

研究終了報告書

「物理媒体利用ディスプレイの符号化に関する基盤技術の開発」

研究期間：2017年10月～2021年3月

研究者：上瀧 剛

1. 研究のねらい

データを問題設定に合わせて圧縮削減可能とする制約付因子分解を映像ディスプレイや画像パターン認識へ応用する。これにより、映像画質が向上したり、画像認識能力が向上する。よく知られたデータ圧縮法である主成分分析は、制約なしの因子分解法である。しかし、主成分分析では分解後のデータがマイナスになったり、非常に大きな値になったりする。これは因子分解を実際の物理的なハードウェアに適用する際に問題となる。たとえば、光の強さなどの物理量は非負であるため、このような主成分分析をそのまま用いることはできない。

そこで、本研究では、適用先のハードウェアの物理的な制約を保ったままデータを分解する「制約付因子分解」を映像ディスプレイに応用し、実際にソフトウェアからハードウェアまでの一連の開発を行うことを目標とする。映像ディスプレイでは、高画質、動画などでもリアルタイムに動作する高速性が要求されるが、このような実用上の問題も解決する。また、同様の制約付因子分解となる問題設定が画像パターン認識分野でもあることが分かっており、そのフィージビリティスタディも行う。

将来的な転用先としては、次世代ディスプレイである超多視点ディスプレイや裸眼立体ディスプレイ、ライトフィールドディスプレイ、スマホ・タブレット端末へのこれらのディスプレイ技術の搭載、などが挙げられ、本研究の物理デバイスの制約を守ったデータ分解・圧縮技術は必須である。

2. 研究成果

(1) 概要

データを問題設定に合わせて圧縮削減可能とする制約付因子分解を映像ディスプレイや画像パターン認識へ応用することを提案し、実デバイスでの実装を行い有効性を示した。本手法により、映像画質が向上したり、画像認識能力が向上できる。

図1に制約付因子分解を液晶シャッターメガネを用いた多視点ディスプレイへ適用した例を示す。この例では、もとの多視点映像 Y を、液晶の透過率 R とプロジェクターパターン B に分解する。このような分解は因子分解と呼ばれ、統計解析の主成分分析がその一例である。共通するプロジェクターパターンを使いまわすことで、画質を損なわずにデータを圧縮削減することができる。

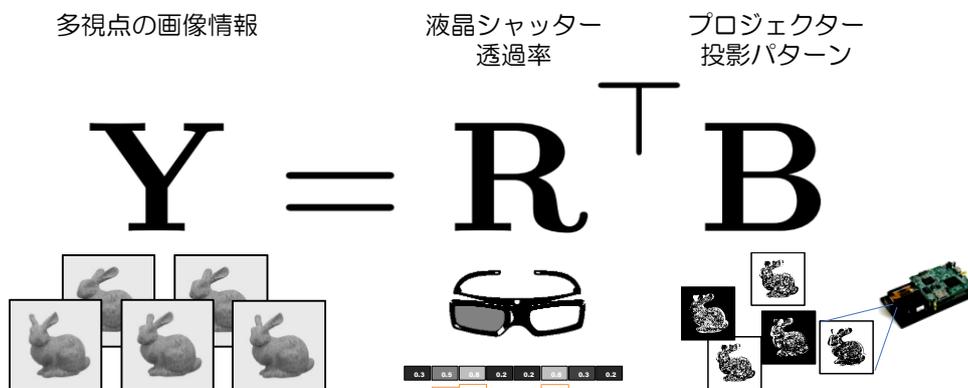


図1. 制約付因子分解の例

しかし、主成分分析では分解後のデータがマイナスになったり、非常に大きな値となったりするため、このような映像デバイスなどのハードウェアでは使えない。例えば、光の強さなどの物理量は非負であり、図1の例では透過率は0～100%の非負の値であるし、プロジェクターのパターンは白黒の2値のパターンである、といった物理的な制約(それぞれを非負の範囲制約、0-1制約ともいう)である。

そこで、本研究では、分解後のデータがハードウェアの物理特性の制約を保ったまま分解する、「制約付因子分解」を用いる。このような物理的な制約はハードウェアデバイスで実現するためには避けられない問題であるが、計算が難しかったり、時間がかかったりするため、制約付因子分解を用いた映像デバイスは実用化に至っていない。

これに対して、研究では、このような制約付因子分解を用いた新しい映像デバイスモデルの提案とその効率的な解法を開発し、高画質・リアルタイム演算可能なコンピューショナルなディスプレイの基盤技術の確立を行った。

(2) 詳細

以下の3つの成果を得た。

<成果1:多視点ディスプレイの開発>

制約付因子分解法に基づく多視点ディスプレイ装置を開発した(図2)。デモ装置では4つの液晶シャッターの窓を覗くと、4つの異なる映像が見える。視点数は10視点まで増やせることを確認している。これは従来の液晶シャッター方式ではちらつきや画質(クロストーク)の問題で、できなかったことである。本研究では、これを実現するための数学的なモデルの提案およびその解法アルゴリズムを開発し、実際にハードウェア上で動作するディスプレイ装置まで開発したことが成果である[4][5]。



図2. 開発した多視点ディスプレイ。4つの液晶シャッターの窓を覗くと、4つの異なる映像が見える。

本ディスプレイの特長は以下である。

(1) クロストーク改善

これまでの方法では、他の視点の映像が混ざるクロストークと呼ばれる現象(図3)が画質の面で問題となっていたが、これを大幅に改善した。

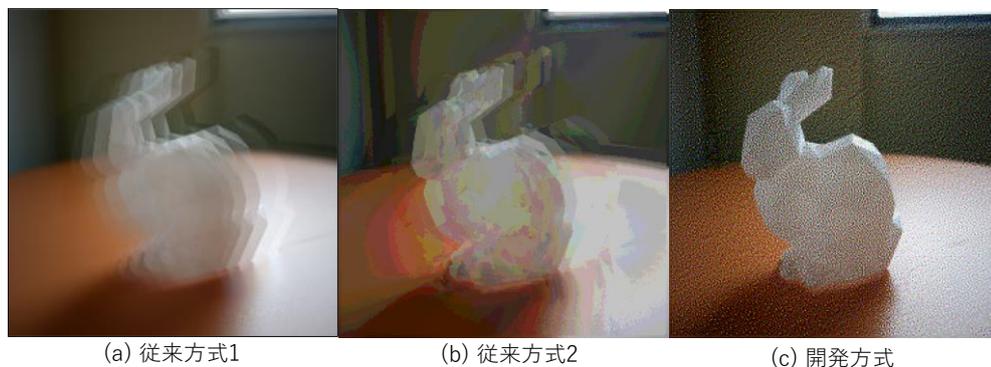


図3. クロストークの改善。従来方式は、他の視点の映像が混ざっている。

(2) リアルタイム演算

本ディスプレイは計算機ディスプレイ(Computational Display)の一種であるが、一般に事前計算の負荷が大きく動画のようなリアルタイム演算が困難であるが、あらたな因子分解の解法を開発し、リアルタイム演算(=動画での多視点化)を可能にした。

<成果2: Eigen ZoeTrope の開発>

制約付因子分解を古典的なアニメーション生成器である ZoeTrope に適用した「Eigen ZoeTrope」を開発した。ZoeTrope は図 4 左に示すように、複数枚の絵を貼った円筒を高速回転させて、スリットを覗くことで絵がアニメーションしているように見える。一方で開発した Eigen ZoeTrope はこれらの複数枚の絵を因子分解して得られた基底画像を印刷して円筒に張り付けて、強弱のストロボ光を当てることで、元の絵を再構成することができる。この方式のメリットとして、旧来の ZoeTrope は張り付けた枚数分のアニメーションに制限されるが、Eigen ZoeTrope は張り付けた枚数以上のアニメーションが可能となる。

図 4 の例は、8 枚の人の表情の基底画像の組み合わせから 18 枚の表情を再構成することができる。それぞれの基底画像は奇妙な顔に見えるが再構成結果は正しい人の顔に見える。これは、パターン認識分野で用いられる固有顔を張り付けて、ストロボ光の重みづけで元の顔画像を物理的に再構成していることになる。



図4. Eigen ZoeTrope の概要

<成果3: パターン認識問題への応用>

上記のディスプレイの開発を進めていくと、このディスプレイの数学モデルが、実は画像・パターン認識分野におけるバイナリハッシングと呼ばれる画像検索手法のモデルと類似している点に気づいた。そこで、同様の方法で数理解析を進めた結果、画像検索手法で代表的な Supervised Discrete Hashing (SDH 法)の解析解がアダマール行列で与えられることがわかった [1][2]。これにより、SDH 法よりも高速かつ高精度に画像検索ができるようになった。

3. 今後の展開

VR(バーチャルリアリティ)の発展より、Looking Glass やソニーの ELF-SR1 といった裸眼立体ディスプレイが再び注目を集めている。これらは古典的かつナイーブな空間分割による映像の多視点化であり、本研究である制約付因子分解を用いることで、より多くの視点数やクロストークの改善ができる可能性がある。

4. 自己評価

当初の一つの目標であった液晶シャッター方式の多視点ディスプレイを完成することができ、ディスプレイ分野では難関国際会議である ACM SIGGRAPH Emerging Technology で2回のデモ展示に採択され、国際的に本成果を広くアピールすることができたと考えている。さきがけの申請当初では、あいまいであった物理媒体利用というキーワードは、「デバイスの物理的な制約条件を満たす因子分解」と明確に整理され、当初の予定になかった Eigen ZoeTrope の着想に至った。理論だけではなく、実際に動くハードウェアができることを示せたことは意義が高いと考えている。

5. 主な研究成果リスト

(1) 代表的な論文(原著論文)発表

研究期間累積件数:1件

[1] Gou Koutaki, Keiichiro Shirai and Mitsuru Ambai, "Hadamard Coding for Discrete Supervised Hashing", IEEE transaction on Image Processing, vol.27, no.11, pp5378-5392, 2018.

画像検索分野ではバイナリハッシングと呼ばれる情報圧縮技術が用いられており、中でも Shenらが考案した Supervised Discrete Hashing (SDH)は、その性能の高さからベースライン手法として採用されている。本論文は SDH の計算で用いられる交互最適化が簡単に局所解に陥ることを示し、解析解を示すことで、そもそも交互最適化が不要であることを明らかにした。

(2) 特許出願

なし

(3) その他の成果(主要な学会発表、受賞、著作物、プレスリリース等)

<国際会議発表>

[2] Kouichi Eto and Gou Koutaki and Keiichiro Shirai, "A Hadamard Coded Discrete Cross

- Modal Hashing” in Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing, pp. 2007–2011, 2018.
- [3] Gou Koutaki, “Eigen Zoetrope” in Proceedings of ACM SIGGRAPH Emerging Technologies, No. 11, 2019.
 - [4] Gou Koutaki and Keiichiro Shirai “Multiplexing Display using Vector Error Propagation and Smooth Active Shutter” in Proceedings of ACM SIGGRAPH Emerging Technologies, No. 22, 2020.
 - [5] Gou Koutaki and Keiichiro Shirai “Multiplexing Display via Vector Error Propagation and Smooth Active Shutter”, Demo in IEEE 3DV, 2020.