

# 間歇動作による低消費電力イメージセンサノードの開発と検証

## Development and evaluation of low-power image sensor node using intermittent operation

本多 隼也†  
Toshiya Honda

中川 和歩†  
Kazuho Nakagawa

熊木 武志†  
Takeshi Kumaki

木股 雅章‡  
Masafumi Kimata

藤野 毅†  
Takeshi Fujino

### 1. 背景

近年, Machine-to-Machine (M2M)システムの中核技術として, センサネットワークの研究が進められている. センサネットワークは, センサノードと呼ばれる小型端末を様々な場所に設置し, そこから得た環境情報を多目的に利用するシステムである. センサノードは, 環境情報を収集するセンサ, それを処理する MCU (Micro Controller Unit), そして通信モジュールで構成される.

従来のセンサネットワークでは, 温度や湿度, 照度といった数値で表現される情報を扱ってきた. しかし, 監視や環境モニタリング等の用途では, これらの数値情報だけで状況を判断することが困難となる. そのため, センサネットワークで画像情報を扱う研究が進められている. 例として田中ら [1]は, 温度・湿度センサとイメージセンサ, Renesas 社製 M16/26C MCU, XBee 通信モジュールを搭載したイメージセンサノードを開発し, 平均消費電力約 300 mW で, 単 3 電池 2 本で 720 フレーム撮影したと報告している. しかしながら, 屋外等の定常的な電源供給が難しい環境では連続動作が困難だと考えられる.

本稿では, イメージセンサと比較して低消費電力である赤外線アレイセンサを用いてイベント発生を監視し, イベント検知時のみイメージセンサを動作させる「ノーマリオフ動作」により消費電力を低減する手法を提案する. そして, 本手法を実装したイメージセンサノードを開発し, 消費電力低減効果について検証する.

### 2. イメージセンサのノーマリオフ動作

#### 2.1 赤外線アレイセンサによるイベント検知

人間や動物などの物体を検知するセンサとして, 一般に安価かつ低消費電力な赤外線センサが用いられている. 赤外線センサはある点の温度を非接触に測定でき, 室温と観測温度を比較することで熱源の有無を判定する.

赤外線アレイセンサは赤外線センサを格子状に配置したもので, 熱源の大まかな位置やサイズ, 形状が判定できる. また, 複数フレーム間で演算を行うことで, 物体移動の方向や速度を推測することもできる. 従って, 一定時間後の熱源位置推測や複数物体の検出, サイズや位置によるイベント検知の条件分岐に応用できる.

#### 2.2 ノーマリオフ動作の状態遷移

提案するノーマリオフ動作の状態遷移図を, 図 1 に示す. イメージセンサノードの電源を投入後, MCU の初期設定等を行ってスリープ状態に移行する. この時, 赤外線アレイセンサは電源投入後使用可能となるまでに 1 秒以上を要するため, 電源を切らずにスリープ状態に移行する.

RTC (Real-Time Clock)を用いた周期的な割込みにより,

本ノードはイベント検知状態に移行する. ここでは, 赤外線アレイセンサのスリープ状態を解除して温度値を取得する. 赤外線アレイセンサは, スリープから復帰して正常な温度値を取得するための初期化時間を要するため, その間 MCU は低速なモードに移行することで消費電力を削減する. イベントを検知した場合, 画像撮影状態に移り, イメージセンサの電源を投入する. ここでも, イメージセンサ初期化の間は MCU を低速なモードに移行する. 初期化後, 撮影に必要な設定をイメージセンサのレジスタに書き込み, マイクロ SD に画像を保存する. 一般的な MCU の RAM 容量は画像サイズに比べて小さいため, 一定容量ごとに分割して転送する. 保存が終わるとイメージセンサの電源を切り, MCU をスリープ状態に移行した後, 待機状態に移行する.

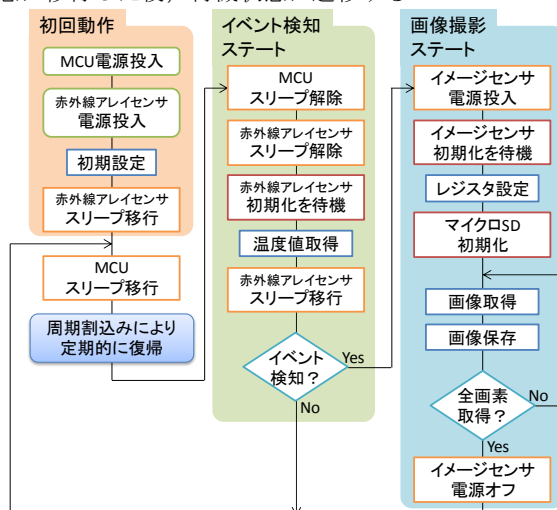


図1 提案手法の状態遷移図

### 3. 消費電力削減効果の検証

#### 3.1 検証環境

提案手法の消費電力削減効果を検証するために, 図 2 に示す検証用イメージセンサノードを構築した. 今後イベント検知や画像処理を行うことを想定し, MCU は Renesas 社製 RX63N (動作周波数 96 MHz, RAM 容量 128 KB)を使用した. 赤外線アレイセンサとイメージセンサは拡張基板 (カメラシールド)に搭載し, 赤外線アレイセンサは 8×8 画素の赤外線受光部を持つ Panasonic 社製 Grid-EYE を, イメージセンサには OmniVision 社製 OV7670 を使用した. Grid-EYE は I<sup>2</sup>C (Inter-Integrated Circuit)通信を介して MCU に接続される. OV7670 は, 制御信号に SCCB (Serial Camera Control Bus)通信を, データは 8 ビットパラレル信号線を介して MCU に接続される. 各センサの電源線には, MCU から電源を制御できるように FET スイッチが入っている. また, 撮影した画像は SPI (Serial Peripheral Interface)通信を介してマイクロ SD カードに保存される.

†立命館大学理工学部電子情報工学科

‡立命館大学理工学部機械工学科

センサ毎の消費電流を計測するために、電源線上に測定ポイントを4つ(ノード全体、MCU、赤外線アレイセンサ、及びイメージセンサ)設置した。

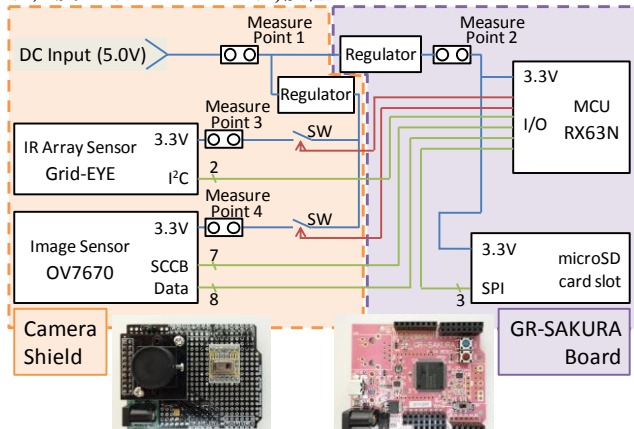


図2 検証用イメージセンサノードのブロック図

### 3.2 消費電流及び処理時間測定結果

図3に、イメージセンサノードが周期割込みによりイベント検知と画像撮影(160×120ピクセル、容量38,400バイト)を行った時の、各測定ポイントにおける消費電流及び処理時間の測定結果と、各状態におけるMCUやセンサの動作状態を示す。ここでは、赤外線アレイセンサによりイベントが検知されたと仮定している。消費電流は、積分時間1ms、測定レンジ1A(合計値)、0.01A(Grid-EYE)、0.1A(その他)で測定した。

待機状態では、MCUはRX63Nが持つソフトウェア(SW)スタンバイモードに移行する。このモードでは、サブクロック(32.768kHz)のみが動作し、他の発振器は停止している。周辺機能もRTC(Real-Time Clock)やRAM等の一部機能を除いて電源供給が止まるため、消費電流を著しく低減できる。RAMの内容は保持されるため、前回取得した温度値等は保持できる。

赤外線アレイセンサ初期化処理では、赤外線アレイセンサのスリープモードを解除する際にI<sup>2</sup>C通信を用いる。そのためMCUは一時的に通常動作モードに移行するが、コマンドを送信後すぐに低速モードに移行する。今回は、サブクロック発振器のみが動作するよう設定した。赤外線アレイセンサの初期化が終わると、MCUは通常モードに移行し、I<sup>2</sup>C通信を介して温度値を取得する。その後赤外線アレイセンサをスリープ状態に移行させるが、Grid-EYEの場合スリープ状態への移行に約70msを要した。

イメージセンサの初期化時間も、同様にサブクロックのみを動作させて消費電流を低減した。イメージセンサのレジスタ設定にはSCCB通信を使用するため、MCUは通常動作モードに移行する。撮影可能状態になったら画像を撮影し、逐次イメージセンサから読み出す。RX63NのRAM容量は画像サイズよりも小さいため、画像読み出しとマイクロSDへの通信を繰り返しながら保存する。全画像を保存したら、再び待機状態に遷移する。

測定結果から、イベント検知には約150ms、画像撮影には約320msを要した。従って、最短0.5秒周期でイベント検知が可能である。また、温度値を取得してから画像を撮影するまでの遅延時間は、測定結果から約170msであった。実際はイベント検知のための演算時間が必要となるが、この遅延時間は実用的であると言える。

次に、センサノード全体の消費電流の削減効果について検証する。1秒に1回イベント検知を行い、60秒に1回イベントが発生すると仮定した場合、MCUとイメージセンサが常に電源オン状態で1秒ごとに画像を撮影した場合と比較して約92.9%の消費電流削減を達成できる。センサノード全体の平均消費電力は約27.3mWで、太陽光等の環境発電による動作も実現可能となる。

### 4. まとめ

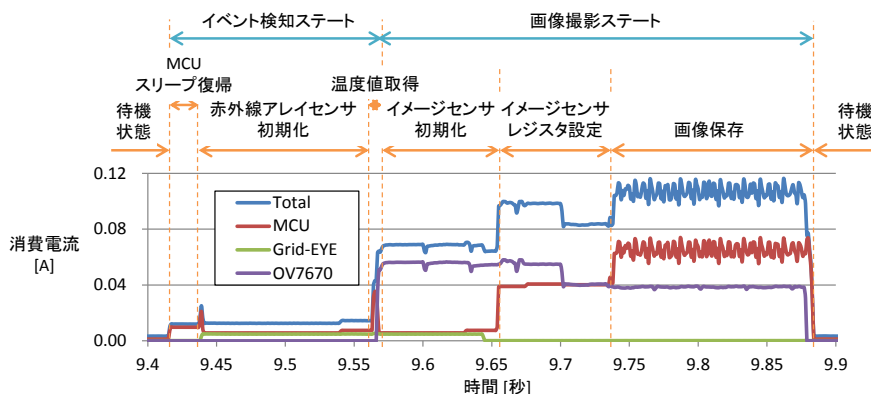
本稿では、赤外線アレイセンサを用いたイメージセンサノードのノーマリオフ動作を提案し、実環境で測定を行った。その結果、1秒に1回イベント検知を行い、60秒に1回イベントが発生すると仮定した場合、平均消費電力は約27.3mWであり、全てのセンサを常に通電させた状態で稼働させた場合と比較して約92.9%の削減となった。今後の課題として、赤外線アレイセンサによるイベント検知の具体的なアルゴリズム検討が挙げられる。

#### 謝辞

本研究は、NEDO(新エネルギー・産業技術開発機構)の「ノーマリオフコンピューティング基盤技術開発」の一環で行われた。また本研究は、JST(科学技術振興機構)の研究成果最適展開支援プログラム(A-STEP)から助成を受けて行われた。

#### 参考文献

[1] 田中公祐 et al., “ワイヤレスセンサネットワークにおける画像及びデータ計測センサの統合化とデータ収集法に関する研究”, 情報学 MBL 研報, Vol.120, pp.67-74 (2006).



処理内容	MCU	Grid-EYE	OV7670
待機状態	SWスタンバイ	スリープ	オフ
赤外線アレイセンサ初期化	低速モード	オン	オフ
温度値取得	オン	オン	オフ
イメージセンサ初期化	低速モード	スリープ	オン
イメージセンサレジスタ設定	オン	スリープ	オン
画像保存	オン	スリープ	オン

図3 (左) イベント検知時の消費電流・処理時間の測定結果 (右) 各処理におけるMCU・センサの動作状態