(19)日本国特許庁(JP)

# (12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7324086号
(P7324086)

(45)発行日　令和5年8月9日(2023.8.9)

(24)登録日　令和5年8月1日(2023.8.1)

(51)国際特許分類
*G06N 20/00 (2019.01)*

FI
G06N 20/00 130

請求項の数 12 （全18頁）

(21)出願番号　特願2019-149156(P2019-149156)
(22)出願日　令和1年8月15日(2019.8.15)
(65)公開番号　特開2021-33378(P2021-33378A)
(43)公開日　令和3年3月1日(2021.3.1)
審査請求日　令和4年8月15日(2022.8.15)

(73)特許権者　000001007
キヤノン株式会社
東京都大田区下丸子３丁目３０番２号
(74)代理人　110003281
弁理士法人大塚国際特許事務所
(72)発明者　丹治 晃一
東京都大田区下丸子３丁目３０番２号
キヤノン株式会社内
審査官　加藤 優一

最終頁に続く

(54)【発明の名称】　情報処理装置、情報処理方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

入力データに対応する教師データの位相幾何学的性質に基づいて、位相不変量に関する教師データを生成する生成手段と、

前記入力データを入力した識別器から出力される出力データにおいて一部の教師データに対応する位相不変量と、前記生成手段により生成された位相不変量に関する教師データと、に基づいて、前記識別器の学習を行う学習手段と

を備えることを特徴とする情報処理装置。

【請求項２】

前記入力データと該入力データに対応する教師データとを含む学習データの集合から、前記識別器の再学習に用いる学習データを取得する取得手段と、

前記取得手段が取得した学習データを用いて前記識別器の再学習を行う再学習手段と

をさらに備えることを特徴とする請求項１に記載の情報処理装置。

【請求項３】

前記再学習手段は、前記学習手段による前記識別器の学習の結果に基づいて、前記集合から前記識別器の再学習に用いる学習データを取得することを特徴とする請求項２に記載の情報処理装置。

【請求項４】

前記再学習手段は、前記集合を一覧表示し、該集合からユーザにより選択された学習データを、前記識別器の再学習に用いる学習データとして取得することを特徴とする請求項

２に記載の情報処理装置。
【請求項５】
　前記学習手段は、前記入力データを入力した識別器から出力される出力データにおいて一部の教師データに対応する位相不変量と前記生成手段により生成された位相不変量に関する教師データとの差分と、前記出力データと前記入力データに対応する教師データとの差分と、に基づく総合誤差に基づいて前記識別器の学習を行うことを特徴とする請求項１乃至４の何れか１項に記載の情報処理装置。
【請求項６】
前記入力データおよび前記教師データは画像データを含み、
前記位相幾何学的性質は前記画像データにおける対象の元の形状が連続変形したとしても不変に保たれる性質のことであり、前記位相不変量は前記位相幾何学的性質のうち不変に保たれる量であることを特徴とする請求項１乃至５の何れか１項に記載の情報処理装置。
【請求項７】
前記入力データに対応する教師データに対して、前記画像データの画像領域のうち位相不変量を求める領域を注目領域として設定し、前記注目領域の位相不変量を前記位相不変量に関する教師データとして求めることを特徴とする請求項６に記載の情報処理装置。
【請求項８】
　前記識別器は、入力データから特定パターンを識別する階層型ニューラルネットワークであることを特徴とする請求項１乃至７の何れか１項に記載の情報処理装置。
【請求項９】
前記出力データは、入力データを入力した前記階層型ニューラルネットワークから出力される出力分布であることを特徴とする請求項８に記載の情報処理装置。
【請求項１０】
さらに、
評価用データに基づいて前記階層型ニューラルネットワークの誤認識率を推定し、該推定した誤認識率が所定の閾値以下となった場合に前記学習手段による前記階層型ニューラルネットワークの学習を終了する評価手段を備えることを特徴とする請求項８または９に記載の情報処理装置。
【請求項１１】
　情報処理装置が行う情報処理方法であって、
　前記情報処理装置の生成手段が、入力データに対応する教師データの位相幾何学的性質に基づいて、位相不変量に関する教師データを生成する生成工程と、
　前記情報処理装置の学習手段が、前記入力データを入力した識別器から出力される出力データにおいて一部の教師データに対応する位相不変量と、前記生成工程で生成された位相不変量に関する教師データと、に基づいて、前記識別器の学習を行う学習工程と
　を備えることを特徴とする情報処理方法。
【請求項１２】
　コンピュータを、請求項１乃至１０の何れか１項に記載の情報処理装置の各手段として機能させるためのコンピュータプログラム。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
　本発明は、被検出領域の位相幾何学的性質を用いて学習を行うための技術に関するものである。
【背景技術】
【０００２】
　従来より、入力信号から、フィルタリング等の演算処理（モルフォロジー演算等）によって特定パターンを抽出することが行われている。このモルフォロジー演算においては、例えば入力信号が画像の場合、３×３画素といった特定のサイズの構造要素を元データに作用させて、出力を得る。また、入力信号から特定パターンを識別するために、学習デー

タを用いて識別器を生成した上で、該識別器を用いて特定パターンを識別することも行われている。識別器の学習では、例えば学習に階層型ネットワークを用いた場合、与えた正解データ（以下、教師データ或いはＧＴ（Ground Truth）と記す）との誤差を、階層型ネットワークにおいて逆伝播させることによって重み係数の更新を行っていく。前述したモルフォロジー演算を用いた特定パターンの抽出において得られる結果は作用させる構造要素の局所的な範囲に依存し、構造要素のサイズを大きくすれば、それが作用する範囲は大きくなるものの、得られる結果の解像度が低下するという問題がある。また、前述した識別器を用いた場合には、学習に反映されるのは、局所的な教師データとの誤差といった局所的な情報であって、特定パターンが有する大域的な形状ではなかった。

【０００３】

この様な問題に対処するために、これまでにいくつかの提案がなされている。例えば、テンプレートマッチングといって、あらかじめ用意した特定パターン形状とのマッチングを行うことによって、特定形状の抽出を行う方法（非特許文献１）が知られている。また、データの位相幾何学的性質に着目するＴＤＡ（Topological Data Analysis）を、特定の空間にマッピングした時系列データに適用することによって、識別器にデータを入力する段階で、データの大域的な特徴を取り込む方法（非特許文献２）なども知られている。

【先行技術文献】

【非特許文献】

【０００４】

【文献】C. Muramatsu, et al.“血管モデルのテンプレートマッチングによる眼底画像上の主幹動静脈認識精度の改善” 医用画像情報学会, Vol.30 No.3, 63-69 (2013)
Y. Umeda “Time Series Classification via Topological Data Analysis”人工知能学会, Vol.32, No.3, 1-12, (2017)

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【０００５】

しかしながら、前述したテンプレートマッチングを用いる方法においては、あらかじめ用意したテンプレートのパターンに効果が限定され、汎用的な手法としては用いることができないという問題がある。また、前述したＴＤＡを学習に用いる方法においては、時系列データの位相幾何学的性質を特徴量として用いることのみが開示されており、データの位相幾何学的性質を、より広範な形態で多様な対象の学習に用いることは想定されていないという課題があった。本発明は、被検出領域の位相幾何学的性質を識別器の学習に用いるための技術を提供する。

【課題を解決するための手段】

【０００６】

本発明の一様態は、入力データに対応する教師データの位相幾何学的性質に基づいて、位相不変量に関する教師データを生成する生成手段と、

前記入力データを入力した識別器から出力される出力データにおいて一部の教師データに対応する位相不変量と、前記生成手段により生成された位相不変量に関する教師データと、に基づいて、前記識別器の学習を行う学習手段と

を備えることを特徴とする。

【発明の効果】

【０００７】

本発明の構成によれば、被検出領域の位相幾何学的性質を識別器の学習に用いることができる。

【図面の簡単な説明】

【０００８】

【図１】情報処理装置の機能構成例を示すブロック図。

【図２】情報処理装置による識別器の学習処理のフローチャート。

【図３】位相幾何学（トポロジー）概念の模式図である。

【図４】位相不変量概念の模式図である。
【図５】位相不変量を用いて学習を行う階層型ネットワークの模式図である。
【図６】注目領域を設定する過程の模式図である。
【図７】注目領域における位相不変量を導出する過程の模式図である。
【図８】情報処理装置の機能構成例を示すブロック図。
【図９】情報処理装置による識別器の学習処理のフローチャート。
【図１０】位相不変量を用いて難画像収集を行う過程の模式図である。
【図１１】第３の実施形態に係る学習過程の模式図である。
【図１２】第４の実施形態に係る学習過程の模式図である。
【図１３】第５の実施形態に係る学習過程の模式図である。
【図１４】コンピュータ装置のハードウェア構成例を示すブロック図。
【発明を実施するための形態】
【０００９】
以下、添付図面を参照して実施形態を詳しく説明する。尚、以下の実施形態は特許請求の範囲に係る発明を限定するものでない。実施形態には複数の特徴が記載されているが、これらの複数の特徴の全てが発明に必須のものとは限らず、また、複数の特徴は任意に組み合わせられてもよい。さらに、添付図面においては、同一若しくは同様の構成に同一の参照番号を付し、重複した説明は省略する。
【００１０】
なお、本発明は、被検出領域の位相幾何学的性質を、従来手法に併用して学習を行うことによって、より好適な結果を得ることができる技術を提供することを目的とするものである。然るに、被検出領域の位相幾何学的性質を利用できる場合であれば、いかなる手法や対象にも適用可能である。
【００１１】
［第１の実施形態］
先ず、本実施形態に係る情報処理装置の機能構成例について、図１のブロック図を用いて説明する。なお、図１に示した構成は、以下に説明する学習処理を実現可能な構成の一例に過ぎず、同様の目的を達成できるのであれば、情報処理装置の機能構成は図１に示した構成に限らない。
【００１２】
記憶部１０１は、基本学習データを保持する。基本学習データとは、何らかの加工や変形、或いは追加の解釈を行わない元の学習データのことである。基本学習データは、入力データと、該入力データを識別器に入力した場合に該識別器から出力される出力データとして望ましいデータである教師データと、を含む。
【００１３】
設定部１０２は、基本学習データに含まれている教師データにおける部分データの位相幾何学的性質に基づいて、位相不変量に関する教師データを生成する。そして設定部１０２は、基本学習データと、設定部１０２により生成された「位相不変量に関する教師データ」と、を含む学習データである位相不変量学習データを記憶部１０３に格納する。
【００１４】
ここで、位相幾何学的性質について、図３を用いて説明する。図３（ａ）は事例としてコーヒーカップの輪郭を、図３（ｂ）はドーナツの輪郭を示している。図３（ａ）のコーヒーカップの輪郭と図３（ｂ）のドーナッツの輪郭とは、形態としては異なるものの、輪郭中に存在する穴の数に着目すると、図３（ａ）では取っ手部分の１つであり、図３（ｂ）ではドーナツの穴の数１つであり、同一である。この様に、元の形状が連続変形（伸縮したり曲がったりはするが、切断したりはしない）したとしても、不変に保たれる性質のことを位相幾何学的性質と呼び、不変に保たれる量を位相不変量という。図４は、代表的な位相不変量を模式的に示したものである。図４（ａ）は連結成分の概念を、図４（ｂ）は２次元の系における穴の概念を、図４（ｃ）は３次元の系における空洞の概念を模式的に示しており、それぞれの数は、連続変形で不変に保たれる。

【００１５】
図１に戻って、学習処理部１０４は、記憶部１０３に格納されている位相不変量学習データを用いて識別器の学習処理を行う。そして学習処理部１０４は、識別器の学習処理が完了すると、該学習処理の結果を記憶部１０５に格納する。
【００１６】
記憶部１０６は、学習処理部１０４により学習が完了した識別器を評価するために用いるテストデータを保持する。テストデータとしては、例えば、上記のような基本学習データを用いても良い。
【００１７】
評価部１０７は、記憶部１０６に格納されているテストデータを用いて、学習処理部１０４により学習済みの識別器の評価を行う。例えば、テストデータとして上記のような基本学習データを用いた場合、評価部１０７は、基本学習データに含まれている入力データに対する識別器の出力と、該基本学習データに含まれている教師データと、の差分（誤差）を評価結果として求める。そして評価部１０７は、求めた評価結果を表示出力や音声出力などの通知方法でもってユーザに通知する。制御部１９９は、上記の情報処理装置の各機能部の動作を制御する。
【００１８】
次に、本実施形態に係る情報処理装置による識別器の学習処理について、図２のフローチャートに従って説明する。ステップＳ１０１では、設定部１０２は、記憶部１０１に格納されている基本学習データを取得する。なお、基本学習データの取得元は記憶部１０１に限らず、例えば、ネットワークを介して外部の装置から基本学習データを取得するようにしても良い。
【００１９】
ステップＳ１０２では設定部１０２は、ステップＳ１０１で取得した基本学習データに含まれている教師データに対し、位相幾何学的性質を表す位相不変量を求める領域を注目領域として設定し、該注目領域内の位相不変量を位相不変量教師データとして求める。
【００２０】
ここで、どの様な位相不変量教師データを生成するのかは、基本学習データの性質（どの様なサイズや形状、或いは位相不変量として何を用いれば最も効果的に基本学習データの位相不変量を抽出できるか等）に依存する。以下では一例として輪郭抽出（入力対象となる画像中に含まれる物体の輪郭部分を抽出する）を行う場合に適用する事例を用いて説明する。
【００２１】
そして設定部１０２は、基本学習データと、設定部１０２により生成された位相不変量教師データと、を含む学習データである位相不変量学習データを記憶部１０３に格納する。
【００２２】
ステップＳ１０３では、学習処理部１０４は、ステップＳ１０２で記憶部１０３に格納された位相不変量学習データを用いて識別器の学習処理を行う。識別器として階層型ニューラルネットワークを用いた場合における学習処理部１０４の動作について、図５を用いて説明する。図５の階層型ニューラルネットワークは、中間層群５０２～５０４（それぞれの中間層群は、例えば複数の畳み込み層やプーリング層、フルコネクト層から成る）によって構成されている。例えば、中間層群５０２は２つの畳み込み層から構成され、中間層群５０３は１つのプーリング層に続く２つの畳み込み層から構成され、中間層群５０４も中間層群５０３と同様に１つのプーリング層に続く２つの畳み込み層から構成されている。以下では、学習処理部１０４が、このような構成を有する階層型ニューラルネットワークの学習処理を行うケースについて説明する。
【００２３】
学習処理部１０４は、基本学習データに含まれている入力データ５０１を中間層群５０２に入力して階層型ニューラルネットワークを動作させる。これにより中間層群５０２は該入力された入力データ５０１を処理し、中間層群５０３は該中間層群５０２による処理

結果を処理し、中間層群５０４は該中間層群５０３による処理結果を処理する。

【００２４】

そして学習処理部１０４は、中間層群５０４による処理結果としての出力データ５０５（入力データ５０１を入力した階層型ニューラルネットワークからの出力分布）と、位相不変量学習データに含まれている教師データであるＧＴ５０７（出力データ５０５にて抽出されることが期待される輪郭の教師データ）と、の差分（誤差）をＧＴ誤差５０９として求める。ＧＴ誤差５０９には、例えば、ＧＴ５０７のラベル値が０と１の２値の場合には、以下の式（１）のクロスエントロピー$L_{GT}$を用いればよい。

【００２５】

【数１】

$$L_{GT} = -\beta \sum_{j \in Y_+} \log(y_j) - (1-\beta) \sum_{j \in Y_-} \log(1-y_j) \quad \cdots \text{式（１）}$$

【００２６】

式（１）において、ｙｊは出力データ５０５が表す画像におけるｊ番目の画素の出力値を示している。また、Ｙ＋は評価に用いるＧＴ５０７においてポジティブ（ラベル値が１）である領域を示しており、Ｙ－は評価に用いるＧＴ５０７においてネガティブ（ラベル値が０）である領域を示している。Σは出力データ５０５が表す画像における全ての画素についての和を意味している。また、βはＧＴ５０７においてポジティブなものとネガティブなものとの比率のアンバランスを補正する係数であり、例えば、全体の画素数に対する、ＧＴ５０７がネガティブなものの画素数の比率として定義する。なお、βの値はＧＴ５０７毎に算出して設定してもよいし、全てのＧＴ５０７に対する平均的な値を設定してもよい。

【００２７】

また学習処理部１０４は、出力データ５０５において注目領域に対応する領域における位相不変量５０６（穴の数）を求める。そして学習処理部１０４は、位相不変量５０６と、注目領域における位相不変量教師データ（位相不変量５０６として出力されることが期待される位相不変量の教師データ）である位相ＧＴ５０８と、の差分（誤差）を位相ＧＴ誤差５１０として求める。例えば、位相ＧＴ誤差５１０として、位相不変量５０６と位相ＧＴ５０８との二乗誤差を注目領域ごとに求める。複数の注目領域のうちｋ番目の注目領域に対応する位相ＧＴ誤差５１０には、例えば、以下の式（２）の$l_{t_GT_k}$を用いればよい。

【００２８】

【数２】

$$l_{t_GT_k} = (t_k - t_GT_k)^2 \quad \cdots \text{式（２）}$$

【００２９】

式（２）において、ｔ$_k$は、ｋ番目の注目領域に対応する位相不変量５０６（穴の数）を示しており、ｔ＿ＧＴ$_k$はｋ番目の注目領域について設定されている位相ＧＴ５０８を示している。

【００３０】

そして学習処理部１０４は、式（１）を用いて求めたＧＴ誤差５０９と、式（２）を用いて求めた位相ＧＴ誤差５１０と、に基づく全体誤差を求める。例えば、学習処理部１０４は、式（１）を用いて求めたＧＴ誤差５０９と、式（２）を用いて求めた位相ＧＴ誤差５１０と、に基づく全体誤差として、ＧＴ誤差５０９と位相ＧＴ誤差５１０との積で表される総合誤差５１１を求める。総合誤差５１１には、例えば、以下の式（３）のＬｔｏｔａｌを用いればよい。

【００３１】

【数３】

$$L_{total} = -\beta \sum_{j \in Y_+} \log(y_j) \times l_{t_GT_k} - (1-\beta) \sum_{j \in Y_-} \log(1-y_j) \times l_{t_GT_k} \quad \cdots \text{式（３）}$$

【００３２】

式（３）においては、各画素が存在する領域に対応する注目領域ｋの位相ＧＴ誤差５１０を、各画素で評価されるＧＴ誤差５０９に掛け合わせたものの全画素についての総和をとることによって得られる。

【００３３】

そして学習処理部１０４は、このような総合誤差５１１を最小化するように階層型ニューラルネットワークの学習処理を行うことで、該階層型ニューラルネットワークにおける重み係数を求める。

【００３４】

ここで、設定部１０２による、教師データに対する注目領域の設定について、図６を用いて説明する。図６（ａ）は、基本学習データに含まれている教師データが表す画像における全画像領域を表しており、該画像における全画像領域では輪郭が抽出されている。図６（ａ）の画像には注目領域６０１が設定されている。注目領域６０１は、位相不変量を求めるために設定された領域である。図６（ｂ）は、図６（ａ）における注目領域６０１の拡大図である。

【００３５】

注目領域をどの様なサイズ・形状で設定するかは、入力する画像の特性に依存する。例えば、注目領域における位相不変量が非常に大きい値となる場合、位相ＧＴ誤差を評価する際の応答が非常に鈍いものとなり、位相ＧＴ誤差を併用する効果が薄くなってしまう。従って、この場合には、ある程度注目領域のサイズを小さくして、あらかじめ設定した下限値（例えば、２）を目安に、評価される位相不変量の値が小さくなる様にする必要がある。また、逆に注目領域で評価される位相不変量が、設定した下限値付近で大きく変化しない場合にも、位相ＧＴ誤差を評価する際の応答が非常に鈍いものとなり、位相ＧＴ誤差を併用する効果が薄くなってしまう。従って、この場合には、ある程度注目領域のサイズを大きくして、あらかじめ設定した上限値（例えば、１０）を目安に、評価される位相不変量の値が下限値付近で一定にならない様にする必要がある。また、この注目領域のサイズ・形状は、教師データが表す画像の全画像領域を表示装置等の画面に表示し、ユーザがそれを参照しながらキーボードやマウスなどのユーザインターフェースを操作して設定する様にしてもよい。図６（ｃ）は、表示装置６０２の表示画面に教師データが表す画像を

表示し、該画像において注目領域６０３～６０５が設定されている様子を示す図である。ユーザは該画像を確認しながら、重点的に学習を行いたい注目領域をユーザインターフェースを操作して設定する。なお、教師データが表す画像上に注目領域を設定する方法や、注目領域のサイズ、位置、形状等については特定の形態に限らない。

【００３６】

次に、設定部１０２は、教師データが表す画像上に設定した注目領域における位相不変量を、該注目領域に対応する位相ＧＴ５０８として求める。設定部１０２による注目領域の位相不変量（位相ＧＴ５０８）の導出について、図７（ａ）を用いて説明する。図７（ａ）は、教師データが表す画像上に設定された注目領域６０１の一例を表しており、該注目領域６０１は、領域１～３を含む。図７（ｄ）は、注目領域６０１の位相幾何学的特徴を抽出したものを模式的に示した図である。注目領域６０１が３つの領域を有するのに対応して、該注目領域６０１の位相幾何学的特徴によれば図７（ｄ）に示す如く３つの穴が存在するので、注目領域６０１に対応する位相不変量（穴の数）は３となる。よってこの場合、設定部１０２は、注目領域６０１に対応する位相ＧＴ５０８として３を求めることになる。

【００３７】

図７（ｂ）は、出力データ５０５において注目領域６０１に対応する部分画像の一例を表しており、該部分画像は、図７（ａ）の注目領域６０１と同様に領域１～３を含む。図７（ｅ）は、図７（ｂ）の部分画像の位相幾何学的特徴を抽出したものを模式的に示した図である。図７（ｂ）の部分画像が３つの領域を有するのに対応して、該部分画像の位相幾何学的特徴では図７（ｅ）に示す如く３つの穴が存在するので、図７（ｂ）の部分画像に対応する位相不変量５０６は３となり、位相ＧＴ５０８と同じ値となる。この場合、該注目領域６０１において非０の位相ＧＴ誤差５１０は生じないことになる。

【００３８】

図７（ｃ）は、出力データ５０５において注目領域６０１に対応する部分画像の一例を表しており、該部分画像は領域１～２を含む。この領域２は、途切れが発生したことによって、図７（ａ）の領域２と領域３が合体することによって生じたものである。図７（ｆ）は、図７（ｃ）の部分画像の位相幾何学的特徴を抽出したものを模式的に示した図である。図７（ｃ）の部分画像が２つの領域を有するのに対応して、該部分画像の位相幾何学的特徴では図７（ｆ）に示す如く２つの穴が存在するので、図７（ｃ）の部分画像に対応する位相不変量５０６は２となり、位相ＧＴ５０８とは異なる値となる。この場合、該注目領域６０１において非０の位相ＧＴ誤差５１０が生じることになる。すなわち、部分画像から抽出された輪郭に途切れが生じたことによって、非０の位相ＧＴ誤差５１０が生じ、それがペナルティとして、学習の際に考慮されることになる。なお、以上の過程において、位相不変量の算出には、例えばパーシステント図を用いる等の従来法を用いればよい。

【００３９】

図２に戻って、ステップＳ１０４では、制御部１９９は、学習処理部１０４による階層型ニューラルネットワークの学習処理を完了するか否かを判断する。例えば、評価部１０７が記憶部１０６に格納されているテストデータ（評価用のデータ）を用いて階層型ニューラルネットワークの誤認識率を求め、該求めた誤認識率が閾値以下となった場合には、階層型ニューラルネットワークの学習処理を完了すると判断する。ここで、誤認識率は、評価に用いたテストデータ全体のうち、誤った結果が得られたものの比率として定義される。なお、階層型ニューラルネットワークの学習処理を完了するか否かを判断するための指標は特定の指標に限らない。例えば制御部１９９は、ユーザがユーザインターフェースを操作して学習処理の終了指示を入力したことを検知した場合には、階層型ニューラルネットワークの学習処理を完了すると判断する。また例えば制御部１９９は、総合誤差５１１が閾値以下となった場合や、学習処理の繰り返し回数が閾値以上となった場合には、階層型ニューラルネットワークの学習処理を完了すると判断する。

【００４０】

このような判断の結果、階層型ニューラルネットワークの学習処理を完了すると判断し

た場合には、処理はステップＳ１０５に進み、階層型ニューラルネットワークの学習処理を完了しないと判断した場合には、処理はステップＳ１０３に進む。

【００４１】

ステップＳ１０５では、学習処理部１０４は、階層型ニューラルネットワークの学習処理の結果（階層型ニューラルネットワークにおける重み係数）を、記憶部１０５に格納する。

【００４２】

［第２の実施形態］

本実施形態を含む以下の各実施形態では第１の実施形態との差分について説明し、以下で特に触れない限りは第１の実施形態と同様であるものとする。本実施形態では、学習処理済みの階層型ニューラルネットワーク（例えば第１の実施形態に係る学習処理が完了した階層型ニューラルネットワーク）の再学習を行う際に、再学習に用いる基本学習データを選別する。そして該選別した基本学習データを用いて階層型ニューラルネットワークの再学習を行う。

【００４３】

本実施形態に係る情報処理装置の機能構成例について、図８のブロック図を用いて説明する。記憶部８０１には、第１の実施形態において説明した基本学習データが格納されている。なお、本実施形態では、記憶部８０１に格納されているそれぞれの基本学習データについて、該基本学習データを含む位相不変量学習データについて第１の実施形態で求めた総合誤差５１１が記憶部１０５に格納されているものとする。

【００４４】

収集部８０２は、記憶部８０１に格納されているそれぞれの基本学習データに対応する総合誤差５１１を記憶部８０１から取得する。そして収集部８０２は、記憶部８０１に格納されているそれぞれの基本学習データのうち総合誤差５１１が高い順に規定個数の基本学習データを記憶部８０１から収集し、該収集した基本学習データを記憶部８０３に格納する。

【００４５】

学習処理部８０４は、記憶部８０３に格納されている基本学習データを用いて階層型ニューラルネットワークの学習処理を行い、該学習処理の結果を記憶部８０５に格納する。記憶部８０６は、学習処理部８０４により学習が完了した階層型ニューラルネットワークを評価するために用いるテストデータを保持する。

【００４６】

評価部８０７は、記憶部８０６に格納されているテストデータを用いて、学習処理部８０４により学習済みの階層型ニューラルネットワークの評価を行う。そして評価部８０７は、求めた評価結果を表示出力や音声出力などの通知方法でもってユーザに通知する。

【００４７】

制御部８９９は、上記の情報処理装置の各機能部の動作を制御する。

【００４８】

次に、本実施形態に係る情報処理装置による識別器の学習処理について、図９のフローチャートに従って説明する。ステップＳ２０１では、収集部８０２は、記憶部８０１に格納されている全ての基本学習データを取得する。

【００４９】

ステップＳ２０２では、収集部８０２は、ステップＳ２０１で取得したそれぞれの基本学習データに対応する総合誤差５１１を記憶部８０１から取得する。そして収集部８０２は、ステップＳ２０１で取得したそれぞれの基本学習データのうち総合誤差５１１が高い順に規定個数の基本学習データを収集し、該収集した基本学習データを記憶部８０３に格納する。つまり、ステップＳ２０１で取得した基本学習データ群（図１０（ａ））のうち、総合誤差５１１が高い順に規定個数の基本学習データ群（図１０（ｂ））を収集して記憶部８０３に格納する。このような処理は、例えば、学習しがたい画像である難画像を集中的に学習するために該難画像をピックアップするためのものである。なお、収集部８０

２による基本学習データの収集法法は特定の収集方法に限らない。例えば収集部８０２は、ステップＳ２０１で取得したそれぞれの基本学習データに含まれている入力データを表示装置の表示画面に一覧表示させる。そして収集部８０２は、該表示された入力データからユーザがユーザインターフェースを操作して選択した入力データを含む基本学習データを収集する。

【００５０】

総合誤差５１１に含まれている位相ＧＴ誤差５１０は、局所的ではない、ある程度大域的な抽出パターンの精度を評価するものである。そのため、この様に難画像を収集し、逐次的に再学習を行うことによって、大域的な情報を正しく抽出する様な階層型ニューラルネットワークを最終的に得ることができる。

【００５１】

ステップＳ２０３では、学習処理部８０４は、ステップＳ２０２で収集部８０２が収集した基本学習データを用いて階層型ニューラルネットワークの学習処理を行う。ステップＳ２０４では、制御部８９９は、学習処理部８０４による階層型ニューラルネットワークの学習処理を完了するか否かを判断する。例えば、評価部８０７が記憶部８０６に格納されているテストデータ（評価用のデータ）を用いて階層型ニューラルネットワークの誤認識率を求め、該求めた誤認識率が閾値以下となった場合には、階層型ニューラルネットワークの学習処理を完了すると判断する。なお、階層型ニューラルネットワークの学習処理を完了するか否かを判断するための指標は第１の実施形態と同様に特定の指標に限らない。

【００５２】

このような判断の結果、階層型ニューラルネットワークの学習処理を完了すると判断した場合には、処理はステップＳ２０５に進み、階層型ニューラルネットワークの学習処理を完了しないと判断した場合には、処理はステップＳ２０３に戻る。

【００５３】

ステップＳ２０５では、学習処理部８０４は、階層型ニューラルネットワークの学習処理の結果（階層型ニューラルネットワークにおける重み係数）を、記憶部８０５に格納する。

【００５４】

［第３の実施形態］

本実施形態では、第１の実施形態に係る情報処理装置を、入力画像における輪郭抽出の問題に適用して階層型ニューラルネットワークの学習を行うケースについて説明する。

【００５５】

図１１（ａ）は、ある画像において抽出される輪郭の教師データを示した図である。図１１（ｂ）は、図１１（ａ）と同じ画像に対して、学習の途中における階層型ニューラルネットワークを適用したことで得られる、輪郭の抽出結果を示した図である。図１１（ｂ）～（ｄ）において点線で区分された領域は、位相ＧＴ誤差を評価する際の注目領域を示している。図１１（ｂ）に示す如く、注目領域１１０１ａ、１１０１ｂでは、抽出された輪郭の途切れが発生している。

【００５６】

図１１（ｃ）は、図１１（ａ）と同じ画像において、点線で区分された各注目領域に対応する位相不変量（数字）を示す図である。図１１（ｄ）は、図１１（ｂ）に示した各注目領域における位相不変量（数字）を示す図である。図１１（ｄ）に示す如く、注目領域１１０１ａ、１１０１ｂのそれぞれでは、抽出された輪郭の途切れが発生していることに対応して位相不変量は「２」、「１」となっており、図１１（ｃ）において対応する注目領域の位相不変量「３」、「２」と異なっている。つまり、注目領域１１０１ａ、１１０１ｂでは非０の位相ＧＴ誤差が発生している。この様に、輪郭の途切れが発生して非０の位相ＧＴ誤差が発生する様な領域は、誤差が大きく評価され、学習への寄与が大きくなることによって、重点的に学習されることになる。その結果、学習を進行させるにつれ、この様な輪郭の途切れが発生しない様な階層型ニューラルネットワークを生成することができる。なお、以上の事例においては、注目領域は重複や空白が生じない様に設定したが、

位相不変量がより好適に評価される様に、重複や空白が生じる様に設定してもよい。
【００５７】
［第４の実施形態］
本実施形態では、第１の実施形態係る情報処理装置を、入力画像における領域分割の問題に適用して階層型ニューラルネットワークの学習を行うケースについて説明する。
【００５８】
図１２（ａ）は、領域分割する対象となる画像の各注目領域に対する教師データを示した図である。図１２（ｂ）は、図１２（ａ）と同じ画像に対して、学習の途中における階層型ニューラルネットワークを適用したことで得られる、領域の分割結果を示した図である。図１２（ｂ）～（ｄ）において点線で区分された領域は、位相ＧＴ誤差を評価する際の注目領域を示している。図１２（ｂ）に示す如く、注目領域１２０１では、領域分割される境界について、教師データとの位置ズレが発生している。
【００５９】
図１２（ｃ）は、図１２（ａ）と同じ画像において、点線で区分された各注目領域に対応する位相不変量（数字）を示す図である。図１２（ｄ）は、図１２（ｂ）と同じ画像において、点線で区分された各注目領域に対応する位相不変量（数字）を示す図である。図１２（ｄ）に示す如く注目領域１２０２では、領域分割される境界の位置ズレが発生していることに対応して位相不変量は「２」となっており、これは図１２（ｃ）において注目領域１２０２に対応する注目領域内の位相不変量「１」と異なる値となっている。つまり、注目領域１２０２では非０の位相ＧＴ誤差が発生している。この様に、領域分割される境界の位置ズレが発生して非０の位相ＧＴ誤差が発生する様な領域は、誤差が大きく評価され、学習への寄与が大きくなることによって、重点的に学習されることになる。その結果、学習を進行させるにつれ、この様な境界の位置ズレが発生しない様な階層型ニューラルネットワークを生成することができる。なお、以上の事例においては、注目領域は重複や空白が生じない様に設定したが、位相不変量がより好適に評価される様に、重複や空白が生じる様に設定してもよい。
【００６０】
［第５の実施形態］
第２の実施形態によれば、図１３に示す如く、輪郭抽出の問題に適用する場合に、基本学習データの集合（図１３（ａ））から、図１３（ａ）の集合よりも途切れの箇所が多い様な基本学習データの集合（図１３（ｂ））が優先的に選択されることになる。この様に、輪郭抽出の問題において、途切れの箇所が多い様な難画像を収集し、逐次的に再学習を行うことによって、輪郭の途切れが発生しにくい、大域的な輪郭を正しく抽出する様な階層型ニューラルネットワークを最終的に得ることができる。
【００６１】
なお、上記の各実施形態では、識別器の一例として階層型ニューラルネットワークを用いて説明を行ったが、これに限らず、階層型ニューラルネットワーク以外の識別器を適用しても良い。
【００６２】
また、上記の各実施形態に係る情報処理装置は、単一の装置で実装しても良いし、複数の装置で実装しても良い。また、上記の各実施形態に係る情報処理装置は、ディジタルカメラや複合機などの装置に組み込む組み込み機器としても良い。
【００６３】
［第６の実施形態］
図１，８に示した情報処理装置の各機能部は全てハードウェアで実装しても良いが、記憶部１０１，１０３，１０５，１０６，８０１，８０３，８０５，８０６以外の各機能部をソフトウェア（コンピュータプログラム）で実装しても良い。この場合、このコンピュータプログラムを実行可能なコンピュータ装置は、上記の各実施形態に係る情報処理装置に適用可能である。上記の各実施形態に適用可能なコンピュータ装置のハードウェア構成例について、図１４のブロック図を用いて説明する。

【００６４】
ＣＰＵ１４０１は、ＲＡＭ１４０２やＲＯＭ１４０３に格納されているコンピュータプログラムやデータを用いて各種の処理を実行する。これによりＣＰＵ１４０１は、コンピュータ装置全体の動作制御を行うと共に、情報処理装置が行うものとして上述した各処理を実行若しくは制御する。
【００６５】
ＲＡＭ１４０２は、ＲＯＭ１４０３や外部記憶装置１４０６からロードされたコンピュータプログラムやデータを格納するためのエリア、Ｉ／Ｆ（インターフェース）１４０７を介して外部から受信したデータを格納するためのエリア、を有する。さらにＲＡＭ１４０２は、ＣＰＵ１４０１が各種の処理を実行する際に用いるワークエリアを有する。このようにＲＡＭ１４０２は、各種のエリアを適宜提供することができる。ＲＯＭ１４０３には、コンピュータ装置の設定データや起動プログラムなどが格納されている。
【００６６】
操作部１４０４は、キーボード、マウス、タッチパネル画面などのユーザインターフェースである。ユーザは操作部１４０４を操作することで、各種の指示をＣＰＵ１４０１に対して入力することができる。
【００６７】
表示部１４０５は、液晶画面やタッチパネル画面を有し、ＣＰＵ１４０１による処理結果を画像や文字などでもって表示することができる。なお、表示部１４０５は、画像や文字を投影するプロジェクタなどの投影装置であっても良い。
【００６８】
例えば、表示部１４０５には、評価部１０７による評価結果を表示しても良いし、注目領域を設定するための画面を表示しても良いし、基本学習データを選択するための画面を表示しても良い。また例えば、ユーザによる注目領域の設定操作や基本学習データの選択操作はユーザインターフェースを用いて行っても良い。また、ユーザはユーザインターフェースを操作して学習処理の完了指示を入力しても良い。
【００６９】
外部記憶装置１４０６は、大容量情報記憶装置の一例である。外部記憶装置１４０６には、例えば、ＯＳ（オペレーティングシステム）や、情報処理装置が行うものとして上述した各処理をＣＰＵ１４０１に実行若しくは制御させるためのコンピュータプログラムやデータが保存されている。外部記憶装置１４０６に保存されているコンピュータプログラムには記憶部１０１，１０３，１０５，１０６，８０１，８０３，８０５，８０６以外の各機能部に対応する機能をＣＰＵ１４０１に実行／制御させるためのコンピュータプログラムが含まれている。また、外部記憶装置１４０６に保存されているデータには、上記の説明において既知の情報として説明したものが含まれている。
【００７０】
外部記憶装置１４０６に保存されているコンピュータプログラムやデータは、ＣＰＵ１４０１による制御に従って適宜ＲＡＭ１４０２にロードされ、ＣＰＵ１４０１による処理対象となる。
【００７１】
なお、上記の記憶部１０１，１０３，１０５，１０６，８０１，８０３，８０５，８０６は、ＲＡＭ１４０２、ＲＯＭ１４０３、外部記憶装置１４０６などのメモリ装置を用いて実装可能である。
【００７２】
Ｉ／Ｆ１４０７は、外部装置との間のデータ通信を行うためのインターフェースとして機能するものであり、Ｉ／Ｆ１４０７を介して外部装置から受信したデータは、ＲＡＭ１４０２や外部記憶装置１４０６に格納される。
【００７３】
ＣＰＵ１４０１、ＲＡＭ１４０２、ＲＯＭ１４０３、操作部１４０４、表示部１４０５、外部記憶装置１４０６、Ｉ／Ｆ１４０７は何れも、バス１４０８に接続されている。な

お、図１４に示した構成は、上記の情報処理装置に適用可能なコンピュータ装置のハードウェア構成の一例に過ぎす、適宜変更／変更が可能である。

【００７４】

なお、上記の説明において使用した具体的な数値は、具体的な説明を行うために使用したものであって、上記の各実施形態がこれらの数値に限定されることを意図したものではない。また、以上説明した各実施形態の一部若しくは全部を適宜組み合わせても構わない。また、以上説明した各実施形態の一部若しくは全部を選択的に用いても構わない。

【００７５】

（その他の実施形態）

本発明は、上述の実施形態の１以上の機能を実現するプログラムを、ネットワーク又は記憶媒体を介してシステム又は装置に供給し、そのシステム又は装置のコンピュータにおける１つ以上のプロセッサがプログラムを読出し実行する処理でも実現可能である。また、１以上の機能を実現する回路（例えば、ＡＳＩＣ）によっても実現可能である。

【００７６】

発明は上記実施形態に制限されるものではなく、発明の精神及び範囲から離脱することなく、様々な変更及び変形が可能である。従って、発明の範囲を公にするために請求項を添付する。

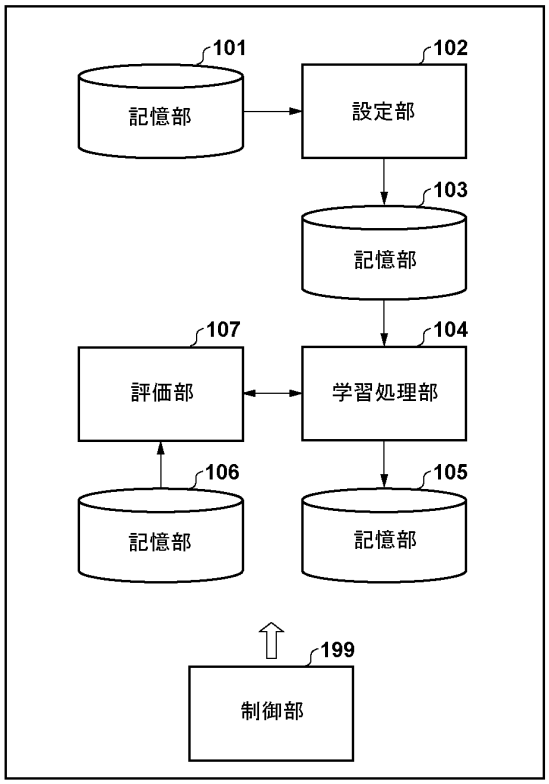
【符号の説明】

【００７７】

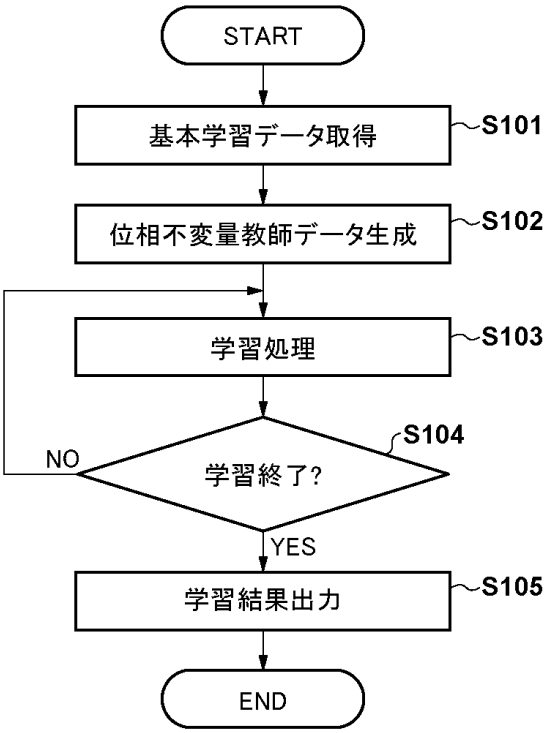
１０１：記憶部　１０２：設定部　１０３：記憶部　１０４：学習処理部　１０５：記憶部　１０６：記憶部　１０７：評価部　１９９：制御部

【図面】

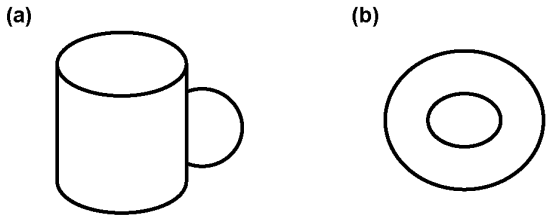
【図１】


101
記憶部
102
設定部
103
記憶部
107
評価部
104
学習処理部
106
記憶部
105
記憶部
199
制御部

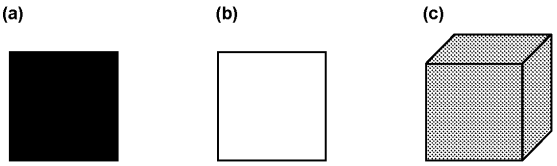
【図２】


START
基本学習データ取得
S101
位相不変量教師データ生成
S102
学習処理
S103
S104
NO
学習終了?
YES
学習結果出力
S105
END

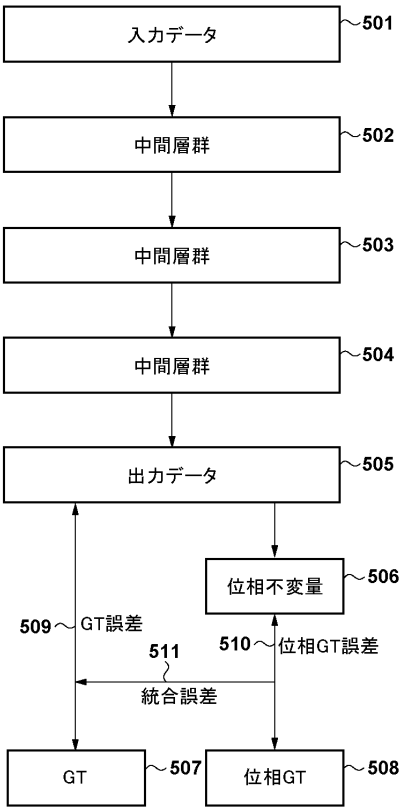
【図３】


(a)
(b)

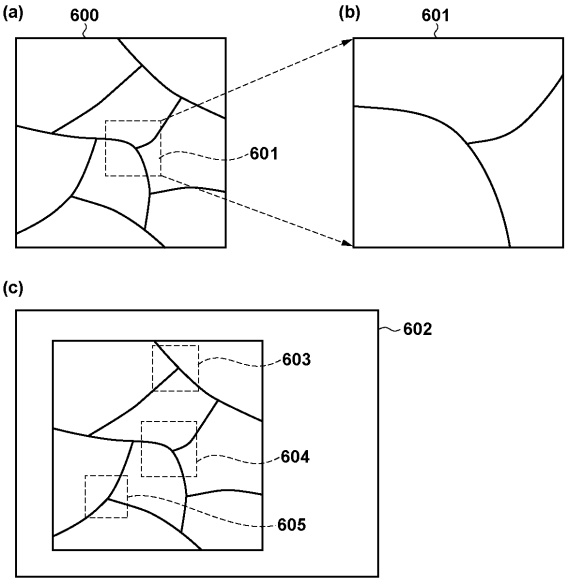
【図４】


(a)
(b)
(c)

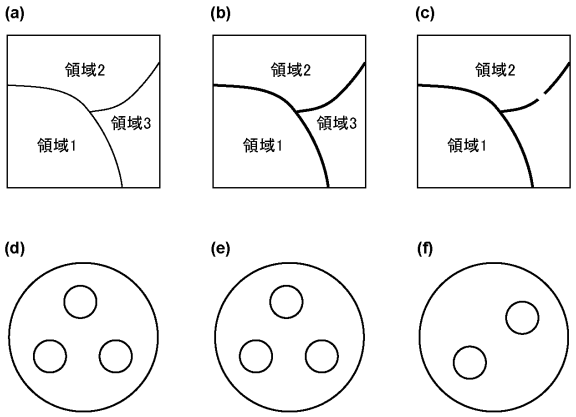
【図５】


入力データ
501
中間層群
502
中間層群
503
中間層群
504
出力データ
505
位相不変量
506
509 GT誤差
510 位相GT誤差
511
統合誤差
GT
507
位相GT
508

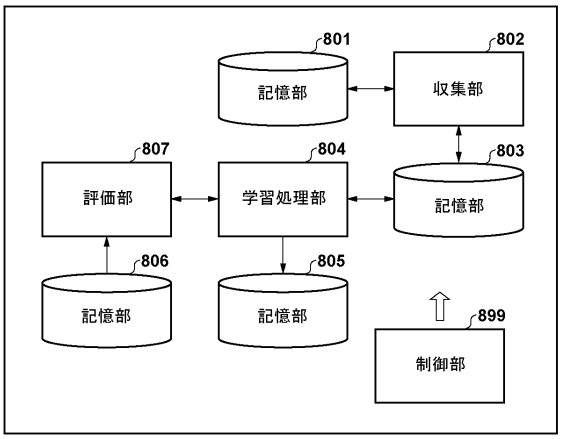
【図６】


(a)
600
(b)
601
601
(c)
602
603
604
605

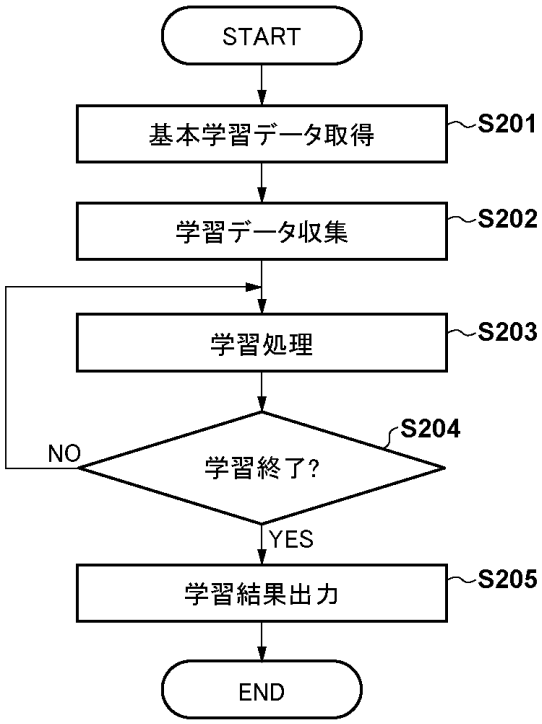
【図７】


(a)
領域2
領域3
領域1
(b)
領域2
領域3
領域1
(c)
領域2
領域1
(d)
(e)
(f)

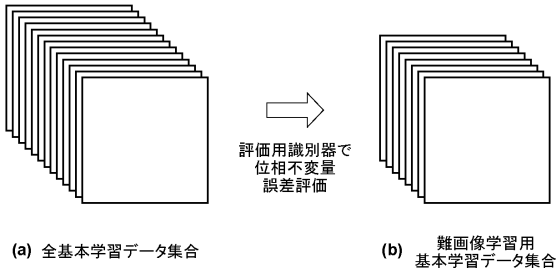
【図８】


801
記憶部
802
収集部
807
評価部
804
学習処理部
803
記憶部
806
記憶部
805
記憶部
899
制御部

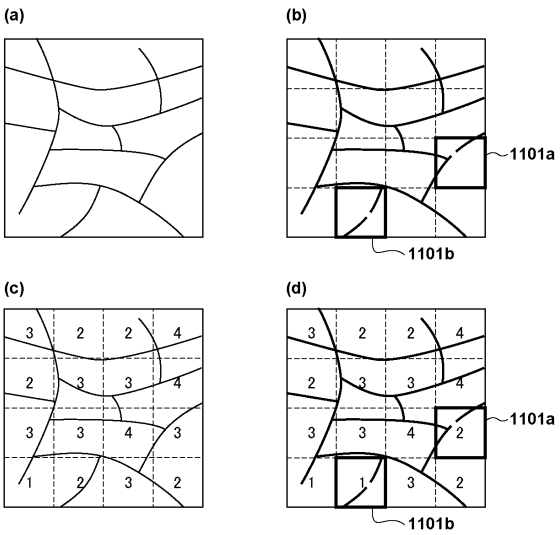
【図９】



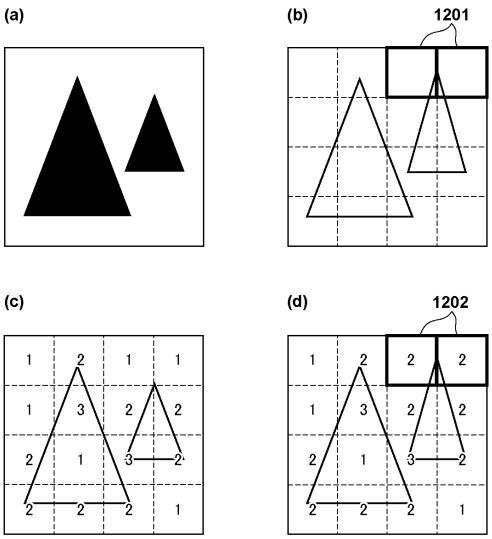

【図１０】



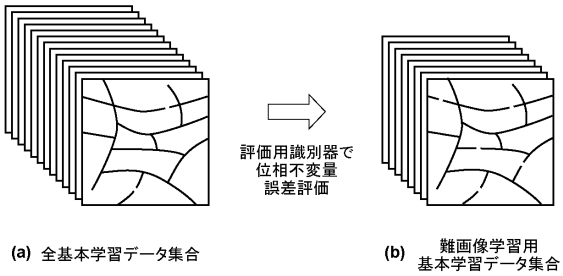

【図１１】



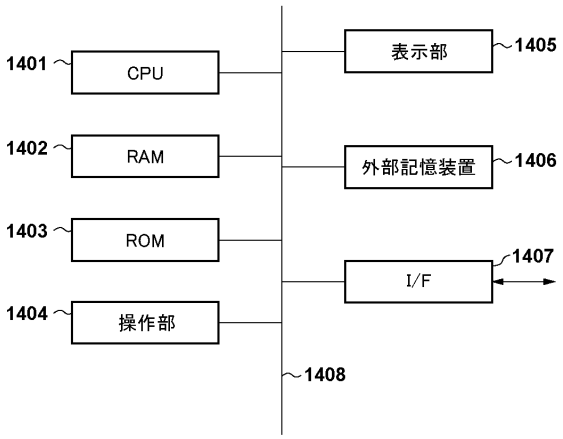

【図１２】



【図１３】


評価用識別器で
位相不変量
誤差評価
(a) 全基本学習データ集合
(b) 難画像学習用
基本学習データ集合

【図１４】


1401
CPU
1402
RAM
1403
ROM
1404
操作部
表示部
1405
外部記憶装置
1406
I/F
1407
1408

フロントページの続き

(56)参考文献 国際公開第２０１７／０１０３９７（WO，Ａ１）
国際公開第２０１４／１０３０６１（WO，Ａ１）
特開２０１２－２０８５９７（ＪＰ，Ａ）
特開２０１１－０４３９８８（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野 (Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｇ０６Ｎ　３／００ －９９／００
Ｇ０６Ｆ　１８／００ －１８／４０
Ｇ０６Ｔ　７／００ － ７／９０
Ｇ０６Ｖ　１０／００ －２０／９０
Ｇ０６Ｖ　３０／４１８
Ｇ０６Ｖ　４０／１６
Ｇ０６Ｖ　４０／２０