

## モーションメディアのコンセプト

平岩明 篠沢一彦 内田典佳 曾根原登

NTTヒューマンインタフェース研究所

現在のマルチメディアは、ビジュアルとオーディオを中心とした人間の受動的感覚機構に偏り、人間が本来の生活の中で行っている主体的な運動能力とその感覚をもっと生かすデバイスやサービスがあるべきなのではないかと主張したい。具体的には、人工現実感の研究分野におけるヒューマンインタフェースとしての人間の体の動作センシングや、人間操縦型のマスタスレーブロボット、移動ロボット等を筆者らは研究している。”仮想でない現実の動き”のある運動感覚、もしくは動作を基本としたこうしたメディアをモーションメディアと名付けそのコンセプトと概要について以下で述べる。

## CONCEPT OF MOTION MEDIA

Akira Hiraiwa Kazuhiko Shinozawa Noriyoshi Uchida Noboru Sonehara

NTT Human Interface Laboratories

Today's multimedia is partial to passive sensory mechanism of human being, such as visual and audio media. I propose that it should make the best use of motion ability and sense of motion which are used human daily life. We are studying human body sensing, master-slave robot, autonomous moving robot and e.t.c. as human interface of artificial reality. We call the motion sensing which has real motion and motion based media of human, "motion media". This paper describes concept and summary of the motion media.

## 1. はじめに

コンピュータシステムの進化にともなうマルチメディアの広がり、文字ベースに基づく旧来のコンピュータシステムを駆逐しつつある。特に文字、画像、映像、音声を統合化したコンピュータベースの狭義のマルチメディアは、ハードウェア、ソフトウェアとともにその躍進はとどまるところを知らないかのごとく見える。人間の視聴覚機構へフルに訴えかける狭義のマルチメディアとして、例えばCD-ROM デバイスを中心とした欧米の動きや、広義のマルチメディアとしての人間の感覚機構を総動員する仮想現実感や人工現実感へとその概念や考え方も広がりを見せている。こうしたマルチメディアの進展のなかでもすれば人間の視聴覚機構以外の感覚手段が忘れられがちなのではないかというのが筆者の主張である。つまりビジュアルとオーディオを中心とした人間の受動的感覚機構に偏り、人間が本来の生活の中で行っている主体的な運動能力とその感覚をもっと生かすデバイスやサービスがあるべきなのではないかと主張したい。具体的には、人工現実感の研究分野におけるヒューマンインタフェースとしての人間の体の動作センシングや、人間操縦型のマスタスレーブロボット、移動ロボット等を筆者らは研究している。“仮想でない現実の動き”のある運動感覚もしくは動作を基本としたこうしたメディアをモーションメディアと名付けそのコンセプトと概要について以下で述べる。

## 2. 動く指先：サイバーフィンガー

### 2.1 サイバーフィンガーのコンセプト

コンピュータ・システム等の機械に意志を伝えるために、通常は音声を使ったり、キーボード等を操作したりする。しかし、もっと人間の動作を直接伝える方法もありうるのではないか。近年人工現実感の分野では、例えばデータグローブ（図1）のようにユーザの手指の曲げ動作をコンピュータ入力する手袋型のツールがポピュラーであり、簡略化されたものはゲームコンピュータ用にも市販されている。ここで問題となるのが、入力装置として手袋状のセンサをユーザがいつも手にはめていなければならないということである。サイバネティクス研究の歴史を見直すと、生体から得られるEMG(Electromyography：筋電信号)を使ったヒューマ

ンインタフェースが考えられる。EMGのパターン認識技術により図2に示すような、電極、ニューロチップとも腕時計に内蔵したような手袋のிரらない手指動作認識ツールを具現化することも将来可能なはずである。これまでの機械と人間の関係をさらに進めて、利用者が機械を本当に思うがままに操れないか。ユーザが難しい訓練を積んで機械に合わせるのではなく、機械がユーザの意図に適応するインタフェースは作れないか。こんな発想から筆者らは、学習機械としてのニューラルネット（NN）という技術の活用を試みている。ここでは、手首の皮膚表面筋電信号（EMG）をニューラルネット（NN）で認識することによって、たかだか2chのEMGから5本指10関節の指曲げ角度を各関節独立に抽出することに成功した事例について報告する。

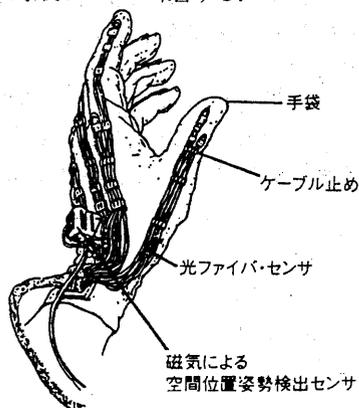


図1 データグローブ（VPL社）

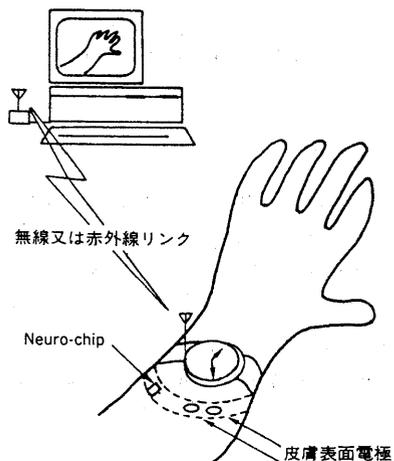


図2 サイバーフィンガーの将来構想

## 2・2 従来の筋電信号認識技術

皮膚表面から検出されるEMGを人工の手や義手のコントロールに用いることは、既にサイバネティクスの提唱者ウィナーによって考えられており、その後MIT等が開発したボストン・アーム、ユタ州立大学のユタ・アーム、早稲田大学のワームハンド等の実際的な義手が開発された(1)(2)(3)。しかし、ユーザが自由に操作しようとするには、装置が検出できるパターンに合わせて自分の身体のイメージ(ボディイメージ)を頭の中で作り、それに合わせて筋電を発生し指令する訓練を長期間しなくてはならなかった。このため、アーム側に利用者の指示する筋電パターンを学習させるシステムの研究が各所で行われた(4)(5)。しかしながら、パターンの学習・認識に従来の方法を用いた場合では、個人特性や皮膚表面電極の位置ずれや、ノイズに対する耐性が充分でないといった問題があった。

## 2・3 ニューラルネットによる筋電信号認識

前章で述べた問題を解決するために、既にLSIチップ化が始まっているNN、なかでもその有効性が数多くの例で実証されているバックプロパゲーション法をEMGパターンの識別に活用することを試みた。つまり、従来のユーザ自身のボディイメージの再構成を人工的なNNに肩代りさせて、NNの学習機械としての能力を活用しようというものである(6)。

## 2・4 動的連続指曲げ角度の認識

指曲げ動作を認識する筋電操作ハンドのなめらか

な制御のためには、動的な連続した指曲げ動作を連続値で認識する必要がある。ここでは、時系列のEMG信号に対して、観測窓をオーバーラップさせながら開いて、取り込んだFFTスペクトルパターンをNNで認識する手法を用いた。具体的には、図3に示すように以下の手法をとった。

(1) 被験者がランダムな指曲げ動作をある一定時間連続して行い、その間の動的かつ連続した時系列EMGを連続的に採取する。

(2) 同時にそのときの指曲げ角度をデータグループによって採取し、FFT処理したEMGパターンをNNへの入力、データグループによって得られた指曲げ角度を教師としてNNを学習させる。

(3) 学習終了後、未知の動的かつ連続した時系列EMGの認識結果を調べ、同時にデータグループによって検出された指曲げ角度と比較する。

このシステムでは、市販腕時計のプラスチック製バンドに2対の皮膚表面電極を装着して、1対は浅指屈筋上、残る1対は総指伸筋上となるように、時計をはめる位置に電極を装着した。

## 2・5 指動作認識特性

学習後のNNに同じ被験者、同じ電極位置で採取した未知の連続した時系列EMGパターン100パターンすなわち25[sec]の時系列EMGを与えたときの、人指し指第1関節に対するEMGによる指曲げ角度想起結果と、同時にデータグループから得られた指曲げ角度を図4に示す。図よりEMGの認識による指曲げ角度認識値と、データグループによる指曲げ角度認

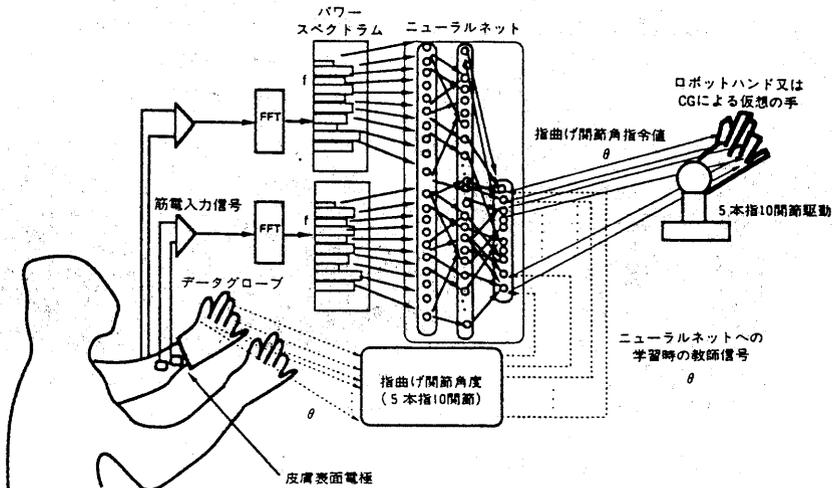


図3 サイバーフィンガーシステム概要

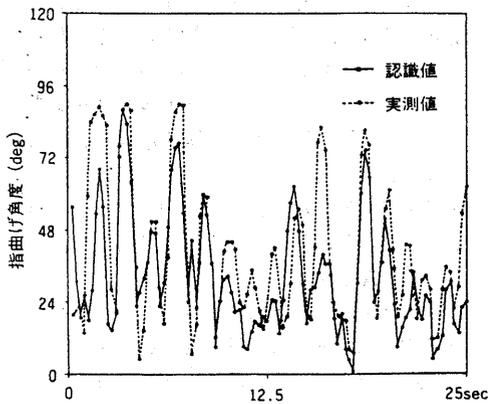


図4 人差し指第1関節曲げ角認識結果

識値が良く一致していることがわかる。親指、中指、薬指、小指の他の第1、第2関節においても同様な結果である。また各指各関節の指曲げ角度を独立に認識できた。さらに実験の結果、

(1) 前腕、上腕を動かしても、手首のEMGからの指曲げ角度の認識には影響無いこと、

(2) 電極位置は、手首直近及び手首から肘方向へ10cmの場所でも、ニューラルネットの学習時に電極装着した場所であればなんら問題無く認識が可能なこと、

(3) 経時変化として本システムを2時間弱使用しても、問題無く使用が可能なこと、  
がわかった。

## 2・6 サイバーフィンガーの今後の展開

サイバネティクスの歴史的遺産の一つとも言える筋電義手を再び見直し、ニューラルネット(NN)という新しい技術シーズの活用を試みた。従来例を

見ない5本指10関節の独立した動的連続指曲げ角度の認識を、NNによって簡便かつ精度良く行うことが可能なことが確認できた。また、ユーザのEMGパターン認識によって駆動する5本指10関節独立駆動のマニピュレータを製作し、その駆動に成功した(図5 a,b,c)。

本報告では、EMGによってスレーブハンドを制御する場合について示したが、実在するロボットスレーブハンドの制御だけでなく、コンピュータCGで作られた仮想の手の制御への応用や、情報家電としての携帯端末の入力装置への応用も将来可能であると考えられる。

## 3 動く視点：パーソナルボイジャー

### 3・1 パーソナルボイジャーのコンセプト

人間が自分自身のもつ視聴覚機構を遠隔地まで空間的に拡大し、かつ運動感覚もそれに連携して感じられる通信を介したトレイグジスタンス(7)をよりパーソナルにしたサービス、それがパーソナルボイジャーのコンセプトである。家にいながらにして、遠くの状態を体験したい、あるいは探索したいという要求を満たし、ユーザの目であり、手であり、耳であるような影武者のような道具である。

双眼CCDカメラやステレオマイクロフォンを搭載し、遠隔操縦もしくは、半自律的な移動のできる分身ロボット”モビルプローブ”は、ユーザの目や耳となって動き回り、ユーザは家庭やオフィスにある”モビルチェア”に座って、分身であるモビルプローブから通信チャネルを通して送られたステレオ立体視画像とステレオ音声情報をヘッドマウントドディスプレイ(HMD)とステレオヘッドフォンで、あるいは高視野高精細テレビとマルチチャンネル



(a) Cyber Fingerと電極装着したユーザの手(学習後筋電からロボットハンドを制御する様子)

(b) 中指を立てたところ

(c) ボールを把持したところ

図5 サイバーフィンガーの駆動

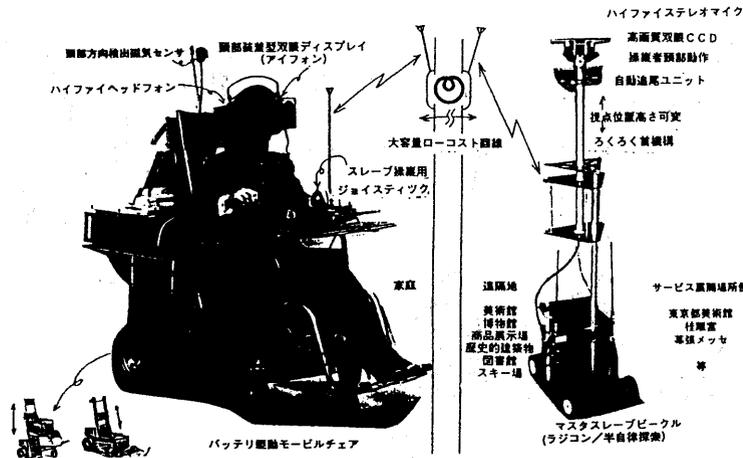


図6 パーソナルボイジャーの概要

スピーカーで受け取る。このとき、ユーザの頭の動きはプローブのカメラの動きに連動し、モバイルチェアの座面をボタンで上下すると、プローブの首が上下に伸び縮みして視点の高さを変えることができる。まさに動く視点、動く千里眼として人間の視聴覚機構と運動感覚を総動員するのがサービスコンセプトである(図6)。

### 3.2 パーソナルボイジャーの展開

パーソナルボイジャーのモバイルプローブは、ユーザの家から遠隔地にある景勝地や、文化施設、美術館、博物館に配置され、B-ISDN通信回線を介して、ダイヤル一つで接続し、モバイルチェアから遠隔地体験ができるという夢のサービスである(図7)。自分の部屋にいながらにして惑星探査機で惑星探検するかのごとく遠隔地の情景を自分の身をもって探索できるというわけである。

モバイルプローブは、自由空間内を走るモビリティを持った移動ロボットに限定する必要性は必ずしもない。例えば、天井等に線路を設置し、カメラとマイクを装備した列車状ロボットであったり、動くのは雲台のみで移動能力はなくても、複数台のカメラとマイクのセットをあちこちに設置する方法をとり、カメラの切り替えで疑似的な移動を行う方法もむろん考えられる。例えばNTTでは、カメラの方向を固定化した遠隔地のモニタリングシステムとして、既に“遠眼鏡”というサービスを行っている。

### 3.3 パーソナルボイジャーの問題点

テレグジスタンスサービスを公衆通信回線に接続したパーソナルボイジャーを考えるにあたり、いくつかの問題が考えられる。ここで、夢のサービスとしてコストやメンテの問題を除外して考えてみても、

- 1) モーションシックネスの問題
- 2) モバイルプローブの車体感覚の問題
- 3) モバイルプローブの対人問題
- 4) モバイルプローブの対物問題

等の問題が純技術的に考えられる。

1) のモーションシックネスとは、特にHMDを採用した場合に多く見受けられる問題だが、要するにHMDによるユーザの船酔いのような症状をいう。これは現在のバーチャルリアリティの分野でも隠れた大きな問題であるが、HMDで見た視覚情報と、本来あるべき運動情報のミスマッチングが主たる要因らしい。つまり、空間を運動しているかの視覚情報と3半器官で検出される運動もしくはGのずれが問題となり、長時間HMDをかけていると船酔い現象を起こしてしまう問題である。この問題の解決には現在もまだ取り組み中である。

2) のモバイルプローブの車体感覚の問題は、HMDにしても、通常のCRTにしても、その視野角が充分ない場合が多いため、モバイルプローブを操縦しているユーザが右に左にと操縦していると、段々モバイルプローブの車体が遠隔地でどちらを向いているかわからなくなる問題である。筆者らが作ったモバイルプローブでは、その視野内に当初プローブの車体が入らないため、蛇行したりユーザがきよる

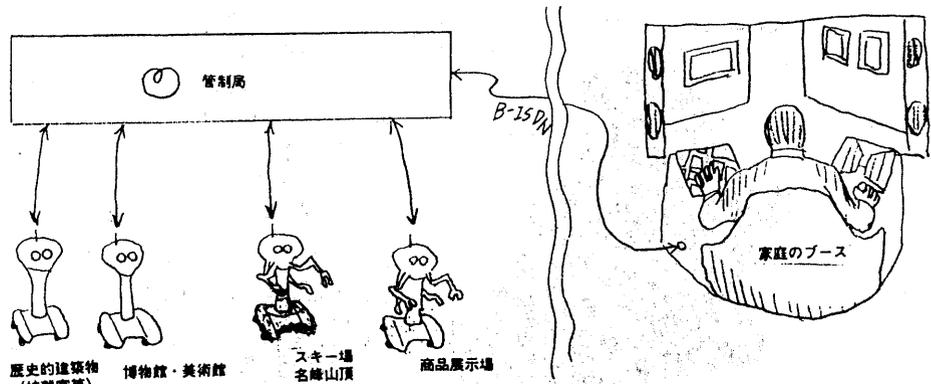


図7 パーソナルボイジャーのサービス

きよろすると方向感覚を無くしてしまう場合が多々あった。つまり、車体がどちらに向いているか失調してしまうわけである。この問題には、自動車によくやるように車体角面の指示棒をモバイルブローブにも立て、ユーザの視野内にブローブの車体方向を示すことによってある程度改善できた。

3), 4) のモバイルブローブの対人問題, 対物問題は, 実環境にロボットとしてのモバイルブローブが入って行くときのおおきな問題である。人や障害物との衝突問題を避けるには, モバイルブローブに超音波や赤外線センサを装備し, 障害物回避程度の自律的知能を搭載することが必要だろう。また, 実空間内を走行するモバイルブローブの他の対物問題に関与して問題となるのは, モバイルブローブの車体の大きさである。大きすぎでは通常の建築物内を自由に走行できないし, 小さすぎではカメラヘッドを人間の視野高さまで充分上げられない。筆者らの作ったモバイルブローブでは, 車体の大きさを人間の大人の床への投影面積と同じくらいにしてこの問題の解決を図った。しかし, より自律的で長時間走行可能なモバイルブローブを作るには車体サイズは拡大せざるをえず, 今後の問題となろう。

### 3・4 モーションメディアとしてのパーソナルボイジャー

以上, パーソナルボイジャーという夢のサービスを想定してコンセプトと問題を考えてみたが, B-ISDNが行き渡る21世紀には, こうしたサービスが実現することを祈ってやまない。散歩や散策といった人間の自然な行動様式が, 通信と結合したモーシ

ョンメディアの一つとしてパーソナルボイジャーのような形で花開いて欲しいと筆者は考えている。次節では, モバイルブローブの自律化をも想定した, 移動型ロボットのバスプランニングについて提案する。

## 4 動く頭脳: ALEM

実環境内で自立的に動き回る移動型ロボットは, 実環境をロボットが自ら獲得できるような機構を持つことが必要となる。人を含む環境は閉じている系ではないので, 宣言的や手続き的な知識として機械に完全に現実の世界環境を記述することは不可能である。もし, ロボットが現実世界と活動的な相互作用をすることによって, 自立的に環境を理解し制御できるのであれば, 新に遭遇する状態に対処できるように自ら変化させることができる。

### 4.1 自立学習機械 (ALEM)

環境と相互作用するためにセンサとアクチュエータを備えた自律学習機械を提案する。このモデルは, アクションとセンサのループの繰り返しによって, 仕事を達成するためにニューラルネットワークを用いて評価関数を学習する。この関数の状態を表す変数を固定し, 関数の最大点を求めることによって, 次のもっとも適したアクションを求めることができる。この学習機械モデルはニューラルネットワークの内部表現として外界モデルを獲得することができる。

ALEM 概念モデルを図8に示す。ALEM は, アクションA とセンサ入力S のループを基本とする。機械が周辺環境 (Environment) にアクションを与え, そのアクションが環境にある変化を生じさせる。その変化を $\bar{S}$

で表される情報で入力する。このベクトル $\vec{S}$ は、機械の状態を表す $S_M$ 、仕事への達成度を表す $S_I$ の2つの要素から構成される。例えば、自立走行車などの場合、 $S_M$ は空間における位置に相当し、 $S_I$ は目標地点からの距離に相当する。

機械のすべてのアクションは、位置として $\{A_x, A_y\}$ 、速度として $\{A_{V_x}, A_{V_y}\}$ 、力として $\{A_{f_x}, A_{f_y}\}$ のようなベクトル $\vec{A}$ として表わされる。アクションを決定するには、 $S_M$ を固定し、 $\vec{A}$ を変化させて評価関数 $R(=f(S_M, \vec{A}))$ を最大化し、 $R$ の最大点の $\vec{A}$ を次のアクションとする。

$$\vec{A}^t = \max_{\vec{A}} R^t = \max_{\vec{A}} f(S_M^t, \vec{A})$$

この学習過程において、 $R$ は一つ前の状態 $S_I^{t-1}$ と現在の状態 $S_I^t$ 、そして、一つ前のアクション $A^{t-1}$ を用いて、以下の式によって求められる。

$$R^t = \frac{S_I^t - S_I^{t-1}}{|A^{t-1}|} \quad (1)$$

この式は、目標に到達する割合をアクションの大きさによって正規化していることを示している。このモデルは $S_M^t$ と $\vec{A}^t$ の関係の事前知識がないので、機械は次式の $S_M^t$ と $\vec{A}^t$ と $R^t$ の関係を学習しなければならない。

$$R^t = f(S_M^t, \vec{A}^t) \quad (2)$$

## 4.2 計算機シミュレーション

式(2)の関数 $f$ を、ニューラルネットワークを用いて実現し、目標地点到達を行わせた例を示す。障害物のない2次元空間において、機械がその速度を制御でき、機械の位置と目標から出ている電波の強度を感知できる場合に、目標に到達する問題である。空間の大きさは、 $512 \times 400$ 、目標の位置は(256,200)で、出発点は(20,20)に設定した。機械の速度は、 $V_x, V_y$ それぞれ3.0から3.0まで連続的に変化させることができる。機械が最も速く目標に到着するアクションの回数は、99回である。しかしながら、問題は、機械がゴールの位置を知らないことにある。この課題において、 $S$ と $A$ はそれぞれ、 $\{S_x, S_y, S_i\}$ と $\{A_{V_x}, A_{V_y}\}$ を表す。 $(S_x, S_y)$ は、機械の位置を表し、 $(A_{V_x}, A_{V_y})$ は、機械の速度を表す。機械は、報酬を式(3)に従って、計算する。ここで、 $S_i^t$ は時間 $t$ における電波強度を表す。その電波強度は、目標からの距離に比例して変化するのではなく、非線形的に変化する。

$$R^t = \frac{S_i^t - S_i^{t-1}}{|A^{t-1}|} \quad (3)$$

シミュレーションの結果を図9に示す。この図は、アクションステップと、その時得られた報酬の関係を示している。報酬は、0.0から1.0に正規化してある。アクションステップは、機械が一つのアクションを起こすたびに一つずつ増加する。図9は、目標を通り過ぎてしま

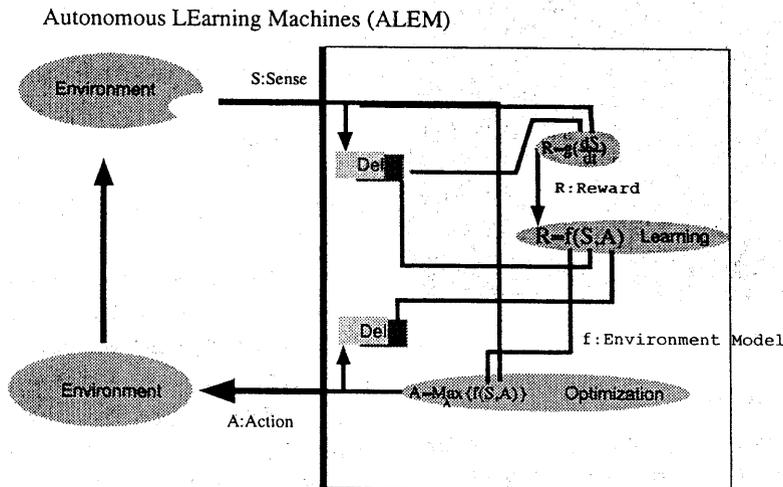


図 8: A-S Loop model

うことによって起こる2つの大きな谷があるが、アクションステップが大きくなるにつれて、平均して報酬が増加していることを示している。この場合、157ステップで、目標に達している。

この学習機械は、式(2)で示される現在の状況におけるアクションの適合度を学習しながら、目標に到達することを行う。従って、式(2)の最大点を示す $\{A_{V_x}, A_{V_y}\}$ は、目標地点に対する進むべき方向となり、全体は目標地点への地図となる。十分学習が行えた時には、図10にしめすような環境地図が作成される。

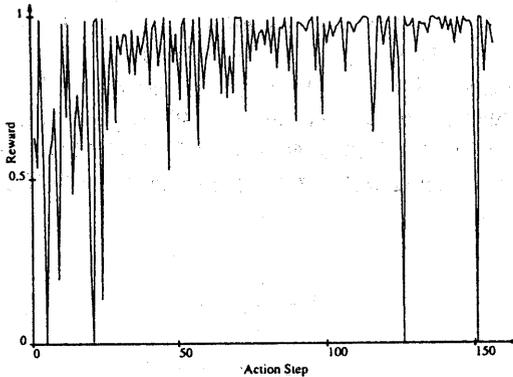


図 9: A reward toward action step

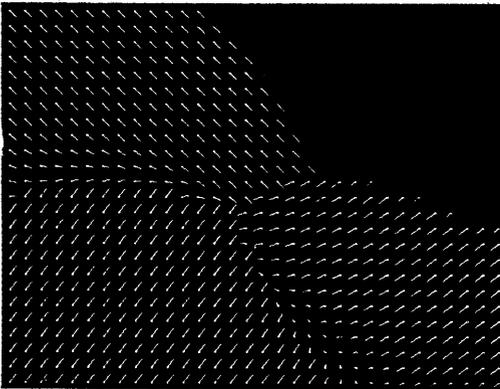


図 10: An optimal velocity map

#### 4.3 ALEM の課題

このように、環境と相互作用することによって環境のモデルを構築しながら、目標に到達する課題を達成するためには、学習アルゴリズムが局所的な情報から大域的な構造を推測できる機構を持たなければならない。検討

した課題の場合、機械は、電波の強度とその位置のみが与えられるだけである。その局所情報を用いることによって、大域的構造と評価関数の全体的な形を推測しなければならない。さらには、空間に障害物がある場合、すべての場所を探検することなく、少ないアクションステップで大域的構造を獲得するような発展型の学習機械のアルゴリズムが必要になるであろう。新たな学習アルゴリズムは、素早く大域的構造を獲得することがもつとも重要であろうと考えられる。

#### 5. あとがき

人間の手の動作センシングとして、皮膚表面筋電信号から指曲げ関節角度を認識する”サイバーフィンガー”，通信と結合したマスタスレーブロボット”パーソナルボイジャー”，環境地図を作製し、学習によって目標到達するロボットの知能メカニズム”ALEM”について提案し、モーションメディアの例としてそのコンセプトを提案した。今後、人間やロボットの主体的な運動能力を生かすメディアの考え方にも目を向ける必要があると主張したい。

#### 6. 参考文献

- (1) R. Mann, et. al.: Kinesthetic Sensing for the EMG Controlled Boston Arm, IEEE Trans. on Man - Machine Systems, March 1970, pp.110-115
- (2) I. Kato, et.al.: The evaluation method of rehabilitation devices-Field testing of powered forearm prothesis, WIME Hand-, Proc. of 6th Int. Symposium on External Control of Human Extermities, Dubrovnik Yugoslavia, pp. Sup.141-184, 1978
- (3) S. Jacobsen: Development of Utah Arm, IEEE Trans. on BME, vol.29, no.4, pp.249-269, 1982
- (4) 鈴木他: Link8を用いた筋電流パターンの学習識別, 医用電子と生体工学, vol.7, no.1, pp.88-95, 1969
- (5) N. Hogan: Myoelectric Signal Processing: Optimal Estimation Applied Electromyography-Part I: Derivation of the Optimal Myoprocessor, IEEE Trans. on BME, vol.27, no.7, pp.382-385, 1980
- (6) 平岩他: 筋電操作ハンドの制御のための皮膚表面筋電のニューラルネットによる認識, 信学技法MBE91-114, pp.49-56, 1992
- (7) 館他: バーチャルテックラボ, 工業調査会, 1992