

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 6 日現在

機関番号：14603

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2014

課題番号：25540031

研究課題名(和文) センサ単位の機能仮想化による端末間の機能共有と消費電力平滑化

研究課題名(英文) Virtualizing sensors for a functional enhancement and a battery life extension

研究代表者

荒川 豊 (Yutaka, Arakawa)

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

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、スマートフォンを含む、Android OSとセンサを内蔵する情報家電、さらに家を相互に連携することを可能にすることである。通信機能を共有する「テザリング」のように、センサ機能を共有することを可能にするために、(1)2台のAndroid端末間で仮想的に加速度センサを共有する仕組みの設計と実装を行い、提案の実現性と有用性を明らかにする。そして、(2)家に取り付けられたセンサとAndroid端末の連携に取り組み、両者を組み合わせた直感的なりもコンシステムを構築し、有用性を明らかにした。

研究成果の概要(英文)：In this research, we aim to turn out the mechanism for interconnecting various Android devices such as a smartphone, intelligent home appliance, and smart home. Like "tethering" function that enables a user to share the mobile network, our proposed system enables a user to share various sensors. Concretely, (1) we designed and developed a mechanism that can share an acceleration sensor between two Android phone. In addition, (2) we design and implement a novel remote control that combines Android phone and location sensor embedded in our smarthome environment. Finally, we confirm that our proposed system can share sensors and realize a more useful system.

研究分野：ユビキタスコンピューティングシステム

キーワード：Android 機能仮想化 端末間連携 スマートホーム

1. 研究開始当初の背景

当時の最新のスマートフォン（以降、スマホ）である Galaxy S3 には、4つの通信路(4G, 3G, WiFi, Bluetooth)に加えて、8つのセンサ(加速度センサ, ジャイロセンサ, 気圧計, 近接センサ, デジタルコンパス, GSP/A-GPS, ライトセンサ, タッチセンサ), そしてカメラ, FM ラジオ, ワンセグと、数々の機能が搭載されていた。そして、これらのセンサを用いた研究が盛んに行われていた。一方、エアコンや冷蔵庫といった家電の IT 化もめざましく、スマホと連動する炊飯器や洗濯機, 人感センサで自動節電するエアコン, 電話がかかった時に音量を下げる TV 等が登場している。これらの情報家電は、上述したスマホのようにいくつかのセンサを搭載している。また、情報家電の中に、Android OS を組み込んだ製品も、テレビ, 音楽プレーヤー, カーナビ, デジカメといった分野で広がり始めている。Android OS は、スマホの代名詞のようになっているが、本来は汎用的な組み込み用 OS であり、将来的にはより多くの情報家電に組み込まれると予想されていた。さらに、IoT (Internet of Things) の進展により、スマートフォンや家電だけではなく、家そのものに多数のセンサが取り付けられて、居住者を見守ったり、快適な生活をサポートしたりするスマートホーム環境が広がる可能性もある。こうした環境において、スマホとスマホ, スマホと家電, スマホと家, 家電と家, さらに家と家, といった連携が始まる事が予想される。

2. 研究の目的

本研究の目的は、スマートフォンを含む、Android OS とセンサを内蔵する情報家電、さらに家を相互に連携することを可能にすることである。「テザリング」とは、ある端末の通信路を別の端末から利用可能にする技術であるが、この仕組みと同様に、GPS センサや加速度センサといった様々なセンサや、マイクやスピーカなどの入出力デバイスの相互利用の実現を目指す。これにより図 1 に示すように『iPhone の GPS センサ (Android に比べて高精度) を使って、

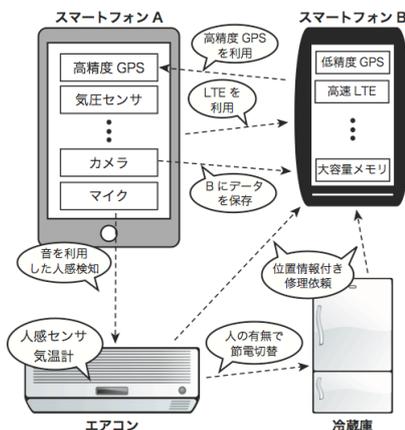


図 1 スマホ間、家電間連携の将来像

Android の地図アプリ（地図をキャッシュできオフラインでも利用できる）上に位置を表示』や『エアコンの人感センサと連携した冷蔵庫の節電』といった情報家電間でセンサ単位の機能相互補完を可能にする。

そのために、Android OS 上でセンサを仮想化する仕組み、取得した別端末のセンサ値をローカルのセンサ値と偽装する仕組みという研究に取り組む。

そして、端末間でセンサの共有、仮想化が可能であることとその有用性を明らかにすることが目的である。

3. 研究の方法

(1) 初年度は、2 台の Android 端末間で仮想的に加速度センサを共有する仕組みの設計と実装を行い、提案の実現性と有用性を明らかにする。

(2) 2 年目は、家に取り付けられたセンサと Android 端末の連携に取り組み、両者を組み合わせた直感的なリモコンシステムを構築し、有用性を明らかにする。

4. 研究成果

(1) スマホのセンサ仮想化と端末間連携

Android では、外部端末のデータ通信機能を共有する“テザリング機能”や、緯度・経度を手入力することでそれを自前の GPS センサで取得したセンサ値として扱う“疑似ロケーション機能”を利用できる。しかしながら、Android 端末はその他にも加速度センサ・ジャイロセンサ・輝度センサ・近接センサ・気圧センサなどを搭載しているが、これらのセンサを仮想化する仕組みは備わっていない。そのため、Android において複数端末間でセンサを共有するためには、疑似ロケーション機能のように、手入力によってそれぞれのセンサ値を入力する機能の実現が不可欠である。この機能の追加先として、アプリケーションやユーザレベル、OS の中、または JavaVM などの仮想化層が選択肢となるが、既存の Android では、アプリケーションを作成するだけでセンサを仮想化できないため、OS そのものに変更を加えるアプローチをとる。これは、Android がオープンソース・オープンプラットフォームであり、OS 全体のソースコードやツールが公開されているため、OS に変更を加えてカスタム ROM をつくることのできるからである。

二つの端末間でのセンサ仮想化の概要を以下に説明する。

- ローカル端末
自前のセンサで取得したセンサ値を利用する端末。この端末はセンサの仮想化が可能である必要はない。
- リモート端末 (仮想化される端末)
リモート端末から受信したセンサデータを自分のセンサ値として利用する端末。この端末はセンサの仮想化が可能である必

- 通信方法
Bluetooth を利用してリモート端とローカル端末間で通信を行う。Wi-Fi や 3G を使うこともできるが、仮想化の利用環境として二つの端末が近くにある場合を想定しているため、通信による消費電力が低い Bluetooth を使用する。
- 通信データ
仮想化するセンサのセンサ値、タイムスタンプを byte 形式で送受信する。

端末間の通信方式は、Bluetooth を採用しており、3G や Wi-Fi など比較すると低消費電力ではあるが、Bluetooth の通信による消費電力は通信回数に依存するため、リモート端末がセンサ値を取得するたびにローカル端末に送信することは、バッテリー容量の制限が厳しい携帯端末においては必ずしも良い方法とは言えない。一方で、送信間隔を伸ばすことで送信回数を減らすだけでは、誤差の面においてセンサ値を利用する上位のアプリケーションの要求に答えられない。したがって、この問題を解決するためには、通信回数を減らすことで消費電力を減らしつつ、アプリケーションの要求する精度を満たすための通信手法を考える必要がある。ここではわれわれの提案する通信プロトコルについて説明する。提案手法では、リモート端末で取得したセンサ値と前回取得したセンサ値の差分に閾値を設定し、差分が閾値以上の場合はローカル端末にセンサデータを送信し、閾値以下の場合には送信しないこととする。このとき、ローカル端末では一定時間以上リモート端末からセンサ値が送られてこない場合、前回のセンサ値からの変化が閾値以下であると判断し、キャッシュに残っていた前回のセンサ値を使用する。これにより、二端末間での通信回数を減らしつつ、センサ値のサンプリング数を維持することができる。

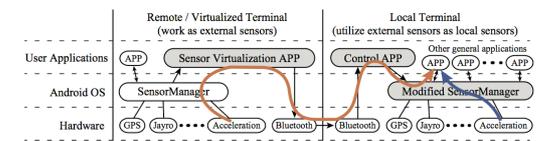


図2 提案アーキテクチャ

図2にこれまで述べた提案手法の全体像を示す。通常の Android では、青線で示すように、端末に内蔵されたセンサの値が SensorManager を通じてアプリケーションに渡される。一方、提案手法では、オレンジの線で示される経度で、Bluetooth 接続された別の端末のセンサ値が転送される。このデータは通常と同様に SensorManager 経由でアプリケーションに渡されるため、アプリケーションに特殊な設定は不要である。

提案システムの有効性を示すために、図3に示すようなデモシステムを構築した。加速度センサを利用する一般的なゲームに対し

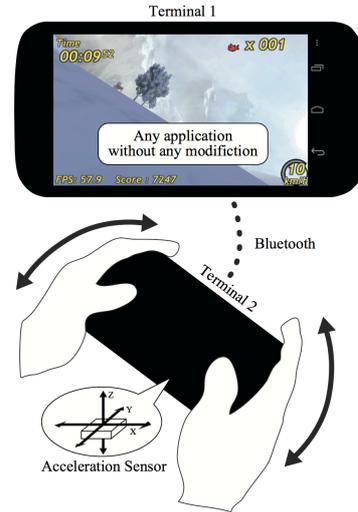


図3 構築したデモシステム

て、別の端末の加速度センサを用いて制御可能にしている。

次に端末間のデータ通信量と精度に関する評価を行った。ローカル端末で取得した加速度センサの値と、リモート端末で受信した値を比較し、そのズレを計測する。

図4に通信量と通信エラーの評価結果を示す。各線は、送信するデータのビット数を比較したものであり、低ビットになるほど送

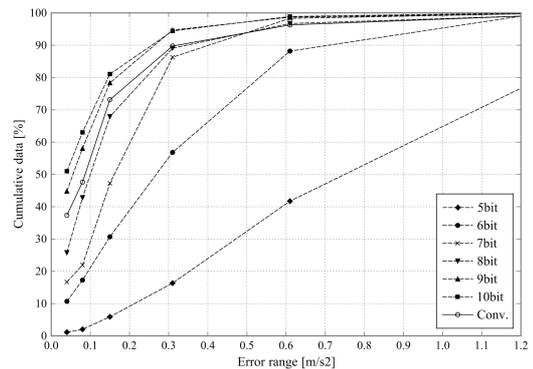


図4 通信量と通信エラーの評価

信側でデータを間引いているため、受信側でのエラーは大きくなる。評価の結果、9bit のデータ (元データの 75% に相当) を送信することで、データ量を削減しつつ、ローカル端末から取得できるデータと同程度の精度の達成できることを明らかにした。

(2) スマホと宅内センサの連携

次にセンサが多数取り付けられたスマートホームにおいて、スマホをかざすだけで家電を操作可能にする直感的なリモコンシステムを設計、開発した。これは、宅内では、スマホに内蔵された GPS センサや地磁気センサが正常に機能しないという問題を、住宅 (環境) に設置されたセンサと連携することで解決することを目指した。

実験環境として、奈良先端科学技術大学院大学内に設置されているスマートホームを利用する。スマートホームには、NEC 製の高

精度屋内測位システムが導入されている。この測位システムでは、超音波と電波を発信するタグと天井に取り付けられた複数の受信機から構成される。そして、このタグの3次元位置を数 cm の誤差で計測可能なシステムである。

提案システムは、図5に示すように、このタグを2つとスマホに取り付け、宅内でのスマホの位置と向きを把握可能にするリモコンとリモコン内のアプリケーションから構成される。

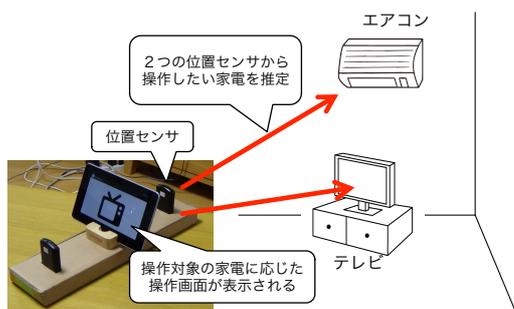


図5 提案リモコンシステム

このリモコンを、従来のリモコンと同様に、操作したい家電に向けて、(a) 家側でリモコンの位置と向きを計算して、そのベクトルと交差する家電を算出し、(b) その家電に対する操作画面をスマホの画面に表示する。(c) ユーザの操作は、直接、家電に届くのではなく、無線LANを経由してホームサーバに届き、赤外線送信機を介して家電に届く。図6は上記フローを図示したものである。

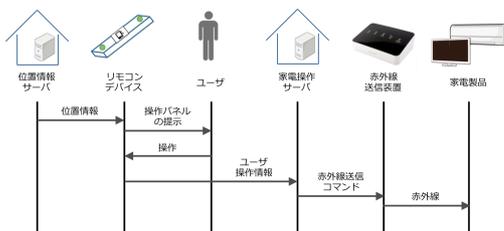


図6 提案システムのシーケンス図

本システムでは、屋内に配置された家電の3次元位置は、その中心座標と矩形で定義された平面(幅 W × 高さ H)で定義され、その定義はあらかじめホームサーバに登録されているものとする。図9に座標系を示す。リモコンの両端の座標を A, B として、家電平面との交点 Q を求め、この Q が平面範囲内にあるとき、対象家電を操作したいと解釈している。ベクトル上に複数の家電平面を検出した場合は、最も手前に検出された家電を操作対象としている。

家電を2次元の平面で定義した場合、横からの操作の場合、検出平面が小さくなり、検知できない可能性が出てくる。そのため、提案システムでは、2次元平面を平面の中心座標を中心に水平回転し、ユーザに対して垂直

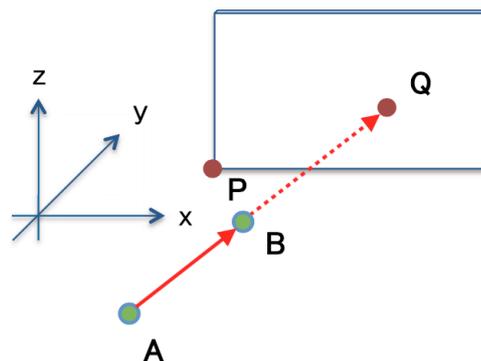


図7 リモコンのベクトルと交わる平面を検出 (A, B はリモコンの両端座標)

な平面を動的に生成し、その平面との交点を計算することでロバスト性を高めている。その結果、本システムは、従来のリモコンと同様に、100%の確率で確実に家電操作ができるようになっている。

提案システムの操作性能を評価するために、9人の被験者を対象に家電機器の操作に関する実験を行った。本実験では、被験者は従来の家電製品に付属のリモコン(以降、専用リモコンという)と提案システムによる操作の2種類の手法を用いた操作を行い、専用リモコンと提案システムの間で大きな操作性の違いがないことを示す。それぞれの操作手法に対して10個のタスク(家電の操作)を与え、被験者に実行してもらい、指示を与えてから実際に操作が完了するまでの時間を測定する。実験は提案システムの構築に使用したスマートホーム環境において行われ、操作対象とした機器は、テレビ、エアコン、扇風機、ライト、オーディオコンボの5種類である。

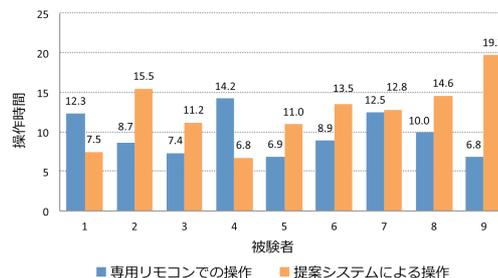


図8 操作時間の評価

被験者ごとの操作時間の結果を図8に示す。結果は、10回のタスクにかかった時間の平均値である。9人中2人の被験者に関しては提案システムによる操作のほうが操作時間が短く、その他の被験者に関しては専用リモコンによる操作のほうが操作時間が短かった。全被験者の平均操作時間は専用リモコンによる操作が約9.7秒、提案システムによる

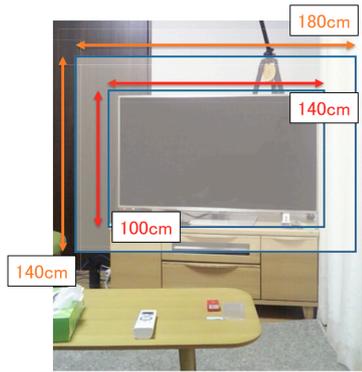


図 9 2種類の家電平面

操作が 12.5 秒となり、従来の操作手法と比べておおむね問題のない程度の操作時間となった。

本システムは、高性能な 3次元位置測位が可能である環境を前提としているが、一般住宅にこのような環境が普及するのはまだ時間がかかると考えられる。そこで、近年普及が進む、WiFi 電波や Bluetooth 電波を用いた安価な屋内位置測位システムを想定し、位置精度が劣化した場合の性能についても検証した。

検証実験では、図 9 に示すように、液晶テレビに対して、大小の検出平面を設定する。そして、(1)家電をリモコンデバイスで指して選択する、(2)表示された操作パネルにより操作を行う、という手順を複数回行い、家電操作の成功確率を測定する。このとき、操作者と検出平面の距離は 250cm であった。また、三次元位置測位データにガウスノイズを加えることで、擬似的に精度を低下させる。具体的には、正規分布 $N(0, 1)$ に従う確率変数 X を用い、ノイズの強度変数を k として、 k の値を変化させながらセンサ値に加える。提案手法において各ノイズ強度 k に関して家電機器の操作を 20 回行い、制御成功率を測定した。ノイズ強度と操作成功率との関係を図 10 に示す。検出平面が小さな場合は、ノイズの強度が 60mm を超えた時点で操作成功率が低下し、200mm 以上のノイズにおいては、60%以下の成功率となる。検出平面が広い場合は、ノイズ強度が 140mm を超えた時点で制御成功率が低下したが、狭い場合よりも制御成功率が高く、検出平面のサイズを大きくすることで、ノイズの許容範囲を広げることが可能であることが示された。

5. 主発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌発表] (計 1 件)

- ① 米田純, 荒川豊, 玉井森彦, 安本慶一, “高

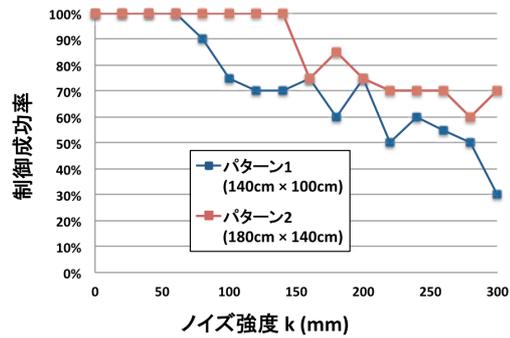


図 10 ノイズと検出平面サイズに対する制御成功率

精度屋内位置情報を利用した直感的な家電操作手法の提案と実装,” 情報処理学会論文誌コンシューマ・デバイス&システム, Vol. 5, No. 1, pp. 30-37, 2015 年 2 月. (査読有り)

<http://id.nii.ac.jp/1001/00101222/>

[学会発表] (計 5 件)

- ① J. Komeda, Y. Arakawa, M. Tamai, and K. Yasumoto, “Intuitive Appliance Control System Based on a High-Accuracy Indoor Positioning System,” IEEE 11th International Conference on Ubiquitous Intelligence & Computing (UIC2014), pp. 134-139, Dec. 9-12, 2014. (バリ, インドネシア) (査読有り)
- ② 米田純, 荒川豊, 玉井森彦, 安本慶一, “高精度屋内位置情報を利用した直感的な家電操作手法の提案,” 情報処理学会研究報告, コンシューマ・デバイス&システム研究会, Vol. 2014-CDS-10, No. 4, pp. 1-6, 2014 年 5 月 22 日. (北海道大学, 北海道札幌市) (査読なし)
- ③ 久米由花, 玉井森彦, 荒川豊, “Android におけるセンサ情報の記録・再生機能の設計,” 情報処理学会研究報告, コンシューマ・デバイス&システム研究会, Vol. 2014-CDS-10, No. 8, pp. 1-6, 2014 年 5 月 22 日. (北海道大学, 北海道札幌市) (査読なし)
- ④ Y. Hirabe, Y. Arakawa, and K. Yasumoto, “Logging All the Touch Operations on Android,” The 7th International Conference on Mobile Computing and Ubiquitous Networking (ICMU2014), pp. 94-95, Jan. 6-8, 2014. (Poster) (SMU, シンガポール) (査読有り)
- ⑤ Y. Arakawa, S. Tagashira, and A. Fukuda, “mockSensor : Faking Remote Sensors As Embedded Sensors for a Functional Enhancement of Android,” ACM SenSys 2013, No. 66, Nov. 11-15, 2013. (Demo) (ローマ大学, イタリア) (査読有り)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

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

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

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