

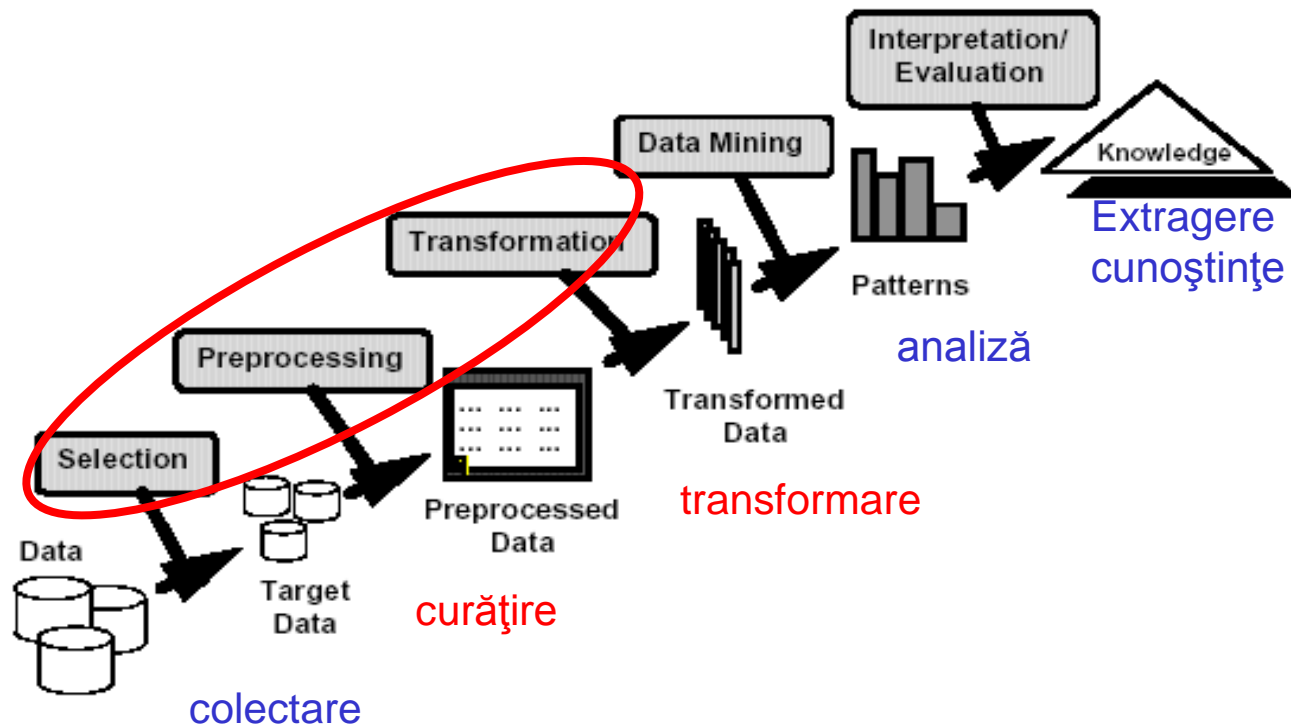
Curs 2:

# Pre-procesarea datelor

# Structura

- Reminder: etape extragere cunoștințe din date
- Extragerea caracteristicilor (atributelor)
- Tipuri de attribute
- Curățirea datelor
- Reducerea dimensiunii datelor
- Transformarea atributelor

# Etape extragere cunoștințe din date



# Etape extragere cunoștințe din date

**Exemplu:** un comerciant care deține un sistem de comerț electronic este interesat să obțină informații referitoare la comportamentul clienților săi cu scopul de a recomanda anumite produse

## Surse de date:

- Fișiere de tip log cu informații de conectare

```
98.206.207.157 - - [31/Jul/2013:18:09:38 -0700] "GET  
/productA.htm HTTP/1.1" 200 328177 "-" "Mozilla/5.0 (Mac OS X)  
AppleWebKit/536.26 (KHTML, like Gecko) Version/6.0  
Mobile/10B329 Safari/8536.25" "retailer.net,,
```

- Informații demografice colectate în procesul de înregistrare al utilizatorilor - stocate într-o bază de date (ex: e-mail, telefon, oraș, categorie de vârstă, categorie profesională)

**Cum ar putea fi folosite aceste informații?**

# Etape extragere cunoștințe din date

**Exemplu:** un comerciant care deține un sistem de comerț electronic este interesat să obțină informații referitoare la comportamentul clienților săi cu scopul de a recomanda anumite produse

Cum ar putea fi folosite informațiile referitoare la logare și cele demografice?

Aceasta necesită:

- Stabilirea corespondenței între înregistrările din fișierele cu informații de logare și baza de date cu informații privind clienții (**problema:** datele pot conține erori care îngreunează procesul -> e necesară **curățirea datelor**)
- Agregarea tuturor informațiilor de logare corespunzătoare unui client (**problema:** nu toate informațiile sunt neapărat utile -> ar putea necesita **selecție**)
- Integrarea informațiilor din ambele surse de date (ar putea necesita **transformarea datelor**)

# Etape extragere cunoștințe din date

## Principalele etape

1. Colectarea datelor (din diferite surse)

2. Pre-procesarea datelor

- **Extragerea caracteristicilor** (specifice problemei de rezolvat)
- **Curățirea datelor** (ex: eliminarea înregistrărilor eronate sau completarea valorilor absente)
- **Selecția atributelor** (ignoră attributele irelevante, redundante sau inconsistente)
- **Transformarea** datelor/ atributelor
  - Transformarea valorilor unui atribut:
    - Numeric -> nominal/ordinal (e.g. valoarea vârstei este transformată într-o categorie: foarte tânăr, tânăr, bătrân, foarte bătrân);
    - Nominal -> logic/binar (e.g. fiecărei valori posibile a unui atribut nominal i se asociază un atribut binar = one-hot encoding )
  - Transformă un set de attribute în alt set de attribute care poartă mai multă informație (e.g. explică mai bine variabilitatea din date)

3. Analiza datelor (extragerea de cunoștințe din date)

# Extragerea caracteristicilor

## Scop:

- Extragerea caracteristicilor semnificative din datele brute (datele pot proveni din diferite surse)

## Particularitate:

- Procesul de extragere depinde de specificul domeniului și necesită expertiză în domeniul respectiv

## Exemple: extragerea caracteristicilor din

- imagini
- documente (XML, PDF)
- web logs, date privind trafic în rețea

# Extragerea caracteristicilor

Extragerea informațiilor privind textura dintr-o imagine:

**Abordare bazată pe histogramă:**

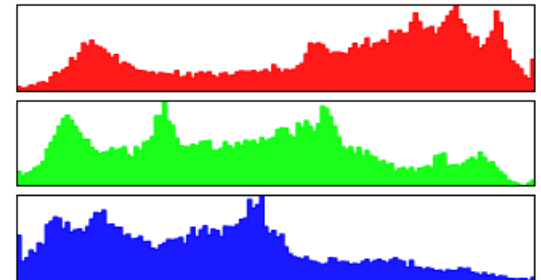
- Construirea histogramei color (pentru fiecare bandă de culoare și pt fiecare regiune din imagine)

$H(v)$  = numărul de pixeli care au valoarea  $v$

- Calculul valori statistice:

- medie
- varianță
- energie
- entropie
- [alți indicatori statistici (skewness, kurtosis)]

• **Obs:** dacă imaginea este partiționată în  $K^2$  regiuni și pt fiecare regiune și fiecare bandă de culoare sunt calculate 4 mărimi statistice atunci imaginii  $i$  se asociază un vector cu  $12 K^2$  caracteristici numerice





# Extragerea caracteristicilor

Extragerea caracteristicilor de textură dintr-o imagine:

**Alte variante** (ex: [[http://www.eletel.p.lodz.pl/programy/cost/pdf\\_1.pdf](http://www.eletel.p.lodz.pl/programy/cost/pdf_1.pdf)]):

- Matrici de co-ocurență

0	0	1	1
0	0	1	1
0	2	2	2
2	2	3	3

Image example

$i \setminus j$	0	1	2	3
0	#(0,0)	#(0,1)	#(0,2)	#(0,3)
1	#(1,0)	#(1,1)	#(1,2)	#(1,3)
2	#(2,0)	#(2,1)	#(2,2)	#(2,3)
3	#(3,0)	#(3,1)	#(3,2)	#(3,3)

Construction of co-occurrence matrix

4	2	1	0
2	4	0	0
1	0	6	1
0	0	1	2

$b_{1,0^\circ}$

6	0	2	0
0	4	2	0
2	2	2	2
0	0	2	0

$b_{1,90^\circ}$

# Extragerea caracteristicilor

Extragerea caracteristicilor dintr-un document:

## 1. XML - date semistructurate

```
<PersonalData><PersonDescriptors><DemographicDescriptors><Nationality>francaise</Nationality>
</DemographicDescriptors>
<BiologicalDescriptors><DateOfBirth>1978-01-16</DateOfBirth>
<GenderCode>1</GenderCode>
</BiologicalDescriptors>
</PersonDescriptors>
</PersonalData>
```

...

Prin parsare, se pot extrage caracteristicile demografice:

Nationality	Date of birth	Gender
Francaise	1978-01-16	1

# Extragerea caracteristicilor

Extragerea caracteristicilor dintr-un document:

2.Fișier text – date nestructurate

Exemplu (abordarea bazată pe bag-of-words):

“In document classification, a bag of words is a sparse vector of occurrence counts of words; that is, a sparse histogram over the vocabulary. In computer vision, a bag of visual words is a vector of occurrence counts of a vocabulary of local image features.”

a) Eliminarea cuvintelor de legătură (stop words)

“In document classification, a bag of words is a sparse vector of occurrence counts of words; that is, a sparse histogram over the vocabulary. In computer vision, a bag of visual words is a vector of occurrence counts of a vocabulary of local image features.”



“document classification bag words sparse vector occurrence counts words  
sparse histogram vocabulary computer vision bag visual words vector  
occurrence counts vocabulary local image features.”

# Extragerea caracteristicilor

Extragerea caracteristicilor dintr-un document – fișier text: abordarea de tip bag-of-words

b) Reducerea cuvintelor la rădăcina lor – stemming (algoritm Porter)

“document classification bag words sparse vector occurrence counts words sparse histogram vocabulariy computer vision bag visual words vector occurrence counts vocabulariy local image features”



[<http://textanalysisonline.com/nltk-porter-stemmer>]

“document classif bag word spars vector occur count word spars histogram vocabulari comput vision bag visual word vector occur count vocabulari local imag featur”

# Extragerea caracteristicilor

Extragerea caracteristicilor dintr-un document – fișier text: abordarea de tip bag-of-words

c) Calculul frecvențelor:

“document classif bag word spars vector occur count word spars histogram  
vocabulari comput vision bag visual word vector occur count vocabulari local  
imag featur”

Caracteristici extrase:

(bag,2), (classif,1), (comput,1), (count,2), (document,1), (featur,1),  
(histogram,1), (imag,1), (local,1), (occurr,2), (spars,2), (vector,2), (vision,1),  
(visual,1), (vocabulari,2), (word,3)

# Extragerea caracteristicilor

## Extragere caracteristici din fișier log:

```
192.168.198.92 - - [22/Dec/2002:23:08:37 -0400] "GET / HTTP/1.1" 200 6394
www.yahoo.com "-" "Mozilla/4.0 (compatible; MSIE 6.0; Windows NT 5.1...)" "-"
192.168.198.92 - - [22/Dec/2002:23:08:38 -0400] "GET /images/logo.gif HTTP/1.1"
200 807 www.yahoo.com "http://www.some.com/" "Mozilla/4.0 (compatible; MSIE
6...)" "-"
192.168.72.177 - - [22/Dec/2002:23:32:14 -0400] "GET /news/sports.html HTTP/1.1"
200 3500 www.yahoo.com "http://www.some.com/" "Mozilla/4.0 (compatible; MSIE
...)" "-"
```

## Prin parsarea fișierului se pot extrage:

Client IP address	Date	Time	Request command	etc.
192.168.198.92	22/Dec/2002	23:08:37	GET / HTTP/1.1	
192.168.198.92	22/Dec/2002	23:08:38	GET /images/logo.gif HTTP/1.1	
192.168.72.177	22/Dec/2002	23:32:14	GET /news/sports.html HTTP/1.1	

# Extragerea caracteristicilor

Rezultatul unui proces de extragere:

•**Matrice de date:** fiecare linie corespunde unei înregistrări (articol sau instanță), fiecare coloană corespunde unei caracteristici (atribut)

**Exemplu (CV data):**

	Nationality	Date of birth	Gender
CV 1:	Francaise	1978-01-16	1
CV 2:	Roman	1965-09-01	2

....

•**Set de instanțe,** fiecare instanța = listă de valori ale caracteristicilor

**Exemplu (fișier text):**

Fișier 1: (bag,2), (classif,1), (comput,1), (count,2), (document,1), (featur,1), (histogram,1), (imag,1), (local,1), (occurr,2), (spars,2), (vector,2), (vision,1), (visual,1), (vocabulari,2), (word,3)

Fișier 2: ...

# Tipuri de caracteristici/ attribute

- Numerice (cantitative)

**Exemple:** vârsta, greutate, preț, cantitate, temperatură etc.

**Specific:**

- Valorile atributelor cantitative sunt numere (întregi sau reale)
- Se poate defini o ordine între valori (i.e. se poate calcula: minim, maxim, mediana, cuantile)
- Se pot efectua operații aritmetice:
  - Calcul medie, varianță și alți indicatori statistici
  - Alte operații: adunare, scădere, înmulțire, împărțire etc (e.g. valoare = preț\*cantitate)

**Obs:** un caz particular este reprezentat de valorile de tip data calendaristică sau oră (ex: 1975-01-16); are sens să se compare sau să se calculeze diferența dintre date dar nu are sens să se înmulțească)



# Tipuri de caracteristici/ attribute

- Ordinale (valori discrete aparținând unei mulțimi ordonate)

## Exemple:

- Nivele de calitate (e.g: inacceptabil, acceptabil, bun, foarte bun, excelent)
- Nivele ale unei caracteristici (e.g: foarte scăzut, scăzut, mediu, ridicat, foarte ridicat)

## Specific:

- Valorile pot fi numere, simboluri, șiruri
- Există relație de ordine pe mulțimea valorilor (i.e. se poate calcula minim, maxim, mediana și se pot ordona valorile)
- Nu are sens să se efectueze operații aritmetice

# Tipuri de caracteristici/ attribute

- Nominale/ categoriale (valori discrete aparținând unei mulțimi pe care nu este definită o relație de ordine relevantă pentru semnificația valorilor)

## Exemple:

- Gen (e.g: female, male)
- Rasă (e.g. caucaziană, asiatică, africană etc)
- Stare civilă

## Specific:

- Valorile unei astfel de caracteristici pot fi simboluri, șiruri de caractere etc
- Nu se pot aplica operații aritmetice sau de ordonare
- Operații:
  - Verificare egalitate
  - Calcul frecvențe

# Tipuri de caracteristici/ attribute

- Binar (doar două valori posibile: {0,1} sau {False, True})
  - Se utilizează pentru a codifica absența/prezența unor caracteristici
  - Permite specificarea unor submulțimi (interpretate ca funcții indicator)

**Exemplu:** set de tranzacții

T1: {lapte, pâine, carne}

T2: {pâine, apă}

T3: {unt, carne}

T4: {apă}

<b>Trans.</b>	<b>pâine</b>	<b>unt</b>	<b>carne</b>	<b>lapte</b>	<b>apă</b>
T1	1	0	1	1	0
T2	1	0	0	0	1
T3	0	1	1	0	0
T4	0	0	0	0	1

- **Obs:** este un exemplu de conversie a datelor (de la nominal la binar)

# Conversii între tipuri

Conversia unui atribut numeric continuu într-unul nominal sau numeric discret (discretizare)

•**Motivare:** anumite tehnici de data mining pot fi aplicate doar pt date categoriale sau numerice discrete

•**Idee principală:**

- Domeniul de valori se împarte în subdomenii
- Se asignează o valoare fiecărui subdomeniu

**Exemplu:** considerăm atributul “vârsta” care ia valori în intervalul [0,100]; atributul numeric se poate transforma într-unul categorial după cum urmează

Subdomeniu	Valoare
[0, 10)	1
[10,20)	2
[20,30)	3
[30,40)	4
...	
[90,100]	10

# Conversii între tipuri

## Conversia unui atribut numeric într-unul categorial (discretizare)

### Obs:

- Prin discretizare se pierde o parte din informație
- O discretizare uniformă (ca în ex. anterior) nu e întotdeauna cea mai adecvată (de exemplu intervalul [90,100] conține de regulă mai puține valori decât celelalte intervale).

### Alte variante:

- **Equi-log:** domeniul  $[a,b]$  este divizat în  $K$  subdomenii  $[a_1,b_1), [a_2,b_2), \dots, [a_K,b_K]$  a.î.  $\log(b_i) - \log(a_i)$  este constant (în loc de  $b_i - a_i$ )

# Conversii între tipuri

Conversia unui atribut numeric într-unul categorial (discretizare)

- Equi-depth:** fiecare subdomeniu are același număr de înregistrări
- Equi-label:** fiecare subdomeniu conține valori care aparțin aceleiași clase (în contextul unei probleme de clasificare pentru care se cunoaște un set de date etichetate)

**Exemplu** (valorile atributului “vârsta” sunt ordonate crescător):

Vârsta: 15, 16, 16, 20, 20, 20, 25,26,27,30,30,31

Clasa: c1, c2, c2, c1, c1, c1, c2,c2,c1, c2,c2,c1

Equi-depth: [15,18), [18,22.5), [22.5,28.5), [28.5,31)

Equi-label: [15,15.5), [15.5, 18), [18,22.5), [22.5,26.5), [26.5,28.5), [28.5,30.5), [30.5,31)

# Conversii între tipuri

## Conversia atributelor nominale în attribute binare (binarizare)

**Motivație:** există tehnici de data mining (e.g. rețelele neuronale) care nu pot prelucra direct attribute nominale

**Procedura (one-hot encoding):** un atribut nominal A care ia valori în mulțimea  $\{v_1, v_2, \dots, v_r\}$  este transformat în  $r$  attribute binare  $Av_1, Av_2, \dots, Av_r$  a.î. într-o instanță dată doar unul dintre attribute va avea valoarea 1 iar toate celelalte vor avea valoarea 0.

**Exemplu:** considerăm atributul “maintenance price” din setul “car” (UCI Machine Learning @attribute maint {vhigh,high,med,low} și valori corespunzătoare câtorva instanțe:

	vhigh	high	med	low
high	0	1	0	0
medium	0	0	1	0
low	0	0	0	1
Very high	1	0	0	0

# Curățirea datelor

**Scop:** eliminarea erorilor și a inconsistențelor din date

**Tipuri de erori:**

- Valori greșite
- Valori absente

**Cauze ale erorilor:**

- Defecte în dispozitivele de înregistrare a datelor (e.g. senzori)
- Erori umane (e.g. completare greșită)
- Absența răspunsurilor (e.g. date confidențiale)

Pacient	Vârsta	Inălțime [cm]	Greutate[kg]
P1	20	170	60
P2	10	1.30	30
P3	22	165	?
P4	8	190	80

Valoare eronată

Valoare absentă

**Date inconsistente**



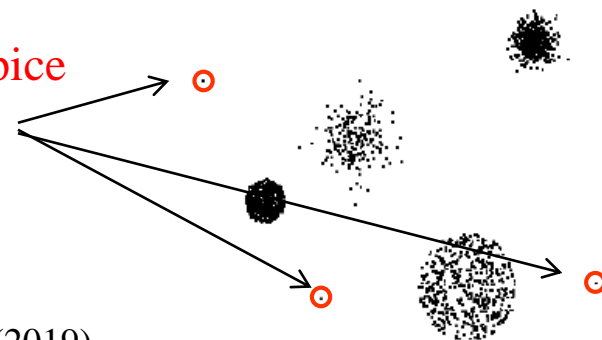
# Curățirea datelor

Descoperirea și corecția valorilor eronate:

- Utilizând cunoștințe specifice domeniului (e.g. se pot defini domenii de valori normale)
- Căutând inconsistențe între valorile aceluiași atribut folosind diferite surse de date (e.g. Numele unei persoane poate fi specificat în mai multe moduri, “Ioan Popescu”, “I. Popescu”, “Ioan Popesu”; rasa unei persoane este specificată diferit în diferite instanțe)
- Utilizând o abordare statistică (e.g. se presupune că datele sunt generate de o distribuție normală iar valorile atipice sunt considerate erori)

[Tan, Steinbach, Kumar – Introduction to Data Mining]

Excepții,  
valori atipice



# Curățirea datelor

## Cauze ale valorilor absente:

- Omitere în procesul de colectare
- Informații care nu sunt furnizate (e.g. vârsta sau genul într-un chestionar)
- Informații nerelevante în anumite contexte (e.g. valoarea venitului în cazul unor copii)

## Tratarea valorilor absente:

- **Eliminarea** înregistrărilor care conțin valori absente
- **Asignarea unor valori specifice** (e.g. valoarea absentă este marcată cu 0 iar 0 este considerată o valoare posibilă pt acel atribut)
- **Estimarea** valorii absente (o astfel de abordare este denumită **imputare**) utilizând valori corespondente din înregistrări “similare”. În exemplul anterior s-ar putea folosi 60 (întrucât P1 și P3 sunt similare în raport cu celelalte atribute). Dacă sunt mai multe instanțe “similare” atunci se poate folosi valoarea medie sau mediană a atributului din toate instanțele similare.

# Selecția atributelor

## Scop:

- Reducerea dimensiunii datelor
- Imbunătățirea modelului de analiză a datelor (prin eliminarea atributelor redundante)

## Exemple:

- Atribute irelevante (e.g. ID – identificator; attributele care au aceeași valoare sau attributele care au valori distincte pt toate instanțele)
- Atribute corelate (e.g.  $BMI = \text{weight}/\text{height}^2$ )

Pacient	Vârsta	Inalțime [m]	Greutate [kg]	BMI	ID	Clasa
P1	20	1.70	60	20.8	111	normal
P2	15	1.30	30	17.8	222	subponderal
P3	22	1.65	100	36.7	333	obez
P4	48	1.90	80	22.2	444	normal

**Obs:** in practică relația dintre atribute este ascunsă astfel că nu este evident criteriul de selecție

# Selecția atributelor

## Scop:

- Reducerea dimensiunii datelor
- Imbunătățirea modelului de analiză a datelor (prin eliminarea atributelor redundante)

## Componente ale unei metode de selecție a atributelor:

- Criteriu de selecție
- Metoda de căutare (în spațiul de submulțimi ale atributelor)

## Obs:

- Tehnica de selecție a atributelor (în particular criteriul de selecție) depinde de caracteristicile tipului de analiză a datelor

## Variante:

- Metode **nesupervizate** de selecție (e.g. utilizate în contextul grupării datelor)
- Metode **supervizate** de selecție (e.g. utilizate în contextul clasificării datelor)

# Selecția atributelor

## Căutarea în spațiul atributelor:

- Considerăm o matrice de date cu  $n$  atribute
- Spațiul de căutare (toate submulțimile posibile de atribute) are dimensiunea  $2^n$

## Abordări posibile:

- **Căutare exhaustivă:** se analizează impactul fiecărei submulțimi de atribute asupra rezultatului; e fezabilă doar dacă  $n$  este relativ mic
- **Strategie incrementală (forward):**
  - Se pornește cu un set vid de atribute
  - Se adaugă secvențial câte un nou atribut (se analizează impactul fiecăruia dintre atributele rămase și **se selectează cel mai bun**) – dacă adăugarea nici unui atribut nu îmbunătățește calitatea rezultatului procesul se oprește
- **Strategie decrementală (backward):**
  - Se pornește cu întreg setul de atribute
  - Se elimină secvențial câte unul dintre atribute (cel prin a cărui eliminare se obține cea mai mare îmbunătățire a **performanței**)

# Selecție / ierarhizare / ponderare

- In anumite situații este mai util doar să se **ierarhizeze** attributele în ordinea descrescătoare a relevanței și să fie lăsată la latitudinea utilizatorului decizia de a include/exclude un atribut
- Criteriul de ierarhizare este similar celui de selecție (are ca scop să exprime relevanța atributului în contextul problemei de analiză tratate)
- Ierarhizarea poate fi realizată asignând **ponderi** atributelor (o valoare mai mare a ponderii sugerează că atributul este mai important)
  - Estimarea ponderilor conduce de regulă la necesitatea de a rezolva o problemă de optimizare (e.g. determinarea ponderilor care **minimizează pierderea de informație** sau **maximizează calitatea**)
  - Ponderile sunt importante în cazul în care tehnica de analiză se bazează pe calculul unor măsuri de similaritate (e.g. clasificatori de tip “cel mai apropiat vecin”, clustering)

**Exemplu:** distanța euclidiană ponderată

$$d_w(x, y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n w_i (x_i - y_i)^2}$$

# Selecția atributelor

Criteriu de selecție - cum se poate evalua un subset de atribute (sau valorile corespunzătoare ale ponderilor)

- **Selecție de tip 'filtru'**
  - Selecția se bazează pe (co)relația dintre:
    - atribute (context nesupervizat)
    - atribute și etichete ale claselor (context supervizat)
- **Selecție 'încorporată' în construirea modelului (wrapper)**
  - Calitatea subsetului de atribute este estimată pe baza performanței clasificatorului sau a modelului de grupare construit pe baza subsetului de atribute

# Selecția atributelor

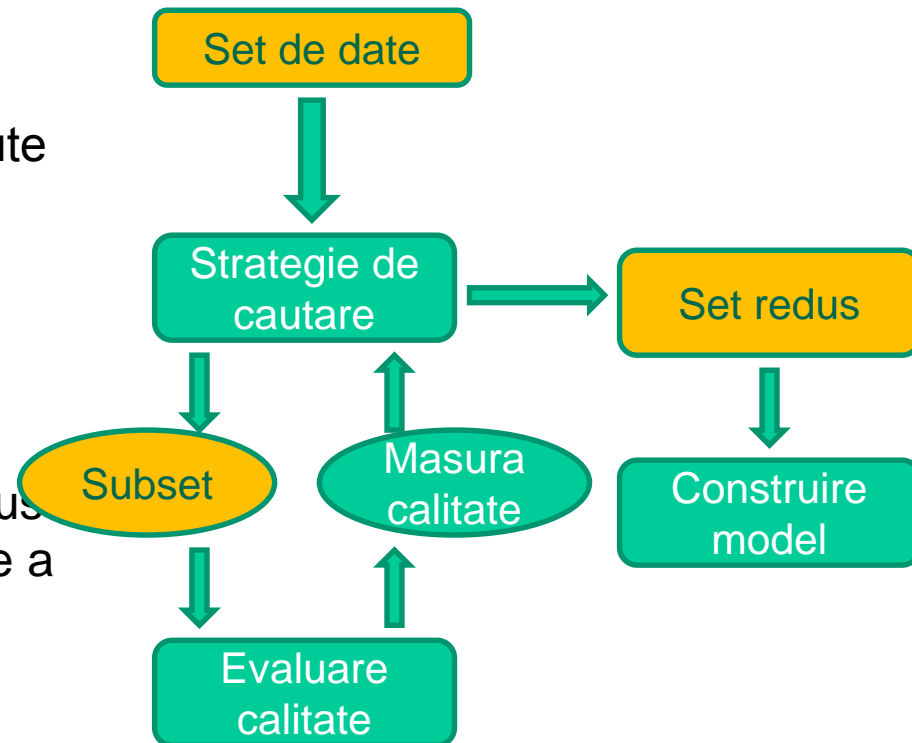
## Abordare de tip filtru

### Criterii bazate pe date

- Câștig informațional (Informational Gain)
- Compacitate (within-class)
- Separare (between-classes)
- Corelare între etichete de clase și atribute
- Informație mutuală (Mutual Information)

**Avantaj:** cost computațional relativ mic

**Dezavantaj:** ignoră impactul setului redus de date asupra algoritmului de extragere a modelului din date

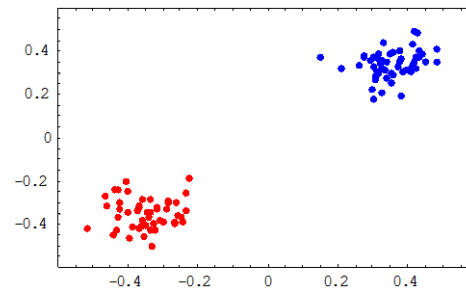
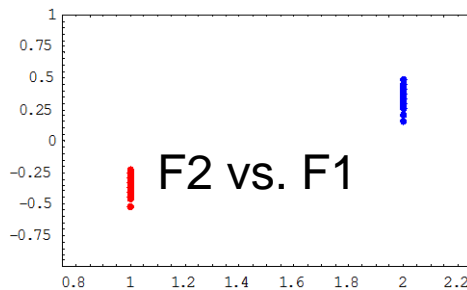




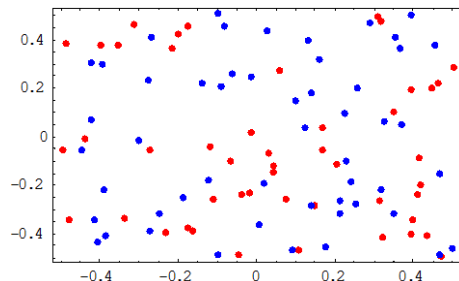
# Selecția atributelor

**Exemplu:** set artificial de date: 10 atribute, 2 clase (clasa 1- roșu, clasa 2 - albastru)

- Atribut 1: identic cu eticheta clasei
- Atribute 2-6: valori aleatoare cu rep. normală  $N(m_1, s_1)$  (class 1),  $N(m_2, s_2)$  (class 2)
- Atribute 7,8: valori constante pentru toate instanțele
- Atribute 9,10: valori aleatoare uniform repartizate ( $U(a,b)$ ) pt toate instanțele



F6 vs. F5



F10 vs. F9

# Selecția atributelor

Criteriu nesupervizat de selecție (se bazează doar pe date – fără a se cunoaște etichetele claselor)

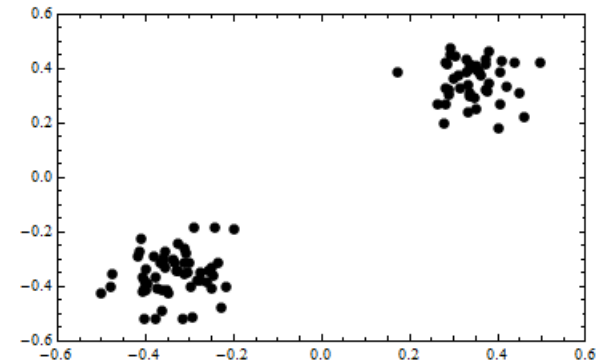
Notații:

$M = \{x_1, x_2, \dots, x_N\}$  set de date cu  $N$  instanțe, fiecare conținând  $n$  atribute

$A$  = set de atribute

Idee:

- Se calculează **similaritățile** între perechile de date din set
- Se calculează **entropia** asociată matricii de similaritate (este o măsură a informației conținute în setul de date)
- Se analizează efectul fiecărui atribut asupra valorii entropiei și se elimină atributele care au cel mai mic impact asupra entropiei



# Selecția atributelor

## Criteriu nesupervizat de selecție

Măsuri de **similaritate** (calculate folosind un set A de atribute – setul de atribute conține n elemente)

### Atribute numerice

$$S_{ij}(A) = \exp(-\alpha d(x_i, x_j)), \quad d(x_i, x_j) = \sqrt{\sum_{k=1}^n (x_{ik} - x_{jk})^2}$$

$\alpha = \text{ct.}$  (e.g. 0.5)

### Atribute nominale/ordinale/binare

$$S_{ij}(A) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n I(x_{ik}, x_{jk}), \quad I(a, b) = 1 \text{ daca } a = b;$$

$$I(a, b) = 0 \text{ daca } a \neq b$$

# Selecția atributelor

Criteriu nesupervizat de selecție

**Entropia**

$$E(S, A) = - \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N (S_{ij}(A) \ln(S_{ij}(A)) + (1 - S_{ij}(A)) \ln(1 - S_{ij}(A)))$$

**Obs:** dpdv intuitiv, entropia măsoară impredictibilitatea conținutului informațional sau gradul de dezordine

**Algoritm**

**Pas 1.** se pornește cu întreg setul de attribute A

**Pas 2.** pt fiecare atribut  $a_i$  se calculează  $E(S, A - \{a_i\})$  și se ierarhizează attributele crescător după valoarea  $E(S, A) - E(S, A - \{a_i\})$

**Pas 3.** se elimină primul atribut din lista ordonată (atributul a cărui eliminare a condus la cea mai mică pierdere în entropie) și se repetă Pas 2 – Pas 3 până când rămâne un singur atribut în A (sau până când reducerea în entropie la eliminarea unui atribut depășește un prag)

# Selecția atributelor

Criteriu supervizat de selecție – atribute cu valori discrete

**Gini index:** măsoară gradul de “impuritate” al unei clasificări bazate pe atributul analizat

**Notății:**  $A_1, A_2, \dots, A_N$  - atribute,  $C_1, C_2, \dots, C_K$  – clase

$v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{ir}$  – valori posibile ale atributului  $i$  (se poate utiliza doar pt atribute cu valori discrete;  $r_i$  numărul de valori ale atributului  $A_i$ )

index Gini pt atributul  $A_i$

$$G(A_i) = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^{r_i} n_{ij} G(v_{ij}), \quad G(v_{ij}) = 1 - \sum_{k=1}^K p_{ijk}^2$$

$n_{ij}$  = numărul de instanțe pt care  $A_i$  are valoarea  $v_{ij}$

$$p_{ijk} = \frac{\text{numar de instanțe în } C_k \text{ cu } A_i = v_{ij}}{\text{numar de instanțe cu } A_i = v_{ij}}$$

**Interpretare:** valori mici ale lui  $G(A_i)$  sugerează o putere mare de discriminare a lui  $A_i$  (impuritate mică)

# Selecția atributelor

Criteriu supervizat de selecție – atribute cu valori discrete

**Scor Fisher:** măsoară puterea de discriminare a unui atribut

**Notății:**  $A_1, A_2, \dots, A_n$  - atribute,  $C_1, C_2, \dots, C_K$  – clase

$$F(A_i) = \frac{\sum_{k=1}^K n_k (\mu_{ik} - \mu_i)^2}{\sum_{k=1}^K n_k \rho_{ik}^2}$$

$n_k$  = număr de instanțe în clasa  $C_k$

$\mu_{ik}$  = media valorilor lui  $A_i$  corespunzătoare  
instanțelor din  $C_k$

$\rho_{ik}^2$  = varianța valorilor

$\mu_i$  = media valorilor atributului  $A_i$

**Interpretare:** valori mari ale lui  $F(A_i)$  sugerează putere mare de discriminare pt  $A_i$

# Selecția atributelor

Selecție supervizată/criteriu de ponderare– atribute numerice

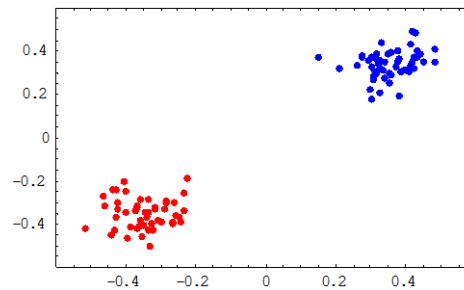
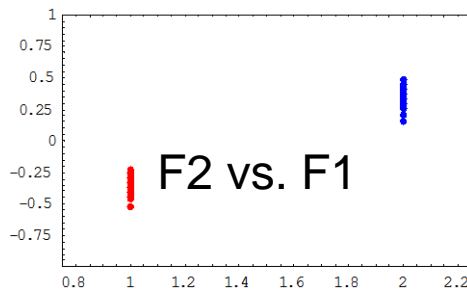
$\{x_i^c; i = \overline{1, N}\}$ ,  $x_i^c \in R^n$ ,  $c \in \{1, \dots, k\}$  eticheta clasa

$w = (w_1, \dots, w_n)$ , vector pondere

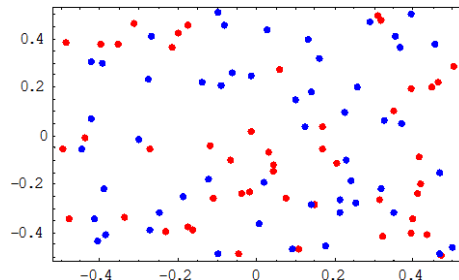
$d_w$  - masura disimilaritate

## ▶ Compacitate (within-class)

$$C_1(w) = \frac{1}{N} \sum_{c=1}^k \sum_{i=1}^{n_c} d_w(x_i^c, m_c), \quad m_c = \frac{1}{n_c} \sum_{i=1}^{n_c} x_i^c$$



F6 vs. F5



F10 vs. F9

**Exemplu:**

Set artificial de date: 10 atribute, 2 clase

- Atribut 1: identic cu eticheta clasei
- Atribute 2-6: valori aleatoare din  $N(m_1, s_1)$  (clasa 1),  $N(m_2, s_2)$  (clasa 2)
- Atribute 7,8: valori constante
- Atribute 9,10: valori aleatoare cu repartiția uniformă ( $U(a,b)$ )

# Selecția atributelor

Selecție supervizată/criteriu de ponderare– atribute numerice

$\{x_i^c; i = \overline{1, N}\}$ ,  $x_i^c \in R^n$ ,  $c \in \{1, \dots, k\}$  eticheta clasa

$w = (w_1, \dots, w_n)$ , vector pondere

$d_w$  - masura disimilaritate

- ▶ **Compacitate (within-class)**

$$C_1(w) = \frac{1}{N} \sum_{c=1}^k \sum_{i=1}^{n_c} d_w(x_i^c, m_c), \quad m_c = \frac{1}{n_c} \sum_{i=1}^{n_c} x_i^c$$

(de minimizat)

- ▶  $C_1(1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1)=0.88$
- ▶  $C_1(1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,0,0)=0.78$
- ▶  $C_1(1,1,1,1,1,1,1,1,0,0,0,0)=0.78$
- ▶  $C_1(1,1,1,0,0,0,0,0,0,0,0,0)=0.49$
- ▶  $C_1(1,1,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0)=0.34$
- ▶  **$C_1(1,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0)=0$**

**Exemplu:**

Set artificial de date: 10 atribute, 2 clase

- ▶ Atribut 1: identic cu eticheta clasei
- ▶ Atribute 2-6: valori aleatoare din  $N(m_1, s_1)$  (clasa 1),  $N(m_2, s_2)$  (clasa 2)
- ▶ Atribute 7,8: valori constante
- ▶ Atribute 9,10: valori aleatoare cu repartiția uniformă ( $U(a,b)$ )



# Selecția atributelor

Selecție supervizată/criteriu de ponderare– atribute numerice

$\{x_i^c; i = \overline{1, N}\}$ ,  $x_i^c \in R^n$ ,  $c \in \{1, \dots, k\}$  eticheta clasa

$w = (w_1, \dots, w_n)$ , vector pondere

$d_w$  - masura disimilaritate

- ▶ Separare (between-class)

$$C_2(w) = \frac{1}{N} \sum_{c=1}^k n_c d_w(m_c, m), \quad m = \frac{1}{N} \sum_{c=1}^k n_c m_c$$

(de maximizat)

- ▶  $C_2(1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1)=0.51$
- ▶  $C_2(1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,0,0)=0.50$
- ▶  $C_2(1,1,1,1,1,1,1,1,0,0,0,0)=0.50$
- ▶  $C_2(1,1,1,0,0,0,0,0,0,0,0,0)=0.49$
- ▶  $C_2(1,1,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0)=0.49$
- ▶  $C_2(1,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0)=0.49$
- ▶  $C_2(1,0,0,0,0,0,0,0,0,0,1,1)=0.50$

Exemplu:

Set artificial de date: 10 atribute, 2 clase

- ▶ Atribut 1: identic cu eticheta clasei
- ▶ Atribute 2-6: valori aleatoare din  $N(m_1, s_1)$  (clasa 1),  $N(m_2, s_2)$  (clasa 2)
- ▶ Atribute 7,8: valori constante
- ▶ Atribute 9,10: valori aleatoare cu repartiția uniformă ( $U(a,b)$ )

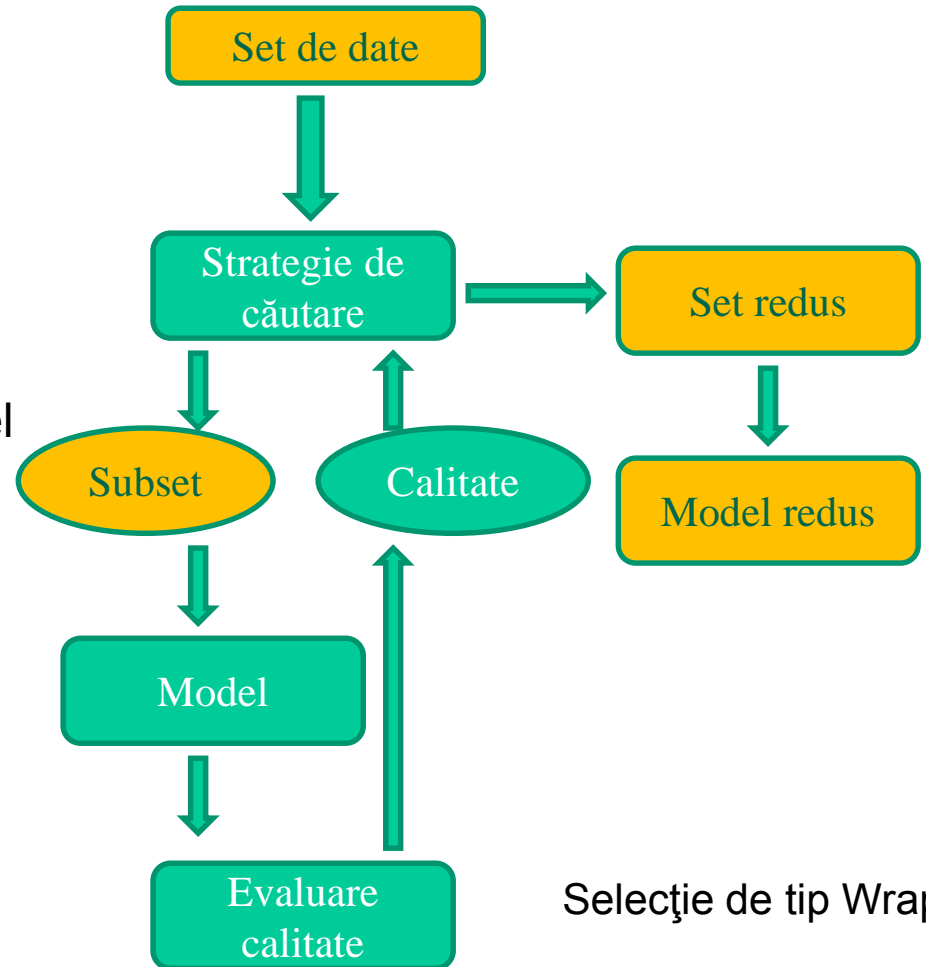
# Selecția atributelor

Selecție încorporată în construirea modelului

- **Acuratețe** = număr de date corect clasificate/ număr total de date
- Obs: evaluarea fiecărei submulțimi necesită antrenarea întregului model

**Avantaj:** se folosește de impactul submulțimii de atribute asupra performanței modelului

**Dezavantaj:** evaluarea este costisitoare



# Selecția instanțelor

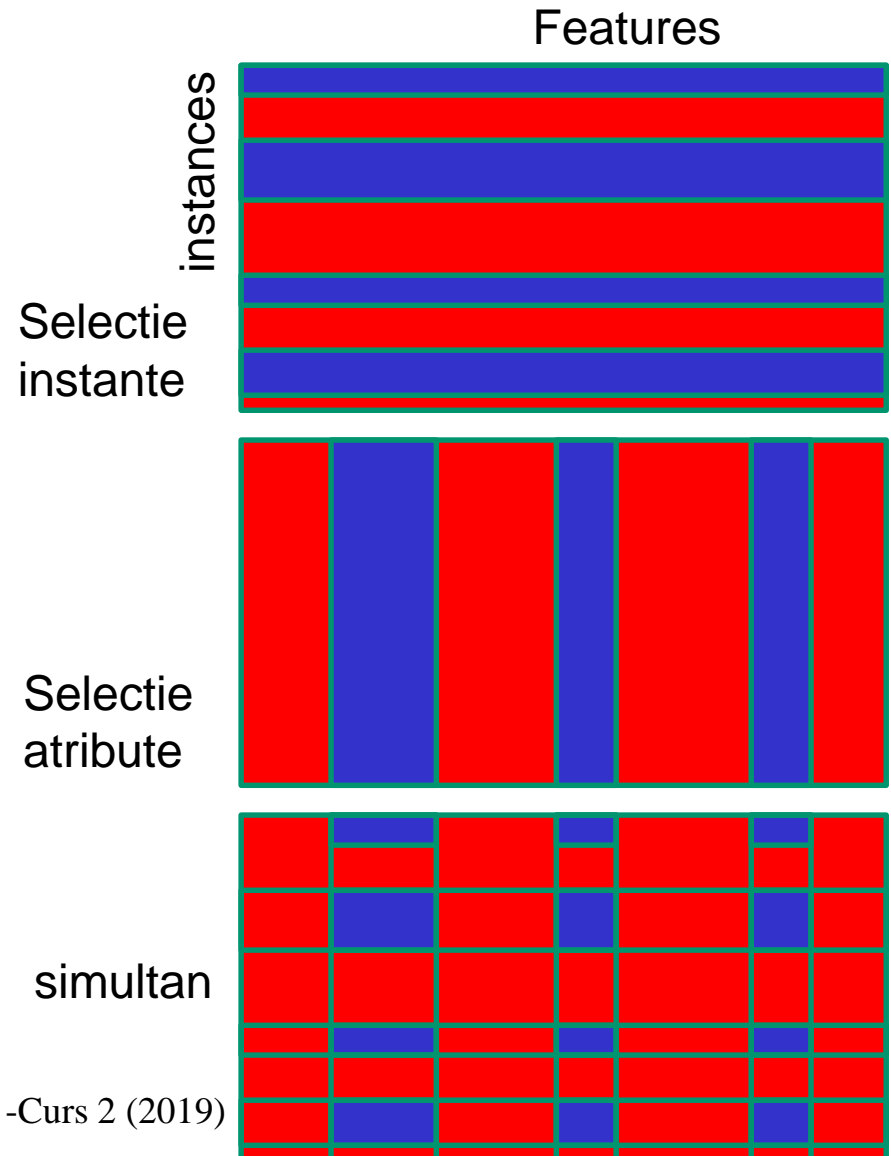
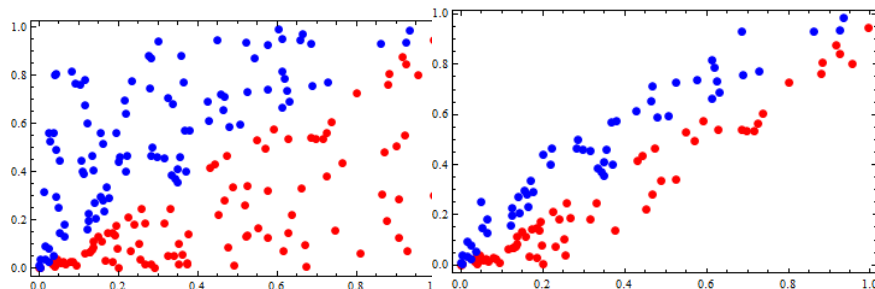
Selecția poate fi aplicată nu doar atributelor ci și instanțelor.

**Exemplu** (clasificare în 2 clase):

ar fi suficient să se folosească doar datele din vecinătatea frontierei celor două clase

**Abordări:**

- Selecție aleatoare (cu sau fără revenire)
- Selecție stratificată



# Selecția instanțelor

Selecția instanțelor în cazul seturilor de date care sunt dezechilibrate (variații mari între numărul de date din diferitele clase – pentru probleme de clasificare)

Abordări posibile:

- **down-sampling:**

- se selectează aleator elemente din clasa majoritară a.i. setul să devină echilibrat (obs: se ignoră informație disponibilă)
- se repetă selecția echilibrată de mai multe ori și se construiesc mai multe modele (bootstrapping)

- **up-sampling:** extinderea setului corespunzător clasei minoritare prin:

- Selecție cu revenire (se creează mai multe copii ale aceleiași instanțe)
- Se aplică strategii de modificare a copiilor prin tehnici de imputare specifice celor de la completarea valorilor absente

# Selecția instanțelor

Selecția instanțelor în cazul seturilor de date care sunt dezechilibrate (variații mari între numărul de date din diferitele clase – pentru probleme de clasificare)

Abordări posibile:

- **Variantă hibridă** (synthetic minority over-sampling technique - **SMOTE**):
  - Pentru clasele sub-reprezentate se sintetizează noi elemente prin procedura:
    - Se alege un element aleator  $X$  din clasa sub-reprezentată
    - Se determină cei mai apropiați  $K$  vecini ai lui  $X$  și pornind de la ei se generează instanțe noi prin mixarea aleatoare a atributelor vecinilor
  - Pentru clasele supra-reprezentate se elimină elemente aleatoare
  - Parametrii de control: proporția de elemente sintetizate, proporția de elemente eliminate, numărul de vecini (ex:  $K=5$ )

# Transformarea atributelor

## Scop:

- Îmbunătățirea calității modelului extras din date prin eliminarea influenței induse de scale diferite pt diferite atribute sau de corelații între atribute

## Variante:

- Scalare
- Standardizare
- Normalizare
- Proiecție – analiza componentelor principale (Principal Component Analysis)

**Obs:** aceste transformări pot fi aplicate doar atributelor numerice

# Scalare/Standardizare/Normalizare

## Scalare :

- Scalare liniară
- Este sensibilă la valorile atipice
- Se aplică la nivel de atribut

## Standardizare:

- Se scade media și se împarte la abaterea standard – datele transformate vor avea medie nulă și abatere standard egală cu 1
- Mai robustă decât scalarea liniară

## Normalizare euclidiană:

- Se împarte fiecare componentă la normă (e.g. Norma euclidiană)
- Se aplică la nivel de instanță

## Scalare liniara :

$$z_i^j = \frac{x_i^j - \min_j}{\max_j - \min_j}, \quad i = \overline{1, n} \quad j = \overline{1, d}$$

## Standardizare :

$$z_i^j = \frac{x_i^j - m(X^j)}{s(X^j)}, \quad i = \overline{1, n} \quad j = \overline{1, d}$$

$$m(X^j) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^j, \quad s(X^j) = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i^j - m(X^j))^2}$$

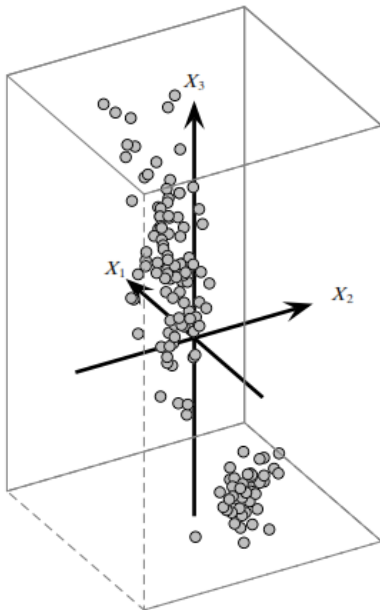
## Normalizare :

$$Z_i = X_i / \|X\|, \quad \|X\| = \sqrt{\sum_{j=1}^d (x_i^j)^2}, \quad i = \overline{1, n}$$

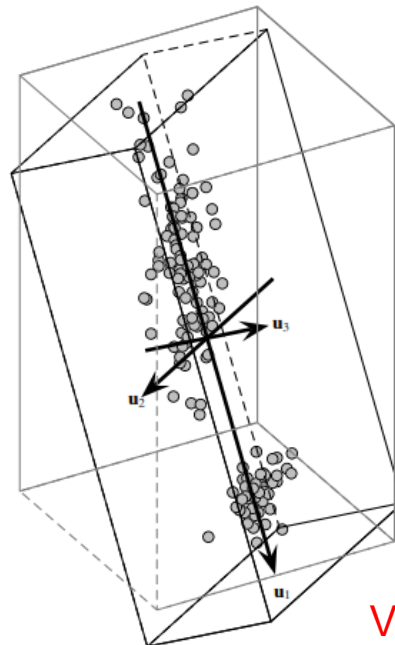
# Analiza componentelor principale

Principal Component Analysis (PCA):

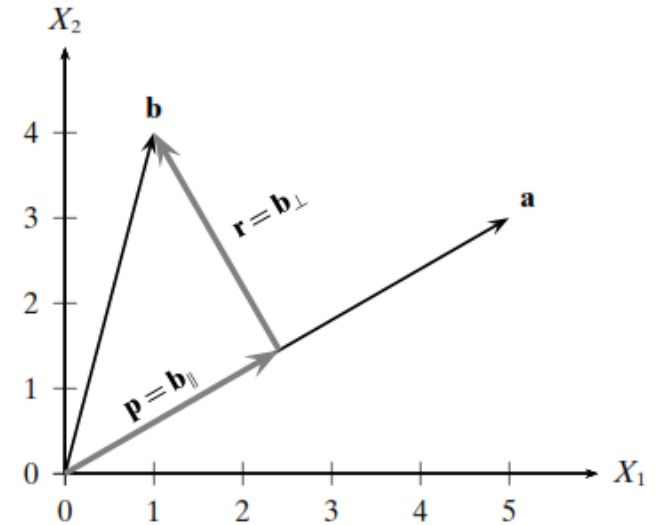
- Se proiectează datele pe direcția de variabilitate maximă



(a) Original Basis



(b) Optimal Basis



Orthogonal projection [Zaki, 2014]

Vizualizare PCA:

<http://setosa.io/ev/principal-component-analysis/>

Iris dataset – 3D bases [Zaki, 2014]



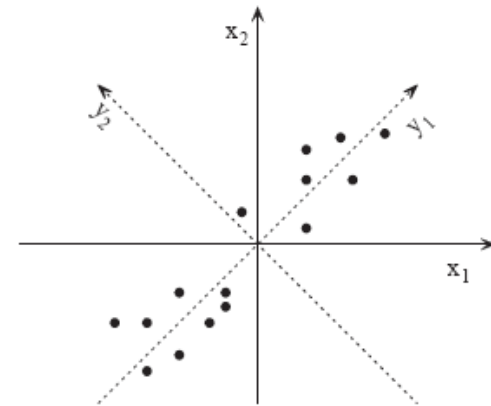
# Analiza componentelor principale

## Principal Component Analysis (PCA)

**Idee:** Se proiectează datele pe direcțiile care captează cea mai mare variabilitate din date

**Intrare:** set de date cu  $N$  instanțe având  $n$  atribute numerice (matrice de date  $D$  cu  $N$  linii și  $n$  coloane)

**Ieșire:** matrice de date cu  $N$  instanțe având  $m < n$  atribute (alese a.î. să fie conservată cât mai mult din variabilitatea datelor inițiale)



**Obs:**

- PCA concentrează informația privind diferențele dintre instanțe într-un număr mic de atribute
- PCA se utilizează pt a **proiecta** un set de date  $n$ -dimensional într-un spațiu  $m$ -dimensional astfel încât atributele în noul spațiu sunt **necorelate** și este **conservată cât mai mult din variabilitatea datelor**

# Analiza componentelor principale

## Principal Component Analysis (PCA)

### Etape principale:

- Se calculează **matricea de covarianță**  $C$  (matrice  $n \times n$  cu elementele:  $C(i,j) = \text{cov}(D(i), D(j))$ , unde  $D(i)$  este coloana  $i$  a matricii de date  $D$ );
- Se calculează **valorile proprii** și **vectorii proprii** ai matricii  $C$
- Se **ordonează** vectorii proprii descrescător după valoarea proprie corespunzătoare
- Se selectează vectorii proprii care corespund celor mai mari  **$m$  valori proprii**
- Se **proiectează** setul de date  $D$  pe hiper-spațiul definit de cei  $m$  vectori proprii

# Analiza componentelor principale

Principal Component Analysis (PCA) – elemente de statistică și algebra liniară

Matrice de covarianță  $C = (c_{ij})_{i=\overline{1,n}, j=\overline{1,n}}$

$$c_{ij} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (x_{ki} - \mu_i)(x_{kj} - \mu_j) = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N x_{ki}x_{kj} - \mu_i\mu_j, \quad i = \overline{1,n}, j = \overline{1,n}$$

$\mu_i$  = media valorilor atributului  $i$ ,  $c_{ii}$  = varianța atributului  $i$

$C$  are  $n$  vectori proprii  $v_1, v_2, \dots, v_n$  corespunzători

celor  $n$  valori proprii  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$

$Cv_i = \lambda_i v_i$  ( $C$  transformă vectorii proprii doar prin scalare)

Obs:  $C$  este simetrică și pozitiv-semidefinită

$(x^T C x \geq 0 \text{ pt orice vector } x) \Rightarrow$  toate valorile proprii sunt pozitive

# Analiza componentelor principale

Principal Component Analysis (PCA) – elemente de statistică și algebra liniară

Proiecția pe spațiul definit de un vector (transformare în date uni-dimensionale)

- dacă  $v$  este direcția corespunzătoare unui vector propriu atunci proiecția lui  $D$  pe  $v$  este  $Dv$  (produsul dintre matricea  $D$  cu  $N$  linii și  $n$  coloane și vectorul  $v$  cu  $n$  elemente)
- Covarianța noului set de date (e de fapt varianța întrucât datele sunt uni-dimensionale)

$$\frac{(Dv)^T (Dv)}{N} - (\mu v)^2 = v^T C v = v^T \lambda v = \lambda \|v\|^2 = \lambda$$

obs: vectorii proprii sunt ortonormati:  $v_i^T v_j = 0$ ,  $\|v\| = 1$

- Varianța proiecției uni-dimensionale pe un vector propriu este egală cu valoarea proprie corespunzătoare, deci pt a capta cât mai multă variabilitate trebuie aleasă cea mai mare valoare proprie

# Analiza componentelor principale

Principal Component Analysis (PCA) – elemente de statistică și algebra liniară

Proiecția setului de date pe hiper-spațiul definit de mai mulți vectori proprii

▪ Rezultat util din algebra liniară:

$C = P\Lambda P^T$  ( $C$  poate fi descompusă folosind matricea de vectori proprii)

$P$  are vectorii proprii pe coloane

$P$  este matrice ortogonală :  $PP^T = I_{n \times n}$

$\Lambda$  este o matrice diagonală care conține valorile proprii

- Vectorii proprii (fiind ortogonali) definesc un **sistem de axe de coordonate**  
Proiecția setului  $D$  în noul sistem de coordonate este  $D' = DP$
- **Intrebare:** care este matricea de covarianță a noului set  $D'$  ?

# Analiza componentelor principale

Principal Component Analysis (PCA) – elemente de statistică și algebra liniară

Proiecția setului de date pe hiper-spațiul definit de mai mulți vectori proprii

▪ **Intrebare:** care este matricea de covarianță a noului set  $D'$

$$D' = DP, \quad X'_k = P^T X_k$$

$$\begin{aligned} C' &= \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (P^T X_k - P^T M)(P^T X_k - P^T M)^T = \\ &= \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N P^T (X_k - M)(X_k - M)^T P = \\ &= P^T CP = P^T P \Lambda P^T P = \Lambda = \text{diag}(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n) \end{aligned}$$

Deci datele din  $D'$  sunt **necorelate** (matricea de covarianță este diagonală) și varianța corespunzătoare atributului  $i$  este a  $i$ -a valoare proprie

# Analiza componentelor principale

Proiecția setului de date pe hiper-spațiul definit de mai mulți vectori proprii

- **Intrebare:** ce se întâmplă dacă se păstrează doar  $m$  dintre componentele unui vector transformat?
- **Raspuns:** se conservă doar o fracțiune din variabilitatea datelor
- **Ipoteza:** valorile proprii sunt sortate descrescător
- **Procedura:** se calculează raportul varianțelor ( $R$ ) și se alege  $m$  a.î.  $R > \text{prag}$  prestabilit (e.g.  $R > 0.95$ )
- **Rezultat:** noul set de date (cu cele  $m$  attribute obținute prin proiecția pe hiper-spațiul definit de vectorii proprii corespunzători celor mai mari  $m$  valori proprii) captează cea mai mare parte din variabilitate (e.g. 95%)

$$\text{Proportia varianțelor : } R = \frac{\sum_{i=1}^m \lambda_i}{\sum_{i=1}^n \lambda_i}$$

# Analiza componentelor principale

Exemplu: setul de date iris

4 attribute numerice:

A1=lungime sepale, A2=lățime sepale, A3=lungime petale, A4=lățime petale,

3 clase

150 instanțe

Matricea de covarianță (calcul în R: `covMatrix <- cov(iris[,1:4])`)

	Sepal.Length	Sepal.Width	Petal.Length	Petal.Width
Sepal.Length	0.6856935	-0.0424340	1.2743154	0.5162707
Sepal.Width	-0.0424340	0.1899794	-0.3296564	-0.1216394
Petal.Length	1.2743154	-0.3296564	3.1162779	1.2956094
Petal.Width	0.5162707	-0.1216394	1.2956094	0.5810063



# Analiza componentelor principale

Exemplu: setul de date iris

4 atribute numerice:

A1=lungime sepale, A2=lățime sepale, A3=lungime petale, A4=lățime petale,

3 clase 150 instanțe

Valori proprii (calcul în R: `eigen(covMatrix)$values`)

4.23 0.24 0.078 0.02

varianța explicată de primele două componente: 97.7%

Vectori proprii (calcul în R: `eigen(covMatrix)$vectors`)

	[,1]	[,2]	[,3]	[,4]
[1,]	0.36	-0.65	-0.58	0.31
[2,]	-0.08	-0.73	0.59	-0.31
[3,]	0.85	0.17	0.07	-0.47
[4,]	0.35	0.07	0.54	0.75

Noile atribute:

tA1:  $0.36 \cdot A1 - 0.08 \cdot A2 + 0.85 \cdot A3 + 0.35 \cdot A4$

tA2:  $-0.65 \cdot A1 - 0.73 \cdot A2 + 0.17 \cdot A3 + 0.07 \cdot A4$

# Analiza componentelor principale

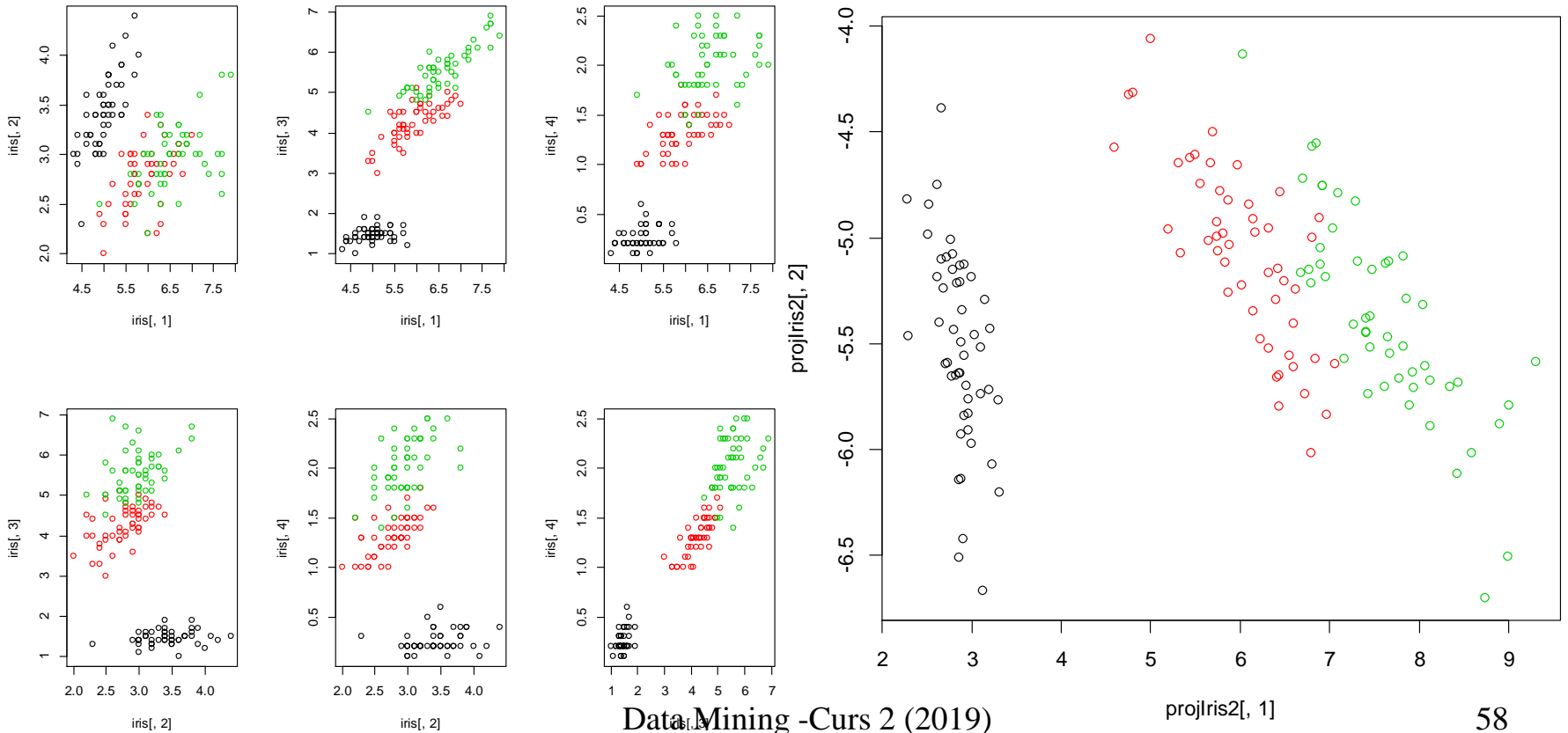
Exemplu: setul de date iris

Date inițiale

Noile attribute (primele doua componente principale):

$$tA1: 0.36 \cdot A1 - 0.08 \cdot A2 + 0.85 \cdot A3 + 0.35 \cdot A4$$

$$tA2: -0.65 \cdot A1 - 0.73 \cdot A2 + 0.17 \cdot A3 + 0.07 \cdot A4$$



# Curs următor

Modele de clasificare:

- Concepte de bază
- Clasificatori
  - Vot simplu (ZeroR)
  - Arbori de decizie
  - Reguli de decizie
  - Clasificatori bazați pe instanțe (kNN)
- Măsuri de evaluare a calității clasificării