

## 平成29年度 助成金交付について

当財団の助成事業を、今年も実施いたします。当財団では、助成総件数611件に達し、助成総金額は5億945万円となりました。学術、ひいては社会の発展のためにお役立てくだされば幸いです。ご応募を心よりお待ちしております。

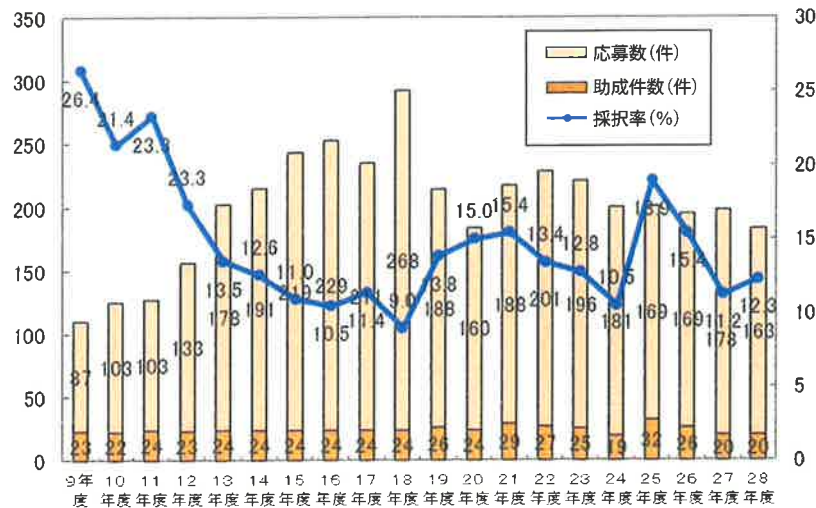
詳細は財団のホームページをご覧ください。

**【申請書受付期間:平成29年6月1日(木)～8月31日(木)】**

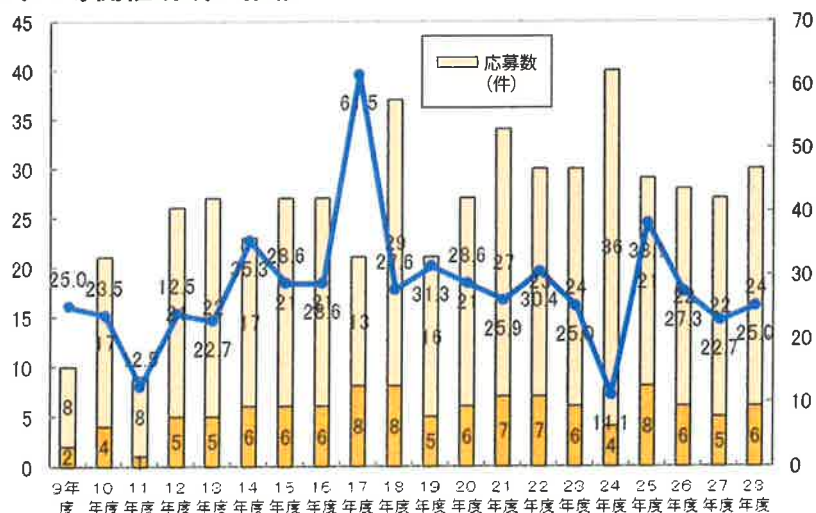
### 応募手続き

- ◆財団所定の書式(当財団のHPに掲載)を用いて、必要事項を記入して財団事務局あてにEメールで提出してください(郵送も可)。
- ◆申請書の受付完了報告をEメールにてお知らせいたします。
- ◆申請書受付期間外に到着した申請書につきましては受付できませんのでご注意ください。また、電話などで申請書到着遅延、期間外の受付などのお問い合わせはお断りいたします。

### 研究助成の推移



### フォーラム・シンポジウム等開催助成の推移



## 応募要領

### 〈1〉 研究助成

#### ◆ 応募の資格

助成の対象となる研究を、計画に従って遂行する能力のある方(研究グループを含む)。

#### ◆ テーマ・内容

情報科学に関する調査、研究および開発で、学術的発展に寄与するものであること。  
研究の計画および方法が、当該研究の目的を達成するために適切であり、かつ十分な成果が期待できるものであること。

#### ◆ 助成金の額

助成総額2000万円までを原則とし、選考結果に基づき助成額を決定します。

#### ◆ 選考結果通知

平成29年11月中旬の予定。全員にお知らせします。

#### ◆ 対象となる経費

機械器具装置の購入費および賃貸料、旅費、消耗品費、謝金等。

#### ◆ 研究完了日

助成金の交付決定後2年以内。

#### ◆ 研究成果の帰属

助成研究によって取得された知的財産権は、研究実施者に帰属することとします。ただし、助成研究成果の特許、実用新案または意匠登録として出願し、その後、特許権、実用新案権または意匠権を取得したときは、速やかにその旨を当財団に届け出てください。また、当財団では、「特許庁長官指定学術団体」として指定されていますので、当財団が主催または共催する研究集会で文書でもって発表した場合、発表後6ヶ月以内に特許、実用新案の出願をされたときは、その発明または考案は新規性の喪失の例外とされています。その場合、当財団の証明書が必要となりますのでお申し出ください。

#### ◆ その他、留意していただく事項

- ① 研究の成功・不成功にかかわらず助成金の返還は求めませんが、当該研究が実施されなかったり、研究実施者が当財団の規程等に違反した場合には、助成金の一部または全額を返還していただくことがあります。
- ② 助成研究完了の日から起算して30日以内に、完了報告書の提出をお願いします。
- ③ 研究の成果を当財団の機関誌等に記載したり、講演会等で発表していただくことがあります。
- ④ 助成研究の成果を学会等で発表したり論文にまとめたりする場合は、財団の助成を受けて遂行されたことを明示してください。
- ⑤ 応募者の機会均等化を期するため、採択された方は、原則としてその年度後3年間は、選考の対象とされません。

### 〈2〉 フォーラム・シンポジウム等開催助成

#### ◆ 応募の条件

情報科学に関する学術的発展に寄与するフォーラム・シンポジウム等で、平成29年12月1日から平成31年3月末日までに開催されること。

#### ◆ 助成金の額

年度内助成総額200万円までを原則とし、選考結果に基づき、助成額を決定します。

#### ◆ 選考結果通知

平成29年11月上旬の予定。

#### ◆ 対象となる経費

謝金、旅費、会場費、人件費、消耗品費、印刷製本費、通信運搬費等。

#### ◆ その他、留意していただく事項

- ① フォーラム・シンポジウム等の終了後3ヶ月以内に報告書を提出してください。
- ② フォーラム・シンポジウム等開催の資料は、申請時に添付のほか、印刷物を発行する場合は送付してください。
- ③ 応募者の機会均等化を期するため、採択された団体等は、原則としてその年度後3年間は、選考の対象とされません。

# ロボットシンポジウム2016名古屋 AIの進化で広がるロボットの未来

**開催日** 平成28年11月16日(水) 10:00~16:30

**場所** 吹上ホール(名古屋市中小企業振興会館)



## 開催趣旨

ヒューマンロボットコンソーシアム 会長  
ロボットシンポジウム2016名古屋実行委員会 委員長 福村 晃夫

ロボット技術は、第4次産業革命実現のための主要なキーテクノロジーともいわれている人工知能のほか、機械、電子、情報、材料、実装技術などの技術の集大成であり、その裾野と利活用分野の広さから、それによる産業は、少子高齢化等による地域経済社会の課題解決や国際競争力の強化とともに、地域を支える次世代産業として期待されているところです。

こうした中で、ロボット・人工知能関連の研究者、技術者が先端・最新技術情報についての情報交換や技術交流を行うのと併せて、人工知能により進化しているロボットの実演展示等を行うことにより、人に寄り添い、人に優しく、人と共生する次世代のロボット・人工知能の研究開発の振興と産業での利活用の促進を図ることを目的として、昨年引き続き今年もロボットシンポジウムを開催いたします。

## 会議開催報告

### 「第14回 理事会」開催

平成29年2月17日(金)17:00より、キャッスルプラザにて、第14回理事会が開催されました。

今回の理事会は、

- ①平成29年度事業計画書案及び収支予算書案、資金調達及び設備投資の見込みの承認の件
- ②第14回議員会の日時及び場所並びに目的である事項決定の件が審議され、いずれの議案も原案通り可決されました。



### 「第14回 評議員会」開催

平成29年3月3日(金)17:00より、キャッスルプラザにて、第14回評議員会が開催されました。

今回の評議員会は、

- ①平成29年度事業計画書案及び収支予算書案、資金調達及び設備投資の見込みの承認の件が審議され、原案通り可決されました。また、先立って行われました理事会の決議内容について報告を行いました。



# フォーラム・シンポジウム等開催助成完了報告

(いずれも提出原文のまま、所属は提出時のもの)

## ■2016年ユーザインタフェースソフトウェアと技術に関する国際会議(UIST2016) K27FSXX第104号

開催責任者：暦本 純一(東京大学 教授)

開催期間：平成28年10月16日～平成28年10月19日

会場と所在地：一橋講堂 および 如水会館(東京都千代田区一ツ橋2丁目1-1,2)

参加人員：650名(内、海外424名)

### <成果>

ACM ユーザインタフェースソフトウェアと技術に関する国際会議(ACM Symposium on User Interface Software and Technology、以後 UIST)を開催した。ユーザインタフェースソフトウェアとその技術に関する研究は、いわば計算機の利用方法や形態の模索を行う研究であり、情報通信の根幹を担うものである。現代においては計算機を使わない場面を考えることのほうが難しいが、これらの全ての場面において、より良い計算機の実用方法や利用形態について議論を行うことが本会議の目的である。本会議においては大学等の学術研究機関よりも、産業等の企業研究所の貢献が大きく(例えば、Microsoft, Adobe, Autodesk, Google, Sony 等)、このため産業に近い研究発表が多く行われ、実際に実用化され多くの人々が現在実際に利用しているものも多い。

今回初めてのアジアでの開催となったUISTには当初予想450人を大きく上回る650人が参加した。会場の都合上、事前の参加登録を600人で打ち切らざるを得なかったため、さらに大きな会場であれば700名以上が参加したと考えられる。650人の内、海外からの参加者は424人であった(65.2%)。UISTは関連する国際会議の中でも最難関の会議であるが、今回のUISTへの論

文投稿数は過去最大となり、最終的には79件の口頭発表があった(採択率20.9%)。また、デモンストレーション発表やポスター発表の採択率も同様に低く、総じて非常に質の高い研究発表が行われた。基調講演にはこの会議の翌月に京都賞を受賞することが決まっていたCMUの金出武雄教授(講演依頼時には京都賞は決まっていなかった)、日本を代表するプロダクトデザイナーの深澤直人氏に依頼した。どちらの講演も刺激的で、参加者の印象に強く残ったようであった。UISTでの口頭発表は基調講演も含めてすべてYouTubeで公開されている。

[https://www.youtube.com/user/acmsigchi/playlists?view=50&shelf\\_id=6&sort=dd](https://www.youtube.com/user/acmsigchi/playlists?view=50&shelf_id=6&sort=dd)

このような世界最高の舞台を日本で開催できたことは、大きな国際貢献になっただけではなく、このような機会を提供することにより日本国内の研究者・学生に大きな刺激になったと考えている。「UISTは毎年東京開催で良いのではないか。」と感想を述べていた参加者がいたという報告もあり、これは会議を招致・運営によって生み出された成果は大きかったと判断して良いと考えている。

### 【実施プログラム概要】基調講演

- ・Opening Keynote: 金出武雄 (U.A. and Helen Whitaker University Professor, RI/CS, Carnegie Mellon University)  
講演題目: Smart Headlight: An Application of Projector-Camera Vision
- ・Closing Keynote: 深澤直人 (NAOTO FUKASAWA DESIGN)  
講演題目: "ambient"

### 一般発表セッション

- ・口頭発表セッション: 3日間に渡って2パレルセッションで開催され、合計20セッションで79件の発表があった。
- ・デモンストレーション発表: 10月17日(月)にDemo receptionとして52件のデモ発表があった。
- ・ポスター発表: 10月18日(火)にポスターセッションが開催され、29件の発表があった。

### 【参加者数】

参加者数:650人(国内226人、海外424人)(内訳)

※有料、無料の別、招待者数、学生等

有料参加者317人

有料学生参加者264人

無料参加者67人(スポンサー等)

招待者2人

### 【主催】

・Association for Computing Machinery (ACM)

・ACM SIGCHI (Special Interest Group on Computer-Human Interaction)

・ACM SIGGRAPH (Special Interest Group on Computer Graphics and Interactive Techniques)

### 【論文集等】

本会議で発表される論文はACMより正式なプロシーディングスとして刊行され、研究成果ビデオは参加登録者にUSBメモリで配布予定である。また、全ての論文はACM DigitalLibrary でアーカイブされ、ウェブ上からアクセスできるようになる。ACM Digital Libraryは基本的にはアクセス可能な権限を有するメンバ(有料会員)だけがアクセスできるが、UIST に関しては誰でもアクセスができるよう特別な配慮がされている。

講演発表論文: Proceedings of the 29th Annual Symposium on User Interface Software and Technology

<http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2984511>

その他発表: Adjunct Proceedings of the 29th Annual Symposium on User Interface Software and Technology

<http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2984751>

さらに、すべての講演発表(基調講演含む)はYouTube で公開されている。

[https://www.youtube.com/user/acmsigchi/playlists?view=50&shelf\\_id=6&sort=dd](https://www.youtube.com/user/acmsigchi/playlists?view=50&shelf_id=6&sort=dd)

## ■第13回モバイル・ユビキタスシステムに関する国際会議 K27FSXX第105号

開催責任者:原 隆浩(大阪大学 准教授)

開催期間:平成28年11月28日~平成28年12月 1日

会場と所在地:広島国際会議場:広島市中区中島町1番5号

参加人員:170名

### <成果>

第13回モバイル・ユビキタスシステムに関する国際会議(MobiQuitous2016)は、European Alliance for Innovation(EAI)が主催する。2016年で13回を迎えるモバイル・ユビキタス分野における代表的な国際会議の一つである。このようなハイレベルな会議を日本で実施することにより、本分野における日本の国際的なプレゼンスを高めると同時に、日本の学術研究レベルを底上げし、国際競争力を向上する効果があると考えられ、意義深いと考えられる。本国際会議では、IoTやM2M等のキーワードで表されるような、スマートフォンやセンサ等の小型

情報機器を用いて、実社会で人間にとって利便性の高いサービスを提供することを目的とした研究が多数発表され、高水準の研究討論が行なわれた。また、それらの技術を支える幅広い情報処理・通信技術や、近年注目されるAI技術との連携等についても最先端の研究討論が行なわれた。これらの研究発表や討論は未来に向けてのIoT技術の発展と実用化に寄与するものであり、学術的にも実用的にも大きな意義があったと考えられる。また、日本の研究者・技術者が多数参加することで、日本のIoT技術を促進し、技術力や産業を押し上げる効果もあったと考えられる。

## ■35thInternationalConferenceonConceptualModeling(ER2016)

### 第35回概念モデリングに関する国際会議

#### K27FSXX第106号

開催責任者：佐伯 元司(東京工業大学 情報理工学院 教授)

開催期間：平成28年11月14日～平成28年11月17日

会場と所在地：長良川国際会議場 岐阜市長良福光2695-2

参加人員：148名

#### <成果>

本国際会議は、ソフトウェア工学、データベース工学、情報システム工学の3つの領域の共通の基盤技術であるモデリング技術に関する研究や開発のアイデアや成果、実践経験等を発表・議論し、知識の共有を行なうことを目的としている。

開催4日間のセッション数、発表論文数は次の通り。招待講演3、研究発表11、全部で34カ国からabstract 113件、full paper 89件投稿中23full paper採録発表(25.84%)、18 short paper採録発表(合わせると46.6%)、ワークショップ6つ全部で52件投稿、19件採録発表(36%)、シンポジウム2、チュートリアル9、特別ワークショップ、ツールデモ、ポスター展示、パネル討論各1、参加者148名のうち外国からの参加者は93名、主な参加国は日本、スペイン、米国、ドイツ、イタリア、オランダ、カナダ、オーストラリア、中国、他、合計27カ国・地域であった。

概念モデリングに関する技術の世界最先端の発表や講演が第一線の研究者によって多数発表されたことにより、国内外の多くの研究者や学生が新たな知見を得ることができ、個々の研究者や学生との交流が非常に活発に行なわれた。特に参加者148名のうち63%と過半数が海外からであり、世界的な技術や経験の交流の場となった。日本の技術については、セキュリティやプライバシーのモデリングなど独自の技術を発信でき、ポスター、博士シンポジウム発表など若い研究者の優れた発表があり、会期中に行なわれたSteering Committee Meetingの席上でも、これらの日本の貢献に対して賛辞があり、今後の継続が要請された。この分野の日本の活躍が指摘されたことからわかるように、この分野における日本のプレゼンスを示すことができた。

## ■TheFirstInt.SymposiumonSwarmBehaviorandBio-InspiredRobotics

### 第一回群知能ならびに生物規範型ロボットに関する国際シンポジウム

#### K27FSXX第108号

開催責任者：松野 文俊(京都大学 工学研究科 教授)

開催期間：平成27年10月28日～平成27年10月30日

会場と所在地：京都大学 百周年時計台記念館 京都市左京区吉田本町

参加人員：195名

#### <成果>

本国際会議は、群知能ならびに生物規範型ロボットを対象とした第一回目の会議であった。当初の想定を2倍ほど上回る非常に多くの研究者にご参加いただくとともに、138件もの発表(招待講演6件、口頭発表89件、ポスター発表43件)が行われ非常に有意義な会議となった。

なかでも、既存の学問の領域を超え、情報科学分野、ロボット工学分野、並びに生物学分野といった様々な分野の研究者が互いに深いレベルで議論を行うことができ、今後、これらの学問領域が融合した新しい学問領域を創造する大変貴重な機会となった。

# 研究助成完了報告概要

(いずれも提出原文のまま、所属は提出時のもの)

## ■通行しやすさを考慮した通行者ナビゲーションシステム

### K25研XVII第399号

歩行する際、足は路面に接しており、足の動きは傾斜や路面の凹凸など、通路の状況を少なからず反映している。本取組では、靴に慣性センサを装着し、足の詳細な動きを把握することにより、足が接地した通路内の各点の情報として、路面の状況を推定する手法を提案する。接地している状態を認識するため、提案手法では、まず足が停止しているタイミングを検出する。この状態においては、足は動いていないため、加速度センサは重力しか観測しておらず、また、ジャイロセンサによる角速度の観測値はほぼ0となる。そこで、サンプリングされた3軸の加速度及び角速度に対し、それらの大きさを計算し、加速度及び角速度ともに大きさが一定の閾値以下となっている時間帯を抽出することで、接地タイミングを検出する。また、その際、加速度センサからの情報に基づき、センサ自体の傾きから、路面の傾斜を推定するとともに、加速度の分散から路面の安定性を判断する。加速度の分散が小さい場合には、路面の傾斜は一定の値に収まっていることから、安定した路面と判断できる。一方、加速度の分散が大きい場合には、砂利などで構成される不安定な路面と判断できる。一人の歩行者が通路を通過しただけでは、通路の傾斜を点として把握することに留まることから、複数人のユーザから路面の傾斜情報を集約し、路面の傾斜の分散から、通路の凹凸の存在を把握する。評価実験においては、多機能センサ"TSND-

廣森 聡仁(大阪大学 大学院情報科学研究科 准教授)

121"を基に開発したプロトタイプを利用し、(1)階段、(2)凹凸のない場所と石畳とを含む道、(3)凹凸のない坂道、(4)芝生、(5)土がむき出しの坂道、(6)石畳の坂道、(7)砂利道の各場所に対し、提案手法により足が接地しているタイミングを確実に認識できることを示した。また、平地(0°)、スロープ(3°)、坂道(7°)、急坂(16°)の4種類の傾斜において、高精度に路面の傾斜を認識できること、路面の安定度を判断できることを示した。さらに、安定した道と不安定な道(砂利道)の両方で歩行しデータを収集し、収集されたデータに対し、各ユーザの各ステップが安定な路面で行われたか否かを推定した。その結果、閾値が $0.46(\text{m/s}^2)^2$ のとき、F値が最大0.905となり、提案手法により、9割程度の精度で、路面の安定性を推定可能であることを示した。これらの研究成果は、情報処理学会の研究会で発表した後、IEEE主催の国際学会 PerMoby 2015 に採択されている。今後の発展として、高齢者や車椅子利用者に対する大きな障壁となり得る段差などの、新たな種類の道路の特徴や状況を推定する手法や、“ぬかるんでいる”、“砂利が散らばっている”、“凍結している”などの、凹凸や不安定な道に対し、その原因を推定する手法を確立し、より詳細な通路状況の推定手法を考案し、通行者ナビゲーションシステムの高度化に貢献したい。

## ■半教師あり進化型距離学習に関する基礎および応用研究

### K25研XVII第400号

福井 健一(大阪大学産業科学研究科 准教授)

(1) 実施内容、成果および今後予想される効果の概要

#### ・実施内容と成果

分類問題やクラスタリングにおいて、データ間の類似尺度、すなわち距離計量は分類精度やクラスタリング精度に多大な影響を及ぼす。しかしながら、対象ドメインに適した距離計量を事前に定義することは自明ではなく、難しい問題である。そこで我々は、対象ドメインに適した距離計量を進化計算により最適化する距離学習法(Evolutionary Distance Metric Learning: EDML)を提案した。提案法では、実数値最適化で優秀な成績を収めている差分進化法を用いて、マハラノビス距離に基づく距離計量行列を設計変数とし、クラスタリング妥当性指標を適合度として距離計量行列を最適化する。クラスタリング妥当性指標を、距離計量行列を基に最適化すると、一般に超多峰性関数になるため、本手法では差分進化を採用している。

本助成研究では、大きく以下の4点について研究を行った。詳細は(2)に記載する。

1. 進化型距離計量学習法(EDML)と従来法との比較評価  
従来の半教師ありクラスタリングと比較し、提案法は教師情報を用いた訓練データに対しては大幅に改善し、距離計量を最適化した後のテストデータに対しては、従来法と同等かそれ以上の性能を示すことを確認した。
2. EDML の特性調査  
クラスタリング指標を導入しているクラスタ間距離に基づく平滑化の効果により、クラスタリングの可視化結果が改善されることを確認した。また、教師率の増加に対して精度はおおよそ単調増加し、教師率30~40%程度で教師率100%の場合の95%程度の精度が得られることを確認した。
3. 複数カテゴリ同時最適化のための多目的EDMLへの拡張  
複数カテゴリのクラスラベルを持つデータの距離計量学習において、多目的進化計算を用いた多目的EDMLを提案し、単目的EDMLと比較してクラスタリング精度が多くの場合で改善することを示した。

#### 4. 顔画像データのクラスタ分析への応用

EDMLを顔画像データのクラスタ分析に適用し、教師情報によりクラスタリング結果の解釈が容易になり、例えばAdult クラスの中で眼鏡を掛けている顔画像のクラスタなどの発見が容易にできることを示した。

##### ・今後予想される効果

現在、様々な分野において画像・音声、生体信号、電子文書、行動履歴、機器のセンサデータ、自然観測データなど多種多様なデータが電子的に蓄積されている。これらのデータを解析し、有用な知識を得るためには高度な解析の前に、データの全容を俯瞰し傾向を把握することがしばしば重要となる。その基本となるのがクラスタ分析である。提案手法は教師情報(すなわち、

人の持つ概念情報)を用いて距離計量を対象ドメインに最適化しているが、これは電子的に得られる数値や信号に対して言語レベルの概念に基づくクラスタリングに近づくように補正している、とも捉えられる。そのため、解釈可能なクラスタリング結果が得られやすくなると期待できる。もしくは、教師情報のカテゴリを指定することでクラスタ分析に指向性を持たせたい場合にも本手法は有効である。また、提案手法は半教師ありクラスタリングであるため、距離計量を最適化するには教師情報を用いるが、一旦最適化されてしまえば、同じ対象ドメインのデータについては人手による教師情報の必要は不要になる。そのため、幅広い応用が期待できる。

## ■時系列データの潜在的特徴を捉えた解析結果の言語的解釈および含意関係認識への試み K25研XVII第401号

小林 一郎(お茶の水女子大学大学院人間文化創成科学研究科 教授)

本研究は、複数の時系列データからパターンを発見し、そのパターンを言語で表現する手法(「言語化」と呼ぶ)の開発を目的に実施した。例とする時系列データとして、動画像に映る人の身体における関節の各部と物体の動作を追跡した複数の時系列データを取り上げ、動作の時系列データから抽出されたパターンに対応する識別のためのラベルを機械学習の一つ手法である対数線形モデルを用いて判別することを可能とした。これにより新たな人の動作が映っている動画像が与えられた際に、その人の動作が何を表現しているのかを識別可能にした。また、複数の時系列データによって表される動作がどのように言葉で説明されるかについて、被験者実験により観測対象(人の動作)を見て、その動作における説明を自由記述で記した文を収集し、その収集文から統計的言語モデル(本研究ではバイグラムを使用)を構築し、そのモデルに対して動的計画法を用いることにより、尤もらしい単語の組み合わせを求めることで文を生成する手法を開発した。生成される文の精度は、動作認識の精度および言語資源の豊富さに依存する。本研究では、言語資源に着目し、言語資源の量と質によって生成される文の精度がどのように変化するかについても考察を行った。また、時系列データのような数値情報が言葉で表現される際には、量的な関係が言葉の表現の中に含意されている。そのメカニズムを解明するために、MacCartneyらによって提案されたNatural Logicを用いて、言語表現のまま含意関係を捉える手法を考察し、特に、曖昧な表現への変換の際に日常的に使用されるファジィ言語値の取り扱いについて考察を行った。

さらに、研究助成後半においては、時系列データを表現する文章情報からその意味内容を捉えるため、時系列文章情報を要約する手法について考察を勧めた。これにより、時系列データを表現する言語情報のどの部分が重要であるかを判別する手法を開発できた。また、文生成手法についても改良を行い、それまでの文生成の手法がバイグラムであり連続する単度の頻度情報のみを捉えた文生成になっていたため、たまに非文が生成されてしまった問題点を解消し、さらに高度な文生成を行うために、確率文脈自由文法を作用素としたモンテカルロ木探索アルゴリズムを用いて文生成を行う手法の開発を行った。モンテカルロ木探索アルゴリズムは、囲碁のゲームプログラムに使用されるアルゴリズムであり、数多くのシミュレーションを通じて良い手を選んでいくというものである。本研究では、囲碁の手に対して、文を組み上げて行くのに必要な確率文脈自由文法の文法要素を対応させ、文を表現するための構文木をシミュレーションにより成長させていき文生成を行う手法を開発した。

今後予想される効果として、提案手法をAlphaGOのようにモンテカルロ木探索に強化学習の機能を追加し、さらに深層学習のモデルとして処理を行うことにより、より状況に適した文生成が可能になると考えられる。そのような処理を表現するつもりである。



## ■運動学的情報から探索する熟練舞踊家が行う動作の質的特性解析

### K25研XⅦ第402号

<実施内容および成果>

本研究は長年の修練が必要とされる舞踊動作を対象に、その質的特性を検討するために、舞踊動作の熟練者が行った移動運動をモーションキャプチャー(MAC3D system, Motion Analysis 社、アメリカ)により位置座標を取得し、3次元動作解析を行うことにより、運動学的特性にみられる特徴量から舞踊の文化的特性の差異を検討することを目的とした。先行研究によれば、歩行および走行といった移動運動では、学習や動作熟練により四肢の末端部の躍度が減り、より動作の円滑性が向上することを報告している。こうした先行研究での報告を踏まえ、舞踊熟練者が行う移動運動を、身体各関節の変位、速度、加速度といった運動学的特性から比較し、動作の美しさが求められる運動種目の熟練度が、移動運動の運動学的指標に表れる可能性を検討する。本研究では、西洋舞踊の代表としてクラシックバレエを、日本の文化的特徴を色濃く反映する舞踊として日本舞踊(歌舞伎舞踊)を対象とし、この二者を比較検討する。

対象は、クラシックバレエおよび日本舞踊を20年以上経験し、指導者あるいはプロダンサーとしての実績が十分であった舞踊家10名(クラシックバレエ5名、日本舞踊5名)であった。

研究対象には、身体各部位40か所に反射マーカーを装着し、①舞台上で演じる際の基本的な移動運動、②上肢の基本動作としての腕の上下運動、③音楽のリズムが比較的遅い舞台上で上演される代表的な演目(日本舞踊は「娘道成寺」から抜粋、クラシックバレエでは白鳥の湖第二幕からの抜粋)、④音楽のリズムが比較的速い代表的な舞台上で上演される代表的な演目(日本舞踊は「娘道成寺」から抜粋、クラシックバレエは「眠れる森の美女」第三幕から抜粋)をそれぞれ3回行ってもらい、モーションキャプチャーシステムを用い、8台のビデオカメラで画像撮影を行った。得られた画像データから、上肢および下肢の各関節の運動学的指標を算出し、日本舞踊とクラシックバレエの差異を検討した。なお試行のうち、

水村 真由美(お茶の水女子大学基幹研究院 教授)

舞台上で演じられる踊りに関しては、動作時間が1分と長く、それぞれの踊りでの動作特性が大きく異なることから、本助成研究においては、基本的な運動として歩行および腕の上下運動について、日本舞踊とクラシックバレエ熟練者の比較を行った。

その結果、日本舞踊とクラシックバレエでは、以下の点に差異が確認された。

- 1) 基本的な移動運動においては、クラシックバレエでは、下肢3関節(股関節、膝関節、足関節)の可動範囲が大きいのにに対し、日本舞踊では、下肢3関節の可動範囲は小さかった。なお同じ舞踊の種類の中での個人差は、足関節に顕著にみられた。また身体重心位置に近い腰部の変位を両群で比較したところ、日本舞踊では鉛直方向の変位がクラシックバレエに比べて小さかった。
- 2) 腕の上限運動においては、上肢3関節(肩関節、肘関節、手関節)の可動範囲は、移動運動と同様に、日本舞踊に比べてクラシックバレエが大きかったが、その差は移動運動ほど大きくなかった。なお上肢の末端の空間における移動距離も、クラシックバレエが大きかった。動作の力性を表す運動学的指標には、2種類の舞踊間で有意差はみられなかった。

<今後予想される効果>

本研究の結果は、熟練者が行う舞踊動作には、舞踊動作のジャンルにより、その文化的背景から動作特性が影響を受ける可能性が示された。一方で、熟練舞踊家の動きの力性には、ジャンルを超えた共通性がみられる可能性も考えられた。今後、更に多様な舞踊動作の質的特性が明らかになり、人間が行う巧みな動作の性質や、その文化的特性の理解が可能になることは、舞踊という芸術文化そのものを理解する情報としてだけでなく、その情報を他分野、例えば、人間の振る舞いに近い動作を実現化するといった点においては、工学やリハビリテーション医学に貢献できる情報を提供できるものと考えられる。

## ■緑内障スクリーニングのための眼底画像診断支援ツールの開発

### K25研XⅦ第403号

村松 千左子(岐阜大学人間医工学研究開発センター 客員准教授)

本研究では、緑内障の早期発見に寄与すべく、医師による眼底画像における診断の正確性と診断効率の向上のための診断支援ツールの開発を目指した。本研究では主に、最も早期から確認できる網膜神経線維層欠損(NFLD)と、重要な診断指標の一つである視神経乳頭(陥凹)の形状に着目し、これらを検出、解析する手法の改善を行った。NFLDの検出は、網膜の

濃淡値をもとに欠損部を特定した。従来手法で検出できなかった限局性のNFLDを検出するための処理と、血管領域に存在する偽陽性の削除処理を追加し、検出率16%の改善と偽陽性数68%の削減を達成した。この成果は米国で行われた国際会議(SPIE Medical Imaging 2016)で発表し、ポスター賞(Honorable mention award)を受賞した。乳頭解析に関しては、2つの手法を

検討した。1つは眼科医の手入力による陥凹辺縁の位置をモデル化し、各症例にモデルを適用して最適化することにより、陥凹辺縁の特徴点を求める方法である。初期的な検討結果では、眼科医による手入力位置に近い位置に特徴点を配置することができ、陥凹乳頭比(CD比)の定量化に役立つと考えられた。この成果は、米国で行われた国際会議(Engineering in Medicine and Biology Conference (EMBC) 2014)で発表した。もう1つは、従来法で画像の濃淡値より求めた陥凹辺縁を、血管の屈曲点を探索することにより微調整する手法で、

これによりCD比の算出と緑内障と正常眼の分類精度が改善された。この成果は同じくEMBC 2014で発表した。今後、これらの手法をさらに改善し、独立したデータベースでテストする必要がある。また、緑内障診断支援ツールの臨床での有用性についての評価も望まれる。本実験でのCD比による緑内障の分類精度は非常に高いので、臨床での有用性が期待できる。また、本システムによる定量値の記録は手動などによる計測の手間を省くことが可能で、診断の効率化に寄与することが期待される。

## ■文法圧縮に基づく省領域かつ高速な索引構造の開発

K25研XVII第404号

稲永 俊介(九州大学 システム情報科学研究所 情報学部 准教授)

### 【実施内容】

データ圧縮とは、データ中の規則性を巧みに利用して、データをコンパクトに表現する技術である。圧縮したデータを検索する場合、通常は、データを展開して元のデータに復元してから、検索を行う必要がある。しかし、この方法では、検索の度に展開したデータをメモリに保存する必要があるため、データを圧縮しておいたメリットが失われてしまう。そこで本研究では、テキストデータを陽に展開することなく、圧縮したまま高速にテキスト検索を行うための技術の開発を行った。

### 【研究成果】

本研究では、連長圧縮(Run Length Encoding, RLE)に基づく圧縮索引構造 tRLESAを開発した。テキスト中の連(同じ文字の連続)をコンパクトに表すことで、テキストを圧縮する手法である。例えば、テキスト  $T = \text{aaaabbaabbbbaaaaa}$  の圧縮表現は  $\text{RLE}(T) = \text{a5b2a2b3a5}$  である。連長圧縮された文字列処理に対する様々なアルゴリズム・データ構造がこれまでに提案されてきたが、索引構造に関してはほとんど研究がなされてこなかった。本研究では、連長圧縮とテキストの接尾辞の辞書式順序に関する新たな組み合わせ的性質を解明し、tRLESA の開発に成功した。tRLESA の領域計算量・パターン照合時間計算量を、代表的な索引構造である接尾辞配列 SA のそれを比較した場合、漸的に、より省領域かつ高速であることを理論的に示した。この成果は、査読付き国際会議 CIAC 2015 に採択され、会議録に掲載されている。また、申請者が CIAC 2015 に参加し、口頭発表を行った。

### 【今後予想される波及効果】

本研究において開発した tRLESA は、パターン検索だけでなく、様々なテキスト処理アルゴリズムの省領域化・高速化に応用が期待できる。例えば、近年注目を集めている最短唯一部分文字列問題(Shortest Unique Substring Problem, SUS Problem)への応用を考えている。この問題は、テキスト中の任意の位置が与えられたときに、その位置を含み、テキスト中に1回だけ出現する最短の

部分文字列の集合を応答する問題である。連長圧縮と SUS の組み合わせ的性質を利用することにより、SUS 問題を tRLESA 上の部分問題に落とし込み、SUS 問題を高速かつ省領域に解く手法の開発を行っていく。

### (2)実施内容および成果の説明

本研究では、連長圧縮(Run Length Encoding, RLE)に基づく圧縮索引構造 tRLESA(truncated Run Length Encoding Suffix Array)を開発した。連長圧縮とは、テキスト中の連(同じ文字の連続)をコンパクトに表すことで、テキストを圧縮する手法である。例えば、テキスト  $T = \text{aaaabbaabbbbaaaaa}$  の圧縮表現は  $\text{RLE}(T) = \text{a5b2a2b3a5}$  である。

非圧縮テキストの長さを  $N$ 、連長圧縮テキストのサイズ(連の個数)を  $n$ 、検索パターンの長さを  $M$  としたとする。tRLESA は、 $O(n)$  領域の省領域データ構造であるにも関わらず、与えられたパターンの出現を  $O(M + \log n)$  時間で出力することができる。既存の索引構造である接尾辞配列 SA は  $O(N)$  領域を要し、そのパターン検索時間は  $O(M + \log N)$  である。常に  $n \leq N$  が成り立つため、本研究で開発した tRLESA は SA よりも漸的に省領域かつ高速な索引構造であると言える。また、入力テキストに対して、tRLESA を  $O(N + n \log n)$  時間で構築するアルゴリズムを与えた。

この成果を得るために、連長圧縮されたテキスト  $\text{RLE}(T)$  の接尾辞の最初の繰返し数を強制的にすべて1にした上で、辞書式順序で整列するというアイデアを用いた。例えば、前述の例では、 $\text{a1b2a2b3a5}$ 、 $\text{b1a2b3a5}$ 、 $\text{a1b3a5}$ 、 $\text{b1a5}$ 、 $\text{a1}$  を辞書式順序で整列することである。このアイデアにより、パターンの2分探索が可能となり、 $O(M + \log n)$  時間でのパターン照合が可能となった。

本研究の成果は、2015年5月にフランスで開催された CIAC 2015 (9th International Conference on Algorithms and Complexity, 第9回アルゴリズムと計算量に関する国際会議)の査読付き会議録に採択され、申請者が発表を行い、参加者と共に活発な議論を行った。

## ■高時空間分解能を実現する脳神経ダイナミクス解析技術の開発

### K25研XVII第406号

水原 啓暁(京都大学大学院情報学研究所 講師)

#### 1. 実施内容

ヒトの脳機能研究においては、開頭手術などを要しない非侵襲な計測技術が用いられており、特に近年の神経科学研究は、機能的MRIによる脳機能マッピング技術の発明により顕著な進展を見せている。機能的MRIは非侵襲脳計測技術では最高の空間精度を有するものの、神経活動にともなう血流変化を計測する原理上の制約から、早い神経活動の計測が困難であるという問題が存在する。一方、神経活動に由来する電気信号を非侵襲に頭皮上より直接的に測定する方法として脳波の計測が行われている。脳波は神経活動にともなう電気信号を測定しており、その時間精度は極めて高いものの、頭皮上からの測定のため、脳のどの空間部位を信号源とする活動であるかの特定は困難である。本研究課題では、機能的MRIの空間精度と脳波の時間精度を併せ持つ技術を非侵襲計測により実現することを目的として、機能的MRIと脳波を同時に計測したデータの解析手法を開発した。

#### 【研究成果】

光刺激を想定したシミュレーション実験により、機能的MRIと脳波の同時計測データの解析手法を開発した。光刺激を想定した機能的MRIのシミュレーションデータとして視覚皮質に活動源を設定するとともに、このときの血流反応の時系列データを生成した。さらに、視覚皮質に活動源が存在する場合の頭皮上の電位分布を導出することで、脳波の時系列データを生成した。これらの

シミュレーションデータを用いて、本研究で提案した順モデルにもとづき活動源から頭皮への電気活動の伝播効率に関する係数を算出し、これを逆問題解法の一つであるビームフォーマ法のフィルタ係数として用いることで、頭蓋内の脳波活動の時系列データを再構築した。得られた結果は、設定した皮質部位で正確に脳波時系列データを再現できるものであった。この結果は、機能的MRIの空間精度つまりミリメートルの空間分解能で、ミリ秒の時間精度を有する脳波活動を非侵襲で実現するものである。

#### 【今後予想される効果】

本研究では単純な視覚刺激を想定して、提案した手法の妥当性を検証した。ただし、実際の脳活動は単独の空間位置での活動のみならず、複数の空間位置で同時に発生する。今後は複数の活動源を想定したシミュレーション実験を行うとともに、脳波と機能的MRIの同時計測の実証実験により、その有効性を検証することで最終的な手法の確立を目指すものである。機能的MRIの空間精度で脳波の時間精度を非侵襲脳機能計測で実現することは、従来の脳計測技術をはるかに凌駕する技術水準であり、脳神経科学研究を劇的に前進させる可能性を秘めているとともに、脳神経疾患の検査などの精緻化にもつながることから、その社会的なインパクトは非常に高いものといえる。

## ■型検査とソフトウェアの安全性に関する研究

### K25研XVII第407号

藤田 憲悦(群馬大学理工学研究院電子情報部門 准教授)

情報社会では信頼性が高く安全なシステムの構築やソフトウェアの作成は不可欠な技術である。例えば、プログラミング言語の静的型検査は、プログラム実行前の有効な検証技術となっている。そして、強く型付けされた言語では、型検査に合格したプログラムは実行時の型エラーを含まないことが保証されている。そこで、本研究の目的は、2階型理論に基づく関数型プログラミング言語の型検査問題の決定可能性について解明することである。そのために、関数型言語の基礎理論である2階ラムダ計算の型問題の決定可能性について、式に含まれる情報の観点から研究を行った。

ラムダ式には、チャーチ流、カリー流など様々なスタイルがあり、ラムダ計算の型検査・型推論問題の可解性はそのスタイルに依存していることがこれまでの研究から明らかになってきた。そこで式の一般的なスタイルという概念を抽象構文として新たに導入して、スタイル間の順序関係も定義した。既存のスタイルはこの一例になっており、ラムダ式に関する既知の性質をスタイルの観点からまとめた。これにより、例えば、与えられた型を持つ閉ラムダ式を見つける問題はスタイルには依存しないことが明らかになった。一方、簡約の性質はスタイルに依存しており、また、型問題の決定可能性については

スタイルの順序関係に基づきまとめた。

次に、2階存在型ラムダ計算に対しても一般的スタイルの概念を導入して、多相型ラムダ計算と存在型ラムダ計算のスタイルの順序関係を保存する変換規則を与えた。そして、この変換を利用して、多相型ラムダ計算の型問題の可解性は、同じスタイルを持つ存在型ラムダ計算のそれに帰着できることを示した。

これらの成果の一部は、次の学術論文に発表した。

[1] K. Fujita, A. Schubert: Existential type systems between Church and Curry style (type-free style),

Theoretical Computer Science 549, pp. 17–35, 2014.

[2] K. Fujita: On styles of  $\lambda 2$ -terms,

京都大学数理解析研究所講究録1950(証明論・計算論とその周辺)、pp. 73–92, 2015。

また、安全性を保証する要素技術である形式的技法に関する国際会議とワークショップ

第17回形式的技法に関する国際会議、

第4回セーフティー・クリティカルなシステムに関する形式的技法に参加して、最新の検証技法、統計的モデル検査に関する情報収集を行い今後の研究方針にとって有益であった。さらに、Jean-Pierre Jouannaud先生を招聘し、講演会を開催して有意義な情報交換を行った。

2階ラムダ計算はポリモルフィズムの重要な理論であり、存在型ラムダ計算は抽象データ型の計算モデルである。関数型プログラミング言語は、検証技術で活用されている定理証明システムにとっても不可欠な言語である。このような基礎理論を駆使して、システムの正しさ・安全性を数理的に検証・保障する枠組みに関する研究を今後も継続していく所存である。

## ■GPUを用いた電子ホログラフィによるリアルタイム3次元動画再生に関する研究

K25研XVII第408号

高田 直樹(高知大学教育研究部自然科学系理学部門 准教授)

### 【実施内容】

コンピュータ上で作成されたホログラムを計算機合成ホログラム(CGH)と呼ぶ。CGHによる三次元動画像再生技術(電子ホログラフィ)は「究極の立体テレビ」になると考えられている。しかし、CGHの計算量が膨大であることが実用化への大きな問題となっている。本研究では、コンピュータグラフィックス用のプロセッサであるGPUを用いて高速なCGH計算を実現し、CGHによる立体映像のリアルタイム再生を行う。

### 【成果】

本研究による成果は、論文2件、国際会議7件(招待講演2件含む)、国内学会11件(招待講演2件含む)、受賞2件である。主な研究成果を次に述べる。

#### ①空間分割電子ホログラフィ

1つのGPUのみで数万点から構成される三次元物体を残像効果によりリアルタイムで再生する方法を提案した。

H. Niwase, N. Takada, H. Araki, H. Nakayama, A. Sugiyama, T. Kakue, T. Shimobaba, T. Ito, "Real-time spatiotemporal division multiplexing electroholography with a single graphics processing unit utilizing movie features," Optics Express, Vol.22, Issue 23, pp.28052-28057, 2014.

#### ②時分割表示方式カラー電子ホログラフィ

USBモジュールを搭載したLED制御回路を使用することにより、三次元物体のCGH計算を含めたリアルタイムカラー再生に成功した。本成果は次の論文で発表した。

H. Araki, N. Takada, H. Niwase, S. Ikawa, M. Fujiwara, H. Nakayama, T. Kakue, T. Shimobaba, T. Ito, "Real-time time-division color electroholography using a single GPU and a USB module for synchronizing reference light," Applied Optics, Vol.54, No. 34, pp.10029-10034, 2015.

### 【今後予想される効果の概要】

本研究によりリアルタイム電子ホログラフィを容易に実現するための方法を考案することができた。本研究で考案した手法は、電子ホログラフィの実用化へ向けて大きな

## ■定量的な人間との衝突リスクを考慮したサービスロボットの運動軌道生成アルゴリズムの開発

### K25研XVII第409号

近年、サービス業、医療・介護現場などの人間が存在する環境下で作業を行うことを目的とした自律移動を行うサービスロボットが研究開発されている。しかし、人との衝突リスクを考慮してサービスロボットの回避動作を行っている研究は乏しく、安全な回避動作なのかどうかの根拠が存在しない。サービスロボットの移動速度を抑制することで衝突しても安全とすることもできるが、作業時間の増加により作業効率が損なわれ、人の作業を自律移動ロボットに代行させる有益性を欠く。そこで、本研究の目的では、リスクアセスメント及びリスク低減の考え方にに基づき、危害の酷さ及び危害の発生確率を加味した衝突リスクを見積り、衝突リスクに基づく自律移動ロボットの実時間経路計画手法を開発することを提案した。

本手法では、リスクアセスメントの考え方にに基づき、サービスロボットの衝突リスクを危害の発生確率と危害の酷さから見積り、それに基づき衝突回避を含む経路計画を行う。従来手法では、人間から一定の距離を置く等の方法で衝突回避が行われていたが、本手法では、衝突リスクの大きさから回避方向や回避距離を決定する。また、衝突リスクを一定値以下にできない場合には、ロボットを停止させる。

本手法のプロセスを説明する。まず、衝突リスク分布を危害の酷さ及び危害の発生確率それぞれの分布より

### 琴坂 信哉(埼玉大学大学院理工学研究科 准教授)

算出し、その空間積分値を衝突リスクとする。衝突リスクは、現在時点から一定時間後までの状況を予測し、見積りを行う。次に、衝突リスクが閾値以下の場合には移動を継続し、閾値以上の場合には衝突リスクが低減されるように経路の再計画もしくは停止の判断を行う。

本手法の検証のために、シミュレーション実験を行った。人間は直進・旋回・蛇行のいずれかの軌道に沿って移動し、異なる8方向から自律移動ロボットに衝突する状況を設定した。また、サービスロボットの経路は、当初、空間上を直進する軌道を設定した。

シミュレーション実験の結果、全ての人間の軌道において、衝突リスクは山形に増減した。また、衝突リスクに応じて、サービスロボットは経路の再計画もしくは停止を実行し、人間に対する回避行動を実行することができた。以上のことから、本手法の有効性を確認することができた。

本手法を用いることで、サービスロボットの安全性を向上することができ、また、定量的な根拠に基づく会費軌道計画のため、ロボット導入にあたって必要なリスクアセスメントの際の定量的な評価の根拠を与えることができることが期待できる。これらは、将来のサービスロボットの導入に有益な効果をもたらすものと考えられる。

## ■デプスカメラを用いたシースルーモバイルARの研究

### K25研XVII第410号

### 小室 孝(埼玉大学大学院理工学研究科数理電子情報部門 准教授)

本研究では、モバイルディスプレイの背面にデプスカメラ、正面に通常のカメラを取り付け、デプスカメラで取得した三次元シーンをユーザの視点位置に応じて座標変換して投影表示することで、モバイルディスプレイがあたかも透明なガラス板のように透けて見えるようにする技術の開発を行った。さらに、同じ画面上に仮想物体をCGで表示し、ユーザがその物体を手で触って動かしたりできる拡張現実感(AR)システムを開発した。

提案システムは、モバイルディスプレイの前面にフェイストラッキング用のカメラ、背面に背景と手の撮影用のデプスカメラを取り付けたものとなっている。デプスカメラから取得される3次元シーンを、フェイストラッキングによって得られるユーザの視点位置に合わせて投影することによって、モバイルディスプレイの画面内外の空間の見え方が一致した画像が得られる。また、デプスカメラから得られる距離情報を利用することで、実シーンに重畳した仮想物体とのインタラクションが可能である。

実験参加者を募集し、ユーザビリティを評価するための実験を行った。画面内外の空間の見え方を一致させている場合(提案手法)と一致させていない場合の両方で、画面内に表示される仮想物体を移動させるタスクを実行

してもらった。システムに使いづらい点がいくつかあったものの、14名中9名が提案手法を用いた場合の方がタスクの完了時間が速いという結果になった。このことから、提案したシステムが有用である可能性があることを確認することができた。

また、関連した成果として、モバイル型の裸眼立体視ディスプレイにより拡張空間を立体表示可能な三次元モバイルARシステムと、複数のモバイル端末上で同一の仮想物体とインタラクションが可能な空間共有型マーカレスARシステムをそれぞれ構築した。

これらの成果は、AR分野のトップカンファレンスであるISMARをはじめ、国際会議で2件(予定含む)、国内会議で3件の発表を行った。

モバイル端末を用いたARはその簡便性から広く普及しているが、空間の把握しやすさや立体表示能力については他の方式に比べて劣っていた。本研究はその欠点を克服するものであり、モバイル端末を用いたARシステムの新しい方向性を示すことができた。将来、デプスカメラを備えたモバイル端末が広く普及するようになれば、本研究で提案した手法により、モバイル端末を用いたARの用途を大きく広げることができると期待される。

## ■複数の協調型浮流カメラによる低コスト高信頼型下水管検査システムの開発

### K25研XⅦ第411号

現在全国で44万Kmの下水管設備があるが、整備後30年を経過した管路は12万kmにおよび、今後10年でさらに10万km以上が加わる。従来のマニュアル操作ロボットによる検査では300m/日が限度であり、大量の下水管検査にあたって、迅速に重大障害箇所を発見するためのスクリーニング検査技術の確立が急務である。本研究では水流に流したソフトボール大の複数個のカメラ搭載通信ノードによって下水管の故障箇所等を短時間・省労力で検出するためのシステムの実現を目指し、同システムで使用するハードウェアの開発と下水管内の移動観測ノードとマンホール間の無線通信実験を行った。本研究開始時においては、小型観測ノードに搭載する小容量バッテリーの電源管理を重要と考え、そのためのソフトウェア開発を念頭に置いて研究を開始したが、研究を進めるなかで下水管内における無線通信の距離確保が最も重要であることが明らかとなったので、適切な無線通信条件を明らかにするための検討と実験に注力した。

下水管内での適切な無線通信条件を明らかにするため、直径200mmの実際の下水管ならびに土中に埋設した実験用下水管でISM帯の電波を使用する無線通信端末を用い、通信実験を行った。一連の実験より、周波数が低い場合に見通しの確保が困難となり、通信距離が

### 石原 進(静岡大学大学院総合科学技術研究科 准教授)

大幅に制限されることが分かった。これは、周波数が低いほどより長い距離の通信ができるという見通しがある場合の常識とは逆である。5GHz帯を用いたIEEE802.11aを用い10mW/Hzの出力でオムニアンテナを用いた場合の最大通信可能距離は8mであったが、同出力の2.4GHz帯IEEE802.11gでは3m、920MHz帯のARIBT-108標準対応端末を使ったときも同じく3mが上限となった。また、指向性アンテナの使用ならびに、管中央の高さにアンテナを配置することで通信可能距離を延長できることが確かめられた。

また、カメラ付き浮流観測ノードのプロトタイプを実装した。同ノードは、Linux OS対応小型コンピュータRaspberry PiとカメラモジュールとIEEE802.11g/a通信ドングル、LED照明とその駆動用の外部電源・バッテリーから構成される。これは定期的に照明を照らして静止画撮影を行い、アクセスポイントが定期的に送信するビーコンを受信すると、撮影済のデータをまとめてアクセスポイントに転送する機能を持つ。

本研究で得た下水管内での適切な無線条件に関する知見ならびにプロトタイプ端末の設計を元に、実用的な観測ノードと撮影済映像のアクセスポイントへの転送プロトコルの開発を進めることが可能となると考える。

## ■ベクトル量子化に基づくホログラム高速生成アルゴリズムの開発と広視域3次元ディスプレイへの応用

### K25研XⅦ第412号

ホログラフィを応用した3次元ディスプレイは、人間の立体知覚を完全に満たすことができる唯一の方式であり究極の3次元ディスプレイと言われている。しかし、この方式の実用化には、複雑な3次元像からホログラムを高速生成できる手法と、広い範囲(視域)で3次元像を観察できる光学的手法が必要とされる。

本研究では、これらの課題を克服する手法を開発した。計算の高速化に関して申請者がすでに提案した波面記録法を基にさらに高速化した手法を開発した。波面記録法では、3次元物体データとホログラムの間に、仮想的な面を用意する。まず、3次元物体データの各点光源から出る光波の振幅と位相情報(伝播方向)を、この仮想面に記録する。この時、3次元物体近傍に仮想面を配置すれば、3次元物体から発する光が、この面を通過する断面積は非常に小さくなり計算量は微小なものとなる。次に仮想面からホログラムへの光波伝搬を計算する。この計算には高速フーリエ変換が使えるため計算時間を短縮できる。

本研究では波面記録法の第1ステップを更に高速化するために、物体点から出る光波の情報を圧縮した。圧縮にはWavelet変換を使用し、Wavelet空間上で各点光源が発する光波を足し合わせる手法(WASABIと名付けた)を開発することに成功した。例えば、100万点の3次元データから2,048×2,048画素のホログラムを一般的なCPUで計算した場合、従来手法では8,800秒を要するが、

### 下馬場 朋禄(千葉大学大学院工学研究科 准教授)

波面記録法とWASABIを組み合わせた手法ではわずか0.5秒で計算でき圧倒的な高速化できる。再生像画質は従来手法とはほぼ同じである。GPUなどの高速計算ハードウェアを使用すれば、さらなる高速化が期待できる。

3次元像のサイズを拡大するにはホログラム表示素子の面積を大きくする必要があり、視域を広げるには表示素子の画素間隔を微細化する必要がある。つまり、視域と像サイズの両方を拡大するには膨大な画素数のホログラム表示素子が要求される。例えば、10cm×10cmの像サイズを30°程度の視域で観察したい場合、ホログラム表示素子に要求される画素数は、およそ10万×10万画素となる。

本手法ではこのような大画素数の表示素子を使うことなく、一般的な画素数のホログラム表示素子(ここでは2K画素のLCDパネル)と位相拡散板を用いることで広視域かつ大きな3次元像を再生できる手法の提案を行った。シミュレーションレベルではあるが、この手法によりサイズが3.4cmの3次元像を視域30°以上で観察できることを確認した。この手法では、視域を広げるために位相拡散板が入射光を広げられる特性を利用している。また像サイズはホログラム表示素子と拡散板の距離で調整できる。

最後に、本研究をすすめるにあたって貴財団より貴重なご支援を頂いたことに心より感謝申し上げます。

## ■語の普及度に基づいた新語義検出に関する研究

### K25研XVII第413号

ソーシャルメディアの登場によって、情報伝達はその伝達度および伝達範囲が飛躍的に向上した。しかしながら、ソーシャルメディアでは、誰もが情報発信でき、かつ新聞記事のように言語使用が統制されていないため、新しい語(例:「ググる」)や、既存の語に新しい意味を持たせる事(例:悪い意味での「やばい」から良い意味での「やばい」)がこれまで以上に頻繁に起こるようになった。そして、このような現象はインターネット上のあらゆる場所で観測されることから、その膨大さ故、これまで人手に頼る部分が多かった国語辞書の編纂作業などをこれまでと同様の質を保ちつつ執り行うことが困難な状況になりつつある。それゆえ、メディア上に流れるテキスト中の新語や新語義を検出する技術への関心も高まっていると言える。

このような背景のもと、本研究課題では新語義に注目し、新語義の特徴を探るための新語義の出現傾向調査、および語の普及度に基づく新語義検出手法の開発および評価を実施した。

データ調査では、BCCWJ雑誌コーパスを対象に外来語250語(約18,000事例)に対して、人手作業で単語の

### 乾 孝司(筑波大学システム情報系情報工学域 准教授)

語義情報をアノテーションし、新語義として使用される単語の出現数および新語義の特徴分析を試みた。その結果、約1割の1,920事例が新語義事例であることがわかった。また、新語義の発生原因に注目して事例分析をおこなったところ、少なくとも6種類に分類でき、意味解析処理を念頭においた場合、比喩的表現や固有表現とも深く関連している事がわかった。

また、新語義検出手法として、従来研究のような「語の意味」ではなく、「語の普及度」に注目した新たな新語義検出手法の開発をおこなった。提案手法では国語辞典に記述されている語義の掲載順序に注目することで語の普及度をモデル化し、相対的に普及していない語義として使用されている単語を新語義候補として出力する。SemEval-2 Japanese WSD Task の設定に準拠した評価実験を通して、F値で0.122の検出性能であることを確認した。性能自体は向上の余地が残されているものの、提案手法は現時点でのstate-of-the-artな手法と比較しても遜色ない検出力を備えていることを確認した。

## ■音の距離を識別する3Dマイクロホンアレー

### K25研XVII第415号

### 羽田 陽一(電気通信大学大学院情報理工学研究科 総合情報学専攻 教授)

(1) <実施内容、成果および今後予想される効果の概要>

複数のマイクロホン素子を用いて、收音した音から所望の音だけを取り出すマイクロホンアレーの研究が盛んに行われている。これまでのマイクロホンアレー処理は、主に所望音と雑音が異なる方向から到来することを仮定し、音の入射角の違いを利用して雑音を抑圧してきた。しかしながら、所望音と雑音が同じ方向に存在する場合には、雑音が抑圧できないという課題があった。

そこで本研究では、所望音と雑音が同一方向であるような場合であっても雑音の抑圧を可能とすることを目標とし、音源までの距離を含めて情報を取得可能なマイクロホンアレーの検討を行った。基本的なアイデアは、直線上にマイクロホンと並べた直線マイクロホンアレーの信号を空間フーリエ変換することで、球面波と平面波の音波の特徴の違いを捉えやすくし、距離を識別するというものである。本研究期間内においては、実際に24chから48chのマイクロホンアレーを構築し、無響室および通常の室内において奥行き方向の距離まで含めた音の識別が可能かを実験的に確かめた。マイクロホンアレーは、マイクロホン素子、マイクロホンアンプ、A/D変換器、収録用パソコンから構成され、マイクロホンアンプは特性を揃えるために

特注したものを用いた。具体的な実験としては、マイクロホンアレーで收音した信号を空間フーリエ変換したのちに、空間を奥行き方向に遡る逆伝搬という方式を利用し、(1)奥行き方向の音源の位置が確認できるか、(2)少ないマイクロホン数で逆伝搬を行うために仮想的にマイクロホン数を増やす開口長疑似拡張が行えるか、(3)2本の平行したマイクロホンアレー間で逆伝搬を利用することで遠くからの平面波を抑圧できるか、という3点について検討を行った。これらの実験により、空間フーリエ変換とその逆伝搬が奥行き方向の音の識別に一定の効果があることを確かめることができた。

本研究は、マイクロホンに近い音と遠い音を区別することを可能とする技術であり、例えばテレビ会議などでは周囲に別な話をする人がいてもその人の声を抑圧することが可能となる。また、通常の音声収録において話者の背後にエアコンがあるような場合でも、エアコンの騒音はカットすることが可能となり、よりクリアな音の収録が行えるようになる。

## ■資源限定ランダム性と乱択計算量

### K25研XVII第416号

算法ランダム性の理論では、計算によって特徴を読み取ることが難しいような対象をランダムと考える。本研究計画の目的は、この算法ランダム性の諸概念と、多項式時間をはじめとする計算資源の限定との間の関係について新たな知見を得ることであった。

算法ランダム性概念の一つに、圧縮して記述できない対象をランダムとするというものがある。これにより無限の対象ばかりでなく有限の文字列についてもランダム性を議論できるが、圧縮・展開の方法ごとに異なる文字列がランダムと見なされることになる。個々の展開法の下で所与の文字列がランダムであるかないかは有限時間で判定できないことが知られているが、一方でこの困難さは個々の展開法の特殊性に因るものであり、展開法によらない形で計算に有用な情報を与えることは無いとの仮説が最近出されている。我々は、ランダム性判定が他の計算に利用され得る状況について詳しく解析することで、この仮説が幾つかの特殊な場合において正しいことを証明した。この結果は国際会議39th International Symposium on Mathematical Foundations of Computer Science (MFCS) で発表した。

算法ランダム性には「予測し難い」対象をランダムとする考え方もあり、上述の圧縮可能性との関係も或る程度明らかにされている。この考えに立てばランダム性とは、有限の情報のみを観察できる「賭博者」が、対象について何らかの予想を立てて儲けを得ることができないことを以て定義される。これにより無限のビット列を対象にランダム性を議論でき、従来多くの分析が行われてきたが、更に幾分か一般の測度空間に広げて考えることもできる。

河村 彰星 (東京大学総合文化研究科 講師)

本研究ではこの賭博者の計算能力に時間限定を課した場合について幾つかの性質を明らかにし、「多項式時間ランダム性」の概念が解析学的な言葉でも特徴づけられる頑健な概念であることを示した。この結果は電子情報通信学会コンピュータシミュレーション研究会で発表した。

この他、数値計算に特有の計算論的困難さに関する予想と算法ランダム性概念の類似についての結果を国際会議Twelfth International Conference on Computability and Complexity in Analysis (CCA) で発表した。また、ランダム性と計算複雑さに関する研究一般について、情報処理学会の大会で高校生向けに講演をした。

以上のように、従来のランダム性の研究では計算が可能か否かというレベルの分析が主であった所、本研究では計算量(すなわち資源が限定された状況での困難さ)を明らかにすることを目指し、一定の成果を得た。このような分析は、入力から目的の出力を得るという単なる函数の計算困難さについての知見を、外界を観察して情報を取り出すという仕事の困難さ(ランダム性)の分析に活かすという自然な興味に裏づけられている。基礎理論の研究ではあるが、「計算」という言葉から想起されがちな直線的処理だけでなく、必ずしも予め目標のはっきりしない多様な分析にも計算機の利用が進む今日の状況において、効率的情報処理の限界を語る理論基盤として意義が強まりつつあるのではないかと考える。本研究の成果をもとに今後もランダム性と資源限定の関わりについて更に解明を進めたい。

## ■解析的畳み込み射影学習による少サンプル深層学習法の開発

### K25研XVII第417号

中山 英樹 (東京大学大学院情報理工学系研究科創造情報学専攻 講師)

本研究では、少数の教師付き学習サンプルから高速かつ安定な学習を可能とする新しい深層学習の枠組みを提案した。具体的には以下の項目を順に実施した。

(1) まず、本研究開始以前に提案した、フィッシャー重みマップ法による識別的な解析解に基づく単層畳み込み手法を詳細に分析し、他の多変量解析手法と体系的に比較を行った。さらに、これを順次積み上げることで多層畳み込みニューラルネットワーク(CNN)をボトムアップに構築することで、単層の場合と比較して大きく性能向上できることが示された。さらに、異なる多変量解析手法により構築した複数のネットワークをアンサンブルする方法についても詳細に検討を行い、更なる識別精度の向上を達成した。提案手法は、MNIST・STL-10などの本分野におけるいくつかの代表的なベンチマークにおいてstate-of-the-artの識別精度を達成した。

(2) さらに、(1)で得たネットワークを初期状態として誤差逆伝搬法による学習を進めることで、より優れた局所解に高速に到達させることを実現した。本拡張においては、オープンソースフレームワークを用いたGPU実装を行い実用上の速度向上を行うとともに、batch normalization等の最適化における最新の知見を多く取り込み、提案手法における効果について検証した。提案手法は、一般的なランダム初期化によるCNNと比較し、約半分程度のエポック数(学習の反復回数)で良好な識別精度を達成できることが示された。

(3) 以上の基礎理論の応用にも取り組み、いくつかの成果を得た。まず、FWMを用いた畳み込みを部位特徴の抽出に応用することで、詳細画像識別タスクにおいて良好な識別精度を得た。本成果は国際論文誌に採択済みである。さらに、線形判別分析を規範とするFWMに対し、正準相関分析を規範とした正準重みマップ法



(CWM)を提案し、画像のセマンティックセグメンテーションタスクにおいてより良好な結果を得た。

以上のように、少数の教師付きサンプルから深いネットワークを構築する提案手法の有効性は定量的に裏付けられ、概ね当初期待通りの成果が達成されたと考えられる。深層学習はさまざまな分野で活用が期待されているが、

現実には多数の教師付きサンプルを用意することが難しい場合が多いことが産業応用の最大の障壁となっている。提案手法はそのような現実的な場面で有効な選択肢になり得ると期待され、今後さまざまな応用タスクへ適用してその有効性を検証したい。

## ■人間-ロボット共存環境下でのロボットの行動制御

K25研XVII第418号

山下 淳(東京大学大学院工学系研究科精密工学専攻 准教授)

本研究では、人-ロボット共存環境下におけるロボットの行動制御手法の構築を行った。具体的には、人とロボットのインタラクションを実現するにあたり、その基礎的な課題である、ボトルネック(部屋の入り口などの歩行者が1人ずつしか通ることができない狭い通路)においてロボットの譲道行動を生成する手法を提案した。提案モデルでは確率的手法により意図をモデル化し、他者の意図を推定することで、譲り合いを実現し、デッドロックを回避した移動が実現された。

本研究は、移動ロボットが人の生活空間で活動する上で、人との重要なインタラクションの1つである譲り合いの実現を目的とした。人とロボットのインタラクションを考えるにあたり、本研究では問題を(1) 他者の意図推定に基づくロボットナビゲーション、(2) 意図を考慮した歩行者の行動モデル、(3) ロボットの特性(大きさ・形状・動作戦略等)や環境による歩行者モデルへの影響の評価、に分解して考えた。人とロボットのインタラクションの実現には上述の(1)~(3)のすべてを考慮する必要がある。しかし、例えば人の行動モデルに個人差を考慮したとき、ロボットの

特性によるモデルへの影響が一様であるとは考えにくい点など、実際には上述の項目(2)、(3)は互いに影響しあうため、現段階ですべてを同時に議論することは非常に困難である。そこで本研究では、まず基礎的な検討を行うため、上述の1を扱い、人やロボットをエージェントという形式で抽象化して、(2)、(3)については単純化して議論の範囲を限定した。したがって本研究の主題は、意図モデルをロボットナビゲーションに適用して、他者の意図推定に基づいてボトルネックにおいて譲り合いを実現する手法の開発とした。

具体的には、Social Force Modelに意図モデルを適用した拡張を行い、人とロボットを区別せず、同一のモデルを適用して検証を行った。実験結果により、提案手法の有効性が確認された。

今後はより一般的な環境に適用していくために、サブゴール生成の自動化や様々な形状のボトルネックへの拡張、またロボットに対する歩行者の適応を考慮したモデル化などが今後の展望として挙げられる。

## ■超高速アルゴリズムの系統的設計法に関する研究

K25研XVII第419号

藤戸 敏弘(豊橋技術科学大学大学院工学研究科 教授)

今日の情報化ネットワーク社会においては、様々な局面で巨大データセットの情報処理が要求される。本研究では、そのようなデータスケールに対応できるような高速アルゴリズムの系統的設計法の開発を目指した。より具体的には、期間内に得られた主な研究成果は以下の通りであるが、これらの成果をさらに発展させることにより、大規模データに対応しうる高度アルゴリズムの設計手法の開発につながる事が今後期待される。

- 1 グラフのb辺支配集合問題は、NP困難であるが、一般のbについて $8/3$ 倍近似計算可能であることが知られている。本研究では、主双対法の高度化を目指し、局所最適マッチングから双対解を計算するアルゴリズムを開発し、 $b \leq 3$ の条件下で、b辺支配集合問題が2倍近似可能であることを示した[1]。

- [1] T. Fujito, "On matchings and b-edge dominating sets: a 2-approximation algorithm for the 3-edge dominating set problem." Algorithm theory-SWAT 2014, LNCS vol.8503, pp.206-216, 2014.
- 2 グラフの分解定理に基づく主双対アルゴリズムの設計法を検討した。具体的には、「多重支配」と「連結性」を同時に要求する連結2辺支配集合問題を取り扱い、連結性を仮定しない2辺支配集合問題の最適値の2倍以下の値を保証する近似解計算が可能であることを示した[2]。
- [2] T. Fujito, T. Shimoda. "On approximating (connected) 2-edge dominating set by a tree." 11th International Computer Science Symposium in Russia (CSR 2016), LNCS vol.9691, pp.161-176, 2016.

### 3 定数時間分散アルゴリズムの設計。

ネットワーク分散環境における超高速アルゴリズムの設計に着手した。各ノードは識別子をもたず、隣接ノードとメッセージ交換するラウンドを一定回数のみ繰り返すという、制限の強い計算モデルを採用した。その結果、2辺支配集合問題などの計算困難問題に対し、通常が多項式時間アルゴリズムと変わらない近似精度で計算可能であることを示した[3]。

[3] T. Fujito, D. Suzuki. "Fast and simple local algorithms for 2-edge dominating sets and 3-total vertex covers." WALCOM: 10th International Workshop on Algorithms and Computation (WALCOM 2016), LNCS vol.9627, pp.251-262, 2016.

動的組合せ最適化問題の解析。

ネットワーク・セキュリティなどに関連して、外部からの

継続的攻撃に対する最小限必要な守衛数および防御戦略を与えるアルゴリズムの設計法についても検討した。これは、頂点被覆問題の動的版に相当し、従来は、静的頂点被覆数と動的頂点被覆数との間に密接な関係が成り立たない場合については、グラフが木である場合を除き解法は知られていなかった。本研究では、木を拡張したグラフにおいても、最小守衛数および防御戦略が高速に計算できることを示した[4]。

[4] H. Araki, T. Fujito, S. Inoue. "On the eternal vertex cover numbers of generalized trees." IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences, vol.E98-A, no.6, pp.1153-1160, 2015.

## ■最適化問題に向けた探索ゲーム理論と物性理論の融合

### K25研XVII第422号

平成26年1月より上記の研究テーマの研究を推進しました。研究は理論を中心として、プログラムによる実装と評価を行いました。理論の背景にあるのは次の2つの柱です。

1. 「追跡と逃避の問題」と関連した探索ゲームのアイデア
2. 物性理論、特にスピングラス理論と関係した組合せ最適化問題への応用

前者は数学の伝統的な問題で300年ほどの歴史を持つ、1対1の追跡と逃避の問題であるが、逃避者を探索するための戦略をみつけるという視点から1950年台にゲーム理論との融合も行なわれました。後者は1980年台から、巡回セールスマン問題のような組合せ最適化問題を、物性のモデル理論であるスピングラスの最小エネルギー状態を見つける問題との類似からアプローチするというものです。

本研究の中心的な着想は、この両者を融合することで、新しい基軸の組合せ最適化問題へのアプローチを構築するというものです。この着想を基本方針として、組合せ最適化問題への応用可能なアルゴリズムの開発を実施しました。最適化状態を逃避者となぞらえて、これを追跡するなど、いくつかの方向を模索しましたが、最終的には次のようなアルゴリズムを開発しました。

組合せ最適化問題では局所最適化状態が多数存在し、これが問題解決の困難となっていますが、ここではこの問題を最適化状態を試行する逃避者とそれを追いかける追跡者が存在する「追跡と逃避」を組合せ状態

### 大平 徹(名古屋大学大学院多元数理科学研究科 教授)

空間の中で行います。また、2者の役割交換を適宜おこない、逃避者は常により低い「エネルギー状態」にある者として、他者は追跡者となる。具体的な例題としては巡回セールスマン問題をとりあげました。この評価においては、この追跡と逃避を行う状態更新が、それぞれが最適化状態への更新を行う場合に比べて、よりよい結果を得ることができました。

この研究成果をもとにして、更なる展開が期待できます。現状においては1対1の追跡と逃避を組合せ状態空間において行いましたが、これは容易に並列化でき多数の追跡者が存在するように拡張が可能です。また、ここでの基本的な設計には汎用性があるため、個別の問題に限らず、多くの条件付き最適化問題への応用や他の手法との融合も可能であると考えます。

本研究の成果はいくつかの学会において発表を行うとともに、着想にいたる背景にある集団追跡と逃避の問題などは一般向けの書籍(「ゆらぎと遅れ:不確かさの数理学」新潮選書 2015年5月)にも含めて上梓しました。

## ■統計的アプローチに基づく汎用的な画像モデルの構築

### K25研XⅦ第421号

#### (1)実施内容、成果および今後予想される効果の概要

近年のコンピュータの普及により、人間と同様の手段でコミュニケーションのできる視覚・聴覚情報を用いたインターフェイスの開発が期待されている。また、音声認識や画像認識は、その重要な要素技術であり、盛んに研究が行われている。インターネットの普及やハードウェアの進歩により、様々な研究分野において、大量のデータに基づいた統計的な手法が主流になってきており、音声認識では隠れマルコフモデル(HMM)に基づく手法が確立されつつある。しかし、画像認識の分野では、認識対象が多さとデータの複雑さから様々な手法が乱立している状態である。本研究では、顔画像認識、文字認識、ジェスチャ・手話認識、リップリーディングなどの様々な画像に適用可能な汎用的な統計モデルを考え、音声認識におけるHMMのような画像認識のためのスタンダードな統計モデルの構築を目指す。

一般に、画像は様々な変形をし、またその変形の仕方は認識対象によって様々である。

そこで本研究では、このような変形を考慮することができるHMMを拡張したモデルである可変固有画像

### 南角 吉彦(名古屋工業大学情報工学 准教授)

モデルを提案した。可変固有画像モデルは、どのような変形をする画像に対しても、自動的に変形に追従し、高い認識性能を実現する。また、提案手法の枠組みは固有顔法や部分空間法を含み、またクラス間でのパラメータ共有構造を考慮すると、線形判別分析や制約部分空間を用いた認識手法のような識別的なモデル構造を表現することができる。このように本研究で考える可変固有画像モデルは、従来の画像認識手法を内包しながら、位置ずれや大きさなどの変動にも対処できる統計モデルとなる。汎用的な画像認識のためのモデルとして、原画像を直接モデル化するという研究は少なく、本研究の特色であると言える。提案法では、これまで理論的に厳密に捉えられていなかった画像認識の前処理を含め、画像認識の処理全体を統計的学習の立場から捉えることができる。さらに、本研究では、可変固有画像モデルの学習基準や学習アルゴリズムの改善を行うことにより、大幅な認識性能の向上を示した。今後は、可変固有画像モデルによる画像認識技術の確立により、顔画像認識や文字認識、リップリーディング・手話認識など様々な認識対象に対する利用や、話者認識や音声認識への適用も期待される。

## ■スキルを向上させるインタフェースの実現

### K25研XⅦ第424号

### 妻木 勇一(山形大学大学院理工学研究科機械システム工学分野 教授)

実施内容、成果および今後予想される効果の概要  
スキル(技量)を苦勞せずに向上させることは人間の長年の夢である。これに対し、申請者は、これまで予測運動表示と呼ぶ、操作支援システムを発見、開発してきた。この手法は、視覚情報を提示することで、人間のフィードバック則を無意識の内に変更させ、人間のスキルを向上させることができる。これまで、加速度指令を与える遠隔操作スキルや力覚提示装置と物理シミュレータを組み合わせた倒立振り子安定化スキルにおいて、視覚情報によりスキルが向上できることを示してきた。

本研究では、この知見を更に進め、これまで仮想環境下でしか確認されていないスキル向上インタフェースの有効性を実作業において検証することを目的とした。

まず、Epson社製のシースルー型HMD OpenGL ESとJavaを用いて、実験システムを構築し、倒立振り子に関する実験を実施した。しかし、HMDの画角が23度と狭い事、Android上でしかCGを描画できないという機器の制限により、描画速度が遅く、動的な作業に対して効果的なインタフェースを構築できなかった。

そこで、CGのみで実験可能な倒立振り子を対象とした疑似ARシステムを開発した。HMDとして画角が広く、立体視が可能なOculusVR社製のOculus Riftを用いた。モーションキャプチャシステムOptiTrackで実際の倒立振り子の動きを計測(サンプリング周期100 Hz)し、同時に被験者の頭部運動も計測する。倒立振り子を実際の動きに合わせたCGとして提示することにより、AR(Augmented Reality)と同じ効果を持つ環境を構築し、実作業を行えることを検証した。さらに、全身運動となる綱渡りを対象としたシステムも構築した。こちらはプロジェクトを用いて被験者自身の動きと、支援視覚情報を提示した。

それぞれのシステムで実験を行ったが、支援視覚情報の効果を有意に示すことは出来なかった。しかし、支援視覚情報がスキルに影響を与えている兆候は見られるため、CGの描画速度向上を始めとするシステムの高速度化と実験条件の細分化を図ることで、支援視覚情報によるスキル向上の実現性は十分残されていると推測される。現在、CGの描画速度向上に取り組んでおり、引き続き、支援視覚情報の効果を見極めたい。

## ■無線LANによる避難所間ネットワークを自動設計するアルゴリズムの開発

### K25研XVII第425号

無線リンクの伝送速度は、ビルや家屋等の建造物の位置関係や丘や谷などの地形要因によって影響を受けるが、これと同等以上の影響を与えるのが「隠れ端末」である。これは、お互いの電波が届かない、つまりお互いに「見えない」関係にある端末局であり、これらの端末が同一の第三端末に同時送信するとそこでパケットの衝突が起り、伝送速度が著しく低下してしまう。代表的なメディアアクセス制御プロトコルであるキャリア・センス・マルチプル・アクセス(CSMA)方式では、全ての端末局がお互いに見える関係にある場合を除いて、この隠れ端末の影響を排除することができない。

この問題を解決するため、我々は無線LANの端末接続関係を表現したグラフに対して、クリーク抽出を行い、これらに異なる周波数を割り当てて多チャネル化することで、クリークを構成する端末では局所的にCSMAが完全に機能する、すなわち隠れ端末のない無線LANを実現する方法を提案してきた。本研究では、まず、このチャネル数をさらに減少される方法の提案を行った。これは、busy-toneを発信する中継局を適切な場所に配置し、これから見渡せる任意の端末局から送信を検知し、その存在を残りの端末局に周知されることによって実現される。このアルゴリズムを記述したのち、特定小電力無線機を用いて、隠れ端末をもつネットワークを屋外に計画的に構築し、実際にデータ送受信を行う実験によって提案手法の有用性を確認した。

松野 浩嗣(山口大学大学院創成科学研究科 教授)

このクリーク抽出とbusy-toneによる方法は隠れ端末による性能低下を改善できるが、クリークの選択とbusy-tone局の設置を計画的に行う必要がある。本研究ではさらに、これを必要としない方法としてコミュニティ抽出アルゴリズムによる手法も検討した。具体的には、与えられたネットワークにNewman法を適用することで、“電波伝搬的に近い”端末グループを見つけ出す。一般には、この端末グループはクリークではないので、busy-tone局を設置することで隠れ端末の排除を図った。この手法の有用性を確認するため、実際に無線機を用いたネットワークを構成して実験を行うことは今後の課題として残されている。

実装への取り組みとしては、山口市内のある地域(小学校区の範囲)の協力を得て、その地域内の5か所の公会堂等に設置した特定小電力無線機による無線ネットワークを構築したので、これを用いて実際の利用環境下における実験を実施していく予定である。

## ■拡張融合法に基づく次世代SATソルバーの構築

### K25研XVII第426号

#### 報告概要

命題論理式の充足可能性判定 (propositional satisfiability testing; SAT) は、計算機科学において最も基本的かつ本質的な組合せ問題である。近年、SAT問題を解くソルバーの性能の飛躍的向上に伴い、ハードウェア・ソフトウェアの検証、プランニング、バイオインフォマティクスなど、幅広い産業応用分野においてSAT符号化に基づく問題解決手法が大きな成果を上げている。現在主流のSATソルバーは、CDCL(conflict driven clause learning; 矛盾からの節学習)アルゴリズムに基づいており、証明システムとして融合法に相当する証明能力を持つことが知られている。この融合法よりも強力な証明手法の1つに拡張融合法がある。本研究では

鍋島 英知(山梨大学大学院医学工学総合研究部 准教授)

SATソルバーに拡張融合法を導入し、証明を圧縮することで性能向上を図る手法の検討を行った。

拡張融合法は、任意の部分論理式と等価な新規変数を導入する拡張規則を融合法に追加した枠組みであるが、拡張規則の安易な適用は、命題変数の増加をもたらすため、探索にしばしば悪影響をもたらす。本研究では、拡張規則の導入により証明が短縮可能な条件を限定的ではあるが明らかにし、それを求解中に高速検出するための手法として、学習節集合をストリームデータと見なし、頻出アイテム(拡張対象のリテラル群)を近似抽出するマイニングアルゴリズムを適用する手法を考案し、評価を行った。その結果、組合せ困難な問題の一部には効果が見られるものの、逆に命題変数の増加が性能低下

をもたらす問題もあり、全体として確かな性能向上を達成するには至らなかった。

本手法では、求解中に頻出するリテラル群を高速検出する手法を開発したが、これを契機として求解中に高々1つのリテラルが真となるリテラル群を検出する手法を開発し、これを問題の動的単純化に利用する手法を考案した。この手法は一定の性能向上が達成できることを実証している。また拡張規則の適用は命題変数だけでなく学習節の増加ももたらすが、ソルバーは定期的に学習節を取捨選択するため、その管理方法が重要となる。学習節の管理戦略を再検討する過程で、従来手法では求解時間が長くなるにつれて直近の学習節が十分に保持できない問題があることを明らかにし、その改善により拡張融合法の有無にかかわらず性能向上が達成できることを実証した。

拡張融合法は、証明を大幅に短縮する可能性を持つが、その一方で命題変数の増加をもたらすため安易な適用はできない。本研究では、証明が短縮可能な条件を限定的ではあるが示したものの、その効果も限定的であった可能性がある。今後は、適用条件の一般化やその高速な検出法の考案を進める予定である。

## ■瞬きによる携帯情報端末用コミュニケーション支援ツールの開発

### K25研XVII第427号

自閉症児のためのコミュニケーションツール「ねえ、きいて」のシステムを指の動きに依存しない操作手法として、瞬きによる入力機能を実装し、円滑な相互コミュニケーションを行える肢体不自由児のための瞬きによる携帯情報端末用コミュニケーション支援ツールの研究と開発を行う。

1. 眼部検出は、OpenCV Haar-like 分類器を用い眼部の位置検出を行う。これにより、比較できる過去のフレーム数が増え、「開眼・閉眼・開眼」という瞬きの一連の動きを数値化し、意識瞬きと無意識瞬きの判定を行う。
2. 「残像を用いた画像処理方法」(特許第5871290号)眼部の位置検出後、数フレームを用いて眼部の黒い部分を捉え撮影する。  
それを元になる画像(残像)として、現在のフレームの眼部の黒い部分と重なる部分を比較し瞬き判定を行う。
3. 自然の瞬きを排除することが判定の精度を左右するため、「開眼・閉眼・開眼」まで一連の動きを2つの閾値を設定し判定する。自然の瞬きは意識瞬きよりも速くなるため、第1閾値により排除される。また、「開眼・閉眼・開眼」までの合計フレームと第2閾値を比較することによって被験者が疲れて目を閉じ続けている場合を排除することができる。

### 鳥居 一平(愛知工業大学情報科学部情報科学科 教授)

4. 予測変換(サジェスト)機能により、ユーザーの入力に応じて候補を読み出し、入力補助を行う。予測変換により、ユーザーが文字入力にかかる時間及び負担を格段に減らすことができる。
5. 一度入力した文字列をデータベースに登録し頻度が高い文字列を予測変換候補として表示する。回数でなく使用頻度にする事で、各ユーザーに合った予測変換候補表示が可能となり、より円滑なコミュニケーションが行える。
6. 文字選択の時間短縮として、従来2分割であった選択ブロック3分割にすることで、瞬き回数を減らすことができる。特に意思表示は「～したい、～いきたい、～たべたい…」など、ブロック3分割では頻度の高い“た行”を早く選択することができる。

## ■高速かつ高精度な類似画像検索システムのためのバイナリハッシュに関する研究 K25研XⅦ第428号

白川 真一(筑波大学 システム情報系 助教)

本研究では、高速かつ高精度な類似画像検索システムを構築することを目的に、特に大規模な計算機システムを必要としないアルゴリズムの開発に重点を置いて研究を実施した。本研究で着目したアプローチは画像情報を、類似関係を保ったまま0と1からなるバイナリコードに変換するバイナリハッシュという技術である。画像情報をバイナリコードで表現することができれば、ハッシュテーブルなどを用いて定数オーダで大量画像からの類似探索が可能となる。しかしながら、ビット長が64 bitでクエリからハミング距離3以内のデータを探索したい場合には、約4万通りのハッシュ値の問い合わせが必要になり、ハッシュテーブルへの問い合わせのオーバーヘッドが膨大になってしまう。一方、画像検索の精度を保つためには、長いビット長を確保する必要があり、長いビット列に対する検索速度の改善が課題となっている。この課題に対して、複数の比較的短いバイナリコードを用意し、長いハミング距離の検索を行う代わりに、短いハミング距離の検索を複数回行うことで、検索速度と性能を改善するアルゴリズムの開発を行った。

<研究成果>

提案アルゴリズムでは、複数のバイナリコードそれぞれに対してハッシュテーブルを作成しておき、長いハミング距離での検索を避ける事で、高速な類似探索を実現する。さらに、バイナリコードを生成するバイナリハッシュ関数の構成方法について、学習なしの方法と、学習

ありの方法の2つを開発した。提案アルゴリズムを用いて大規模データセットに対する類似探索実験を行い、提案手法によって少ない計算時間でデータの検索が実現できるとともに、バイナリコードの数を増やすことで検索性能も向上することを確認した。本研究に関する成果は、査読付き論文1件、査読付き国際会議1件、国内会議2件として発表している。また、本研究の発表に関して、「電気学会 電子・情報・システム部門 技術委員会奨励賞」を受賞した。

<今後予想される効果>

画像データはインターネットを中心に爆発的に増加しており、身近に大量の画像データにアクセスすることが可能になってきている。そのため、テキスト情報を使った検索に加え、画像の内容による検索を実現する類似画像検索のニーズも増加している。本研究の成果によって高速かつ高精度な類似画像検索システムを比較的安価に実現することができるため、産業的にも大きな発展性があると考えられる。また、類似探索技術は様々な場面で用いられるため、本研究の成果は類似画像検索システム以外への適用も可能であると考えている。

## ■液面から液体内部の環境をセンシングするカメラシステムの開発

K25研XⅦ第429号

松本 光広(久留米工業高等学校 制御情報工学科)

(1)実施内容、成果および今後予想される効果の概要

水などの透明な液体における液体内部の環境を観るために、液面から液体内部を観ることができれば、液体内部の動きおよび動きによる内部環境の変化等に影響を及ぼさない有効な手段となる。これを実現するために、液面から液体内部の環境をセンシングするカメラシステムの開発を進めている。カメラシステムは、カメラで取得した画像を用いて液面から液体内部の環境を観るために、液体の動きによる液面の形状を実時間で計測して、液面形状により生じる光の屈折による画像の幾何学的歪みを計算して、画像を補正する。本研究では、液面の形状を実時間で計測するために、液面における鏡面物

体表面の三次元位置および面法線方向を多点同時に測定する方法を開発した。

開発した鏡面物体表面の三次元位置および面法線方向を多点同時に測定する方法では、格子状の光を投影するレーザ光、ハーフミラー、前方投影板および後方投影板を用いる。物体表面を多点同時に測定するために、格子状の投影光において複数生成される投影線と投影線の交点を用いて、これらの交点についてレーザ光の軌跡を求める。鏡面物体表面に照射したレーザ光は、反射して前方投影板および後方投影板に投影されて、投影された二つの交点の位置から、レーザ光の軌跡を計算する。鏡面物体表面の三次元位置および面法線

方向は、計算されたレーザ光の軌跡から求める。本測定方法を評価するために、実際に実験装置を構成した。構成した実験装置を用いて、前方投影板および後方投影板において実際に投影された交点の位置を取得して、レーザ光の軌跡を計算した。計算されたレーザ光の軌跡から、鏡面物体表面における三次元位置および面法線方向について、計算値および実際の値を確認した。

今後、カメラによる液体内部における画像の取得、開発した鏡面物体表面の三次元位置および面法線方向を多点同時に測定する方法を用いた液面形状の

計測、画像の歪みの計算および補正を実時間に処理して、補正された画像を出力するために、画像取得装置、計測装置、および画像処理装置からなるシステムの構築を進めて、液面から液体内部の環境をセンシングするカメラシステムを実現する。

## ■移動支援機器を中心とした分散型介護システムの実現

### K25研XVII第430号

池田 英俊(富山高等専門学校 電気制御システム工学科 准教授)

車いすは下肢不自由者の移動手段として世界中で広く用いられているが、段差などの不整地に対する移動能力は低く、その単独行動は制限されがちである。本研究グループでは車いす利用者の生活支援を行う介護ロボットの実現を目指しており、これまで遠隔操作型介護ロボットと手動車いすによる協調段差移動を実現してきた。これは手動車いすへの機能追加を極力避けつつ、介護ロボットを用いて、その能力を飛躍的に向上させるという提案であった。しかし、車いす利用者とロボットの遠隔操作者(介護者)の動作判断や操作が必要なことから、車いすの利用対象者が障害レベルにより、制限されていた。

本プロジェクトの目的は、車いすと移動支援機器である介護ロボットが得た情報をもう一方の介護機器に無線通信で共有し、移動環境に応じて適切な制御を行う介護システムを実現し、その利用対象者を拡大することである。まず、電動車いすへ内外界センサを搭載し、その情報を処理するシステムを構築した。次に、介護ロボットへの外界センサの搭載と自律化に加え、車いすとロボットが得たセンサ情報を無線通信システムでリンクさせるシステムを構築した。また、連結した両車両の移動状況に応じた動作制御プログラムを作成した。最後に実験を行い、提案システムの有効性を検証した。本実験は構築したシステムを用いて、段差高さ120[mm]、摩擦係数 $\mu=0.72$ の環境で行った。被験者(車いす搭乗者)は成人男性(健常者)であり、ロボットの移動速度は一定(0.76 [km/h])とした。なお、本協調段差移動は車いすとロボットが前後に連結し、車いすの前後輪、ロボットの前中後輪の順で行う。

車いすの前輪移動では車いすに搭載した外界センサを使用して、段差検知とロボットとのセンサ情報の共有が可能であり、前輪持ち上げと段差乗り上げを実現した。車いすの後輪移動では、ロボットが段差下から車いすをアシストすることで、車いすの後方転倒回避を行い、後輪段差乗り上げを実現した。その後、ロボットに搭載したセンサ情報から段差検知と車両停止制御が可能であった。ロボットの前輪移動では、ロボットに搭載したセンサ情報を車いすと共有することで、前輪を持ち上げ連結した両車両が前進し、段差乗り上げを実現した。ロボットの中輪(駆動輪)移動では、車いすが段差上からロボットを引き、ロボットの後方転倒回避を行い、中輪段差移動を実現した。最後に、ロボット後輪を格納して協調段差移動を実現した。

以上のように知能化した電動車いすと介護ロボットがそれぞれ検知したセンサ情報を統合し、移動状況に応じて適切な移動制御を行う自律システムを構築した。

今後、さらなるシステムの高度知能化を行うことで、車いす利用者の完全な操作フリー化と外乱に対して強靱なシステムが実現できるものと考えられる。

# 動き

## ☆事務局日誌より☆

### 平成28年

11.16

- 「ロボットシンポジウム2016名古屋」開催  
吹上ホール

3.3

- 第14回評議員会開催  
キャッスルプラザ 3階「鶴の間」

### 平成29年

2.7

- K通信40号発送

3.8

- 内閣府へ平成29年度事業計画報告

2.17

- 第14回理事会開催  
キャッスルプラザ 3階「鶴の間」

## CONTENTS

◇ 平成29年度 助成金交付について .....	1
◇ 応募要領 .....	2
◇ ロボットシンポジウム2016名古屋 .....	3
◇ 第14回理事会開催 .....	3
◇ 第14回評議員会開催 .....	3
◇ フォーラム・シンポジウム等開催助成完了報告 .....	4
◇ 研究助成完了報告概要 .....	7