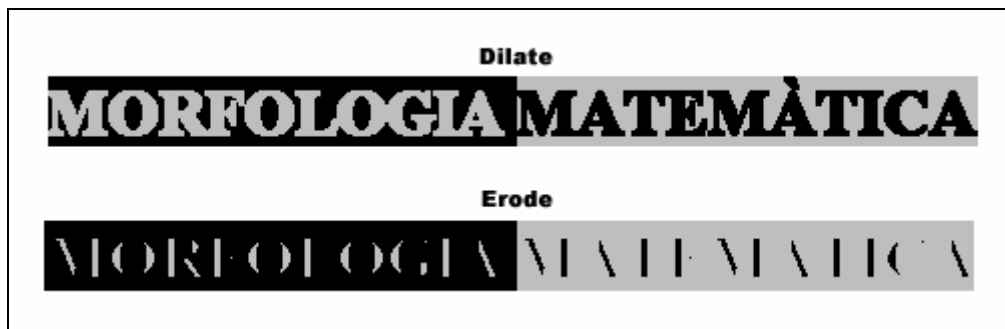


MORFOLOGIA MATEMÀTICA



La Morfologia ... ?. Què és ... ?. Una secta ?.

Un amic.

Morfologia Matemàtica

1. INTRODUCCIÓ.....	4
2. L'ELEMENT ESTRUCTURAL.....	5
3. EROSION I DILATION.....	7
3.1. DILATION	8
3.1.1. Dilatació morfològica per imatges binaries.....	8
3.1.2. Dilatació morfològica per imatges amb nivells de gris	14
3.1.3. Implementació del dilation amb la MAGTRAK	15
3.2. EROSION	17
3.2.1. Erosió morfològica per imatges binaries	17
3.2.2. Erosió morfològica per imatges amb nivells de gris	23
3.2.3. Implementació del erosion amb la MAGTRAK	24
4. OPENING I CLOSING	26
4.1. OPENING	26
4.1.1. Obertura morfològica per imatges binaries	26
4.1.2. Obertura morfològica per imatges amb nivells de gris	28
4.1.3. Implementació del opening amb la MAGTRAK	29
4.1.4. Open 2x2	31
4.2. CLOSING.....	32
4.2.1. Clausura morfològica per imatges binaries	32
4.2.2. Clausura morfològica per imatges amb nivells de gris.....	35
4.2.3. Implementació del closing amb la MAGTRAK	36
5. TRANSFORMADA HIT-AND-MISS	37
5.1. THINNING	39
5.2. THICKENIG	39
6. BIBLIOGRAFIA	41

Morfologia Matemàtica

1. Introducció

MORFOLOGIA: Part de la història natural que tracta de la forma dels sers orgànics i de les modificacions o transformacions que experimenten.

Bàsicament, la morfologia s'encarrega de l'estudi de la forma dels objectes i dels éssers vius. Si aquest estudi el realitzem sota una base matemàtica sobre els objectes que apareixen en una imatge, ens trobarem davant del concepte anomenat MORFOLOGIA MATEMÀTICA.

Sota aquest nom trobem un estudi que intenta unificar les teories de l'anàlisi de la forma dels objectes (skeletonization, reconeixement, contorns, etc.); així com d'altres (eliminació de soroll, etc.); en el camp de la visió per computador.

Els seus inicis cal trobar-los en els treballs de G. Matherson i J. Serra en l'estudi en les ciències de materials i cal ressaltar la seva facilitat d'ús i comprensió tant en l'estudi com en la realització d'algoritmes.

La Morfologia matemàtica aporta un ampli catàleg d'operadors pel processament d'imatges, basant-se únicament en senzills conceptes matemàtics (relacionats amb les operacions de la teoria de conjunts en el cas d'imatges binàries: unió, intersecció, etc.) que són particularment útils per l'anàlisi d'imatges binàries, tot i que es pot ampliar a imatges amb nivells de gris (almenys, els més senzills). Els seus operadors es poden reduir bàsicament a dos: dilatació (Dilation) i erosió (Erosion) (extensions a la vegada de la transformada Hit-and-Miss), tot i que aquests es poden combinar per formar-ne de nous amb resultats molt útils. De forma introductòria es pot dir que la dilatació fa créixer els objectes d'una imatge mentre que l'erosió els fa decreixer.

Prova	Prova Dilate	Prova Erode
--------------	-------------------------------	------------------------------

Els operadors morfològics actuen agafant com a entrada una imatge i un *element estructural*; i els combina mitjançant un conjunt d'operacions matemàtiques (unió, intersecció, ...) per obtenir com a element de sortida una imatge realçada amb les característiques que d'ella vulguem obtenir. Per aconseguir-ho, es passa l'*element* per sobre tots els píxels de la imatge pràcticament igual com ho fa la convolució i s'opera segons l'operació concreta. Els operadors processen els objectes de les imatges d'entrada basant-se en les característiques de la seva forma (d'aquí ve la paraula Morfologia), les quals estan codificades en l'element estructural.

2. L'Element Estructural

L'Element estructural és juntament amb la imatge d'entrada, els elements d'entrada dels operadors morfològics. Aquest amb la seva constitució determina l'efecte de l'operador sobre la imatge.

L'Element estructural (SE) consisteix en una matriu de valors discrets relatius a un valor central que anomenarem origen del SE (S_{xy}).

S_{x-1y-1}	S_{xy-1}	S_{x+1y-1}
S_{x-1y}	S_{xy}	S_{x+1y}
S_{x-1y+1}	S_{xy+1}	S_{x+1y+1}

Aquesta matriu pot ser d'ordre qualsevol, tot i que per garantir que hi hagi un únic valor central, es sol prendre d'ordre $N \times N$ o N és un nombre imparell.

Els elements estructurals només tenen 3 possibles valors per les seves caselles: 0, 1 ó X (també es pot deixar buida la casella per representar aquest valor). En les imatges binàries 0 representa el mateix valor, 1 també, i X representa el valor "No importa", és a dir 0 ó 1. En les imatges en nivells de gris 0 ó X representa no tenir en compte i 1 representa el tenir en compte les caselles alhora de realitzar les diferents operacions que s'hagin de portar a terme. En el cas dels operadors més senzills: erode, dilate, open o close, els SE només estaran formats per 1 i X, tot i que si apareixen 0 se'ls ha de considerar valors X.

Aquest *element estructural* pot ser de qualsevol tamany (depèn del nombre de veïns del píxel que vulguem involucrar en l'operació a realitzar) i quan es porta a terme una operació morfològica, es col·loca sobre cada píxel de la imatge el SE centrat en el seu valor central.

0	1	0
1	1	0
0	1	0

Exemple d'Element Estructural 3x3

El resultat de l'operació sobre la posició d'un píxel es guarda en la imatge resultat en la mateixa posició tractada. El resultat depèn clarament de dos factors: el tamany de l'*element* i l'operació utilitzada.

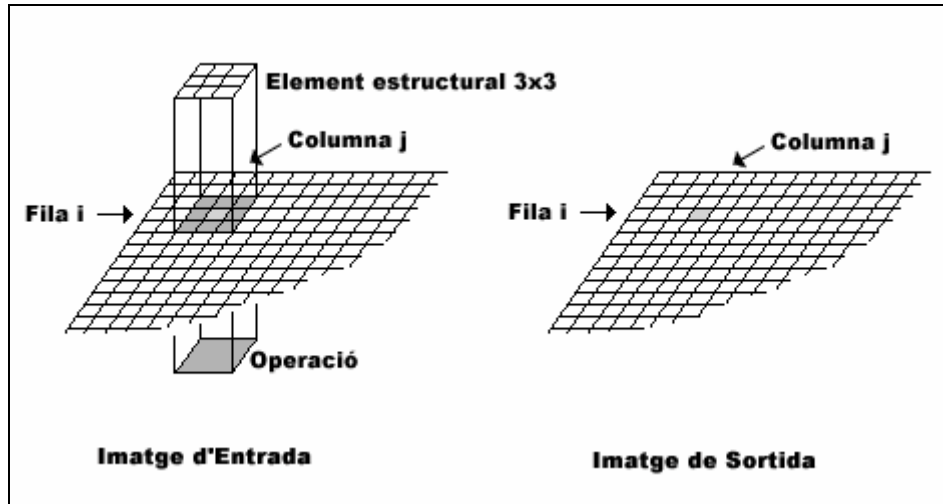


Figura 1: Representació de com funciona la morfologia amb un SE 3x3 sobre una imatge

Tot i que l'element estructural pot tenir qualsevol tamany (com ja s'ha comentat), d'aquí per ara tots els que s'utilitzin seran d'ordre 3x3 per simplificar les explicacions, amb tot; el que s'explicarà; es pot extrapolar a qualsevol tamany.

Encara que, i com s'ha comentat en la introducció, les operacions bàsiques de la morfologia: erosion i dilation són extensions de la transformada Hit-and-Miss, començarem explicant aquest dos perquè són la base dels mòduls que implementarem per fer servir en el processament d'imatges amb la tarja MAGTRAK.

Després s'explicaran els operadors open i close, que s'obtenen directament de les operacions erosion i dilation i que també s'implementaran en mòduls per la MAGTRAK.

Per acabar, parlarem de l'operador genèric: transformada Hit-and-Miss, de la seva relació amb l'erosion i el dilation, i d'alguns nous operadors derivats del Hit-and-Miss que no s'han implementat pel seu caràcter iteratiu i pel fet que solen treballar només amb imatges binàries: el thinning i el thickening.

Hem de tenir en compte que les operacions morfològiques estan definides sobre imatges binàries i en alguns casos sobre imatges en nivells de gris, però les imatges proporcionades per la MAGTRAK són etiquetades (valors de pertinença a objectes). L'objectiu del projecte serà estendre les operacions morfològiques a aquest tipus d'imatges.

3. Erosion i Dilation

Les operacions bàsiques de la morfologia s'anomenen: Erosió (Erosion) i Dilatació (Dilation). Ambdós es troben fortament relacionades (l'erosió per objectes clars equival a la dilatació per objectes foscos i viceversa) i ambdós deuen ser al nom al fet que el dilation provoca sobre els objectes d'una imatge una mena de dilatació i l'erosion una mena d'erosió. Abans d'entrar en matèria definirem una sèrie de conceptes:

Punt o píxel llindar: píxel que es troba dins d'un objecte; però que té almenys un veí que es troba fora.

Imatges Binàries: En les imatges binàries el valor dels píxels només poden prendre dos valors: 0 ó 1 (Cert ó Fals, 0 i 255, píxel d'objecte o de fons, etc.). Aquest tipus d'imatges són molt útils alhora de fer càlculs com ara d'àrees, perímetres, contorns, localitzacions d'objectes, etc., ja que contenen l'informació necessària per simplificar els algorismes i ocupen el mínim espai possible. Es prendran els píxels amb valor 1 com els pertanyent als objectes mentre que els píxels amb valor 0 formaran el background (fons) de la imatge (també es pot considerar a l'inversa, però cal anar amb compte amb les operacions perquè llavors també donaran resultats inversos).

Imatges en nivells de gris: En les imatges en nivells de gris, el valor dels píxels només poden prendre els valors que es troben en el rang [0..255] que representen valors de lluminància.

Imatges etiquetades amb N bits: Aquestes són les imatges que resulten del procés de segmentació que porta a terme la tarja MAGTRAK. Ara el valor dels píxels de la imatge representen la pertinença a un determinat objecte. Aquestes imatges tant es poden considerar com imatges en nivells de gris (pel fet que els seus píxels poden prendre valors diferents de 0 ó 1), com es poden considerar imatges binàries (l'etiqueta 00..0 (tot zeros) representa el 0 i la resta (píxels d'objectes) representen 1). Les considerarem d'una manera o l'altre segons les ens convingui alhora d'implementar un operador determinat.

Farem servir la següent notació per les operacions amb conjunts:

A	La imatge
A^c	Complementari de la Imatge
$A \cup B$	Unió de les imatges A i B
$A \cap B$	Intersecció de les imatges A i B

En un principi només tractarem imatges binàries, i després ja es parlarà de com estendre les operacions amb imatges en nivells de gris, per acabar triant les implementacions per les imatges etiquetades.

Anomenarem B la imatge binària i S l'element estructural (tots dos elements bidimensionals). Anomenarem S_{xy} el centre de l'element estructural.

3.1. Dilation

3.1.1. Dilatació morfològica per imatges binaries

Denotarem l'operació dilatació de la següent manera:

$A \oplus B$ on A representa la imatge i B l'element estructural.

Quan apliquem l'operació $A \oplus B$, la imatge es veurà desplaçada en l'orientació marcada pels vectors de desplaçament formats pel centre del SE i els 1 que es puguin trobar en ell (vectors t).

$$A_t = \{c \mid c = a + t, \forall a \in A\}$$

Imatge A desplaçada pel vector de desplaçament t

Quan el SE defineix més d'un desplaçament, aquest es realitzen per separat i el resultat s'obté fent l'operació Unió entre les diferents imatges desplaçades.

$$A \oplus B = \{a \mid a + b, a \in A, b \in B\} = \bigcup_{t \in B} A_t$$

Operació dilation de la Imatge A amb el SE B

Exemples:

1.- L'operació identitat no canvia la imatge: no hi ha desplaçaments definits l'únic 1 no defineix cap desplaçament.

SE 3x3

0	0	0
0	1	0
0	0	0

IMATGE ORIGINAL								IMATGE DILATADA							
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0
0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0
0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

2.- Desplaçament a l'esquerra. L'únic 1 defineix un desplaçament de la imatge cap a l'esquerra.

SE 3x3

0	0	0
1	0	0
0	0	0

IMATGE ORIGINAL								IMATGE DILATADA							
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0
0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0
0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

3.- Si combinem la 1 i la 2 obtindrem una ampliació de l'objecte cap a l'esquerra, donat que unirem la imatge original amb ella desplaçada; produint aquest efecte. Si volem garantir que tots els píxels de la imatge original es trobin en la imatge dilatada haurem de marcar el punt central del SE amb el valor 1 per produir un desplaçament nul.

SE 3x3

0	0	0
1	1	0
0	0	0

MATGE ORIGINAL								IMATGE DILATADA							
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0
0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0
0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

4.- Una ampliació de l'objecte en totes les direccions l'obtindrem utilitzant un SE amb tots els seus valors a 1.

SE 3x3

1	1	1
1	1	1
1	1	1

IMATGE ORIGINAL							
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	1	1	0	0	0
0	0	1	1	1	0	0	0
0	0	1	1	1	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0

IMATGE DILATADA							
0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	1	1	1	1	0	0
0	1	1	1	1	1	0	0
0	1	1	1	1	1	0	0
0	1	1	1	1	1	0	0
0	1	1	1	1	1	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0

Aquest exemple és molt important perquè com s'observa provoca una ampliació de l'objecte en totes les direccions possibles (creixement isotròpic). Aquesta és el SE que implementarem per l'operació dilation amb la tarja MAGTRAK per aprofitar aquest creixement dels objectes.

El resultat de la dilatació sobre una imatge binària és la unió de totes les imatges resultants pels desplaçaments provocats pels vectors d'orientació definits en el SE entre el seu centre i els veïns que tenen el valor 1. Aquesta definició es pot interpretar d'una altra manera:

Quan centrem el SE sobre la posició d'un píxel de la imatge, estem fent partícipes de la unió de valors binaris en aquella posició del valor del píxel i el valor d'aquells veïns que es troben en les posicions respecte l'origen del SE marcades pel vector d'orientació format pel centre del SE i els 1 dels seus veïns però en sentit invers, que són els píxels que quan es desplacin les diferents imatges resultants, aniran a parar a aquella determinada posició. O d'una altra manera, el SE pel dilation defineix el veïnatge invers d'un píxel alhora de realitzar l'operació entre aquest i els seus veïns: en aquest cas, la unió dels píxels.

Una definició no matemàtica però més senzilla ens diu que a la imatge dilatada es canvien els píxels amb valor 1 de la imatge original pels SE centrats en aquella posició (i fent la unió de tots els píxels).

Però perquè el SE del dilation defineix el veïnatge invers ?

Amb un exemple s'explica molt fàcilment:

Si apliquem el següent SE:

0	1	0
0	1	0
0	0	0

Sobre la imatge:

0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	1	1	0	0
0	0	1	1	1	0	0
0	0	1	1	1	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0

El resultat és:

0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	1	1	0	0
0	0	1	1	1	0	0
0	0	1	1	1	0	0
0	0	1	1	1	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0

Que és la unió de les imatges:

0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	1	1	0	0
0	0	1	1	1	0	0
0	0	1	1	1	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0

0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	1	1	0	0
0	0	1	1	1	0	0
0	0	1	1	1	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0

el bit:

0	1	0
0	0	0
0	0	0

Provoca que la imatge és shifti cap a dalt, és a dir, provoca que tots els píxels pugin una posició cap a dalt, i per tant, els píxels de la nova imatge prenen el valor dels píxels que es trobaven avall en la imatge original. Alhora de fer la unió en un determinat píxel s'operen els píxels que ocupen la mateixa posició en les diferents imatges i com podem comprovar en aquest cas mirant l'exemple, aquests són els píxels originals i els píxels que es troben a sota dels píxels originals que són els definits inversament en el SE i la resta no es tenen en compte.

Lavors, que és el que passa quan passem el SE (que a partir d'ara anomenarem: complet) per tots els píxels de la imatge ?

1	1	1
1	1	1
1	1	1

Doncs que en la unió fem participes per cadascun d'ells, el píxel i tots els seus veïns, per tant, si un píxel val o té un veí valor amb 1, el píxel en la imatge resultant valdrà 1, i sinó (els 9 píxels valen 0), valdrà 0. Cada píxel dels objectes en la imatge original (amb valor 1) provocarà un quadrat 3x3 d'1ns en la imatge dilatada (tots els seus veïns)

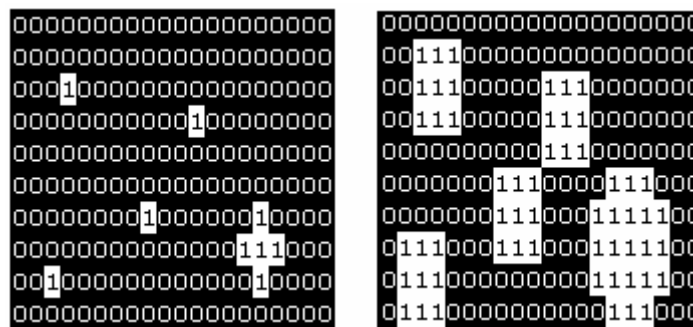


Figura 2: Exemple de dilation amb una imatge binària i SE complet

Els píxels dels objectes que valen 1, continuaran valent 1, però lo més important és que els píxels del fons que es troben en contacte amb píxels llindars aniran a formar part de l'objecte provocant que aquest creixi en totes les direccions.

Quina utilitat té el dilation ?

- Fa créixer els objectes d'una imatge. Pot ser que per una determinada aplicació resulti útil fer créixer els objectes de la imatge donats que aquests en la captura han resultat ser massa petits per la seva localització (veure Figura 2: Exemple de dilation amb una imatge binària i SE complet).
- Emplena forats. Els forats típics produïts pel soroll impulsional "Pepper" que es donen en l'interior dels objectes, es veuran reduïts o desapareixeran. El dilation és un filtre que elimina soroll impulsional "Pepper".

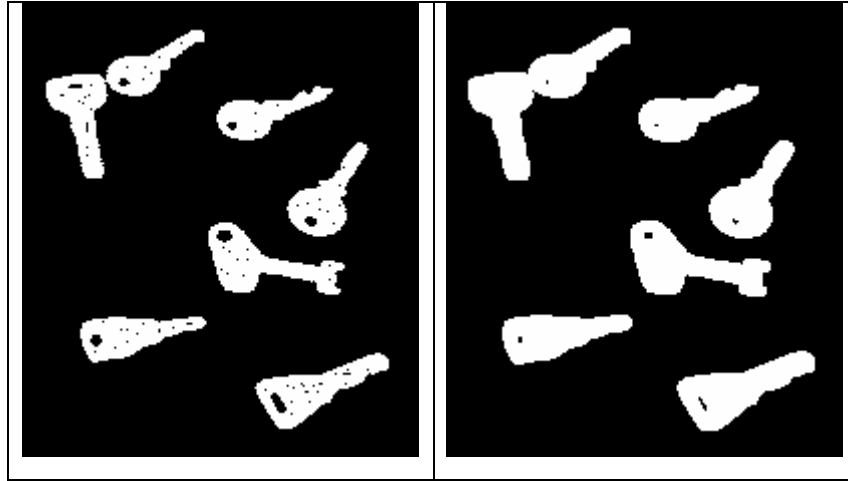


Figura 3: Imatge amb soroll "Pepper" i imatge sense soroll mitjançant l'aplicació d'un "dilate"

Com es pot veure el soroll ha desaparegut, i els objectes han crescut.

El dilation també aporta inconvenients:

- Amplifica molt el soroll impulsional "Salt". Aquest soroll que provoca que apareixen píxels amb valor 1 en diferents punts del fons de la imatge, es veurà molt augmentat, de la mateixa manera que augmenten els píxels dels objectes.

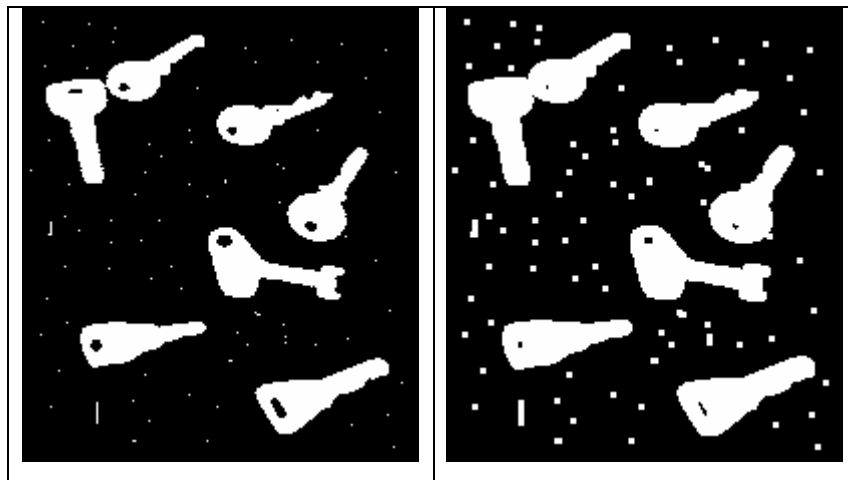


Figura 4: Imatge amb soroll "Salt" i imatge amb soroll amplificat provocat per l'aplicació d'un "dilate"

La dilatació és l'operació dual de l'erosió: dilatar els píxels dels objectes equival a erosionar els píxels del fons de la imatge.

El SE 3x3 complet és probablement l'element estructural més comú usat en les operacions de dilatació, però es poden utilitzar d'altres diferents en quant a tamany i forma (la que formen els valors 1). Un SE major provoca efectes dilatoris majors, tot i que normalment es poden aconseguir efectes molt similars usant repetidament dilatacions amb SE més petits però amb forma similar. Amb SE grans normalment s'utilitzen forma de disc.

La dilatació també es pot fer servir per la detecció de contorns si a la imatge dilatada li substraïem la imatge original, ja que només apareixeran aquells nous píxels produïts pel dilation, i com ja hem comprovat, són els píxels llindar que es troben en contacte amb els contorns dels objectes.

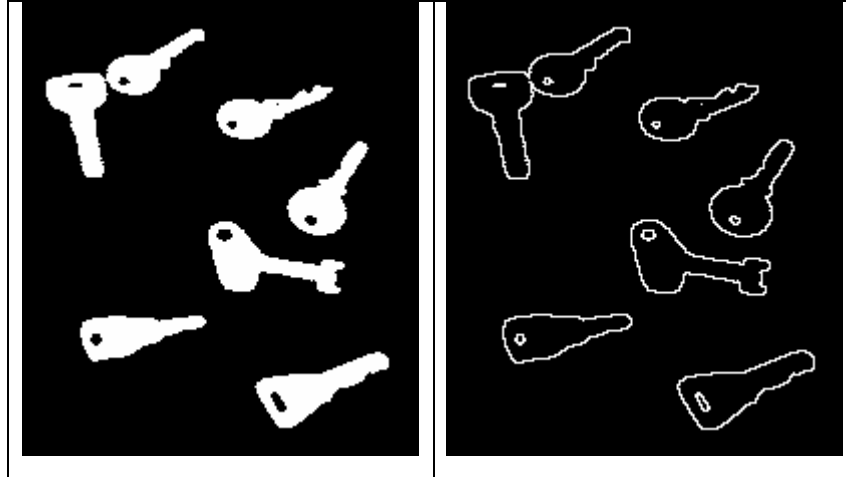


Figura 5: Imatge original i imatge amb només els contorns provocada per l'aplicació d'un "dilate" restat de l'imatge original

3.1.2. Dilatació morfològica per imatges amb nivells de gris

A l'extendre la morfologia matemàtica d'imatges binàries a imatges amb nivells de gris, s'han de reemplaçar les operacions lògiques per operacions aritmètiques: en aquest cas la unió pel màxim.

D'aquesta manera es pot considerar les imatges binàries com imatges amb 2 únics nivells de gris (p.e: 0 i 255)

Es clar doncs, que si el dilate dóna prioritat als píxels amb valor d'intensitat lumínica majors, l'efecte serà aclarir la imatge. Zones fosques de la imatge (que poden ser produïdes per soroll "Pepper") tendeixen a desaparèixer, així com els forats de dins dels objectes també.



Figura 6: Imatge original en nivells de gris abans i després de fer el "dilation"

En l'exemple ens podem fixar com els forats de la boca i del nas del nen han disminuït molt el seu tamany.

L'efecte és molt més contundent en aquells llocs on la intensitat de la llum canvia bruscament, mentre que a zones força uniformes gairebé no es nota.

3.1.3. Implementació del dilation amb la MAGTRAK

El mòdul **CONVOLUCIO 4BITS** implementat a la MAGTRAK proporciona a cada clock de rellotge un píxel (etiqueta) i els seus 8 veïns, per lo que ja tenim implementat el SE 3x3 complet. Llavors, el problema és el següent: Com hem de tractar les imatges etiquetades, com si fossin binàries o com si fossin en nivells de gris ?

La resposta és: en nivells de gris.

Si les implementéssim com si fossin binàries, el gran problema seria decidir en un veïnatge 3x3 quina etiquetar triar si més d'una etiqueta no pertanyent al fons de la imatge (no etiquetada amb 0000) diferents entre elles, apareix en el veïnatge 3x3 d'una etiqueta.

Si això no pot passar (només tenim un objecte o en el veïnatge sempre apareix un únic valor d'etiqueta diferent de 0000) podríem aplicar el dilation per imatges binàries (la implementació seria tan senzilla com detectar etiquetes diferents de 0000: si se'n troba almenys 1, la sortida del mòdul és aquella etiqueta, sinó 0000).

Però per curar-nos en salut, hem preferit implementar el dilation (o dilate) per nivells de gris, donat que funciona en ambdós casos.

Aquí se'ns presenta un problema: la solució que hem triat tria l'etiqueta de valor màxim. En les imatges en nivells de gris es justificava aquest fet per donar prioritat als píxels més clars en

front dels píxels més foscos, però les etiquetes no són valors de lluminància sinó de pertinença a objectes.

Està clar que etiquetes amb valors majors és dilataran (creixeran els objectes als quals pertanyen) molt més que etiquetes menors (si es troben en veïnatges comuns). Llavors podrem prendre 2 consideracions:

- Etiquetem els objectes en funció del valor que prendrien si la imatge fos en nivells de gris (els objectes més clars els etiquetem amb etiquetes majors i així decreixentment), o bé ens ho plantejem d'una manera més interessant:
- Dilatació amb prioritat: Aquell objecte que volem amb més prioritat que creixi en la imatge (pot ser que es segmenta pitjor) es segmenta amb l'etiqueta major (i pensant en com etiqueten els algoritmes de segmentació: es segmenta en últim lloc) i així successivament.

D'aquesta manera, si el mòdul de dilation pren l'etiqueta de major valor del veïnatge 3x3 d'una etiqueta, implementarem el dilation pel SE 3x3 complet:

1	1	1
1	1	1
1	1	1

Però i si volguéssim utilitzar una altre SE 3x3 (no complet) ??

La solució és connectar a massa les entrades del mòdul que no tinguin un 1 a la casella inversa corresponent del SE.

Perquè a massa ??

Si els connectem a massa (0000), no afectaran el càlcul del màxim.

Perquè la casella inversa, perquè com hem vist, els 1 en el SE pel dilate provoquen desplaçaments inversos (es tenen en compte els veïns que es troben en la orientació inversa).

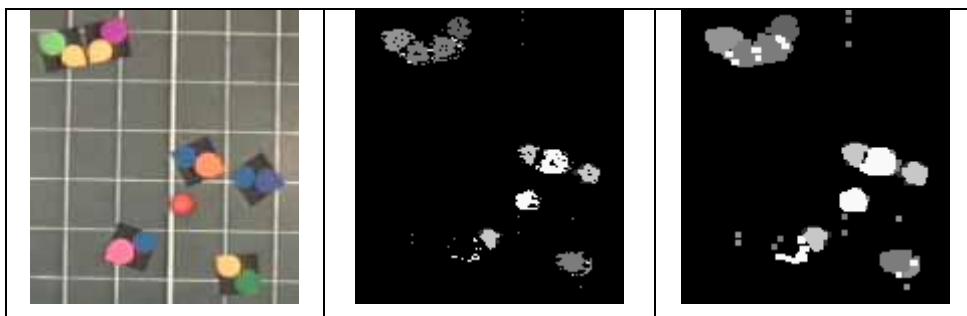


Figura 7: a) Imatge dels Robots futbolistes

b) Segmentació dels colors dels Robots futbolistes

c) Efecte del "dilation" sobre la imatge etiquetada

En la imatge B es pot veure com apareix molt de soroll "Salt" que queda molt marcat per l'efecte del "dilation" en la imatge c. El soroll "Pepper" en l'interior dels objectes desapareix completament.

3.2. Erosion

3.2.1. Erosió morfològica per imatges binàries

Denotarem l'operació erosió de la següent manera:

$A \ominus B$ on A representa la imatge i B l'element estructural.

Quan apliquem l'operació $A \ominus B$, la imatge es veurà desplaçada en l'orientació marcada pels vectors de desplaçament formats pel centre del SE i els 1 que es puguin trobar en ell, però en sentit invers (vectors t).

$$A_t = \{c \mid c = a + t, \forall a \in A\}$$

Imatge A desplaçada pel vector de desplaçament t

Quan el SE defineix més d'un desplaçament, aquest es realitzen per separat i el resultat s'obté fent l'operació la intersecció entre les diferents imatges desplaçades.

$$A \ominus B = \{x \mid x + b \in A, \forall b \in B\} = \bigcap_{t \in B} A_{-t}$$

Operació erosió de la Imatge A amb el SE B

Exemples:

1.- L'operació identitat no canvia la imatge: no hi ha desplaçaments definits l'únic 1 no defineix cap desplaçament.

SE 3x3

0	0	0
0	1	0
0	0	0

IMATGE ORIGINAL

0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	1	1	0	0
0	0	1	1	1	0	0
0	0	1	1	1	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0

IMATGE EROSIONADA

0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	1	1	0	0
0	0	1	1	1	0	0
0	0	1	1	1	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0

2.- Desplaçament a la dreta. L'únic 1 defineix un desplaçament de la imatge cap a la dreta (en sentit invers).

SE 3x3

0	0	0
1	0	0
0	0	0

IMATGE ORIGINAL

0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	1	1	0	0
0	0	1	1	1	0	0
0	0	1	1	1	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0

IMATGE EROSIONADA

0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	1	1	0
0	0	0	1	1	1	0
0	0	0	1	1	1	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0

3.- Si combinem la 1 i la 2 obtindrem una reducció de la part esquerra de l'objecte, donat que farem la intersecció entre la imatge original amb ella desplaçada; produint aquest efecte. Si volem garantir que tots els píxels de la imatge original es tinguin en compte en la intersecció haurem de marcar el punt central del SE amb el valor 1 per produir un desplaçament nul.

SE 3x3

0	0	0
1	1	0
0	0	0

IMATGE ORIGINAL

0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	1	1	0	0
0	0	1	1	1	0	0
0	0	1	1	1	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0

IMATGE EROSIONADA

0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	1	0	0
0	0	0	1	1	0	0
0	0	0	1	1	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0

4.- Una reducció de l'objecte en totes les direccions l'obtindrem utilitzant un SE amb tots els seus valors a 1.

SE 3x3

1	1	1
1	1	1
1	1	1

IMATGE ORIGINAL								IMATGE EROSIONADA							
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Aquest exemple és molt important perquè com s'observa provoca una reducció de l'objecte en totes les direccions possibles (reducció isotròpica). Aquesta és el SE que implementarem per l'operació erosion amb la tarja MAGTRAK per aprofitar aquesta reducció dels objectes.

El resultat de l'erosió sobre una imatge binària és la intersecció de totes les imatges resultants pels desplaçaments provocats pels vectors d'orientació definits en el SE entre el seu centre i els veïns que tenen el valor 1, en sentit invers. Aquesta definició es pot interpretar d'una altra manera:

Quan centrem el SE sobre la posició d'un píxel de la imatge, estem fent participes de la intersecció de valors binaris en aquella posició del valor del píxel i el valor d'aquells veïns que es troben en les posicions respecte l'origen del SE marcades pel vector d'orientació format pel centre del SE i els 1 dels seus veïns, que són els píxels que quan es desplacin les diferents imatges resultants, aniran a parar a aquella determinada posició. O d'una altra manera, el SE pel erosion defineix el veïnatge d'un píxel alhora de realitzar l'operació entre aquest i els seus veïns: en aquest cas, la intersecció dels píxels.

Una definició no matemàtica però més senzilla ens diu que a la imatge erosionada es marquen amb 1 els veïnatges que inclouen completament els 1 del SE, centrat en aquella posició.

Però perquè el SE del erosion no defineix el veïnatge invers, com passava al dilation?

Amb un exemple s'explica molt fàcilment:

Si apliquem el següent SE:

0	1	0
0	1	0
0	0	0

Sobre la imatge:

0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	1	1	0	0
0	0	1	1	1	0	0
0	0	1	1	1	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0

El resultat és:

0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	1	1	0	0
0	0	1	1	1	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0

Que és la intersecció de les imatges:

0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	1	1	0	0
0	0	1	1	1	0	0
0	0	1	1	1	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0

0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	1	1	0	0
0	0	1	1	1	0	0
0	0	1	1	1	0	0
0	0	0	0	0	0	0

el bit:

0	1	0
0	0	0
0	0	0

Provoca que la imatge és shifti cap a baix, és a dir, provoca que tots els píxels baixin una posició cap a baix, i per tant, els píxels de la nova imatge prenen el valor dels píxels que es trobaven a dalt en la imatge original. Alhora de fer la intersecció en un determinat píxel s'operen els píxels que ocupen la mateixa posició en les diferents imatges i com podem comprovar en aquest cas mirant l'exemple, aquests són els píxels

originals i els píxels que es troben a dalt dels píxels originals que són els definits en el SE i la resta no es tenen en compte.

Llavors, que és el que passa quan passem el SE (que a partir d'ara anomenarem: complet) per tots els píxels de la imatge ?

1	1	1
1	1	1
1	1	1

Doncs que en la intersecció fem participes per cadascun d'ells, el píxel i tots els seus veïns, per tant, si un píxel val o té un veí amb valor 0, el píxel en la imatge resultant valdrà 0, i sinó (els 9 píxels valen 1), valdrà 1. Cada veïnatge de 3x3 píxels amb valor 1 dels objectes en la imatge original provocarà un 1 en la imatge erosionada i la resta de la imatge quedarà a 0.

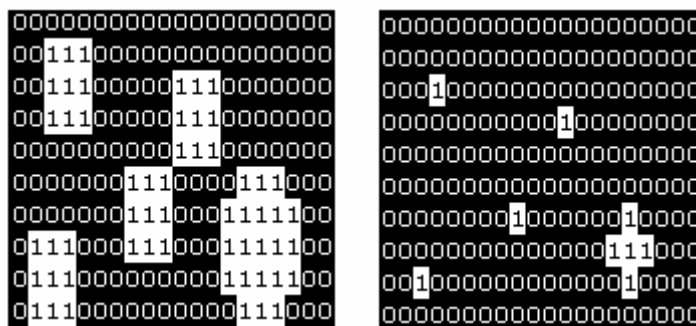


Figura 8 Exemple de erosion amb una imatge binària i SE complet

Els píxels centrals dels objectes que formen quadrats 3x3 d'1ns, continuaran valent 1, però lo més important és que els píxels que es troben al voltant d'aquests o que no arriben a formar aquests quadrats desapareixeran.

Quina utilitat té el erosion ?

- Bàsicament, l'eliminació del soroll impulsional "Salt". Aquest soroll que provoca que apareixen píxels amb valor 1 en diferents punts del fons de la imatge.

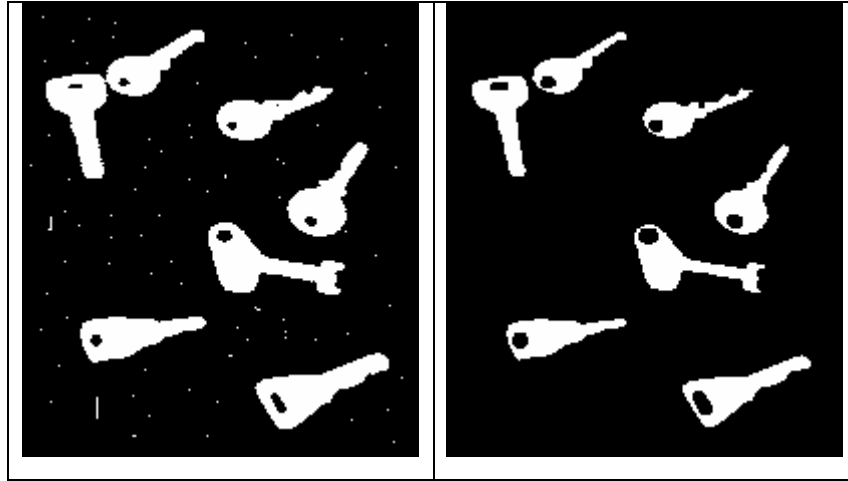


Figura 9: Imatge amb soroll "Salt" i imatge sense soroll mitjançant l'aplicació d'un "erode"

Com es pot veure el soroll ha desaparegut, i els objectes han reduït el seu tamany.

El erosion també aporta inconvenients:

- Engrandeix els forats. Els forats típics produïts pel soroll impulsional "Pepper" o els problema en la segmentació que es donen en l'interior dels objectes, es veuran molt amplificats, amb lo que es reduirà molt la superfície interior dels objectes.



Figura 10: Imatge amb soroll "Pepper" i imatge amb soroll amplificat provocat per l'aplicació d'un "erode"

L'erosió és l'operació dual de la dilatació: erosionar els píxels dels objectes equival a dilatar els píxels del fons de la imatge.

El SE 3x3 complet és probablement l'element estructural més comú usat en les operacions d'erosió, però es poden utilitzar d'altres diferents en quant a tamany i forma (la que formen els valors 1). Un SE major provoca efectes erosionadors majors, tot i que normalment es poden aconseguir efectes molt similars usant repetidament erosions amb SE més petits però amb forma similar. Amb SE grans normalment s'utilitzen forma de disc.

L'erosió també es pot fer servir per la detecció de contorns si a la imatge original li substraïem la imatge erosionada, ja que només apareixeran aquells píxels que no es menja l'erosion, i com ja hem comprovat, són els píxels llindars que es troben en contacte amb el fons de la imatge. Aquest filtre per trobar contorns també s'ha implementat en els mòduls pel processament d'imatges de la MAGTRAK. Hem preferit aquest abans que utilitzar el dilation, que també toba contorns, perquè el dilation troba els punts llindars que toquen els contorns mentre que aquest sí que troba els contorns de la imatge. Veure implementació del mòdul CONTORN MM 4BITS en aquest projecte.

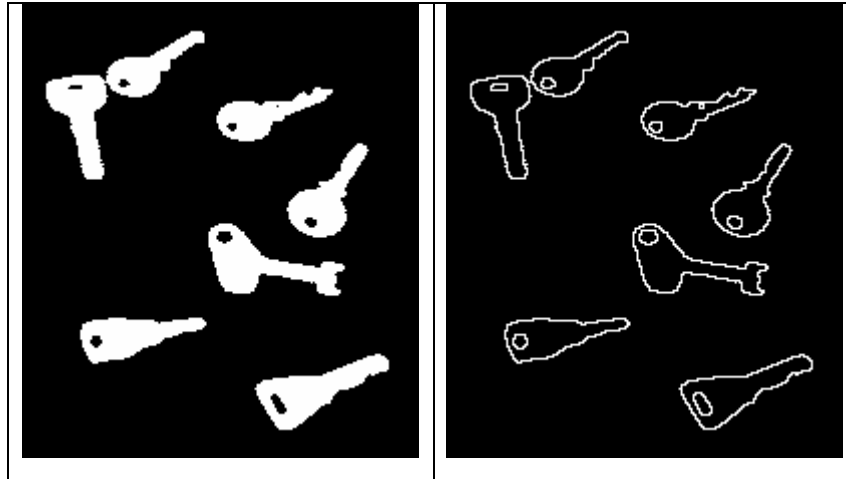


Figura 11: Imatge original i imatge amb només els contorns provocada per l'aplicació d'un "erode" que es resta a l'imatge original

3.2.2. Erosió morfològica per imatges amb nivells de gris

A l'extendre la morfologia matemàtica d'imatges binàries a imatges amb nivells de gris, s'han de reemplaçar les operacions lògiques per operacions aritmètiques: en aquest cas la intersecció pel mínim.

D'aquesta manera es pot considerar les imatges binàries com imatges amb 2 únics nivells de gris (p.e: 0 i 255)

Es clar doncs, que si l'erosion dóna prioritat als píxels amb valor d'intensitat lumínica menors, l'efecte serà enfosquir la imatge. Zones clares de la imatge (que poden ser produïdes per soroll "Salt") tendeixen a desaparèixer.



Figura 12: Imatge original en nivells de gris abans i després de fer el "erosion"

En l'exemple ens podem fixar com els forats de la boca i del nas del nen han augmentat molt el seu tamany.

L'efecte és molt més contundent en aquells llocs on la intensitat de la llum canvia bruscament, mentre que a zones força uniformes gairebé no es nota.

3.2.3. Implementació del erosion amb la MAGTRAK

El mòdul **CONVOLUCIO 4BITS** implementat a la MAGTRAK proporciona a cada clock de rellotge un píxel (etiqueta) i els seus 8 veïns, per lo que ja tenim implementat el SE 3x3 complet. Llavors, el problema és el següent: Com hem de tractar les imatges etiquetades, com si fossin binàries o com si fossin en nivells de gris ?

La resposta és: en nivells de gris.

Si les implementéssim com si fossin binàries, el gran problema seria decidir en un veïnatge 3x3 quina etiquetar triar si més d'una etiqueta no pertanyent al fons de la imatge (no etiquetada amb 0000) diferents entre elles, apareix en el veïnatge 3x3 i no apareix cap etiqueta 0000.

Si això no pot passar (només tenim un objecte o en el veïnatge sempre apareix un únic valor d'etiqueta diferent de 0000 o sempre apareix un valor 0000) podríem aplicar el erosion per imatges binàries (la implementació seria tan senzilla com detectar etiquetes iguals a 0000: si se'n troba almenys 1, la sortida del mòdul és 0000, sinó l'etiqueta d'objecte que es repeteix 9 vegades).

Però per curar-nos en salut, hem preferit implementar el erosion (o erode) per nivells de gris, donat que funciona en ambdós casos.

Aquí se'ns presenta un problema: la solució que hem triat tria l'etiqueta de valor mínim. En les imatges en nivells de gris es justificava aquest fet per donar prioritat als píxels més foscos en

front dels píxels més clars, però les etiquetes no són valors de lluminància sinó de pertinença a objectes.

Està clar que etiquetes amb valors menors s'erosionaran (es reduiran els objectes als quals pertanyen) molt més que etiquetes majors (si es troben en veïnatges comuns). Llavors podrem prendre 2 consideracions:

- Etiquetem els objectes en funció del valor que prendrien si la imatge fos en nivells de gris (els objectes més clars els etiquetem amb etiquetes majors i així decreixentment), o bé ens ho plantegem d'una manera més interessant:
- Erosió amb prioritat: Aquell objecte que volem amb més prioritat que decreixi en la imatge (pot ser que produeixi molt de soroll) es segmenta amb l'etiqueta menor (i pensant en com etiqueten els algoritmes de segmentació: es segmenta en primer lloc) i així successivament.

D'aquesta manera, si el mòdul de erosion pren l'etiqueta de menor valor del veïnatge 3x3 d'una etiqueta, implementarem el erosion pel SE 3x3 complet:

1	1	1
1	1	1
1	1	1

Però i si volguéssim utilitzar una altre SE 3x3 (no complet) ??

La solució és connectar a 1111 (VCC) les entrades del mòdul que no tinguin un 1 a la casella corresponent del SE.

Perquè a VCC ??

Si els connectem a VCC (1111), no afectaran el càlcul del mínim.

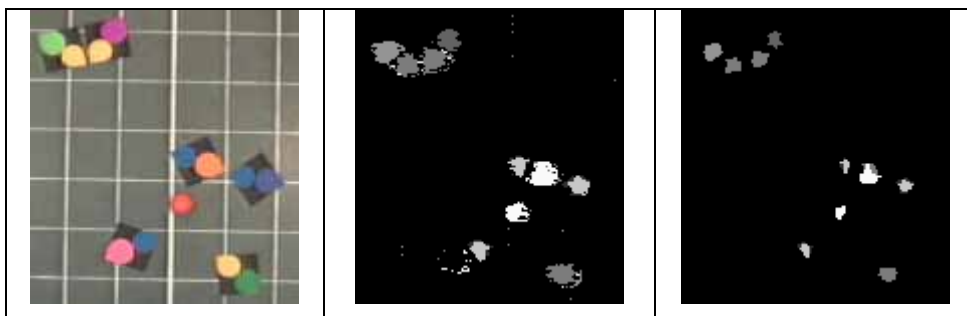


Figura 13: a) Imatge dels Robots futbolistes

b) Segmentació dels colors dels Robots futbolistes

c) Efecte del "erosion" sobre la imatge etiquetada

En la imatge B es pot veure com apareix molt de soroll "Salt" que desapareix completament en la imatge c.

4. Opening i Closing

4.1. Opening

4.1.1. Obertura morfològica per imatges binàries

Denotarem l'operació obertura de la següent manera:

$A \circ B$ on A representa la imatge i B l'element estructural.

Es defineix l'operació Opening com:

$$\underline{A \circ B = (A \ominus B) \oplus B}$$

O sigui, aplicar sobre una imatge una erosió seguida d'una dilatació, realitzades ambdues amb el mateix element estructural.

L'operació s'utilitza per eliminar objectes petits, protuberàncies en la forma dels objectes i connexions entre diferents objectes.

L'efecte d'un 'Opening' és semblant al de l'erosion en el fet que tendeix a fer desaparèixer el soroll que hem anomenat "Salt", però intenta ser menys destructiu amb els píxels dels contorns dels objectes així com no ampliar tant els forats que es troben en ells. L'efecte visual de l'operador és preservar regions d'objecte que tenen una forma similar a la codificada a l'element estructural, o dit d'una manera similar, que poden contenir completament l'element estructural.

Quedem-nos amb aquesta definició perquè més tard la necessitem per explicar un tipus d'OPEN especial, l'OPEN2x2, que s'ha utilitzat en l'aplicació de tracking dels robots futbolistes.

Com hem dit, si a una imatge li apliquem un erosion, ens trobarem que:

- Li traurem el soroll "Salt" i els objectes que resultin massa petits.
- Els objectes quedaran més petits.
- Els forats dels objectes es faran més grans.

Si sobre aquesta imatge fem un dilation, ens trobarem que:

- El soroll "Salt" ja no torna a aparèixer (si aquest en la imatge original era petit)
- Els objectes recuperen força el seu tamany original (si aquests en la imatge original no eren massa petits)

- Els forats dels objectes recuperaran el seu tamany (ningú no és perfecte).

Com ja hem comentat l'efecte de l'opening pot ser fàcilment visualitzat. Vegem-ho en un exemple:

Utilitzarem el següent element estructural 3x3 complet:

```

111
111
111

```

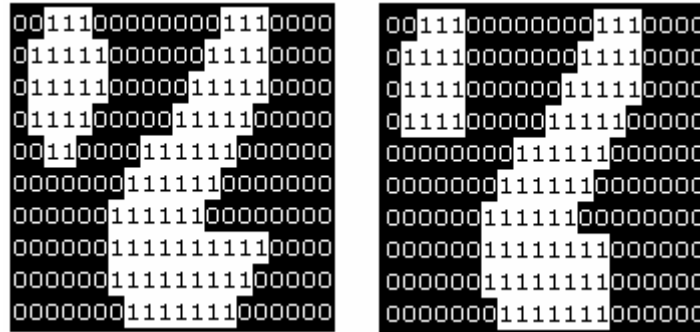


Figura 14 Exemple d'imatge binària abans i després de fer un opening amb un SE complet

La idea és passar l'element estructural per dins de cada regió pertanyent a un objecte en una imatge sense canviar la seva orientació. A la imatge "oberta" resultant tindrem tots aquells píxels de la imatge original pels quals es pot trobar un píxel veí (o ell mateix) que centrat el SE en ell, aquest coincideixi completament. (coincideixin tots els 1 ns). Si ens fixem bé en l'exemple de la imatge "oberta" tots els píxels ho compleixen. Es com si haguéssim copiat l'element estructural sobre determinades zones en una imatge tota de 0s. Però també ens podem fixar que si tots els píxels ho compleixen, si sobre la imatge "tancada" tornem a fer un closing aquesta ha de quedar completament igual, el que és cert.

Aquesta propietat del closing s'anomena Idempotència, i es representa de la següent manera:

$$\underline{A \circ B = (A \circ B) \circ B}$$

Tal i com passa amb l'erosion i el dilation és molt comú utilitzar aquest element estructural 3x3, però no pot passar que l'efecte de passar un SE major es pugui més o menys aproximar passant múltiples vegades un SE menor per la propietat de la idempotència. Llavors el que es fa és realitzar múltiples dilatacions seguides de múltiples erosions amb el SE menor per aconseguir un efecte semblant al major.

Es pot jugar amb aquest nombre de dilatacions i d'erosions i fins que desapareix tot el soroll de la imatge, però com que no es pot saber a priori quantes operacions calen per eliminar-lo (depen de com gran sigui el soroll) és aconsellable no intentar-ho sinó es coneix perfectament com és aquest soroll i com són els objectes, perquè les múltiples operacions poden deformar-los molt.

Quina utilitat té el closing ?

- Bàsicament, l'eliminació del soroll impulsional "Pepper".

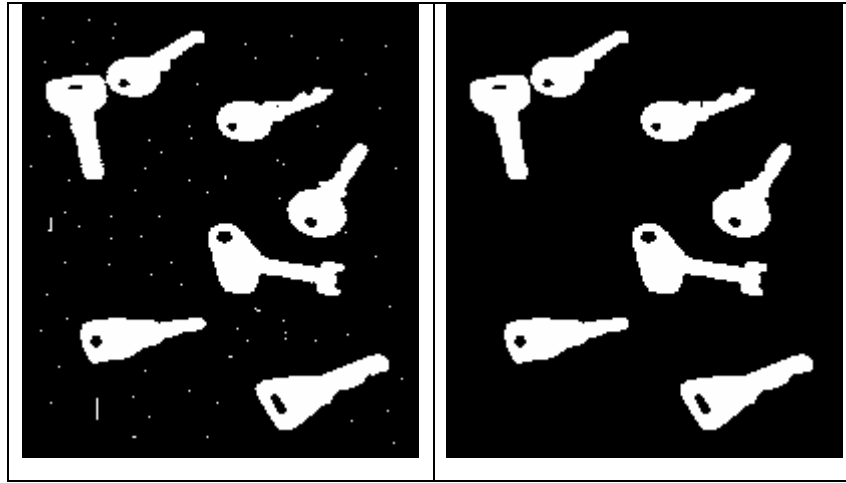


Figura 15: Imatge amb soroll "Salt" i imatge sense soroll mitjançant l'aplicació d'un "opening"

Com es pot veure el soroll ha desaparegut, i els objectes gairebé han recuperat el seu tamany i forma.

El opening no és perfecte (com ja havíem comentat), donat que no pot fer res amb el soroll "Pepper" i fins i tot pot empitjorar-lo:

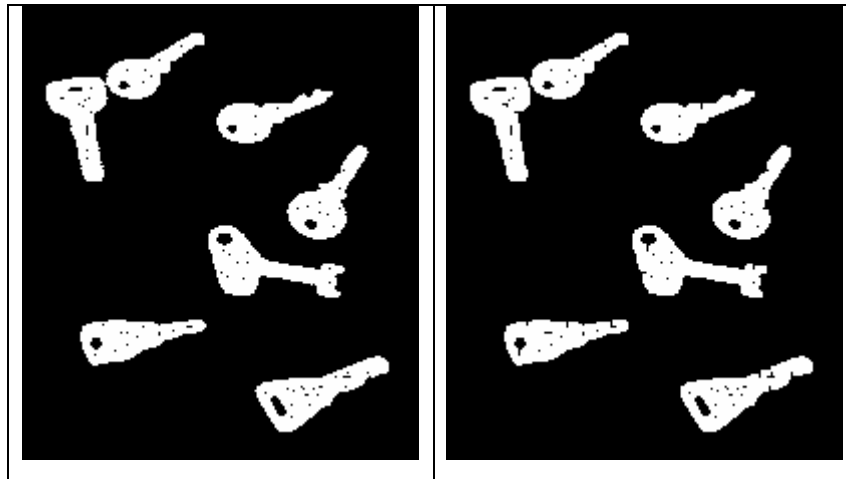


Figura 16: Imatge amb soroll "Pepper" i imatge després de l'aplicació d'un "opening"

En alguns punts es pot veure com l'opening ha realçat el soroll "Pepper".

4.1.2. Obertura morfològica per imatges amb nivells de gris

En aquest cas cal utilitzar l'erosion i el dilation per nivells de gris. L'Opening per nivells de gris pot ser utilitzat per preservar patrons d'intensitat particulars mentre que atenua d'altres. Mirem-ho en un exemple:



Figura 17: Imatge original en nivells de gris abans i després de fer el "opening"

En l'exemple ens podem fixar com els forats de la boca i del nas del nen gairebé conserven el seu tamany original (cosa que no passava a l'erosion i al dilation), però allò important a ressaltar és el fet que zones específiques de la imatge més petites que l'element estructural (ex: la nineta dels ulls) redueixen molt la seva intensitat, mentre que zones més grans han quedat més o menys amb la mateixa intensitat. Fixeu-vos en la pell del nen com s'ha allisat, donat que l'opening tendeix eliminar fluctuacions de les textures.

4.1.3. Implementació del opening amb la MAGTRAK

Perquè la tarja MAGTRAK pugui realitzar en temps real un Opening, ha de realitzar un Dilation just després que realitza l'Erosion. Mirem-ho amb un exemple:

1	2	3	4	5	6
7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24
25	25	27	28	29	30

Figura 18: Imatge de 6x5 píxels

Imaginem per un moment que la tarja MAGTRAK processa imatges de 6x5 píxels com la de la figura. Quan a la tarja arriba l'etiqueta 15 llavors pot calcular el valor de l'erosió per l'etiqueta 15 (com ja s'ha vist en la introducció del projecte). És a dir, quan arriba el píxel 16, ja hem calculat l'eroide del 8. Però no podrem fer el dilate del 8 fins que tots els seus píxels veïns no hagin passat per l'eroide (en aquest punt estem fent el dilate de la imatge (veïnatge) erosionada:

l'Open). El veïnatge 3x3 del píxel 8 format pels píxels 1, 2, 3, 7, 8, 9, 13, 14 i 15, no estarà erosionat fins que no s'erosioni el 15, i aquest càlcul no es podrà realitzar fins que no arribi el 23 (quan arriba el 23 s'ha acabat el càlcul de l'eroide pel veïnatge 8, 9, 10, 14, 15, 16, 20, 21, 22). Els resultats de les erosions es fan entrar en un nou mòdul de convolució (igual que l'altre), de manera que per la segona convolució corren etiquetes erosionades que al aplicar-les el dilate donaran els resultats de l'open, Si ens fixem la imatge resultant quedarà desplaçada 3 píxels en l'eix horitzontal i 2 píxels en l'eix vertical.

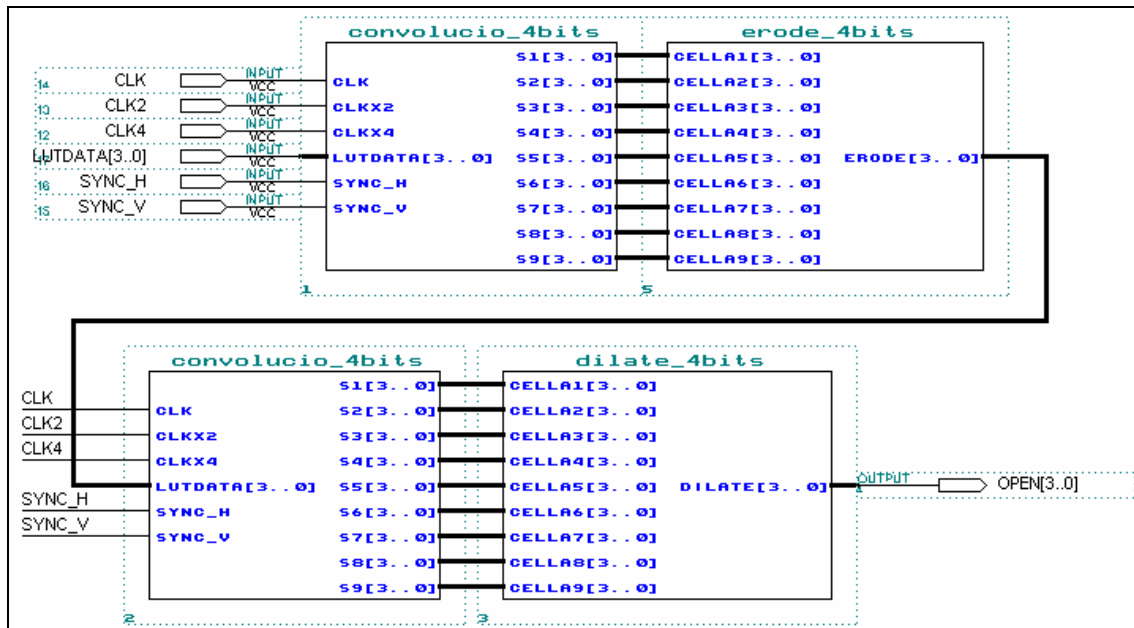


Figura 19: Implementació de l'opening amb la MAGTRAK

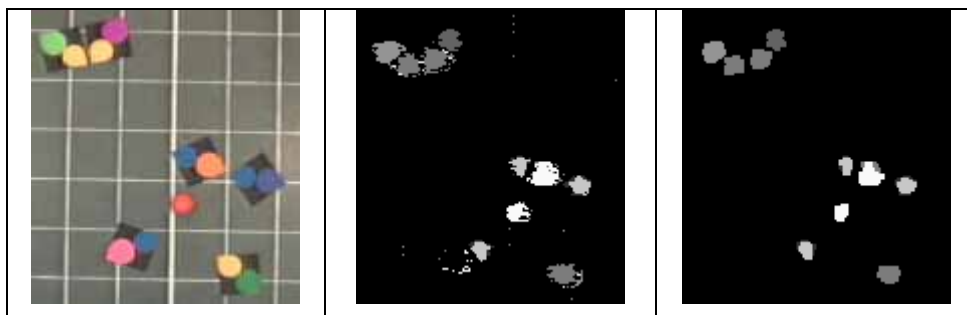


Figura 20 a) Imatge dels Robots futbolistes

b) Segmentació dels colors dels Robots futbolistes

c) Efecte del "opening" sobre la imatge etiquetada

En la imatge B es pot veure com apareix molt de soroll "Salt" que desapareix completament en la imatge C, i com els objectes conserven força el seu tamany.

4.1.4. Open 2x2

Recordem:

L'efecte visual de l'operador Opening és preservar regions d'objecte que tenen una forma similar a la codificada a l'element estructural, o dit d'una manera similar, que poden contenir completament l'element estructural.

És a dir, que l'Opening amb el SE 3x3 complet el que busca són zones del tipus:

1	1	1
1	1	1
1	1	1

Llavors amb un finestra de convolució 3x3 es podrien buscar zones del tipus:

0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0
0	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	0
0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0

És a dir veïnatges 2x2 que contenen completament un SE 2x2 complet. A la imatge "oberta" resultant tindrem tots aquells píxels de la imatge original pels quals es pot trobar un píxel veí (o ell mateix) que centrat el SE en ell, aquest coincideixi completament. (coincideixin tots els 1 ns). Amb una convolució 3x3 podem aconseguir en una passada un Opening 2x2, el que equival a dir, que si tenim una finestra de convolució NxN, podem realitzar un Opening N-1xN-1 en només una passada, sense necessitat de fer 2 convolucions (el que passa amb la 3x3 en la MAGTRAK).

El Open 2x2 es va provar amb èxit en el projecte de tracking dels robots futbolistes on degut al seu petit tamany, el resultat de fer l'Open 3x3 (primer es fa l'eroide) feia desaparèixer tot el soroll però gairebé també feia desaparèixer els robots. Les imatges dels robots futbolistes no són binàries sinó etiquetades amb 3 bits. El que passa és que s'etiqueten els 3 objectes de l'aplicació (pilota, jugador-posició i jugador-orientació) amb etiquetes on només hi apareix un 1 (001, 010, 100) per cada objecte, com si fossin objectes binaris de 3 plans diferents que finalment s'uneixen. Llavors el que es fa és aplicar l'Open2x2 sobre els bits de cada pla de les 9 etiquetes provinents de la convolució 3x3 per separat com si es tractessin d'imatges diferents i llavors s'uneixen els resultats en l'etiqueta de sortida en el pla de bit que li correspon.

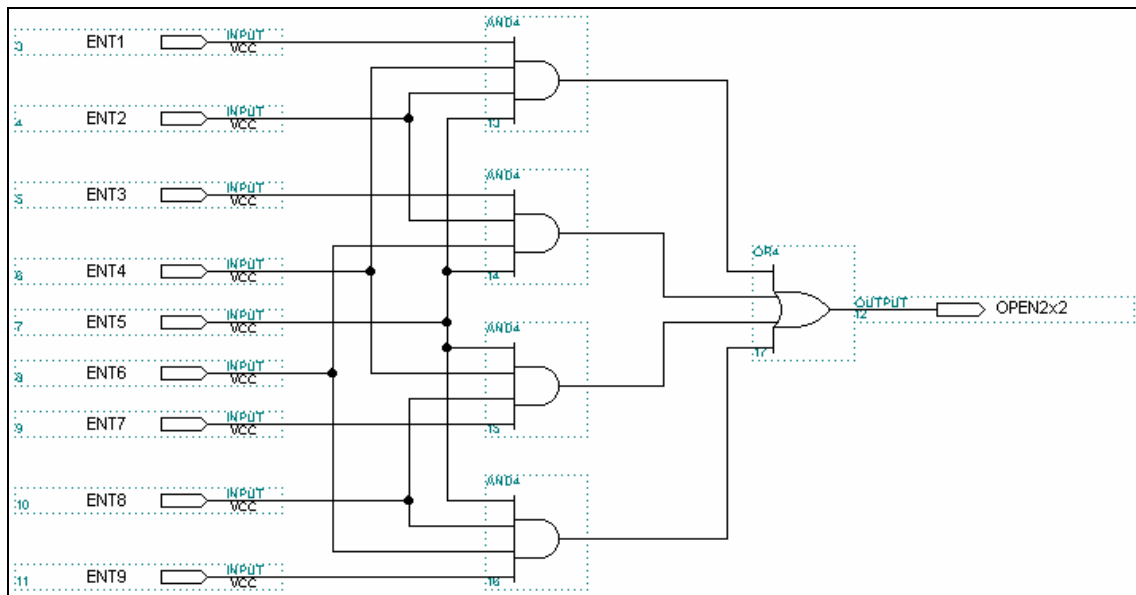


Figura 21: Implementació del mòdul que realitza l'Open2x2 en la tarja MAGTRAK

Cadascuna de les ANDs de 4 entrades correspon a un veïnatge 2x2, que llavors uneixen els seus resultats amb L'OR de 4 entrades per determinar si existeix un veïnatge que contingui completament el SE 2x2 complet.

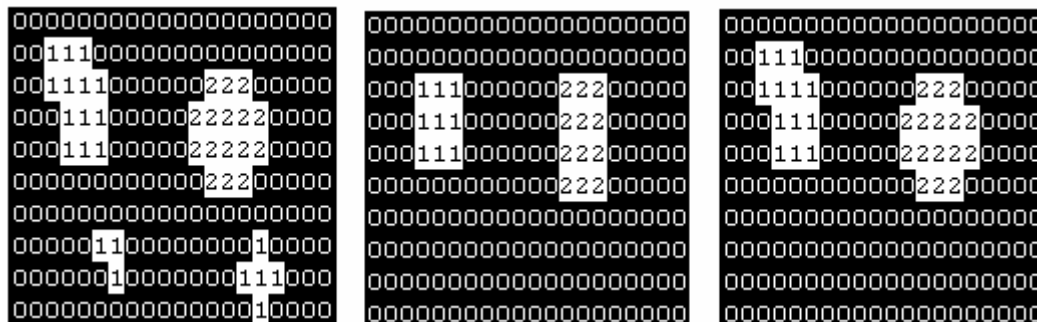


Figura 22: a) Imatge binària

b) Imatge binària després de passar un Opening 3x3

c) Imatge binària després de passar un Opening 2x2

L'Opening és més permissiu amb el tamany dels objectes però això també suposa que ho ha de ser amb el soroll.

4.2. Closing

4.2.1. Clausura morfològica per imatges binaries

Denotarem l'operació clausura de la següent manera:

$A \bullet B$ on A representa la imatge i B l'element estructural.

Es defineix l'operació Closing com:

$$\mathbf{A \bullet B = (A \oplus B) \ominus B}$$

O sigui, aplicar sobre una imatge una dilatació seguida d'una erosió, realitzades ambdues amb el mateix element estructural.

L'operació s'utilitza per eliminar forats de l'interior dels objectes i treure el soroll "Pepper".

L'efecte d'un 'Closing' és semblant al del dilation en el fet que tendeix a fer desaparèixer el soroll que hem anomenat "Pepper" (tapar forats) i fer créixer els objectes, però intenta ser menys destructiu en quant a la forma original dels objectes. L'efecte visual de l'operador és preservar regions del fons de la imatge que tenen una forma similar a la codificada a l'element estructural, o dit d'una manera similar, que poden contenir completament l'element estructural.

Com hem dit, si a una imatge li apliquem un dilation, ens trobarem que:

- Li traurem el soroll "Pepper".
- Els objectes quedaran més grans.
- Els forats dels objectes es faran més petits (si són petits desapareixeran).

Si sobre aquesta imatge fem un erosion, ens trobarem que:

- El soroll "Pepper" ja no torna a aparèixer (si aquest en la imatge original era petit)
- Els objectes recuperen força el seu tamany original
- El soroll "Salt" no desapareix (ningú no és perfecte).

Com ja hem comentat l'efecte del closing pot ser fàcilment visualitzat. Vegem-ho en un exemple:

Utilitzarem el següent element estructural 3x3 complet:

1	1	1
1	1	1
1	1	1

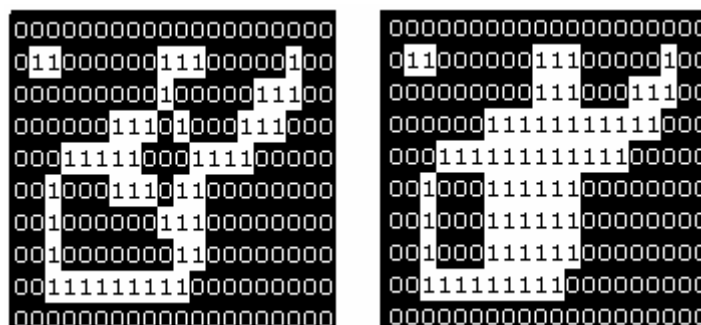


Figura 23: Exemple d'imatge binària abans i després de fer un closing amb un SE complet

La idea és passar l'element estructural pel fons de la imatge sense canviar la seva orientació. A la imatge "tancada" resultant tindrem tots aquells píxels del fons de la imatge original pels quals es pot trobar un píxel veí (o ell mateix) que centrat el SE en ell, aquest coincideixi completament. (coincideixin tots els 1 ns amb 0s). Si ens fixem bé en l'exemple de la imatge "tancada", tots els píxels ho compleixen. Es com haguéssim copiat l'element estructural amb zeros sobre determinades zones en una imatge tota d'1ns. Però també ens podem fixar que si tots els píxels ho compleixen, si sobre la imatge "oberta" tornem a fer un opening aquesta ha de quedar completament igual, el que és cert.

Aquesta propietat de l'opening s'anomena Idempotència, i es representa de la següent manera:

$$\underline{A \bullet B = (A \bullet B) \bullet B}$$

Tal i com passa amb l'erosion i el dilation és molt comú utilitzar aquest element estructural 3x3, però no pot passar que l'efecte de passar un SE major es pugui més o menys aproximar passant múltiples vegades un SE menor per la propietat de la idempotència. Llavors el que es fa és realitzar múltiples erosions seguides de múltiples dilatacions amb el SE menor per aconseguir un efecte semblant al major.

Es pot jugar amb aquest nombre d'erosions i dilatacions fins que desapareix tot el soroll de la imatge, però com que no es pot saber a priori quantes operacions calen per eliminar-lo (depen de com gran sigui el soroll) és aconsellable no intentar-ho sinó es coneix perfectament com és aquest soroll i com són els objectes, perquè les múltiples operacions poden deformar-los molt.

Quina utilitat té el closing ?

- Eliminació del soroll impulsional "Pepper".
- Emplenar els forats de dins els objectes. (p.e: calcular l'àrea d'un objecte)

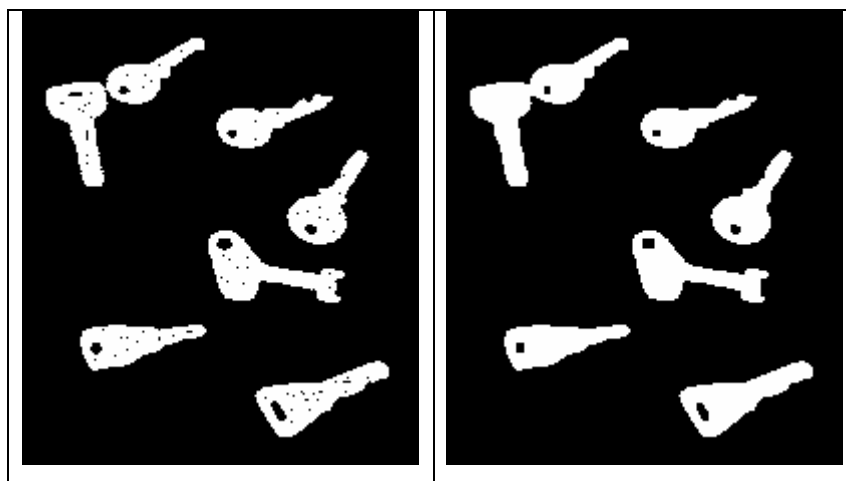


Figura 24: Imatge amb soroll "Pepper" i imatge sense soroll mitjançant l'aplicació d'un "closing"

Com es pot veure el soroll ha desaparegut, i els objectes gairebé han recuperat el seu tamany i forma. També es pot veure que el forat de la clau esquerra superior s'ha tapat.

El closing no és perfecte (com ja havíem comentat), donat que no pot fer res amb el soroll "Salt" i fins i tot pot empitjorar-lo:

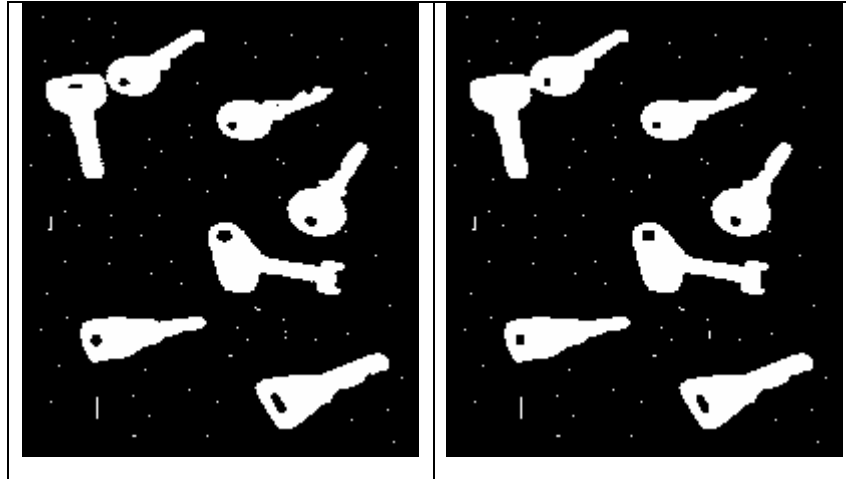


Figura 25: Imatge amb soroll "Salt" i imatge després de l'aplicació d'un "closing"

En alguns punts es pot veure com el closing ha realçat el soroll "Salt". Si els píxels de soroll estan a prop, els uneix.

4.2.2. Clausura morfològica per imatges amb nivells de gris

En aquest cas cal utilitzar el dilation i l'erosion per nivells de gris.



Figura 26: Imatge original en nivells de gris abans i després de fer el "closing"

En l'exemple ens podem fixar com el forat de la boca del nen gairebé conserva el seu tamany original (cosa que no passava a l'erosion i al dilation), però allò important a ressaltar és el fet de veure com el closing connecta les zones clares que abans es trobaven separades per zones fosques.

4.2.3. Implementació del closing amb la MAGTRAK

Perquè la tarja MAGTRAK pugui realitzar en temps real un Closing, ha de realitzar un Erosion just després que realitza el Dilation. Mirem-ho amb un exemple:

1	2	3	4	5	6
7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24
25	25	27	28	29	30

Figura 27: Imatge de 6x5 píxels

Imaginem per un moment que la tarja MAGTRAK processa imatges de 6x5 píxels com la de la figura. Quan a la tarja arriba l'etiqueta 15 llavors pot calcular el valor de la dilatació per l'etiqueta 15 (com ja s'ha vist en la introducció del projecte). És a dir, quan arriba el píxel 16, ja hem calculat el dilate del 8. Però no podem fer l'eroide del 8 fins que tots els seus píxels veïns no hagin passat pel dilate (en aquest punt estem fent l'eroide de la imatge (veïnatge) dilatada: el Close). El veïnatge 3x3 del píxel 8 format pels píxels 1, 2, 3, 7, 8, 9, 13, 14 i 15, no estarà dilatat fins que no es dilati el 15, i aquest càlcul no es podrà realitzar fins que no arribi el 23 (quan arriba el 23 s'ha acabat el càlcul del dilate pel veïnatge 8, 9, 10, 14, 15, 16, 20, 21, 22). Els resultats de les dilatacions es fan entrar en un nou mòdul de convolució (igual que l'altre), de manera que per la segona convolució corren etiquetes dilatades que al aplicar-les el eroide donaran els resultats del close. Si ens fixem la imatge resultant quedarà desplaçada 3 píxels en l'eix horitzontal i 2 píxels en l'eix vertical.

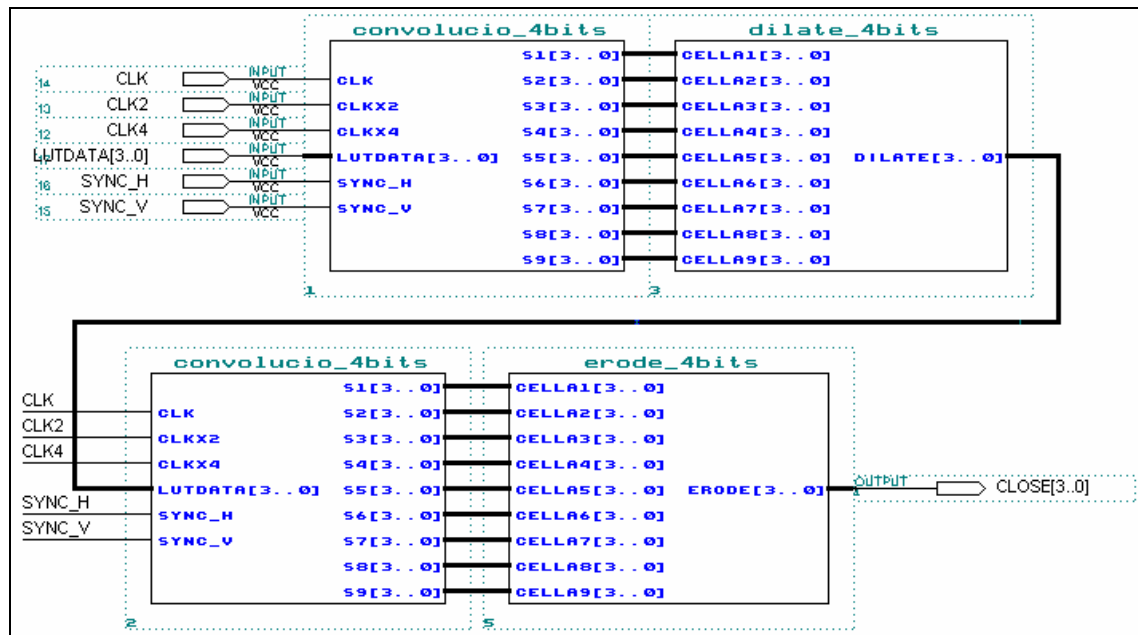


Figura 28: Implementació del closing amb la MAGTRAK

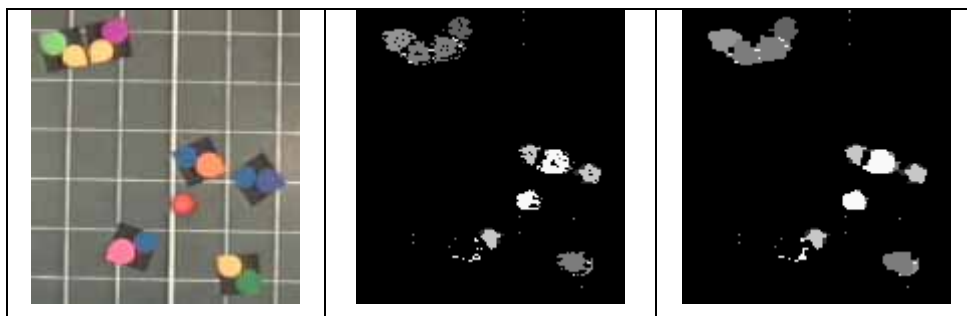


Figura 29 a) Imatge dels Robots futbolistes

b) Segmentació dels colors dels Robots futbolistes

c) Efecte del "closing" sobre la imatge etiquetada

En la imatge B es pot veure com apareix molt de soroll "Salt" i "Pepper". El "Pepper" desapareix completament en la imatge C, i com els objectes conserven força el seu tamany, però el "Salt" encara es conserva.

5. Transformada Hit-and-Miss

La transformada Hit-and-Miss és l'operador morfològic general, donat que a partir d'ell es poden derivar la resta d'operador morfològics. En aquesta explicació només l'utilitzem en imatges binàries perquè no s'ha trobat utilitat en l'extensió a imatges en nivells de gris. Aquest operador s'utilitza per trobar patrons particulars de píxels dels objectes i del fons d'una imatge. Igual que

la resta d'operadors morfològics pren d'entrada una imatge (que en aquest haurà d'ésser binària) i un element estructural i treu de sortida una imatge binària nova.

L'element estructural utilitzat en el Hit-and-Miss pot prendre qualsevol dels valor 0 (píxel del fons), 1 (píxel d'objecte) ó X (0 ó 1). Veiem un exemple:

X	1	X
0	1	1
0	0	X

El Hit-and-Miss funciona igual que la resta d'operadors morfològics, és a dir, es trasllada l'origen del seu element estructural per tots els píxels de la imatge i es comparen els veïnatsges de cadascun amb ell. Si els 0 i els 1 de l'element estructural exactament corresponen amb els 0 i els 1 del veïnatge (incloent el central), llavors el píxel corresponent en la imatge de sortida pren el valor 1, sinó, pren el valor 0. Fixeu-vos llavors que l'element estructural de l'exemple de a dalt ens serveix per trobar les cantonades convexes de l'esquerra dels objectes. Si volguéssim trobar totes les cantonades de l'objecte hauríem de fer córrer en paral·lel la transformada Hit-and-Miss amb els 4 elements estructurals que troben totes les cantonades convexes de la imatge:

X	1	X	X	1	X	X	0	0	0	0	0	X
0	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1
0	0	X	X	0	0	X	1	X	X	1	X	X

Figura 30: Elements estructurals per trbal les cantonades convexes d'una imatge binària

Hem d'anar fent la OR dels 4 resultats (un per cada SE) per trobar en la imatge totes les cantonades convexes:

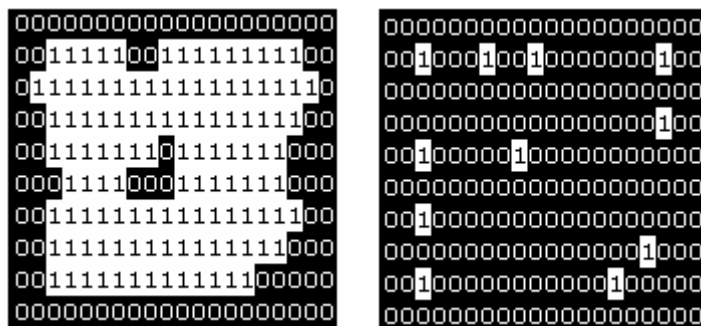


Figura 31: Imatge abans i després de passar un Hit-and-Miss per trobar les cantonades convexes

Com es poden derivar les operacions d'erosion i dilation de la transformada Hit-and-Miss ?

- L'erosion és exactament igual, però l'element estructural només pot tenir els valors 1 i X.
- El dilation és més complex: l'element estructural del dilation només té valors 1 o X. Si canviem els 1 del SE per 0 i els X no els toquem i passem el Hit-and-Miss, la imatge

resultant és la inversa de la que trobaria el dilation (només cal negar la sortida del Hit-and-Miss).

La transformada Hit-and-Miss té moltes aplicacions en operadors morfològics més complexes. Nosaltres parlarem de 2 en especial: el thinning i el thickening.

5.1. Thinning

El thinning és un operador morfològic que s'utilitza per treure selectivament píxels dels objectes d'una imatge binària, quelcom semblant al que feien l'erosion o l'opening. Algunes de les seves aplicacions més freqüents són l'Skeletonization d'una imatge (que no és l'objectiu del projecte) o aprimar els contorns d'una imatge trobats amb un detector de contorns fins que aquests queden reduïts a una amplitud d'un simple píxel (treball per futurs projectistes).

Com la resta d'operadors morfològics, el comportament del thinning ve determinat per un element estructural que és del tipus que fa servir també el Hit-and-Miss.

El thinning està relacionat amb el Hit-and-Miss de la manera següent: el thinning d'una imatge I amb l'element estructural J és:

$$\text{Thinning}(I,J) = I - \text{Hit-and-Miss}(I,J)$$

On el signe - representa l'operació lògica $X - Y = X \cap \text{NOT } Y$

El thinning funciona igual que la resta d'operadors morfològics, és a dir, es trasllada l'origen del seu element estructural per tots els píxels de la imatge i es comparen els veïnats de cadascun amb ell. Si els 0 i els 1 de l'element estructural exactament corresponen amb els 0 i els 1 del veïnatge (incloent el central), llavors el píxel corresponent en la imatge de sortida pren el valor 0, sinó, no canvia el seu valor.

S'han descrit els efectes d'una simple passada de l'operador thinning. Però aquest es sol passar per la imatge fins que no produeix canvis en la imatge o fins que el resultat es considera prou bo (ex: treure protuberàncies d'un objecte)), i es degut a aquest caire iteratiu que té, que no hem decidit implementar-lo, donat que per cada iteració necessitaríem un mòdul CONVOLUCIO_4BITS que ocupa molta lògica i estem limitats pel nombre d'EABs que podem utilitzar (4 per mòdul de convolució i només en tenim 12).

5.2. Thickening

El thickening és un operador morfològic que s'utilitza per fer créixer selectivament regions d'objectes d'una imatge binària, quelcom semblant al que feien el dilation o el closing. Algunes de les seves aplicacions més freqüents són l'Skeleton per zona d'influència d'una imatge (que

no és l'objectiu del projecte) o trobar el Convex hull d'un objecte (que tampoc és l'objectiu del projecte).

Com la resta d'operadors morfològics, el comportament del thickening ve determinat per un element estructural que és del tipus que fa servir també el Hit-and-Miss.

El thickening està relacionat amb el Hit-and-Miss de la manera següent: el thickening d'una imatge I amb l'element estructural J és:

$$\text{Thickening}(I,J) = I \cup \text{Hit-and-Miss}(I,J)$$

El thickening funciona igual que la resta d'operadors morfològics, és a dir, es trasllada l'origen del seu element estructural per tots els píxels de la imatge i es comparen els veïnatsges de cadascun amb ell. Si els 0 i els 1 de l'element estructural exactament corresponen amb els 0 i els 1 del veïnatsge (incloent el central), llavors el píxel corresponent en la imatge de sortida pren el valor 1, sinó, no canvia el seu valor.

S'han descrit els efectes d'una simple passada de l'operador thickening. Però aquest es sol passar per la imatge fins que no produeix canvis en la imatge o fins que el resultat es considera prou bo, i es degut a aquest caire iteratiu que té, que no hem decidit implementar-lo, donat que per cada iteració necessitaríem un mòdul CONVOLUCIO 4BITS que ocupa molta lògica i estem limitats pel nombre d'EABs que podem utilitzar (4 per mòdul de convolució i només en tenim 12).

6. Bibliografia

- [Fish96] R. Fisher, S. Perkins, A. Walker, E. Wolfart. **Hypermedia Image Processing Reference.** J. Wiley & Sons Ltd., 1996
<http://image.korea.ac.kr/HIPR>
- [Vit96] Jordi Vitrià. **Apunts del curs "Morfologia Matemàtica" del programa de doctorat de visió per computador.** Computer Vision Center, 1996
- [Dav97] E.R.Davies. **Machine Vision: Theory, Algorithms, Practicalities.** Academic Press, 1997
- [Mos97] Antonio Mosquera González. **Temas sobre Procesado Digital de Imágenes.** Departament d'Electrònica i Computació de la Universitat de Compostela, 1997
<http://elgva1.usc.es/~antonio/pdi/>