

## 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：32714

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23501176

研究課題名(和文) フィジカルインタフェースを用いた分散システムの応用

研究課題名(英文) Research on Methods for Developing Practical Distributed Applications Using Physical Interfaces

研究代表者

山本 富士男 (Yamamoto, Fujio)

神奈川工科大学・情報学部・教授

研究者番号：90267641

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円、(間接経費) 960,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、近年のWeb サービスの基盤となっている分散オブジェクト技術、データベース、オブジェクト共有空間等のソフトウェア技術と、短距離無線通信やセンサ/アクチュエータを用いるフィジカルコンピューティング関連技術に関して、学習者がそれらを連携させ、興味を持って修得できるようにすることにある。具体的には、(1) 現実感のある魅力的なプログラミング課題の考察を行い、(2) それらのスマートフォンや分散プログラミング環境での解決、実装例を多数示し、(3) 今後の分散アプリケーション開発のための、学習者の環境や要求に応じた適切な連携手段と情報を明らかにした。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study is to let learners have interested in development of the ir own applications. These applications depend on recent important web services technology such as distributed objects, databases, and common spaces among objects. Further, they depend on physical computing technologies using near filed communication and various kinds of sensors and actuators. Cooperation of these technologies was considered very important to expand their interests and skills. We pushed forward our study with three phases. In the first, many practical and attractive themes for programming exercises were investigated. Second, we presented their answers and implementation samples using smartphones and also using distributed programming environment. Third, we clarified appropriate cooperation means and related information according to the environment and the demand of the learners, for their future development of distributed applications with a variety of interfaces.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：科学教育・教育工学 教育工学

キーワード：分散システム フィジカルコンピューティング 教育工学 情報システム

## 1. 研究開始当初の背景

現実の情報サービスや情報システム、および組み込みシステムのなどの分野において、JavaやC++などを用いたオブジェクト指向プログラミングの重要度はますます高まっている。また、従来のキーボード、マウス、およびディスプレイ以外に、各種センサやアクチュエータを用いた新たなインタフェースによるフィジカルコンピューティングにも注目が集まっている。大学等において、このような分野での技術教育を効果的に行うための教育工学的手法は必ずしも確立されていない。新規技術の出現や進歩に追従し、試行錯誤で例題を開発しながら教育しているのが実情である。そこには様々な困難がある。

例えば、ソフトウェア演習においては、単発的な小さなアプリケーション作成の積み重ねだけでは不十分であり、ネットワーク環境のもとで、複数のパソコン同士が何らかの相互作用を持って処理が行われる分散アプリケーションの分野にまで踏み込む必要がある。しかしながら、分散アプリケーションを開発するためには、一定の環境設定が必要であり、その準備手順が必ずしも自明ではなく、初心者にとって障壁のひとつになっている。また、作成する例題を考えた場合、通常、素数判定やフラクタル図形の描画など、ありふれたものになりがちであり、学習者の興味を引きつけるものとは言えない。そのような場面では、フィジカルコンピューティングを分散システム技術に関連させた、新たなインタフェースを活用することが必要である。応募者は、このような観点から、これまでに例えば、以下のような研究開発を行ってきた。

### (1) オブジェクト共有空間とフィジカルデバイスの活用

これは、LindaやJavaSpacesなどのオブジェクト共有空間技術の活用である。これらは、初級プログラミングにおいてはほとんど使われていないが、実際には非常に柔軟性が高い。プログラミングで解くべき問題として、現実感のあるものを選択する必要がある。ここでは、ある大学において、高層の研究実験棟が新築され、そこに数機のエレベータが設置された利用環境にヒントを得た。このようなエレベータ群管理の最適化問題はかなり複雑であり、プログラミング能力を高めるための演習課題として適している。

一方、その際、ユーザインタフェースも重要な要素となる。より明確な現実感を持たせるために、パソコンの他に、サーボモータやICタグの利用効果を例示した。これはあくまで、プログラミングの開発と試行の環境を提供するものであり、必ずしも最適制御の方式そのものを直接教授するものではない。そうではなく、学習者は、この環境を使って、エレベータ群のいろいろな最適化制御手法のプログラムを作成して実験し、視覚的にその効果を的確に把握できる。それによって、分

散オブジェクト、マルチスレッド等の高度な技術を習得しやすくなる。

### (2) 短距離無線通信を用いた分散アプリケーションの開発

分散アプリケーションの例題として、短距離無線通信機能を備えたデバイス群を対象とした。一つ目の例題は、各種の探索や最適化に多用される遺伝的アルゴリズムをこれらのデバイス上に実装するものである。個々のデバイスがそれぞれ独立した生物集団に対応する。それぞれが独自に進化するが、デバイス同士を近づけると、それらの集団の間で自動的に個体情報の交換が行われるようになり、探索の効率向上が図られる。それらを、現実感をもって把握できる。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、近年のWebサービスの基盤となっている分散オブジェクトやオブジェクト共有空間等の高度なソフトウェア技術と、短距離無線通信やセンサ/アクチュエータを用いるフィジカルコンピューティング関連技術を、学習者が興味を持って修得できるようにすることにある。そのための、ソフトウェア開発および試行の環境を提供することをめざす。具体的には、以下のとおりである。

- (1) 現実感のある魅力的なプログラミング課題の考案を行う。
- (2) リモート制御、分散プログラミング環境提供のための課題を明らかにする。
- (3) 分散アプリケーション開発のための、学習者の環境や要求に応じた適切な手段と情報を提供する枠組みを作る。

## 3. 研究の方法

### (1) 自律的同期問題を分かりやすい例題で提示

現実感のある魅力的なプログラミング課題の検討を行った。特に、最近急速に普及しつつあるスマートフォン、各種プロセッサボードを用いた検討用アプリケーションを試作した。まず、ZigBee準拠の短距離無線を装備する小型マシン多数を用いたネットワーク同期のための、基本アプリケーションを開発した。これは、グローバルな柱時計の無い無線機器間での各デバイス間の動作を自律的に同期させるものであり、それをベースにクロックの同期を図ることができる。電子ホタル群の明滅の自律的同期を例題として実現した。

### (2) Webカメラを用いた分散アプリケーションの試作

次に、別の研究で行われていたWebカメラを用いた機械読唇技術を用いて、「ロパク(くちばく)からツイッターへ送受信する」アプリケーションを開発した。これは、Webカメラをインターフェースとする分散アプリケーション

ョンのフレームワークの一つを得るためである。すなわち、Webカメラの基本操作と、入力される情報をリレーショナルデータベースへ格納／加工すること、それを別のマシン（スマートフォン等）へ伝える仕組みである。これらの試作から、上記分野では、どのような利用すべき技術要素が存在し、それぞれのアプリケーションでは、それらがどのように結合されているかの構造を把握できる。

#### (3) スマートフォン (Android) を用いた応用の考案

各種センサや通信機能を備えたスマートフォン (Android 端末) を利用して、約10個のアプリケーションを開発した。その過程で、学習者が今後活用すべきデバイス等の要素と、これら要素と外部システム (クラウド、web) との関係についての「クラウド／デバイスとモバイルアプリケーションの技術関係マップ」の作成を進めた。これは、学習者が、フィジカルインタフェースを持つ分散システム・アプリケーションを開発する際に利用できるスケルトンを提供するための基盤となる。

#### (4) エージェント指向を用いた応用の考案

上記マップに、その後「エージェント指向による高層ビルからの避難モデリング研究」の知見を加えた。ここでは、フィジカルな世界とシミュレーションの世界との接続を実現した。具体的には、建物内の階段の各入口に NFC タグ (IC タグ) を貼り、避難訓練の際に避難者は、携帯している Android 端末をそれらにタッチすることで、各人の位置と時刻情報がクラウド上のデータベースへ格納される。

#### (5) 屋内の縦方向の位置情報取得 (大気圧の利用)

3台の Android (スマートフォン) を連携させて、エレベータの籠の現在階を、リアルタイムに遠隔地でモニタリングするものである。大気圧を利用する方法は原理的には簡単である。1階差 (1階当たり) の気圧差を予め計測しておき、測定箇所と基準箇所との気圧差をそれで割り算すれば、階差が分かる。しかしながら、大気圧は、時間とともにかなり変動するので、それを無視すると、正確な階情報は得られない。我々は、この問題を解決する方式を考案した。

#### (6) 屋内の縦方向の位置情報取得 (エレベータの加速度の利用)

エレベータの昇降移動、在階情報を用いた多様なアプリケーション (例えば、建物内のナビゲーション等) を開発するためには、ユーザサイドで、エレベータの動作把握を行う必要がある。加速度センサを使う場合には、一般に、加速度を積分して速度を、さらに速度を積分して距離が得られる。しかし、これは理論上の話であり、実際には、加速度値の揺れや振動、センサの性能、積分誤差の累積

によるドリフトなどへの対応が必要とされるので、簡単ではなく、高い精度も望めないという問題がある。我々の提案手法はそれを解決しようとするものである。

## 4. 研究成果

### (1) 研究の主な成果、およびその位置づけとインパクト

① 自律的同期問題を分かりやすく示すフィジカルコンピューティング例を明示した。この場合は、1つのデバイスが電子ホタルとなる。離れた各電子ホタルは一定の周期で光っているが、開始時刻が異なるので多数の電子ホタルがバラバラに発光する。

しかし、それらを一定範囲内に近づけると、自動的に、同期が始まり、最終的に全ての電子ホタルが同期して一斉に明滅するようになる。ここでは、発光を特別な無線信号パケットで表現し、受光をその受信とするプログラミングで実現する。分散クロック間の遅延制御による同期という課題に取り組むことになり、学習意欲が高まることが確認できた。

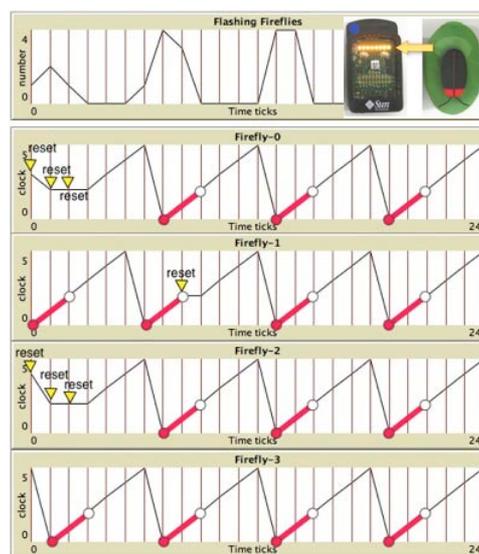


図1 フェーズ遅延による電子ホタルの自律的同期明滅

フェーズ遅延モデルによるシミュレーションに基づき、4台～8台の SunSPOT (Zigbee 無線付きの小型 Java) マシンを使って、ホタル群の同期現象を再現した。(図1) ホタルの発光と受光は、無線信号を使って実現しているので、シミュレーションでは起こらないいくつかの問題を克服した。実際に自律的に同期する様子をデモンストレーションすることは、組み込みソフトウェア開発の教育上の意義がある。この試作によって、分散アプリケーションに必須なマルチスレッドプログラミングの基本構造と無線信号によるコミュニケーション方法、LED やサーボモータ等の制御方法等を切り出し、他のアプリケーションを開発する場合の基本要素として蓄わえることができた。

以上をまとめると、フィジカルコンピューティングの観点から Java が稼働する小型マシン SunSPOT を電子ホタルとみなし、お互いの光の同期を、ZigBee 電子信号で表現できることを明らかにした。また、ソフトウェアシミュレータで実施した位相遅延方式を、この電子ホタルの信号受信遅延で表現する方式を示した。

これよって、分散アプリケーションに必須なマルチスレッドプログラミングの基本構造と無線信号による通信方法、LED やサーボモータ等の制御方法を切り出し、他のアプリケーションを開発する場合の基本要素として蓄えることができた。SunSPOT のような実機をホタルとみなしてそれらの発光の自律的同期を実現した例はこれまでに無いと考えられる。この成果を国際会議 AROB2012 で論文発表した。(5. ⑧参照)

②Web カメラを用いた分散アプリケーションを試作した。これは、聴覚障害者向け機械読唇を利用したツイートシステムである。発話している口元の映像から口形順序コードを導出し、日本語へ変換することができた。また、その変換された日本語を Twitter に送信することもできた。

実験結果から、機械読唇から日本語へ変換することも実現可能であることが分かった。また、日本語テキストへの変換のための辞書データベース内の語句を増やした場合、求めたい語句以外のものが上位候補にくることがあり、また、同じ類似度を出すものが増えていくことで、求めたい語句が GUI 画面で選択できる範囲外になる可能性がある。その改善策として、スコア(優先度)の付け方を工夫する必要があるが分かった。

すなわち、Web カメラを用いた分散アプリケーションとして、「ロパク(くちぱく)からテキストを自動生成し Twitter へ投稿するシステム」を試作した。その成果は国内の国際学会 AROB2012 で論文発表(5. ⑦参照)したほか、朝日新聞で紹介され([その他]①参照)、多数の問い合わせを受けた。この成果のうちの機械読唇の部分は他の研究者の開発によるものだが、ここでは、Twitter へ自動投稿して会話を成立させるシステムを試作できたことで、新しい分野への分散アプリケーションの可能性を示した。

③スマートフォン(Android)のアプリケーションを多数試作し、利用できる多様な機能の使い方を、用途に合わせて俯瞰できるマップを作成した。特に、スマートフォン開発環境の一つである App Inventor を使って開発した十数個の例題において、それぞれが、App Inventor のどの機能を使ったかを、図2にまとめた。App Inventor の拡張性のうち、特にデータベースは重要である。

クラウド上のデータベースとして Tiny WebDB と FusionTables がある。Tiny WebDB

は、Android 本体に作るデータベース TinyDB と同じ構造のものをクラウドに作成できる。また、FusionTables は、スプレッドシート型のデータベースであり、SQL 文を App Inventor から送る機能を利用できる。これは2つのデータベースの場合は、Android 本体の場合と異なり、格納や検索要求を発行してから、結果が帰ってくるまでにタイムラグがある。そのため、callback 関数が用意されていることを理解させる必要があった。

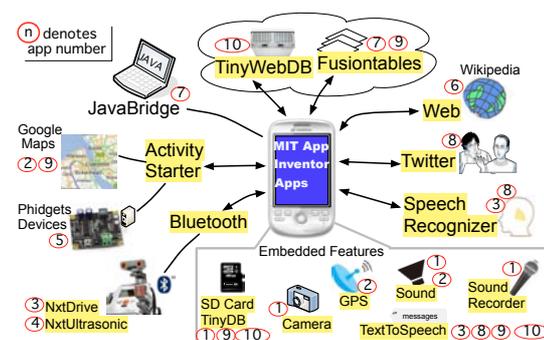


図2 試作した Android アプリケーションと拡張性

以上で得た情報とノウハウは、学習者自身の問題を解いていく上で、有効に活用できるという意義がある。また、アプリケーションを開発する上での開発環境の評価を実施し、それらを国際会議 Ed-Media2013 で論文発表(5. ⑤参照)した結果、質疑応答において高い関心が示された。また、この成果の、米国 MIT で開催される MIT App Inventor Summit 2014 での講演(5. ①参照)が決定している。

④エージェントベースで汎用的な避難モデルの原型をつくり、それを現実のビルに適用して、一定の知見を得た。我々のモデルの第1の特長は、階段や廊下などをパッチ(グリッドセル)に区切り、それらの各セル毎に避難者(エージェント)が存在し得る容量を動的に設定できることである。エージェントの移動原理は簡単であるが、それによって、多様な階段や廊下の構造に適用しやすい。

例えば、ある特定のセルの容量をゼロに設定すれば、そのセルの箇所が通行不能となる状況を作り出せる。また、大勢の避難者が降りてくるなかを、救援隊が逆走して上の階に登る場合のモデリングも容易に実現できる。なぜならば、救援隊があるセルに移動できるかどうかは、避難者の場合と同様に、そのセルの容量の範囲か否かで決まるからである。第2の特徴はエージェントが移動のために使う情報に関することである。基本的には、エージェントは階段入り口や出口という目標に向かって前進する。その際、上述のグリッドセルの容量によっては前進できずに待つ。一方、同じフロアの別の階段が空いていると分かった場合は(ローカルな情報によ

り)、別の空いている階段を前進すべき目標に変更できる。

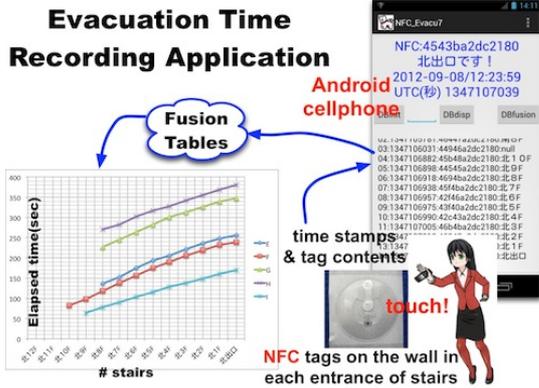


図3 エージェントシステムと NFC タグの連携

多数の避難者のうち、モニタとなった者は、各階段入口に貼られた NFC タグ（階情報が書き込まれた IC タグ）をスマートフォンでタッチしながら避難する。その時刻と階情報は自動的にクラウドへ送信され、渋滞解析ができる。(図3) それを以降の避難計画に役立たせることができる。この開発は、フィジカルコンピューティングの学習者にとって、現実味のある例題を与えたという意義がある。その成果を、国際会議 ITS2012 と HCII2013 で論文発表した。(5.④, ⑥参照)

⑤屋内の縦方向の位置情報取得を、大気圧を利用して行う方式を提案し、その有効性を実証した。この方法にもとづき、エレベータの籠の位置(階レベル)を判定し、それを遠隔地でモニタリングするシステムを開発した。図4にその構成を示す。基準気圧サーバは、エレベータの外の固定位置に置かれている。計測用の気圧センサ(クライアント Android)は、エレベータの籠の中に固定されている。クライアントは、エレベータの昇降にともなう気圧を計測し、クラウドデータベース(この場合は、Google App Engine 上に作成した TinyWebDB)から最新の基準階気圧を得て、現在位置(階レベル)を計算する。

本学のビルのエレベータで本方式の実験を行った。このエレベータは、地下1階から12階までを昇降する。クライアント Android をエレベータの籠において観測した。サーバ Android は8階に固定した。昇降の途中の判定階情報は上述のようにクラウドデータベースへ格納しているが、同時に、クライアントの内部データベースにも格納した。そのログから、通過階(判定された階)をグラフに表現できた。この時間帯は、午前中の授業が終わり、12階にある食堂へ向かう学生が多い。このグラフの結果はそれを反映していた。この結果から、本方式は正確に働くことが実験的に検証された。この成果を国内の国際会議 AROB2014 で論文発表した。(5.③参照) 大規模技術展にも出展した。([その他]②参照)

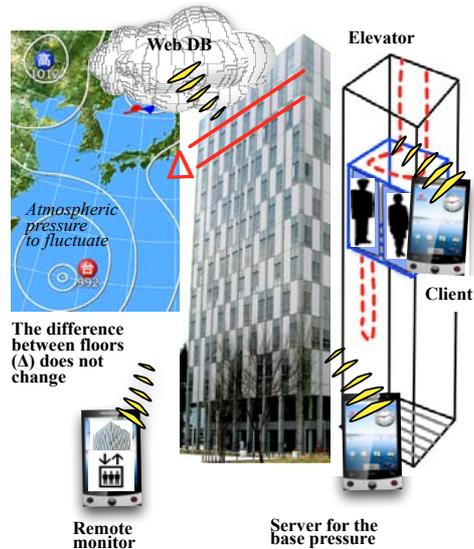


図4 気圧サーバを用いた遠隔エレベータモニタリング

⑥特に、エレベータを利用する場合に、エレベータの加速度波形を解析して、屋内の縦方向の位置情報を取得する方式を提案し、その有効性を実証した。加速度センサを有する Android スマートフォンをエレベータの籠に置くだけで、その現在位置(何階にいるか)をリアルタイムに推定できる方式を考案した。本方式に基づく、エレベータの籠の位置をリアルタイムに算出するソフトウェア(図5)を開発した。

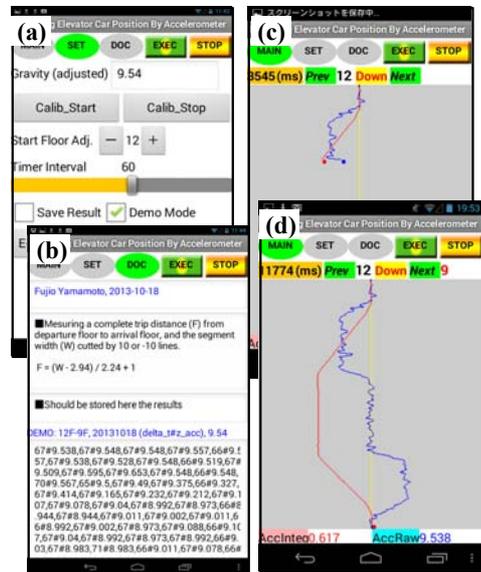


図5 加速度センサを利用したエレベータ位置の推定

国内、海外の高層ビルのいくつかについて、そのエレベータの加速度データを実際に採取し、このソフトウェアによって、エレベータの位置を検出した実験結果を得た。基本的には、加速度波形から生成した速度波形における速度一定区間の長さによって、エレベータの出発から到着までの距離(すなわち、階の差)が分かる。Android を持ってエレベ

タに乗り、リアルタイムに次の停止階を自動アナウンスするソフトウェアとして作成した。

この成果を国内の国際会議 AROB2014 で論文発表 (5.②参照) した。また、屋内縦方向位置情報取得の方法として、前述の大気圧利用を含めて、特許を申請した。〔産業財産権参照〕

## (2) 今後の展望

フィジカルコンピューティングとクラウドコンピューティングは、今後ますます重要になると考えられる。本研究は、それに応える試みとして実施した。全体を通して、センサボード、スマートフォンの機能と、クラウドデータベースを利用する分散アプリケーション開発の典型例を多数提示し、大学等での情報技術教育上必要と考えられる広範な応用開発のための基本的な枠組みを示すことができた。これらの開発をとおして、センサ類をクラウド経由で活用する枠組みの典型例を示すことができた。しかしながら、開発事例は、質と量ともに不十分である。進化したデータベースの仕組みの上に、事例を抽象化して、汎用性を高める研究はまだ不十分である。本研究をさらに発展させたい。

## 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)

〔学会発表〕 (計 13 件)

- ① Fujio Yamamoto, “Rapid Prototyping Using App Inventor in Information and Computer Sciences Course”, Proc. of the MIT App Inventor Summit 2014, Cambridge, USA (2014. 7. 18), 査読付き, 採択決定
- ② Fujio Yamamoto, Hiroshi Tanaka, Haruhisa Yamaguchi, “Detecting velocity profile generated by an elevator control system and estimating the elevator car position using accelerometer of an Android smartphone”, Proc. AROB 2014, pp. 231-235, 別府市 (2014. 1. 22), 査読付き
- ③ Fujio Yamamoto, Haruhisa Yamaguchi, Hiroshi Tanaka, Takayuki Suzuki, “Estimating elevator car position by referring to Android server providing fluctuating atmospheric pressure of a base floor”, Proc. AROB 2014, pp. 236-240, 別府市 (2014. 1. 22), 査読付き
- ④ Fujio YAMAMOTO, “Investigation of an Agent-Based Modeling on Crowd Evacuation and its Application to Real Buildings”, Proc. of the DHM/HCI 2013, Part I, LNCS 8025, pp. 373-382, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2013, Las Vegas, USA (2013. 7. 27), 査読付き

- ⑤ Yamamoto, F., Kimura, M., Takahashi, K., Tanaka, H. & Miyazaki, T. “Empowering Students to Develop Mobile Applications by Using App Inventor for Android”, Proceedings of World Conference on Educational Multimedia, Hypermedia and Telecommunications, pp. 2481-2486, Victoria, Canada (2013. 6. 25), 査読付き
- ⑥ Fujio YAMAMOTO, “Modeling and Simulation on Crowd Evacuation of a Building with Agent-Based Approaches”, Proc. of the IADIS International Conference on Internet Technologies & Society 2012 (ITS 2012), pp. 313-316, Perth, Australia (2012. 11. 28), 査読付き
- ⑦ Shiori KAWAHATA, Eiko KOYAMA, Tsuyoshi MIYAZAKI and Fujio YAMAMOTO, “Producing text and speech from video images of lips movement photographed in speaking Japanese by using mouth shape sequence code: an experimental system to communicate with hearing impaired persons”, Proc. of the 17th International Symposium on Artificial Life and Robotics, pp. 867- 970, 別府市 (2012. 1. 20), 査読付き
- ⑧ Fujio YAMAMOTO, “An Implementation of Firefly-Inspired Network Synchronicity without Leaders on a Group of Small Wireless Devices”, Proc. of the 17th International Symposium on Artificial Life and Robotics, pp. 975-978, 別府市 (2012. 1. 19), 査読付き

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 1 件)

名称: 携帯端末を使用した所在階数推定システム、携帯端末及びプログラム  
発明者: 山本富士男・田中 博  
権利者: 同上  
種類: 特許  
番号: 2014-7477  
出願年月日: 2014年1月20日  
国内外の別: 国内

〔その他〕

- ① 新聞発表「唇の動き IT で読む」, 朝日新聞 (2012. 4. 27 神奈川版朝刊)
- ② 技術展 CEATEC Japan 2013 に出展 (2013. 10. 1~4), 幕張メッセ  
<http://www.ceatec.com/ja/exhibition/detail.html?id=831>

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

山本 富士男 (YAMAMOTO, Fujio)  
神奈川工科大学・情報学部・教授  
研究者番号: 90267641