

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4704599号
(P4704599)

(45) 発行日 平成23年6月15日(2011.6.15)

(24) 登録日 平成23年3月18日(2011.3.18)

(51) Int. Cl. F I
G 0 9 B 21/00 (2006.01) G O 9 B 21/00 B
A 6 1 F 9/08 (2006.01) A 6 1 F 9/08
G 0 6 F 3/033 (2006.01) G O 6 F 3/033 3 1 O Z

請求項の数 10 (全 9 頁)

(21) 出願番号	特願2001-134212 (P2001-134212)	(73) 特許権者	899000024 株式会社東京大学 T L O 東京都文京区本郷七丁目3番1号
(22) 出願日	平成13年5月1日(2001.5.1)	(74) 代理人	100103137 弁理士 稲葉 滋
(65) 公開番号	特開2002-328596 (P2002-328596A)	(72) 発明者	館 ▲すすむ▼ 茨城県つくば市梅園2丁目31番14号
(43) 公開日	平成14年11月15日(2002.11.15)	(72) 発明者	前田 太郎 東京都台東区谷中1丁目2番19号
審査請求日	平成20年4月25日(2008.4.25)	(72) 発明者	川上 直樹 鳥取県鳥取市大工町頭九番地
		(72) 発明者	梶本 裕之 横浜市戸塚区下倉田町828-362
		審査官	植野 孝郎

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 触覚提示方法及び触覚提示装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

電気刺激により触覚情報を提示する刺激電極に皮膚が触れることで電気刺激によって該皮膚から触覚情報を提示する方法において、

該刺激電極に該皮膚が接触した際の応力を計測する応力計測手段により、該刺激電極に該皮膚が接触した際に生じる応力を取得し、

該刺激電極に電流を供給する刺激電流制御部により、前記取得された応力に応じて該刺激電極に接触している該皮膚に与えられる該電気刺激の強度を制御することを特徴とする触覚提示方法。

【請求項2】

請求項1において、該応力は該皮膚と該刺激電極との接触圧であることを特徴とする触覚提示方法。

【請求項3】

請求項1, 2いずれかにおいて、前記刺激電流制御部は、該応力が大きくなるにしたがって、該電気刺激強度を大きくするように当該電気刺激の強度を制御することを特徴とする触覚提示方法。

【請求項4】

請求項1乃至3いずれかにおいて、前記刺激電流制御部は、刺激電流のパルス波形を変化させることで電気刺激強度の制御を行うことを特徴とする触覚提示方法。

【請求項5】

請求項 4 において、前記刺激電流制御部により、パルス高さ、あるいは、パルス幅のいずれかを制御することを特徴とする触覚提示方法。

【請求項 6】

請求項 1 乃至 5 いずれかにおいて、該皮膚は指先の表面の皮膚であることを特徴とする触覚提示方法。

【請求項 7】

電気刺激によって皮膚から触覚情報を提示する刺激電極と、
該刺激電極に電流を供給する刺激電流制御部と、
該刺激電極に該皮膚が接触した際の応力を計測する応力計測手段と、を有し、
前記応力計測手段により計測された応力に応じて、前記刺激電流制御部が該電気刺激の
強度を制御することを特徴とする触覚提示装置。 10

【請求項 8】

請求項 7 において、該刺激電極はディスプレイに連繋したマウスに搭載されていることを特徴とする触覚提示装置。

【請求項 9】

請求項 7 において、該刺激電極がディスプレイを構成することを特徴とする触覚提示装置。

【請求項 10】

請求項 7 乃至 9 いずれかにおいて、該応力の計測手段は該刺激電極の下に配設されたロードセルであることを特徴とする触覚提示装置。 20

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、電気刺激を用いた触覚提示方法および装置に係り、より詳しくは、指先に対して電気触覚提示により記号提示を行う方法および装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

電気刺激による皮膚感覚提示には多くのメリットが存在する。特に従来の機械的刺激提示手法に比べた場合、 1 サイズを極めて小さく作ることが可能、 2 可動部分がないためにより壊れにくい、 3 機械式の場合常に問題となる共振の問題がない、というメリットを持つ。しかし現実には電気刺激による皮膚感覚提示は医療現場におけるリハビリテーション（FES: 機能的電気刺激）等に用いられる程度であり、日常生活の中で用いられるには至っていない。これには幾つかの理由が挙げられるが、本明細書においては、以下の二つの問題について言及する。 30

【0003】

第一に長期的な感覚の経時変化である。これは発汗等により、皮膚の電気的インピーダンスが変化し、このため分単位で同じ電流量に対して生じる感覚量が変化するというものである。従来の電気刺激に関する研究は、これを安定化させるために皮膚インピーダンスに依存した電流制御を行うことを目指しており、例えば電流ではなくエネルギー（電流×電圧）を一定にする制御や、電流量を皮膚の等価的なキャパシタンスに比例させる制御が提案されている。しかしこれらは一定の成功を収めたものの、個人差、個人内でも刺激部位による違い等に大きく依存するため、日常的な用途に耐え得るとは言いがたい。 40

【0004】

第二に、例えば接触状態の変化などによって生じる突然の刺激変動が被験者に与える侵害的印象が挙げられる。これは被験者によっては恐怖感につながり、電気触覚ディスプレイの普及を著しく阻害する要因となっている。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】

本発明は、前記二つの課題を解決することを目的とするものであって、すなわち、 1 長期的な感覚の経時変化に対応でき、 2 電気刺激が被験者に与える侵害的印象を無く 50

すあるいは和らげることができる方法および装置を提供するものである。

【0006】

【課題を解決するための手段】

前記二つの課題を解決するために本発明が採用した技術手段は、刺激電極に皮膚が触れることで電気刺激によって該皮膚から触覚情報を提示する方法において、該電極に該皮膚が接触した際の応力に応じて該電気刺激の強度を制御することを特徴とするものであり、好ましくは、該応力が大きくなるにしたがって、該電気刺激強度を大きくしていくものである。

【0007】

本発明が採用した技術手段の背景について、機械的刺激と比較して説明する。電気刺激では侵襲的印象を受けるのに対して、Optaconのような機械的な刺激ではそのような印象を受けない。機械的な刺激であっても、電気刺激の場合と等量、あるいはそれ以上の強い感覚を生成する状況は容易にあり得る。例えば画紙やかみそりを扱う状況である。しかし我々はそれらを日常的に扱い、もし痛覚を生じてもそれに「驚く」ことはない。なぜならこのような物体を扱うとき、人の内部では皮膚感覚をある一定以上にしないように指の力を調整するという制御が行われており、このため生じる皮膚感覚の量は調節可能なばかりではなく、予測も可能であるからである。ここに機械的刺激と電氣的刺激の差異がある。すなわち、日常生活においては、常に力の制御により皮膚感覚を適切な量に調整するスキルを身に付けているのに対し、従来の電気刺激においては接触状況に依存しない皮膚感覚提示を行っており、このような自律的な制御が不可能な状況であった。つまり、いわゆる「電気ショック」の不快感は、「電氣的であること」それ自体から生まれるのではなく、「ショックである」こと、つまり感覚量の自律的な調整と予測が不可能であることから生じているということである。

【0008】

そこで、通常、刺激部位は指先であることに着目し、指の接触圧に依存した電流制御によって触運動知覚(Haptic)提示を実現すれば侵害感の消滅することを見出した。具体的に言うと、まず指先皮膚と触覚ディスプレイの接触圧を何らかの方法で計測する。そして刺激として与える電流パルスの1パルス高さか2パルス幅を、この接触圧に対する単調増加関数として制御を行う。例えば最も簡単には図1(a)のように比例関係を用いることができる。また図1(b)のようにパルス幅、高さを接触圧のlog関数とした場合、被験者による調整が図1(a)の場合に比べて行いやすいことを見出した。さらに、図1(c)のようにパルス幅、高さにヒステリシス(履歴)を設けることにより、接触を強めていったときには刺激量の上昇が早く、接触を弱めたときには速やかに刺激が減るように設定することも考えられる。また、刺激電流に対する触覚には個人差があること等から、本発明に係る装置においては、応力と刺激強度との対応関係の初期設定を行うための調節用ボリューム等の刺激強度調節手段を備えていることが望ましい。例えば、刺激電極を搭載したマウスに電流強度調節つまみを設ける。

【0009】

より一般化するなら、本手法は被験者に与える電流波形を接触圧依存の関数とすることによって刺激量の被験者による自律的な調整を可能とする手法と言える。そしてこの手法の本質的な部分は、これまで純粋な「皮膚感覚」(Cutaneous Sensation)を提示するデバイスであった電気触覚ディスプレイを、体性感覚も含めた広義の触覚、特に能動触(Haptic Sensation)を提示するデバイスに変えたところにある。この考えからすれば、接触圧のみでなく、例えば指を動かす速度に併せた刺激強度の調整も考えられる。

【0010】

本明細書は、指先と刺激電極との接触圧に基づいて刺激電流制御を行なうことを中心として展開されている。しかし、刺激電流の制御に用いるための、皮膚と電極との接触時に働く力は、必ずしも接触圧に限定されるものではない。本発明に係るシステムでは指表面と電極面の間に生じる6自由度の応力を独立に測定することができる。それぞれ水平のずれ応力2自由度、垂直抗力1自由度、回転トルク3自由度である。本明細書においては特に

10

20

30

40

50

垂直抗力のみ（具体的には接触圧として測定している）を用いたものについて言及している。しかしより自然な接触状況と感覚の実現するためにはこれら6自由度情報を活用することが望ましい。例えば水平方向の力がかかっている状態は現実世界では「なぞり」動作を行っている状況と考えられるから、提示パターンを力の方向とは反対方向に流すことが考えられる。また、回転トルクによって接触の重心が計算できるが、一般的な接触状況では接触重心付近でははその外側よりも強い単位面積あたりの応力が生じていると考えられるため、この重心付近の電極では刺激量を増加させることにより自然な触感が生じると考えられる。ただしこれは指1本に対して力センサが1つしかない場合に対する解決法であって、本発明において力センサが分布型、例えば各電極がそれぞれ個別の力センサを持つようなものを採用してもよく、その場合には各力センサエレメントによる計測は上記トルクを除いた3自由度の計測で充分である。また、指先は最も好ましい刺激部位ではあるが、刺激電極と接触する皮膚は必ずしも指先の皮膚に限定されるものではない。

【0011】

【発明の実施の形態】

システムの概念図を図2(a)に示す。電極はステンレス製、直径1mm、間隔2.54mmで2x5アレイに配置されている。電極の下には6自由度力センサ（ロードセル）が設置されている。刺激提示は図2(b)のようにして行う。基本的にある瞬間にはある点のみ刺激する。図ではある電極から陽極(Anode)性パルスが発生させる。この時その電極の周りの電極をグランドに落としてやる。すると電気は電極から発し、接触している皮膚を回りの電極に吸収されることになる。この電極を短時間に切り替えることにより丁度テレビの走査線と同じ原理によりあらゆる記号提示が可能となる。もちろん場合によっては複数の電極を同時に陽極としてもよい。また、陽極性パルスを使うのは刺激提示の空間解像度を上げるためであるが、生じる感覚を変化させるために陰極性パルスを用いてもよい。

【0012】

電極下には力センサが配設されている。力センサによって、センサ末端にかかる3自由度の力と3自由度のトルクを測定することができる。刺激パルスの幅、高さを測定した接触圧に依存させた。走査の周波数は20~100Hz、パルス幅は0-400 μ s、パルス高さは0-10mAである。実験の結果、全ての被験者においてパルス幅を制御した場合も、パルス高さを制御した場合も同様に、安定した刺激提示を実現することができた。また、このシステムでは力を6自由度測定できるが、現在はそのうちの下方向の力、すなわち接触圧そのもののみを使っている。例えば水平方向に押すことにより提示した刺激を移動させるといった操縦桿（ノートパソコンに指示装置として多く実装されているアキュポイントに近い）としての使い方も考えられる。本実験ではパルス幅制御とパルス高さ制御について顕著な違いは見られなかった。システムとしてはパルス幅制御のほうが実現しやすいため、次に述べる第二の実装ではパルス幅制御を採用した。

【0013】

また、注意すべきは、本手法では経皮電気刺激における感覚量調節の二つの課題、すなわち 1 長期的な感覚の経時変化、 2 突然の刺激変動が被験者に与える侵害的印象のうち、第二の問題点に対する解決策として提案したものであるが、ごく自然な形で第一の問題点を解決しているという点である。すなわち、長時間にわたって使用している間に感覚量が小さくなってきたと感じたなら、被験者は単に接触圧を高めればよい。また、力センサによって被験者の接触圧は常に記録されているから、被験者が徐々に接触圧を高めているならそれは刺激量が足りなくなったことを意味している。この場合先に定義した刺激パルスと接触圧の関数に含まれるパラメータを自動的に調節していけばよい。こうして長期的にも常に最適な刺激量を調節することが可能である。またこれらの調整は従来の、皮膚の電氣的インピーダンス測定による刺激量調整と併用することが望ましい。本手法では、電極アレイ全体に対する制御はできるものの、個々の電極に対する調整は難しいからである。もっとも、本発明には、各電極の下に独立した力センサを設けることも含まれる。

【0014】

[電気触覚マウス]

最初の実装を全盲の被験者に使用してもらった時、電極が固定されているために感覚生起点の定位が難しいというコメントを得た。我々は日常生活において、接触対象のことをよく知ろうとする場合には「なぞり」、すなわち能動的な触運動を行うことで情報収集を行う。触覚ディスプレイになぞりをサポートしたのものとしては従来からマウスに取り付けるタイプのものがある。そこで、第二の実装としてマウスに電極と力センサを組み込むことで電気触覚マウスを試作した。

【 0 0 1 5 】

図3が電気触覚マウスを含む全体のシステム構成図である。電気マウス本体は4x4のアレイ状電極(ステンレス製 直径1mm間隔2mm)をエポキシ樹脂で固めた電極をマウスの中指部分に配置し、さらに電極直下にLoad Cell (TEAC製SR10N直径13mm,厚み3mm)を配し指の圧力を測定する。

10

【 0 0 1 6 】

刺激装置の前面には、電圧計、スイッチ、ポテンショメータ(可変抵抗)が配設されており、ポテンショメータは装置全体のベースクロックを設定しており、これにより刺激パルス幅、すなわち、刺激強度が決定される。一方、刺激装置の背面には次のアダプタが配されている。

【 0 0 1 7 】

図3において、Pic-ADCはPICマイクロプロセッサ(マイクロチップテクノロジー社製)を内蔵した電圧変換アダプタ(ADコンバータ、ADC)である。Load Cellの出力は刺激装置内で0-5Vに増幅され、このADCでシリアル通信用に変換される。プログラム中ではこのコンバータとのシリアル通信を行い、力を測定している。電流出力アダプタがマウスに直結されており、刺激出力を行う。パラレルポートアダプタはPCのパラレルポートに接続される。PCから刺激制御信号が送られ、刺激装置内部のメモリに蓄えられ、刺激が行われる。ロードセル用アダプタはロードセルへの電力供給を行い、また、ロードセルからの電圧出力を兼ねる。PCから刺激装置には、パラレルポートを介して「パルス幅」と「陽極パターン」「グランドパターン」の3つの情報が送られる。「陽極パターン」は4x4電極アレイ中の一点であり、グランドパターンはそれを囲むようにして選ばれる。刺激装置からPCに送られる情報はLoad Cell(力センサ)の出力である。

20

【 0 0 1 8 】

図4は刺激パルス(デジタル)を電流パルス信号に変換するV-I converterの部分である。オペアンプに、抵抗を解した電圧を帰還させることによりV-I変換を実現している。さらに、指先皮膚を貫通する程度の電圧に上げるために、電流ミラー回路(current mirror)で中継している。また、図のGround SignalがONした場合、下のFETがスイッチとしてONするため、電極はグランドに直結することになる。

30

【 0 0 1 9 】

図5は刺激装置のデジタル部分である。左下のパラレルポートからは8chのデータ信号とClock, Clear, Stimulate Startの各信号が出る。ここで言うClockは図の左上に位置する発振回路のクロックではなく、すぐあとに述べるShift Resistorのデータをシフトさせるための制御信号である。合計してパラレルの出力を11ch使っている。これらの信号はShift Resistorに順に蓄えられていく。8bitのデータ転送は5回行われる。最初にパルス幅を表す0-255の値が送られ、そのあとの4回で、4x4のアレイ中で陽極、グランドそれぞれのパターンが送られる。全てのデータがセットされるとパラレルポートからStart信号が出される。この信号で左上のカウンタはリセットされ、0から順にアップカウントされた値を8bitで出力する。この値と、先にShift Resistorの先頭に保存したパルス幅データをequal-to comparatorで比較し、比較結果がイコールになるまで刺激パルスが出力される。メモリの状態によって陽極刺激パルス側がONするか、グラウンドとしてONするかは異なる。

40

【 0 0 2 0 】

前述のように、本システムでは刺激パルス幅を接触圧力の関数とすることによって自律的な刺激強度の調整を可能としている。また、過去の研究によって明らかとなった事実とし

50

て、刺激の周波数が高まると、同じパルス幅でも刺激強度が強くなったように知覚されることが知られている。この事を利用し、刺激周波数に関して次のような二つの工夫を行っている。

【0021】

第一にカーソル（すなわちマウス）の移動速度が速い時には刺激の周波数を高めるという工夫である。第二にある刺激すべき点の周囲を見たときに刺激点が見当たらないとき（これを孤立刺激点と呼ぶことにする）、刺激周波数を増やすという工夫である。これらは現実世界のアナロジーとなっている。すなわち指を速くなぞれば高い周波数の刺激を受ける。また、小さな突起物を触ったときには、同じ接触圧でも強い刺激を受ける。もちろんこれらは、刺激周波数を上げるのではなく、これまでと同様に刺激パルス幅を調整することでも実現可能である。逆に刺激周波数を接触圧の関数とすることも当然考えられる。

10

【0022】

〔環境配置型の電気触覚ディスプレイの場合の実装〕

これまで述べてきた電気触覚ディスプレイの実装は、いずれも装着型、すなわちディスプレイと指が一体となった形のものであった。これに対して、据え置き型の電気触覚ディスプレイを考えることもでき、いくつか試作例もある。空間に固定された電極アレイの上を指先がなぞる事になる（図6（a））。

しかしこの場合、やはり最大の問題は、指と電極の接触が全く安定していないことから生じる感覚の不安定性である。よって今回提案した力依存制御はこの環境配置型の電気触覚ディスプレイに対しても有効に活用できると考えられる。

20

【0023】

また環境型の問題点として電極の個数が多くなるために用意しなければならない回路規模が大きくなるのが上げられるが、第一に一つ一つの回路規模は前に見たように非常に小さく、シリコンプロセスによって電極と一体で作成できる程度のものである。第二に、今回の提案のように力センサを配置した場合、力センサの出力によって接触位置がわかるため、これを利用した効率のよい刺激ができる。その実装例が次の図6（b）である。

【0024】

電極アレイは指のサイズより大きな群によって一つのユニットをなす。これらのユニットにおける電極は、図6（b）に示すように並列に接続されている。このため、全てのユニットは同時に駆動される。しかし指の位置は力センサによって把握されているため、その指の位置に適した刺激パターンを与えることが可能である。

30

【0025】

これを説明したのが図7である。(a)が空間的に提示したいパターンであり、この場合は"AM"という文字列である。これに対して(b)のように指が左端にあるときにはAの一部を提示する。以下同様に指の位置にあわせたパターン提示を行うことにより、あたかも指にとっては空間的に固定された"AM"という文字列があるかのように感じられる。この手法のメリットは先ほど述べたように電気刺激回路を電極アレイの個数分用意せずとも、電極ユニット（図の4x4部分）個数分用意すればよいことにある。

【図面の簡単な説明】

【図1】接触圧とパルス幅あるいはパルス高さとの関係を示す図であって、(a)は電流パルス幅、またはパルス高さを接触圧に比例させた場合、(b)はパルス幅、高さを接触圧のlog関数とした場合、(c)はパルス幅、高さにヒステリシスを持たせた場合を示す。

40

【図2】(a)は電流の力依存制御の概念図であって、電極の下には6自由度の力センサ（ロードセル）が配設されている。(b)は刺激パルスの走査（Scan）によって多点の提示を可能とする場合を示す図である。

【図3】電気触覚マウスを含むシステム構成図である。

【図4】電圧 - 電流変換部を示す図である。

【図5】刺激装置のデジタル部を示す図である。

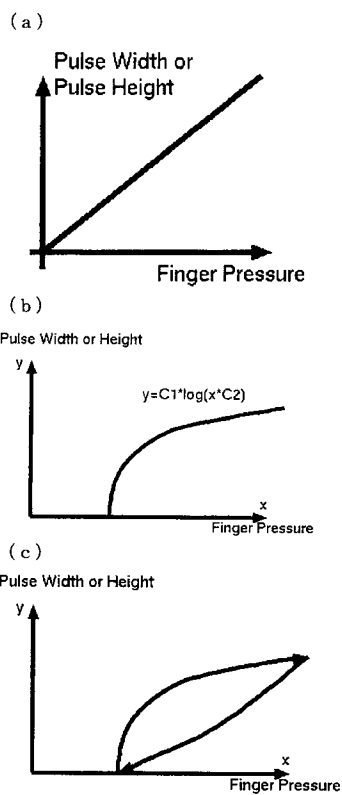
【図6】(a)は据え置き（環境配置）型の電気触覚ディスプレイを示す概略図である。

50

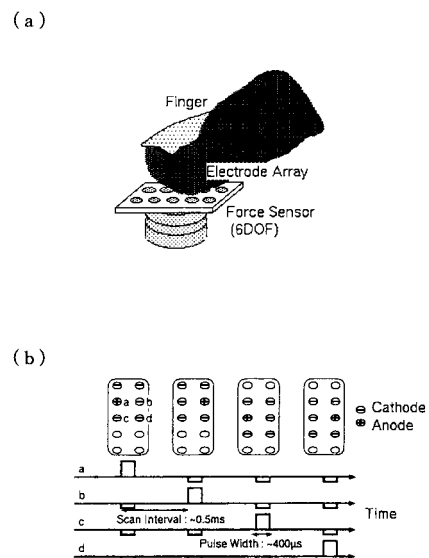
(b) はアレイ電極ユニット群によって構成される据え置き型電極アレイを示す概略図であり、それぞれのユニット間は電氣的に並列に接続されており、同時に駆動される。

【図7】アレイ電極ユニット群によって構成される据え置き型電極アレイの駆動方式を示す図であり、(a) が提示したいパターン (AM という文字) であり、指の位置によって (b) ~ (d) のように提示パターンを変化させる。

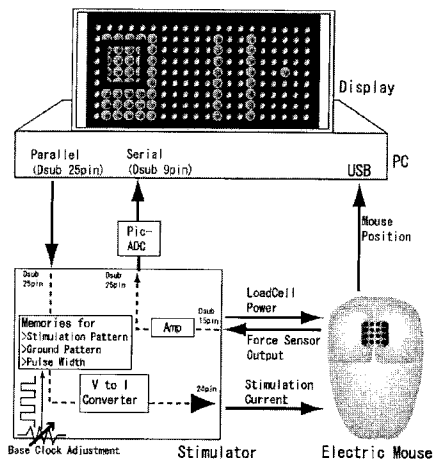
【図1】



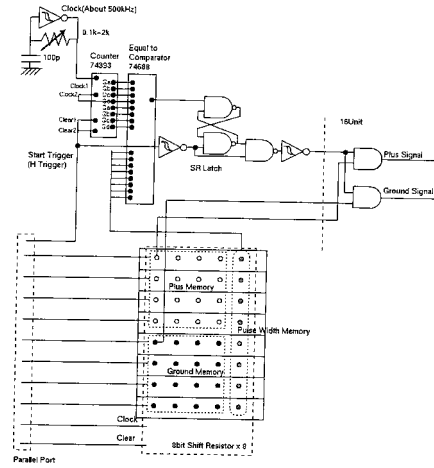
【図2】



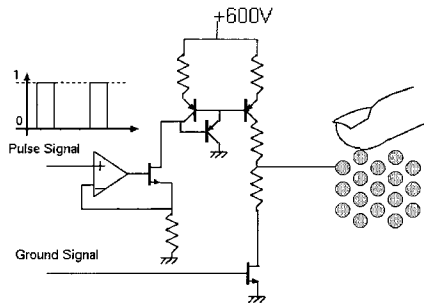
【 図 3 】



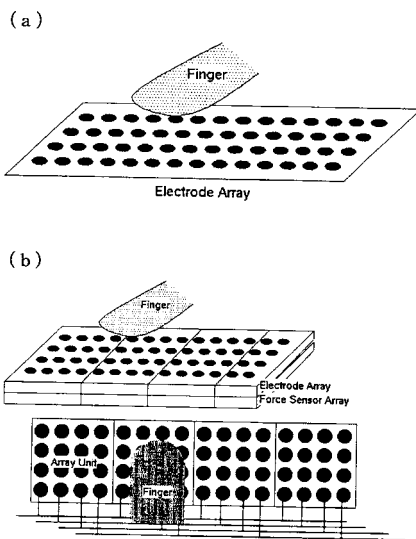
【 図 5 】



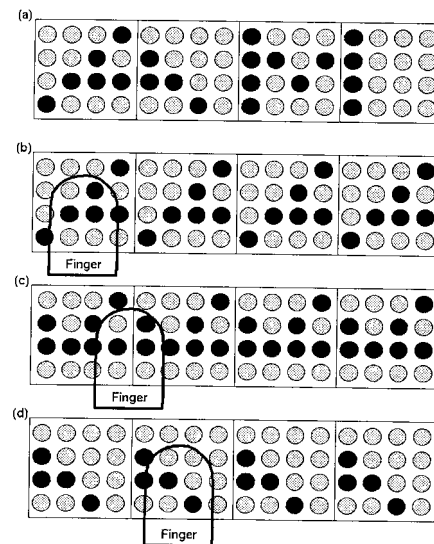
【 図 4 】



【 図 6 】



【 図 7 】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開昭64-88487(JP,A)

梶本裕之 他3名,皮膚感覚神経を選択的に刺激する電気触覚ディスプレイ,電子情報通信学会論文誌(J84-D-II)第1号,社団法人電子情報通信学会,2001年1月1日,第145号,第120-128頁

(58)調査した分野(Int.Cl.,DB名)

G09B21/00-21/02

A61F 9/00-11/04

G06F 3/033