# Sannolikhetslära och Statistik
# Föreläsning 4

Mattias Villani

**Avdelningen för Statistik och Maskininlärning**
**Institutionen för datavetenskap**
**Linköpings universitet**

# Översikt

- Täthetsfunktion
- Likformig fördelning
- Exponentialfördelningen
- Gammafördelningen
- Normalfördelningen

# Kontinuerliga slumpvariabler

- Kontinuerliga slumpvariabler kan anta alla reela värden på ett inteval $(a, b)$, speciellt $(-\infty, \infty)$.
- $X$ kontinuerlig $\Rightarrow P(x) = 0$ för alla $x$. Pmf inte användbar.
- Fördelningsfunktionen funkar dock: $F(x) = \mathbf{P}\{X \leq x\}$.
- Eftersom $P(x) = 0$ för alla $x$ så gäller $\mathbf{P}\{X \leq x\} = \mathbf{P}\{X < x\}$.
- Om $X$ kontinuerlig slumpvariabel: $F(x)$ **kontinuerlig**. Inga hopp. **Icke-avtagande**.

$$\lim_{x\to\infty} F(x) = 1 \quad \lim_{x\to-\infty} F(x) = 0.$$

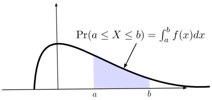
# TÄTHETSFUNKTION

Definition. **Täthetsfunktionen** $f(x)$ för en kontinuerlig slumpvariabel $X$ är derivatan av CDF:n

$$f(x) = F'(x).$$

- Fördelningen är kontinuerlig om den har en täthetsfunktion.
- Täthetsfunktion heter **probability density function**, **pdf** på engelska.
- cdf:n $F(x)$ är antiderivatan av pdf:n.
- Sannolikheter för intervall ges av ytor under pdf:n

$$\mathbf{P}\{a < X < b\} = \int_a^b f(x)dx$$



# Täthetsfunktion

- $f(x) = F'(x)$ så
$$\int_{-\infty}^{b} f(x)dx = F(b) - F(-\infty) = F(b) - 0 = F(b).$$
- Täthetsfunktioner integrerar till ett:
$$\int_{-\infty}^{\infty} f(x)dx = F(\infty) - F(-\infty) = 1 - 0 = 1.$$
- Täthetsfunktionens värden, t ex $f(2)$, är inte en sannolikhet. $f(2) > 1$ helt ok. Men $f(x) \geq 0$ måste gälla.
- För litet $\epsilon$: $\Pr\left(a - \frac{\epsilon}{2} \leq X \leq a + \frac{\epsilon}{2}\right) \approx \epsilon \cdot f(a)$.
- `Exempel`: triangelfördelningen över support $[0, a]$. Normaliseringskonstant. Fördelningsfunktion. $P\{X > a/2\}$. Se också Example 4.1 i Baron.
- Se Table 4.1 i Baron för en jämförelse av diskreta och kontinuerliga fördelningar.

# Väntevärde och varians

- Repetition: för diskreta slumpvariabler:

$$\mathbb{E}X = \sum_x x \cdot P(x) \quad Var(X) = \mathbb{E}\left(X-\mu\right)^2 = \sum_x \left(x-\mu\right)^2 P(x)$$

- För kontinuerliga slumpvariabler:

$$\mathbb{E}X = \int x \cdot f(x)dx \qquad Var(X) = \mathbb{E}\left(X-\mu\right)^2 = \int (x-\mu)^2 f(x)dx$$

- Exempel: triangelfördelning.

# Simultanfördelning för kontinuerliga variabler

- **Simultan fördelningsfunktion**

$$F_{(X,Y)}(x,y) = \mathsf{P}\left\{X \leq x \cap Y \leq y\right\}$$

- **Simultan täthetsfunktion**

$$f_{(X,Y)}(x,y) = \frac{\partial^2}{\partial x \partial y} F_{(X,Y)}(x,y)$$

- Ofta skriver vi bara $f(x,y)$ istället för $f_{(X,Y)}(x,y)$.
- **Kovarians**

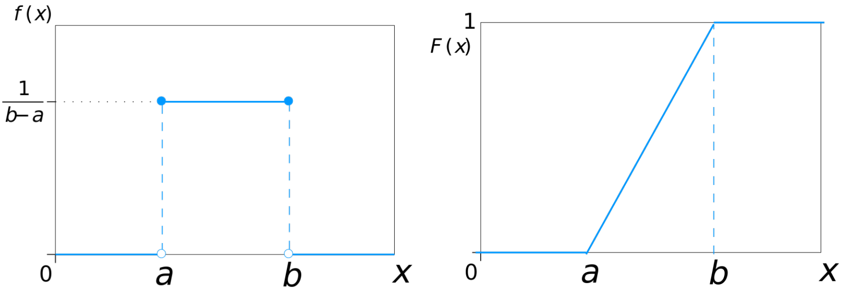
$$\begin{aligned} Cov(X,Y) &= \mathbb{E}\left(X-\mu_X\right)\left(Y-\mu_Y\right) \\ &= \int\int \left(X-\mu_X\right)\left(Y-\mu_Y\right) f(x,y) dxdy \end{aligned}$$

# Likformig fördelning

- **Täthetsfunktion** för likformig fördelad slumpvariabel över $[a, b]$

$$f(x) = \frac{1}{b-a} \quad \text{för } a \leq x \leq b, \text{ och } f(x) = 0 \text{ annars.}$$

- Man skriver of $X \sim U(a, b)$ för att säga:
  'Slumpvariabel $X$ följer en likformig fördelning på intervallet $(a, b)$.
  Likformig = **U**niform på engelska.



# Likformig fördelning

- **Väntevärde**:

$$\mathbb{E}X = \int x \cdot f(x)dx = \frac{1}{b-a}\int xdx = \frac{1}{b-a}\left[\frac{1}{2}x^2\right]_a^b$$

$$= \frac{1}{2(b-a)}\left(b^2 - a^2\right) = \frac{(b-a)(b+a)}{2(b-a)} = \frac{a+b}{2}$$

- **Varians**: $Var(X) = \mathbb{E}X^2 - \mu^2$

$$\mathbb{E}X^2 = \int x^2 \cdot f(x)dx = \frac{1}{b-a}\int x^2dx = \frac{a^2+b^2+ab}{3}$$

$$Var(X) = \mathbb{E}X^2 - \mu^2 = \frac{a^2+b^2+ab}{3} - \left(\frac{a+b}{2}\right)^2 = \frac{(b-a)^2}{12}$$

- Alt. härledning, se Baron s. 81. Alla likformiga variabler kan genereras från **standardmedlemmen**: $Y \sim U(0,1)$ genom följande resultat:

$$X = a + (b-a)Y \text{ där } Y \sim U(0,1) \Longrightarrow X \sim U(a,b).$$

# Exponentialfördelningen

- **Täthetsfunktion** för exponentialfördelad slumpvariabel över $(0, \infty)$

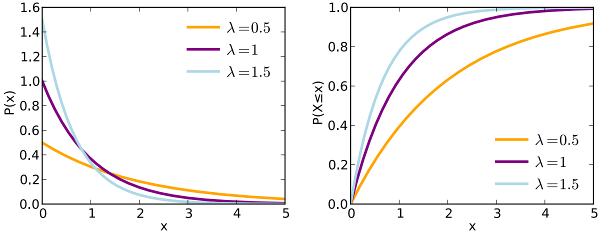
$$f(x) = \lambda e^{-\lambda x}, \text{ för } x > 0.$$

- Vi skriver: $\mathrm{X} \sim \mathrm{Exp}(\lambda)$.
- Vänteväde

$$\mathbb{E}X = \frac{1}{\lambda}$$

- Varians

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



# Exponentialfördelningen

- Tiden mellan Poissonhändelser är exponentialfördelad.
- Låt $t \sim Po(\lambda t)$ räkna antalet händelser i tidsintervallet $[0, t)$.

$$
\begin{aligned}
P\{\text{nästa händelse innan } t\} &= 1 - P\{\text{nästa händelse efter } t\} \\
&= 1 - P\{\text{inga händelser i intervallet } [0, t)\} \\
&= 1 - \frac{e^{-\lambda t}(\lambda t)^0}{0!} = 1 - e^{-\lambda t}
\end{aligned}
$$

vilket är cdf:en för en $\mathrm{Exp}(\lambda)$ variabel.

- Exponentialfördelade variabler är **minneslösa**:

$$
\mathbf{P}\{T > t + x | T > t\} = \mathbf{P}\{T > x\}
$$

# Gammafördelningen

- Antag att tiden för att ladda ner en fil är $\mathrm{Exp}(\lambda)$ fördelad. Tiden för att ladda ner $\alpha$ filer följer en $\mathrm{Gamma}(\alpha, \lambda)$ fördelning om nedladdningstiderna är oberoende.
- Alltså: Om $X_1, X_2, ..., X_\alpha$ är $\alpha$ stycken **oberoende** $\mathrm{Exp}(\lambda)$ variabler:

$$Y = X_1 + X_2 + ... + X_\alpha \sim \mathrm{Gamma}(\alpha, \lambda)$$

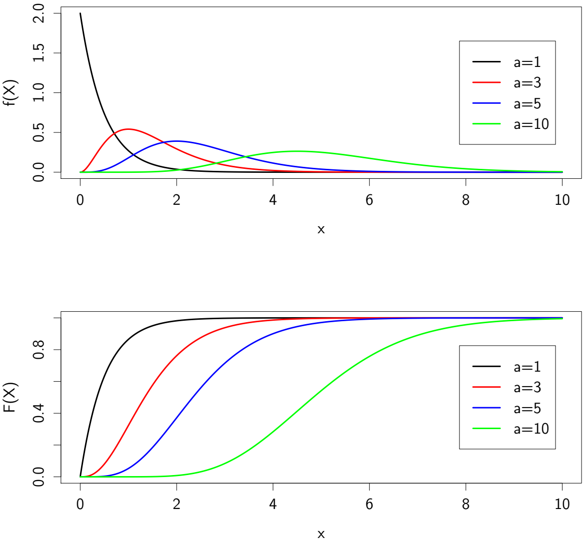
- $\alpha$ kallas för en **shape**parameter. $\lambda$ är en **frekvens**parameter.
- Exponential är ett specialfall av Gamma: $\mathrm{Gamma}(1, \lambda) = \mathrm{Exp}(\lambda)$.
- Väntevärde

$$\mathbb{E}X = \frac{\alpha}{\lambda}$$

- Varians

$$Var(X) = \frac{\alpha}{\lambda^2}$$

# GAMMAFÖRDELNINGEN



# Normalfördelningen

- **Täthetsfunktion** för $X \sim N(\mu, \sigma^2)$

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left[-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right] \quad \text{för} \quad -\infty < x < \infty$$

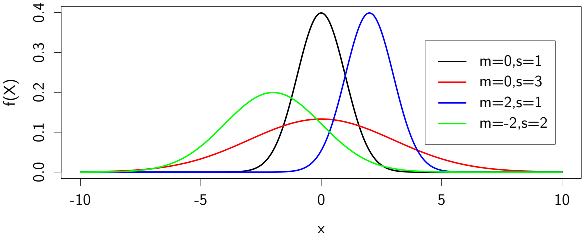
- **Väntevärde** och **varians**

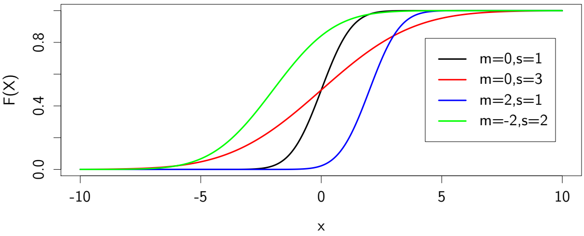
$$\mathbb{E}X = \mu, \qquad Var(X) = \sigma^2$$

- **CDF** finns inte i sluten form. Om $Z \sim N(0,1)$ så är CDFn

$$\Phi(z) = \int_{-\infty}^{z} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{z^2}{2}\right)$$

# Normalfördelningen



# Normalfördelningen

- **Standardmedlem**: $Z \sim N(0,1)$.

$$X = \mu + \sigma Z \text{ där } Z \sim N(0,1) \Longrightarrow X \sim N(\mu, \sigma^2).$$

- **Standardisering**

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

- $\mathbf{P}\{Z < 1.35\} = \Phi(1.35) = 0.9115$ och
  $\mathbf{P}\{Z > 1.35\} = 1 - \Phi(1.35) = 0.0885$

Standardisering är praktiskt. Låt $X \sim N(\mu = 900, \sigma = 200)$

$$\begin{aligned}\mathbf{P}\{600 < X < 1200\} &= \mathbf{P}\left\{\frac{600-\mu}{\sigma} < \frac{X-\mu}{\sigma} < \frac{1200-\mu}{\sigma}\right\} \\ &= \mathbf{P}\{-1.5 < Z < 1.5\} \\ &= \Phi(1.5) - \Phi(-1.5) = 0.9332 - 0.0668 = 0.8664\end{aligned}$$