

脳モデル超伝達機構

宗森 純[†] 岡田謙一[‡]

[†]和歌山大学 [‡]慶應義塾大学

人と人が向かいあってコミュニケーションするときとほぼ同じ情報を、遠隔地同士で伝達できるコミュニケーション技法を超伝達と呼ぶ。五感で得られる情報すべてを送る超伝達では、送信側で状況が許す限りの全ての情報を送り、受信側で必要に応じて情報を選択し統合する機構が必要である。

脳のなかでは、多種類の情報に分割し、それを統合して処理を行っている。そこで、脳の視覚情報処理をモデル化し、この脳モデルを参考にして多種類大量の情報を送信し、それを受信してから必要に応じてデータを取捨選択し統合する機構である脳モデル超伝達機構理論を案出した。主として Hubel と Wiesel の提案している V1 野細胞の階層モデルを参考にした。

Brain Model Hyper Communication Mechanisms

Jun MUNEMORI[†] and Ken-ichi OKADA[‡]

[†] Wakayama University, [‡] Keio University

We propose totally new communication technique, which is named the hyper communication. The hyper communication technique sends almost all kinds of data of environment, i.e. information of the five senses. If they communicate between remote places, they feel to communicate one another in the same place by using the hyper communication technique. The hyper communication needs two mechanisms. One mechanism is to analyze and divide all data of environment, and the other mechanism is to integrate and process the data selectively.

Human brain analyses many kinds of data about environment and it integrates data selectively and stratifiedly. We modeled the brain processing mechanism, especially vision mechanism to establish the hyper communication. We propose the brain model hyper communication mechanism, which analyzes environment data and integrates them selectively and stratifiedly. The brain model hyper communication is basically based on Hubel and Wiesel's stratified model of area V1 neurons.

1. はじめに

近年、高性能なパーソナルコンピュータの普及とインターネットの爆発的な広がりにより、複数の計算機でネットワークを介して協調作業を行うグループウェアの研究開発が盛んとなってきている。グループウェアではお互いがコミュニケーションを取りやすいようにすることが最重要課題の一つである。

電子会議の応用である遠隔ゼミナールでは、従来の対面のゼミナールと比較して1人あたりの指

導にかかった平均時間などには大差なかったが、対面独特の緊張感が弱まり、全体的に集中力がやや欠ける傾向にあることがわかっている[1]。これは遠隔地間の空間で作業を行う場合に画像や音声だけでは現実感をだすのは十分でないことを示している。そこで、少しでも現実感を出そうと五感を駆使したインタフェースの開発が進んでいる。既に感触を共有するシステムの開発[2]や匂いの共有の研究が行われている[3]。

環境や雰囲気などを多種類の情報に分割してネットワークを介して効率良く送り、それを再現

する仕組みが必要となってきている。また、数十台の計算機でのリアルタイムの協調作業が既に実現しているので[4]、今後は一桁、もしくは二桁うえの台数で、しかもモバイルコンピュータでの協調作業も必要になってくると思われる。つまり、最終的には大量で多種類でしかも常に接続されているとは限らず移動している計算機間のデータ転送を扱う必要がある。

人と人が向かいあってコミュニケーションするときとほぼ同じ情報を、遠隔地同士で伝達できる全く新しいコミュニケーション技法を超伝達と呼ぶことにする。五感で得られる情報すべてを送る超伝達では、送信側で状況が許す限りの全ての情報を送り、受信側で必要に応じて情報を選択し統合する機構を確立する必要がある。さらに、この機構は単に臨場感を伝えるだけではなく、電子化したからこそできる、より強調して雰囲気伝えることができなければならない。しかも、この機構は大量で多種類で、常に接続されているとは限らず移動している計算機間でも成り立たなければならない。

視覚系を例に脳の処理をみると、脳は外界の情報を明暗、動き、色などに細かく分けて処理をおこなっている。そして、各々に対応する細胞がある。例えば、背景が黒で文字が白の場合も、逆に背景が白で文字が黒の場合も同じ文字にみえるためだけに特化した細胞や錯視のある部分を抽出するための細胞などというものもある。視覚に関する細胞は数十億個もあるのであらゆる特化した細胞の存在が可能である。このように分析されて特化されたデータを色々なところで統合して、ヒトにはモノが見えている。つまり、一人の脳のなかで、多種類の情報に分割し、それを統合している。このことがグループウェアの通信に応用できるのではないかと考えた。そこで、脳をモデルとする超伝達機構の理論を検討した。

ヒトの場合、一人の脳の中で分析と統合するのに対して、脳モデル超伝達機構ではデータを通信の送信側で分析して送り、受信側でこれを統合することになる。いわば、ヒトの行っている処理を送信側と受信側とに分けた形となる。つまり本理論は従来のニューロコンピュータのように一人の脳のなかに閉じているのではなく、送り手と受け手とに分けて通信を間に挟んだところに新しさが

ある。

脳の情報処理を模擬してそれを計算機に応用しようとする試みは、近年のニューロコンピュータ研究の例をあげるまでもなく、戦後すぐのサイバネティクスが提案された昔から、過去何度となく繰り返して行われ、多大な成果をあげてきた[5,6]。しかし、これらはいずれも1台の計算機の中で脳の処理をまねるといことが主眼であり、その構造を複数の計算機を結ぶ通信の仕組みに応用しようとする試みはこれまでなかった。今回提案する超伝達は、脳の情報処理の仕組みを【通信】に応用しようという試みであり、従来の脳の工学への応用に関する研究と一線を画するものである。

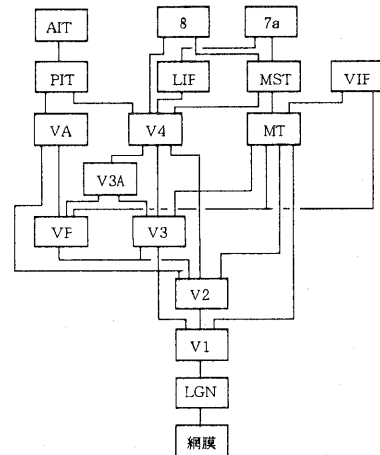
本報告では、脳の視覚情報処理をモデル化し、この脳モデルを参考にして多種類大量の情報を送信し、それを受信してから必要に応じてデータを取捨選択し統合する機構である超伝達機構の理論の基本的な部分について検討を行う。

2. 視覚情報処理の生理学的知見

視覚系は大きく分けて、眼球（とくに網膜）、外側膝状体(LGN:lateral geniculate nucleus)、大脳皮質視覚領(V1野)、およびより高次の視覚野(V2野以降)からなる。図1に簡略化した視覚諸領野間の神経結合の階層図を示す[7]。

(1) 網膜神経節細胞

眼球の底面には網膜があり、ここで光学系によって結ばれた像が神経系の電気信号に変換される。つまり、網膜は外界の像を電気信号に変換す



る部分である。網膜内ではアナログの電気信号が情報を伝えているが、網膜の出口である網膜神経節細胞では、デジタル信号（インパルス信号）となる。

特定の領域（受容野）を光で刺激するとそれに対応する神経節細胞がインパルスを発生する。神経節細胞の受容野のタイプには光を受容野にあてたときに発火するオン中心型と光を消したときに応答するオフ中心型とがある。受容野は円型をしており方向性はこの時点ではない。また、各々には持続的に発火するX型細胞と、過渡的に発火するY型細胞が存在する。つまり、大ざっぱに言って4通りの情報の伝達方法が存在している。X型細胞は形の処理に、Y型細胞は動きの処理に関係していると考えられている。インパルスの伝送速度もY型はX型より早くなっている。この段階で色の情報ははっきりとは現れていない。図2に神経節細胞のインパルス列（自発放電）の例を示す[8]。

(2) 外側膝状体(LGN:lateral geniculate nucleus)

外側膝状体（以下、LGN）は、網膜神経節細胞の出力を単にV1野に中継するだけではなく、視覚情報の通過を制御したり、なんらかの処理を行ったりしているものと考えられる。また、V1野からのフィードバック入力があると考えられている。LGNは層構造をもっている。層により入力を右眼もしくは左眼から受ける。LGN内ではインターニューロン（大脳に出力しない細胞）を含む抑制回路があることがわかっている。この抑制回路によりなんらかの処理をしていると考えられている。LGN細胞では、網膜神経節細胞のように自発放電をとるとガンマ型に分布する細胞以外にインパルスをバースト的に出力する細胞がある。これも各タイプの細胞にあるので、データの送信の観点から見れば、網膜神経節細胞の4通りに対して、LGN細胞では8通りの情報の伝達方法が存在している。

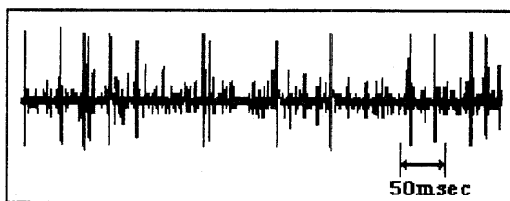


図2 網膜神経節細胞のインパルス列

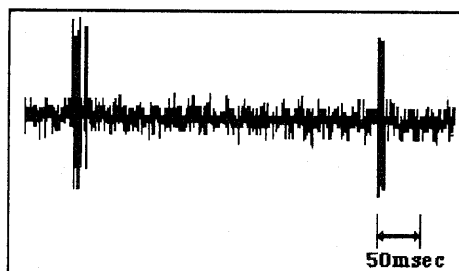


図3 バースト状に発火するLGN細胞のインパルス列

図3にバースト的に発火するインパルス例（自発放電）を示す[9]。

(3) 大脳視覚領第一次視覚野（V1野）

LGNから大脳への視覚入力は大部分、視覚領第一次視覚野（V1）に入力される。V1野の細胞は両眼から入力をうけるものが多い。大脳には柱状のコラム構造があり、ある方向には目優位性（どちらの目からの入力が支配的か）、それとほぼ直交して方位選択性がそれぞれ周期的に変化する。また、色光に対してよく反応する細胞もコラム構造をなしている。

V1野での細胞の特徴を、HubelとWieselは単純細胞、複雑細胞及び超複雑細胞の3つに分類している[10]。単純細胞はある特定の傾きをもったスリット光に対して最も反応する。複雑細胞は特定の傾きをもち、特定の方向に運動するスリットに対して、視野内のかなり広い範囲で反応する。超複雑細胞は複雑細胞に似ているが、たとえば特定の長さより長いスリットに対しては、方位、運動方向が最適であっても反応は抑えられる。HubelとWieselはLGN細胞、単純細胞、複雑細胞、超複雑細胞が直列的に接続していく階層モデルを提案している。図4は方向性のないLGNの同心円状の受容野が直線的にいくつか並び、その出力からある特定の傾きをもったスリット光に対してもっと

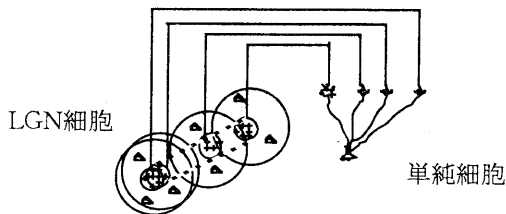


図4 HubelとWieselの階層モデル（部分）

も反応する単純細胞がつくられるメカニズムを示している。同様に複雑細胞はこの単純細胞が横に並列で並んでいて特定の傾きをもち、特定の方向に運動するスリットに対して反応する、と考えられている。超複雑細胞も基本的には複雑細胞の組み合わせで実現できるとしている。

(4) 高次の視覚野 (V2野以降)

V1野を囲むようにV2, V3, V4などの視覚前野と呼ばれる諸領域がある。これら諸領域はV1野から入力を受け取り、さらに高次な処理を行うと考えられている。V1野からMT野, MST野を経て7a野に至る経路ではパターンの運動情報が、V2野, V4野を経てAIT野に至る経路では色や形の情報が分析・統合されている。V1野, V2野, V3野は情報の分配センターの役割を果たしている。高次の視覚野は最近の研究ではさらに細かく別れ、複雑になっていることが分かってきたところである[6]。

3. 脳の処理と通信との対応

脳モデル超伝達機構理論を構築するためには、脳の処理とグループウェアにおける通信とを対応させる必要がある。そこで対応を検討した。

(1) 網膜：センサー (アナログ/デジタル変換デバイス)

網膜では外界の情報がアナログの電気信号に変換される。そして、網膜の出口である神経節細胞ではデジタル信号であるインパルス列に変換されLGNに伝えられる。

グループウェアの通信では画像、音声などの情報はもちろんのこと、センサーで検知された匂い、手触り、温度、湿度、地磁気、気圧などの五感のアナログの情報が通信の入力として使われる。これをデジタル化して送信することになる。従って、この部分は網膜および網膜神経節細胞の働きと似ている。

網膜神経節細胞は表面的には4種類の通信方法(オン型X型とY型, オフ型X型とY型)をもっているが、例えば色の情報などは陽に出ないで送られており、この4種類で多種類の情報を送ることができる可能性が十分考えられる。つまり、一つのデータのパターンに複数の種類の情報が隠されている。

(2) LGN：送信に必要な前処理をしてV1野へ送信

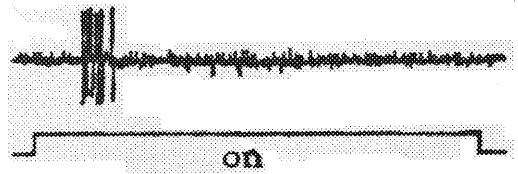


図5 LGNのバースト型インパルス列の刺激光に対する応答

LGNの特徴をみると、物理的に層構造していることがあげられる。層構造は多量、多品種のデータに対して情報をある程度整頓する前処理の意味があるかもしれない。

LGNで注目すべきは、インパルスのバースト状の発火である。複数のインパルスが常に一群となって発火し、光をあてるとあたかも同期するように発火する。図5に発火例を示す。光刺激を繰り返しても毎回、ほぼ同じ数のインパルスが刺激開始後数十ミリ秒～百ミリ秒後に現れる。これは網膜神経節細胞では図6のようになり、明らかに異なる発火形態である。

網膜での4通りの通信方法がLGNでは8通りに増えているので、なんらかの処理を行っているのではないかと考えられる。

そこで、このバースト状の発火に注目し、その応用を考える。

1)データの同期に利用

脳モデル超伝達機構では画面共有などのように同期が必要なデータと画像や音声のように、いわば流しっぱなしのデータを扱う。このうちの同期のメカニズムとしてバースト発火を検討する。これは図5で示したように、光を照射するとあたかも同期したように数発のインパルスが発生することにヒントを得たものである。

2)データの信頼性向上に利用

数発のインパルスを必ず発生することから、大事な情報は同じ情報を繰り返して確実に送り、途中での情報伝達のロスを防ぐことが考えられる。

3)データの強調に利用

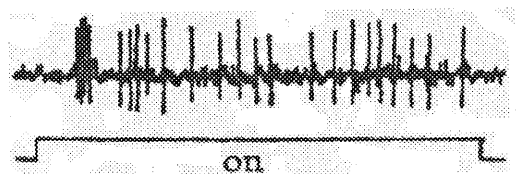


図6 網膜神経節細胞の刺激光に対する応答

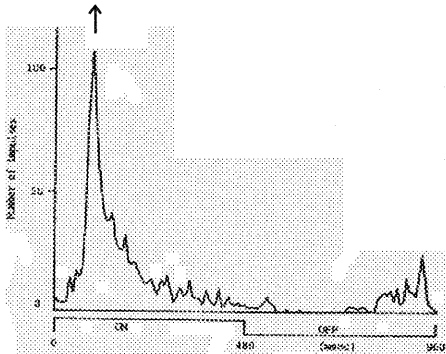
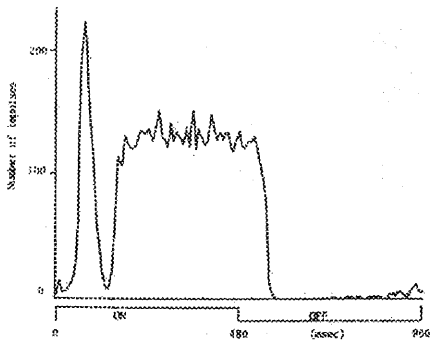


図7 光照射によるLGN-X型細胞(上)とバースト状のインパルス列を持つY型細胞の応答(下)

光を照射したときのバースト状の発火のタイミングとX型細胞の光照射による発火インパルス急増後に抑制され落ち込む時間が似通っていることから、データを強調するメカニズムに使えるかもしれない(図7参照)。ある情報を故意に少なくして他の情報を相対的に強調することに対応するかもしれない。

(3) V1野: 情報を受信、分析、統合そして送信
V1野はLGNから送られてくる情報の分析・統合を行っている。これはエージェントが行う情報の分析・統合に応用できそうである。さらにHubelとWieselの提案した理論である、関連のあるLGN細胞、単純細胞、複雑細胞、超複雑細胞が直列的に接続していく階層モデルはエージェントの階層化と親和性が高いと考えられる。

(4) 高次の視覚野(V2野以降): エージェントの階層化

V2野以降は、パターンの色や形、運動情報など、さまざまな情報が分析・統合されていることから、

これも階層化した多数のエージェントに対応させることができる。

4. 脳モデル超伝達機構理論

脳モデル超伝達機構では感情や雰囲気なども含む五感と言われるものをほとんど全部を、最終的には何百、何千の種類となるデータとして適切な形式で送り、受け取り手がエージェントを使って、その中から必要なデータを選択するような通信方式が基本と考えられる。

脳モデル超伝達機能理論の基本的な考え方を式で示す。

【送信側】

$$I = (x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, \dots, x_n) = \sum_{i=1}^n x_i \quad (\text{直和}) \quad (1)$$

$x_i = 1 \text{ or } 0, i=1 \text{ から } n$

ここでIは送信される情報全体、 $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, \dots, x_n$ は着目するパラメータとする。

この式は全ての情報を多種類のデータ、例えば、学習システムにおいて、学生aの顔(= x_1)、学生aの音声(= x_2)、全体の景色(= x_3)、匂いの情報(= x_4)、温度(= x_5)というようにわけて送ることを示している。

【受信側】

$$f_j(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, \dots, x_n) = (1, 0, 0, 0, 1, \dots, 0) \quad (2)$$

$j=1 \text{ から } m, x_i = 1 \text{ or } 0, i=1 \text{ から } n$

ここで $f_j(x)$ は入力から着目する項目を拾い出す関数とする。

(2)式の例では第1要素と第5要素だけに着目して、あとの要素は無視することを示す。つまり、 $1 \cdot f_j(I) = x_1 + x_5$ ということを示す。

(2)式は必要なデータの種類を選ぶ作業である。

【エージェントの処理】

$$A_i(I) = \sum_{j=1}^m F(I, f_j(I), j) \quad (3)$$

j は、エージェントの処理要素を表し、 F はエー

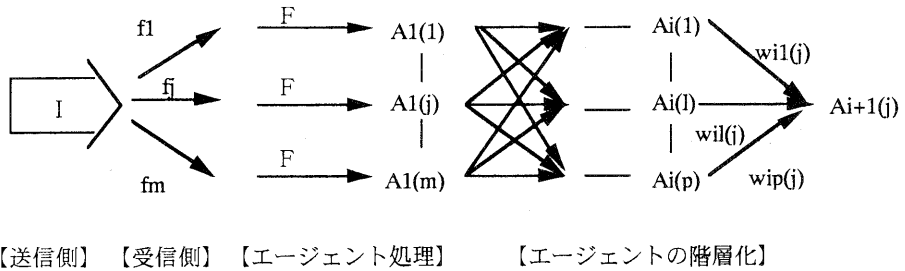


図8 脳モデル超伝達機構概念図

エージェントの初期処理（1階層目）を表す。

さらに、脳モデルではエージェントの処理は階層化される。これは何階層にもなる。

【エージェントの階層化】

$$A_{i+1}(j) = \sum_{l=1}^p w_{il}(j) \cdot A_l(l) \quad (4)$$

$l=1$ から p 、 $w_{il}(j)$ は各エージェントの処理における重みを示す。抑制効果に対応して負の値もとりうる。 i は何階層目かを表し、 $l=1, \dots, p$ はエージェントの第 l 階層目の処理要素を表す。

図8に脳モデル超伝達機構の処理の流れを示した図を示す。

5. おわりに

グループウェアの新しい通信方法に関して脳を参考にした脳モデル超伝達機構を検討した。主としてHubelとWieselの提案しているV1野細胞の階層モデルおよび構造を参考に検討した。理論構築後は、小規模なプロトタイプシステムを遠隔研究支援システムを基に構築し検討し、評価する予定である。

【謝辞】

本研究において多大なご協力をいただいた和歌山大学システム工学部デザイン情報学科今井敏行助教授に深く感謝いたします。

【参考文献】

- [1] 宗森 純, 吉田 竜, 由井園隆也, 首藤 勝: 遠隔ゼミナール支援システムのインターネットを介した適用と評価, 情報処理学会論文誌, Vol.39, No.2, pp.447-457(1998).
- [2] S.Brave, H.Ishii, and A.Dahley: Tangible Interfaces for Remote Collaboration and Communication, Proceedings of CSCW'98, pp.169-178(1998).
- [3] 太田憲治, 本田新九郎, 大澤隆治, 永野 豊, 重野 寛, 岡田謙一, 松下 温: 現実世界に近い仮想空間の構築, マルチメディア・分散・協調とモバイル(DICOMO'99)シンポジウム, pp.201-206(1999).
- [4] 吉野 孝, 井上 稔, 由井園隆也, 宗森 純, 伊藤士郎, 長澤康二: インターネットを介したパーソナルコンピュータによる遠隔授業支援システムの開発と適用, 情報処理学会論文誌, Vol.39, No.10, pp.2788-2801(1998).
- [5] 福島邦彦: 視覚の生理とパイオニクス, 電子通信学会(1976).
- [6] ATR国際電気通信基礎技術研究所編: 視聴覚情報科学, オーム社(1994).
- [7] 斎藤秀昭: 高次視覚中枢におけるパターンの運動情報のコーディング, 脳研究とニューロコンピュータ, 生物の科学・遺伝別冊 No.2, pp.24-33, 裳華房(1989).
- [8] 宗森 純: 工学博士論文, 論文表題「外側膝状体の神経回路網に関する研究」, 東北大第947号 (1984).
- [9] Jun Munemori, Ken-ichi Hara, Masayuki Kimura, and Risaburo Sato: "Statistical Features of Impulse Trains in Cat's Lateral Geniculate Neurons", Biological Cybernetics, 50, 3, pp. 167-172 (1984).
- [10] D. H. Hubel, T.N.Wiesel: Receptive Fields, Binocular Interaction and Functional Architecture in the Cat's Visual Cortex, J.Physiol.(London), 160, pp.106-154 (1962).