

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 11 日現在

機関番号：12605

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K00265

研究課題名(和文) 能動的な安全学習と安全作業のためのスマート化学実験環境に関する研究

研究課題名(英文) A smart chemistry experimental environment for affirmative safety training and safe experiment

研究代表者

藤波 香織 (Fujinami, Kaori)

東京農工大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：10409633

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：化学実験中の安全学習を支援するための要素技術として、以下の4つの技術を開発した。1つ目は、手首一周型表示装置において手首内側に付けた加速度センサにより、前腕姿勢に応じて最適な通知位置を決定する手法である。2つ目に、様々な物体が卓上に存在する中で注釈を投影する際に視認性が劣化しない位置を選定する手法である。3つ目は、一人称視点映像から注視や盛り上がりなどの瞬間を画像のブレや構図、情報量等を考慮して静止画として切り出す手法である。4つ目は作業環境中にあるスマートウォッチや液晶モニタのような様々な表示装置の中から、作業者とそれらの機器の位置関係を考慮して最適なものを選択する手法である。

研究成果の概要(英文)：Four core technologies were investigated that aimed to facilitate on-site safety training of university chemistry experiments; (1) a pose-aware whole-wrist circumference display was investigated, where the most visible position on the wrist is determined by a machine learning (ML)-based algorithm regardless of forearm posture; (2) a view management method for projection-based display was investigated, where the visibility of a particular tabletop condition is estimated by a ML-based estimator; (3) a still image extraction method was developed to make contents for learning, where situations of "having interests" and "grooving" were identified by image processing of first person view camera movies; (4) a notification device selection method was investigated, where the most appropriate device, e.g., a smart-watch, is chosen based on the features from positional relationship between candidate devices and the user, i.e., the distance, touching, gazing, angle of face.

研究分野：拡張現実感, 行動認識, ヒューマン・コンピュータインタラクション

キーワード：安全学習 空間投影型拡張現実感 機械学習 ウェアラブルデバイス

1. 研究開始当初の背景

教育機関での化学実験の安全教育は座学形式で行われているが、実験中の事故は後を絶たず、安全な実験をサポートするシステムが求められる。一方、過度な支援は「安全ボケ」と呼ばれる状態を引き起こし、システムの支援がない環境下ではかえって危険な目に遭うことも予想される。このため、安全な実験を支援しつつも過度な支援を控えるようなシステム実現が求められていた。

2. 研究の目的

上記の背景のもと、化学実験中の安全学習を支援するための要素技術の開発を目的として取り組んだ。

(1) 手先を情報提示領域として利用するためのデバイス開発

実験器具の把持直前や操作中に手先に情報提示することによる危険回避と安全学習のためのデバイスの設計方法を明らかにする。

(2) 卓上への情報提示における視認性劣化を抑える投影位置決定手法の開発

実験卓上には様々な形状や模様・素材の物体が卓上に置かれており、図1に示すように視認性が劣化することがある。研究代表者らが開発した既存手法は投映位置の決定時に、視認性を最重要視して他の物体や情報との重なりを一律に排除しており、計算量が増大したり、計算が発散したりすることがあった。このため、視認性の劣化に許容範囲を設けて重なりを許可する手法を明らかにする。

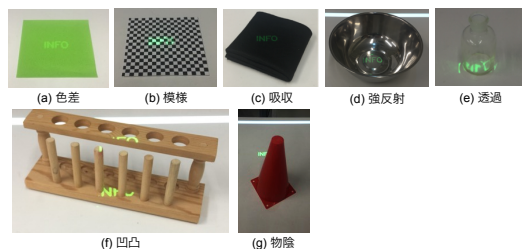


図1 視認性を低下させる投影例

(3) 作業後に作業を振り返るためのコンテンツ作成手法の開発

作業中の盛り上がりや注視といったイベントを含む区間の静止画をブレやアングル・構図を考慮して動画から切り出す手法を明らかにする。

(4) 様々な情報通知デバイスが卓上やその付近に存在する環境下での最適な通知先選定手法の開発

壁面に取り付けられた液晶モニターや卓上のタブレット PC、手首に装着されたウェアラブルディスプレイ（スマートウォッチ等）が存在する環境下での、注意喚起メッセージのような通知を迅速に伝達するための通知先選定機構を明らかにする。

3. 研究の方法

前項に対応した以下の取り組みを行った。

(1) 手先を情報提示領域として利用するためのデバイス開発

前腕の姿勢によらず確実に通知を行うための、手首全周型通知装置を試作した。これは、手首全体が表示領域となる中で、姿勢に応じて視認可能な場所を推定してそこに通知を出力するものである。通知先選定にあたっては、事前に、[姿勢, 視認レベル] のペアを大量に収集し、その関係を機械学習により学習させるという手法をとった。なお、姿勢は3軸加速度センサから取得し、視認レベルは実際にボランティア被験者に様々な姿勢での様々な提示位置を見させて得た主観的な評価値を用いた。デバイスは、可能な限り密に姿勢計測用加速度センサと情報伝達用 LED を周上に配置した装置を試作した。加速度センサについては、最終的に最も効果的な加速度センサの位置を機械学習における属性選択手法により決定した。

(2) 卓上への情報提示における視認性劣化を抑える投影位置決定手法の開発

Visibility-aware View Management 法と呼ぶ注視投影位置決定法を開発した。本手法は、様々な形状や模様・素材の物体が卓上に置かれている中での情報投影時の視認性を推定し、注視情報投影時最も視認性劣化が少ない場所を選択するものである。上記(1)と同様のアプローチで[投影面状態, 視認レベル]のペアをボランティア被験者の協力により大量に収集し、機械学習により視認性推定器を構築した。その際、投影面状態を表現する様々な特徴量を設計し、属性選択を行うことで最小限で高い推定が可能なサブセットを特定した。

(3) 作業後に作業を振り返るためのコンテンツ作成手法の開発

一人称カメラで常時撮影し複数人で実験をしている環境を想定してそこで発生したイベント（対象を注視、ヒヤリハット発生による盛り上がりなど）を静止画で切り出す手法を開発した。ヒヤリハット状態を再現するのは困難であったため、会話等の盛り上がり状態で置き換えた。

興味状態と盛り上がりは音量と笑い声、興味状態は注視を特徴として定義し、[画像特徴量, 状態] の関係を機械学習により学習した。また、頭部の揺れや向きによる不鮮明画像や天井のような情報量が少ない画像、動画という性質により類似画像が抽出されたため、鮮明度や画像中の情報量の推定機能と、視覚的および時間的な類似度の推定機能を開発した。

(4) 様々な情報通知デバイスが卓上やその付近に存在する環境下での最適な通知先選定手法の開発

様々なシチュエーションと、そのときのあるデバイスへの通知の適切度の関係を回帰モデルにより表現し、最も適切度が高いデバイスに通知を行う手法を考案した。デバイスはスマートフォン、ノートPC、スマートウォッチの3種類を用いた。図2にあるように、卓上作業空間での人の状態として、左右方向の首の角度および頭部の3次元位置座標を卓上方に設置したカメラを用いて、対象に設置した可視マーカの識別により取得した。またデバイスの状態として、加速度値および可視マーカを用いたデバイスの3次元位置座標を計測した。

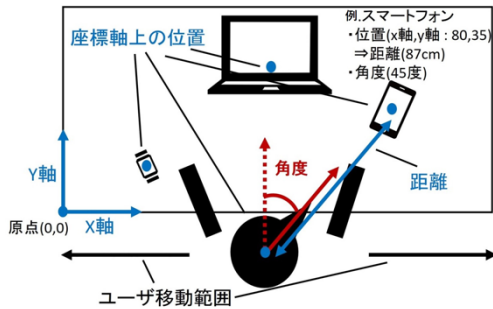


図2 実験環境図

3つのデバイスと作業者の様々な状態に対して、各デバイスに1通の通知を送出し、その通知に気づいたか否かに加えてそのデバイスで通知を受け取りたいか否かを考慮した上での観点で7段階評価を行ってもらい、回帰モデル構築に利用した。回帰モデルにおける説明変数としては、首の角度 (angle)、ユーザとデバイスとの距離 (distance)、ユーザがデバイスを見ているか否か (look)、ユーザがデバイスに触れているか否か (touch) の4変数を定義した。

4. 研究成果

前項に対して以下の成果を得た。

(1) 手先を情報提示領域として利用するためのデバイス開発

図3に示す10個の加速度センサ、フルカラーLED、コントローラで構成される試作機を開発した。SVM分類器による視認性レベルの推定は、一人抜き交差検証で0.68の精度(F値)を得た。また、最適および準最適視認可能位置の推定は0.36と0.95であり、準最適視認なLEDまで含めると高い性能となった。また、手首内側のセンサを1つ用いるだけで10個全てを用いるのと同等の性能が得られることが分かり、デバイスの設計指針が得られた。



図3 様々な前腕姿勢に応じて通知場所を変える手首全周型通知装置

(2) 卓上への情報提示における視認性劣化を抑える投影位置決定手法の開発

図4に示す特徴量算出手法を考案した。本構成では、入力情報(a)から6種類の投影面特徴量(b)を生成する。そして、情報投影領域(c)を指定し、画像解析により5種類の視認性特徴量(d)を算出する。注釈(ラベル)の特徴量と注釈と対象を結ぶリンク線の特徴量数はそれぞれ88次元と28次元となったが、後に属性選択により最適な15次元と14次元を選定した。

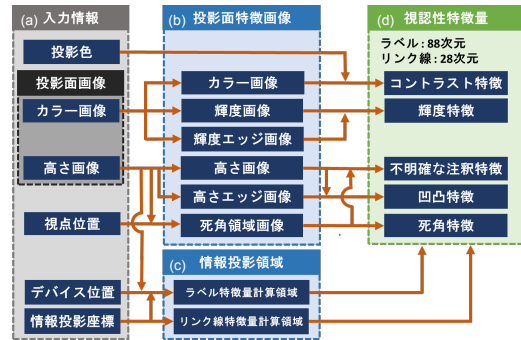


図4 VGD法における特徴量計算の流れ

視認性推定器はRandomForestにより実現し、15人のボランティアから一人あたり800個収集したデータにより構築した。データ収集に不参加であった別のボランティアグループによる評価の結果、注釈情報は76%、リンク線は73%の推定精度を得た。注釈情報はやや過大評価の傾向がある一方で、リンク線はやや過小評価の傾向があることが分かった。図5に、(a)にシステムの推定と被験者の評価がいずれも高い例(望ましい投影位置)と(b)低い例(避けるべき投影位置)を示す。

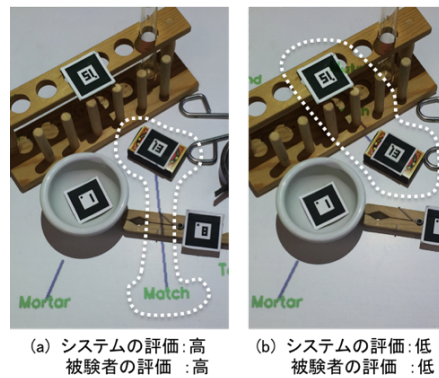


図5 システムの推定結果と被験者の評価例

(3) 作業後に作業を振り返るためのコンテンツ作成手法の開発

机上およびユーザ評価により以下の知見を得た。

- ・音量は盛り上がり状態判定に有効である。
- ・静止画に対する印象はアングルや構図、ブレの有無、珍しさや状況の伝わりやすさにより変化する。
- ・画面鮮明度や色の情報量と、被験者のフレームに対する視覚的評価には相関がある。

- ・ カラーヒストグラムの変化を用いることで、画像の類似度を判定可能である。
- ・ 興味状態判定は、前後の注視度の情報をより多く含む特徴量が有用である。
- ・ イベントの性質によって、主観的視覚評価における被験者の判断基準は異なる。

実際の化学実験において発生するヒヤリハット状態や事故時の動揺状態の検出では、画像による作業空間の状態の認識に加えて、心拍センサなどの生体センサから得られる作業者の精神状態などをキーに切り出しを行うことになる。当該機能を今回開発した切り出しシステムに組み込むことで、実験を記録した動画からイベントに応じた有用な静止画を切り出すことが可能になると考える。

(4) 様々な情報通知デバイスが卓上やその付近に存在する環境下での最適な通知先選定手法の開発

3種の回帰モデル（ロジスティック回帰、最小二乗メディアン回帰、SMO回帰）を平均平方二乗誤差と相関係数について比較した結果、ロジスティック回帰が最も誤差が小さく、実測と予測の相関が強くなった。つぎに、ロジスティック回帰で出力された予測値と被験者が回答した実測値を3つのデバイス間で比較し、最も高い値を取ったデバイスが予測値と実測値において同じものであれば、ユーザの評価が最も高いデバイスを選択先として選定できているとし、一致度を検証した。その結果、43.6%となった。ベースライン（無作為選定）は33.3%であることを考えるとやや良好な推定ができた状態にとどまっている。4種の従属変数のうちlook特徴量が最も大きな値が重みとして付加されたことから、ユーザがデバイスを見ていることが通知先選定の適切さに大きく影響を与えていることを確認した。

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計1件）

- (1) Yuki Tanida and Kaori Fujinami, “Visible Position Estimation in Whole Wrist Circumference Device towards Forearm Pose-aware Display”, EAI Endorsed Transaction on Context-aware Systems and Applications, 18(13), e4, 14, 2018. DOI:10.4108/eai.14-3-2018.154341 (査読有)

〔学会発表〕（計16件）

- (1) 市橋啓太, 藤波香織; “視認性低下要因調査に基づく卓上投影型ARの情報視認性維持の研究”, 第80回情報処理学会全国大会, 2018年。
- (2) 木下恵子, 藤波香織; “一人称視点カメ

ラを用いた思い出の楽しい振り返りのための体験自動記録”, 第80回情報処理学会全国大会, 2018年。

- (3) 村越俊太郎, 藤波香織; “多様な情報通知装置が混在する卓上作業空間における通知先決定手法の提案”, 第80回情報処理学会全国大会, 2018年。
- (4) 藤波香織; “投影型ARとその周辺”, 電子情報通信学会ポリマー光部品技術時限専門委員会(POC)第38回研究会, 2017年。(招待講演)
- (5) 木下恵理子, 藤波香織; “身体装着型カメラの映像を用いた集団活動時の楽しい振り返りのための体験自動記録-会話場面の判定および評価-”, 第79回情報処理学会全国大会, 2017年。
- (6) 市橋啓太, 藤波香織; “卓上投影型ARにおける投影面の色や凹凸を考慮した情報投影位置決定手法の提案”, 第79回情報処理学会全国大会, 2017年。
- (7) 谷田佑貴, 藤波香織; “手首一周型ディスプレイの情報表示位置決定における加速度センサ利用に関する一検討”, 第79回情報処理学会全国大会, 2017年。
- (8) 佐藤公治, 神保拓也, 藤波香織; “機械学習におけるラベル付けに向けたユーザ行動状態想起支援”, 第79回情報処理学会全国大会, 2017年。
- (9) Eriko Kinoshita and Kaori Fujinami, “Impressive Picture Selection from Wearable Camera Toward Pleasurable Recall of Group Activities”, In Proc. of International Conference on Universal Access in Human-Computer Interaction (UAHCI2017), LNCS Vol. 10279. pp. 446-456, 2017. (査読有)
- (10) Mai Tokiwa and Kaori Fujinami; “Understanding Where to Project Information on the Desk for Supporting Work with Paper and Pen”, In Proc. of International Conference on Virtual, Augmented and Mixed Reality (VRMR2017), LNCS Vol. 10280, pp. 72-81, 2017. (査読有)
- (11) 藤波香織; “実空間投影型拡張現実感技術のウェアラブルシステムへの応用と課題”, 応用物理学会微小光学研究会第139回微小光学研究会(予稿集MICROOPTICS NEWS Vol. 34, No. 1, pp. 27-32), 2016年。(招待講演)
- (12) 市橋啓太, 石川剛, 藤波香織; “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”, ヒューマンインタフェース学会, ヒューマンインタフェースシンポジウム2016, 対話発表, pp. 719-726, 2016年。
- (13) 谷田佑貴, 小枝功次郎, 藤波香織; “手首一周型ディスプレイ装着時の常時視認可能な情報表示位置の動的推定手法”, ヒューマンインタフェース学会, ヒュー

マンインタフェースシンポジウム 2016,
対話発表, pp. 817-822, 2016 年.

- (14) 谷田佑貴, 小枝功次郎, 藤波香織; “手首装着型デバイスにおける常時視認可能な情報表示のための前腕状態推定”, 情報処理学会第 78 回全国大会, 2016 年.
- (15) 木下恵子, 小坂真美, 藤波香織; “集団活動時の楽しい振り返りを支援する身体装着型カメラによる体験自動記録”, 情報処理学会第 78 回全国大会, 2016 年.
- (16) 藤波香織; “日常生活における透明なインタフェースのためのコンテキスト認識と応用”, 電子情報通信学会 PRMU 研究会, 2015 年. (招待講演)

[図書] (計 1 件)

- (1) 藤波香織, 技術情報協会, VR/AR 技術の開発動向と最新応用事例 (第 9 章第 3 節 プロジェクタによる卓上投影型 AR と視認性向上), 2018 年, 総ページ数 552 (担当箇所: pp. 400-411).

[その他]

- (1) インタビュー記事: コロンブス 2017 年 4 月号 (pp. 16-18). 特別編集顧問・浅野純次のグローバル人間図鑑・藤波香織「バックグラウンド・センシングによる ICT 活用が日常生活を変える」.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

藤波香織 (FUJINAMI, Kaori)
東京農工大学・大学院工学研究院・准教授
研究者番号: 10409633

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

レンゴロ ウレット (LENGGORO, Wuled)
東京農工大学・大学院工学研究院・准教授
研究者番号: 10304403

(4) 研究協力者

木下恵子 (KINOSHITA, Keiko)
市橋啓太 (ICHIHASHI, Keita)
谷田佑貴 (TANIDA, Yuki)
村越俊太郎 (MURAKOSHI, Shuntaro)
常盤茉衣 (TOKIWA, Mai)
佐藤公治 (SATO, Koji)