

光量センサ / 発光素子として LED を活用

周囲の明るさに基づいて LED の出力を調節すれば、バッテリーの使用時間を延ばすことができる。特に、バッテリー駆動で長時間の測定を行うような場合には有用な機能である。アルテラの「MAX II」、 「MAX IIZ」 および「MAX V」 CPLD は非常にシンプルな回路を使って、周囲のアナログ光量を測定し、それに応じたアナログの輝度で LED を駆動する。周囲の明るさに応じて LED の輝度を制御することにより、視認性を維持しつつ、LED のエネルギー消費量を 47% 以上も低減できることが実証されている。

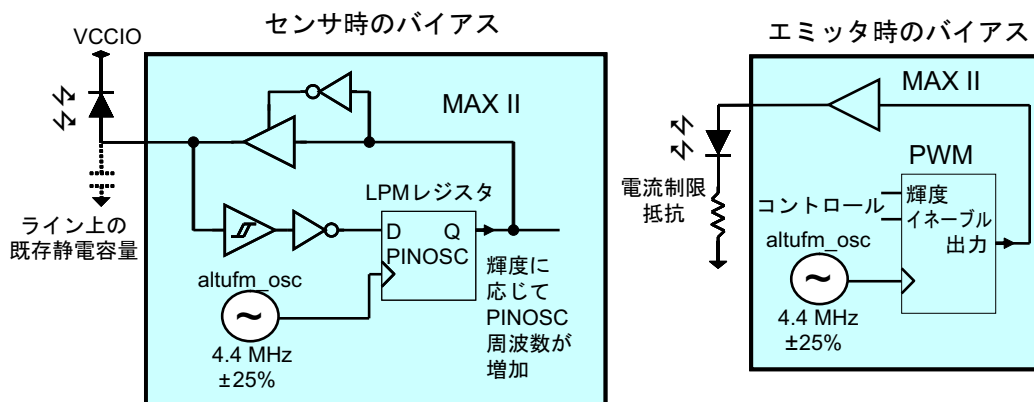
はじめに

携帯型電子機器に搭載された LED は、一般に電源の状況、バッテリーの状態、あるいは Bluetooth 接続動作を示す「ハートビート」インジケータとして使用されている。LED の輝度は電力消費に直接影響するため、LED はバッテリーの使用時間を決める主な要因となり得る。LED は周囲が明るい状況でも見やすいように設計されているが、携帯端末は暗いカバンの中やポケットの中に入っている時間が長い。低輝度の LED インジケータを使用すればバッテリーの使用時間を長くすることができるものの、明るいところでは使い物にならない。周囲の明るさに応じて LED の出力を調整する機能によって、バッテリーの使用時間を延ばすことができ、長時間のバッテリー駆動を必要とする製品には有用な機能である。

LED の輝度調節

パルス幅変調 (PWM) は、わずかなエネルギーで LED の輝度を調節するのにとても効果的な方式である。光感知点滅輝度システムを完成させるためには、周囲の明るさを検出するための光量センサ機能が必要となるが、他の部品を使用することなく CPLD または FPGA 回路にこの機能を追加することができる。この光量センサは同じ点滅 LED を使用して周囲の明るさを測定する。LED は順方向バイアスをかけると発光し、逆方向バイアスをかけると光センサとして動作する。図 1 は、発光時の LED と、弛張発振器で光を感知するときの LED のバイアス方法を示している。発振周波数は輝度に比例するため、PWM 方式を使用して LED の輝度を調節することが可能となる。

図 1. LED をセンサ / エミッタ (発光器) として使用する場合のバイアス回路図



とてもシンプルなフィードバックシステムで点滅光を作製できる。LED の点滅輝度はオフのときに計算された PWM 値によって決まる。LED は弛張発振器に接続されたセンサとしてバイアスされる。発振器の出力は周波数カウンタに送られ、周波数カウンタの出力が LED 輝度を PWM 制御する値となり、周囲の明るさと比例する。1 つのセンサで複数の LED 輝度を制御することも可能だ。

図 2 は、周囲の明るさに基づいて輝度を制御する、フィードバックループを使った点滅 LED の回路ブロックを示している。点滅させる機能を有効 / 無効にする、または点滅速度のコントロールも、極めて簡単に追加することができる (図には表示されていない)。

図 2. 輝度制御機能を組み込んだ LED 点滅回路の簡略ブロック図

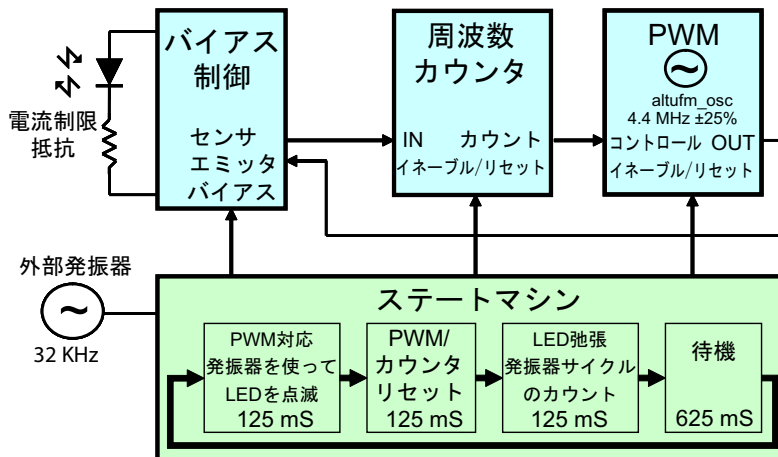
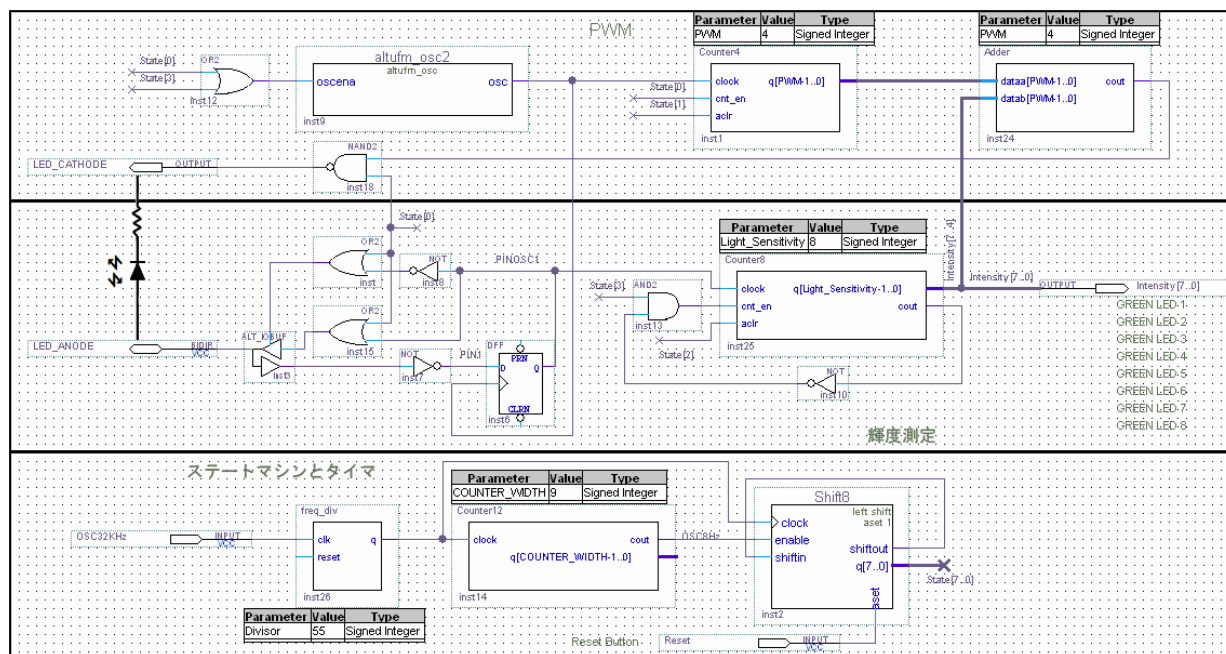


図 3 は、「MAX II スタータキット」に実装されているアルテラ「MAX II」CPLD の回路設計を示している。この設計では、PWM のデューティサイクルが 6.25% ~ 100% (15 段)、LED 点滅周期は 125 ms で、1 Hz の点滅速度を生成する。右側 2x5 ヘッダの #4 端子と #8 端子にディスクリート LED を接続して数種類のテストを行った。その結果、LED センサの PINOSC 周波数を 125 ms 間サンプリングする 8 ビットカウンタの 4 つの最上位ビットが、LED 輝度を制御するのに最適な値であることが判明した。

図 3. LED 輝度制御デモ回路



この回路は 3 つのセクションに分かれている。最下部にあるステートマシンは 8 ステートで回路動作を制御する。各ステートは Counter12 タイマで作られた 125 ms 間は有効となる。このタイマのクロックは MAX II Z デモボードの 32 kHz 発振器によって作られている。MAX II スタータキットの場合、Counter12 は 3.3 MHz 内部発振器によってクロック供給されている。入力周波数をユーザーが制御できるように、もう 1 つ別のブロック“freq_div”が追加されている。リセットスイッチによってステートマシンは PWM 制御点滅状態“State0”に入る。この状態でサンプリングを停止し、リセットが押された時点の PWM 値を維持できる。この機能により、光源から離れた後でも LED の輝度を観察することができる。

ステートマシンの状態

ステートマシンには次の状態がある。

- State0 – LED PWM 制御点滅状態（リセット状態）
- State1 – PWM カウンタリセット状態
- State2 – 輝度カウンタリセット状態
- State3 – 輝度測定状態
- State4、State5、State6、State7 – 未使用

図4に示すとおり、LEDはMAX IIZ デモボードの“LED_CATHODE”ピンと“LED_ANODE”ピンに接続されており、これらのピンは右側2x5ヘッダの端子#4および#8に接続されている。図5に示すMAX II スタータキットのMAX II デバイスでは、“LED_CATHODE”と“LED_ANODE”が2x17ヘッダの端子#3および#4に接続されている。“LED_CATHODE”端子と“LED_ANODE”端子のバイアスは、ステートマシンの状態によって決定される。“State3”ではセンサとしてバイアスされ、他のすべての状態ではエミッタとしてバイアスされる。“State0”は、“LED_CATHODE”が“0”でLEDを点灯できる唯一の状態である。

図4. MAX IIZ デモボードを使用したLEDのテスト

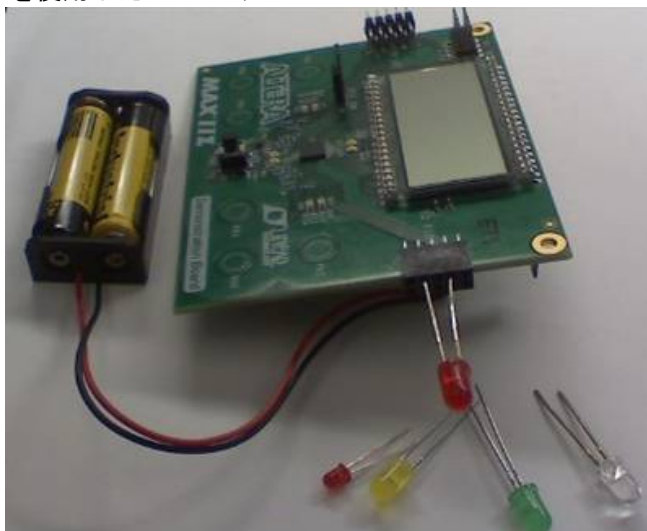
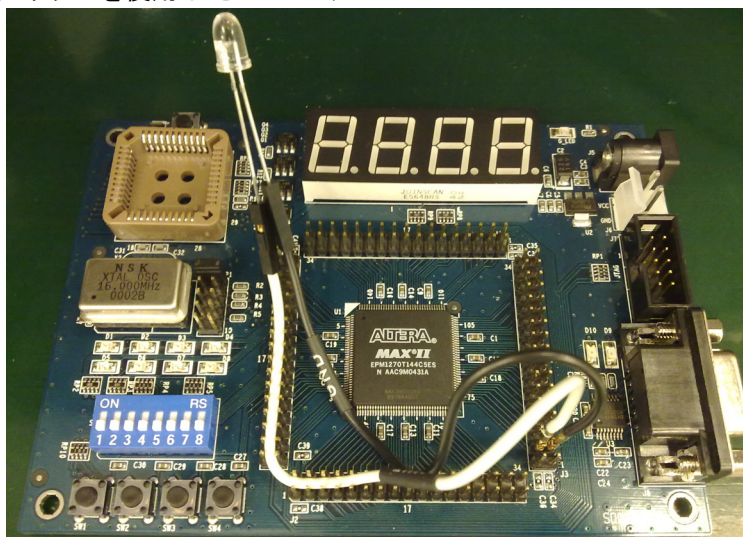


図5. MAX II スタータキットを使用したLEDのテスト



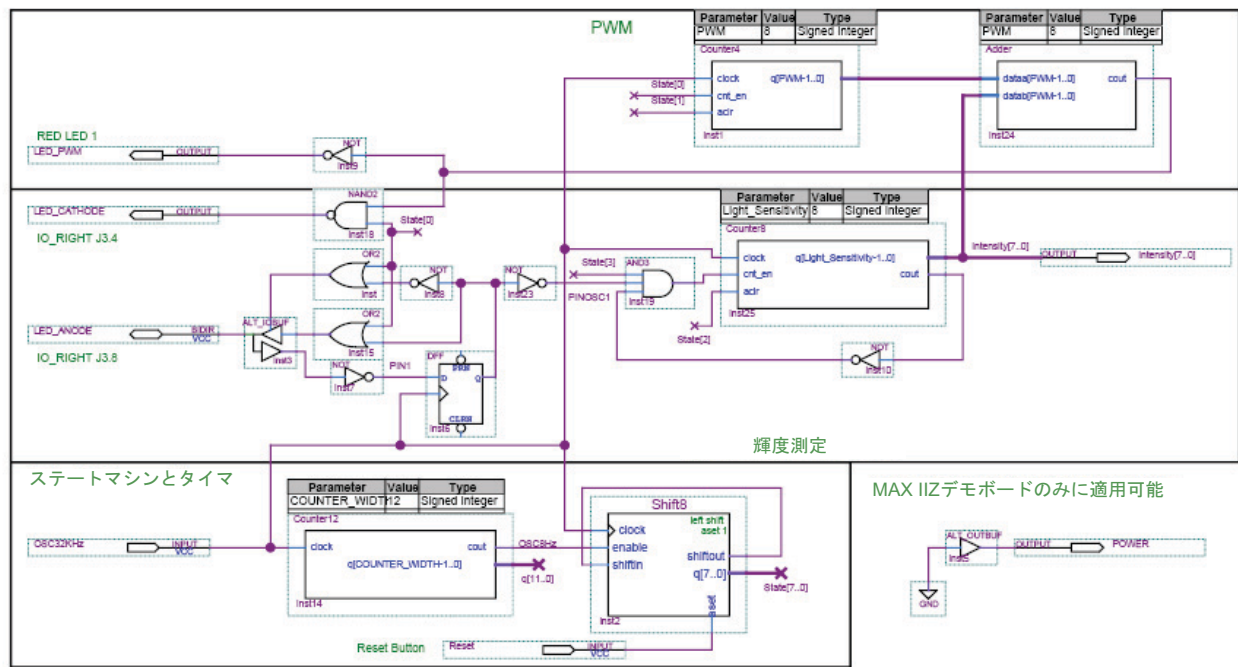
中間輝度の測定ブロックは単純に検知器としてバイアスされる LED であり、8 ビットカウンタに接続されている弛張発振器に接続する。カウンタは 125 ms 間の LED 発振数を測定する。これは Counter8 カウンタを有効にする“State3”の持続時間である。Counter8 ブロックのキャリアウト信号“COUT”は、カウントを FF に飽和させ、“00”にラップするのを防ぐために使用される。これでカウンタの4つの最上位ビットによってPWM輝度が制御される。

最上部のブロックは、内部の 4.4 MHz 発振器を変調搬送周波数として使用する単純な PWM 回路である。Counter4 ブロックは、キャリーイン信号を VCC に固定した単純な 4 ビット加算器を駆動する。他の加算器入力は輝度値 (Counter8 の 4 つの最上位ビット) に接続される。Counter4 は 0 ~ 15 のサイクルを繰り返す。Counter4 の合計+輝度値+1 が 15 を超えたとき、加算器の cout は“1”となる。したがって、4 ビット加算器のキャリアウト信号が、LED を駆動する PWM 出力となる。以下に例を示す。

- 輝度値測定結果が“0”の場合、Counter4 が 0 ~ 14 のときはキャリアウトが“0”となり、Counter4 が 15 のときはキャリアウトが“1”となる。この場合のデューティサイクルは 6.25% であるため、超低輝度となる。
- 輝度値が 7 の場合、Counter4 が 0 ~ 7 のときはキャリアウトが“0”となり、Counter4 が 8 ~ 15 のときはキャリアウトが“1”となる。この場合のデューティサイクルは 50% であるため、中間輝度となる。
- 輝度値が“15”の場合、Counter4 の値に関係なくキャリアウトが“0”になることはなく、Counter4 が 0 ~ 15 でキャリアウトが“1”となる。この場合のデューティサイクルは 100% であるため、最高の輝度となる。

図 6 は、特定の LED または環境を使った設計を支援するため、前出の回路にいくつかの機能を加えた設計例である。追加されている機能の 1 つは 8 ビット PWM で、分解能は必要に応じて簡単に高めることができる。

図 6. LED センサと PWM 開発プラットフォーム

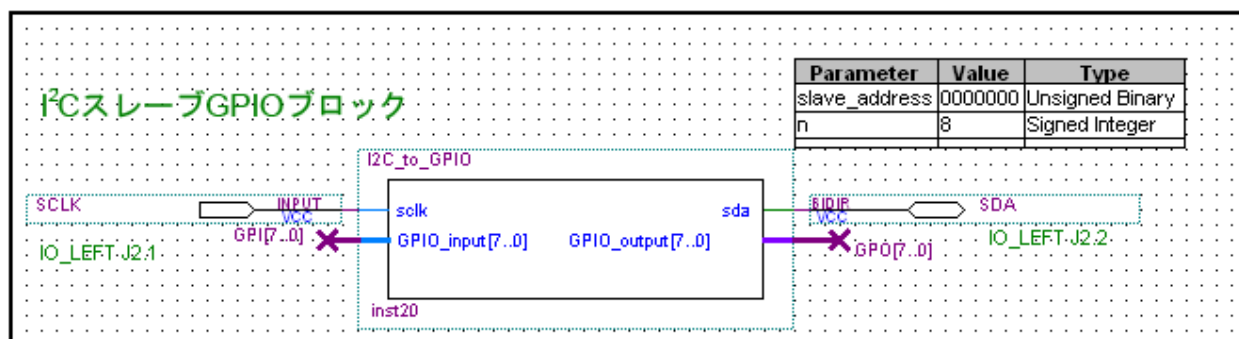


2 つ目の追加機能は、輝度カウンタ Intensity[7..0] の出力と、MAX IIZ デモボード上にある 8 個の緑色 LED との接続である。この接続によって光量を簡単にモニタすることができる。プッシュボタンを押すとサンプリングが停止し、装置には最新の測定値が表示され、LED が点滅を停止して、ボタンが放されるまでその輝度で点灯する。MAX II スタータキットの場合は、プッシュボタンの“SW2”が同じ役割を果たす。デモボード上の赤色 LED “D1”は“LED_PWM”に接続されており、PWM 値の 2 番目の出力となる。これでセンサ LED をある光源に向けると、光量の変化を観察しやすくなる。この機能のほかにも、この設計では 1 つのクロックソースのみを使用するように変更されている。

I²C インタフェースの設定

LED センサ / エミッタのリファレンス設計では、MAX IIZ デモボードと MAX II スタータキットのいずれにおいても PC インタフェースをサポートしている。この設計の PC インタフェース (図 7) 用として、CPLD には簡単に変更できる 7 ビットアドレスが組み込まれている。汎用 I/O ポートである GPIO_input [7..0] および GPIO_output [0] は、PC インタフェースの設計例が示すように、Intensity_reg8 とそれぞれ 1 つの LED に接続されている。

図 7. LED センサ / エミッタ設計にみる I²C インタフェース



- PC インタフェースの接続に関する詳細については、MAX IIZ デモボードで PC インタフェースを使用するときの [LED センサ / エミッタ リファレンス設計](#) を参照のこと。
- PC バスインタフェースを使用した GPIO ピン拡張の詳細については、[AN494 : MAX II CPLD での PC バス・インタフェースを使用した GPIO ピンの拡張](#) を参照のこと。

結論

MAX II CPLD は、非常に単純な回路で周囲のアナログ光量を測定し、それに比例するアナログの輝度で LED を駆動することができる。光検出と発光は同一の LED とオプションのバイアス抵抗を用いて行われる。プログラマビリティに優れている CPLD を使うことで、どのような LED の特性にも素早く、簡単に回路パラメータを適合させることができる。点滅 LED の消費電力は、点滅の周期を長くするか、点滅のパルス幅を短くするか、あるいは輝度を低くすることによって低減することができる。設計者はすでにこれらの値を最適なレベルに調整しているものと思われる。実証されているように、周囲の明るさに基づいて LED 輝度を制御すれば、見た目に影響を及ぼすことなく、LED エネルギー消費量を 47% 以上も低減することができる。

詳細情報について

以下のリファレンス設計は、Quartus II 設計ソフトウェアで利用する必要がある。

- “Light-Sensing LED and PWM Flashing LED Development Platform” reference design (図 6)
(*参考: 「光感知 LED および PWM 点滅 LED 開発プラットフォーム」リファレンス設計 (図 6))
— MAX IIZ デモボード版: www.altera.com/literature/wp/MAXIIZ_LED_Sensor_Display.qar
— MAX IIZ スタータキット版: www.altera.com/literature/wp/MaxIIS StarterKit_led.qar
- “LED Sensor and Emitter” reference design (図 7)
(*参考: 「LED センサ / エミッタ」リファレンス設計 (図 7))
www.altera.com/literature/wp/LED_Sensor_PWM_I2C.qar
- *Implementing a Flexible CPLD-Only Digital Dashboard for Automobiles:*
(*参考: フレキシブル CPLD のみを用いた自動車用デジタルダッシュボードの実装:)
www.altera.com/literature/wp/wp-01072-implementing-flexible-cpld-only-digital-dashboard-automobiles.pdf
- *A Flexible Architecture for Fisheye Correction in Automotive Rear-View Cameras:*
(*参考: 自動車後部カメラのフィッシュアイ補正を目的としたフレキシブルアーキテクチャ:)
www.altera.com/literature/wp/wp-01073-flexible-architecture-fisheye-correction-automotive-rear-view-cameras.pdf
- *Creating Low-Cost Intelligent Display Modules With an FPGA and Embedded Processor:*
(*参考: FPGA と組み込みプロセッサを使用した低コストの高性能ディスプレイモジュールの作製:)
www.altera.com/literature/wp/wp-01074-creating-low-cost-intelligent-display-modules-with-fpga.pdf
- *Applying Graphics to FPGA-Based Solutions:*
(*参考: FPGA ベースのソリューションにグラフィックを適用する:)
www.altera.com/literature/wp/wp-01075-applying-graphics-to-fpga-based-solutions.pdf
- *AN 494: GPIO Pin Expansion Using PC Bus Interface in MAX II CPLDs:*
(*参考: AN 494: MAX II CPLD での PC バスインタフェースを使用した GPIO ピンの拡張:)
www.altera.com/literature/an/an494.pdf
- Rafael Camarota “Use an LED to sense and emit light,” *EDN*, May 14, 2009:
(*参考: Rafael Camarota 「LED を使用した光感知と発光」*EDN*, May 14, 2009:)
www.edn.com/article/CA6656305.html
- Geoff Nicholls, “Red LEDs function as light sensors,” *EDN*, March 20, 2008:
(*参考: Geoff Nicholls 「光センサとして機能する赤色 LED」*EDN*, March 20, 2008:)
www.edn.com/article/CA6541376
- Howard Myers, “Stealth-mode LED controls itself,” *EDN*, May 25, 2006:
(*参考: Howard Myers 「ステルスモード LED の自己制御」*EDN*, May 25, 2006:)
www.edn.com/article/CA6335303
- Dhananjay V Gadre and Sheetal Vashist, “LED senses and displays ambient-light intensity,” *EDN*, Nov. 9, 2006:
(*参考: Dhananjay V Gadre and Sheetal Vashist 「LED を使用した周囲光度の感知と表示」*EDN*, Nov. 9, 2006:)
www.edn.com/article/CA6387024
- Paul Dietz, William Yerazunis, and Darren Leigh, “Very Low-Cost Sensing and Communication Using Bidirectional LEDs,” Mitsubishi Research Laboratories, July 2003:
(*参考: Paul Dietz, William Yerazunis, and Darren Leigh 「双方向 LED を使った超低コストのセンシングと通信」Mitsubishi Research Laboratories, July 2003:)
www.merl.com/reports/docs/TR2003-35.pdf

謝辞

- Rafael Camarota, Non-Volatile Product Line Manager, Low-Cost Products Group, Altera Corporation
(*参考: Rafael Camarota、Altera Corporation 低コスト製品グループ、不揮発性製品ラインマネージャー)



101 Innovation Drive
San Jose, CA 95134
www.altera.com

Copyright © 2009 Altera Corporation. All rights reserved. Altera, The Programmable Solutions Company, the stylized Altera logo, specific device designations, and all other words and logos that are identified as trademarks and/or service marks are, unless noted otherwise, the trademarks and service marks of Altera Corporation in the U.S. and other countries. All other product or service names are the property of their respective holders. Altera products are protected under numerous U.S. and foreign patents and pending applications, maskwork rights, and copyrights. Altera warrants performance of its semiconductor products to current specifications in accordance with Altera's standard warranty, but reserves the right to make changes to any products and services at any time without notice. Altera assumes no responsibility or liability arising out of the application or use of any information, product, or service described herein except as expressly agreed to in writing by Altera Corporation. Altera customers are advised to obtain the latest version of device specifications before relying on any published information and before placing orders for products or services.