

## 学位論文題名

## Optical Implementation of Hough-transform

(ハフ変換の光学的実現)

## 学位論文内容の要旨

画像中から特定のパターンを検出あるいは認識する技術は、様々な分野でその応用が期待されている。例えばパターン認識における特徴抽出はその一つで、特徴と呼ばれる要素図形を検出するきわめて重要な処理に利用されている。

要素図形を検出する方法の一つにハフ変換がある。ハフ変換は、一般式がパラメータで記述される直線や円などの要素図形を画像中から検出するのに有効な手段であり、画像中のノイズにも強い、といった特徴がある。しかしながら、ハフ変換は多くの演算を必要とするため、計算機により実現する場合、高速処理は難かしいとされてきた。さらに、ハフ変換は検出対象とする要素図形毎に定義されるため、複数種類の要素図形を対象として検出する際には、要素図形の種類だけ異なったハフ変換を行わなければならないなどの難点があった。

ハフ変換は入力画像が存在する画像空間とパラメータ空間との間の写像関係を規定するもので、その定義から空間的にシフトバリエーションな点像分布関数をもつ光学系とみなすことができる。例えば、直線を検出するためのハフ変換において、ハフ変換画像  $F(\theta, r)$  は、入力2値画像を  $g(x, y)$ 、直線の一般式を  $r = x\cos\theta + y\sin\theta$  として、 $g(x, y)$  と  $\delta(r - x\cos\theta - y\sin\theta)$  とのコンボリューション積分で定義される。したがって、シフトバリエーションな点像分布関数をもつ光学系を用いることによりハフ変換が実現できる。今  $M \times N$  の標本点で2値化した入力画像を考えると、そのハフ変換には  $M \times N$  個の点像分布関数が必要になるが、それらの各々を再生する  $M \times N$  枚からなるホログラムの空間配列を用意して、入力画像に応じてそれらの中からホログラムを選択的に再生するシステムにより光学的ハフ変換が実現できる。

本論文はこの様な概念に基づき、所望の再生像を得ることができる計算機ホログラム (CGH) の空間配列によりハフ変換を光学的に実現する研究について述べたもので、6章からなっている。

第1章は序論で、本論文に関係する技術分野の歴史的背景、および本論文の目的

と意義について総括的に記述している。

第2章は、ハフ変換の原理および手法について、処理例を交えて記述している。

第3章では、各種のCGHのうち光学的ハフ変換の実現に際して最も有効なCGHについて検討を行い、Direct Binary Search (DBS)手法によるCGHが適していることを示している。また、DBS-CGHの作成時における、CGH標本点のスキャン方法は処理時間および再生像の品質に深刻な影響を与えないことを明らかにしている。さらに、ハフ変換におけるパラメータ空間には従来直交座標系がとられていたが、ハフ変換は本質的に画像空間とパラメータ空間との間の写像関係を規定するものなので、従来の直交座標系にとらわれることなくパラメータ空間を再配列することが可能であることを新たに理論的に明らかにしている。この新たなパラメータ空間を再配列パラメータ空間として用いることを提案している。光学的ハフ変換におけるCGHの再生領域はコンパクトな方が望ましく、従来の直交座標系のパラメータ空間を再配列することによりCGHの再生領域をコンパクトにできることを明らかにしている。

第4章では複数の要素図形の並列検出のための光学的ハフ変換について記述しており、要素図形ごとに定義された複数の再配列パラメータ空間を一つにした拡張パラメータ空間が定義でき、複数種類のハフ変換が並列に実行できることを明らかにしている。すなわち、円検出用の再配列パラメータ空間と直線検出用の再配列パラメータ空間を融合して一つの拡張パラメータ空間とすることにより、円と直線を同時に検出することが可能となる。この拡張パラメータ空間の概念により、より複数の要素図形を並列に検出できることを明らかにしている。また、実験では円と直線を並列に検出するための拡張パラメータ空間を定義し、 $16 \times 16$ の入力画像に対する光学的ハフ変換を行い、その有効性を確認している。

第5章では光学的ハフ変換の応用について記述しており、円と直線からなる特殊図形の位置と向きを検出する拡張ハフ変換システムのシミュレーションを行っている。この時、円の一般式は中心座標と半径により、また直線の一般式はその中点座標、および直線の長さ $x$ 軸とのなす角度で表現している。このようにして定義された一般式から拡張パラメータ空間を定義し、特殊図形の検出を行い、拡張パラメータ空間の概念が特定の図形を検出することに対して有効であることを示している。

第6章は結論で、各章においてそれぞれ得られた工学的に有用な結論、問題点および今後の課題等について記述している。

# 学位論文審査の要旨

主 査 教 授 大 場 良 次

副 査 教 授 大 塚 喜 弘

副 査 教 授 朝 倉 利 光

学 位 論 文 題 名

## Optical Implementation of Hough-transform

(ハフ変換の光学的実現)

画像の中から特定の図柄のような要素図形を取り出す技術は、パターン認識の特徴抽出を始めさまざまな分野でその応用が期待されている。文字や線画像などの認識では、前処理として、二値化した入力画像中から線分を取り出すことが重要な処理の一つになっている。線分からなる要素図形を検出する方法の一つとしてハフ変換が知られているが、従来法では計算機による処理がもっぱら行われていた。最近光学的な情報処理でもそれが演算可能であることが分かり、いくつかの方法が提案されている。しかしそれらは光学的な並列処理を実現することを目指しながら、計算機による方法と同様に、複数の要素図形を検出するためには要素図形の種類数だけ、異なったハフ変換を必要としていた。このため、計算機による方法ではもちろん従来の光学的方法によっても、並列的ハフ変換の実現は難しかった。

本論文は著者が、従来の光学的ハフ変換の原理を見直すことにより複数の基本図形あるいはその組み合わせからなる複合図形を検出するための、複数のハフ変換を並列的に処理することを可能にする、新たな光学的ハフ変換の実現法について行った研究結果について述べたもので、6章よりなっている。

第1章は序論で、研究の背景、および本論文の目的と意義について述べている。

第2章ではハフ変換の原理および従来手法について述べている。

第3章では、光学的ハフ変換に用いられる各種の計算機合成ホログラムについて検討して、その実現に有効な方式として直接二値探索(DBS)アルゴリズムによるものが適していることを見出している。さらに変換に用いる座標系についても検討を行い、従来の直交座標系に限らず任意の座標系が使用できることを初めて明らかにし、新たに再配列パラメータ空間を用いることを提案している。すなわち、従来の直交座標系を用いたパラメータ空間を再構成して再配列パラメータ空間を定義し、それを用いることにより計算機合成

ホログラムの再生領域が簡易化され、好都合であることを明かにしている。

第4章では、複数の基本図形を対象とする複数のハフ変換が、光学的に並列処理可能なことを示し、その一つの方法として複数の再配列パラメータ空間を統合した新たな拡張パラメータ空間を用いる方法を提案し、計算機シミュレーションと試作ハフ変換器による実験により、その有効性を実証している。すなわち、ハフ変換の定義が入力画像とハフ変換像間の簡単な写像関係で与えられることを利用して、新たに拡張パラメータ空間を定義し、それを用いる光学的ハフ変換実現方法を考案し、さらにそれを深化して、複数の要素図形を検出する複数のハフ変換を並列的に実行できる光学系考案して開発し、実験的に実証している。

第5章では、上述の拡張パラメータ空間を定義する際の自由度が大きなことを利用して、適切に定義された拡張パラメータ空間を用いることにより、複数の基本図形の合成からなる複合図形を検出する新たな光学的検出装置が可能であることを示してその原理を提案し、計算機シミュレーションにより、それを実証している。

第6章は結論であり、本論文で新たに得られた知見を総括するとともに、本研究の今後の課題と展望について概観している。

以上を要するに、本論文は画像中の基本図形を検出するための新しい光学的ハフ変換の実現方法を提案し、その有効性を実証しており、光学情報処理、光計算に関して新たな手法を与え、光学情報処理および応用光学上の新しい知見を含むものであり、応用物理学に寄与するところが大きい。よって著者は北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認められる。