

ヒトの視覚をモデルにした知能システムの構築

唐澤信司
(電気工学科)

The Architecture of Visual Intelligence that is inspired from Human Vision

Shinji KARASAWA

This paper reports the architecture of visual intelligence that is inspired from human vision. Data on image in a retina depend on the direction of eye axis that is controlled by visual perception. An output of a neuron shapes an impulse. A pattern of concurrent plural activities of neurons is transferred into one activity by means of a neuron. An impulse is represented by an amount of electric charge. The intermittent activities in a nerve network carry out time-sharing operations. The image on a viewpoint and concurrent data on the posture of eyes are able to put together in a nerve network. A view field is organized by using address data linked to the data on picture of viewpoint and those linked to the data on posture. It makes possible to tune the viewpoint to activities of an object, and it makes possible to survey surroundings.

Key Words : Pattern recognition, Vision, Intelligence, Linguistic faculty, Brain mechanism, Impulse.

1. はじめに

ヒトは生物学存在として絶えず眼を動かし、その時々眼に入る映像を、過去の経験に照らして行動するしくみを持っている。本報告は、我々が意識せずに時分割で視覚している知能しくみを明かにし、監視装置などの設計製作に資することを目的にしている。生き物を理解するには「活動」を考えるとというのが本研究の発想である。

ヒトは情報を活動によって獲得し、活動する際に利用する。ところが視覚に関わる神経系の活動の多くは複数であり、意識できない。言語で表現された情報は神経回路の情報圧縮のしくみ経由して生み出されたものであり、そのシンボルは思考活動の道具にもなっている。

従来のコンピュータビジョンなど、パターン認識の研究においては、主にコンピュータの情報処理で行なう研究が進められてきた。最近では、眼球運動や視覚による行動の研究もなされている。しかし、これまでの視覚は静的であり、多くの未解決の課題が残されている[1]。

他方、著者は、インパルスが時分割で転送される回路網として脳神経系のモデルを考え、それを半導体集積回路で実現することを研究してきた[2], [3]。活動は非線形で解析ができないが、活動の存在は電荷の存在で示すことができ、その分布状況を識別の条件にして活動を選択的に転送する電子回路システムができる。インパルスの活動によれば、時分割で視覚の並列的な操作や相互作用を操作できる。1つの神経細胞においてはその入力

として複数の活動を一つの出力の活動に変換する。活動が半導体不揮発性メモリを用いて回路を接続できるので、複数の活動を一つの活動に変換する回路ができる。

著者は、これまで実世界における活動で獲得される知能を言語で表現する神経回路網の仕組みの解明に取り組み、外界の事物の出来事(活動)の属性による言語表現のルールを普遍文法として報告した[4]。そこでは、意味を持ち一人歩きできる言語は文章であり、文章は脳神経系内で活動を表現するので思考を可能にし、それが合理的な知性(rational intelligence)を育むとした。

他方、視覚に関する知能が複雑なプロセスに支えられていることもしたいに明らかになってきた[5]。しかし、今日のコンピュータは、外界に応じて制御されるしくみにはなっていない。

コンピュータを用いた従来のパターン認識では一つの中央処理装置(CPU)によりデータが中央集権的に処理される。そこでは、桁上げなどをフラグのデータの(1)として表わし、それを次の動作を決める条件に含めていて、活動状態を条件に活動するがそれはごく限られている。

生体では構成する全ての要素が必要に応じて直ちに制御されている。ハードウェアによる構成要素によって迅速に時分割の動作により操作される回路網にすれば可塑性を持つ脳に類似した機能を持つ知能装置ができる。

本報告の知能回路は生得的に与えられる機能を仮定せずに、全てを活動により自己組織化するところが新しい。

2. 視覚に関わるヒトの知能

2.1 活動による神経回路網の組織化

神経細胞の回路網で複数の活動を 1 つの組織的な活動にして認識する[6]。視覚の神経回路においては、部分画像が様々な分析成分を統合する神経回路を形成する際には同時に発生する事を条件にする。

映像のデータは迅速に照合されて、最終的にはある一つの神経細胞の活動に組織される際に各細胞は同じ位置を占められない状況に適応しなければならないので、それぞれの細胞が棲み分けて、各細胞は自然に多様化する。

生体では、感覚器から駆動器にいたる刺激を伝播する回路が活動と同時に形成されており、動作と共に画像が神経回路網に組み込まれ、その時間経過を記憶することにより画像に関する知識が獲得される。観測される映像が何を意味するかは記憶された経験によることになる。

2.2 ピント合わせをする視覚のしくみ

我々が 2 次元に投影された映像から奥行きを知るのは 3 次元の構造を推定している。ところがそのように映像から立体を知ることができるのは学習の結果であって、最初は、外界において事物の正確な奥行き距離を知らなければならない。眼球のレンズのピントを対象に合わせるには距離を知る必要がある。ピンを合わせた映像を得るのはかなり高等動物である。

ヒトは無意識のうちに両眼の視点を同じ点に合わせている。左右の視野は一つに合成されている。両眼で同じ視点を見るように視軸を合わせる操作は左右の映像を交互に並べる大脳の視覚野の機能が寄与すると考えられる。部分注視すべき部分画像を視野から切り出して指定する作業には、画像の認識を粗く行う必要がある。そこで、注目するとした物体の中心に眼球制御で視点を向ける。

両眼で同じ視点を見るには他方の眼に於いても視野の映像の認識処理を同様に行い、同じ対象物の映像を両眼で見るようにする。そのときの両眼視軸のデータから三角測量の方法で深さ方向の距離が求められる[7]。

動物は経験により距離を知りレンズの焦点をあわせることを習得する。監視装置では眼球制御のデータと注目

する点までの距離を求め、その注目点までの距離によりレンズの焦点距離を合わせる。

2.3 時分割の動作による視覚に関わる活動

視覚はダイナミックな機能であり、完全に網膜像を静止すると見えなくなることが知られており、網膜像は絶えず変化させている [8]。時間分割の眼球制御によって「固視」と「サッケード」を交互に行い、抽出した各々のデータを操作して周囲の状況を把握する。その際に全体の画像と視点の画像の映像を交互に固定して視野や視点を移動させるのでそれぞれのデータを一時保持する短期保持機能を備えておく必要がある。

カメラの姿勢制御の操作を行なって視野による視点の映像操作や視点による視野の操作などを行う知能を持つ監視装置では、時分割でデータを転送することや、短期間データを保持する回路が使われる。

2.4 活動単位によるデジタル的な状態遷移

インパルスによる迅速な神経細胞の活動の様子は意識できないが、活動の前後で「状態」は静止し、活動によって状態はデジタル的に変化する。大脳では活動状態を保持できるので活動状態の遷移を処理できる。

ここで、デジタル量とインパルス量は微分積分の関係で結ばれていて、デジタル的な状態変化はインパル的な活動の結果である。デジタル信号の状態遷移を時間微分するとインパル的な変化という活動が得られる。

同期したインパルス群が発火の条件とした生化学反応で活動が組織でき、それにより神経回路が形成される。この時に、発火条件が全て揃わないと出力のインパルスが発生しないことで解読機能が実現する(3.1 節)。

2.5 学習による距離感覚の獲得

我々は眼を閉じた時に目に映る映像は消失するが、手足の動作や音に関して 3 次元空間の感覚が浮かび上がる。我々は映像分析の回路とは別に 3 次元空間を認識するしくみを持っている。2 次元の映像だけで距離を知覚するのは視覚に関する経験により学習で得た能力である。

動物は自分の身体やその姿勢を中心として 3 次元空間に分布する刺激を実時間で採取し知覚している。

中脳の上丘の表層は視野の光刺激に反応し、中間層は光で刺激された部分に黄斑部を移動させる衝動性眼球運動を起こし、深層は視聴覚や体性感覚の情報統合に関与しているため [9]、入力した視点の映像は視軸や姿勢制御のデータと中脳の上丘で連結されると考えられている。

この 3 次元空間位置の認識活動と視点の映像をリンクさせることを繰り返すと遠いものは小さく見えることがルールとして認識される。既知の認識回路の活性化を認識するしくみがしばしば錯覚を生むことになる。

2.6 映像パターンが持つ意味の所在

動物の眼に映る映像に関係する神経系の活動は外部の実物の存在に起因し、それに関係する行動や活動の結果も実世界の出来事である。このように視覚による知能は現実において経験して獲得される。人間は集積した知識を言葉によって表現して思考するようになったが、動物は外界に関する知識を直接的に処理している。

パブロフが行った「ベルの音を鳴らしてから犬に餌を与えるとベルの音で唾液が出る」という実験 [10] において、神経回路はベルの音と餌が与えられる準備をする。ここで、「ベルの音に餌が与えられる」という意味をつけたのは「ベルを鳴らしてから餌を出す」ことである。

2.7 事実と認識の間の避けられない相違点

情報は脳神経回路によって作り出されるが、脳神経回路網の活動による情報の世界は実世界の出来事と合同ではない。情報化して時間を超越した過去の経験は現実に対処する際に利用する。情報は実時間から切り離された存在であり、繰り返し利用できる道具である。

アンリ・ベルグソン (1859-1941) は「今がやってくると思う時、それはまだ存在していない。今が存在していると思う時、それはすでに過ぎ去っている。」と述べた [11]。感覚器官は現実と接して機能しているが、神経回路網のなかで複数の活動が転送されてそれが情報化される頃には感覚器官に次の新しい刺激がやってくる。

2.8 生物の自己組織化のしくみ

多細胞生物を構成する細胞は遺伝子という道具を入れた細胞核を共通に持ちながら、細胞は各自の持ち場で活

動することにより細胞分化と個体の組織化を同時に行う。生物は同じ位置を占めることが出来ない。棲み分けることにより分化するとともに生態系を組織する。

人間は、活動を文章で表現して伝えており、文章は一人歩きで活動できて、知能の文章表現は共通の道具となる。その文章表現の言葉が思考を可能にした。

人間は言葉の世界を共有できるが、現実の世界では同時に同じ場所を占めることが出来ない。人間は理解を共有しながら個人個人はそれぞれの仕事を選び、その仕事を遂行することにより分業と組織化を実現している。

3. 視覚装置に用いる電子回路

3.1 活動単位群を解読する回路要素

神経系は「活動」を転送し、活動した軌跡を回路として残すことができる。その後、入力が再び同じ活動状態になった時にその回路が書き込んだ活動を再演する。デジタルデータのパターンの解読器をデジタル回路では、反転 (NOT) 回路を (0) のデータの配線に挿入した配線群を並列入力とした AND 回路で実現できる。

ここで、多数の並列配線群を一つの配線に接続して、信号源から負荷に「活動」を転送する回路を考える。

この時、信号源に活動がない時に、その結合が他の信号源の励起した刺激を吸収するとすれば、接続されている全ての信号源に活動がなければ、活動が出力されない。入力を一つの配線に多数のインピーダンスの大きな負荷を並列接続すれば、多数の端子に出力ができる。この接続群を用いて、電源と負荷を切り替えると、多数から 1 にあるいは 1 から多数へと活動を転送することができる。

3.2 データのパターンを変換する回路

多量の解読器を入力レジスタに接続して、それぞれ解読器の出力を別にするとう出力数が膨大になる。そこで、出力も符号器によって信号化してその信号を共通のバスに載せて時分割で処理すると配線数を少なくできる。

電子回路的な手法で符号器を作る際には、解読器と同様に接続点群を一点に接続して接地し、出力の符号のパターンを出力側から提供して書き込み、符号器としては接地した端子から入力を入れ、多数の接続端子群から出

力を取り出す。このようにしてパターン状のデータを変換するルックアップテーブル(LUT)の回路ができる。

[ルックアップテーブル(LUT)の書き込みと読み出し]

(H)レベルが入力する所の浮遊ゲート MOSFET が遮断されるので反転した入力信号で書き込む。そして、読み出しを非反転信号とすれば一致したインパルスが遮断されずに通過する解読器が自動的にできる[12],[13]。

他方、符号器の回路も解読器と同様に書き込むが、読み出し時には、信号を逆方向に流す。

図1に双方向性LUTの回路を書き込む時の回路構成を示す。また、図2.に双方向性LUTの回路を読み出すときの回路構成を示す。

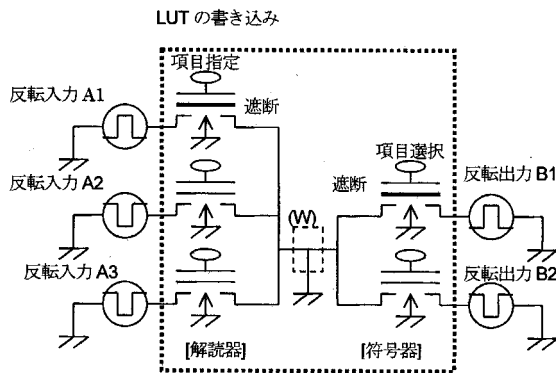


図1. 双方向性ルックアップテーブルの書き込み

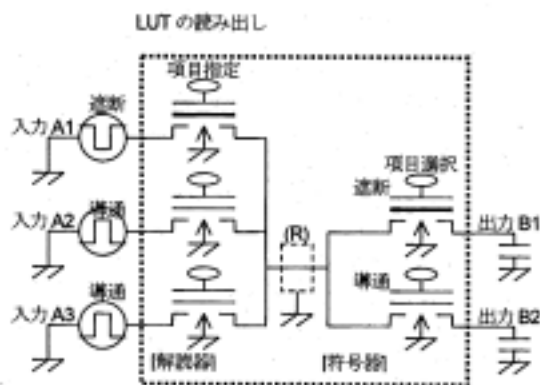


図2. 双方向性ルックアップテーブルの読み出し

信号源は通常、Hレベルの時にインピーダンスを通して出力され、Lレベルの時は低いインピーダンスで接地する。という条件の外付け回路では、接続されている信号源が

全てHレベルでなければ接続点の信号はLレベルの信号源に吸収されてHレベルにならない。

出力の負荷をコンデンサーとすれば、接続されている全ての素子に電荷を送って電圧が供給できて、この負荷群に解読器の出力を接続すれば符号器付き解読回路が実現する。

[書き込みと読み出しの切り換え回路]

読み出しは図2に示すように一点で結ばれる2つの端子群の一方に信号源群を接続し、他方の端子群に負荷群を接続する。ここで、信号源群を負荷群に切換え負荷群を信号源群に切換れば求心系回路が遠心系回路になる。

書き込みでは中央の解読器から符号器に接続するポイントを接地していたが、読み出しではこのポイントに負荷としてデプレッション形のMOSFETを接続し、Lレベルの時に切り換え回路の電源からの電流増加を防ぐ[14]。

3.2 視点の奥行きを測定する操作

カメラ操作を装置で行なう装置には視点を向ける対象となる部分画像の領域を切り出す必要があり、それには粗く視覚認識を行う必要がある。そのために次のプロセスを行う。

1. 異なる場所に2台のカメラを置く。
2. 1台のカメラの画像で特徴抽出を行う。
3. 特徴分析結果により視野を部分画像に区切る。
4. 部分画像の中から注目する部分画像を選択する。
5. 部分画像の中心点にカメラを向ける。
6. 部分画像のデータサイズの調整を行う。
7. 2台目のカメラを同じ中心点に向ける。
8. 2台のカメラの角度より位置のデータを採取する。

部分画像の区切り(segmentation)を行うために動画像の抽出や色フィルターなどの物理的な分析処理により特徴抽出(pre-attentive process)を行い、部分画像に区切る。切り出されたそれぞれの部分領域について注目すべき対象であるかをチェックする。そこで、注目に値すると判断された部分画像(focal attention)の中心点を求め、それを視野の中心点に移動

する。注目の物体の中心を視点に捕らえたときのカメラの視軸から3次元の空間的な位置を定める。

次に、位置を合わされた部分画像の形が過去にどのようなものであったかという認識の照合をする。時分割の動作で照合し、適合したさまざまな分析要素は時間を同じくするものが結びつけられ、分析を集積した結果によって出力すべき行動のパターンを指定する。

3.3 部分画像データと位置空間のデータとの対応

離れた位置に置いた2台のカメラで同じ物体を見ればそのカメラアングルにより3次元空間の位置が求められ、その物体の空間の位置座標が得られ、それを映像の分析結果に結びつけることができる。

図3. に部分映像の特徴と空間座標を統合するシステムのブロック図を示す。

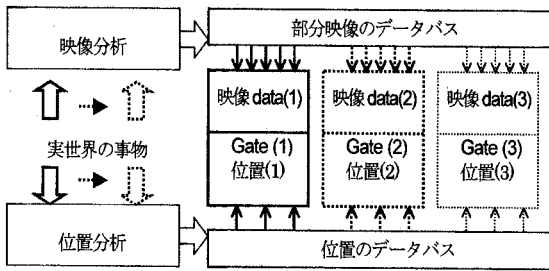


図3. 部分映像の特徴と空間位置を統合する回路

図3では3次元空間の格子点(x, y, z)をアドレスに持つ記憶回路素子群で構成した空間レジスタを準備して、活動状態を示すデータがあるポイントのアドレスがそのときの空間座標を示すことにする。

このレジスタの記憶回路素子に活動状態を示すデータを載せて、活動状態にされた空間座標のデータと分析結果のデータの両者を結びつけて表示する。

3.4 部分画像および空間座標のデータ圧縮

図1. および図2. に示すルックアップテーブルを用いて、空間座標に関するデータを登録番号に変換し、映像の形態の特徴抽出に関するデータを登録番号に変換する。

図4. にルックアップテーブルの書きこみ操作を示す。まず、図3. の回路で読み出しの操作を行う。読み出しの

照合により既存の回路で読み出しが出来ない場合に書きこみモードの動作にする。そこで、ルックアップテーブルの新たなアドレスを指示し、部分画像を解読器の入力に出力側に出力データを書き込む。

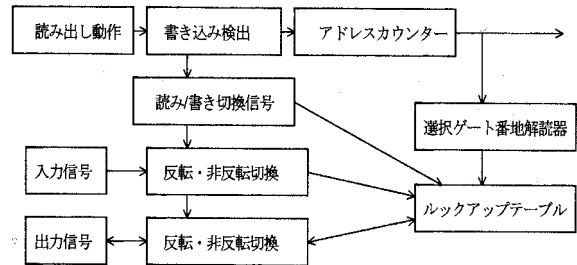


図4. ルックアップテーブルの書きこみ操作

図5. は空間配置データとその部分映像のデータを両者の登録番号に変換している。

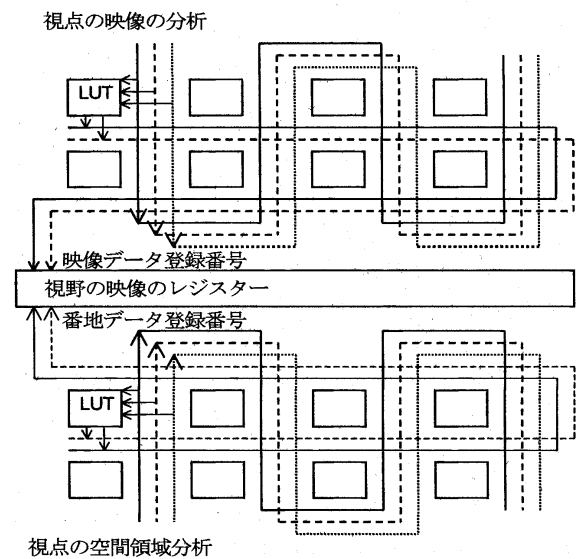


図5. 部分映像の特徴と空間位置を対応させる回路

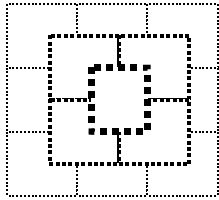
3.5 部分画像を認識するための規格化

同じ部分画像でも網膜に入力する画像のサイズは眼球とその画像との距離により異なる。そこで、セグメンテーションされた領域の空間的な範囲と中心を求め、その部分画像の範囲を規格のサイズにする縮小率(ピクセル)の数の縮小率)を求める。

そして中心点を合わせた規格化サイズの参照用の部分画像を記憶し、他方、入力部分画像はダウンサイジングす

る回路を通過させる。

縮小映像のデータは基盤状の画素を区切る境界線の交点の位置にあたる画素のデータはそれを囲む4コマの画素データから算出すれば1段で縦横1ビットの画像の縮小ができる。



抽出された認識対象物のピクセル数を規格化して、テンプレートマッチングするが、そのため必要なダウンサイジング率を求めることができる。

図6. ダウンサイジングの画像データ変換

図6. に周囲4コマのデータを用いて一つの画像データを求め、一行一列ずつ段階的に縮小画像をつくる方法を示す。指定された縮小率のパターンを入力データをデータベースに出力し、図3. に示すようにして記憶された様々なレファレンスを並列的に並べて一度に照合する。

4. 視覚組織の構築

4.1 視覚の活動の管制

情報伝達によって制御ができるから、大脳に情報を送る中継領域において大脳の活動を制御できる。視床では大脳の活動状態を監視して大脳への入力する刺激を制御することや、大脳の活動を身体の活動を駆動部に連結している。

大脳が視床を刺激する場合には次のケースがあり、

1. 大脳が分析の活動を開始した場合
2. 大脳から出力を指定した場合
3. 分析を終了した場合

視床が大脳を刺激する時には次のようなケースがある。

1. 特別な活動がなされずに走査する時
2. 緊急に分析が必要な刺激がきた時

これらの活動は時分割の操作で管制する。すなわち、刺激が来た時に状態に対応して操作する。

例えば、突然に音がしたような時には条件反射的に音源の方向に顔を向け、視覚によって、その音源は何かを確認し、もし緊急事態を示しておれば、直ちにその状況に対

処する。

一連のセットになった活動をしている時は行動を管制するレジスタに活動中であることを示して、その一連の活動が終了した場合にはそれを管制部に知らせる。他方、複数の活動がある時はそれらの重要性を比較して優先する活動を指定する。なにも刺激がない時にも、ルーチンの操作で周囲を監視する必要がある。

このような管制を脳神経系では視床において行なっている。その証拠の一つとして Rodolfo Llinas(1993)は、視床の髄板内核(ILN)から40Hzの信号が走査をして、各領域からのメッセージを受けていると報告した[15]。

4.2 意識を制御する回路と判断する主体の所在

気が付かなければ見過ごすというのが時分割操作による認識である。網膜に映る視野には多くのものがあるが、視点の領域に映し出される映像を通して実世界に存在するデータを抽出している。画像から何を抽出するかは意識の仕方から視覚に関する動作に依存する。

外界の変化に迅速に対応してしまえば、多くの時間は待機状態になり、周囲の状況を見回すことができる。視覚に関する活動が行なわれる領域は状況によって変化する。多細胞生物では、脳神経系の活動によりその時々のも最優先の活動を選び、全身を統括して行動させる。意識は一つのシンボルに統括された活動であり、間歇的に外部の状況に対応している。

最優先の動作を指令する神経細胞は状況によって異なる。神経細胞は同じ位置を占められないのでそれぞれが異なる機能を分担しており、指令する場所が一ヶ所に固定されてはいない。

ヒトを含めて生物は連携した生化学反応で生きている。身体を構成する全ての細胞が運命共同体である。個体で知能を持つ主体は何処かと問われれば、全体であると云える。こうして、環境が生物の活動を引き起こすし、生物の活動が環境の変化を引き起こす。生物は実時間で経験を紡ぐ歴史的な存在である。

4.3 視覚情報の組織化

視覚の分析結果を集積した状況を総合して状況を認識

して出力を指定する。別の分析結果の集合を認識とする別の出力回路が形成される。こうした視野の分析結果から出力を取り出す LUT 回路網を図 7. に示す。

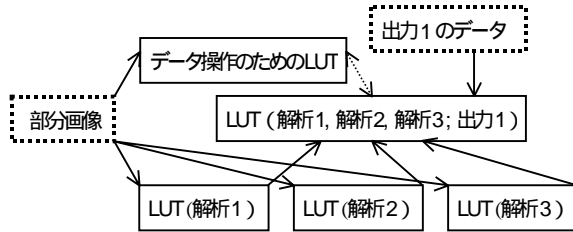


図 7. 分析結果を出力に変換する LUT 回路網

経験を重ねて、様々な LUT 回路が集積される。そこで、分析データ成分が異なるが同じ出力することもある。この場合のリンクを逆に辿ればその出力が具備する属性が見出される。

他方、異なる事物でも入力する分析データが同じとなって出力が同じになることもある。この粗い分類ではグループが同じでも、さらに詳細な条件で分析すれば相違するとして整理できる。このようにして映像の認識においても木構造が形成される。

4.4 調節遺伝子による知的活動の制御

視覚により外界の情報を時分割で収集して身体を制御する。眼に移る映像により知的な行動ができるのは、映像の時間経過を記憶しているからである。活動の部分集合を言葉のようなシンボルに置き換えて記憶すれば回路は簡単になる。

後天的に獲得した形質は自体は遺伝しないが、形質を獲得する道具である遺伝子は遺伝する。調節遺伝子は、酵素を複製する機能がある。調節遺伝子を連結すれば、該当する酵素が決められた順序で読み出されて、連結した反応を進行させることができる。

過って、遺伝子 FFOXP2 に異常が見られる家系で著しい言語障害が報告され、それが言語遺伝子と称された。これは、遺伝子の情報により酵素を出して、それが思考や言語の活動を円滑にすると考えられる。そこで、人間は思考や言語などの活動を頻繁に行うので、その活動を促進し、サポートする酵素のシリーズが、調節遺伝子と

して組み込まれたものと考えられる。現在のところ、タシク質の形とその働きに関する研究も盛んに進められている [16]。

5. 視覚システム的应用

5.1 テロ対策の監視システムの構成

応用例としてテロ対策用の無人監視システムを検討する。この装置では人物を検出するので、動く物体の画像を検出し、その動的な部分画像について、3.2 節のプロセスにより部分画像の位置およびサイズの計算を行い、人間ではない物などの部分映像を弁別する。

監視モニターにデータを表示する際には、レジスタのアドレスを部分画像の位置の値とし、そのアドレスに部分の映像に関する分析結果のデータを置く。

部分画像の分析には規格化された部分画像データを指定されたタイミングでレジスタに出力して、それをデータバスに載せることにより様々な分析ルールに照合して、条件の一致した解読器網の活動で部分画像を特定する。複数の画像認識を共通の平行母線に載せて解読器で振り分けるには、部分画像を特定するシンボルとしてカウンターの出力をアドレス（登録番号）として割り付ける。注目すべき部分画像を活動状態に登録しておいて、比較検討して 1 つの対応する行動を稼働させることができる。このシステムには次のプロセスが必要になる。

1. 動的な映像を抽出する。
2. 部分画像の区切り登録する。
3. 各部分画像の位置座標を求める。
4. 各部分画像のサイズを算出する。
5. 探索対象の具備する条件で部分画像を絞る。
6. 探索対象に該当しない画像を除外する。
7. 位置空間をアドレスに持つレジスタに部分映像の分析結果を書き込む。

6. あとがき

本報告では無意識で行われるヒトの視覚による知能のしくみを検討し、自然界から活動によって情報を獲得す

る過程を解明するとともに、ヒトの視覚と類似なくみを持つ装置を作ること検討した。脳神経系では活動の転送により、活動と同時に神経回路が形成される。神経回路は活動を迅速に転送し、時分割制御を行う。視覚が迅速に制御していることは片足で立っていて目を閉じると姿勢が極端に不安定なることでも確認できる。

視覚では視点を決める顔や眼球の姿勢制御と網膜に映る映像が連動していて映像（活動の部分集合）が間欠的に転送される。網膜に映る映像により神経回路網が活動して、何処に何があるかを示す活動や、特定の活動を実時間で追跡してその結果を記憶できる。

視覚による身体制御や行動は言語で生活する以前に動物が獲得したものである。意識できる活動を扱う領域は、活動を短期間保持できる大脳の活動であり、意識は一つのことにと統活させる大脳の連合野の役割によっている。複数の活動の転送により遂行される意識できない知的な活動として、全体のバランス感覚や総合判断力など重要な活動がある。

本報告では監視装置やロボットの頭脳の開発を目的に無意識で行われる視覚に関わる知能のメカニズムの解明を試みた。本文が人工頭脳の実現に寄与し、人間の理解や動物の知能の理解などに役に立てば幸いである。

参 考 文 献

- [1]小川英光編著: パターン認識・理解の新たな展開 - 挑戦すべき課題 , 電子情報通信学会, (1994).
- [2]S. Karasawa, and J. Oomori: *Impulse circuits for a distributed control inspired by the neuro-anatomical structure of a cerebellum*, ASME Press series on intelligent system through artificial neural networks, Vol. 10, pp.185-190, 2000.
- [3]唐澤信司: 人間の視覚及び聴覚神経系に類似したインパルス転送回路網モデル , 信学技報, HIP2003-77, pp.1-6, December, 2003.
- [4]唐澤信司: 神経回路に依る言語表現の構造と実世界の属性による言語の普遍文法 , 信学技報, TL2004-20, pp.5-10, December, 2004.
- [5]D. D. Hoffman: *Visual intelligence- How we can create what we see-* Brockman, Inc., 1998, 原淳子, 望月弘子訳: 視覚の文法 脳がものを見る法則 , 紀伊国屋書店, 2003.
- [6]S. Kauffman: *The search for laws of self-organization and complexity*, Oxford Univ. Press, Inc., 1995, 米沢富美子監訳: 自己組織化と進化の論理, 日本経済新聞社, 1999.
- [7]S. Karasawa: *The strategy of impulse driven working memory for visual perception*, Proc. of International Conference on Imaging Science, System, and technology, CISST'02, Las Vegas, Nevada, pp.729-735, June, 2002.
- [8]乾敏郎: Q&A でわかる脳と視覚-人間からロボットまで-, pp.16, サイエンス社 , 1993 .
- [9]R. A. Barker, and S. Barasi, and M. J. Nea: *Neuroscience at a glance*, Blackwell Science Ltd. 服部孝道監訳: 一目でわかるニューロサイエンス,” pp.53, 加サインインターナショナル, 2000.
- [10]I. P. Pavlov, *Experimental psychology and psychopathology in animals*, International Congress of Medicine, Madrid, April, 1903.
- [11] B. Magee: *The story of philosophy*, Dorling Kindersley Limited, London, 1998, 中川純男監修: 知の歴史, pp.214, BL 出版, 1999.
- [12]唐澤信司: 活動単位を電荷で転送して脳神経回路の機能を実現する回路網の構築法 , 信学技報, NC2004-2, pp.7-12, May, 2004.
- [13]S. Karasawa: *Activity transfer models for associative activities in a brain*, Proc. of the Language Sense on Computer, 8th PRICAI, pp.18-25, Auckland, New Zealand, August, 2004.
- [14]S. Karasawa: *Dynamic MOS circuits for neuro-morphic hardware implementation based on the paradigm of activity*, Proc. of CCCT Vol.5, Austin, Texas, pp.194-199, August, 2004.
- [15]R. Llinas and U. Ribary: *Coherent 40-Hz oscillation characterized dream state in humans*, Proceeding of the national academy of science of the United States, 90, pp.2078-81, (1994).
- [16]郷信広: 生物機能の担い手: タンパク質, 第14回「大学と科学」公開シンポジウム「生物の働きを生み出すタンパク質のかたち」 pp.16-27, クバプロ(株) 2000.