

SIBGRAPI 2016 – TUTORIAL

Image Operator Learning and Applications

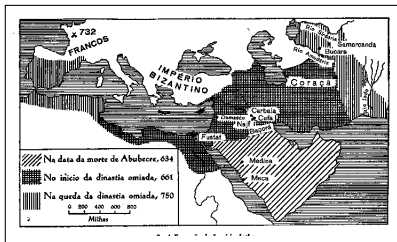
Igor S. Montagner

Nina S. T. Hirata

Roberto Hirata Jr.

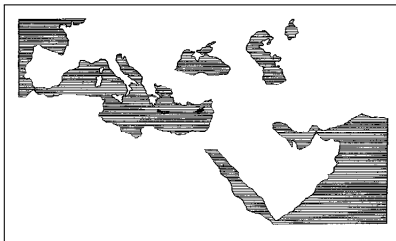
Department of Computer Science
Institute of Mathematics and Statistics
University of São Paulo (USP)

October / 2016

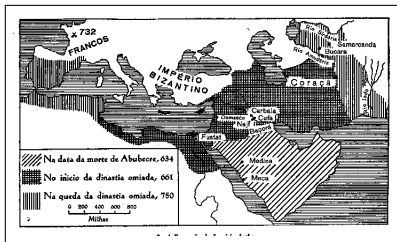


Given pairs of images as the ones on the left...

Observed input



Expected output

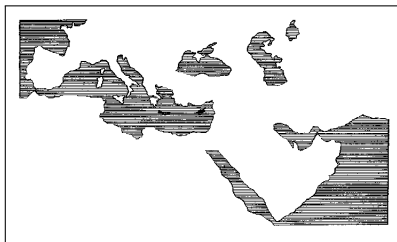


Given pairs of images as the ones on the left...

Observed input

$\Psi = ?$

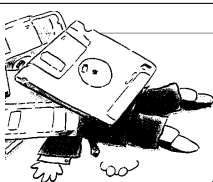
Question:



Expected output

- how to design an image operator Ψ that transforms the input image to the expected output image?

What about this transformation ?



sa é que a máquina funciona, e isso eu garanto. Não que ela seja bonita. Um muro é sempre um muro. Tudo igual. Para corroborar a idéia eu vou mostrar a você a velocidade de Flávio. (Grande anúncio, pequenas instalações) ele se estufa para sempre a buma. (Não explicaria: l'ave tem 8 bits, um caractere é o mesmo que a buma. Meça é por. Portanto uma memória de 8 megas é mais do que suficiente). De a sena? Suficiente para qual? Como diria o senhor da Paraíba: "Está certo, está certo".

Para o momento e a cabeça do comprador, sobretudo aquele que ainda não usa a máquina no trabalho, a aquisição de um com-

Em 1993 o computador chegou de paratibol no Brasil. De um do micro proibido para a sua popularização foi um passo

putador e coisa grande. Bateria ser sensorial como o de um carro, que a gente interior, testa, compo, muda a escolha da cor e opcionais vinde vezes antes de fechar o negócio. Na carteira de um muro não tem nada disso — na melhor das hipóteses, pode-se mover no teclado em exposição e se encalar com as letras coloridas no monitor. Ao contrário de um carro, que sempre vai contrariar sem saber dirigir, eu de uma glândula, que a ninguém interessa saber como funciona pois ela sabe pelo sensor, o micro senão — se está ou não flor dele. Mas isso ele só descobriu aos poucos, em noites maldormidas (leia: reporem em zázago seguinte).

Em 1993, que a buma Física entre a máquina e o comprador (brevetele a cabeça a ser em geral especulativamente. A opção da televisão — rápida e prática para quem sabe exatamente o que quer — surgiram por coincidência em carne e osso para o muro. Inicialmente ele ainda

fraco confiante aos feudos das lojas especializadas. Depois pulou para lojas de eletrônicos, ganhou espaço nos grandes magazines. Agora conquistou o espaço nobre da população: apareceu em praças de supermercados. Em breve, em um tratado de Braut, deve aparecer computador em banca de camael.

Molecagens — É hora do almoço num supermercado Carrefour da Zona Sul de São Paulo, conhecida como o "Paradiso do paulista". Muita gente, pouco tempo, o maior índice do pequenos lurtos. Desde que a rede inaugurou o setor de informática, em 15 de agosto, a festa. Gostoso, talituro, sifit, cc-bees e canibos de tela cheia, estacionam na frente das máquinas em exposição.

Em meio a mecânicas, boscillos, refrigerantes, ninguém tem medo de se aproximar do bicho. É supermercado, ninguém precisa pretender ser especialista. Uma senhora olha intrigada para uma mensagem em letras verdes sobre fundo azul, que tem a melhor das hipóteses, pode-se mover no teclado em exposição e se encalar com as letras coloridas no monitor. Ao contrário de um carro, que sempre vai contrariar sem saber dirigir, eu de uma glândula, que a ninguém interessa saber como funciona pois ela sabe pelo sensor, o micro senão — se está ou não flor dele. Mas isso ele só descobriu aos poucos, em noites maldormidas (leia: reporem em zázago seguinte).

Em 1993, que a buma Física entre a máquina e o comprador (brevetele a cabeça a ser em geral especulativamente. A opção da televisão — rápida e prática para quem sabe exatamente o que quer — surgiram por coincidência em carne e osso para o muro. Inicialmente ele ainda

$$\Psi = ?$$



sa é que a máquina funciona, e isso eu garanto. Não que ela seja bonita. Um muro é sempre um muro. Tudo igual. Para corroborar a idéia eu vou mostrar a você a velocidade de Flávio. (Grande anúncio, pequenas instalações) ele se estufa para sempre a buma. (Não explicaria: l'ave tem 8 bits, um caractere é o mesmo que a buma. Meça é por. Portanto uma memória de 8 megas é mais do que suficiente). De a sena? Suficiente para qual? Como diria o senhor da Paraíba: "Está certo, está certo".

Para o momento e a cabeça do comprador, sobretudo aquele que ainda não usa a máquina no trabalho, a aquisição de um com-

Em 1993 o computador chegou de paratibol no Brasil. De um do micro proibido para a sua popularização foi um passo

putador e coisa grande. Bateria ser sensorial como o de um carro, que a gente interior, testa, compo, muda a escolha da cor e opcionais vinde vezes antes de fechar o negócio. Na carteira de um muro não tem nada disso — na melhor das hipóteses, pode-se mover no teclado em exposição e se encalar com as letras coloridas no monitor. Ao contrário de um carro, que sempre vai contrariar sem saber dirigir, eu de uma glândula, que a ninguém interessa saber como funciona pois ela sabe pelo sensor, o micro senão — se está ou não flor dele. Mas isso ele só descobriu aos poucos, em noites maldormidas (leia: reporem em zázago seguinte).

Em 1993, que a buma Física entre a máquina e o comprador (brevetele a cabeça a ser em geral especulativamente. A opção da televisão — rápida e prática para quem sabe exatamente o que quer — surgiram por coincidência em carne e osso para o muro. Inicialmente ele ainda

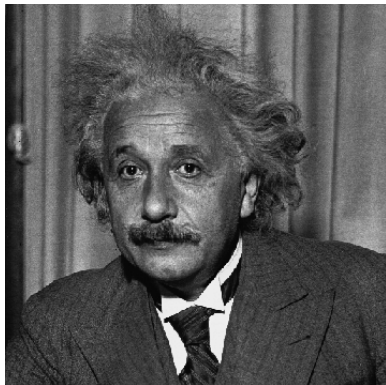
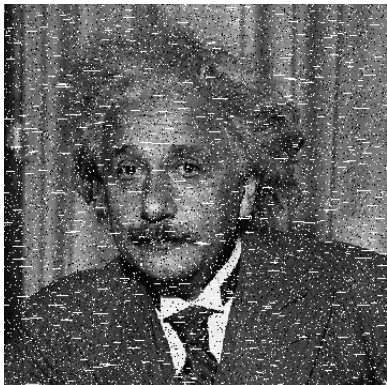
fraco confiante aos feudos das lojas especializadas. Depois pulou para lojas de eletrônicos, ganhou espaço nos grandes magazines. Agora conquistou o espaço nobre da população: apareceu em praças de supermercados. Em breve, em um tratado de Braut, deve aparecer computador em banca de camael.

Molecagens — É hora do almoço num supermercado Carrefour da Zona Sul de São Paulo, conhecida como o "Paradiso do paulista". Muita gente, pouco tempo, o maior índice do pequenos lurtos. Desde que a rede inaugurou o setor de informática, em 15 de agosto, a festa. Gostoso, talituro, sifit, cc-bees e canibos de tela cheia, estacionam na frente das máquinas em exposição.

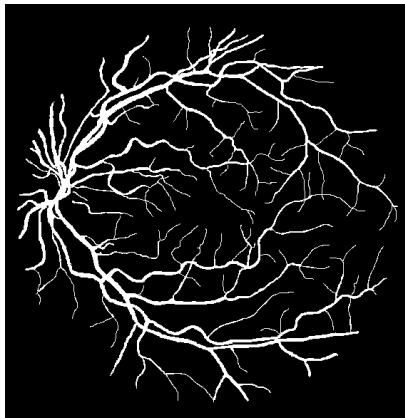
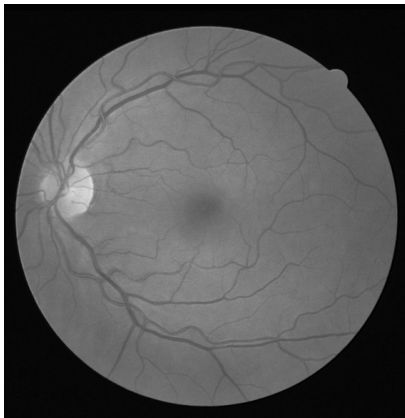
Em meio a mecânicas, boscillos, refrigerantes, ninguém tem medo de se aproximar do bicho. É supermercado, ninguém precisa pretender ser especialista. Uma senhora olha intrigada para uma mensagem em letras verdes sobre fundo azul, que tem a melhor das hipóteses, pode-se mover no teclado em exposição e se encalar com as letras coloridas no monitor. Ao contrário de um carro, que sempre vai contrariar sem saber dirigir, eu de uma glândula, que a ninguém interessa saber como funciona pois ela sabe pelo sensor, o micro senão — se está ou não flor dele. Mas isso ele só descobriu aos poucos, em noites maldormidas (leia: reporem em zázago seguinte).

Em 1993, que a buma Física entre a máquina e o comprador (brevetele a cabeça a ser em geral especulativamente. A opção da televisão — rápida e prática para quem sabe exatamente o que quer — surgiram por coincidência em carne e osso para o muro. Inicialmente ele ainda

And this one?



This one?



Or this one?



- 11 -

おっ!
やったぞ
ばーさん!!

ん?

おや?

く
せ
者!!

あつ

おまえは
笠をもらえ
なかった地蔵!!

11

Historical overview

1960s: Mathematical morphology was introduced by G. Matheron and J. Serra

1980s: Book by J. Serra (1982)
Nonlinear filters (median, order statistic, stack), morphological filters

1990s: E. R. Dougherty - Design of optimal morphological filters

1994: Junior Barrera - Vision Lab created at IME/USP
We started working on designing morphological operators from training images at that time !!

Today (almost 25 years since then)

Huge **advances** in **image processing**, **computer vision**, **machine learning**, **hardware** and **computing technologies**

High-level × **low-level** processing

- Deep learning (high level image understanding)
- Image operator learning (low level processing)

The second is a building block for the first. Thus, very important.

Plan for this tutorial

- 1. Concepts and fundamentals**
- 2. Optimal operators**
- 3. Learning image operators**
- 4. Practice**
- 5. Application examples**

Plan for this tutorial

1. **Concepts and fundamentals**

- you will know what an image operator is, and important properties that define a class of operators adequate for the type of processing we are interested on

2. **Optimal operators**

3. **Learning image operators**

4. **Practice**

5. **Application examples**

Plan for this tutorial

1. **Concepts and fundamentals**

- you will know what an image operator is, and important properties that define a class of operators adequate for the type of processing we are interested on

2. **Optimal operators**

- you will know how to characterize what a good image operator is

3. **Learning image operators**

4. **Practice**

5. **Application examples**

Plan for this tutorial

1. **Concepts and fundamentals**

- you will know what an image operator is, and important properties that define a class of operators adequate for the type of processing we are interested on

2. **Optimal operators**

- you will know how to characterize what a good image operator is

3. **Learning image operators**

- you will know how to learn image operators from training data

4. **Practice**

5. **Application examples**

Plan for this tutorial

1. **Concepts and fundamentals**

- you will know what an image operator is, and important properties that define a class of operators adequate for the type of processing we are interested on

2. **Optimal operators**

- you will know how to characterize what a good image operator is

3. **Learning image operators**

- you will know how to learn image operators from training data

4. **Practice**

- you will have the opportunity to do exercises and run code

5. **Application examples**

Plan for this tutorial

1. **Concepts and fundamentals**

- you will know what an image operator is, and important properties that define a class of operators adequate for the type of processing we are interested on

2. **Optimal operators**

- you will know how to characterize what a good image operator is

3. **Learning image operators**

- you will know how to learn image operators from training data

4. **Practice**

- you will have the opportunity to do exercises and run code

5. **Application examples**

- you will see some application examples

Fundamentals on image operators

How to model image transformations ?

Image domain

\mathbb{E} (subset of \mathbb{Z}^2)

Image

$f : \mathbb{E} \rightarrow K$ (K is the set of gray levels)

$K^{\mathbb{E}}$ set of all images defined on \mathbb{E} with gray-levels in K

Image operator

$\Psi : K^{\mathbb{E}} \rightarrow K^{\mathbb{E}}$

$[\Psi(f)](p)$ value of the processed image at p

Image operators (mathematical morphology view)

Morphological operators are built by composing basic elementary operators.

Examples of basic operators

- erosion
- dilation
- hit-miss, ...

Structuring elements: parameter of the operators
Simple shapes such as squares, discs, line segments, to locally probe an image and extract geometric structural information

Fundamentals: We will present concepts restricted to binary images, but they hold for gray-scale images too

Binary image operators = set operators

Binary image

$$f : \mathbb{E} \rightarrow \{0, 1\}$$

Binary image = set

$$p \in S_f \iff f(p) = 1$$

Operations on images = operations on sets

Set relations and operations: $\subseteq, \cup, \cap, \cdot^c$

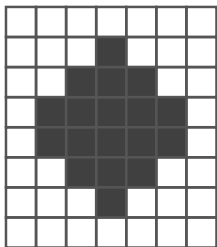
Set translation: $A_p = \{a + p : a \in A\}$

Set reflection: $\check{A} = \{-a : a \in A\}$

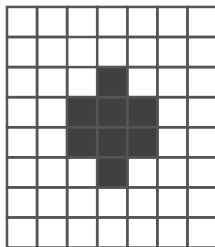
Set interval: $[A, B] = \{X : A \subseteq X \subseteq B\}$

Basic operator: erosion

$$\varepsilon_B(S) = \{p \in E : B_p \subseteq S\}$$



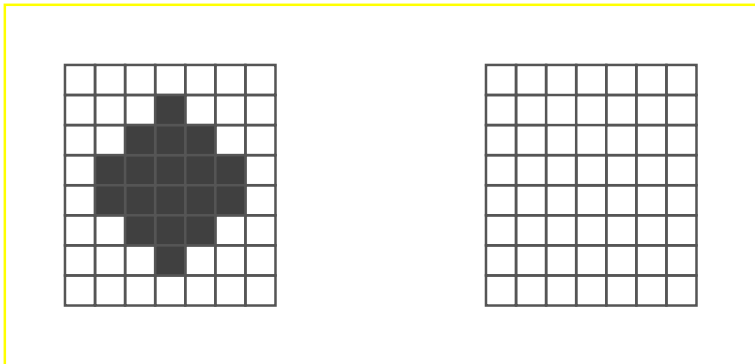
S



$\varepsilon_B(S)$

Basic operator: erosion

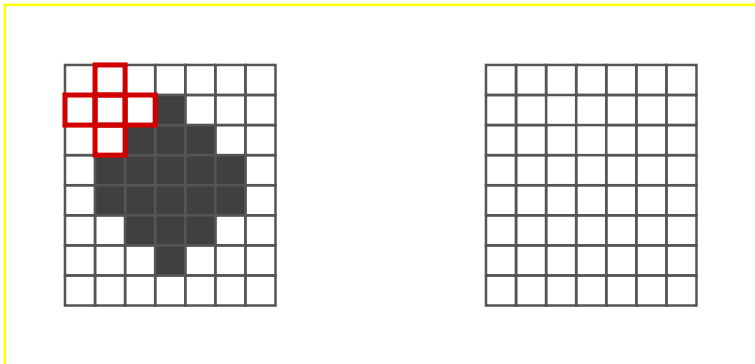
$$\varepsilon_B(S) = \{p \in E : B_p \subseteq S\}$$



How does the erosion work ?

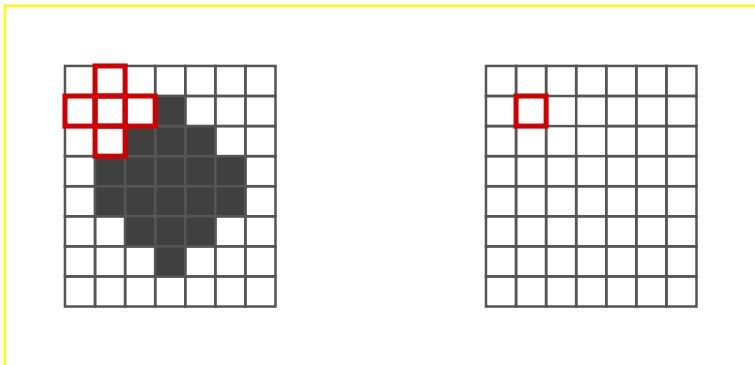
Basic operator: erosion

$$\varepsilon_B(S) = \{p \in E : B_p \subseteq S\}$$



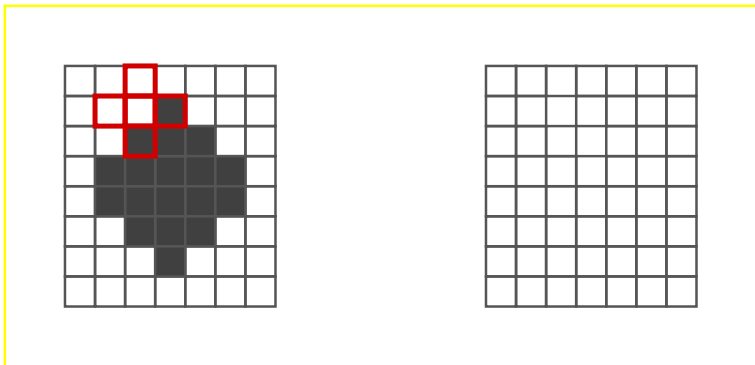
Basic operator: erosion

$$\varepsilon_B(S) = \{p \in E : B_p \subseteq S\}$$



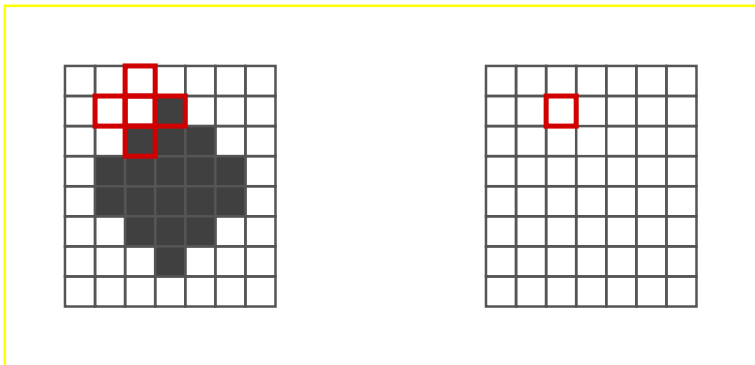
Basic operator: erosion

$$\varepsilon_B(S) = \{p \in E : B_p \subseteq S\}$$



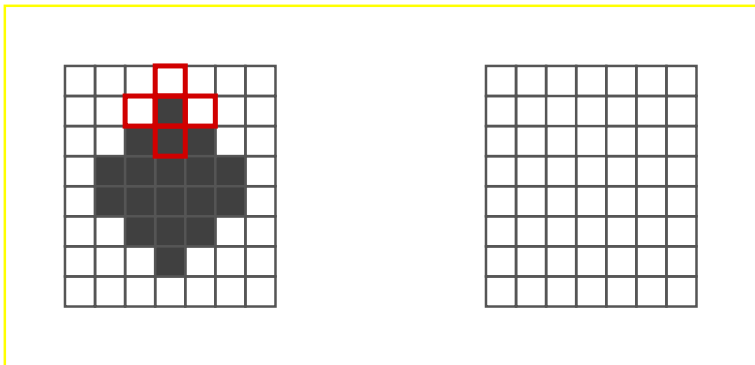
Basic operator: erosion

$$\varepsilon_B(S) = \{p \in E : B_p \subseteq S\}$$



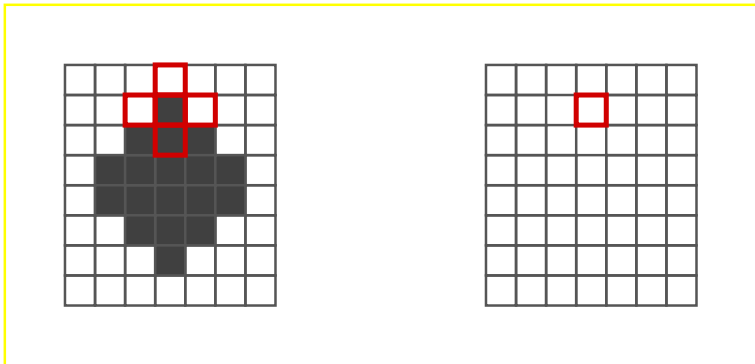
Basic operator: erosion

$$\varepsilon_B(S) = \{p \in E : B_p \subseteq S\}$$



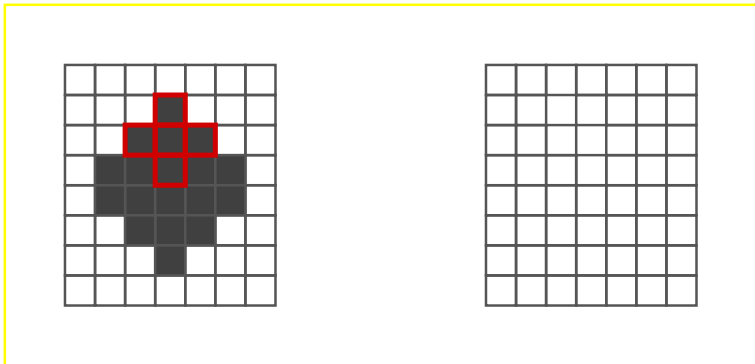
Basic operator: erosion

$$\varepsilon_B(S) = \{p \in E : B_p \subseteq S\}$$



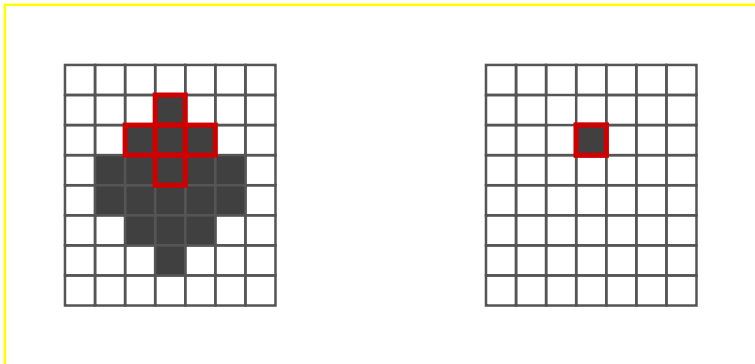
Basic operator: erosion

$$\varepsilon_B(S) = \{p \in E : B_p \subseteq S\}$$



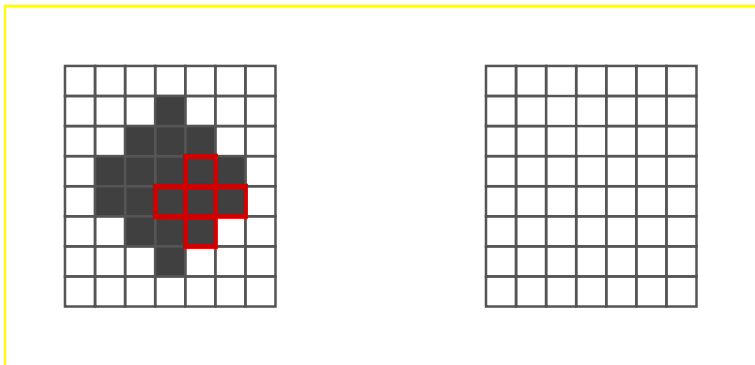
Basic operator: erosion

$$\varepsilon_B(S) = \{p \in E : B_p \subseteq S\}$$



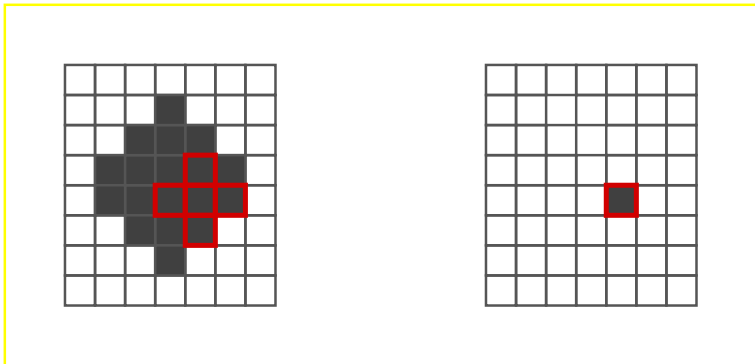
Basic operator: erosion

$$\varepsilon_B(S) = \{p \in E : B_p \subseteq S\}$$



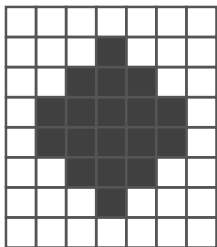
Basic operator: erosion

$$\varepsilon_B(S) = \{p \in E : B_p \subseteq S\}$$

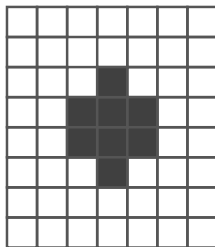


Basic operator: erosion

$$\varepsilon_B(S) = \{p \in E : B_p \subseteq S\}$$



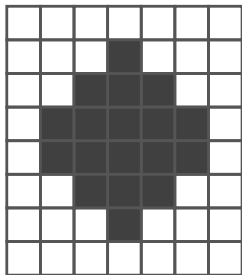
S



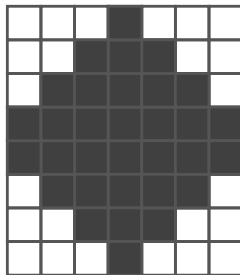
$\varepsilon_B(S)$

Basic operator: dilation

$$\delta_B(S) = \{p \in E : \check{B}_p \cap S \neq \emptyset\}$$



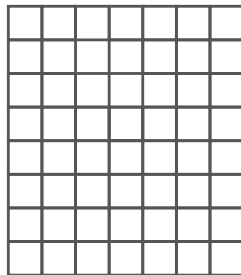
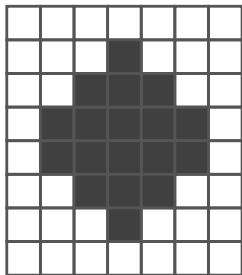
S



$\delta_B(S)$

Basic operator: dilation

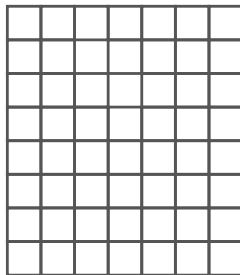
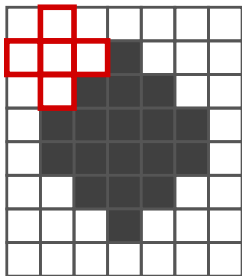
$$\delta_B(S) = \{p \in E : \check{B}_p \cap S \neq \emptyset\}$$



How does the dilation work ?

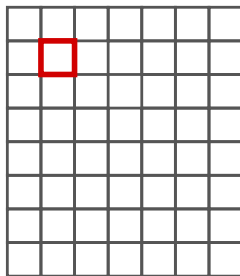
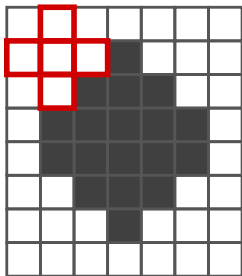
Basic operator: dilation

$$\delta_B(S) = \{p \in E : \check{B}_p \cap S \neq \emptyset\}$$



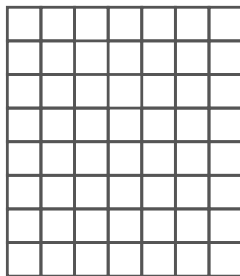
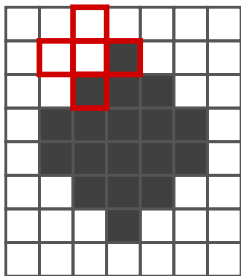
Basic operator: dilation

$$\delta_B(S) = \{p \in E : \check{B}_p \cap S \neq \emptyset\}$$



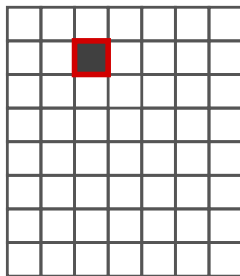
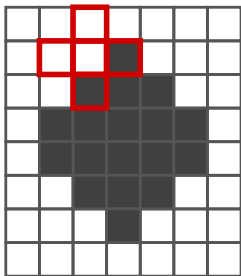
Basic operator: dilation

$$\delta_B(S) = \{p \in E : \check{B}_p \cap S \neq \emptyset\}$$



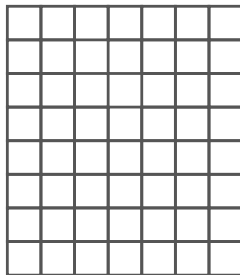
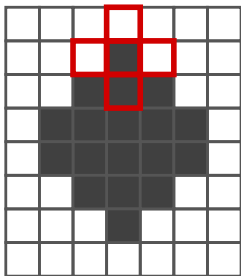
Basic operator: dilation

$$\delta_B(S) = \{p \in E : \check{B}_p \cap S \neq \emptyset\}$$



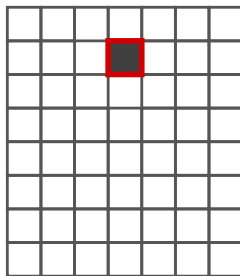
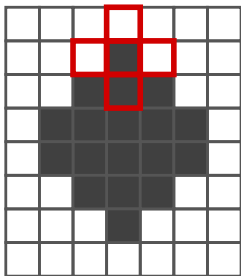
Basic operator: dilation

$$\delta_B(S) = \{p \in E : \check{B}_p \cap S \neq \emptyset\}$$



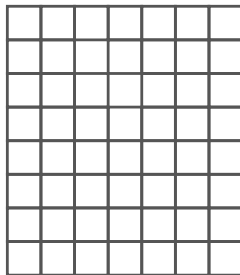
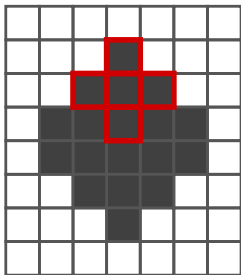
Basic operator: dilation

$$\delta_B(S) = \{p \in E : \check{B}_p \cap S \neq \emptyset\}$$



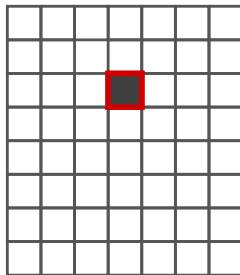
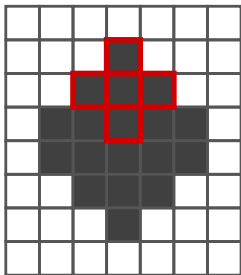
Basic operator: dilation

$$\delta_B(S) = \{p \in E : \check{B}_p \cap S \neq \emptyset\}$$



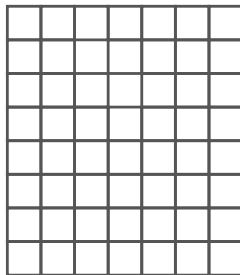
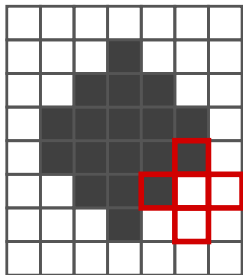
Basic operator: dilation

$$\delta_B(S) = \{p \in E : \check{B}_p \cap S \neq \emptyset\}$$



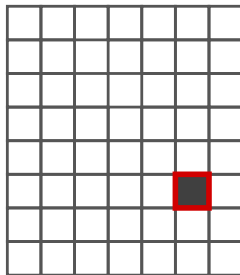
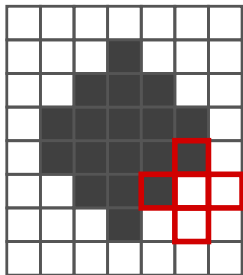
Basic operator: dilation

$$\delta_B(S) = \{p \in E : \check{B}_p \cap S \neq \emptyset\}$$



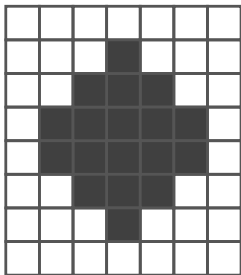
Basic operator: dilation

$$\delta_B(S) = \{p \in E : \check{B}_p \cap S \neq \emptyset\}$$

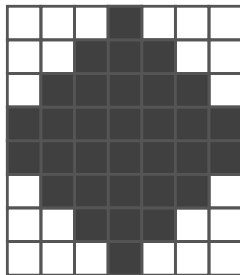


Basic operator: dilation

$$\delta_B(S) = \{p \in E : \check{B}_p \cap S \neq \emptyset\}$$

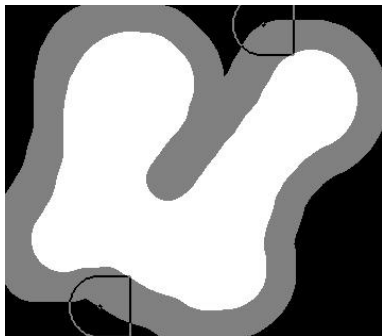
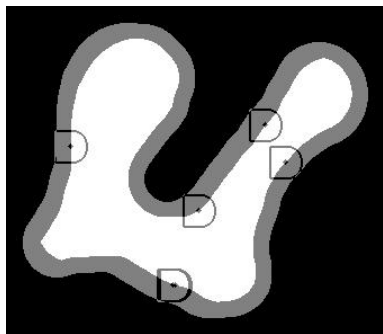


S



$\delta_B(S)$

Basic operator: erosion and dilation



Another basic operator: hit-miss

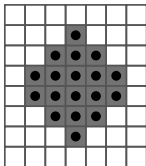
$$H_{(A,B^c)}(S) = \{p \in \mathbb{E} : A_p \subseteq S \text{ and } B_p^c \subseteq S^c\} = \varepsilon_A(S) \cap \varepsilon_{B^c}(S^c)$$



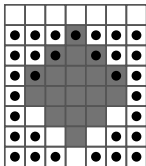
A



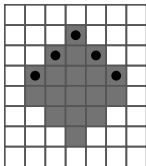
B^c



places where A hits S



places where B^c hits the background (or, equivalently, misses S)



places detected by the hit-miss operator

Short break for an exercise

Exercise 1

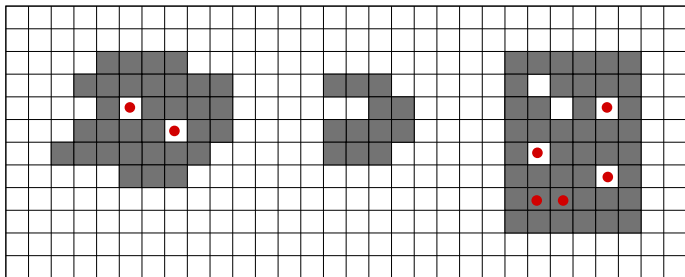
Solution to exercise 1 – structuring element A



A



B^c



In red, positions x at which A_x fits in the foreground

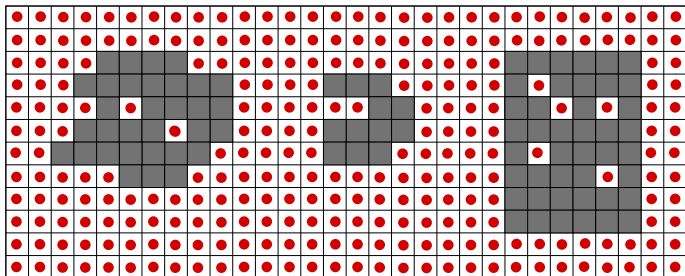
Solution to exercise 1 – structuring element B^c



A



B^c



In red, positions x at which B_x^c fits in the background

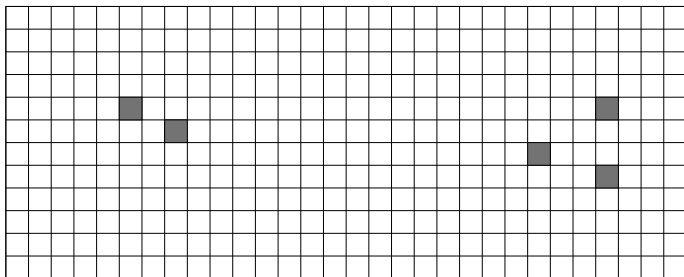
Solution to exercise 1 – Intersection



A



B^c

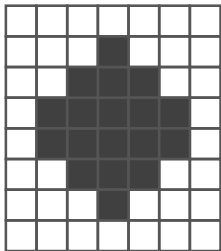
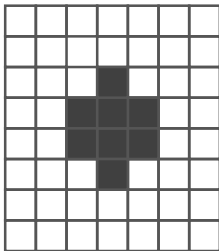
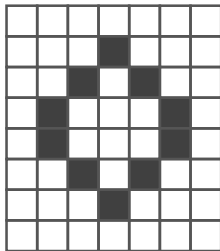


Result: the holes

Many useful operators can be built by composing these and other simple operators

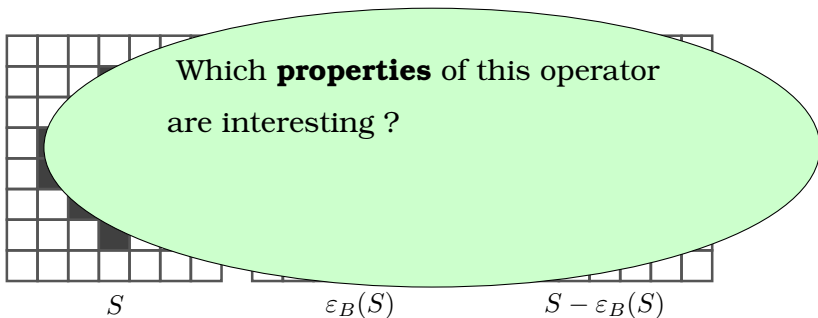
Example of an operator: Contour detection

$$f - \varepsilon_B(f)$$

 S  $\varepsilon_B(S)$  $S - \varepsilon_B(S)$

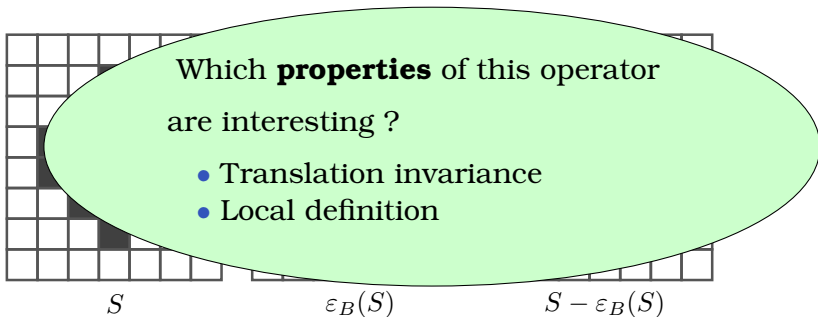
Example of an operator: Contour detection

$$f - \varepsilon_B(f)$$



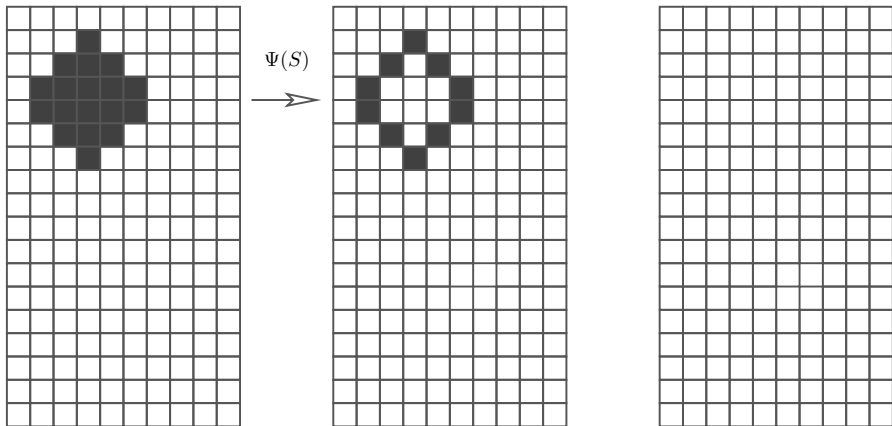
Example of an operator: Contour detection

$$f - \varepsilon_B(f)$$



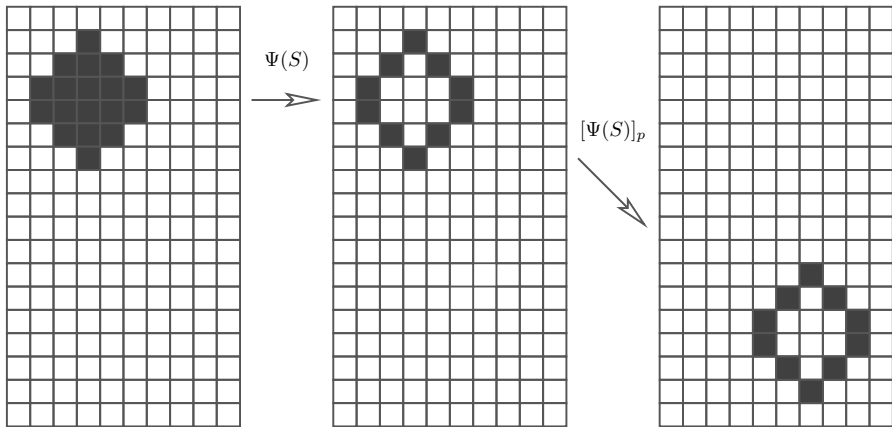
Translation invariance

$$[\Psi(f)]_p = \Psi(f_p)$$



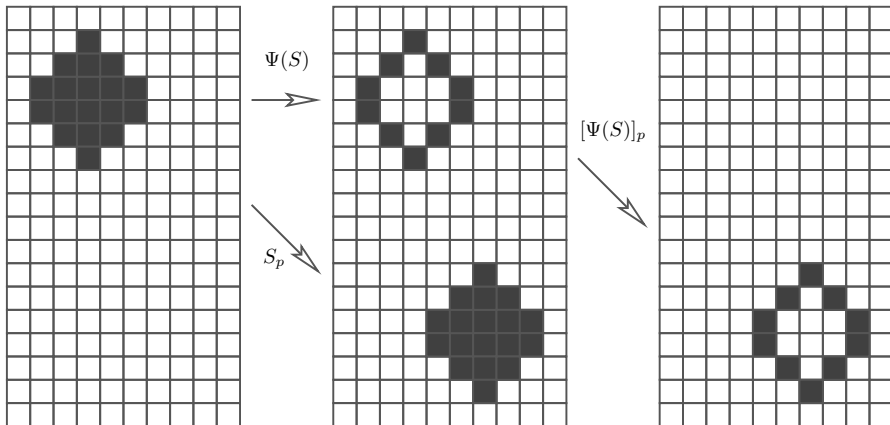
Translation invariance

$$[\Psi(f)]_p = \Psi(f_p)$$



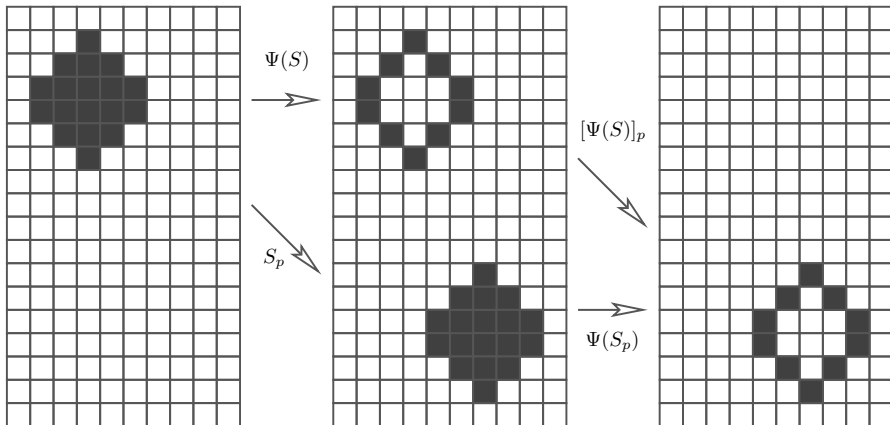
Translation invariance

$$[\Psi(f)]_p = \Psi(f_p)$$



Translation invariance

$$[\Psi(f)]_p = \Psi(f_p)$$

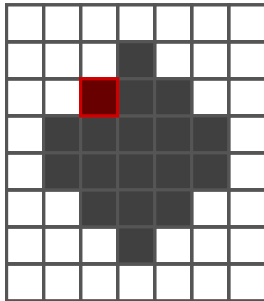


Local definition

Ψ is **locally defined** if there is a window W such that:

$$p \in \Psi(S) \iff p \in \Psi(S \cap W')$$

for every $p \in \mathbb{E}$, $S \in K^{\mathbb{E}}$, and $W' \supseteq W$



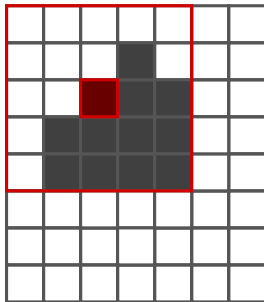
The red pixel is a contour point

Local definition

Ψ is **locally defined** if there is a window W such that:

$$p \in \Psi(S) \iff p \in \Psi(S \cap W')$$

for every $p \in \mathbb{E}$, $S \in K^{\mathbb{E}}$, and $W' \supseteq W$



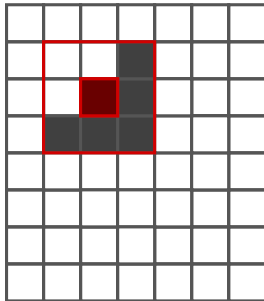
The red pixel is a contour point

Local definition

Ψ is **locally defined** if there is a window W such that:

$$p \in \Psi(S) \iff p \in \Psi(S \cap W')$$

for every $p \in \mathbb{E}$, $S \in K^{\mathbb{E}}$, and $W' \supseteq W$



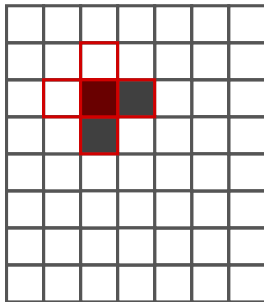
The red pixel is a contour point

Local definition

Ψ is **locally defined** if there is a window W such that:

$$p \in \Psi(S) \iff p \in \Psi(S \cap W')$$

for every $p \in \mathbb{E}$, $S \in K^{\mathbb{E}}$, and $W' \supseteq W$

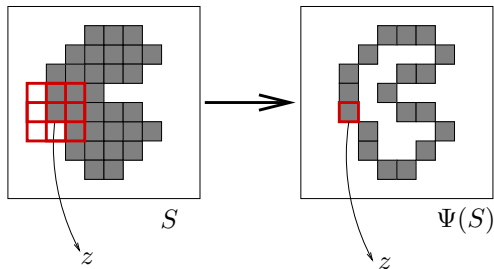


The red pixel is a contour point

Window operator or W -operator

W -operator: translation invariance + local definition

There is a **local function** ψ that uniquely characterizes Ψ



$$\Psi(S)(z) = \psi \left(\begin{array}{ccc} \square & \square & \square \\ \square & \square & \square \\ \square & \square & \square \end{array} \right)$$

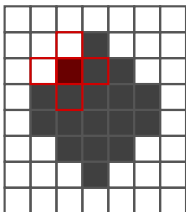
Back to contour detection

Contour detection operator: $S - \varepsilon_B(S)$

- translation-invariant
- locally defined

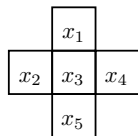
Local function:

*To decide if a **pixel is a(n internal) contour point** or not, it suffices to check if it is **in the foreground** and if there is **at least one pixel adjacent to it in the background**.*

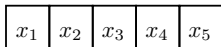


Considering 4-adjacency, a cross-window is sufficient

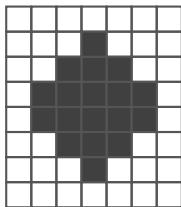
Local function of the contour detection operator



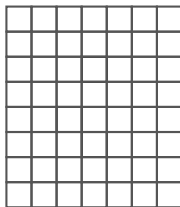
window



array



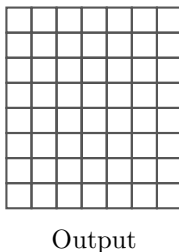
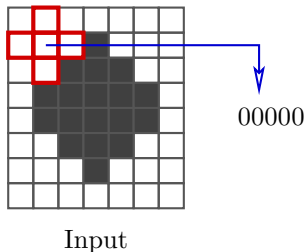
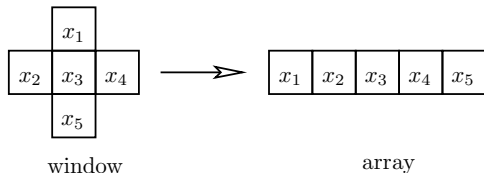
Input



Output

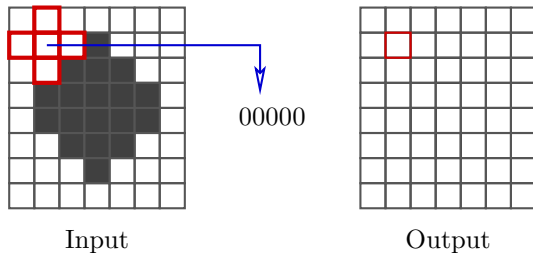
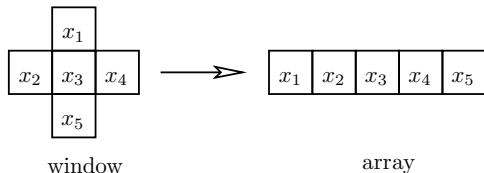
X	$\psi(X)$
00000	0
00001	0
00010	0
00011	0
00100	1
00101	1
00110	1
00111	1
...	...
01001	0
...	...
01101	1
...	...
11011	0
...	...
11110	1
11111	0

Local function of the contour detection operator



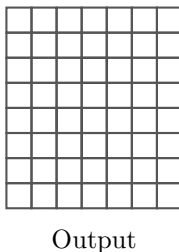
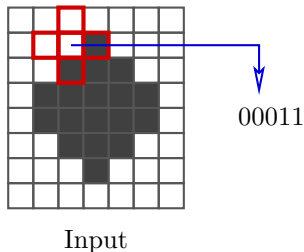
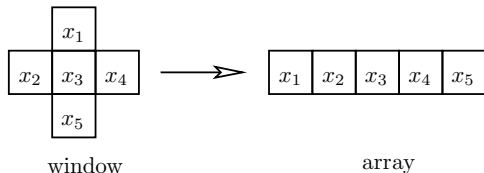
X	$\psi(X)$
00000	0
00001	0
00010	0
00011	0
00100	1
00101	1
00110	1
00111	1
...	...
01001	0
...	...
01101	1
...	...
11011	0
...	...
11110	1
11111	0

Local function of the contour detection operator



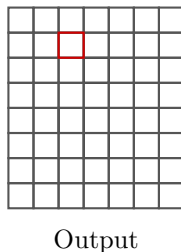
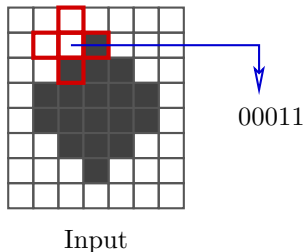
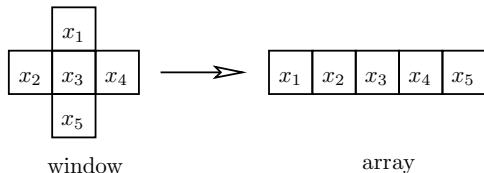
X	$\psi(X)$
00000	0
00001	0
00010	0
00011	0
00100	1
00101	1
00110	1
00111	1
...	...
01001	0
...	...
01101	1
...	...
11011	0
...	...
11110	1
11111	0

Local function of the contour detection operator



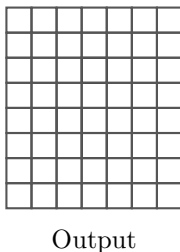
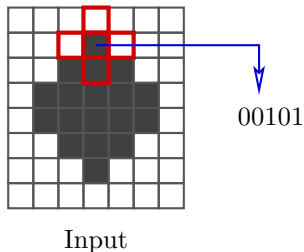
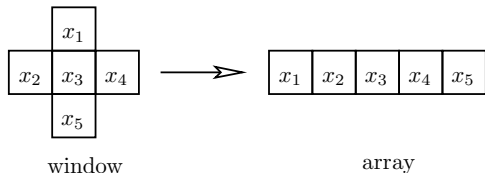
X	$\psi(X)$
00000	0
00001	0
00010	0
00011	0
00100	1
00101	1
00110	1
00111	1
...	...
01001	0
...	...
01101	1
...	...
11011	0
...	...
11110	1
11111	0

Local function of the contour detection operator



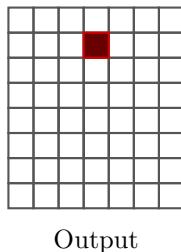
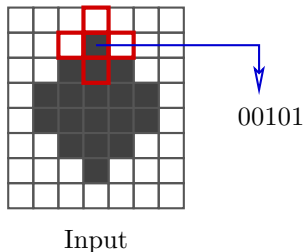
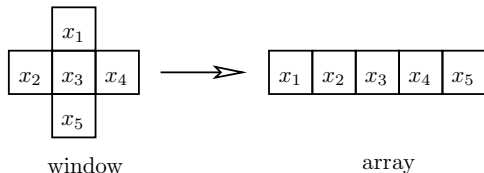
X	$\psi(X)$
00000	0
00001	0
00010	0
00011	0
00100	1
00101	1
00110	1
00111	1
...	...
01001	0
...	...
01101	1
...	...
11011	0
...	...
11110	1
11111	0

Local function of the contour detection operator



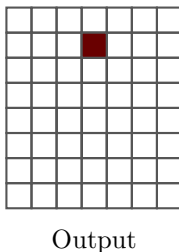
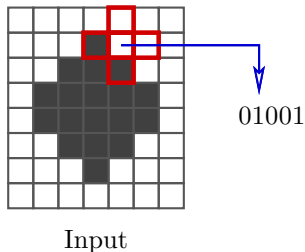
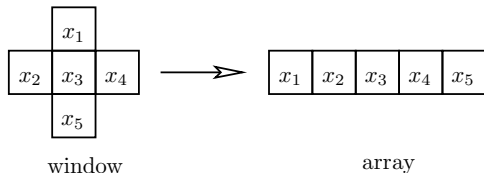
X	$\psi(X)$
00000	0
00001	0
00010	0
00011	0
00100	1
00101	1
00110	1
00111	1
...	...
01001	0
...	...
01101	1
...	...
11011	0
...	...
11110	1
11111	0

Local function of the contour detection operator



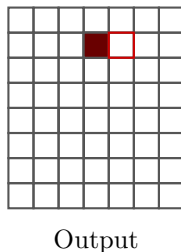
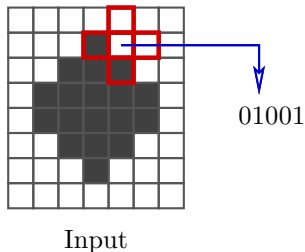
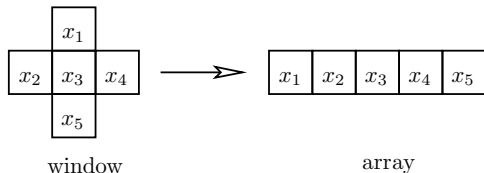
X	$\psi(X)$
00000	0
00001	0
00010	0
00011	0
00100	1
00101	1
00110	1
00111	1
...	...
01001	0
...	...
01101	1
...	...
11011	0
...	...
11110	1
11111	0

Local function of the contour detection operator



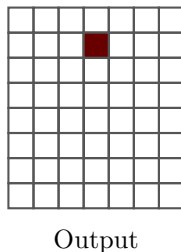
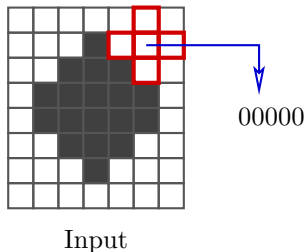
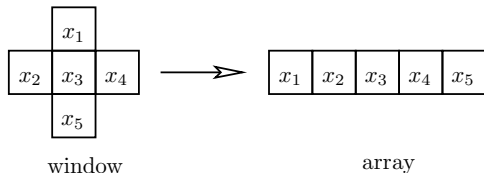
X	$\psi(X)$
00000	0
00001	0
00010	0
00011	0
00100	1
00101	1
00110	1
00111	1
...	...
01001	0
...	...
01101	1
...	...
11011	0
...	...
11110	1
11111	0

Local function of the contour detection operator



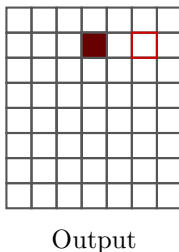
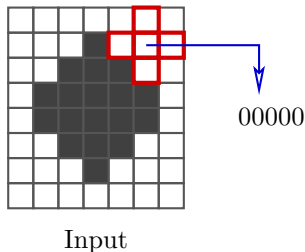
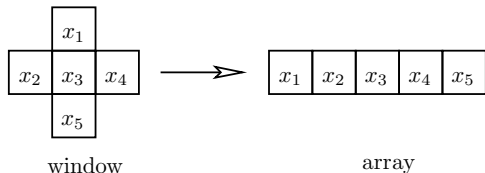
X	$\psi(X)$
00000	0
00001	0
00010	0
00011	0
00100	1
00101	1
00110	1
00111	1
...	...
01001	0
...	...
01101	1
...	...
11011	0
...	...
11110	1
11111	0

Local function of the contour detection operator



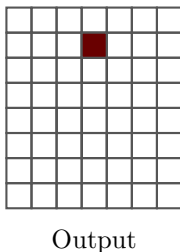
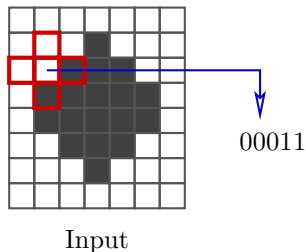
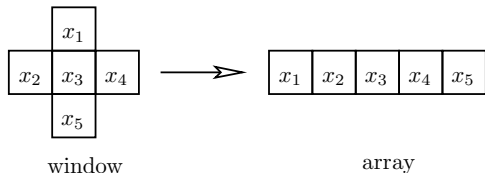
X	$\psi(X)$
00000	0
00001	0
00010	0
00011	0
00100	1
00101	1
00110	1
00111	1
...	...
01001	0
...	...
01101	1
...	...
11011	0
...	...
11110	1
11111	0

Local function of the contour detection operator



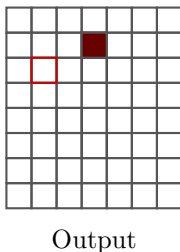
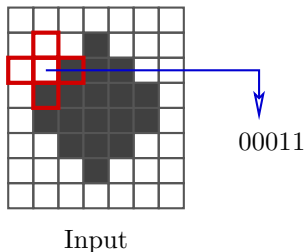
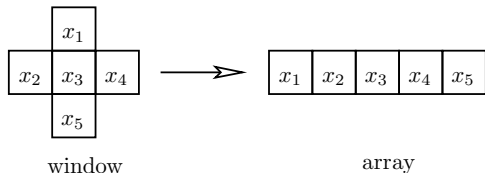
X	$\psi(X)$
00000	0
00001	0
00010	0
00011	0
00100	1
00101	1
00110	1
00111	1
...	...
01001	0
...	...
01101	1
...	...
11011	0
...	...
11110	1
11111	0

Local function of the contour detection operator



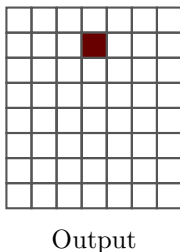
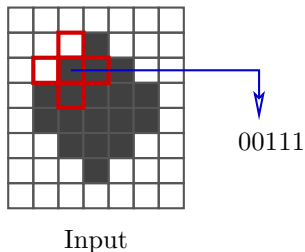
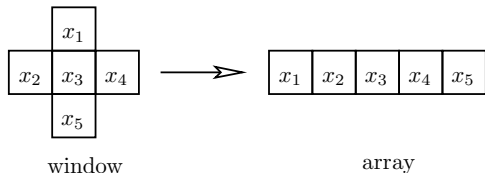
X	$\psi(X)$
00000	0
00001	0
00010	0
00011	0
00100	1
00101	1
00110	1
00111	1
...	...
01001	0
...	...
01101	1
...	...
11011	0
...	...
11110	1
11111	0

Local function of the contour detection operator



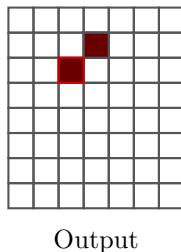
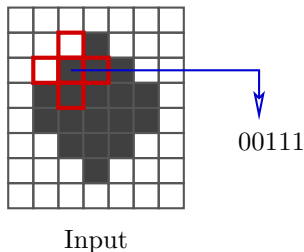
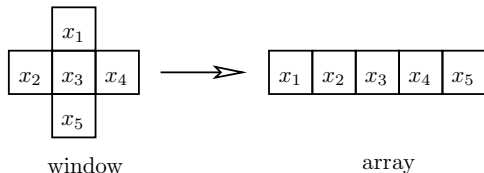
X	$\psi(X)$
00000	0
00001	0
00010	0
00011	0
00100	1
00101	1
00110	1
00111	1
...	...
01001	0
...	...
01101	1
...	...
11011	0
...	...
11110	1
11111	0

Local function of the contour detection operator



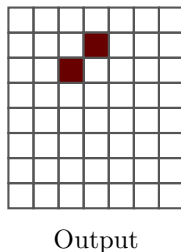
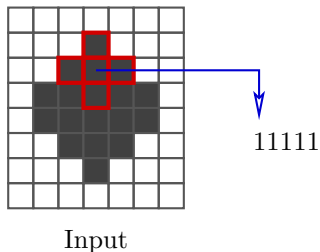
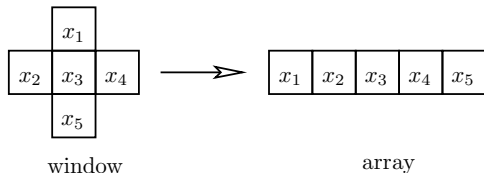
X	$\psi(X)$
00000	0
00001	0
00010	0
00011	0
00100	1
00101	1
00110	1
00111	1
...	...
01001	0
...	...
01101	1
...	...
11011	0
...	...
11110	1
11111	0

Local function of the contour detection operator



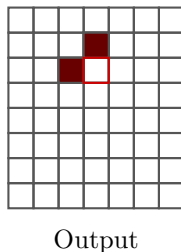
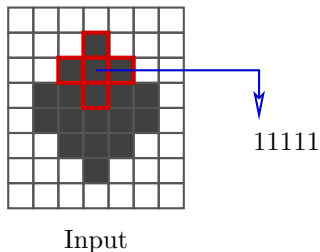
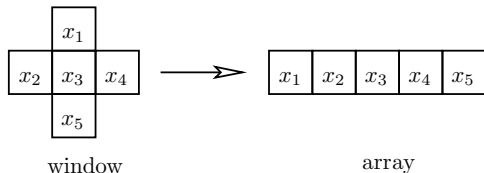
X	$\psi(X)$
00000	0
00001	0
00010	0
00011	0
00100	1
00101	1
00110	1
00111	1
...	...
01001	0
...	...
01101	1
...	...
11011	0
...	...
11110	1
11111	0

Local function of the contour detection operator



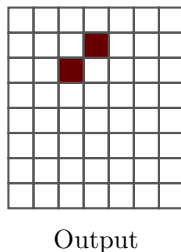
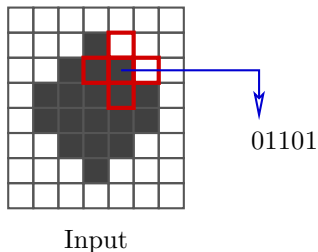
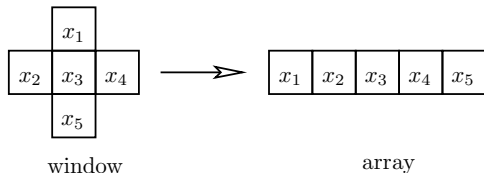
X	$\psi(X)$
00000	0
00001	0
00010	0
00011	0
00100	1
00101	1
00110	1
00111	1
...	...
01001	0
...	...
01101	1
...	...
11011	0
...	...
11110	1
11111	0

Local function of the contour detection operator



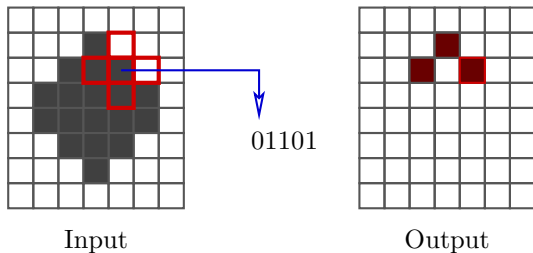
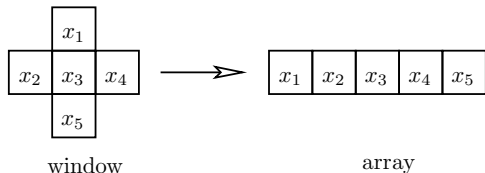
X	$\psi(X)$
00000	0
00001	0
00010	0
00011	0
00100	1
00101	1
00110	1
00111	1
...	...
01001	0
...	...
01101	1
...	...
11011	0
...	...
11110	1
11111	0

Local function of the contour detection operator



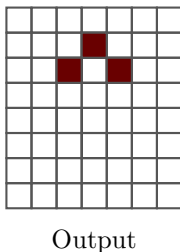
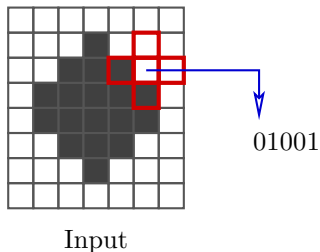
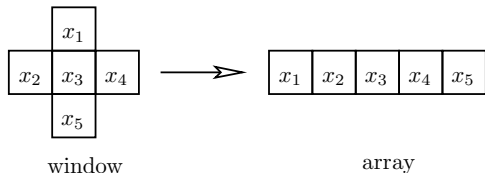
X	$\psi(X)$
00000	0
00001	0
00010	0
00011	0
00100	1
00101	1
00110	1
00111	1
...	...
01001	0
...	...
01101	1
...	...
11011	0
...	...
11110	1
11111	0

Local function of the contour detection operator



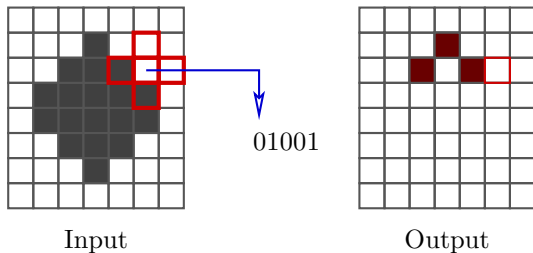
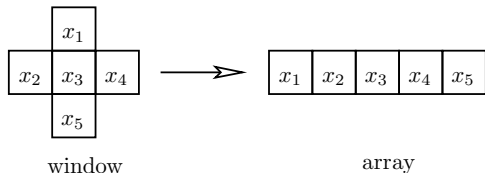
X	$\psi(X)$
00000	0
00001	0
00010	0
00011	0
00100	1
00101	1
00110	1
00111	1
...	...
01001	0
...	...
01101	1
...	...
11011	0
...	...
11110	1
11111	0

Local function of the contour detection operator



X	$\psi(X)$
00000	0
00001	0
00010	0
00011	0
00100	1
00101	1
00110	1
00111	1
...	...
01001	0
...	...
01101	1
...	...
11011	0
...	...
11110	1
11111	0

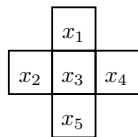
Local function of the contour detection operator



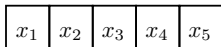
and so on

X	$\psi(X)$
00000	0
00001	0
00010	0
00011	0
00100	1
00101	1
00110	1
00111	1
...	...
01001	0
...	...
01101	1
...	...
11011	0
...	...
11110	1
11111	0

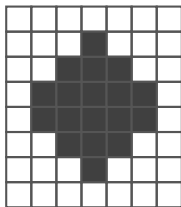
Local function of the contour detection operator



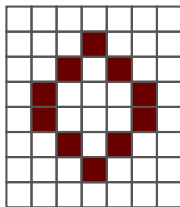
window



array



Input



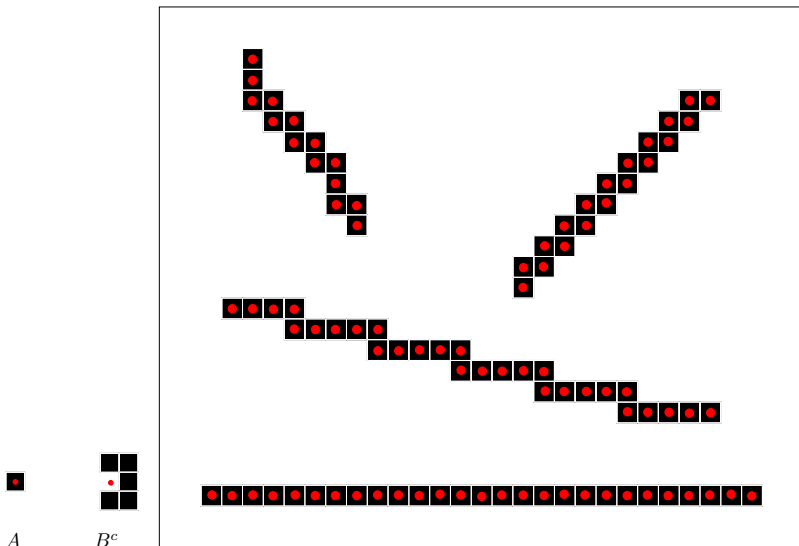
Output

X	$\psi(X)$
00000	0
00001	0
00010	0
00011	0
00100	1
00101	1
00110	1
00111	1
...	...
01001	0
...	...
01101	1
...	...
11011	0
...	...
11110	1
11111	0

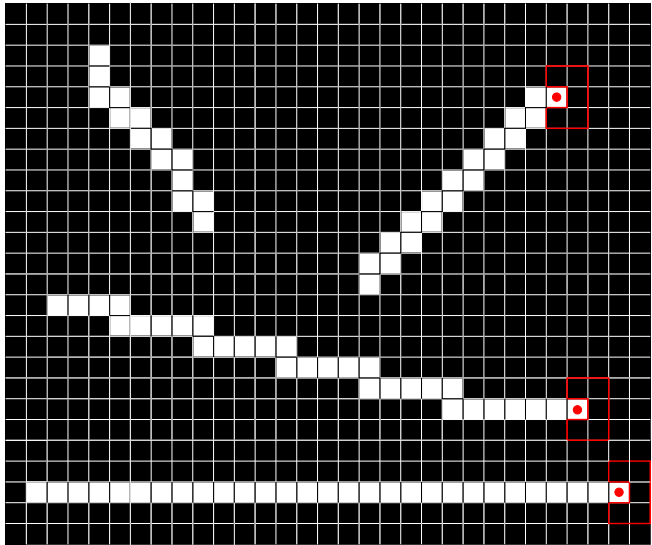
Short break for another exercise

Exercise 2

Solution to exercise 2 – structuring element A



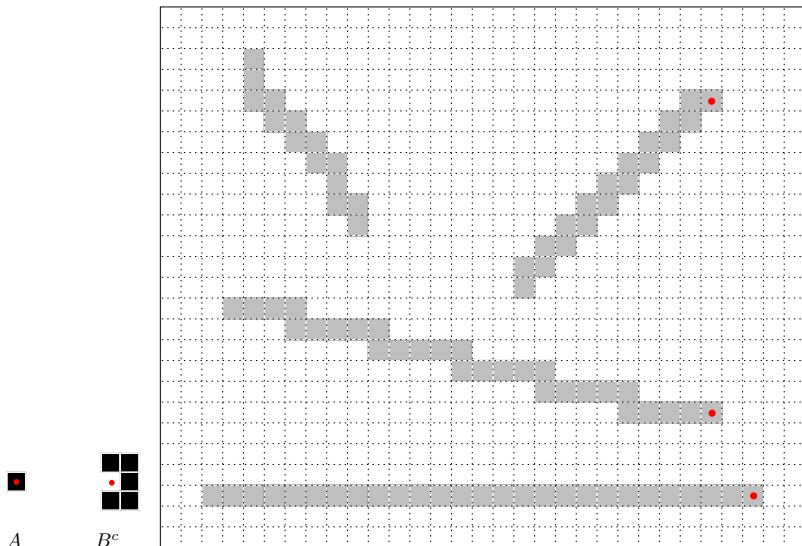
Solution to exercise 2 – structuring element B^c



A

B^c

Solution to exercise 2 – Intersection



Representation of an operator

How to represent an image operator ?

If Ψ is a W -operator it suffices to know $\psi : \{0, 1\}^W \rightarrow \{0, 1\}$.

Kernel of Ψ

$$\mathcal{K}(\Psi) = \{X \subseteq W : \psi(X) = 1\}$$

- What is the importance of the kernel ?
- Do we need to explicitly represent the kernel ?

Representation of an operator

How to represent an image operator ?

If Ψ is a W -operator it suffices to know $\psi : \{0, 1\}^W \rightarrow \{0, 1\}$.

Kernel of Ψ

$\mathcal{K}(\Psi)$

Kernels are related to a **canonical representation** of W -operators

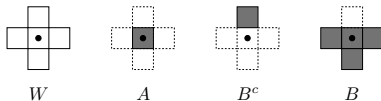
- What is the importance of the kernel ?
- Do we need to explicitly represent the kernel ?

Representation of operators

Hit-miss is an important piece in the **representation of W -operators**

A hit-miss operator is equivalent to an interval

X is detected by hit-miss operator $H_{(A,B^c)} \iff X \in [A, B]$



The window images detected by $H_{(A,B^c)}$ or in $[A, B]$ are the same:



(all templates that correspond top contour points)

Decomposition theorem

Example: intervals for the contour detection operator

$$\left\{ \left[\begin{array}{c} \square \\ \blacksquare \\ \square \end{array}, \begin{array}{c} \blacksquare \\ \square \\ \blacksquare \end{array} \right], \left[\begin{array}{c} \square \\ \blacksquare \\ \square \end{array}, \begin{array}{c} \blacksquare \\ \blacksquare \\ \square \end{array} \right], \left[\begin{array}{c} \square \\ \square \\ \square \end{array}, \begin{array}{c} \blacksquare \\ \square \\ \blacksquare \end{array} \right], \left[\begin{array}{c} \square \\ \square \\ \square \end{array}, \begin{array}{c} \blacksquare \\ \blacksquare \\ \blacksquare \end{array} \right] \right\}$$

Interval operator:

$$\Lambda_{(A,B)}(X) = 1 \iff X \in [A, B]$$

Basis of Ψ : $\mathcal{B}(\Psi) = \text{maximal intervals in } \mathcal{K}(\Psi)$

Minimal decomposition theorem

$$\psi(X) = \max_{[A,B] \in \mathcal{B}(\Psi)} \Lambda_{(A,B)}(X)$$

What would be the basis for the extreme point case ?

What would be the basis for the extreme point case ?



left endpoint



right endpoint



bottom endpoint



top endpoint

Summary of the fundamentals

You acquired knowledge on

- image operators
- W -operators, a broad class of image operators
- characterization by local functions
- basis representation: supremum of interval operators
- geometrical interpretation

We should also mention:

- binary case: equivalent to Boolean functions
- Similar results hold for gray-scale image operators

Learning image operators

Goal of image operator learning

Given observed images f and respective expected transformation g , we would like to find Ψ such that $\Psi(f)$ is a good approximation of g

MAE (*mean absolute error*)

$$MAE\langle\Psi\rangle = E\left[|[\Psi(f)](p) - g(p)|\right]$$

Empirical MAE

$$Err = \frac{1}{|\mathbb{E}|} \sum_{p \in \mathbb{E}} \left| [\Psi(f)](p) - g(p) \right|$$

Average of pixel-wise absolute difference

Binary images: pixel error rate

Optimal W -operators

Window: W

Input-output pairs of images: (f, g)

Observations: (X, y)

X is a window image

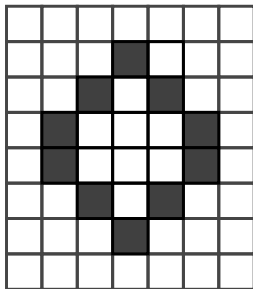
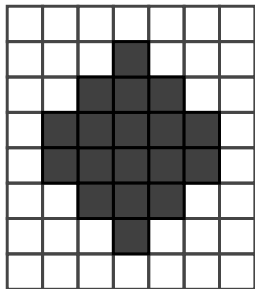
y is the corresponding output value

Optimal operator: (in the case of binary operators)

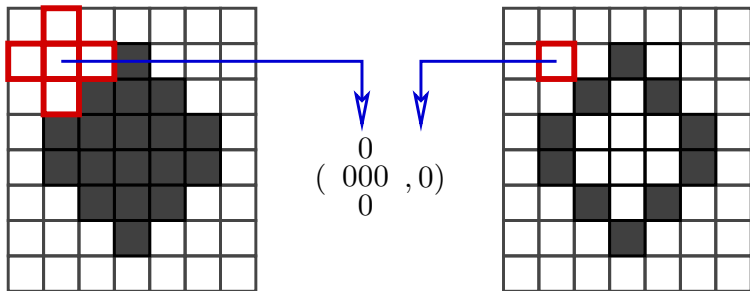
$$\psi(X) = \begin{cases} 1, & \text{if } P(1|X) > P(0|X), \\ 0, & \text{if } P(0|X) > P(1|X), \\ 0 \text{ or } 1 & \text{if } P(0|X) = P(1|X) = 0.5 \end{cases}$$

Probabilities $P(y|X)$ can be estimated from training images

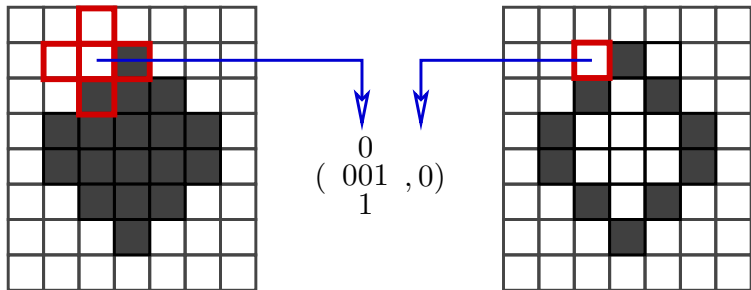
Counting occurrences of (X, y)



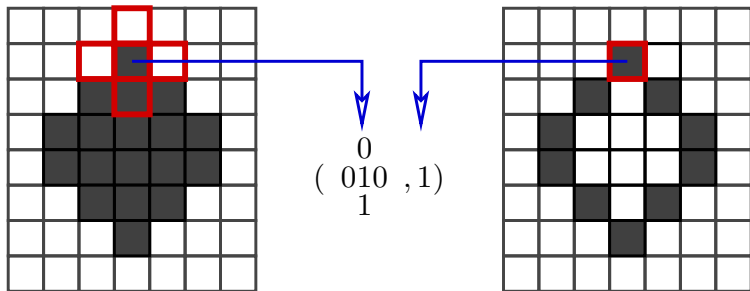
Counting occurrences of (X, y)



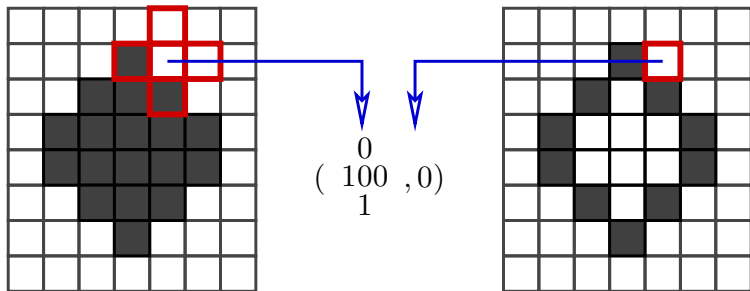
Counting occurrences of (X, y)













Counting occurrences of (X, y)



Counting occurrences of (X, y)



Example

X			$\psi(X)$
	27	0	0
	9	0	0
	3	3	0/1
	0	7	1
	7	1	0
	0	3	1
	0	8	1
	0	11	1

Optimal decision

$$\psi(X) = \begin{cases} 0, & \text{if } p(0|X) > p(1|X), \\ 1, & \text{if } p(0|X) < p(1|X), \\ \times, & \text{if } p(0|X) = p(1|X). \end{cases}$$

Short break for a new exercise

Exercise 3

Solution to exercise 3





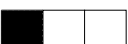


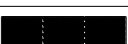
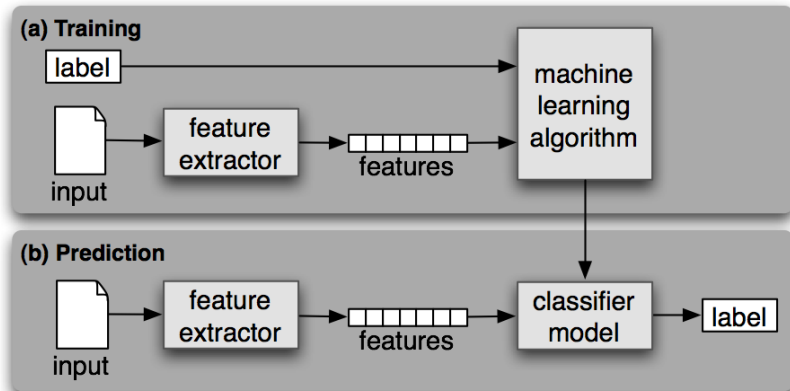
X	0	1
	2	8
	10	2
	0	44
	2	12
	11	2
	36	0
	2	10
	9	0

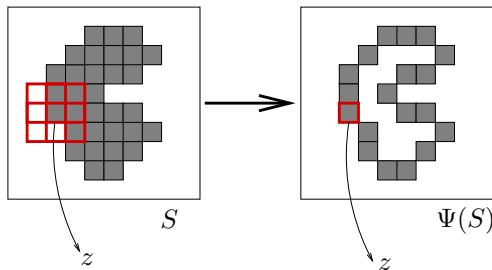
Image operator design **in the framework of** **Machine Learning**

Machine learning – Supervised classification



<http://www.nltk.org/book/ch06.html>

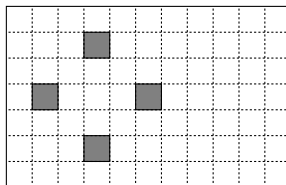
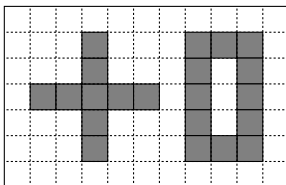
Learning the local function



$$\Psi(S)(z) = \psi \left(\begin{array}{ccc} \square & \square & \square \\ \square & \square & \square \\ \square & \square & \square \end{array} \right)$$

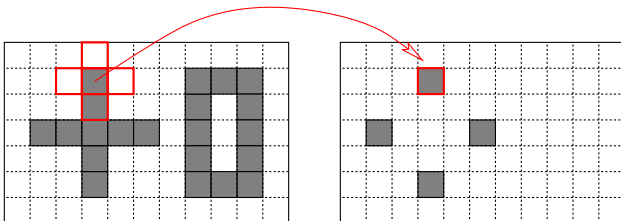
The local function can be understood as a **classifier**

Training samples



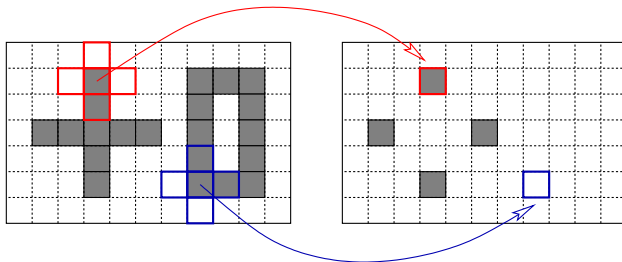
Training samples

Positive example



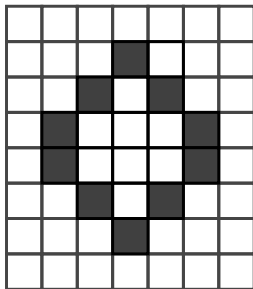
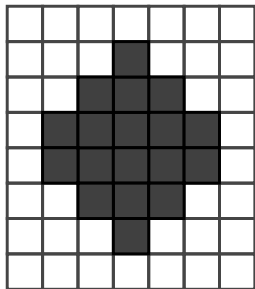
Training samples

Positive example

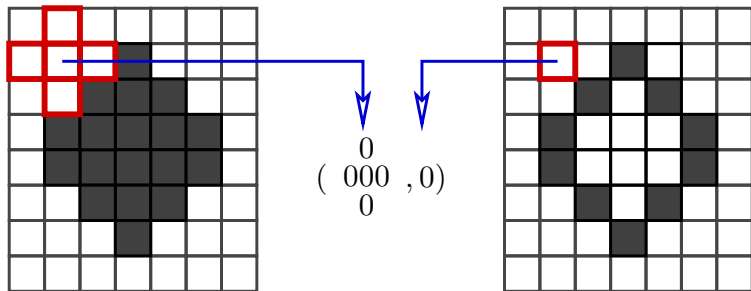


Negative example

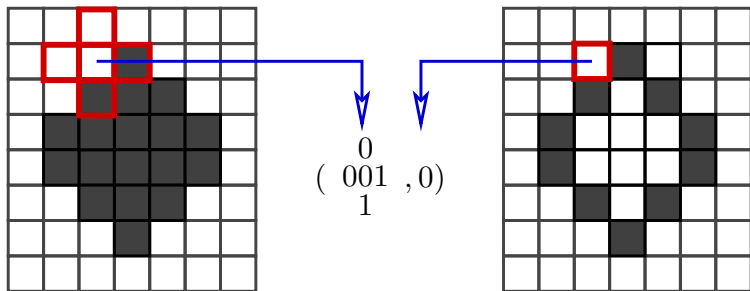
Feature extraction (to form the training set)



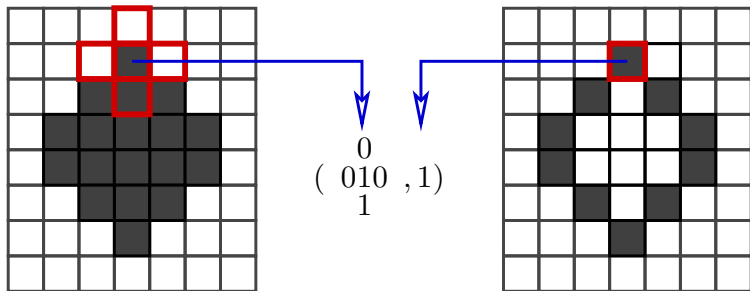
Feature extraction (to form the training set)



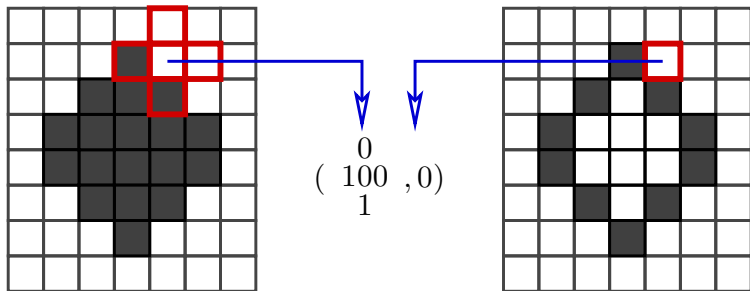
Feature extraction (to form the training set)



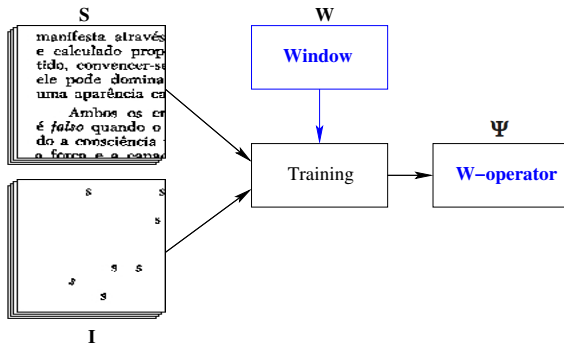
Feature extraction (to form the training set)



Feature extraction (to form the training set)



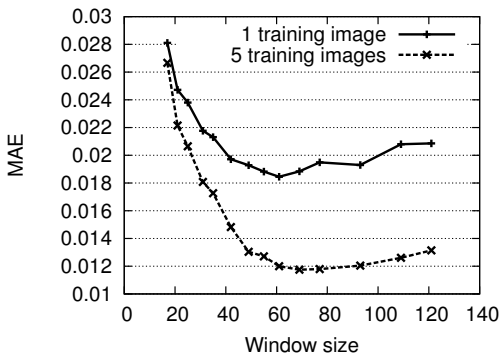
Overview



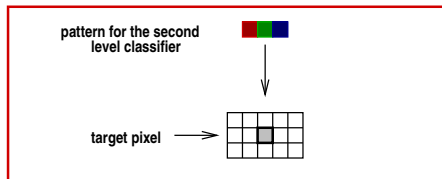
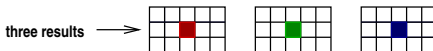
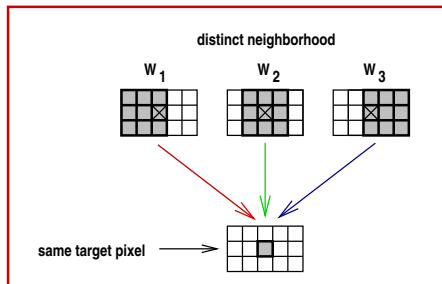
- W defines the **feature space**
- **Training data** is extracted from input-output images

The problem is not solved yet ...

Challenge: tradeoff between **window size** and **generalization error**

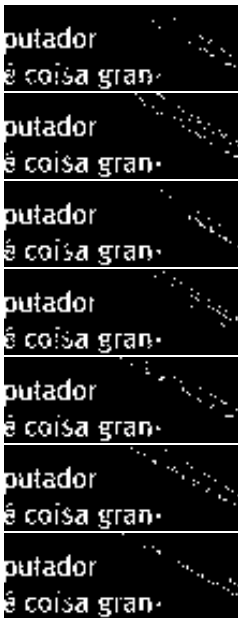


Two-level training





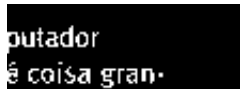
Input



Results of 7
operators



Superimposed
results
(darker = less votes)



Combination
result
(better than the
individual ones)



studio cyboRga

présente :

Je me présente :
Akira Dokk, votre
Lieutenant
assassin.

Lieutenant
assassin ? ...
Et ça sert à
quoi ?



studio cyboRga

présente :

Je me présente :
Akira Dokk, votre
Lieutenant
assassin.

Lieutenant
assassin ? ...
Et ça sert à
quoi ?

studio cyboRga

présente :

Je me présente :
Akira Dokk, votre
Lieutenant
assassin.

Lieutenant
assassin ? ...
Et ça sert à
quoi ?

studio cyboRga

présente :

Je me présente :
Akira Dokk, votre
Lieutenant
assassin.

Lieutenant
assassin ? ...
Et ça sert à
quoi ?

studio cyboRga

présente :

Je me présente :
Akira Dokk, votre
Lieutenant
assassin.

Lieutenant
assassin ? ...
Et ça sert à
quoi ?

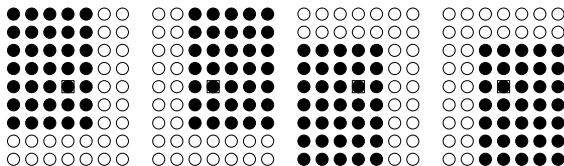
studio cyboRga

présente :

Je me présente :
Akira Dokk, votre
Lieutenant
assassin.

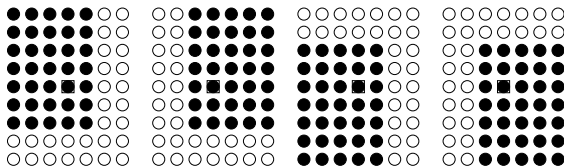
Lieutenant
assassin ? ...
Et ça sert à
quoi ?

Why two-level training scheme is good?



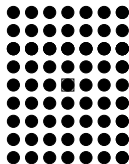
Windows in the first level training

Why two-level training scheme is good?



Windows in the first level training

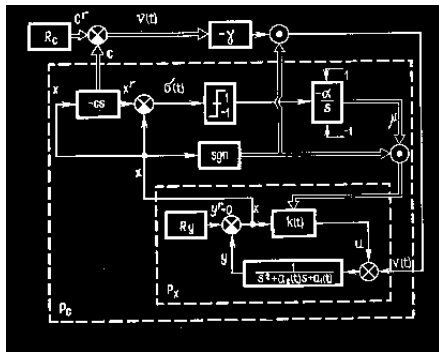
Their union is a larger window



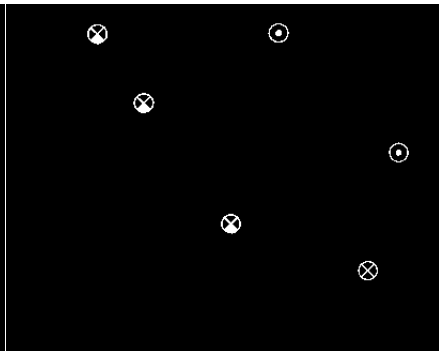
Two-level training (indirectly) considers a larger neighborhood, without increasing window size.

Application examples

Application examples

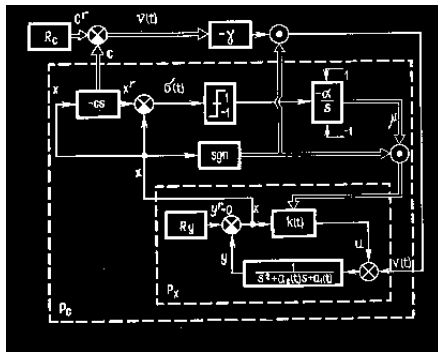


Input

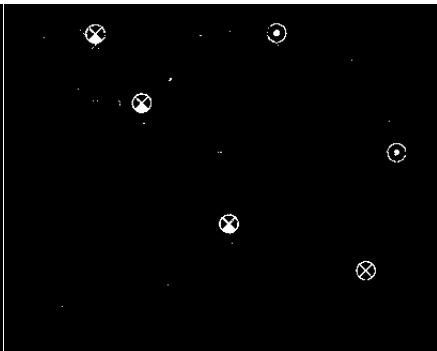


Expected output

Application examples

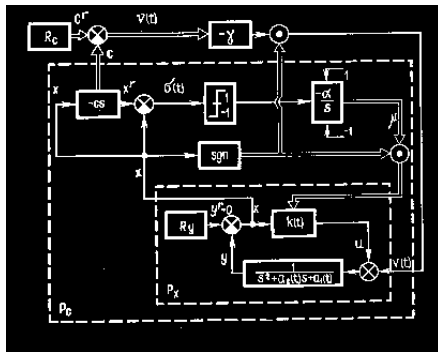


Input

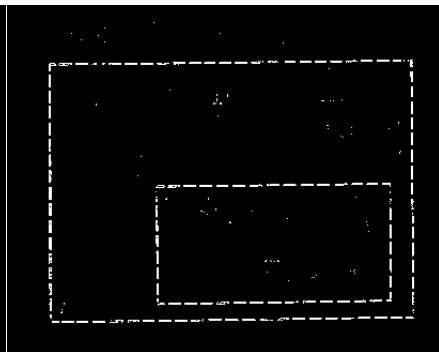


Test output

Application examples

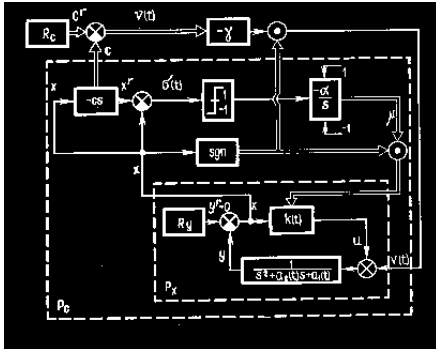


Input

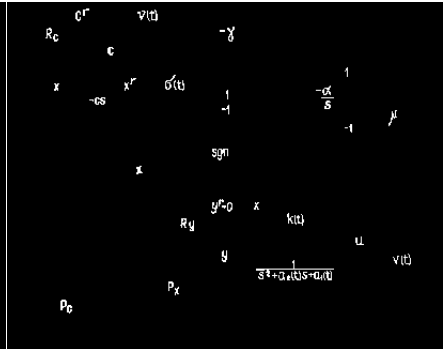


Test output

Application examples

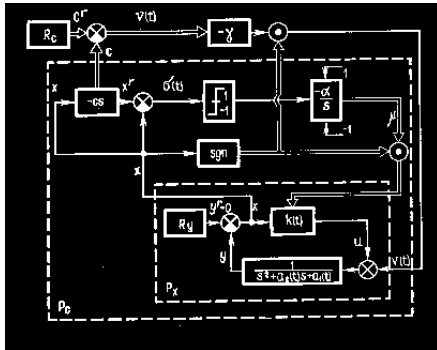


Input

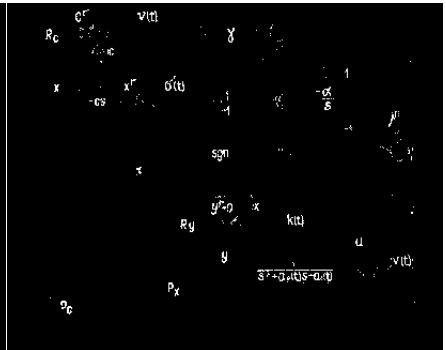


Expected output

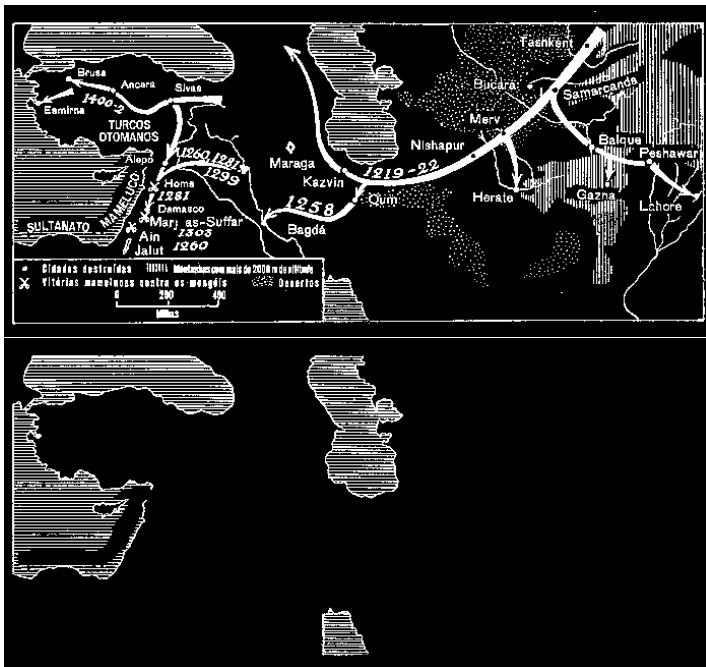
Application examples

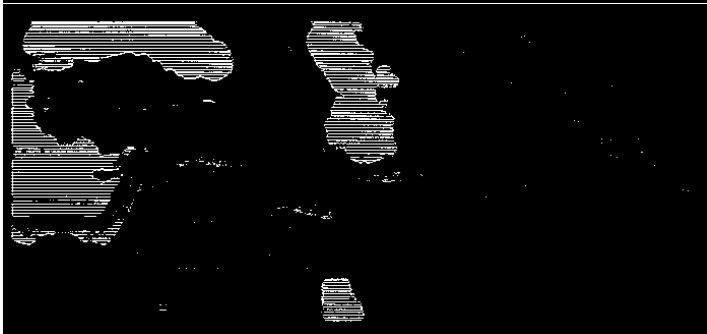
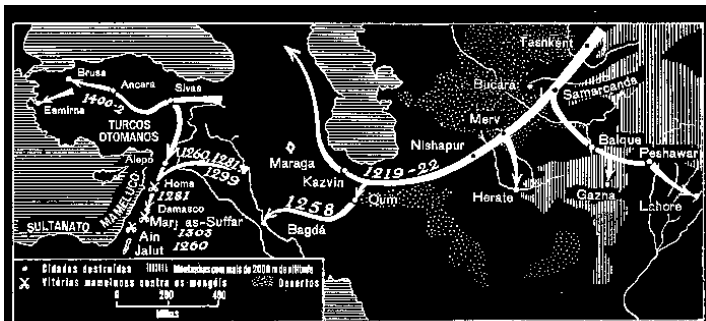


Input



Test output







Input



Expected output



Input



Test output

Ansiiedade

ficou confinado aos feudos das lojas especializadas. Depois pulso para lojas de eletrodomésticos ganhou espaço nos grandes magazines. Agora conquistou o espaço noite da popularização: apareceu em praças de supermercado. Em breve, em se tratando de Brasil, deve aparecer computador em barraca de camelô.

Moleçagens — É hora do almoço num supermercado Carrefour da Zona Sul de São Paulo, conhecida como o "barrido do patifeiro". Muita gente, pouco tempo, o maior indício de pequenos lúrios. Desde que a rede inaugurou o setor de informática, em 15 de agosto, é festa. Gravatas, tailleurs, off-cc-boys e carinhos de feira cheios estacionam na frente das máquinas em exposição.

Em meio a melancias, biscoitos, refrigerantes, ninguém tem medo de se aproximar do bicho. Em supermercado, ninguém precisa pretender ser especialista. Uma senhora olha intrigada para uma mensagem em letras verdes sobre fundo azul que seima em piscar no monitor de um micro Quesit 100 (cinquenta unidades vendidas em uma semana): "Carrefour, tudo o que você não quer". A mensagem foi gravada clandestinamente, como senha, por um dos muitos microcos que sempre rondam o setor.

— Essa vou ficar fácil da tela — resmungo um dos vendedores, já treinado em apagar as moleçagens.

Ela pega o mouse. Sacoleja a peça, e olha. Descobre que tuabram a bolinha do mouse que faz funcionar o ratinho. Pega o computador vizinho, mas também esse tem a bolinha surrupada. É o Brasil entrando na era da informática.

Por que você não planeja comprar um computador?

Eu não quero	64%
Não tenho dinheiro	14%
Não sei usar	14%
Não é necessário	5%
Não tenho tempo	2%

Fonte: Ibope/Instituto Alergia

há é que a máquina funcione, e isso eu garanto. Não que ela seja bonita. Um micro é sempre um micro. Tudo igual. Para contrabê-lo é só olhar o jornal". Uma tele-vendedora da Planus (grandes anúncios, pequenas instalações) até se esforça para romper a barreira. "Vou explicar: 1 byte tem 8 bits. Um caractere é o mesmo que 1 byte. Mega é um. Portanto uma memória de 8 megas é mais do que suficiente". Dez à sexta? Suficiente para quê? Como diria o senhor da Paraíba: "Está certo, está certo".

Para o orçamento e a cabeça do comprador, sobretudo aquele que ainda não usa a máquina no trabalho, a aquisição de um com-

putador é coisa grande. Deveria ser sensorial como a de um carro, que a gente namora, testa, compara, muda a escolha da cor e opcionais vinte vezes antes de fechar o negócio. Na compra de um micro não tem nada disso — na melhor das hipóteses pode-se mexer no teclado em exposição e se encantar com as telas coloridas no monitor. Ao contrário de um carro, que ninguém vai comprar sem saber dirigir, ou de uma geladeira, que a ninguém interessa saber como funciona pois não sabe gelar sorvete, o micro será o que o seu dono fizer dele. Mas isso ele só descobrirá aos poucos, em noites mal dormidas (veja reportagem na página seguinte).

Foi em 1995 que a barreira física entre a máquina e o comprador brasileiro começou a se romper espetacularmente. À opção da televisão — rápida e prática para quem sabe exatamente o que quer — surgiram pontos de venda em carne e osso para o micro. Inicialmente ele ainda

Em 1995 o computador chegou nos pontos de venda: supermercados no Brasil.

De era do micro proibido para a sua popularização foi um passo

Expected output

ficou confinado aos feudos das lojas especializadas. Depois pulso para lojas de eletrodomésticos ganhou espaço nos grandes magazines. Agora conquistou o espaço noite da popularização: apareceu em praças de supermercado. Em breve, em se tratando de Brasil, deve aparecer computador em barraca de camelô.

Moleçagens — É hora do almoço num supermercado Carrefour da Zona Sul de São Paulo, conhecida como o "barrido do patifeiro". Muita gente, pouco tempo, o maior indício de pequenos lúrios. Desde que a rede inaugurou o setor de informática, em 15 de agosto, é festa. Gravatas, tailleurs, off-cc-boys e carinhos de feira cheios estacionam na frente das máquinas em exposição.

Em meio a melancias, biscoitos, refrigerantes, ninguém tem medo de se aproximar do bicho. Em supermercado, ninguém precisa pretender ser especialista. Uma senhora olha intrigada para uma mensagem em letras verdes sobre fundo azul que seima em piscar no monitor de um micro Quesit 100 (cinquenta unidades vendidas em uma semana): "Carrefour, tudo o que você não quer". A mensagem foi gravada clandestinamente, como senha, por um dos muitos microcos que sempre rondam o setor.

— Essa vou ficar fácil da tela — resmungo um dos vendedores, já treinado em apagar as moleçagens.

Ela pega o mouse. Sacoleja a peça, e olha. Descobre que tuabram a bolinha do mouse que faz funcionar o ratinho. Pega o computador vizinho, mas também esse tem a bolinha surrupada. É o Brasil entrando na era da informática.

Por que você não planeja comprar um computador?

Eu não quero	64%
Não tenho dinheiro	14%
Não sei usar	14%
Não é necessário	5%
Não tenho tempo	2%

Fonte: Ibope/Instituto Alergia

há é que a máquina funcione, e isso eu garanto. Não que ela seja bonita. Um micro é sempre um micro. Tudo igual. Para contrabê-lo é só olhar o jornal". Uma tele-vendedora da Planus (grandes anúncios, pequenas instalações) até se esforça para romper a barreira. "Vou explicar: 1 byte tem 8 bits. Um caractere é o mesmo que 1 byte. Mega é um. Portanto uma memória de 8 megas é mais do que suficiente". Dez à sexta? Suficiente para quê? Como diria o senhor da Paraíba: "Está certo, está certo".

Para o orçamento e a cabeça do comprador, sobretudo aquele que ainda não usa a máquina no trabalho, a aquisição de um com-

putador é coisa grande. Deveria ser sensorial como a de um carro, que a gente namora, testa, compara, muda a escolha da cor e opcionais vinte vezes antes de fechar o negócio. Na compra de um micro não tem nada disso — na melhor das hipóteses pode-se mexer no teclado em exposição e se encantar com as telas coloridas no monitor. Ao contrário de um carro, que ninguém vai comprar sem saber dirigir, ou de uma geladeira, que a ninguém interessa saber como funciona pois não sabe gelar sorvete, o micro será o que o seu dono fizer dele. Mas isso ele só descobrirá aos poucos, em noites mal dormidas (veja reportagem na página seguinte).

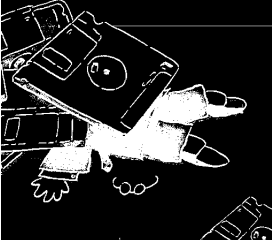
Foi em 1995 que a barreira física entre a máquina e o comprador brasileiro começou a se romper espetacularmente. À opção da televisão — rápida e prática para quem sabe exatamente o que quer — surgiram pontos de venda em carne e osso para o micro. Inicialmente ele ainda

Em 1995 o computador chegou nos pontos de venda: supermercados no Brasil.

De era do micro proibido para a sua popularização foi um passo

Input

Expected output



Por que você não planeja comprar um computador?

Opção	Porcentagem
Eu não quero	64%
Não tenho dinheiro	14%
Não sei usar	14%
Não é necessário	8%

Fonte: IBGE, Pesquisa Nacional por Amostragem Domiciliar, 1995.

Ansiedade

ficou confinado aos feudos das lojas especializadas. Depois pulso para lojas de eletrodomésticos ganhou espaço nos grandes magazines. Agora conquistou o espaço noite da popularização: apareceu em praças de supermercado. Em breve, em se tratando de Brasil, deve aparecer computador em barraca de camelô.

Melancagens — É hora do almoço num supermercado. Reforço da Zona Sul de São Paulo, conhecida como o "barrido do palheiro". Muita gente, pouco tempo, o maior indício de pequenos lúrios. Desde que a rede inaugurou o setor de informática, em 25 de agosto, é festa. Gravatas, tailleurs, offic-boys e carinhos de feira cheios estacionam na frente das máquinas em exposição. Em meio a melancias, biscoitos, refrigerantes, ninguém tem medo de se aproximar do bicho. Em supermercado, ninguém precisa pretender ser especialista. Uma senhora olha intrigada para uma mensagem em letras verdes sobre fundo azul que seima em piscar no monitor de um micro Quest 100 (cinquenta unidades vendidas em uma semana): "Carrefour, tudo o que você não quer". A mensagem foi gravada clandestinamente, como senha, por um dos muitos microcos que sempre rondam o setor.

— Essa vou ficar fácil da tela — revirunga um dos vendedores, já treinado em apagar as melancagens.

Ela pega o mouse. Sacoleja a peça, e nada. Descobre que tucaram a bolinha do mouse que tucou o computador o ranhio. Paga o computador vizinho, mas também esse tem a bolinha surrupiada. É o Brasil, entrando na era da informática.

pelador é coisa grande. Deveria ser sensível como a de um carro, que a gente manobra, testa, compara, muda a escolha da cor e opcionais vinte vezes antes de fechar o negócio. Na compra de um micro não tem nada disso — na melhor das hipóteses, pode-se mexer no teclado em exposição e se encantar com as telas coloridas no monitor. Ao contrário de um carro, que ninguém vai comprar sem saber dirigir, ou de uma geladeira, que a ninguém interessa saber como funciona pois não sabe gear cozinha, o micro tem o que o seu dono ler de tela. Mas isso ele só descobrirá aos poucos, em noites mal dormidas (veja reportagem no próximo capítulo).

Foi em 1995 que a barrera física entre a máquina e o comprador brasileiro começou a se romper espectacularmente. A opção da televisão — rápida e prática para quem sabe exatamente o que quer — surgiram pontos de venda em carne e osso para o micro. Inicialmente ele ainda

Se é que a máquina funcione, e isso eu garanto. Não que ela seja bonita, um micro é sempre um micro. Tudo igual. Para combater o "é só olhar o jornal". Uma tele-vendedora da Planus (grandes anúncios, pequenas instalações) até se esforça para romper a barreira. "Você explicar a brite tem 8 bits. Um caractere é o mesmo que a brite. Depois é só. Portanto uma memória de 8 megas é mais do que suficiente". Des a sexta? Suficiente para quê? Como dita o senhor da Paraíba: "Está certo, está certo".

Para o orçamento e a cabeça do comprador, sobretudo aquele que ainda não usa a máquina no trabalho, a aquisição de um com-

Ansiedade

ficou confinado aos feudos das lojas especializadas. Depois pulso para lojas de eletrodomésticos ganhou espaço nos grandes magazines. Agora conquistou o espaço noite da popularização: apareceu em praças de supermercado. Em breve, em se tratando de Brasil, deve aparecer computador em barraca de camelô.

Melancagens — É hora do almoço num supermercado. Reforço da Zona Sul de São Paulo, conhecida como o "barrido do palheiro". Muita gente, pouco tempo, o maior indício de pequenos lúrios. Desde que a rede inaugurou o setor de informática, em 25 de agosto, é festa. Gravatas, tailleurs, offic-boys e carinhos de feira cheios estacionam na frente das máquinas em exposição. Em meio a melancias, biscoitos, refrigerantes, ninguém tem medo de se aproximar do bicho. Em supermercado, ninguém precisa pretender ser especialista. Uma senhora olha intrigada para uma mensagem em letras verdes sobre fundo azul que seima em piscar no monitor de um micro Quest 100 (cinquenta unidades vendidas em uma semana): "Carrefour, tudo o que você não quer". A mensagem foi gravada clandestinamente, como senha, por um dos muitos microcos que sempre rondam o setor.

— Essa vou ficar fácil da tela — revirunga um dos vendedores, já treinado em apagar as melancagens.

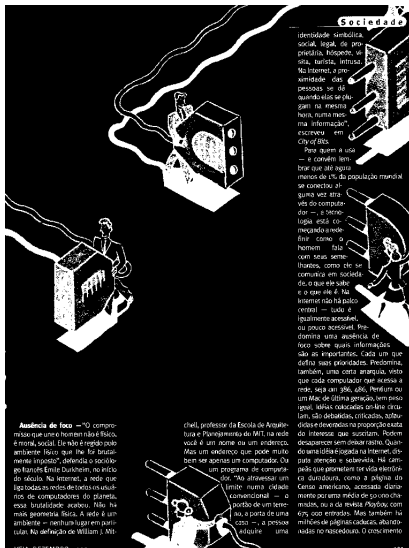
Ela pega o mouse. Sacoleja a peça, e nada. Descobre que tucaram a bolinha do mouse que tucou o computador o ranhio. Paga o computador vizinho, mas também esse tem a bolinha surrupiada. É o Brasil, entrando na era da informática.

putador é coisa grande. Deveria ser sensível como a de um carro, que a gente manobra, testa, compara, muda a escolha da cor e opcionais vinte vezes antes de fechar o negócio. Na compra de um micro não tem nada disso — na melhor das hipóteses, pode-se mexer no teclado em exposição e se encantar com as telas coloridas no monitor. Ao contrário de um carro, que ninguém vai comprar sem saber dirigir, ou de uma geladeira, que a ninguém interessa saber como funciona pois não sabe gear cozinha, o micro tem o que o seu dono ler de tela. Mas isso ele só descobrirá aos poucos, em noites mal dormidas (veja reportagem no próximo capítulo).

Foi em 1995 que a barrera física entre a máquina e o comprador brasileiro começou a se romper espectacularmente. A opção da televisão — rápida e prática para quem sabe exatamente o que quer — surgiram pontos de venda em carne e osso para o micro. Inicialmente ele ainda

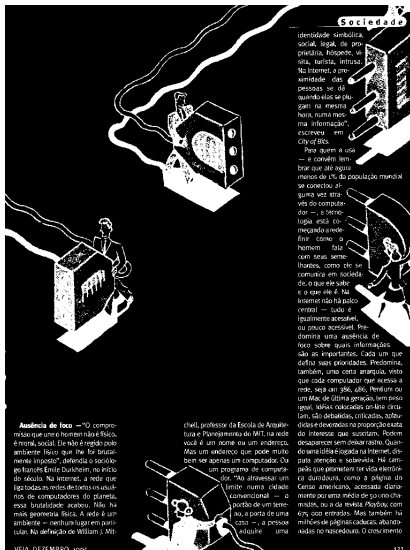
Input

Test output



Input

Expected output



Input



Test output

an den Ausschlägen des kleinen Pendelchens, daß jetzt die andere Stimmgabel schwingt. Es ist Resonanz eingetreten. Offenbar hat die Luft die Schwingungen der einen Gabel auf die andere übertragen. Daß so etwas möglich ist, soll uns ein weiterer Versuch mit ganz langsamen Schwingungen zeigen:

Ein 2 kg-Wägestock wird an einem etwa 2 m langen Faden aufgehängt. Dann blasen wir einmal kräftig dagegen. Der Erfolg ist eine kaum wahrnehmbare Pendelschwingung. Wir können sie aber leicht zu kräftigen Schwingungen aufschaukeln, wenn wir noch ein paar Mal gegen das Pendel blasen. Voraussetzung dafür ist, daß dies immer in der Eigenfrequenz der Pendelschwingung im richtigen Augenblick geschieht (Abb. 143.1).

Bei dem Versuch mit den beiden Resonanzstimmgabeln waren die kleinen Luftlöse, die die erste Gabel verursachte, imstande, die zweite zu kräftigen Schwingungen aufschaukeln. Beide Gabeln hatten die gleiche Eigenfrequenz, deshalb erfolgten die Luftlöse immer im richtigen Augenblick.

Ein weiterer Versuch zeigt, daß auch bei den Resonanzstimmgabeln die anregende und die angeregte Frequenz gleich sein müssen, wenn Resonanz eintreten soll:

Wir erniedrigen die Frequenz einer der Gabeln durch ein kleines Zusatzkörperchen, das wir an ihre Zinken klemmen. Wiederholen wir jetzt den Versuch 14, so finden wir keine Resonanz mehr.

Erfährt ein schwingungsfähiger Körper aufeinanderfolgend kleine Stöße in seiner Eigenfrequenz, so wird er zu kräftigen Schwingungen angeregt: es tritt Resonanz ein.

Eine praktische Anwendung findet die Resonanz beim Bau von Frequenzmessern. Solche Geräte besitzen viele Stahlfedern verschiedener Länge. Die zu messende Frequenz regt die Zunge zum Schwingen an, deren Eigenfrequenz mit ihr übereinstimmt (s. Abb. 143.2).

Manche Teile einer Maschine oder eines Autos sind schwingungsfähige Gebilde. Fällt die Drehzahl des Motors mit der Eigenfrequenz eines solchen Teils zusammen, so erzeugt er Resonanzschwingungen. Derartige Schwingungen können so stark werden, daß sie zu Zerstörungen führen. Auf Drehzahlmessern werden die Bereiche solcher kritischen Drehzahlen durch rote Sektoren gekennzeichnet; auf ihnen soll der Zeiger des Instruments nicht lange verweilen.



143.1 Luftlöse bringen das schwere Pendel zum Schwingen



143.2 Frequenzmesser. Der hell durchsichtig erscheinende Deckel läßt die Stahlfedern erkennen, die durch Beschriften mit Lötlinien am oberen Ende auf die richtige Eigenfrequenz gebracht sind. Die Zunge mit 1400 Hz schwingt in Resonanz

Input

an den Ausschlägen des kleinen Pendelchens, daß jetzt die andere Stimmgabel schwingt. Es ist Resonanz eingetreten. Offenbar hat die Luft die Schwingungen der einen Gabel auf die andere übertragen. Daß so etwas möglich ist, soll uns ein weiterer Versuch mit ganz langsamen Schwingungen zeigen:

Ein 2 kg-Wägestock wird an einem etwa 2 m langen Faden aufgehängt. Dann blasen wir einmal kräftig dagegen. Der Erfolg ist eine kaum wahrnehmbare Pendelschwingung. Wir können sie aber leicht zu kräftigen Schwingungen aufschaukeln, wenn wir noch ein paar Mal gegen das Pendel blasen. Voraussetzung dafür ist, daß dies immer in der Eigenfrequenz der Pendelschwingung im richtigen Augenblick geschieht (Abb. 143.1).

Bei dem Versuch mit den beiden Resonanzstimmgabeln waren die kleinen Luftlöse, die die erste Gabel verursachte, imstande, die zweite zu kräftigen Schwingungen aufschaukeln. Beide Gabeln hatten die gleiche Eigenfrequenz, deshalb erfolgten die Luftlöse immer im richtigen Augenblick.

Ein weiterer Versuch zeigt, daß auch bei den Resonanzstimmgabeln die anregende und die angeregte Frequenz gleich sein müssen, wenn Resonanz eintreten soll:

Wir erniedrigen die Frequenz einer der Gabeln durch ein kleines Zusatzkörperchen, das wir an ihre Zinken klemmen. Wiederholen wir jetzt den Versuch 14, so finden wir keine Resonanz mehr.

Erfährt ein schwingungsfähiger Körper aufeinanderfolgend kleine Stöße in seiner Eigenfrequenz, so wird er zu kräftigen Schwingungen angeregt: es tritt Resonanz ein.

Eine praktische Anwendung findet die Resonanz beim Bau von Frequenzmessern. Solche Geräte besitzen viele Stahlfedern verschiedener Länge. Die zu messende Frequenz regt die Zunge zum Schwingen an, deren Eigenfrequenz mit ihr übereinstimmt (s. Abb. 143.2).

Manche Teile einer Maschine oder eines Autos sind schwingungsfähige Gebilde. Fällt die Drehzahl des Motors mit der Eigenfrequenz eines solchen Teils zusammen, so erzeugt er Resonanzschwingungen. Derartige Schwingungen können so stark werden, daß sie zu Zerstörungen führen. Auf Drehzahlmessern werden die Bereiche solcher kritischen Drehzahlen durch rote Sektoren gekennzeichnet; auf ihnen soll der Zeiger des Instruments nicht lange verweilen.

143.2 Frequenzmesser. Der hell durchsichtig erscheinende Deckel läßt die Stahlfedern erkennen, die durch Beschriften mit Lötlinien am oberen Ende auf die richtige Eigenfrequenz gebracht sind. Die Zunge mit 1400 Hz schwingt in Resonanz

Expected output

an den Ausschlägen des kleinen Pendelchens, daß jetzt die andere Stimmgabel schwingt. Es ist Resonanz eingetreten. Offenbar hat die Luft die Schwingungen der einen Gabel auf die andere übertragen. Daß so etwas möglich ist, soll uns ein weiterer Versuch mit ganz langsamen Schwingungen zeigen:

Ein 2 kg-Wägestück wird an einem etwa 2 m langen Faden aufgehängt. Dann blasen wir einmal kräftig dagegen. Der Erfolg ist eine kaum wahrnehmbare Pendelschwingung. Wir können sie aber leicht zu kräftigen Schwingungen aufschaukeln, wenn wir noch ein paar Mal gegen das Pendel blasen. Voraussetzung dafür ist, daß dies immer in der Eigenfrequenz der Pendelschwingung im richtigen Augenblick geschieht (Abb. 143.1).

Bei dem Versuch mit den beiden Resonanzstimmgabeln waren die kleinen Luftlöse, die die erste Gabel verursachte, imstande, die zweite zu kräftigen Schwingungen aufschaukeln. Beide Gabeln hatten die gleiche Eigenfrequenz, deshalb erfolgten die Luftlöse immer im richtigen Augenblick.

Ein weiterer Versuch zeigt, daß auch bei den Resonanzstimmgabeln die anregende und die angeregte Frequenz gleich sein müssen, wenn Resonanz eintreten soll:

Wir erniedrigen die Frequenz einer der Gabeln durch ein kleines Zusatzkörperchen, das wir an ihre Zinken klemmen. Wiederholen wir jetzt den Versuch 14, so finden wir keine Resonanz mehr.

Erfährt ein schwingungsfähiger Körper aufeinanderfolgend kleine Stöße in seiner Eigenfrequenz, so wird er zu kräftigen Schwingungen angeregt: es tritt Resonanz ein.

Eine praktische Anwendung findet die Resonanz beim Bau von Frequenzmessern. Solche Geräte besitzen viele Stahlfedern verschiedener Länge. Die zu messende Frequenz regt die Zunge zum Schwingen an, deren Eigenfrequenz mit ihr übereinstimmt (s. Abb. 143.2).

Manche Teile einer Maschine oder eines Autos sind schwingungsfähige Gebilde. Fällt die Drehzahl des Motors mit der Eigenfrequenz eines solchen Teils zusammen, so erzeugt er Resonanzschwingungen. Derartige Schwingungen können so stark werden, daß sie zu Zerstörungen führen. Auf Drehzahlmessern werden die Bereiche solcher kritischen Drehzahlen durch rote Sektoren gekennzeichnet; auf ihnen soll der Zeiger des Instruments nicht lange verweilen.



143.1 Luftlöse bringen das schwere Pendel zum Schwingen



143.2 Frequenzmesser. Der hell durchsichtig erscheinende Drehzahlzeiger erkennt die durch Beschweren mit Lötzin an oberen Ende auf die richtige Eigenfrequenz getrachtet sind. Die Zunge mit 1400 Hz schwingt in Resonanz

Input

an den Ausschlägen des kleinen Pendelchens, daß jetzt die andere Stimmgabel schwingt. Es ist Resonanz eingetreten. Offenbar hat die Luft die Schwingungen der einen Gabel auf die andere übertragen. Daß so etwas möglich ist, soll uns ein weiterer Versuch mit ganz langsamen Schwingungen zeigen:

Ein 2 kg-Wägestück wird an einem etwa 2 m langen Faden aufgehängt. Dann blasen wir einmal kräftig dagegen. Der Erfolg ist eine kaum wahrnehmbare Pendelschwingung. Wir können sie aber leicht zu kräftigen Schwingungen aufschaukeln, wenn wir noch ein paar Mal gegen das Pendel blasen. Voraussetzung dafür ist, daß dies immer in der Eigenfrequenz der Pendelschwingung im richtigen Augenblick geschieht (Abb. 143.1).

Bei dem Versuch mit den beiden Resonanzstimmgabeln waren die kleinen Luftlöse, die die erste Gabel verursachte, imstande, die zweite zu kräftigen Schwingungen aufschaukeln. Beide Gabeln hatten die gleiche Eigenfrequenz, deshalb erfolgten die Luftlöse immer im richtigen Augenblick.

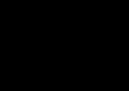
Ein weiterer Versuch zeigt, daß auch bei den Resonanzstimmgabeln die anregende und die angeregte Frequenz gleich sein müssen, wenn Resonanz eintreten soll:

Wir erniedrigen die Frequenz einer der Gabeln durch ein kleines Zusatzkörperchen, das wir an ihre Zinken klemmen. Wiederholen wir jetzt den Versuch 14, so finden wir keine Resonanz mehr.

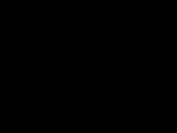
Erfährt ein schwingungsfähiger Körper aufeinanderfolgend kleine Stöße in seiner Eigenfrequenz, so wird er zu kräftigen Schwingungen angeregt: es tritt Resonanz ein.

Eine praktische Anwendung findet die Resonanz beim Bau von Frequenzmessern. Solche Geräte besitzen viele Stahlfedern verschiedener Länge. Die zu messende Frequenz regt die Zunge zum Schwingen an, deren Eigenfrequenz mit ihr übereinstimmt (s. Abb. 143.2).

Manche Teile einer Maschine oder eines Autos sind schwingungsfähige Gebilde. Fällt die Drehzahl des Motors mit der Eigenfrequenz eines solchen Teils zusammen, so erzeugt er Resonanzschwingungen. Derartige Schwingungen können so stark werden, daß sie zu Zerstörungen führen. Auf Drehzahlmessern werden die Bereiche solcher kritischen Drehzahlen durch rote Sektoren gekennzeichnet; auf ihnen soll der Zeiger des Instruments nicht lange verweilen.



143.1 Luftlöse bringen das schwere Pendel zum Schwingen



143.2 Frequenzmesser. Der hell durchsichtig erscheinende Drehzahlzeiger erkennt die durch Beschweren mit Lötzin an oberen Ende auf die richtige Eigenfrequenz getrachtet sind. Die Zunge mit 1400 Hz schwingt in Resonanz

Test output

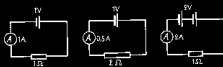
Wenn zwischen den Enden eines Leiters die Spannung U liegt und in ihm Strom der Stärke I fließt, berechnet man den Widerstand R des Leiters nach

$$R = \frac{U}{I} \quad (\text{Definition des Widerstands}). \quad (268.1)$$

Die Einheit des Widerstandes ist 1 Ohm (Ω) = 1 Volt/Ampere.

3. G. S. Ohm untersuchte auch, wie sich der Widerstand eines Drahtes beim Erwärmen ändert:

268.1 Erhitze mit dem Bunsenbrenner eine Wendel aus dünnem Eisendraht, die nach Abb. 268.3 in einem Stromkreis liegt. Die Stromstärke I sinkt erheblich, obwohl die Spannung U konstant bleibt. Nach $R = U/I$ steigt also beim Erwärmen der Widerstand des Eisens an (Abb. 268.4). Konstanten behält nach Abb. 268.4 beim Erhitzen konstanten Widerstand. Deshalb blieb in V 76 der Widerstand trotz der Erwärmung des Konstantendrahts durch den Strom konstant. Aus dem gleichen Grund benötigt man diese und ähnliche Legierungen in Meßgeräten. Bei Kohle sinkt beim Erwärmen der Widerstand.



268.2 Stimmen die Angaben?

268.2 Mit nach V 76 des Widerstand einer Glühlampe bei sehr kleiner Stromstärke! Auf welchen Wert steigt er bei normaler Belastung infolge der Erwärmung?

Der Widerstand von Metallen nimmt im allgemeinen beim Erwärmen zu.

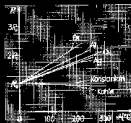
Stellt man durch Versuch den Zusammenhang zwischen Widerstand und Temperatur fest, so kann man nachher aus dem gemessenen Widerstand auf die Temperatur schließen. Diese Widerstandsthermometer gestalten auf elektrischem Wege Temperaturen an entfernten oder schwer zugänglichen Orten sowie bei großer Hitze zu messen (Flugzeugmotoren, Öfen). Siehe auch § 112.



268.1 Georg Simon Ohm wurde 1789 in Erlangen geboren, war Gymnasiallehrer in Köln (wo er um 1826 das nach ihm benannte Gesetz fand), Direktor der Polytechnischen Schule in Nürnberg und Professor in München, wo er 1854 starb. Er untersuchte auch die Oberläufe von Flüssen (Bild aus dem Deutsches Museum, München).



268.3 Beim Erwärmen steigt der Widerstand des Metalls



268.4 Temperaturabhängigkeit von Widerständen

Wenn zwischen den Enden eines Leiters die Spannung U liegt und in ihm Strom der Stärke I fließt, berechnet man den Widerstand R des Leiters nach

$$R = \frac{U}{I} \quad (\text{Definition des Widerstands}). \quad (268.1)$$

Die Einheit des Widerstandes ist 1 Ohm (Ω) = 1 Volt/Ampere.

3. G. S. Ohm untersuchte auch, wie sich der Widerstand eines Drahtes beim Erwärmen ändert:

Erhitze mit dem Bunsenbrenner eine Wendel aus dünnem Eisendraht, die nach Abb. 268.3 in einem Stromkreis liegt. Die Stromstärke I sinkt erheblich, obwohl die Spannung U konstant bleibt. Nach $R = U/I$ steigt also beim Erwärmen der Widerstand des Eisens an (Abb. 268.4). Konstanten behält nach Abb. 268.4 beim Erhitzen konstanten Widerstand. Deshalb blieb in V 76 der Widerstand trotz der Erwärmung des Konstantendrahts durch den Strom konstant. Aus dem gleichen Grund benötigt man diese und ähnliche Legierungen in Meßgeräten. Bei Kohle sinkt beim Erwärmen der Widerstand.

268.1 Georg Simon Ohm wurde 1789 in Erlangen geboren, war Gymnasiallehrer in Köln (wo er um 1826 das nach ihm benannte Gesetz fand), Direktor der Polytechnischen Schule in Nürnberg und Professor in München, wo er 1854 starb. Er untersuchte auch die Oberläufe von Flüssen (Bild aus dem Deutsches Museum, München).

268.2 Stimmen die Angaben?

Mit nach V 76 des Widerstand einer Glühlampe bei sehr kleiner Stromstärke! Auf welchen Wert steigt er bei normaler Belastung infolge der Erwärmung?

Der Widerstand von Metallen nimmt im allgemeinen beim Erwärmen zu.

Stellt man durch Versuch den Zusammenhang zwischen Widerstand und Temperatur fest, so kann man nachher aus dem gemessenen Widerstand auf die Temperatur schließen. Diese Widerstandsthermometer gestalten auf elektrischem Wege Temperaturen an entfernten oder schwer zugänglichen Orten sowie bei großer Hitze zu messen (Flugzeugmotoren, Öfen). Siehe auch § 112.

268.3 Beim Erwärmen steigt der Widerstand des Metalls

268.4 Temperaturabhängigkeit von Widerständen

Input

Expected output

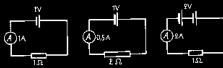
Wenn zwischen den Enden eines Leiters die Spannung U liegt und in ihm Strom der Stärke I fließt, berechnet man den Widerstand R des Leiters nach

$$R = \frac{U}{I} \quad (\text{Definition des Widerstands}), (268.1)$$

Die Einheit des Widerstandes ist 1 Ohm (Ω) = 1 Volt/Ampere.

3. G. S. Ohm untersuchte auch, wie sich der Widerstand eines Drahtes beim Erwärmen ändert:

268.2 Erhitze mit dem Bunsenbrenner eine Wendel aus dünnem Eisendraht, die nach Abb. 268.3 in einem Stromkreis liegt. Die Stromstärke I sinkt erheblich, obwohl die Spannung U konstant bleibt. Nach $R = U/I$ steigt also beim Erwärmen der Widerstand des Eisens an (Abb. 268.4). Konstanten behält nach Abb. 258.4 beim Erhitzen konstanter Widerstand. Deshalb blieb in V 76 der Widerstand trotz der Erwärmung des Konstantendrahts durch den Strom konstant. Aus dem gleichen Grund benötigt man diese und ähnliche Legierungen in Meßgeräten. Bei Kohle sinkt beim Erwärmen der Widerstand.



258.2 Stimmen die Angaben?

268.3 Mit nach V 76 des Widerstand einer Glühlampe bei sehr kleiner Stromstärke! Auf welchen Wert steigt er bei normaler Belastung infolge der Erwärmung?

Der Widerstand von Metallen nimmt im allgemeinen beim Erwärmen zu.

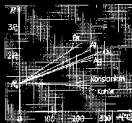
Stellt man durch Versuch den Zusammenhang zwischen Widerstand und Temperatur fest, so kann man nachher aus dem gemessenen Widerstand auf die Temperatur schließen. Diese Widerstandsthermometer gestalten auf elektrischem Wege Temperaturen an entfernten oder schwer zugänglichen Orten sowie bei großer Hitze zu messen (Flugzeugmotoren, Öfen). Siehe auch § 112.



258.4 Georg Simon Ohm wurde 1789 in Erlangen geboren, war Gymnasiallehrer in Köln (wo er um 1826 das nach ihm benannte Gesetz fand), Direktor der Polytechnischen Schule in Nürnberg und Professor in München, wo er 1854 starb. Er untersuchte auch die Oberläufe von Flüssen (Bild aus dem Deutsches Museum, München)



268.3 Beim Erwärmen steigt der Widerstand des Metalls



268.4 Temperaturabhängigkeit von Widerständen

Wenn zwischen den Enden eines Leiters die Spannung U liegt und in ihm Strom der Stärke I fließt, berechnet man den Widerstand R des Leiters nach

$$R = \frac{U}{I} \quad (\text{Definition des Widerstands}), (268.1)$$

Die Einheit des Widerstandes ist 1 Ohm (Ω) = 1 Volt/Ampere.

3. G. S. Ohm untersuchte auch, wie sich der Widerstand eines Drahtes beim Erwärmen ändert:

Erhitze mit dem Bunsenbrenner eine Wendel aus dünnem Eisendraht, die nach Abb. 268.3 in einem Stromkreis liegt. Die Stromstärke I sinkt erheblich, obwohl die Spannung U konstant bleibt. Nach $R = U/I$ steigt also beim Erwärmen der Widerstand des Eisens an (Abb. 268.4). Konstanten behält nach Abb. 258.4 beim Erhitzen konstanter Widerstand. Deshalb blieb in V 76 der Widerstand trotz der Erwärmung des Konstantendrahts durch den Strom konstant. Aus dem gleichen Grund benötigt man diese und ähnliche Legierungen in Meßgeräten. Bei Kohle sinkt beim Erwärmen der Widerstand.

258.4 Georg Simon Ohm wurde 1789 in Erlangen geboren, war Gymnasiallehrer in Köln (wo er um 1826 das nach ihm benannte Gesetz fand), Direktor der Polytechnischen Schule in Nürnberg und Professor in München, wo er 1854 starb. Er untersuchte auch die Oberläufe von Flüssen (Bild aus dem Deutsches Museum, München)

258.2 Stimmen die Angaben?

Mit nach V 76 des Widerstand einer Glühlampe bei sehr kleiner Stromstärke! Auf welchen Wert steigt er bei normaler Belastung infolge der Erwärmung?

Der Widerstand von Metallen nimmt im allgemeinen beim Erwärmen zu.

Stellt man durch Versuch den Zusammenhang zwischen Widerstand und Temperatur fest, so kann man nachher aus dem gemessenen Widerstand auf die Temperatur schließen. Diese Widerstandsthermometer gestalten auf elektrischem Wege Temperaturen an entfernten oder schwer zugänglichen Orten sowie bei großer Hitze zu messen (Flugzeugmotoren, Öfen). Siehe auch § 112.

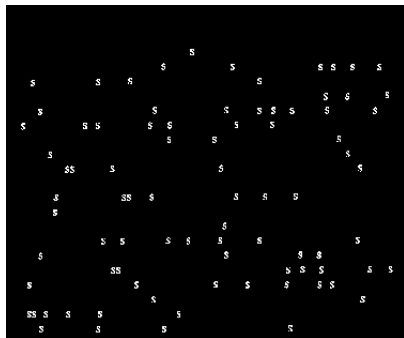
268.4 Temperaturabhängigkeit von Widerständen

Input

Test output

paixão ainda num grau mais elevado do que a que foi adotado como diretriz consciente de sua vida e dos seus desejos orientados no sentido do objeto. Este último, quer dizer, o extrovertido, procura abrir caminho por todos os lados, mas acabará por constatar que são os seus pensamentos e sentimentos subjetivos os que lhe saem sempre ao caminho, para o perturbarem. Está mais influenciado pelo seu mundo psíquico interior do que imagina. O próprio não se apercebe disso, mas quem viver na sua intimidade e o observar com atenção, verificará que ele atua em obediência a um propósito. Por isso, sua norma básica será sempre formular para si próprio a pergunta: "O que é que verdadeiramente quero? Qual é minha intenção secreta?" O outro, o introvertido, com seus propósitos conscientes e premeditados, deixa sempre de ver aquilo que é visto por todos os que o cercam com excessiva clareza; quer dizer, os seus propósitos estão realmente a serviço de instintos fortes, mas sem intenção nem objetivo, e são em grande parte influenciados por esses instintos. Quem observar e julgar o extrovertido inclina-se a considerar o sentimento e o pensamento que ele

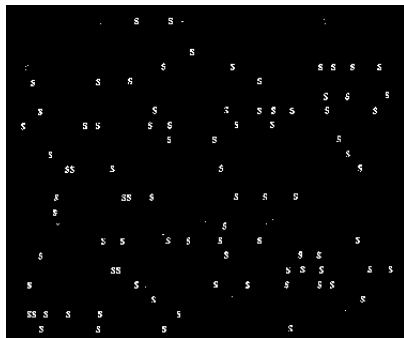
Input



Expected output

paixão ainda num grau mais elevado do que a que foi adotado como diretriz consciente de sua vida e dos seus desejos orientados no sentido do objeto. Este último, quer dizer, o extrovertido, procura abrir caminho por todos os lados, mas acabará por constatar que são os seus pensamentos e sentimentos subjetivos os que lhe saem sempre ao caminho, para o perturbarem. Está mais influenciado pelo seu mundo psíquico interior do que imagina. O próprio não se apercebe disso, mas quem viver na sua intimidade e o observar com atenção, verificará que ele atua em obediência a um propósito. Por isso, sua norma básica será sempre formular para si próprio a pergunta: "O que é que verdadeiramente quero? Qual é minha intenção secreta?" O outro, o introvertido, com seus propósitos conscientes e premeditados, deixa sempre de ver aquilo que é visto por todos os que o cercam com excessiva clareza; quer dizer, os seus propósitos estão realmente a serviço de instintos fortes, mas sem intenção nem objetivo, e são em grande parte influenciados por esses instintos. Quem observar e julgar o extrovertido inclina-se a considerar o sentimento e o pensamento que ele

Input



Test output

Mr. S. Clay Williams.

R. J. REYNOLDS TOBACCO CO.
Chemical Department

August 31, 1933

Subject: Fertilizer value of tobacco dusts and stems.

The following results show the percentages of Potassium as potash (K₂O) and Nitrogen as ammonia (NH₃) in our tobacco dusts and stems. These results are the averages of 18 tests of each sample collected during a period of two months from May 11, 1933 to July 11, 1933.

Sample	Aver. % Potash	Aver. % Ammonia
DUST - O.A. -----	3.29	1.73
" - Fan -----	2.37	1.94
" - No. 11 -----	1.18	1.61
" - Camel - Adt driers -----	1.04	1.29
" - " - Redressers -----	1.15	1.25
" - " - Hopper pan -----	1.16	1.41
" - " - Drawer -----	1.04	1.28
" - " - Leaf scrap - bk.rm. ---	0.87	1.16
" - " - Floor sweepings -----	1.93	1.56
STEMS - No. 8 -----	6.43	2.47
" - No. 13 -----	6.78	2.94

E. L. Hammond

58787 4932

516

Mr. S. Clay Williams.

R. J. REYNOLDS TOBACCO CO.
Chemical Department

August 31, 1933

Subject: Fertilizer value of tobacco dusts and stems.

The following results show the percentages of Potassium as potash (K₂O) and Nitrogen as ammonia (NH₃) in our tobacco dusts and stems. These results are the averages of 18 tests of each sample collected during a period of two months from May 11, 1933 to July 11, 1933.

Sample	Aver. % Potash	Aver. % Ammonia
DUST - O.A. -----	3.29	1.73
" - Fan -----	2.37	1.94
" - No. 11 -----	1.18	1.61
" - Camel - Adt driers -----	1.04	1.29
" - " - Redressers -----	1.15	1.25
" - " - Hopper pan -----	1.16	1.41
" - " - Drawer -----	1.04	1.28
" - " - Leaf scrap - bk.rm. ---	0.87	1.16
" - " - Floor sweepings -----	1.93	1.56
STEMS - No. 8 -----	6.43	2.47
" - No. 13 -----	6.78	2.94

E. L. Hammond

58787 4932

516

of B&W and shall be kept in confidence by Consultant. This obligation of confidentiality shall survive the termination of this agreement.

If the above is acceptable to you, please indicate your acceptance by signing and dating the duplicate copies where indicated and returning one copy to B&W.

Very truly yours,

BROWN & WILLIAMSON TOBACCO
CORPORATION

By George E. Higgins

ACCEPTED:

By Rudolf Padehn MD

Date March 22, 1986

501206.115

of B&W and shall be kept in confidence by Consultant. This obligation of confidentiality shall survive the termination of this agreement.

If the above is acceptable to you, please indicate your acceptance by signing and dating the duplicate copies where indicated and returning one copy to B&W.

Very truly yours,

BROWN & WILLIAMSON TOBACCO
CORPORATION

By George E. Higgins

ACCEPTED:

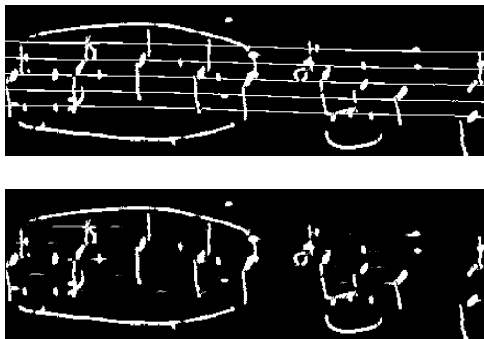
By Rudolf Padehn MD

Date March 22, 1986

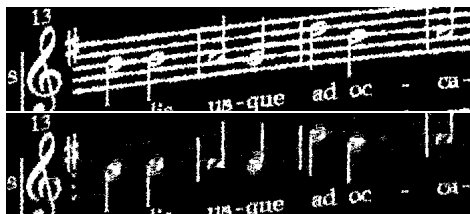
501206.115

Handwritten musical scores

Staff line removal:



Synthetically generated musical scores



PRACTICAL SESSION

TRIOSLib

Laboratory session exercises 1 to 4

<http://bit.ly/2dtL5en>

TRIOSlib

TRIOSlib: research library containing implementations of many WOperator learning techniques.

- Integrates with **Numpy, Scipy, scikit-learn**.
- Extensible design: new techniques implemented without changing the library.
- Error measuring, persistence on disk, parallel implementations, ...
- Used in many published papers.

Available at <https://sourceforge.net/projects/trioslib> and installable using `pip` and `conda`.

Important classes:

- `trios.Imageset`: list of triples (input,output,mask).
mask=None means that every pixel is processed.
- `trios.WOperator`: executes learning process;
- `trios.FeatureExtractor`:
 - raw pixels (`RAWFeatureExtractor` and `RAWBitFeatureExtractor`)
 - two-level patterns (`CombinationPattern`)
 - aperture
- `trios.Classifier`:
 - Boolean function minimization (`ISI`)
 - models from scikit-learn (`SKClassifier`)

Recent advances

Window determination

Empirical approach: Based on user experience; trial and error

Feature selection based methods

Window points \sim features / Window design \sim feature selection

- Interaction information: C. S. Santos, N. S. Hirata, and R. Hirata Jr., “An information theory framework for two-stage binary image operator design,” Pattern Recognition Letters, 2010
- RELIEF (feature selection algorithm): I. Montagner, R. Hirata Jr., and N. S. T. Hirata, “A machine learning based method for staff removal,” ICPR 2014

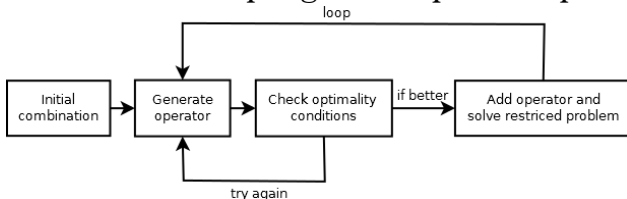
Measures to rank windows: discriminative power of windows

- Entropy based ranking: M. Dornelles and N. S. T. Hirata, “Selection of Windows for W-Operator Combination from Entropy Based Ranking,” SIBGRAPI 2015

Operator selection for combination

- Given a domain window W defined as a $m \times n = N$ rectangle, there are 2^N possible subwindows.
- Train a very strongly regularized sparse combination using all possible windows.
- Fast algorithms for linear sparse models(LASSO, L1-SVM).

Iterative solution is possible by checking optimality conditions and random sampling of the operator space.



Processing gray scale images

$$n = |W|$$

There are:

- 2^{2^n} binary W-operators
- k^{k^n} gray-level W-operators

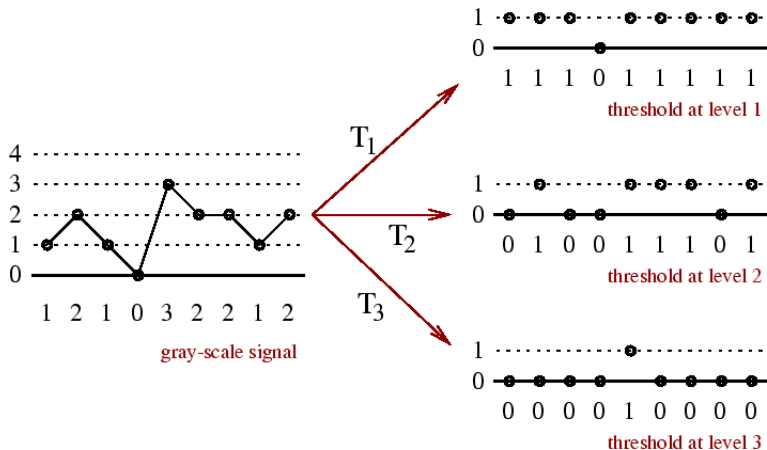
Computational cost (memory, processing) and **statistical precision** are challenging issues

Some possible approaches:

- constrain operator space: two-level, stack filters, aperture
- reduce window image variability

Some details next

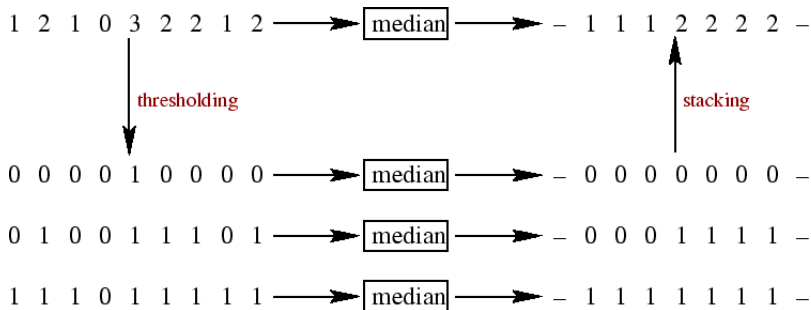
Gray-scale from binary

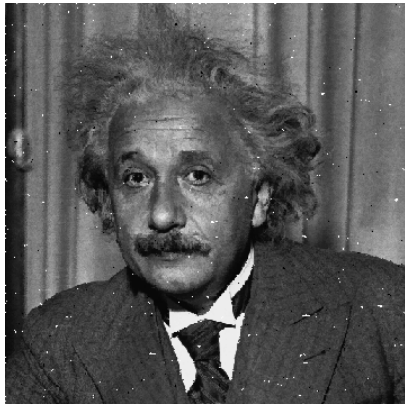
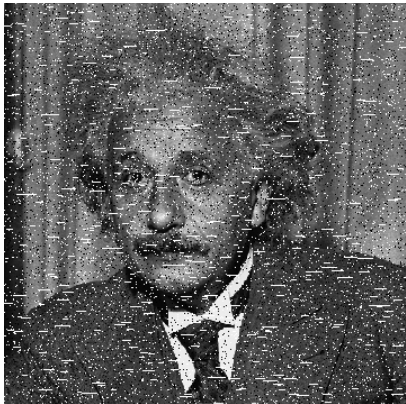


Threshold decomposition

Example of stack filter

Gray-scale median can be computed as the sum of the medians of the cross-sections





Test image and result

Aperture Operators

Class of operators to transform grayscale images.

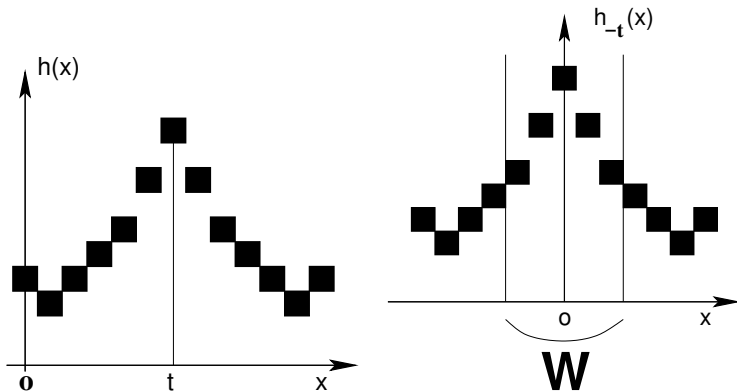
Number of possible binary operators: $2^{2^{|W|}}$.

Number of possible grayscale operators: $K^{K^{|W|}}$.

Now we have to restrict W and K .

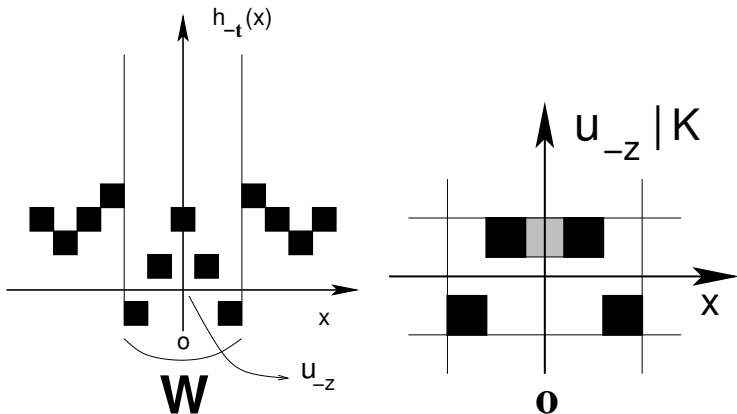
Aperture Operators

Besides translation invariance in the domain



Aperture Operators

we add translation invariance in grayscale



Aperture Operators

Translation invariance in the domain and in the range, locally defined by a window W and a range $K = \{-k, \dots, 0, \dots, k\}$

$$\Psi(f)(t) = \zeta_O(u^t) + \psi(u_{-\zeta_I(u^t)}^t | K)$$

where ζ_O and ζ_I are functions defined from K^W to N .

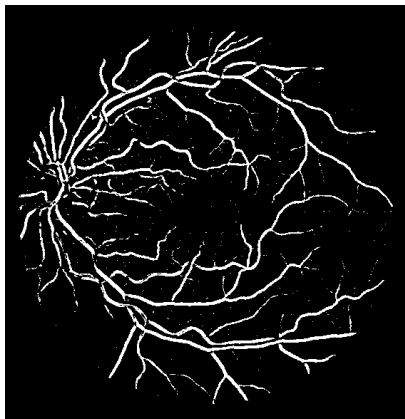
Kernel approximation

Main issue in training is **generalization**. Kernel SVMs offer good generalization, but require building a Gram matrix $K \in \mathbb{R}^{M \times M}$. In WOperator learning, $M \gg 100,000$.

Nyström method:

- approximate K using a small set of m examples, $m \ll M$.
- works for any kernel;
- exact solution for $m = M$.

More details: Friday 14:00-15:45 at TS10!



Trios - training image operators from samples

Available: <https://sourceforge.net/projects/trioslib>

Igor S. Montagner	<code>igordsm@ime.usp.br</code>
Nina S. T. Hirata	<code>nina@ime.usp.br</code>
Roberto Hirata Jr.	<code>hirata@ime.usp.br</code>