

6. Nejistota

E3101 Úvod do matematického modelování



Nejistota

Modelování nejistoty (neurčitosti) a rizika



- **Nejistotou** při zobrazení systému pomocí matematického modelu rozumíme situaci, kdy nemáme k dispozici všechnu potřebnou informaci nebo kdy některé z informací jsou nespolehlivé.
- **Modelování při riziku** předpokládá, že některé informace jsou náhodné veličiny, nebo že některé procesy jsou popsány náhodnými funkcemi.
 - V případě modelů s rizikem můžeme velikost rizika při přijetí řešení popsat pomocí pravděpodobnostních charakteristik.
 - Analogicky můžeme považovat modelování za rizika i v případě použití fuzzy veličin, nebo fuzzy funkcí. Velikost rizika lze potom vyjádřit buď pomocí vhodné fuzzy míry nebo tuto fuzzy míru transformovat na subjektivní pravděpodobnost.

Modelování nejistoty (neurčitosti) a rizika



- ***Analýza nejistoty (neurčitosti)*** je proces kvantifikace nejistoty na výstupu modelu v závislosti na nejistotách jak vstupů modelu, tak samotné struktury modelu. Uplatňuje se více technik, např. intervalová aritmetika, fuzzy techniky, pravděpodobnostní analýza.
- ***Analýza citlivosti*** předpokládá, že některé informace jsou náhodné veličiny, nebo že některé procesy jsou popsány náhodnými funkcemi.
 - Lokální analýza citlivosti se zabývá citlivostí výstupu na změny každého ze vstupů samostatně. Obvykle jde o parciální derivaci modelu (pokud lze analyticky zjistit).
 - Globální analýza citlivosti se zabývá celkovou citlivostí modelu na změny vstupů v rámci množiny všech variant vstupů.

Inverzní problém



- Určení vstupních parametrů modelu, které neznáme, při znalosti výstupních hodnot (naměřených dat).
- Nazývá se inverzní, protože známe výsledek modelovaného procesu, ale neznáme počáteční stav.
- Opakem je dopředný problém, kdy známe vstupy (parametry) a chceme zjistit výstupy (data).
- Data bývají zatížena chybami, které mohou ztěžovat určení parametrů modelu.
- Inverzní problémy jsou typicky špatně postulované (ill-posed).

Příklad



- Uvažujme diskrétní stochastický model z prvního domácího úkolu.
- Budeme znát pouze počty jedinců v prvních deseti generacích a máme odvodit koeficient růstu r (resp. pravděpodobnost, že se jedinec rozmnoží $p_B - p_D$).
- Proveďte výpočet v R včetně stanovení 95% intervalu spolehlivosti pro odhad koeficientu růstu r .

Dobře/špatně postulovaný problém



- Well posed \times Ill posed problems.
- Říkáme, že problém je dobře postulovaný pokud splňuje Hadamardovu definici (3 podmínky):
 - existuje řešení problému;
 - toto řešení je jednoznačné;
 - vlastnosti řešení se mění spojitě se vstupními parametry.
- Inverzní problémy jsou typicky špatně postulované, mohou trpět numerickou nestabilitou díky diskretizaci, nepřesnosti v datech apod.
- I když je problém dobře postulovaný, může být stále špatně podmíněný.

Dobře/špatně podmíněný problém



- Well conditioned × Ill conditioned problems.
- Za dobře podmíněný problém považujeme problém s nízkou podmíněností (číslem podmíněnosti), za špatně podmíněný problém považujeme problém s vysokou podmíněností.
- Podmíněnost udává, jak moc závisí změny modelových výstupů na (malých) změnách modelových vstupů.
- Podmíněnost je mírou citlivosti modelu na chyby ve vstupních hodnotách.
- Podmíněnost (číslo podmíněnosti) je definována jako maximální poměr relativní chyby výstupů a vstupů modelu.

Dopředná a zpětná stabilita

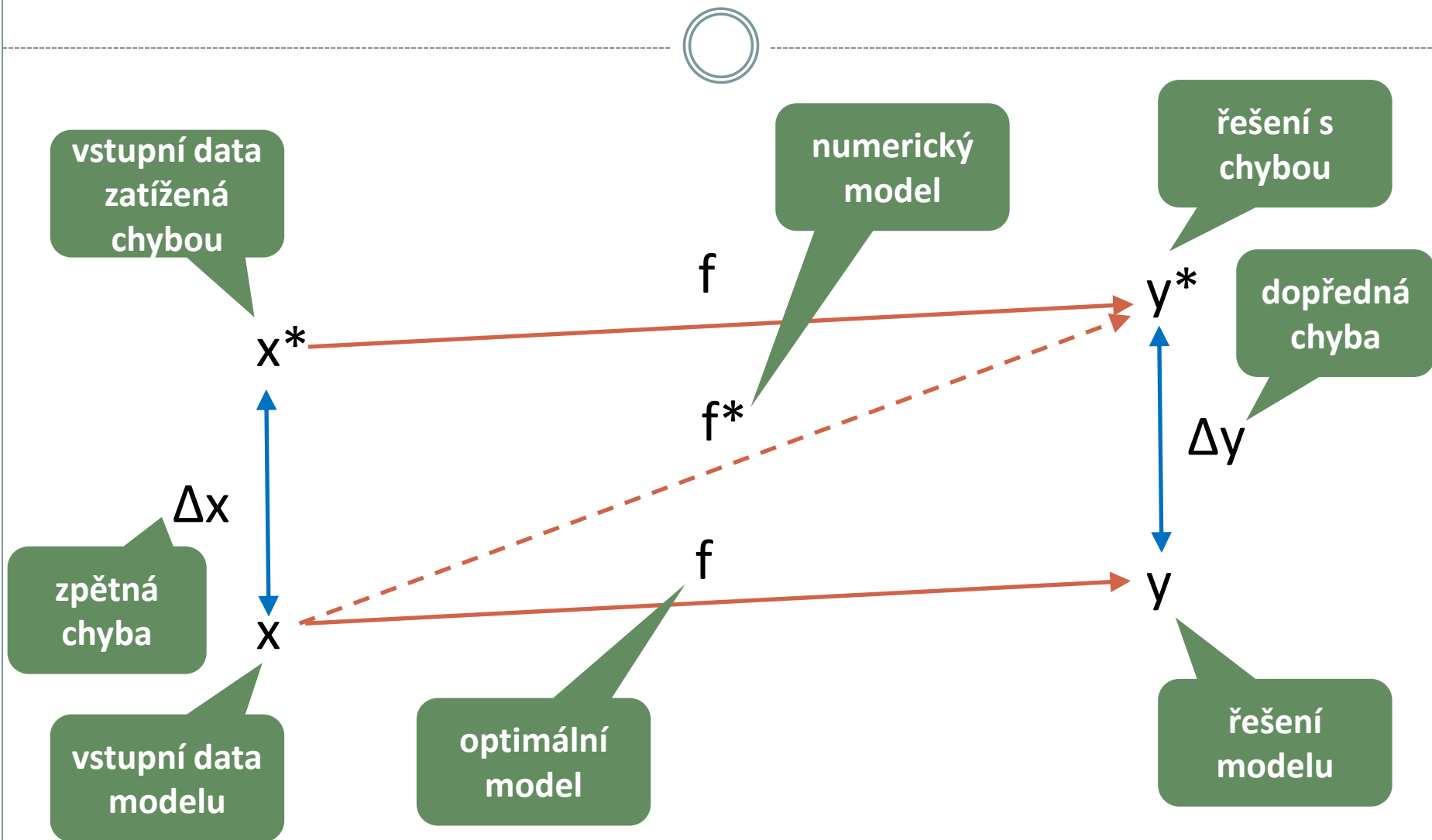


- Výstupy modelu se obvykle mírně liší od popisované reality (díky numerické reprezentaci, tj. zaokrouhlení a nepřesnostem řešení). Chybu výstupů nazýváme dopředná chyba (forward error).
- Odchylka na vstupu modelu, která odpovídá dopředné chybě výstupů se nazývá zpětná chyba (backward error).
- Model nazveme zpětně stabilním (backward stable), pokud má malou zpětnou chybu (obvykle se udává jako relativní vůči vstupní hodnotě):

$$\left| \frac{\Delta x}{x} \right|$$

- „Malá“ chyba obvykle znamená, že je zhruba stejného řádu jako zaokrouhlení vstupních hodnot.

Dopředná a zpětná stabilita



Číslo podmíněnosti



- **Condition number.**
- **Číslo podmíněnosti je vlastností matematického řešení, ne jeho (zaokrouhlovací) chyby.**
- **Jde o maximální poměr relativní zpětné chyby vůči relativní dopředné chybě:**

$$\kappa = \max \left(\frac{\left| \frac{\Delta y}{y} \right|}{\left| \frac{f^{-1}(\Delta y)}{f^{-1}(y)} \right|} \right) = \max \left(\frac{\left| \frac{\Delta y}{y} \right|}{\left| \frac{\Delta x}{x} \right|} \right)$$

$$\kappa = \max \left(\frac{dy}{dx} \right)$$

Monte Carlo modelování (DÚ 2 do 7. 11. 2022)



- Využijte spojitý deterministický model z předchozího domácího úkolu.
- Generujte náhodně koeficient porodnosti p_B a koeficient úmrtnosti p_D jako normálně rozdělené náhodné veličiny se středy v hodnotách 0,35 a 0,25 a směrodatnou odchylkou 0,05.
- Provedte 10 000 simulací.
- Vykreslete histogram výsledného počtu jedinců v populaci po 10 generacích.
- Využijte diskrétní stochastický model z předchozího domácího úkolu.
- Provedte 10 000 simulací.
- Vykreslete histogram výsledného počtu jedinců v populaci po 10 generacích.