

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年5月15日現在

機関番号：32675

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21500081

研究課題名（和文）ロボット統合によるスマート空間内のスペースログ技術とサービスの研究

研究課題名（英文）The Study of Sapcelog Technologies and Services in Robot-integrated Smart Spaces

研究代表者

ジエンファ マー（JIANHUA MA）

法政大学・情報科学部・教授

研究者番号：70295426

研究成果の概要（和文）：スペースログとは、実空間中に敷設したセンサ群を介して取得した多種多様なデータを常時収集したものである。この研究の成果は、スペースログの計測や保存に必要な機器を操作可能なフレームワークの構築、スペースログの表示や検索に必要な新たなアプローチの研究、試験のために家や研究室などを用いて具体的なアプリケーションを用いておこなうスペースログの実証実験、提案したフレームワークやアプローチの評価や改善である。

研究成果の概要（英文）：Spacelog is a continuous collection of different kinds of data related to multiple entities via various sensors distributed in a real spatial environment such as a home and a laboratory. Through our research, a general framework has been built to connect heterogeneous devices for spacelog sensing and keeping, new approaches are studied for spacelog representations and retrievals, and concrete prototypes of spacelog applications in testing home and laboratory environments are developed for experiments, evaluations and improvements of the proposed framework and related approaches.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2010年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2011年度	600,000	180,000	780,000
総計	2,900,000	870,000	3,770,000

研究分野：総合領域

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、センシングデバイス・システム

## 1. 研究開始当初の背景

ライフログとは個々人の日常生活を記録した履歴情報である。最初に発表されたライフログの概念は、1945年にBushが構想した、人の記憶を代行して記録する機械が利用する情報源とされる。Bushの構想は空想であったが、最近のセンサの小型化や無線化技術の進歩およびストレージの記憶容量の増大によって現実に可能となりつつある。

それに対して、スペースログとは場所を中

心とした情報のことである。ユビキタスコンピューティングの研究分野であるスマートスペースとは、室内に設置されたコンピュータデバイスが通信し合うことにより、人々がコンピュータを意識する事無く室内で快適なサービスを受けられるというものである。スマートスペースでは非常に多くのデバイスを用いて温度や照度、入退室の管理それ以外にも、物の移動など室内におけるあらゆるログを保存し室内情報を管理しなければなら

らない。そのため、スマートスペースはログの管理が複雑になり、非常に大規模なシステムになってしまう。また、スマートスペースでは多種多様なデバイスが必要とされるにもかかわらず、今までのスマートスペースでは使用したいデバイスごとにデバイスドライバを開発し、その都度それらデバイスの通信プログラムも実装しなければならなかった。

その場そのときの情報を人のおかれた状況の文脈として判断する概念であるコンテキストウェアネスでは、コンテキストを処理して判断を行う。コンテキストの履歴情報をコンテキストヒストリーとよぶ。コンテキストヒストリーを処理することで、人のおかれた状況がより詳しく特定できると考えられるが、記録内容が複雑であるために処理方法が困難となる問題が明らかとなった。多くの研究者により熱心な研究が続けられているが、複雑な内容を処理するための根本的な解決はいまだなされていない。

そこで、ユビキタスコンピューティングにおける文脈情報の履歴であるコンテキストヒストリーの利用方法と、人間の日常生活のさまざまな空間的な環境に特化した新しい種類のデータベースの研究が期待される。

## 2. 研究の目的

スペースログとは、実空間は家や研究室に代表されるように空間的広がりを持つ環境であり、その空間中に広く分散させたセンサ群によって計測された空間中に存在する実体のログである。また、スペースログは過去の事象を自動的かつ常時記録するために、実空間での動的なマルチメディアデータベースとみなすことができる。

この研究の目的は、ロボットにより統合されたスマートスペースにおける新しいユビキタスサービスやアプリケーションのために、スペースログの取得、保管、加工や管理の重要な技術を研究することである。具体的な研究の目的は以下の通りである。

(1) 多様なセンサ等のデバイスとネットワークを扱うために、共通の通信プラットフォームを開発する。デバイスの多様性に対処するため、またスマートスペース内においてそれらを連携して動作させるために、ゲートウェイをモデルとする包括的なユビキタスプラットフォームを構築すべきである。

(2) センサから得たすべての情報をネットワークを介してリアルタイムにディスクへ直接保存できるように、ネットワーク化されたテラバイトサイズのハードディスクを設置する。研究を進めるにあたり主な問題となるのが効率的にデータを保存、利用するためのマルチメディアデータベースをどのよう

に構築するかという点である。

(3) 様々なセンサから得たデータの知的分析のために人工知能とエージェント技術を利用し、異なったセンサからの様々なログの取得と統合をし、環境下で何が起きたかを認識する研究である。

(4) スペースログ技術とサンプルのアプリケーションによるホームログ (HomeLog) とラボログ (LabLog) の開発、新しいユビキタスサービスやアプリケーションを研究することである。

## 3. 研究の方法

(1) データの収集は主にカメラ、マイクロフォン、RFID、タグなどのさまざまなセンサや温度、光、圧力、加速度、振動等の値を計測する多くのデバイスになる。これらのセンサには異なるソフトウェアドライバや通信規格がしばしば使われている。さらに、スペースログのデータには様々な記憶媒体の形式や表現方法がある。そのため、重要な課題の一つは、多様なデータをすべて保存するために、様々なデバイスや共有可能なストレージを扱うことができる共通のハードウェアとソフトウェアプラットフォームの開発である。

(2) データベース管理やアクセス制御と同様の重要な技術である、スペースログデータ保存及び分析の研究に基づいたスペースログデータベースの構築である。センサデータの知的処理の手法も主な研究課題の一つである。また、一般的なスペースログ技術研究以外に、ホームログ (HomeLog) とラボログ (LabLog) という二つの試作システムも研究例にあるように、今後更に発展すると考えられる。

(3) 重要な研究課題の一つは、スペースログのデータベースに保存された検知データからユーザが家や研究室で取った行動のような意味のあるデータを抽出することである。ユーザの要求を想定した様々なスペースログアプリケーションをサポートするために、スペースログのデータは時間・位置・空間・ユーザの好み・環境の属性などの属性によって取り出せなくてはならない。

(4) スペースログシステム、ホームログ (HomeLog) とラボログ (LabLog) アプリケーションを用いて関連技術についてテストを行い、さらにスペースログへの理解を深めるために、プラットフォーム・データベース・サービスの技術を評価し、改善する。そして、将来に作られるスペースログを用いた様々

なアプリケーションのための強固な基盤を築く。

#### 4. 研究成果

(1) 本研究では様々なセンサやアクチュエータを汎用的に扱うことができ、スマートスペースにいろいろなアプリケーションを追加することができるプラットフォーム GUPSS (Gateway-based Ubiquitous Platform for SmartSpaces) を開発した。GUPSS の特徴は次の通りである。①様々なデバイス(センサ、アクチュエータ)を接続することができるゲートウェイを持つ。②GUPSS が提供する基本的な機能(ゲートウェイ管理、センサ値取得、アクチュエータ操作、等)を使って様々なアプリケーションを追加することができる。

③GUPSS は異なる場所で構築された GUPSS とコンテキスト情報の共有を行うことができる。④ SOA (Service Oriented Architecture) で設計されている。

このように GUPSS ではゲートウェイが各デバイスのデバイスドライバ及び通信プログラムの役割を担うため、スマートスペースの開発者はそれぞれのスマートスペースで使いたいデバイスをゲートウェイに接続するだけでよい。スマートスペース開発者はそれらのデバイスを使ってロケーションウェアやスペースロガー等を容易に追加することができる。さらにコンテキストの共有機能を使って異なる場所にあるスマートスペース同士を連携することができる。SOA で設計されているため、GUPSS 自体にさらに機能を追加することも容易である。

(2) スペースログの管理をするにあたってセンサの数はもちろん、その種類も当然多くなり管理は難しくなり、それに伴い保存されるログも膨大な量のものになる。また、多種類の情報を扱うために、センサから取得する数値のログのほかにも、カメラやマイクから取得したデータファイルなどの非数値のログも管理するため、その閲覧や再生も一括では行えない。そこで本研究では、スペースログで蓄積する多種で膨大な量のログを閲覧するにあたって最適なインターフェースの設計を行う。このインターフェースは、情報がセンサやカメラごとに分けられていて、閲覧したい情報が簡単に選択可能であり、動画や音声などにも対応している必要がある。またインターフェースからデバイスの情報が容易に把握できることも重要である。

(3) スマートスペースでは非常に多くのデバイスを用いて温度や照度、入退室の管理それ以外にも、物の移動など室内におけるあらゆるログを保存し室内情報を管理しなければならない。そのため、スマートスペースはロ

グの管理が複雑になり、非常に大規模なシステムになってしまう。得に入退室の管理はRFID ゲートやカメラが主流である。しかし、RFID ゲートは入退室時にタグをかざさなければならない。かざさずに入退室の判断が出来るものもあるが非常に高価で簡単に室内に設置できるものではない。カメラも個人を認識するのに画像処理などを使用しないといけない。そこで、スマートフォンを用いて特定の無線ネットワーク環境下において、個人を認識しその位置情報を用いることで、簡単にかつ、コンピュータを意識する事無く入退室の管理が行えると考えた。またデバイスの管理をより簡単に行うために一つのデバイスに温度センサと照度センサが備わっている SUNSPOT を使用した。本研究では特定スペースでの人間の入室管理や、室内での個人の位置情報・滞在時間・室内温度・照度などの様々なデータの取得を行う。それによって得られた室内の人数、位置情報をもとにそこに存在している一人一人を中心とした個人にあった快適な環境を提供するスマートスペースシステムの構築を行うことを目的とする。

(4) 室内環境で細かな位置情報検出をするためには、無線ネットワークの利用やその他特別な環境情報を用いて検出を行う必要がある。しかし、設備構築の困難さやコスト面に対しての有用性が疑問視されるため、システムの実利用のための環境構築は困難である。本研究ではモバイル端末の加速度センサによって取得した三軸加速度値から人間の行動状況と端末移動速度を抽出し、位置の計算・補正を行うことで位置情報の検出を行った。また、位置情報の多目的の利用のために位置情報を保守・管理するサーバを構築し、アプリケーションへの利用に至った。これにより、スマートスペースシステムへの位置情報の利用を行うためのプラットフォームを設計・構築することができた。これらの結果から周囲環境に依存しない位置情報の検出を実現し、室内位置情報検出の可能性を広げることができた。また、様々な手法がある室内位置情報検出を相互利用できるという可能性を提示することができたと考えられる。

(5) ホームログ (HomeLog) とは家で起きた出来事を様々なユビキタスデバイスによって取得しデジタル情報として家のデータベースに記録、保存することである。ホームログは家のさまざまな関連情報を網羅することが可能である。この研究には親がいない家の状況下において子どもの典型的な行動を記録するキッズホームログとよばれる特定のログを用いて行っている。しかし、カメラ、マイク、RFID などのさまざまなデバイスを用

いて、多量の子どもの関係のあるデータを取得することはできるが、デバイスから取得したデータ列を子どもの活動記録という情報に変えることとさらにこの情報を親が見て、家にいない時子どもが何をしていたのかを素早く理解することが可能なものでなくてはならない。その結果、この研究では、RFIDなどのさまざまなセンサから子供に關係するデータを取得し、そのデータを帰宅、外出、勉強、遊びなどの活動記録情報に加工することと、ユーザである親がコンピュータを使ってどこからでもアクセスでき、子どもの様子を見る、閲覧することが可能になるシステムの構築に焦点を当てている。

(6) ラボログ (LabLog) システムのプロトタイプとその関連アプリケーションを作成した。スペースログのデータの扱いにおいて柔軟性と拡張性を獲得するため、ヘッダが統合された XML ベースの形式をログの記録に用いる。ヘッダは機器の種類や ID、位置、センサの値や検出した時間などの属性のインデックスのまとまりで構成され、ヘッダ情報は必要に応じて拡張が出来る。ロボットにはカメラがついており、研究室のドアを監視できるように設置したため、温度、光の値はパーティションの値とほぼ同等である。実験により、研究室の活動状況ログを取得できることが確認でき、ログから室内の照明の強さや室温、入退室の記録、ロボットの操作状況を取得することができた。プロトタイプはシステムの管理者、登録される学生、利用する教授の 3 タイプのユーザをサポートし、ラボに人が来ると、教授は PC か携帯電話を使って離れた場所からシステムにアクセスし、現在のラボの在室状況や一定期間の学生の在室状況を把握することが出来る。

(7) スペースログを利用したアプリケーションの代表例として、薬の管理や投薬補助のために試作品が開発されている。そのアプリケーションは主に以下の 3 つの機能を提供する。1 つ目は RFID に基づいた薬の管理、2 つ目は RFID と無線センサに基づいた投薬のモニタリング、そして 3 つ目が状況認識と意思決定に基づいた投薬補助である。薬情報データベースと患者情報データベースから患者が現在飲むべき薬を指示し、飲み忘れがあった場合にはルールベースシステムを利用して患者の状況に合わせて警告を行う。自宅にいなかった時にはファジィ推論を用いて過去の食事時間から食事をとる時間を推測し、外出中でも薬の飲み忘れがないようにされている。その結果このシステムが実現した場合、多種類の薬を服用している高齢者にとっては薬を服用するとき何を飲むべきかを瞬時に判断することができ、薬の飲み忘れ

を防止することができる。これにより高い薬の効果を得ることが可能となる。

(8) 開発したスマートホームスペースログを利用したアプリケーションは家庭の状況を認識し、自動的にエネルギーの節約を行ったり、個人の活動データを分析してアドバイスや提案を行う。システムは人の活動や関連するスペースログを記録し、エネルギーの節約と排出される CO2 の削減となるような生活習慣と日課を無意識の内にユーザに習慣づけさせる。各デバイスの情報を保持するデバイスログ、各部屋内の状況を保持するスペースログ、人の移動やデバイスの操作情報を保持するパーソンログをタイムシーケンスによって区切ることにより、各デバイスとユーザの関連性を表現する行動行列を生成し、クラスタリングを行った。そして、提案したシステムをシミュレーションから得られたログ情報を元に利用し正確に解析できることが確認できた。

#### 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 3 件)

- ① Jianha Ma、Runhe Huang、Tomomi Kawashima、Bernady O. Apduhan、SpaceLog Data Acquisition, Management and Applications in a Gateway-based Smart Space, Journal of Information Science and Engineering、査読有、Vol.27、No.1、2011、pp.35-50
- ② Min Chen、Meikang Qiu、Linxia Liao、Jongan Park、Jianhua Ma、Distributed Multi-hop Cooperative Communication in Dense Wireless Sensor Networks、The Journal of Supercomputing、査読有、Vol.56、No.3、2011、pp.353-369
- ③ Jianhua Ma、Jie Wen、Runhe Huang、Benxiong Huang、Cyber-Individual Meets Brain Informatics、IEEE Intelligent Systems、査読有、Vol.26、No.5、2011、pp.30-37

[学会発表] (計 14 件)

- ① Tomomi Kawashima、Jianhua Ma、Runhe Huang、Bernady O. Apduhan、GUPSS: A Gateway-based Ubiquitous Platform for Smart Spaces、The 7th IEEE/IFIP International Conference on Embedded and Ubiquitous Computing (EUC-09)、査読有、August 30、2009、Vancouver、Canada
- ② Runhe Huang、Jianhua Ma、Homelog Based Kid's Activity Awareness、

- International Conference on Future Computing、査読有、November 30、2009、Athena、Greece
- ③ Jianhua Ma、Runhe Huang、Qun Jin、A Lablog System for Supporting Laboratory Situation Awareness、International Educational Technology Conference (IETC2010)、査読有、April 26、2010、Istanbul、Turkey
- ④ Runhe Huang、Jianhua Ma、Qun Jin、An Agent base Approach for Promoting Interactive Teaching and Learning、9th IEEE International Conference on Information Technology Based Higher Education and Training (ITHET2010)、査読有、May 1、2010、Cappadocia、Turkey
- ⑤ Runhe Huang、M. Itou、T. Tamura、Jianhua Ma、Agents based Approach for Smart Eco-home Environments、The 2010 IEEE World Congress on Computational Intelligence (WCCI2010)、査読有、July 20、2010、Barcelona、Spain
- ⑥ Jianhua Ma、Active Smart u-Things and Cyber Individuals、the International Conference on Active Media Technology (AMT-10)、招待講演、August 28、2010、Toronto、Canada
- ⑦ Jianhua Ma、Ubi-Intelligence and Cyber-Individual towards a Smart Hyper World、the IEEE International Conference on Intelligent Computing and Integrated Systems (ICISS-10)、招待講演、October 23、2010、Guilin、China
- ⑧ Y. Yamamoto、Runhe Huang、Jianhua Ma、Medicine Management and Medicine Taking Assistance System for Supporting Elderly Care at Home、the International Symposium on Aware Computing、November 3、2010、Tiannan、Taiwan
- ⑨ Jianhua Ma、Pervasive u-Things and u-Intelligence towards Smart World on Hyperspace、the International Workshop and Summer School on the Internet of Things (IOTs-11)、招待講演、May 15、2011、Hangzhou、China
- ⑩ Jianhua Ma、Cyber-Individual: Visions and Challenges、the IEEE International Symposium on Parallel Computing and Applications (ISPA-11)、招待講演、May 26、2011、Busan、Korea
- ⑪ Jianhua Ma、Perspectives on Individual-aware Computing and Cyber-I、the IEEE International Conference on Computer Science and Engineering (CSE-11)、August 26、2011、

- 招待講演、Dalian、China
- ⑫ Toshihiro Tamura、Runhe Huang、Jianhua Ma、Shiqin Yang、Individual Activity Data Mining and Appropriate Advice Giving towards Greener Lifestyles and Routines、International Conference on Ubiquitous Intelligence and Computing (UIC-11)、査読有、September 4、2011、Banff、Canada
- ⑬ Yufeng Wang、Athanasios V. Vasilakos、Jianhua Ma、Study on Effect of Utility Uncertainty on the Behavior Diffusion in Autonomous and Rational Networks、IEEE International Conference on Cyber、Physical and Social Computing (CPSCom-11)、査読有、October 20、2011、Dalian、China
- ⑭ Bofeng Zhang、Jianxing Zheng、Jianhua Ma、Yinsheng Li、Guobing Zou、User Model with Life in Cyber-Individual、International Conference on Advanced IT、engineering and Management (AIM 2012)、査読有、February 7、2012、Seoul、Korea

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

ジエンフア マー (JIANHUA MA)

法政大学・情報科学部・教授

研究者番号：70295426

### (2) 研究分担者

黄 潤和 (RUNHE HUANG)

法政大学・情報科学部・教授

研究者番号：00254102