Regressions- och tidsserieanalys

Föreläsning 7 - Icke-linjär regression. Polynom- och exponentiella samband

Mattias Villani

Statistiska institutionen Stockholms universitet

Institutionen för datavetenskap Linköpings universitet









Översikt

- Polynomregression
- Exponentiella modeller

Mattias Villani

Kvadratisk regression

Kvadratisk regression

$$y = a + b_1 x + b_2 x^2$$

- Samma som multipel regression med två förklarande variabler:
 - $\rightarrow x_1 = x_1$
 - $> x_2 = x^2$
- Populationsmodell

$$y = \alpha + \beta_1 x + \beta_2 x^2 + \varepsilon$$

- **Minsta-kvadratmetoden** för att beräkna a, b_1 och b_2 !
- Kvadratisk regression icke-linjär i x, men linjär i α , β_1 och β_2 .





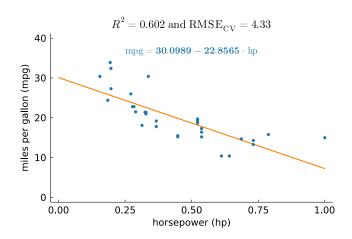
Kvadratisk regression - excel

Maxis RVA 21,000 0.328 0.10		A	В	С	D
Maxaca RN4 Wiley 21,000 0,388 0,100	1		mpg (y)	hp (x)	X ²
Datas 710 22-2800 0.278 0.079	2	Mazda RX4	21.000	0.328	0.108
Nome1 4 Dive	3	Mazda RX4 Wag	21.000	0.328	0.108
Nemest Sportable 18,700 0.522 0.27	4	Datsun 710	22.800	0.278	0.077
7 Valient 18100 0.313 0.09 Doster 300 114.300 0.731 0.53 Merc 200 24.400 0.185 0.03 Merc 200 24.400 0.085 0.03 Merc 200 24.400 0.085 0.03 Merc 200 0.244 0.00 Merc 200 0.347 0.03 Merc 200 0.347 0.33 Merc 45051 19.200 0.367 0.33 Merc 45051 19.200 0.357 0.28 Merc 45051 19.200 0.557 0.28 Merc 45051 0.55	5	Hornet 4 Drive	21.400	0.328	0.108
Design 200	6	Hornet Sportabo	18.700	0.522	0.273
Merc 240D 24,400 0.185 0.23- Merc 230D 22,400 0.284 0.089- Merc 230D 22,900 0.284 0.089- Merc 230D 22,900 0.284 0.089- Merc 250D 19,200 0.367 0.131- Merc 280C 11,800 0.367 0.131- Merc 450SL 17,300 0.537 0.28- Merc 450SL 15,200 0.537 0.28- Merc 450SL 15,200 0.537 0.28- Merc 450SL 15,200 0.537 0.28- Cadillac Fleetwo 10,400 0.612 0.37- Clancial Continer 10,400 0.612 0.37- Clancial Continer 10,400 0.642 0.41- Clancial Continer 10,400 0.667 0.41- Clancial Continer 10,400 0.155 0.02- Oliver 10,400 0.150 0.08- Oliver 10,400 0.448 0.20- O	7	Valiant	18.100	0.313	0.098
Merc 230 22.200 0.244 0.099	В	Duster 360	14.300	0.731	0.535
Merc 280	9	Merc 240D	24.400	0.185	0.034
Merc 450SL 17,000 0,387 0,139 0,395 0,139 0,395 0,139 0,395 0,139 0,395	0	Merc 230	22.800	0.284	0.080
Merc 450SE 16,400 0.537 0.28	1	Merc 280	19.200	0.367	0.135
Mere 460SL 17,300 0.537 0.29	2	Merc 280C	17.800	0.367	0.135
Mere ASSLC 15.200 0.537 0.28 Codillac Fleetor 10.000 0.612 0.37 I Lincoln Contrier 10.400 0.642 0.41 Chrysler Imperia 11.4700 0.687 0.47 Plat 128 32.400 0.197 0.02 OHORICA Civic 33.900 0.195 0.02 1 Toyota Corona 33.900 0.194 0.02 2 Toyota Corona 15.500 0.290 0.68 4 AMC Alwelin 15.500 0.448 0.20 4 AMC Alwelin 15.200 0.448 0.20 5 Portacke Freeker 19.200 0.522 0.27 6 Portacke Freeker 27.300 0.197 0.05 7 Feat X1-9 27.300 0.522 0.27 9 Units Europa 3.0400 0.337 0.11 1 Feat Parteral L 15.800 0.788 0.62 1 Feat Parteral L 19.700 0.522 0.27 1 Masseali Bora 15.000 1.000 1.000	3	Merc 450SE	16.400	0.537	0.289
6 Cadillac Fleenko 10 4000 0.612 0.37.	4	Merc 450SL	17.300	0.537	0.289
Turcoin Continee	5	Merc 450SLC	15.200	0.537	0.289
B Cheyelet Imperie	6	Cadillac Fleetwo	10.400	0.612	0.374
9 Pat 128 32,400 0.197 0.09 0.00	7	Lincoln Continer	10.400	0.642	0.412
Menda Corle 30,000 0,155 0,020 10,000	8	Chrysler Imperia	14.700	0.687	0.471
Toyota Corolla 33,900 0.194 0.038	9	Fiat 128	32.400	0.197	0.039
Toylor Corona 2,1500 0,200 0,08	0.0	Honda Civic	30.400	0.155	0.024
Dodge Challeng 15.500 0.448 0.200	1	Toyota Corolla	33.900	0.194	0.038
AMA Cavelin 15,200	2	Toyota Corona	21.500	0.290	0.084
5 Camaro 228 13.300 0.731 0.53 9 Pontac Friebald 19.200 0.522 0.27 7 Flax L1-9 27.300 0.197 0.03 8 Porsche 914-2 26.000 0.272 0.07 10 Lohus Europa 30.400 0.337 0.11 10 Ford Pantera L 15.800 0.788 0.62 1 Ferrar Türne 15.000 1.000 1.000 4 Masseali Bora 15.000 1.000 1.000	3	Dodge Challeng	15.500	0.448	0.200
Portiace Firebaid 19,200 0,522 0,277	4	AMC Javelin	15.200	0.448	0.200
77 Flat X1-9 27.300 0.197 0.031 29 Porsche 914-2 26.000 0.272 0.007. Lothis Europa 30.400 0.337 0.11. 30 Ford Pantera L 15.800 0.788 0.82. 15 Ferrari Dino 19.700 0.522 0.277. 24 Maserati Bora 15.000 1.000 1.000	5	Camaro Z28	13.300	0.731	0.535
Porsche 914-2 26,000 0.272 0.07- Otus Europa 30,400 0.337 0.11- Otus Europa 30,400 0.337 0.11- Otus Europa 50,600 0.788 0.62 Ferrari Dino 19,700 0.522 0.272- Maserati Bora 15,000 1,000 1,000	6	Pontiac Firebird	19.200	0.522	0.273
	7	Fiat X1-9	27.300	0.197	0.039
Ford Pantera L 15.800 0.788 0.62	8	Porsche 914-2	26.000	0.272	0.074
Ferrari Dino 19.700 0.522 0.273 Maserati Bora 15.000 1.000 1.000	9	Lotus Europa	30.400	0.337	0.114
12 Maserati Bora 15.000 1.000 1.000	0	Ford Pantera L	15.800	0.788	0.621
	1	Ferrari Dino	19.700	0.522	0.273
3 Volvo 142E 21.400 0.325 0.10	2	Maserati Bora	15.000	1.000	1.000
	3	Volvo 142E	21.400	0.325	0.106

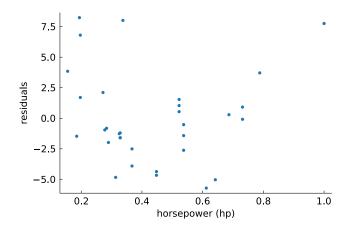
Notera att hp är normaliserad genom att dividera med max(hp) i stickprovet. Blir numeriskt stabilare om man normaliserar så.

Mattias Villani

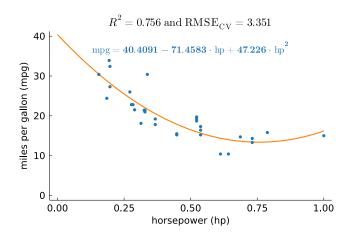
Cars data - linjär regression mot hp



Cars data - residualer linjär regression



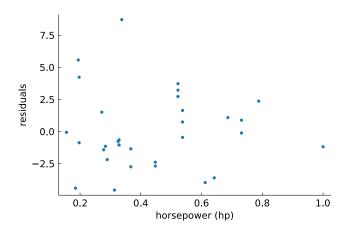
Cars data - kvadratisk regression mot hp



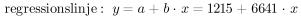
Mattias Villani

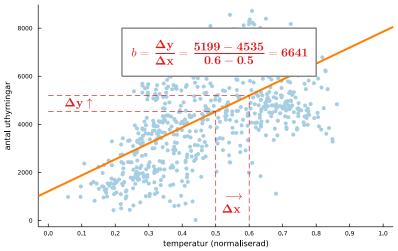
ST123G

Cars data - residualer kvadratisk regression



Linjär regression - tolkning b





Mattias Villani

ST1230

Tolkningar av parametrar i kvadratisk regression

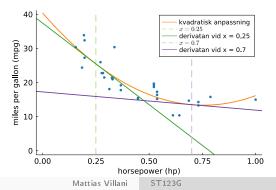
Kvadratisk regression

$$y = a + b_1 x + b_2 x^2$$

Regressionskoefficienterna tolkas som derivator:

$$\frac{dy}{dx} = b_1 + 2b_2 \cdot x$$

Effekten av en liten förändring Δx i x beror på x själv:



Polynomregression

Polynomregression

$$y = a + b_1 x + b_2 x^2 + \ldots + b_k x^k$$

- Polynomregression av ordning kär detsamma som multipel regression med k förklarande variabler:
 - $ightharpoonup x_1 = x$
 - $> x_2 = x^2$

 - $\rightarrow x_k = x^k$
- Populationsmodell:

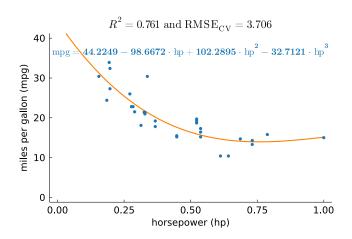
$$y = \alpha + \beta_1 x + \beta_2 x^2 + \ldots + \beta_k x^k + \varepsilon$$

- Minsta-kvadratmetoden kan användas för att beräkna $a, b_1, \ldots b_k!$
- Polynomregression är icke-linjär i x, men linjär i α , $\beta_1, \ldots \beta_k$.

Polynomregression - excel

	A	В	С	D	E	F
1		mpg (y)	hp (x)	X ²	X ³	X ⁴
2	Mazda RX4	21.000	0.328	0.108	0.035	0.012
3	Mazda RX4 Wag	21.000	0.328	0.108	0.035	0.012
4	Datsun 710	22.800	0.278	0.077	0.021	0.006
5	Hornet 4 Drive	21.400	0.328	0.108	0.035	0.012
6	Hornet Sportabo	18.700	0.522	0.273	0.143	0.074
7	Valiant	18.100	0.313	0.098	0.031	0.010
8	Duster 360	14.300	0.731	0.535	0.391	0.286
9	Merc 240D	24.400	0.185	0.034	0.006	0.001
10	Merc 230	22.800	0.284	0.080	0.023	0.006
11	Merc 280	19.200	0.367	0.135	0.049	0.018
12	Merc 280C	17.800	0.367	0.135	0.049	0.018
13	Merc 450SE	16.400	0.537	0.289	0.155	0.083
14	Merc 450SL	17.300	0.537	0.289	0.155	0.083
15	Merc 450SLC	15.200	0.537	0.289	0.155	0.083
16	Cadillac Fleetwo	10.400	0.612	0.374	0.229	0.140
17	Lincoln Continer	10.400	0.642	0.412	0.264	0.170
18	Chrysler Imperia	14.700	0.687	0.471	0.324	0.222
19	Fiat 128	32.400	0.197	0.039	0.008	0.002
		Mattias	Villani ST12	3G		

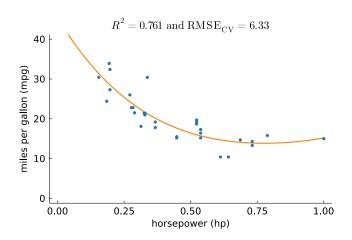
Cars data - kubisk regression mot hp



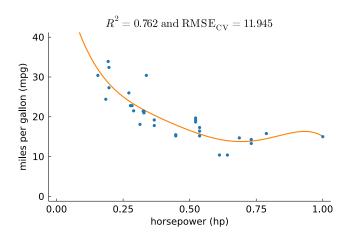
Mattias Villani

ST1230

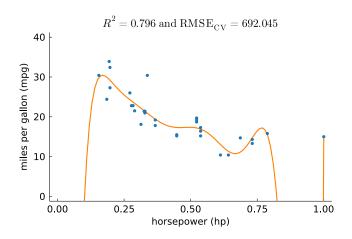
Cars data - polynomregression ordning 4



Cars data - polynomregression ordning 5



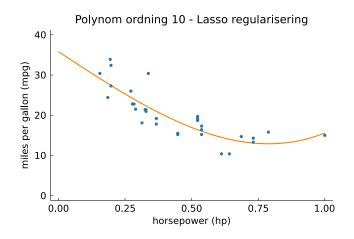
Cars data - polynomregression ordning 10



Mattias Villani

ST1230

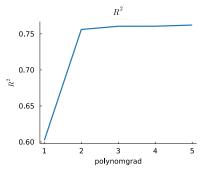
Lasso regularisering polynom ordning 10

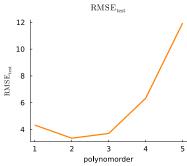


- $a = 35.80, b_1 = -43.58, b_3 = 23.32.$
- $b_2 = 0$ och $b_4 = \ldots = b_{10} = 0$ (variabelselektion).

Mattias Villani

Cars data - R^2 och RMSE-CV(K = 4) på testdata





Exponentiella samband

Du sätter in 200 kr på banken till 5% årsränta. Utveckling:

1 år:
$$200 \cdot 1.05 = 210.000 \text{ kr}$$

2 år: $200 \cdot 1.05^2 = 220.500 \text{ kr}$
3 år: $200 \cdot 1.05^3 = 231.525 \text{ kr}$

- Efter x år: $200 \cdot 1.05^x$. Exponentiell tillväxt. Samma procentuella ökning varje år.
- Exponentiellt samband

$$y = a \cdot b^{x}$$

- a är det initiala beloppet eller storheten.
- **b** bestämmer tillväxttakten

$$b > 1$$
 ökande
 $b < 1$ minskade
 $b = 1$ konstant

Exponentiell regression

Exponentiell regression

$$y = a \cdot b^{x}$$

Logaritmregler (10-logaritmer $\log = \log_{10}$)

$$\log(a \cdot b) = \log a + \log b$$
 ("log av produkten är summan av log")
 $\log b^{x} = x \log b$ ("exponenten hoppar ner framför")

Logaritmera båda sidor

$$\underbrace{\log y}_{\tilde{y}} = \underbrace{\log a}_{\tilde{a}} + \underbrace{\log b \cdot x}_{\tilde{b}}$$

$$\tilde{y} = \tilde{a} + \tilde{b}x$$

$$\tilde{a} = \log a$$

$$\tilde{b} = \log b$$

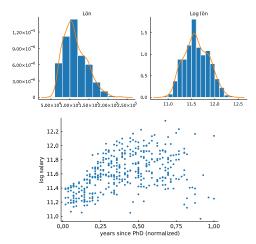
- Skatta \tilde{a} och \tilde{b} med minsta-kvadrat med $\tilde{y} = \log y!$
- 📕 Skattningar för *a* och *b* fås genom

$$a=10^{\tilde{a}}$$
 och $b=10^{\tilde{b}}$

Mattias Villani ST123G

Exponentiell regression

- Responsvariabler med enbart positiva värden (t ex lön):
 - Normalfördelning ofta opassande pga skevhet.
 - ► kan ge prediktioner för y som är negativa.



Exponentiell regression

Populationsmodell:

$$y = \alpha \cdot \beta^x \varepsilon$$

- Logaritmen av feltermen arepsilon är normalfördelad.
- lacksquare Vi säger att feltermen arepsilon är lognormal fördelad. Innebär arepsilon>0.
- Logaritmera för att göra modellen linjär!

$$\underbrace{\log y}_{\tilde{y}} = \underbrace{\log \alpha}_{\tilde{\alpha}} + \underbrace{\log \beta}_{\tilde{\beta}} \cdot x + \underbrace{\log \varepsilon}_{\tilde{\varepsilon}}$$

$$\tilde{y} = \tilde{\alpha} + \tilde{\beta} \cdot x + \tilde{\epsilon}, \qquad \tilde{\epsilon} \sim N\left(0, \sigma_{\tilde{\epsilon}}^2\right).$$

- t-test för $H_0: \tilde{\beta} = 0$ är test för konstant tillväxt $\beta = 1$.
- Prediktion för $x = x_0$:

$$\hat{y} = a \cdot b^{x_0} = 10^{\tilde{a}} \cdot (10^{\tilde{b}})^{x_0} = 10^{\tilde{a} + \tilde{b}x_0}$$

Dvs, gör prediktion $\widehat{\log y}$ och "anti-logga" för prognosen för \hat{y} .

	A	В	С	D	E
1	year	gdp	gdpgrowth	log10(gdp)	t = year - 1999
2	2000	959.3725	9.86	2.981987265	1
3	2001	1053.1082	9.77	3.022472994	2
4	2002	1148.5083	9.06	3.060134138	3
5	2003	1288.6433	12.2	3.11013272	4
0	2004	1508.6681	17.07	3.178593708	5
7	2005	1753.4178	16.22	3.243885411	6
8	2006	2099.2294	19.72	3.3220599	7
9	2007	2693.9701	28.33	3.430392771	8
10	2008	3468.3046	28.74	3.540117232	9
11	2009	3832.2364	10.49	3.583452292	10
12	2010	4550.4531	18.74	3.658054643	11
13	2011	5618.1323	23.46	3.749591962	12
14	2012	6316.9183	12.44	3.80050526	13
15	2013	7050.6463	11.62	3.848228929	14
16	2014	7678.5995	8.91	3.885282016	15
17	2015	8066.9426	5.06	3.906708967	16
18	2016	8147.9377	1	3.9110477	17
19	2017	8879.4387	8.98	3.948385513	18
20	2018	9976.6771	12.36	3.998985916	19
21	2019	10216.6303	2.41	4.009307678	20
22	2020	10500.3956	2.78	4.021205661	21
23					

Mattias Villani

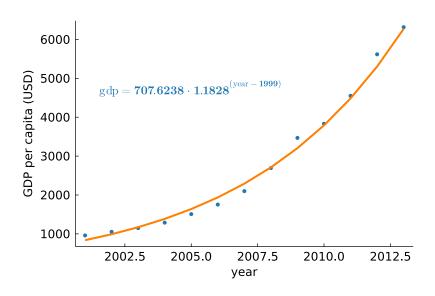
ST123G

Coefficients:							
	Coef.	Std. Error	t	Pr(> t)	Lower 95%	Upper 95%	
(Intercept) year		0.0192341 0.00242327	148.16 30.08	<le-18 <le-11< td=""><td></td><td>2.89214 0.0782341</td></le-11<></le-18 		2.89214 0.0782341	

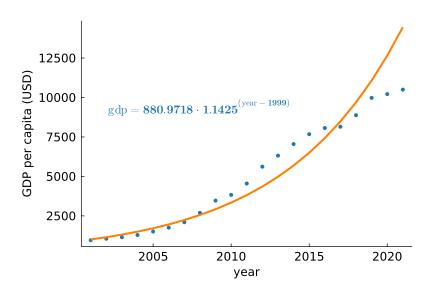
- $\tilde{a} = 2.8498$, så $a = 10^{\tilde{a}} = 707.62376$.
- $\tilde{b} = 0.0729005$, så $b = 10^{\tilde{b}} = 10^{0.0729005} = 1.18277$.

Mattias Villani





Mattias Villani



Mattias Villani

ST123G