Algoritmo de segmentación de imágenes de intensidad basado en una umbralización por máxima verosimilitud usando distribuciones de probabilidad gamma de cuatro parámetros

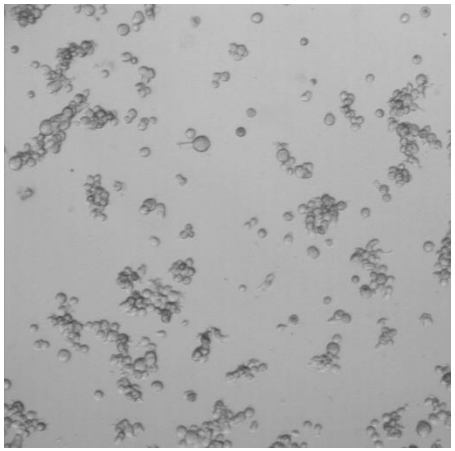
Peter De Ford González

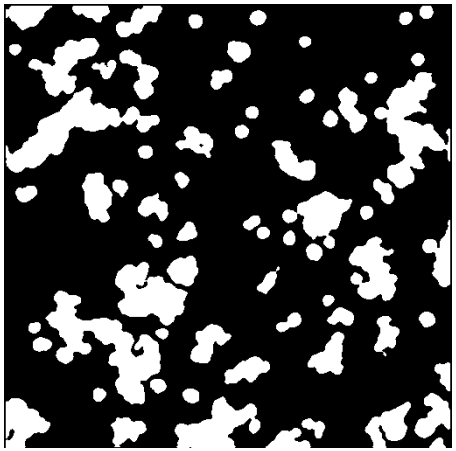
Laboratorio de Investigación en Procesamiento Digital de Imágenes y Visión por Computador (IPCV-LAB)

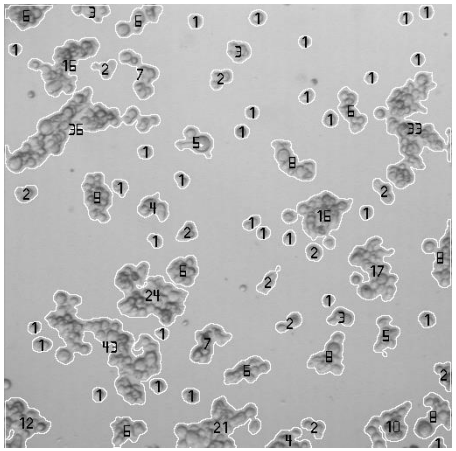
Universidad de Costa Rica
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Eléctrica

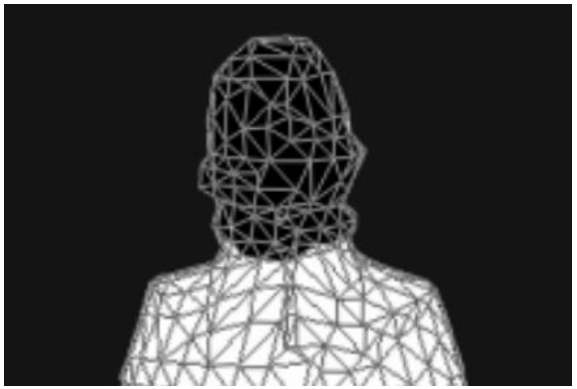
Introducción

IPCV-LAB

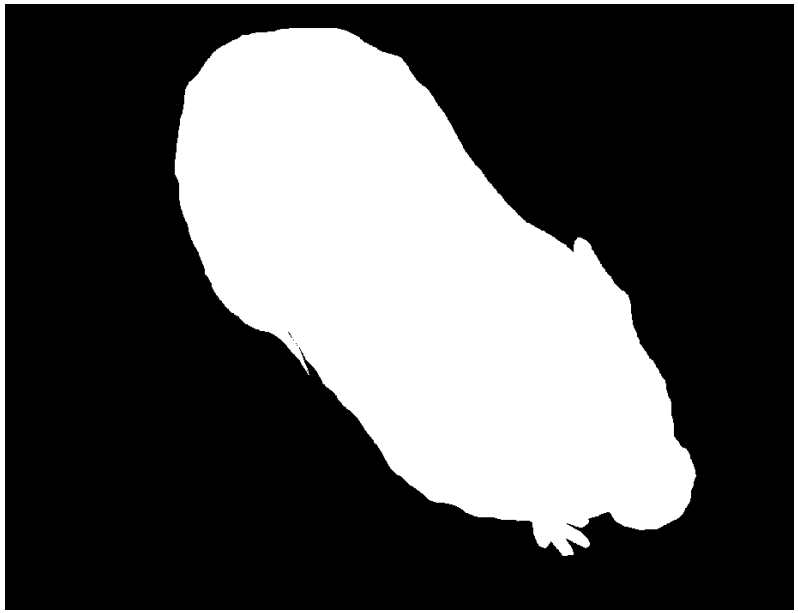


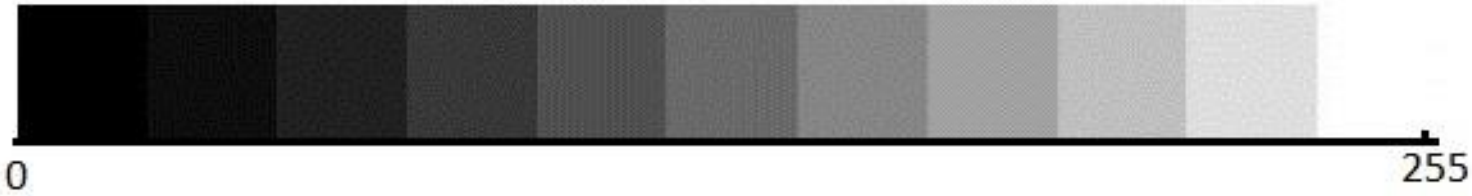




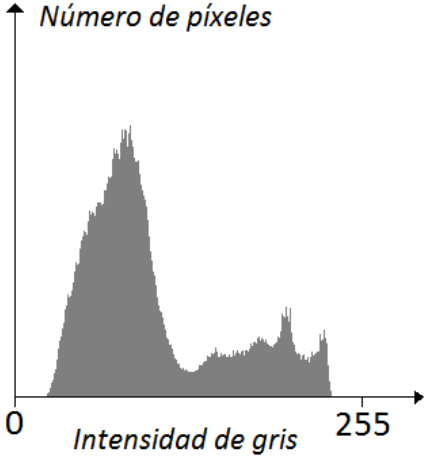


Algoritmos de segmentación de imágenes

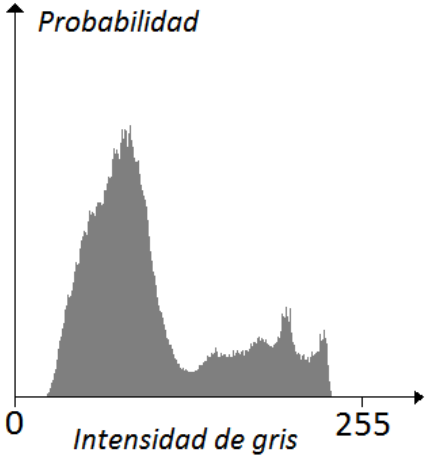




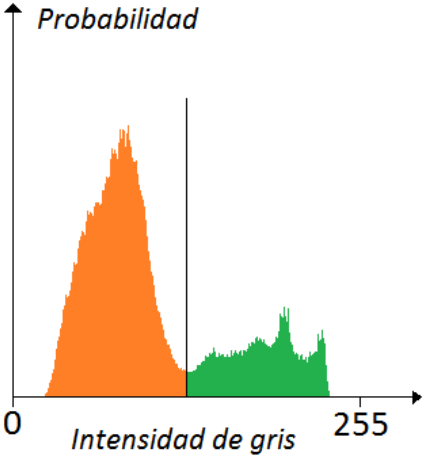
Algoritmos de segmentación basados en una umbralización



HISTOGRAMA



PDF^{I}

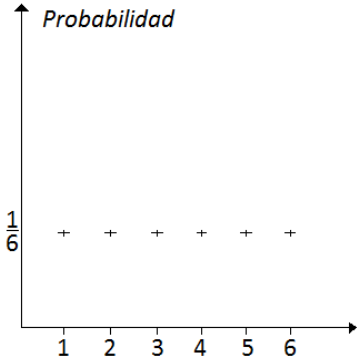


PDF^{I}

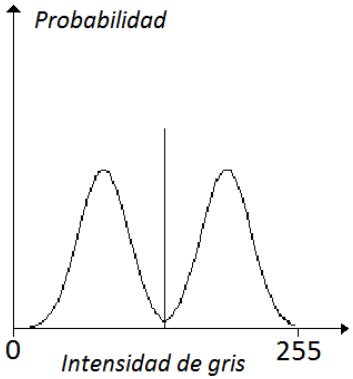
Algoritmos de segmentación basados en una umbralización por máxima verosimilitud

Modelo de formación de imagen

3,1,6,4,1,2



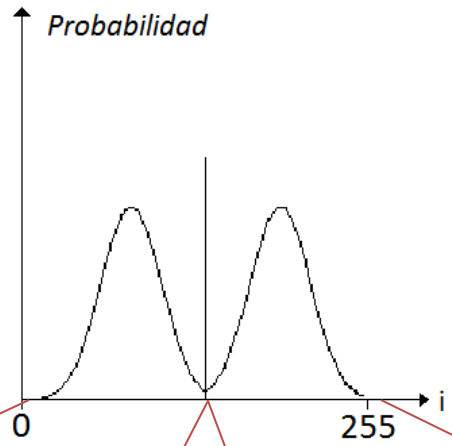
112	115	118	117	112	111
108	123	109	134	148	115
109	112	131	185	183	170
111	105	151	189	190	183



MODELO

Algoritmos de segmentación basados en una umbralización por máxima verosimilitud

Fuente de información

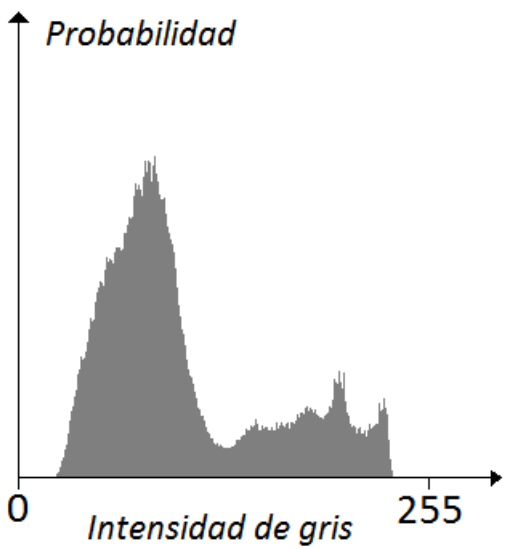


$$PDF^S(i;P) = w_0 * PDF_0^S(i;S_0) + w_1 * PDF_1^S(i;S_1)$$

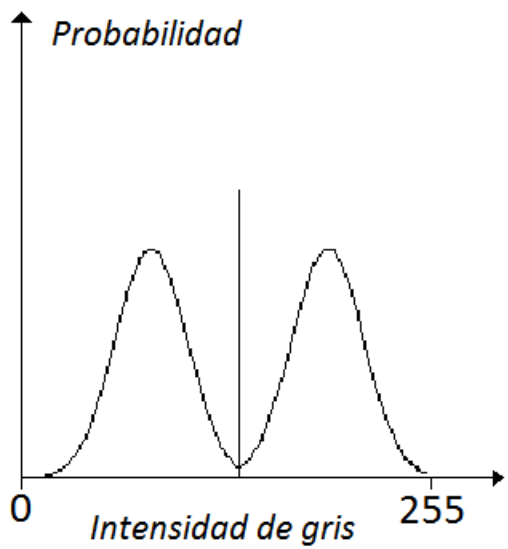
$P: \{th, S_0, S_1, w_0, w_1\}$

Algoritmos de segmentación basados en una umbralización por máxima verosimilitud

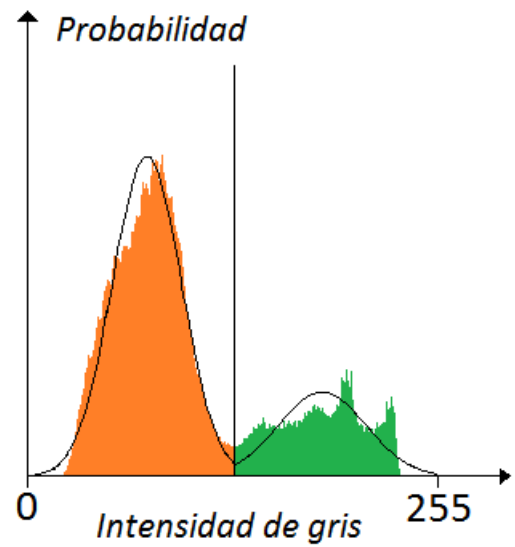
Parámetros óptimos



PDF^{I}



MODELO



PDF^{I} y MODELO

$$P: \{th, S_0, S_1, w_0, w_1\}$$

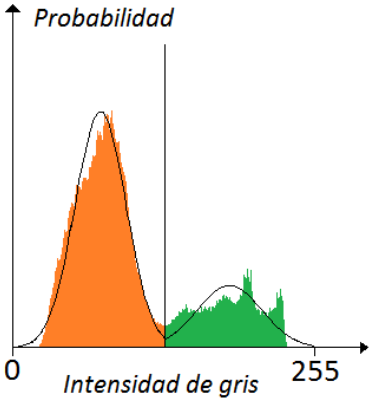
Algoritmos de segmentación basados en una umbralización por máxima verosimilitud

Estimación de parámetros óptimos

$$PDF^S(i;P) \quad = \quad w_0 * PDF_0^S(i;S_0) \; + w_1 * PDF_1^S(i;S_1)$$

$$p(I|th) = \prod_{i=0}^{th} \left[w_0 * PDF_0^S(i;S_0)\right]^{h(i)} * \prod_{i=th+1}^{255} \left[w_1 * PDF_1^S(i;S_1)\right]^{h(i)}$$

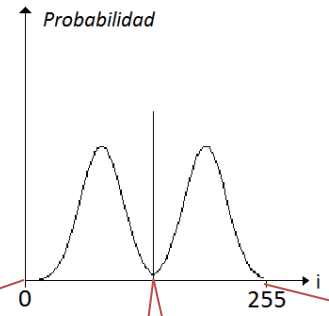
$$\ln\big(p(I|th)\big) = \; c_{0,th} * N * \ln(w_0) + c_{1,th} * N * \ln(w_1) + \sum_{i=0}^{th} h(i) \ln\left(PDF_0^S(i;S_0)\right) + \sum_{i=th+1}^{255} h(i) \ln\left(PDF_1^S(i;S_1)\right)$$



PDF^I y MODELO

Algoritmos de Kittler, Kurita y Otsu

Modelo con distribuciones Gaussianas de 2 parámetros



$$PDF^S(i;P) = w_0 * \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_0^2}} e^{\frac{-(i-\mu_0)^2}{2\sigma_0^2}} + w_1 * \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_1^2}} e^{\frac{-(i-\mu_1)^2}{2\sigma_1^2}}$$

$P: \{th, \mu_0, \sigma_0^2, \mu_1, \sigma_1^2, w_0, w_1\}$

Algoritmos de Kittler, Kurita y Otsu

Función de verosimilitud

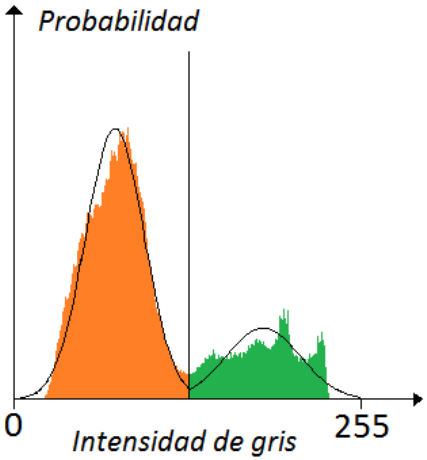
$$\ln\big(p(I|th)\big) = N\sum_{j=0}^{1} c_{j,th} * \ln\big(w_j\big) - \frac{N}{2} * \ln[2\pi] - \frac{N}{2}\sum_{j=1}^{2} c_{j,th}\ln\big[\sigma_j^2\big] - \frac{N}{2}$$

Estimación de parámetros óptimos

$P: \{th, \mu_0, \sigma_0^2, \mu_1, \sigma_1^2, w_1, w_1\}$

$th \rightarrow \{\mu_{0,th}, \sigma_{0,th}^2, \mu_{1,th}, \sigma_{1,th}^2, w_{0,th}, w_{1,th}\}$

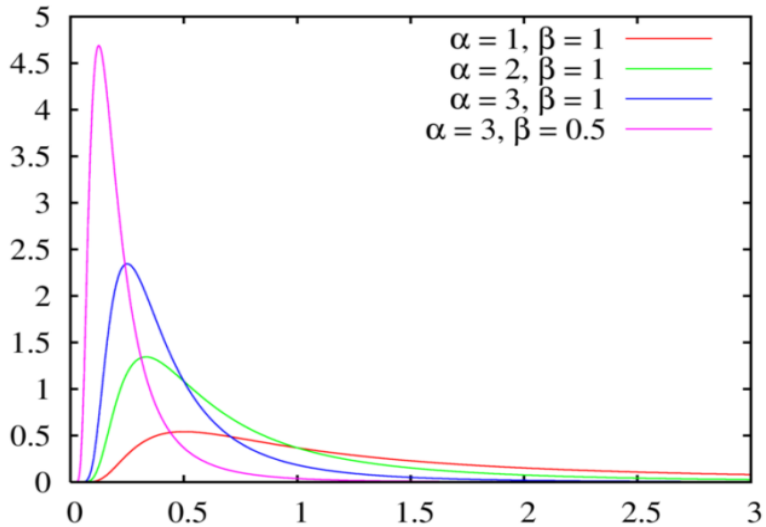
$\{\hat{P}_0, \hat{P}_1, \dots, \hat{P}_{th}, \dots, \hat{P}_{254}, \hat{P}_{255}\}$



PDF^{I} y MODELO

Algoritmo propuesto

Distribución gamma de 4 parámetros

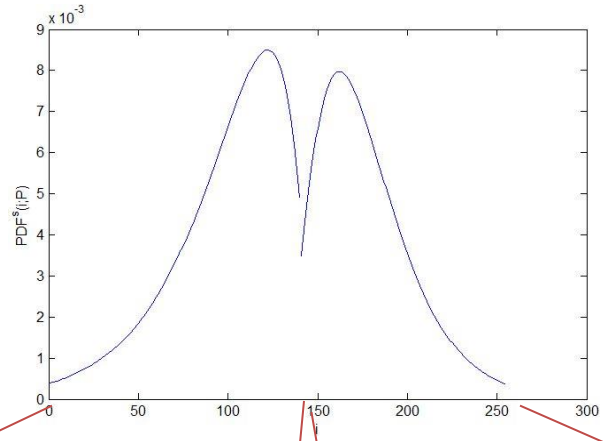


$$PDF\left(i;\underbrace{P}\right) = \frac{1}{\beta^{\alpha} * \Gamma(\alpha)}\left(\lambda(i-\varphi)\right)^{\alpha-1} e^{\frac{-\lambda(i-\varphi)}{\beta}}$$

$$P: \{\alpha, \beta, \varphi, \lambda\}$$

Algoritmo propuesto

Modelo con distribuciones gamma de 4 parámetros



$$PDF^S(i;P) = \frac{w_0 * (\lambda_0(i-\varphi_0))^{\alpha_0 - 1}}{{\beta_0}^{\alpha_0} * \Gamma(\alpha_0)} e^{\frac{-\lambda_0(i-\varphi_0)}{\beta_0}} + \frac{w_1 * (\lambda_1(i-\varphi_1))^{\alpha_1 - 1}}{{\beta_1}^{\alpha_1} * \Gamma(\alpha_1)} e^{\frac{-\lambda_1(i-\varphi_1)}{\beta_1}}$$

$$P: \{th, \alpha_0, \beta_0, \varphi_0, \lambda_0, \alpha_1, \beta_1, \varphi_1, \lambda_1, w_0, w_1\}$$

Algoritmo propuesto

Función de verosimilitud

$$\ln\big(p(I|th)\big) = \left\{c_{0,th} * N * \ln(w_0) + c_{1,th} * N * \ln(w_1)\right\}$$
$$+\left\{-\ln({\beta_0}^{\alpha_0} * \Gamma(\alpha_0))\, c_{0,th} * N + \sum_{i=0}^{th}\left(h(i)\left((\alpha_0 - 1)\ln(\lambda_0(i-\varphi_0)) + \frac{-\lambda_0(i-\varphi_0)}{\beta_0}\right)\right)\right\}$$
$$+\left\{-\ln({\beta_1}^{\alpha_1} * \Gamma(\alpha_1))\, c_{1,th} * N + \sum_{i=th+1}^{255}\left(h(i)\left((\alpha_1 - 1)\ln(\lambda_1(i-\varphi_1)) + \frac{-\lambda_1(i-\varphi_1)}{\beta_1}\right)\right)\right\}$$

Algoritmo propuesto

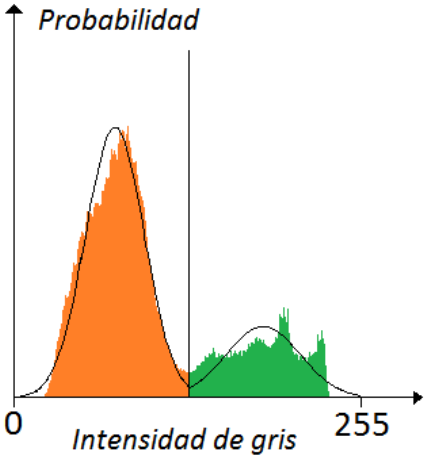
Estimación de parámetros: método exhaustivo

$P: \{th, \alpha_0, \beta_0, \varphi_0, \lambda_0, \alpha_1, \beta_1, \varphi_1, \lambda_1, w_0, w_1\}$

$th = \{first0, first0 + 1, first0 + 2, \dots, < last1\}$

$w_{0,th} = c_{0,th}$

$w_{1,th} = c_{1,th}$



PDF' y MODELO

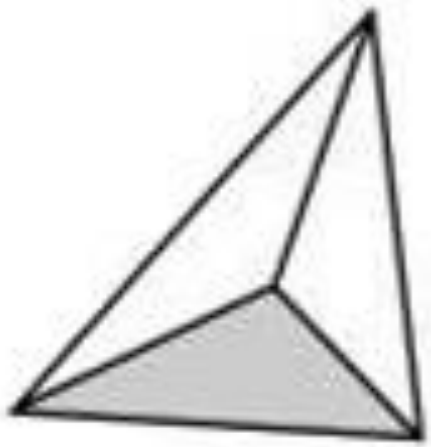
$\{\lambda_{0,th}: \{1\}, \varphi_{0,th}: \{first0 - 1, first0 - 2, \dots, first0 - 100\}, \beta_{0,th}, \alpha_{0,th}\}$

$\{\lambda_{0,th}: \{-1\}, \varphi_{0,th}: \{last0 + 1, last0 + 2, \dots, last0 + 100\}, \beta_{0,th}, \alpha_{0,th}\}$

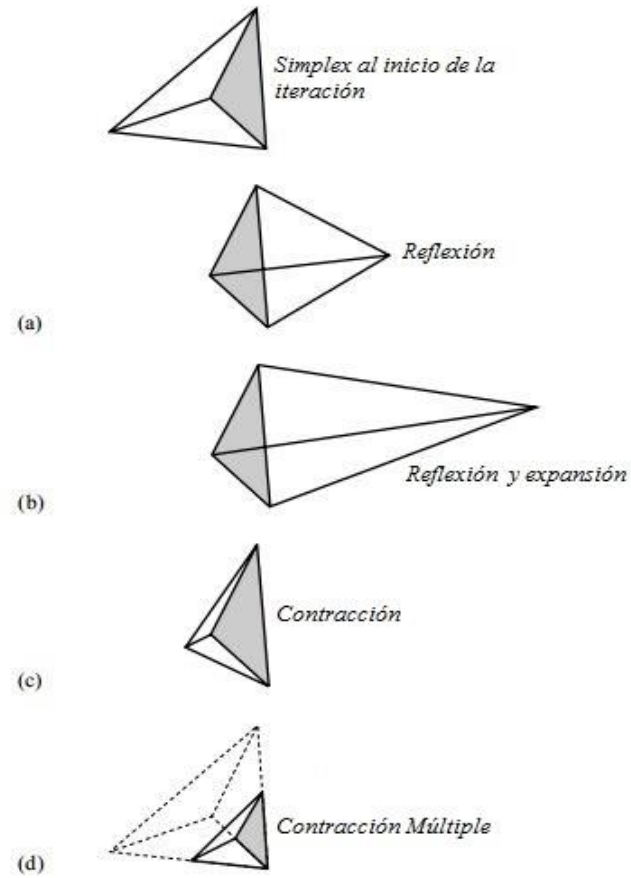
$$\beta_{0,\mathrm{th}} = \frac{\sigma_{0,th}^2}{|\mu_{0,th} - \varphi_{0,th}|}, \qquad \alpha_{0,\mathrm{th}} = \frac{|\mu_{0,th} - \varphi_{0,th}|}{\beta_{0,\mathrm{th}}}$$

Algoritmo propuesto

Estimación de parámetros: método basado en el algoritmo *Downhill Simplex*



Simplex

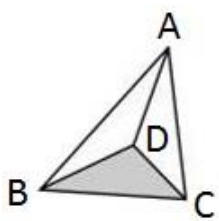


Algoritmo propuesto

Estimación de parámetros: método basado en el algoritmo *Downhill Simplex*

$$th = \{first0, first0 + 24, first0 + 48, first0 + 72, \dots, < (last1 + 8)\}$$

$V: \{th, \varphi_0, \varphi_1\}$



$V_A: \{th_A = th - 16, \quad \varphi_{0,A} = first0 - 5, \quad \varphi_{1,A} = th - 16 - 5\}$

$V_B: \{th_B = th - 12, \quad \varphi_{0,B} = first0 - 5, \quad \varphi_{1,B} = last1 + 5\}$

$V_C: \{th_C = th + 12, \quad \varphi_{0,C} = th + 12 + 5, \quad \varphi_{1,C} = th + 12 - 5\}$

$V_D: \{th_D = th + 16, \quad \varphi_{0,D} = th + 16 + 5, \quad \varphi_{1,D} = last1 + 5\}$

$R: \{\lambda_0, \beta_0, \alpha_0, \lambda_1, \beta_1, \alpha_1, w_0, w_1\}$

$w_{0,A} = c_{0,th_A}$ $\quad \lambda_{0,A} = 1$ si $\varphi_{0,A} \leq \mu_{0,th_A}$ $\quad \lambda_{0,A} = -1$ si $\varphi_{0,A} > \mu_{0,th_A}$

$w_{1,A} = c_{1,th_A}$ $\quad \lambda_{1,A} = 1$ si $\varphi_{1,A} \leq \mu_{1,th_A}$ $\quad \lambda_{1,A} = -1$ si $\varphi_{1,A} > \mu_{1,th_A}$

Programación de los algoritmos

Lenguaje de programación C

Plataforma: Windows 7 - Visual C++ 2008 - Open CV

Computadora: Intel core i3, 4 GHz, 4 GB

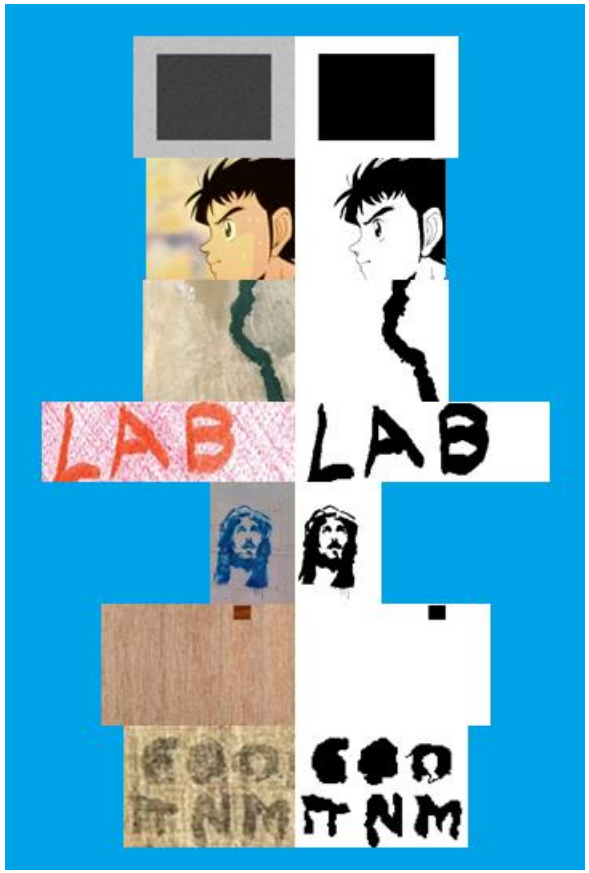
Líneas de código: 2000+

```
void main()
{
        double i=1;

        // Printing title
        printf("\nDE FORD, KITTLER, KURITA and/or OTSU thresholding algorithms

        // Deleting old results text file
        remove(PET_OUTPUT_RESULTS_TEXT_FILE);

        //Allocating memory structures
        petAllocateMemoryStructures();

        // Reading configuration parameters
        petConfigurationTextFileReading();

        // Load mode
        if(pDMS->PET_LOAD_MODE == 1)    {
                for(i=pDMS->PET_FIRST_IMAGE_NUMBER;i<=pDMS->PET_LAST_IMAGE_NUM

                        //Allocating structures memory
                        petAllocateMemoryStructures();

                        // Reading configuration parameters
                        petConfigurationTextFileReading();

                        //Initializing
                        if(pDMS->PET_PRINT_DATA == 1)   {
                                printf("\n\n*********************************
                                printf("\nInitializing program..\n\n");
                        }
                        petInitializeProgram(i);

                        //Calculating the PDF of the intensity image
                        if(pDMS->PET_PRINT_DATA == 1)   {
                                printf("\n\n*********************************
```

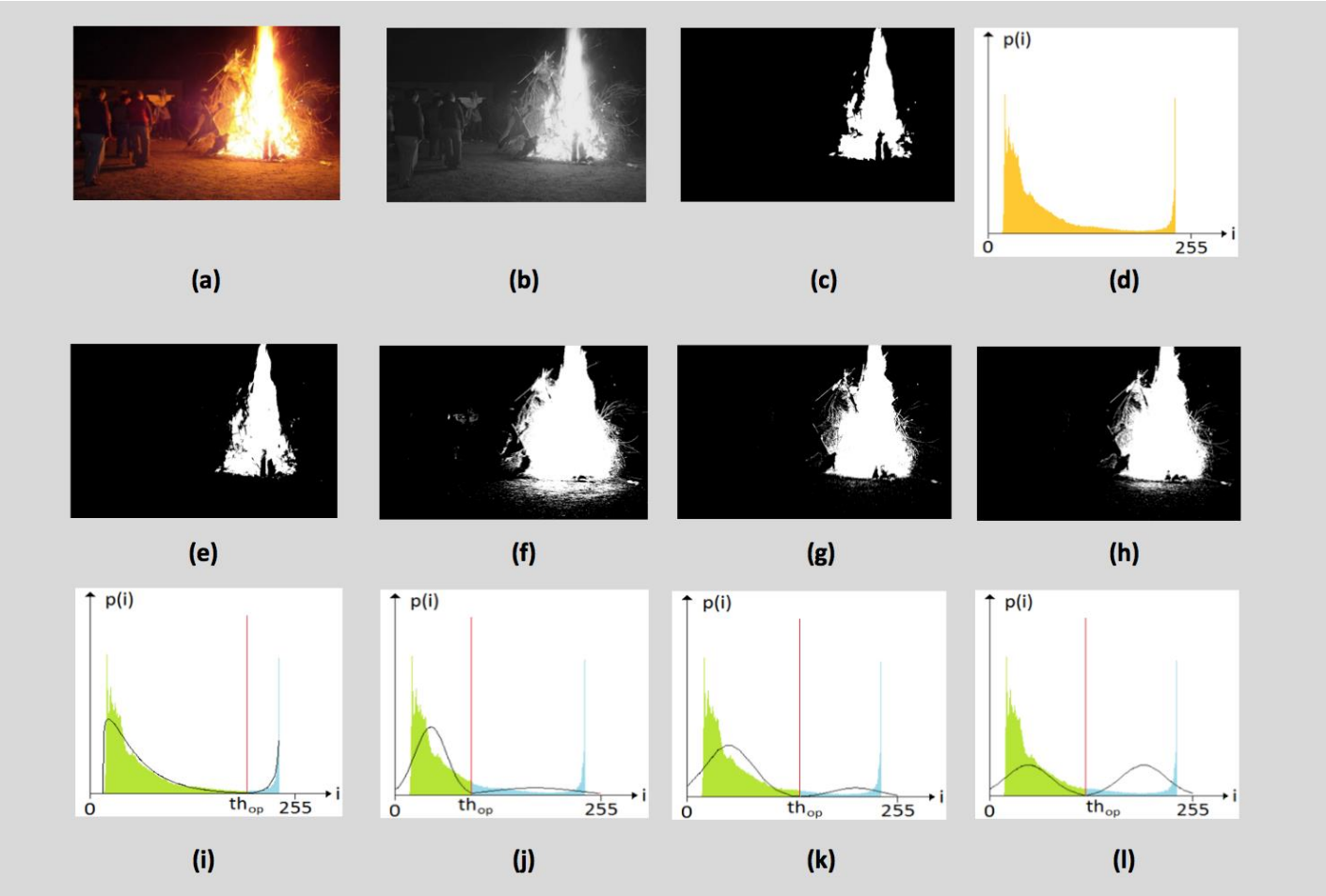
Evaluación

IPCV-LAB *Image Data Base*

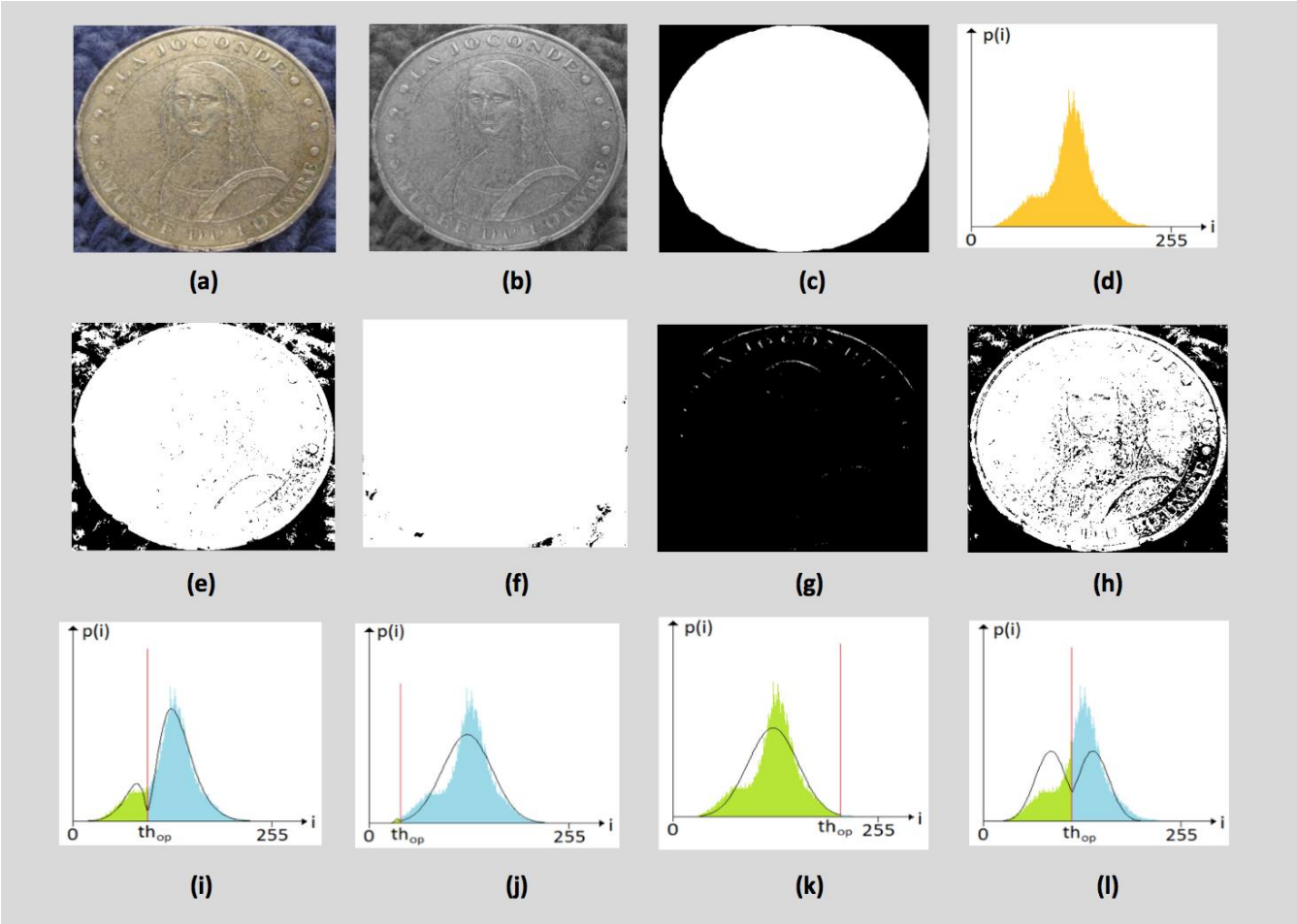
No.	Categoría	Imágenes
1	Imágenes sintéticas	12
2	Gráficos por computador	8
3	Imagenología	13
4	Letras	33
5	Fotografías	42
6	Objetos pequeños	4
7	Bajo contraste	20



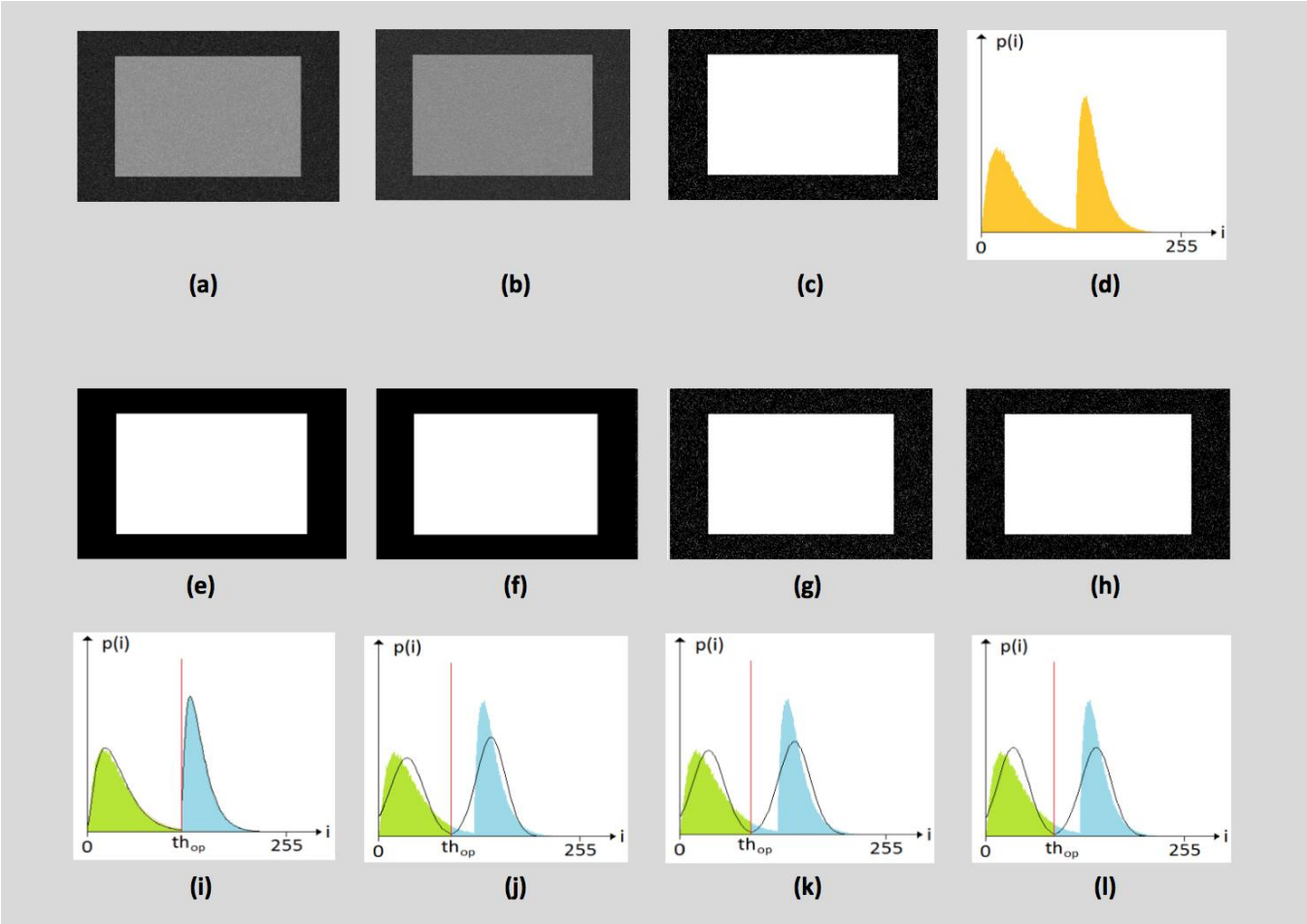
Evaluación



Evaluación



Evaluación



Evaluación

Objetiva: MSE

Categoría	Propuesto	Kittler	Kurita	Otsu
Imágenes sintéticas	79	115	121	195
Gráficos por computador	301	350	687	894
Imagenología	147	215	291	509
Letras	60	86	203	407
Fotografías	58	86	150	271
Objetos pequeños	15	20	21	365
Bajo contraste	43	51	66	190
PROMEDIO	**84**	**113**	**178**	**377**

Evaluación

Objetiva: F1-Score

Categoría	Propuesto	Kittler	Kurita	Otsu
Imágenes sintéticas	0,947	0,950	0,984	0,974
Gráficos por computador	0,960	0,882	0,963	0,940
Imagenología	0,952	0,892	0,965	0,960
Letras	0,922	0,912	0,914	0,936
Fotografías	0,853	0,815	0,783	0,798
Objetos pequeños	0,999	0,997	0,999	0,670
Bajo contraste	0,785	0,631	0,614	0,690
PROMEDIO	**0,92**	**0,87**	**0,89**	**0,85**

Evaluación

Subjetiva: Humanos

Categoría	Propuesto	Kittler	Kurita	Otsu
Imágenes sintéticas	90	86	88	88
Gráficos por computador	87	88	81	78
Imagenología	79	77	86	84
Letras	77	77	75	77
Fotografías	78	77	76	76
Objetos pequeños	94	90	96	61
Bajo contraste	65	49	42	53
PROMEDIO	**81**	**78**	**78**	**74**

Evaluación

Tiempos de procesamiento (s)

Categoría	Propuesto	Kittler	Kurita	Otsu
Imágenes sintéticas	0,009	0,003	0,003	0,003
Gráficos por computador	0,012	0,004	0,003	0,003
Imagenología	0,009	0,003	0,003	0,002
Letras	0,007	0,002	0,002	0,002
Fotografías	0,012	0,004	0,004	0,004
Objetos pequeños	0,006	0,003	0,002	0,003
Bajo contraste	0,007	0,003	0,003	0,002
PROMEDIO	**0,009**	**0,003**	**0,003**	**0,003**

Resumen y conclusiones

- Teoría general de algoritmos de segmentación basados en una umbralización por máxima verosimilitud
- Algoritmo propuesto contiene a Kittler, Kurita y Otsu como casos especiales
- Algoritmo propuesto mejor de acuerdo a MSE
- Algoritmo propuesto mejor de acuerdo a F1-score
  - Hipótesis cumplida
  - Especialmente para bajo contraste
  - Humanos corroboraron
- Resultados más confiables
- Tiempos de procesamiento aceptables

Impacto del proyecto

IPCV-LAB
ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRICA
Universidad de Costa Rica
IMAGE PROCESSING AND COMPUTER VISION
RESEARCH LABORATORY

eie

ICTP
The Abdus Salam
International Centre
for Theoretical Physics

EUSIPCO 2014

?