

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 8 日現在

機関番号：32508

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～2013

課題番号：23650517

研究課題名(和文) 拡張現実感を利用した科学館展示における学習環境の研究

研究課題名(英文) Study on a learning environment in science museum exhibits using augmented reality

研究代表者

浅井 紀久夫 (Asai, Kikuo)

放送大学・教養学部・准教授

研究者番号：90290874

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,500,000円、(間接経費) 750,000円

研究成果の概要(和文)：科学館の展示において拡張現実感環境を構築し、体験を通して知識や概念を構成するような学習を提供する仕組みを検討した。学びと楽しさを両立させるため、複数人が同じ空間を共有し、協調しながら学習できる展示コンテンツを開発することとした。異なる視点で情報が提示されるように、鳥瞰的な視点から全体を見渡すだけでなく、一人称の視点からの描像が提示されるようにした。また、臨場感を確保するため、現実世界と仮想物体とを安定的に融合する機能を備えた。こうした提示手法やコンテンツを評価し、拡張現実感利用展示コンテンツの有用性を示した。

研究成果の概要(英文)：Augmented reality (AR) environment was constructed for exhibits in science museums, so that the exhibits can provide learning that enables learners to form knowledge and concepts through their experiences. To achieve learning with enjoyment, the content of exhibits was developed, sharing a space with plural visitors and learning together. To provide information at the different points of view, the information was visualized not only at the bird's eye view, but also at the first person point of view. The function of stably overlaying virtual objects over the real world was prepared for the immersive visualization. The visualization method and the exhibit content were evaluated to show the effectiveness of the AR environment.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：科学教育・教育工学・科学教育

キーワード：拡張現実感 科学館 展示 インタフェース 学習環境

## 1. 研究開始当初の背景

科学館ではこれまで、基本的に”もの”を媒体とした情報伝達により、教育・普及活動を行ってきた。実物や標本といった物的資料に基づいた展示を行い、来館者に幅広い知識を提供してきた。デジタル技術の進展に伴って物的資料のデジタル化が容易になり、マルチメディアを駆使した情報伝達が行われるようになった。

科学館には生涯学習や普及活動など社会的教育的な役割があり、人々が自ら学ぶための環境作りやその支援が期待されている。自発的意思に基づく学習は、楽しくなければ成立しにくい。そこで、実際にものに触ったり、操作したりできる体験型の展示が行われるようになった。しかし、マルチメディアの利用ではビデオの視聴が主流であり、学習者は受け身の学習にならざるを得なかった。

アミューズメントを演出する場面で、現実物体に情報を重ねて提示する拡張現実感が利用されるようになった。拡張現実感とは実世界とのインタラクションを、計算機メディアを介して実現する技術であり、実世界での体験を増幅すると考えられる。学習における体験は、知識や概念が体験を通して構築されるという構成主義としての役割があるものの、科学館における学習環境では、拡張現実感による順路案内や展示物説明の取り組みが主流であり、体験という観点からの拡張現実感環境の利用は少なかった。

## 2. 研究の目的

科学館の展示において拡張現実感環境を構築し、体験を通して知識や概念を構成するような学習を提供できるようにする。そのために、拡張現実感を利用した提示手法とコンテンツを構築し、実験室環境でのユーザテストや実利用環境での評価を行うことにより拡張現実感を応用した学習コンテンツの有用性を示す。

体験を通して学びと楽しさを両立させる仕組みを取り入れるため、科学館来館者の主な組み合わせである親子に着目し、彼らがコミュニケーションを通して学習を進められる展示を構築する。複数人で協調しながら学習できるようにするため、地図をテーブルトップに置き、これに情報を重畳提示する形で拡張現実感環境を構成する。この構成では俯瞰的な視点から全体を見渡すことはできるが、地図上の視点から情報を見ることができない。そこで、一人称の視点からの描像を提示する仕組みを取り入れる。

拡張現実感環境では情報提示ディスプレイとして携帯端末や頭部装着ディスプレイ(HMD)が主に利用されてきた。こうしたディスプレイは展示空間を移動するので、情報を提示する視点も動く。つまり、現実世界に対する視点の位置に応じて、情報の幾何学的配置を変える必要がある。現実世界と提示情報との幾何学的不一致、現実世界に対する提示

情報の陰影に伴う光学的不一致、物体の追跡処理とCGの描画にかかる時間による時間的不一致が懸念される。ここでは、現実世界に仮想物体を安定的に重畳提示するため、現実世界と仮想物体との幾何学的整合性が確保される仕組みを構築する。

## 3. 研究の方法

(1) 複数人で協調しながら学習できる展示として、月面探査の様子を地図上で探索する月面探索システムを構築してきた。俯瞰的な視点から全体を見渡すだけではなく、地図上の視点から一人称の情報を提示できるようにするため、別途ディスプレイを設置して、月面の景色を表示する。

子供と親がコミュニケーションしながら学習できるように、擬似的なロールプレイを設定する。子供に月面上を探索する宇宙飛行士の役割を与え、親に地球上で指令を出す管制官の役割を与える。子供側では、月面上をローバーで移動することを模擬し、ジョイスティックをインタフェースとする。親側では、地球上の管制塔での活動を想定し、探査の様子が小さなモニタに表示される。

(2) 現実世界と仮想物体との位置合わせは、映像を取得するカメラの動きを追跡し、その動きに合わせて仮想物体を表示するため、カメラの位置姿勢推定の問題に帰着する。その手法の一つとして、マーカを利用する方法がある。本来存在しないマーカは景観を損ね、マーカの作成及び配置の手間を伴うが、そこにマーカがあることを利用者に知らしめる。マーカによって来館者に注意を促し、展示に興味を持ってもらうきっかけを与える。

ところが、展示環境では展示物を照らすための照明が利用されており、プリンタで印刷されたマーカでは照かりが生じてしまい、安定的に位置姿勢推定を行うことができない。そこで、マーカに散乱材を利用したり、複数カメラを利用したりすることにより、照明の影響を回避しようと試みた。

(3) 先の月面探索システムでは、子供に月面上の宇宙飛行士の役割を与え、その親に地球上の管制官の役割を与えていた。そのため、両者は物理的な空間を共有するものの、それぞれの視点に対応する情報を共有空間に対して与えていたわけではない。

拡張現実感環境では、物理的な現実世界を共有し、利用者のそれぞれの視点からの描像を重畳表示することができる。これにより、複数の利用者が現実世界と同じような環境の中で協調的に作業することができる。科学館での利用を想定し、実体が伴う体験的要素が強いコンテンツを設計する。

## 4. 研究成果

(1) 月面探索システムでは、NASA アポロ 17号の月面探査活動を取り上げ、親子が一緒に

楽しみながら学習できる環境が提供されるようにした。月面上の景色は月面車上の視点で描画され、月面に埋め込まれた情報がテーブルトップの月面地図上に投影される構成とした。

アポロ 17 号の探査報告書には膨大な資料が掲載されているが、初学者がこれを理解するのは不可能である。そこで、一般の来館者が興味を持つと考えられる探査活動や発見に関するエピソードを取り上げ、提示情報とした。

月面探査は宇宙飛行士らと地球の管制塔との交信に基づいて行われており、それを再現するのが探査の様子を把握するには最適である。しかし、規模の小さな科学館が月面車の操縦席を作ったり、管制塔の部屋を構築したりするのは、コストの面から困難である。そこで、月面探査活動を宇宙飛行士と管制官とのロールプレイで再現することにより、月面探査が擬似的に体験できるようにした。

子供に、月面車で月面を動き回って探査する宇宙飛行士の役割を与えた。子供らは、宇宙飛行士らが実際に行った発見や実験の場で関連情報を閲覧する。そうした関連情報には、写真や交信音声、注釈が含まれる。親には、宇宙飛行士らに探査活動に関する指示を与える管制官の役割を与えた。こうしたロールプレイ環境は、子供が探索中に見つけたものについて親に質問したり、親が目的地を指示したりする形で、子供と親のコミュニケーションを創出すると考えられる。クイズが用意されれば、親は子供がクイズに答えるのに必要な情報を得るように手助けすることもある。こうした関連づけは、学習者に体験を印象づける上で適している。

テーブルトップ上には、親側に対して月面鳥瞰図を提示した。この図には印刷した地図を利用し、プロジェクタによって月面上の月面車の位置や関連情報が埋め込まれた場所を投影する。管制官は実際には地球にいますので、宇宙飛行士らが月面探査で直面する状況は詳しくわからず、月面車に備えられたカメラからの映像を通して状況を把握する。そこで、月面車の位置から見える景色が、月面地図の左上に小さなモニタとして低解像度で表示される。

子側の映像として、月面車の視点からの景色が提示される。色の付いた印で、月面に情報が埋め込まれている場所を示した。印の幾つかは、月面上の視点からは月面の起伏があって、その場所に近づかないと見えない。月面車が月面上で情報が埋め込まれた場所に到達すると、その場所に関連したエピソードや地質の解説などが写真と注釈（ナレーション付）で提示される。

科学館の1つから協力を得て、企画展で月面探索システムを実験展示した。実際の展示では、月面探索システムでの情報提供はアポロ 17 号の月面探査活動や地質調査が中心であり、アポロ計画全体あるいは月面探索シス

テムの使い方に関する情報は周囲に設置されたパネルに提示された。実験展示の全体的な印象として、子供は月面探索システムのインタフェース自体やその操作に興味を示し、親は展示内容に高い関心を持つことがうかがえた。親は月有人探査が 40 年も前に行われたことを改めて知り、子供に積極的に説明する場面が多く観察された。

(2) 照明とカメラ、マーカの位置関係により、照明の光がマーカ平面で反射され、カメラ映像に映り込む。マーカをプリンタで印刷した場合、矩形枠やパターンが照かり、誤認識や認識不能の原因となる。そこで、マーカに散乱材を使って光の反射を抑えることにより、これらを軽減する。

散乱素材としてウール紙を使用した。これはケント紙などに化学繊維を付着させたもので、表面に起毛があり光を散乱する。撮影現場でのガラス写り防止や照明調整などに使われている。インクジェットプリンタで印刷したマーカよりも、ウール紙を切り貼りしたマーカの方が照明による照かりが減少することが示された。

位置姿勢推定における照明の影響を回避する方策として、複数のカメラを配置し、1つのカメラの映像でマーカの形状が正確に検出されなくても、別のカメラの映像で正確に検出されるようにした。両カメラ間の座標変換行列が既知ならば、正確に検出されたマーカ形状からオブジェクト座標系の位置姿勢を計算することができる。

2つのカメラを配置した場合を考える。オブジェクト座標系からスクリーン座標系への変換行列（内部パラメータと外部パラメータ）に対する両カメラ間の変換行列を導出する必要がある。内部パラメータは視点に依存しないので、一度推定すれば焦点距離を固定している限り一定として扱える。ただし、レンズ歪みの影響は歪み関数を用いて近似し、補正される。

両方のカメラが捉える三次元空間の位置毎に座標変換行列を求めることにした。カメラの視野に当たる三次元空間を  $10 \times 10 \times 10$  の視体積セルに区切り、そのセル単位で座標変換行列を算出する。つまり、カメラ間の座標変換は、マーカが存在する三次元位置での視体積セルにおける座標変換行列に基づいて行われる。

キャリブレーションは、キャリブレーション用マーカを提示して自動的に座標変換行列が算出される。すべてのセルに対して座標変換行列を導出することは非現実的であるため、キャリブレーション作業で座標変換行列が導出されなかったセルに対しては、算出済みのセルのデータで補完される。

仮想物体の現実空間への位置合わせに、どのカメラの位置姿勢情報を用いるかは、カメラ毎に導出されたマーカの三次元位置の中心点間距離に基づいて決定される。異なるカ

メラで認識されたマークが同一と判定される最小距離を予め設定しておき、マーク中心点の間の距離がその最小距離の範囲内であれば、それらのマークが同一と見なされる。

実装した結果、640x480画素のビデオ映像に対して処理速度30フレーム/秒が得られた。処理は、カメラの数が増えるに従い、遅くなる傾向があった。

(3) 拡張現実感応用の典型はゲームであり、現実世界に仮想物体を重畳提示することにより高いインタラクティブ性を与える。コンピュータゲームは映像音声が合成された仮想世界に制限されるが、周囲の物理空間や隣人と隔離され、利用者の対面コミュニケーションを阻害する。拡張現実感とは、複数人が物理空間を共有し、一緒に楽しむ協調的な環境を創出する。これは、科学館の展示にとっては好都合である。そこで、ミニチュアの自動車を実際に操作し、周囲のドライビング環境を仮想的に提示する仕組みを構築した。

ミニチュアの自動車としてラジコンカーを採用し、複数の利用者がそれぞれ同じ空間を共有して操作できるようにした。各ラジコンカーには可視光カメラを搭載し、運転者の視点でのシーン映像を利用者に提供して、一人称の描像を確保した。ビルや信号機などの仮想物体が、視点に応じてシーン映像に重畳表示されるようにした。これにより、複数の利用者によるドライビング共有環境が構成され、臨場感を伴った操作体験が提供されると考える。

マークベースのトラッキングシステムを実装し、ラジコンカーに搭載された可視光カメラの位置姿勢を推定した。可視光用のマルチマークが床面に配置され、カメラの位置姿勢の推定に使われた。位置姿勢の精度を向上させるため、各ラジコンカーに赤外線マークを付随し、天井に配置された赤外線カメラを用いて位置姿勢を補正した。システムはサーバ・クライアント構成とし、クライアントで可視光カメラの位置姿勢推定と三次元形状の重畳提示を担い、サーバで赤外線マークの位置姿勢推定と可視光カメラの位置姿勢の補正処理を担った。

同一の物理空間に複数台のラジコンカーが存在できるため、ラジコンカー同士が互いに近づいたとき、赤外線カメラによる位置姿勢推定が困難になる。そこで、1台に複数の赤外線マークを付随し、その組の重心を捕捉して区別することとした。

本ドライビングシステムでは、単純な操作で扱えるようにインタフェースが設計された。臨場感を演出するため、それぞれの利用者はHMDでシーン映像を見る。シーン映像はラジコンカーに装着された可視光カメラで取得されるため、無線を使用する必要がある。また、ラジコンカーを操縦するコントローラには、ラジコンカーキットに付属しているものを利用した。

簡単な利用評価を行った結果、シーン映像の変化がゆっくりの時は、安定的に重畳提示が行われたが、シーン映像の変化が激しくなると、処理が追いつかなくなった。また、利用者はラジコンカーの操作に慣れていなかったこともあり、簡単にプレイフィールドの範囲を超えてしまい、周囲の物体に衝突させることが観察された。

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計1件)

- ① 浅井紀久夫, 月面を探索してみよう～博物館でのマルチメディア利用～, 映像情報メディア学会会誌, 査読無, 66巻, 2012, 650-655

[学会発表] (計3件)

- ① Kikuo Asai, and Yuji Sugimoto, Multiplayer RC-car driving system in a collaborative augmented reality environment, International Conference on Multimedia Computing and Systems, 2014年2月13日～2014年2月14日, Kuala Lumpur
- ② Kikuo Asai, and Norio Takase, Reconstructing an immersive environment system with PC cluster and freely available software, International Workshop on Advanced Image Technology, 2013年1月7日～2013年1月8日, Nagoya
- ③ Kikuo Asai, Stabilizing marker-based visual tracking using markers with scattering materials and multiple cameras, International Conference on Computer Graphics, Imaging, and Visualization, 2011年7月17日, Singapore

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

浅井 紀久夫 (ASAI, Kikuo)  
放送大学・教養学部・准教授  
研究者番号：90290874

### (2) 研究分担者

高橋 秀明 (TAKAHASHI, Hideaki)  
放送大学・教養学部・准教授  
研究者番号：30251002