A new circuit element called a "memistor" (a resistor with memory) has been devised that will have general use in adaptive circuits.

適応回路で一般的に使用される「メモリ」（メモリ付き抵抗器）と呼ばれる新しい回路要素が考案されました。

With such an element it is possible to get an electronically variable gain control along with the memory required for storage of the system's experiences or training.

このような要素を使用すると、システムの経験やトレーニングを保存するために必要なメモリとともに、電子的に可変のゲインコントロールを取得できます。

Experiences are stored in their most compact form, and in a form that is directly usable from the standpoint of system functioning.

エクスペリエンスは最もコンパクトな形式で保存され、システム機能の観点から直接使用できる形式で保存されます。

The element consists of a resistive graphite substrate immersed in a plating bath.

この要素は、めっき浴に浸された抵抗性グラファイト基板で構成されています。

The resistance is reversibly controlled by electroplating.

抵抗は電気めっきによって可逆的に制御されます。

The memistor element has been applied to the realization of adaptive neurons.

memistor要素は、適応ニューロンの実現に適用されています。

Memistor circuits for the "Adaline" neuron, which incorporate its simple adaption procedure, have been developed.

その単純な適応手順を組み込んだ「アダライン」ニューロンのMemistor回路が開発されました。

It has been possible to train these neurons so that this training will remain effective for weeks.

これらのニューロンをトレーニングして、このトレーニングが数週間有効であるようにすることができました。

Steps have been taken toward the miniaturization of the memistor element.

メミスター要素の小型化に向けて対策が講じられています。

The memistor promises to be a cheap, reliable, mass-producible, adaptive-system element.

メミスターは、安価で信頼性が高く、大量生産可能な適応システム要素になることを約束します。

**Intro**

An adaptive or "learning" system can automatically modify its own structure to optimize performance based on past experience.

適応型または「学習」システムは、過去の経験に基づいてパフォーマンスを最適化するために、独自の構造を自動的に変更できます。

The system designer is more of an executive here.

ここでは、システム設計者はより実効的です。

Instead of seeing to all details of system design, he "teaches" by showing the system examples of input signals or patterns and, simultaneously, what he would like the output to be for each input.

システム設計のすべての詳細に目を向ける代わりに、入力信号またはパターンのシステム例を示し、同時に、各入力に対して出力をどのようにしたいかを示すことにより、設計者は「教えます」。

The system in turn has the job of organizing itself to comply as well as possible with the wishes of the designer.

このシステムは、設計者の希望をできるだけ順守するように組織化する機能を持っています。

A means of constructing and analyzing simple logical and switching systems that are capable of being designed by teaching has been described by this author and M. E. Hoff in a report and a paper, both entitled "Adaptive Switching Circuits".

この著者とM. E. Hoffは、教授とデザインが可能な単純な論理システムおよびスイッチングシステムを構築および分析する方法を、どちらも「Adaptive Switching Circuits」というタイトルのレポートと論文で説明しています。

The core of the schemes described therein consists of an adaptive logical element which has been named the "Adaline" neuron (called Adaline, for adaptive linear).

そこに記述されているスキームの中核は、「アダリン」ニューロン（アダプティブ線形と呼ばれる）と呼ばれるアダプティブ論理要素で構成されています。

The system design procedure is adaptive, and is based upon an iterative search process.

システム設計手順は適応的であり、反復検索プロセスに基づいています。

Performance feedback is used in achieving automatic system synthesis, i.e., the selection of the "best" logical function from a restricted but useful class of possibilities.

パフォーマンスのフィードバックは、自動システム合成、つまり、制限されているが有用な可能性のあるクラスから「最適な」論理機能を選択するために使用されます。

**The ADALINE neuron element**

In Fig. 1, a combinatorial logical circuit is shown which is a typical element in the adaptive switching circuits to be considered.

図1に、考慮される適応スイッチング回路の代表的な要素である組み合わせ論理回路を示します。

This element bears some resemblance to a neuron model introduced by von Neumann, whence the name.

この要素は、フォンノイマンによって名前が付けられたニューロンモデルに似ています。

The binary input signals on the individual lines have values of +l or -1, rather than the usual values of l or 0.

個々のラインのバイナリ入力信号の値は、通常のlまたは0ではなく、+ lまたは-1です。

Within the neuron, a linear combination of the input signals is formed.

ニューロン内では、入力信号の線形結合が形成されます。

The weights are the gains a1, a2, …, which could have both positive and negative values.

重みはゲインa1、a2、…であり、正と負の両方の値を持つことができます。

The output signal is +l if this weighted sum is greater than a certain threshold, and -1 otherwise.

この加重和が特定のしきい値よりも大きい場合、出力信号は+ lであり、そうでない場合は-1です。

The threshold level is determined by the setting of a0, whose input is permanently connected to a +l source.

しきい値レベルは、a0の設定によって決定され、その入力は永続的に+ lソースに接続されます。

Varying a0 varies a constant added to the linear combination of input signals.

a0を変化させると、入力信号の線形結合に追加される定数が変化します。

For fixed gain settings, each of the 2 possible input combinations would cause either a +l or a -1 output.

固定ゲイン設定の場合、2つの可能な入力の組み合わせのそれぞれにより、出力が+ lまたは-1になります。

Thus, all possible inputs are classified into two categories.

したがって、可能な入力はすべて2つのカテゴリに分類されます。

The input-output relationship is determined by choice of the gains a0, …a5.

入出力関係は、ゲインa0、…a5の選択によって決まります。

In the adaptive neuron, these gains are set during the "training" procedure.

適応ニューロンでは、これらのゲインは「トレーニング」手順中に設定されます。

In general, there are 2 different input-output relationships or truth functions by which the five input variables can be mapped into the single output variable.

一般に、5つの入力変数を単一の出力変数にマッピングできる2つの異なる入出力関係または真理関数があります。

Only a subset of these, the linearly separated truth functions, can be realized by all possible choices of the gains of the neuron of Fig. 1.

これらのサブセットである線形分離された真理関数のみが、図1のニューロンのゲインのすべての可能な選択によって実現できます。

Although this subset is not all-inclusive, it is a useful subset, and it is “searchable", i.e., the "best'' function in many practical cases can be found iteratively without trying all functions within the subset.

このサブセットは包括的なものではありませんが、有用なサブセットであり、「検索可能」です。つまり、多くの実際のケースで「最良」の機能は、サブセット内のすべての機能を試すことなく繰り返し見つけることができます。

Application of this neuron in adaptive pattern classifiers was first made by Mattson.

適応パターン分類器へのこのニューロンの適用は、Mattsonによって最初に行われました。

He has shown that complete generality in choice of switching function can be had by combining these neurons.

彼は、これらのニューロンを組み合わせることにより、スイッチング機能の選択における完全な一般性が得られることを示しました。

He devised an iterative digital computer routine for finding the best set of a's for the classification of noisy geometric patterns.

彼は、ノイズの多い幾何学的パターンの分類に最適なaを見つけるための反復デジタルコンピュータールーチンを考案しました。

An iterative procedure having similar objectives has been devised by Widrow and Hoff and is described below.

同様の目的を持つ反復手順がWidrowとHoffによって考案され、以下に説明されています。

The latter procedure is quite simple to implement, and can be analyzed by statistical methods that have already been developed for the analysis of adaptive sampled data systems.

後者の手順は非常に簡単に実装でき、適応型サンプリングデータシステムの分析用に既に開発されている統計的手法で分析できます。

An adaptive pattern classification machine (called "Adaline") has been constructed for the purpose of illustrating adaptive behavior and artificial learning.

適応行動と人工学習を説明する目的で、適応パターン分類マシン（「Adaline」と呼ばれる）が構築されています。

A photograph of this machine, which is about the size of a lunch pail, is shown in Fig. 2.

このマシンの写真は、お弁当箱程度の大きさで、図2に示されています。

During a training phase, crude geometric patterns are fed to the machine by setting the toggle switches in the 4 x 4 input switch array.

トレーニング段階では、4 x 4入力スイッチアレイのトグルスイッチを設定することにより、粗い幾何学パターンがマシンに供給されます。

Setting another toggle switch (the reference switch) tells the machine whether the desired output for the particular input pattern is +l or -1.

別のトグルスイッチ（リファレンススイッチ）を設定すると、特定の入力パターンに必要な出力が+ lか-1かがマシンに通知されます。

The system learns a little from each pattern and accordingly experiences a design change.

The machine's total experience is stored in the values of the weights a0…a16.

システムは各パターンから少し学習し、それに応じて設計変更を経験します。

マシンの合計経験値は、重みa0…a16の値に保存されます。

The machine can be trained on undistorted noise-free patterns by repeating them over and over until the iterative search process converges, or it can be trained on a sequence of noisy patterns on a one-pass basis such that the iterative process converges statistically.

機械は、反復探索プロセスが収束するまで何度も繰り返すことにより、歪みのないノイズのないパターンでトレーニングできます。または、反復プロセスが統計的に収束するように、1パスベースで一連のノイズのあるパターンでトレーニングできます。

Combinations of these methods can be accommodated simultaneously.

これらの方法の組み合わせは同時に対応できます。

After training, the machine can be used to classify the original patterns and noisy or distorted versions of these patterns.

トレーニング後、マシンを使用して、元のパターンとこれらのパターンのノイズの多いバージョンまたは歪んだバージョンを分類できます。

A block schematic of Adaline is shown in Fig. 3.

Adalineのブロック図を図3に示します。

In the actual machine, the quantizer is not built in as a device but is accomplished by the operator in viewing the output meter.

実際のマシンでは、量子化器はデバイスとして組み込まれていませんが、出力メーターを表示する際にオペレーターが実行します。

Different quantizers (2-level, 3-level, 4-level) are realized by using the appropriate meter scales (see Fig. 2).

異なる量子化器（2レベル、3レベル、4レベル）は、適切なメータースケールを使用して実現されます（図2を参照）。

Adaline can be used to classify patterns into several categories by using multi-level quantizers and by following exactly the same adapting procedure.

Adalineを使用して、マルチレベル量子化器を使用し、まったく同じ適応手順に従うことにより、パターンをいくつかのカテゴリに分類できます。

The following is a description of the iterative searching routine.

以下は、反復検索ルーチンの説明です。

A pattern is fed to the machine, and the reference switch is set to correspond to the desired output.

パターンが機械に送られ、基準スイッチが目的の出力に対応するように設定されます。

The error (see Fig. 3) is then read (by switching the reference switch; the error voltage appears on the meter, rather than the neuron output voltage).

次に、エラー（図3を参照）が読み取られます（基準スイッチを切り替えることにより、ニューロンの出力電圧ではなく、エラー電圧がメーターに表示されます）。

All gains including the level are to be changed by the same absolute magnitude, such that the error is brought to zero.

レベルを含むすべてのゲインは、誤差がゼロになるように、同じ絶対値で変更されます。

This is accomplished by changing each gain (which could be positive\_ or negative) in the direction which will diminish the error by an amount which reduces the error magnitude by 1/17.

これは、誤差の大きさを1/17だけ減らす方向に各ゲイン（positive\_またはnegative）を変更することで実現されます。

The 17 gains may be changed in any sequence, and after all changes are made, the error for the present input pattern is zero.

17のゲインは任意のシーケンスで変更でき、すべての変更が行われた後、現在の入力パターンのエラーはゼロになります。

Switching the reference back, the meter reads exactly the desired output.

基準を元に戻すと、メーターは目的の出力を正確に読み取ります。

The next pattern, and its desired output, is presented and the error is read.

次のパターンとその望ましい出力が表示され、エラーが読み取られます。

The same adjustment routine is followed and the error is brought to zero.

同じ調整ルーチンに従い、エラーがゼロになります。

If the first pattern were reapplied at this point, the error would be small but not necessarily zero.

この時点で最初のパターンが再適用された場合、エラーは小さくなりますが、必ずしもゼロではありません。

More patterns are inserted in like manner.

同様の方法でより多くのパターンが挿入されます。

Convergence is indicated by small errors (before adaption), with small fluctuations about a stable root-mean-square value.

収束は、平均二乗和誤差で示されます。

The gain values automatically stabilize about· their optimum values.

ゲイン値は自動的に最適値に安定します。

The iterative routine is purely mechanical, and requires no thought on the part of the operator.

反復ルーチンは純粋に機械的なものであり、オペレーターの側で考える必要はありません。

Electronic automation of this procedure is the subject of this report.

この手順の電子自動化は、このレポートの主題です。

The structure of the Adaline neuron and its adaption procedure is sufficiently simple that an effort is under way to develop a physical device which is an all-electronic fully automatic Adaline.

Adalineニューロンの構造とその適応手順は非常に単純であるため、全電子式の全自動Adalineである物理デバイスを開発する努力が進行中です。

The objective is a self-contained device, like the one sketched in Fig. 4, that has a signal input line, a "desired output" input line (actuated during training only), an output line, and a power supply.

目的は、図4に示すような自己完結型のデバイスで、信号入力ライン、「目的の出力」入力ライン（トレーニング中のみ作動）、出力ライン、および電源を備えています。

The device itself should be suitable for mass production, should contain few parts, and should be reliable.

デバイス自体は大量生産に適しており、部品の数が少なく、信頼性が高い必要があります。

To have such an adaptive neuron, it is necessary to be able to store the gain values, which could be positive or negative, in such manner that these values could be changed electronically.

このような適応ニューロンを得るには、ゲイン値を保存できる必要があります。ゲイン値は、正または負の値であり、これらの値を電子的に変更できます。

A variable gain effect could be achieved physically by using a variable resistance, capacitance, inductance, or combinations of' these.

可変抵抗、静電容量、インダクタンス、またはこれらの組み合わせを使用することにより、可変ゲイン効果を物理的に実現できます。

The use of a variable resistance device, and characteristics of such a device, will be discussed in this report.

このレポートでは、可変抵抗デバイスの使用とそのようなデバイスの特性について説明します。

A variable resistor called a memistor (a resistor with memory) has been devised which uses the phenomenon of electroplating to control resistance by depositing metal on a resistive substrate.

抵抗基板上に金属を堆積させることにより抵抗を制御するために電気めっきの現象を使用する、メミスターと呼ばれる可変抵抗器（メモリ付き抵抗器）が考案されました。

The first successful attemp at making a memistor involved electroplating copper from a copper sulfate-sulfuric acid bath upon an ordinary pencil lead.

メミスターを作成する最初の成功した試みは、通常の鉛筆の芯に硫酸銅-硫酸浴から銅を電気めっきすることでした。

The circuit-diagram symbol for the simplest configuration of memistor is shown in Fig. 5.

メミスターの最も単純な構成の回路図記号を図5に示します。

The substrate structure is the variable resistance, while the source is the control element.

基板構造は可変抵抗であり、ソースは制御要素です。

The substrate resistance is sensed with ac current while the plating thickness is controlled with de current.

基板抵抗は交流電流で検知され、めっき厚は電流で制御されます。

This device is like a three-terminal transistor, except that the resistance between two of the terminals is controlled not by instantaneous control current in the third, but by the time integral of this current.

このデバイスは3端子トランジスタに似ていますが、2つの端子間の抵抗が3番目の瞬間の制御電流ではなく、この電流の時間積分によって制御される点が異なります。

An ideal memistor would have the following electrical characteristic: the conductance would vary linearly with total plating charge.

理想的なメミスターには、次の電気的特性があります。コンダクタンスは、めっき総電荷に対して直線的に変化します。

Achieving this characteristic requires that the plating process be reversible, that the memistor resistance stay put indefinitely when plating current is zero, that the conductance vary smoothly with plating current, and that there be no hysteresis associated with change in direction of plating.

この特性を実現するには、めっきプロセスが可逆的であること、めっき電流がゼロのときにメミスター抵抗が無期限に維持されること、コンダクタンスがめっき電流によって滑らかに変化すること、めっきの方向の変化に関連するヒステリシスがないことが必要です。

The first pencil-lead memistors have been made to exhibit approximations to such characteristics over the dynamic resistance range from 5 ohms down to 1/2 ohm.

最初の鉛筆芯メモリは、5オームから1/2オームまでの動的抵抗範囲にわたって、このような特性の近似値を示すように作られました。

The conductance versus plating charge with an ordinary copper sulfate-sulfuric acid plating bath is shown in Fig. 6(a).

通常の硫酸銅-硫酸めっき浴でのコンダクタンス対めっき電荷を図6（a）に示します。

The hysteresis effect is believed to be caused by large copper crystals.

ヒステリシス効果は、大きな銅の結晶によって引き起こされると考えられています。

Addition of a “brightener” to the bath which causes the deposit to consist of smaller copper crystals, has been very effective in eliminating hysteresis and causing this characteristic to be as shown in Fig. 6(b).

析出物を小さな銅の結晶で構成する「光沢剤」を浴に添加すると、ヒステリシスを除去し、この特性を図6（b）に示すようにするのに非常に効果的でした。

A photograph of the pencil-lead memistor and the containing test tube is shown in Fig. 7.

鉛筆芯メミスターと含まれる試験管の写真を図7に示します。

The "lead" used is a 2 3/4 in.

使用される「リード」は2 3/4インチです。

Fineline type H, medium hard.

ファインラインタイプH、ミディアムハード。

The ends are plated first so that the connections can be soldered.

接続をはんだ付けできるように、両端が最初にめっきされます。

The end connectiops are insulated by painting.

末端の接続部は塗装により絶縁されています。

The supporting copper rod serves as the source of copper and as the plating current electrode.

支持銅棒は、銅の供給源およびめっき電流電極として機能します。

It was found to be extremely beneficial to polish the graphite with steel wool before plating.

めっきの前にスチールウールでグラファイトを磨くことが非常に有益であることがわかった。

This increases the effectiveness of the plating current by a factor of 3, and causes the conductance to vary smoothly with plating charge.

これにより、めっき電流の有効性が3倍に増加し、コンダクタンスがめっき電荷によってスムーズに変化します。

Memistors made in this or similar ways have the advantage that information flowing through them can be processed very rapidly, flowing in a metallic conduction path.

この方法または同様の方法で作られたメミスターには、それらを流れる情報を非常に迅速に処理でき、金属伝導経路を流れるという利点があります。

The plating process, which is relatively slow, determines the rate of change of system structure, which will always want to be much slower than the rate of processing or filtering information.

比較的遅いめっきプロセスは、システム構造の変化率を決定します。システム構造の変化率は、常に情報の処理またはフィルタリングの速度よりもはるかに遅くする必要があります。

Other chemical devices or ideas that might be used to perform similar functions to those claimed herein for the memistor depend upon ionic conduction in electrolytes for information flow, rather than upon metallic conduction.

本明細書で請求するものと同様の機能をメミスターに実行するために使用できる他の化学デバイスまたはアイデアは、金属伝導ではなく、情報の流れのための電解質のイオン伝導に依存します。

These devices and mechanisms are inherently slower, more temperature sensitive, and generally less reliable.

これらのデバイスとメカニズムは、本質的に遅く、温度に敏感で、一般的に信頼性が低くなります。