

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 特 許 公 報 (B 2)

(11)特許番号

第2669204号

(45)発行日 平成9年(1997)10月27日

(24)登録日 平成9年(1997)7月4日

(51)Int.Cl. ⁶	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
A 6 1 B 8/00			A 6 1 B 8/00	
G 0 1 N 29/22	5 0 1		G 0 1 N 29/22	5 0 1

請求項の数2 (全 7 頁)

(21)出願番号	特願平3-203056	(73)特許権者	000002853 ダイキン工業株式会社 大阪府大阪市北区中崎西2丁目4番12号 梅田センタービル
(22)出願日	平成3年(1991)8月13日	(72)発明者	上田 智章 滋賀県草津市岡本町字大谷1000番地の2 ダイキン工業株式会社 滋賀製作所内
(65)公開番号	特開平5-42140	(74)代理人	弁理士 津川 友士
(43)公開日	平成5年(1993)2月23日	審査官	小田倉 直人
		(56)参考文献	特開 平3-286750 (J P , A)

(54)【発明の名称】 探査装置

1

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】 送信波を送波し、反射波を受信して受信波に基づいて媒体の密度が変化する境界面の位置を計測する探査装置において、送信波を複数個のパルス列として記録するパルス列記録手段(1₀)(1₁)・・・(1_n)と、各パルスおよび所定値が割当てられた該当するインパルス応答に基づく演算を行なうとともに、該当するインパルス応答を次のパルスに対応する演算に反映させるインパルス応答演算手段(1₀)(1₁)・・・(1_n)と、各インパルス応答演算手段(1₀)(1₁)・・・(1_n)により得られる演算結果を畳み込み演算する演算結果用畳み込み演算手段(2)と、畳み込み演算結果と受信波との差を算出する差算出手段(3)と、算出された差に基づいて各インパルス応答演算手段(1₀)(1₁)・・・(1_n)におけるインパルス応答を補正す

2

る補正手段(1_{0a})(1_{1a})・・・(1_{na})とを含んでいることを特徴とする探査装置。

【請求項2】 受信波に先行する受信波を出力する先行受信波出力手段(5a)(5b)と、先行する受信波に対応させて演算結果用畳み込み演算手段(2a)(2b)および差算出手段(3a)(3b)と、各インパルス応答演算手段(1₀)(1₁)・・・(1_n)(1_{n+1})(1_{n+2})に対応させて該当する差算出手段により得られる差を畳み込み演算して補正手段(1_{0a})(1_{1a})・・・(1_{na})(1_{(n+1)a})(1_{(n+2)a})に供給する差用畳み込み演算手段(6₀)(6₁)・・・(6_n)(6_{n+1})(6_{n+2})とをさらに含んでいる請求項1に記載の探査装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】この発明は探査装置に関し、さらに詳細にいえば、超音波を用いる音響探査に代表される、パルスエコー法と同じ原理に基づく探査装置に関する。

【0002】

【従来の技術】従来から図3に示すように、送波点91から超音波パルスを定期的に送波し、反射体92により反射して戻ってくるパルスエコーを受波点93においてとらえ、エコーの強度に基づいて媒体の密度が変わる境界面の位置を計測する、いわゆるパルスエコー法が広く知られている。

【0003】また、近年、医用無侵襲計測機器の中で超音波断層撮影装置が著しい普及を遂げ、診断精度の向上に大きく貢献してきた。超音波断層撮影装置に代表される超音波診断装置の動作原理はアクティブ・ソナーの原理として広く知られているパルスエコー法と同じである。ここで、反射波の強度の時間波形を観測するモードをAモード(図4参照)、1次元的に接触子を走査し閾値を設けて走査方向と深さ方向の2次元像を観測するモードをBモード(図5参照)、走査を2次元的に行って同じ深さの2次元像を観測するモードをCモード(図6参照)という。したがって、超音波診断装置を使用し、目的とする診断の種類に応じてAモード、Bモード、Cモードを選択することにより、人体に傷をつけることなく人体内部の診断を行なうことができる。

【0004】また、同様の原理に基づく超音波探傷装置を使用することにより各種構造物の内部の傷の有無等を検査することができる。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】上記超音波診断装置の空間分解能は5mm程度であり、癌の早期発見等の用途に要求される空間分解能(1mm程度)と比較すれば空間分解能が低すぎるのであるから、癌の早期発見等の用途には適用できないという不都合がある。また、空間分解能を高めるために(解像度を高めるために)、送信超音波のバースト波の長さを短くすることが考えられている。具体的には、超音波の周波数を高くすることによりバースト波形を簡単に短くできるのであるから、送信超音波パルスの周波数として高い周波数を選択してバースト波を短くすることが一般的に選択される。しかし、周波数を高くすれば、超音波の減衰が顕著になり、人体の深部の診断には適用できなくなってしまうという新たな不都合が発生する。また、周波数を高くすることなくバースト波形を短くするために、短いバースト波形を出力できる探触子を使用することが考えられるが、新たな探触子の開発には試行錯誤による素材の研究を伴ない、必然的に開発が長期化してしまうという不都合があり、現状において直ちに適用できるものではない。

【0006】さらに、超音波パルスの周波数を高めることなく空間分解能を向上させる方法として、送信波形お

よび受信波形に基づいて高速フーリエ変換演算(以下、FFT演算と略称する)を行なってインパルス応答を求める方法が知られている。しかし、データのサンプル数が2n個でなければならないという制約があるのみならず、演算装置が大型化し、しかもリアルタイム性がなくなってしまうという不都合があるので、リアルタイム性が重視される人体の診断には余り用いられていない。

【0007】以上には超音波診断装置における探査方法についてのみ説明したが、超音波探傷装置、レーダ等においても同様の不都合がある。

【0008】

【発明の目的】この発明は上記の問題点に鑑みてなされたものであり、送信波を変更しなくても空間分解能を高めることができ、しかもリアルタイム性を達成できる新規な探査装置を提供することを目的としている。

【0009】

【課題を解決するための手段】上記の目的を達成するための、請求項1の探査装置は、送信波を複数個のパルス列として記録するパルス列記録手段と、各パルスおよび所定値が割当てられた該当するインパルス応答に基づく演算を行なって、該当するインパルス応答を次のパルスに対応する演算に反映させるインパルス応答演算手段と、各インパルス応答演算手段により得られる演算結果を畳み込み演算する演算結果用畳み込み演算手段と、畳み込み演算結果と受信波パルスとの差を算出する差算出手段と、算出された差に基づいて各インパルス応答演算手段におけるインパルス応答を補正する補正手段とを含んでいる。但し、インパルス応答演算手段がパルス列記録手段および補正手段を含んでいてもよい。

【0010】請求項2の探査装置は、受信波パルスに先行する受信波パルスを出力する先行受信波パルス出力手段と、先行する受信波パルスに対応させて演算結果用畳み込み演算手段および差算出手段と、各インパルス応答演算手段に対応させて該当する差算出手段により得られる差を畳み込み演算して補正手段に供給する差用畳み込み演算手段とをさらに含んでいる。

【0011】

【作用】請求項1の探査装置であれば、送信波を送波し、反射波を受信して受信波に基づいて媒体の密度が変化する境界面の位置を計測する場合に、送信波を複数個のパルス列としてパルス列記録手段に記録しておき、インパルス応答演算手段により、各パルスおよび所定値が割当てられた該当するインパルス応答に基づく演算を行なって得られた演算結果を次のパルスに対応する演算に反映させる。そして、演算結果用畳み込み演算手段によって、各インパルス応答演算手段により得られる演算結果を畳み込み演算し、差算出手段により畳み込み演算結果と受信波パルスとの差を算出し、算出された差に基づいて補正手段により各インパルス応答演算手段におけるインパルス応答を補正するのであるから、特殊な送波

器、受波器を用いなくても高い空間分解能を達成できる。そして、高周波帯域での減衰率が大きい媒質であっても、送信波のパルス周波数を低くし、しかも受信波のサンプリング・レートを高めることにより、探査範囲の拡大および高空間分解能化を達成できる。さらに、FFT処理と異なり、リアルタイムでインパルス応答を得ることができる。

【0012】請求項2の探査装置であれば、現在の受信波パルスのみならず先行する受信波パルスをも考慮してインパルス応答を補正するのであるから、ノイズに対する耐性を高めることができ、より高精度に媒体の密度が変化する境界面の位置を計測できる。

【0013】

【実施例】以下、実施例を示す添付図面によって詳細に説明する。図1はこの発明の探査装置の一実施例としての超音波探査装置の要部を示すブロック図であり、送波器から送波される所定のパルス周波数の超音波をn個のパルスからなるパルス列として得た場合の各パルスのピーク値 x_0, x_1, \dots, x_n を乗数とし、推定すべきインパルス応答 $g_j, g_{(j-1)}, \dots, g_{(j-n)}$ を被乗数とする演算を行なうインパルス応答演算部 $1_0, 1_1, \dots, 1_n$ と、全ての演算部から出力される演算結果に基づく畳み込み演算を行なう畳み込み演算部2と、畳み込み演算結果および受波波形を所定のサンプリング・レートでサンプリングすることにより得られる受信波パルスを入力として両者の差を算出する演算結果用差算出部3と、第1段目の演算部10に対して未知のインパルス応答 g_j について仮定の初期値を与える乱数発生器4とを有している。そして、インパルス応答演算部 $1_0, 1_1, \dots, 1_n$ は上記差に基づいて該当するインパルス応答を補正する補正部 $1_{0a}, 1_{1a}, \dots, 1_{na}$ を含んでおり、各補正部により補正されたインパルス応答を次段のインパルス応答演算部に供給するようにしている。尚、最終段の補正部 1_{na} により補正されたインパルス応答は超音波探査結果として出力される。

【0014】さらに詳細に説明すると、送波超音波の各パルスのピーク値 $x(\)$ が x_0, x_1, \dots, x_n であるから、時刻jにおける境界面のインパルス応答を G_j 、計測された反射波(受信波)を y_j とし、放射される超音波パルス波の音圧が小さく線形加算性が成立する場合には、受信波 y_j が数1で表現できる。

【0015】

【数1】

$$y_j = \sum_{i=0}^n G_{(j-i)} \cdot x_i$$

したがって、各インパルス応答演算部において正確なインパルス応答が設定されていれば畳み込み演算部2から出力される畳み込み演算結果 O_j (数2参照)は受信波 y_j と一致し、演算結果用差算出部3から出力される差

$y_j - O_j$ は0となる。

【0016】

【数2】

$$O_j = \sum_{i=0}^n g_{(j-i)} \cdot x_i$$

しかし、実際には全てのインパルス応答演算部において正確なインパルス応答を設定できる場合は皆無であり、計測時にノイズが混入するため、推定したインパルス応答 $g_{(j-i)}$ と実際のインパルス応答 $G_{(j-i)}$ とのずれに対応する差 $y_j - O_j$ が演算結果用差算出部3から出力される。

【0017】そして、演算結果用差算出部3から出力される差 $y_j - O_j$ に基づいて各インパルス応答演算部に含まれる補正部において次式で示す補正演算を行なって推定したインパルス応答を補正する。

$$g_{(j-i)} = g_{(j-i)} + (y_j - O_j) \cdot x_i$$

ここで、 $(y_j - O_j) \cdot x_i$ とはインパルス応答の収束速度および安定性に影響を及ぼすパラメータであり、微小な正の数に設定される。

【0018】したがって、推定されたインパルス応答 $g_{(j-i)}$ が上記補正演算に基づく補正分だけ実際のインパルス応答 $G_{(j-i)}$ に接近する。そして、補正されたインパルス応答 $g_{(j-i)}$ は次の時刻における処理に対応すべく次段のインパルス応答演算部に供給され、同様の処理が反復される。この結果、インパルス応答演算部 $1_0, 1_1, \dots, 1_n$ において順次上記処理が行なわれることにより実際のインパルス応答 $G_{(j-i)}$ に高精度に近似できるインパルス応答 $g_{(j-i)}$ が得られる。

【0019】以上の説明から明らかなように、n段のインパルス応答補正処理が行なわれた後は、データが得られる毎に直ちにインパルス応答を得ることができ、リアルタイム処理を達成できる。また、送出パルスの周波数を低くして減衰を小さくし、データ列を得るためのサンプリング・レートを高めることにより簡単に高解像度化できる。

【0020】

【実施例2】図2はこの発明の探査装置の他の実施例としての音響探査装置の要部を示すブロック図であり、図1の実施例と異なる点は、畳み込み演算部2および演算結果用差算出部3のほかにも畳み込み演算部2a、2bおよび演算結果用差算出部3a、3bを設けた点、受信波を所定時間だけ遅延させた状態で演算結果用差算出部3a、3bに供給する遅延回路5a、5bを設けた点、インパルス応答演算部 $1_{n+1}, 1_{n+2}$ をさらに設けた点および各インパルス応答演算部に対応させて差用畳み込み演算部 $6_0, 6_1, \dots, 6_n, 6_{n+1}, 6_{n+2}$ を設け、差用畳み込み演算部からの演算結果を該当するインパルス応答演算部に含まれる補正部に供給する点のみである。

【0021】そして、インパルス応答演算部 $1_0, 1_1, \dots, 1_n$ からの演算結果を畳み込み演算部 2 に、インパルス応答演算部 $1_1, 1_2, \dots, 1_n, 1_{n+1}$ からの演算結果を演算結果用畳み込み演算部 2 a に、インパルス応答演算部 $1_2, 1_3, \dots, 1_n, 1_{n+1}, 1_{n+2}$ からの演算結果を演算結果用畳み込み演算部 2 b にそれぞれ供給しているとともに、演算結果用差算出部 3 からの差を差用畳み込み演算部 $6_0, 6_1, \dots, 6_n$ に、演算結果用差算出部 3 a からの差を差用畳み込み演算部 $6_1, 6_2, \dots, 6_n, 6_{n+1}$ に、演算結果用差算出部 3 b からの差を差用畳み込み演算部 $6_2, 6_3, \dots, 6_n, 6_{n+1}, 6_{n+2}$ にそれぞれ供給している。

【0022】したがって、この実施例の場合には、各演算結果用畳み込み演算部および演算結果用差算出部により実施例 1 と同様に差を算出する。この結果、時刻 j における差 $d_j = y_j - O_j$ と、時刻 $j - 1$ における差 $d_{j-1} = y_{j-1} - O_{j-1}$ と時刻 $j - 2$ における $d_{j-2} = y_{j-2} - O_{j-2}$ とが同時に得られる。そして、これらの差はそれぞれ該当する差用畳み込み演算部に供給され、差用畳み込み演算部からの演算結果が該当するインパルス応答演算部の補正部に供給される。ここで、差用畳み込み演算部 6_i ($i = 2, 3, \dots, n$) は演算結果用差算出部 3, 3 a, 3 b からの差 d_j, d_{j-1}, d_{j-2} に対応して荷重 x_i, x_{i+1}, x_{i+2} が設定されており、 $x_i \cdot d_j + x_{i+1} \cdot d_{j-1} + x_{i+2} \cdot d_{j-2}$ の畳み込み演算を行なって演算結果を該当するインパルス応答演算部の補正部に供給する。また、差用畳み込み演算部 6_0 は演算結果用差算出部 3 からの差 d_j に対応して荷重 x_0 が設定されており、 $x_0 \cdot d_j$ の畳み込み演算を行なって演算結果を該当するインパルス応答演算部の補正部に供給し、差用畳み込み演算部 6_1 は演算結果用差算出部 3, 3 a からの差 d_j, d_{j-1} に対応して荷重 x_0, x_1 が設定されており、 $x_0 \cdot d_j + x_1 \cdot d_{j-1}$ の畳み込み演算を行なって演算結果を該当するインパルス応答演算部の補正部に供給し、差用畳み込み演算部 6_{n+1} は演算結果用差算出部 3 a, 3 b からの差 d_{j-1}, d_{j-2} に対応して荷重 x_{n-1}, x_n が設定されており、 $x_n \cdot d_{j-1} + x_{n-1} \cdot d_{j-2}$ の畳み込み演算を行なって演算結果を該当するインパルス応答演算部の補正部に供給し、差用畳み込み演算部 6_{n+2} は演算結果用差算出部 3 b からの差 d_{j-2} に対応して荷重 x_n が設定されており、 $x_n \cdot d_{j-2}$ の畳み込み演算を行なって演算結果を該当するインパルス応答演算部の補正部に供給する。

【0023】したがって、時刻 j における受信波のみならず時刻 $j - 1, j - 2$ における受信波に対する差を得、得られた全ての差に基づいて補正部によりインパルス応答を補正し、補正されたインパルス応答を次段のインパルス応答演算部に供給して同様の処理を反復するのであるから、受信波に瞬間的にノイズが重畳されていて

もノイズの影響を大巾に低減でき、高精度の超音波探査を達成できる。

【0024】実施例 2 においては、時刻 $j, j - 1, j - 2$ の各時点における受信波を考慮してインパルス応答を推定するようにしているが、考慮する受信波の時点を増加させてノイズに対する耐性をさらに高めることが可能である。尚、この発明は上記の実施例に限定されるものではなく、例えば、超音波診断装置、ソナー、レーダ等種々の分野に適用することができるほか、この発明の要旨を変更しない範囲内において種々の設計変更を施すことが可能である。

【0025】

【発明の効果】以上のように請求項 1 の発明は、特殊な送波器、受波器を用いなくても高い空間分解能を達成できるのみならず、高周波帯域での減衰率が大きい媒質であっても、送信波のパルス周波数を低くし、しかも受信波のサンプリング・レートを高めることにより、探査範囲の拡大および高空間分解能化を達成でき、さらに、FFT 処理と異なり、リアルタイムでインパルス応答を得ることができるという特有の効果を奏する。

【0026】請求項 2 の発明は、請求項 1 の効果に加え、該当する時点の受信波のみならず先行する受信波をも考慮してインパルス応答を推定するのであるから、ノイズに対する耐性を高めることができるという特有の効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【図 1】この発明の探査装置の一実施例としての音響探査装置の要部を示すブロック図である。

【図 2】この発明の探査装置の他の実施例としての音響探査装置の要部を示すブロック図である。

【図 3】パルス・エコー法の原理を説明する概略図である。

【図 4】反射波の強度の時間波形を観測するモードを説明する概略図である。

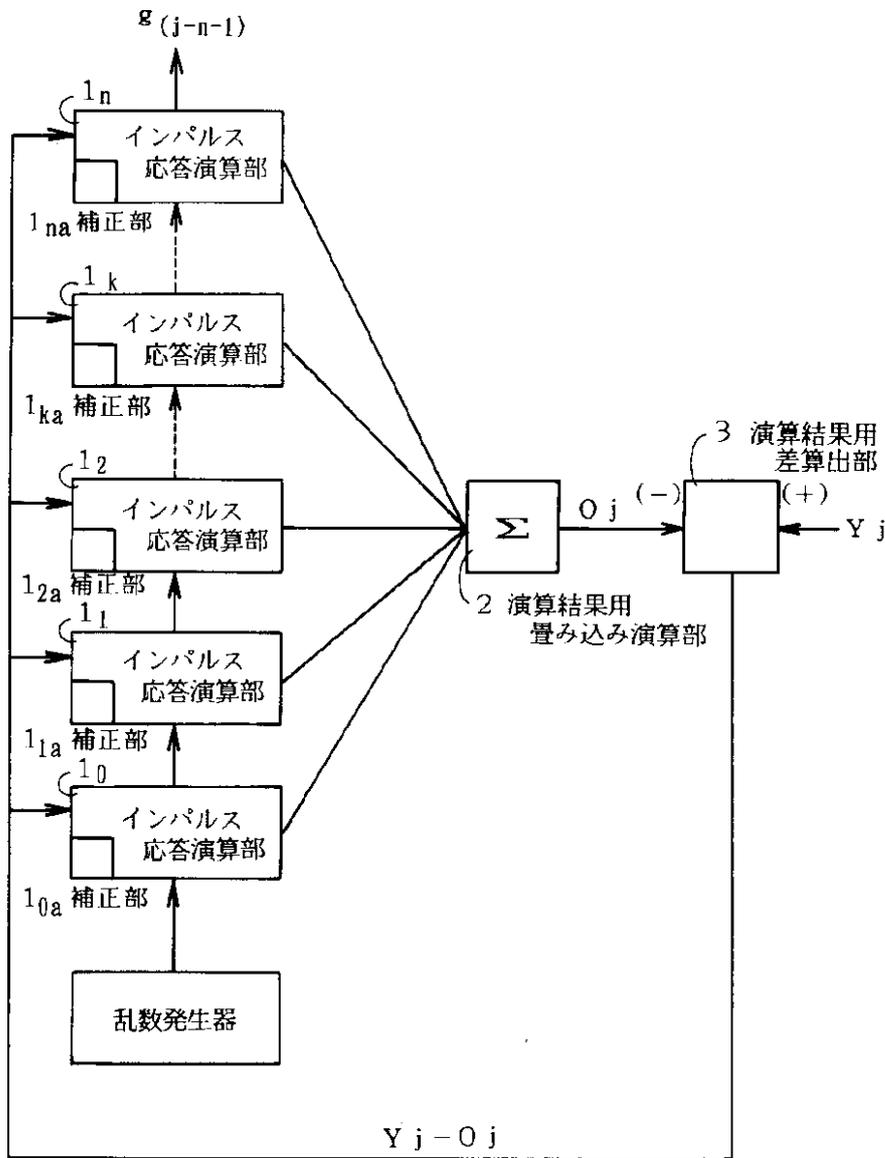
【図 5】1 次元的に接触子を走査し閾値を設けて走査方向と深さ方向の 2 次元像を観測するモードを説明する概略図である。

【図 6】走査を 2 次元的に行なって同じ深さの 2 次元像を観測するモードを説明する概略図である。

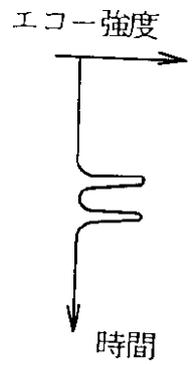
【符号の説明】

- 2, 2 a, 2 b 演算結果用畳み込み演算部
- 3, 3 a, 3 b 演算結果用差算出部
- 5 a, 5 b 遅延回路
- $1_0, 1_1, \dots, 1_n, 1_{n+1}, 1_{n+2}$ インパルス応答演算部
- $1_{0a}, 1_{1a}, \dots, 1_{na}, 1_{(n+1)a}, 1_{(n+2)a}$ 補正部
- $6_0, 6_1, \dots, 6_n, 6_{n+1}, 6_{n+2}$ 差用畳み込み演算部

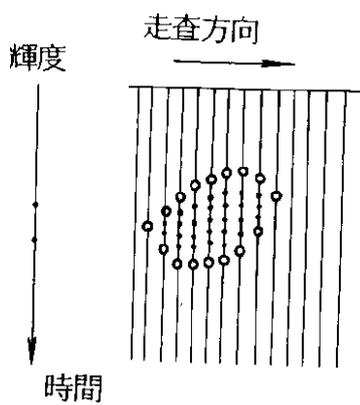
【図 1】



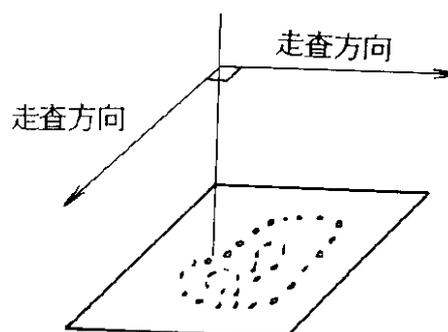
【図 4】



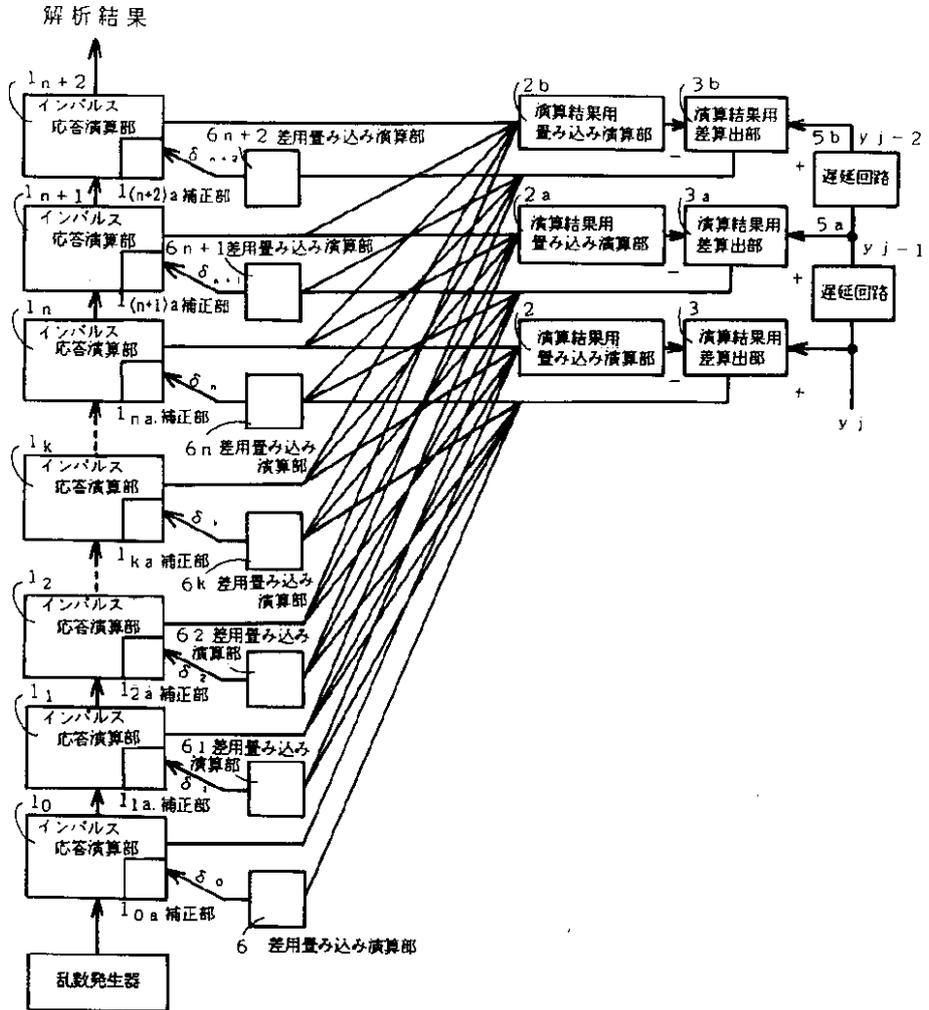
【図 5】



【図 6】



【図 2】



【図3】

