

研究論文

プロジェクション型ARにおける遮蔽を考慮した 注釈ビューマネジメントの設計と評価

山崎 賢人^{1,a)} 阿倍 博信²

受付日 2018年7月13日, 採録日 2018年11月30日

概要: 実物体に注釈情報を投影するプロジェクション型 AR は, 新たな情報提示方法として注目を集めており, 様々な分野への応用が期待されている. 一方で, プロジェクタと投影対象との間に物体が存在する場合, 任意の位置に注釈情報を投影できない問題がある. この問題に対し, 遮蔽を考慮して注釈情報を移動させることで, ユーザの視認性を維持する注釈ビューマネジメントを開発した. 本研究では, 注釈ビューマネジメントを用いたプロジェクション型 AR システムを設計と評価の結果, 有用性を確認したことを報告する.

キーワード: 拡張現実感, プロジェクションマッピング, ビューマネジメント, 力学モデル

Design and Evaluation of an Annotating View Management by Considering Occlusion in Projection-based AR

KENTO YAMAZAKI^{1,a)} HIRONOBU ABE²

Received: July 13, 2018, Accepted: November 30, 2018

Abstract: This paper describes design and evaluation of an annotating view management in projection-based AR system. Projection-based AR, a technology that projects annotations on the real object in real-time, catches the attention of a new displaying method and is used in various fields. On the other hand, projection-based AR has a problem that cannot project annotations on any position when there are objects between the projector and the projection target. In this study, we proposed the annotating view management by considering occlusion, and decided the layout of the annotation to solve this problem.

Keywords: augmented reality, projection mapping, view management, force-directed graph

1. はじめに

計算機上で生成された情報を人にアクチュエーションする方法の1つとして, 現実空間に電子的な情報を付加する拡張現実感 (Augmented Reality: AR) 技術が注目を集めている. AR は, ユーザに対して直観的で分かりやすい情報提示技術であるため, 作業支援などへの応用との相性が良い.

AR を用いたシステムは, ユーザが手にしたタブレットや装着したヘッドマウントディスプレイ (Head Mounted Display: HMD) など, ディスプレイを通して現実空間を見ることによって現実空間を知覚するものが多い. このようにディスプレイを通して AR を享受する方法をシースルー型 AR と称する. シースルー型 AR はディスプレイを搭載したデバイスが必要なことから, ハンドヘルドであったり, ウェアラブルであったり, と身体的制約を課すものが多い. 一方で, ディスプレイを必要としないものとして, プロジェクタを活用したものをプロジェクション型 AR と称する.

プロジェクション型 AR はプロジェクタを用いて現実空間にある実物体に直接情報を付加することから, 空間型拡

¹ 三菱電機株式会社情報技術総合研究所
Information Technology R&D Center, Mitsubishi Electric Corporation, Kamakura, Kanagawa 247-8501, Japan

² 東京電機大学システムデザイン工学部
School of System Design and Technology, Tokyo Denki University, Adachi, Tokyo 120-8551, Japan

^{a)} Yamazaki.Kento@dx.MitsubishiElectric.co.jp

張現実感 (Spatial Augmented Reality)・プロジェクションマッピングとも称されている [1]. ユーザ 1 人に対して専用の端末が 1 機必要となるタブレットや HMD とは異なりプロジェクタは複数が同時に映像を享受できるデバイスとして設計されているため、複数人が同時に情報を共有できる、およびデバイスを身に付ける必要がないなど、多くのメリットが存在する. たとえば、鷹見らは積層造形を行う際に、目的の高さに達した箇所と達していない箇所に対して異なる色を投影し、施工を指示するプロジェクションマッピングシステムを提案している [2].

一方で、プロジェクタは実物体に直接付加情報を投影するデバイスであるため、プロジェクタの光軸と投影対象の実物体との間を遮蔽するように実物体 (遮蔽物) が存在する場合、任意の位置まで光が届かないため、付加情報が予期せぬ投影になる場合がある. したがって意図した情報提示にならない (図 1 参照). このような課題を解決するためには、付加情報を制御・管理する必要がある.

本論文では、プロジェクション型 AR 特有の課題として、遮蔽物の存在により、ユーザの視認性が低下する課題に対して、ユーザの視認性を維持するための注釈情報提示方法を提案する. 以降、2 章では付加情報を制御するための技術をサーベイした結果を報告し、3 章では提案手法について述べる. 4 章で、提案手法を評価するためのシステムに関して述べ、5 章で評価し、6 章では、評価結果について考察する. 7 章においてまとめと今後の展望を述べる.

2. 関連研究

AR において電子的な情報は現実空間にシームレスにあたかもそこに存在するかのように CG を重畳するものから 2 次元的にタグを付加するもので、多種多様であり、目的によって求められるものが異なる. 前者では、現実空間と CG との関係における幾何学的・光学的整合性に焦点が当たる. 多くの AR を用いたシステムでは、これらに重きを置く場合が多い. 一方、後者ではユーザに対する意図理解が重要としている. 文献 [3] では、幾何学的・光学的整合性に対して意図理解を主題にユーザの視認性に着目した「文脈的整合性」について定義している. 文脈的整合性を保つ

ためには、重畳する情報を管理する技術が必要であり、この管理技術を総称してビューマネジメントと呼んでいる.

ビューマネジメントの研究対象の多くは、任意の対象に対してどのように注釈情報を表示するかに着目している. たとえば、2 次元的なタグによって建造物名などを紹介するナビゲーションシステムがあったとする. もし視野内にある多くの建造物にタグを表示した場合、タグどうしが重なり合って表示される可能性がある. 重なり合ったタグは視認性の低下の原因となる. このような場合、タグどうしが重ならないように位置を考慮して表示するなどの表示方法を管理・制御し、視認性を向上させる.

天目らは環境中の 3 次元モデルを用いてユーザが注目している実物体をハイライト表示する手法を提案し [4], 小谷らはオーサリングシステムを開発した [5]. 牧田らはカメラでキャプチャした画像内の移動体 (人など) や非剛体に対して表示する注釈情報の視認性を向上させるため、視認性を低下させる要因をペナルティと定義し、このペナルティを最小化するように注釈情報を配置する手法を提案した [6]. しかしこの手法は注釈対象物と注釈情報との関係性に注目したものであり、複数の注釈情報どうしの関係は考慮されていない. 岩倉らは設備機器に点検作業のための注釈情報を提示する場合、点検対象・操作対象が隠れないように注釈情報を制御する 5 つの機能を定義したが、アルゴリズムは明確にしていない [7].

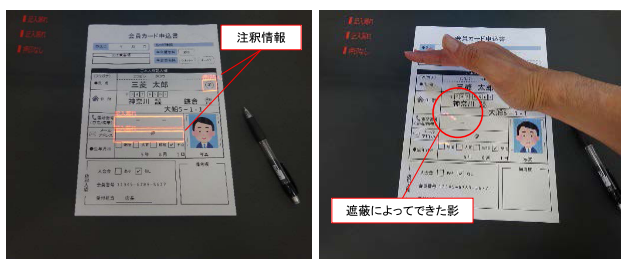
田中らは光学シースルー型 HMD において背景が透過するため、背景の明暗に考慮した注釈情報の提示方法を提案した [8]. Ishiguro らは HMD において人間の周辺視野の特徴に応じた注釈情報提示手法を提案した [9]. このように使用するシーンだけではなく使用するデバイスに応じたビューマネジメントも提案されている.

プロジェクション型 AR においては、投影対象に起因して視認性が低下する場合がある. 矢引らは立体物に注釈情報を投影する際、投影対象の形状データなどから投影に適した面に注釈情報を投影する手法を提案した [10]. このようにビューマネジメントは利用するシーンやデバイスなど、ターゲットを絞って解決策を提案する必要がある.

3. 注釈ビューマネジメント

3.1 基本方針

本研究で想定するシーンは、プロジェクタの光軸と投影対象の実物体との間を遮蔽するように実物体 (遮蔽物) が存在する場合である. たとえば、書類記入時に、ユーザの記入作業をサポート・ナビゲーションするためプロジェクション型 AR によって 2 次元的なタグである注釈情報を投影するとする. このとき手やペンなどの実物体がプロジェクタの光軸と書類との間に存在すると、書類に影が生じるため、注釈情報が投影できない領域が発生する. もしこの領域に注釈情報を投影する設定だった場合、注釈情報が投



(a) 遮蔽なし (b) 遮蔽あり

図 1 遮蔽による視認性の低下

Fig. 1 Lowering of the visibility by the cover.

影されない、もしくは遮蔽物に投影されるため、注釈情報の視認性が低下する。

このような状況において注釈情報は投影される配置位置（幾何学的整合性）より文脈的整合性のほうが重要な要素である。つまりユーザに意図さえ伝われば、注釈情報の配置位置は移動しても構わない。したがって上記の課題を解決するため、注釈情報は実物体による遮蔽を考慮して移動させることとする。

注釈情報を移動させるには、まず各注釈情報が遮蔽されているかを判定する必要がある。図 2 に示すとおり、遮蔽物を検出した場合、各注釈情報が遮蔽されているかを判定する。遮蔽されていると判定された注釈情報は視認性を維持できるように、投影位置を移動させる。このとき注釈対

象と注釈情報の対応を表現するため、注釈対象と注釈情報を線で結ぶこととした（図 3 参照）。

注釈情報と注釈対象を線で結ぶ方法において Azuma らは認知学の知見を基に、以下の 3 つが小さくなるように注釈情報の表示方法についてまとめた [11]。

- (1) 注釈情報どうしや、注釈情報と注釈対象との重なり
- (2) 注釈情報と注釈対象との距離
- (3) 描画フレーム間での注釈情報の移動量

本提案では、この 3 つを注意しつつ、注釈情報の移動位置を計算する。各注釈情報には、他の注釈情報との従属関係（例：親・子）や優先順位など様々な属性を付加することも可能である。このように他の注釈情報との関係性を考慮しながら各注釈情報を移動し、全体のレイアウトを決定する。

3.2 遮蔽判定方法

プロジェクタの光が遮蔽された場合、投影対象には影が生じるため、生じた影を検出することで注釈情報が遮蔽されているかどうかを推定する方法が多い [12]。しかし本研究がターゲットとするシーンでは、書類上に手を乗せているなど、投影対象と遮蔽物との間が狭いため、生じる影を検出することは困難である。そこでレンジファインダなど 3 次元計測が可能なデバイスを用いて遮蔽物の形状を推定する。推定した遮蔽物は図 4 に示すとおりプロジェクタ画像座標系に透視投影変換する。この透視投影変換した領域と、同様に透視投影変換した注釈情報の領域との比較することで、注釈情報が遮蔽されているかどうかを判定する。

3.3 移動位置の計算方法

遮蔽されていると判定された注釈情報は、移動対象として、3.1 節で述べた 3 つのポイントを基に注釈情報を移動する。ここで注釈情報などをグラフ理論におけるノードと見なし、グラフ描画アルゴリズムを応用した。

グラフ理論における描画アルゴリズムは多種多様である [13]。たとえば、各ノード間の相対的位置関係を保存し、描画したものとしてデフォルメ路線図などがある。本研究における描画では、デフォルメ路線図とは異なりノー

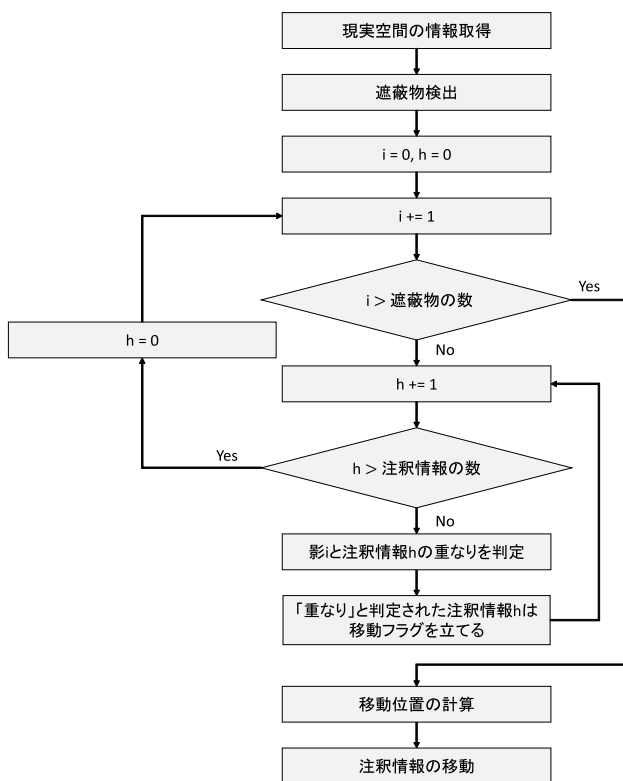


図 2 提案手法のフローチャート

Fig. 2 Flowchart of the proposed method.

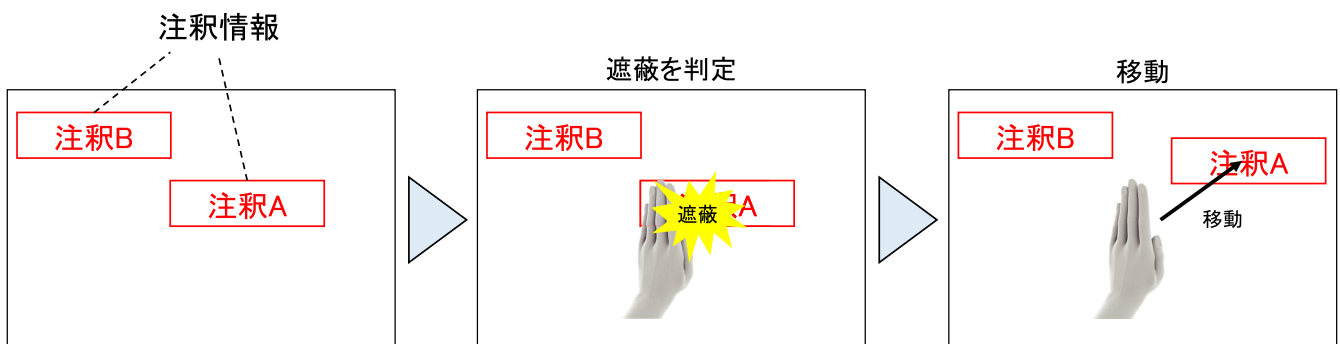


図 3 注釈情報の移動イメージ

Fig. 3 Image of the moving annotation.

ド位置を自由に変更でき、ノードどうしをエッジで結ぶ力指向アプローチが最適である。したがって力学モデル (Force-Directed Graph) をベースにアルゴリズムを定義する [14]。

力学モデルによる描画はノード間の関係に着目した描画方法であるため広範な分野で利用されている。たとえば、ウェブサイトのハイパーリンクを可視化など、仮想空間のモノとモノとの関係に応用されている [15]。力学モデルでは各ノードに対してバネに見立てた2種類の力 (引力・斥力) を加えることで、各ノードの移動量を計算する。各ノードは他ノードとの距離に応じた力を受け、その結果、全ノードが受ける力が0に収束するまで移動する特徴がある。こうして移動した各ノードは、全体的にきれいなレイアウトとして描画される。本アルゴリズムでは、図5に示すとおり、注釈情報や注釈対象、遮蔽物をノードと見なし、各ノードの中心に対して表1で示すルールに従って力を定義した [16]。本提案において遮蔽物や注釈情報が3次元情報を有していても、プロジェクト画像座標系を基準に移動位置を決定するため、注釈情報が受ける力は2次元に限定できる。また遮蔽物の領域は単純化するため凸包とした。

【引力】

図5に示すとおり、任意の注釈情報は注釈対象と親属性

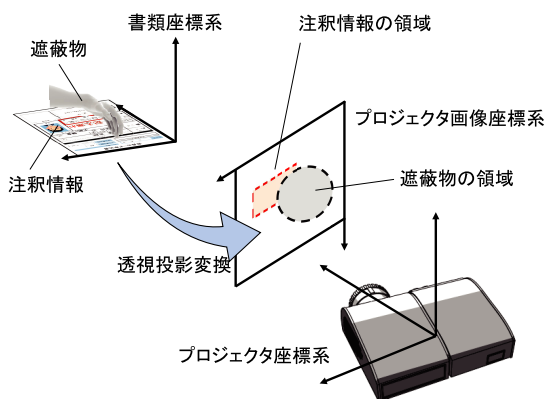


図4 遮蔽判定

Fig. 4 Occlusion detection.

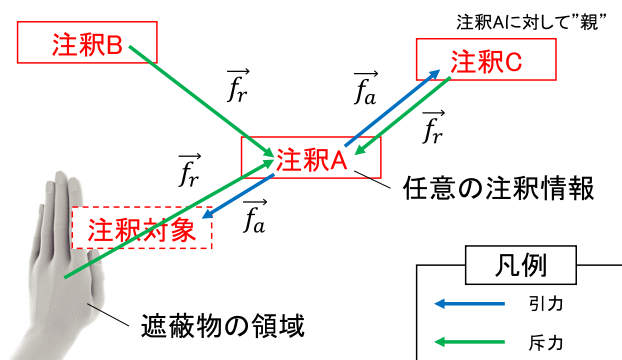


図5 力の加え方のイメージ

Fig. 5 Image of the impress the force.

の注釈情報から引力を受ける。このとき任意の注釈情報の中心から引力を与える各ノードの中心へと向かうベクトルを $\vec{d}$ とすると、任意の注釈情報が受ける引力は距離に比例するフックの法則に従う (式 (1))。

$$\vec{f}_a = k_a \vec{d} \quad (k_a: \text{正の定数}) \quad (1)$$

【斥力】

同様に任意の注釈情報は他の注釈情報と遮蔽物から斥力を受ける。他の注釈情報から受ける斥力は距離に反比例するクーロンの法則に従う (式 (2))。

$$\vec{f}_r = \frac{k_r \vec{d}}{|\vec{d}|^2} \quad (k_r: \text{正の定数}) \quad (2)$$

図6(a)の場合、パターン1の方がパターン2と比較して斥力が大きい。そこで文献 [17] では、全ノードの領域が均一でないことを考慮するため、図6(b)に示すとおり斥力を与えるノードの中心を始点にし、注目ノードの中心に向かって直線を伸ばしたとき、最初に交わる注目ノードの領域との交点と、斥力を与えるノードの領域との交点による線分の長さ l に比例するように、斥力を定義した (式 (3))。

$$\vec{f}_r = \begin{cases} \frac{k_{r1} \vec{d}}{|\vec{d}|^2} & (k_{r1}: \text{正の定数}, l \geq 0) \\ \frac{k_{r2} l \vec{d}}{|\vec{d}|^2} & (k_{r2}: \text{正の定数}, l < 0) \end{cases} \quad (3)$$

しかし、式 (3) の定義では、各ノード間の線分において重複した距離のみに着目したため、ノードの領域の形状によっては不都合が生じる場合がある。

山崎らは集積回路における機能モジュールの配置場所を、力学モデルを用いて決定する手法を提案した [18]。機能モジュールの配置が目的であるため、重なりを許容しない手法であるが、モジュールの形状を矩形や円に限定している。本研究では遮蔽物の領域が矩形や円になる可能性は低い。一方で機能モジュールのように空間的余裕なく注釈情報を敷き詰めるとは考えにくい。したがって本研究では可能な限り注釈情報どうしが重ならないレイアウトを目指すこととした。

ノード間の距離は長い、重複している領域は少ない可能性がある。したがって、重複したノードどうしの斥力は、斥力の単位ベクトルを1ずつ大きくしていき、重複しない距離になるまで移動させる (図6(c) 参照)。しかし実際に1ずつ大きくしていくと閾値に到達するまでの処理時間が大

表1 力の種類

Table 1 Force type.

引力	注釈対象, 親属性の注釈情報
斥力	遮蔽物, 他の注釈情報

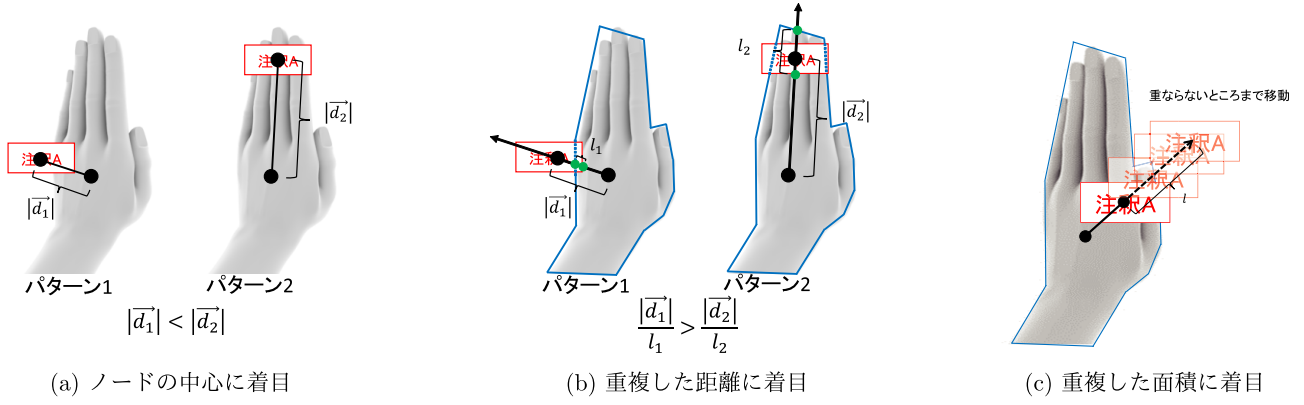


図 6 斥力のアルゴリズム

Fig. 6 Repulsion algorithm.

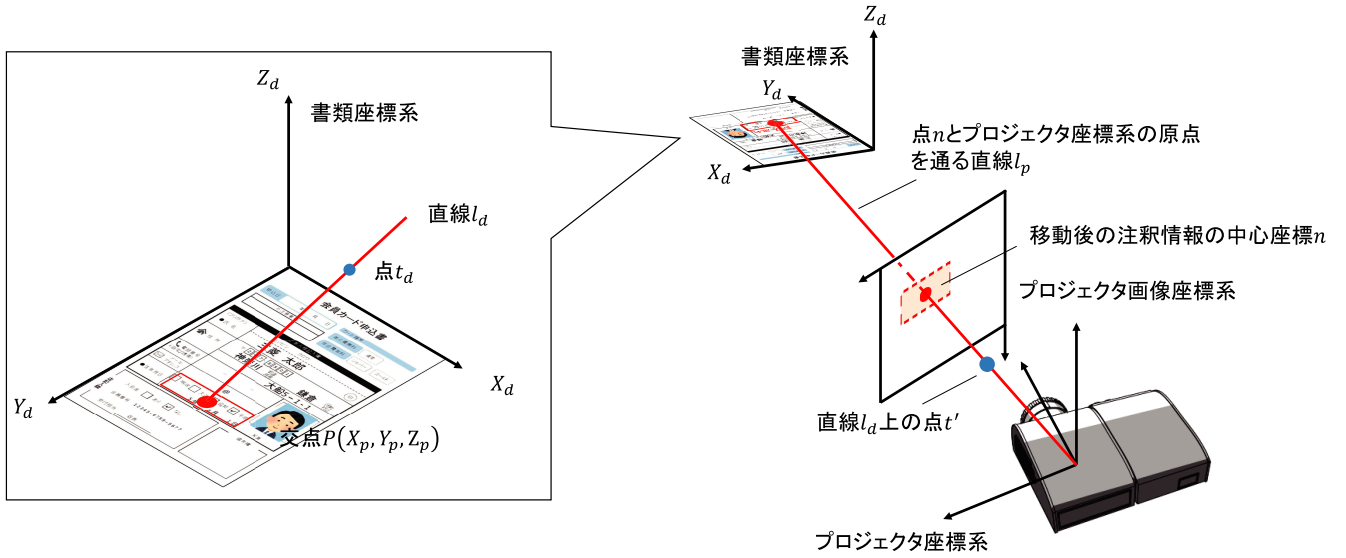


図 7 注釈情報の移動方法

Fig. 7 Moving the annotation method.

きい、そこで高速化のため二分探索木を用いて閾値を求めた。このとき求めた距離に応じて斥力を定義する (式 (4))。

$$\vec{f}_r = \begin{cases} \frac{k_{r1} \vec{d}}{|\vec{d}|^2} & (k_{r1}: \text{正の定数}, l \geq 0) \\ k_{r2} l \vec{d} & (k_{r2}: \text{正の定数}, l < 0) \end{cases} \quad (4)$$

式 (2) を用いたアルゴリズムを方式 A, 式 (3) を方式 B, 式 (4) を方式 C とした。

3.4 注釈情報の移動方法

3.3 節で述べた方法はプロジェクタ画像座標系における注釈情報の中心座標値を計算した結果であるため、プロジェクタ画像座標系で平行移動した場合、幾何学整合性に不整合が生じる。したがって、3.3 節で述べた方法を用いて計算した結果の座標値 n から書類座標系の座標値 m を求め、書類座標系において注釈情報を移動させてから、プロジェクタ画像座標系に再投影する。

プロジェクタは、ピンホールカメラモデルであるため、焦点距離を (f_x, f_y) , 主点を点 (c_x, c_y) としたとき、プロジェクタの内部パラメータ A_{pro} は式 (5) で表現できる。プロジェクタ画像座標系における任意の点 (u_p, v_p) に対応するプロジェクタ座標系の点と原点を通過する直線を l_t としたとき、直線 l_t 上の任意の点 t は内部パラメータ A_{pro} を用いて式 (6) と表すことができる。

$$A_{pro} = \begin{pmatrix} f_x & 0 & c_x \\ 0 & f_y & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (5)$$

$$t = \left(\frac{u_p - c_x}{f_x}, \frac{v_p - c_y}{f_y}, 1 \right) \quad (6)$$

計算結果の座標値 n とプロジェクタ座標系の原点を通過する直線を l_p としたとき、式 (6) から直線 l_p 上の任意の点 t' を定義する。次にプロジェクタ座標系上の直線 l_p と点 t' を、書類座標系上の直線 l_d と点 t_d に変換した。本提案では注釈情報は、 $Z_d = 0$ の $X_d Y_d$ 平面に限定している

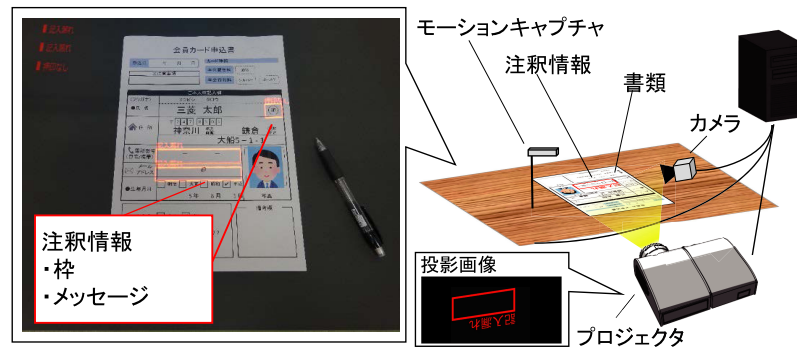


図 8 評価システムのイメージ
Fig. 8 Image of evaluation system.

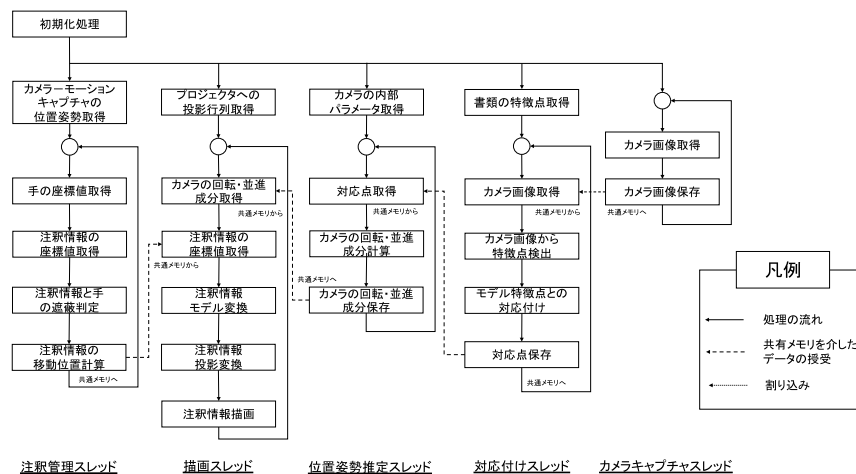


図 9 処理フロー
Fig. 9 Flowchart of the system.

ことから、直線 l_d と $Z_d = 0$ の $X_d Y_d$ 平面との交点 P の座標値 (X_p, Y_p, Z_p) が移動後の注釈情報の中心の座標値 m となる。

直線 l_d の傾きの方向ベクトルを (X_l, Y_l, Z_l) とし、点 t_d の座標値を (x_d, y_d, z_d) としたとき、式 (7) が成り立つ (図 7 参照)。

$$\begin{cases} X_p = \frac{-X_l \times z_d}{Z_l} + x_d \\ Y_p = \frac{-Y_l \times z_d}{Z_l} + y_d \\ Z_p = 0 \end{cases} \quad (7)$$

4. 評価システムの開発

本提案を評価するために評価システムを開発した。評価システムは図 8 に示すとおりユーザが机上に書類を置くと、本システムのカメラではキャプチャした画像 (カメラ画像) から書類の位置姿勢を検出する。このときのカメラとプロジェクタとの幾何学的な関係は既知であるため、書類上の任意の位置に書類の解析結果を注釈情報として投影可能である。

注釈情報は書類上で強調を必要とする箇所に 2 次元の注釈情報 (枠・メッセージ) をマッピングするように投影

表 2 PC の仕様

Table 2 Specification of the PC.

OS	Windows 7 Professional 64 bit
CPU	Intel Xeon CPU E5-1620 v3@5.5 GHz
メモリ	16840 MB RAM

する。

カメラ画像を基に書類座標系からカメラ座標系への回転・並進成分を求めるためには、カメラ画像座標系で検出した特徴点と、それに対応する書類座標系上の点を対応付けし、PnP (Perspective-n-Point) 問題を解決する。本システムは AKAZE 特徴量を CUDA で実装してある [19]。

本システムでは、注釈情報の表示位置を書類の動きに追従させるために、実時間で書類の位置姿勢を検出する。そこで、実時間処理を実現するために、図 9 に示す 5 つのモジュールを各スレッドとして立て、並列処理するように実装した。

一般的にテレビ放送や映画のフレームレートは 30 弱が多いため、描画スレッドは 30 fps、それ以外のスレッドは半分の 15 fps 以上を目標値に設定した。

本評価実験で使用した PC の仕様を表 2 に示す。C++ で実装し、レンダリングにはマルチプラットフォームライブラ

リ GLFW を使用した [20]. 使用したカメラは Basler 社製カメラ acA4600-10uc (キャプチャ画像の解像度 1,280 pixel × 720 pixel), プロジェクタは EPSON 社製 EB-1761W (解像度: WXGA) を使用した.

本評価実験における遮蔽物は手に限定し, 手の検出には, Leap Motion 社製のモーションキャプチャ Leap Motion を使用した [21]. Leap Motion で検出できる指の関節は図 10 に示すとおりである [22]. この検出した指の 3 次元座標値は Leap Motion 座標系での取得となるため, 事前に Leap Motion 座標系とプロジェクタ座標系との位置合わせをしておく. このとき, Leap Motion で取得した関節座標値はフレームごとの検出誤差があるため, 移動する注釈情報が微振動する原因となっていた. そこで本システムでは注釈情報の微振動を軽減するため, カルマンフィルタをかけている.

VR Visualizer を用いて手の検出を可視化した画面を図 11 (a) に示す. 本システムでは, Leap Motion やプロジェクタの位置姿勢関係は既知であるため, Leap Motion で取得した関節座標値を基に手のモデルを生成し, プロジェクタ画像座標系に透視投影変換した (図 11 (b) 参照). この手のモデルの掌の厚さは 15.0 mm としている [23]. 手のモデルを遮蔽物の領域と見なし, 3.2 節で述べた遮蔽判定方法は手のモデルと注釈情報とが重なっているかどうか

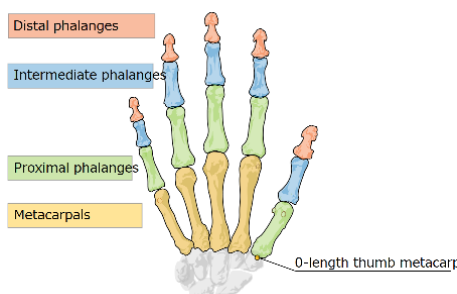


図 10 検出可能な関節 (文献 [22] 引用)

Fig. 10 Detectable joint.

を判定することで行う.

5. 評価

5.1 評価指針

提案手法のユーザビリティと開発した評価システムの性能に対して評価する. まず最も基本的な方式である方式 A でユーザビリティを評価する. 3.3 節で述べたとおり, 方式 B, C は方式 A の改良版となっているため, 方式 A のユーザビリティ評価において有効性を示すことができれば, 十分と考えている.

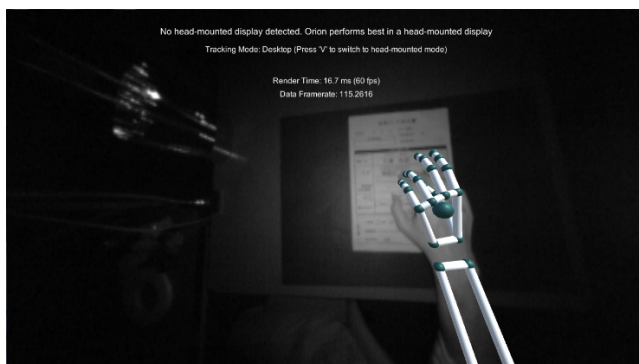
次に方式 B と方式 C の比較を実施する. 4 章で述べた実時間性を満たすかを確認するため, 評価システムのフレームレートとレイテンシを評価する. また方式 B, C は注釈情報どうしの重なりの有無を確認する. また処理負荷についても評価する.

5.2 ユーザビリティ評価

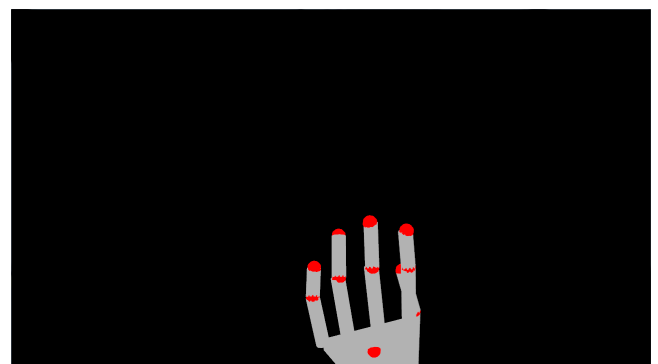
評価方法は, 被験者 8 名に対するアンケートで実施した. 被験者は無作為に抽出した男性 (20 代~50 代) である. 本評価システムにおいて検出する手は 1 つに限定した. 遮蔽物の位置に依存して注釈情報が移動するため, 被験者には, 注釈情報が遮蔽されるように投影対象に任意の手を乗せ, 自由に手を動かすように指示した. 実験後, 被験者は 5 パターンの視認性について 5 段階で評価した. 実施項目は, 表 3 に示す 5 パターンで行った (図 12 参照).

評価結果は図 13 に示すとおり, パターン 1 の場合, 視認性が悪い (「そう思わない」「あまり思わない」と回答した人が 87.5%, 良い (「そう思う」「まあまあ思う」と回答した人は 12.5% であった. 本提案手法を用いることで, 悪いと回答した人は 12.5% まで減少し, 良いと回答した人は 75.0% に増加した.

パターン 2 においても同様に, パターン 2-1 とパターン 2-2 を比較して, 悪いと回答した人は 87.5% から 12.5% まで減少し, 良いと回答した人は, 12.5% から 50.0% に増加



(a) Leap Motion 視点



(b) プロジェクタ視点

図 11 手の検出

Fig. 11 Detected hand.

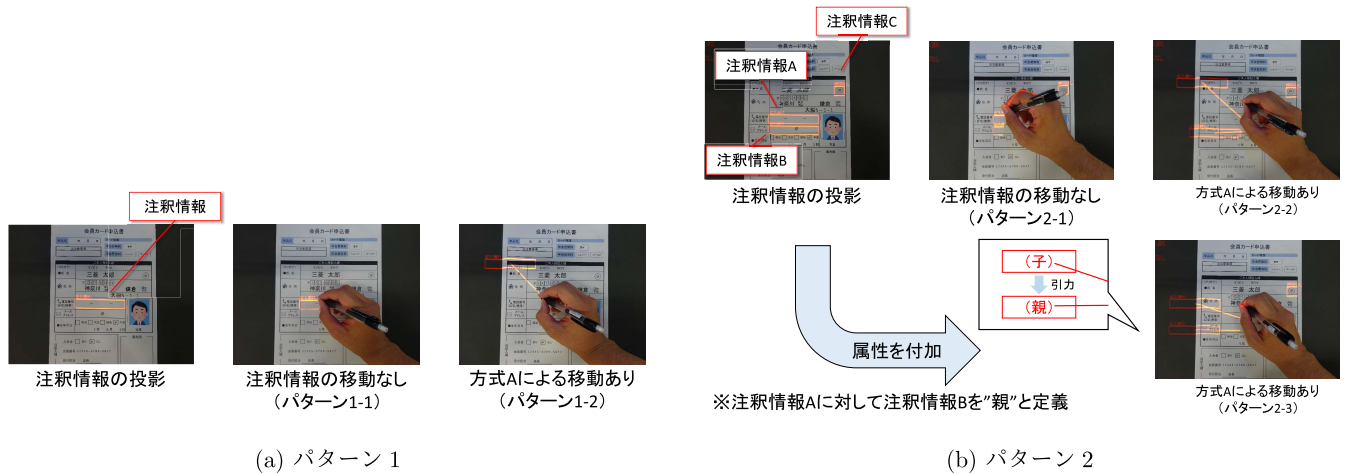


図 12 評価に用いた注釈情報のパターンの例

Fig. 12 Example of annotation patterns of the evaluation experiment.

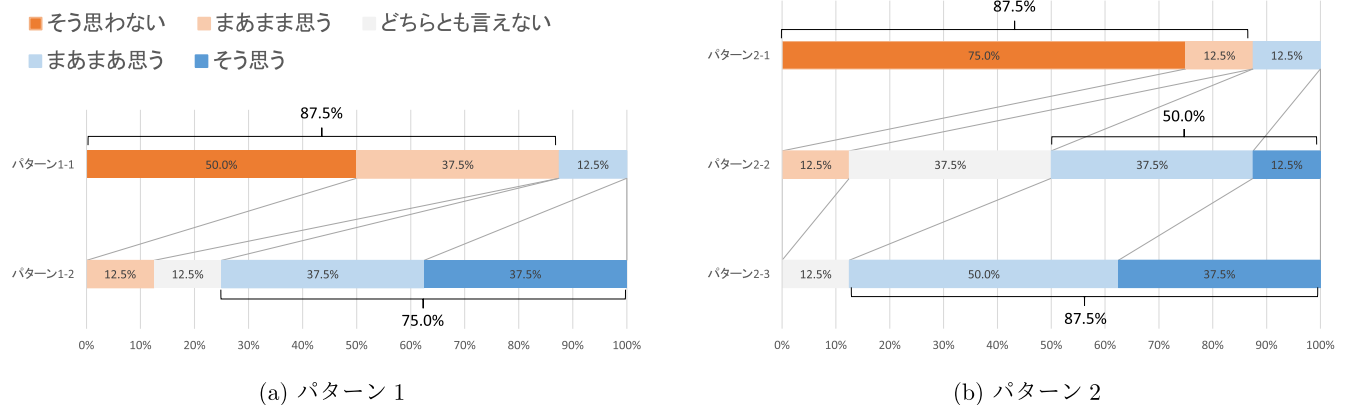


図 13 評価結果

Fig. 13 Evaluation result.

表 3 評価内容

Table 3 Content of experiment.

パターン	注釈情報の数	提案手法の有無
1-1	1つ	なし
1-2	1つ	あり
2-1	複数	なし
2-2	複数	あり（親子関係なし）
2-3	複数	あり（親子関係あり）

している。また、属性を付加した場合、パターン 2-1 と比較して、良いと回答した人は、12.5%から 87.5%まで増加し、悪いと回答した人は 0%になった。

ユーザビリティ評価の結果、パターン 1, 2 とともに視認性は向上したため、本提案は有用であるといえる。

5.3 性能評価

評価システムの性能はフレームレートとレイテンシを評価する。図 9 に示したカメラスレッドと注釈管理スレッド以外の 3 スレッドのフレームレートを計測した。計測方法は各スレッドから任意の 300 フレームを抜き出し平均フ

表 4 計測結果

Table 4 Metering result.

描画スレッド	49.70 fps
位置姿勢推定スレッド	23.76 fps
対応付けスレッド	15.48 fps

レームレートを計算した。計測結果は表 4 に示す。描画スレッドは 49.70 fps であり、目標を達成した。計測したスレッドの中で対応付けスレッドが最も処理に時間がかかっているが、15.48 fps であり、目標を達成した。またカメラで画像を取得してからレンダリングするまでの平均レイテンシは 126.8 ms であった。しかし多くの被験者から「注釈情報の遅延が気になる」との意見があったため、今後は高速化する必要がある。

次に注釈情報の数を増加させたときの処理負荷について実験する。注釈情報を 1 から 100 まで増加させたときの処理負荷は図 14 に示すとおりである。方式 B は処理が軽いいため、あまり処理負荷がかからないことが分かった。一方、方式 C は回帰直線が注釈情報の数に比例していること

が分かる。

提案した注釈ビューマネジメントが各ノードの重なりなく移動するかを評価するため、シミュレータ上で動作確認した(図 15 参照)。本シミュレータはプロジェクタ画像座標系上の遮蔽物(手)と注釈情報を再現したものである。注釈情報はランダムに5つ生成し、手を動かしたとき、収束した状態で、全ノードが重複しないことを確認した。

最後に、方式 B, C で提案した注釈ビューマネジメントと本論文で述べた注釈ビューマネジメントを比較した。比較結果は図 16 に示すとおりである。方式 B の注釈ビューマネジメントでは注釈 B より注釈 A の方が、移動距離が

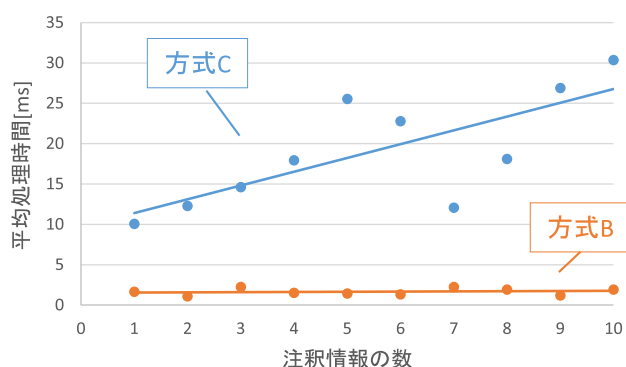


図 14 処理負荷

Fig. 14 Processing load.

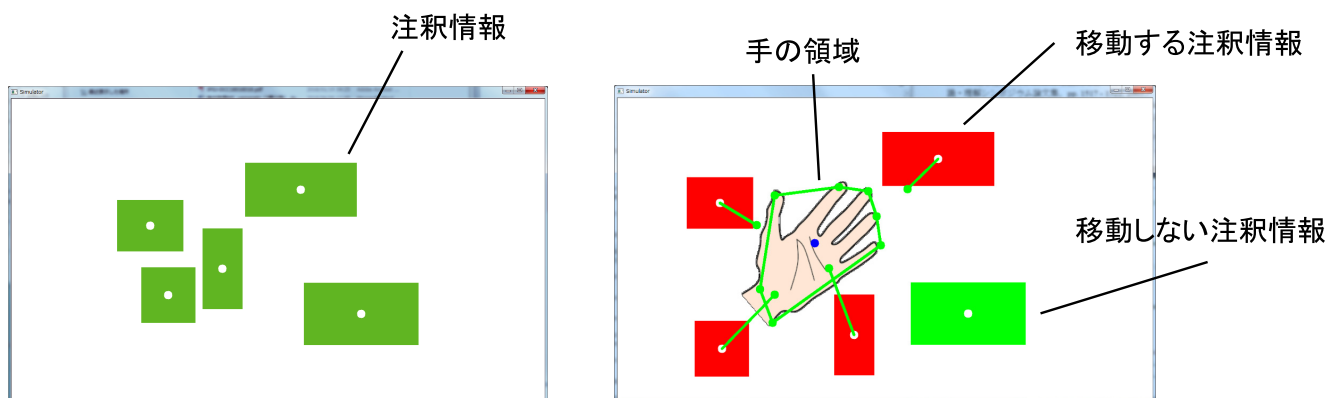
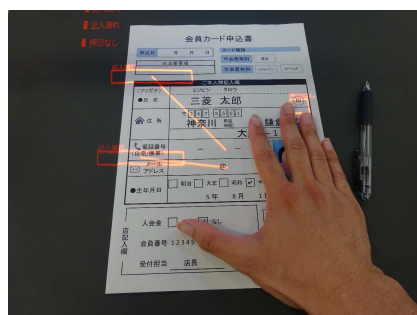


図 15 シミュレーション画面

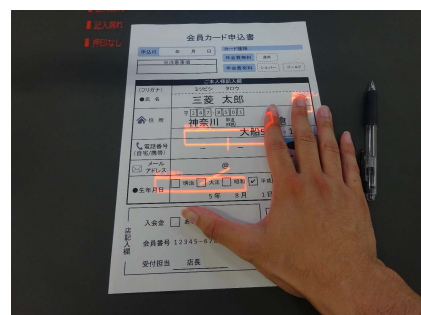
Fig. 15 Screen of simulation.



遮蔽がないとき



遮蔽あり
方式Bの注釈ビューマネジメント



遮蔽あり
方式Cの注釈ビューマネジメント

図 16 注釈ビューマネジメント

Fig. 16 Annotation view management.

大きくなっている。一方で方式 C では注釈 A の方が注釈 B よりも小さい。これは遮蔽されたときに必要となる移動量に比例した動かし方を定義したためである。また方式 C でのビューマネジメントの方が、全体的に移動量が小さい。したがって、より Azuma らの手法の 2 つ目に即していることも分かる。

6. 考察

ユーザビリティ評価において、注釈情報が遮蔽されたままよりも、移動した方が分かりやすいことが分かった。親子属性を付加したパターン 2-3 が最も好評価だった。これは注釈情報が複数ある場合、各々が独自に動く配置が分散するため、注意が散漫になり視認性が悪いことが分かった。したがって、関連した注釈情報は、ある程度まとまったグループとして移動したほうが分かりやすいと考えられる。

性能評価において、方式 B は処理負荷が少ないが、方式 C の方が注釈対象の近くに注釈情報が提示されるため、より分かりやすい表現になっていることが分かった。しかし方式 C では注釈情報の数に比例して処理負荷が増加するため、注釈情報の数は使用する計算機に応じて制限は必要である。しかし、そもそも多くの注釈情報を同時に提示した場合、視認性が悪い。したがって、多くの注釈情報を同時

に提示するのではなく注釈情報の優先度を付加することで提示する注釈情報を絞るなど、親子関係以外にも多くの属性が必要であることが分かった。

本提案では力学モデルを応用したため、距離に着目した注釈情報の移動が主題となっている。しかし移動後の注釈情報を重畳する投影面の色などによっては注釈情報が見にくくなる場合があることも分かった。

また本提案は仮想空間上のシミュレータとは異なり実空間を対象に注釈情報を投影している。したがって書類の位置姿勢推定や手の検出など、多くのノイズになる要因が多い。そのため、注釈情報が微振動するなど、視認性の低下につながるものが発生する。今後はこうした現実空間特有の課題の解決も必要となる。

7. おわりに

本論文では、プロジェクション型 AR において注釈情報が遮蔽されたときの注釈ビューマネジメントを提案し、その設計と評価について述べた。具体的には、遮蔽された注釈情報の視認性を維持するため、注釈情報の移動方法を詳述した。また移動方法の有用性も評価した。

AR において多くの研究開発が幾何学的整合性・光学的整合性に注目するなか、本研究では利用者のニーズ合わせた技術課題を検討し、文脈的整合性について着目した。視認性の維持のための方法を検討し、その結果、注釈情報を移動させることにした。次に移動させる方法は汎用性のある移動方法を検討しグラフ理論で用いられる力学モデルを応用するビューマネジメントにたどり着いた。

今後は、評価実験で得られた知見を基に、ユーザの視線を考慮した注釈ビューマネジメントを提案するなど、視認性の向上を追求する。

参考文献

- [1] 岩井大輔：拡張現実感 (AR) : 8. 応用 5 : プロジェクション型 AR, 情報処理, Vol.51, No.4, pp.408-413 (2010).
- [2] 鷹見洋介, 吉田博則, 小淵祐介, 五十嵐健夫：プロジェクションマッピングを用いた建設用 3D 積層造形技術, 第 22 回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ (2014).
- [3] 蔵田武志, 酒田信親, 牧田孝嗣：拡張現実感 (AR) : 11. 展望 3 : AR のインタフェース, 情報処理, Vol.51, No.4, pp.425-430 (2010).
- [4] 天目隆平, 神原誠之, 横矢直和：ウェアラブル拡張現実感システムのための注目オブジェクトへの直感的な注釈提示手法, 日本 VR 学会論文誌, Vol.10, No.3, pp.305-311 (2005).
- [5] 小谷享広, 牧田孝嗣, 神原誠之, 横矢直和：注釈対象の形状を考慮した AR オーサリングシステム, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.106, No.470, pp.1-6 (2007).
- [6] 牧田孝嗣, 神原誠之, 横矢直和：ネットワーク型ウェアラブル AR のための動的環境における注釈のビューマネジメント, 日本 VR 学会論文誌, Vol.15, No.4, pp.603-613 (2010).
- [7] 岩倉寛幸, 松中正法, 柴田史久, 木村朝子, 田村秀行：モバイル複合現実感による災害時の設備復旧支援, 歴史都市シンポジウム論文集, B-3-2, pp.195-202 (2007).
- [8] 田中宏平, 岸野泰恵, 宮前雅一, 寺田 努, 西尾章治郎：光学式シースルー型 HMD のための読みとりやすさを考慮した情報提示手法, 情報処理学会論文誌, Vol.48, No.4, pp.1847-1858 (2007).
- [9] Ishiguro, Y., Mujibiyah, A., Miyaki, T. and Rekimoto, J.: Aided Eyes: Eye activity sensing for daily life, *Proc. 1st Augmented Human Int'l Conf.*, No.25, pp.1-7 (2010).
- [10] 矢引達教, 岩井大輔, 佐藤宏介：投影型複合現実感における投影文字の可読性を考慮した重畳アノテーションの適応レイアウト, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.110, No.382, pp.13-16 (2011).
- [11] Azuma, R. and Furmanski, C.: Evaluating label placement for augmented reality view management, *Proc. 2nd Int'l Symp. Mixed and Augmented Reality*, pp.66-75 (2003).
- [12] 金成幸司, 向川康博, 太田友一：SpaceRelighter：プロジェクタを用いた実照明環境再現システムにおける動的な影の除去, 画像の認識・理解シンポジウム論文集, pp.1517-1522 (2005).
- [13] Diestel, R.: *Graph Theory*, Springer-Verlag New York (1997).
- [14] Fruchterman, T. and Reingold, E.: Graph drawing by force-directed placement, *Software: Practice and experience*, Vol.21, No.11, pp.1129-1164 (1991).
- [15] 土井 淳, 伊藤貴之：力学モデルを用いた階層型グラフデータ画像配置手法の改良手法とウェブサイト視覚化への応用, 芸術科学会論文誌, Vol.3, No.4, pp.250-263 (2004).
- [16] 山崎賢人, 阿倍博信：プロジェクション型 AR における遮蔽を考慮した注釈ビューマネジメントの提案, 第 22 回日本 VR 学会大会論文集, 3E1-01, pp.1-4 (2017).
- [17] 山崎賢人, 阿倍博信：力学モデルに基づく注釈ビューマネジメントを用いたプロジェクション型 AR システムの開発, 情報処理学会研究報告, Vol.2018-DCC-18, No.18, pp.1-7 (2018).
- [18] 山崎博之, 三上直人, 高橋篤司：モジュールの重なりを許さない力学的モデルによるモジュール配置手法, 情報処理学会論文誌, Vol.43, No.5, pp.1304-1314 (2002).
- [19] Alcantarilla, P.F., Nuevo, J. and Bartoli, A.: Fast explicit diffusion for accelerated features in nonlinear scale spaces, *Proc. British Machine Vision Conf.*, pp.13.1-13.11 (2013).
- [20] GLFW, available from (<http://www.glfw.org/>)
- [21] Leap Motion, available from (<https://www.leapmotion.com/>)
- [22] Introducing the Skeletal Tracking Model, available from (<https://developer.leapmotion.com/documentation/cpp/devguide/Intro.Skeleton.API.html>)
- [23] AIST 日本人の手の寸法データ：AIST 日本人の手の寸法データ, 入手先 (<https://www.dh.aist.go.jp/database/hand/index.html>)



山崎 賢人 (正会員)

2013年立命館大学情報理工学部メディア情報学科卒業，2015年同大学院情報理工学研究科博士前期課程修了．同年三菱電機株式会社入社．以来，拡張現実感に関する研究開発に従事．日本バーチャルリアリティ学会会員．



阿倍 博信 (正会員)

1988年慶應義塾大学理工学部計測工学科卒業，1990年同大学院理工学研究科修士課程修了．同年三菱電機株式会社入社．2018年東京電機大学システムデザイン工学部情報システム工学科教授．以来，グループウェアシステム，マルチメディア応用システムの研究開発に従事．2005年慶應義塾大学理工学研究科後期博士課程修了．博士（工学）．電子情報通信学会，日本ソフトウェア科学会，映像情報メディア学会，画像電子学会，教育システム情報学会，自動車技術会，計測自動制御学会各会員．