークステーションに高速かつ巨大なメモリ空間を供給することか可能である。

ソフト面での研究はAI関連とDB関連の2つに大別することかできる。前者においては、あいまいな知識の取り扱い、知識表現か大きな問題である。後者においては、知識の無矛盾性 (consistency)、クライアントシステムとのインタフェース、ユーザインタフェース (PAN/VORTEXというシステムか研究されている) などの問題か含まれる。

アプリケーションとして、現在完成しているのは、建築 CADの分野であり、例えば、「10ft×16ftのスペースを利用して、オフィスを設計せよ」などのマクロな命令か可能なエキスパートシステムに組み込まれているとのことである。この場合の常識とは、「オフィスには、秘書用のキャビネットか必要である」というものから、「机の足は床についていなければならない」などのかかなり基本的なものまで、幾つもの知識か含まれる。

4.3 超並列計算について

D E Culler教授からは、並列計算に関する説明かあった。ただし、具体的なプロジェクトに関する言及は少なかったので、ここでは簡単に紹介するに止める。

Culler教授の興味は、非常に大きな並列度か要求されるプログラムを実行する際に、限られたプロセス資源をとう活用するかという点である。すなわち、資源制約下での並列計算 (Resource Limited Parallelism) である。

一般に、通常のプログラムを並列アルゴリズムに分割しようとするとき、何も制約を設けないと、ハートの的に依存するプロセッサ数を要求数か上回ってしまうのか普通である。このような資源制約をとうのようにマネジメントするかか重要である。

並列度を測定するモニタを開発し、プロセッサ数に余裕かあれば、より並列的にプログラムを実行し、余裕かなければ、それ以上の並列化は行わないような仕組みを開発中である。

4.4 DASHプロジェクト

D P Anderson教授から、DASHプロジェクトについての説明かあった。DASHプロジェクトは、もともとは、新しい時代に対応した分散型のOSの開発計画であり、興味深い点か多い。DASHとは、“Distributed”、“Autonomous”、“Secure”、“Heterogeneous”の頭文字を組み合わせたものである。

現在、研究の重点は、音声や画像などの連続メディア (Continuous Media) 情報を自由に通信しあうための土台づくりに置かれている。DASHでは、従来のキーボードからのテキスト入力や、ビットマップ情報 (静止画) などを離散メディア (Discrete Media) と呼び、連続メディアと区別している。

連続メディアの特長は、非常に高帯域なヒューマンインタフェースが実現できる点である。例えばDASHの環境下では、単なる符号通信を越えて、人工現実感 (Virtual Reality) による遠隔地との高臨場感通信などが可能である。DASHが想定しているアプリケーションは、TV会議、ニュース、広告などの媒体、あるいは様々なメディア研究などである。

DASHは、基本的にはUNIXに、実時間管理部分を付け加えたものである。現在のUNIXは、例えば、end to endのパフォーマンスを指定することかできないなど、基本的にリアルタイム性のないOSである。したがって、そのままでは、連続メディアを取り扱うことが困難である。そこでまず第一段階として、従来のUNIXカーネル上に、リソース間のネゴネーションによって、end to endのパフォーマンスを確保できる枠組をつくり上げている。(DASHカーネル) さらに、外核として、クライアントに開放されたプログラミングノール群、ビデオサウンドエディタ、標準的な Look & Feelのインタフェースツールキットなどのを開発する予定である。

現在のテストベンチはIBMPC/PS-2に、インテルの画像圧縮チップを組み込んだハードウェアを、3Mbpsのネットワーク (詳細は不明) で結合したものである。画像の圧縮効率が高いために、この程度の通信速度でも、複数の動画像チャンネルを確保することが可能である。

実現状況は、あと数カ月のうちに基本的なカーネル部分が完成し、リアルタイム通信のデモが行えるところまで来ている。上層部のツールキットは、X-window上に構築されるはずであり、その完成までには数年を要するものと予想される。

4.5 ICSIにおけるニューラルネット関係の研究

N Morgan教授から、ICSI (International Computer Science Institute) の全般的説明と、そこでのニューラルネット研究の説明があった。ICSIは、並列処理に興味の中心をおいた研究施設である。U C BerkeleyのCSとは別組織ではあるが、多くの教授が兼任となっており、密接な関係を保っている。

研究組織は大別して、(1)Theory、(2)AI、(3)Distributed System、(4)Realization

の4部門に分けることかてき、Morgan教授は第4部門の担当である。Realizationのグループでは、現在（Ⅰ）コネクショニストのシミュレーションソフト、（Ⅱ）500MFLOPSのマルチプロセサ、（Ⅲ）音声認識、（Ⅳ）ニューロハードウェアのVLSI化などの研究か進行中である。

ニューロネットワークの高速シミュレーションのために、RAP（Ring Array Processor）と呼ばれる高速計算機か設計されている。システム全体は、 $4 \times n$ 台のDSPユニットによって構成されており、DSPあたり、16MbのDRAMと256KbのSRAMを有している。各DSPは、高速のリングバス（820Mbps）で統合され、例えば16台のDSPから成るシステムでは、ピーク値で、512MFLOPSの演算速度を有している（図7、8）。RAPは、音声認識のための専用ニューロシミュレータとして開発された。ICSIで開発されたHMM（Hidden Markov Model）に、MLP（Multi Layer Perceptron）を埋め込んだ音声認識手法（HMM+MLP）は、非常に高い音素の認識率を実現している。

しかしながら、この方式の欠点は、2次のオーダーで増加する非常に多くの計算量か必要なことであって、通常のシステムでは、演算に莫大な時間か必要である。したかつて、プログラム可能な専用ハードウェアとしてRAPか開発されたという訳である。

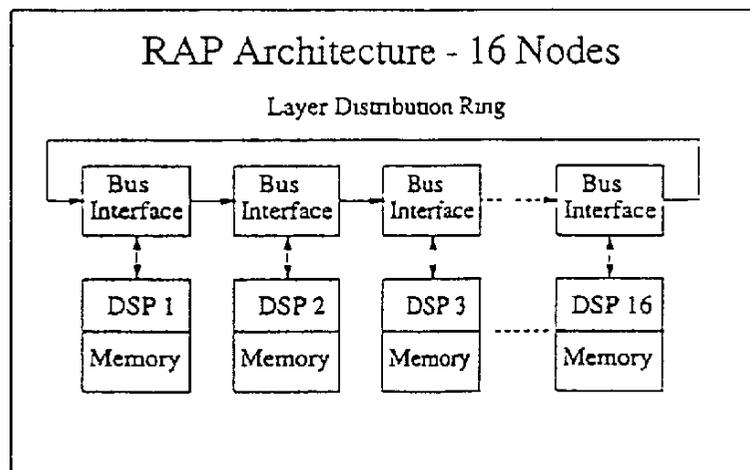
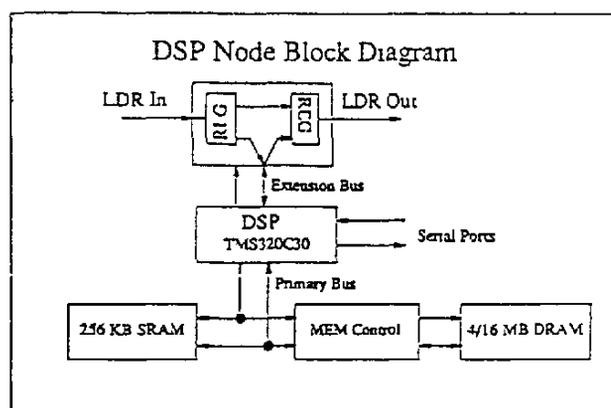


図7 16台ノードによるRAPアーキテクチャ



RAP Board Layout

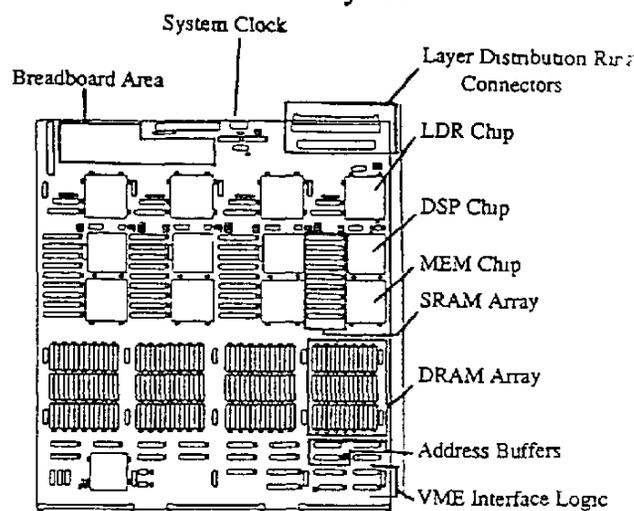


図8 ノート構成

5 感想

説明のあったプロジェクトの中で、特に興味を持ったのは、“DASH”プロジェクトである。設計自体が未来的であり、現在のOS（UNIXが標準化しつつあるか）にない多くの特色を有している。

OSの開発はある種の困難さを伴う。すなわち、あまり独創的であっても、周囲に受け入れられないだろうし、改善点かあまり少しては、従来からのものにとって代わることはできない。DASHは、もともとはUNIXのカーネルを使用するだけに広く受け入れられる素地を有している。しかし、リアルタイムとマルチメディアという、現在のUNIXに最も欠けているものを特色としている。

現在の計画は、汎用のOSの完成品を作り上げるというよりは、最もその特色を生かした簡単なプロトタイプを製作しようというものである。それだけに、開発チームの規模も小さく、分かりやすいプロジェクトの展開が可能なのではないかと思われる。

現在標準化しているOSや言語のうち、いわゆる委員会言語でなく、小さいプロジェクトが次第に成長していったものか少なくないことを考えると、このプロジェクトはかなり期待か持てるのではないかと思われる。

Anderson教授の研究協力者である Ferrari教授はBerkeley版UNIXの開発に初期からかかわった人間であり、その意味でもプロジェクトの推移は見守る価値がある。

[広瀬 通孝]

6 参考・入手文献

- [1] R J Fateman教授の説明用OHPのコピー
- [2] EECS/ERL
- [3] RESEARCH SUMMARY 1990
- [4] Berkeley Computing Quarterly, 1, 4, Winter (1989)

1 3 . U C S D (University of California San Diego)

- 1 訪問日: 1990年1月12日(金)
- 2 面接者 Richard K Belew, Assistant Professor
Gray Cottrell, Assistant Professor
- 3 所在地 . Computer Science & Engr Dept (C-014)
Univ California -- San Diego
La Jolla, CA 92093, U S A

4 調査結果

U C サンディエゴはニューロ研究の発祥の地としての意気込みが高く、多くの研究者を集めたニューロの研究機関 (Institute for Neural Computation) を設立し企業の参加を募っている。周りには今回の出張でも訪問した、ヘクトニールセンの会社 (HNC) 、SAIC やSALK Institute があり、文字とおりニューロのメカに來た感しかする。

今回の調査では、標記の2人の若手研究者に面会し、応用、モデル、ハードウェアなどについて研究状況の説明を受けた。午前10:00から昼食をはさんで午後1:30まで調査を行った。Prof Belewはニューロネットワークアルゴリズムの専門家であり、機械学習、特にコネクショニストネットワークによる(準)記号的表現法を研究している。さらに、人工知能、知識ベースの知的検索などに興味を持っている。もう一人のProf Cottrellは人間の顔の認識にニューラルネットワークを適用している。また、フィートバックを持つリカレント型のネットワークの能力を調べるために、足し算の学習可能性を実験している。

以下に、今回の調査結果についてまとめる。

4.1 Prof Belew の研究領域

本人の説明によるとこれまでにやってきたことは以下の分野とのことである。

- ・ Genetic Algorithm

John Hollandと一緒に以前からニューロネットワークアルゴリズムを研究している。

- ・ アダプティブ情報検索 (AIR)

コネクショニストアプローチで知識ベースを構築している。

・ Evolution/Learning :

 ジェネティクアルゴリズムとコネクショニストを用いた学習方式の研究。

・ 人間の遺伝子

・ Democratic Knowledge Engineer

①AIR Adaptive Information Retrievalについて

AIR はデータベースをコネクショニストモデルで構築し、検索結果でコネクションの重みを少しずつ変更しながら学習する、適応型の情報検索を実現している。概念空間に名前ノートを配置し、ノート間を重み付きコネクションで関係付ける。

例えば、図1の様にParallel, Distributed, Processing とHintonで関係付けられるノートかコネクショニストであるとするような関係を表す。ここでは検索結果で重みが変わり学習する、ダイナミクスが重要である。Prof BelewはAIRの位置づけを図2の様に示した。AIRのルーツを情報検索 (Information Retrieval)、AIおよび記号処理に置きその発展形態と関係を示している。最近では、認知心理学、哲学との接近を強調していた。このAIRは現在計算機科学科と認知心理学科の両方で利用されているとのことである。

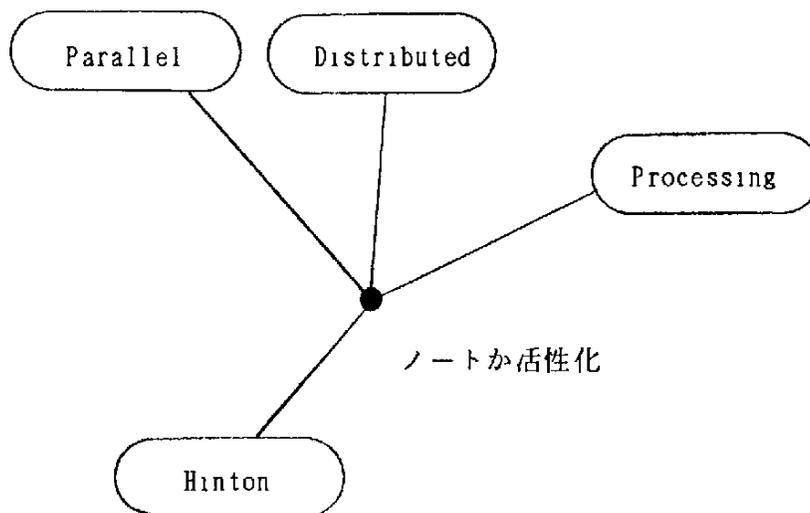


図1 コネクショニストモデルによる情報検索

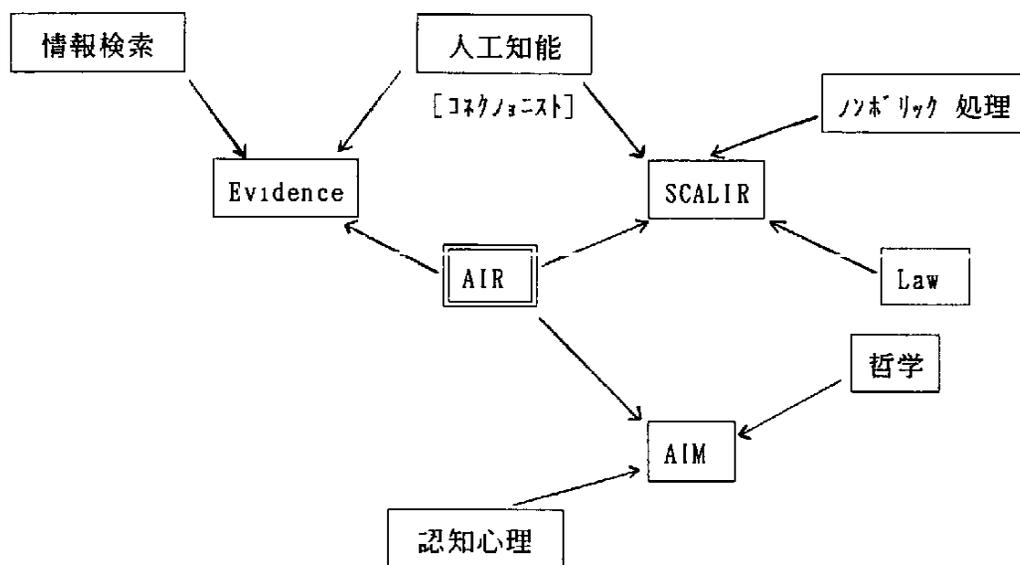


図2 AIRの位置づけ

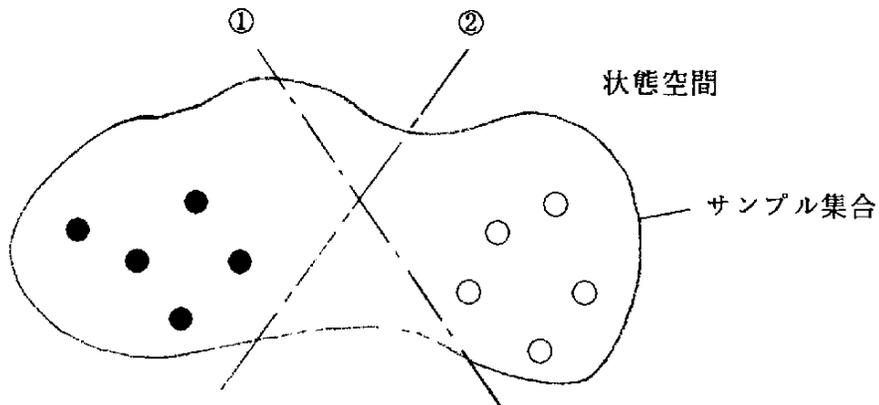
② シェネティックアルゴリズムについて

シェネティックアルゴリズムは遺伝子の組替え、変異のアナロニーから考えられる。図3-(A)に示すとおり、2つの有効なサンプルがある時、その2つを2箇所て切断し相互に組替えて新しいサンプルセットを得るものである。こうすることにより、ニューラルネットの学習、最適に従来用いられてきたアルゴリズムで見られるような、局所最適解に停止してしまう問題を避けることが可能である。これまでは、局所解から離脱する手法として焼きなまし法 (Simulated Annealing) が用いられることが多いため、焼きなまし法に比べ非常に効率が良いと言う。それは、図3-(B)に示すとおり、2つのサンプルから得られた新しいサンプルの"距離"が離れているので局所解に入りやすく、シェネティックアルゴリズムにより、開始位置をかなりランダム化できることによる。

Prof Belewがシェネティックアルゴリズム向けの並列計算機として提案しているアーキテクチャは、1台のシェネティックアルゴリズムマネージャ (GAM) と複数のバックプロパゲーションマンソン (BPM) がLANで結ばれている。それぞれのBPMはBPを行うための開始位置をGAMに伺いに行き、開始位置を得ると独立してBP処理を行う。複数のBPMが同時にBP処理を行うので高速化が可能となる。GAMはBPMに比べ負荷が軽いので1台で十分である。Prof Belewはまたコネクティオンマンソンを用いたシェネティックアルゴリズムの並列処理の実験も行っている。

[サンプル1]	1 1 1	0 0 1	1 1 1	
	↑ ↓ *	↑ ↓ *		*: 入れ換える 新しいサンプル
[サンプル2]	0 0 0	1 1 1	0 1 1	

(A) シェネティックアルゴリズム



(B) シェネティックアルゴリズムによるクラス分けのイメージ

図3 シェネティックアルゴリズム

4.2 Prof Cottrellの研究領域

Cottrellの研究領域として以下の例が示された。

- ・顔の認識：ニューラルネットワークによるデータの圧縮
- ・学習アルゴリズムの研究
- ・モデル化：ロブスタを題材とした学習メカニズムの解明
- ・Complexity：複雑なマシン（有限オートマトン）のニューラルネットワーク学習性
- ・ニューラルネットワークによる“カクテルパーティ”効果の解明

①顔の認識

64×64の顔写真を10%程度の中間層のニューロンに圧縮させ再び元の画像を再現できるかの実験を行っている。知った顔は正しく再現し、部分画像でもかなり正しく再現する。また、知らない顔には性別を37%当てたとする。

②ロボスターの捕餌動作の解明

ロボスターが餌を捕らえる時の動作は各部のニューロン素子が位相同期することを調べている。何もしていない時は各ニューロンは位相もサイクルもハラハラであったものか一旦ある動作（この場合は捕餌動作）に入ると、関係するニューロン群がすべて、フェーズロック風に位相が揃った発信パターンを示すことが確認された。

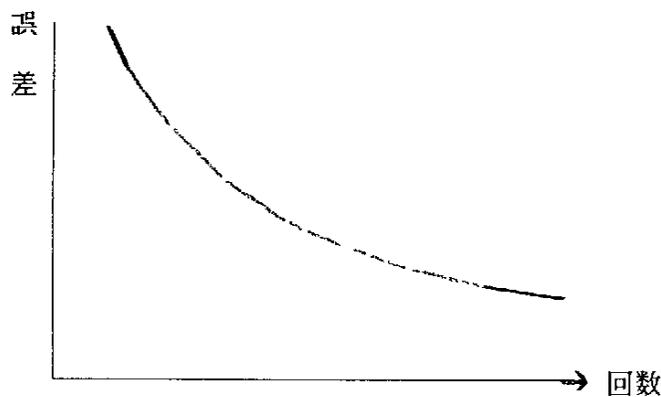
③けた上げ足し算の学習可能性

内部状態を保持するリカレント型ネットワークが桁上げ足し算を学習できるかどうかの実験を行っている。

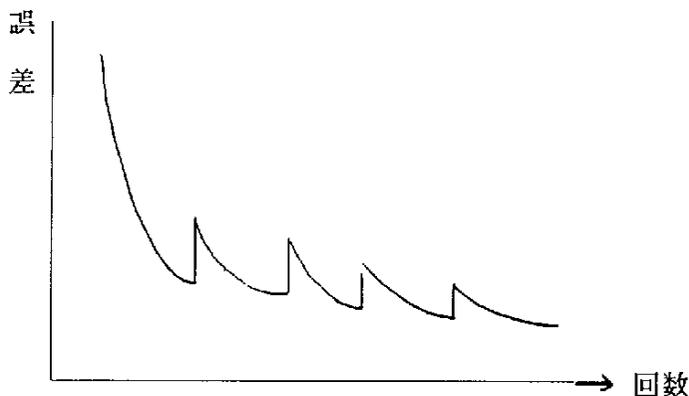
リカレント型には Jordan型とElman型の2方式があり、前者は出力層のコピーを入力に戻すもので、後者は中間層のコピーを入力に戻すものである。両者を比較したところ、この応用では後者の方が優れていたという。それは、出力層は期待する出力を選ぶので、人為的にねじ曲げられる可能性がある。他方、中間層は自己組織化するのでそのようなことか、起き難いのではないか、ということである。実際に多数桁の下の桁から順々にネットワークに与えると桁上げを記憶して以降の計算に反映されることを実験した。

④学習の高速化

バックプロパゲーション学習法などで学習セットの与え方で学習速度が異なることを示した。ここではCombined Subset Trainingと呼ぶ手法を用いている。学習セットが大きいとき、初めから全学習セットを用いて学習を行うと図4(A)に示すとおり収束するまで時間がかかる。一方、本アルゴリズムでは初めは少ない学習セットで学習を初め、次々に学習セットを増やして行くものである。図4(B)に示すように、新しい学習セットを追加する度に一時的に性能が低下するか全体としてみた時の学習カーブは早く収束している。



(A) 大規模訓練セットによる学習



(B) 小規模訓練セットによる段階的学習

図4 学習の高速化

⑤オートマトンの動作の学習可能性について

ニューラルネット、特にここではリカレント型のネットワークの適応能力を調べている。例として、有限オートマトンとプロニュタウンオートマトンを用いて学習可能性を調べている。ここでもJordan型とElman型の適応性を比較したところ、Elman型の方が優れていたという。分かった点は、同じ様な状態が区別し難いこと、およびスタックオートマトンの模擬は難しいことである。

⑥カクテルパーティ問題について

人はカクテルパーティなどの会場の雑談が飛び交う中で特定の話者を選択的に聞き取る事ができる。この現象を"カクテルパーティ問題"と呼ぶ。計算機でこれを可能とするためには、各種の情報を併用して連合した認識が必要となる。この問題に対応する為に専用

のチップを考えている。音の入口で周波数成分を認識する蝸牛管に当たる部分はCaltechのMeadらの開発したチップを用いる。距離や位相成分を検出するSilicon Oliveと呼ぶチップと、その2つの出力を使って上述の問題を解決する“カクテルパーティプロセッサ”を考えている。ここでも各々の情報処理機能モジュール間のフェーズロックを重視している。

[小池 誠彦]

1 4 . U S C (University of Southern California)

1 訪問日： 1990年1月12日(金)

2 面接者：

Michael A Arbib, Prof of Computer Science, Neurobiology, Physiology,
Biomedical Engineering, Electrical Engineering and Psychology
B Keith Jenkins, Assistant Prof of Electrical Engineering
Armand Tanguay, Associate Prof of Electrical Engineering
Bing J Sheu, Assistant Prof of Electrical Engineering
C von der Malsburg, Prof of Computer Science and Neurobiology
Ramakant Nevatia, Prof of Electrical Engineering and Computer Science,
Director of the Inst for Robotics and Intelligent Systems

3 所在地： SAL 238, Los Angeles, CA 90089-0782, U S A

4 調査結果・

4 1 USCの研究方針とプロジェクトについて

(1) USCの方針

脳の計算機的解析過程での脳についての洞察は、新しいコンピュータアーキテクチャをもたらし、人間の意思決定を援助する知能として人工知能を新しいステーションに導く。さらに、これを道具にして、人間の学習や病気の研究に新しい展開をもたらされる。また、光コンピューティングとマイクロエレクトロニクスの発展は、雄大なスケールで一度に多数とのコミュニケーションを可能とし、群としての並列的なコミュニケーションをもたらす。この様な未来に対応するために、USC では、神経科学、光情報処理、ロボティクス、知能システムの研究と教育が積極的に推進されている。そのために、特に、人工知能と光コンピューティングの分野において、重なりを持つ複数のグループが作られ、協力しあうことか要求されている。

(2) USCのプロジェクトについて

コンピュータビジョン、ロボティクス、人工知能の研究が集められたのか、IRIS(the Institute for Robotics and Intelligent Systems (所長, R Nevatia) である。また、信号処理、光コンピューティングの研究が the Signal and Image Processing Institute (所長; A Sawchuk) で行われており、これは the Center for Photonic Technology (センター長; P D Dapkus) のオプトエレクトロニクス物質と光コミュニケーションおよび情報処理の研究につながっている。さらに、1987年10月に、神経科学の大型プロジェクトとしてNIBS(Neural, Informational and Behavioral Sciences、所長; W McClure) が計画された。さらに、工学分野からの神経科学のセクションが作られ、脳に対して理論的、実験的なアプローチが行われた。これらのためのニューロサイエンスビルが1989年12月に完成し、この建物の地下をCNE(the Center for Neural Engineering、セナ-長, M A Arbib) が使用している。

4.2 CNEの研究について

(1) CNEの研究方針

CNEは、神経工学(Neural Engineering)と計算神経生物学(Computational Neurobiology)の研究、すなわち脳の研究と人工知能に基づく神経的な研究のイノベーションを結び付ける分野の研究をしている。ここでの研究のスタンスは、人間の後の道具としての情報処理研究であり、人間と同じ物を作ることを目指してはいない。

(2) Arbibの第6世代コンピュータのための研究について

(a) 第6世代について

第6世代コンピュータを定義するために、次の原理を提唱している。

<原理> 脳と同様の物ではなく、脳を援助する新奇なコンピュータを作るために、脳から学ぶ。

脳は、多くの感覚チャンネルの入力情報を処理して、多くの効果器に出力し、行動すること、複雑な環境と関係を持つ。そこで、第6世代コンピュータの設計原理はコンピュータとロボットの線上に存在するとしている。知覚機能を持ったロボットがこれらの新しいコンピュータシステムのキーとなる。そして、次第に智能化していくコンピュータを乗せて、より洗練されていくメカニズムで協調が起これ、コンピュータシステムの発展を促すと考えている。この時には機械を作る必要はなく、操作するための指図をすればよい。

第6世代コンピュータにとってもう一つの重要な特徴は、学習機能を持つことであり、この時、協力して計算する事が重要なと述べている。そして、脳は大きな均一な神経回路網ではなく、未来のコンピュータでは、脳の様に、特化したサブシステムの回路網を複数持つと述べている。

(b) スキーマ理論について

第6世代コンピュータのプログラミング技術の開発、すなわち、これは脳の解析についての基本的な戦略であり、知識ソース全体と神経回路網の解析の間のすべてのレベルにわたってプログラムできることを望んでいる。この中間的なレベルに対して、新しいタイプのプログラム言語であるスキーマを候補として上げている。これは複雑な行動を制御するプログラムにおいて、多くの異なるピースを同時に動かすために適すると述べられている。

(c) 適応型のネットワークについて

適応型ネットワークをチップに乗せるのを、VLSI技術の発展が促している。この型のチップ開発が、工学的な応用を目覚ましく発展させる。現在、簡単な適応型ネットワークでどのような事ができるかを調べている。

(d) 会話理解について

現在のAIにおけるエキスパートシステム、例えば黒板システムの HEARSAYでは、一度に一つの知識ソースを呼び出すために、逐次型のスケジューラがあるところか脳と異なる点である。そこで、どのように一度に一つという中でそれらをどのように制御するかよりも、どのようにしてこの種の機能を分散させるかを理解することにチャレンジしている。

(e) 視覚運動において調和をもたらす神経メカニズムのモデル化について

カエルがハエを追い駆ける行動を、より複雑に絡みあった情報処理の一つのモデルとして注目している。この情報処理には、物体の状態、状況の認識および障害物回避の行動計画などの多くの要素が含まれている。そして、より多くの行動学と生理学のデータを基にした情報処理モデルを作り、知覚ロボットの脳を主体としたモデルのレパートリを広げていく。

(3) 研究グループの概要

CNE では、各観点ごとに研究グループが編成されてきた。以下①～⑧にこれら8つのグループの研究概要を示す。

8研究グループに属するメンバーは約50名であり、一部のメンバーは他のプロジェクトにも

属する。メンハの専門分野は、電気工学、数理学、物理学、生物学、医学、心理学の多岐にわたる。現在、日本人の研究者は、短期滞在を含めて日産自動車から3名とのことである。また、これらの8グループは、より機能的に6グループに再編成されつつある。

①視覚グループ (M A Arbib, R Nevatia, C von der Malsburg 他8名)

ここでは、機械と生体の視覚システムの実験と理論的解析が行われている。

コンピュータビジョンの研究としては、次の研究が行われている。ステレオマッチングでは、エッジと面の対応において、2画面中の立体面上の点の対応か、周りの状況を判断することで可能たとして、ホップフィールドモデルを用いてシミュレートされている。さらに、単眼や複眼の連続イメージから3Dでの動きと構造の推定が研究されている。また、誤りの多い低レベルの画像からの高レベル化技術か、規則性を持ってホケた画像である走行中の自動車の流れた写真のエッジの明確化が研究されている。周りの画素との相互作用によりエッジを明確にすることかてきるとして、エッジの明確化かホップフィールドモデルを用いてシミュレートされている。空港の航空写真から地図を作製するために、道路や滑走路や建物を読み取ることも研究されている。画像処理画面の細分化、エッジ検出、四角形物体の抽出、ヒストグラムによるノイズの低減、抽出四角形のグルーピングが従来のコンピュータビジョンで行われている。ここでは道路と滑走路の区別が困難であり、ニューラルネットワークを用いた分離が研究されている。またニューラルネットワークを用いたグルーピングが研究されている。その他、特徴点を抽出するための視線の動きの解析、時々刻々変化する画像のイメージの保存、ステレオイメージの照合での抑制作用の組み込み、飛行機などの形態を認識するための特徴点と有効な線分による形態描写とのマッチングによる画像パターンの認識、表面と立体の形状の記述、影の形の判別、パターンの切り出しなどの研究が行われている。

生体の視覚システムを参考にした研究として、図形照合と記憶と並列計算に対する動的なネットワークの結合形成のアーキテクチャ(シナプスの可塑性のモデル化、神経系の結合パターンの成長の解析)、非線形非定常システムの数学的モデル化(生理学と人工の視覚に対する応用を目指した時間を空間でとらえるモデル、脊椎動物の網膜での情報処理のモデル化)の研究が行われている。

生体の視覚情報処理の研究としては、網膜の神経回路網の解析、視覚系の情報処理の菓理的な解析(時間を空間で捉える受容野の非線形性の解析)、神経繊維の形態と分布に依

存した回路網の構造と機能の関係を調べるためのカエルの網膜の微細回路網の解析の研究が行われている。

② 感覚運動系の調和とロボティクスグループ (M A Arbib 他 8 名)

ここでは、知覚ロボット、プログラム可能な自動操作、補助運動の研究にとっての基本となる視覚-運動系の調和の生理学・解剖学と計算機的研究がなされている。

眼(コンピュータビジョン)と腕(ニューラル)の調和システムの研究において、腕の運動制御は、人間の動作の解析と神経回路のモデル化により研究している。物体を握る時の視覚系を持ったロボットアームの運動の学習では、カップをスムーズに握るシミュレーションを行っている。人間はカップと接触する前に、カップの形状に対応して指を動かす。この行動をカメラと多関節ハンドからなる系で実現するために、形状に合わせて指の相対位置を計算している。この形状と位置の関係を学習型ニューラルネットワークで作っている。また、熟練者を基にした適応回路網組み込みロボットの熟練した動きの獲得、複数ロボットでの組み立て過程のニューラルネットワークによる行動計画が研究されている。さらに、取り込み-処理-発現(行動)の一連の情報処理において、一過的な情報による発現までの手順が調べられている。

生体情報処理の研究としては、視覚-運動系の調和の情報処理原理を追求するために、カエルの神経系の情報処理機構の解析が捕食メカニズムの行動計画におけるシナプスの機能と構造から調べられ、知覚ロボットのためのモデル化が行われている。また、人間の感覚-運動におけるタイミングを伴う行動の神経系も調べられている。

③ 学習と適応回路網グループ (M A Arbib C von der Malsburg 他 9 名)

ここでは、新しい学習アルゴリズムを得るための脳の学習と記憶機構の研究がなされている。

計算機とロボット用テハイスへの適応型サブシステムのアーキテクチャのために、適応型のニューラルネットワークによる信号処理能力が調べられ、物理的なモデルを基にした推論や確認や探知や最適化過程の信号処理モデルが研究されている。また、光学的ニューラルネットワークのための学習アルゴリズムも調べられている。

適応型の並列コンピュータアーキテクチャとして、シナプスの可塑性のモデル化と結合パターンの成長の解析により、動的なネットワークの結合形成のアーキテクチャが調べら

れて、このシミュレーションにトランスペュータを用いた並列処理マシンを用いている。

学習と記憶における脳の可塑性を調べるために、海馬と小脳におけるシナプスの可塑性を神経生物学的基質から、また、非病理学的な老化における神経化学からも神経の適応が調へられている。そして、神経回路網の情報の処理と貯蔵の計算機モデル化が行われている。また、老化過程の源としてのDNAと神経系にコード化されて組み込まれている情報も調へられている。

④分散型人工知能グループ (M A Arbib 他6名)

ここでは、認知レベルからの脳の分散処理の解析を基にしたAI研究がなされている。

知覚の組織化、ロボットの動作制御および握る動作をスキーマレベルで解析し、視覚運動の調和における神経メカニズムのモデル、また、認知と言語学のモデルを研究している。分散型AIを用いたゲーム理論や複数の知能エージェントの調和が研究されている。

また、高度な情報処理である状況判断を目指して、MACE (Multi Agent Computing Environment) により、基礎となる状況記述法が調へられている。このために、映画のナリオをシナリオとこの属性(関連性)と活動度の記述して、シナリオのデータベース作りが行われている。

複数ロボットによる調和した動作を、パターン認識(視覚)とニューラルネットワークに用いた運動制御で研究している。

⑤並列計算とVLSIグループ (B J Sheu 他7名)

ここでは、コネクショニストシステムとニューラルネットワークでのコンピュータアーキテクチャ、並列アルゴリズムとVLSIの研究がなされている。

並列コンピュータアーキテクチャからのコネクショニストとニューラルネットワークへのアプローチにより、並列コンピュータへのニューラルネットワークの効果的なインプリメントを行うために、トランスペュータを用いた並列処理マシンを試作している。

並列処理アルゴリズムとそのVLSIへのインプリメントを行ったニューロチップとして、コンピュータとハイオメティカルでの応用のためのアナログとディジタルVLSIの設計をしている。また、新しいニューロチップとして、神経系の最適化アルゴリズムを組み込んだVLSIチップの設計を行っている。

⑥光学ニューロコンピューティンググループ (K Jenkins, A Tanguay 他5名)

ここでは、光学システムでニューラルネットワークを作る研究がされている。

連想メモリーを構築するために有効な非線形物質中の光ビームのミキシングによる位相の引き込みの研究、また、非線形光テハイスを用いたテンソルイメージ処理の研究を行っている。

光テハイスとして、非線形結晶への光学ビームの作用、結晶中での自己組織化が研究され、III-V物質を用いた複数の状態を持つ量子井戸の構造体を用いた光変調器、光コンピューティングにおける物理的・工学的限界が解析されている。また、液晶の非線形光学素子(LCLV)を用いた興奮性と抑制性の2つの特性を持つ光ニューロンモデル(general incoherent optical neuron, ION)を開発し、これを組み合わせた光コンピューティングにおける群的な並列処理を用いてGrossbergの on-center-off-surround競合ニューラルネットワークをシミュレートしている。

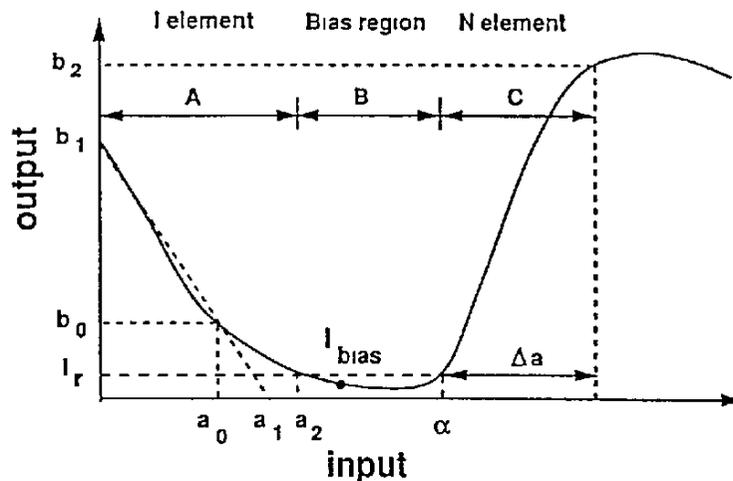


図1 非線形光素子(LCLV)の特性図

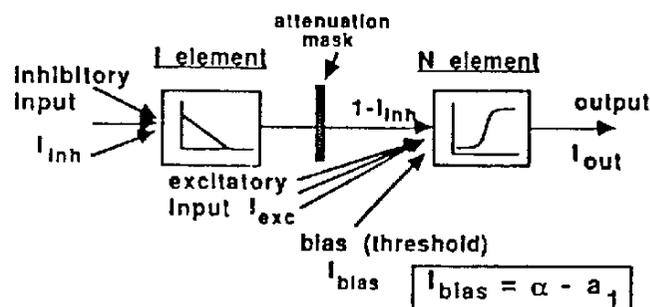


図2 光ニューロン(ION)の図

⑦神経工学の医学利用グループ（9名）

ここでは、運動の代替え装置と脳の視覚化の研究が推進されている。

運動補助装置および義足・義手を使った運動を行うために、人間の筋肉運動機能のシミュレーション、末梢神経の興奮のシミュレーションを行い、歩行中の足の制御と神経障害者の足取りの解析、また足音パターンの解析を行っている。

脳の視覚化としては、行動と SQUIDでの計測による脳磁場との相関、動的な神経磁場のモデル化、神経磁場ソースの静磁場モデル化、計測データからの皮質の神経活動のイメージの画像化を研究している。また磁場計測とCTを利用して、言語に関する神経物質を失語症患者の言語の無秩序とアルツハイマー病を神経生物学から調べている。

⑧脳のシミュレーショングループ（M A Arbib 他2名）

ここでは、ニューラルネットワーク、スキーマ理論のシミュレーションについて、視覚運動の調和の神経メカニズムなどのモデル化で研究が行われている。また、脳のイメージに神経生理データや神経解剖データを加えて画像の再構成を行い、脳のイメージ化のグラフィック技術の開発がされている。

5 感想

5.1 「新情報処理」の説明に対するコメント

現在、日本は第5世代コンピュータの次のプログラムのために、通産省の主導で調査研究を行っていることを資料を補足する形で説明した。そして、このプロジェクトに対しては以下に示す様に興味を持たれた。

① CNEでは脳・神経系の情報処理機構の研究も重視しているために、「学習」の項の神経生理学の単語に注目し、生理実験を含む研究領域に興味を持たれた。また、HFSPとの研究領域の関係にも興味を持たれた。生理実験を含むことを希望されたか、これに対し彼らの間で議論が起き、CNEの中で生理実験の必要性で意見が別れているのか判明した。

②光テハイスが大きく紙面を得ていて、近未来のテハイスとして重要なノリコンテハイスを軽視しているとの印象を持たれ、ノリコンデハイスの研究が超並列・超分散の中に含まれるとの説明では納得が得られなかった。

③新プロジェクトの規模に興味を持たれ、第5世代コンピュータと同程度（約50億円/年）

の規模が米国のプロジェクトと比較して大きくはないこと、また日本の経済からして大きくないことか指摘された。

④研究費の充足を希望して、新プロジェクトの研究費の配分法か興味を持たれた。研究所への集中方式よりグラントシステムか希望され、HFSPと比較した国際性に興味か持たれた。

⑤新プロジェクトのフューンビリティスタディに興味か持たれた。新情報処理技術に関する総合的調査研究かフューンビリティに当たるか、実態は調査であり、研究は行っていないと説明した。

5.2 CNEについて

(1) CNEの研究環境について

CNEのあるニューロサイエンスビルが昨年12月に完成したばかりであり、また内部は十分に整備はされてなく、ビル内には人影はほとんど見られなかった。また、周りの建物と造りを比へてもあまり変わらず、神経科学のために特に力を注いで建設したとは思われなかった。

海外からの学生の募集を積極的にアピールしており、日本の企業からの参加を希望していた。また、訪問者に対して講演を有料で行っていると述べていたことは、Arbibの個性以上に、CNEの維持に余裕はないと思われる。

(2) CNEの研究者について

Arbibの進めているCNEは幅広い研究者を集めて、かなり多岐にわたった研究か推進できていると思われる。しかし、名簿を見ても第1線で活躍している研究者名は少ない。講演を聞く限り、有能な若手の研究者かおり、これから数年間にArbibかCNEをとの様に成長させるかか問われている。

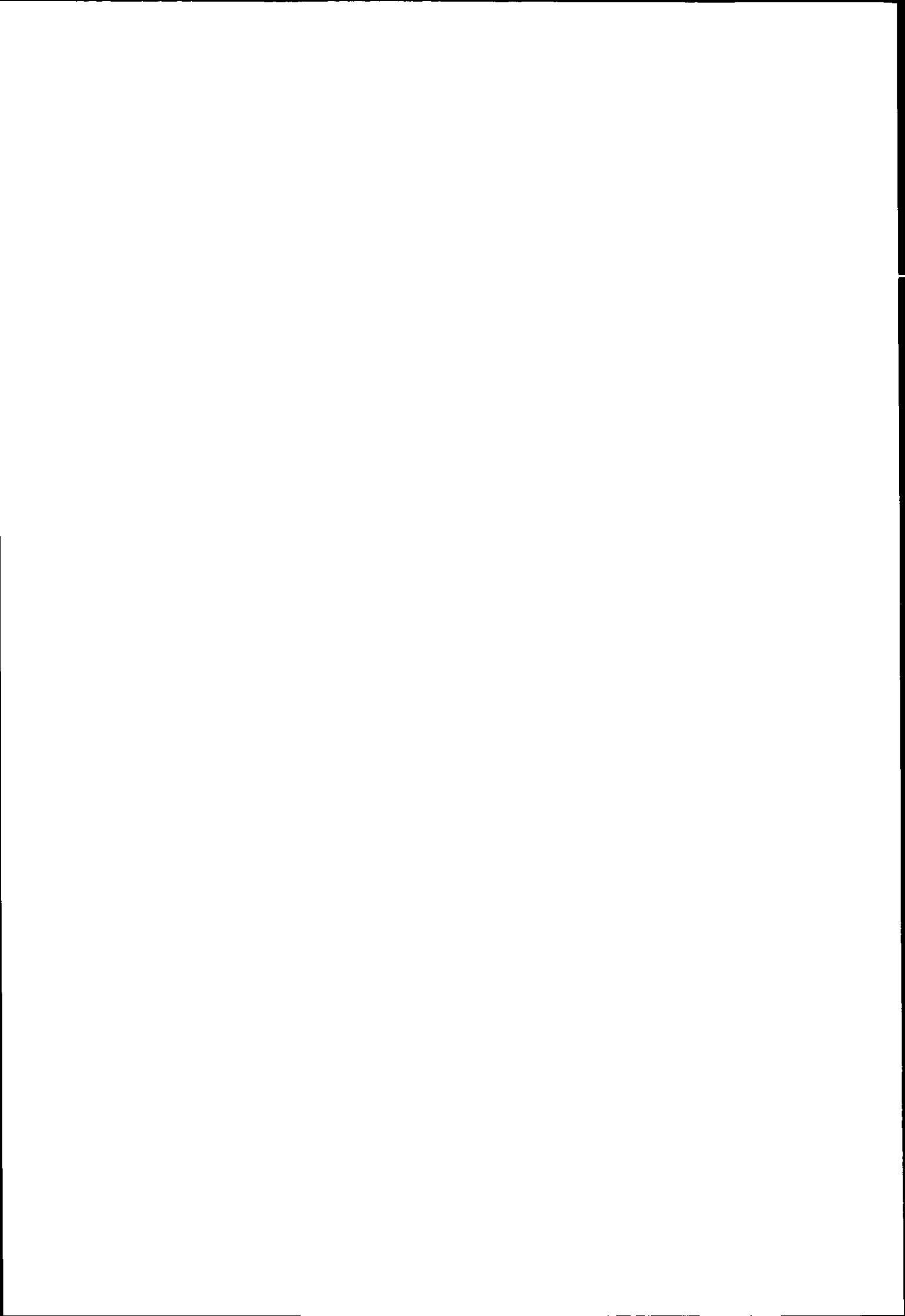
[米谷 忠篤]

6 参考・入手文献

- [1] M A Arbib Visuomotor Coordination Neural Models and Perceptual Robotics, Visuomotor Coordination Plenum Publishing Co, 121-171 (1989)
- [2] B K Jenkins and C H Wang Model for an incoherent optical neuron that subtracts, Optical Letters, 13 892-894 (1988)
- [3] C H Wang and B K Jenkins Implementation of a Subtracting Incoherent

- Optical Neuron, Proc. IEEE 3rd annual Parallel Processing Symposium (1989)
- [4] C.H.Wang and B.K.Jenkins : Implementation Considerations of a Subtracting Incoherent Optical Neuron, Proc. IEEE Inter.Conf.on Neural Networks (1988)
- [5] B.W.Lee and B.J.Sheu : A Compact and General-Purpose Neural Chips with Electrically Programmable Synapses, Proc. IEEE Custom Integrated Circuits Conf. (1990)
- [6] B.W.Lee and B.J.Sheu : Design of a Neural-Based A/D Converter Using Modified Hopfield Network, IEEE Solid-State Circuits, 24(4), 1129-1135 (1989)
- [7] J.Buhmann, J.Lange and C.von der Malsburg : Distortion Invariant Object Recognition by Matching Hierarchically Labeled Graphs (1989)

III. I J C N N 報告



III. I J C N N 報告

1. セッション報告

1990年1月15日から19日まで、IEEEとINNSの共催で、米国の首都ワシントンで開催されたニューラルネットワークに関する国際会議“IJCNN-WASH-90”に参加したので、出席したセッションの中から主要なものについて、その概要を報告する。

報告するセッション名を次に示すか、15日に行われた“Tutorials”は、報告の対象外とし、また、会議全体のプログラムについては、「2.」を参照して頂きたい。

[報告セッション名]

- 1 Speech and Signal Processing Session
- 2 Application Systems Session
- 3 Cognitive Sciences Session
- 4 Lectures on Self-organizing Neural Architectures (Special Session)
- 5 Learning Theory I Session
- 6 Robotics Session
- 7 Evolutionary Issues Relating to Neural Networks (Special Session)
- 8 Vision Session
- 9 VLSI Implementation Session
- 10 Optical Implementations Session
- 11 ニューラルネットワークのハードウェアに関連するセッションのまとめ — 光技術を中心に —

1 Speech and Signal Processing Session

1990年1月16日(火) 8:30~12:10

1-1 (報告者 田中 信夫)

会議初日(1月16日)の朝に開催されたセッション「Speech and Signal Processing Session」について紹介する。まず、本セッションの全体的な概要から述べる。本セッションでは、各種の具体的な応用に対してニューラルネットの手法を適用して実験・評価を行った結果などについて主に述べられている。適用されたネットワークは、多くはバックプロパケーションに基づくものであるが、Kohonenの自己組織化マップ、ヘクトル量子化に基づく手法のほか、パーセプトロンを用いたものも見られた。特に、バックプロパケーションを適用した例では、ニューラルネットを用いない方式との比較を行っているものが多い。また、手法的には、リカレントネットワークを用いたもの、2進木の学習のさせ方を工夫したものなども見られた。応用領域としては音声認識、画像圧縮などの典型的な応用のほか、移動物体検出、水山の分類、蠅の求婚歌の分類など様々である。Kohonen教授による招待講演では、彼の各種方式の紹介と応用について述べていた。また、別の彼の発表では、自己組織化マップの1次元および2次元信号の簡単な分類実験と、その方式の適応可能性に触れていた。特にニューラルネットを使う積極的な意味の見られないものや、予備実験程度に見えるものもある。このセッションは、特に一つにくくって紹介するにはまとまりがある訳ではないので、発表された順番にその内容を紹介していく。

(1) "Some Practical Aspects of the Self-Organizing Maps"

Teuvo Kohonen (Helsinki Univ. of Technology)

この発表はヘルシンキ大学のKohonen教授による招待講演で、まず、バックプロパケーションに関しては詳しい人も多いかも知れないが、彼の特徴マップについては特に詳しい人も、また知らない人もいると考える、と前置きをして、その概念から詳しい説明に入った。

特徴マップからLVQ2に至る分類アルゴリズムの学習プロセスについて、空間的な境界の決め方や幾何学的なポイントの決め方など入門的な話をしていった。バックプロパケーションとの大きな違いは、バックプロパケーションが入力と出力のマッピングを行うのに対し

て、特徴マップは最初から分類を目的にしており、コードブックによるベクトル量子化を行うものである。したがって、ネスト構造のマッピングを行わず、単に分類のための境界決定を行うに過ぎない。このため、ハックプロパケーションに比べてはるかに達成しやすいタスクであるにもかかわらず、分類を目的としたタスクでの正確さにおいてはハックプロパケーションに劣らない。さらに、そのインプリメンテーションやハード化は容易になり、いろんな応用に活用されている。例えば、日本の某企業では漢字認識に使っているし、ATR では音声認識への応用でハックプロパケーションとの比較を行っているなどと言及した。

(2) "A Preliminary Note on Training Static and Recurrent Neural Networks for Word-level Speech Recognition"

Kamil A. Grajski, Dan P. Witmer and Carson Chen (Ford Aerospace)

Ford Aerospace の Grajski らによる発表であり、連続音声の中のワードスポッティングを目指しているということだが、離散発声の17単語の音声認識で、学習としてはハックプロパケーションを用いてリカレントネットワークと通常のネットワークとを比較実験している。入力にはFFTを用いた15チャンネルのフィルターバンク出力であり、通常のハックプロパケーションの場合、60フレーム分をすべて入力データとし、リカレントネットワークの場合の入力データは5フレーム分を以前の隠れユニットの値を2段階分（1段階は5フレーム分の時間遅れに相当）合わせて用いている。リカレントネットワークは通常のネットワークに比べて学習時の収束速度はかなり遅いものになっているか、接続の数では従来の約1/10と少ないにもかかわらず同等の性能が得られている。

(3) "Application of Neural Networks to Pulse-doppler Radar System for Moving Target Indication"

Chia-Jiu Wang, Chwan-Hwa Wu (Univ. of Colorado) et al

コロラド大学の Wang らの発表で、パルスドプラーレータ出力からの移動物体の検出に対して、従来手法であるFFTを用いた手法と、ハックプロパケーションに基づく3層ニューラルネットワークを用いた方法で比較実験を行った結果を示していた。ハックプロパケーショ

ンによる学習では、16信号サンプル点の入力に対して望ましい出力としての周波数ノットを教えている。FFT (16点) を用いた方法では、サイドローブ抑制のために用いた窓関数による分解能低下などの弊害が見られるのに対して、ニューラルネットを用いた方法では、雑音の多い環境下でもメインローブのゲインや分解能の劣化なしにサイドローブを押さえられる点で従来手法より優れているとしている。

(4) "Neural Network Based Data Compression using Scene Quantization"

Mohammed Arozullah and Aran Namphol (The Catholic Univ of America)

The Catholic Univ of America の Arozullah らによる発表で、以前から用いられているハックプロパケーションを使った画像データ圧縮手法である。入力データと出力データの数が同じで、入力データの数よりも少ない隠れノットを有する対称型の5層のネットワーク構造を用いている。学習により、入力データと出力データが同じになるように重みの修正を行い、入力データを与えた時に得られる中央の隠れ層 (量子化部と呼んでいる) のノット出力の値を圧縮結果とするものである。

(5) "Radar Classification of Sea-ice Using Traditional and Neural Classifiers"

Jim Orlando, Richard Mann and Simon Haykin (McMaster Univ)

McMaster大学の Orlando らによる発表で、北極の氷の種類 (その年に出来た氷、長年にわたる氷、流氷、流氷の影) を区別するために、従来型のヘイズ型 (カウス型) 分類と各種の層構造を持つハックプロパケーションに基づく多層ネットワーク、1次元および2次元の各種マップ構造を持つ LVQ ネットワークを用いて実験を行った。用いたレータシステムは2極性を持っており、それぞれ2種類の画像が得られる。入力ノットは2個で、それぞれの極性に応じた画像出力を入力データとしている。結果は3種類の方式ともほぼ同等の性能を得ている。

(6) "An Adaptive Discrete-Signal Detector Based on Self-Organizing Maps"

Teuvo Kohonen (Helsinki Univ of Technology) et al

Kohonen らによる発表で、自己組織化マップを時間的に変移する信号パターンや格子パターンに適用し、その適応性についての簡単なシミュレーションを行い、適応のための時定数の設定範囲について知見を得ている。特に2次元の格子パターンに対しては、変形よりも拡大・縮小、回転、シフトなどに強い性質を持たせられること、すなわち、トポロジカルなマッピングがうまく行えることや、時定数の設定にあまり敏感でないことなどを示した。

(7) "Training Continuous Speech Linguistic Decoding Parameters as a Single-Layer Perceptron"

Mark T Anikst and David J Trawick (Speech Systems Inc)

Speech Systems Inc の Anikst らによる発表で、セグメンテーションの後にその区間の音声を認識し、その認識結果と有向グラフ表現された内部辞書とのマッチングを行う連続音声認識システムにおいて、辞書と入力音声のスコアリングに用いるスコアの係数を、2層のパーセプトロンを用いて求めている。ニューラルネットの学習を用いることにより、第2番目の候補のスコアが非常に近くなるような辞書項目において、スコアが遠くなるように学習によって係数を変更させている（ニアミスの改善）。これによって、例えば、6回の学習により、テストデータの認識率が45%から70%へと向上するなどの結果を示していた。本方法はスコアリングのモデルに依存しない点、HMMよりも一般的な方法であるとしている。

(8) "Neural Tree Structured Vector-Quantization"

Eric Wan, Paul Ning and Bernard Widrow (Stanford Univ)

スタンフォード大学のWidrowグループのWanらによる発表で、2進木を用いたヘクトル量子化によって画像などのデータ圧縮を行うものであり、2進木の各々のノードで0か1かの振り分けを行うのにニューラルネットを用いている。ネットワーク自身は3層（ハ

クプロパケーション学習で用いる隠れ層は1ノードだけ)で、入力にハイアス入力か考慮されている。また、再調整用に、バックプロパケーションによる学習後、テコータ部にハイアスベクトルか付加される。まず、各々のノード毎に、2つのコートワートのどちらかに適合させる小さなニューラルネットワークかバックプロパケーションで学習される。学習を終えたネットワークのシグモイド関数をステップ関数に変更すれば、エンコータ部か完成するか、ステップ関数で置き換えた分の補償のため、LMS法を用いてテコータ部の重みを再調整している。更に、学習サンプルを用いて2進木全体でエンコータ部か正しく働くように、重みの再調整を行うというものである。ここでは画像圧縮の実験を通して効果を確認している。また、その発展系などの提案などかあった。

(9) "A Technique for the Classification and Analysis of Insect Courtship Song"

Eric k Neumann, David A Wheeler

and Jamie W Burnside (Brandeis Univ)et al

Brandeis 大学の Neumannらの発表 (MIT・リンカーンラホから一名共著)で、KohonenのLVQを特徴抽出に用い、その出力をバックプロパケーションの入力として、蠅の求愛の歌を4種類に分類するネットワークを作成している。歌そのものの信号はパルス状のものであり、入力としてその零交差の時間情報を用いている。この方法は、歌の分類以上のものに適応できるとしなから、今回の実験は予備的なものであり、将来的には、異なる属の動物の歌を、パルスの確率やその時間依存性などから弁別していくということである。

(1) "Some Practical Aspects of the Self-Organizing Maps"

Teuvo Kohonen (Helsinki Univ of Technology)

Kohonenのヘクトル量子化学習 (LVQ) の解説に続き、その応用例 (主として音声認識方面) が幾つか説明された。

(2) "A Preliminary Note on Training Static and Recurrent Neural Networks for Word-level Speech Recognition"

Kamil A Grajski, Dan P Witmer and Carson Chen (Ford Aerospace)

中間ユニットの出力を再帰的に使用する BP ネットワークを用い、数字 "0", ..., "9"、制御用語 "up", "down", "left", "right", "pitch", "roll", "yaw" の計17個の英単語の音声認識を行った。実験では、2ステップの時間遅延を中間ユニットの出力の計算に使用するネットワークを使用した。再帰型ネットワークは学習に時間がかかるという欠点があるか、通常のネットワークの1/10以下の結合で、ほぼ同程度の認識率を達成した。また、認識対象を "0" から "9" に限定した場合は、再帰型ネットワークの方が良い認識率を示した。

(3) "Application of Neural Networks to Pulse-doppler Radar System for Moving Target Indication"

Chia-Jiu Wang, Chwan-Hwa Wu (Univ of Colorado) et al

筆者らは、トランスレータの信号から動いている物体の速度を判別するという問題に BP ネットワークを応用した。BP ネットワークと高速フーリエ変換 (FFT) との比較を行ったところ、BP ネットワークは以下の長所を有すること分かった。

① 雑音に強い

② 速度判別精度が落ちない (FFTではサイドローブからの信号を削るため、Hamming

ウィントウなどのウィントウを使用するか、これはメインローブを広げ、精度を落とす原因になる)。

③ サンプル信号数が任意である (FFTでは2の幅でなくてはならない)。

④ サンプル信号数にかかわらず、計算は2ステップでよい (FFTでは $\log_2(N)$ ステップを要する。ここでNはサンプル信号数)。

(4) "Neural Network Based Data Compression using Scene Quantization"

Mohammed Arozullah and Aran Namphol (The Catholic Univ of America)

筆者らはScene Quantizationというデータ圧縮法を考案した。Scene Quantizationは5層の対称的な構造を持つBPネットワークを使用する。12×12ピクセルイメージを5又は6個の中間ユニットの出力値に圧縮する実験を行ったところ、十分に許容できる誤差の範囲内で元のデータが復元された。

(5) "Radar Classification of Sea-Ice Using Traditional and Neural Classifiers"

Jim Orlando, Richard Mann and Simon Haykin (McMaster Univ)

海上の水には一年氷、多年氷、氷山の3種類がある。後の2つは安全航海の妨げになるため、氷の種類を判定することが必要になる。筆者らは地表レーダの信号から氷の種類を判別するという問題に、①カウス分類法、②BPネットワーク、③KohonenのLVQを使用し、比較を行った。結果的にはどの方法も同程度の性能が得られたため、いずれの方法を選ぶかは実現効率を考慮して決めるべきであるという結論に達した。

(6) "An Adaptive Discrete-Signal Detector Based on Self-Organizing Maps"

Teuvo Kohonen (Helsinki Univ of Technology) et al

信号伝送方式には、データの値を量子化して伝送するQAMと呼ばれる方式があり、送出される信号は以下の式に従う。

$$1 \text{次元} \quad x(t) = a + n(t)h \quad n(t) = 0, 1,$$

$$2 \text{次元} \quad x_1(t)\cos\theta - x_2(t)\sin\theta \quad \theta \text{は位相}$$

$$x_1(t) = a_1 + n_1(t)h$$

$$x_2(t) = a_2 + n_2(t)h$$

2次元の場合、テータを表す点は矩形領域の格子点($n_1(t)$, $n_2(t)$)となる。実際には伝送路に歪みがあり、その歪も時間的に変化するため、この矩形は徐々に変形しながら受信側に伝えられる。筆者らは、トポロノカルマップの学習規則をやや変更したモデルを使用し、この時間的に変化する歪に自動的に適応する復調方法を考案した。実験を行ったところ、筆者らの方法は従来の方法より、伝送歪を柔軟に処理することかてきた。

(7) "Training Continuous Speech Linguistic Decoding Parameters as a Single-Layer Perceptron"

Mark T. Anikst and David J. Trawick (Speech Systems Inc.)

筆者らは、連続音声データか与えられたとき、そのデータに最もよく適合する音素の系列を決めるという問題に、単層パーセプトロンを使用した。この方法は Hidden Markov Model より一般性を有するなどの利点かある。小数点を含む平均4けたの数値の認識を行ったところ、よい結果か得られた。

(8) "Neural Tree Structured Vector-Quantization"

Eric Wan, Paul Ning and Bernard Widrow (Stanford Univ.)

近年、テータ圧縮にベクトル量子化 (VQ) か盛んに使用されるようになったか、VQで難しいのは全体の量子化エラーを最低にする「実データ→コード」の対応を決定するとてある。筆者らはBPネットワークを用い、最適なコート割当を実現する方法を考案した。この方法を用い256×256ピクセルの画像を 1/4のテータ量に圧縮する実験を行ったところ、元の画像とほぼ変わらない画像か復元てきた。

(9) "A Technique for the Classification and Analysis of Insect Courtship Song"

Eric k Neumann, David A Wheeler

and Jamie W Burnside (Brandeis Univ)et al

筆者らはノヨウノヨウ蠅の求愛信号を分析し、遺伝子型を決定するという問題にニューラルネットワークを応用した。ニューラルネットワークはKohonenのLVQネットワークとBPネットワークを組み合わせた構成をとり、前者はデータの圧縮、後者は圧縮されたデータから最終的に遺伝子型を決定するという役割を持つ。このネットワークは未知の信号に対してもよい一般化能力を示した。

このセクションはパターン認識など、以前からよくあるニューラルネットワークの典型的な応用例を扱っているか、(6) は学習と実行を同時に行うモデル（データ受信と同時にトポロジカルマップの学習を行う）を提案しているという点で興味深い。このようなリアルタイム学習を扱った発表は今後増えていくことが予想される。

2. Application Systems Session

1990年1月16日(火) 14:00~16:00

(報告者: 浅川 和雄)

1 要点報告

ニューロコンピュータの並列技術の展望、ニューロコンピュータの並列システムアーキテクチャおよびニューラルネットによるファシモテルに関する発表が5件あったので要点を報告する。

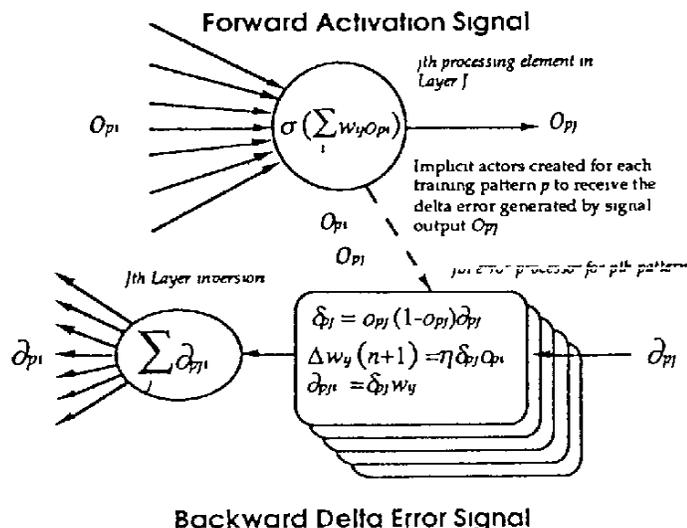
(1) "Connectionist ANS Architecture Using Communicating Concurrent Processes"

Tim Kraft and Stephen A. Frostrom (Science Applications International Corp.)

Artificial Neural Systems(ANS)は超並列コンピュータと密接な関係にある。並列処理アーキテクチャにニューラルネットを実装すると、プロセッサエレメントの台数効果かそのまま発揮されると言う報告が出始めている。しかし、これまでに開発された技術では、最急降下学習の同期的な性質をうまく利用して実行するような並列アーキテクチャであったり、OccamのようにTransputerを並列に使ってもその通信が逐次処理でありANSの並列性をそのまま発揮出来ないものが多い。

本発表では、逐次処理を全く必要としないコンカレントな通信処理を行うシステムアーキテクチャを、バックプロパクション学習に対して提案している。このアーキテクチャは、ANSpecとよぶアクタヘースの言語を使用している。発表内容は、SAIC社のANSpecの宣伝のようなものである。

アクタモテルは、1986年にC. Hewittにより提唱されたものである。アクタモテルは、ルーズに結合した非同期並列処理アーキテクチャからタイトに結合した同期パイプライン処理アーキテクチャまで広い範囲をカバーするものであるとしている。本アーキテクチャの特徴は、バックプロパクション学習で必要とされる前向きと後向きのプロパクション処理の逐次処理を回避するために、後向きバックプロパクション用に別のアクタを採用したことである(図1)。



Use of implicit actors created during forward propagation to receive the delta error during backpropagation to resolve forward and backward signal propagation conflicts at the processing element. This will create an implicit actor for each training pattern pair during training. The delta weights are collected but not applied until the end of the training cycle.

図1 ANSpecによるBP法 (implicit actor の提案)

これにより前向きと後向きプロパゲーションを並列化できる。今後の展望として興味深いのは、このアーキテクチャを並列プロセッサVLSIアーキテクチャに実装しようとしていることである。

(2) "A Parallel Neurocomputer Architecture Towards Billion Connection Updates Per Second"

Hideki Kato, Hideki Yoshizawa, Hiroki Ichiki, and Kazuo Asakawa
(Fujitsu Laboratories Ltd.)

リングレジスタでプロセッサエレメントを結合した並列処理アーキテクチャ (図2) に関する発表である。ニューロ演算の基本は、積和演算であることからDSPをプロセッサとして採用し、これを256台並列接続して567 Million connections update per second (Mcups)の処理速度を実現している。使用しているDSPはTI社TMS320C30、マシンサイクルは60nsである。

本アーキテクチャでは、トレイ上のデータのシフトに同期して積和演算が行われる。したがって、SIMD(Single Instruction Multi Data)として稼働し、プロセッサエレメントの台数分の高速化が発揮されるとしている。

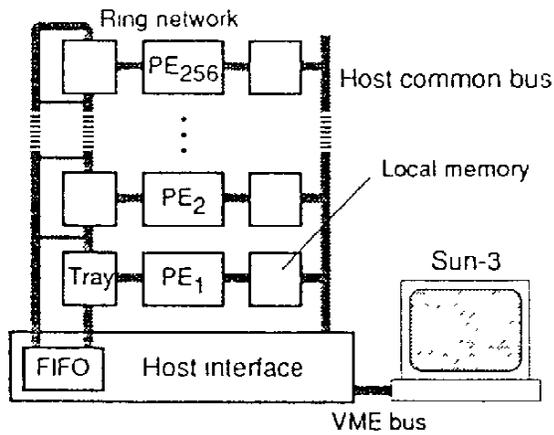


図2 リングネットワークを持つ並列ニューロコンピュータ

また、バックプロパゲーション法の実装では、リング状に接続されたトレイをうまく利用して、前向きばかりでなく後向きプロパゲーションをも並列演算することができるように工夫されている（図3、図4）。

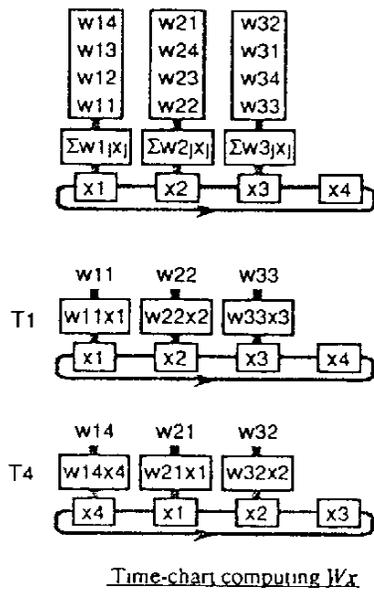


図3 BP法の前向き演算

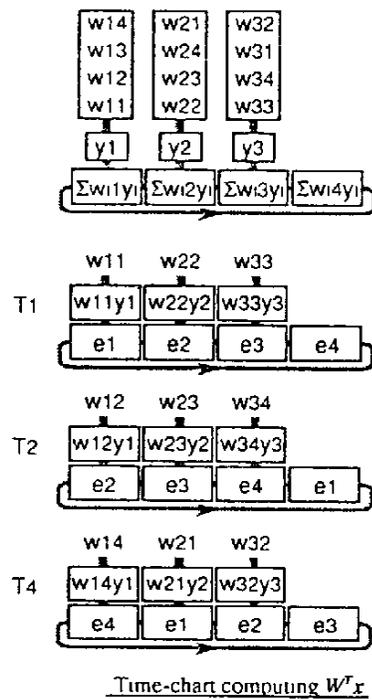


図4 BP法の後向き演算

(3) "Fuzzy Knowledge Model of Neural Network Type - A model which can be refined by learning"

Atsushi Morita, Yoshihito Imai, Akio Noda, and Morikazu Takegaki

(Mitsubishi Electric Corp)

ファジィモデルの性能を向上するには、学習が必要である。ニューラルネットの学習機能をファジィモデルに適用してこの問題を解決することを提案している。本方式の特徴は、ファジィルールに重みを持たせ、この重みを学習により変更することにある。これらの重みは、熟練者の経験によりあらかじめ決められるので、通常のニューラルネットの学習より高速であると述べている。これは、ニューラルネットにおける一種の知識のプリウエイトを従来のファジィモデルで行ったといえる。学習は、2乗誤差か最小となるように最急降下法を使って行われている。したがって、学習アルゴリズムはバックプロパケーション法と同様といえる。図5は、本モデルのブロック図である。

本研究は、ニューラルネットの課題である初期重みの設定や人間の持つ知識をニューラルネットに実装するためのプリウエイトに有用と思われる。ただし、実行はニューラルネットの方が高速なのではないかと思う。

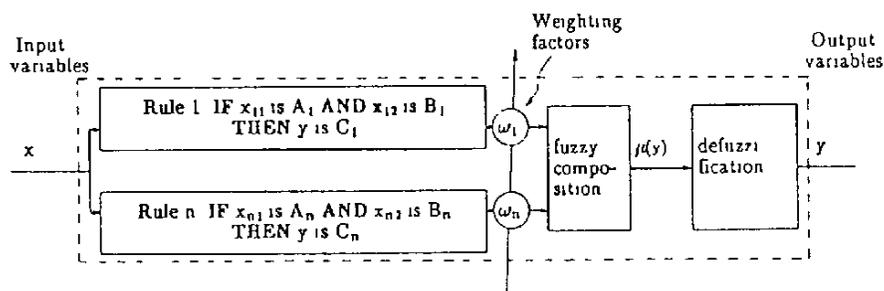


図5 Fuzzy knowledge モデルの構造

(4) "A Transputer Implementation of Toroidal Lattice Architecture for Parallel Neurocomputing"

Naoyuki Fukuda, Yoshiji Fujimoto, and Toshio Akabane (Sharp Corp)

Parallel Toroidal Lattice Architecture (TLA) のTransputer (INMOS社T800-20) への実装に関する研究発表である。16台のTransputerで2 Mcpsを実現している。シミュレーション

ノは、Hopfield ネットを使った巡回セールスマン問題(TSP)、階層パーセプトロンで行っている。

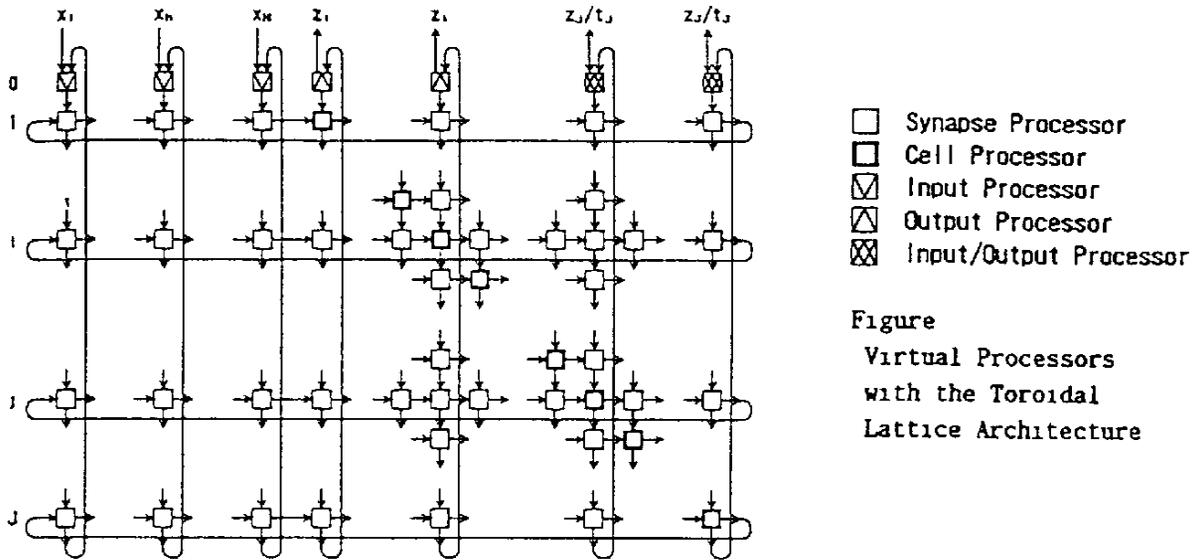


図6 TLAのアーキテクチャ

TLA は、大規模ニューラルネットのシミュレーションに適した構造となるように設計してある(図6)。TLA に階層パーセプトロンを実装した場合、前向き演算は列方向に行われ、後向き演算は行方向に行われるので、高速化が実現できる。プロセッサ間の通信と計算処理が同時に行われるので、通信時間のオーバーヘッドは無視できるとしている。しかし、実際はSAIC社のT T Kraft が指摘しているように、Transputerの通信の逐次性のための限界が問題になってくると思われる。

(5) "Architecture of a Systric Neuro-Emulator"

U Ramacher and J Beichter (Siemens AG)

ニューロコンピューティングを高速実行するためのンストリクアーキテクチャとそのウェハスケールチップ(WLSI) への実装に関する発表である。ンストリクアーキテクチャは、通常のトロイタル結合のアーキテクチャより回路構成が簡単になるばかりでなく、演算も高速に行えるとしている。図7は、ニューラルネット用のンストリクアーキテクチャとして提案されたものである。

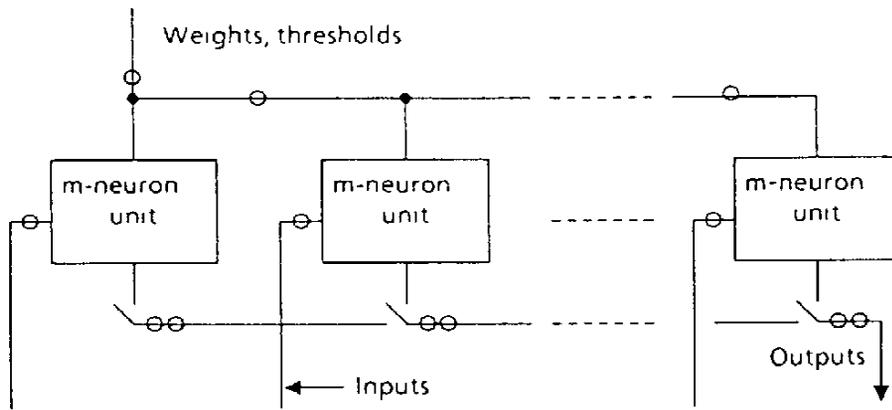


図7 ニューロ演算のためのシストリックアレイアーキテクチャ

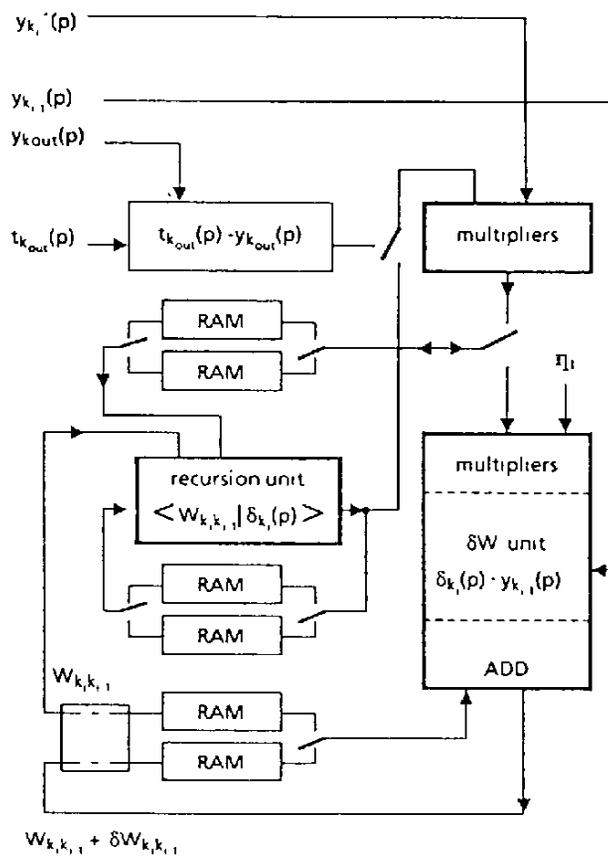


図8 学習モジュール

これをベースに、6つの入力ラインの重みを同時に処理できる512のデータパットを持つWLSIを試作している。チップサイズは $6 \times 6.8 \text{ cm}^2$ で900,000Trが集積されている。さらに、16ビット積和器48個(6×8)が搭載されている。16 MHzのクロックでドライブしたときの消費電力は、10 Watts以下であると報告されている。処理速度については、不明である。図8のアーキテクチャにより Hebb、Widrow-Hoff、バックプロパゲーション法などの学習に対応できるとしている。

2 感想

今回のIJCNNの参加者は、名簿から人数を数えてみると1,200人以下であった。前回の2,000人を大幅に下回っている。また、有名な研究者達の発表を聴講しても、従来の冴えなかったように思う。「米国政府機関からのニューロ研究に対する補助金が大幅に削減されている」という噂も耳にした。ニューロ研究が壁にぶつかってしまったのか心配である。しかし、見方を変えれば、米国のニューラルネット研究が行き詰まっている今こそか、日本のニューロ研究飛躍のチャンスかとも感じる。

とにかく、次回のサンティエコ大会に期待をかけたいし、また、その時、今後のニューロ研究の将来を考えてみたい。

3 Cognitive Sciences Session

1990年1月16日(火) 8:30~12:10

3-1 (報告者 米谷 忠篤)

認知の機能の立場からは、基本としての知識の取得と呼び出しが発表されていた。認知は4次元空間の1点を扱うのではないことから、出来事の前後関係、表現レベル間の結合を扱った発表があった。高次の機能としては、認知地図の作成、視点の移動、奥行きからの表面の認知が発表されていた。以下にこれらの研究状況を述べる。

(1) ネットワークの種類

多くのレベルの関係からなる情報を処理するために、回帰型ネットワークが多く使用されていた。また、異なる入力を持つモジュールネットワークを統合化することか試みられていた。以下に結合の少ない簡単なネットワークから並へ、それらかここに利用されているかを示す。

- ① 2層のフィードフォワード型ネットワークを用いた視点の移動
- ② 学習済みフィードフォワード型ネットワークの入出力を結合した回帰型ネットワークを用いた認知地図の形成
- ③ 中間層内で全結合する簡単な回帰型ネットワークを用いた文字列の認識
- ④ 中間層へ複雑な回帰をするネットワークを用いた出来事の回想
- ⑤ 全回帰型ネットワークの学習法と知識の取得
- ⑥ 部分回帰型ネットワークの記憶の呼び出し法とパターン認識
- ⑦ 出力から入力へ回帰を持った多層ネットワークによる焦点移動の行動
- ⑧ 複数モジュールネットワークの統合化によるステレオイメージの形成

(2) 知識の取得と呼び出し

専門知識(熟練の技)の取得の効率化について、P G Schyns(Brown Univ)が自己組織化アーキテクチャでの概念の改善により研究していた。ここでは、Kohonenの自己組織化アーキテクチャを修正し、全結合タイプのネットワークに生物での近くの範囲での結合の考えを取り入れた。従来は、周りに対する勝者のユニットか設けられると、効果を及ぼす

周りの結合エリアが時間と共に狭められた。そこで、局所的な出力ユニットとの結合強度をユニットからのユークリッド距離のカウス関数で与えて、始めから効果を与えるユニットを限定して、知識の取得を促進している。

V I Nenov (UCLA)らは、海馬での増加した記憶の呼び出しを、Gardner-Medwinのモデルを変形してシミュレートしていた。従来のモデルでは、しきい値を変えて、記憶の呼び出しを制御してきたが、シミュレーションにより、このしきい値の変更方法では、非常に多くの偽りの出力を導くニューロンが含まれていることを見つけた。そこで、しきい値の関数を2つの要素からなる関数に変形した。第1は、記憶からの暗示に比例してしきい値が増加することで、正しいニューロンは小さな暗示でも素早く増強し、また、偽りのニューロンを抑制する。これは抑制のリカレント要素に当たる。第2は、正しい暗示と偽りの暗示の間には最適なバランスがないことから、生体の喚起のように外部からのセットを可能とすることである。これは、脳幹からの一般的な抑制にあたる。この様にしきい値の与え方を変えて計算を効果的にし、かつニューロンらしさを出していた。さらに、このネットワークの記憶の呼び出しをパターン認識に応用していた。

(3) 前後関係の処理

記憶した出来事の前後関係を質問に応じて答える回想機能を、R B Allen(Bellcore)は、動詞を用いて表現している。この研究では、Connectionist language users(CLUES)を、対象物の動作と、その周りの小さな世界の状況を含む比較的複雑な作業を扱うことに適用した。今回のシミュレーションには3層ネットワークとバックプロパゲーションアルゴリズムを用いた。入力として、小さな世界の状況と動作を示す動詞を与え、また、前のステップで得られた中間層の値と、前のステップでの状態から計算される新しい状態を入力に加えられている。

実験では、

①選択した2つの物体の動作(小さな世界)を順次見せた(入力)後に、状況に含まれる動作(動詞)を与えて質問し(入力)、どちらかのような動作をしていたかを出力する能力が学習により獲得された。

②2つの物体の所有状況(小さな世界)を順次見せた(入力)後に、2つの間での出来事を質問する(入力)と、答える(出力)能力が学習により獲得された。2,494のパターンで学習後、15の未学習パターンでの回答では2/15のエラーが示された。

③多くの物体をを順次見せ（入力）、2つの物体の前後関係を質問する（入力）と関係を答える（出力）能力を学習により獲得された。これでは7%のエラーかてた。これらの研究によって、CLUES モデルか対象物の認知とラヘル化を含む複雑な作業に適用可能と述へていた。

J McClelland(CMU) は認知における複数の表現レヘル間の結合について述へていた。言語理解においては、多くのレヘルの処理か必要であり、これらのレヘル間での結合かより良い処理を行うのである。単語認識ても同様で、文字の順番を認識するために、各文字との関係を組み入れたルールの形成か必要であると述へていた。そして、有限状態オートマトンで研究してきたルールか単純な回帰型のニューラルネットワーク(SRN) で形成できることか示された。中間層内でのみ、横との結合かなされている回帰型の3層ネットワークか用いられていた。これは、文字入力層と1ステップ前の中間ユニットである文脈ユニットを入力とした、フィードフォワード型3層ネットワークとして考えることかできる。学習アルゴリズムとしてバックプロパゲーションを用いていた。開始と終了信号の文字を加えた7文字の入力と同様の出力か得られる能力か有限状態オートマトンで作られる文字列を学習して得られていた。この得られたルールはオートマトンのルールを含んでいる。また、内部状態を文字列の分類によって調べ、後の文字ほど強く分類に作用していることか示された。

有限オートマトンでは、より長い文字列を処理するために大型のオートマトンに短い文字列ルールの小型のオートマトンを複数コピーして組み込む必要かある。一方、SRN は柔軟な状態を持っているために、コピーは必要なく、短い文字列ルールのネットワークの横に接して加えて大きなルールを作ることかできる。

(4) 視覚運動と認知地図

視覚ナビゲーションとして、N G Hatsopoulos (Brown Univ) らは、物体の進行する方向を決めることを生体の視覚の認識システムと比較して、発表していた。一定の環境の中で、固定された観測者か、移動する光点を見ることをシミュレートしていた。実験では、2層のフィードフォワード型ネットワークをWidrow-Hoff の誤差修正法で学習した。入力(200セル、視野は $20^{\circ} \times 20^{\circ}$)として光点列の各点の状態(場所、速度と方向)、出力(25セル、視角は $4^{\circ} \times 4^{\circ}$)では物体を見る頭の方角を表現した。学習として、ランダムに400回抽出した頭の方角に対してオプティカルフローのパターンの提示を行った。学

習済みのパターンに対しては、 0.83° 、未学習では 0.89° の誤差であった。学習後の特徴として、生体と同様に出力に強い影響を示すのは、直線のパターンであることが示された。

理想とする物体との形の差から特徴を探そうと視点を移動させる行動を、C McMillan (Univ of Colorado) らがシミュレートしていた。これはイメージを区分的な内部表現に発展させるニューラルネットワークモデルである。内部表現は視覚の窓から見る対象物の局所的な奥行きと眼に写る2次元の位置から作られている。この窓はグローバルな表現を作るために、イメージ中の焦点が移動する。

モデルは5層より構成される。Winner-take-offのネットワークであった。基本的には先のHuttonのネットワークを複雑にしたものである。奥行きの出力(第5層)からイメージ入力層にシグマ結合がある。また、内部表現層(第3層)で自己回帰の抑制結合がある以外はフィードフォワードネットワークである。入力は、ホトムアップでのパターンの表示で固定した焦点で得られる実際イメージ情報(入力)と、トップダウンによるパターン表示で以後に期待されるイメージ(教師)である。3層目に内部表現層と期待される表現層があり、イメージ入力層から直接に、また期待イメージ層から1層を通して内部表現層と結合しており、また、期待イメージ層から期待の表現層に直接結合している。内部表現層と期待の表現層は1層を介して焦点層(出力)と結合している。安定な内部表現を得るために求められる時間ステップ数は、期待と実際のイメージ間での不一致の数の関数である。実験として、時間ステップでのエラーを指標にした焦点の動きから、内部表現の形成状況を観察していた。

認知地図の形成をすることか、L V Hutton (Johns Hopkins Univ) らによって、行動の発現のアーキテクチャをリカレントネットワークの動的な解析により見つけたことが述べられていた。実験では、障害物のある2次元平面内をアトラクタントに向かって移動するのをシミュレートしていた。ここでは、バックプロパゲーションアルゴリズムを乗せた3層ネットワーク(入力3、中間10、出力3)を用いていた。学習を現在の位置と状況を示すことにより次位置を出力するように(3入出力は2軸方向の値と状況)行っていた。学習を行わないで、出力をモニタしている時には、出力は並列に入力に結合している。このフィードバックの量を変化させて、この時のリカレントでの出力を調べている。そして、障害物内に進入してきた軌道を外に移動させる学習により形成された強制的な回避能力、状況の急変(アトラクタの位置の変更)での軌道の推論能力が調べられた。以上の実験での、偽のアトラクタ出現や初期条件に敏感な性質などの特徴から、このネットワークは夢

想を起こす能力、創造性を示す能力、短期メモリでの解をあらかじめ予行する能力をもたらすと述べていた。

(5) 自己組織化によるモジュールの統合

ランダムトフトステレオグラムにおいて表面を見つける時に、G Hinton (Univ of Toronto) らは外部から期待する出力(教師)を与えないで、複数モジュールに入力するだけで各モジュール内に内部表現を作りだし、統一して関数を作り出す学習アルゴリズムを発表した。この機能を用いると、出力に向かって徐々にホトミアノブ的にネットワークが学習されて機能が形成されるので、処理での表現で階層性を容易に形成することかできると述べられていた。

基本的な考え方として、2つのモジュールとこれらの出力間での相関情報は、各モジュールのエントロピの和から両モジュールの組み合わさったエントロピを引いたもので定義している。入力の空間的や時間的に隣り合ったモジュールの情報から抽出されたパラメータ間で、相関情報を最大にしていくことを基に、時間や空間で切れ目のない高次元の特徴を見つけ出して機能が得られるのである。この相関情報による誤差信号が各モジュール内を逆伝搬して結合荷重が計算される。8入力、1 Hidden層および1出力で構成する2つのモジュールの出力間で相関情報を計算する構造のネットワークを用いて、簡単な例として、ランダムトフトステレオグラムでの両者の調和により奥行きを求める機能を構築していた。また、カーブした表面上の小さな直方体のステレオイメージの形成を調べていた。それでは10個のモジュールを使用し、2者間で個々に相関情報を最大にするように学習させていた。

従来の教師付きの学習計算をするモデルより時間がかかった。これは相関情報が明確な教師ではなかったためである。ブーストラップ法を用いて高速化して、学習に要する時間をチェックしており、中間層に8個を用いて一連の学習を50回反復すると、約80%でグローバルな学習の完了状態がほぼ得られていた。しかし、階層構造の処理システムを形成する時、統一して学習するタイプでは、すべての階層を同時に計算するために大きな計算量が必要であり、このため学習が非常に遅くなる。しかし、この方法では順次階層が学習されることにより計算量が分散され、この様な制約はないことが述べられていた。

(1) "The Effects of Threshold Modulation on Recall and Recognition in a Sparse Auto-Associative Memory Implications for Hippocampal Physiology"

Valeriy I. Nenov et al (UCLA)

連想記憶としての Gardner-Medwin のモデルは、しきい値を持つノートの部分的な結合によりパターンを記憶するものである。このモデルでの問題は、想起時においてしきい値をどのように変えるかである。提案されたしきい値の変更法は、キュー（想起入力）の大きさとネットワーク全体の覚醒レベルとしてしきい値を決めるもので、Gardner-Medwinの方法（計算サイクルの増加とともにしきい値を大きくする）に比べよい結果が示されていた。

(2) "Visual Navigation with a Neural Network"

Nicholas G. Hatsopoulos and William H. Warren, Jr (Brown Univ)

網膜上のオプティカルフローから、生体は自身の環境内での運動を知覚する。この低次脳情報処理のモデルを、第一次視覚野のMT、MST についての生理学的知見に基づき構成している。球座標系でのオプティカルフロー（2次元）から、並進運動（3次元）を決定する、いわゆる逆写像を2層の線形ネットワークで求める。

入力層はMTに対応する。視野（20deg×20deg）は、25の受容野（4deg×4deg）に均等に分割され、各受容野には4種類の方向、2種類のスピードに対応する8個の細胞がある。出力層はMSTに対応し、25個細胞があり視野のどの方向への運動かを出力する。入力層と出力層とは完全結合で、Widrow-Hoff の学習則で結合の値を更新する。

ランダムに選んだ学習パターン、代表的な学習パターンでのノミュレーションの結果が示され、どちらの場合も、誤差1度程度で方向の推定が可能であった。また、後者の場合、未知パターンの方が、学習パターンより誤差が小さい結果が得られた。さらに、オプティカルフローに加えられたノイズに対するモデルの応答が調べられ、人間でのデータと定性的に合うことが示された。

(3) "An Unsupervised Learning Procedure That Discovers Surfaces in Random-dot Stereograms"

Geoffrey E Hinton and Suzanna Becker (Univ of Toronto)

[招待講演]

出力細胞間の相互情報量を最大にするという、教師なし学習の方法の一つを提案している。この考えを、ランダムドットステレオグラムから面の知覚、すなわち視差の計算に応用し、シミュレーション結果を示していた。ネットワークは複数のモジュールからなり、モジュール間の結合はない。各モジュールは3層で、入力には左右の像が与えられる。隣合うモジュールの出力間の相互情報量を最大にするように、ネットワークの結合を更新するというものである。学習の結果、視差(disparity)に比例した値を出力するモジュールが得られた。さらに、隣接モジュールの出力の線形和との相互情報量を最大にするという学習により(図1参照)、平面・曲面に対して各モジュールがコヒーレント(面上のあるパッチの奥行きは、それに隣接するパッチでの奥行きを内挿する)な応答を獲得することも示された。ネットワークの学習への相互情報量の導入は新しい点であろう。

なお、杉江、沢田(1982)のモデルでは、自己組織化に関する神経生理学的知見が組み込まれているか、どう考えるかとの杉江による質問に対しては、このモデルでは考えないとのことであった。

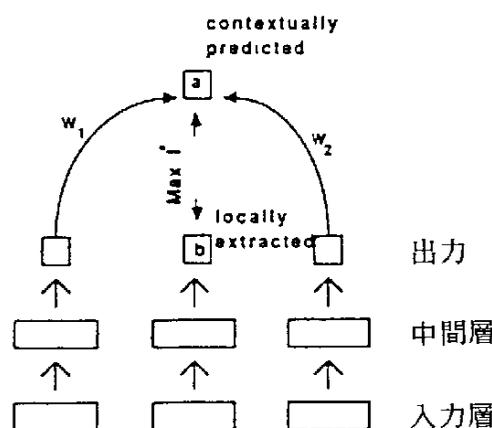


図1 面のコヒーレンスを学習するネットワーク

(入力層の各行には、あるパッチでの左・右画像が入力される)

(4) "Connections Between Levels of Description of Perception"

James McClelland (Carnegie Mellon Univ)

[招待講演]

知覚は、刺激からのキューと文脈からのキューの2つの組み合わせて決定されるという心理学でのモデルがある。ニューラルネットに、このような文脈の効果を取り入れる工夫を述べている。それは、双方向性の結合を持った多層のネットワークで、異なった層で互いにコンスタントなユニットは促進性、同一層で相反するユニットは抑制性の結合を持つものである。さらに変化性を導入するために、①入力にノイズを加える、②ユニットの総入力に正規ノイズを加える、③ユニット出力をホルノマンソン流に確率的に決める、という3つの方法を示し、③が有望たとしている。考え方のみで、裏付けとなるようなシミュレーション結果は示されず、招待講演としては物足りなかった。

(5) "Experiments on Constructing a Cognitive Map A Neural Network Model of a Robot that Daydreams"

Larrie Hutton and Vincent Sigillito (The Johns Hopkins Univ)

3層のネットワークによる2次元空間での経路の生成能力を調べている。入力層に与えられた現在位置(x、y座標値)に対して、次の時刻での位置か出力されるネットワークである。まず、障害物を回避しながら目的のゴールに到達する経路を学習する。次に、出力を入力にフィードバックしてリカレントなネットワークとし、初期位置を与えた時に生成される経路を示している。認知地図とはいうものの、ニューラルネットによる経路の関数近似を示したに過ぎないのではないかと思う。

(6) "Expertise Acquisition Through Concepts Refinement in a Self-Organizing Architecture"

Phillippe G Schyns (Brown Univ)

カテゴリの識別の獲得過程の説明を Kohonen の自己組織化モデル(feature map)により試みている。入力、発生頻度の異なる4つのカテゴリで、各カテゴリには3つのサブカテゴリがあり、適当なノイズを加えたものが学習に使用された。出力は2次元(ノートは

10×10) である。以下のシミュレーション結果が示された。①識別の獲得は大分類からなされ、学習が進むにつれサブカテゴリの分類がなされる。②サブカテゴリに対応する領域の中央部ノードは典型的なサブカテゴリに、周辺部のそれははずれたサブカテゴリに強く反応する。③2次元上のマッピングの位置はカテゴリの類似度を表している。これらの結果の大部分は、feature map の性質として十分予測されるものと思われた。

(7) "Using Verbs and Remembering the Order of Events"

Robert B Allen (Bellcore)

記憶ありの3層BPモデルを、3つの別々の問題に応用した。第1は、微小世界での動物体の移動完了後に、指定された物体の動きについての質問に、動詞の過去形で答えるようなネットワークを学習する問題である。第2は、所有(kept)や所属の移動(gave, received)に関する質問に yes/noで答える問題である。最後の問題は、経時的に起きる事象か与えられたとき、指定された2つの事象の時間的な前後関係を答えるものである。いずれの場合でも、入力、質問、出力は当然ながらコートでの表現である。非常に単純な知的問題への応用である。

(8) "Directing Focus of Attention Through Control in Depth Perception"

Clayton McMillan (Univ of Colorado)

奥行き知覚での視点の動きに関する仮説をインプリメントしたネットワークモデルを構成した。非常に簡単なシミュレーションにより、「刺激として得られるホトムアノプテータと、物体に関する知識に基づくトノプタウンテータとの衝突が生じ、この衝突を解消し安定な内部表現を得るために、食い違いが最も大きな箇所に視点が移動する」という仮説を説明した。ネットワークは5層で、その出力は、次の時点で向けられべき視点の位置を与える。

[感想]

以上のように、人間の知覚・認知をニューラルネットモデル化しようとする試みに関

する8件の発表があった。しかし、インプリメントの方法が極めて単純であるとか、簡単な問題を対象としているなどの理由で、アトラクティブな発表は少なく、今後のさらなる研究が期待される。

4 . Lectures on Self-organizing Neural
Architectures (Special Session)

1990年 1月17日 (火) 8 30~12 10

4-1. (報告者: 東条 敏)

"Time - The Essential Dimension"

Carver Mead (Caltech California Institute of technology)

生物の神経システムとは、長い時間の進化の結果てきあかったものであり、遺伝子によって伝授される。この神経システムの第一の特徴は、生物自身か外界の環境から学習して獲得したものであることである。この神経システムにおいては、ある信号の到着とそれに引き続く信号というのは必然的に因果関係(cause-and-effect relationship)を含む。生物か外部世界を体験しているということは、生物に到着する刺激か時間的にコヒーレントであるようなイベントの連続であるということである。このようなパラタイムの効率性はいうまでもない。

知覚されている部分というのは氷山の一角に過ぎず、処理の多くは誰からも監視されていない。

そもそも物理法則というものは、時間を追って流れる世界の中の物体の進展の過程と置き換えることかできる。このような物理法則は、生物の知覚センサからの入力されるコヒーレントな情報の源であり、その入力パターンの集積か神経システムを發展させ、組織化を促すことになる。Marrその他の研究者は、物理法則と生物の知覚センサとの間に存在する制約かあることを強調した。最近になって、これら物理法則か、脳自身のとるべきアーキテクチャとして可能なパターンには制約かあることか分かってきている。ニューラルネットワークの研究か目指しているような、高度に効率化された計算機アーキテクチャは、神経系の中で物理世界のふるまいの法則を満たすものでなければならず、必然的にその形態は制約の下にあることになる。

ニューロのシステム作りにおいては、この信号間の因果関係か必然的にアーキテクチャを制限することを重視すへきてある。したかつて、信号の入力・出力のタイミンクというものか重要で、このため制御上時間というものかかなり本質的なティメンションとなる。

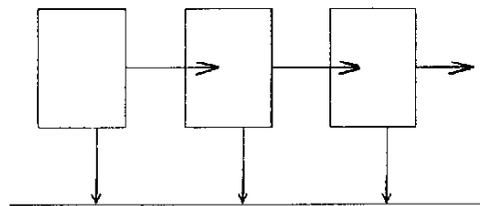
ここでの研究のモットーとして

“We use Time History to enlarge the input system”

をあげる。

研究のポシジョン

- ① 入力データからフィーチャーの大規模システムを導出する。
- ② この出力を次のステップの入力として利用する（図1）



（図1）

多くの講演か、時間の要素を取り込むことの重要性を指摘した。特に、リハーサル効果、庄視の機構をニューラルネットワーク構成に取り組む必要性を示唆している。

(1) "Time - the Essential Dimension"

Carver Mead (Caltech California Institute of technology)

生体の神経情報処理系は、遺伝子コードで規定されている。しかし、この系の具体的な作用の形成は、外界から学ぶことによっている。多くの学習は教師無しである。ここでは時間か本質的な働きをしている (Time plays teacher)。すなわち、図1に示すように、入力情報から内的モデルを経由して、期待を生成する。この期待は自分自身の体および環境に関するものである。後の時点での入力情報と、この期待とが異なった時にモデルを修正する。この繰返して、学習か進んでゆく。

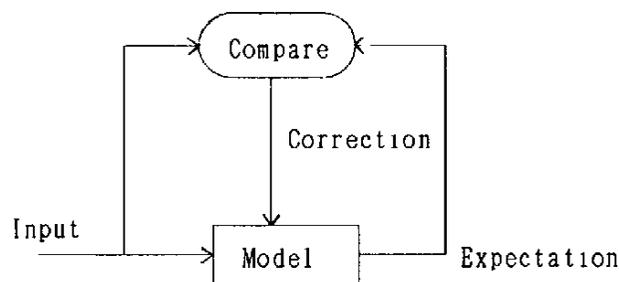


図1 時間作用に基づく教師なし学習

生体の情報表現についても知るべきことは多い。入出力情報の変換は図2に示すように、一つの変換関数で規定されるのではなく、多数の変換関数の集合によって定められている。一次元上でこのような変換関数を形成すると、情報変換の分解能は下かってしまう。ところか生体では多次元的な情報交換をすることによって、分解能を上げている。例えば、一次元では4個の識別しかできないとする。この次元を増やしてゆくと、大変な識別能力を持つようになる。

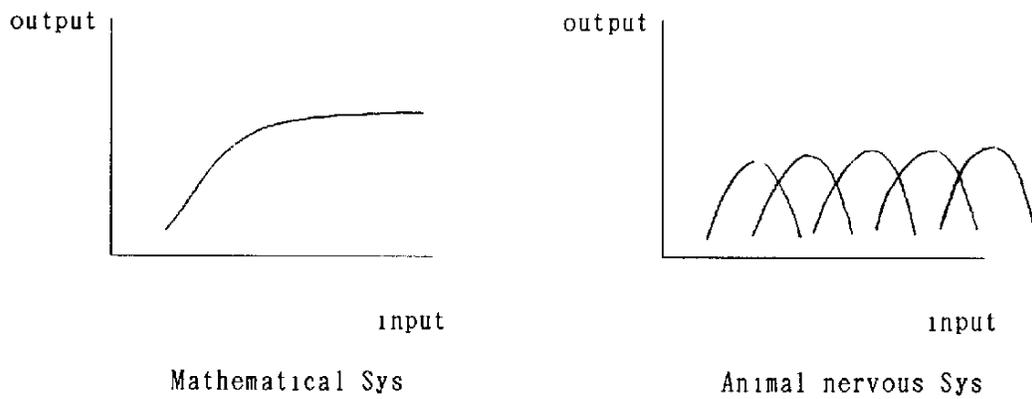


図2 生体の情報変換様式

表1 次元と識別クラス数の関係例

次元	識別クラス数
1	4
2	16
10	10^4
100	10^{10}
1000	10^{100}

このような高次元化は、時間の要素を取り込むことによってなされている。この基本的な構成は、特徴量の検出とこの特徴量をパイプライン形式で処理する図3のようになっており、このような時系列的な処理によって識別の空間を大きくしているものと思われる。このような大規模な識別処理は、段階的にその精度を高めるという様式をとっており、これによって計算量の爆発的増大を防いでいる。

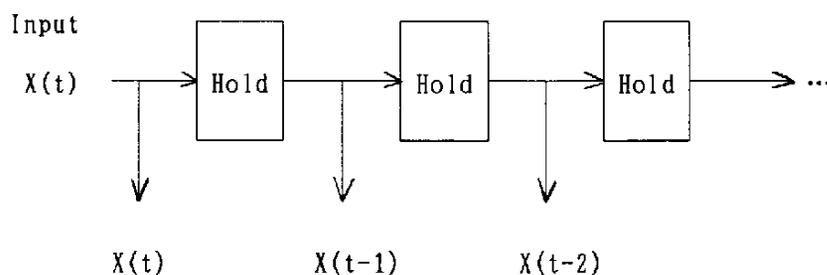


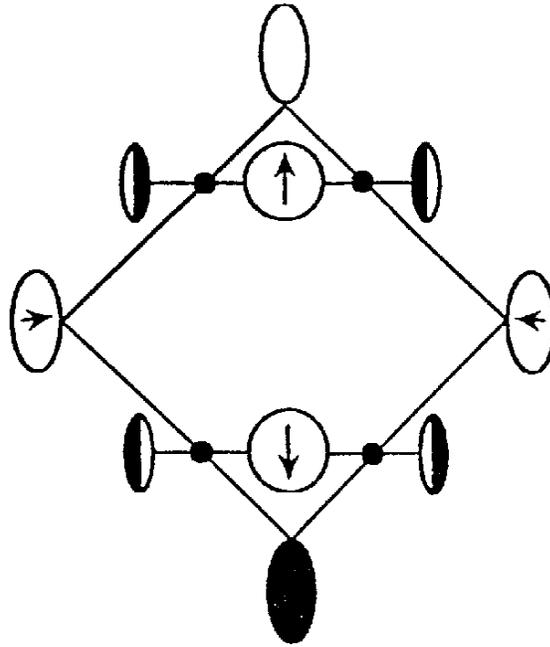
図3 時間作用に基づく識別空間の拡大

電子的にこのような生体の情報処理の様式を実現できるかどうかは何ともいえないが、処理速度、テハイス密度とも今後10年間で2けたくらいは向上できると思われるので、種々な神経模倣が成されよう。

- (2) “Self-Organizing Neural Architectures for Motion Perception, Adaptive Sensory-Motor Control, and Associative Mapping”
Stephen Grossberg (Boston Univ)

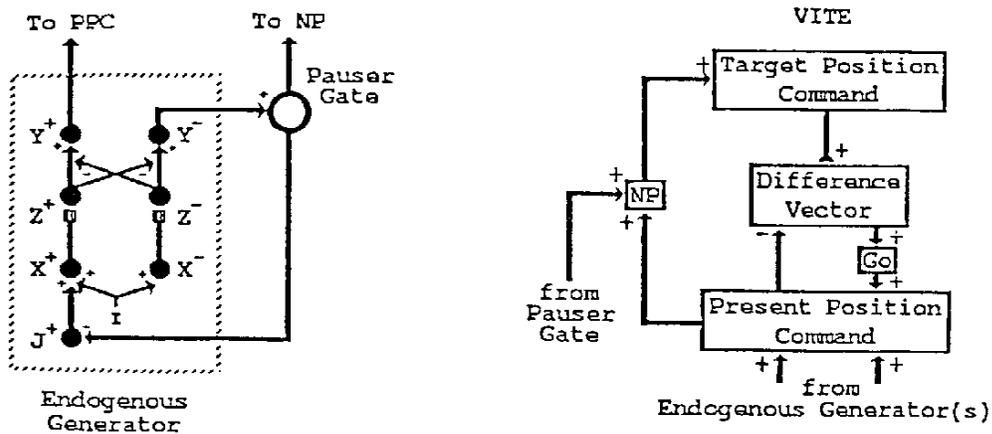
モーショントラックフィルタ (Grossberg and Rudd) および VITE . Vector-Integration-To Endpoint (Bullock and Grossberg) について概説。

モーショントラックフィルタは、視覚神経系に関するこれまでの幾つかの生理学的知見を説明するものである。例えば、一つの点か分かれて動いていくように見える Split Motion、光の強さよりも動きのシャープさに追従する性行 (Delta Motion) などかこのフィルタによって説明される。モーショントラックフィルタに協調・競合的なフィードバックをつけたシステムは、運動する境界面を抽出することかできる。このシステムは、静的なセグメンテーションとは異なり、動きの方向に感度の高いものになっている。モーショントラックフィルタと静的な方向検知フィルタとを組み合わせたシステムについても検討している。これらのフィルタは図4のように対称形に接続されている。このシステムによって Waterfall illusion など認知心理学的に分かっている幾つかの事項を説明することかできた。



Four-fold symmetry of orientation cells and direction cells: Oriented sustained cells that are sensitive to direction-of-contrast are gated by transient on-cells and off-cells before being combined into opponent pairs of orientation cells and direction cells whose output signals are independent of direction-of-contrast.

図4 静的・動的フィルタの対称構成



An AVITE circuit: The left column schematizes an endogenous generator of random training vectors composed of gated dipoles. The On channels (+ superscript) generate random unbiased training vectors, while the Off channels (-) activate the pauser gate. The right column shows how the endogenous generator influences VITE learning. The endogenous generator inputs random vectors to the Present Position Command (PPC), where they are integrated until the pauser gate is activated. Inputs to the On channels of the generator then terminate, the Now Print (NP) channel is inhibited, and the PPC is copied into the TPC. Then learning in the TPC→DV pathway zeroes the DV, and thereby adaptively calibrates TPC→DV signals to be computed in the same coordinates as PPC→DV signals. When the On channel transmitter gates recover, the cycle begins again.

図5 適応VITEの構成

VITEは、感覚・運動の自律統合機能に関するもので、多関節の腕に対して目標位置を与えた時の軌道を生成することができる。幼児が物をつかむに当たって、内部的に自分の手

の動きを生成したとき自動的に眼をこの動きに追従させる。さらに、眼と頭のシステム、手と腕のシステムの間の変換か、色々の位置に手を出すことによって学習される。この過程で逆変換も学習され、最終的には、幼児は見たものを外部的な教師なしで適確につかむことかてきようになる。このような発達心理の過程を表現することのてきる回路か、VITEに適応機能を付加することによって作ることかてきた。この回路構成を図5に示す。

ここではランダムな信号を発生する機構によって、感覚-運動、運動-運動の変換回路の自己学習か循環的な反応過程を通して達成されるようになっている。

(3) "Spatiotemporal Pattern Segmentation by Expectation Feedback"

Robert Hecht-Nielsen (Hecht-Nielsen Inc & Univ of California at San Diego)

イメージ情報からの空間的なパターンの切り出しの基本的な機構は、写真の中から興味ある対象をはさみて切り出すのに似ている。しかし、連続画像から興味ある物体を切り出す機構を作り上げるのは、はさみの例ほと簡単ではない。この機構は、Grossbergの期待に基づくフィートバック機構とFukushimaによるパターン庄視機構とを組み合わせることによって実現できると思われる。この機構は、図6、7のように表されるであろう。

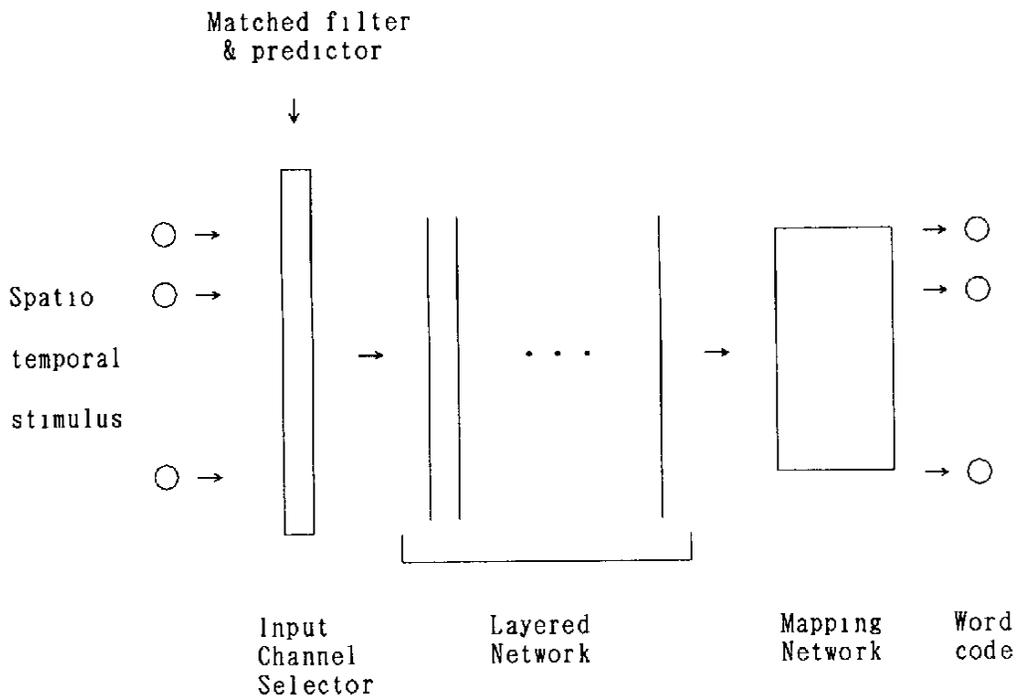


図6 入力刺激に対するフィートバック機構

図6に示すように、時間的、空間的な刺激が特徴抽出フィルタを経て選択的に取り込まれ、層状のネットワークおよびマッピングネットワークを介して言葉に対応したコートに変換される。ここで特徴的なことは、予測機構などに基づいて入力刺激を選別するフィードバック回路が存在することであろう。

フィードバックの機構は、図7のように表される。活性化された言葉のクラスが予測の過程を支配する。いつこのループが始まるか問題である。最も最下位の期待（予測）が正確なコートの設定を必要にしているように思われる。

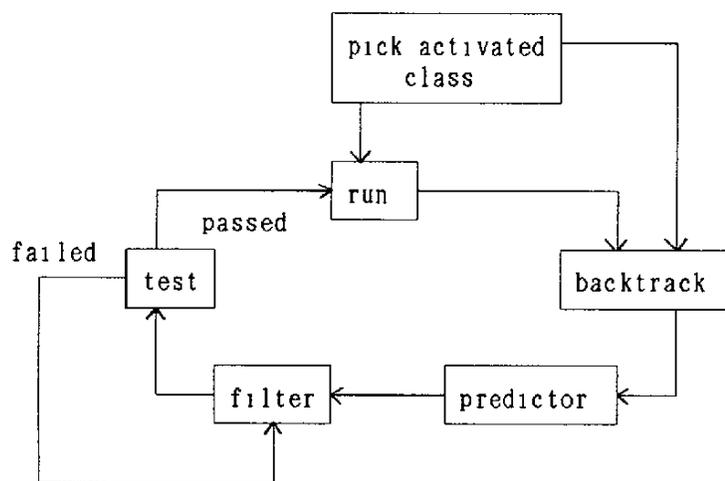


図7 期待（予測）に関する閉ループ仮説

この他に、このセッションでは以下の講演があったか内容詳細については省略。

- ART3 Hierarchical Search Chemical Transmitters in Self-Organizing Pattern Recognition Architectures
by G A Carpenter (Boston Univ)
- Self-Organizing Analog Fields (SOAF)
by F S Weingard (Booz-Allen & Hamilton Inc)
- Characteristics of Neural Population Codes in Hierarchical, Self-Organizing Vision Machines
by K Johnson (Hughes Aircraft Company)

5 . Learning Theory I Session

1990年 1月17日 (水) 8 30~12 10

(報告者: 東条 敏)

“Connectionist Pushdown Automata That Learn Context Free Grammars”

G Z Sun, H H Chen, C L Giles, Y C Lee, and D Chen (Univ. of Maryland)

現在多くの逐次型マシン上でニューラルネットワークの構築が試みられている。こうしたニューラルネットワークの性能を検証する上でも、ニューロによるオートマトンを仮定し、その内部状態変化を用いて文脈自由文法(Context Free Grammar)を認識させるシステムを研究する必要がある。

この発表においては、このような文脈自由文法を扱うオートマトンの研究を報告する。文脈自由であるということは、括弧の対応かとれることと、

ab, aabb, aaabbb, aaaabbbb,

などの同数の記号の列を文法的であるとしてアクセプトするメカニズムを持つことになる。文脈自由文法を学習するためには内部状態の遷移ルールの他に、もう一つスタックを持つ必要がある。もしこのスタックがないと、記号列を識別する際、ある前もった定められた長さだけをアクセプトするようになってきただけであり、この長さはネットの長さに比例する。事実上スタックの長さは有限にしかできないため、アクセプトできる記号列には確かに制限がつくか、この長さは任意に調節可能であるため、実際のところ有限スタック付きの内部状態遷移オートマトンでも文脈自由文法は認識できると言ってよい。しかしながらオートマトンのみではこれも無理である。これまで多くの研究者がネットワークを訓練して文脈自由文法を認識できるようにしたとの報告がなされているか、それらはいずれも文脈自由文法全体のクラスではなく、文脈自由文法の一部を認識可能にしただけに過ぎない。すなわち、訓練の後でも認識可能な文のクラスを任意の長さに拡張することは不可能であった。

ここではプッシュダウンオートマタをネットワークで実現し、文法の推論をする機構を実現する。このためには、内部状態遷移マシンモデルと一緒にスタックを作ってやらなければならない。このときの問題は、

- ・スタックメモリの作り方

- ・最終的にシステムを自己組織する目的関数の作り方

などである。ここではニューラルネットワークを用いた内部状態遷移マシンと、連続値をとるスタックとを用意した。

さて、実験の結果であるか、まず括弧の対応チェンクにおいては50の文例に対して20回の訓練を行い、ネットは完璧にプロシユダウンオートマタを構成することかてきた。このシステムでは長さ20までの文例については完全に認識し、長さ100の文でも認識できるものかあった。システムの基本動作は、外部から何もする必要がなく、スタートノートに(1,0,0)を仮定し、コールノートの他にもう一つのノートかあればよい(図1)。

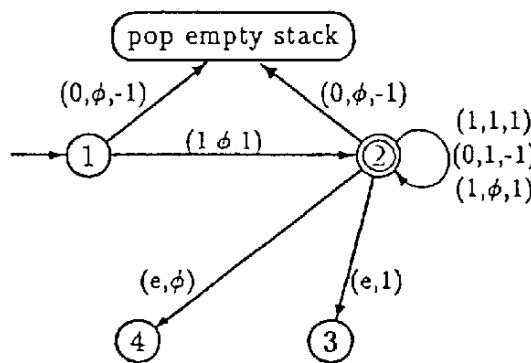


図1 システムの基本動作

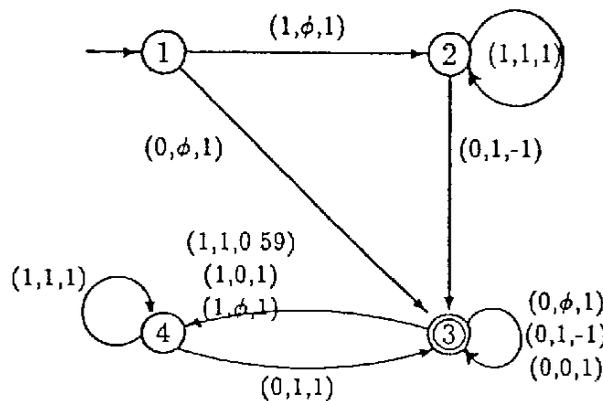


図2 5つの状態を持つオートマトン

また0をn回繰り返したあと、1をn回(同数回)繰り返すというタイプの文に対しては、5つの状態をもつオートマトンを作った。長さ27までの文を100回訓練させたところ、長さ8までの文で6の誤りが、またもう100回訓練を加えたところ長さ9までの文で8の誤りがあった。この手続きを5回繰り返したところ、システムは完璧になった(図2)。

ニューラルネットワークの計算能力というのか、これまでの逐次型マシンの上で展開される受理可能な言語のクラスの理論とどこで折り合うのかというのは、ニューラルネットワークの研究者のみならず、コンピュータサイエンス全体の関心でもある。これはニューロを用いることにより、これまでの計算機で限界とされてきたような問題が解決可能になるかどうかというのはもっとも注目されるべき問題で、この研究報告はその問題へのとっかかりとして興味を引くものであると思う。

6 . R o b o t i c s S e s s i o n

1990年1月18日（木） 14 00～17 00

（報告者：比留川 博久）

Daniel BullockとGeorge Worksが座長を務めたロボティクスのセッションの概要を紹介する。

(1) "Manipulator Control using Layered Neural Network Model with Self-organizing Mechanism"

Shinya Hosogi (Fujitsu Limited)

ロボットマニピュレータの制御を目的として、多層型のニューラルネットワークモデルを提案している。モデルは、第2層に自己組織化メカニズムを持っており、これは小脳のコルン細胞の機能に相当している。ニューロン間の結合は、興奮性・抑制性の両方の重みを、Hebb-typeの学習ルールに従って修正することにより自動的に形成される。第2層の制帽は、類似した入力を変現するように自己組織化されることか示された。このモデルを、動特性まで考慮したマニピュレータの制御に応用した結果か発表された。計算機シミュレーションの結果、欠陥のある細胞かあってもそれに適応出来るという、冗長性か確認された。

ここで、制御対象としたマニピュレータは2自由度のもので、既存の手法でも十分対応可能なものである。したかつて、ロボティクスの観点からみれば、機能の高度化をもたらすものとは言い難いてあろう。

(2) "One-Class Generalization in Second-Order Backpropagation Networks for Image Classification"

Mary M Moya and Larry D Hostetler (Sandia National Laboratories)

1次の多層フィートフォワードネットワークをバックプロパゲーション法によって学習させれば、乗り物の8ビット生画像の分類かてきる。ところか、線形のフィートフォー

トネットワークでは、 10° 毎にとった透視図による学習によりクラス内の一般化はできるか、学習パターンになかった対象の分類についてはほとんど役に立たないことが分かった。そこで、2次のフィードフォワードネットワークを用いた実験を行った結果、未知の物体が画像に含まれていても、分類が可能なことが示された。

ここでの結果は、画像処理としては相当初歩的なもので、ニューラルネットワークの応用可能性の模索程度に過ぎないと思われる。

(3) "Model-Based Perceptual Grouping (MPG) A Cooperative-Competitive Approach to Shape Recognition in Neural Networks"

J Michael Oyster and Nancy B Lehrer (The Haghes Signal Processing Lab)

自然のシーンにおける複雑な物体を認識するニューラルネットワークが発表された。エネルギー関数を用いる定式化により、モデルの表現と整合性のあるエッジを抽出する正規化ネットワークが導出された。特定の形状のモデルは、パラメータネットワークに符号化される。そして、トプダウンのフィードバックにより、エッジの境界がモデルの情報と一致するように、処理が促進される。実画像を用いた実験により、このモデルを用いたトプダウンのフィードバックがある方が、テータのみから処理を進めるフィードフォワードネットワークよりも優れていることが示された。本手法は一般性があり、広範囲の特徴や形状の表現がてきるので、セグメンテーションや知覚組織のための基本手法として有望である。

この方法は、ニューラルネットワークをホトムアップ処理として採用し、これをトプダウン処理と組み合わせることにより、総合性能の向上を図ったものである。画像処理、多自由度系の制御等におけるホトムアップ処理には、計算量の多さが問題になっている場合がかなりあり、それを並列学習処理により解決出来ないかと考えるのは自然である。今後、ニューラルネットワークをこのようなホトムアップ処理に適用し、これを記号処理等のトプダウン処理と組み合わせるという方向は、検討の価値があると考えられる。

(4) "Neural Computation for Collision-free Path Planning"

Jun Park and Sukhan Lee (University of Southern California)

ニューラルネットワークを用いた障害物回避経路の計画で、多角形の障害物の中を移動する多角形という問題設定に適用している。障害物と経路かとれたけ干渉しているかを評価するペナルティ関数は、3層のニューラルネットワークにより定義されている。エネルギー関数は、この関数と経路の長さに基づいて定義される。このエネルギーが最小になるように経路を動かし、その平衡状態として、障害物回避経路が得られる。シミュレーションにより、アルゴリズムの有効性が検証されている。

本手法は、単にニューラルネットワークを障害物回避問題に適用したというだけで、局小値に陥った場合にとどうするかなど、何ら本質的な問題の解決は行っていない。適用範囲は非常に限定されているであろう。

7 . E v o l u t i o n a r y I s s u e s R e l a t i n g t o
N e u r a l N e t w o r k s (S p e c i a l S e s s i o n)

1990年 1月18日 (木) 14 00~17 00

(報告者: 広瀬 通孝)

興味を持ったのは、“Evolutionary Issues Relating to Neural Networks” というスペシャルセッションである。2つのサブセッションで構成しており、一言でいえば、生物学における“進化”の仕組みを、もっと大胆に学習理論の中に取り込んで行くべきであるとする論文を集めたものである。

発表は以下の6件で、うち招待論文が2件である。

- (1) “Intelligence and Evolution in Biology” (invited)
Harry Jerison (UCLA)
- (2) “Preadaptation in Neural Circuits” (invited)
David G Stork, et al (Stanford Univ)
- (3) “Genetic Programming Modular Neural Evolution for Darwin Machines”
Hugo de Garis (George Mason Univ)
- (4) “Optimizing Small Neural Networks Using a Distributed Genetic Algorithm”
Darrell Whitley (Colorado State Univ)
- (5) “Learning from Natural Selection in an Artificial Environment”
David H Ackley (Bellcore)
- (6) “Cart Centering and Broom Balancing by Genetically Breeding Populations of Control Strategy Programs”
John R Koza (Stanford Univ)

他のセッションと比較して討論が活発であり、未成熟ではあるが将来性のあるテーマであると思った。発表論文中から、特に興味を持ったものを2~3取り上げて、若干詳しい紹介をしてみることにする。

論文(2)は、Crayfish (小さなエビ) の神経回路を例題として、神経回路網が複数のタ

スクに適合しようとした場合、タスクを与える順序によって、最終的に到達しえる最適回路解かかなり変化することを主張している。Crayfishは、最初は泳ぐこと (Swimming) に適応すべく進化したようであるか、ある時点から、尻尾で飛び跳ねる (Flipping) ことへと、適応条件か変化したように見える。Swimmingに対する適応は、現在の適応に対して、pre-adaptationということになる。

多くの生物の神経回路網は、多くのpreadaptationを経てきているために、冗長であり、それどころか意味をなさないネットワークすら含んでいる場合がある。このことは、神経回路に限らず、生物進化全般にあてはまる。例えば、鳥の羽は、もともとは飛ぶためではなく、体温調整のため、あるいは捕虫のための機能が要求され、それかいつのまにか飛行のための器官となった訳である。したかつて、飛行という観点からみれば不要なものも多いという訳である。

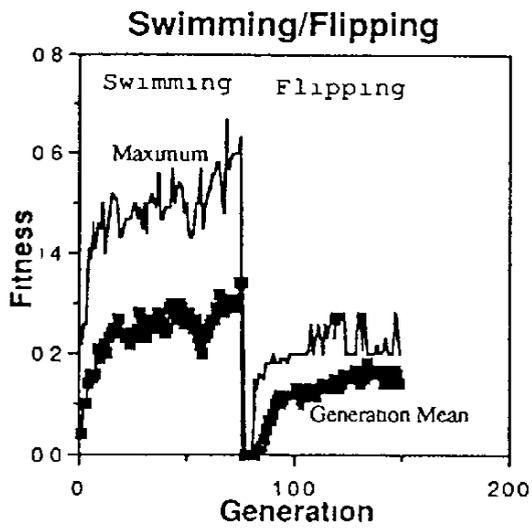
preadaptation によって、ある程度構造の定められた回路は、それ以後の学習に対して、ある程度可能性か絞られているという訳である。ある学習は可能になり、ある学習は不可能となる。現在のニューロネットの学習理論は、この観点か全く欠落していると、Dr Stork は指摘している。

本論文では、計算機内部に仮想的な遺伝子のシミュレータを作成し、これを同しく仮想的な進化環境のシミュレータ (形質発現/淘汰、自然選択/複製などの一連のモデル) の中で進化させ、それかどう進化していくかをシミュレートしている。

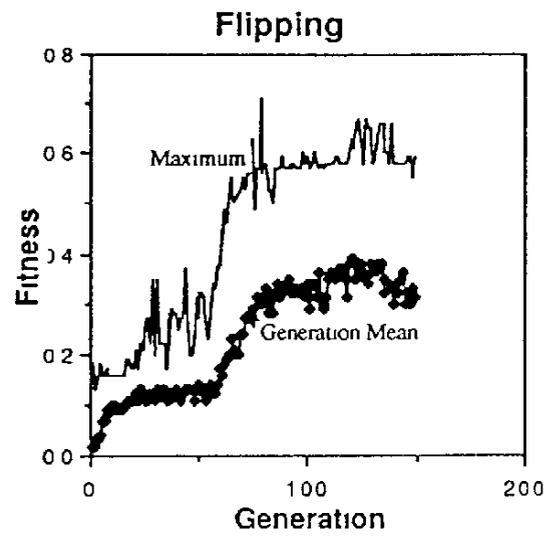
図1 (a)は、最初にSwimmingにpreadaptし、それからflipping に適応させたものの適応指標 (センサ入力かいかに筋肉を動かすかの指標、これか高いほとすぐれた回路である) を示している。図1 (b)は、最初からflippingに適応させたもので、(b)の方かはるかに良い適応を示している。

図2 (a)、(b)は、それぞれ到達した回路の図である。

結局、このシミュレーションにより、preadaptation によって学習能力か非常に変化することか示された訳であり、どのような構造をニューロネットに与えれば、それ以後の学習に有利となるかを論ずることか必要である。

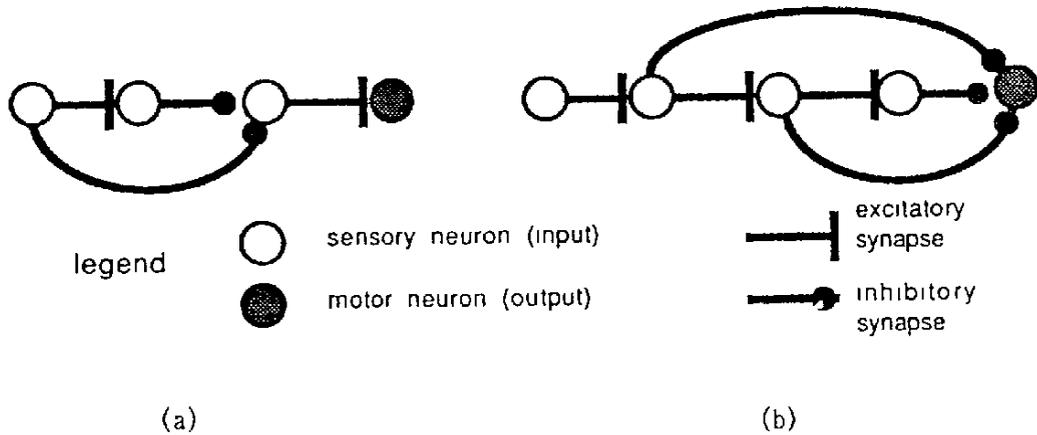


(a)



(b)

図1 適応指標



(a)

(b)

図2 到達した回路の図

論文 (3)は、Genetic Programming の概念を取り扱っている。これは、ニューロネットの学習を、階層的に行わせること、すなわち、最初にまずサブユニットの適応を完了させ、その後、ユニット結合の最適化を図るというものである。そして、それはさらに上位のシステムのユニットとして機能するというように、繰り返される。

莫大な数 (million-trillion) のプロセサを結合する場合、個々のプロセサのプログラムを論ずることは不可能であり、また、相互の結合を分析することも非常に難しい。

したかって、まず、以下のような基本方針を採用する。

- ① サブネットワークのモジュールをブロックボックスで取り扱う。
- ② 個々のモジュールのプログラムは Genetic Algorithm によって、自動化する。
- ③ そのモジュールを組み合わせて、さらに上位のモジュールを構成する。

このアイディアを具体化するために、

- (a) ロボットアームの位置きめ、
- (b) 2足歩行ロボットの制御

を例題として、シミュレーションを行っている。特に、(b) はビデオで紹介され会場の人気を集めていた。

また、発表者は、5年以内にこうした Genetic Programmingの結果かたちにHardwareとして反映されることか可能になるたろうとしている。こういうマシンを、発表者は“Darwin Machine”と呼んでいる。

論文(5)は、ニューロネットワークと進化の法則(自然選択)の組み合わせによって、学習を行わせる手法(ERL Evolutionary Reinforcement Learning)の提案を行っている。

自然選択は、一種の教師信号を発生する(適応に失敗すれば個体は死ぬ)か、その情報量は必ずしも大きくない。このような環境下で、種か全体として、どのようにして学習していくのかは、必ずしもよく分かっていない。

この論文では、ニューロネットワークで制御される適応的な“エージェント”をAL(Artificial Life Environment)と呼ばれる人工環境内を動きまわらせ、こうした学習過程のシミュレーションを行っている。シミュレーションの結果、ERL手法による、個体学習を行う群は、行わない群(単なる進化だけの群)に比べて、はるかに高い種としてのパフォーマンスを示すことなど、多くの定量的定性的結果を報告している。特に、個体学習と群学習(learningとevolution)のハランシングか非常に重要なことか判明した。

以上のように、このセッションの中心課題である生物学における多くの知見をより積極的に学習理論に取り込んでいこうという視点は、従来の単純な学習理論を越えた、新しい可能性を予感させるものであった。現在、なかなか難しいとされているAIにおける発想のジャンプ、帰納などについても、寄与するところかあるのではないかという気がした。

ニューロネットも、もともとは、生物領域からのアイディア借用であるか、それは、全体量からいえば微々たるものである。生物の仕組みをシステムとして利用する学問体系と

して、ハイオンシステムテクノロジーが提案されているか、本セッションの話題などは、その入口に相当するものであろう。

もちろん、この種の議論がとれほど成功するかは未知数である。しかしながら、こうした学際的研究は、今後の計算機科学において重点的に推進すべき分野の一つとして、確信する。

8 Vision Session

1990年1月19日（金） 8 30～12 10

（報告者 比留川 博久）

John DaugmanとRalph Linskerが座長を務めたビジョンのセッションの概要を紹介する。

(1) "Spatio-temporal vs Spatial Pattern Recognition by the Neocognitron"

Kunihiko Fukushima (Osaka University)

ネオコグニトロンは、脳の視覚におけるパターン認識のモデルとして提案されたものであるか、これを時空間パターンの認識に拡張しようとする際の長所短所について発表された。まず、ネオコグニトロンを拡張する第1段階として、単純化されたモデルが提案された。具体的には、連続音声中の単語の認識に関する問題が述べられた。

本研究は、基本的な検討の段階であると考えられ、今後を期待したい。

(2) "Textured Image Segmentation using Localized Receptive Fields"

Joydeep Ghosh, Nanda Gopal and Alan C Bovik (University of Texas)

局所的なフィルタと協調競合メカニズムによる境界決定を用いたテクスチャ解析が発表された。大脳受容野に極めて似たGabor フィルタを用いて、局所的な周波数と方向の属性に選択的に応答する柱状細胞を活性化している。それぞれの柱状細胞に対して、近傍の柱状細胞の活動により修正されるwinner-take-all ネットワークが、画像を少しずつセグメンテーションするために用いられている。

ここで用いられている手法は、かなりの部分が生物学的知見に基づいており、しかも実画像処理を行う従来の手法と比べて遜色のない結果を出しているため、興味深い研究であると思われる。

(3) "Computational Framework and Neural Networks for Low and Intermediate
3D Computer Vision"

Ziqing Li (University of Edinburgh)

表面による表現は、物体を特徴付ける重要な方法の一つである。平均曲率やカウス曲率といった表面の曲率の特徴は、回転と並進に対して不変量で、表面のパラメータ化の方法によって変わる。したかつて、これらは3次元物体の認識や位置決めに向いている。ここでは、正規化理論から援用したフレームワークを用いて、3次元視覚の低レベル処理と中レベル処理を、表面曲率の不変量に基づいて行った結果が発表された。この処理のカバーする範囲は、距離画像から出発して、表面曲率の不変量を得るまでである。ここで得られたアルゴリズムは、ニューラルネットワークの計算法に変換されて実行されている。本研究の最終的な目標は、距離画像の理解である。

この研究は、ほとんどかコンピュータビジョン固有の手法であり、得られたアルゴリズムをインプリメントする際に、ニューラルネットワークの手法を利用したということである。ニューラルネットワークの研究としては新規性は乏しいか、現実的なアプリケーションの形態としては面白いと思われる。

9. VLSI Implementation Session

1990年 1月19日 (金) 14:00~16:00

9-1. (報告者: 小柳 滋)

ニューラルネットのハードウェア関連のセッションとして、4件の発表があった。GrafとHammerstromの2件は招待講演であり、他の2件は一般講演である。アナログおよびディジタル方式を用いたニューラルネットワークの実現法、および並列計算機上でのインプリメントについての発表である。以下、個別に概要を紹介する。

(1) "Analog VLSI Neural Nets for Pattern Recognition Applications"

H. G. Graf (AT&T Bell Laboratories)

AT&Tが開発したアナログチップの文字認識への応用についての発表である。AT&Tでは、54ニューロン/チップの完全結合ニューラルネットワークチップを開発している。これについては既に発表済みであるか、今回はこのチップの実際の応用に主眼が置かれている。

AT&Tのチップは、重みか 1, 0, -1 の3種類のみであり、スイッチの開閉によりプログラマブルな構成をとっている。このチップの応用として、連想メモリ、パターン認識、イメージ処理等があげられる。今回の講演では、ハッファロの郵便局におけるZip codeの読み取りへの応用について説明があった。現状では、印刷文字に対して認識率90%、誤り率1%、リジェクト率9%、読み取り速度10文字/秒の性能である。しかし現在、次のハーションのチップを開発中であり、これを用いると認識率100%、読み取り速度は1,000文字/秒以上になる予定である。現在のチップと次のハーションのチップの仕様を表1に示す。

また、AT&TではColumbia大学と共同で新たなニューロチップの開発に取り組んでいる。これは、analog storage cell reconfigurable architecture と呼ばれ、チップの中のニューロン間の結合をスイッチ経由で行い、このスイッチをプログラマブルにすることにより複雑な構造のニューラルネットでも1チップ内に実現できる点に特徴がある。

表1 チップの仕様

開発年度	1987年	1990年
ニューロン数/チップ	54	256
シナプス数/チップ	2916	32768
動作速度	< 1 μ s	< 100ns
実現技術	2.5 μ CMOS	0.9 μ CMOS
トランジスタ数	75K	412K

(2) "System Design for a Second Generation Neurocomputer"

Dan Hammerstrom and Eric Means (Oregon Graduate Center)

ニューロコンピュータの実現法について、システムアーキテクチャ的な考察の必要性について論じている。現在のニューロチップの研究の大半はニューロンの機能を電子的に実現することに主眼がおかれ、システムとしての立場からの考察が欠けている。また、学習機能については、チップの外として取り扱われ、学習速度の向上には寄与していない。これに対して、本発表は次の3点が重要と指摘し、各々について議論を展開している。

- ・通信
- ・重みの表現と学習
- ・ニューロ演算

通信の性能の向上のためには、結合方式として multiplexed broadcast 結合が有利である。通信についてはすべての信号が同時に入力される訳ではないので、共有化を図る方がよい。

重みの表現と演算についてはアナログ/ディジタルのハイブリッドな方式も考えられる。本論文では、flash EEPROMを用いたweight indexingについて検討している。

学習機構については、Klopf/Kosko アルゴリズムのハード化を検討したか、回路規模が膨大になる。そこで学習時に全ニューロンの一部のみを用いる新しいモデルが望ましい。本論文では、UC Irvineで提唱されているperiform cortical modelに注目している。

具体的なアーキテクチャの話としてよりも、システムアーキテクチャ的なアプローチの重要性を指摘したものであり、ニューロのハードウェア化について示唆に富んだ発表であ

った。

(3) "Multiplexed charge-based circuits for analog neural systems"

L. W. Massengill (Vanderbilt Univ.)

アナログ方式で大規模なニューラルネットの実現を考えると、結合の制約が大きな問題となる。本論文は、アナログニューロンの出力を multiplex 化することにより、大規模なネットワークの構築を目指した研究である。

本論文では、charge-based なアナログ乗算回路を構築し、その出力を multiplex 化してバス接続する方式を提案している。さらに、バスを time share して使用することによりニューロン間の接続は非常に容易となる。MOSIS 20 μ m アナログプロセスを用いて試作した回路では、30ns で乗算が可能となると報告されている。

非常にシンプルで大規模化可能なアナログ方式の提案である。

(4) "A Parallel Implementation of Kohonen Feature Maps on the Warp Systolic Computer"

Richard Mann and Simon Haykin (McMaster Univ.)

Kohonen の self-organization feature map を高速化するために、systolic computer として著名な Warp を用いた実現法について述べている。これと同様の研究は、1988年6月の ICNN にて、Warp computer における back propagation の実現法として発表されている。基本的な実現法は、前回の発表と同様に、データの分割と epoch update と呼ばれる一括更新を用いた方式である。ニューラルネットを並列マシンの上で実行するとき、ニューロン単位で分割してプロセッサに割り当てるとプロセッサ間通信がボトルネックとなり、性能が向上しない。そこで、学習データを分割し、各プロセッサ毎に異なるデータを並列に学習させる。その結果を epoch 単位で集約し、全体の重みを調整する手法を用いている。その結果、VAX11/780 に比べて100~300倍の性能向上が実測されている。

実際に Warp を使ってこれだけの性能を達成している点は評価されるが、アイデアに新鮮さはない。

9-2. (報告者:小池 誠彦)

(1) "Analog VLSI Neural Nets for Pattern Recognition Applications"

H G Graf (AT&T Bell Laboratories)

Grafは、これまでに幾つかのVLSIを開発しており、ニューロチップの先駆者的存在で、今回は招待講演を行った。

講演の内容は、これまでに開発してきたそれらチップの開発の経緯とそれらの特徴が述べられた。それらは、何れもアナログヘースのLSIであり数十から数百ニューロンか1チップに実現されている。また、これらのニューロチップを用いて応用分野として、特にパターン認識への適用例について述べられた。手書き文字で88%、印刷文字で90%の認識率が得られている。

講演ではさらに現在開発中の新しいチップの概要の説明が行われた。CMOSの0.9 μ ルールの2層配線技術で256ニューロン、32Kコネクションを実装し、100nSで動くという。

ニューラルネットワークをパターン認識の特徴抽出に適用する場合、特にセグメンテーション、スケーリングおよびクラシフィケーションが問題であるという。セグメンテーションについてみると、例えば小切手の金額の"0"が続く場合、よくつなげて書くことが多いか、これなどはセグメント化が難しい。

最後に強調していたのは、アナログのニューラルネットはまだ研究段階であること、デジタルでより良いことが可能であること、およびパターン認識の分野では特に向いていることである。Grafは現在コロムビア大学と共同で再構成可能なアナログチップを開発中であるという。

(2) "System Design for a Second Generation Neurocomputer"

Dan Hammerstrom and Eric Means (Oregon Graduate Center)

2番目の講演者もやはり招待講演であり、(1)と(2)の招待講演者が座長を兼ねるといふ、仲間内的なセッションとなった。特にこの講演は、ニューロコンピュータの開発プロジェクトの途中検討結果についての話で一般的な議論で終わったのは寂しい。聴衆の質問でも、去年発表されたインテル社のチップとどこか違うのか? と言った厳しい質問も出された。

講演の内容は、CMOS技術（作り安い）で、ULSI（欠陥か前提）をベースにしたアーキテクチャを考える。スパス／テンポラル／スペース性を生かし、フォールトトレラントな設計が重要である。結合の問題は深刻に考えると $O(N^3)$ のシリコン領域が必要となるので、 10^6 ノードで 86 m² 必要となり実現性が無い。そこで、局所性の利用が重要となる。スピードが1けた落ちるか、2けたの容量の節約が可能となる。氏の講演はこの後、シナプスの実現法、出力の計算法、学習機能をチップに組み込むべきかなどについて各々のアプローチの比較を行った。これをまとめると、次のようになる。

- ① 1 ミクロンCMOS技術
- ② チップサイズは4.7cm²
- ③ 10k ニューロン
- ④ マルチプレックス技術と同報通信方式
- ⑤ パイプライン、フィードフォワード処理
- ⑥ テンタル集中処理
- ⑦ アナログウィナーテークオール回路の採用
- ⑧ 集中型EPROM風重み回路
- ⑨ 10^6 重みをチップに実現

(3) "Multiplexed Charge-Based Circuits for Analog Neural Systems"

L. W. Massengill (Vanderbilt Univ.)

3番目はコンデンサのチャーンを用いたアナログ型のチップを提案している。重みと入力の乗算を、コンデンサのディスチャージの減衰曲線の初期電圧と減衰特性を制御することにより実現する。チャーンベースとアナログのダイナミック型マルチプレクサを用いることにより低消費電力、小型なニューロ回路が実現できる。現在 900シナプスのチップを試作中とのことである。

(4) "A Parallel Implementation of Kohonen Feature Maps on the Warp Systolic Computer"

Richard Mann and Simon Haykin (McMaster Univ.)

コホーネンのフューチャマップのモデルをリング型に結合したノストリックアレイ (Warp) で並列化の実験を行った報告である。以前の学会では同じシステムを用いて、ハックプロパケーション型のモデルの並列処理の実験が報告されている。今回は同様の手法を異なるニューロモデルに適用したものである。並列処理の方式として2つの方式を試している。1つはネットワーク分割で、他方は訓練パターンセットの分割である。後者の方が、学習を独立に、プロセッサ間通信無しにできるため効率が良いか、本来のアルゴリズムと異なるので、収束性や学習性に問題が残る。ある場合では、メニューを学習させたところ、四角にならず、ひねれたメニューになったという。そこで、今回の実験では前者のネットワーク分割に着目した。ネットワークを縦に短冊状に分割し並列処理を行ったところ、20%から60%の効率を得られた。これはVaxの300倍の性能に匹敵する。

この講演で面白かったのは、聴衆にコホーネン本人がおり、訓練パターンの分割方式でも初期状態を工夫すれば同じになるとのコメントが述べられた。

1 O . O p t i c a l I m p l e m e n t a t i o n s S e s s i o n

1990年 1月19日 (金) 14 00~16 00

(報告者・石川 正俊)

このセッションでは、セッションに先立ち、Naval Research Laboratoryの Harold Szu 氏 (Cauchy Machine の提唱者で光コンピューティングの専門家)より INNS の功績賞が CalTech の Demetri Psaltis教授に贈られた。彼の業績は、光ニューロコンピューティング全般にわたるもので、Hopfieldモデルの光・電子技術による実現、ホログラム技術の利用、パケットプロパゲーションの光実現の提案など数え切れないほどである。これらの業績により、ここ数年の光ニューロコンピューティングの分野を先導している中心人物であり、この受賞も多くの人から当然のものを受けとめられると思われる。

Optical Implementation が属している Application Systems and Network Implementations 全体をながめてみると、2,3 年前から黎明期とすれば、今回あたりで安定成長へ移行し始めたと考えてよいと思われる。このため、アイデアあるいは実現されたハードウェアとして奇抜なものか少なくなった代わりに、よく考えられたまとまりのよいものか数多く発表されるようになってきた。ただし、また実用例は皆無に近く、今後はいつ実用になるか興味の対象である。

また、光技術と電子技術の割合は、今回に限ればほぼ同数である。参考までに Application Systems and Network Implementations に分類され予稿のある42論文(ポスターセッションを含む)をその手法別に分けると表1のようになる。これによると、システムのレベルあるいはソフトウェア並みにハードウェアのアーキテクチャレベルの発表が多い。これは、論文の分類が不完全であることも否めないが、このような研究が取り組みやすいというのも原因の一つになっており、それほど重要とは思われない論点を中心課題とする論文も見受けられた。もう一つの背景に、IJCNNでLSIや光コンピューティングの技術的な論文を発表しても反響が少ないため、回路やLSI関係の学会あるいは光コンピューティングの学会など発表する方が論点を理解してもらいやすく、そちらに発表する傾向にある点も考えられる。事実、5月にある回路の学会や4月に神戸で開かれる光コンピューティングの学会(1990 Optical Computing (OC 90))では、ニューラルネットワーク関係の発表も多い。

さらに、他のセッションも含めて全体に言えることであるか、とにかく招待講演が多く、しかも毎回同じ顔ふれなので、飽きかきてもしかたないと思われる面がある。Optical Implementationのセッションも2件の招待講演があり、一般講演は2件のみで残りはポスターセッションであった。さらに悪いことには、Electrical Implementationのセッションが並行して行われており、Network Implementationに興味のある参加者は不満も多かったのではないかと思われる。

表1 発表論文の内容

	大分類	内 容	件数
電子技術	1) ハードウェア構成に 焦点があるもの	①専用チップ ②汎用CPU ③汎用並列マシン ④電子回路	3 2 1 7
	2) ソフトウェア構成に 焦点があるもの	①ソフトウェア	4
	3) アーキテクチャに 焦点があるもの	①システムデザイン ②方法論	1 2 3
光電子技術	1) 光インタコネクショ ンに焦点があるもの	①光インタコネクショ ン ②光インタコネクショ ン +専用チップ	2 3
	2) 光コンピューティ ングに焦点があるもの	①光コンピューティ ング 実験	3
応 用	1) 応用を示しているもの	①応用例	2

招待講演の最初は、Hughes社のBernard Soffer氏によるホログラムと非線形光演算を用いた光ニューロコンピューティングに関するものであった。発表の間、紙を回して学会の中につくられる光部門の研究グループへの参加者を募っていた。彼は、ホログラムとフォトリフラクティブ結晶を主たるデバイスとした光実現の研究を行っている。発表では、光を用いる利点として、

- ①大規模並列性
- ②高密度相互接続、に加えて
- ③簡単な構造

をあげている点が印象的であった。

ニューラルネットワークの演算構造をそのままの形で光コンピューティングで実現しよ

うとすると、随所に光コンピューティングを制御する構造が必要となり、それに比例して装置の規模が大きくなってしまふ。このため、大規模並列性や高密度相互接続が実質的に実現不可能となってしまい、光コンピューティングの特徴である簡単な構造の実現は難しい。このことは、現状の実験室レベルの研究では表面に現れてこない問題であり、彼らの姿勢を伺い知ることかてきる。

一方で、光コンピューティングでの実現に際し、その特徴を生かし、それに合わせてニューラルネットワークの演算構造を変えようとするハードウェアオリエンテッドな考え方がある。この場合、実現される機能はニューラルネットワーク側から見ると多少機能低下することになるか、簡単な構造でコンパクトな演算構造という光コンピューティングの特徴を十分に生かすことかてきる。Soffer氏らは、この立場をとり、簡単な構造、コンパクトな演算機構の実現を目指している。

具体的に、彼らは連想記憶の問題を中心に扱っている。彼らか考えている基本的な構造を図1に示す[1]。ホログラム技術と非線形光テハイスを中心としており、実際に種々のシステムを提案している。その一例を図2に示す[1]。図2に示すシステムは、参照光の角度を変えて記録したホログラムの出力光に、位相共役波生成技術による非線形処理を加えた後、逆にホログラムに投射して記録されているパターンの中から選択的に一つのパターンを出力する構造を持っている。

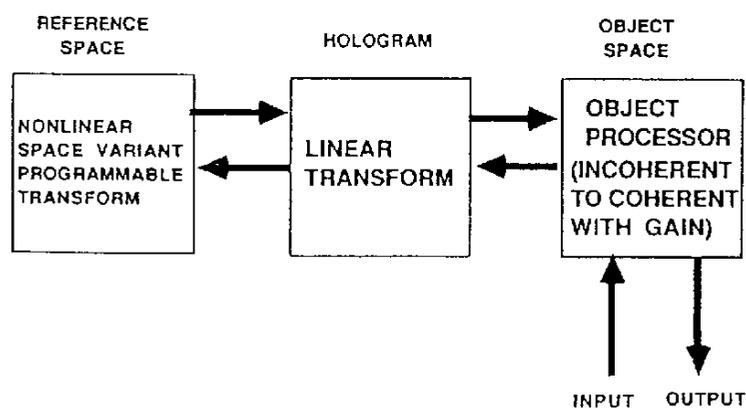


図1 ホログラムを用いた連想記憶の基本構造[1]

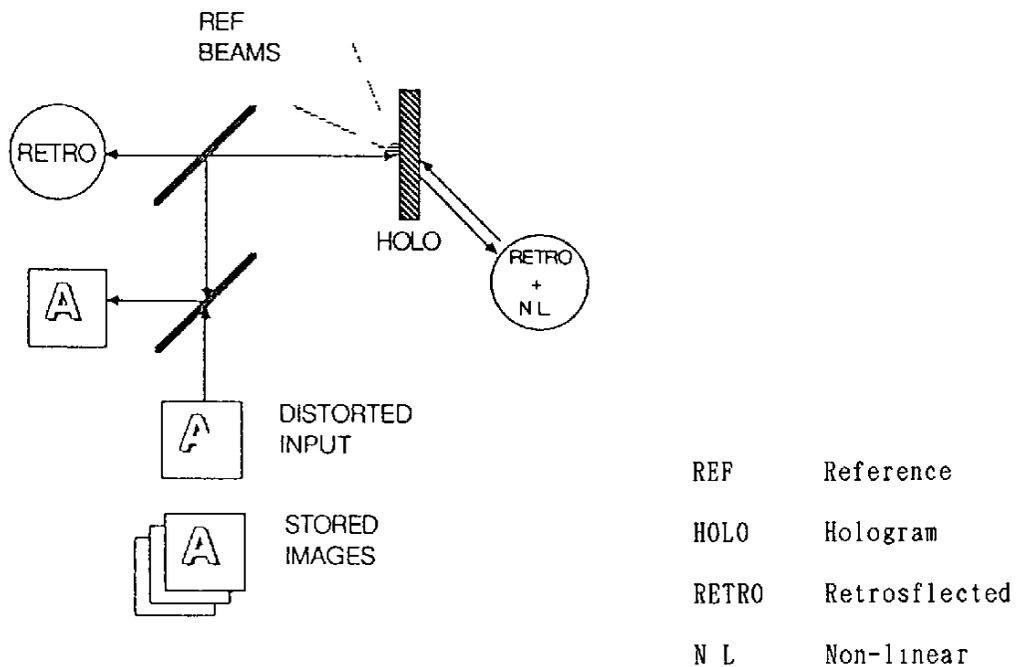


図2 ホログラムと位相共役技術による連想記憶システム[2]

招待講演の2番目は、CalTechのPsaltis教授であった。予稿集ではSBN Ce(Cesium doped strontium barium niobate crystal)を用いて光コンピューティングにおける学習を実現する話をすることになっていたが、実際には講演の冒頭で予稿集とは全く違うことを話すと言って光ディスクを記憶材料に用いた光コンピューティングシステムの講演を行った。光ディスクは $1\mu\text{m}$ オーターのピッチで記録かてきる魅力的な光記憶材料であるか、ここに記憶する情報を現在のようなコート化された情報たけてなく、様々な形態で情報を記録しようというのかそもそのねらいてある。彼は、この記録方法として、読み出しを高速化するためにパターン情報を直接トノイメーにて記録する方法やホログラムとして利用する方法などをすてに提案している。今回は、

- ① k-nearest Neighborhood Pattern Classifier 法を用いる方法、
- ② ニューラルネットワークのシナプス加重を記録する方法

を中心に説明かあった。

①のk-nearest Neighborhood Pattern Classifier 法は、パターン認識の記憶容量が少なくても、効率的なパターン識別が可能な方法として従来から提案されている方法である。この方法における係数行列を光ディスクに書き込んでおき、読み出し時にパターン識別演算が光で実現するようになっている。具体的に、k=5 について手書き数字(10文字)の識別を行い71%~83%の正当率を得ている。

②の方法は、すでに幾つか発表されている記憶行列の値を光のパターンとして与える方法の一つで、光ディスクを記憶行列の記憶に用いている点が特徴である。これには光入力(記憶行列)をもつニューロチップが必要であり、別にこのためのチップも開発している。この方法の概要を図3に示す[2]。具体的な実験結果は示されなかった。また、一般講演で、やはりCalTechのYariv教授のところでも、光ディスクの代わりに空間光変調器を用いて同様の構造をつくることを提案している。この構造を図4に示す[3]。この場合には学習が可能となっている。

また、これらとは別に一般論として光ニューロコンピューティングが実験上理想通りに動かない理由として、空間的な不均一性、光の散乱、光学的・電気的クロストーク、電気的配線などをあげている。また、光強度に関する計算を示し、光を用いる方法が消費エネルギーを低減できることも示した。従来、理想的なアーキテクチャの議論が多かった光ニューロコンピューティングの分野でも、やっとこのような実験的な議論の必要性が認識されるようになってきたことは、分野として徐々にではあるが進歩が感じられる。

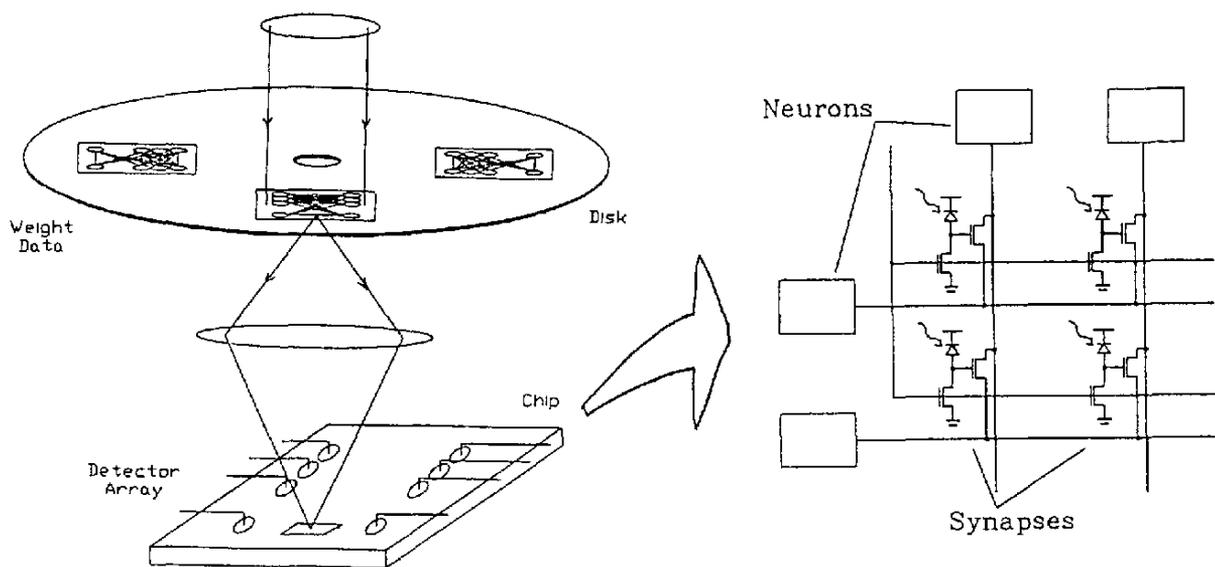


図3 光ディスクを用いた光ニューロコンピューティング[2]

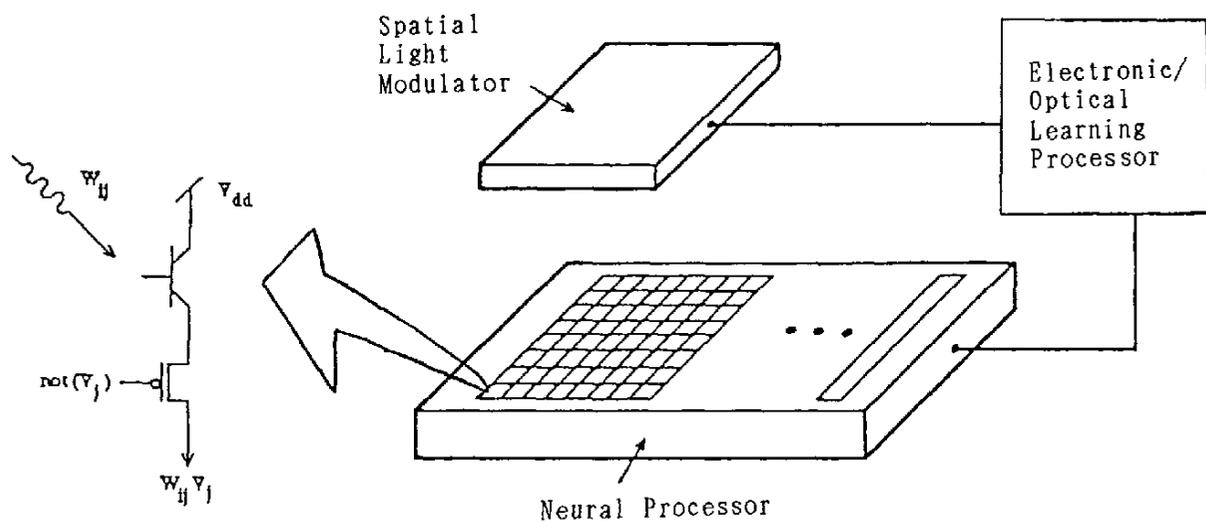


図4 空間光変調器とニューロチップを用いたシステム[3]

[参考文献]

- [1] Y. Owechko, B. H. Soffer, and G. J. Dunning: Optoelectronic Neural Networks Based On Holographically Interconnected Image Processing, Proc. SPIE, Vol. 882, pp. 143-153 (1988)
- [2] D. Psaltis, et al. : Optoelectronic Implementations of Neural Networks, IEEE Comm. Mag., Vol. 27, No. 11, pp. 37-71 (1989)
- [3] C. F. Neugebauer, A. Agranat, and A. Yariv : Optically Configured Phototransister Neural Networks, Proc. IJCNN-90-Wash-DC, pp. II-64-67 (1990)

1 1 . ニューラルネットワークのハードウェアに関連するセッションのまとめ

— 光技術を中心に —

1990年1月18日（木）午後

1990年1月19日（金）午後

（報告者・久間 和生）

1 概 要

1月18日（午後）、19日（午後）に、ニューラルネットワークのハードウェアに関するポスター（Application Systems and Implementations (Optical and VLSI)）、オーラルセッション（Optical Implementations Session、VLSI Implementations Session）が開かれた。光ニューラルネットワークに関しては、招待論文2件、一般論文3件、ポスター5件の計10件、VLSIニューロチップに関しては、招待2件、一般2件、ポスター6件の計10件の発表があった。全体的な傾向として、ニューラルネットワークのハードウェアの本会議への投稿件数は減少している。これは、この数年来、ニューラルネットワークの概念が広く知れわたり、それぞれ専門の会議、すなわち光およびLSIの会議への投稿が増えたことによるとと思われる。

光ニューラルネットワークでは、いままでは提案に関する発表が多かったか、今回は実際にハードウェアを試作した発表が目立った。いずれも基礎実験であるか、光の空間並列性、3次元性を利用したもので、電子回路では実現が困難なユニークなシステムである。

注目すべき発表として、光屈折性結晶（実時間ホログラム）や光ディスクの大容量性記憶特性のシナプス結合素子への応用、CCDあるいはフォトタイオートアレイを用いた光電子ニューロチップ、光ニューラルネットによるアルファベット26文字の認識、電子捕獲材料のシナプス結合素子への応用（Quantex、USA）などがあげられる。

一方、VLSIニューロチップに関しては、EPROMやMOSFETによるネットワークの構成法やアナログネットワークのアーキテクチャに関する発表が多かったか、それほと新規性のある発表は無かった。

以下、光ニューラルネットワークで注目される発表論文の概要を述べる。

2. 注目すべき発表

(1) 光屈折性結晶による光ニューラルネットワーク

“A Photorefractive Optical Neural Network”

B Soffer (Hughes Research Laboratory)

Dr Sofferらが提案する、光屈折性結晶 (BaTiO₃) と空間光変調素子 (液晶型ライトハルプ) を用いた光ニューラルネットワークを構成図を図1に示す。空間変調素子に提示された入力層のニューロンの状態は、光ビームで並列に読み出され、自己ポンプ型位相共役ミラー (光屈折性結晶) に照射される。この時、光屈折性結晶の中には入力パターンを反映した回折格子が形成されるか、ある一つのニューロンによって形成される回折格子は、他のニューロンからの入射光の回折強度に影響を与える。したがって、各々の回折格子をシナプス結合素子のエレメントに対応させることかできる。学習は、受光素子アレイで検出された信号を、ホストコンピュータとイメージプロセッサで処理した後、空間変調素子に提示するパターンを少しずつ変えて、回折格子のパターンを修正することにより行われる。大規模シナプス結合素子としての実現の可能性を示す基本的な実験結果が報告された。

自己ポンプ型位相共役ミラーの利用によって、クロストークの少ないネットワークを安定に構成できる。本システムによって、ニューロン数 $10^5 \sim 10^6$ 、シナプス結合数 $10^9 \sim 10^{10}$ のネットワークが実現できることか理論的に示されている。

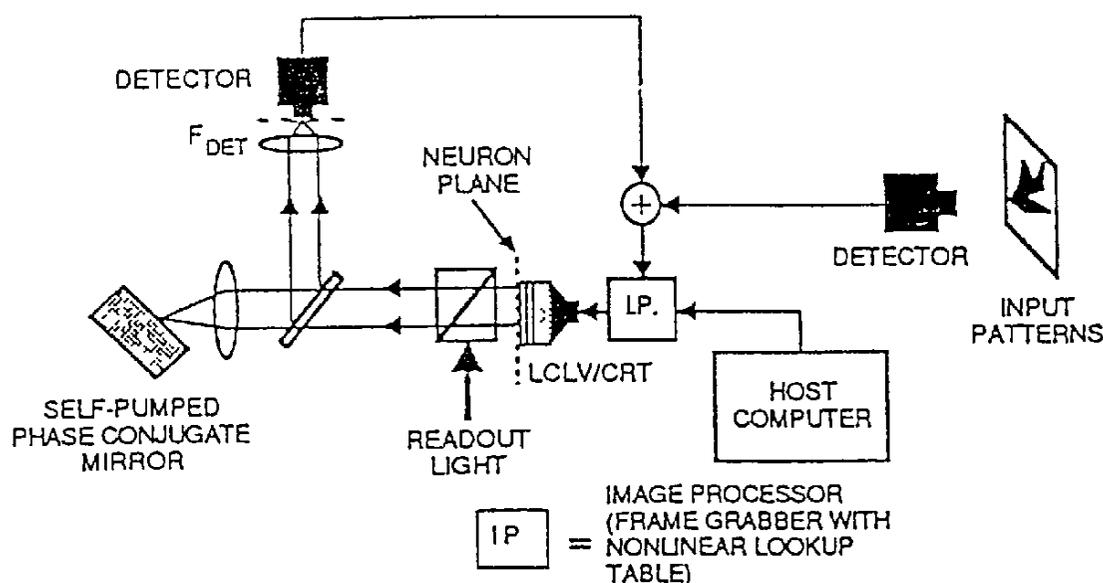


図1 自己ポンプ型位相共役ミラーを用いた光ニューラルネットワークの構成図

(2) 256ニューロン数の CCDニューラルプロセッサ

“A CCD Neural Processor with 256 On-chip Neurons”

A. Agranat, et. al および

光アドレス型フォトトランジスタニューラルネットワーク

“Optically Configured Phototransistor Neural Networks”

G. F. Neugebauer et. al., CalTech

CCD (Charge-Coupled-Device)およびフォトトランジスタアレイをシナプス結合素子用いた光電子ハイブリッド型のニューロチップに関する発表である。これらに関しては、CalTechの調査報告の項を参照のこと。

(3) ダイナミック光電子ニューラルネットワークを用いたアルファベットの26文字の認識

“Recognition of 26-Character Alphabet Using a Dynamic Opto-Electronic Neural Network”

S. Tai, et. al, Mitsubishi Electric Corp.

フィードフォワード型3層構造の光電子ニューラルネットワークを試作して、英26文字の認識に成功した報告である。

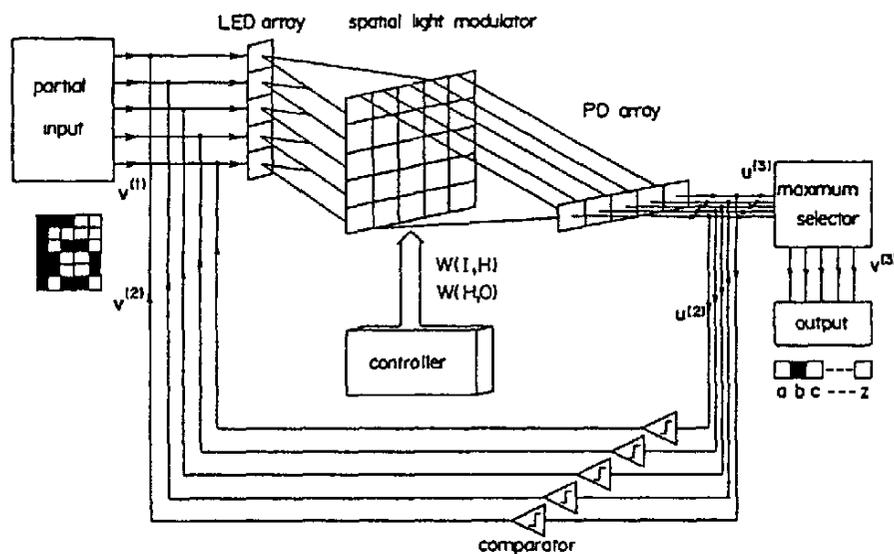


図2 26文字認識光電子ニューラルネットワークの構成図

ポイントは、シナプス結合の強度がハイナリの値を取りながら学習かてくるバックプロパゲーション則を考案したことにより、ハイナリに動作する空間光変調素子の使用が可能になったことである。システムの構成図を図2に示す。全ニューロン数は88個である。本システムは、不完全な入力に対する連想機能も有している。

(4) 電子捕獲材料を用いたシナプス結合行列の光学的実現

“Optical Formation of Interconnection Weight Matrix for A Neural Net
Using Electron Trapping (ET) Materials”
S. Jutamulia (Quantex Corp.) et al

光情報を直接記憶可能な電子捕獲 (Electron Trapping (ET)) 材料をシナプス結合行列の記憶媒体として用いる報告である。CdS などのET材料に2種類の希土類元素をトープすると、図3に示すように、各々の不純物に対する基底状態と励起状態が、ホスト材料のエネルギーギャップの中に形成される。情報の書き込みは青色光で行われ、その空間的パターンが、図に示されているように、第2のトープの基底準位に捕獲される。この基底準位の寿命は非常に長い。情報の読出しは赤外光の照射によって行われ、捕獲されていた電子は、第1のトープの励起準位を介して第1の基底準位に遷移する。この時、赤外光を放出する。

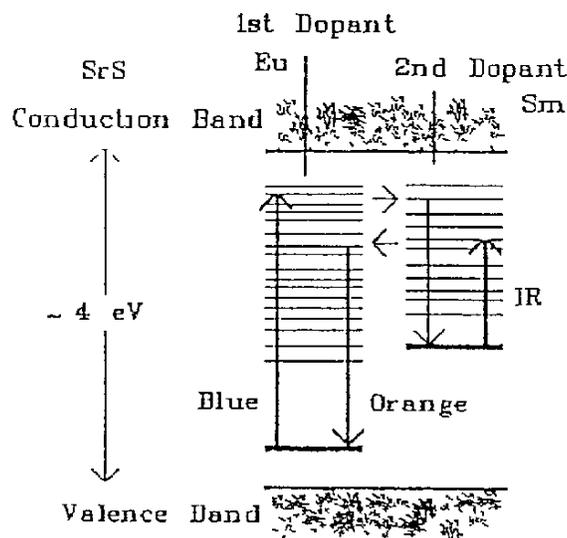


図3：電子捕獲材料のエネルギーバンド図

したかつて、ネットワークのシナプス結合を強める場合は青色光を、弱める場合は赤外光を照射して、純光学的に学習、自己組織化を行える。また、ヘクトルに対応する赤外光を照射すれば、ヘクトル／行列の積和演算を行える。 $(-1 \ 0 \ 1)$ の成分からなる 5×1 のヘクトルと 5×5 の行列の積和演算が実験により実証された。

3 感想等

光技術は超並列演算と超高密度インタコネクションが可能という、ニューラルネットワークのハードウェア化に極めて魅力的な潜在能力をもっている。これまでは、それらの提案に関する論文が多かったか、そろそろ小規模なシステムなから実験結果の発表が増えてきた。今後の研究課題をまとめると、

- (1) 光屈折性結晶や光ディスクなどの大容量光メモリを応用したニューラルネットワークのアーキテクチャの研究、
- (2) 高速に動作する光屈折性結晶や光による書き込み、読み出しがてきる新材料の研究、
- (3) 大規模光電子ニューロチップの研究、
- (4) 光実装に適したニューラルネットワークモデルの研究、

が重要である。これらの研究によって、将来、光の優位性を十分発揮した大規模、高速のニューラルネットワークが構築されると思われる。

IJCNN Daily Schedule
Monday, January 15, 1990

Regency Ballroom
Tutorials

8:30 AM to 9:30 AM
Pattern Recognition, Associative Learning, and Self-Organization
James Anderson, Brown University
9:30 AM to 9:45 AM BREAK
9:45 AM to 10:45 AM
Applications of Connectionist Learning
Geoffrey Hinton, University of Toronto
10:45 AM to 11:00 AM BREAK
11:00 AM to 12:00 PM
Neural Neurocomputing
Andras Pellionisz, New York University
12:00 PM to 1:00 PM
LUNCH
1:00 PM to 2:00 PM
Learning with Application to Robotics
Jacob Barhen, Jet Propulsion Laboratory
2:00 PM to 2:15 PM BREAK
2:15 PM to 3:15 PM
Vision and Image Processing
Stephen Grossberg, Boston University
3:15 PM to 3:30 PM Break
3:30 PM to 4:30 PM
Speech and Language Processing
Paul Mueller, University of Pennsylvania
4:30 PM to 4:45 PM BREAK
4:45 PM to 5:45 PM
Neural Network Implementations
Federico Faggin, Synaptics
5:45 PM to 6:30 PM BREAK

Evening Schedule

6:30 PM to 7:30 PM
International Night
Welcome Reception
Ambassador Room

Attendees are requested to wear their national or ethnic costumes to the reception to honor the international participants of this meeting.

7:00 PM to 7:30 PM
Regency Ballroom
Business meeting of the INNS
All members of the INNS are welcome.

7:30 PM to 9:00 PM
Plenary Session

7:30 PM to 8:00 PM
Welcoming Remarks
by INNS President
Bernard Widrow

8:00 PM to 9:00 PM
Neural Concert
by Teuvo Kohonen
Concert of music generated by neural networks.

Registration Center

If you need assistance of any kind during the meeting, please stop by the Registration Center for help. The Registration Center will be open the following hours:

Sunday, January 14
4:00 PM to 7:00 PM

Monday, January 15
8:00 AM to 7:00 PM

Tuesday, January 16
8:00 AM to 7:00 PM

Wednesday, January 17
8:00 AM to 5:00 PM

Thursday, January 18
8:00 AM to 5:00 PM

Friday, January 19
8:00 AM to 4:00 PM

Tuesday

IJCNN Daily Schedule
Tuesday, January 16, 1990

Regency Ballroom
Applications Track

8:30 AM to 12:10 PM

Speech and Signal Processing Session

Candace Kamm and Teuvo Kohonen, Moderators

- 8:30 AM to 9:10 AM, INVITED TALK
"Some Practical Aspects of the Self-Organizing Maps" Teuvo Kohonen *Helsinki University of Technology*
- 9:10 AM to 9:30 AM
"A Preliminary Note on Training Static and Recurrent Neural Networks for Word-Level Speech Recognition" Kamul A. Grajski, Dan P. Witmer, and Carson Chen *Ford Aerospace*
- 9:30 AM to 9:50 AM
"Application of Neural Network to Pulse-Doppler Radar System for Moving Target Indication" Chia-Jiu Wang *University of Colorado at Colorado Springs*, Chwan-Hwa Wu *Auburn University*, Rodger E. Ziemer *University of Colorado at Colorado Springs*
- 9:50 AM to 10:10 AM
"Neural Network Based Data Compression Using Scene Quantization" Mohammed Arozullah and Aran Namphol *Catholic University of America*
- 10:10 AM to 10:30 AM
"Radar Classification of Sea-Ice Using Traditional and Neural Classifiers" Jim Orlando, Richard Mann, and Simon Haykin *McMaster University*
- 10:30 AM to 10:50 AM BREAK
- 10:50 AM to 11:10 AM
"An Adaptive Discrete-Signal Detector Based on Self-Organizing Maps" Teuvo Kohonen, Kimmo Raivio, Olli Simula, Olli Vento *Helsinki University of Technology*, and Jukka Henriksson *Nokia Research Center*
- 11:10 AM to 11:30 AM
"Training Continuous Speech Linguistic Decoding Parameters as a Single-Layer Perceptron" Mark T. Amikst and David J. Trawick *Speech Systems Incorporated*
- 11:30 AM to 11:50 AM
"Neural Tree Structured Vector Quantization" Eric Wan, Paul Ning, and Bernard Widrow *Stanford University*
- 11:50 AM to 12:10 PM
"A Technique for the Classification and Analysis of Insect Courtship Song" Eric K. Neumann and David A. Wheeler *Brandeis University*, Jamie W. Burnside *MIT Lincoln Laboratory*, Adam S. Bernstein and Jeffrey C. Hall *Brandeis University*

12:10 PM to 2:00 PM
LUNCH

2:00 PM to 4:00 PM
Application Systems Session
Tim Kraft, Moderator

- 2:00 PM to 2:40 PM, INVITED TALK
"Concurrent ANS Architecture Using Communicating Concurrent Processes" Tim Kraft and Stephen A. Frostrom *Science Applications International Corporation*
- 2:40 PM to 3:00 PM
"A Parallel Neurocomputer Architecture Towards Billion Connection Updates Per Second" Hideki Kato, Hideki Yoshizawa, Hiroki Ichi, and Kazuo Asakawa *Fujitsu Laboratories Ltd.*
- 3:00 PM to 3:20 PM
"Fuzzy Knowledge Model of Neural Network Type: A Model Which Can Be Refined by Learning" Atsushi Morita, Yoshihito Imai, Akio Noda, and Morikazu Takegaki *Mitsubishi Electric Corp.*
- 3:20 PM to 3:40 PM
"A Transputer Implementation of Toroidal Lattice Architecture for Parallel Neurocomputing" Naoyuki Fukuda, Yoshiji Fujimoto, and Toshio Akabane *Sharp Corporation*
- 3:40 PM to 4:00 PM
"Architecture of a Systolic Neuro-Emulator" U. Ramacher and J. Beichter *Siemens AG*

4:00 PM to 6:00 PM
Industry Panel
Tom Schwartz, Moderator

Palladian Room
Neural and Cognitive Sciences Track

8:30 AM to 12:10 PM

Cognitive Sciences Session

Geoffrey Hinton and James McClelland, Moderators

- 8:30 AM to 8:50 AM
"The Effects of Threshold Modulation on Recall and Recognition in a Sparse Auto-Associative Memory: Implications for Hippocampal Physiology" Valeriy I. Nenov, Walter Read, Eric Halgren and Michael G. Dyer *University of California Los Angeles*
- 8:50 AM to 9:10 AM
"Visual Navigation with a Neural Network" Nicholas G. Hatsopoulos and William H. Warren Jr. *Brown University*
- 9:10 AM to 9:50 AM, INVITED TALK
"An Unsupervised Learning Procedure That Discovers Surfaces in Random-Dot Stereograms" Geoffrey Hinton and Suzanna Becker *University of Toronto*
- 9:50 AM to 10:30 AM, INVITED TALK
"Connections Between Levels of Description of Perception" James McClelland *Carnegie Mellon University*
- 10:30 AM to 10:50 AM BREAK
- 10:50 AM to 11:10 AM
"Experiments on Constructing a Cognitive Map: A Neural Network Model of a Robot that Daydreams" Larrie V. Hutton and Vincent G. Sigillito *Johns Hopkins Applied Physics Laboratory*, and Howard Egeth *Johns Hopkins University*
- 11:10 AM to 11:30 AM
"Experhse Acquisition Through Concepts Refinement in a Self-Organizing Architecture" Phillippe G. Schyns *Brown University*
- 11:30 AM to 11:50 AM
"Using Verbs and Remembering the Order of Events" Robert B. Allen *Bellcore*
- 11:50 AM to 12:10 AM
"Directing Focus of Attention Through Control in Depth Perception" Clayton McMillan *University of Colorado* and Gerhard Dirlsch *Max Planck Institute for Psychiatry*

12:10 PM to 2:00 PM
LUNCH

2:00 PM to 5:00 PM
Speech, Audition, and Vestibular Function Session
Paul Mueller and Barry Peterson, Moderators

- 2:00 PM to 2:40 PM, INVITED TALK
"Computation of Pattern Primitives in a Neural Net for Acoustical Pattern Recognition" Paul Mueller *University of Pennsylvania*
- 2:40 PM to 3:20 PM, INVITED TALK
"Modeling of Spatial Transformations in Vestibular Reflex Systems" Barry Peterson *Northwestern University Medical School*
- 3:20 PM to 3:40 PM BREAK
- 3:40 PM to 4:20 PM, INVITED TALK
"Motor Programs and Sensorimotor Integration" J. C. Houk, A. Barto, L. N. Eisenman, J. Keifer, S. P. Singh, T. Sinkjaer, and D. Vyas *Northwestern University Medical School and University of Massachusetts*
- 4:20 PM to 4:40 PM
"An Improved Competitive Learning Algorithm Applied to High Level Speech Processing" Pedro L. Galindo and Thierry Michaux *Universidad Politecnica de Madrid*
- 4:40 PM to 5:00 PM
"Computer Simulation of a Macular Neural Network" Muriel D. Ross *NASA-Ames Research Center*, Judith Dayhoff *Judith Dayhoff & Associates*, and Dale Mugler *University of Akron*

**IJCNN Daily Schedule
Tuesday, January 16, 1990**

Tuesday

**Blue Room
Theory Track**

**8:30 AM to 12:10 PM
Brain Theory Session**

Ennio Mingolla and Andras Pellionisz, Moderators

- 8:30 AM to 9:10 AM, INVITED TALK
"About the Geometry Intrinsic to Neural Nets" Andras Pellionisz
New York University Medical Center
- 9:10 AM to 9:30 AM
"Learning 'Semantotopic Maps' from Context" Helge Ritter *University of Illinois at Urbana-Champaign* and Teuvo Kohonen *Helsinki University of Technology*
- 9:30 AM to 9:50 AM
"Maximum Entropy Prediction in Neural Networks" William B. Levy
University of Virginia School of Medicine
- 9:50 AM to 10:10 AM
"Optimal Preprocessing Networks and a Data Processing Theorem"
Donald St. P. Richards and William B. Levy *University of Virginia*
- 10:10 AM to 10:30 AM
"High-Order Bidirectional Associative Memory and Its Application to
Frequency Classification" Chwan-Hwa Wu *Auburn University*,
Hong-Mung Tai *University of Tulsa*, Chia-Jiu Wang *University of
Colorado at Colorado Springs*, and Tai-Lang Jong *Texas Tech. University*
- 10:30 AM to 10:50 AM BREAK
- 10:50 AM to 11:30 AM, INVITED TALK
"Neural Dynamics of Motion Segmentation: Direction Fields,
Apertures, and Resonant Grouping" Stephen Grossberg and Ennio
Mingolla *Boston University*
- 11:30 AM to 11:50 AM
"Multidirectional Associative Memory" Masafumi Hagwara *Keio
University*
- 11:50 AM to 12:10 PM
"Analysis of EEG Changes Between Frontal and Occipital Area in
Speaking Process" Gang Wang, Morikuni Takigawa, Tomoyuki
Miyazaki, and Taisuke Takeshi *Kagoshima University*

**12:10 PM to 2:00 PM
LUNCH**

**2:00 PM to 5:00 PM
Analysis of Network Dynamics I Session
Michael Cohen and Harold Szu, Moderators**

- 2:00 PM to 2:20 PM
"An Asymmetric Spin-Glass Model of Long-Term Memory in a
Dynamic Network Architecture" Valerio Cingolli and Massimiliano
Giona *University of Rome*, Gianfranco Basti and Antonio Perrone
Pontifical Gregorian University, and Eros Pasero *University of Rome*
- 2:20 PM to 2:40 PM
"Neural Networks with Periodic Outputs: Applications to the
Recognition of Temporal Sequences of Pattern" Paul Bourret
University of Maryland, College Park and Onera-Cert/Dei
- 2:40 PM to 3:00 PM
"Sensitivity of Layered Neural Networks to Errors in the Weights"
Maryhelen Stevenson, Rodney Winter, and Bernard Widrow *Stanford
University*
- 3:00 PM to 3:20 PM
"Programming Neural Networks: A Dynamic-Static Model" Yong
Yao and Qing Yang *University of California, Berkeley*
- 3:20 PM to 3:40 PM BREAK
- 3:40 PM to 4:00 PM
"An Improvement on Simulated Annealing and Boltzmann Machine"
Lei Xu *Lappeenranta University of Technology*
- 4:00 PM to 4:20 PM
"Modeling of Fault-Tolerance in Neural Networks" Lee A. Belfore II,
Barry W. Johnson, and James H. Aylor *University of Virginia*
- 4:20 PM to 5:00 PM, INVITED TALK
"Simulated Annealing Feature Extraction from Occluded and
Cluttered Objects" Harold Szu and Kim Scheff *Naval Research
Laboratories*

**Exhibition Hall and Evening Schedule
Poster Sessions and Exhibits**

**9:00 AM to 12:00 PM
Press Preview of Exhibit Hall**

During this time, only members of the press will be admitted to the Exhibit Hall. Vendor representatives will be on hand to answer questions about their exhibit displays.

**12:00 PM to 1:00 PM
Deli Luncheon**

A catered deli luncheon will be provided in the Exhibit Hall available to all registered attendees on a first-come, first-served basis.

**12:00 PM to 6:00 PM
Exhibit Hall Open**

Vendor exhibits will be open all afternoon. Regular attendees (not students or one-day attendees) should plan to stop by the Lawrence Erlbaum & Associates booth to pick up their copy of the Conference Proceedings. Students and others who would like to purchase a copy of the Proceedings may also do so at this booth whenever the Exhibit Hall is open.

**2:00 PM to 5:00 PM
Poster Sessions**

Poster authors should put up their posters during the lunch break from 12:10 PM to 2:00 PM. Volunteers will be on hand at each of the two poster areas to help you locate your poster board. They will have staplers and supplies to assist you.

Poster authors should plan to be by their poster during the period indicated below, either from 2:00 PM to 3:30 PM for those whose poster is in Poster Area 1, or from 3:30 PM to 5:00 PM for those whose poster is in Poster Area 2.

All posters must be removed between 5:00 and 6:00 PM, when the Exhibit Hall closes for the day. Any posters not removed by 6:00 PM will be removed by the meeting staff and discarded.

Poster sessions for today are:

**2:00 PM to 3:30 PM
Poster Area 1
Learning Theory**

**3:30 PM to 5:00 PM
Poster Area 2
Robotics
Machine Vision
and
Speech and Signal Processing**

**Evening Plenary Session
Regency Ballroom**

**7:00 PM to 8:00 PM
Plenary Lecture
Bernard Widrow
Stanford University and President of INNS**

**8:00 PM to 9:00 PM
Plenary Lecture
Nobel Laureate David Hubel
Harvard Medical School**

Wednesday

IJCNN Daily Schedule
Wednesday, January 17, 1990

Regency Ballroom
Special Sessions

8:30 AM to 12:30 PM
Self-Organizing Neural Architectures
Invited Lectures

Gail Carpenter and Stephen Grossberg, Moderators

8:30 AM to 9:10 AM

"Time—The Essential Dimension" Carver Mead, *California Institute of Technology*

9:10 AM to 10:10 AM

"Self-Organizing Neural Architectures for Motion Perception, Adaptive Sensory-Motor Control, and Associative Mapping" Stephen Grossberg *Boston University*

10:10 AM to 10:50 AM

"ART 3 Hierarchical Search: Chemical Transmitters in Self-Organizing Pattern Recognition Architectures" Gail A. Carpenter and Stephen Grossberg *Boston University*

10:50 AM to 11:10 AM

"Self-Organizing Analog Fields (SOAF)" Fred Weingard *Booz-Allen & Hamilton*

11:10 AM to 11:50

"Characteristics of Neural Population Codes in Hierarchical, Self-Organizing Vision Machines" Ken Johnson *Hughes Research Laboratory*

11:50 AM to 12:30 PM

"Spatiotemporal Pattern Segmentation by Expectation Feedback" Robert Hecht-Nielsen *HNC Corporation*

12:30 PM to 2:00 PM

LUNCH

2:00 PM to 5:00 PM

Government Research Perspectives Panel
Harold Szu, Moderator

With representatives from Japan's HFSP Program, Europe's ESPRIT Program, and the U.S. HPCT and Funding Appropriations Committees in the Senate and House of Representatives.

Evening Plenary Session

Regency Ballroom

7:00 PM to 8:00 PM

Plenary Lecture
Nobel Laureate Gerald Edelman
The Rockefeller University

8:00 PM to 9:00 PM

Plenary Lecture
Nobel Laureate Leon Cooper
Brown University

Palladian Room
Applications Track

8:30 AM to 12:10 PM
Real World Applications I Session
Igor Aleksander, Moderator

8:30 AM to 8:50 AM

"Pattern Recognition of Handwritten Phonetic Japanese Alphabet Characters" Kazuhito Haruki and Hisaaki Hatano *Toshiba Corporation*

8:50 AM to 9:10 AM

"Setpoint Control Based on Reinforcement Learning" Aloke Guha and Anoop Mathur *Honeywell*

9:10 AM to 9:30 AM

"Vector Pair Correspondence by a Simplified Counter-Propagation Model: A Twin Topographic Map" Lei Xu, Erkki Oja *Lappeenranta University of Technology*

9:30 AM to 9:50 AM

"Fish Detection and Classification Using a Neural-Network-Based Active Sonar System—Preliminary Results" N. Ramani, P.H. Patrick, W.G. Hanson, and H. Anderson *Ontario Hydro Research Division*

9:50 AM to 10:10 AM

"Smiles Parity and Feature Recognition" J. M. Minor and R. L. Waterland *E. I. DuPont de Nemours & Co.*

10:10 AM to 10:30 AM

"Fault Tolerant Random Mapping Using Back Propagation" Kejitan Dontas, Jayshree Sarma, Padmini Srinivasan, and Harry Wechsler *George Mason University*

10:30 AM to 10:50 AM BREAK

10:50 AM to 11:30 AM, INVITED TALK

"An Overview of Weightless Neural Nets" Igor Aleksander *Imperial College, University of London* and H. B. Morton *Brunel University*

11:30 AM to 11:50 AM

"Comparative Performance Measure for Neural Networks Solving Optimization Problems" Peter W. Protzel *NASA Langley Research Center*

11:50 AM to 12:10 PM

"Optimization Search Using Neural Networks" Henzer Chen and Shuo-Jen Lee *G. E. Corporate Research and Development*

12:10 PM to 2:00 PM

LUNCH

2:00 PM to 5:00 PM

Real World Applications II Session
Charles Butler and Andrew Penz, Moderators

2:00 PM to 2:20 PM

"DASA/LARS: A Large Diagnostic System Using Neural Networks" Fred Casselman *GTE Government Systems*, and Jody DeJonghe *Acres Defense Communications Agency*

2:20 PM to 2:40 PM

"Robust Tracking Control of Dynamic Systems with Neural Networks" Stanislaw H. Zak *Purdue University*

2:40 PM to 3:00 PM

"Preliminary Development of a Neural Network Autopilot Model for a High Performance Aircraft" Gary M. Josin *Neural Systems Inc.*

3:00 PM to 3:20 PM

"Modular Back-Propagation Neural Networks for Large Domain Pattern Classification" Nagesh Kadaba, Kendall E. Nygard, Paul L. Juell, and Lars Kangas *North Dakota State University*

3:20 PM to 3:40 PM LATE SUBMISSION

"A CCD Neural Processor with 256 On-Chip Neurons" A. J. Agrawat, C. F. Neugebauer, A. Yaniv *California Institute of Technology*

3:40 PM to 4:00 PM

"A Special Purpose Neural Network for Scheduling Satellite Broadcasting Times" P. Bourret *University of Maryland*, F. Remy *ENSAE*, and S. Goodall *University of Maryland*

4:00 PM to 4:20 PM

"Scheduling by Self-Organization" Ahmed Hemani *Swedish Institute of Microelectronics* and Adam Postula *Royal Institute of Technology*

4:20 PM to 4:40 PM

"Neural Networks for Addressing the Decomposition Problem in Task Planning" C. L. Masti and David L. Livingston *Old Dominion University*

4:40 PM to 5:00 PM

"A Fault Tolerance Analysis of a Neocognitron Model" Qing Xu, Charles Jurgens, Begona Arrue, Jay Minnix, Barry Johnson, and R. M. Inigo *University of Virginia*

**IJCNN Daily Schedule
Wednesday, January 17, 1990**

Wednesday

Blue Room
Theory Track

**8:30 AM to 12:10 PM
Learning Theory I Session**

David Rumelhart and Bernard Widrow, Moderators

8:30 AM to 8:50 AM

"Error Functions to Improve Noise Resistance and Generalization in Backpropagation Networks" Javier R. Movellan *University of California Berkeley*

8:50 AM to 9:10 AM

"Incremental Backpropagation Learning from Novelty-Based Orthogonalization" Ken Otwell *Martin Marietta Laboratories*

9:10 AM to 9:50 AM; INVITED TALK

"Learning and Multi-Layered Networks" David Rumelhart *Stanford University*

9:50 AM to 10:30 AM; INVITED TALK

"Current Research Results in Learning Theory" Bernard Widrow *Stanford University*

10:30 AM to 10:50 AM BREAK

10:50 AM to 11:10 AM

"Back-Propagation Learning With Coarse Quantization of Weight Updates" P. A. Shoemaker, M. J. Carlin, and R. L. Shimabukuro *Naval Ocean Systems Center*

11:10 AM to 11:30 AM

"Backpropagation Improvements Based on Heuristic Arguments" Tariq Samad *Honeywell*

11:30 AM to 11:50 AM

"Learning Complex Mappings by Stochastic Approximation" D. Sbarbaro and P. J. Gawthrop *The University, Glasgow*

11:50 AM to 12:10 PM

"Connectionist Pushdown Automata That Learn Context-Free Grammars" G. Z. Sun, H. H. Chen, C. L. Giles, Y. C. Lee, and D. Chen *University of Maryland*

**12:10 PM to 2:00 PM
LUNCH**

**2:00 PM to 5:00 PM
Learning Theory II Session**
Yoh-Han Pao, Moderator

2:00 PM to 2:20 PM

"Orthogonal Extraction Training Algorithm" Harold K. Brown, David F. Lange, and John L. Hart *University of Central Florida*

2:20 PM to 2:40 PM

"Neural Networks in Statistical Classification" Andrew K. C. Wong and John O. Vieth *University of Waterloo*

2:40 PM to 3:00 PM

"MRIII: A Robust Algorithm for Training Analog Neural Networks" David Andes *Naval Weapons Center China Lake*, Bernard Widrow *Stanford University*, Michael Lehr *Stanford University*, and Eric Wan *Stanford University*

3:00 PM to 3:20 PM

"Tree Net: A Dynamically Configurable Neural Net" John A. Nevard *University of California Los Angeles*

3:20 PM to 3:40 PM BREAK

3:40 PM to 4:00 PM

"Information Storage Matrix Neural Networks" R. L. Waterland and N. Samardzija *E.I. du Pont & Co.*

4:00 PM to 4:20 PM

"A Model of the Neural Network Based on the Local Interaction Hypothesis and Two-Stage Modeling of Long-Term Enhancement" Hiroaki Kitano *Carnegie Mellon University*

4:40 PM to 5:00 PM; INVITED TALK

Title To Be Announced C. L. Giles *NEC Laboratories*

Exhibition Hall
Poster Sessions and Exhibits

**12:00 PM to 6:00 PM
Exhibit Hall Open**

Vendor exhibits will be open all afternoon. Regular attendees (not students or one-day attendees) should plan to stop by the Lawrence Erlbaum & Associates booth to pick up their copy of the Conference Proceedings. Students and others who would like to purchase a copy of the Proceedings may also do so at this booth whenever the Exhibit Hall is open.

**2:00 PM to 5:00 PM
Poster Sessions**

Poster authors should put up their posters during the lunch break from 12:10 PM to 2:00 PM. Volunteers will be on hand at each of the two poster areas to help you locate your poster board. They will have staplers and supplies to assist you.

Poster authors should plan to be by their poster during the period indicated below, either from 2:00 PM to 3:30 PM for those whose poster is in Poster Area 1, or from 3:30 PM to 5:00 PM for those whose poster is in Poster Area 2.

All posters must be removed between 5:00 PM and 6:00 PM, when the Exhibit Hall closes for the day. Any posters not removed by 6:00 PM will be removed by the meeting staff and discarded.

Poster sessions for today are:

**2:00 PM to 3:30 PM
Poster Area 1**

Pattern Recognition and Analysis of Network Dynamics

**3:30 PM to 5:00 PM
Poster Area 2**

Neural and Cognitive Sciences and Brain Theory

Thursday

IJCNN Daily Schedule
Thursday, January 18, 1990

Regency Ballroom
Application Track

8:30 AM to 12:10 PM
Expert Networks Session

Claude Cruz and Douglas Reilly, Moderators

- 8:30 AM to 8:50 AM
"A Connectionist Network for Color Selection" James R. Chen
University of California, San Diego, Richard K. Belew University of California, San Diego, and Gitta B Salomon Apple Computer
- 8:50 AM to 9:10 AM
"Compiling High-Level Specifications Into Neural Networks" P. Myllymaki, H. Tirri, P. Floreen, and P. Orponen *University of Helsinki*
- 9:10 AM to 9:30 AM
"Interfacing a Neural Network with a Rule-Based Reasoner for Diagnosing Mastitis" Jos F. Schreinemakers *Erasmus University of Rotterdam* and David S. Touretzky *Carnegie Mellon University*
- 9:30 AM to 9:50 AM
"Neural Networks as Forecasting Experts: An Empirical Test" Ramesh Sharda and Rajendra B. Pali *Oklahoma State University*
- 9:50 AM to 10:10 AM
"Fuzznet Towards A Fuzzy Connectionist Expert System Development Tool" Steve G. Romaniuk and Lawrence O. Hall *University of South Florida*
- 10:10 AM to 10:30 AM
"Integrating Neural Networks and Knowledge-Based Systems in a Commercial Environment" Joseph P. Bigus *IBM Corporation* and Keith Goosbey *University of Texas*
- 10:30 AM to 10:50 AM BREAK
- 10:50 AM to 11:30 AM, INVITED TALK
"Risk Assessment of Mortgage Applications with a Neural Network System: An Update as the Test Portfolio Ages" Douglas Reilly, Edward Collins, Christopher Scofield, and Sushanto Ghosh *Nestor*
- 11:30 AM to 11:50 AM
"Deductive and Inductive Learning in a Connectionist Deterministic Parser" Kanaan A. Faisal and Stan C. Kwasny *Washington University*
- 11:50 AM to 12:10 PM
"Artificial Neural Networks for Multiple Criteria Decision Making" Jun Wang and B. Malakooti *Case Western Reserve University*

12:10 PM to 2:00 PM
LUNCH

2:00 PM to 5:00 PM
Robotics Session

Daniel Bullock and George Works, Moderators

- 2:00 PM to 2:40 PM, INVITED TALK
"FLETE: An Opponent Neuromuscular Design for Factorization of Length and Tension" Daniel Bullock and Stephen Grossberg *Boston University*
- 2:40 PM to 3:00 PM
"A Self-Regulating Generator of Sample-and-Hold Random Training Vectors" Paolo Caudiano and Stephen Grossberg *Boston University*
- 3:00 PM to 3:20 PM
"Manipulator Control Using Layered Neural Network Model with Self-Organizing Mechanism" Shinya Hosogi *Fujitsu Limited*
- 3:20 PM to 3:40 PM BREAK
- 3:40 PM to 4:00 PM
"Learning Aspect Graph Representations of 3D Objects in a Neural Network" Michael Seibert and Allen M. Waxman *MIT Lincoln Laboratory*
- 4:00 PM to 4:20 PM
"Model-Based Perceptual Grouping (MPG): A Cooperative-Competitive Approach to Shape Recognition in Neural Networks" J. Michael Oyster and Nancy B. Lehrer *Hughes Signal Processing Laboratory*
- 4:20 PM to 4:40 PM
"Neural Computation for Collision-Free Path Planning" Jun Park and Sukhan Lee *University of Southern California*
- 4:40 PM to 5:00 PM
"One-Class Generalization in Second-Order Backpropagation Networks for Image Classification" Mary M. Moya and Larry D. Hostetler *Sandia National Laboratories*

Palladian Room

Neural and Cognitive Sciences Track

8:30 AM to 12:10 PM

Sensorimotor Transformations Session

Rolf Eckmiller and Apostolos Georgopoulos, Moderators

- 8:30 AM to 9:10 AM, INVITED TALK
"Coding of the Direction of Reaching by Neuronal Populations" Apostolos Georgopoulos *Johns Hopkins University Medical School*
- 9:10 AM to 9:30 AM
"On the Role of Input Representations in Sensorimotor Mapping" Lina Massone and Emilio Bizzi *Massachusetts Institute of Technology*
- 9:30 AM to 10:10 AM, INVITED TALK
"Neural Networks for Generating Rhythmic Motor Patterns" Allen Selverston *University of California, San Diego*
- 10:10 AM to 10:30 AM
"DEFAnet—A Deterministic Approach to Function Approximation by Neural Networks" Wolfgang J. Daunicht *Heinrich-Heine-Universitaet Duesseldorf*
- 10:30 AM to 10:50 AM BREAK
- 10:50 AM to 11:30 AM, INVITED TALK
"Internal Representation of Space in Neural Networks of Primates and Other Sensorimotor Mapping Machines" Rolf Eckmiller *Heinrich-Heine-Universitaet Duesseldorf*
- 11:30 AM to 11:50 AM
"Learning Spatiotemporal Patterns in a Neural Network with Lateral Inhibitory Connections" Noboru Murata, Kenji Doya, and Shuji Yoshizawa *University of Tokyo*
- 11:50 AM to 12:10 PM
"Relationship of Visual Spatial Map and Saccadic Motor Map in Salamander" Gerhard Manteuffel *University Bremen*

12:10 PM to 2:00 PM
LUNCH

2:00 to 5:00

Special Session

Evolutionary Issues Relating to Neural Networks

David Stork, Moderator

- 2:00 to 3:00, INVITED TALK
"Intelligence and Evolution in Biology" Harry Jerison *University of California, Los Angeles*
- 3:00 to 3:40, INVITED TALK
"Preadaptation in Neural Circuits" David G. Stork, Scott Walker, Mark Burns, and Bernie Jackson *Stanford University*
- 3:40 PM to 4:00 PM
"Genetic Programming: Modular Neural Evolution for Darwin Machines" Hugo de Gans *George Mason University*
- 4:00 PM to 4:20 PM
"Optimizing Small Neural Networks Using a Distributed Genetic Algorithm" Darrell Whitley and Timothy Starkweather *Colorado State University*
- 4:20 PM to 4:40 PM
"Learning from Natural Selection in an Artificial Environment" David H. Ackley and Michael S. Littman *Bell Communications Research*
- 4:40 PM to 5:00 PM
"Cart Centering and Broom Balancing by Genetically Breeding Populations of Control Strategy Programs" John R. Koza *Stanford University* and Martin A. Keane *Third Millennium Venture Capital*

**IJCNN Daily Schedule
Thursday, January 18, 1990**

Thursday

Blue Room
Theory Track

8:30 AM to 12:10 PM
Analysis of Network Dynamics II Session
Morris Hirsch and Daniel Levine, Moderators

- 8:30 AM to 9:10 AM, INVITED TALK
"On the Amari-Takeuchi Theory of Category Formation"
Morris Hirsch *University of California, Berkeley*
- 9:10 AM to 9:30 AM
"Neural Networks Models for Linear Programming" Jean-Christophe Culioli, Vladimir Protopopescu, Charles L. Britton Jr., and Milton N. Ericson *Oak Ridge National Laboratory*
- 9:30 AM to 9:50 AM
"Colored Noise Annealing Benchmark by Exhaustive Solutions of TSP" Harold Szu *Naval Research Laboratory*
- 9:50 AM to 10:10 AM
"An Orthogonal Projection Type of Associative Memory" Kiyotoshi Matsuoka *Kyushu Institute of Technology*
- 10:10 AM to 10:30 AM
"State Evaluation Functions for Neural Networks and Possible Lyapunov Functions" Youichi Kobuchi *Ryukoku University*
- 10:30 AM to 10:50 AM BREAK
- 10:50 AM to 11:10 AM
"Nonlinear Dynamics of Analog Associative Memory Neural Networks" F. R. Waugh, C. M. Marcus, and R. M. Westervelt *Harvard University*
- 11:10 AM to 11:30 AM
"On the Learning Power of Networks with a Bounded Fan-In Layer" Haim Shvaytser *David Sarnoff Research Center*
- 11:30 AM to 11:50 AM
"An Efficient Algorithm for Annealing Schedules in Boltzmann Machines" Robert Richards *Stanford University*

11:50 AM to 2:00 PM
LUNCH

2:00 PM to 5:00 PM
Learning Theory III Session

Shun-ichi Amari and Jacob Barhen, Moderators

- 2:00 PM to 2:40 PM, INVITED TALK
"Neural Representation of Information" Shun-ichi Amari
Tokyo University
- 2:40 PM to 3:00 PM
"Expectation Driven Learning with an Associative Memory"
G. Lukes, B. Thompson, and P. Werbos *National Science Foundation*
- 3:00 PM to 3:20 PM
"A Neural Model of Interpolation or Interpolation with Blobs"
Alexander Shustorovich *Eastman Kodak Company*
- 3:20 PM to 3:40 PM BREAK
- 3:40 PM to 4:20 PM, INVITED TALK
"Adjoint-Operator Algorithms for Learning in Neural Networks"
Jacob Barhen, N. Toomarian, and S. Gulati *Jet Propulsion Laboratory*
- 4:20 PM to 4:40 PM
"A Method to Establish an Autonomous Self-Organizing Feature Map"
Russel E. Hodges and Chwan-Hwa Wu *Auburn University*
- 4:40 PM to 5:00 PM
"The Real-Time Classification of Temporal Sequences with an Adaptive Resonance Circuit" Albert L. Nigrin *Duke University*

Exhibition Hall
Poster Sessions and Exhibits

12:00 PM to 6:00 PM
Exhibit Hall Open

Vendor exhibits will be open all afternoon. Regular attendees (not students or one-day attendees) should plan to stop by the Lawrence Erlbaum & Associates booth to pick up their copy of the Conference Proceedings. Students and others who would like to purchase a copy of the Proceedings may also do so at this booth whenever the Exhibit Hall is open. Today is the final opportunity to either pick up your proceedings or purchase additional copies.

2:00 PM to 5:00 PM
Poster Sessions

Poster authors should put up their posters during the lunch break from 12:10 PM to 2:00 PM. Volunteers will be on hand at each of the two poster areas to help you locate your poster board. They will have staplers and supplies to assist you.

Poster authors should plan to be by their poster during the period indicated below, either from 2:00 PM to 3:30 PM for those whose poster is in Poster Area 1, or from 3:30 PM to 5:00 PM for those whose poster is in Poster Area 2.

All posters must be removed between 5:00 PM and 6:00 PM, when the Exhibit Hall closes for the day. Any posters not removed by 6:00 PM will be removed by the meeting staff and discarded.

Poster sessions for today are:

2:00 PM to 3:30 PM
Poster Area 1

**Application Systems
and
Implementations of Neural Networks**

3:30 PM to 5:00 PM
Poster Area 2

**Expert Networks
and
Real World Applications**

6:00 PM

Exhibition Hall Closes for Meeting

Vendors may tear down and remove displays Thursday, after 6:00 PM or Friday, 8:00 AM to 12:00 Noon. All display material must be removed by 12:00 Noon.

Friday

IJCNN Daily Schedule
Friday, January 19, 1990

Regency Ballroom
Application Track

8:30 AM to 12:10 PM
Vision Session

John Daugman and Ralph Linsker, Moderators

- 8:30 AM to 9:10 AM, INVITED TALK
"Recognition of Spatio-temporal Patterns with a Hierarchical Neural Network" Kunihiko Fukushima *Osaka University*
- 9:10 AM to 9:50 AM, INVITED TALK
"Using Information Theory to Guide the Design of a Perceptual System" Ralph Linsker *IBM Watson Research Center*
- 9:50 AM to 10:10 AM
"A Real-Time ART-1 Based Vision System for Distortion Invariant Recognition and Autoassociation" J. C. Rajapakse, O. G. Jakubowicz, and R. S. Acharya *SUNY at Buffalo*
- 10:10 AM to 10:30 AM BREAK
- 10:30 AM to 11:10 AM, INVITED TALK
"Networks for Motion and Texture Vision" John Daugman *Harvard University*
- 11:10 AM to 11:30 AM
"Textured Image Segmentation Using Localized Receptive Fields" Joydeep Ghosh, Nanda Gopal, and Alan C. Bovik *University of Texas, Austin*
- 11:30 AM to 11:50 AM
"A VLSI Implementable Handwritten Digit Recognition System" L. C. Agbo, R. Shankar, A. S. Pandya, and C. Naylor *Florida Atlantic University*
- 11:50 AM to 12:10 PM
"Computational Framework and Neural Networks for Low and Intermediate 3D Computer Vision" Ziqing Li *University of Edinburgh*

12:10 PM to 2:00 PM
LUNCH

2:00 PM to 4:00 PM
VLSI Implementations Session
Hans Graf and Dan Hammerstrom, Moderators

- 2:00 PM to 2:40 PM, INVITED TALK
"Analog VLSI Neural Nets for Pattern Recognition Applications" Hans Graf *AT&T Bell Laboratories*
- 2:40 PM to 3:20 PM, INVITED TALK
"System Design for a Second Generation Neurocomputer" Dan Hammerstrom and Eric Means *Oregon Graduate Center*
- 3:20 PM to 3:40 PM
"Multiplexed Charge-Based Circuits For Analog Neural Systems" L.W. Massengill *Vanderbilt University*
- 3:40 PM to 4:00 PM
"A Parallel Implementation of Kohonen Feature Maps on the Warp Systolic Computer" Richard Mann and Simon Haykin *McMaster University*

End of Meeting, 4:00 PM

Palladian Room
Neural and Cognitive Sciences Track

8:30 AM to 12:10 PM
Biological Neurons and Networks Session
Mark Bear and Tom Brown, Moderators

- 8:30 AM to 9:10 AM, INVITED TALK
"Chaos in the Biodynamics of Pattern Recognition by Neural Networks" Walter Freeman and Yong Yao *University of California, Berkeley*
- 9:10 AM to 9:50 AM, INVITED TALK
"Biophysical Model of a Hebbian Synapse" Tom Brown *Yale University Medical School*
- 9:50 AM to 10:10 AM
"Identification of Synaptic Connectivity Using a Hidden Markov Model" Xiaowei Yang and Shihab A. Shamma *University of Maryland*
- 10:10 AM to 10:30 AM BREAK
- 10:30 AM to 11:10 AM, INVITED TALK
"Possible Mechanisms of Experience-Dependent Synapse Modification in the Visual Cortex" Mark Bear *Brown University*
- 11:10 AM to 11:30 AM
"Neural Computation in a Vertebrate Adaptive Reflex System" W. T. Rogers *E. I. DuPont Company*, S. C. Dembinski *E. I. DuPont Company*, E. B. Graves *College of William and Mary*, K. M. Szyer *Royal Free Hospital*, A. R. Moser *E. I. DuPont Company*, and J. S. Schwaber *E. I. DuPont Company*
- 11:30 AM to 11:50 AM
"Some Similarities Between Single-Cell Recordings of the Motor Cortex and Neural Networks: Broad Tuning and (Possibly) Task-Modulated Changes in Neuronal Output" Larrie Hutton *Johns Hopkins University Applied Physics Lab*, Vincent Sigilitto *Johns Hopkins University Applied Physics Lab*, and James Sims *Johns Hopkins University Space Telescope Science Institute*
- 11:50 AM to 12:10 PM
"Feature Linking by Synchronization in a Two-Dimensional Network" G. Hartmann and S. Drue *Universitat Paderborn*

12:10 PM to 2:00 PM
LUNCH

2:00 PM to 4:00 PM
Neurobiology of Vision Session
George Sperling and David van Essen, Moderators

- 2:00 PM to 2:40 PM, INVITED TALK
"Parallel Systems of Visual Processing" George Sperling *New York University*
- 2:40 PM to 3:20 PM, INVITED TALK
"Information Processing Strategies in the Primate Visual System" David van Essen *California Institute of Technology*
- 3:20 PM to 3:40 PM
"A Multilayer Neural Network Modelling the Perceptual Reversal of Ambiguous Patterns" F. Masulli, M. Riani, and E. Simonotto *Universita' di Genova*
- 3:40 PM to 4:00 PM
"Collective Oscillations in Neuronal Networks: Functional Architecture Drives the Dynamics" D.M. Kammen, Philip J. Holmes, and Christof Koch *California Inst. of Technology*

End of Meeting, 4:00 PM

IJCNN Daily Schedule
Friday, January 19, 1990

Blue Room

Theory Track (morning)
Applications Track (afternoon)

8:30 AM to 12:10 PM

Pattern Recognition Session

Eric Schwartz and Kristof von der Malsburg, Moderators

8:30 AM to 8:50 AM

"Clustering Taxonomic Data with Neural Networks" Behzad Kamgar-Parsi *University of Maryland* and J. Anthony Gualtieri *NASA*

8:50 AM to 9:10 AM

"On the Optimality of the Sigmoid Perceptron" Bill Horne and Don Hush *University of New Mexico*

9:10 AM to 9:30 AM

"A Comparison of a Neural Network Based Estimator and Two Statistical Estimators in a Sparse and Noisy Data Environment" Reza Shadmehr and David Z. D'Argenio *University of Southern California*

9:30 AM to 9:50 AM

"Grammatical Inference and Neural Network State Machines" Y. D. Liu *University of Maryland*, G. Z. Sun *University of Maryland*, H. H. Chen *University of Maryland*, and Y. C. Lee *University of Maryland*, and C. L. Giles *Air Force Office of Scientific Research*

9:50 AM to 10:10 AM

"Why Two Hidden Layers Are Better Than One" Daniel L. Chester *University of Delaware*

10:10 AM to 10:30 AM **BREAK**

10:30 to 11:10, INVITED TALK

"Object Recognition in the Dynamic Link Architecture" Kristof von der Malsburg *University of Southern California*

11:10 AM to 11:30 AM

"Recognition of Spatio-temporal Patterns with a Hierarchical Neural Network" Takayuki Ito and Kunihiko Fukushima *NIJ Science and Technical Research Labs*

11:30 AM to 11:50 AM

"Reproducing Infinite Boolean Sequences. An Application of Hidden Markov Models to Connectionist Learning" A. Kehagias *Brown University*

11:50 AM to 2:00 PM

LUNCH

2:00 PM to 4:00 PM

Optical Implementations Session

Demetri Psaltis and Bernard Soffer, Moderators

2:00 PM to 2:40 PM, INVITED TALK

"A Photorefractive Optical Neural Network" Bernard Soffer *Hughes Research Laboratory*

2:40 PM to 3:20 PM, INVITED TALK

"Learning in Optical Neural Computers" Demetri Psaltis, David Brady, and Ken Hsu *California Institute of Technology*

3:20 PM to 3:40 PM

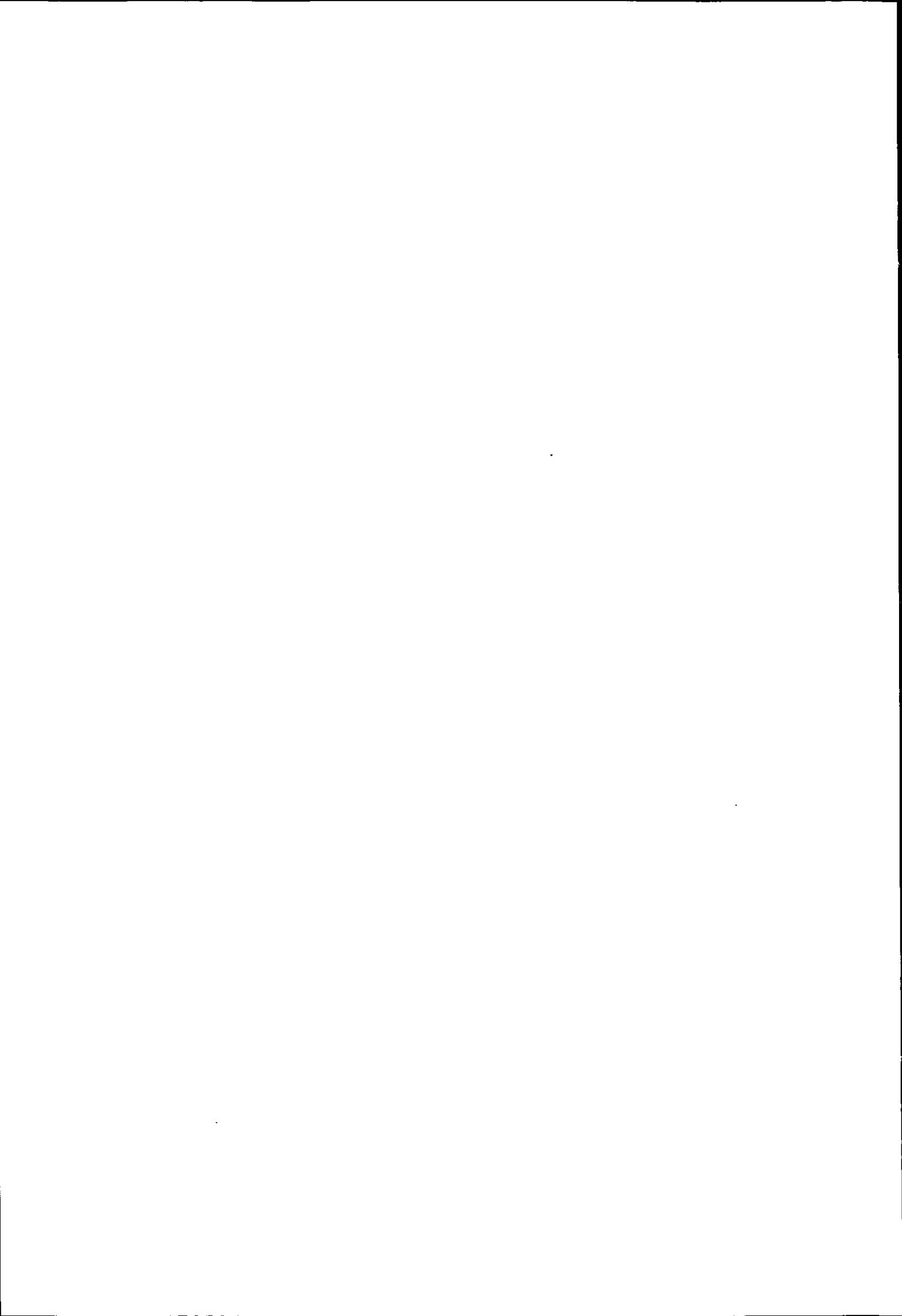
"Optically Implemented Hopfield Associative Memory Using Two-Dimensional Incoherent Optical Array Devices" Kazuhiro Noguchi and Toshikazu Sakano *NNT Transmission Systems Laboratories*

3:40 PM to 4:00 PM

"Optically Configured Phototransistor Neural Networks" Charles F. Neugebauer, Aharon Agranat, and Amnon Yariv *California Institute of Technology*

End of Meeting, 4:00 PM

IV. 太平洋通信會議報告



IV 太平洋通信会議 (PTC' 90) 報告

1 会議参加日 1990年1月15日(月)～16日(火)

2 開催場所 米国ハワイ州ホノルル市

3 参加目的

近年、情報処理と通信は不可分のものになりつつあり、90年代以降の高度情報化社会においては、両者の融合が必須のものになると考えられる。このような観点から、太平洋地域における最も有力な通信に関する国際会議である本会議において、「新情報処理技術に関する総合的調査研究」の中間結果を報告し、意見交換を行った。また、新しい情報処理技術と融合すべき通信技術の動向についても併せて調査を行った。

4 会議概要

参加した日程において開かれたセッションは、次のとおりである。

Session 1 1 国別概観

Session 1 2 市場問題

Session 1 3 太平洋地域における通信開発に対する財政

Session 1 4 高品位テレビ

Session 1 5 開発問題

Session 1 6 世界通信における主問題

Session 2 1 知的所有権に対する通信技術のインパクト

Session 2 2 国別概観Ⅱ

Session 2 3 広域設定の中てとらえた地域通信

Session 2 4 環太平洋地域における情報革命 90年代に何か起こるか

Session 2 5 規約問題

Session 2 6 太平洋通信市場における政策の変化と民間部門の市場

Session 3 1 太平洋における衛星の提案と開発

Session 3 2 ネットワーク I

Session 3 3 ファイバ光学 技術とシステム

Session 3 4 広帯域

Session 3 5 移動体通信

Session 3 6 日本における最新の話題

Session 4 1 VSAT技術とその応用

Session 4 2 ISDNの計画と実施

Session 4 3 移動体通信の最近の話題

Session 4 4 ネットワーク II

Session 4 5 ポスト広帯域時代の国内および国際データサービス

Session 4 6 新しい開発

この中の、セッション 3 6「日本における最新の話題」において、「新情報処理技術に関する総合的調査研究」の中間結果を発表し、意見交換を行った。

5 新情報処理技術の発表および質疑応答の概要

本発表を行ったセッションは、「環太平洋地域における電話普及への挑戦」、「日本における新しい共通通信媒体の誕生による競争の始まりー苦痛と喜び」と本テーマ「新情報処理技術と通信に基づく情報ネットワーク社会」の3つの発表から構成されていた。

本発表では、まず新情報処理技術の調査研究について、超並列・超分散処理、学習、光技術・新テハイスの3項目からなる基礎技術と、3次元情報処理、認識・理解、自律・協調の3項目からなる新機能技術の中間調査結果を、項目別に説明した。次に、ISDNや広帯域ISDN、FTTH (Fiber To The Home)等の低コスト・高品質・高速・大容量のネットワークの整備、家庭の端末による視聴者のTV番組への参加等の通信と放送の融合、移動体通信、等からなる通信技術の発展、OSや通信プロトコルの標準化が通信の分野で必要であることを示した。そして、これらの新情報処理技術と通信の統合か、将来の情報ネットワーク社会の構築を可能にすることを提唱した。

これ発表に対する質疑応答は次のとおりであった。

質問1 これからの国家プロジェクトのあり方について何か考えはあるか。

答え 従来の通産省のプロジェクトは、キャノチアノプ型のものか多く、日本単独で実行したものか多かった。今後は国際貢献の観点から、国際的に協力して技術開発を行って行ければ、と考えている。

質問2 通産省のプロジェクトがすべて成功するのはどうしてか。何か特殊なメカニズムがあるのか。

答え 特別なメカニズムはない。ただ、先にも述べたように、従来のプロジェクトはキャノチアノプ型のものか多く、見通しが比較的明確であったため、概ね成功に終わっているのではないかと考えている。

質問3 日本は過去に多くのプロジェクトを行って、様々な分野で米国を凌いできた。ただ、ソフトウェアの分野はまたまた米国の方が進んでいると思うか、今後この分野でも国家プロジェクトを行って、米国を追い抜くつもりはあるか。

答え そのような考えは持っていない。新情報処理技術のような開発を行うとすれば、国際的に協力して行きたいと考えている。

6 関連セッションの概要

(1) Session 2 4 環太平洋地域における情報革命、90年代に何か起こるか

Chair Paul B Silverman (Booz Allen & Hamilton inc)

Panelists Richard A Atkins (Telecommunications, McMillian Inc)

Patrick Greenish (Federal Express)

Michael Ford (British Telecom International)

情報サービスと技術は、多くの基幹産業における業務内容を根本的に変えつつあり、この流れは世界中に広がりつつあり、太平洋地域も例外ではない。このセッションでは、いかにして情報か仕事のやり方を変化させているかについて、製造業や健康管理など、基幹産業の幾つかを例にとって論じられた。新しい情報サービスの流れ、すなわち、EDI(Electronic Data Interchange)・ビテオ・画像処理システムとこれらかもたらす効果か、環太平洋地域を中心として論じられた。

(2) Session 3 2 ネットワーク I

Speakers Stephen E Lovas (Pacific Telecom Cable, Inc)
Kiyonori Kikuchi (Fujitsu Limited)
Robert F Kelly, Jr (Pacific Connection Incorporated)
George J Boughton (University of Guam)
Christopher Sivertz (Infosat Telecommunications Limited)

ネットワークの現状について、経済情報から光ファイバケーブルと衛星を組み合わせたハイブリッドネットワークの構成に至るまで、幅広く論じられた。具体的には、マルチヘンターネットワーク用の新しいゲートウェイプロセッサ、太平洋地域に既に存在するパケットネットワークを拡張することの効用と問題点、通信衛星 PALAPA を用いた新しい音声/データネットワークについてのユーザの見方、音声圧縮とデータ転送のためのハードウェアとソフトウェアによって可能になる市場の成長とサービス市場の拡大について発表された。

(3) Session 3 4 広帯域

Speakers Ian Goodwin (Broadcast Communications Limited)
Gary Kim (Multichannel News)
Richard Stevens (Marconi Command & Control Systems Limited)
Bruce L Egan and Douglas A Conn (Center for Telecommunications
and Information Studies)

現存するか開発されつつあるTV信号のスクランブル技術は、放送業・プログラマ・プライヘートネットワークのユーザで、信号の侵害か経済的あるいはセキュリティの問題になかる人々には、大きく関係する。Goodwin氏は、広帯域用に現在使われている多種多様な技術について紹介し、将来の開発動向について展望を述べた。Kim氏は、広帯域サービスとネットワークの動向について、CATVと電話会社各社の戦略を比較することによる検討結果を発表した。ここで特に興味深かったのは、広帯域サービス市場への挑戦に迎合するためにCATV産業で起こりつつある変化の概観であった。Stevens氏は、1990年代にpicture videotex サービスか導入される可能性についての検証結果を論じた。Egan氏は、家庭用の広帯域ネットワークの構築について、電話会社とケーブルTV会社間の競争かとうなるか

について評価するために、それぞれの産業の資金投資・収入・負債等の財政パターンと通信プラント技術についての解析結果を示した。

(4) Session 4 2 ISDNの計画と実施

Speakers Robert J Bockus (Telecommunications Services Planning Center)
Alfred A Andersen (AT&T Bell Laboratories)
Kazuhisa Hibino (NTT Corporation)
Hiroki Igarashi (NTT Corporation)

ISDNの提供する応用と技術的な問題についての考察が示された。特に、AT&Tのイリノイ電話会社向けの新しいISDN、NTTの個人用コンピュータネットワークとISDNによる拡張、NTTの商用ISDNサービスについて発表された。この中で、ISDNの番号付け計画についての合意を、CCITTにより設定された1996年より十分前に行わないと、太平洋地域で急速に開発されつつあるISDNシステムの国際的な互換性が保証されないことが指摘された。

(5) Session 4 5 ポスト広帯域時代の国内および国際データサービス

Chair John Krzywicki (Cambridge Strategic Management Group)
Panelists G L Crew (Hong Kong Telephone Co Limited)
Reynold Leconte (France Telecom)
Barry A Moul (International Digital Communications, Inc)

TPC-3/HAW-4と北太平洋光ファイバーケーブルの導入、太平洋半球における衛星の通信容量の増大、急速に発展した経済、ニューメディアとサービスと強いエンターセは、国際データ通信に影響する極めて重大な問題を生み出した。ここでは、これらについての政策、規制、ビジネス、技術が、現在あるいは将来の太平洋地域における通信の開発を前提として議論された。

(6) Session 4 6 新しい開発

Speakers Geoge Darby (Eidetic Technology, Inc)
Michael L Lubin (Pacific Communications Sciences, Inc)
Pierre Sery (Schlumberger Technologies)

TV会議に必要な技術をユーザが容易に取り扱えるようにするための技術開発、拡大する

移動体通信市場における問題点、新しいプリメイトカートンシステムの開発という3つのトピックスか、情報産業の製品とサービスの開発の最前線という観点から発表された。

7 感想

情報処理技術と通信技術には、共通の技術課題が多いことを実感した。例えば、光技術等のデバイス技術、計算機間のプロトコル、ヒューマンインタフェース技術等があげられる。90年代以降の情報ネットワーク社会においては、双方の技術の発展とともに、両者のより密接な融合が求められることであろう。本会議への参加は、両技術の接点についての情報収集、意見交換が出来たことから、非常に有意義であった。

[比留川 博久]

—— 禁無断転載 ——

平成 2 年 3 月 発行

発行所 財団法人 日本情報処理開発協会

東京都港区芝公園 3 丁目 5 番 8 号

機械振興会館内

TEL (432) 5405 (代表)

印刷所 三協印刷株式会社

東京都渋谷区渋谷 3 丁目 11 番 11 号

TEL (407) 7316

資 料

