

PIRモーションセンサのデジタル信号処理法

Digital Signal Processing Method of PIR Motion Detector

畑谷 光輝* ・ 福井 卓*

Teruki Hatatani Suguru Fukui

PIR モーションセンサにおいて、コンデンサを用いて電流／電圧変換を行う当社独自の技術を活かしつつ、この出力を A/D 変換してデジタル信号処理を行う方式の開発により、電源投入時の起動時間の短縮を実現した。A/D 変換では $\Sigma \Delta$ 変調方式を用いており、デジタル回路から A/D 変換部へフィードバックを行うことにより、低周波数領域のゆらぎを抑制すると同時に人の検出に必要なハイパスフィルタを構成して外部部品を不要としている。

また、センサの出力をアナログ出力からデジタル出力とすることで外乱ノイズの影響を低減するとともに、BMC (Bi-phase Mark Code) 方式を採用することでセンサ内部における影響を低減している。

In the development of PIR motion detector, while making use of the company's unique current-voltage conversion technology using capacitor, we have reduced the boot-time of the detector by developing a method for A/D conversion and digital signal processing. The sigma-delta conversion method is adopted for the A/D conversion, and by feeding signals back from the digital circuit to A/D converter, fluctuation in low frequency domain is suppressed and highpass filter, which is indispensable for motion detection, is constructed to eliminate outside electronic parts.

The effect of outer noise is suppressed by changing the sensor output from analog signal to digital signal, and the effect of the digital signal on the sensor is suppressed by adopting BMC (Bi-phase Mark Code) method.

1. ま え が き

地球環境問題が年々深刻さを増しており、世界的な環境負荷低減に対する認識の高まりを背景に、わが国でも 2010 年 4 月には改正省エネルギー法が施行され、また東京都では環境確保条例が改正されるなど、さまざまな観点からの取組みが行われつつある。

このようななか、住宅などの建築分野では、省エネルギーや環境性能に着目した新たな発想のサービスやシステムの開発が相次いでいる。細かい範囲ごとに人の在席状況に応じて空調と照明を制御し、快適性を保ちながらエネルギー消費を最小化する自動環境制御システムはその一例である。オフィスビルディングでは全消費エネルギーの約 70 % を空調・照明設備が占めているといわれており¹⁾、これを削減することで大幅な省エネルギーが期待できる。その際に重要な役割を果たすのが人を検知するセンサであり、前述のような背景のなか、人体センサの需要が世界的に高

まりつつある。

この人体センサは、省エネルギーシステムのなかで常時動作し続けることや、無線システムと組み合わせられてワイアレス機器として電池で駆動することから低消費電力化が求められている。また、従来品は電源投入時の起動時間が規格上 30 秒と長いため施工時の動作確認に時間を要し、その短縮が要求されている。さらに、検知の感度をユーザ側で調整することもあり、比較器で判定する前のアナログ信号出力も必要である。しかし、このアナログ信号は外乱ノイズの影響を受けやすい問題がある。

これらに対して当社は、以前から独自のチップ内蔵 ASIC を開発することにより、業界でもトップクラスの 10 μ A 以下となる低消費電力人体センサ (PIR モーションセンサ) を上市してきた (図 1)。

今回筆者らは、従来品と同等の低消費電力を維持しながら、デジタル信号処理化により電源投入時の起動時間を短縮するとともに、アナログ出力に代えてデジタルシリ

* 情報機器事業本部 情報機器 R & D センター Research & Development Center, Information Equipment & Wiring Products Manufacturing Business Unit

アル信号出力とすることで外乱ノイズの影響を低減したので以下に報告する。

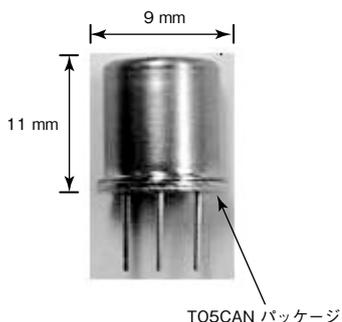


図1 PIR モーションセンサ

2. 従来回路の概要

PIR モーションセンサは焦電素子で人体から放出される赤外線を検知する。このとき、人の動きに応じて変る赤外線入射の変化量を検知し電流信号として出力する。そして、ASIC 内ではこの電流信号を電圧信号に変換し、所定の周波数帯域を増幅した後に比較器において閾値と比較することにより人の有無を判定する。

図2に従来品の回路ブロックを示す。当社のPIR モーションセンサは、コンデンサのインピーダンスを用いてI/V変換を行うことを特徴としており、抵抗で変換を行う場合に比べて変換素子からの雑音を抑えることができ、高S/N比を実現可能である²⁾。

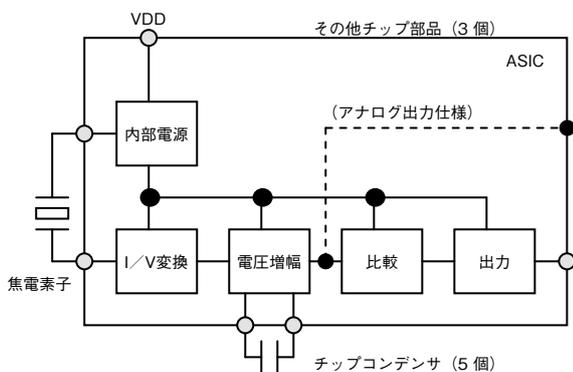


図2 従来品の回路ブロック図

I/V変換部で素子からの電流出力を電圧信号に変換した後、電圧増幅部で信号を増幅するが、人体検知信号は1 Hz 付近のものが主成分であるため、電圧増幅部はこの周波数帯域を選択的に増幅するフィルタ機能を兼ね備えている。

しかし、フィルタ機能がASIC内の抵抗と外部コンデンサの構成で実現されており、電源投入時にコンデンサの充電時間が必要であった。また、電源のON/OFFを繰り返すとコンデンサの電荷量によって起動時間が変動する。したがって、規格上の起動時間は30秒以下としていた。

また、検知の感度をユーザ側で調整するための信号は、図2の破線のように比較器を通さずにアナログ信号で出力している。

なお、ASICの外部部品としては、5次のバンドパスフィルタ用の5個のチップコンデンサと、電源安定化等のための3個の部品がある。

3. 開発品の回路構成

図3に開発した回路ブロックを示す。

I/V変換部においては、従来と同じくコンデンサのインピーダンスを用いて電流信号を電圧信号に変換する。そして、この微弱な電圧信号出力を増幅することなくA/D変換器でデジタル信号に変換し、デジタル回路においてフィルタリングおよび人体検知判定を行う。このように、フィルタをデジタル回路で構成し、外部部品を不要とする。

なお、外部部品を使用せずに同等性能のフィルタをASIC内に内蔵する手段としてスイッチドキャパシタフィルタを用いる方法も考えられるが、この場合はアナログ信号を増幅する必要があるため消費電流が増大してしまう問題がある。

また、デジタル回路で信号処理を行う場合は、アナログ-デジタル間の干渉に留意しなければならない。焦電素子からASICへ入力される電流は数フェムトアンペアレベルであり、入力段のアナログ回路はノイズの影響を非常に受けやすい。そこで、ASICの内部電源の回路をデジタル回路系とアナログ回路系に分離し、互いに干渉しないようにする。

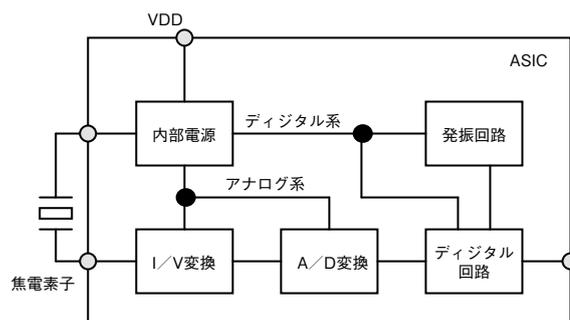


図3 開発した回路ブロック図

4. $\Sigma \Delta$ A/D変換

$\Sigma \Delta$ A/D変換は一般的に高速化には向かないが、高精度あるいは低消費電流化に適した方式である³⁾。

人体センサにおいては、先にも述べたように1 Hz 付近の周波数を取り扱うため高速化の必要がない。また、I/V変換部からの微弱な信号を増幅することなくA/D変換するため高い精度が必要である。さらに、基本回路要素が積分器、量子化器、DACの三つで回路規模が小さいため、

ASICの低消費電流化と小型化が可能である。以上の理由から、 $\Sigma\Delta A/D$ 変換方式を用いる。

5. デジタル回路からのフィードバック

ASICの入力端子からA/D変換器の入力端子にかけてのアナログ回路部にはハイパスフィルタが存在しない。このため、焦電素子が人体以外に反応して出力する信号や、入力端子部に存在するリーク電流等の低周波数領域における余分な信号を除去することができない。そこで、A/D変換器の入力信号は、本来の人の動きによる信号の動作範囲に加えてこの低周波数領域の変動分も合わせて考える必要がある。この変動分はかなり大きく見積もらなければならず、同じ分解能を得るためにはより多くのビット数が必要となり、デジタル回路のゲート数が増大して消費電流が増大する。

そこで筆者らは、デジタル回路部から $\Sigma\Delta A/D$ 変換器へフィードバックを掛けることにより、等価的にハイパスフィルタを構成することを提案する。

図4はデジタル回路からフィードバックを掛けた $\Sigma\Delta A/D$ 変換器のブロック図を示している。量子化器からは量子化された1ビットデジタル信号が出力されるが、この信号はデジタル回路内のデシメーションフィルタにより分解能が1ビットから多ビットへ変換して出力される。このデシメーションフィルタの出力から低周波数成分を抽出してDAC(2)でD/A変換し、 $\Sigma\Delta A/D$ 変換器の初段である積分器の非反転入力端子へ帰還させている。これにより、人体検知にかかわる周波数帯域よりも十分低い周波数で入力信号レベルがHigh側に変動したときには、それに応じてDAC(2)の出力もHigh側に調整され、低い周波数の変動がキャンセルされる。さらに、このフィードバック量を調整することにより、本来の人体検知にかかわるハイパスフィルタの1次分を構成できる。

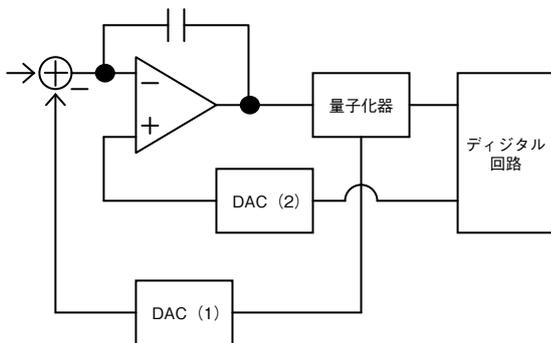


図4 $\Sigma\Delta A/D$ 変換器のブロック図

6. 起動時間の短縮

従来品はフィルタがASIC内の抵抗と外部コンデンサで構成されており起動時間が変動するため、規格上の最大値は30秒であった。これに対し、フィルタをデジタル回

路で構成することにより電源投入時には速やかに動作が可能のため、起動時間が短縮できる。実際には電源投入時に焦電素子からの信号入力があるため、これに対する応答時間が必要となるが、それを含めても5秒以下に短縮できる。

図5にデジタル出力における起動時間を測定した結果を示す。なお、起動時間とは、黒体炉から出力される1 Hzの信号を受ける状態で、電源投入時から安定して1秒間に2個のパルスが出力されるまでの時間としている。

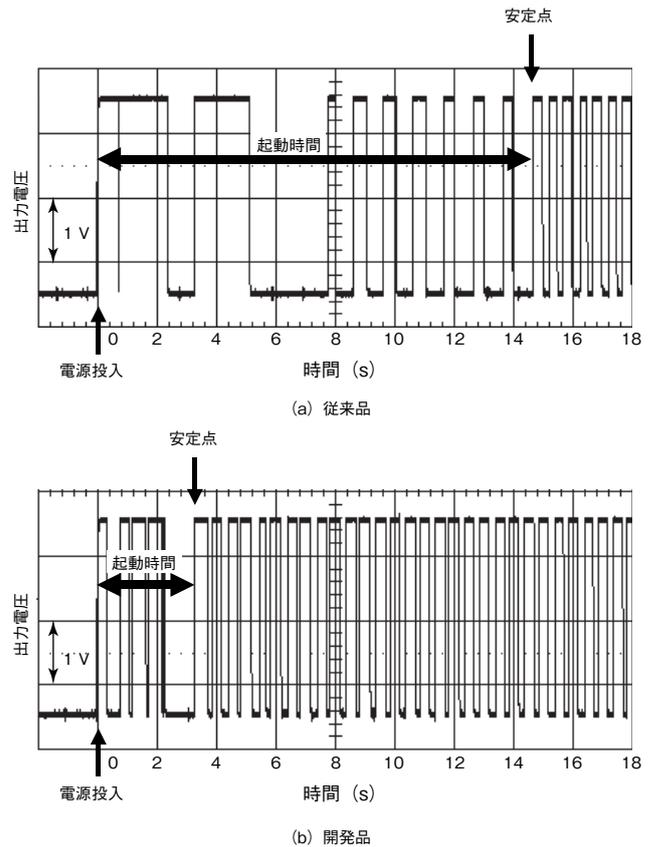


図5 起動時間の測定結果(デジタル出力)

図5(a)は従来品の測定結果である。電源投入後6秒までの出力は起動動作によるものであり、信号入力に対する応答ではない。約8秒後から信号入力に対する応答を出力し始めるが、内部動作点が安定していないため、1秒間に2個のパルスを出力しなければならないところが1個のパルスしか出力しておらず、約15秒後ようやく2個のパルス出力になっている。

図5(b)はデジタル信号処理による開発品の測定結果である。電源投入直後から信号入力に対する応答を出力しており、2~3秒付近でパルスに抜けが生じているが、約3秒以降は安定して1秒間に2個のパルスを出力している。

図6にアナログ出力の起動時間を測定した結果を示す。なお、図6(b)の波形はデジタルシリアル出力をD/A変換した後のものである。センサには目隠しをし、入力

信号がない状態で測定している。

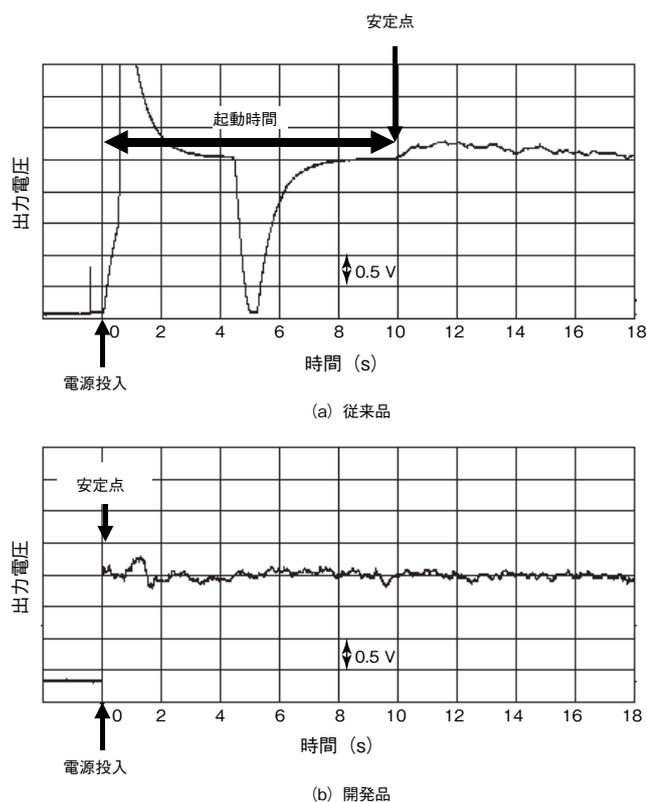


図6 起動時間の測定結果(アナログ出力)

図6 (a) は従来品の測定結果である。電源投入後10秒間は電源投入による過渡的な応答をしており、定常な状態ではない。10秒後からは定常な状態となり、センサ内部の起因による出力雑音が見れ始めている。

図6 (b) は電源投入直後から出力雑音が見れており、入力信号に対して応答可能な状態であることがわかる。

以上の結果からもわかるように、デジタル信号処理を行う開発品では、従来品に比べて電源投入時の起動時間が大幅に短縮されている。

7. デジタルシリアル信号出力

センサの通常の出形式は、人体を検知したか否かを知らせるON/OFFのデジタル信号である。しかし、人体を検知する感度をユーザが調整する場合は、比較器で判定する前のアナログ信号が要求される。そのため、従来品ではアナログ信号を最終出力とするものもあった。ところが、このアナログ信号は外乱ノイズの影響を受けやすい問題がある。

そこで、このアナログ信号に相当するデータをデジタルシリアル信号として出力できるようにする。また、シリアル通信のビット表現にはBMC (Bi-phase Mark Code)方式を採用する。BMC方式は、「1」を送信する際には送信クロックの立上がりでデータを反転、「0」を

送信する際には送信クロックの立下がりデータでデータを反転して「1」と「0」を表現する。

人の動作は1 Hz 付近の周波数帯域が主な周波数成分となっており、デジタル回路はこの帯域の感度を高くしている。BMC方式にすると送信クロックの周波数(800 Hz)よりも低い周波数成分をほとんど含まないため、デジタルシリアル出力からの影響を無視できるレベルに抑えることができる。

図7にシリアル通信のタイミングチャートを示す。1回の通信は16ビットで、その内訳はスタートビットを1ビット、アナログ波形データビットを10ビット、ASIC内部での人検知判定ビットを1ビット、未使用ビットを1ビット、ストップビットを3ビットとする。なお、アナログ波形データビットはLSBファーストで送信される符号付き10ビットデータとする。

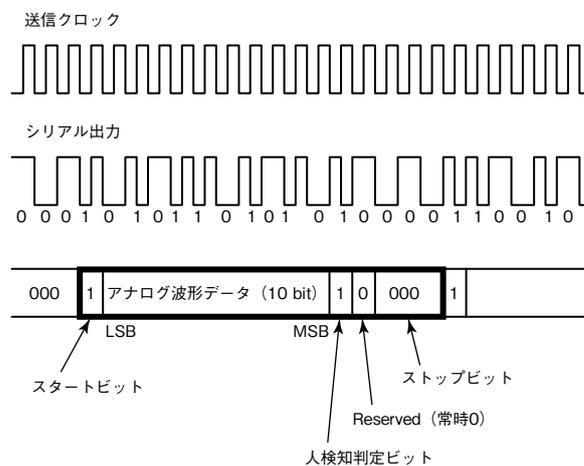


図7 デジタルシリアル出力タイミングチャート

ユーザ側で感度調整する場合は、マイクロコンピュータで信号処理することが多い。このとき、センサ側からの出力が従来のアナログ信号の場合はA/D変換器内蔵のマイクロコンピュータで対応する必要があるが、デジタル信号の場合はその必要がない。また、アナログ信号よりもデジタル信号のほうが外乱ノイズに強いいため、このセンサを利用したモジュール設計も容易になるといったメリットがある。

8. あとがき

PIR モーションセンサにおいて、コンデンサを用いてI/V変換を行う当社独自の技術を活かしつつ、この出力をA/D変換してデジタル信号処理を行う方式の開発により、電源投入時の起動時間の短縮を実現した。A/D変換ではΣΔ変調方式を用いており、デジタル回路からA/D変換部へフィードバックを行うことにより、低周波数領域のゆらぎを抑制すると同時に人の検出に必要なハイパスフィルタを構成して外部部品を不要とした。

また、センサの出力をアナログ出力からデジタル出力とすることで外乱ノイズの影響を低減するとともに、BMC方式を採用することでセンサ内部における影響を低減した。

今後、ワイアレスセキュリティーユニットやワイアレス照明空調制御システム等、ワイアレス市場を中心として展開を図っていく予定である。

*参考文献

- 1) 財団法人省エネルギーセンター：オフィスビルの省エネルギー (http://www.eccj.or.jp/office_bldg/img/office2.pdf)
- 2) 井狩 素生, 高田 裕司, 桐畑 慎司：超小型 PIR 人体検知センサ「NaPiOn」の開発, 松下電工技報, No. 64, p. 52-58 (1998)
- 3) Richard Schreier, Gabor C. Temes : Understanding Delta-Sigma Data Converters, Wiley-IEEE Press (2004)

◆執筆者紹介



畑谷 光輝

情報機器 R & D センター



福井 卓

情報機器 R & D センター