

令和 元年 6 月 5 日現在

機関番号：14603  
 研究種目：国際共同研究加速基金（国際共同研究強化）  
 研究期間：2016～2018  
 課題番号：15KK0011  
 研究課題名（和文）タッチパネル操作の挙動分析に基づく人のコンテキスト認識と応用（国際共同研究強化）  
  
 研究課題名（英文）Context Recognition and its application based on Touch Operation Analysis  
 (Fostering Joint International Research)  
  
 研究代表者  
 荒川 豊 (Arakawa, Yutaka)  
  
 奈良先端科学技術大学院大学・先端科学技術研究科・准教授  
  
 研究者番号：30424203  
 交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 7,300,000円  
 渡航期間： 9ヶ月

研究成果の概要（和文）：2017年8月から2018年4月までの9ヶ月間、UCLAのMani教授のもとスマートフォンやウェアラブル機器を利用したユーザの状態認識に関する研究を行った。滞在時に着想を得たエネルギーハーベスト素子を電源かつセンサとして利用する低消費電力なユーザ行動認識システムは、国内学会で3回の受賞と、トップ会議IEEE PerCom2019にフルペーパーとして採択（採択率16.6%）されるなど、期待以上の成果が得られた。また、Mani教授とPersuasive Technology（説得技術）を取り扱う国際ワークショップPerPersuasion2019を主催した。

#### 研究成果の学術的意義や社会的意義

UCLAの研究室に滞在し、研究の進め方やアイデアの出し方、論文執筆方法など、多くのことを学ぶことができた。ハードウェアから深層学習まで、幅広い情報技術を複合的に組み合わせたセキュリティや通信の研究は非常に参考になった。その結果、新しいアイデアを得ることができ、科研費やトップ会議への採択へとつながっている。この成果は、エネルギーハーベスト素子を電源としてだけでなく、センサとして活用するというもので、バッテリーレスでライフログを記録できるようになるため、学術的な意義は非常に大きい。

研究成果の概要（英文）：For nine months from August 2017 to April 2018, I conducted research on user's context recognition using smartphones and wearable devices under Professor Mani of UCLA. During the stay, I got a novel idea of a low-power-consumption place recognition system. It utilizes an energy harvest element not only for a power source but also for a sensor. This idea was accepted to a top conference IEEE PerCom 2019 as a full paper (Acceptance rate: 16.6%). The achievements are more than I expected. I also hosted an international workshop called PerPersuasion 2019 with Professor Mani.

研究分野：ユビキタスコンピューティング

キーワード：タッチ操作 コンテキスト認識 スマートフォン

## 様式 F-19-2

### 1. 研究開始当初の背景

スマートフォンの広がりにより、いつでもどこでも情報にアクセスできるようになっている。このスマートフォンには、さまざまなセンサが内蔵されており、それらのセンサを活用することで、所有者の状態（コンテキスト）をセンシングするという研究が盛んに行われている。例えば、内蔵加速センサを用いて、立ち座り、歩行、階段昇降などを検出する行動認識の研究や、電車やバスなどの乗り物を検出する研究、さらにはストレス状態を推定する研究などの研究が行われている。研究代表者も、2010年頃から、スマートフォンのセンサを用いた行動認識の研究を行っている。特に、2014年からは、スマートフォンのタッチ操作の挙動分析に基づくコンテキスト認識という研究が、科研費若手研究（A）に採択され、タッチ操作のロギングシステムから、ロギングしたデータからコンテキストを認識する手法について取り組んできた。従来のように加速度センサなどを用いた行動認識を行う場合、センサを常時動作させておく必要があり、バッテリー消費の観点から実用性が低いという問題があった。それに対して、研究代表者が着目したタッチ操作は、操作時に出力されているログを分析するという手法であることから、常時センサを動作させる必要がないという利点があった。また、タッチパネルは、スマートフォンだけではなく、カーナビやATM、Pepperなどのロボットなどでも広く利用されており、成功した場合の波及効果が大きいという利点もあった。特に、その操作具合から操作者のストレスや操作スキルを認識することができれば、システム側からは操作者に応じた情報を提示することが可能となり、よりコンテキストウェアネスの高いシステムを実現できる。ただし、タッチ操作の個人差や国籍差に関して考慮する必要がある。研究代表者が着目していたスマートフォンのタッチ操作に関して言うと、日本語を入力する場合、片手打ちも簡単にできるフリック入力がよく用いられる。この操作は、画面上で指を滑らせる操作となる。一方、英語圏では、パソコンと同じQWERTYキーボードを介した入力となり、画面上をタップする操作が一般的である。この場合、同じような入力を行ったとしてもタッチパネル上での挙動は大きく異なってしまうため、提案システムを普遍的な形に発展させるためには、英語圏での共同研究が必要不可欠であると考え、国際共同研究加速という形で、米国の研究室で研究を進展させたいと考えていた。

また、個人的には、教育的な観点から、当該領域で活躍する研究者の多い米国での研究の進め方やトップ会議への通し方などを学びたいという思いがあった。

### 2. 研究の目的

上記に述べた研究および教育的な背景のものと、国際共同研究の第1の目的は、グローバルな環境で、タッチ操作の挙動認識アルゴリズムを普遍的なものにすることである。例えば、タッチパネル上の文字入力について考えると、日本語に関してはスワイプ操作を活用したフリック入力が主流であるが、英語圏ではQWERTYキーボードによる入力が一般的である。手の大きさや普段使うアプリケーションも異なると予想され、こうしたグローバルな環境で普遍的に通ずる技術の確立とサービスの発見を目指す。

第2の目的は、世界トップ研究者であるUCLA Mani教授との継続的な研究協力関係を築くことである。同じ技術であっても、応用の仕方や論文の切り口によって評価は大きく変わる。Mani教授は、次に必要となる技術に対する嗅覚が鋭く、何かを認識するというセンサの研究に対して、ネットワークやプライバシーといった多角的な視点で新しい研究領域を開拓し、これまでに波及効果の大きな論文を多数執筆されている。今回のタッチセンサをどう活かしていくのかを議論しながら、それに必要な別のセンサや分析システムなどの将来の研究課題も模索したいと考えている。

### 3. 研究の方法

2017年7月末に渡航し、8月から2018年4月20日までの約9ヶ月間、University of California Los Angeles (UCLA) の Electrical & Computer Engineering 学部、Networked & Embedded Systems Laboratory (NESL) に訪問研究員として滞在した。

滞在中は、研究室で行われる論文輪講や研究ミーティングに参加したり、Mani教授と個人的な研究ディスカッションを行いながら研究を進めた。

### 4. 研究成果

2015年の申請時から渡航までの間に、UCLA NESLの研究テーマに変化があり、2017年に滞在中には、IoTセキュリティおよびプライバシーの研究が主流となっていた。そのため、タッチ操作挙動に基づくコンテキスト認識に関しては、新規の実験を行うことは断念し、研究内容に簡単なアドバイスをもらい、論文に投稿するという形で締めくくった。

しかしながら、Mani教授及びPh.D.の学生たちとの議論を通じ、ユーザの状態認識においてもプライバシーへの配慮が必須であることを学び、IoT機器とユーザのトラストをどのように形成するかという新しい課題の研究立案に取り組んだ。この課題については、プロジェクトとしてまとめ、Mani教授にアドバイザーとして加担してもらい科研費に応募中である。



Mani教授

また、タッチ操作挙動に基づくコンテキスト認識は、スマートフォンの画面だけではなく、様々なモノに対するタッチ操作とも捉えられる。その際に用いられるセンサとしては、圧電素子となる。例えば、冷蔵庫の取手などに圧電素子を取り付ければ、そのタッチ具合から利用者を推定するといったことが可能になる。この圧電素子は、圧力や振動などの物理エネルギーを電力に変えるエネルギーハーベスト素子でもある。そして、UCLA 滞在中、さまざまな関連論文を読み進めるうちに、このようなエネルギーハーベスト素子をセンサ兼電源と使えば、より低消費電力なユーザコンテキスト認識ができるのではないかとこの着想を得た。UCLA では、長期的な行動観測に基づくオフィスワーカーのメンタルセンシングプロジェクトが進んでおり、低消費電力な行動認識システムの実現が求められていたことがこの着想のきっかけになったと考えられる。以降、研究成果として得られたことについて説明する。

### (1) タッチ操作ログ収集システムと操作形態識別手法のジャーナル化

渡航前に進めていたタッチ操作ログ収集システムに関して取りまとめ、ジャーナルに投稿し採択された。提案システムは、Android や Linux などの OS (Operating System) が出力するデバイスログに着目し、そのログを逆解析することにより、端末上で発生したタッチイベントを推定するというものである。

提案システムでは、代表的なタッチ操作であるシングルタッチ、マルチタッチ、シングルスワイプ、マルチスワイプ、ピンチイン・ピンチアウト、ローテートを高精度に識別することが可能である。

識別されたタッチ操作に基づいたコンテキスト認識として、スマートフォンの操作形態識別手法に取り組んだ。操作形態とは、どのような持ち方をしていて、どの指で操作しているかというスマホの使い方の識別を指す。

ここでは、決定木やロジスティック回帰、ランダムフォレストなどの機械学習を適用し、識別を試みたところ、61.2%の精度しか得られなかった。そこで、手の大きさなどのユーザ属性情報を特徴として追加することで、96.5%まで精度を改善できることを明らかにし、論文として採択された。

本課題では、このタッチ操作に基づくコンテキスト認識を発展させる予定であったが、滞在先の研究テーマとの整合性により、タッチ操作に限らずに、広くコンテキスト認識について研究を実施することとなり、当初の想定以上に幅広く研究を行うことができた。

### (2) エネルギーハーベストコンテキスト認識システムのアイデア獲得

上述した圧電素子だけではなく、光を電気に変換する太陽電池、熱を電気に変換するペルチェ素子、電磁波から電気を取り出すレクテナなど、さまざまなエネルギーハーベスト素子が存在している。Mani 研究室は、電気工学科に属しているためハードウェアからのアプローチも多く、電磁波から電気を取り出して無電源で動作するセンサに関する研究ディスカッションも多かった。その中で、アメリカ・ワシントン大学で 2013 年に発表した、TV/Wi-Fi 電波を反射することによって、超低消費電力な通信を実現する Ambient Backscatter 通信などの知識を得ることができた。そして、エネルギーハーベスト素子を駆使して、センサを駆動するというこれまでのアプローチを根本から考え直したところ、エネルギーハーベスト素子そのものをセンサとして利用するというアイデアに至った。

エネルギーハーベスト素子は、太陽電池であれば光の当たり具合で発電量が変わるなど、発電量が環境に左右され不安定であるという問題があった。それを逆手に取ると、発電量の変化から、環境を推定できるのではないかと考えた。さらに、複数種類のエネルギーハーベスト素子を組み合わせることで、識別する環境の分解能を改善できるのではないかと考えた。例えば、太陽電池には、アモルファスシリコンや単結晶シリコン、有機色素増感など複数種類があり、起電する波長や明るさに違いがある。

図 1 は、複数種類の太陽電池を並べて、光量の変化に対する発電量を調査した時の様子である。波長に関しては、ソーラーシミュレーターを用いて特性の違いを調査した。そうすると、着想時の予想通り、波長や明るさの違いに対して、素子ごとに反応が違うという結果が得られた。また、その成果は、2019 年 3 月に京都で開催された当該分野のトップ会議 IEEE PerCom 2019 にフルペーパー採択 (採択率 16.6%) されるなど高く評価されている。

このようにこれまでにない新しいアイデアを着想できたのは、国際共同研究加速の支援で滞在した UCLA での経験が合ったからであると考えている。

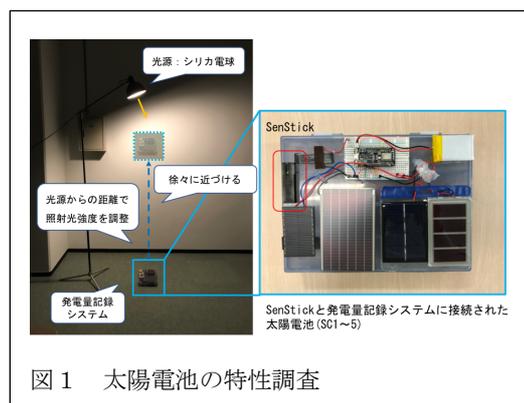


図 1 太陽電池の特性調査

### (3) 国際ワークショップの共同主催

これまでコンテキスト認識に関する研究を行ってきたが、認識率が極めて高くなったその先にある研究として、研究代表者は、情報技術によって促進される行動変容に関する研究に取り組

んでいる。例えば、タッチ操作の挙動からストレスを推定できた場合、推定で終わるのではなく、ストレスを軽減するような介入、デジタルセラピストなど、までを行うというものである。こうした技術は、Persuasive Technology とも呼ばれている。

渡航後にわかったことであるが、Mani 教授は、労働者の Well-being と生産性改善のためのセンシングプロジェクト (mPerf: Using mobile sensors to support productivity and employee well-being, <http://mperf.md2k.org/>) に参画していた。この研究は、現時点では、センシングに重点が置かれているが、今後、行動変容につなげる Persuasive な情報提示技術などが必要になってくると考えられる。

そこで、IEEE PerCom というユビキタス・コンピューティングのトップ会議のもとで、特に Persuasive (説得) 技術に関連した研究を集めたワークショップを主催することを提案し、Mani 教授と研究代表者が General Co-chairs という形で会議を行った。この PerPersuasion2019 では、6 件の研究発表があり、20 名を超える参加者があるなど、第 1 回目の開催としては、注目を集めるワークショップになったと考えている。



図 2 PerPersuasion2019 の様子

#### (4) 研究指導法に関する学び

国際共同研究を通じた重要な学びとして、米国流の研究指導方法が挙げられる。日本と大きく異なる点は、修士および博士はすべて教授に雇用されている点である。研究室の予算の多くも人件費に割かれており、計算機環境や実験機材、什器などは非常に古いものが利用されていた。

研究課題は、研究室を支えるファンドに大きく依存し、学生たちは雇用されているファンドに関連する研究に取り組む形となっていた。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者は下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

[1]Yuko Hirabe, Hirohiko Suwa, Yutaka Arakawa, and Keiichi Yasumoto, “TouchAnalyzer: A System for Analyzing User’s Touch Behavior on a Smartphone,” International Journal of Computer Science and Mobile Computing, Volume 7, Issue 1, pp.25-38, January 2018. (査読あり)

[図書] (計 1 件)

[1]荒川豊, “UCLA 研究留学レポート,” 人工知能 34 巻 2 号, pp.260-263(2019 年 3 月). (査読なし)

[その他]

IEEE PerCom2019 において、Persuasive Technology(説得技術)を取り扱う国際ワークショップ PerPersuasion2019 を主催 (General Co-chairs: Yutaka Arakawa, and Mani Srivastava) <https://perpersuasion.ubi-lab.com>

#### 6. 研究組織

研究協力者

[主たる渡航先の主たる海外共同研究者]

研究協力者氏名 : マニ シルバスターバ

ローマ字氏名 : Mani Srivastava

所属研究機関名 : University of California Los Angeles (UCLA)

部局名 : Electrical & Computer Engineering

職名 : Professor

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。