

CARduino: 自動車での利用に適したデバイスツールキット

山本 貴文^{1,a)} 塚田 浩二^{1,b)} 沖 真帆^{1,c)}

概要：Arduino などのマイコンベースのツールキットが普及し、様々な場面で利用されるようになった。サイズやポート数等が異なる多くのデバイスが提案されているが、特定の状況での利用を想定しているものは少ない。本研究では、マイコン／センサ／アクチュエータを自動車の中で利用することに焦点を当て、外観／電源／固定等の問題を解決できる Arduino 互換のデバイスツールキット「CARduino」を提案する。本論文では、CARduino の設計指針やプロトタイプの実装、応用例について紹介し、将来の展望について議論する。

キーワード：デバイスツールキット, Arduino, 自動車

1. 背景

近年、自動車車内のインタラクションに関する研究が盛んに行われている。例えば、松村らによる車内会話を記録・提示する研究 [1] や、内海らによる車載センサによって検知された運転者の状態を周囲の運転者・歩行者と共有する研究 [2] などである。こうした自動車のインタラクション研究の試作段階では、様々なセンサやデバイスを車内に設置することになるが、こうしたデバイスを手軽に固定することは難しい。実際に、著者自身も車好き／工作好きが興じて、車内にセンサやマイコン等を配置したシステム試作を何度か試みたが、デバイスの固定に苦勞して実装効率が悪く、ケーブルも煩雑になるなど外観も損ねてしまった (図 1)。

本研究は、様々なセンサやデバイスを車内に設置する際に発生する問題の解決を目指す。こうした問題を整理すると以下ようになる。

- 外観：マイコンの基板やケーブル類がむき出しになり、車内のインテリアにそぐわない。
- 設置：車内は曲面デザインが多いため、マイコンやセンサを固定させることが難しい。市販製品によく見られる両面テープを用いた固定方法は、試作段階のように配置を調整する場合、糊残りなどの問題がある。



図 1 既製品のマイコン／センサを車内に設置した事例。固定が難しく、外観も損ねる。

- センサ：センサはその種類により適切な配置位置が変化するため、センサは車内に固定しやすいようにモジュール化するのが望ましい。

本研究は、これらの問題を、車内での利用に最適化したデバイスツールキットを構築することで軽減しようと試みる。本研究では、自動車内での利用に最適化した Arduino 互換のデバイスツールキット「CARduino」を提案する (図 2)。

本論文は、まず先行研究について紹介し、次に CARduino の設計指針とデバイスの仕様について述べる。さらに、CARduino を用いた開発手法やその応用例について紹介する。最後に、今後の検討課題について議論する。

2. 関連研究

本章では、本研究に関連する研究事例について、「Arduino 互換機による開発支援」「車内のセンシングに関する研究」という領域から紹介する。

¹ 公立はこだて未来大学
Future University Hakodate

a) b1011063@fun.ac.jp

b) tsuka@acm.org

c) oki@fun.ac.jp

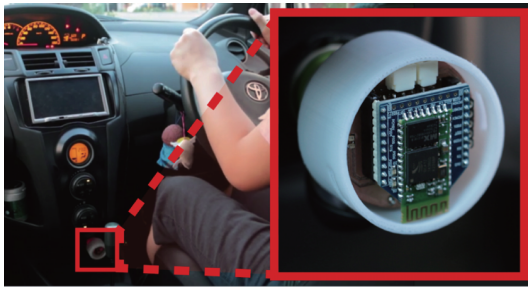


図2 CARduino を車内に設置した様子

2.1 Arduino 互換機による開発支援

近年, Arduino[3] や Phigets[4], Gainer[5] などの多くのオープンソース・ハードウェアが開発され, 気軽に電子デバイスの制作が行えるようになった. 中でも Arduino は人気があるマイコンベースのツールキットである. 代表的な Arduino UNO 以外にも, UNO と比べ入出力端子を増やした Arduino Mega や, UNO をより小型化した Arduino Pro Mini, Zigbee による無線通信機能を手軽に追加できる Arduino Fio などがある. Arduino は, オープンソース・ハードウェアとして, ハードウェアの回路図が一般に公開されており, 誰でも Arduino 互換機を制作することができる. たとえば, BLE (Bluetooth Low Energy) モジュールを標準搭載した Blend Micro[6] や, 大幅にピン数をそぎ落として, 超小型化した 8pino[7] 等, 多彩な Arduino 互換機が存在する. このように, 多数の互換機や派生商品が登場しているが, その多くは汎用性を重視しており, 特定の環境での利用に最適化したものは少ない. その中で, Lilypad Arduino は服や帽子, バッグなど布地に縫い付ける利用に特化し, 導電性の糸を用いてデバイスを固定/配線することができる. CARduino は車内での利用という特定の環境に特化した Arduino 互換のデバイス・ツールキットを指向している.

2.2 車内のセンシングに関する研究

車内にセンサを設置し, 新たな車内インタラクションの追求を行うための研究は盛んに行われている. 松村ら [1] は, 車内にマイクを設置し車内会話の収集・提示を試みている. 内海ら [2] は, 運転席にカメラを設置して運転者が向いている方向を取得し, その状態を周囲の運転者や歩行者と共有するシステムを提案している. YanWang ら [8] は, 内蔵センサを用いて運転手が持つスマートフォンの利用状況を判定して, 運転中のスマートフォン操作の抑制を試みている. 岡本ら [9] は, 運転手に筋電位測定センサを装着し, 筋電位を用いて自動車の乗り心地を評価している. これらの研究では, 車内でセンシングしたデータを活用した多様な応用事例が提案されている. 一方, 本研究は車内で汎用的に利用できるデバイスツールキットを目指している.

3. CARduino

本章では, CARduino の設計指針, およびハードウェアとソフトウェアの実装について述べる.

3.1 設計指針

ここでは, CARduino の設計指針として, 「デバイスの固定方法」と「搭載センサ」についてまとめる.

3.1.1 固定方法の検討

本研究では, デバイスを固定する方法として, 「電源を取得できる」「多くの車種に固定できる」という観点から, OBD2 とシガーソケットの利用を検討した. OBD2 (On Board Diagnosis 2nd generation) とは車載コンピュータとの通信を行うコネクタで, 整備士が車の点検や故障時の診断を行う場合に使用するものである. 車に関する様々なデータが得られるなどメリットもある一方, 以下のような課題もある.

- 90 年代前半以前の自動車には基本的に OBD2 が搭載されていない.
- 国産車では, 2008 年 10 月以前に搭載された OBD2 の通信プロトコルがメーカー毎に異なり, その多くの仕様が一般公開されていない.
- OBD2 コネクタは運転席下部のアクセスしにくい位置に設置されており, 利用の敷居が高い.

こうした問題点を鑑みて, 今回は多くの車に搭載され, 扱いやすいシガーソケットを固定用端子として採用した (図 3, 左). シガーソケットからは原則 12V の電源を取得できるため, マイコンの動作電圧としては十分である. さらに, 開発効率や汎用性を重視し, 市販の USB シガーソケット変換アダプタと組み合わせる方針とした. (図 3, 右)



図3 車内にあるシガーソケットの例とシガーソケットに差し込む USB 給電機. ダイソーで 100 円で購入した.

3.1.2 搭載するセンサの検討

車内でのインタラクション研究においては, 多数のセンサを利用する可能性がある. その際, センサの利用目的や性能面など, 考慮すべき点は多い. たとえば, 「自動車/運転者/同乗者の状態を検出する」, 「運転者の意図的な動作を検出する」といった目的により, 必要なセンサは異なる. さらに, 同じセンサであっても, マイクや光センサの

ように設置場所により機能が大きく変化するものもある。よって、今回は汎用性／入手性／価格等を考慮し、加速度センサと温度センサのみを標準センサとして搭載し、その他のセンサは拡張端子に接続できる設計とした。加速度センサはシガーソケット位置に固定することで、車の発進／停止などの状態や、直進／右折／左折などの移動方向、さらに積分することで速度を検出できる。また、温度センサは設置位置を固定することで、車の温度を安定した状態で計測できる。

3.2 実装

図4に、CARduinoのシステム構成を示す。

プロトタイプの外観を図5に示す。CARduinoはマイコンを搭載するメイン基板部、電力の供給を行うUSB基板部、2つの基板を内包する筐体部に分けられる。メイン基板部は直径約4cmの円型基板上に、センサ／通信モジュール／マイコンなどを備える。標準搭載センサとして加速度センサ（Kionix社 KXP84-2050）、温度センサ（TI社 LM35DZ）を用意し、通信モジュールとしてBluetoothモジュール（Seeed Studio社 Bluetooth Bee）を利用する。これらを制御するマイコンはAVRマイコン（Atmel社 ATmega328P-AU）を利用する。また外部の入出力デバイスを接続するための拡張端子を備える。拡張端子はI²C通信、アナログ入力、PWM出力などに対応する端子を3つ用意した。

USB基板部はシガーソケット・USB変換アダプタ（ダイソー製、D106）に接続して利用する前提で設計しており、シガーソケットから電源を得ると同時に車体とCARduinoを固定する役割を持つ。USB基板はL字型のピンヘッダを介してメイン基板部に対して垂直に接続する（図6、左）。USB基板部は3.3V／1.5Aのレギュレータを搭載し、メイン基板に電源を供給する。なお、この基板を市販のUSBシリアル変換モジュール（例：FTDI USBシリアル変換アダプタ）と交換することで、直接プログラムを書き換え可能な設計とした（図6、右）。

CARduinoはそれ単体では基板がむき出しとなり車内インテリアにそぐわないため、3Dプリンタを用いてCARduinoの筐体の製作も行った（図7）。筐体はABS樹脂で出来ており、本体を保護する役割も備える。

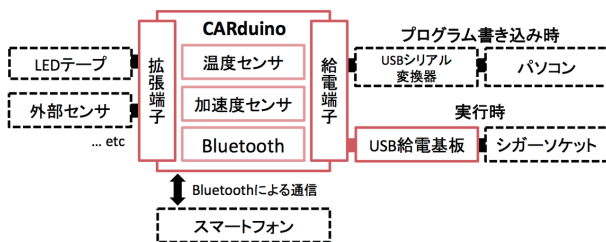


図4 CARduinoのシステム構成図

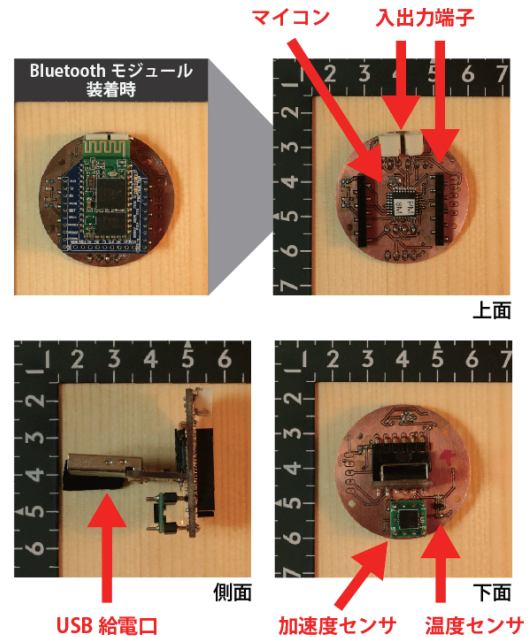


図5 CARduinoのプロトタイプの外観



図6 給電用基板を装着した様子とプログラムを書き込む際の様子。



図7 筐体に格納したCARduinoの外観

3.3 ソフトウェア

CARduinoは、スマートフォンやPC上のアプリとCARduino本体のプログラムを連携させることで動作する。ここでは、CARduinoの標準センサの状態をスマートフォンの上で表示するサンプルを例に、CARduinoを用いたソフトウェア開発手法について示す。

3.3.1 CARduino 内部のプログラム

CARduino はスマートフォンや PC などのホストデバイスと車内に取り付けるセンサ類との橋渡しとして利用することを前提としている。Arduino の制御をシリアル通信によって行える Firmata[10] と同様に、CARduino が持つセンサや LED などの制御をプロトコルを定め、ホストデバイスから制御できるプログラムを予め書き込んでいる。また、CARduino 内部のプログラムを直接変更することで Bluetooth 接続時の表示デバイス名や PIN コードなどを変更したり、拡張端子に新しいデバイスをつけて制御することもできる。

3.3.2 Android による制御プログラム

Android OS 搭載のスマートフォン上で、CARduino に搭載する加速度センサ値を表示し、拡張端子に接続した LED テープ（詳細は後述の応用例を参照）の発光色制御を行うサンプルプログラムを紹介する（図 8）。画面上部の 3 本のバーが CARduino の加速度センサの動きに応じて変化し、画面中央にあるボタンにより、CARduino に LED テープを制御するコマンドを送信する。CARduino では、スマートフォンから送られてきたコマンドに応じて、各デバイスの制御を行う。スマートフォンと CARduino は Bluetooth 3.0 の SPP（Serial Port Profile）にて通信し、Android OS のバージョン 4.2.2 以降であれば、いずれの Android スマートフォンでも動作する。なお、iOS を搭載するスマートフォンでは、Bluetooth 4.0 以前での SPP を利用した通信の場合 Apple の認証が必要であるため、iOS によるプログラムは制作しなかった。今後は Bluetooth 4.0 に対応した通信モジュールに変更することで、iPhone アプリにも対応していきたい。

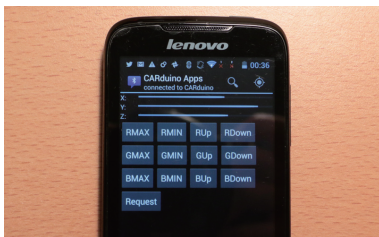


図 8 Android による制御プログラムの一例。CARduino のセンサの値を表示し、外部デバイスを制御する。

4. 応用例

本章では、CARduino を用いて実装可能な 4 つの応用例を紹介する。

4.1 車両の状態と連携する車内イルミネーション

自動車の楽しみ方は十人十色であり、自動車をカスタマイズして楽しむ人も多く存在する。中でも印象的な事例として、車内イルミネーションのカスタマイズがある。

車内イルミネーションとは、車内に LED などを配置することで自動車所有者の好みに合わせた車内デザインを行うものである。車内イルミネーションは、カー用品店などでも専用のコーナーなどが構えられる等、ポピュラーなものである。我々は、CARduino を用いることで、こうした車内イルミネーションを、車や人の挙動と連動させたインタラクティブ・システムとして活用できると考えた。そこで、CARduino にフルカラーシリアル LED テープ (Adafruit 社) を、車内のドアやダッシュボードなどに設置し、CARduino に搭載されている加速度センサや温度センサと LED の発光パターンを連動させる応用例を実装した。この LED テープは、独自の通信規格で各 LED の色や点灯パターンを個別制御することができる。こうしたセンサと LED の動作のマッピングは、スマートフォン上から手軽に切り替えることができる。たとえば、車の急加速や急減速を検出して LED テープ全体を赤く発光させたり、車の速度を検出して LED テープをバーメーターのように利用したりすることが可能である（図 9）。



図 9 LED テープを車内に設置した際の例

4.2 音楽の曲調に応じて変化する車内イルミネーション

近年、スマートフォンとカーオーディオを Bluetooth で連携させ、スマートフォン上に取り込まれた音楽を車内で楽しむシステムが一般的である。一部のカーオーディオには、曲の曲調に合わせてカーオーディオ画面の表示を変化させ車内で音楽を聴く際の臨場感を増させるものがある。ここで、CARduino と前述のフルカラー LED テープを組み合わせることで、この臨場感を車内全体に引き出すことができると考えた。具体的には、スマートフォンと連携した CARduino に、現在再生されている音楽の抑揚等に応じて LED テープの発光色を制御させ、臨場感を増させる。図 10 は本システムの主な流れである。

4.3 車車間通信による仮想的な同乗感の実現

自動車事故軽減などを目的とした車車間／路車間通信の活用が行われるようになってきた。車車間通信とは、自動車が他の自動車や道路や信号、標識などと通信を行い運転手への情報提供や自動車の制御を行うというものである。CARduino を用いることで、車車間通信と多様なセンサ／

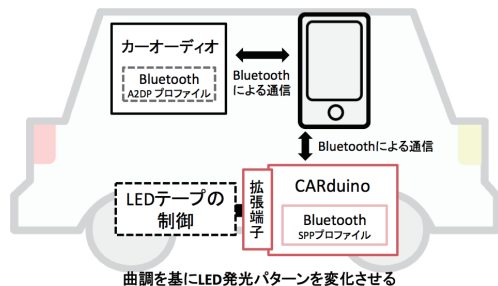


図10 音楽と連動した車内イルミネーションシステム

アクチュエータを組み合わせたシステムを構築することができる。例えば、車内に設置された多様なセンサの情報を他車両と随時交換し、その同調度合いを光や音などによって車内にフィードバックして提示する。これにより別々の車両に乗車しているにも関わらず、仮想的な同乗感の共有を試みるシステムを構築できると考える。図11は本システムの主な流れである。

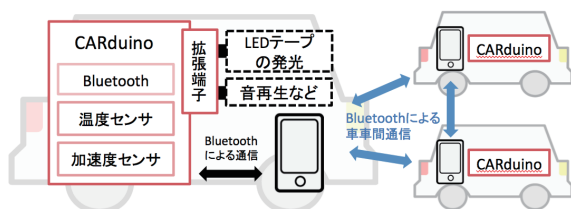


図11 車車間通信による仮想的な同乗感を行うシステム

4.4 飲酒運転の抑制

飲酒運転は飲酒していない時と比べ、事故率が大幅に上がる大変危険な行為である。そこでCARduinoを用いることで、運転手の呼気アルコール量を計測し、飲酒時の運転を抑制するアプリケーションの構築を試みる。CARduinoの拡張端子とケーブルで繋がれたアルコールセンサを用いて呼気アルコール量を検出し、Bluetoothを介して運転手が持つスマートフォンへ警告を発することで、運転手の運転を思い留まらせる効果を狙う。また、運転手が酷く酔っている状態でも警告を認識させるため、車内に設置されたLEDテープなどを強く発光させる。図12は飲酒運転抑制システムの主な流れである。

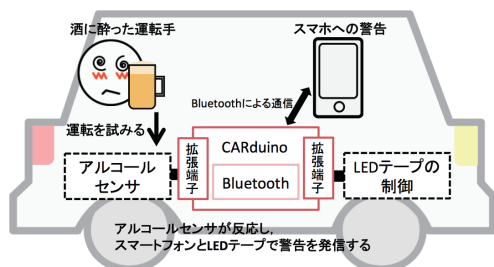


図12 飲酒運転防止システムの主な流れ

5. 議論

本章では、CARduinoについて、「様々な車種への対応」「搭載センサ精査とモジュール化」「OBD2との連携」といった視点から議論する。

5.1 様々な車種への対応

CARduinoが実際に様々な自動車に対応できるかどうかを確認するために、予備調査を行った。自動車を所有する3人の大学生に協力を募り、各人が所有する自動車にCARduinoと前述したフルカラーLEDテープを取り付け、シガーソケット周辺やインテリアとの干渉について確認した。さらに、CARduinoとBluetoothで接続したスマートフォンから加速度センサと連動してLEDテープの発光色を変更することができるかどうかを確認した。さらに、この過程でCARduinoに対する印象を自由にコメントしてもらった。今回使用した自動車を下記の表1に記す。

表1 使用した自動車の車種

ユーザ	メーカー	車種	ボディタイプ
A	三菱自動車	ミニカ BJ	軽自動車
B	ホンダ	ライフダンク	軽自動車
C	日産自動車	リパティ	ミニバン

その結果、全ての自動車でCARduinoに装着することができ、加速度センサを用いたLEDテープの制御が正常に行えることを確認した。シガーソケットの位置は全ての自動車で助手席側のダッシュボードの下側にあった。また、CARduinoの拡張端子から伸びるケーブルが車内インテリアと物理的な干渉を起こすことを懸念していたが、CARduinoの装着角度を変更することでこの問題を回避することができることがわかった。一方、現在は標準的な電子工作用ケーブルを利用しているため、「引っかかって切断してしまいそう」という意見も得られた。この点については次章で述べるような工夫で改善していきたい。なお、ユーザBの自動車に関しては、すでにシガーソケットを使用している車内アクセサリがあったため、シガーソケットを分岐するアクセサリを介して検証を行った。CARduinoを各自動車に装着した際の様子を図13に示す。著者自身が開発で使用している自動車（トヨタ自動車、ヴィッツ）と共に、今回実験した3台でもCARduinoを装着できたことから、CARduinoはある程度車種に対応できることが分かった。また、どのユーザもシガーソケットの位置を把握していたことから、CARduinoの装着に関して、特に迷うことなく行えた。また、ユーザとの会話の中でCARduinoを活用した様々なアイデアが得られた。たとえば、「エンジンの回転数などを表示するためのディスプレイをダッシュボードに取り付けたい」、「Twitterなどと連携し、リアルタイムの交通情報を車内イルミネーションに適応したい」

など様々な意見が観察できた。今後は、CARduino を用いたデバイス開発時の問題点を洗い出すため、CARduino を用いた『オリジナルの車内イルミネーションデバイス』の制作ワークショップを行う予定である。ワークショップでは、参加者全員に CARduino と LED テープを貸し出し、CARduino の簡単な使用方法などをレクチャーしたのち、デバイス制作に取り組んでもらう。



図 13 CARduino を各車両に取り付けた様子

5.2 搭載センサの精査とモジュール化

今後 CARduino の利用状態の調査を鑑みて、標準搭載するセンサの精査を行う。まず、拡張端子に手軽に接続可能なセンサ／アクチュエータモジュールをいくつか用意する。Phidgets[4] や Grove[11] 等市販のモジュールを参考として、車内での活用や固定方法に工夫して設計を進めたい。たとえば、各モジュールの配線に針金のような硬質かつ柔軟性のあるケーブルを用いることで、車内の配線を容易にするような工夫を進めたい。また、CARduino と連携するスマートフォンにもさまざまなセンサが搭載されているため、これらを併用することも検討していく。

5.3 OBD2 との連携

OBD2 を利用するためには様々な問題があることは先述の通りである。しかし、一方で OBD2 を利用した様々な研究やサービスが存在する。RaghuK ら [12] は、自動車の燃費と場所を OBD2 と GPS を利用し取得／記録し、燃費の良いルートを推薦するシステムを提案している。さらに、OBD2 端子に接続する専用デバイスからスマートフォンを介して、自動車の状態をインターネット上で共有するサービス [13] も次々と登場している。このように、OBD2 から得られるデータは豊富かつ、車内インタラクションに活用しやすいと考える。今回採用を見送った最大の懸念事項である国産車で対応状況も徐々に解消されると思われるため、今後 CARduino でも対応を進めていきたい。

6. まとめ

本稿では、自動車内で自作デバイスを設置した際の問題を整理し、自動車内での利用に最適化した Arduino 互換のデバイスツールキット「CARduino」を提案・試作した。CARduino は、車内で利用されがちなセンサを標準搭載し、センサの追加を行う拡張端子を備える。さらに、Bluetooth モジュールを備えて、スマートフォンを中心とした開発を行えるため、多様なアプリケーションの実装が可能である。今後は、本システムを用いたワークショップなどを通してツールキットとしての使い勝手を改善し、電子工作の初心者や自動車を愛好する人々が、車を中心とした様々なインタラクティブ・システムを手軽に試作することを支援したい。そのために、ハードウェアの改良、ドキュメントの整備などを進めていく。

参考文献

- [1] 松村耕平, 角康之: 人は車内においてどのような会話をするのか: 「タイムリー」な情報流通のための一考察, インタラクション'14 予稿集, pp. 33-44 (2014).
- [2] 内海章, 多田昌裕, 山本直樹, 乗富修蔵, 松尾典義, 鳥居武史, 志堂寺和則: 交通事故低減のための運転者状態共有システム, インタラクション'14 予稿集, pp. 180-183 (2014).
- [3] Arduino. <http://arduino.cc>.
- [4] Greenberg, S. and Fitchett, C.: Phidgets: easy development of physical と interfaces through physical widgets, *Proceedings of UIST '01*, pp. 209-218 (2001).
- [5] 原田克彦, 小林茂: GAINER: メディア・アーティストのための再構成可能な I/O モジュール, 情報処理学会研究報告, Vol. 2005, No. 129, pp. 7-11 (2005).
- [6] Blendmicro. <http://redbearlab.com/blendmicro/>.
- [7] 8pino. <http://8pino.cc/>.
- [8] Wang, Y., Yang, J., Liu, H., Chen, W., Gruteser, M. and Martin, R. P.: Sensing vehicle dynamics for determining driver phone use, *Proceedings of MobiSys '13*, pp. 41-54 (2013).
- [9] 岡本裕司, 中野公彦, 大堀真敬, 多加谷敦, 須田義大, 堀重之: 筋電位測定による自動車の乗り心地評価, 生産研究, Vol. 62, No. 3, pp. 267-270 (2010).
- [10] Firmata. <http://www.firmata.org/>.
- [11] Grove System. http://www.seeedstudio.com/wiki/GROVE_System.
- [12] Ganti, R. K., Pham, N., Ahmadi, H., Nangia, S. and Abdelzahe, T. F.: GreenGPS: a participatory sensing fuel-efficient maps application, *Proceedings of MobiSys '10*, pp. 151-164 (2010).
- [13] Automatic. <http://www.automatic.com/>.