

## Destek Vektor Makinalari (Support Vector Machines)

En basit halleriyle SVM'ler risk minimize eden lineer siniflayicisidirlar.

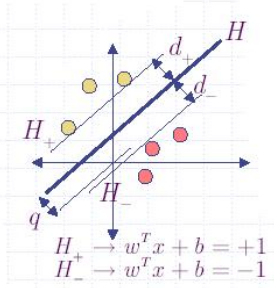
$$R(\Theta) \leq J(\Theta) = R_{emp}(\Theta) + \sqrt{\frac{h \times (\log(\frac{2N}{h}) + 1) - \log(\frac{\eta}{4})}{N}}$$

h: siniflayicinin kapasitesi

N: egitim verisinde kac veri noktası oldugu

Vapnik ve Chernovenkis  $1 - \eta$  olasilikla ispaladi ki ustteki denklem dogrudur. SVM algoritmasi hem  $h$  degerini hem de sayisal, olcumsal riski ayni anda minimize etmektedir, ve bunu sinir noktalarini noktalarini ayirmakla yapmaktadır.

Turetelim



Karar duzlemi:  $w^T x + b = 0$

Soyle bir tanim yapalim:  $q = \min_x \|x - 0\|$

$q$ ,  $H^+$  ve  $H^-$  formullerini ileride kullanacagiz.

H icin:  $q = \min_x \|x - 0\|$  su sarta tabi  $w^T x + b = 0$

Lagrange:  $\min_x \frac{1}{2} \|x - 0\|^2 + \lambda(w^T x + b)$

Gradyani alalim ( $\frac{\partial}{\partial x}$ ) ve 0 degerine esitleyelim.

Biraz cebirsel numaradan sonra:  $q = \frac{|b|}{\|w\|}$

Tanim:  $H^+ = w^T x + b = +1$   $H^- = w^T x + b = -1$

Bu tanimi genellikle bir kayip olmadan yapabiliyoruz;  $b, w$  degerlerini hala duzeltebiliriz.

$q^+$  ve  $q^-$  degerlerinin hesapla

$$q^+ = \frac{|b-1|}{\|w\|}$$

$$q^- = \frac{|-b-1|}{\|w\|}$$

Ayrac o zaman soyle

$$m = q^+ + q^- = \frac{|b-1-b-1|}{\|w\|} = \frac{|-2|}{\|w\|} = \frac{2}{\|w\|}$$

Ayraclarin olabildigince ayirmasini istiyorsak  $m$ 'i arttiriz (yani  $\frac{2}{||w||}$ 'i maksimize ederiz), ya da  $||w||$  degerini minimize ederiz.

Sinirlar

Veri noktalarini oyle siniflamak istiyoruz ki + ve - noktalar hiperdüzlemlerin dogru noktalarinda kalsinlar.

$$w^T x + b \geq +1, \forall y_i = +1$$

$$w^T x + b \leq -1, \forall y_i = -1$$

Bu iki denklemi birlestirelim

$$y_i(w^T x + b) - 1 \geq 0$$

Her seyi biraraya koyalim

$$\min \frac{1}{2} ||w||^2 \text{ subject to } y_i(w^T x_i + b) - 1 \geq 0$$

Bu form tanidik geliyor mu? Bu qp ile cozulebilecek karesel (quadratic) bir formül, programdır!

qp

Python dilinde cvxopt paketi vardir Matlab Optimization Toolbox'da qp() var. Steve Gunn'in SVM Toolbox'i icinde C ile yazilmis bir qp var SVMLight icinde ayrica bir qp var qp fonksiyonlari problemleri genelde

$\frac{1}{2}x^T P x + q^T x$  formunda gormek isterler.

Biraz once elde ettigimiz denklemi bu istenen formata dogru “masajlayabiliriz”

Ikiz (dual)

SVM ihtiyaclari icin ikiz formül (dual) ile calismak daha rahattir Lagrange (tekrar) olusturalim, turevi alalim, ve sifira esitleyelim. Bunun sonucunda elimize KKT noktalar gececektir

$$L_p = \frac{1}{2} ||w||^2 - \sum_i \alpha_i (y_i (w^T x_i + b) - 1)$$

$$\frac{\partial}{\partial w} L_p = w - \sum_i \alpha_i y_i x_i = 0$$

$$w = \sum_i \alpha_i y_i x_i$$

$$\frac{\partial}{\partial b} L_p = - \sum_i \alpha_i y_i = 0$$

Ustteki iki denklemi asal (primal) denkleme koydugumuz zaman

$$\text{Maksimize et } L_D = \sum_i \alpha_i - \frac{1}{2} \sum_i \sum_j \alpha_i \alpha_j y_i y_j x_i^T x_j$$

sinirlar

$$\sum_i \alpha_i y_i = 0$$

$$\alpha_i \geq 0$$

qp

Bu yine qp() formunda bir problem! Sadece bu sefer cozecegimiz degiskenler  $\alpha_i$ 'lar,  $x$ 'lar degil. Ustteki denklem su forma  $\frac{1}{2}x^T P x + q^T x$  masajlanabilir Bunun yapmak icin  $P_{i,j}$ 'ye  $-y_i y_j x_i^T x_j$  degerini atariz. Ve qp'yi cagiririz Sonuc bir  $\alpha$ 'lar listesi olacaktır.

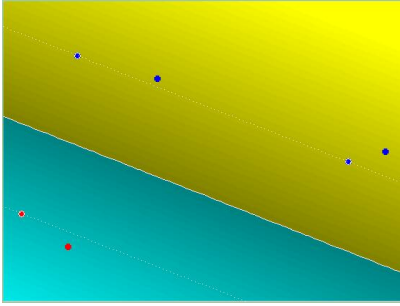
$b$  degerini hesaplamak

KKT kosulunun sebebiyle sifir olmayan her  $\alpha_i$  icin ana problemde ona tekabul eden kisitlayici sart sikidir (tight), yani bir esitliktir. O zaman sifir olmayan her  $\alpha_i$  icin  $b$ 'yi  $w^T x_i + b = y_i$  ifadesini kullanarak hesaplariz. Sifir olmayan her  $\alpha_i$ 'dan gelen  $b$  yaklasik olarak diger other  $b$ 'lere esit olacaktır. Final  $b$ 'yi hesaplamak icin tum  $b$ 'lerin ortalamasini almak numerik olarak daha garantidir.

Siniflayici Tamamlandi

Her yeni  $x$  noktası icin artik  $\text{sign}(x^T w + b)$  ibaresini siniflayicimiz olarak kullanabiliriz.  $-1$  ya da  $+1$  olarak geri gelecek sonuc bize yeni noktanin hangi sinifa ait oldugunu soyleyecektir.

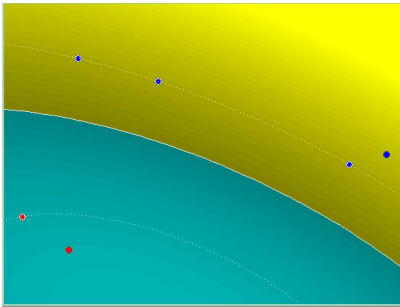
Ornek Çıktı



## Cekirdekler (Kernels)

Simdiye kadar lineer ayraclardan bahsettik. SVM'ler lineer olmayan ayraclarla da calisabilir. Cok basit: Bir temel fonksiyon kullanarak girdiyi daha yuksek boyuta dogru bir onislemden gecirirsek bunu basarabiliriz. Algoritmanin geri kalani degismeden kalacaktır.

## Gayri Lineer Cekirdek



Esname Payı Bazen bir problem ayrilmaya musait olmayabilir. Cok uc noktalardeki bazi noktalar siniflayicinin calismasini imkansiz hale getirebilir Bunun cozumu icin siniflayiciya "esneme payı" dahil edebiliriz. Mesela  $y_i = +1$  icin verinin yanlis tarafa dusmesini su durumda izin verebiliriz:  $w^T + b \geq -0.03$  Fakat eklemek gerekir ki bu tur noktalarin "cok fazla" olmasını da istemiyoruz, bu sebeple bu "yanlis" noktalarin sayısına da bir ceza getirebiliriz.

```
from numpy import linalg
import cvxopt
import cvxopt.solvers

def svm(X, y):
    n_samples, n_features = X.shape

    # Gram matrix
    K = np.zeros((n_samples, n_samples))
    for i in range(n_samples):
        for j in range(n_samples):
            K[i,j] = np.dot(X[i], X[j])

    P = cvxopt.matrix(np.outer(y,y) * K)
```

```

q = cvxopt.matrix(np.ones(n_samples) * -1)
A = cvxopt.matrix(y, (1,n_samples))
b = cvxopt.matrix(0.0)

G = cvxopt.matrix(np.diag(np.ones(n_samples) * -1))
h = cvxopt.matrix(np.zeros(n_samples))

# solve QP problem
solution = cvxopt.solvers.qp(P, q, G, h, A, b)

print solution

# Lagrange multipliers
a = np.ravel(solution['x'])

print "a", a

# Support vectors have non zero lagrange multipliers
ssv = a > 1e-5
ind = np.arange(len(a))[ssv]
a = a[ssv]
sv = X[ssv]
sv_y = y[ssv]
print "%d support vectors out of %d points" % (len(a), n_samples)
print "sv", sv
print "sv_y", sv_y

# Intercept
b = 0
for n in range(len(a)):
    b += sv_y[n]
    b -= np.sum(a * sv_y * K[ind[n],ssv])
b /= len(a)

# Weight vector
w = np.zeros(n_features)
for n in range(len(a)):
    w += a[n] * sv_y[n] * sv[n]

print "a", a
return w, b, sv_y, sv, a

X = np.array([[3.,3.],[4.,4.],[7.,7.],[8.,8.]])
y = np.array([1.,1.,-1.,-1.])
w, b, sv_y, sv, a = svm(X, y)
print "w", w

```

```

print "b", b
print 'test points'
print np.dot([2.,2.], w) + b # > 1
print np.dot([9.,9.], w) + b # < -1

```

	pcost	dcost	gap	pres	dres
0:	-2.9061e-01	-5.0286e-01	6e+00	2e+00	1e+00
1:	-3.6857e-02	-3.0976e-01	3e-01	4e-16	1e-15
2:	-1.0255e-01	-1.2816e-01	3e-02	3e-17	7e-16
3:	-1.1074e-01	-1.1128e-01	5e-04	3e-17	7e-16
4:	-1.1111e-01	-1.1111e-01	5e-06	4e-17	7e-16
5:	-1.1111e-01	-1.1111e-01	5e-08	1e-17	6e-16

Optimal solution found.

```

{'status': 'optimal', 'dual slack': 7.403425105865883e-08, 'iterations': 5, 'relative gap': 2.76375125e-08, 'primal slack': 1.11111073e-01, 'dual slack': 1.11111073e-01, 'relative gap': 2.76375125e-08}

```

2 support vectors out of 4 points

```
sv [[ 4.  4.]
```

```
     [ 7.  7.]]
```

```
sv_y [ 1. -1.]
```

```
a [ 0.11111107  0.11111107]
```

```
w [-0.33333322 -0.33333322]
```

```
b 3.66666541806
```

```
test points
```

```
2.33333253877
```

```
-2.33333253877
```

Not: İkizdeki  $L_d$ 'yi maksimize ediyoruz, fakat hala `qp()`'deki minimize ediciyi çağırıyoruz. Bu sebeple tüm  $\alpha$ 'ların toplamını temsil eden  $q$ 'ların negatifini alıyoruz, `np.ones(n_samples) * -1` işleminde görüldüğü gibi. Formüldeki karesel kısım içinde zaten  $-\frac{1}{2}$  negatif ibaresi var, böylece geri kalan formülün değişmesine gerek yok.

Kaynaklar

<http://www.mblondel.org/journal/2010/09/19/support-vector-machines-in-python>

Jebara, T., Machine Learning Lecture, Columbia University