

Statistik och Dataanalys I

Föreläsning 16 - Sannolikhetsmodeller för kontinuerliga variabler

Mattias Villani



Statistiska institutionen
Stockholms universitet



mattiasvillani.com



@matvil



@matvil



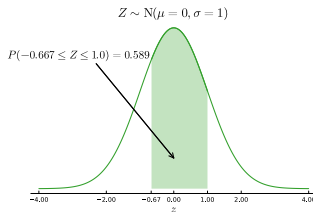
mattiasvillani

- Likformig fördelning
- Normalfördelning
- Poissonfördelning
- Exponentialfördelning
- Student- t

Kontinuerliga slumpvariabler och täthetsfunktionen

- **Kontinuerlig slumpvariabel** antar alla värden, men $P(X = x) = 0$ för alla x ! 🤖
- **Täthetsfunktion**: $f(x)$.
- Positiv $f(x) > 0$ för alla x .
- Täthetsfunktion ger **inte** sannolikheter. OK om $f(x) > 1$.
- **Täthetsfunktionen** används för att **beräkna sannolikheter**:




$P(a \leq X \leq b) = \text{arean under } f(x) \text{ mellan } a \text{ och } b$



- **SDAIII**: räkna arean under funktion med **integration**.

Likformig fördelning

Likformig fördelning

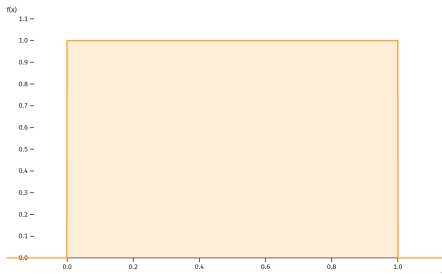
a : 
 b : 
Kvantil: 

Om $X \sim \text{Uniform}(0, 1)$ så gäller att

$$E(X) = \frac{a+b}{2} = 0.500$$

$$\text{Var}(X) = \frac{(b-a)^2}{12} = 0.0833$$

$$P(X \leq 1) = 1.000$$



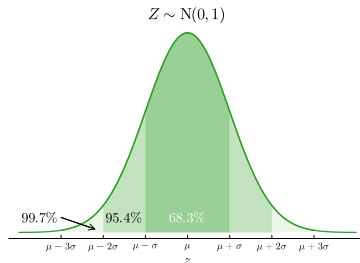
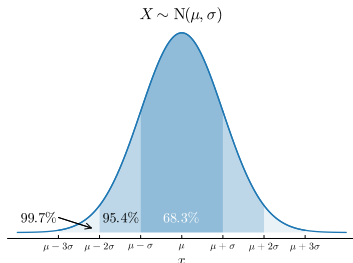
Normalfördelning

■ $X \sim N(\mu, \sigma)$

$$E(X) = \mu$$

$$SD(X) = \sigma$$

■ 68-95-99.7% regeln



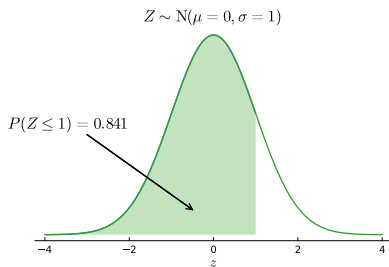
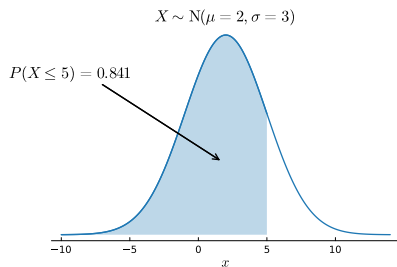
Normalfördelning - standardisering

■ Standardisering

$$X \sim N(\mu, \sigma) \Rightarrow Z = \frac{X - \mu}{\sigma} \sim N(0, 1)$$

■ Sannolikhet via standardisering för $X \sim N(2, 3)$

$$P(X \leq 5) = P(X - 2 \leq 5 - 2) = P\left(\frac{X - 2}{3} \leq \frac{5 - 2}{3}\right) = P(Z \leq 1)$$



Normalfördelning - Z-tabell

Normalfördelning

Tabellen ger sannolikheten $\Phi(z) = P(Z \leq z)$ för olika z där Z är standardnormal, $Z \sim N(0, 1)$.

Sannolikheter i den vänstra svansen fås genom symmetri: $P(Z \leq -z) = 1 - P(Z \leq z)$.



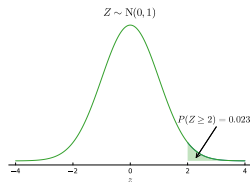
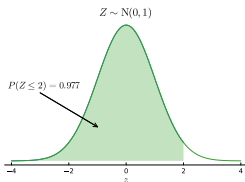
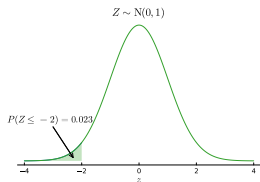
Andra decimalen i z

	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	0.5000	0.5040	0.5080	0.5120	0.5160	0.5199	0.5239	0.5279	0.5319	0.5359
0.1	0.5398	0.5438	0.5478	0.5517	0.5557	0.5596	0.5636	0.5675	0.5714	0.5753
0.2	0.5793	0.5832	0.5871	0.5910	0.5948	0.5987	0.6026	0.6064	0.6103	0.6141
0.3	0.6179	0.6217	0.6255	0.6293	0.6331	0.6368	0.6406	0.6443	0.6480	0.6517
0.4	0.6554	0.6591	0.6628	0.6664	0.6700	0.6736	0.6772	0.6808	0.6844	0.6879
0.5	0.6915	0.6950	0.6985	0.7019	0.7054	0.7088	0.7123	0.7157	0.7190	0.7224
0.6	0.7257	0.7291	0.7324	0.7357	0.7389	0.7422	0.7454	0.7486	0.7517	0.7549
0.7	0.7580	0.7611	0.7642	0.7673	0.7704	0.7734	0.7764	0.7794	0.7823	0.7852
0.8	0.7881	0.7910	0.7939	0.7967	0.7995	0.8023	0.8051	0.8078	0.8106	0.8133
0.9	0.8159	0.8186	0.8212	0.8238	0.8264	0.8289	0.8315	0.8340	0.8365	0.8389
1.0	0.8413	0.8438	0.8461	0.8485	0.8508	0.8531	0.8554	0.8577	0.8599	0.8621
1.1	0.8643	0.8665	0.8686	0.8708	0.8729	0.8749	0.8770	0.8790	0.8810	0.8830
1.2	0.8849	0.8869	0.8888	0.8907	0.8925	0.8944	0.8962	0.8980	0.8997	0.9015
1.3	0.9032	0.9049	0.9066	0.9082	0.9099	0.9115	0.9131	0.9147	0.9162	0.9177
1.4	0.9192	0.9207	0.9222	0.9236	0.9251	0.9265	0.9279	0.9292	0.9306	0.9319
1.5	0.9332	0.9345	0.9357	0.9370	0.9382	0.9394	0.9406	0.9418	0.9429	0.9441
1.6	0.9452	0.9463	0.9474	0.9484	0.9495	0.9505	0.9515	0.9525	0.9535	0.9545
1.7	0.9554	0.9564	0.9573	0.9582	0.9591	0.9599	0.9608	0.9616	0.9625	0.9633
1.8	0.9641	0.9649	0.9656	0.9664	0.9671	0.9678	0.9686	0.9693	0.9699	0.9706
1.9	0.9713	0.9719	0.9726	0.9732	0.9738	0.9744	0.9750	0.9756	0.9761	0.9767
2.0	0.9772	0.9778	0.9783	0.9788	0.9793	0.9798	0.9803	0.9808	0.9812	0.9817

Normalfördelning - symmetri

- **Negativa z-värden** finns inte i Z-tabellen.
- Vi utnyttjar normalfördelningens **symmetri** för negativa z

$$P(Z \leq -2) = 1 - P(Z \leq 2)$$



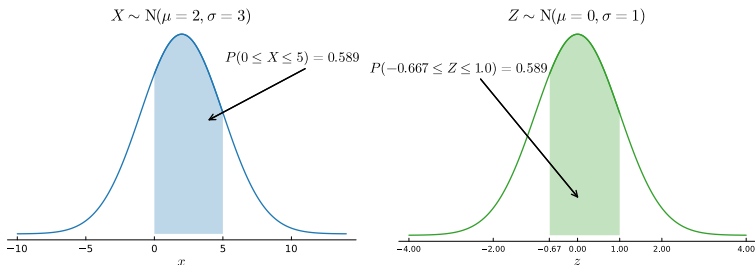
Normalfördelning - intervall via standardisering

■ Sannolikhet via standardisering för $X \sim N(2, 3)$

$$\begin{aligned}P(0 \leq X \leq 5) &= P\left(\frac{0-2}{3} \leq \frac{X-2}{3} \leq \frac{5-2}{3}\right) \\&= P(-0.667 \leq Z \leq 1) \\&= P(Z \leq 1) - P(Z \leq -0.667)\end{aligned}$$


och pga **symmetri**


$$P(Z \leq -0.667) = 1 - P(Z \leq 0.667)$$




Normalfördelningen - interaktivt

Normalfördelningen

μ : 

σ : 

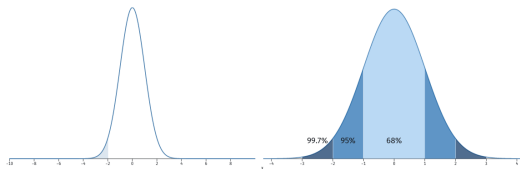
Kvantil: 

Om $X \sim N(0, 1)$ så gäller att

$$E(X) = \mu = 0.00$$

$$Var(X) = \sigma^2 = 1.00$$

$$P(X \leq -1.96) = 0.02500$$



Normalfördelning - egenskaper

Linjärkombination av normalfördelad slumpvariabel.

Om $X \sim N(\mu, \sigma)$ och $Y = c + aX$ så gäller

$$Y \sim N(c + a\mu, |a|\sigma)$$

Summa av oberoende normalfördelade slumpvariabler.

Om $X \sim N(\mu_X, \sigma_X)$ och $Y \sim N(\mu_Y, \sigma_Y)$ är oberoende slumpvariabler så är även summan normalfördelad:

$$X + Y \sim N(\mu_X + \mu_Y, \sqrt{\sigma_X^2 + \sigma_Y^2})$$

■ **Fördelningarna** för linjärkombination och summa är **normal**!

■ Summan är fortfarande normal om **X och Y är beroende**.

Poissonfördelning

- **Poissonfördelningen** är en fördelning för **räknedata** (antal):

- ▶ antal buggar i en mjukvara
- ▶ antal budgivare i en eBay auktion
- ▶ antal besök till läkaren

- Om $X \sim \text{Pois}(\lambda)$ så

$$P(X = x) = \frac{e^{-\lambda} \lambda^x}{x!}, \quad \text{för } x = 0, 1, 2, \dots$$

- $e \approx 2.71$ är Eulers tal.
- Poisson har samma **väntevärde** och **varians**:

$$E(X) = \lambda$$

$$\text{Var}(X) = \lambda$$

Poissonfördelning - interaktivt

Poissonfördelningen

λ : 

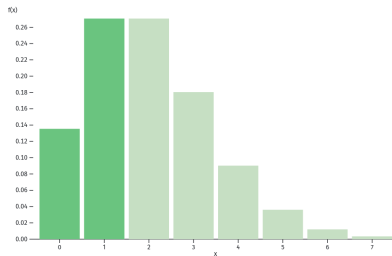
Quantile: 

If $X \sim \text{Poisson}(2)$ then

$$E(X) = \lambda = 2.00$$

$$\text{Var}(X) = \lambda = 2.00$$

$$P(X \leq 1) = 0.4060$$



 Mattiias Villani Poisson distribution

 Observable

Poissonfördelning för antal bud på eBay

- Data från 1000 eBay-auktioner av samlarmynt.
- nBids är antalet budgivare i en given auktion.
- Olika värdefulla och olika reservationspris (lägsta pris).
- Fokus här på de 550 observationer med lägst reservationspris.
- Modell för nBids: $X_1, \dots, X_n \overset{\text{ober}}{\sim} \text{Pois}(\lambda)$.

	nBids	PowerSeller	VerifyID	Sealed	Minblem	MajBlem	LargNeg	LogBook	MinBidShare	Sold	low_res_price
1	2	0	0	0	0	0	0	-0.224	-0.209	True	low
2	6	1	0	0	0	0	0	0.607	-0.348	True	low
3	1	1	0	0	0	0	0	0.033	0.442	True	high
4	1	0	0	0	1	0	0	0.376	0.144	True	high
5	4	0	0	0	0	0	1	1.435	-0.41	True	low
6	2	0	0	0	0	0	0	-0.914	0.632	True	high
7	2	0	0	0	1	0	0	-0.248	0.295	True	high
8	2	0	0	0	0	0	0	-0.914	0.632	True	high
9	2	1	0	0	0	0	0	0.511	0.055	True	high
10	6	0	0	1	0	0	0	-0.362	0.025	True	high
11	0	1	0	0	0	0	0	-0.224	0.477	False	high

Wegmann, B. och Villani, M. (2011). Bayesian Inference in Structural Second-Price Common Value Auctions, [*Journal of Business and Economic Statistics*](#)

Punktskattning av modellparametrar

- Modell för nBids: $X_1, \dots, X_n \overset{\text{ober}}{\sim} \text{Pois}(\lambda)$.
- Hur väljer vi parametern λ ? **Punktskattning**. **Estimat**. $\hat{\lambda}$.
- **Momentmetoden**: Eftersom $\lambda = E(X)$ så är $\hat{\lambda} = \bar{x}$ rimligt.
- **Maximum likelihood**: välj det λ som maximerar sannolikheten för datamaterialet. 🥰
- Maximum likelihood-metoden funkar för alla modeller. 😎

Maximum likelihood för Poisson - interaktivt

Maximum likelihood estimation - Poissonfördelning

Modell: $X_1, X_2, \dots, X_n \overset{\text{ober}}{\sim} \text{Pois}(\lambda)$

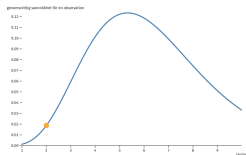
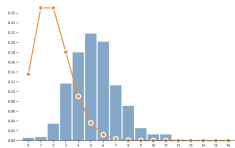
λ :

2

Visa maximum
likelihood
anpassning



Medelsannolikhet för observerad data med modellen $\text{Pois}(\lambda = 2)$ är 0.01872



Mattias Villani Maximum likelihood - Poissonmodellen

Observable

Exponentialfördelning

- Om $X \sim \text{Expon}(\lambda)$ så är **täthetsfunktionen**

$$f(x) = \lambda e^{-\lambda x}, \text{ för } x > 0$$

- **Väntevärde** och **varians**

$$E(X) = \frac{1}{\lambda} \text{ och } \text{Var}(X) = \frac{1}{\lambda^2}$$

- **Exponentialfördelning** vanlig modell för **väntetider**.



- ▶ Tid mellan samtal till stödlinje.
- ▶ Tid mellan mjukvarureleaser.

- Exponential och Poisson-fördelningen hänger ihop:

- ▶ Om **antalet samtal** till stödlinje per timme är $\text{Poisson}(\lambda = 6)$ så förväntar vi oss $\lambda = 6$ st samtal i timmen.
- ▶ Då är **tiden mellan samtal** $\text{Expon}(\lambda = 6)$ och vi förväntar oss $1/\lambda = 1/6$ timmar (10 minuter) mellan samtal.

Exponentialfördelning

Exponentialfördelningen

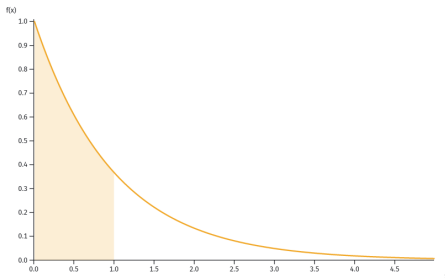
λ : 
Kvantil: 

Om $X \sim \text{Expon}(1.01)$ så gäller att

$$E(X) = \frac{1}{\lambda} = 0.990$$

$$\text{Var}(X) = \frac{1}{\lambda^2} = 0.980$$

$$P(X \leq 1) = 0.6358$$



Exponentialfördelning i R

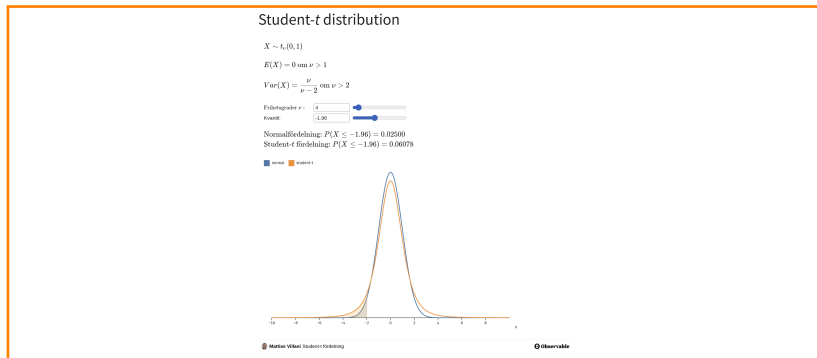
- $X \sim \text{Expon}(\lambda = 3)$. Parametern λ kallas `rate` i R.

Beräkning	R kommando	Kommentar
$f(0.5)$	<code>dexp(x = 0.5, rate = 3)</code>	$f(x)$ vid $x = 0.5$
$P(X \leq 0.5)$	<code>pexp(q = 0.5, rate = 3)</code>	
Kvantil	<code>qexp(p = 0.5, rate = 3)</code>	Medianen
10 slumpstal	<code>rexp(n = 10, rate = 3)</code>	

- **Täthetsfunktion** heter **density function** på engelska.
Därav namnet `dexp`.
- Se programkoden [exponential.R](#) på kurssidan.

Student- t fördelning (standard)

- $X \sim t_\nu(0, 1)$ är en **student- t** fördelning med ν **frihetsgrader**.
- **Kontinuerliga symmetriska** variabler över $(-\infty, \infty)$.
- Student- t har mer sannolikhet på **extrema utfall**.
- **Student- t** fördelning alltmer lik normalfördelning när ν ökar.



Varför student- t är viktig för inferens

- X_1, X_2, \dots, X_n är oberoende data from $N(\mu, \sigma^2)$.
- Stickprovmedelvärdet


$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$$

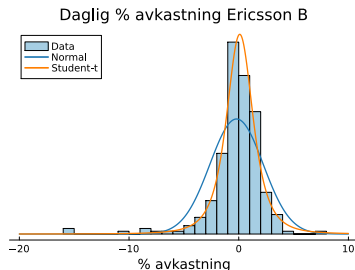
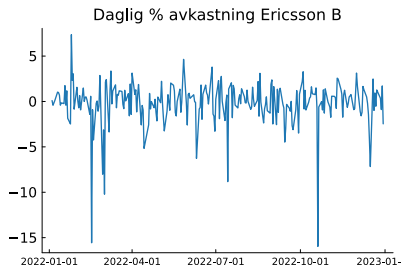
- Inferens: fördelningen för det **standardiserade medelvärdet**

$$\frac{\bar{X} - \mu}{SD(\bar{X})}$$

- Om variansen i populationen σ^2 **är känd** så är det **standardiserade medelvärdet normalfördelat**.
- Om variansen i populationen σ^2 **är okänd**, och måste skattas med s^2 , så är det **standardiserade medelvärdet student- t fördelat** med $\nu = n - 1$ frihetsgrader.

Student- t som modell för aktieavkastning

- Student- t fördelningen kommer visa sig viktig för inferens för väntevärdet μ i en normalpopulation. F18.
- Student- t är en bra modell för data med extremvärden.
- Daglig avkastning Ericsson B aktie under hela år 2022. 
- Finansiella data har ofta extremvärden. **Tunga svansar.**
- Maximum likelihood: $\mu = 0.094$, $\phi = 1.279$ och $\nu = 2.706$.






Allmän Student- t fördelning för datamodellering

Allmän Student- t distribution

$$X \sim t_{\nu}(\mu, \phi^2)$$

$$E(X) = \mu \text{ om } \nu > 1$$

$$\text{Var}(X) = \frac{\nu}{\nu - 2} \phi^2 \text{ om } \nu > 2$$

Läge μ :	<input type="text" value="2"/>	
Skala ϕ :	<input type="text" value="1.5"/>	
Frihetsgrader ν :	<input type="text" value="4"/>	
Kvantil:	<input type="text" value="0"/>	

visa
normalfördelning ☐

Student- t fördelning: $P(X \leq 0) = 0.1266$

