

Universitat Politècnica de Catalunya

Visió per Computador
Grau en Enginyeria Informàtica

EXERCICI 8 DE LABORATORI

SHAPE DESCRIPTORS

Autor:

Daniel DONATE

Professor:

Manel FRIGOLA

Q2 Curs 2020-2021

5 de maig del 2021



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Facultat d'Informàtica de Barcelona



Enunciat de l'exercici

En aquesta darrera sessió de laboratori veurem diferents **descriptors de forma** d'objectes binaritzats. Utilitzarem el joc de caràcters de les matrícules espanyoles (*Figura 1*) i intentarem extreure un conjunt de característiques descriptors adequades per realitzar una classificació de matrícules, utilitzant un dels múltiples *Classifiers* que ofereix Matlab.

Per determinar quines característiques són 'bones' i quines no, disposem de jocs de caràcters deformats en mida i angle (*Figura 1*) que podem fer servir per veure com evoluciona la puntuació de la classificació amb diferents conjunts de descriptors. Finalment, veurem resultats directament sobre imatges de matrícules.

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 B C D F G H J K L M N P R S T V W X Y Z
 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 B C D F G H J K L M N P R S T V W X Y Z
 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 B C D F G H J K L M N P R S T V W X Y Z

Figura 1: Joc de caràcters de les matrícules espanyoles, a dalt. Els dos altres jocs contenen deformacions visibles

Construcció d'un algoritme per detectar matrícules

Binarització del joc de caràcters original

Primer, llegim el joc de caràcters (*Figura 1*, a dalt), la passem a grisos, procedim a realitzar una binarització amb un llindar fixe i filtrem el soroll. El resultat obtingut es mostra a la *Figura 2*.

```
I = rgb2gray(imread('Joc_de_caracters.jpg'));
BI = I < 128;
BI = bwmorph(BI, 'majority'); % filtre soroll
BI = bwmorph(BI, 'majority');
imshow(BI)
```

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 B C D F G H J K L M N P R S T V W X Y Z

Figura 2: Imatge original binaritzada

Segmentació dels caràcters

Per calcular els descriptors de cada caràcter, necessitem segmentar la imatge binària, tot extraient-ne les components connexes, mitjançant la funció *bwconncomp*. Podem guardar les imatges binàries dels caràcters individuals del joc fent ús de la funció *regionsprops*.

```
CC = bwconncomp(BI);
% Obtenim els 30 caràcters del joc binaritzat
caracters = regionprops(CC, 'Image');
```

Càlcul de descriptors per als caràcters

Excentricitat

L'excentricitat es calcula com el quocient entre la longitud de l'eix menor i la longitud de l'eix major d'un objecte. El resultat calculat per MATLAB és una mesura de l'excentricitat matemàtica de l'el·lipse (mínima) que *conté* el caràcter (que determina el grau de desviació d'aquesta secció

cònica respecte del cercle). Aquest valor és interessant perquè és independent de l'escala de l'objecte, i és invariant a transformacions de translació i rotació. El resultat està entre 0 (quan l'el·lipse és, en realitat, un cercle) i 1 (quan l'el·lipse és un segment de recta).

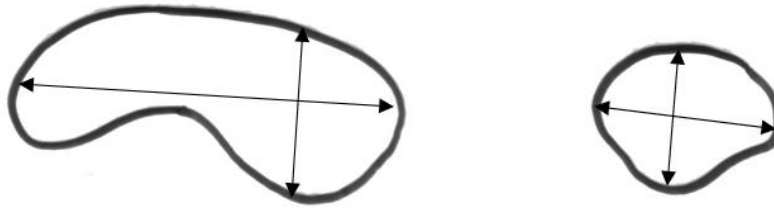


Figura 3: Objectes amb una excentricitat alta (esquerra) i baixa (dreta). **Autor:** Michael A. Wirth

Podem calcular l'excentricitat de cada caràcter mitjançant les següents sentències de MATLAB:

```
eccentricity = regionprops(CC,'Eccentricity');
ECCENTRICITY = cell2mat(struct2cell(eccentricity));
```

Nombre de forats

El nombre de forats ens proporciona una valuosa informació sobre la topologia de l'objecte. És útil per diferenciar caràcters que comparteixen valors similars per altres mesures descriptores (com l'excentricitat o la circularitat), tal com passa, per exemple, amb el 0 i el 8, o amb el 1 i el 7. No és *addient*, en canvi, per diferenciar entre parelles com el 6 i el 9, o el 8 i la B.

```
eulerNumber = regionprops(CC,'EulerNumber');
HOLES = cell2mat(struct2cell(eulerNumber));
```

Solidesa

La solidesa mesura la *densitat* d'un objecte. Aquesta pot obtenir-se com el quocient entre l'àrea de l'objecte i l'àrea del seu Convex Hull, que és un polígon molt més *diferenciable* entre caràcters que la Bounding Box. Una solidesa de 1 indica, lògicament, que l'objecte és molt sòlid, mentre que un valor baix indica que l'objecte té uns límits irregulars o, fins i tot, que té forats.



Figura 4: D'esquerra a dreta, objectes amb una solidity de 1, 0.782 i 0.592. **Autor:** Michael A. Wirth

Podem calcular el valor de *solidity* de cada caràcter mitjançant aquestes sentències de MATLAB:

```
solidity = regionprops(CC,'Solidity');
SOLIDITY = cell2mat(struct2cell(solidity));
```

Circularitat

Una mesura de circularitat (que exclou les irregularitats locals) pot calcular-se com la relació entre l'àrea d'un objecte i l'àrea d'un cercle amb el mateix perímetre convex:

$$circularity = \frac{4\pi Area}{Convex Perimeter^2}$$

Aquesta mesura és molt propera a 1 per a caràcters *circulats* (com el 0 o la O) i menor per a caràcters que s'aparten de la circularitat (com el 2 o el 4), i a més, és relativament insensible als límits irregulars, qualitat que és útil per evitar els efectes del soroll o altres petites deformacions dels caràcters de la imatge.

```
circularity = regionprops(CC, 'circularity');
CIRCULARITY = cell2mat(struct2cell(circularity));
```

Relació entre els eixos de l'el·lipse contenidora i el perímetre

Aquestes mesures són similars a la d'excentricitat. S'han introduït per intentar evitar la confusió de caràcters amb similar excentricitat, com alguns que s'han citat anteriorment, però que tenen diferències notables en els contorns dels caràcters. En particular, les dues característiques calculades han estat el quocient entre l'eix major de l'el·lipse contenidora i el perímetre del caràcter, i el mateix, però amb l'eix menor.

```
majorAxis = regionprops(CC, 'MajoraxisLength');
minorAxis = regionprops(CC, 'MinoraxisLength');
perimeter = regionprops(CC, 'Perimeter');
MA = cell2mat(struct2cell(majorAxis));
mA = cell2mat(struct2cell(minorAxis));
PERIMETER = cell2mat(struct2cell(perimeter));

RELATION_MAJOR = (MA./PERIMETER)';
RELATION_MINOR = (mA./PERIMETER)';
```

Descriptors de Fourier

L'últim descriptor que proposo és el de Fourier. Podem analitzar el contorn dels caràcters usant la Transformada Discreta de Fourier (DFT). Per fer-ho, hem de representar les coordenades $x[m]$, $y[m]$ de l' m -èssim píxel del contorn de N píxels d'un caràcter, com un nombre complex $z[m] = x[m] + jy[m]$. Així, el Descriptor de Fourier (FD) d'aquesta forma és la DFT de $z[m]$:

$$Z[k] = DFT[z[m]] = \frac{1}{N} \sum_{m=0}^{N-1} z[m] e^{-j2\pi mk/N} \quad (k = 0, \dots, N-1)$$

El que és interessant dels FDs és que es poden utilitzar per representar formes tancades 2D, independentment de la seva ubicació, escala i rotació. Intuir aquestes propietats a partir de la DFT *a simple vista* no és tan senzill com amb altres mesures que hem descrit fins ara. Per això dedicarem unes línies a argumentar-les. Notem abans, però, que és *preferible* quedar-nos amb un nombre $M < N$ de FDs, que representen els components de baixa freqüència del contorn del caràcter. D'aquesta manera, la reconstrucció produïda amb aquests coeficients s'aproxima a la forma del caràcter, però *excloent* els detalls (que es corresponen als components d'alta freqüència i són molt susceptibles al soroll). Si fem servir un nombre massa gran de coeficients, no serem capaços d'*associar* dues versions lleugerament diferents d'un mateix caràcter¹ (veure Figura 5).

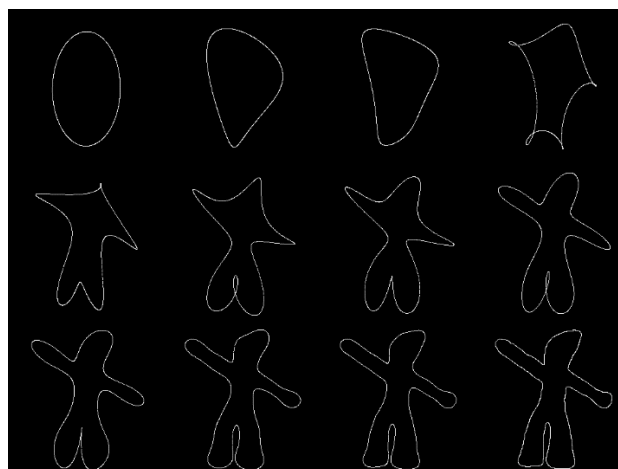


Figura 5: Reconstrucció de Gumby amb els primers M components de freqüència. A dalt, tenim: $M = 1, 2, 3, 4$. Al centre, $M = 5, 6, 7, 8$. A baix, $M = 10, 20, 30$ i $M=N=257$. **Autor:** Ruye Wang

¹ Anàlogament, usar un nombre massa baix de coeficients resultarà en una reconstrucció del caràcter molt *indefinida*

Notem que si traslladem el caràcter una distància $z_0 = x_0 + jy_0$, obtenint unes noves coordenades $z'[m]$ tq $z'[m] = z[m] + z_0$ ($m = 0, \dots, N-1$), aleshores el FD, $Z'[k]$, esdevé:

$$\begin{aligned} Z'[k] &= \frac{1}{N} \sum_{m=0}^{N-1} [z[m] + z_0] e^{\frac{-j2\pi mk}{N}} = \\ &= \frac{1}{N} \sum_{m=0}^{N-1} z[m] e^{\frac{-j2\pi mk}{N}} + \frac{1}{N} \sum_{m=0}^{N-1} z_0 e^{\frac{-j2\pi mk}{N}} = Z[k] + z_0 \delta[k] \end{aligned}$$

De manera que la translació només afecta a la component $Z(0)$ del FD.

D'altra banda, si el caràcter s'escala per un factor S , el seu FD és escalat pel mateix factor:

$$z'[m] = Sz[m] \rightarrow Z'[k] = SZ[k]$$

Finalment, si el caràcter és rotat per un angle φ , el seu FD és multiplicat pel mateix factor:

$$z'[m] = z[m]e^{j\varphi} \rightarrow Z'[k] = Z[k]e^{j\varphi}$$

No seria difícil escriure un programa per calcular aquests descriptors, però per una qüestió de comoditat he utilitzat una implementació de Frederik Kratzert², compartida al *File Exchange* de Mathworks en la qual es calculen els *Generic Fourier Descriptors (gfd)* d'un objecte binari seguint l'article "*Shape Based Image Retrieval Using Generic Fourier Descriptors*", de D.Zhang i G.Lu.

La funció `gfd(bw,m,n)` calcula la GFD d'un sol objecte (un caràcter, en aquest cas) binari fins a la freqüència radial, m , i la freqüència angular, n , de manera que retorna un vector, FD , amb els descriptors de Fourier calculats (un total de $m \cdot n + n + 1$). Una pre-condició de la funció és que l'objecte ha d'estar centrat en la imatge bw . Per assegurar-nos de que és així, podem utilitzar la funció `centerobject`. Amb tot, podem calcular els descriptors de Fourier de cadascun dels 30 caràcters mitjançant aquestes línies de codi (notem que estem usant 13 FDs per cada caràcter):

```
FD = [];
m = 3; n = 3;
for i = 1:CC.NumObjects % for i = 1:30
    caracter_i = centerobject(characters(i).Image);
    FD = [FD, gfd(caracter_i,m,n)];
end
FD = FD';
```

Construint un classificador

Un cop hem calculat totes les característiques descriptors que volem fer servir, podem construir una taula amb les nostres mesures, X , i una altra taula amb el resultat que voldríem obtenir a partir de les entrades, OUT . Després, fem servir la funció `TreeBagger`, que ens retornarà un *Classifier* per classificar els caràcters de la imatge que passem com a entrada.

En les línies que es mostren a continuació apareixen a la taula X tots els descriptors que hem vist en aquest document. No cal a dir que moltes altres combinacions són possibles, i fins i tot, subconjunts d'aquest que es proposa poden funcionar bé, però en qualsevol cas, aquest conjunt de característiques ha respòs adequadament amb les matrícules que s'han testejat.

```
X = [ECCENTRICITY,HOLES,SOLIDITY,CIRCULARITY,RELATION_MAJOR,RELATION_MINOR,FD];
OUT = {'0' '1' '2' '3' '4' '5' '6' '7' '8' '9' 'B' 'C' 'D' 'F' 'G' 'H' 'J' ...
      'K' 'L' 'M' 'N' 'P' 'R' 'S' 'T' 'V' 'W' 'X' 'Y' 'Z'};
Classifier = TreeBagger(100,X,OUT);
```

² La implementació pot trobar-se a File Exchange: <https://es.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/52643-fd-gfd-bw-m-n-implementation-of-the-generic-fourier-descriptors>

Elaborant prediccions

Per veure com de bo és el classificador i obtenir prediccions, hem de llegir una nova imatge i extreure les mateixes propietats descriptores que hem utilitzat per crear el *Classifier* a partir del joc de caràcters inicial. Aquesta nova taula, *X*, junt amb la variable *Classifier* que havíem obtingut amb la funció *TreeBagger* ens permetrà, mitjançant la funció *predict*, classificar quin caràcter és cadascun dels que apareix en la imatge de test, i quina puntuació té la classificació:

```
[label,score] = predict(Classifier,X);
table(Classifier.ClassNames,score,'VariableNames',{'Name','Score'})
resultat = (predict(Classifier,X));
```

A continuació es mostren els resultats obtinguts amb alguns caràcters individuals (deformats). Com veiem, cada caràcter individual binaritzat mostra un fragment de la taula amb la puntuació que obtenen cadascun dels 30 caràcters possibles que podrien assignar-se com a resultat. La taula està ordenada de forma decreixent segons la puntuació obtinguda per cada caràcter. A baix, veiem també el valor de la variable *resultat*, obtinguda amb la darrera crida de *predict*.







 ans = 30x2 table <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Name</th> <th>Score</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>'J'</td><td>0.4400</td></tr> <tr><td>2</td><td>'4'</td><td>0.0700</td></tr> <tr><td>3</td><td>'R'</td><td>0.0600</td></tr> <tr><td>4</td><td>'Y'</td><td>0.0600</td></tr> <tr><td>5</td><td>'3'</td><td>0.0500</td></tr> <tr><td>6</td><td>'L'</td><td>0.0500</td></tr> <tr><td>7</td><td>'D'</td><td>0.0500</td></tr> <tr><td>8</td><td>'T'</td><td>0.0300</td></tr> <tr><td>9</td><td>'V'</td><td>0.0300</td></tr> </tbody> </table> ans = 1x1 cell array {'J'}		Name	Score	1	'J'	0.4400	2	'4'	0.0700	3	'R'	0.0600	4	'Y'	0.0600	5	'3'	0.0500	6	'L'	0.0500	7	'D'	0.0500	8	'T'	0.0300	9	'V'	0.0300	 ans = 30x2 table <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Name</th> <th>Score</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>'H'</td><td>0.6400</td></tr> <tr><td>2</td><td>'N'</td><td>0.0800</td></tr> <tr><td>3</td><td>'V'</td><td>0.0500</td></tr> <tr><td>4</td><td>'5'</td><td>0.0300</td></tr> <tr><td>5</td><td>'K'</td><td>0.0300</td></tr> <tr><td>6</td><td>'8'</td><td>0.0300</td></tr> <tr><td>7</td><td>'6'</td><td>0.0300</td></tr> <tr><td>8</td><td>'M'</td><td>0.0300</td></tr> <tr><td>9</td><td>'B'</td><td>0.0200</td></tr> </tbody> </table> ans = 1x1 cell array {'H'}		Name	Score	1	'H'	0.6400	2	'N'	0.0800	3	'V'	0.0500	4	'5'	0.0300	5	'K'	0.0300	6	'8'	0.0300	7	'6'	0.0300	8	'M'	0.0300	9	'B'	0.0200	 ans = 30x2 table <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Name</th> <th>Score</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>'2'</td><td>0.1900</td></tr> <tr><td>2</td><td>'S'</td><td>0.0900</td></tr> <tr><td>3</td><td>'R'</td><td>0.0900</td></tr> <tr><td>4</td><td>'Z'</td><td>0.0700</td></tr> <tr><td>5</td><td>'G'</td><td>0.0600</td></tr> <tr><td>6</td><td>'P'</td><td>0.0600</td></tr> <tr><td>7</td><td>'F'</td><td>0.0500</td></tr> <tr><td>8</td><td>'J'</td><td>0.0500</td></tr> <tr><td>9</td><td>'X'</td><td>0.0500</td></tr> </tbody> </table> ans = 1x1 cell array {'2'}		Name	Score	1	'2'	0.1900	2	'S'	0.0900	3	'R'	0.0900	4	'Z'	0.0700	5	'G'	0.0600	6	'P'	0.0600	7	'F'	0.0500	8	'J'	0.0500	9	'X'	0.0500
	Name	Score																																																																																										
1	'J'	0.4400																																																																																										
2	'4'	0.0700																																																																																										
3	'R'	0.0600																																																																																										
4	'Y'	0.0600																																																																																										
5	'3'	0.0500																																																																																										
6	'L'	0.0500																																																																																										
7	'D'	0.0500																																																																																										
8	'T'	0.0300																																																																																										
9	'V'	0.0300																																																																																										
	Name	Score																																																																																										
1	'H'	0.6400																																																																																										
2	'N'	0.0800																																																																																										
3	'V'	0.0500																																																																																										
4	'5'	0.0300																																																																																										
5	'K'	0.0300																																																																																										
6	'8'	0.0300																																																																																										
7	'6'	0.0300																																																																																										
8	'M'	0.0300																																																																																										
9	'B'	0.0200																																																																																										
	Name	Score																																																																																										
1	'2'	0.1900																																																																																										
2	'S'	0.0900																																																																																										
3	'R'	0.0900																																																																																										
4	'Z'	0.0700																																																																																										
5	'G'	0.0600																																																																																										
6	'P'	0.0600																																																																																										
7	'F'	0.0500																																																																																										
8	'J'	0.0500																																																																																										
9	'X'	0.0500																																																																																										
 ans = 30x2 table <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Name</th> <th>Score</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>'W'</td><td>0.2500</td></tr> <tr><td>2</td><td>'O'</td><td>0.1100</td></tr> <tr><td>3</td><td>'M'</td><td>0.1000</td></tr> <tr><td>4</td><td>'8'</td><td>0.0800</td></tr> <tr><td>5</td><td>'B'</td><td>0.0500</td></tr> <tr><td>6</td><td>'Y'</td><td>0.0500</td></tr> <tr><td>7</td><td>'6'</td><td>0.0400</td></tr> <tr><td>8</td><td>'J'</td><td>0.0400</td></tr> <tr><td>9</td><td>'G'</td><td>0.0400</td></tr> </tbody> </table> ans = 1x1 cell array {'W'}		Name	Score	1	'W'	0.2500	2	'O'	0.1100	3	'M'	0.1000	4	'8'	0.0800	5	'B'	0.0500	6	'Y'	0.0500	7	'6'	0.0400	8	'J'	0.0400	9	'G'	0.0400	 ans = 30x2 table <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Name</th> <th>Score</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>'O'</td><td>0.2300</td></tr> <tr><td>2</td><td>'H'</td><td>0.1100</td></tr> <tr><td>3</td><td>'D'</td><td>0.1000</td></tr> <tr><td>4</td><td>'R'</td><td>0.0700</td></tr> <tr><td>5</td><td>'B'</td><td>0.0600</td></tr> <tr><td>6</td><td>'M'</td><td>0.0600</td></tr> <tr><td>7</td><td>'6'</td><td>0.0600</td></tr> <tr><td>8</td><td>'8'</td><td>0.0600</td></tr> <tr><td>9</td><td>'W'</td><td>0.0500</td></tr> </tbody> </table> ans = 1x1 cell array {'0'}		Name	Score	1	'O'	0.2300	2	'H'	0.1100	3	'D'	0.1000	4	'R'	0.0700	5	'B'	0.0600	6	'M'	0.0600	7	'6'	0.0600	8	'8'	0.0600	9	'W'	0.0500	 ans = 30x2 table <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Name</th> <th>Score</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>'T'</td><td>0.1300</td></tr> <tr><td>2</td><td>'V'</td><td>0.1000</td></tr> <tr><td>3</td><td>'Y'</td><td>0.0900</td></tr> <tr><td>4</td><td>'5'</td><td>0.0800</td></tr> <tr><td>5</td><td>'J'</td><td>0.0700</td></tr> <tr><td>6</td><td>'1'</td><td>0.0500</td></tr> <tr><td>7</td><td>'2'</td><td>0.0400</td></tr> <tr><td>8</td><td>'P'</td><td>0.0400</td></tr> <tr><td>9</td><td>'F'</td><td>0.0400</td></tr> </tbody> </table> ans = 1x1 cell array {'T'}		Name	Score	1	'T'	0.1300	2	'V'	0.1000	3	'Y'	0.0900	4	'5'	0.0800	5	'J'	0.0700	6	'1'	0.0500	7	'2'	0.0400	8	'P'	0.0400	9	'F'	0.0400
	Name	Score																																																																																										
1	'W'	0.2500																																																																																										
2	'O'	0.1100																																																																																										
3	'M'	0.1000																																																																																										
4	'8'	0.0800																																																																																										
5	'B'	0.0500																																																																																										
6	'Y'	0.0500																																																																																										
7	'6'	0.0400																																																																																										
8	'J'	0.0400																																																																																										
9	'G'	0.0400																																																																																										
	Name	Score																																																																																										
1	'O'	0.2300																																																																																										
2	'H'	0.1100																																																																																										
3	'D'	0.1000																																																																																										
4	'R'	0.0700																																																																																										
5	'B'	0.0600																																																																																										
6	'M'	0.0600																																																																																										
7	'6'	0.0600																																																																																										
8	'8'	0.0600																																																																																										
9	'W'	0.0500																																																																																										
	Name	Score																																																																																										
1	'T'	0.1300																																																																																										
2	'V'	0.1000																																																																																										
3	'Y'	0.0900																																																																																										
4	'5'	0.0800																																																																																										
5	'J'	0.0700																																																																																										
6	'1'	0.0500																																																																																										
7	'2'	0.0400																																																																																										
8	'P'	0.0400																																																																																										
9	'F'	0.0400																																																																																										

Figura 6: A dalt, classificació dels caràcters 'J', 'H' i '2' de 'Joc_de_caracters_deformats'. A baix, classificació dels caràcters 'W', '0' i 'T' de 'Joc_de_caracters_deformats II'. Notem que la suma dels scores de cada caràcter és 1

En general, qualsevol caràcter del joc 'Joc_de_caracters_deformats' obté una classificació molt bona, que acostuma a estar per damunt de 0.5, molt per sobre de la puntuació del següent caràcter classificat com a més probable (llevat d'algunes poques excepcions, com la del 2 que apareix a la taula, que mostra deformacions bastant importants). Els caràcters del joc *Joc_de_caracters_deformats II*, en canvi, no presenten, en general, puntuacions tan elevades. La dife-

rència entre la puntuació dels dos candidats més probables en aquest segon joc de caràcters deformats acostuma a ser d'entre una i dues dècimes. Tot i així, cal a dir que, en la majoria de les execucions, la classificació obtinguda és correcta per a tots els caràcters, en tots dos jocs. També cal a dir que, en alguns caràcters determinats, eliminar alguns dels descriptors que hem presentat anteriorment, incrementa la puntuació *aïllada* d'aquells caràcters, però, a canvi, es confonen alguns altres que amb la configuració actual es classifiquen correctament.

Per acabar, veiem el resultat predit pel nostre classificador amb algunes imatges de matrícules:




 2437 MTZ	 1890 FCK	 1405 BNW
2437 MTZ	1890 FCK	1405 BNW
resultat = 7x1 cell	resultat = 7x1 cell	resultat = 7x1 cell
'2'	'1'	'1'
'4'	'8'	'4'
'3'	'9'	'0'
'7'	'0'	'5'
'M'	'F'	'B'
'T'	'C'	'N'
'Z'	'K'	'W'

Figura 7: Predicció de tres imatges de matrícules. Els dos primers casos sempre es detecten sense cap problema. Cal a dir, però, que és freqüent que el programa confongui el '5' de l'últim cas amb una 'S'. Amb una freqüència molt menor, la 'N' pot confondre's, a vegades, amb una 'X'. Amb tot, els resultats són majoritàriament correctes.