

報告番号	甲 第 13139 号
------	-------------

主 論 文 の 要 旨

論文題目 **A Study on Efficient Light Field Coding**
(光線空間の高効率圧縮符号化に関する研究)

氏 名 伊瀬知 洗平

論 文 内 容 の 要 旨

3次元空間の視覚情報を記述する手法として、光線空間法が広く用いられている。光線空間法は、空間中を飛び交う光線群を4次元信号として定式化し、この光線群を光線空間と呼ぶ。光線空間は豊富な視覚情報を有するため、奥行き推定や自由視点画像合成、3次元ディスプレイ等の様々なアプリケーションに応用される。そのため、光線空間は3次元画像処理における基盤的なデータフォーマットの一つとして注目を集めている。

光線空間信号は、一般には視点間隔が密な多視点画像として解釈され、実用上では数十から数百視点にもものぼる光線空間が用いられる。そのため、光線空間の情報量は非常に膨大になるが、光線空間を構成する各視点の画像は互いに非常に似通っているため、光線空間は非常に高い冗長性を有している。したがって、光線空間を取り扱う上で、いかに光線空間の冗長性を削減し、情報を圧縮するかが大きな研究課題の一つとして挙げられる。

本論文では、2つの方向性を持って光線空間の圧縮符号化に取り組んだ。第一の方向性として、光線空間の冗長性を取り除く汎用的な符号化手法の検討を行った。第二の方向性として、3次元ディスプレイで光線空間が再生されることを前提とした実用的な状況における光線空間の符号化効率の検討を行った。汎用的な符号化手法として、本論文では二値画像の荷重和による光線空間近似手法を提案し、既存の符号化手法と比較して同程度の符号化効率を達成しつつ、非常に高速なデコード処理が実現できることを明らかにした。第二の方向性として、本論文ではレイヤ型ディスプレイでの光線空間再生を仮定し、シミュレーション実験によりレイヤ型ディスプレイでの再生を前提とした状況における光線空間の符号化効率を明らかにした。

本論文は6章で構成されており、以下に各章の概要を示す。

第1章では、本論文の研究背景と目的を述べた。まず光線空間の概念を紹介し、光線空間

の応用が期待される研究分野と、光線空間を取り扱うための課題を説明した。次に、汎用的な光線空間符号化の背景と目的について述べた。

光線空間の汎用的な符号化手法として、2次元の単視点動画の圧縮のために開発されている映像符号化標準規格を光線空間に適用する手法が多く研究されてきた。映像符号化標準規格は画像内/画像間で画素を予測する予測符号化や離散コサイン/サイン変換(DCT/DST)を用いた変換符号化、エントロピー符号化を組み合わせることで動画の冗長性を削減している。光線空間は、各視点画像を何らかの方法で並べて連結することで単視点動画とみなすことができ、映像符号化標準規格を適用することで圧縮が可能である。多くの既存研究で映像符号化標準規格をベースにした光線空間符号化手法が提案されてきた。しかし、我々は映像符号化標準規格が必ずしも光線空間の圧縮に最適ではないと考え、映像符号化標準規格と全く異なる方式として二値画像の荷重和による光線空間近似手法を提案した。

次に、3次元ディスプレイでの再生を前提とした時の光線空間符号化の背景と目的について述べた。実用的な3次元ディスプレイとして、本論文ではレイヤ型ディスプレイに着目した。レイヤ型ディスプレイは、バックライトの前に透過率を画素単位で制御可能なLCDパネルを数枚積層した構造を持ち、バックライトから出た光が視点位置に応じて各パネルの異なる画素位置を通過することによって多視点画像を視聴者に提供する。LCDパネルの透過率パターン(レイヤパターン)は再生したい光線空間から計算的に求められる。レイヤ型ディスプレイが高品質な光線空間を提供するために必要な条件や、カメラを用いた撮影からレイヤ型ディスプレイでの再生まで含めたエンドツーエンドなシステムの研究はされてきたが、レイヤ型ディスプレイでの再生を前提とした時の光線空間の符号化効率についてはこれまで議論されていなかった。そこで、本論文ではレイヤ型ディスプレイを再生端末とした光線空間伝送システムを仮定し、シミュレーション実験により光線空間の符号化効率の検討を行った。

第2章では、本論文に関連する基礎知識と関連研究について述べた。まず、光線空間の詳細な定義について説明し、光線空間の応用例として、本論文で着目する3次元ディスプレイについて説明した。代表的な3次元ディスプレイのアーキテクチャとして、本論文で着目するレイヤ型他、パララックスバリア型とレンズアレイ型について述べ、3方式を比較した。パララックスバリア型とレンズアレイ型は再生する光線空間の視点数と解像度がトレードオフになるという欠点があるが、レイヤ型は構造上そのトレードオフを軽減することができ、解像度を下げずに視点数が多い光線空間を再生できる。従って、本論文ではレイヤ型ディスプレイを実用上のデバイスとして採用した。次に、最新の映像符号化標準規格であるH.265/HEVCの符号化/復号化の処理フローと、各要素技術を概説した。また、標準規格を光線空間符号化に応用した先行研究をいくつか取り上げ、概説した。

第3章では、汎用的な光線空間符号化問題に対して、二値画像の荷重和による光線空間符号化手法を提案した。

提案手法は、光線空間を少数の二値画像の重み付け和によって近似する。全ての視点画

像の復元において二値画像は共通で、重みを視点ごとに変更することで光線空間を近似する。従って、二値画像が光線空間の共通成分を、重みが視点依存成分を表現している。提案手法の枠組みは映像符号化標準規格とは全く異なり、その最大の長所は、積和演算のみで実現できる圧倒的に単純なデコード処理である。光線空間をより高精度に近似する二値画像と重みを導出するため、近似誤差を最小化する最適化問題を定式化し、二値画像と重みを導出するアルゴリズムを設計した。しかし、設計したアルゴリズムでは二値画像の枚数が増加するにつれて指数的に計算時間が増加してしまう問題があった。この計算量の爆発を回避するため、分割統治法の考えに基づき、二値画像と重みを少数枚のグループに分け、グループ毎に階層的に二値画像と重みを導出する階層符号化の枠組みを設計した。二値画像を少数枚のグループに分けることで、最終的な光線空間の近似精度は多少低下するものの、一度に最適化する二値画像の枚数を減らし、計算量の爆発を抑えることに成功した。実験にて、最新の映像符号化標準規格であるHEVCを光線空間に適用したものと比較し、提案手法がHEVCと同程度の符号化効率を達成しつつ、高速なデコード処理を実現することを示した。

提案手法は、階層符号化により二値画像の枚数増加による計算負荷の爆発を抑えられるものの、近似精度が多少劣化してしまうため、計算量と近似精度の間にトレードオフが発生してしまう。このトレードオフを軽減するため、本論文では、階層符号化の二値画像に対して適応的に視差補償を施す手法を提案した。二値画像に対して視差補償を適用することで、二値画像に視点依存成分の表現力を与え、より高精度に光線空間を近似できることが期待される。被写体に応じて適切な視差補償値を求めるため、二値画像と重みに加えて視差値を導出する最適化問題とそれを解くアルゴリズムを設計した。実験により、視差補償を適用することで、二値画像の枚数増加による計算量の爆発を回避しつつ、提案手法の符号化効率が改善されることを示した。

第4章では、レイヤ型ディスプレイでの再生を想定した状況における光線空間の符号化効率を定量的に評価した。レイヤ型ディスプレイで光線空間を再生するには、受信側が最終的にレイヤパターンを有する必要がある。そのため、本論文では、光線空間を伝送して受信側でレイヤパターンを導出する方式と、事前にレイヤパターンを導出し、レイヤパターンを伝送する方式を仮定した。数十、数百枚の画像である光線空間に対し、レイヤパターンはわずか数枚の画像であるため、レイヤパターンを伝送するほうが高い圧縮率が期待される。しかし、レイヤパターンは自然画像とは異なる上、符号化ノイズがレイヤ型ディスプレイの再生品質に与える影響についてはこれまで議論されていなかった。本論文では、光線空間/レイヤパターンのHEVCを用いた圧縮とレイヤ型ディスプレイでの光線空間再生をシミュレーションし、実際に符号化効率を検証した。実験結果より、レイヤパターンを伝送する方式の方が良い符号化効率を達成することを明らかにした。また、レイヤパターンが自然画像と大きく異なるため、HEVCでの圧縮効率が光線空間に適用する場合と比較して低下することを明らかにした。

第5章では、新しい学問領域である実世界データ循環学と本論文の内容との関連性について述べた。実世界データ循環学は、工学、情報科学、経済学、医学の分野を跨ぐ学問で、実世界の様々な現象をデジタルデータとして取得し、取得したデータを解析し、解析結果から新たな製品やサービスを実装する。実装した製品やサービスからまた新たなデータを取得しそれを解析、実装に反映させることで継続的に製品、サービスをアップデートできる。このようなプロセスの循環は、データを循環させることに相当する。本章ではこのデータ循環の考え方から見た光線空間処理、光線空間符号化について議論し、実際に研究を推進する上で実行したデータ循環について述べた。

第6章では、本論文を総括し、今後の展望について説明した。今後の展望として、大きく分けて2つのことが考えられる。まずひとつに、二値画像の荷重和による光線空間符号化手法の拡張が挙げられる。本論文では、二値画像の荷重和による光線空間符号化手法を提案し、その有効性を示したが、解像度の小さい限られたデータでのみ実証している。実際の3次元画像処理システムでは、より大きな解像度を持つ光線空間が用いられるため、より様々なデータセットに対して提案手法を拡張、適用し、有効性を実証する必要がある。2つ目としては、本論文ではレイヤ型ディスプレイでの再生を仮定した状況で、光線空間とレイヤパターンにHEVCをそのまま適用して符号化効率を検証しているが、HEVCの適用方法については改善の余地がある。光線空間とレイヤパターンそれぞれに適した適用方法を模索することで、より深く符号化効率について議論する必要がある。

以上のように、本論文では、汎用的な光線空間符号化手法として、二値画像の荷重和による符号化手法を提案し、3次元ディスプレイでの再生を仮定した実用的な状況における光線空間の符号化効率をシミュレーション実験によって検討した。本論文の成果をさらに追求していくことで、実用的な3次元映像処理システムの実現に貢献できると考えている。