



錯視効果とプロジェクションマッピングによる 2D-3D 提示システム

千葉工業大学 先進工学部
准教授 藤井 浩光

1. 研究背景

幼少期は、生涯にわたる人間形成の基礎を培う重要な時期である。子供の遊びや日常生活を通して成長をするため、幼少期における教育は成長に大きな影響を与える。特に我々の生活空間は3次元の立体で構成されており、その形状を他者と共通のものとして認識することは必須である。幼少時から空間認識能力を育む目的で、積み木や嵌め合いパズルなどの知育玩具が提案・開発されてきているが、効果的な学習のためには実際に触れ合っただけでは対象を変化させフィードバックを得るインタラクティブな体験が重要である。現在、児童向けの遊具施設などのアトラクションでは、周囲環境をセンシングし、その形状に応じたテキストやプロジェクションマッピングにより投影することで、ユーザとのインタラクションを実現している。このようなシステムは、子供の空間認識能力とともに創造性を育む遊び道具として注目されている。しかし、一般に大規模な装置が必要であり大型遊園地などでしか体験できない。家庭で日常的に提供可能な、インタラクティブな教材が必要とされている。

絵本は、幼少期から想像力や知的な好奇心を育む教育目的で広く利用されている。特に、仕掛け絵本と呼ばれる、本を開くと絵本の登場人物や建物が飛び出す仕掛けが施された絵本は、想像力などと同時に空間認識能力も鍛えることが出来るため、教育効果の高い教材である。しかし、1ページを製作するにも台紙となる部分や、飛び出すための仕掛けとなる部分などの、複雑な構造を実現する必要がある。また、仕掛けの部分は本を開いたときに折りたたまれることから、使用する紙の強度が求められ、仕掛け絵本の作成には高い技術力や多くの紙資源を必要とする。

以上の背景から、本研究では家庭などで手軽に実現可能な仕掛け絵本提示システムの構築を目的として取り組んだ。

2. 要求仕様と課題に対するアプローチ

実現にあたって、我々の研究グループでは一般家庭におけるデジタルコンテンツの鑑賞手段として、プロジェクタの普及が急速に進んでいることに着目した。例えば、4K・8K コンテンツなど



(a) 1 平面上の図



(b) 2 平面上の描画

図 1: アナモルフォーシスの例

流通する映像コンテンツの高解像度化を背景に、大画面での鑑賞用に高解像度対応なプロジェクタが市場で登場してきている。さらに、昨今の新型コロナウイルスによる感染症対策により自宅で過ごす時間が増加する中で、ホームシアターなどの用途で一般家庭プロジェクタの需要は益々高まり、市場も拡大してきている。このような状況下で、プロジェクタを用いたアプリケーションも多様性が増している。例えば、従来の映画やビデオなどの映像鑑賞以外にも、スクリーンの形状に合わせてコンテンツを提示するプロジェクションマッピングや、人感センサやカメラなどと併用してインタラクティブな体験を可能とした教育向けコンテンツが提案されてきている。

本研究では、以上の背景を基に、一般家庭における幼少期向け教材としてのプロジェクタを利用したプロジェクションマッピングによる電子的な仕掛け絵本を提案した(研究業績 [1]-[5])。プロジェクタによる投影は大画面での提示に適しており、鑑賞するのに子供が特別な機器の装着を必要としない。そのため、ヘッドマウントディスプレイで指摘されている眼精疲労や斜視のリスクも低減でき、子供向けコンテンツの提示方法として適切である。また、既存の娯楽コンテンツなどにも見られるように、プロジェクタと人感センサやカメラなどと併用することでインタラクティブな体験が可能である。特に本研究では、アナモルフォーシスと呼ばれる錯視を利用した絵画技術を用いて、2次元画像を3次元的に提示する映像コンテンツ生成技術を開発した。例えば、図 1 はタブレット端末などモバイル機器を搭載される単眼カメラ

を通して鑑賞することで、2次元的なコンテンツを立体的に示した例である。特に、図1(b)は、壁と床などの交差する2平面などのプリミティブな形状をもつ物体に歪んだ図形を描いて特定の角度から提示することで立体的に見せた例である。本研究では、このアナモルフォーシス技法を幾何学的に定式化し、センシングにより得られるユーザの位置姿勢から立体的に見える映像を生成した。

アナモルフォーシスによる錯視には、プロジェクタで投影する提示映像を鑑賞者の位置に応じて生成する必要がある。提案システムではComputer Graphics (CG) 環境内でピンホールカメラモデルとしてカメラおよびプロジェクタのモデルを作成し、スクリーン平面に対する両モデルの位置姿勢関係に基づき射影変換により錯視映像を生成した。具体的には、鑑賞者の位置から観測したスクリーン上に透視投影変換されたシーンをプロジェクタの位置から観測されるスクリーン上の映像で射影変換し、実環境においてCG内と同様に配置したプロジェクタから投影することで立体視映像を提示した。またアナモルフォーシスは、特定の位置から鑑賞した際に立体的に見えるような図を平面内に描画する絵画技法であるが、その鑑賞においては人の有する両眼視差が立体感を阻害することが課題となる。本研究では鑑賞者の位置をトラッキングすることで提示映像上に運動視差を再現し、より立体的に鑑賞可能な手法を提案した。

本助成の研究期間において、以上の機能を備えた電子的な仕掛け絵本を、一般家庭向けのプロジェクタ・カメラシステムとして構築した。特に、プロジェクションマッピングにおいては、プロジェクタから投影する映像が実環境のスクリーンに位置ずれなく投影されることが重要である。このような位置ずれの補正をプロジェクタの位置姿勢などで試行錯誤的に調整することは利用者の負担が大きく、設置スペースに限りのある一般家庭向けのシステムとしても適切ではない。本研究では提案したプロジェクタ・カメラシステムでは、これらの補正を自動で行うためのキャリブレーション手法も提案した。

3. 検証結果と研究成果

構築したシステムを図2に示す。本研究では立体視の効果を高めるために多面スクリーンを設計し、家庭用プロジェクタを用いてシステムを構築した。提案システムでは、スクリーン上部のカメラで鑑賞者の位置姿勢をリアルタイムで計測し、鑑賞者からの視点から立体的に見えるアナモルフォーシス画像を提示した。そのため、鑑賞者以外からは立体的には見えず図3のような外観となる。鑑賞者視点から見た場合の投影結果について、図4に示す。両図の比較から、鑑賞者の視点から立体的に見える映像が提示できたことを確認した。



図2：投影システム



図3：別視点からの鑑賞結果



図4：2画面への投影結果（“桃太郎”より）

本研究の成果は、本報告書最後の「本研究助成金に関する業績」に示した5つの国内外の学会において報告済み（5）は採択済み、報告予定）である。

本研究助成金に関する業績

- [1] 戸田 沙也香, 藤井 浩光: “仕掛け絵本の電子化のための錯視効果を用いたプロジェクションマッピング”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会’20 講演論文集 (ROBOMECH2020), 1A1-L02, 金沢, May 2020. [doi:10.1145/3415264.3425470]
- [2] Sayaka Toda, Hiromitsu Fujii, “Projection Mapped Gimmick Picture Book by Optical Illusion-Based Stereoscopic Vision”, The 13th ACM SIGGRAPH Conference and Exhibition on Computer Graphics & Interactive Technique in Asia (SIGGRAPH Asia 2020), Article No. 34. [doi:10.1145/3415264.3425470]
- [3] 戸田 沙也香, 藤井 浩光: “プロジェクションマッピングによる仕掛け絵本のための錯視効果を用いた立体視映像提示システム”, 第21回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会講演論文集 (SI2020), 3E3-01, December 2020.
- [4] 戸田 沙也香, 藤井 浩光: “錯視効果を用いた仕掛け絵本提示のためのプロジェクタ・カメラシステム”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会’21 講演論文集 (ROBOMECH2021), 2A1-M09, 大阪 (オンライン), June 2021.
- [5] Sayaka Toda, Hiromitsu Fujii, “AR-Based Gimmick Picture Book for Household Use by Projection Mapping”, Proceedings of the 2021 IEEE 10th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE2021), Kyoto (Japan), October 2021.