



# 卓上投影型 AR における視認性を維持するラベル投影手法の提案

市橋 啓太\*<sup>1</sup> 石川 剛\*<sup>1</sup> 藤波 香織\*<sup>2</sup>

Projection Method to Aware the Visibility for Augmented Reality by Tabletop Projection

Keita Ichihashi\*<sup>1</sup> Tsuyoshi Ishikawa\*<sup>1</sup> Kaori Fujinami\*<sup>2</sup>

**Abstract** – Recently, augmented reality (AR) spreads widely in our life because AR facilitates understanding of real scene's information (label). AR systems by tabletop projection are suitable for support of desk work because we do not need to hold and mount equipments, e.g., tablet, head mount display and so on. However, the label is distorted when overlap with objects on the table occurs. In particular, in the scene of dense objects on the tabletop, overlap of a label with an object can not be avoided. We propose visibility-aware gradient descent (VGD) method, which classifies the visibility of the label and determine the position of label projection where visibility is maintained. The results of an experiment show that the visibility of the labels was kept in the scenes of dense objects.

**Keywords** : VR・AR・3D, 感覚・知覚・認知, 情報デザイン, 学習・教育支援, 卓上作業支援

## 1. 序論

実環境の物体に対し、計算機で生成した情報を付加させる拡張現実 (Augmented Reality : AR) は、スマートフォンやタブレット端末、ヘッドマウントディスプレイ (Head Mount Display : HMD) などの普及とともに人々の生活に徐々に浸透している。AR は情報を直感的に伝えることができるため、シーン理解や作業支援などに広く利用されている。AR には、ディスプレイに表示された実世界画像上に情報を付加するものだけではなく、プロジェクタにより壁や卓上などの実空間に情報を直接投影する空間型拡張現実 (Spatial Augmented Reality : SAR) がある。SAR には、HMD の装着やタブレット端末の保持などによる煩わしさが無い利点がある。そのため卓上作業支援に適しており、化学実験や料理支援などの研究が多く行われている [1] [2] [3]。

SAR による卓上作業支援 (卓上投影型 AR) において考慮すべき点は、投影情報 (ラベル) の視認性維持である。視認性低下の要因として、ラベルと実物体との重なりや、ラベル同士の重なりなどがあげられる。視認性維持の手法として、それらの重なりを排除したラベル投影があげられる。しかしその手法は、物体の密集する卓上シーンへの適用が困難であるとされている [3]。特に、卓上作業を想定する場合は多数の物体が

密集する卓上シーンが想定される。

そこで本研究では、卓上投影型 AR において物体が密集するような卓上シーンにおいても、視認性を維持したラベル投影が可能な VGD (Visibility-aware Gradient Descent) 法の提案を行う。物体が密集するシーンに対応するためには、ラベルと物体の重なりを認める必要がある。しかし、SAR では実物体へのラベル重畳による 3 次元的な歪みが視認性の低下を招く [4]。よって、物体にラベルを重畳する場合であっても、可能な限りラベルの 3 次元的な歪みが小さい位置に投影する工夫が必要となる。

第 2 章では AR における視認性維持の関連研究について述べる。そして第 3 章では VGD 法を適用するラベル投影システム的设计について述べ、第 4 章では本研究が提案する VGD 法について詳しく説明する。そして第 5 章では VGD 法を適用したラベル投影システムの実装について述べ、第 6 章では VGD 法を適用したラベル投影システムを用いた評価実験について述べる。そして第 7 章では考察、第 8 章では結論と今後の展望について述べる。

## 2. 関連研究

### 2.1 ディスプレイ型 AR

Bell, et al. [5] は AR における情報の一般的な対応付けとして、物体とラベル (情報) を線分で結ぶ方法を提案した。この線分をリンク線と呼び、ラベルが多数表示されるシーンにおいて、物体とラベルの対応明示によりシーン理解の混乱を抑える効果があることを示した。Azuma, et al. [6] はラベルとリンク線の、ディスプレイ上のオブジェクトや他の情報への重なりをコス

\*1: 東京農工大学大学院 工学府 情報工学専攻

\*2: 東京農工大学大学院 工学研究院先端情報科学部門

\*1: Department of Computer and Information Sciences, Tokyo University of Agriculture and Technology

\*2: Institute of Engineering Division of Advanced Information Technology & Computer Science, Tokyo University of Agriculture and Technology

ト化し、最もコスト値の総和が小さい位置にラベルを配置するGD (Gradient Descent) 法を提案した。この手法では、複数の情報が提示される場合において高い対応付けの正確さと視認性が示された。Leykin, et al. [7] はラベル投影面の背景テクスチャが視認性に影響を及ぼすとし、テクスチャとラベルの組合せからラベルの見えやすさを分類する手法を提案した。

しかしこれらの研究は、ディスプレイ上でのARを想定した手法である。そのため2次元的な視認性低下要因のみを研究対象としている。よってSARにおける3次元的な視認性低下要因は考慮されていない。

## 2.2 SAR

Sato, et al. [3] はプロジェクタを用いた卓上投影型ARの視認性維持手法として、2.1節で述べたGD法を拡張したNGD (Non-overlapped Gradient Descent) 法を提案した。NGD法は、ラベルやリンク線が卓上物体や物体の陰領域、他の投影情報といった視認性を低下させる要因と重ならなくなるまでリンク線を伸ばし、投影位置を探索する手法である。NGD法では、卓上投影型ARにおいて非常に高い視認性が得られることが示された。しかし、物体が密集するシーンでは、リンク線の長さが増大し物体とラベルの対応把握が困難となる。そして最悪の場合、ラベル配置位置が見つからないといった問題が指摘されている。

Iwai, et al. [8] は非平面の投影面での3次元的なラベルの歪み補正手法を提案している。しかしこの手法は、静的な投影面のみを考慮し、動的な投影面の変化を考慮していない。よって、卓上の物体が移動し常に投影面が変化する卓上投影型ARへの適用は困難である。

## 3. VGD法を適用するラベル投影システムの設計

本章では、本研究で提案するVGD法を適用するラベル投影システムの機能要件およびシステム構成について述べる。

### 3.1 ラベル投影システムの機能要件

VGD法を適用したラベル投影システムを実現するにあたり、次の3つの機能が必要であると考えた。

- (1) 適切な物体に対応するラベルとリンク線の投影
- (2) 卓上物体の位置、大きさ、形状情報の取得
- (3) 視認性が維持される情報投影位置の決定

卓上作業支援を想定する場合、卓上に多数の物体が配置されるシーンが想定され、それに伴いラベル数も増大する。リンク線の投影は、ラベルが多数表示されるシーンにおいて有効である[5]。よって、プロジェクタによって適切な物体に対応するラベルとリンク線を卓上領域に投影することを、第1の機能要件とした。

卓上物体に対応したラベルとリンク線を投影するた

めには、卓上物体の位置情報が必要となる。また、リンク線に対応する物体の輪郭から伸ばすためには、卓上物体の大きさ情報が必要となる。さらに、卓上物体に情報が重畳する場合の視認性への影響推定のために、物体の形状や高さ情報が必要となる。よって、これらの卓上情報を取得することとし、第2の機能要件とした。

卓上への情報投影位置を決定する際に、情報の視認性が維持される位置を選択する必要がある。投影情報同士の重なりは情報の視認性を大きく低下させる[6]。また、SAR特有の問題として3次元オブジェクトへの重畳による情報の歪みがあげられる[4]。この中で、卓上物体へ重なる情報投影は、物体の凹凸が小さければ情報の視認性は維持できると考えられる。よって、本研究では情報の卓上物体への重畳を認めつつ視認性が維持されるラベル投影位置を探索し決定する手法をVGD法とし、第3の機能要件とした。

### 3.2 ラベル投影システムの構成

3.1節で述べた機能要件から、VGD法を適用したラベル投影システムの概要を図1に示し、各機能の実現方法について述べる。

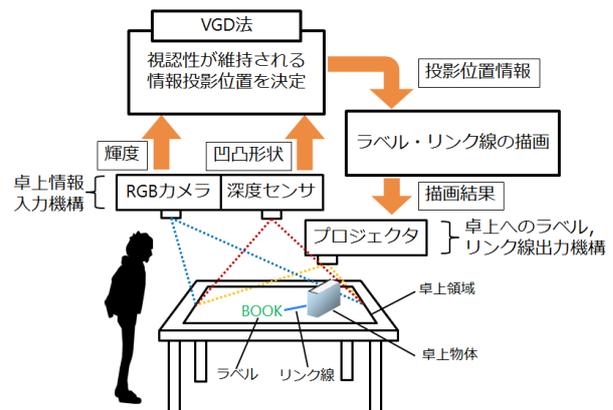


図1 ラベル投影システム概要

(1) 適切な物体に対応するラベルとリンク線の投影  
ラベル投影位置と卓上物体位置を入力とし、各物体位置に対応するラベルとリンク線の描画結果を出力し、プロジェクタを通して卓上に投影する。

(2) 卓上物体の位置、大きさ、形状情報の取得  
これらの情報取得には、RGBカメラと深度センサを用いる。なお、RGBカメラからは卓上の輝度、深度センサからは卓上物体の凹凸形状を取得する。

(3) 視認性が維持される情報投影位置の決定  
VGD法では、視認性の維持される情報投影位置が見つかるまで探索を行う。そのため、投影情報の視認性を分類する必要があり、視認性分類器を教師あり機械学習により作成した。分類器は、(2)の機能により取得した卓上情報から計算した特徴量を入力とし、ラ

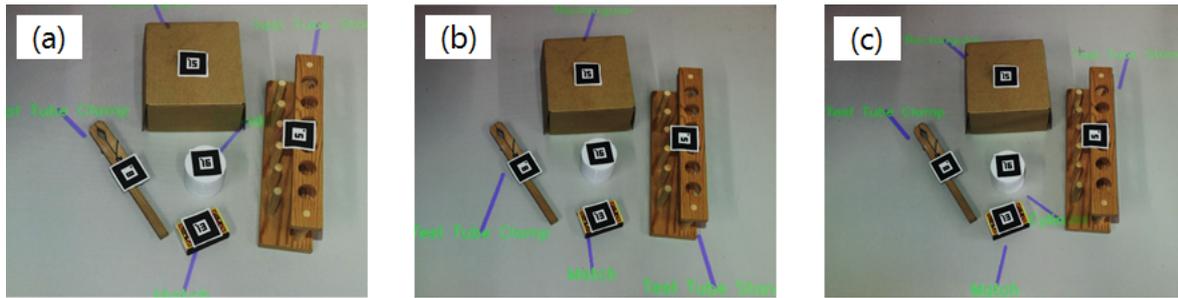


図2 各手法を適用したラベル投影結果 (a) GD法 (b) NGD法 (c) VGD法

ラベル投影候補位置の視認性分類結果を出力する。

以上を踏まえ、関連手法とVGD法を適用したラベル投影システムのラベル投影例を図2に示す。図2の卓上中央にある円柱物体に対応するラベルは「Cylinder」である。GD法は、ディスプレイ型ARにおける情報視認性維持手法であり、卓上物体への情報重畳を視認性低下要因とするものの、ラベル重畳を許容する。よって、情報が大きく歪む位置に投影される可能性がある。NGD法は、SAR向けの研究であり、卓上物体へのラベル重畳を排除するものの、物体が密集するシーンではラベルが投影できない。一方VGD法は、そのようなシーンでも凹凸による情報歪みの小さな位置にラベルを投影するため、ラベルの視認性を維持できる。

#### 4. VGD法

本章では、VGD法のアルゴリズムと、ラベル投影候補位置の視認性分類器の学習に用いる教師データのラベル付け方法、特徴量について述べる。

##### 4.1 VGD法のアルゴリズム

図3にVGD法のアルゴリズムを示す。VGD法では、卓上の物体配置が変更された場合に処理を開始し、処理AからEでラベルの投影候補位置を決定する。そして、処理Gによって投影候補位置の情報視認性をラベル投影可能度として3段階に分類する。そして視認性の維持されるラベル投影位置が見つれば処理を終了し、見つからなければ投影位置の探索を続ける。

次にVGD法の詳細な処理フローについて説明する。処理Aは、現在のラベル配置での他の卓上物体や投影情報との重なりがあるかの判定であり、重なりが無い場合は視認性の低下が起こらないため、情報の投影位置を変更しない。処理Bでは、リンク線の初期長さに基づいて、ランダムな方向にラベル投影候補位置を決定する。処理Cでは、初期位置から10度ずつ360度、計36個のラベル投影候補位置を求める。VGD法では、投影情報同士の重なりと卓上領域外へのラベル投影を認めない。よって、Cで設定した36個の投影候補位置において、処理Dで卓上領域からラベルが出ない個数、処理Eで他の投影情報と重ならない個

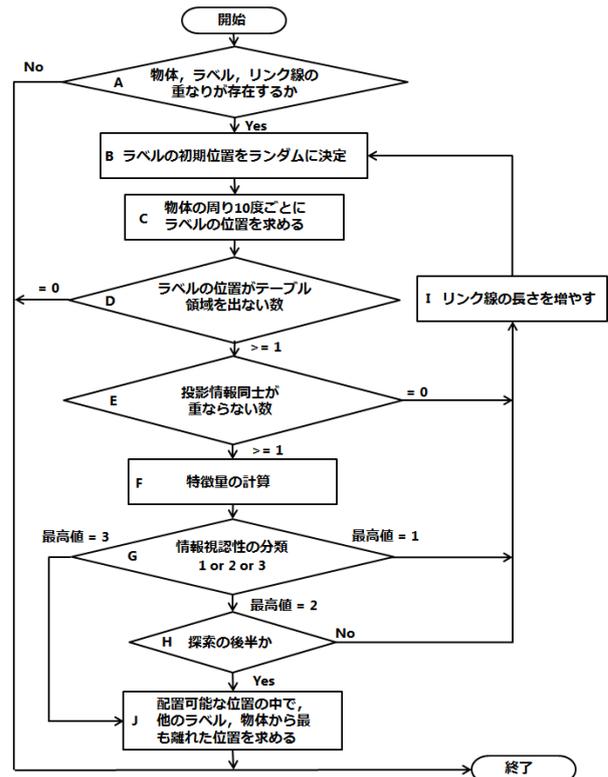


図3 VGD法のアルゴリズム

数を計算し、その結果により処理を分岐する。そして「テーブル領域から出ていない」かつ「投影情報同士の重なりが無い」と判定されたら情報投影候補位置における視認性分類器に与える特徴量を処理Fで計算する。そして処理Gで情報視認性をラベル投影可能度として1から3の3段階に分類する。それぞれの分類内容は、1はラベルを投影しない、2は探索の後半ならばラベルを投影する、3はラベルを投影する、となる。分類結果の最高値が1、または2でも探索の前半ならば処理Iによってリンク線の長さを増やし探索を続ける。最高値が3、または2で処理の後半ならば探索を終了する。視認性が維持される位置が複数見つかった場合は、処理Jによって他のラベルやリンク線から最も離れた位置をラベル投影位置とする。なお、分類クラスを3段階に分けた理由は、リンク線の過度な増伸による対応把握時間増大の防止、探索時間の短縮である。

## 4.2 視認性のラベル付け方法

### 4.2.1 視認性の定義

教師データにラベルを付けるために、新たに投影情報の視認性を定義する必要がある。視認性という感覚は非常に曖昧であり厳密な定量化は困難である。そこで本研究では、Leykin, et al.<sup>[7]</sup>の手法を元に、人間を計測器とした視認性のラベル付けを行った。本研究では、ラベルとリンク線の視認性のレベルを表1と表2のように定義した。

表1 ラベル視認性の評価規則

評価値	評価規則
1	内容が分からない
2	内容がほとんど分からない
3	内容が分かる
4	内容がよく分かる
5	内容が明確に分かる

表2 リンク線視認性の評価規則

評価値	評価規則
1	対応が分からない
2	対応が分かる
3	対応が明確に分かる

本研究では、ラベル単体の視認性を  $V_{label}$ 、リンク線単体の視認性を  $V_{link}$  とすると、ラベルの視認性をリンク線単体の視認性を単純合計した  $V_{label} + V_{link}$  を投影情報の視認性として定義した。なお、リンク線の視認性評価に関する重みが小さい理由は、ラベルとリンク線の情報量の違いである。ラベルは物体の情報を、リンク線は物体とラベルの対応をユーザに与える。リンク線は単純な線分であるため、物体への重畳による影響がラベルよりも小さく、情報量も少ないと考えた。なお、この仮説の検証結果は次節に示す。

### 4.2.2 教師データのラベル付け

教師データにラベルを付けるために、卓上に投影されたラベルとリンク線の視認性を評価する実験を行った。そのために、卓上領域にプロジェクタで投影されたラベルとリンク線の見やすさを被験者にそれぞれ評価させた。5人の被験者に、ARで支援できると想定される代表的な3つの卓上シーンである「化学実験」、「料理」、「工作」と学習の汎化性を高めるために用意した物体を卓上に配置した「その他」の計4つの卓上シーンを用いた。これらの卓上シーンに表示されたラベルの視認性を5段階、リンク線の視認性を5段階と3段階で評価させ、1人480個、計2400個の視認性評価データを得た。なお、リンク線を5段階で評価させたのは、ラベルとリンク線の情報量の違いを検証するためである。詳細な実験条件は表3に示す。

ここで、4.2.1項で述べた仮説検証のために、5段階でラベルとリンク線の視認性を評価した場合の被験者ごとの視認性評価の分散平均をt検定で、情報が見える(3以上)と評価された割合をカイ2乗検定で比較した。

表3 実験条件

項目	条件
被験者数	5人(20代の男性4名, 女性1名)
卓の高さ	70[cm]
視点位置	卓中央, 地上150[cm]
投影面積	70[cm] × 51[cm]
卓上シーン	化学実験, 料理, 工作, その他
物体被覆割合	30[%], 40[%], ..., 80[%]
ラベル大きさ	3[cm] × 3[cm]
ラベル情報	ランダムな大文字アルファベット1文字
リンク線長さ	6[cm] ~ 42[cm]

その結果、リンク線はラベルに比べて被験者間での評価にばらつきがあり ( $t = 3.85$ ,  $df = 958$ ,  $p < 0.001$ )、見ると評価される割合が高かった ( $\chi^2(1) = 14.50$ ,  $p < 0.001$ )。よって、リンク線はラベルよりも情報量が少なくと判断した。

### 4.3 視認性分類器に用いる特徴量

本節では、視認性分類器に用いる特徴量について述べる。投影情報の視認性に影響を与える要素として、投影面の輝度差や凹凸があげられている<sup>[4][7]</sup>。特に凹凸による投影情報の視認性低下は投影型AR特有の問題である<sup>[4]</sup>。従って、卓上の凹凸具合を、卓上画像の輝度値や深度センサ値の分布によって認識し、それを特徴量とした。

VGD法では、70[cm] × 51[cm]の卓上領域を、図4のように30 × 22個の矩形領域(セル)に分割し、それぞれのセルに対して、卓上画像からの輝度特徴値と、深度センサ値からの深度特徴値を算出する。輝度特徴値は、RGBカメラから取得した画像をグレイスケール化し、画像処理を行って算出する。深度特徴値は、深度センサから取得した深度値から算出する。そして、ラベルとリンク線が通過する全セルのそれぞれの特徴値に対して、(1)合計、(2)平均、(3)母分散、(4)歪度、(5)尖度、(6)最大値と最小値の差の6つの統計値を計算し、それを投影候補位置の特徴量とした。なお、図4に示すように、各セルの持つ特徴値は44個であり、ラベルの投影位置候補ごとに計算する特徴量は264個となる。

#### 4.3.1 輝度特徴値

本項では、卓上画像の輝度分布から算出する特徴値について述べる。

##### (1) フラクタル次元

フラクタル次元とは、輝度平面の複雑さを表す概念であり、非整数次元を取る。本研究では、ボックスカウント法<sup>[9]</sup>を採用しフラクタル次元を算出した。

##### (2) 濃度共起行列

濃度共起行列は、ある画素値から一定の距離にある画素値が存在する頻度を要素とする行列である。特定の位置関係にある画素値の統計量を表し、テクスチャ

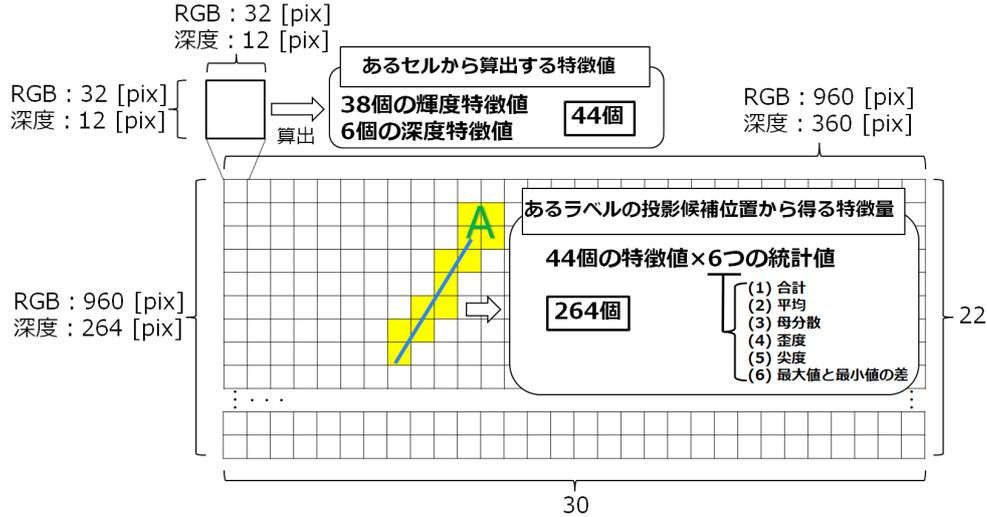


図4 卓上領域の分割及び特徴量計算概要

解析などの画像解析に関する研究で利用されている<sup>[10]</sup>。本研究では、ROI画像に対して4方向(0度, 45度, 90度, 135度)と全方向を合計した5つの濃度共起行列を生成した。各行列からHaralickが提唱するsum of squares, angular second moment, inverse difference moment<sup>[10]</sup>の3式から、4方向とそれらの合計である計15個の特徴値を得た。

### (3) ランレングス行列

ランレングス行列は、同一の値を持つ画素が連続する頻度を要素とした行列である。濃度共起行列と同様に、テキスト解析など画像解析に関する研究に用いられている<sup>[11]</sup>。本研究では、ROI画像に対して4方向(0度, 45度, 90度, 135度)の4つのランレングス行列を生成し、各行列につきGallowayが提唱するshort runs emphasis, long runs emphasis, gray level nonuniformity, run length nonuniformity, run percentage<sup>[11]</sup>の5式から、4方向の計20個の特徴値を得た。

### (4) エッジとコーナーの数

卓上画像のエッジやコーナーが視認性に影響を与えると考え、それらを抽出した画像を用いて特徴値を算出した。エッジ検出にはCannyのエッジ検出、コーナー検出にはHarrisのコーナー検出を用い、セル内のエッジ画素数とコーナー数を特徴値とした。

#### 4.3.2 深度特徴値

本項では、深度センサから取得した深度値から算出する深度特徴値について述べる。深度センサから、 $360 \times 264$ [pix]の深度値マップを取得し、 $12 \times 12$ [pix]の各セルに対して、(1)合計、(2)平均、(3)母分散、(4)歪度、(5)尖度、(6)最大値と最小値の差の6つの統計値を計算し、計6個の特徴値を得た。

## 5. 実装

本章では、VGD法を適用したラベル投影システムの実装について述べる。5.1節では、4.2.2項の実験で得た教師データを用いて学習した分類器について述べる。そして5.2節では、VGD法を適用したラベル投影システムの実装について述べる。

### 5.1 分類器の学習

実験で得た2400個の教師データには、厳密な評価規則を設けたものの被験者間で視認性評価のばらつきがみられた。また、ある被験者のラベル付けが他の被験者達と極端に異なるヒューマンエラーのようなケースを確認した。そこで、ラベルの信頼性を高めるために、5人の評価値に対して最高評価と最低評価の評価値を取り除き、残り3人の評価値の平均をとる式(1)を適用し、新たに計480個の視認性教師データを得た。なお、 $i$ は5人の被験者それぞれ、 $\max V_{label}(V_{link})$ は5人中のラベル(リンク線)単体の最高評価、 $\min V_{label}(V_{link})$ は5人中のラベル(リンク線)単体の最低評価を表す。

$$\frac{1}{3} \sum_{i=1}^5 \{V_{label}(i) + V_{link}(i) - \max V_{label}(i) - \max V_{link}(i) - \min V_{label}(i) - \min V_{link}(i)\} \quad (1)$$

視認性分類器のラベル投影可能度の分類クラスと被験者が評価した視認性の対応は表4となる。探索の後半では、投影可能な視認性のレベルを下げるが、定義上ラベルを投影しても情報の正しい把握が不可能である場合はラベルを投影しない。

分類器の評価には、分類アルゴリズムごとに10分割交差検証を行った。なお、480個の教師データが各

表 4 分類クラスと視認性評価の対応

クラス	処理	視認性
1	ラベルを投影しない	2, 3
2	探索の後半ならばラベルを投影する	4, 5, 6
3	ラベルを投影する	7, 8

クラス均等に分布しなかったため、均等に分布する最も大きい数である各クラス 100 個、計 300 個のデータを教師データとした。また、特徴量の個数が 264 個と膨大であるため、特徴量の削減と分類精度の向上を目的とし属性選択を行った。属性選択には機械学習ツールである Weka を用い、評価法に交差検証による分類精度の評価 (WrapperSubsetEval)、探索法に逐次前方貪欲探索 (greedy stepwise forward search) を用いた。属性選択の結果、表 5 に示すように Bayes Net では特徴量を 10 個にまで削減できた。図 5 に、分類アルゴリズムごとの属性選択前と後の平均 F 値と処理速度を示す。交差検証の結果、Bayes Net の F 値 0.66 が最高値であった。また、処理速度は Naive Bayes が最速であったが、Bayes Net と大きな差は無かったため、分類アルゴリズムに Bayes Net を選択した。

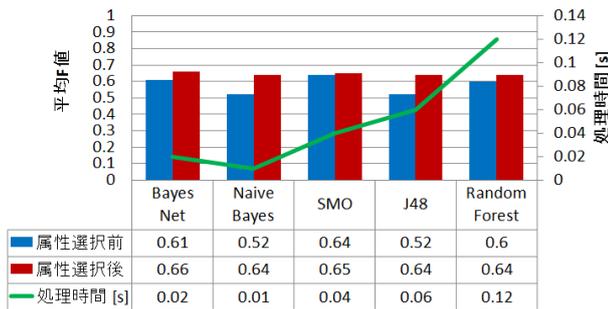


図 5 属性選択前と後の各分類器の平均 F 値と分類速度

## 5.2 ラベル投影システムの実装

本研究で実装するラベル投影システムでは、RGB カメラに Logicool HD Pro Webcam C920、深度センサに Kinect v1 for Windows、プロジェクタに EPSON EB-1725 を用い、図 6 に示すように各機器を設置した。なお、RGB カメラと Kinect は卓中央に位置するように設置した。なお、ラベルの描画には画像描画ライブラリである Open CV 2.4.10 を、卓上物体の認識には ARToolKit-2.72.1 によるマーカ認識を、Kinect による深度マップの取得には Kinect SDK 1.7 を用い、これらのプログラムを C++ により記述した。なお、Weka の分類モデル呼び出しは、JNI (Java Native Interface) を介した Java 処理系との連携により実現した。

## 6. 評価実験

本章では、VGD 法を適用したラベル投影システムの評価実験について述べる。評価実験では、卓上シー

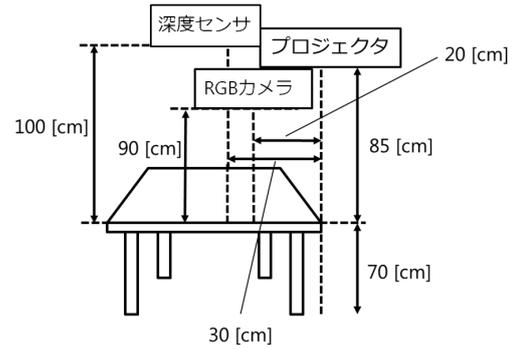


図 6 ラベル投影システムの配置パラメータ

ンに投影されたラベルの視認性維持性能検証と物体密集シーンにおけるラベル投影可能性検証を行った。

### 6.1 視認性維持性能の検証

本研究で作成した手法を導入したシステムを、ラベル付けを行った被験者 4 人を含む 10 人 (20 代男性 6 名、女性 4 名) の被験者に使用してもらい、VGD 法の投影ラベルの視認性維持性能を検証した。図 7 に評価実験の様子を示す。実験では、化学実験、料理、工作の計 3 つの卓上作業シーンを想定してシステムを使用した。それぞれの卓上作業シーンごとに 10 個の物体を用意し、各被験者に物体を自由に配置させた。各シーンの物体は、シーン間での卓上の物体被覆面積が同じ  $1400[cm^2]$  となるように選択した。そして視点を地上高さ  $150[cm]$ 、卓中央の位置に視点を固定させ、卓上物体のラベルを 10 個答えさせた。なお、ラベルは A~Z のランダムな大文字のアルファベット 1 文字である。



図 7 評価実験の様子 (化学実験)

実験の結果、全被験者の平均ラベルの読み上げ正答率は  $89.7[\%]$  であった。また、ラベルが見つからない原因としての被験者の意見は、図 8 に示すように物体の陰に重なって見えない (ラベル F)、濃い色に重なって見えない (ラベル I) というものがほとんどであった。

### 6.2 ラベル投影可能性検証

VGD 法は、物体が密集するようなシーンでも視認性を維持したラベル投影を目的とするものである。そ

表 5 Bayes Net の属性選択後の特徴量

貢献順位	特徴量の内容
1	セルの全方向合計した濃度共起行列の inverse difference moment を特徴値とした平均
2	セルの 0 度方向のランレンジス行列の short runs emphasis を特徴値とした分散
3	セルの 0 度方向の濃度共起行列の angular second moment を特徴値とした最大値-最小値
4	セルの 135 度方向のランレンジス行列の long runs emphasis を特徴値とした分散
5	セルの 0 度方向のランレンジス行列の long runs emphasis を特徴値とした分散
6	セルの深度値の平均を特徴値とした平均
7	セルの深度値の合計を特徴値とした平均
8	セルの 45 度方向の濃度共起行列の inverse difference moment を特徴値とした最大値-最小値
9	セルの 0 度方向のランレンジス行列の run percentage を特徴値とした分散
10	セルの 45 度方向の濃度共起行列の angular second moment を特徴値とした分散

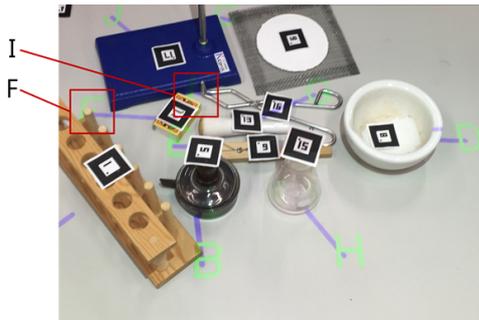


図 8 ラベルの視認性低下要因

ここで、物体が密集する卓上シーンにおいてもラベル配置が可能であるかを検証した。6.1 節での実験と同様の卓上シーンにおいて、意図的に物体が密集するシーンを、各シーンごとに 10 回作成した。そして、視認性低下要因との重なりを排除する NGD 法を適用し、VGD 法とのラベル配置の可否を比較した。表 6 は、各シーンとそれらを合わせた全シーンでの 10 個のラベルすべてが配置可能であった回数の割合である。

表 6 卓上シーンごとの VGD 法と NGD 法のラベル投影可能割合 [%]

卓上シーン \ ラベル投影手法	VGD 法	NGD 法
化学実験	100	0
料理	100	0
工作	100	20
全シーン	100	6.7

実験の結果、VGD 法では 100[%] ラベル配置が可能であり、広い物体配置シチュエーションに対応できる汎用性が示唆された。NGD 法の場合は、工作の卓上シーンで 2 回配置が出来たのみであり、ラベルを全て配置できた割合は全体で 6.7[%] に止まった。

## 7. 考察

### 7.1 陰領域、低輝度領域の影響

6.1 節の評価実験結果より、VGD 法を適用したラベル投影システムにおいてラベルの視認性が低下した原因は、分類器の誤分類以外は陰領域や低輝度領域への重畳であることが分かった。VGD 法では、物体の輝度差や凹凸を考慮しているが、物体の陰になる領域や投影ラベルをかき消すほど輝度の低い投影面の影響を考慮していない。つまり、実際に輝度差や凹凸が無

い領域であり、システムが視認性の維持される場所であると認識しても、ユーザにとっては見えづらい位置に投影されることがあると考えられる。

6.2 節の実験におけるシーンごとのラベルの正答率を図 9 に示す。ラベル読み上げの正答率の平均値は、工作、化学実験、料理の順に高いことが分かる。これは、卓上物体の平均高さの低いシーン順と一致する。NGD 法では、図 10 のように、ふたつの陰領域を視認性低下要因と定義し、それらへの情報重畳を排除している<sup>[3]</sup>。VGD 法では、物体密集シーンにおけるラベル投影を可能とするため、ふたつの陰領域への重畳を認めた。しかしその結果、視点からの陰領域に情報が重畳され、視認性が大きく低下するラベルが生じた。物体の高さが高ければ、視点からの陰領域が大きくなるために、陰領域に投影される確率が高くなると考えられる。つまり、料理は背の高い物体が多かったため陰領域が広く、ラベルが陰領域に投影され易かったため正答率が下がったと考えられる。一方、工作は全体的に物体が低く、陰領域に投影されることが少なかったため、ほぼ 100[%] の正答率であったと考えられる。6.2 節のラベルの配置可能性実験においても、NGD 法が工作シーンのみすべてのラベルを投影可能なケースがあったのは、卓上物体の高さが全体的に低く陰領域が狭いためであると考えられる。

また、これらの影響は、4.2.2 項で述べたラベル付け実験においてもあると考えられる。輝度差や凹凸が無いラベル投影位置でも、被験者は陰や低輝度領域に重なっていれば低い評価、重なっていなければ高い評価をするため、分類器の精度低下にもつながったと考えられる。

これらの情報視認性低下要因への重畳を排除することで、視認性は向上する。しかし、低輝度領域や陰領域が増えるとラベルの投影位置が見つからない可能性が出る。情報の一部が陰領域などに重畳し、ラベルの内容とリンク線の対応が分かる場合であればそれらに関しては重なりを排除する必要は無い。よってこれらの解決策としては、投影ラベルと投影面のコントラストを考慮する、陰領域への情報の重畳割合に関する特

微量を追加することがあげられる。

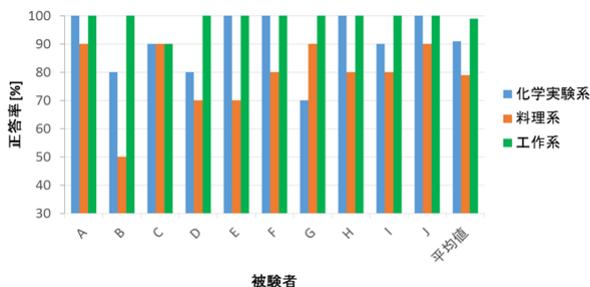
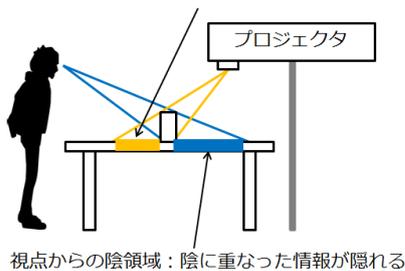


図9 桌上シーンごとのラベル読み上げ正答率

プロジェクタからの陰領域：情報が物体に重畳する



視点からの陰領域：陰に重なった情報が隠れる

図10 陰領域の定義

## 7.2 特徴量

表5より、画像解析による特徴量は、濃度共起行列とランレングス行列で高い貢献度があることが分かった。しかし深度値を用いた特徴量は、3次元空間を対象とする手法であるために有効であると予想したものの、実際の貢献度はとても低い結果であった。本研究で用いた Kinect v1 for Windows は、投光した赤外線パターンを読み取りパターンのゆがみから深度情報を得る Light Coding とよばれる方式を採用している。よって、ガラスや金属といった物体の高さを取得できず、エラー値として0を返す。特に化学実験では、ガラスや金属を用いる桌上シーンが多いため、エラー値の頻出が深度特徴量の低貢献度化に繋がったと考えられる。よって解決策としては、金属やガラスを検出したエラー値を除外しつつエラー値の分布を特徴量として利用することが考えられる。また、Leykin, et al.<sup>[7]</sup>は、画像解析結果を用いて重畳情報の視認性を分類した。彼らの提案手法で用いる特徴量は、テキストの大きさ、太さ、テキストと背景のコントラスト、そして4方向と4周波数の計16個のガボールフィルタ適用結果である。ガボールフィルタは、2次元画像中に含まれる線の向きを抽出するフィルタである。一方、本研究では3次元的特徴を抽出するために輝度の分布を特徴量に用いている。よって、VGD法はよりSARに適用可能な手法であると考えられる。

## 8. 結論

本論文では、卓上に物体が密集する桌上シーンでも、物体との重なりを許容しつつ視認性を維持するラ

ベル投影を目的としたVGD法を提案した。そのためにラベルとリンク線の視認性を新たに定義し、人間を計測器とした実験を行い卓上情報の視認性データを得た。画像解析および深度値を利用した特徴量を用い、Bayes Netによる機械学習を行い、ラベルの視認性を分類するF値0.66の視認性分類器を作成した。そして、VGD法をラベル投影システムに適用し、評価実験を行った結果、89.7[%]のラベル正答率であった。また、NGD法と比較し、物体密集シーンにおいて10倍以上のラベル投影可能性が示唆された。今後の課題としては、陰領域や低輝度投影面への対応、分類器の精度向上、実際の桌上作業下でのシステムの有用性検証などがあげられる。

## 9. 謝辞

本研究の一部は、日本学術振興会科学研究費補助金ならびに文部科学省特別経費「持続可能社会にむけた知的情報空間技術の創出」によるものである。

## 参考文献

- [1] M.Sokan., et al.: A tangible experiment support system with presentation ambiguity for safe and independent chemistry experiments; *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 3(2), pp.125-139 (2012).
- [2] S.Morioka., H.Ueda.: Cooking Support System Utilizing Built-in Cameras and Projectors; In *Proc. of 12th IAPR*, pp.271-274 (2011).
- [3] M.Sato., K.Fujinami.: Nonoverlapped view management for augmented reality; *Journal of Visual Language and Computing*, 25(6), pp.891-902 (2014).
- [4] M.D.Donato., et al.: Text legibility for projected Augmented Reality on industrial workbenches; *Computers in Industry Vol 70*, pp70-78 (2015).
- [5] B.Bell., et al.: View management for virtual and augmented reality; In *Proc. of the 14th UIST*, pp. 101-110. ACM (2001).
- [6] R.Azuma., C.Furmanski.: Evaluating label placement for augmented reality view management; In *Proc. of the 2nd ISMAR*, p.66. (2003).
- [7] A.Leykin., M.Tuceryan.: Automatic determination of text readability over textured backgrounds for augmented reality systems; In *Proc. of the 3rd ISMAR*, pp.224-230 (2004).
- [8] D.Iwai., et al.: View management of projected labels on nonplanar and textured surfaces; *IEEE Trans. Visualization and Computer Graphics*, 19(8), pp.1415-1424 (2013).
- [9] 佐藤, 他.: フラクタル解析を用いた景観の数値化と適用事例; *こうえいフォーラム第16号* (2007).
- [10] R.M.Haralick.: Statistical and structural approaches to texture; In *Proc. of the IEEE*, 67(5), pp.786-804 (1979).
- [11] M.M.Galloway.: Texture analysis using gray level run lengths; *Computer graphics and image processing*, 4(2), pp.172-179 (1975).