



Oil Spill's Features Extraction

Progetto di Image Processing

Vito Domenico Tagliente

Pietro Tota

Luca Riccardi

1. Introduzione

Nel presente elaborato vengono proposte le metodologie e le tecniche che sono state adottate per la realizzazione di un sistema automatico in grado di svolgere il compito di “Features extraction” (estrazione delle caratteristiche) nel campo dell’oil spill detection.

Questa fase del processo elaborativo delle immagini è molto importante in quanto permette con facilità, fornito un insieme di immagini classificate (oil o lookalike), di estrarre diverse informazioni che verranno adoperate per la creazione di un training set sul quale verrà definito un modello. Tale modello verrà in seguito adoperato per la classificazione di successivi dataset di immagini al fine di, definita la conoscenza di base del modello, distinguere le immagini contenenti macchie di petrolio dai falsi positivi, ovvero immagini contenenti macchie “lookalike”, simili.

Nella fase di creazione del training set non si è tenuto conto delle caratteristiche ancillari: presenza di navi o caratteristiche del vento durante il momento dell’acquisizione dell’immagine. Tali caratteristiche possono essere inserite in un approfondimento futuro (lavori futuri?)

2. Segmentazione

La fase di Segmentazione è stata tralasciata dal contesto di studio per la realizzazione di questo progetto, pertanto è stato possibile semplificare l’operazione concentrando la forza lavoro del team per lo studio e la ricerca delle features.

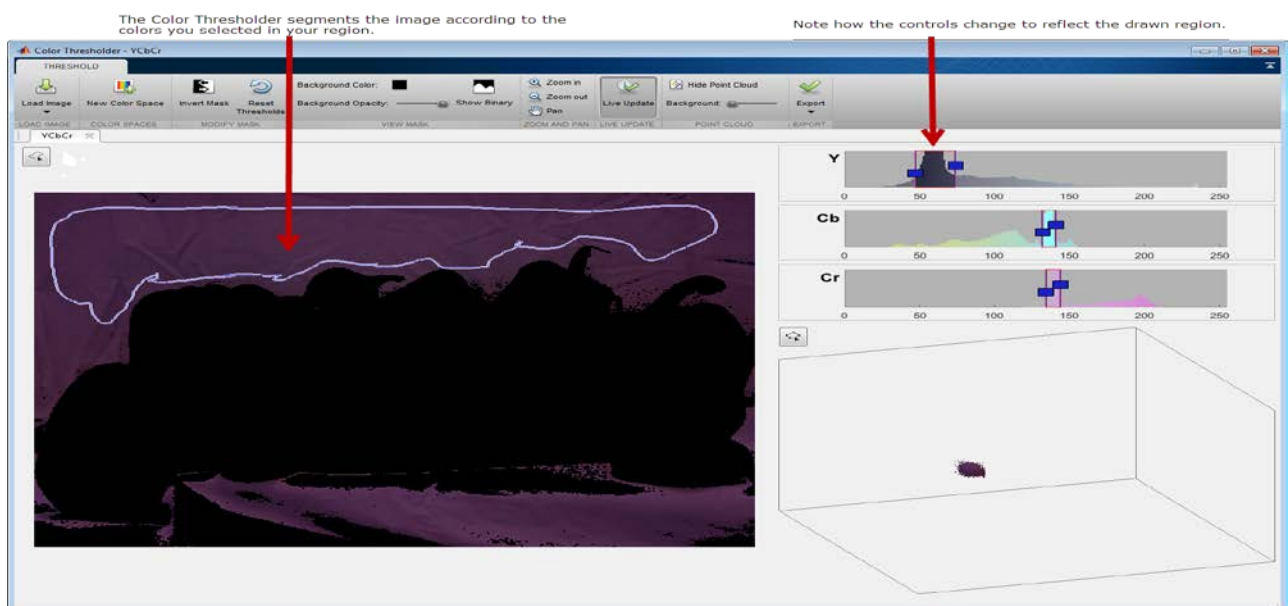
Come già noto, le tecniche di segmentazione possono essere di due tipologie:

- Manuali, basate sull’esperienza dell’operatore
- Automatizzate

In questo contesto è stato pensato di definire una segmentazione manuale basata sull’utilizzo degli strumenti di elaborazione di immagini che Matlab fornisce, il Color Thresholder.



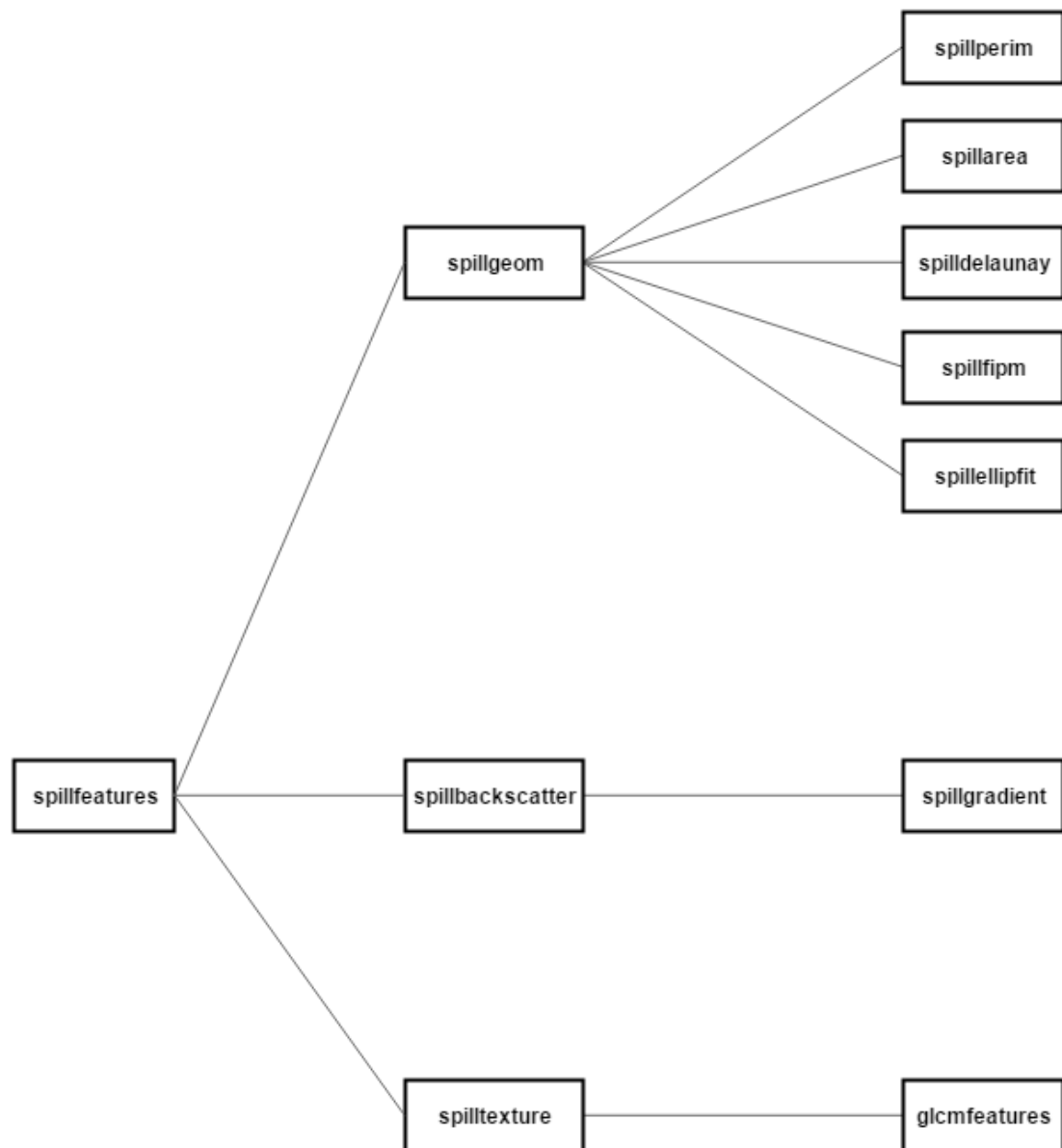
Tramite l’utilizzo di questo toolbox, è stato possibile, adoperando delle operazioni manuali di selezione delle aree dello sfondo di segmentare l’immagine, nel nostro caso la macchia di petrolio.



L'efficienza del tool proposto consiste nella possibilità di convertire la sequenza di operazioni svolte in modalità manuale in uno script, riutilizzabile per studi successivi sulla stessa immagine.

3. Features extraction

Per la realizzazione del progetto in esame, si è pensato di suddividere la complessità del problema in modo tale da isolare il codice per categoria (features Geometriche, Backscatter, Texture) e soprattutto per rendere la struttura del progetto modulare e garantirne la manutenibilità.



Il grafico sopra mostrato rappresenta le relazioni che intercorrono tra i vari script definiti in Matlab, in particolare si evidenziano visivamente le tre macro categorie di features sopra citate:

- Geometriche
- Backscatter
- Texture

4. Preparazione del Workspace

Esaminiamo, ora, le istruzioni preliminari che l'algoritmo realizzato richiede prima di svolgere le proprie elaborazioni. Tale fase, quindi, si occupa di caricare nel workspace di Matlab le variabili che verranno successivamente processate.

Tali istruzioni sono facilmente richiamabili utilizzando lo script ">> *spillbegin*", nel dettaglio otteniamo il seguente listato:

```
% Utilizza questo script per preparare il Workspace di Matlab

% img: immagine originale
img = imread( 'oil.bmp' );
% gimg: immagine non segmentata in scala di grigi
gimg = rgb2gray( img );
% s: immagine segmentata
s = spillseg( img );

% back: immagine di background
back = spillback( img, s );
% gback: immagine di background in scala di grigi
gback = rgb2gray( back );
% gspill: macchia di petrolio in scala di grigi
gspill = gimg - gback;
```

5. Estrazione delle caratteristiche

La fase di estrazione delle features, per come è stato modellato e strutturato il progetto, prevede l'utilizzo di un solo comando "f = spillfeatures(gspill, gback, s)". Tale funzione, dopo aver elaborato i dati di input, ritorna una struttura dati in cui sono presenti tutte le features calcolate.

```
>> spillbegin
>> f = spillfeatures( gspill, gback, s )

f =

    Geometrical: [1x1 struct]
    Backscatter: [1x1 struct]
    Texture: [1x1 struct]

>> f.Geometrical

ans =

    Perimeter: 11070
    Area: 1.6175887500000000e+06
    Complexity: 2.455322988115242e+00
    Length: 3.968644639614441e+03
    FIPM: 5.272670350224763e-03
    EL: 2.209119555287649e+03
    EW: 1.154700538379251e+00
    EA: 9.994773028306162e-01
```

Come mostrato, tutta l'elaborazione avviene in maniera strutturata e modulare.

6. Geometrical features

In questa sezione del progetto ci siamo occupati di estrarre tutte le caratteristiche di natura geometrica. Esaminiamo dapprima il contenuto dello script "spillgeom".

```
% Script per il calcolo delle features di natura geometrica
% img: Spill oil segmentato

function [ out ] = spillgeom( img )
% 1. Calcolo del perimetro
[out.Perimeter, perim_img] = spillperim( img );

% 2. Calcolo dell'area
out.Area = spillarea( img );

% 3. Calcolo della complessità Dell'oggetto
% This feature will take a small numerical value for regions with simple
% geometry and larger values for complex geometrical regions.
out.Complexity = out.Perimeter / (2 * sqrt( pi * out.Area ));

% 4. Length (L): sum of skeleton edges
% (obtained by Delaunay triangulation),
```

```

% that build the main line.

out.Length = spilldelaunay( img );

% Width (W): mean value of Delaunay triangles
% which are crossed by main line.
% out.Width = ?

% Length To Width Ratio (LWR)
% out.LWR = out.Length / out.Width;

% Compactness (Comp), defined as
% out.Comp = ( out.Length * out.Width ) / out.Area;

% 5. Calcolo del FIPM
out.FIPM = spillfipm( img );

% 6. Calcolo dei parametri basati sull fitting dell'ellisse
% Ellipse Length: value of main axe of an ellipse fitted to the data
% Ellipse Width: value of minor axe of an ellipse fitted to the data.
[ out.EL, out.EW ] = spillellipfit( img );
% Ellipse Asymetry
out.EA = 1 - ( out.EW / out.EL );

```

6.1 Calcolo del perimetro

```

% Questo script si occupa di ricavare il perimetro
% dell'oggetto in input

function [length, perim_img] = spillperim( img, debug )
% il parametro debug è opzionale
if nargin <= 1
    debug = false;
end

% L'oggetto in input deve essere binario
temp = spillbin( img );

% Produco l'immagine contenete il bordo dell'oggetto
perim_img = bwperim( temp );

% Debug grafico
if debug
    imshow(perim_img);
end

% Calcolo il perimetro
length = sum( int32( perim_img(:) ) );

```

Notiamo che in questo script è stata utilizzata la funzione `spillbin`, tale funzione si occupa di verificare che la matrice in input sia binaria, in caso negativo provvede con la binarizzazione.

```

imgbin = img;

if size(img, 3) == 3 % vuol dire che l'immagine è RGB
    level = graythresh(img);
    imgbin = im2bw(img, level);
end

```

6.2 Calcolo dell'area

Riguardo a questo calcolo, l'utilizzo di Matlab come strumento di sviluppo ci ha agevolati molto, in quanto esistono moltissime funzioni predefinite per la soluzione di problemi banali.

```
% Calcolo dell'area dell'oggetto passato in input

function [area] = spillarea( img )

% L'oggetto in input deve essere binario
temp = spillbin( img );

% Calcolo dell'area
area = bwarea( temp );
```

6.3 Complessità Geometrica

Complexity (C), defined as

$$C := \frac{P}{2\sqrt{\pi A}}.$$

This feature will take a small numerical value for regions with simple geometry and larger values for complex geometrical regions.

Tale caratteristica viene calcolata internamente allo script *spillgeom*

```
% This feature will take a small numerical value for regions with simple
% geometry and larger values for complex geometrical regions.
out.Complexity = out.Perimeter / (2 * sqrt( pi * out.Area ));
```

6.4 Triangolazione di Delaunay

Questo script calcola diversi parametri geometrici utilizzando la triangolazione di Delaunay.

- Length (L): sum of skeleton edges (obtained by Delaunay triangulation), that build the main line.
- Width (W): mean value of Delaunay triangles which are crossed by main line.
- Length To Width Ratio (LWR), defined as

$$LWR := \frac{L}{W}.$$

Contando che nel presente lavoro non siamo riusciti ad estrarre la caratteristica “width” e di conseguenza LWR, che per il momento restano in sospeso.

Al contrario siamo riusciti ad estrarre il parametro Length in questo modo:

```

%Script che calcola la lenght usando la triangolazione di Delaunay

function [d] = spilldelaunay( img, debug )
% il parametro debug è pzionale
if nargin <= 1
    debug = false;
end

%Inizio dello script. Viene passato in input l'immagine s
[x,y]= getvectors(img);
x=x'; % la funzione delaunayTriangulation vuole vettori colonna
y=y';
DT = delaunayTriangulation(x,y);
if debug
    triplot(DT);
    axis equal
    xlabel('Longitude'), ylabel('Latitude')
    grid on
    hold on
end
[a,b]= size(DT.Points);%
DT.Points(a,:)=[];%elimina l'ultimo elemento della matrice DT.Points che è il
punto(0,0) che aggiunge la funzione di default(non è previsto)
k = convexHull(DT);%Contiene l'indice di riga degli elementi del vettore
DT.Points che definiscono il contorno.
xHull = DT.Points(k,1);%Crea il vettore di ascisse con i punti del vettore
DT.Points
yHull = DT.Points(k,2);

if debug
    plot(xHull,yHull,'r','LineWidth',2);
    hold off
end

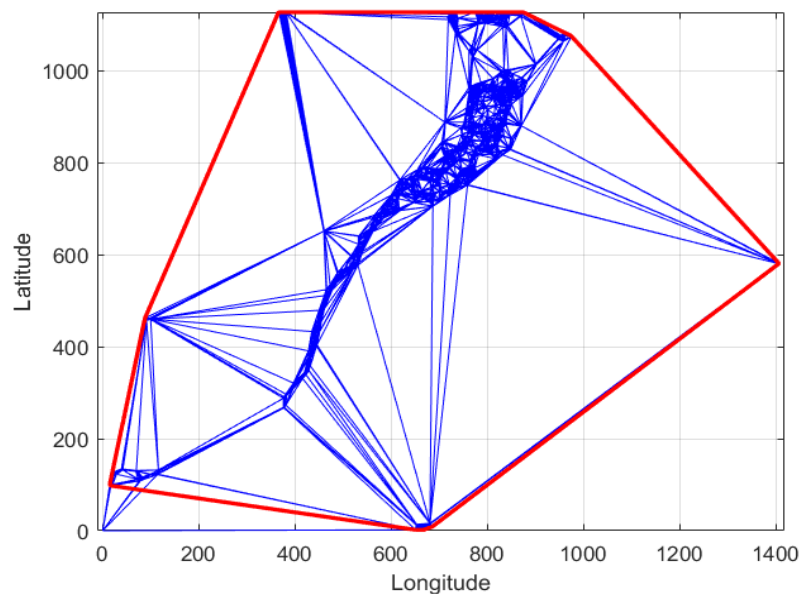
d=0;
for i=1 : size(xHull)-1 % ciclo che calcola la distanza euclidea tra due punti
usando la distanza euclidea

    d= d + sqrt((xHull(i)-xHull(i+1))^2 + (yHull(i)-yHull(i+1))^2);
end

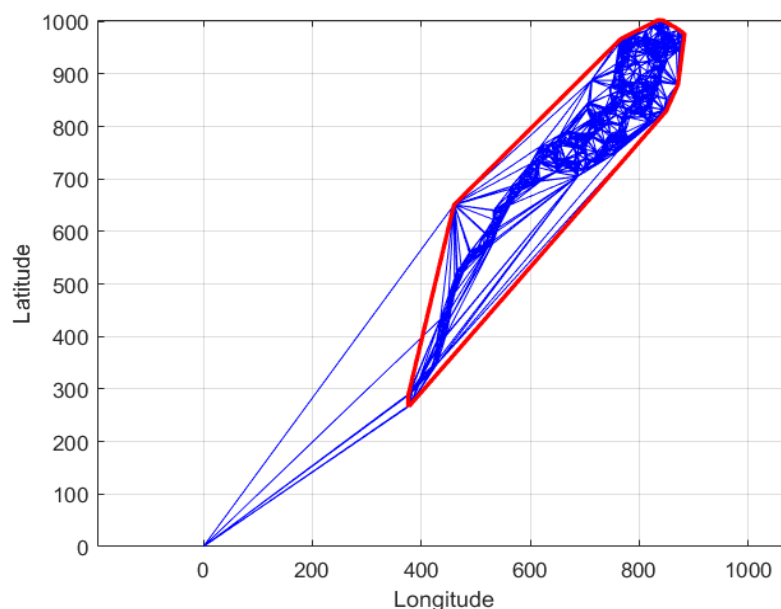
% %ti = edgeAttachments(DT,k(1),k(2));
% %ti{:};%righe della connectivity List contenente il record dei vertici del
triangolo
% val= DT.ConnectivityList(ti);
% val{:};

```


Nelle immagini seguenti è rappresentato il plot dei calcoli eseguiti dallo script, ottenibile impostando il parametro debug a TRUE.



Da notare che questa immagine è stata segmentata col tool di matlab, quindi presenta degli elementi spuri nei dintorni della macchia di petrolio. Segmentandola manualmente, eseguendo delle operazioni di pulizia mirata, si ottiene il seguente plot.



Il contorno rosso rappresenta il parametro length.

Da notare che entrambe le immagini risultano ruotate di 180° rispetto all'immagine originale. Eliminando il punto (0,0), che la funzione della triangolazione di delaunay aggiunge di default, notiamo che il contorno rosso individuato, in questo caso, abbraccia meglio la macchia di petrolio.

6.5 First Invariant Planar Moment (FIPM)

Tale feature è definita matematicamente dalla seguente formalismo:

$$\text{FIPM} := \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^n \left[(x_i - x_c)^2 + (y_i - y_c)^2 \right]$$

with

$$x_c := \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad y_c = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i,$$

La conoscenza della formula completa ci ha agevolato nella scrittura di questo script:

```
% First Invariant Planar Moment (FIPM)

function [FIPM] = spillfipm( img )
% n the number of points in the dark patch contour.
% Quindi lavoriamo solo con i pixel del contorno
[length, perim] = spillperim( img );
% Numero di pixel pari a 1 dell'immagine
n = numel( perim(:) );

% Dimensioni dell'immagine
[nrows, ncols] = size( img );

% Calcolo xc e yc
xc = 0;
yc = 0;
for j = 1:ncols
    for i = 1:nrows
        if perim(i, j) == 1
            xc = xc + i;
            yc = yc + j;
        end
    end
end

xc = xc / n;
yc = yc / n;

% Calcolo di FIPM
FIPM = 0;
for j = 1:ncols
    for i = 1:nrows
        if perim(i, j) == 1
            FIPM = FIPM + ( (i - xc)^2 + (j - yc)^2 );
        end
    end
end
FIPM = FIPM / ( n ^ 2 );
```

6.6 Ellipse fitting

- Ellipse-Length (EL): value of main axe of an ellipse fitted to the data.
- Ellipse-Width (EW): value of minor axe of an ellipse fitted to the data.
- Ellipse-Asymetry (EA), defined as

$$EA := 1 - \frac{EW}{EL}.$$

In questo caso ci siamo occupati di disegnare delle ellissi all'interno della nostra macchia di petrolio, interessandoci dell'asse maggiore e minore tra tutti quelli ritrovati.

```
% Script per il fitting di una ellisse
% length: value of main axe of an ellipse fitted to the data.
% width: value of minor axe of an ellipse fitted to the data.

function [majoraxis, minaxis] = spillellipfit( img, debug )
% il parametro debug  opzionale
if nargin <= 1
    debug = false;
end

[p, pimg] = spillperim( img );

props = regionprops(pimg, 'Orientation', 'MajorAxisLength', ...
    'MinorAxisLength', 'Eccentricity', 'Centroid');

% Rappresentazioni grafiche delle ellissi
if debug
    imshow( pimg );
    hold on;

    phi = linspace(0,2*pi,50);
    cosphi = cos(phi);
    sinphi = sin(phi);

    for k = 1:length(props)
        xbar = props(k).Centroid(1);
        ybar = props(k).Centroid(2);

        a = props(k).MajorAxisLength/2;
        b = props(k).MinorAxisLength/2;

        theta = pi*props(k).Orientation/180;
        R = [ cos(theta)    sin(theta)
              -sin(theta)    cos(theta)];

        xy = [a*cosphi; b*sinphi];
        xy = R*xy;

        x = xy(1,:) + xbar;
        y = xy(2,:) + ybar;

        plot(x,y,'r','LineWidth',2);
    end
end
hold off
```

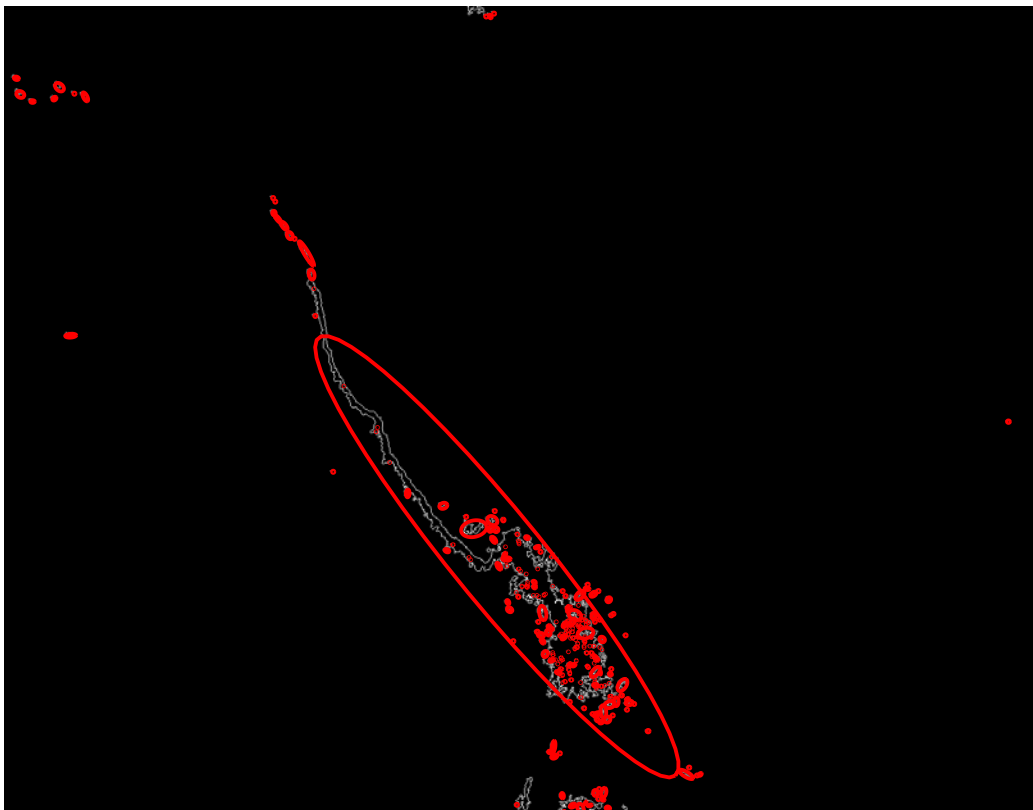
```

end

majoraxis = props(1).MajorAxisLength;
minaxis = props(1).MinorAxisLength;
for k = 2:length(props)
    if props(k).MajorAxisLength > majoraxis
        majoraxis = props(k).MajorAxisLength;
    end
    if props(k).MinorAxisLength < minaxis
        minaxis = props(k).MinorAxisLength;
    end
end
end

```

Anche in questo caso, abbiamo reso disponibile la modalità di debug al fine di permettere la visualizzazione su grafico delle elaborazioni eseguite.



Pertanto il terzo parametro si è ricavato banalmente in *spillgeom* come:

```

% Ellipse Asymetry
out.EA = 1 - ( out.EW / out.EL );

```

7. Backscatter features

Sono state estratte le seguenti caratteristiche:

- Inside Slick Radar Backscatter (μ_{obj})
- Inside Slick Standard Deviation (σ_{obj})
- Outside Slick Radar Backscatter (μ_{sce})
- Outside Slick Standard Deviation (σ_{sce})
- Intensity Ratio ($\frac{\mu_{obj}}{\mu_{sce}}$)
- Intensity Standard Deviation Ratio ($\frac{\sigma_{obj}}{\sigma_{sce}}$)
- Intensity Standard Deviation Ratio Inside (ISRI), defined as

$$ISRI := \frac{\mu_{obj}}{\sigma_{obj}}.$$

- Intensity Standard Deviation Ratio Outside (ISRO), defined as

$$ISRO := \frac{\mu_{sce}}{\sigma_{sce}}.$$

- ISRI ISRO Ratio

```
function [ out ] = spillbackscatter( spill, back )
% Inside Slick Standard Deviation
out.SpillStandardDeviation = mean( std( double( spill ) ) );

% Inside Slick Radar Backscatter
out.SpillMean = mean( mean( spill ) );

% Outside Slick Standard Deviation (?sce)
out.BackStandardDeviation = mean( std( double( back ) ) );

% Outside Slick Radar Backscatter (?sce)
out.BackMean = mean( mean( back ) );

% Intensity Ratio
out.IntensityRatio = out.SpillMean / out.BackMean;

% Intensity Standard Deviation Ratio
out.ISDR = out.SpillStandardDeviation / out.BackStandardDeviation;

% Intensity Standard Deviation Ratio Inside (ISRI)
out.ISRI = out.SpillMean / out.SpillStandardDeviation;

% Intensity Standard Deviation Ratio Outside (ISRO)
out.ISRO = out.BackMean / out.BackStandardDeviation;

% ISRI ISRO Ratio
out.IRatio = out.ISRI / out.ISRO;
```

Continuando sono state estratte anche le restanti:

- Mean Contrast (ConMe): difference (in dB) between the background mean value and the object mean value, defined as

$$\text{ConMe} := \mu_{scc} - \mu_{obj}.$$

- Max Gradient (GMax): maximum value (in dB) of border gradient magnitude, calculated using Sobel operator.
- Mean Gradient (GMe): mean border gradient magnitude (in dB).
- Gradient Standard Deviation (GSd): standard deviation (in dB) of the border gradient magnitudes.

```
% Mean Contrast (ConMe)
% difference (in dB) between the background mean
% value and the object mean value

out.ConMe = out.BackMean - out.SpillMean;

%Max Gradient (GMax): maximum value (in dB)
% of border gradient magnitude,
% calculated using Sobel operator.

% Mean Gradient (GMe): mean border gradient
% magnitude (in dB).

% Gradient Standard Deviation (GSd):
% standard deviation (in dB) of the
% border gradient magnitudes.

[out.GMax, out.GMe, out.GSd] = spillgradient( spill );
```

7.1 spillgradient

Questo script presenta una funzione che prende in input una immagine binarizzata o grayscale e ne calcola il gradiente lungo gli assi x e y (Gx e Gy). Successivamente calcola il G magnitude e la direzione, individuandone il Massimo, la media e la deviazione standard restituendo i valori in dB.

```
function [ gMax, gMe, gSt] = spillgradient(I)

%Calcolo il gradiente lungo le due direzioni
%[Gx, Gy] = imgradientxy(I);
%calcolo il G Magnitude e la direzione usando sobel (default, Gx e Gy,
%vengono calcolati dentro imgradient se non presenti...
[Gmag, Gdir] = imgradient(I, 'sobel');
%individuo il valore massimo
[Max,k]=max(max(Gmag));
```

```
% effettua la media dei valori del perimetro(esclude i valori che sono 0  
% nel background dell'immagine! I cicli non tengono conto del
```

```
[M,N]= size(I); %M n. di righe, N n. di colonne
```

```
z=0;
```

```
x=0;
```

```
for i = 1:M %riga
```

```
    for j = 1:N %colonna
```

```
        if (Gmag(i,j) ~= 0)
```

```
            x=x+ Gmag(i,j);
```

```
            z=z+1;
```

```
        end
```

```
    end
```

```
end
```

```
media=x/z;
```

```
%deviazione standard
```

```
x=0;
```

```
for i = 1:M %riga
```

```
    for j = 1:N %colonna
```

```
        if (Gmag(i,j) ~= 0)
```

```
            x=x+(Gmag(i,j)- media)^2;
```

```
        end
```

```
    end
```

```
end
```

```
dev= sqrt(x/(z-1));
```

```
%trasformazione in db dei valori trovati
```

```
gMax = mag2db(Max);
```

```
gMe= mag2db(media);
```

```
gSt= mag2db(dev);
```

8. Texture features

In questo caso abbiamo utilizzato delle matrici di co-occorrenza in livelli di grigio (GLCM) per la estrazione di caratteristiche basate sulle texture:

- GLCM Homogeneity
- GLCM Contrast
- GLCM Entropy
- GLCM Correlation
- GLCM Dissimilarity

A tal proposito la documentazione di Matlab è risultata più che soddisfacente, in quanto presenta diverse funzioni pre-impostate per la definizione di tali elaborazioni.

Il tutto viene eseguito tramite lo script `spilltexture`, che si occupa di estrarre tutte le caratteristiche sopra definite:

```
% Calcolo dei parametri basati sulla Matrice di
% co-occorrenza dei livelli di grigio

function [ out ] = spilltexture(img)
out.GLCM = graycomatrix(img);

% Codice base di Matlab
% stats = graycoprops(glcm);
% stats.Homogeneity

% Le features sono state calcolate utilizzando
% uno script esterno

features = glcmfeatures( out.GLCM, 0 );

% 1. Homogeneity
out.Homogeneity = features.homom;

% 2. Contrast
out.Contrast = features.contr;

% 3. Entropy
out.Entropy = features.entro;

% 4. Correlation
out.Correlation = features.corr;

% 5. Dissimilarity
out.Dissimilarity = features.dissi;
```

8.1 glcmfeatures

Per l'estrazione delle features glcm è stato utilizzato uno script ad alta affidabilità ritrovato sulla sezione di scambio di materiale del sito ufficiale di Matlab.

```
function [out] = glcmfeatures(glcm, pairs)
%
% GLCM_Features1 helps to calculate the features from the different GLCMs
% that are input to the function. The GLCMs are stored in a i x j x n
% matrix, where n is the number of GLCMs calculated usually due to the
% different orientation and displacements used in the algorithm. Usually
% the values i and j are equal to 'NumLevels' parameter of the GLCM
% computing function graycomatrix(). Note that matlab quantization values
% belong to the set {1,..., NumLevels} and not from {0,...,(NumLevels-1)}
% as provided in some references
% http://www.mathworks.com/access/helpdesk/help/toolbox/images/graycomatrix
% .html
%
% Although there is a function graycoprops() in Matlab Image Processing
% Toolbox that computes four parameters Contrast, Correlation, Energy,
% and Homogeneity. The paper by Haralick suggests a few more parameters
% that are also computed here. The code is not fully vectorized and hence
% is not an efficient implementation but it is easy to add new features
```



```

% based on the GLCM using this code. Takes care of 3 dimensional glcms
% (multiple glcms in a single 3D array)
%
% If you find that the values obtained are different from what you expect
% or if you think there is a different formula that needs to be used
% from the ones used in this code please let me know.
% A few questions which I have are listed in the link
% http://www.mathworks.com/matlabcentral/newsreader/view\_thread/239608
%
% I plan to submit a vectorized version of the code later and provide
% updates based on replies to the above link and this initial code.
%
% Features computed
% Autocorrelation: [2] (out.autoc)
% Contrast: matlab/[1,2] (out.contr)
% Correlation: matlab (out.corrm)
% Correlation: [1,2] (out.corrp)
% Cluster Prominence: [2] (out.cprom)
% Cluster Shade: [2] (out.cshad)
% Dissimilarity: [2] (out.dissi)
% Energy: matlab / [1,2] (out.energ)
% Entropy: [2] (out.entro)
% Homogeneity: matlab (out.homom)
% Homogeneity: [2] (out.homop)
% Maximum probability: [2] (out.maxpr)
% Sum of squares: Variance [1] (out.sosvh)
% Sum average [1] (out.savgh)
% Sum variance [1] (out.svarh)
% Sum entropy [1] (out.senth)
% Difference variance [1] (out.dvarh)
% Difference entropy [1] (out.denth)
% Information measure of correlation1 [1] (out.inflh)
% Information measure of correlation2 [1] (out.inf2h)
% Inverse difference (INV) is homom [3] (out.homom)
% Inverse difference normalized (INN) [3] (out.indnc)
% Inverse difference moment normalized [3] (out.idmnc)
%
% The maximal correlation coefficient was not calculated due to
% computational instability
% http://murphy-lab.web.cmu.edu/publications/boland/boland\_node26.html
%
% Formulae from MATLAB site (some look different from
% the paper by Haralick but are equivalent and give same results)
% Example formulae:
% Contrast = sum_i( sum_j( (i-j)^2 * p(i,j) ) ) (same in matlab/paper)
% Correlation = sum_i( sum_j( (i - u_i)(j - u_j)p(i,j)/(s_i.s_j) ) ) (m)
% Correlation = sum_i( sum_j( ((ij)p(i,j) - u_x.u_y) / (s_x.s_y) ) ) (p[2])
% Energy = sum_i( sum_j( p(i,j)^2 ) ) (same in matlab/paper)
% Homogeneity = sum_i( sum_j( p(i,j) / (1 + |i-j|) ) ) (as in matlab)
% Homogeneity = sum_i( sum_j( p(i,j) / (1 + (i-j)^2) ) ) (as in paper)
%
% Where:
% u_i = u_x = sum_i( sum_j( i.p(i,j) ) ) (in paper [2])
% u_j = u_y = sum_i( sum_j( j.p(i,j) ) ) (in paper [2])
% s_i = s_x = sum_i( sum_j( (i - u_x)^2.p(i,j) ) ) (in paper [2])
% s_j = s_y = sum_i( sum_j( (j - u_y)^2.p(i,j) ) ) (in paper [2])
%
%
% Normalize the glcm:
% Compute the sum of all the values in each glcm in the array and divide
% each element by it sum
%
% Haralick uses 'Symmetric' = true in computing the glcm

```

```

% There is no Symmetric flag in the Matlab version I use hence
% I add the diagonally opposite pairs to obtain the Haralick glcm
% Here it is assumed that the diagonally opposite orientations are paired
% one after the other in the matrix
% If the above assumption is true with respect to the input glcm then
% setting the flag 'pairs' to 1 will compute the final glcms that would result
% by setting 'Symmetric' to true. If your glcm is computed using the
% Matlab version with 'Symmetric' flag you can set the flag 'pairs' to 0
%
% References:
% 1. R. M. Haralick, K. Shanmugam, and I. Dinstein, Textural Features of
% Image Classification, IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics,
% vol. SMC-3, no. 6, Nov. 1973
% 2. L. Soh and C. Tsatsoulis, Texture Analysis of SAR Sea Ice Imagery
% Using Gray Level Co-Occurrence Matrices, IEEE Transactions on Geoscience
% and Remote Sensing, vol. 37, no. 2, March 1999.
% 3. D A. Clausi, An analysis of co-occurrence texture statistics as a
% function of grey level quantization, Can. J. Remote Sensing, vol. 28, no.
% 1, pp. 45-62, 2002
% 4. http://murphylab.web.cmu.edu/publications/boland/boland\_node26.html
%
%
% Example:
%
% Usage is similar to graycoprops() but needs extra parameter 'pairs' apart
% from the GLCM as input
% I = imread('circuit.tif');
% GLCM2 = graycomatrix(I,'Offset',[2 0;0 2]);
% stats = GLCM_features1(GLCM2,0)
% The output is a structure containing all the parameters for the different
% GLCMs
%
% [Avinash Uppuluri: avinash_uv@yahoo.com: Last modified: 11/20/08]

% If 'pairs' not entered: set pairs to 0
if ((nargin > 2) || (nargin == 0))
    error('Too many or too few input arguments. Enter GLCM and pairs.');
```

```

elseif ( (nargin == 2) )
    if ((size(glcm,1) <= 1) || (size(glcm,2) <= 1))
        error('The GLCM should be a 2-D or 3-D matrix.');
```

```

    elseif ( size(glcm,1) ~= size(glcm,2) )
        error('Each GLCM should be square with NumLevels rows and NumLevels
cols');
```

```

    end
elseif (nargin == 1) % only GLCM is entered
    pairs = 0; % default is numbers and input 1 for percentage
    if ((size(glcm,1) <= 1) || (size(glcm,2) <= 1))
        error('The GLCM should be a 2-D or 3-D matrix.');
```

```

    elseif ( size(glcm,1) ~= size(glcm,2) )
        error('Each GLCM should be square with NumLevels rows and NumLevels
cols');
```

```

    end
end

format long e
if (pairs == 1)
    newn = 1;
    for nglcm = 1:2:size(glcm,3)
        glcm(:, :, newn) = glcm(:, :, nglcm) + glcm(:, :, nglcm+1);
        newn = newn + 1;
    end
elseif (pairs == 0)

```

```

    glcm = glcmin;
end

size_glcm_1 = size(glcm,1);
size_glcm_2 = size(glcm,2);
size_glcm_3 = size(glcm,3);

% checked
out.autoc = zeros(1,size_glcm_3); % Autocorrelation: [2]
out.contr = zeros(1,size_glcm_3); % Contrast: matlab/[1,2]
out.corr = zeros(1,size_glcm_3); % Correlation: matlab
out.corrp = zeros(1,size_glcm_3); % Correlation: [1,2]
out.cprom = zeros(1,size_glcm_3); % Cluster Prominence: [2]
out.cshad = zeros(1,size_glcm_3); % Cluster Shade: [2]
out.dissi = zeros(1,size_glcm_3); % Dissimilarity: [2]
out.energ = zeros(1,size_glcm_3); % Energy: matlab / [1,2]
out.entro = zeros(1,size_glcm_3); % Entropy: [2]
out.homom = zeros(1,size_glcm_3); % Homogeneity: matlab
out.homop = zeros(1,size_glcm_3); % Homogeneity: [2]
out.maxpr = zeros(1,size_glcm_3); % Maximum probability: [2]

out.sosvh = zeros(1,size_glcm_3); % Sum of squares: Variance [1]
out.savgh = zeros(1,size_glcm_3); % Sum average [1]
out.svarh = zeros(1,size_glcm_3); % Sum variance [1]
out.senth = zeros(1,size_glcm_3); % Sum entropy [1]
out.dvarh = zeros(1,size_glcm_3); % Difference variance [4]
%out.dvarh2 = zeros(1,size_glcm_3); % Difference variance [1]
out.denth = zeros(1,size_glcm_3); % Difference entropy [1]
out.inflh = zeros(1,size_glcm_3); % Information measure of correlation1 [1]
out.inf2h = zeros(1,size_glcm_3); % Information measure of correlation2 [1]
%out.mxcch = zeros(1,size_glcm_3); % maximal correlation coefficient [1]
%out.invdc = zeros(1,size_glcm_3); % Inverse difference (INV) is homom [3]
out.indnc = zeros(1,size_glcm_3); % Inverse difference normalized (INN) [3]
out.idmnc = zeros(1,size_glcm_3); % Inverse difference moment normalized [3]

% correlation with alternate definition of u and s
%out.corr2 = zeros(1,size_glcm_3); % Correlation: matlab
%out.corrp2 = zeros(1,size_glcm_3); % Correlation: [1,2]

glcm_sum = zeros(size_glcm_3,1);
glcm_mean = zeros(size_glcm_3,1);
glcm_var = zeros(size_glcm_3,1);

% http://www.fp.ucalgary.ca/mhallbey/glcm\_mean.htm confuses the range of
% i and j used in calculating the means and standard deviations.
% As of now I am not sure if the range of i and j should be [1:Ng] or
% [0:Ng-1]. I am working on obtaining the values of mean and std that get
% the values of correlation that are provided by matlab.
u_x = zeros(size_glcm_3,1);
u_y = zeros(size_glcm_3,1);
s_x = zeros(size_glcm_3,1);
s_y = zeros(size_glcm_3,1);

% alternate values of u and s
% u_x2 = zeros(size_glcm_3,1);
% u_y2 = zeros(size_glcm_3,1);
% s_x2 = zeros(size_glcm_3,1);
% s_y2 = zeros(size_glcm_3,1);

% checked p_x p_y p_xplusy p_xminusy
p_x = zeros(size_glcm_1,size_glcm_3); % Ng x #glcms[1]
p_y = zeros(size_glcm_2,size_glcm_3); % Ng x #glcms[1]
p_xplusy = zeros((size_glcm_1*2 - 1),size_glcm_3); % [1]

```

```

p_xminusy = zeros((size_glcml_1),size_glcml_3); %[1]
% checked hxy hxy1 hxy2 hx hy
hxy = zeros(size_glcml_3,1);
hxy1 = zeros(size_glcml_3,1);
hx = zeros(size_glcml_3,1);
hy = zeros(size_glcml_3,1);
hxy2 = zeros(size_glcml_3,1);

%Q = zeros(size(glcml));

for k = 1:size_glcml_3 % number glcmls

    glcml_sum(k) = sum(sum(glcml(:,:,k)));
    glcml(:,:,k) = glcml(:,:,k)./glcml_sum(k); % Normalize each glcml
    glcml_mean(k) = mean2(glcml(:,:,k)); % compute mean after norm
    glcml_var(k) = (std2(glcml(:,:,k)))^2;

    for i = 1:size_glcml_1

        for j = 1:size_glcml_2

            out.contr(k) = out.contr(k) + (abs(i - j))^2.*glcml(i,j,k);
            out.dissi(k) = out.dissi(k) + (abs(i - j)*glcml(i,j,k));
            out.energ(k) = out.energ(k) + (glcml(i,j,k).^2);
            out.entro(k) = out.entro(k) - (glcml(i,j,k)*log(glcml(i,j,k) + eps));
            out.homom(k) = out.homom(k) + (glcml(i,j,k)/(1 + abs(i-j)));
            out.homop(k) = out.homop(k) + (glcml(i,j,k)/(1 + (i - j)^2));
            % [1] explains sum of squares variance with a mean value;
            % the exact definition for mean has not been provided in
            % the reference: I use the mean of the entire normalized glcml
            out.sosvh(k) = out.sosvh(k) + glcml(i,j,k)*((i - glcml_mean(k))^2);

            %out.invdn(k) = out.homom(k);
            out.indnc(k) = out.indnc(k) + (glcml(i,j,k)/(1 + (abs(i-
j))/size_glcml_1)));
            out.idmnc(k) = out.idmnc(k) + (glcml(i,j,k)/(1 + ((i -
j))/size_glcml_1)^2));
            u_x(k) = u_x(k) + (i)*glcml(i,j,k); % changed 10/26/08
            u_y(k) = u_y(k) + (j)*glcml(i,j,k); % changed 10/26/08
            % code requires that Nx = Ny
            % the values of the grey levels range from 1 to (Ng)
        end

    end

    out.maxpr(k) = max(max(glcml(:,:,k)));
end
% glcmls have been normalized:
% The contrast has been computed for each glcml in the 3D matrix
% (tested) gives similar results to the matlab function

for k = 1:size_glcml_3

    for i = 1:size_glcml_1

        for j = 1:size_glcml_2
            p_x(i,k) = p_x(i,k) + glcml(i,j,k);
            p_y(i,k) = p_y(i,k) + glcml(j,i,k); % taking i for j and j for i
            if (ismember((i + j),[2:2*size_glcml_1]))
                p_xplusy((i+j)-1,k) = p_xplusy((i+j)-1,k) + glcml(i,j,k);
            end
            if (ismember(abs(i-j),[0:(size_glcml_1-1)]))
                p_xminusy((abs(i-j))+1,k) = p_xminusy((abs(i-j))+1,k) + ...
                    glcml(i,j,k);
            end
        end
    end
end

```

```

        end
    end
end

%      % consider u_x and u_y and s_x and s_y as means and standard deviations
%      % of p_x and p_y
%      u_x2(k) = mean(p_x(:,k));
%      u_y2(k) = mean(p_y(:,k));
%      s_x2(k) = std(p_x(:,k));
%      s_y2(k) = std(p_y(:,k));

end

% marginal probabilities are now available [1]
% p_xminusy has +1 in index for matlab (no 0 index)
% computing sum average, sum variance and sum entropy:
for k = 1:(size_glcmm_3)

    for i = 1:(2*(size_glcmm_1)-1)
        out.savgh(k) = out.savgh(k) + (i+1)*p_xplusy(i,k);
        % the summation for savgh is for i from 2 to 2*Ng hence (i+1)
        out.senth(k) = out.senth(k) - (p_xplusy(i,k)*log(p_xplusy(i,k) + eps));
    end

end

% compute sum variance with the help of sum entropy
for k = 1:(size_glcmm_3)

    for i = 1:(2*(size_glcmm_1)-1)
        out.svarh(k) = out.svarh(k) + (((i+1) - out.senth(k))^2)*p_xplusy(i,k);
        % the summation for savgh is for i from 2 to 2*Ng hence (i+1)
    end

end

% compute difference variance, difference entropy,
for k = 1:size_glcmm_3
% out.dvarh2(k) = var(p_xminusy(:,k));
% but using the formula in
% http://murphylab.web.cmu.edu/publications/boland/boland\_node26.html
% we have for dvarh
    for i = 0:(size_glcmm_1-1)
        out.denth(k) = out.denth(k) - (p_xminusy(i+1,k)*log(p_xminusy(i+1,k) +
eps));
        out.dvarh(k) = out.dvarh(k) + (i^2)*p_xminusy(i+1,k);
    end
end

% compute information measure of correlation(1,2) [1]
for k = 1:size_glcmm_3
    hxy(k) = out.entro(k);
    for i = 1:size_glcmm_1

        for j = 1:size_glcmm_2
            hxy1(k) = hxy1(k) - (glcmm(i,j,k)*log(p_x(i,k)*p_y(j,k) + eps));
            hxy2(k) = hxy2(k) - (p_x(i,k)*p_y(j,k)*log(p_x(i,k)*p_y(j,k) +
eps));
            %
            %      for Qind = 1:(size_glcmm_1)
            %      Q(i,j,k) = Q(i,j,k) + ...
            %      ( glcmm(i,Qind,k)*glcmm(j,Qind,k) / (p_x(i,k)*p_y(Qind,k))
            %      );
            %
            end
        end
    end
    hx(k) = hx(k) - (p_x(i,k)*log(p_x(i,k) + eps));
end

```

```

        hy(k) = hy(k) - (p_y(i,k)*log(p_y(i,k) + eps));
    end
    out.inflh(k) = ( hxy(k) - hxy1(k) ) / ( max([hx(k),hy(k)]) );
    out.inf2h(k) = ( 1 - exp( -2*( hxy2(k) - hxy(k) ) ) )^0.5;
%     eig_Q(k,:) = eig(Q(:,:,k));
%     sort_eig(k,:)= sort(eig_Q(k,:), 'descend');
%     out.mxcch(k) = sort_eig(k,2)^0.5;
% The maximal correlation coefficient was not calculated due to
% computational instability
% http://murphylab.web.cmu.edu/publications/boland/boland\_node26.html
end

corm = zeros(size_glcm_3,1);
corp = zeros(size_glcm_3,1);
% using http://www.fp.ualgary.ca/mhallbey/glcm\_variance.htm for s_x s_y
for k = 1:size_glcm_3
    for i = 1:size_glcm_1
        for j = 1:size_glcm_2
            s_x(k) = s_x(k) + (((i) - u_x(k))^2)*glcm(i,j,k);
            s_y(k) = s_y(k) + (((j) - u_y(k))^2)*glcm(i,j,k);
            corp(k) = corp(k) + ((i)*(j)*glcm(i,j,k));
            corm(k) = corm(k) + (((i) - u_x(k))*((j) - u_y(k))*glcm(i,j,k));
            out.cprom(k) = out.cprom(k) + (((i + j - u_x(k) - u_y(k))^4)*...
                glcm(i,j,k));
            out.cshad(k) = out.cshad(k) + (((i + j - u_x(k) - u_y(k))^3)*...
                glcm(i,j,k));
        end
    end
    % using http://www.fp.ualgary.ca/mhallbey/glcm\_variance.htm for s_x
    % s_y : This solves the difference in value of correlation and might be
    % the right value of standard deviations required
    % According to this website there is a typo in [2] which provides
    % values of variance instead of the standard deviation hence a square
    % root is required as done below:
    s_x(k) = s_x(k) ^ 0.5;
    s_y(k) = s_y(k) ^ 0.5;
    out.autoc(k) = corp(k);
    out.corrp(k) = (corp(k) - u_x(k)*u_y(k))/(s_x(k)*s_y(k));
    out.corm(k) = corm(k) / (s_x(k)*s_y(k));
%     % alternate values of u and s
%     out.corrp2(k) = (corp(k) - u_x2(k)*u_y2(k))/(s_x2(k)*s_y2(k));
%     out.corm2(k) = corm(k) / (s_x2(k)*s_y2(k));
end
% Here the formula in the paper out.corrp and the formula in matlab
% out.corm are equivalent as confirmed by the similar results obtained

% % The papers have a slightly different formular for Contrast
% % I have tested here to find this formula in the papers provides the
% % same results as the formula provided by the matlab function for
% % Contrast (Hence this part has been commented)
% out.contrp = zeros(size_glcm_3,1);
% contp = 0;
% Ng = size_glcm_1;
% for k = 1:size_glcm_3
%     for n = 0:(Ng-1)
%         for i = 1:Ng
%             for j = 1:Ng
%                 if (abs(i-j) == n)
%                     contp = contp + glcm(i,j,k);
%                 end
%             end
%         end
%     end
%     out.contrp(k) = out.contrp(k) + n^2*contp;

```

```

%         contp = 0;
%     end
%
% end

%     GLCM Features (Soh, 1999; Haralick, 1973; Clausi 2002)
%         f1. Uniformity / Energy / Angular Second Moment (done)
%         f2. Entropy (done)
%         f3. Dissimilarity (done)
%         f4. Contrast / Inertia (done)
%         f5. Inverse difference
%         f6. correlation
%         f7. Homogeneity / Inverse difference moment
%         f8. Autocorrelation
%         f9. Cluster Shade
%         f10. Cluster Prominence
%         f11. Maximum probability
%         f12. Sum of Squares
%         f13. Sum Average
%         f14. Sum Variance
%         f15. Sum Entropy
%         f16. Difference variance
%         f17. Difference entropy
%         f18. Information measures of correlation (1)
%         f19. Information measures of correlation (2)
%         f20. Maximal correlation coefficient
%         f21. Inverse difference normalized (INN)
%         f22. Inverse difference moment normalized (IDN)

```