

氏 名	な す せん し 那 須 潜 思
授 与 学 位	博 士 ( 工 学 )
学位授与年月日	平成 9 年 3 月 25 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 4 条第 1 項
研究科, 専攻の名称	東北大学大学院工学研究科 ( 博士課程 ) 電子工学専攻
学 位 論 文 題 目	液晶を利用した光コンピューティングに関する研究
指 導 教 官	東北大学教授 内田 龍男
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 内田 龍男      東北大学教授 樋口 龍雄 東北大学教授 伊藤 弘昌

## 論 文 内 容 要 旨

### 第 1 章 緒 論

パターン認識に代表される画像の処理は、扱うデータ量が膨大であるために処理に長い時間を要する。一方、画像処理は一般に画面全体にわたる繰り返し処理が必要とされることが多い。そこで、このような画像処理を光学的な並列処理の導入によって高速化することに関して検討した。光学的並列性を導入してコンピューティングを行わせる場合、現時点においては光と電氣的処理とのハイブリッド化によって、高速性と処理の柔軟性の獲得を目指すことが現実的であると考えられる。特にパターン認識では単純な繰り返し演算が必要とされるために、本研究ではこの逐次処理では効率が悪い部分に光学的並列処理を導入した光学的な専用プロセッサについて検討を行った。ところで、従来の光処理プロセッサは、周波数フィルタリングに基づくものが多い。その場合、周波数面に置かれるフィルタの位置合わせに高い精度が要求されるために、実現が容易でないという問題があった。本研究は、光学系のアライメントの容易さという点を重視している点に特長がある。

パターン認識は、一般に前処理、特徴抽出処理、判定処理の 3 段階の処理によって実現される。これら一連の処理過程において、入力画像の持つ情報量は処理が進むにつれて削減されていく。したがって、前処理と特徴抽出処理のうち低レベルの処理は対象画像の情報量が比較的大きいために、ここに光学的並列処理を導入すればその効果が大きくなると考えられる。また判定処理においても、多くの候補の中から少数の候補を選出するような、いわゆる大分類の処理では、特徴入力ベクトルと多数の標準ベクトルの比較という単純な演算が繰り返し行われる。そのため、この部分も光学的並列処理を導入する効果が大きいと考えられる。そこで、これらの処理を光学的に並列に行う方法を考案し、さらに実験によって動作を確認した。

### 第 2 章 光学的実空間フィルタリングを用いた前処理

本章では、パターン認識における前処理として有効なフィルタリング処理を光学的に実現する方法を提案した。従来、光学的なフィルタリング処理の研究は、光学的フーリエ変換作用を利用した周波数フィルタリングに集中していた。しかし、周波数フィルタリングにおいては、前述のように周波数フィルタの位置合わせが容易でないという問題があるため、この問題を回避できる実空間フィルタリングの光学的実現法を新たに考案した。その光学系の概要を図 1 に示す。このシステムは、2つの部分から構成されている。中央の反射型液晶ライトバルブ (LCLV<sub>2</sub>) を境として、その左側がフィルタリング処理部であり、右側がコントラスト改善部である。本システムではインコヒーレント光を使用しているため、フィルタリングに必要とされる負の結合係数を実現するのが容易でない。そこで、液晶パネルによるコントラスト反転という手法を利用しているが、そのためにフィルタリング出力の黒レベルが上昇する。コントラスト改善部では、この黒レベルの上昇分を液晶のリタデーション制御特性を利用することによって除去する。

次に、本提案のシステムにおけるフィルタリング部分とコントラスト改善部分のそれぞれに関して、動作実験を行った結果について述べた。フィルタリング実験では、ラプラシアンフィルタを使用してエッジ抽出処理が行えることを確認した。また、コントラスト改善実験では、コントラストが約1:3の画像を1:10以上にまで改善可能であることを示した。

また、本提案の光学的処理と電子計算機との処理速度の比較検討を行った。電子計算機としては、100 MFlopsの処理能力を有するワークステーションを代表的な例として取り上げた。その結果、1000×1000の解像度の画像からのエッジ抽出処理において、本提案のシステムはワークステーションの数倍の処理速度となることが明らかになった。

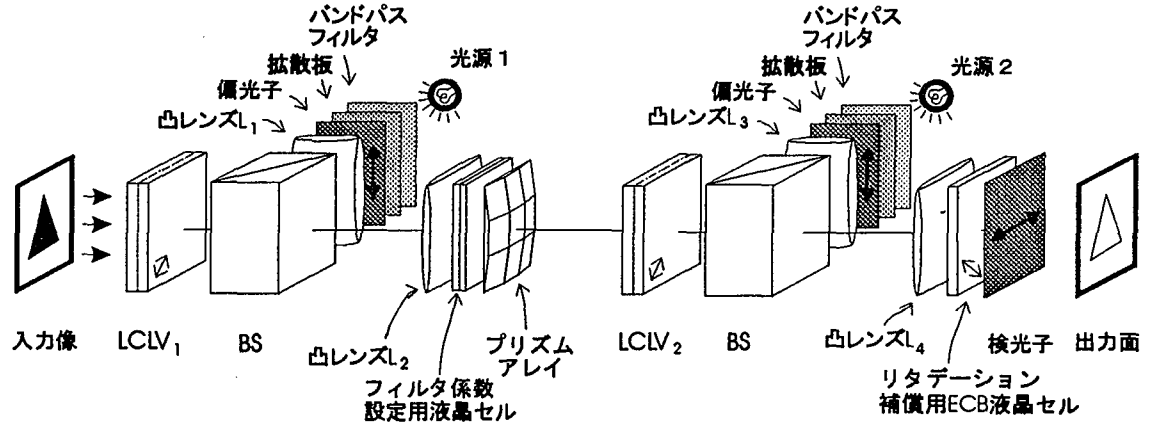


図1 出力像のコントラスト改善部を含む実空間フィルタリングシステム全体の構成

### 第3章 JTC (Joint Transform Correlator) を用いた特徴抽出処理

変形を含むパターンの認識においては特徴抽出は不可欠な処理である。本章では、最も根本的で汎用性が高いと考えられる特定方向成分や特定形状図形のような基本的な特徴量を対象として、この抽出処理を光学的相関演算を利用することによって実現する方法を考案した。光学的相関演算法には、マッチフィルタリングを用いる方法とJTC (Joint Transform Correlator) と呼ばれる方法の2つがある。本研究では、光学系のアライメントの容易さを重視して、特に後者のJTCを取り上げた。JTCを用いて、入力パターンの各部分と複数のリファレンスパターンとの部分的な相関演算を行う場合には、相関出力は多数のピークの集合体となるため、相関出力の現れる領域どうしの重なり合いが問題となる。そこで、各リファレンスパターンを一直線状に並べることによってこの問題を解決することを考案し、パターンの配置条件を示した。特徴抽出を行うための光学系の構成を図2に示す。本システムへの入力画像は、第2章で述べた実空間フィルタリングシステムの光出力像を使用できるが、他の光学的処理システムからの出力画像を用いることも可能である。

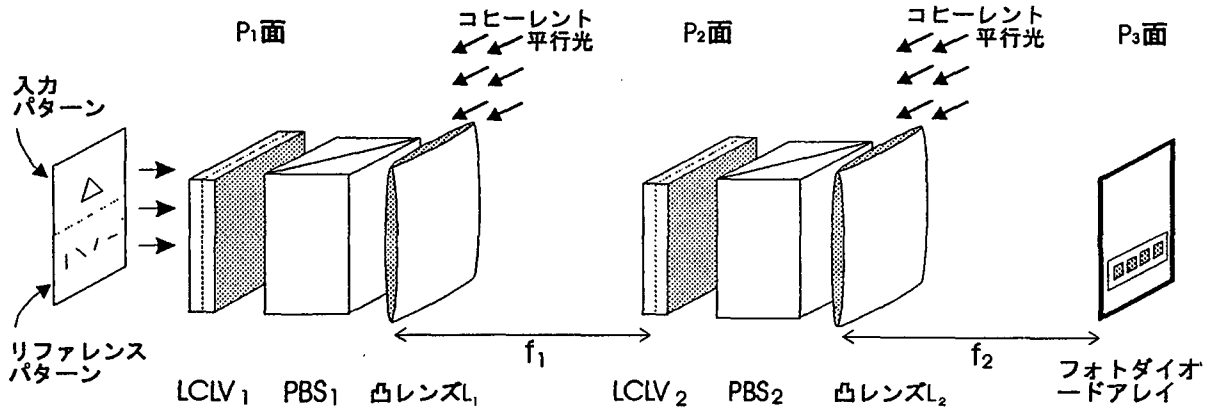


図2 特徴抽出処理システム用の光学系の構成

次に特徴抽出実験として、入力パターンからの縦、横、斜め±45度の4方向成分抽出を行った。入力に手書きアルファベット文字を使用して実験を行った結果、各方向成分が正しく抽出されることが確認された。また、抽出された各方向成分出力から36次元の特徴ベクトルを生成し、同一字種で形状の異なる文字どうしの特徴ベクトルを比較して、類似した傾向が得られていることを確認した。

また、本提案の光学的処理と100 MFlopsの処理能力の電子計算機との処理速度の比較検討を行った。処理内容は1000×1000の解像度の画像からの4方向成分の抽出処理とした。その結果、本提案の光学的処理の方が、入力として階調画像を扱う場合には3桁程度、2値画像だけを扱うのであれば5桁程度高速に処理可能であることがわかった。

#### 第4章 フーリエ変換光学系を利用した光学的加減算器とベクトル間の距離計算処理

本章では、パターン認識のうちの最終段階である判定処理に有効な、ベクトル間の距離計算を光学的に高並列に処理する方法について述べている。判定処理では、データ量は特徴抽出処理によってある程度削減されており、処理内容も一般に知識などを使ったフィードバック処理が必要とされるために複雑である。そのため、光学的並列処理を活かすににくい分野であるが、登録されている多数の候補から少数の候補に絞り込む大分類の処理においては、非常に多数回の距離計算が行われるために長い処理時間を要する。そこで、この大分類における距離計算を光学的に実現する方法について検討した。まず、距離計算を行うために必要となる光学的減算法を新たに考案した。次に、提案法に関する実験を行い、減算が可能であることを確認した。さらに、この減算法を応用して、1つのN次元入力ベクトルと多数のN次元標準ベクトルとの間の距離計算を並列に実現する方法を考案した。その光学系の概要を図3に示す。この距離計算において、入力ベクトルと標準ベクトルの各要素の値は、図3のP<sub>2</sub>面に呈示されるスリットの本数に対応させる。ただし、図3のP<sub>2</sub>面に電気アドレス型の液晶空間光変調器を使用して、直接スリットパターンを呈示しようとすると、書き込みに要する時間が問題となると考えられる。そこで、図3に示したように、入力ベクトルはP<sub>1</sub>面に置かれたLEDアレイを使用して呈示し、これを凸レンズアレイを用いた光配線によって標準ベクトル数ぶんだけ複製を作る。一方、標準ベクトルは一度に呈示できる数が十分大きければ書き換えの必要はない。そこで、標準ベクトルは図3のP<sub>2</sub>面に置かれた写真乾板に焼き付けておくことにする。このようにすることで、1個ずつ順次入力される入力ベクトルと予め用意されたP×Q個の標準ベクトルとの間の並列距離計算が実現できる。

さらに、本提案の光学的処理と100 MFlopsの処理能力の電子計算機との処理速度の比較検討を行った。処理内容は、100次元ベクトル間の距離計算とした。その結果、本提案の光学的処理の方が3桁程度高速に処理可能であることがわかった。

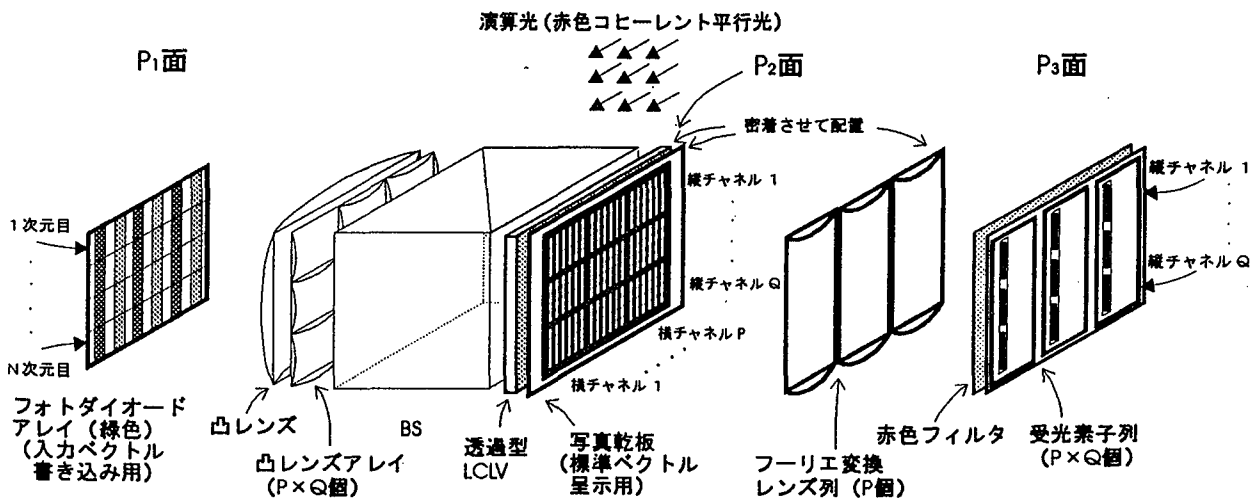


図3 N次元ベクトル間の距離計算を行う光学系の概要  
(同時に参照可能な標準ベクトル数P×Q個)

#### 第5章 結 論

本研究にて得られた成果を総括して述べている。

## 審査結果の要旨

並列性が高く、高速性が要求される画像認識や画像処理は電子式コンピュータの不得意とする分野であるが、近年その重要性がますます高くなってきている。中でもパターン認識システムは最も重要な分野の一つと考えられる。これに対し、著者は、光の超並列性と液晶デバイスの長所を融合した高速パターン認識システムの構築を目的とし、インコヒーレント光システムとコヒーレント光システムを巧みに組み合わせ、光アドレス方式の液晶空間光変調器の長所を最大限に活用したシステムを実現した。本論文は、その成果をまとめたもので、全編5章から成る。

第1章は、緒論である。

第2章では、パターン認識処理のうちの前処理で重要なフィルタリングを、実空間フィルタリングによって実行する新しい光学システムについて提案している。実空間フィルタリングを光学的に実現する場合、負の重み付けを必要とするため一般にはコヒーレント光の干渉を用いる方法が考えられている。しかしこの方法では、高精度なデバイスが必要であるばかりでなく、光学システムのアラインメントが困難であるという問題が生じ、実用システムへの大きな障害となることが予想される。そこで筆者は、この問題を解決するため、インコヒーレント光の直線偏光を用い、コントラスト反転像の重ね合わせによって負の重み付けを実現する新しい方式を提案した。また、実験によりその動作を確認している。これは有用な方式である。さらに、この方式には出力結果のコントラストが悪化するという問題が生じるが、これについては、液晶デバイスのリタデーションを補償して解決する方式を提案すると共に、その有効性を確認している。これは注目すべき成果であり、高く評価できる。

第3章では、パターン認識処理のうち、特徴抽出処理を実現する光学システムについて述べている。このシステムは複数のリファレンスパターンを使用する JTC (Joint Transform Correlator) によって構成されている。著者は、各リファレンスパターンの出力フィールド間のクロストークを無くすため、複数のリファレンスパターンの配置条件を工夫した新しい方式を導入している。また、実験によりその動作を確認している。これは JTC のパターン認識への応用を大幅に向上させる方式であり、重要な成果である。

第4章では、パターン認識の処理のうちの判定・識別を行うため、入力ベクトルと多数の標準ベクトルとの距離計算を超並列に実現できる光学システムについて提案し、実験によりその動作を確認している。このシステムはコヒーレント光の干渉を応用した加減算器であるが、光学的フーリエ変換を応用し、実空間面の位置情報を空間周波数面の位相情報に変換して干渉させているため、通常のコヒーレント光システムでは制御が困難な位相制御が容易に実現できるという優れた長所を有している。すなわちこのシステムはコヒーレント光システムでありながら実現性が高く、大分類の処理などに有効性が高い。

第5章は結論である。

以上要するに本論文は、高速パターン認識システムの構築のために、光の超並列性と液晶デバイスの長所を融合した新しいシステムを提案し、実験による動作確認を行い、電子システムに対する有効性を明らかにしたもので、電子工学および光情報処理工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。