

スマートフォンを用いた間欠的センシングのための 外付け電源管理システムの設計

石毛 真修[†] 高木 雅[†] 池内 尚史[†] 川原 圭博[†] 浅見 徹[†]

[†] 東京大学 大学院情報理工学系研究科

1 はじめに

低価格で入手可能なスマートフォンを数ヶ月に渡ってセンサノードとして運用するため、我々はスマートフォンの USB 端子に挿入したドングルを用いて、スマートフォンを外部から起動する間欠駆動方式を提案してきた [1]。スマートフォンを電源オフ状態で待機させて待機電力をほぼゼロに抑えながら、周囲の環境の変化や遠隔にいるユーザからの指示に反応して起動できるため、待機状態が大部分を占めるような長期間のセンシングにおいて、スマートフォンならではの機能を活用することが可能になる。本稿では本方式の活用例を挙げ、そのための USB ドングルの設計を行う。

2 スマートフォンの間欠駆動とその方式

Android スマートフォンはスリープ状態の消費電力が無視できないが、待機時に電源を切る間欠駆動により電池寿命は大幅に伸びる。しかし、Android 端末には自ら起動する機能がないため、電源をオフする間欠駆動はあまりセンシングで使われてこなかった。そこで我々は、スマートフォンの USB 端子に所定の電圧を印加すると Android 端末が起動する性質に着目し、これにマイコンやマイクロ波給電を組み合わせたことを提案し、スマートフォンを間欠駆動させてセンシング用途に活用する可能性を示す。すなわち、(a) スマートフォンの USB 端子に挿入した USB ドングル上のマイコンが、センサの値に応じてスマートフォンに電圧を印加して起動させる方式と、(b) USB ドングル上のレクテナに対してマイクロ波給電を行いスマートフォンを起動させる方式である。(a) は多様な機器と連携してスマートフォンを起動でき、(b) はドングルの電源管理が容易という特徴がある。(b) の詳細は別稿に譲り、本稿では (a) マイコンを用いる方式の設計と実装を試みる。

3 アプリケーションとドングルの要求仕様

本手法ではドングルとスマートフォンの電源が独立しているため、用途に応じて適切な電源管理が必要である。スマートフォンの電池を最大限に使い切るには、システム全体の電池寿命がドングルの電池寿命に制限されてはならない。そこで本章では、本手法の応用事例とドングルの設計要件を、主に電源管理の観点で述べる。

3.1 定期的な起動

閉鎖空間にて定期的なモニタリングする場合、電源の確保が困難あるいは不可能だが、スマートフォンを用いたセンシングであれば内蔵バッテリーを持つため有線での電源確保が不要なため本手法が有効である。具体的には、住宅家屋の床下におけるシロアリ被害のモニタリングなどが挙げられる。スマートフォンはドングルに起動させられ、床下の様子をフラッシュ撮影し、Wi-Fi 経由でその画像を主人に送信する。Nexus 5 の消費電力を測定したところ、起動とシャットダウンは合わせて 39.5 J [1]、フラッシュ撮影は 21.9 J、2 MB の撮影した

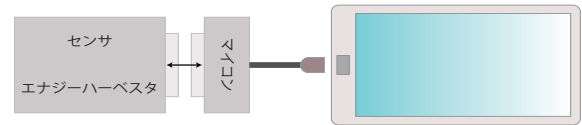


図 1: システムの概要

画像の Wi-Fi 経由の送信は 3.30 J (1 MB 送信時の 1.55 J の 2 倍とした) を消費し、スマートフォン起動からの一連の流れで 64.7 J 消費する。また、スマートフォンを電源オフ状態で待機させるときも、月平均 8% の自己放電 (バッテリーの自己放電率は機種や経年による個体差があるため、リチウムポリマー電池としては大きめの値を見積もった) や電源管理 IC での消費により、平均で 0.74 mW 消費される。毎週 1 回シロアリ被害の様子を撮影するとして、スマートフォンは毎週 $64.7 \text{ J} + 0.74 \text{ mW} \times 3600 \times 24 \times 7 \approx 37.4 \text{ mAh}$ (3.8 V) 消費する。Nexus 5 のバッテリー 2300 mAh (3.8 V) だと、約 430 日運用可能となる。ドングルの動作電力を 3 V で 5 mA、待機時が 3 V で 70 μA とし、ドングルからスマートフォンを起こすのに 0.89 mJ 必要だとする [2] と、ドングルの消費エネルギーは毎週 $0.89 \text{ mJ} + 15 \text{ mW} \times 5 + 0.21 \text{ mW} \times 3600 \times 24 \times 7 \approx 11.8 \text{ mAh}$ (3 V)。ドングルの電池寿命が、先程のスマートフォンの寿命 430 日以上であるためには、電池容量が約 723 mAh (3 V) 以上必要になる。設置場所の制約や USB 端子への力学的な負荷の点から電源は小さくしたい。そこで容量とサイズのバランスから単 5 電池が適している。

3.2 センサによる起動

環境のセンシングの結果に応じ、特定の動作をするアプリケーションも考えられる。例えば、土壌水分が飽和しているかをセンシングして崖崩れの予兆をとらえ、インターネット経由でその場所と時刻を知らせるようなケースである。スマートフォンは起動後、周囲の状況を撮影すると同時に GPS で座標を計算し、土地の管理者に送信する。通常の画像撮影が 17.9 J、30 秒間の GPS 計測で 48.4 J、2 MB の画像と位置情報の LTE による送信が 14.5 J であるので、スマートフォンは 1 回の起動で約 120 J 消費する。大雨が年間 5 回発生すると仮定すると、OFF 状態の待機電力も含め 1 日で平均 4.92 mAh 消費する。よって、Nexus 5 のバッテリーで 482 日程運用可能となる。これに対しドングルは、土壌水分の飽和を検知するために 30 分毎に 1 秒間、土壌水分センサで含水率を測り、一定以上であればスマートフォンを起動する。センシングに必要な消費電力が 3 V で 10 mA だとすると、スマートフォンの起動トリガ・センシング・待機時の消費エネルギーは合わせて 1 日あたり 1.81 mAh となり、スマートフォンの運用期間である 482 日間動作するには、874 mAh の電源が必要となり、先程挙げた単 5 電池で賄える。

3.3 他のセンサとの連携

ここまでは、ドングルを挿したスマートフォンを単体で利用した例であるが、更に離れたノード同士を連携させる例を考える。形状などの制約から、スマートフォンに接続されているドングルでは集めにくい情報が多々ある。例えば、スマートウォッチの心拍センシングでは常に肌に接触する特徴を巧みに利用している。そこで、こうした特殊なセンシングデバイスから得られる情報を、スマートフォンの起動トリガとして活用することを考える。具体的には、スマートウォッチが

Design of External Power Management System for Intermittent Sensing with Smartphones

[†]Matthew Ishige, Masaru Takagi, Takashi Ikeuchi, Yoshihiro Kawahara, and Tohru Asami

[†]Graduate School of Information Science and Technology, The University of Tokyo

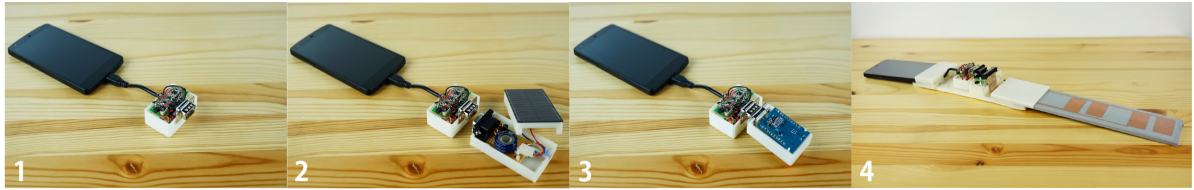


図2: 実装したドングル: (1) マイコン部 (2) ガス検知向けドングル (3) BLE 向けドングル (4) 崖崩れ検知向けドングル

心拍の異常を検知し、BLEなどの無線通信を利用してドングルにシグナルを送る。シグナルを受け取ったドングルはスマートフォンを起動させ、スマートウォッチを装着しているユーザーの様子を画像で撮影し家族などに送る。心拍の異常を検知した場合、本当に倒れてしまったのかを早めに確認でき、救急車を呼ぶなどの処置も早くなる。

3.4 他のスマートフォンによる起動

ドングルとスマートフォンのセットを無線で複数連携させ、空間的に広がりを持ったセンシングを行える。例えば、ある種の堤防決壊では、決壊の直前に堤防表面の亀裂から水が染み出す。そこで、河川水位の上昇をドングルで検知し、そこに接続されたスマートフォンが起動して別のドングルにBLEでビーコンを送信する。それを受信したドングルはそこに接続されたスマートフォンを起動し、堤防表面を観察できる位置から亀裂の水漏れを画像で確認する。堤防監視用のスマートフォンは起動後、5時間待機(0.03 W×3600 s×5)し、その間10分毎に堤防表面を撮影し、送信すると、一度の起動で1551.5 J消費する。これが年間10回発生すると仮定すると、スマートフォンがオフ状態の待機電力も含め1日7.78 mAh消費する。よって、296日間の運用が可能となる。河川に設置されたスマートフォンはBLEのシグナルを送信する程度で、堤防監視用のスマートフォンに比べれば消費電力は十分に小さいので、より電池寿命は長くなる。これに対し、河川に設置した水位計付ドングルの消費電力が3 Vで5 mA、堤防内側のBLEペリフェラルモジュール付ドングルが3 V/10 mAだとすると、前者が5分ごとに3秒間、後者が10分毎に3秒間センシングを行うと、どちらも概ね860 mAh以上の電源で堤防監視用のスマートフォンの寿命よりも長くなる。また、BLEモジュールを利用する上で、消費電力と再接続のしやすさの観点から通信をしないときにはモジュールをスリープ状態にする必要がある。その制御も含めてBLE通信を行うには、I/Oピンの数が3つ以上必要になる。

3.5 連続センシングためのエネルギーハーベスティング

最後に、事象が発生したときの反応をできるだけ早くするため、ドングルによるセンシングをより細かい粒度で行いたい場合を考える。例えば、活火山の地表付近で吹き出す硫化水素などの有毒なガスは窪地に溜まりやすく、登山者がそのガスを吸引して死亡する事故が起こる。そこで、ガスセンサで有毒ガスを検知したらスマートフォンを起動し、発生場所を山の管理者に送信するとともに、近くの登山者にスピーカで警告する応用を考える。スマートフォンは、起動した後にGPSで割り出した位置情報をLTE経由で山の管理者に送信すると同時に、端末のスピーカによる警報を1時間続ける。アラームを1時間鳴らすために、約2160 Jとすると、位置情報を送信するのに2.19 J必要なので、スマートフォンは一度の起動で、2250 J消費する。有毒ガスの発生が年間200回だと仮定すると、1日あたり94.7 mAh。よって、スマートフォンの電池寿命は、24日間となる。ドングル側は、マイコンとガスセンサで合わせて動作時3 V/10 mAであるとし、スリープモードは一切挟まない。年間200回有毒ガスが発生する仮定より、1日平均240 mAh消費する。これを、24日間運用するには、5830 mAhの電源が必要であり、これを賄うには多数の乾電池が必要になる。そこで、センシングと並行して太陽電池によるエネルギーハーベストも行う。ただし、大きな

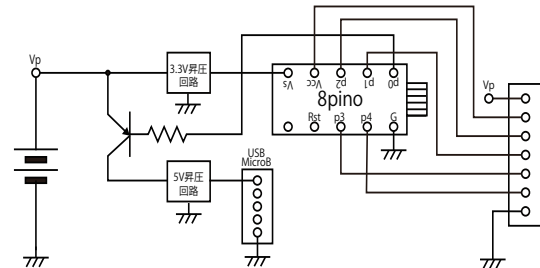


図3: ドングルの回路図

太陽光パネルは大掛かりな強風対策が必要になるため、ここでは手のひらサイズの太陽光パネルでのドングルへの給電を考える。手のひらサイズの太陽電池では300 mW程度の性能があり、登山者がいる昼間だけの運用であれば賄える。曇天であっても、晴天時の10~50%程度の出力とすると、若干の不足分を電池で補いながら運用する。夜間での運用や曇天時の発電では足りないケースでは、晴天時の余った発電量をリチウムポリマーなどの充電機に貯めるようにすれば良い。

4 ドングル設計

ドングルの主電源は、小型かつ十分な容量(公称900 mAh)を持つ単5電池を2個直列にして使用した。搭載するマイコンは、特に待機時の消費電力が小さく、かつ多様なセンサやBLEモジュールを容易に接続できるAtmel社のATtinyシリーズを選択し、レギュレータと5本のI/Oピンを持つマイコンボード8pin0を採用した(ただし、電源ランプのLEDを除去)。3 Vの電源に対し、ドングルからスマートフォンを起動するのに4.5 V以上必要な機種もある[2]ことから、高効率な5 V出力DC-DCコンバータも搭載する。このコンバータはPNPトランジスタを介して、8pin0の出力ピンに制御される。8pin0は電源電圧が2.95 Vを下回ると動作しなくなるため、3.3 V出力のDC-DCコンバータを電源部分に搭載する。図3のように、マイコン部分とセンサ部分は分離可能で、用途に合わせてセンサ部分を付け替えられる。

5 おわりに

本稿では、スマートフォンを間欠駆動させるためのUSBドングルを幾つかの具体的なアプリケーションの要求仕様を満たすよう設計を行い、プロトタイプを実装した。今後は、実装したプロトタイプの性能評価を実地で行う。本稿は、ERATO川原万有情報網プロジェクトの研究成果を含む。

参考文献

- [1] 高木雅, 川原圭博, 浅見徹. Android 端末のLinux カーネルを用いた低電力なセンシング手法(B-18. 知的環境とセンサネットワーク, 一般セッション). 電子情報通信学会ソサイエティ大会講演論文集, Vol. 2015, No. 2, p. 362, 2015.
- [2] 池内尚史, 高木雅, 川原圭博, 浅見徹ほか. マイクロ波給電を用いたAndroidスマートフォンの遠隔起動トリガ. 研究報告ユビキタスコンピューティングシステム(UBI), Vol. 2016, No. 10, pp. 1-6, 2016.