

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 11 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2010～2013

課題番号：22300025

研究課題名(和文) 現実環境を融合するユビキタスネットワーク技術に関する研究

研究課題名(英文) Research on Reality-Environment Integrated Ubiquitous Network Technologies

研究代表者

福田 晃 (FUKUDA, AKIRA)

九州大学・システム情報科学研究科(研究院・教授)

研究者番号：80165282

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,800,000円、(間接経費) 4,140,000円

研究成果の概要(和文)：本研究課題では、目の前の人との通信、拡張現実技術を通して誘発される通信、すれ違い通信など、現実環境を抛り所にした通信にいち早く着目し、これらの通信を効果的に支援する新たなネットワーク基盤技術を実現した。具体的には、本研究課題では、(1) 無線ネットワークの構築技術、(2) 通信対象の特定技術、(3) 周辺情報の分散検索技術、を研究の柱として掲げ、各技術に関する課題とその解決策を示した。特に、現実環境上での直感性を活かしながら、利便性、安全性、操作性に優れたネットワーク基盤を確立した。また、提案技術をシミュレーションまたは実機上に実装し、評価を通して提案技術の有効性を明らかにした。

研究成果の概要(英文)：This research project focused among the first on communication existing in reality environment. Specifically, this research project put its emphasis on technologies of (1) network construction, (2) identification of communication targets, and (3) distributed search of surrounding information, and suggested research topics for each of these technologies and corresponding solutions. In particular, this research project established the foundations of networks, which are prominent with respect to convenience, security, and operability while taking into account intuitions within reality environment. In addition, this project simulated or implemented the proposed technologies on real machines, the evaluation results based on which demonstrated the effectiveness of these technologies.

研究分野：情報工学

科研費の分科・細目：情報学・計算機システム・ネットワーク

キーワード：ユビキタスコンピューティング 実空間指向コンピューティング

1. 研究開始当初の背景

生活の至る所にコンピュータが存在するユビキタス情報社会において、現実環境における人や機器の存在を抛り所にして、コンピュータ間の通信が誘発される状況が今後ますます増加すると予想される。たとえば、目の前の人とのデータ交換、AR 技術を通してアノテーションされた機器との通信、すれ違い通信などがある。このような通信（現実環境指向の通信）では、通信対象が現実環境から見出されることに加えて、コミュニケーションの主体が現実環境にある点が特徴的である。従って、従来までの通信とは異なり、現実環境から得られる直感性を活かすこと（現実環境を融合すること）が重要となる。しかしながら、現状の実現方法は、従来のネットワーク基盤技術を流用するだけに留まっており、現実環境をうまく融合し、直感性を活かした通信が実現できているとは言い難い。このような通信は、今後ユビキタス情報社会において新たな通信形態の主流となる可能性を秘めており、通信を含めた周辺技術を整備することは、ユビキタス環境の新たな適用分野を拡大する上で重要な検討課題である。本研究課題では、現実環境指向の通信を支援するために、直感性を失うことなく、利便性、安全性、操作性に優れた新たなネットワーク基盤技術を確立することを目指す。ユビキタスコンピューティングに関する国内外の多くの研究では、利用者からシステムを隠蔽し、様々なことを自律的にシステムが提供することで、利用者からシステムを意識させない環境の構築を目指していた。本研究課題では、直感性を失うことなく現実環境上でネットワーク技術をどのように融合するのかに着目し、融合しやすいように基盤技術を再設計することに意義があると考えられる。一方で、実空間指向コンピューティングが現在注目を集めている。実空間指向コンピューティングでは、利用者が直感的にシステムを操作できるよう基礎的なユーザインタフェースの研究が取り組まれている。本研究課題では、ユーザインタフェースだけでなく、通信を支援するシステム全体を研究対象とする。

2. 研究の目的

本研究課題では、目の前の人との通信、拡張現実(AR: Augmented Reality)技術を通して誘発される通信、すれ違い通信など、現実環境を抛り所にした通信にいち早く着目し、これらの通信を効果的に支援する新たなネットワーク基盤技術の実現を目指す。具体的には、本研究課題では、(1)無線ネットワークの構築技術、(2)通信対象の特定技術、(3)周辺情報の分散検索技術、を研究の柱として掲げ、各技術に関する課題とその解決策を探求する。特に、現実環境上での直感性を活かし

ながら、利便性、安全性、操作性に優れたネットワーク基盤の確立を目指す。また、提案技術をシミュレーションまたは実機上に実装し、評価を通して提案技術の有効性を明らかにする。

3. 研究の方法

(1) 基本設計

まず、現実環境指向の通信を支援するために、直感性、利便性、安全性、操作性に優れたネットワーク基盤技術の課題を洗い出し、利用者の立場を考えてどのように解決するのかを考察する。また、既存の技術を取り入れる場合、必要ならば直感性を失わないようにその技術を再構築することを視野に入れて検討する。この設計段階において、「コンピュータネットワーク上に構築される論理的な空間を、現実環境の上でどのように表現するのか」という点が重要になると考えており、利用者の混乱を招く恐れがある過度の表現を懸念しつつ、最小限の表現で最大の効果が得られるようにシステムの基本設計を慎重に検討する。

(a) 通信対象の特定技術の設計

通信対象の特定技術に関しては、主に田頭茂明(研究分担者)と荒川豊(研究分担者)が担当する。アドレッシング技術に関しては、利用者に関する現実環境情報を用いて、通信端末の統一的なアドレス割り当て手法を確立する。機器のアドレスは、利用者からみて相対的に構築されることから、絶対的なアドレスと相対的なアドレスを階層的に管理する。通信相手の特定技術に関しては、利用者が直感的に通信相手を特定できるようなユーザインタフェースを構築する。通信可能端末の収集技術は、従来までのスキニング技術を現実環境情報を基に効率化し、収集できる範囲と機能を柔軟に設定できるように構築する。また、端末のアドレスと実際の端末とが実際に一致しているのかを検証する仕組みを検討する。特に、インフラを必要としない環境を想定して、これらの検証を実現する仕組みを構築する。

(b) 周辺機器が持つ情報の分散検索技術の設計

周辺機器が持つ情報の分散検索技術に関しては、主に田頭茂明(研究分担者)が担当する。インデキシング技術および分散検索技術を P2P アーキテクチャで効率的に実現するシステムを設計する。先行研究の参考にてできる部分や優れた部分を参考にして、問題点とされる部分については可能ならばその解決策を検討していく。インデックスの管理に必要なデータ構造に関して、特に、情報へのポインタ、統計情報、情報間のリンク情報を分散的にうまく管理できる構造を設計する。またインデックスの分散管理および分散検索を実現する具体的なプロトコルを検討する。分散検索を DHT(Distributed Hash Table)上

で実現する手法を考察し、必要なデータ構造を検討する。情報へのアクセスはDHT上のルーティングが必要になることから、ルーティング時のメッセージ量や記憶容量などに注意して設計する予定である。

(2) シミュレーションによる評価

上述した各要素技術を、シミュレーションにより評価/考察し、改良点を洗い出す。評価項目としては、通信負荷、応答速度、スケラビリティなどを考えているが、さらなる検討を行う。

(3) テストベッド環境の構築と評価

テストベッド環境を構築し、提案システムを実装する。テストベッド環境は、あえて研究用に特別な部屋を構築することせず、研究代表者、研究分担者および研究協力者(大学院生)が実際に研究生生活を営む研究室に構築することで、リアルな体験を積み重ねていけるテストベッドとする。テストベッドでは、本研究費で購入予定のセンサ、各部屋に設置する共有機器としてのノートPCを用意し、準備状況で述べる室内設置型のセンサボックス、ならびに我々が開発した屋内向け位置測定システムを利用する。センサは利用者の現実環境情報(コンテキスト)を把握する手段として用いる。このテストベッド環境を用いて、提案技術の実機上での評価を行う。評価項目としては通信効率・速度などを考えており、この評価を通して最終的な実装上の検証を行うが、必要に応じて、テストベッドの再構築/チューニングも行う。

4. 研究成果

本研究課題で得た研究成果は以下の通りである。

(1) 無線センサネットワークの構築技術の確立

現実環境の様々な情報を効率的に取得するために、無線センサネットワークの構築技術を確立した。具体的な成果は以下の通りである。

- 対象物体の動線を正確に抽出する技術を確立した。また、センサの幾何学的配置が測位精度に与える影響を調査し、センサを効率的に配置する手法を提案した。さらに、センサ間はメッシュネットワークで接続されるため、各センサのチャネル設定を、通信と測位の観点から考察し、通信と測位の両方の性能を同時に改善する手法を確立した。
- 無線センサネットワークにおいては、モバイル端末の測位にかかるコストとスループットはトレードオフの関係にある。そこで、測位コストの削減とスループットの向上の2つの問題を取り扱ったAPのチャネル割り当て手法を提案し、

提案手法をシミュレーションにより評価し、本手法の有効性を示した。また、適応的な無線ネットワーク切り替え方式を提案し、実装を行った。実現場で評価することにより、提案手法の有効性を示した。

(2) 直感性を有する通信対象の特定技術および暗号通信技術の確立

直感性に関連する情報を現実環境から獲得する技術、および獲得した情報を通信対象の特定技術や暗号通信に応用する技術を確立した。具体的には以下の技術を確立した。

- 直感性に関連する情報を獲得する技術として、ユーザの位置情報を高精度に推定する技術に着目した。具体的には、ユーザ端末の測位機能を移動通信インフラに統合し、高速無線通信機能と高精度測位機能とを同時に実現する次世代のネットワークインフラ技術を確立した。提案技術は、移動通信インフラとして、基地局を無線で中継接続する無線メッシュネットワークを採用しており、高速無線アクセスと高精度測位とを同時に実現するユビキタス空間を、屋内外問わず低コストで構築することを可能にする。
- 現実環境の情報から端末間で同一の情報を生成する技術を開発した。具体的には、近距離に存在する端末間でしか共有できない現実環境の情報を用いて、同一の情報を各端末で個別に生成する。生成した情報を暗号鍵として利用することや、通信対象の特定に応用することを検討した。
- 無線LANを用いた屋内位置推定手法の1つであるシーン解析法において、事前の学習データ取得のコストを削減手法がいくつか知られているが、既存手法の多くは理想的な空間を扱ったものであり、現実空間への適用には問題があった。そこで、壁などを考慮したリアルな環境に適用できる学習データ取得コストの削減手法を提案し、実環境で評価し、有効であることを示した。また、他の位置測位推定手法として、従来人手で行っていたキャリブレーションを、複数の基地局が協調することにより、自動的に行う手法を提案し、実環境で評価し、提案手法の有効性を示した。

(3) 場所や時間に依存する周辺情報の解析技術とデータ構造の確立

現実環境で起こる様々な事象を地理的および時間的に解析する手法を確立した。現実環境の情報から特に重要な情報を抽出するため、事象の局所性および周期性を、得られたセンサデータから解析する技術を提案した。また、それらセンサデータを保存するデータ構造を検討し、効率的な検索および分散

管理技術を検討した。これらの技術の有効性を評価するために、Twitter の位置情報付き tweet を解析し、現実環境のトピックを検索する実験を行った。

(4) テストベッド環境の構築と評価

九州大学伊都キャンパスウエスト2号館10階に開発した基地局および無線センサを配置し(図1(a)), そのフロアで実際に研究生活を営むことでリアルな体験を積み重ねていけるテストベッド環境を構築した。

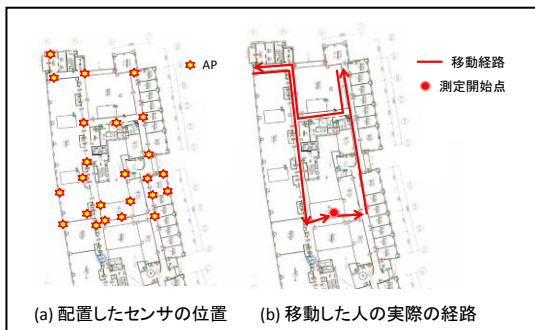


図 1:九州大学伊都キャンパスに構築したテストベッド環境と実験の概要

このテストベッド環境を用いて開発した技術の評価を行った。特に、動線解析に関する技術の評価を行い、その有効性を確認した。図1(b)は評価で利用した実際の人の経路である。また、開発した動線解析ソフトウェアを図2で紹介する。

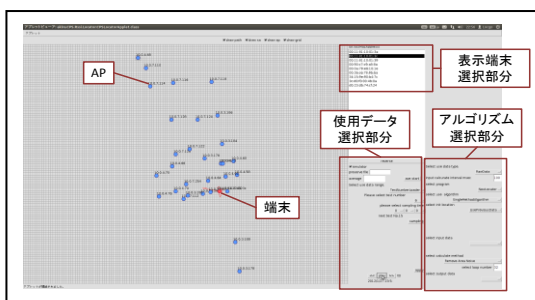


図 2: 開発した動線解析ソフトウェア

このソフトウェアを用いて獲得した動線の実験結果を図3に示す。

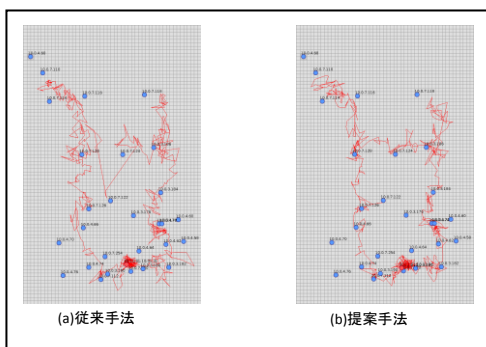


図 3: 動線解析の実験結果

結果からも分かるように、開発した動線解析技術は従来手法と比べて、安定した動線を獲得できており、提案手法の有効性を確認できた。最終的にこの成果を活用して、直感性を有するネットワーク基盤技術を検討した。

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: 18件)

- ① Yutaka Arakawa, Yuki Sonoda, Koki Tomoshige, Shigeaki Tagashira, and Akira Fukuda: Implementation of WiFi/Bluetooth-based Smart Narrow Field Communication, Proc. the Seventh Int. Conf. on Mobile Computing and Ubiquitous Networking (ICMU 2014), 2014 (査読有)。
- ② Tatsuya Abe, Yutaka Arakawa, Shigeaki Tagashira, and Akira Fukuda: Energy-efficient Data Collection Method with Multiple Deadlines for Wireless Sensor Networks, Journal of Information Processing, Vol.21, No.2, pp.320-328, 2013(査読有)。
- ③ 久保田僚介, 田頭茂明, 荒川豊, 北須賀輝明, 福田晃: 無線 LAN を用いた屋内位置推定における学習コスト削減のための高精度データ補間手法, 情報処理学会論文誌, Vol.54, No.4, pp.1609-1618, 2013 (査読有)。
- ④ Yutaka Arakawa, Shigeaki Tagashira, and Akira Fukuda: mockSensor: Faking Remote Sensors As Embedded Sensors for a Functional Enhancement of Android, Proc. the 11th ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems Posters & Demos track (SenSys13PostersDemos), 2013 (査読有)。
- ⑤ Naoki Miwa, Shigeaki Tagashira, Hiroaki Matsuda, Takanori Tsutsui, Yutaka Arakawa, and Akira Fukuda: A Multilateration-based Localization Scheme for Adhoc Wireless Positioning Networks used in Information-oriented Construction, Proc. the 27th IEEE Int. Conf. on Advanced Information Networking and Applications (AINA-2013), pp. 690-695, 2013(査読有)。
- ⑥ Ryouyuke Kubota, Shigeaki Tagashira, Yutaka Arakawa, Teruaki Kitasuka, and Akira Fukuda: Efficient Survey Database Construction Using Location Fingerprinting Interpolation, Proc. the 27th IEEE Int. Conf. on Advanced Information Networking and Applications (AINA-2013), pp.469-476, 2013 (査読有)。

- ⑦ Tatsuhiko Nakano, Shigeaki Tagashira, Yutaka Arakawa, Akira Fukuda, and Riadh Dhaou: Proposal and Implementation of Encounter Data Transmission with Ultrasonic Sensor-based Active Wakeup Mechanism for Energy Efficient Sparse Wireless Sensor Network, Proc. the Ninth Int. Workshop on Heterogeneous Wireless Networks (HWISE 2013), pp.393-400, 2013 (査読有).
- ⑧ 岩本智裕, 田頭茂明, 荒川豊, 福田晃: 小型携帯端末のためのマルチパスの伝送路可逆性を用いた共有情報生成方式, 情報処理学会論文誌, Vol.53, No.5, pp.1532-1545, 2012 (査読有).
- ⑨ Yutaka Arakawa, Shigeaki Tagashira, and Akira Fukuda: Application-Layer Active Wireless Network Switching on a Smartphone, Proc. SmartApps'12, Pervasive 2012, 6 pages, 2012 (査読有).
- ⑩ Ming Li, Long Han, Wei qiang Kong, Shigeaki Tagashira, Yutaka Arakawa, and Akira Fukuda: Optimization Channel Assignment Method for Maximum Throughput Under Communication and Positioning Requirements, Proc. the 11th Int. Conf. on Wireless Networks (ICWN'12), pp.282-288, 2012 (査読有).
- ⑪ Yutaka Arakawa, Yuta Tanaka, Shigeaki Tagashira, and Akira Fukuda: Local Cloud Storage: Temporal Local File Sharing with Previously Paired Wireless Memories and Cross-layer Simultaneous Data Transmission Mechanism, Proc. the 12th IEEE Int. Conf. on Computer and Information Technology (CIT2012), pp.640-646, 2012 (査読有).
- ⑫ Yutaka Arakawa, Yuki Sonoda, Shigeaki Tagashira, and Akira Fukuda: WiFiTag: Direct Link from the Real World to Online Digital Contents, Proc. 3rd Int. Workshop on Streaming Media Delivery and Management Systems, 2012(査読有).

[学会発表] (計: 15件)

- ① 高嶋瑤子, 石田繁巳, 田頭茂明, 福田晃: アドホック測位ネットワークにおける接続端末分散手法の評価, 信学会 知的環境とセンサネットワーク研究会 (ASN), 信学技報, Vol.114, No. 65, pp.103-108, 2014.5.29, 東京.
- ② 高嶋瑤子, 石田繁巳, 和泉晃, 田頭茂明, 荒川豊, 福田晃: アドホック測位ネットワークにおける接続端末分散手法の初期の評価, 電子情報通信学会 2014年総合大会, B-15-4, 2014.3.19, 新潟大学
- ③ 園田侑輝, 中野達彦, 富重晃季, 伊藤晶,

荒川豊, 田頭茂明, 石田繁巳, 福田晃: スマート無線タグ SNFC を用いた位置に応じた情報提供システムの実証実験報告, 信学会 ネットワークシステム (NS) 研究会, Vol.113, No.472, NS2013-220, pp.253-258, 2014.3.7, 宮崎.

- ④ 和泉晃, 石田繁巳, 田頭茂明, 荒川豊, 福田晃: アドホック測位ネットワークにおけるアプリケーションレス測位手法, 信学会モバイルネットワークとアプリケーション研究会 (MoNA 研究会), Vol.113, No.398, MoNA2013-69, pp.105-110, 2014.1.24, 松山市.
- ⑤ 園田侑輝, 富重晃季, 荒川豊, 田頭茂明, 福田晃: WiFi や Bluetooth を用いたスマートフォン向けスマート無線タグシステム (SNFC) の研究開発, 情報処理学会第 67 回モバイルコンピューティングとユビキタス通信 (MBL) / 第 8 回コンシューマ・デバイス&システム (CDS) 合同研究会, 2013-MBL-67(8), pp.1-7, 2013.9.13, 東京.
- ⑥ 李明, 韓龍, 孔維強, 田頭茂明, 荒川豊, 福田晃: 無線メッシュネットワークにおける端末位置推定のためのスループット最大化のチャネル割当方式の提案及び評価, 情報処理学会 マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOMO2012)シンポジウム, pp.331-339, 2012.7.4, 石川.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

福田 晃 (FUKUDA, Akira)
九州大学・大学院システム情報科学研究
院・教授
研究者番号: 80165282

(2) 研究分担者

田頭 茂明 (TAGASHIRA, Shigeaki)
関西大学・総合情報学部・准教授
研究者番号: 70332806

荒川 豊 (ARAKAWA, Yutaka)
奈良先端科学技術大学院大学・情報科学
研究科・准教授
研究者番号: 30424203

中西 恒夫 (NAKANISHI, Tsuneo)
九州大学・大学院システム情報科学研究
院・准教授
研究者番号: 70311785

久住 憲嗣 (HISAZUMI, Kenji)
九州大学・システム LSI 研究センター・
准教授
研究者番号: 10380685

