

環境知能対話グループ - 環境知能対話の研究 - 成果報告

研究組織:

| | | |
|--------------------|--------|-----------------|
| 自然言語処理学研究室 | 松本裕治教授 | (平成21年度～平成25年度) |
| インタラクティブメディア設計学研究室 | 加藤博一教授 | (平成21年度～平成25年度) |
| ロボティクス研究室 | 小笠原司教授 | (平成21年度～平成25年度) |

研究成果の概要 (和文):

広汎な意味での「環境知能対話」を実現するためには、1. 環境から人へと意志を伝達するデバイス、2. 伝達すべき内容を適切に決定するために環境に関する情報を収集・解析するデータマイニング、が必要になる。またロボットを意思伝達のデバイスの一つとした場合、さらに3. 環境知能情報に基づくロボットの行動戦略、4. 身体情報に基づく人とのインタラクション、が必要になる。1. のデバイスに関しては、ユビキタスディスプレイ実験環境を進化させ、フォトモザイク型画像表示システム、拡張現実型ミーティングシステム、プロジェクタカメラシステム等を開発した。また、曲面物体のトラッキング手法、カメラズーム機能の利用を可能としたカメラ位置・姿勢推定手法等を開発した。2. のデータマイニングに関しては、表記揺れに対応する形態素解析手法と系列タグ付けアルゴリズムの拡張、日本語係り受け解析に基づく統語解析の精度向上、および、文の意味解析として述語項構造解析技術と言語表現の意味の構成的演算に関する研究を実施した。また、時系列パターンマイニングアルゴリズムの高速化や文書の更新を考慮した高精度 XML 部分文書検索手法等を開発した。3. の行動戦略に関しては、汎用三次元環境地図の作成手法、および個別ロボット向けの地図への変換手法、混雑環境下での SLAM 技術、セマンティックマップ生成技術等を開発した。4. のインタラクションに関しては、アンドロイドロボットを用いた案内ロボットシステムを構築した。

研究成果の概要 (英文):

Achieving generic *intelligent communication in ambient environment* requires 1) devices to let a person to know the intention of the ambient environment and 2) data mining to decide the knowledge about the ambient environment to decide its intention. If a robot is regarded as one of the devices, 3) strategy to decide robot's reaction while considering the ambient environment and 4) interaction with a person using robot's body are required. For the devices, we improve experimental environment of ubiquitous display to develop displaying system based on photo-mosaic, meeting system in augmented reality, projector-camera interaction system, etc. We develop methods for tracking curved objects and estimating camera position during zooming. For the data mining, we develop methods for morphological analysis of notational variations, generalize sequential labeling algorithms, improve Japanese syntactic dependency analysis, and conduct semantic analysis such as predicate-argument structure analysis and compositional operations of semantic for linguistic expressions. And we develop methods for accelerating mining of time-series patterns and retrieving XML documents, which are often updated, using partially matching. For the strategy, we develop methods for generating a universal 3D environmental map and converting the map for that of each individual robot, and develop SLAM under dynamic environment and a method for generating a semantic map. For the interaction, we develop a receptionist android robot.

キーワード: ユビキタスディスプレイ, 拡張現実感, プロジェクタカメラシステム, トラッキング, カメラポーズ推定, 頑健な言語解析, 表記揺れ, 形態素解析, 係り受け解析, 述語項構造解析, 時系列パターンマイニング, 文書検索, 汎用三次元地図, SLAM, 動的環境, セマンティックマップ, アンドロイドロボット, 案内ロボット

1. 研究目的

広汎な意味での「環境知能対話」を実現するためには、(1)環境から人へと意志を伝達するデバイス、(2)伝達すべき内容を適切に決定するために環境に関する情報を収集・解析するデータマイニング、が必要になる。またロボットを意思伝達のデバイスの一つとした場合、さらに(3)環境知能情報に基づくロボットの行動戦略、(4)身体情報に基づく人とのインタラクション、が必要になる。

(1)のデバイスに関しては、拡張現実感、プロジェクタディスプレイシステム、物体・カメラトラッキング等を開発・構築した。(2)のデータマイニングに関しては、表記揺れに対応する形態素解析、頑健で高速な文の統語解析手法、述語項構造解析、言語表現の構成的意味演算、時系列パターンマイニングアルゴリズム等を開発・構築した。(3)の行動戦略に関しては、環境認識のための三次元環境地図生成技術、人・ロボット共存環境での SLAM 技術、セマンティックマップ等を開発・構築した。(4)のインタラクションに関しては、案内ロボットシステムおよび周辺技術を開発・構築した。

2. 研究方法

(1) 環境から人へと意志を伝達するデバイス: ユビキタスディスプレイ実験環境を進化させ、フォトモザイク型画像表示システム、拡張現実型ミーティングシステム、ユビキタスディスプレイ環境におけるウィンドウマネージメント手法、実物の見えを変化させるプロジェクタカメラシステムを開発する。また、曲面で構成される物体のトラッキング手法、カメラズーム機能の利用を可能としたカメラ位置・姿勢推定手法を開発する。また、利便性と学習効果を共存させたインタフェースの開発、事前の共有知識に基づくウェアネス支援のための情報可視化手法を開発する。さらに、ユーザ実験を通して拡張現実感が持つ様々な特性を明らかにする。

(2) 環境に関する情報を収集・解析するデータマイニング: 従来の言語処理と異なり Web 上などの自由な記述の文書中に頻繁に存在する、タイプミス、省略語、俗語、あるいは、故意による当て字や伏せ字など、種々の定形外の記述への対応を目指して、表記の可能性を生成しながら適切な形態素列を解析する形態素解析手法の構築と系列タグ付けアルゴリズムを拡張することによって種々の素性情報を柔軟に利用することが可能になる系列タグ付け手法に関する研究をおこなう。また、文章の理解のため、文の統語構造解析の精度向上を目指し、トップダウンとボトムアップ両方の解析を融合し、さらに曖昧性を柔軟に解消しつつ係り受け解析を行うことができる統語解析アルゴリズムの開発、および、文中に現われる述語の意味上の主語や目的語を文章中から発見する手法の研究をおこなう。既存の時系列パターンマイニングアルゴリズム PAID の時間的局所性を向上させる CC-PAID と、データアクセスの効率化により計算量と CPU のキャッシュミスの削減を図った CCDR-PAID 手法を開発する。また、ローストアとカラムストアのデータ格納方法をハイブリッドで利用する手法を開発する。さらに、情報推薦などにおいてスカイライン点だけではなく、スカイライン付近に存在するデータを R 木などの範囲問い合わせを用いて探索する手法を開発する。そして、文書の更新を考慮した高精度 XML 部分文書検索手法を開発する。

(3) 環境知能情報に基づく移動ロボットの行動: 測量ロボットを構築し、簡便に汎用三次元環

境地図を構築する手法を作成し、汎用三次元環境地図を個々のロボット向けの地図に変換することにより、同一の座標系で種々のロボットを動かす技術を構築する。カメラ一つで作成可能な三次元特徴点地図を用いて移動ロボットを目標通り動かす手法を構築する。また、スキャンマッチング手法を外れ値に頑健にすることにより、人・ロボット共存環境での SLAM 技術を構築する。アフォーダンスと呼ばれる環境が人の行動選択に対する働きかけを明らかにするために、人・環境を同時計測したデータからセマンティックマップを構築する。

(4) 身体情報に基づく人とのインタラクション: 人と外見が酷似したアンドロイドロボットを用いて、人と同様な自然な立ち居振る舞いを実現するためのデータベースを利用したリアルタイム動作生成の手法を構築し、その技術を基礎として案内ロボットシステムを構築する。また構築に必要な技術として、データベースの構築を簡略化する技術、対話システムの拡張性をあげる技術を構築する。

3. 研究内容・研究成果

3.1. 環境から人へと意志を伝達するデバイスに関する研究

(フォトモザイク型画像表示システム)

高精細ディスプレイ向けの高解像度なフォトモザイク画をリアルタイムに生成する手法を開発した。具体的には、近似最近傍探索と GPU による合成により HD 画質 (1920x1080) や 4K 画質 (4096x2160) の高解像度フォトモザイク画像を 20fps 程度の速度で生成することを可能にした。

また、タッチディスプレイと組み合わせることで、インタラクティブにフォトモザイク画を生成するシステムを構築した (図 35)。さらに、このフォトモザイク生成手法を用いた画像の関連性提示手法を開発した。

(拡張現実型ミーティングシステム)

ユビキタスディスプレイ実験環境を用いたミーティングシステムを開発した。拡張現実型ミーティングシステムでは、ユーザの状況を離れた場所にいる状況と同じ場所にいる状況に分類し、それぞれの状況におけるコミュニケーションをサポートするシステムを構築した。離れた場所にいる状況に対しては、相手の身体の一部などを自身が写り込んだカメラ映像中に重畳表示することで、コミュニケーションをサポートする HANDY システムを構築した (図 36)。一方で、同じ場所にいる状況に対しては、ミーティング参加者の理解度をカメラ映像中に表示することや発表者に対するコメントを提示することでコミュニケーションを支援する Meetsu システムを構築した (図 37)。ユーザ実験により、これらのシステムは魅力的かつ使いやすいコミュニ



図 35 インタラクティブフォトモザイク

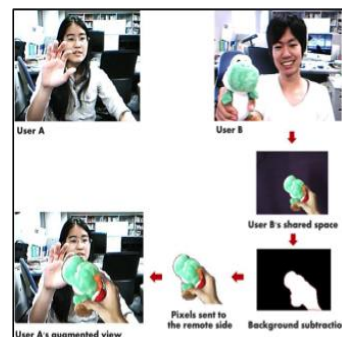


図 36 HANDY システム

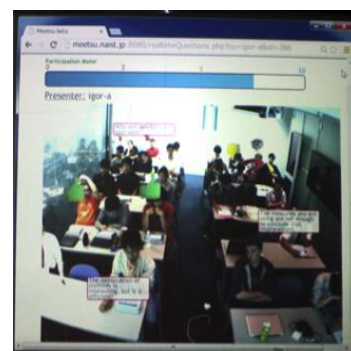


図 37 Meetsu システム

ケーションツールであるという知見が得られた。

(カメラ-プロジェクタフィードバック系からなるディスプレイシステム)

ユビキタスディスプレイ実験環境を進化させ、実物の見えを変化させるプロジェクタカメラシステムを開発した。フォトタッチソフトの様に現実世界で物体の見えを変化させる技術を開発した。具体的には、プロジェクタとカメラを用いたフィードバック系に反射率計算を用いた見えの推定とモデル予測制御を用いることで、彩度の強調、色彩の除去、エッジの強調、色相の調整明度の均一化などを実現している(図)。さらに、このプロジェクタカメラ系を用いて陰影除去を行うことで物体認識の精度を向上させる手法を開発した。また、反射率計算だけでなく環境光も推定する技術の基礎開発をおこなった。



図 38 カメラ-プロジェクタフィードバック系による見えの制御

(デザイン支援のための柔軟マーカを用いた投影型拡張現実感システム)

投影型拡張現実感システムは複数の人が同じ情報を容易に共有可能であるという特長を持つことから、工業製品に対するデザイン支援を目的としたシミュレーションシステムへの応用が期待されている。しかし、これまでに提案されている手法では、投影対象の物体は剛体であることを仮定しており、形状デザインをその場で変更するようなデザインシミュレーションを実現することは困難であった。この問題に対して、本研究では、柔軟物体の形状情報に基づいて適切にテクスチャの投影を行える投影型拡張現実感システムを構築することで、形状デザインの変更が可能なデザインシミュレーションを実現する。具体的には、カメラ-プロジェクタ系を用いた三次元形状計測と物体表面に設置したマーカパターンを認識することにより、物体が変形した場合においても物体表面に適切にテクスチャを投影することを可能とした(図 39)。

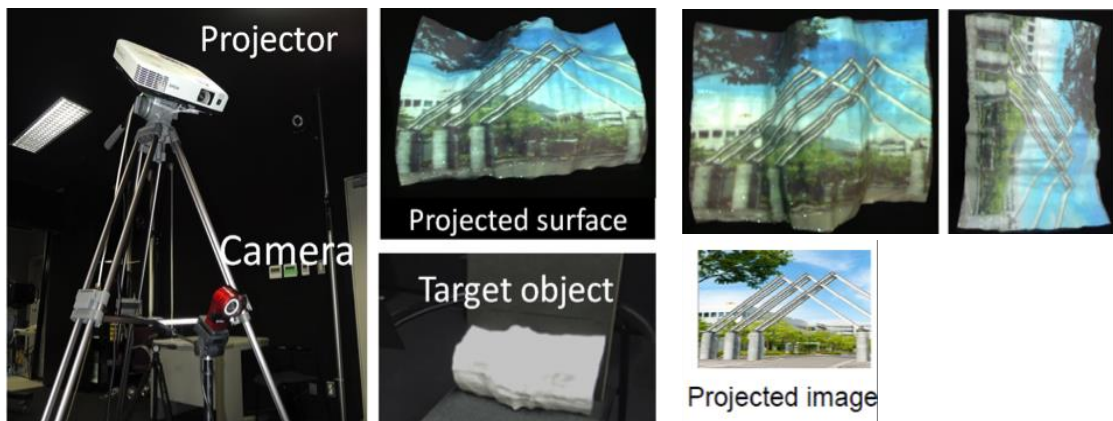


図 39 柔軟マーカを用いた投影型拡張現実感

(ユビキタスディスプレイ環境におけるウィンドウマネージメント)

広大なユビキタスディスプレイ環境において大きな移動や動作を必要とせずにウィンドウを操作できるインタフェースを開発した(図 40)。具体的には、ユーザ実験を通して広大なディス

プレイ環境においても大きな移動や動作をせずにディスプレイ内に散在するウィンドウを操作できるインタフェースの設計指針を構築した。主な操作としてウィンドウの選択、移動、サイズ変更に焦点を当て、カーソル式、縮小図式、リスト式の三種類のウィンドウ操作インタフェースを提案した。そして、広大なディスプレイ環境で求められる操作状況の中で、ウィンドウの距離・数・重なり度合いの三つの変化について、それぞれに対する各種インタフェースの特性を確認した。



図 40 広大なディスプレイ環境におけるウィンドウ操作

(テクスチャの無い三次元曲面物体のモデルベースドトラッキング)

テクスチャの無い三次元曲面剛体物体のトラッキングフレームワークを構築した。三次元物体のトラッキングには事前に作成した三次元モデルを用いるが、高精度な三次元モデルを用いた場合には、ポリゴンメッシュ数が多くなりリアルタイムでの推定が難しくなる。本研究では、この問題に対して、粗なポリゴンメッシュを用いた場合においても高精度なトラッキングを維持することができる手法を開発した(図 41)。具体的には、メッシュ内の各パッチについて一般的な二次多項式を計算し、物体の輪郭の滑らかな局所近似を与える表現する手法を考案することで、計算効率と推定精度の両立を実現した。また、物体によっては、視点位置によって推定可能な自由度が変化し、トラッキング処理が破綻する問題があったが、提案するフレームワークでは、推定可能な自由度についても逐次推定することで、トラッキング処理の破綻を回避することを実現した(図 42)。さらに、応用としてラピッドプロトタイピングのための拡張現実感システムを構築し、ユーザ実験により、本システムが有効であることを確認した(図 43)。



図 41 粗なポリゴンメッシュを用いたトラッキング

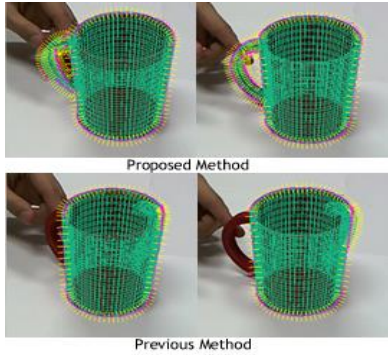


図 42 推定可能な自由度の変化への対応

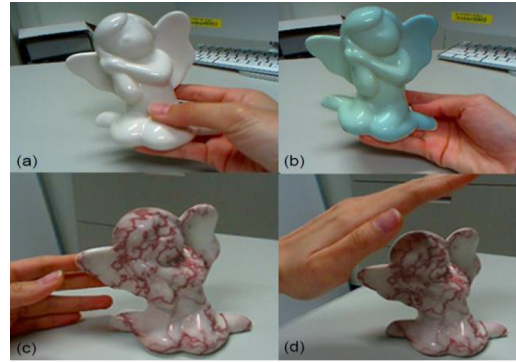


図 43 ラピッドプロトタイプングへの応用

(ズームによるカメラパラメータ変化を考慮したカメラ位置・姿勢推定)

これまでの拡張現実感では、提示装置としてヘッドマウントディスプレイを想定しており、カメラズームのような機能はユーザに違和感を与えるため利用されていなかった。そのため、拡張現実感を実現するには、カメラの内部パラメータはキャリブレーション時の状態で固定し、カメラの位置・姿勢のみをオンラインで推定することで位置合わせを実現していた。一方、近年ではスマートフォンやタブレット端末を用いたアプリケーションでの拡張現実感技術の利用が増えている。これらの機器の多くはズーム機能を有しているが、カメラの内部パラメータがズーム値に依存して変化するため、ズーム機能を利用した際の現実環境と仮想環境の位置合わせは難しいという問題があった。そこで、本研究では、ズーム機能利用時の内部パラメータをカメラの位置・姿勢の推定と同時に推定することで、ズーム機能を利用した場合においても高精度な位置合わせを実現した (図 44)。

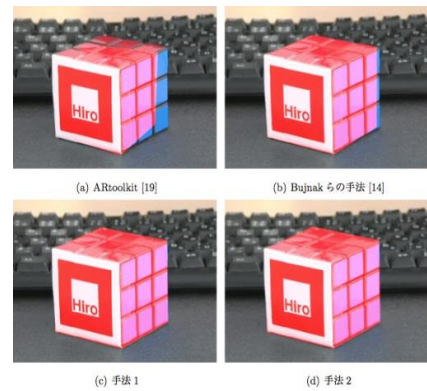


図 44 カメラズーム利用時の仮想物体重畳表示結果

(利便性と学習効果を共存させたナビゲーションシステム)

システムの持つ便利さは時にユーザのシステムへの依存とユーザの能力低下も招きかねない。本来ユーザ自身が解決できたタスクでも、システムを使用したことで能力の低下が発生し、自力で解決ができなくなる危険性がある。そこで、本研究ではナビゲーションシステムを具体例に、ナビゲーションシステムが持つ利便性を維持しつつも、ユーザへ経路の記憶を促すシステムを開発した (図 45)。ユーザ実験により、従来のナビの利便性がもたらす経路記憶への阻害を確認したほか、インタフェースの改善により利便性と学習効果の共存が可能であることを示した。



図 45 利便性と学習効果を持つナビゲーションシステム

(事前の共有知識に基づくアウェアネス支援のための情報可視化)

本研究では遠隔環境間におけるメンバーのプライバシーに配慮したアウェアネス支援の実現を目指し、日常生活を共にする中で獲得される事前共有知識に基づき、共在人数（同一空間における共にいる人数）の伝達によりプライバシーに配慮したアウェアネス支援をおこなった（図46）。伝達手段として、共在人数の可視化を行う3種の異なる表示形式（リスト表示、花形表示、渦巻き表示）を考案し、ユーザ実験を通して、共在人数という僅かな情報の提示であっても、事前共有知識を持った間柄においては高精度で相手の状況を推測できることを確認した。

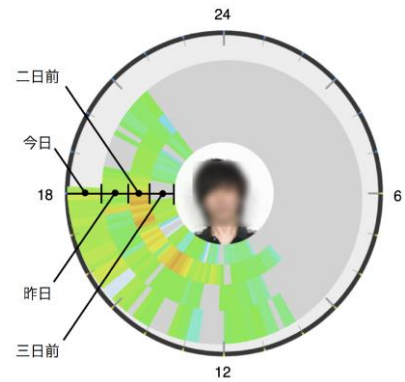


図 46 共在人数の可視化によるアウェアネス支援

(拡張現実感における情報提示の特性とユーザの記憶効率の関連性)

拡張現実感の有効性については今までに多くの研究がなされているが、今現在実証されている有効性は、実世界上に重畳表示された情報の視認性など、視覚に関係したものが主となっている。しかし、この技術の特徴として拡張現実感でユーザに提示される情報は、本質的に「実世界上の位置」という情報を含んだものとなる。一方、人間の記憶メカニズムには位置に関連付けられた情報は記憶しやすく、また想起しやすいという特性がある。以上の二つの事実より、拡張現実感による注釈表示において「対象物体の位置に関連付けて情報を表示した場合、無関係な位置に表示した場合と比較して、それを見たユーザの記憶に特定のポジティブな影響を及ぼす」という仮説を立て検証をおこなった。複数の被験者実験を通して、対象物体の位置に関連付けた表示を行った場合とそうでない場合の記憶結果の間に上記仮説を立証するいくつかの有意な差が見られた。

(拡張現実感における観賞のための仮想物体提示方法に関する検討)

位置合わせと奥行き関係の整合性の二要素に関して、歴史体験の質を向上させるために有効な拡張現実感の表現方法について検討した。位置合わせ手法については、特別な補正無し、提示位置固定、三次元位置補正の3種類の位置合わせ手法について比較し、観賞という目的に対してどのような提示手法が有効かを検証した。また、遮蔽物の透過表現の違いが、文化財の観賞や体験の質の向上にどのように影響するのかを明らかにし、文化財の観賞に有効な表現方法について検討した（図47）。さらに、得られた知見に基づくシステムを試作しユーザ実験を通して拡張現実感を用いた歴史体験システムの有用性について検証した。



図 47 異なる合成方法による仮想物体の提示

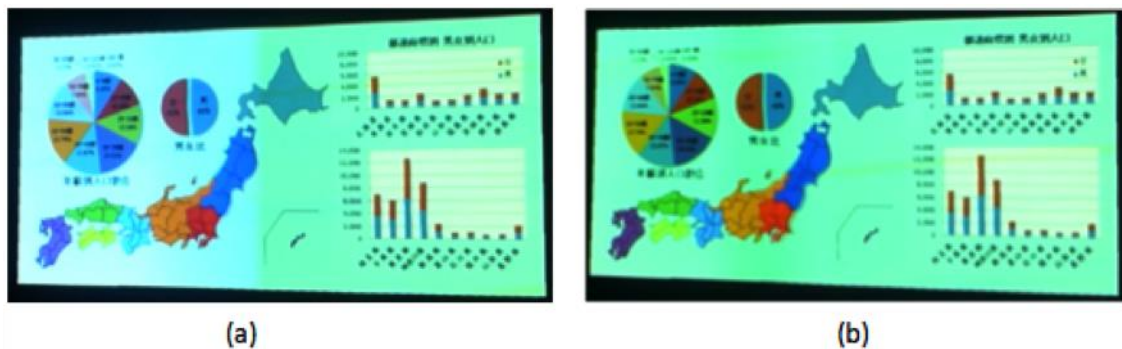


図 48 複数台のプロジェクタを用いた投影像合成, (a)補正前, (b)補正後

(複数の携帯型プロジェクタによる投影面合成時の相対的色補正)

プロジェクタの小型化高性能化の開発技術の向上と共に考案されている、複数台を用いた複数人での情報閲覧というインタラクションの中で、複数のプロジェクタ投影像で構成される全体の見えが適切になるように統一的に調色する技術を開発した。複数台のカメラを取り付けた小型プロジェクタを用いて、光の減衰を補正することによって、一方の基準となる投影像を基にもう一方の投影像を相対的に調色することで、統一感のある合成画像を実現した (図 48)。

(高齢利用者のための投影型インタフェースの開発)

超高齢社会である現状を踏まえ、さらなる少子化高齢化が進むなか生じる社会的困難を回避すべく、高齢者の生活を支える ICT 技術の開発に目を向けたインタフェース開発を実施している。特に弱認知症を伴う高齢利用者を対象とし、自立した生活の実現、Quality of Life の維持などを目標にして取り組んでいる。その一つとして、生活を送る上で重要な「食」に着目し、台所での作業を支援する投影型システムを開発し、その投影方法の有効性



図 49 投影型システムによる指示情報提示例

について検証した (図 49)。また、その投影システムを介して、遠隔にいる介護者が指示を与えるためのインタフェースの開発もおこない、その実用性について提案方法の有意傾向が確認された (図 50)。さらに、投影型机上面インタフェースを利用するにあたり、若年者や認知症を伴わない健常者との間に違いがないかの調査を踏まえ、高齢者向けに複数のインタフェースを提案し、その有効性について検証した (図 51)。

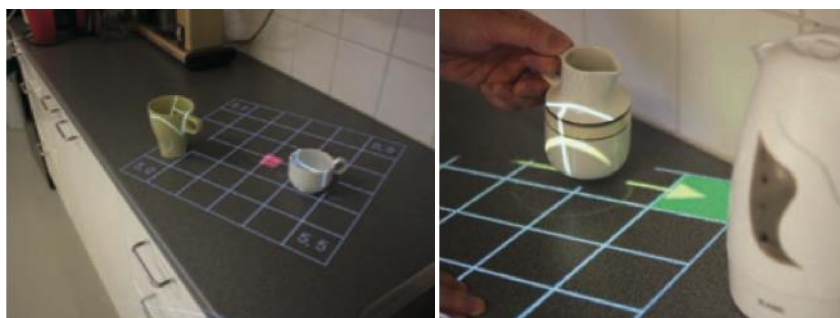


図 50 グリッド投影による円滑な指示の実現

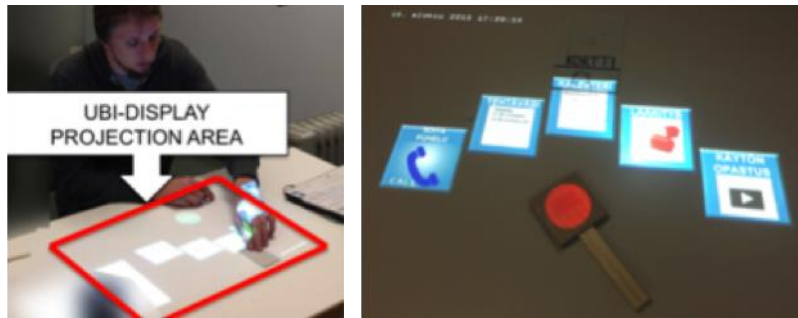


図 51 投影型机上面インタフェース，左：全体像，右：投影インタフェース

3.2. 環境に関する情報を収集・解析するデータマイニングに関する研究

(任意の素性を扱うための系列タグ付けアルゴリズムの一般化)

形態素解析や固有表現認識のために現在最も性能がよいと考えられている条件付き確率場 (Conditional Random Fields) は、系列内の素性の全出現を考慮して、その重みを学習することによって最適のパラメータ学習をおこなう。しかし、素性の組み合わせは利用者が明示的に指定する必要がある。このアルゴリズムを、素性の任意の組み合わせを考慮できるように一般化したアルゴリズムを提案した。

(表記揺れを考慮した形態素解析)

Web 上の blog や twitter に現われる文章には、当て字や伏せ字などの表記の揺れが多数観測される。このような表記のバリエーションすべてを辞書に登録することによって対応するのではなく、その場その場で柔軟な解析をおこなう必要がある。表記から得られる発音から想起される語を生成することにより、表記揺れを認識して形態素解析をおこなう手法を提案した。

(トップダウン・ボトムアップ両方向からの係り受け解析アルゴリズム)

日本語係り受け解析の精度向上を目指し、従来のボトムアップ情報だけでなくトップダウン情報をも利用した係り受け解析アルゴリズム、および、曖昧性をパックした統語森を利用することで、曖昧性を保持しつつ最適の解析結果を抽出する係り受け解析アルゴリズムを提案した。

(言語表現の構成的意味計算)

基本的な文の意味を構成する動詞や形容詞などの述語と、その意味上の主語や目的語を文章中から同定する技術について、複数の動詞の解析を同時におこなう手法、および、述語と項の候補の位置関係の種類によって解析法を実装し、それらの結果を直接比較することによって性能向上を実現する手法を提案した。また、単語および句の意味を分布表現によって記述する方法と構成的な意味計算をおこなう手法を提案した。

(時系列パターンマイニングアルゴリズムの高速化)

既存の時系列パターンマイニングアルゴリズム PAID の CPU キャッシュの利用効率に着目し、時間的局所性を向上させる CC-PAID と、データアクセスの効率化により計算量と CPU のキャッシュミスの削減を図った CCDR-PAID を提案した。PAID, CC-PAID, CCDR-PAID の処理時間と CPU のキャッシュミスと実行命令数等の測定を行い、CC-PAID と CCDR-PAID の有効性を確認した。結果として、PAID に対して CC-PAID は最大で約 55%処理時間が短縮され、CC-PAID に対して CCDR-PAID は最大で約 22%、処理時間が短縮された。また、PAID

に対して CCDR-PAID は最大で約 64%処理時間の短縮が確認された。更に、並列処理による評価も行い、スレッド数 1 に対して 6 の時、PAID, CC-PAID, CCDR-PAID はそれぞれ 4 倍以上の速度向上となった。

(ローストアとカラムストアの組合せによる消費電力量を考慮した OLAP 問合せ処理)

ローストアとカラムストアのデータ格納方法をハイブリッドで利用することによって、ビッグデータに対する OLAP 処理において、これまで重要とされてきた処理速度だけでなく消費電力量にも考慮した問合せの処理を実現した。本研究では、ローストアとカラムストアそれぞれにおいて有効なクエリ特性が存在することからハイブリッド構成によるアプローチに着目し、これまで処理速度中心の改善を目指してきたデータベース管理システムに対して、OLAP 処理に着目し処理速度だけではなく消費電力量も考慮したシステムを構築した。実験により、TPCH(ScaleFactor=20) のクエリ 5 においてハイブリッド構成で実行時間がローストアの 74.9%、カラムストアの 23.4%、消費電力量ではローストアの 75.8%、カラムストアの 19.8% という結果が得られた。

(スカイラインの近傍を探索可能な拡張スカイライン演算に関する研究)

スカイライン演算をおこなう際に、スカイライン点だけではなく、スカイライン付近に存在するデータを R 木などの範囲問い合わせを用いて探索する手法を開発した(図 52)。本研究では、範囲問い合わせ領域の指定を、スカイライン上を楕円体が移動した軌跡による近傍領域に含まれるデータを抽出することによって実現した。

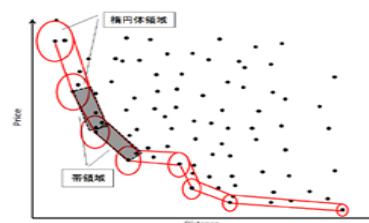


図 52 拡張スカイライン演算による情報推薦

(文書の更新を考慮した高精度 XML 部分文書検索)

文書の更新を考慮した高精度な XML 部分文書検索を実現した。検索システムにおいて、文書の更新に対応しなかった場合、適切な検索結果を提示できず検索システムの利便性が低下するが、文書の更新発生時に検索索引を一から再構築した場合には索引構築時間が長時間に及ぶという問題が生じる。本研究では、これらの問題を解決するために索引の差分更新をおこなった。既存の XML 部分文書検索システムに索引の差分更新機能を付与し、高速な差分更新をおこなうために文書中の重要な箇所と索引語のみを索引へ追加するためのフィルタと、正確な大域的重み推定のための path 式統合手法を用いた索引語の重み付け手法を開発した。これにより、単純な差分更新と比較し、検索精度を 4% 向上させつつ、索引の更新速度を 25% 高速化されるという結果が得られた。

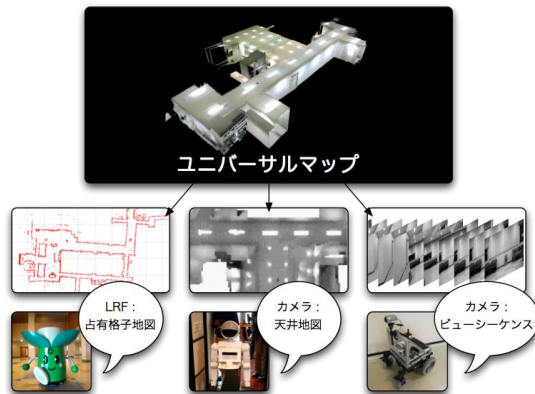


図 53 汎用 3 次元地図 (ユニバーサルマップ) とその応用

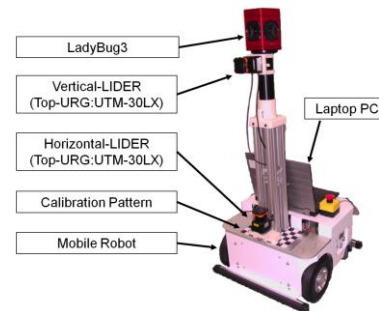


図 54 測量ロボット

3.3. 環境知能情報に基づく移動ロボットの行動に関する研究

(汎用三次元環境地図を用いた個別ロボット向け地図の簡便な生成手法)

テクスチャ付き汎用三次元環境地図を簡便に作成するロボット計測システムと、個別のロボットに搭載されたセンサに合わせて個々のロボット向けの地図を生成する手法を構築した (図 53)。ロボット計測システム (図 54) は全方位カメラと水平、垂直に配置された二つの LIDAR からなり、水平 LIDAR を使い SLAM 手法を用いて計測中のロボットの軌跡を推定する。垂直 LIDAR および全方位カメラのデータを推定された軌跡にあわせて世界座標系に投影することで、汎用三次元環境地図を作成する。作成された汎用三次元環境地図から断面図を作成したり、仮想カメラからの見えを描画したりすることで、個別のロボット向けの地図を作成する。実際に汎用三次元環境地図から作成された地図を利用してロボットを誘導することに成功した。

(ビューシーケンスナビゲーションの教示作業の簡便化)

各々が撮影した写真やインターネット上に存在する写真から三次元特徴点地図を構築し、ビューシーケンスナビゲーションの技術を用いて移動ロボットを誘導する手法を開発した (図 55)。Photosynth の技術を用いることで、撮りためた写真から特徴点を抽出し、その三次元位置を推定することができ、三次元特徴点地図を構築することができる。三次元特徴点地図中で目標経路を指定することで、経路上の特徴点の方向ごとの出現頻度を計算することができる。実際に観測された方向・出現頻度の関係を一致させるように進行方向を調整することで、ロボットを誘導することに成功した。



図 55 3 次元特徴点地図を用いたビューシーケンスナビゲーション

(混雑環境下でのスキャンマッチングに基づく SLAM 技術)

屋内、屋外を問わず利用でき、人などの移動体が存在する動的環境下で利用可能なスキャンマッチングに基づく SLAM 技術を開発した (図 56)。Iterative Closest Point (ICP) 法に基づくスキャンマッチングは精度等の実応用的な面で注目され続けている。ICP 法では対応点間の距離の L2 ノルムを最小化することにより実現されているが、一般的に L2 ノルムは外れ値 (SLAM においては移動体のデータに対応) に弱いことが知られている。より外れ値に強い L0 ノルムを利用することで上述の問題を解決する方法を提案した。全体の計算を高速化するために Locality Sensitive Hashing (LSH) を改良して利用する方法を提案し、重点的サンプリングに

基づく最適化手法と組み合わせ

合わせてリアルタイム性

を実現した。また、同時にパーティクルフィルターによるトラッキングと、Rapidly-exploring Random Tree (RRT) による経路計画と組み合わせることで、簡便な指示で移動ロボットを遠隔操作できるシステムの開発に成功した (図 57)。



図 56 動的環境下での SLAM の例

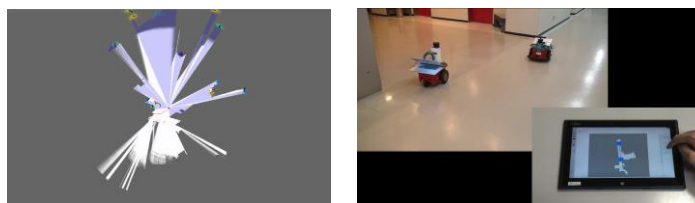


図 57 (左) ロボットの処理の様子, (右) 遠隔操作の様子

(セマンティックマップ)

環境とそこでおこなわれる人の行動との関連をデータベース化したセマンティック環境地図を構築する手法を開発した。環境の三次元形状はこれまで開発してきたモデリング技術を利用し、人の行動はウェアラブルモーションキャプチャシステムを利用することで計測した。人と環境の関係は別途 LIDAR を利用することで位置合わせした。取得されたモーションキャプチャデータの各フレームにおいて我々が提案する動作特徴量を抽出し、k-means 法によりクラスタリングし、それぞれのクラスタに対応する動作の名前を付与することで、アノテーションの手間を削減した。また、手先、足先等の末端部分の加速度を計算し、最大となる点を動作点として、3次元形状データの対応する領域に行われた動作の種類を付与することで、図 58 に示すセマンティックマップを作成することができた。

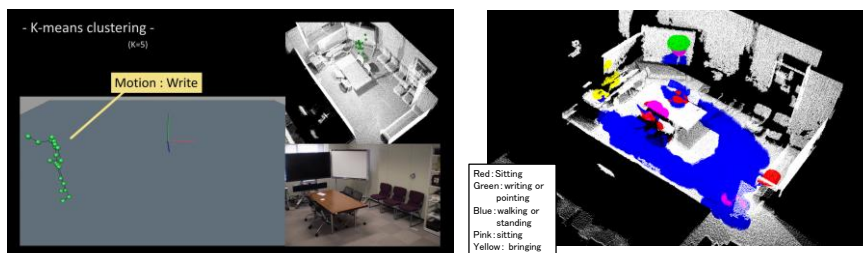


図 58 (左) 観測されたデータ, (右) 取得されたセマンティックマップ

3.4. 身体情報に基づく人とのインタラクション

(アンドロイドロボットを用いた案内ロボットシステム)

人に酷似した外見を有するアクトロイドロボットを用いた案内ロボットシステムを構築した(図 59)。一般的に案内ロボットシステムには、会話中の突然の割り込みに対応できることや、ジェスチャを含むマルチモーダルな対話を実現する必要がある。さらに、アクトロイドロボットを利用する際には、ジェスチャの自然さなど、人らしい振る舞いが求められる。そこで我々は、モーションキャプチャシステムにより計測されたジェスチャデータベースを使い、マッチウェブやモーショングラフのようなモーション編集の技術と、我々が提案したリアルタイム衝突回避アルゴリズムを組み合わせることで、上記3つの問題を解決することに成功した。平城京遷都1300年記念祭において実証実験をおこない、対話システムの有効性を示した。

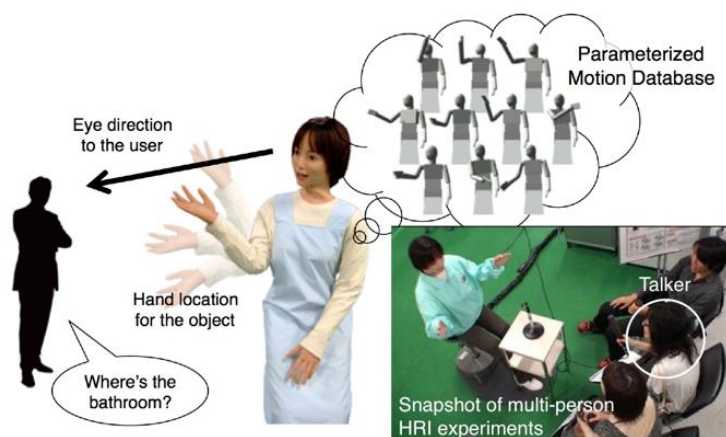


図 59 アンドロイドロボットを用いた案内ロボットシステム

(動作データベース構築の簡略化)

上記システムのジェスチャデータベースを構築する際に、同じ意味を持つジェスチャ(指さし、お辞儀といったレベルで同じジェスチャ)ごとに分類する必要がある。そこで、Bag-of-wordsのアイデアを利用し、まず動作を周波数領域で表現し、k-means法を適用してmotion-wordsを生成し、motion-wordsの出現頻度に基づき分類するBag-of-motion-featuresを提案した。人型ロボットアクトロイドの動作データベースに、Bag-of-motion-featuresを適用し、手差しやお辞儀等の動作分類を実現した。

(拡張が容易な対話システムの構築)

上記システムにおいて、音声認識システムを変更したいとか、近年になり広く使われるようになったRGB-Dセンサを追加利用したいといったリクエストに答えるため、システムの拡張が容易であることは非常に重要である。我々は、近年Webデータベースで利用されるkey-valueストアのアイデアを利用し、すべてのコンポーネントがkey-valueストアを通じて通信するシステムを提案した。平城京遷都1300年記念祭において実証実験をおこなった案内ロボットシステムに搭載し、高い稼働率を実現することができた。

(環境知能対話グループ成果取り纏め: 高松 淳)