

UNICAMP/LCV – 2007

# RECONHECIMENTO DE ÍRIS

## Projeto em LabView

**Tópicos em Microeletrônica IE327**

**Técnicas de programação em Labview**

Roger Larico Chavez

---

Agosto 2007

## 1. Introdução

A biometria apresenta vantagens em relação aos meios convencionais de identificação, tais como cartões de identidade ou senhas, pois permite a utilização de características intrínsecas às pessoas. Conseqüentemente, ela dificulta a falsificação e o roubo porque envolve o histórico biométrico de uma pessoa que, em geral, tende a permanecer estável na fase adulta. Em virtude dessa vantagem cresce o número de aplicações de sistemas biométricos tanto no Brasil quanto em todo o mundo<sup>1</sup>. Dentro desse contexto, a íris humana apresenta um conjunto de propriedades que a qualifica como um dos sistemas mais seguros de reconhecimento biométrico. De fato, entre todas as biometrias, a íris se apresenta como sendo uma das mais confiáveis e com taxas mínimas de erro de reconhecimento.

Como em todas as áreas do conhecimento, hoje há uma farta literatura disponível que descreve os principais métodos de reconhecimento de íris propostos. Porém, ela se apresenta ainda de forma fragmentada e incompleta, talvez devido aos interesses financeiros envolvidos uma vez que há uma tendência de se preservar segredos de tecnologia com potencial comercial. Entre os algoritmos de reconhecimento de íris descritos na literatura [1], o algoritmo de J. Daugman tem os melhores resultados.

Neste trabalho se desenvolve um sistema básico de reconhecimento de íris, na modalidade de comparação. Todo baseado no algoritmo de Daugman modificado para que seja mais fácil mudar de algoritmo e fazer mais fácil o entendimento. O sistema tem como blocos básicos:

*Captura de dados, Localização da pupila, Localização da íris, Normalização da íris, Codificação da íris, Comparação da íris.*

Todo o desenvolvimento foi feito em *Labview* 8.0 com o intuito de utilizar as experiências e códigos em um projeto futuro de integração do software com o hardware. Dado que é possível utilizar muitas características desta ferramenta para melhorar e modificar facilmente o fluxo de dados. Além disso o *Labview* tem a vantagem de conter muitas funções e subrotinas que são melhoradas constantemente e existe para possíveis problemas de desenvolvimento. A adição de novas características é simples nesta ferramenta. Então o objetivo deste sistema é ser base para iniciar um desenvolvimento mais completo e cada vez mais robusto. Outro ponto é que não foi encontrado um desenvolvimento de um software em *Labview* disponível como ponto inicial de pesquisas e comparações (como existe em outras linguagens de programação). Um bloco importante o *Liveness* não foi desenvolvido e poderá ser acrescentando no futuro assim como uma conexão a uma base de dados.

Finalmente ele é testado obtendo uma precisão moderada para fins didáticos e como ponto inicial das melhoras para o futuro.

## 2. Características da Íris Humana.

A íris é um órgão interno que faz parte do globo ocular protegido pela córnea do olho, sendo colorida e cuja função é controlar os níveis de luz assim como faz o diafragma de uma câmera fotográfica. A pupila é a abertura para a entrada de luz que é controlada pela íris [2].

A íris tem características que são próprias de cada pessoa [3]. Existem muitos tipos de características combinadas com diversas cores (ver Fig. 2.1). Durante o processo de envelhecimento, a partir de certa idade, a íris não se altera biometricamente, sendo isso uma de suas características fisiológicas mais importantes. A íris é formada no início da gravidez durante os três primeiros meses de gestação. Sua estrutura é completada aos oito meses e após esse tempo ocorrem algumas mudanças de textura. Aos dois ou três anos de idade ela deixa de mudar [4]. A formação da íris depende do meio no qual é formado o embrião. Dessa forma, muitos de seus detalhes não têm correlação com a carga genética [5], [6]. Cada pessoa possui uma íris diferente, sendo que isso ocorre mesmo que se trate de gêmeos univitelinos [7], [8]. Os órgãos do olho, o humor aquoso e a córnea protegem a íris do ambiente como se pode observar na Fig. 2.1. Essa proteção impede ou dificulta a mudança das características da íris. Evita também a ocorrência de riscos de lesão graves.

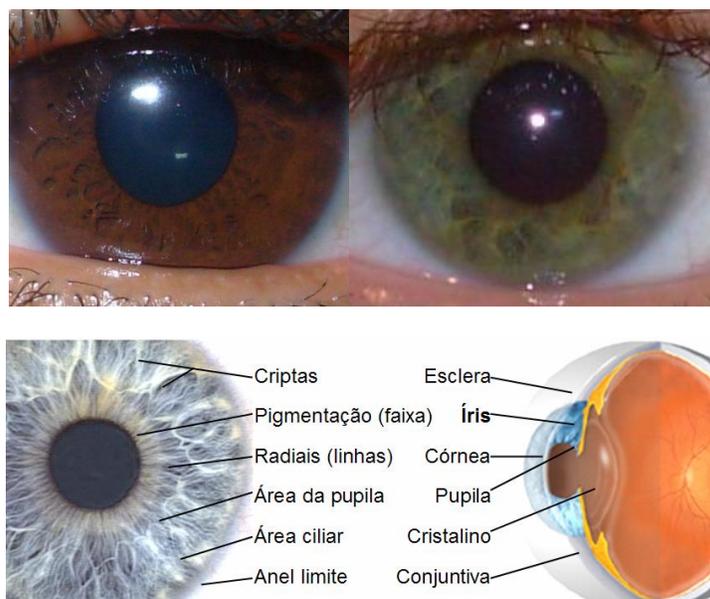


Fig. 2.1 Olho humano. Alguns tipos de olho. Características circulares e angulares da íris [5]. Anatomia do olho [2].

### Características da íris utilizadas para biometria

A estrutura microscópica da íris apresenta vários aspectos incomuns. Sua superfície anterior que forma o limite posterior da câmara anterior não é revestida por um epitélio

distinto. O estroma contém vasos sanguíneos e nervos da região. Próximo da periferia da pupila, um conjunto de fibras musculares lisas forma uma estrutura contrátil anular, conhecido como esfíncter da pupila. A face posterior da íris consiste de um prolongamento das mesmas duas camadas de epitélio que revestem o corpo ciliar (células pigmentadas). A essa estrutura estão estreitamente associadas fibras lisas do dilatador da pupila, que estão dispostas radialmente. Existem depressões ou criptas, através das quais os vasos podem ser vistos no estroma. Há também várias pregas e estrias radiais ou circulares. A observação clínica da íris (realizada por oftalmologistas e anatomistas durante um período em que examinaram uma grande quantidade de olhos) permite afirmar que o padrão detalhado de uma íris é único. Isso ocorre ainda que se trate da íris esquerda ou da direita de um mesmo indivíduo. O padrão de uma determinada íris varia muito pouco [7], [8].

Por outro lado, constatou-se que raramente o processo evolutivo transcorre de forma inadequada, dando origem a uma íris rudimentar ("aniridia") ou a uma distorção na forma da pupila ("coloboma"). Evidências evolucionistas também tendem a comprovar a estabilidade do padrão da íris no tempo. Determinadas partes da íris já se encontram desenvolvidas no nascimento, enquanto que outras, tais como a fina musculação desenvolve-se durante os primeiros dois anos de vida. De particular importância para o reconhecimento de padrões, é o fato de que a pigmentação da íris continua até a adolescência. Na verdade, o tamanho médio da pupila sofre pequenos acréscimos até essa fase da vida. Após a adolescência, uma íris saudável varia muito pouco pelo resto da vida de um indivíduo, embora uma pequena despigmentação e redução do tamanho médio da abertura da pupila ocorram na velhice.

Um outro aspecto interessante da íris, sob o ponto de vista biométrico, está relacionado com a sua dinâmica de movimentação. Essas alterações ocorrem devido à complexa interação dos músculos da íris (diâmetro da pupila está em constante estado de oscilação). A absorção da luz e outras características fisiológicas podem ser usadas para se evitar possíveis fraudes.

### 3. Reconhecimento de íris.

Os algoritmos básicos de reconhecimento de íris variam de acordo com a classificação dada por diferentes autores na literatura. No entanto, em geral os algoritmos contêm uma entrada de dados, um pré-processamento matemático para segmentar a informação, extração de características e uma parte final de comparações para tomar uma decisão (ver Fig. 3.1).

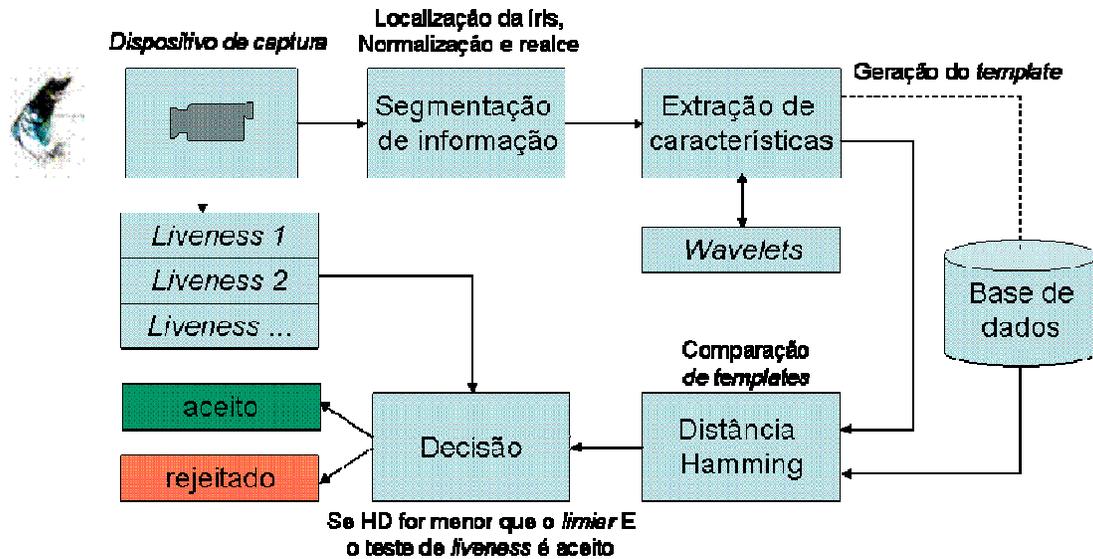


Fig. 3.1. Descrição de um típico sistema de reconhecimento de íris.

A aparência bastante complexa da íris é uma consequência das características de sua estrutura, resultando em mais de 400 graus de liberdade [9]. Esse é um parâmetro muito útil para sistemas de reconhecimento, uma vez que expressa quanto os padrões a serem comparados são independentes. Esse valor é três ou quatro vezes maior do que o número de graus de liberdade de sistemas de reconhecimento de impressões digitais [10]. Entretanto, o algoritmo associado ao reconhecimento limita o grau de liberdade.

Dependendo da aplicação o reconhecimento de íris pode-se utilizar isto para: comparar, verificar e até identificar um indivíduo. Cada uma destas modalidades deve conter uma comparação para fazer a tarefa completa. Neste trabalho somente se desenvolve o método de comparação básico como início e ferramenta para outras aplicações.

## Implementação em Labview: IrisR.vi, App\_IrisRecognition.vi

O sistema de reconhecimento de íris básico desenvolvido esta dividido em um sistema para gerar *templates* IrisR.vi. Nesta etapa se integra todos os blocos para fazer a tarefa de gerar os *templates* (ver Fig).

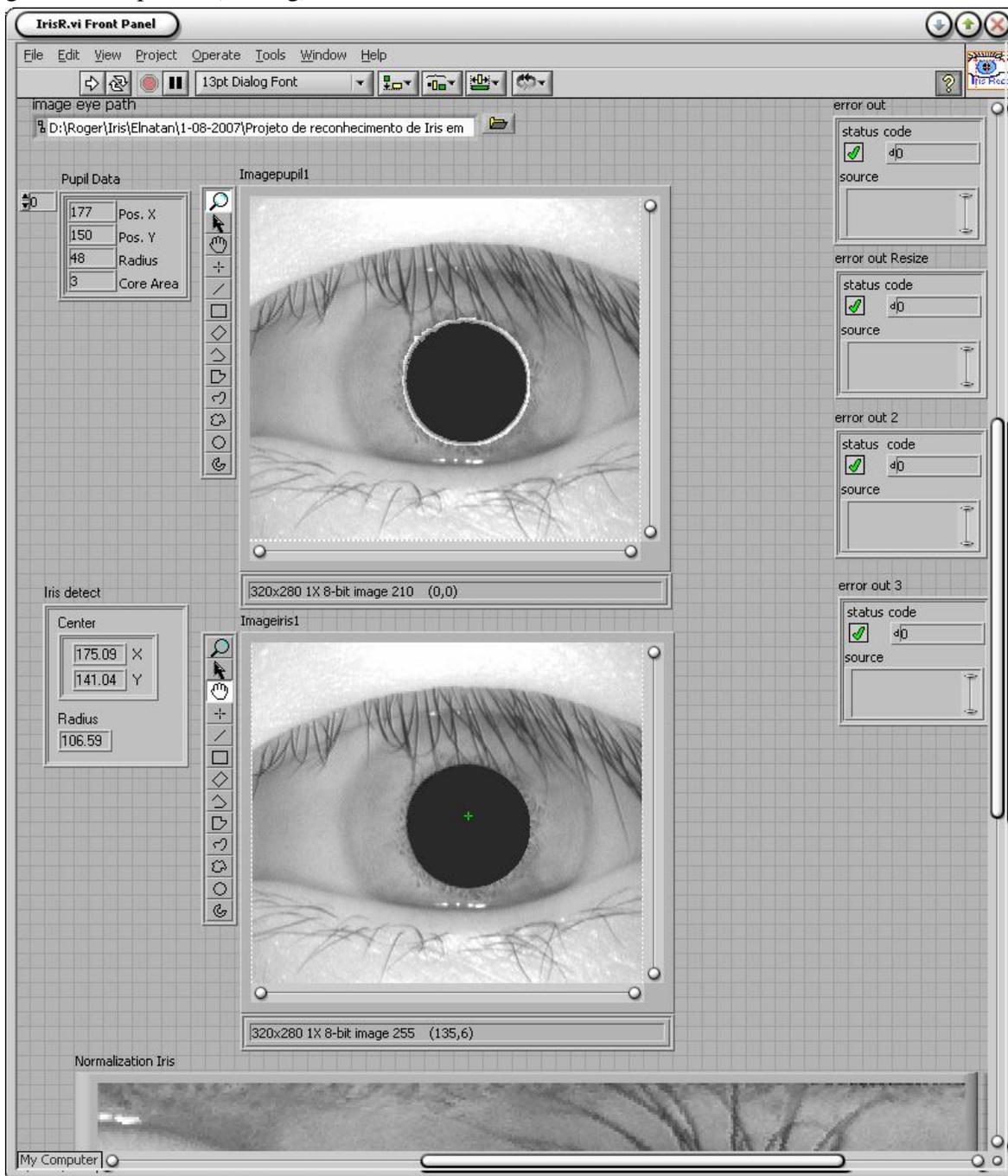


Fig. 3.2. Processo de geração de *templates* a partir de uma imagem.

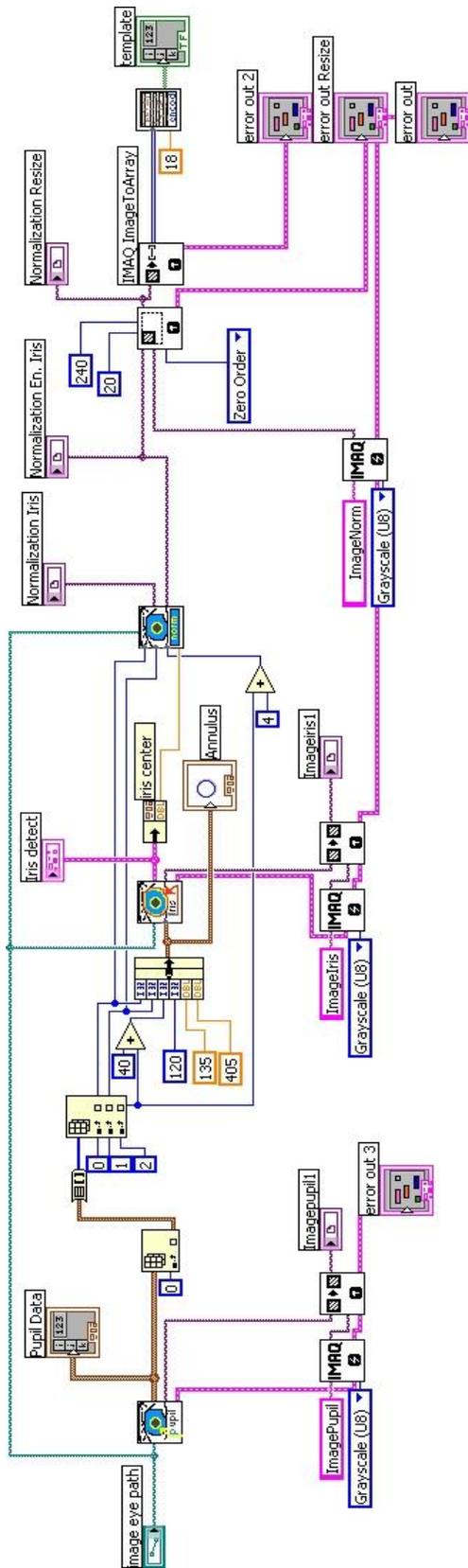


Fig. 3.3 Diagrama do processo básico de geração de *templates*

No entanto a aplicação que faz a comparação e medida similaridade esta feito por dois processos em paralelo. Um deles de geração de códigos de iris ou *templates* e a distancia de *Hamming*. Isto é observado nas figuras embaixo.

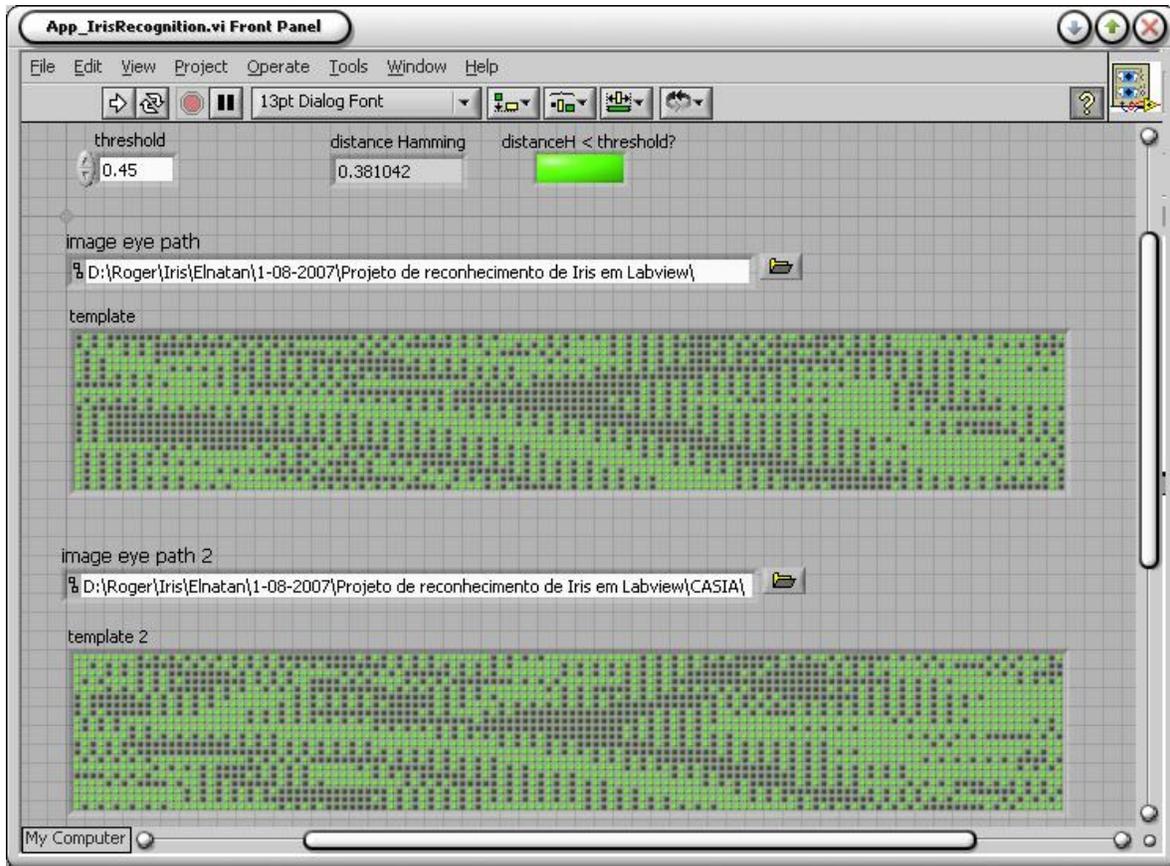


Fig. 3.4. O painel frontal da aplicação de reconhecimento de iris.

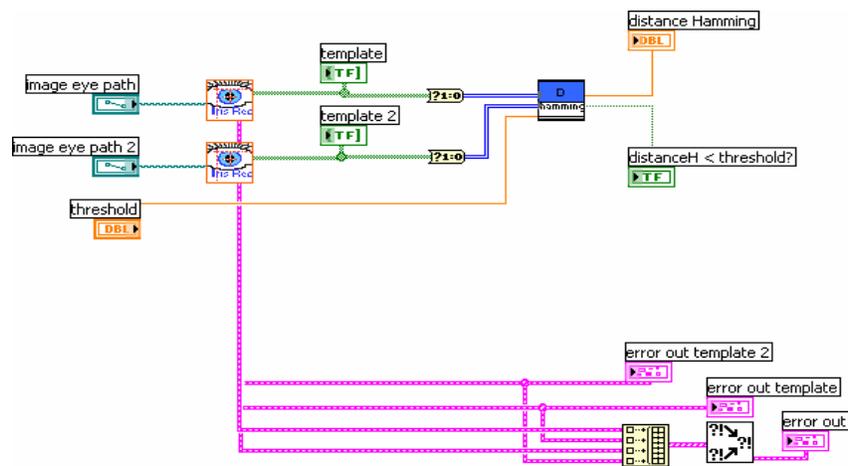


Fig. 3.5. O diagrama da aplicação de reconhecimento de iris.

#### **4. Processo de captura da íris.**

O dispositivo de captura de dados (e também o *liveness*) é a primeira etapa de um sistema de reconhecimento de íris. Nesta etapa se captura uma imagem do olho para serem processada. As características da imagem estão de acordo com os parâmetros utilizados como a cor, luminância, contraste o foco e a resolução entre outras. Essas características da imagem dependem muito do fabricante, do ambiente e algumas vezes do mesmo usuário.

No entanto, além da forma de se capturar a imagem, devem-se levar em conta outros fatores. De fato, o objetivo da captura de dados é a obtenção de uma imagem que sirva para reconhecimento. Assim, qualquer que seja o dispositivo usado, o resultado deverá fornecer os parâmetros (características) de imagens adequados para o reconhecimento. Dessa forma, se dois ou mais equipamentos permitem a obtenção de parâmetros com a mesma definição, clareza e contraste das imagens para a composição de uma base de dados, então não haverá necessidade de se ajustar o algoritmo. O ideal é tentar imitar as formas finais das imagens obtidas, ajustando-se os equipamentos.

## Implementação em Labview: AcquireEye.vi

A implementação feita é uma captura por câmera USB. Processo de captura desenvolvido é de simples *design*. O diagrama em Labview é o seguinte:

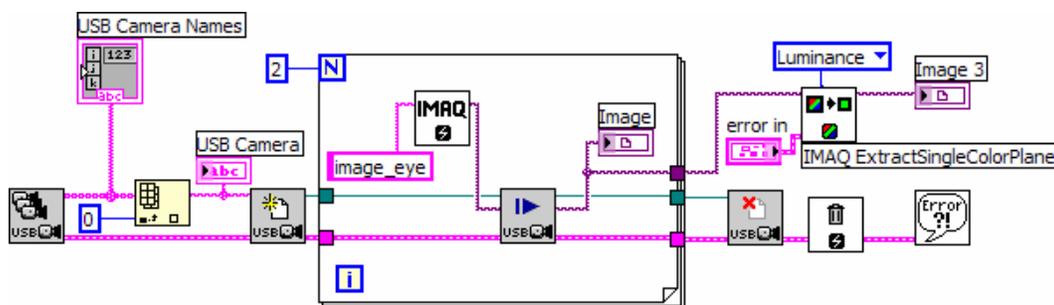
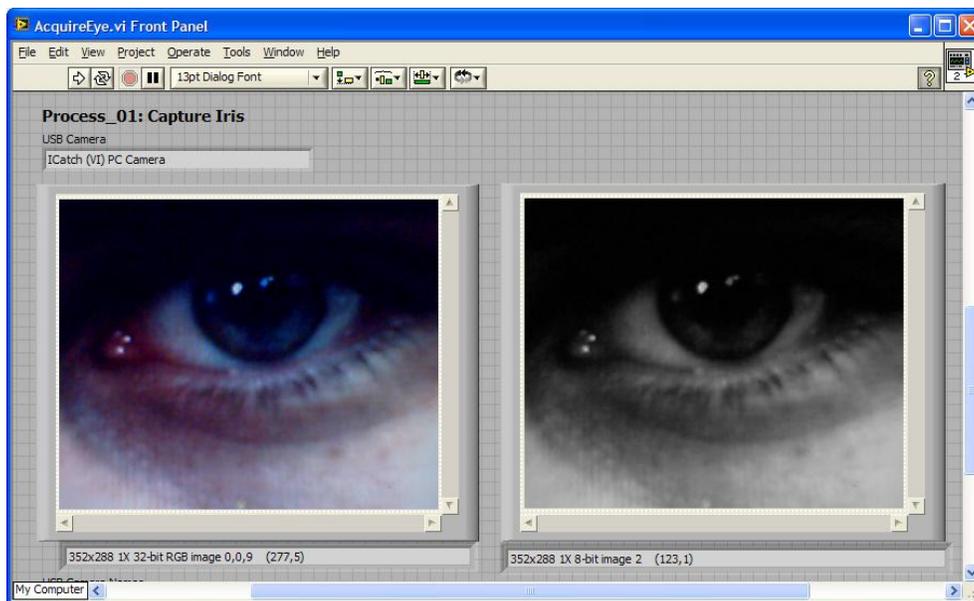


Fig. 4.1. Interface e o diagrama em Labview.

Na Fig. anterior se observa a utilização do “NI-IMAQ for USB Câmera” sobre LabView 8.0. aqui se observa o processo tradicional de início, captura de cada *frame* da câmera e uma finalização. Embora se observa um laço de  $N=2$ . A finalidade deste bloco é sincronizar a primeira captura (errada durante a primeira captura) para obter na seguinte a imagem desejada. O processo de escala de cinza é pegando as propriedades de luminância da imagem.

## 5. Localização

A captura de íris é a etapa onde se processa as imagens para obter a informação. Neste caso obter a íris do olho humano e desprezar as outras partes. Isto para facilitar aos algoritmos de não comparar regiões que não intervierem no algoritmo. A forma utilizada na maioria de pesquisas é detectar a pupila e a íris para segmentar a íris (ver Fig. 5.1).

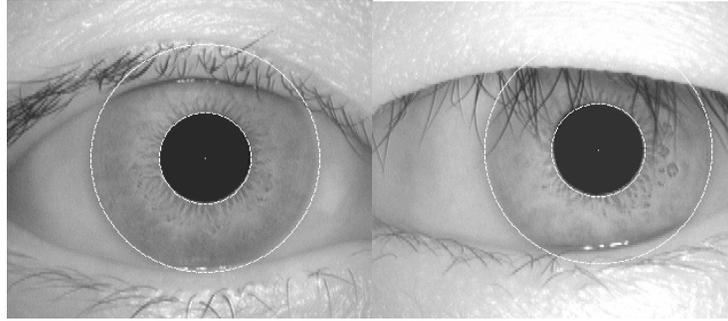


Fig. 5.1. Localização da íris: centros e raios de pupila e íris [16].

Têm-se conseguido muitas melhoras no reconhecimento de íris, mas alguns problemas não podem ser ignorados. Os sistemas reais, em condições variantes requerem muita robustez. No entanto, também é necessário adicionar rapidez, dado que são capturadas várias imagens por segundo. Além disso, o usuário tem pouca tolerância a longos tempos de processamento. Os custos de localização estão próximos da média total do processo [11] e a localização da íris é importante para a seqüência de processamento. A localização é crucial para o melhor desempenho em relação ao tempo e à precisão do sistema de reconhecimento [12]. Em diversos trabalhos, um dos problemas que não foi resolvido é a falta de exatidão na localização. Sugere-se esse tema como pesquisa futura [13], Nesse caso, simplesmente não se utilizam as amostras erradas nessa etapa (ver Fig. 5.2).

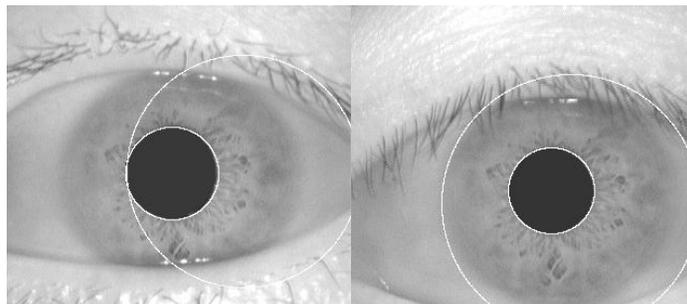


Fig. 5.2 Erros acentuados na localização com a transformada de *Hough* (imagem 52).

Um requisito importante a ser satisfeito é a necessidade de balanceamento entre o tempo de localização e o tempo necessário para obtenção de uma exatidão aceitável.

## Implementação em Labview: Pupildetect.vi, Irisdetect.vi

A implementação feita possui as características clássicas de detecção de circunferências. Utilizaram-se as bibliotecas disponíveis no “*Vision and Motion*” e funções de processamento de imagens como se observa no diagrama de cada um dele (ver Figuras).

A detecção da pupila foi desenvolvida no arquivo pupildetect.vi. onde a entrada de dados é o arquivo armazenado pelo capturador. A saída é a imagem com a pupila indicada pela circunferência, os parâmetros dessa pupila como o radio e o centro (também tem se um modulo de erro). Isto se observa na seguinte figura.

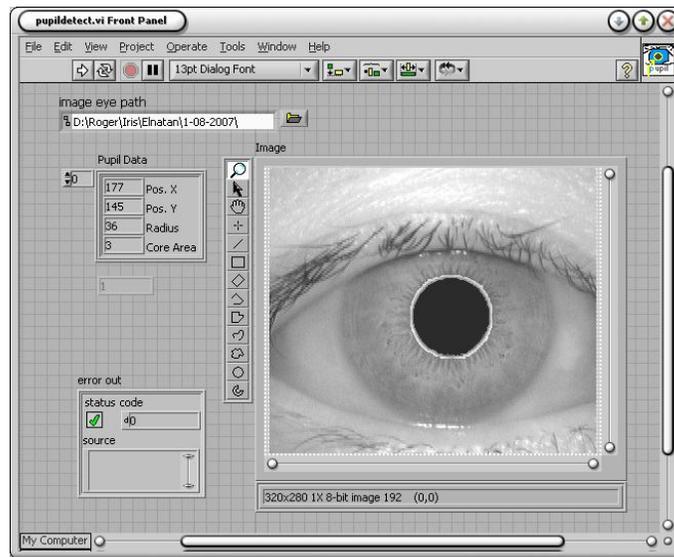


Fig. 5.3. O painel frontal pupildetect.vi para detecção da pupila.

Como se observa no diagrama deste bloco, vários estágios como: entrada de dados e carga da imagem em memória, filtros para acentuar as bordas da imagem do olho, um estagio para remover partículas, uma detecção de circunferências e uma saída de dados (ver Fig).

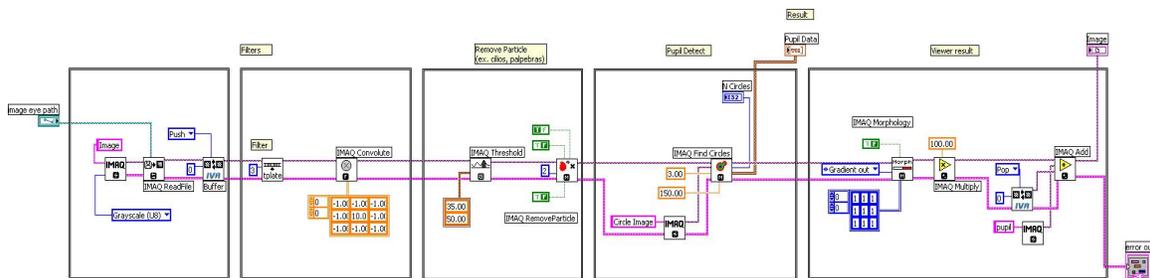


Fig. 5.4. Diagrama para detecção da pupila.

## 6. Normalização

A aquisição de uma imagem real no meio ambiente dificilmente é perfeita, isto mesmo tomando as medidas necessárias para ser evitadas. Os erros inseridos são devidos às muitas variáveis envolvidas, tais como os diferentes tamanhos das íris, as variações de iluminação, bem como de outros fatores que afetam a imagem incluindo-se as reações naturais da pupila. Para se obter uma informação confiável da íris deve-se localizar a íris e uniformizar esses dados para que os algoritmos computacionais de reconhecimento possam realizar a análise. O processo de normalização é responsável por gerar imagens com dimensões constantes. Assim, imagens da mesma íris capturadas sob condições diferentes terão suas características em uma mesma localização espacial. Neste trabalho foi simulada a técnica de normalização proposta por John Daugman [3], [6], [15] simplificada, fazendo que a íris e a pupila estejam concêntricas [16]. O conteúdo circular em uma imagem padrão de íris pode ser representado em uma imagem retangular. Assim, aplica-se uma transformação para se passar de uma faixa circular para um retângulo (ver Fig. 6.1).

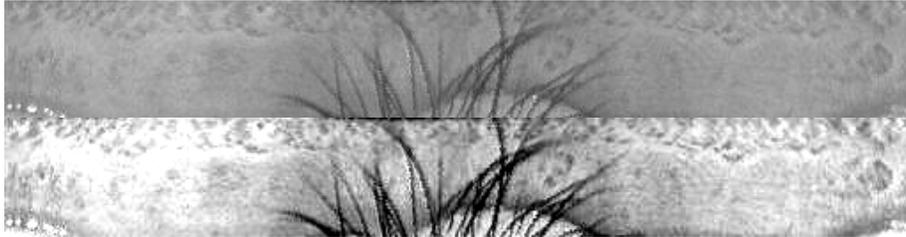


Fig. 6.1. Íris em formato (64x512) normalizado em um retângulo e Realçando da imagem.

Ao normalizar uma imagem devem-se ter parâmetros fixos a fim de simplificar os passos subseqüentes de processamento sem reduzir os dados relevantes nem causar distorções [17], [18]. Tem-se:

$$I_n(X, Y) = I_o(x, y) \quad (6.1)$$

$$x = x_p(\theta) + (x_i(\theta) - x_p(\theta)) \frac{Y}{M} \quad (6.2)$$

$$y = y_p(\theta) + (y_i(\theta) - y_p(\theta)) \frac{Y}{M} \quad (6.3)$$

$$\theta = 2\pi X / N \quad (6.4)$$

onde  $I_n$  é a nova imagem de  $M \times N$  (64 x 512).

A imagem normalizada conserva as características principais da textura como observado na Fig. 6.1, mas a íris é de baixo contraste e as informações relevantes são as mudanças de textura. Por essa razão, o tratamento da imagem consiste em se realçar as regiões que

contém os dados. Com localização precisa e normalização sem deformação, as informações de textura estão prontas para posteriores tarefas de reconhecimento, porém, reduzindo-se os dados.

## Implementação em Labview: Normalization.vi

A implementação é feita utilizando basicamente o “*IMAQ Unwrap*”. Onde é escolhido um anel de acordo com os parâmetros dos módulos anteriores para transformá-lo em um retângulo. A entrada é o arquivo do olho a processar e os parâmetros da região da íris. Também tem como parâmetros internos o tipo de realce da imagem final normalizada.

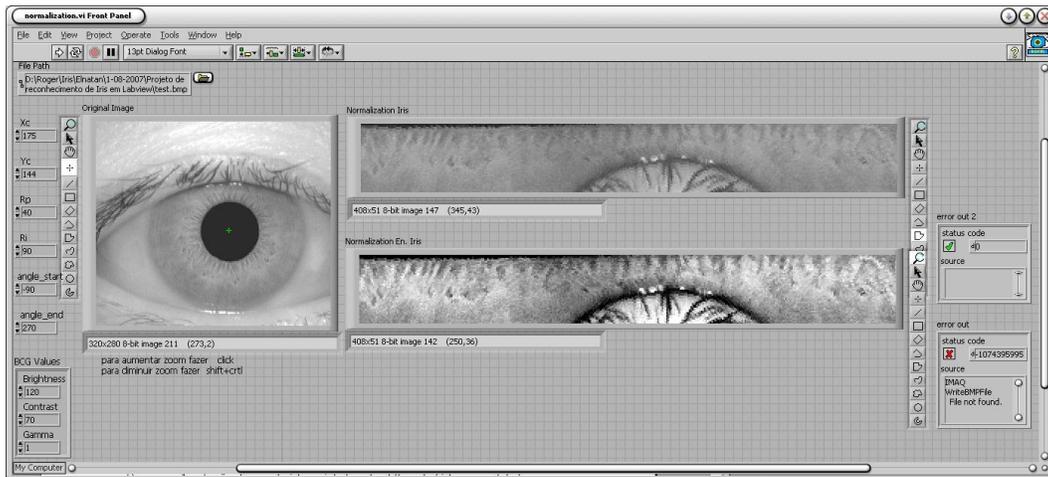


Fig. 6.2. O painel frontal normalization.vi para passar a íris a uma forma retangular.

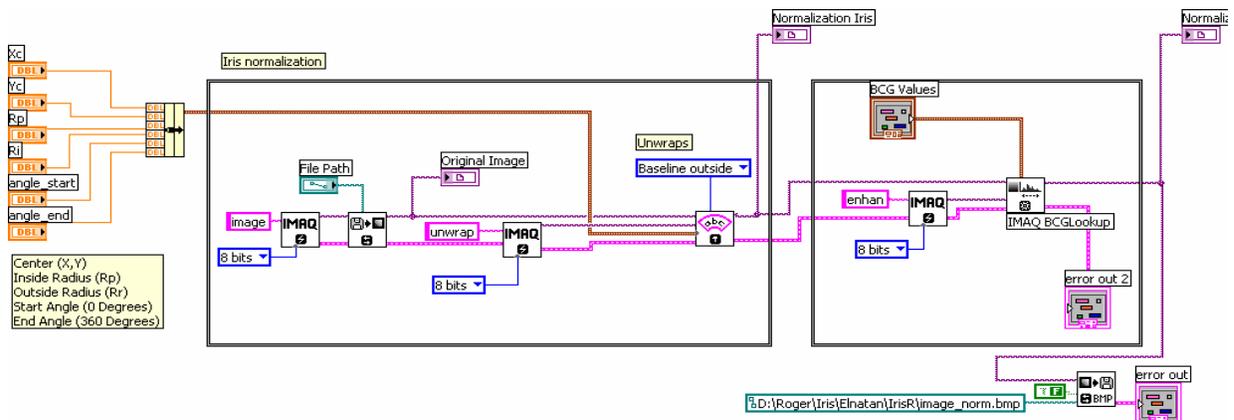


Fig. 6.3. Diagrama para a normalização da íris.

Finalmente, o processo de normalização usado em conjunto com um bom método de localização (circunferências concêntricas) é mais simples e funciona adequadamente com alta exatidão para a base de dados utilizada [16]. Têm-se também esquemas elípticos e outros tipos de forma [19] que requerem maior trabalho computacional (trabalhos futuros).

## 7. Codificação e Casamento

**Codificação.** A codificação está baseada na transformada de *wavelets*, utilizando-se o esquema de Daugman. A extração de características é feita pelos filtros de *Gabor* e modulada em uma constelação a modo de utilizar uma escala no eixo dos reais e outra no eixo dos números complexos. Para depois demodular como se fosse uma constelação em quadratura. A continuação uma breve descrição do processo.

Para se representar a textura da íris faz-se uso de filtros de *Gabor* [20], [21] em duas dimensões. Suas propriedades matemáticas foram discutidas por Daugman em 1985 [22]. Nesse mesmo trabalho o autor demonstra que os filtros de *Gabor* 2D em quadratura são notavelmente adequados para se representar texturas. Os filtros de *Gabor* 2D são definidos assim:

$$H(r, \theta) = e^{-j\omega(\theta_0 - \theta)} e^{-(r_0 - r)/\alpha^2} e^{-(\theta_0 - \theta)/\beta^2} \quad (7.1)$$

Onde,  $r$  e  $\theta$  são coordenadas da imagem normalizada,  $r_0$  e  $\theta_0$  definem a posição do filtro, e  $\alpha$  e  $\beta$  são as aberturas das gaussianas que compõem o filtro nas direções de  $r$  e  $\theta$ .

Para uma representação da íris, o autor divide a matriz imagem da íris normalizada em blocos de dimensão fixa. Cada bloco é projetado sobre o filtro de *Gabor* com a forma anterior. Os parâmetros  $r$  e  $\theta$  variam com o inverso de  $w$  de modo a produzir um conjunto de filtros centralizados em  $(r_0, \theta_0)$ , posição do centro de cada bloco. Depois dessa decomposição Daugman produz uma representação mais compacta da saída de cada filtro que consiste de dois bits. O primeiro bit dessa representação será 1 ou 0, dependendo da parte real de  $H(r_0, \theta_0)$  ser positiva ou negativa. Do mesmo modo, o segundo bit será 1 ou 0, dependendo da parte imaginária de  $H(r_0, \theta_0)$ , ser positiva ou negativa. Os valores de  $(r_0, \theta_0, \alpha$  e  $\beta)$ , são amostrados de modo a produzir uma representação em 256 bytes chamada de *iriscode*, que serve de base para o processo de quantização associado a essa passagem (ver Fig. 7.1).

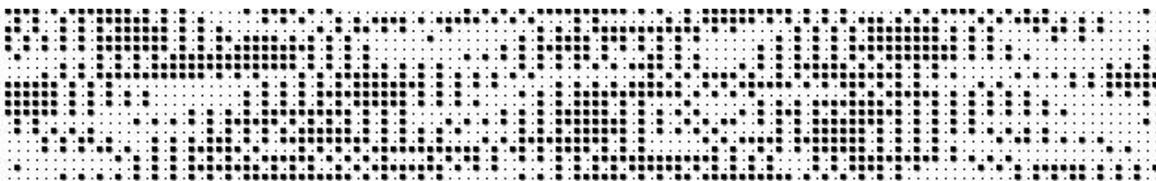


Fig. 7.1 Código de 256 bytes da íris.

### Implementação em Labview: Createtemplate.vi

A implementação é feita utilizando basicamente o “*filtro de Gabor*”. Onde esse filtro foi desenvolvido dado que é modificado especificamente para este caso. A criação do *template*

é feito fazendo uma demodulação da saída do filtro. A entrada é a imagem normalizada da íris do olho a processar.

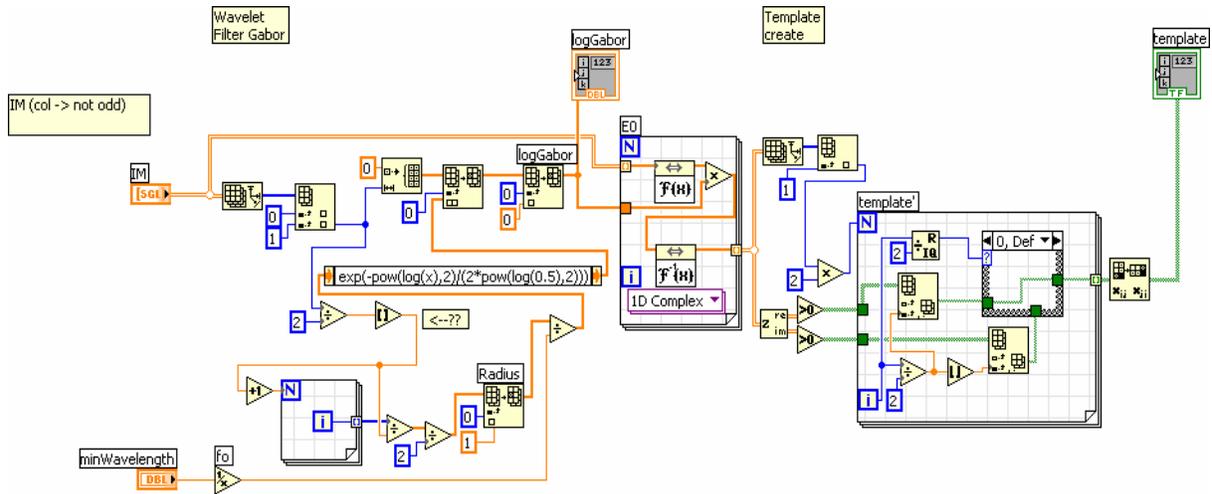


Fig. 7.2. Diagrama da criação de *template* ou código de íris.

**Distância de Hamming.** Uma distância de *Hamming* é uma medida quantitativa da variação entre bits e entre *templates*. Essa medida é obtida através da comparação bit a bit dos *templates* seguida do cálculo da razão entre a quantidade de bits que não se correlacionam e a quantidade total de comparações entre bits. Uma distância euclidiana é aquela entre dois pontos enquanto que a de *Hamming* é simplesmente a somatória de 1's ou 0's. Essa medida é utilizada com sucesso em várias aplicações de processamento de sinais. Por exemplo, pode ser usado na implementação de correladores baseados na distância de *Hamming* generalizada, a fim de se recuperar o sincronismo no tempo de um sinal OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*)<sup>ii</sup>.

Para o casamento, uma distância de *Hamming* é utilizada como uma métrica em reconhecimento, bit a bit. A distância de *Hamming* trabalha com máscaras onde os bits não significativos são omitidos e somente são utilizados os bits úteis entre dois *templates* de íris. A segmentação utilizada para criar essa máscara e tirar esses bits é feita pela Transformada de *Hough* TH para linhas [23].

A similaridade entre duas imagens de íris é determinada pela distancia de *Hamming* que corresponde a equação:

$$HD = \frac{1}{2048} \sum_{j=1}^{2048} A_j (XOR) B_j \quad (7.2)$$

A decisão, se duas representações correspondem a uma mesma íris ou a íris distintas é feita com base num limiar determinado empiricamente.

Quando ocorre um casamento perfeito entre as íris, o valor computado é zero. A que a esperança de uma comparação de íris não relacionadas é 0,5 com um desvio padrão muito pequeno [20]. Isso se deve ao fato de se usar um cálculo estatístico, uma vez que dado um bit do valor retornado pela codificação, a probabilidade dele ser 0 é a mesma de ser 1, e a comparação entre dois bits não relacionados tem probabilidade média de 50% de chance de ser divergente, isto é, não converge nem para 0 e nem para 1. Então podemos concluir que uma correlação ou grau de similaridade corresponde a um número menor ao 0.5. O valor utilizado na literatura varia de 0.34 até 0.45. O que significa que o sistema é capaz de distinguir fácil se o valor fosse menor ou difusamente se o valor fosse maior.

### Implementação em Labview: distanceH.vi

A implementação é feita utilizando um operador binário “XOR”. A entrada do bloco são dois códigos de íris. Aqui se inicia um ou exclusivo a nível binário e essa operação indica o grau de similaridade que é a resposta (saída) do bloco. Adicionalmente tem uma entrada do limiar que se atingido então se decide que é diferente (ver Figura).

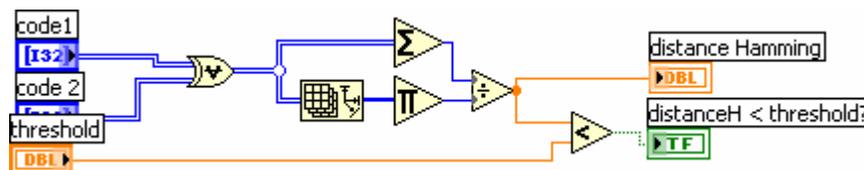


Fig. 7.3. Diagrama da comparação de *templates* ou códigos de íris.

Teoricamente, dois *templates* de íris gerados a partir da mesma íris deveriam ter a distância de *Hamming* igual ao zero, no entanto na prática isso não acontece, devido a uma normalização imperfeita, aos ruídos não detectados ou alguma variação entre *templates*.

## 8. Testes e Resultados

A pesquisa realizada neste trabalho procura investigar os aspectos básicos de um sistema biométrico de identificação pessoal, baseado em imagens de íris. Como parte do trabalho, foi desenvolvida um bloco de captura, localização, normalização, codificação e comparação de íris. Os testes foram feitos considerando o seguinte:

A ferramenta utilizada para os experimentos foi desenvolvida no laboratório de comunicações visuais (LCV/Decom/Feec/Unicamp), que está equipado com um computador Pentium IV 3.2 GHz, 256Mb RAM, que roda o *LabView 8.0*, em ambiente operacional Windows 2000.

Para se avaliar o funcionamento do projeto foi utilizada a base de dados *CASIA Íris Database*, que contém 756 imagens (320x280 *pixels*) de íris de 108 olhos, que resulta em 108 classes. Para cada olho, sete imagens são capturadas em duas sessões. Três são coletadas na primeira e quatro na segunda sessão [24].

Foram utilizadas algumas amostras dessa base de dados. A entrada de dados dos testes está disponível na pasta de teste. Devido ao sistema ser simples em alguns casos o sistema se não encontra resposta simplesmente não fornece uma decisão.

Foram utilizadas 10 pessoas diferentes da base de dados. Aqui foram analisados dois aspectos: A aceitação do sistema ao fazer uma comparação positiva. A rejeição do sistema ao fazer uma comparação negativa. Isto em biometria é fundamental, dado que a decisão poderia ter uma taxa falsa aceitação (FAR) ou uma falsa rejeição (FRR). Teoricamente a íris esta perto dos 100% de precisão. E esta precisão é dividida em essas duas taxas. Na pratica se ajusta uma taxa para que uma melhore e a outra piore. Todo com a variação do limiar de similaridade. O nosso valor foi ajustado ao *limiar=0.45* de similaridade.

O modulo de teste é apresentado no arquivo *testIris.vi* e o diagrama observa-se na seguinte figura.

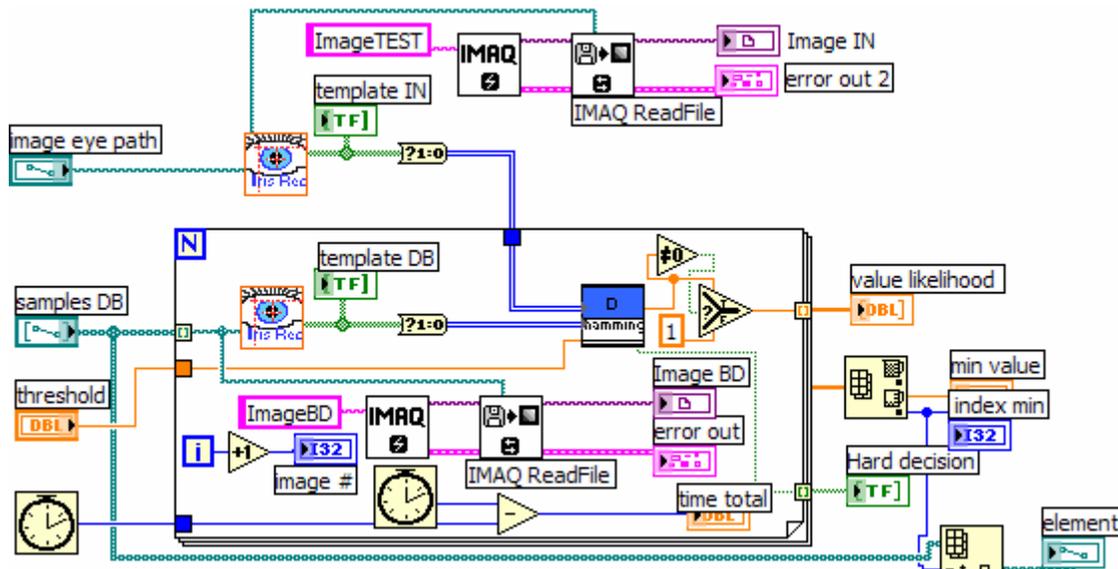


Fig. 8.1. Diagrama de teste de identificação de um entre muitas imagens de íris.

O teste tem como entrada uma imagem de íris e ela será testada e comparada com 77 olhos de 10 pessoas diferentes e assim conseguir identificar quais amostras pertencem a amostra inserida. No caso de duas imagens iguais a distância de Hamming será 0, mas será penalizada dado que é impossível que uma amostra na prática seja exatamente igual e não pode entrar como resposta aceita. A coluna *boolean* estará acesa se a similaridade não ultrapassa o limiar inserido. Como se observa na seguinte figura.

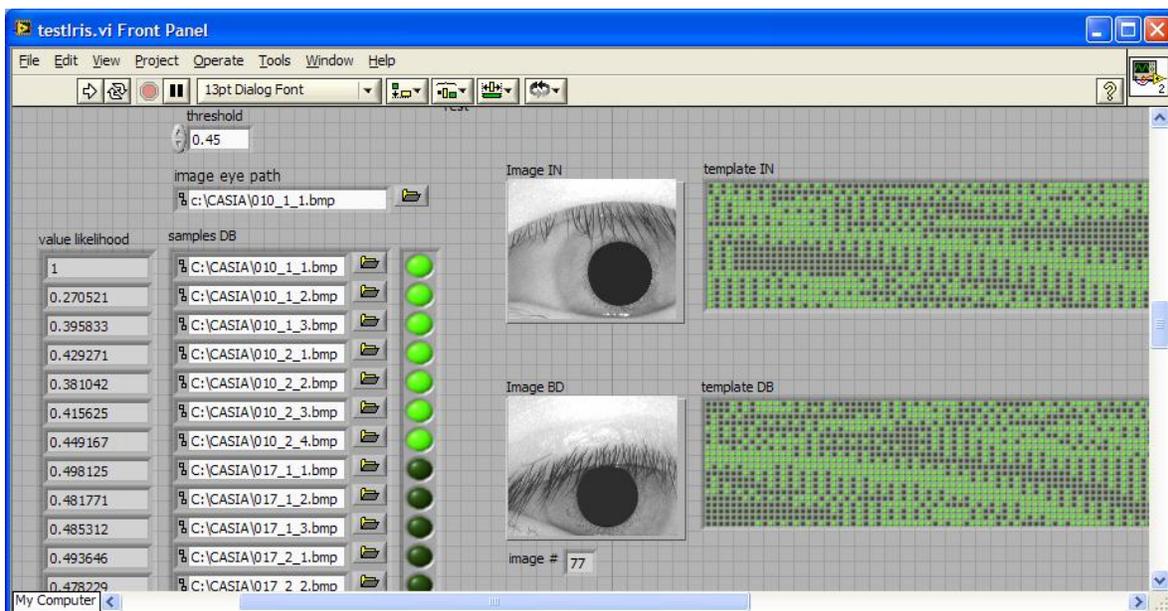


Fig. 8.2. Painel frontal do teste de identificação de um entre muitas imagens de íris.

Pode se concluir que o sistema funciona com boa precisão e que serve para iniciar novas pesquisas e melhoramentos para ele evoluir até obter uma alta precisão.

## 9. Referências Bibliográficas

- [1] M. Vatsa, R. Singh and P. Gupta, "Comparison of Iris Recognition Algorithms," *IEEE Proc. of ICISIP 2004*, Índia, 2004, pp. 354-358.
- [2] M. Erickson (1996). Eye Anatomy. *St. Luke's Cataract & Laser Institute*. <http://www.stlukeseye.com/Anatomy.asp>
- [3] J. G. Daugman, "How Iris Recognition Works," *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 14, n. 1, pp. 21-30, 2004
- [4] P. C. Kronfeld, "The Gross Anatomy and Embryology of the Eye," *The Eye*, H. Davson, Ed. London: Academic, vol. 1, pp. 1-66, 1968.
- [5] J. G. Daugman, "Iris Recognition for Personal Identification," *The Computer Laboratory, University of Cambridge*. <http://www.cl.cam.ac.uk/~jgd1000/>
- [6] J. G. Daugman, "High Confidence Recognition Persons by Iris Patterns," University of Cambridge, The Computer Laboratory, 2001.
- [7] R. Wildes, I. Asmuth, G. Green, S. Hsu, R Kolczynski, I Matey and S. McBride, "A Machine Vision System For Iris Recognition," *Machine Vision and Applications*, vol. 9, pp. 1-8, 1996.
- [8] R. Wildes, "Iris Recognition: An Emerging Biometric Technology," *Proceedings of the IEEE*, vol.85, pp. 1348-1363, 1997.
- [9] G. Williams, "Iris Recognition Technology," *IEEE Aerospace And Electronics Systems Magazine*, vol 12, n. 4, Abril 1997.
- [10] K. Rhodes, "National Preparedness: Technologies to Secure Federal Buildings," *U.S. Government Accountability Office*, Abril 2002
- [11] L. Ma and T. Tan, "Personal Identification Based on Iris Texture Analysis," *IEEE Transaction on Pattern Análisis and Machine Intelligence*, vol. 25, n. 12, Dec. 2003.
- [12] J. Cui, Y. Teniu, L. Ma, Z. Sun, "A Fast and Robust Iris Localization Method Based on Texture Segmentation," *Center for Biometric Authentication and Testing, National Laboratory of Pattern Recognition, Chinese Academy of Sciences, Beijing, P.R.China*, 2004.
- [13] M. Pereira, "Uma Proposta para o Aumento da Confiabilidade de um Sistema de Reconhecimento de Íris e sua Implementação através de Algoritmos Genéticos," dissertação de mestrado, Dept. Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Uberlândia. 2005.
- [14] L. Masek, "Recognition of Human Iris Patterns for Biometric Identification," dissertação de bacharelado, Dept. The University of Western, Australia, 2003.
- [15] I. Daubechies, "Image Coding Using *Wavelet* Transform," *IEEE Transactions on*

- Image Processing*, vol. 1, n. 2 ,pp. 205-220, Apr. 1992.
- [16] R Larico Chavez, “Uma Proposta para Melhoria na Eficiência de um Sistema de Reconhecimento de Íris Humana,” dissertação de mestrado, Engenharia Elétrica e Computação, Dept. Comunicações, Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2007.
- [17] J. G. Daugman, "High Confidence Visual Recognition of Persons by a Test of Statistical Independence," *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.*, vol. 15, n. 11, pp. 1148-1161, 1993.
- [18] L. Ma, Y. Wang and T. Tan, “Iris Recognition Using Circular Symmetric Filters,” *Intl. Conf. Pattern Recognition*, vol. 2, pp. 414–417, Ago. 2002.
- [19] K. Voss, H. Suesse and W. Ortmann, “Radon, Hough, Acumulación y el Método SDR,” *CC/CIMAT Dep. Mathematic*, Comunicación Técnica I-04-05, 2004.
- [20] J. G. Daugman, "*Wavelet* Demodulation Codes, Statistical Independence, and Pattern Recognition," Institute of Mathematics and its Applications, Proc. 2nd IMA-IP. London: pp 244-260, 1999.
- [21] J. Movellan, “Tutorial on Gabor Filters,” Machine Perception Laboratory, 2002. <http://mplab.ucsd.edu/tutorials/pdfs/gabor.pdf>
- [22] J. G. Daugman, “Uncertainty Relation for Resolution in Space, Spatial Frequency, and Orientation Optimized by Two Dimensional Visual Cortical Filters,” *Journal of the Optical Society of America*, vol. 2, n. 7, pp. 1160-1169, Jul. 1985.
- [23] L. Masek, P. Kovesi. *MATLAB Source Code for a Biometric Identification System Based on Iris Patterns*. The School of Computer Science and *Software Engineering*, The University of Western Australia. 2003.
- [24] CASIA Iris Image Database (ver 1.0), Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences. [www.sinobiometrics.com/resources.htm](http://www.sinobiometrics.com/resources.htm)

- 
- [i] Notícias Tecnologia, [http://www.link.estadao.com.br/index.cfm?id\\_conteudo=345](http://www.link.estadao.com.br/index.cfm?id_conteudo=345) (01/2005)
- [ii] “Método Rápido de Sincronismo de Símbolo em Tempo e Ajuste de Frequência em Sinais OFDM,” <http://www.decom.fee.unicamp.br/~rlarico/SincronismoOFDM.pdf> (01/2007)