

SISTEMA EMBARCADO PARA CONTROLE DA ILUMINAÇÃO NA AQUISIÇÃO DE CICLOS PUPILARES

Cláriton R. Bernadelli^{1,2}, Antônio Cláudio P. Veiga¹, Milena B. P. Carneiro¹, Edna Lúcia Flôres¹

¹Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Elétrica, Uberlândia – MG

²Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Departamento de Engenharia Elétrica, Uberaba – MG
claritonbernadelli@gmail.com, acpveiga@gmail.com, milena@eletrica.ufu.br e edna@ufu.br

Resumo –Este trabalho descreve a construção de um sistema capaz de sincronizar a informação de luminância com a imagem capturada e insere o comprimento de onda como um novo parâmetro no levantamento do ciclo pupilar para auxiliar sistemas dinâmicos de reconhecimento biométrico da íris. O sistema controla a corrente efetiva de uma fonte luminosa, cujo comprimento de onda predominante, pode ser previamente conhecido. Com o auxílio do dispositivo foi possível avaliar, a todo instante, as características da fonte de luz e associa-las às principais fases do ciclo pupilar no momento da aquisição. Por fim, conclui-se que a integração de um sistema de controle de iluminação, portátil e reprogramável, fornece grande suporte e aumento na confiabilidade durante o registro do comportamento pupilar que é indispensável na biometria dinâmica.

Palavras-Chave - Luminância, MSP, pupila e PWM.

EMBEDDED SYSTEM TO CONTROL THE LIGHT SOURCE IN PUPIL CYCLE ACQUISITION

Abstract - This paper describes a system structure capable of synchronizing the captured luminance information and inserts the wavelength as a new parameter in the acquiring of the pupillary cycle picture to help dynamic biometric iris recognition. The system controls the effective current of a light source, whose predominant wavelength can be previously known. With the aid of the device was possible to know, at any moment, the light source characteristics and link them to the main stages of the pupillary cycle at the acquisition time. Finally, it is concluded that the integration of a lighting control system, portable and reprogrammable, provides great support and increased reliability during registration in pupil behavior, which is essential in dynamic biometrics.

Keywords - Luminance, MSP, pupil and PWM.



XII CEEL – ISSN 2178-8308
13 a 17 de Outubro de 2014
Universidade Federal de Uberlândia – UFU
Uberlândia – Minas Gerais – Brasil

I. INTRODUÇÃO

O reconhecimento de indivíduos através das características contidas na íris tem crescido muito nos últimos anos [1]. A íris é um elemento muito rico em detalhes e garante a unicidade dos padrões de cada indivíduo facilitando o controle de sistemas de segurança e reduzindo o risco de erro na etapa de comparação/classificação [1], [2].

Técnicas de processamento digital de imagens contribuem bastante para o processo de reconhecimento biométrico da íris por se tratar de estratégias não invasivas. Porém, apesar da alta confiabilidade alcançada pelos algoritmos, os sistemas de reconhecimento de íris, em sua maioria, trabalham com imagens estáticas o que abre a possibilidade de fraude, além de não levarem em conta as informações dos movimentos realizados pela pupila que também podem ser utilizados na etapa de classificação [3], [4].

A pupila realiza movimentos em diversas situações como, por exemplo, durante o ajuste de foco, devido ao reflexo à luz, em situações de medo, mudança no nível de atenção, entre outros [2]. Esses movimentos correspondem a contrações ou mioses e dilatações ou midríases.

Ocorre miose, por exemplo, no ajuste de foco, isto é, quando se observa um objeto distante e passa-se então a observar um objeto próximo. Nesse caso o diâmetro da pupila aumenta de forma involuntária por ação do sistema nervoso. Consequentemente ocorre midríase no processo inverso, ou seja, quando se observa um objeto próximo e passa-se então a observar um objeto distante.

Nas seções seguintes serão apresentados, com maiores detalhes, o projeto proposto e seus principais componentes, como por exemplo, o *LaunchPad* MSP430 da *Texas Instruments*. A seção seguinte aborda a metodologia e as estratégias utilizadas ao longo do desenvolvimento e finalmente são apresentados os resultados, conclusões e o agradecimento dos autores.

II. PROJETO PROPOSTO

Conforme já mencionado, um dos movimentos realizado pela pupila refere-se ao reflexo involuntário à luz. O reflexo pupilar à luz (*Pupil Light Reflex - PRL*) é o mecanismo responsável pela adaptação à iluminação ambiente do sistema visual humano [5].

O objetivo desse trabalho é descrever um sistema simples e flexível capaz sincronizar a informação de luminância com a imagem capturada. Estas informações são extremamente úteis em áreas do conhecimento com significativo

crescimento nos últimos anos, como por exemplo, a biometria dinâmica e a pupilometria.

O sistema se encarregará de capturar, sincronizar e armazenar a imagem, controlar a intensidade da fonte de iluminação sem a geração de cintilações e informar o brilho percebido segundo o relatório da Comissão Internacional de Iluminação (CIE 1931).

O sistema levará em conta a curva de intensidade luminosa por corrente direta da fonte de iluminação, conforme mostra a Figura 1. Assim, será possível conhecer o comprimento de onda predominante para cada intensidade de luz incidente, segundo o *datasheet* fornecido pelo fabricante de cada LED.

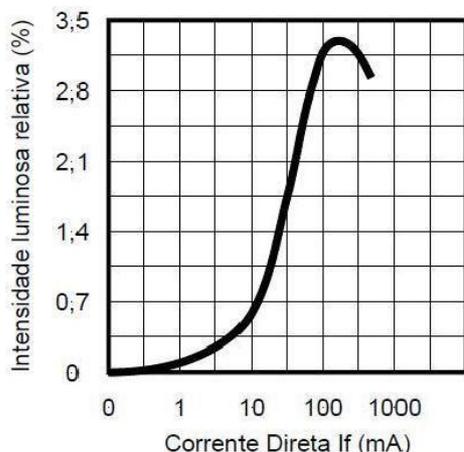


Fig. 1. Curva característica da fonte de iluminação.

A seguir serão apresentados os principais componentes do sistema.

A. Launchpad MSP430

A ideia inicial era utilizar processadores embarcados de alta performance, como por exemplo, o processador TMS320DM8168 ou o DSP + ARM TMS320C6A8168, contudo devido à maior complexidade dos dispositivos, maiores preços e à exigência de ferramentas complementares para programar e depurar os códigos, optou-se pelo uso do micro controlador MSP430 da *Texas Instruments*.

O *Launchpad MSP430* da *Texas Instruments* é uma ferramenta completa e de baixo custo (cerca de U\$9,90) que permite ao usuário programar e depurar seus projetos sem a necessidade de ferramentas adicionais [6]. O dispositivo apresenta um micro controlador de 20 pinos, conforme mostra a Figura 2, cujas aplicações típicas incluem sistemas de sensoriamento, sistemas de baixo consumo de potência (*ultra low power*), conversão analógico para digital, comunicação serial dentre outros.

A programação pode ser feita em linguagem C com auxílio de IDEs proprietárias como o Code Composer (sem custo para o *Launchpad MSP430*) ou através de IDEs livres, bem conhecidas dos projetistas, como o Eclipse.

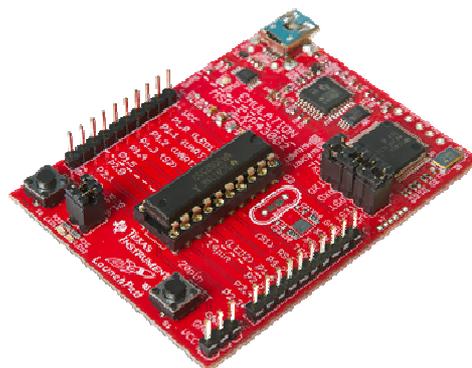


Fig. 2. LaunchPad MSP430G2xx Texas Instruments [6].

B. Webcam

Para este projeto foi utilizado um *webcam* da marca Logitech, modelo C525. O equipamento é capaz de registrar imagens em alta definição (1280 x 720) com ajuste automático de foco e brilho.

C. Fonte de iluminação

Como fonte de iluminação foram utilizados LEDs de 5mm do modelo LC503 da marca Cree, nas cores vermelho, verde, azul e branco. A Tabela I lista suas principais características elétricas e óticas.

Tabela I – Características elétrica e ótica da fonte de iluminação.

Características	Símbolo	Condição	Und.	Max	Típico	Min
Corrente direta	I_f		mA	25		
Tensão direta	V_f	$I_f = 20 \text{ mA}$	V		3,2	4,0
Dissipação de potência	P_D		mW	100		
Intensidade luminosa	I_v	$I_f = 20 \text{ mA}$	mcd	16800	24000	

III. METODOLOGIA E IMPLEMENTAÇÃO

Esta seção descreve os passos para o desenvolvimento do projeto. De forma resumida são apresentadas as estratégias de hardware e software, além da parte matemática necessária para a execução do projeto.

A. Hardware

O diagrama de blocos da Figura 3 mostra a visão geral do sistema de controle de iluminação. Para que esse sistema funcione de forma precisa, sincronizando suas informações com o sistema de captura de imagens, é necessário que os registradores do micro controlador MSP430, responsáveis pela cronometragem de tempo, sejam previamente configurados. A seguir, tem-se o trecho do código escrito em C responsável pela configuração do *clock* e do registrador do *Timer T1CLT*.

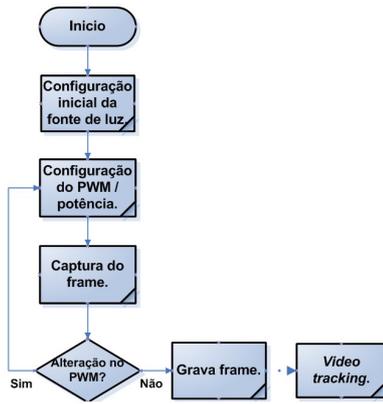


Fig. 3. Diagrama de blocos do sistema de iluminação.

```
#include <msp430g2553.h>

void configureClocks();
void main(void) {
    P1DIR |= BIT6; //configura porta de saída
    P1OUT = BIT6; //porta de saída em nível
    alto

    P1SEL |= BIT6; //porta p1.6 saída PWM
    WDTCTL = WDTPW | WDTHOLD; //desabilita
    watchdog
    configureClocks(); //configura
    clocks

    TACCR0 = 65536-1; //período do PWM
    TACCTL1 = OUTMOD_7; //CCRX reset/set
    TACCR1 = 1000; //Duty cycle PWM
    TACTL = MC_2 | ID_1 | TASSEL_2 | TACLK;
    //ajuste do timer

    int i = 0;
    int t = 3660;
    for(;;){
        while(!(TACTL & TAIFG)){ //aguarda
            overflow do timer
        }
        i++;
        if(i<t){ //laço de 1 minuto
            overflow
            TACTL &= ~TAIFG; //reseta o
            overflow
            TACCR1 = 1000; //
        }
        else if(i>t && i<2*t){ //laço de 1
            minuto
            TACTL &= ~TAIFG;
            TACCR1 = 64000;
        }
        else if(i>2*t){
            i=0;
            TACTL &= ~TAIFG;
        }
    }
}

void configureClocks(){
    //configura DCO 1 / 8 / 12 / 16MHz
    BCSCCTL1 = CALBC1_8MHZ;
    DCOCTL = CALDCO_8MHZ;
    BCSCCTL3 |= LFXT1S_2;
}
}
```

A função `configureClocks()` configura os registradores `DCOCTL` e `BCSTL1` que determinam a velocidade de operação da CPU e dos periféricos do micro controlador MSP430. Pode-se observar pelo código que ambos estão configurados para operar em 8 MHz.

É fundamental que o projetista conheça a velocidade de operação do dispositivo para então, ser capaz de configurar o *Timer* através do registrador `TACTL`. Este registrador é responsável pela marcação de tempo e, neste código, foi configurado para operar com o *clock SMCLK* por meio dos bits `TASSEL_2` e ainda dividi-lo por 2, por meio dos bits `ID_1`.

Dessa forma, a cada ciclo de *clock* o contador de 16 bits `TACCR0`, localizado no *Timer* do dispositivo, é incrementado e no final de, aproximadamente 0,0163 segundo, todos os seus bits recebem o valor relativo ao bit 1. A variável *int t*, por sua vez, determina quantas vezes esse procedimento se repete. No caso de $t = 3660$, o registrador `TACCR1` do micro controlador, responsável pela porcentagem do ciclo de trabalho do pulso é alterado a cada 59,96 segundos, aproximadamente.

Cada contador do MSP430 possui uma unidade de saída para gerar sinais modulados por largura de pulso (Pulse Width Modulation - PWM). Assim, a saída PWM do timer utilizado no código controlará a fonte de iluminação.

A Figura 4 ilustra a utilização da saída PWM. Os registradores `TACCR0` e `TACCR1` determinam o período e o ciclo de trabalho do pulso gerado. Esse pulso alimenta o LED responsável por estimular a pupila.

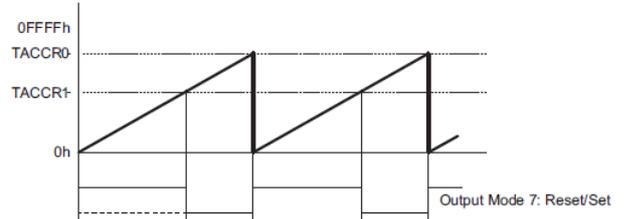


Fig. 4. Saída PWM do MSP430 e seus registradores [6].

A frequência do PWM e seu ciclo de trabalho podem ser determinados pelas Equações 1 e 2 respectivamente [7]. Para o código acima, a frequência é aproximadamente de 61 Hz, o que garante a ausência de cintilações, e o ciclo de trabalho de 50%.

$$f_{PWM} = \frac{f_{timer}}{TACCR + 1} \quad (1)$$

Onde:

- f_{PWM} - Frequência do PWM.
- f_{timer} - Frequência do clock dividida por ID3.
- TACCR0 - Contador de 16 bits.

$$D_n = \frac{TACCR1}{TACCR0 + 1} \quad (2)$$

Onde:

- TACCR1 - Largura do pulso.

TACCRO - Período do PWM.

B. SOFTWARE

As alterações dos parâmetros de potência e tempo, inseridas no micro controlador, podem ser alteradas via comunicação serial, durante a aquisição, com auxílio de uma interface escrita em C Sharp, mostrada na Figura 5. Além da possibilidade de ajuste, a interface permite ao usuário visualizar a imagem capturada, acompanhar o tempo de aquisição das imagens e o valor do brilho percebido, segundo o relatório CIE1931.



Fig. 5. Interface em C Sharp para configuração e visualização da saída do sistema.

A largura de pulso PWM controla a corrente aplicada no LED e conseqüentemente sua luminância e seu comprimento de onda predominante. No protótipo proposto pode-se variar a largura do pulso de 0 a 100% com uma resolução de 12 bits. Contudo, para que as variações das larguras de pulso do PWM correspondam às variações de brilho no LED, percebida pelo olho humano, é necessário compensar ou corrigir seu valor. Assim, o relatório CIE 1931 traz a correção, conforme as equações abaixo:

$$L^* = 116 \left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{\frac{1}{3}} - 16 \quad \text{para} \quad \frac{Y}{Y_n} > 0,008856 \quad (3)$$

e

$$L^* = 903,3 \left(\frac{Y}{Y_n} \right) \quad \text{para} \quad \frac{Y}{Y_n} \leq 0,008856 \quad (4)$$

Onde:

L^* - Luminosidade modificada.

Y - Luminância proporcional à largura do pulso (valor atual do PWM).

Y_n - Luminância de referência do branco (fundo de escala do PWM).

A temperatura da junção dos LEDs é um parâmetro importante porque tem uma influência significativa sobre a cor, sobre o fluxo luminoso e sobre a vida útil dos LEDs, porém a influência da temperatura não foi o foco deste estudo. Justifica-se o uso do PWM como estratégia de controle com base em artigos onde as características

fotométricas, colorimétricas e térmicas são investigadas durante o controle de luminosidade via PWM [8].

É usual uma alta frequência modulada para impedir a percepção de pulsos individuais de luz, causando o efeito de cintilação (*flicker*) [8]. Normalmente, a luz de saída é controlada com potência entre 5% e 95% de seu valor máximo [8].

Cada frame é gravado contendo, no seu nome de arquivo, as informações referentes ao PWM e a ordem que ele foi capturado (sincronismo). Devido às limitações da interface de comunicação, tamanho e resolução da imagem e do hardware utilizado, a taxa de gravação em frames por segundo (fps), em média ficou em torno de 21 fps.

IV. RESULTADOS

Como teste, foram tomadas algumas imagens em diferentes horários, a maioria delas adquiridas no laboratório de ótica, sala 1X47, da Faculdade de Física da Universidade Federal de Uberlândia. A única exigência, em todos os experimentos, foi a de que todos os voluntários passassem por um período de acomodação de no mínimo 2 minutos, conforme [4] e [9]. Nesse período de acomodação a iluminação ambiente era a menor possível com a finalidade de obter a máxima abertura da pupila (midríase).

A Figura 6 ilustra exemplos das imagens adquiridas pelo sistema proposto neste trabalho, enquanto a Figura 7 mostra a saída de um software de rastreamento da pupila que faz uso das imagens e das informações armazenadas pelo sistema. O sistema de rastreamento foi desenvolvido pelo autor em [3] e está fora do escopo deste trabalho.

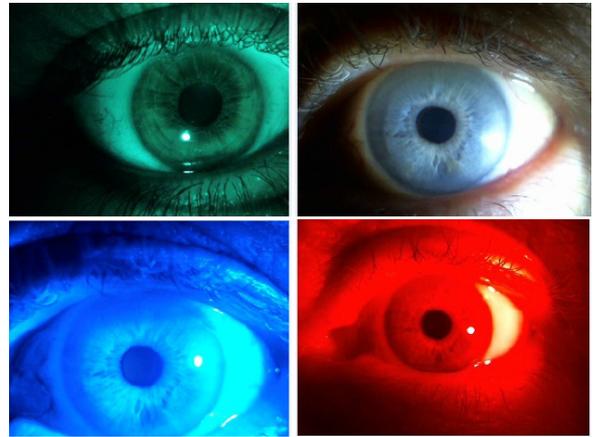


Fig. 6. Exemplo de imagens adquiridas pelo sistema e suas diferentes fontes de excitação.

No gráfico da Figura 7, foi utilizado a fonte de iluminação com comprimento de onda em torno do verde (450-600 nm). Observa-se no eixo vertical à esquerda, a linha de variação do diâmetro da pupila em pixels e no eixo vertical secundário, à direita, a intensidade do degrau de iluminação aplicado (em porcentagem). No eixo horizontal encontra-se a posição do frame ao longo do vídeo.

Devido ao período de acomodação à iluminação ambiente de 2 minutos, os primeiros frames registraram o maior diâmetro da pupila. Logo em seguida, um degrau com a

máxima potência do PWM e, portanto, da fonte de iluminação é aplicado até o frame de número 140. Nesse momento a fonte volta à sua potência inicial de 3% e o diâmetro da pupila, de forma mais lenta retorna ao seu tamanho original.

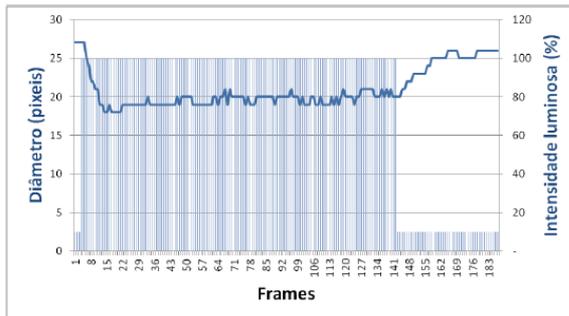


Fig. 7. Exemplo de saída do sistema de rastreamento da pupila. Diâmetro da pupila pela intensidade luminosa por frame para a fonte de iluminação em torno do verde (450-600 nm).

V. CONCLUSÕES

Através deste trabalho verificou-se a versatilidade da plataforma *Launchpad* MSP430. As ferramentas envolvidas para a sua programação e depuração foram satisfatórias e não apresentaram nenhuma falha ou dificuldade para os programadores. A performance da CPU com velocidade de operação de até 16MHz e dos periféricos envolvidos, como por exemplo, *timer*, *clocks*, contadores, PWM e comunicação serial do MSP430 foram considerados excelentes para a aplicação proposta, principalmente devido ao fato de estarem todos embutidos em uma única pastilha de apenas 20 pinos e seu baixo custo (cerca de U\$9,90).

O software desenvolvido para aquisição das imagens foi testado e facilitou sobremaneira o processo de aquisição, influenciando favoravelmente na qualidade dos resultados de sistemas afins que podem fazer uso destas imagens, como por exemplo, os sistemas de rastreamento de objetos em imagens e vídeos digitais e pupilômetros.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais - FAPEMIG, pelo apoio financeiro ao projeto aprovado referente ao edital 01/2012. Aos autores também agradecem ao aluno de iniciação científica Tiago Henrique e ao Professor Carlos Augusto, ambos do Laboratório de Automação, Servomecanismos e Controle (LASEC) da Universidade Federal de Uberlândia, pela colaboração no desenvolvimento do Hardware e do software envolvidos neste projeto.

REFERÊNCIAS

[1] M. Carneiro, "Reconhecimento de íris utilizando algoritmos genéticos e amostragem não uniforme". PHD thesis, *Universidade Federal de Uberlândia, Minas Gerais* - 2010.

- [2] P. L. Kaufman and A. Alm. *Adler's Physiology of the Eye*. Elsevier, 2011.
- [3] C. R. Bernadelli and A. C. P. Veiga. "Iris motion tracking using feature extraction by shape matching". *XIII symposium on Virtual and Augmented Reality – SVR 2011, CD-Rom, Kay/2011*.
- [4] G. L. Ferrari. Pupilometria dinâmica: Aplicações na detecção e avaliação da neuropatia autonômica diabética e o estudo da correlação entre a resposta temporal da pupila ao estímulo visual e a glicemia. Master's thesis. *Universidade Tecnológica Federal do Paraná*, 2010.
- [5] V. F. Pamplona and M. M. Oliveira. Photorealistic models for pupil light reflex and iridal pattern deformation. Master's thesis, *Universidade Federal do Rio Grande do Sul*, 2008.
- [6] Texas Instruments Incorporated. *MSP430X2XX Family User's Guide*. December 2001 – Revised January 2012. Copyright 2004 – 2012.
- [7] J. H. Davies. *MSP430 Microcontroller Basics*. Elsevier 2008.
- [8] M. C. Moreira, R. N. do Prado and A. Campos. "Applications of high-brightness leds in tissue human and their therapeutic interaction". *In industry Applications Society Annual Meeting, 2009. IAS 2009. IEEE, pages 1 – 6. IEEE*.
- [9] F. Fotiou, K. N. Fountoulakis, A. Goulas, L. Alexopoulos and A. Palikaras. "Automated standardized pupillometry with optical method for purposes of clinical practice and research". *Clinical Physiology, 20(5):336 - 347, 2000*.