

Cvičení NFM310 (18.3.2015, 25.3.2015)

Příklad 1: Ukažte, že každá posloupnost nezávislých stejně rozdělených náhodných veličin, které nabývají jen spočetně mnoha hodnot je homogenní Markovský řetězec. Jaká je jeho matice pravděpodobností přechodu?

Příklad 2: Počasí v Montrealu je buď pěkné, nebo neutrální nebo špatné. Jestliže je dnes pěkné, zítra bude pěkné s pravděpodobností 0.6, neutrálně s pravděpodobností 0.2 a špatně s pravděpodobností 0.2. Jestliže je počasí neutrální, zítra bude pěkné, neutrálně nebo špatně s pravděpodobnostmi 0.25, 0.5 a 0.25. Pro dnes špatné počasí pak s pravděpodobnostmi 0.25 a 0.5 bude zítra neutrálně nebo špatně. Popište situaci jako Markovův řetězec.

Příklad 3: Bud' $\{X_n\}_{n=0}^\infty, X_0 = 0$ posloupnost výsledků opakovaných hodů spravedlivou kostkou a definujme následující náhodné veličiny:

a) $Y_n = \max(X_0, \dots, X_n)$ největší pozorovaná hodnota během prvních n hodů,

b) $N_n = \sum_{i=1}^n X_i$, počet šestek, které padly během prvních n hodů,

c) C_n počet hodů, které se uskutečnily do času n od poslední pozorované šestky.

Všechny posloupnosti $\{Y_n\}, \{N_n\}$ i $\{C_n\}$ jsou Markovské řetězce. Určete jejich matice pravděpodobností přechodu.

Určete, jak vypadají pravděpodobnosti $p_{i,3}^{(2)}, i \in S$.

Určete, jak vypadají pravděpodobnosti $p_{i,j}^{(n)}, i \in S, n \in \mathbf{N}$ pro případy a) a b).

Klasifikujte stavy řetězce pro případy a) a b).

Příklad 4: Aleš a Barbora hrají sérii šachových zápasů. Předpokládejme, že každá partie skončí s pravděpodobností $\frac{1}{3}$ výhrou Aleše, s pravděpodobností $\frac{1}{3}$ remízou, a s pravděpodobností $\frac{1}{3}$ výhrou Barbory. Za výhru se získává jeden bod, za remízu půl bodu. Označme X_n absolutní hodnotu rozdílu získaných bodů obou hráčů po n partiích

Určete matice pravděpodobností přechodu Markovova řetězce $\{X_n\}_{n \in \mathbf{N}}$.

Příklad 5: Necht' homogenní Markovův řetězec má matice pravděpodobností přechodu

$$\mathbf{P} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & 0 \end{pmatrix}.$$

a) Předpokládejme, že počáteční rozdělení řetězce bylo rovnoměrné. Jaké je rozdělení v čase $n = 3$?

b) Klasifikujte stavy řetězce.

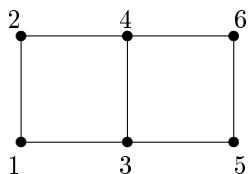
Příklad 6: Uvažujme objekt, který se pohybuje po plánu znázorněném na obrázku. Pohyby jsou pouze mezi šesti význačnými body. V každém kroku si objekt vybere jeden ze čtyř směrů (sever, východ, jih západ – každý se stejnou pravděpodobností) a tímto směrem se vydá. Určeným směrem se pohybuje tak dlouho, dokud je to možné (pokud v daném směru nevede cesta, zůstává na místě). Označme X_n polohu částice po n krocích.

a) Určete matice pravděpodobností přechodu \mathbf{P} Markovova řetězce X_n .

b) Určete rozdělení řetězce v časech $n = 1, 2, 3, 4$, pokud $X_0 = 1$.

c) Určete rozdělení řetězce v časech $n = 1, 2$, pokud $X_0 = 3$.

d) Klasifikujte stavy řetězce.



Příklad 7: Simulování Markovova řetězce

Máme dáno počáteční rozdělení $(p_i)_{i \in S}$ a matici pravděpodobností přechodu P Markovova řetězce $\{X_n\}_{n \in \mathbf{N}}$ a chceme simulovat náhodnou realizaci tohoto řetězce $\{X_n\}$. K tomu máme ještě k dispozici posloupnost náhodných čísel U_0, U_1, U_2, \dots , které jsou nezávislé, stejně rozdělené a mají rovnoměrné rozdělení na intervalu $[0, 1]$. Jedna možnost postupu je takováto:

Zadefinujeme si (nenáhodné) zobrazení $\Psi : [0, 1] \rightarrow S$ tak, aby pro každý stav $i \in S$ platilo

$$\int_0^1 I(\Psi(x) = i) dx = p_i,$$

a zobrazení $\Phi : S \times [0, 1] \rightarrow S$ tak, aby platilo

$$\int_0^1 I(\Phi(i, x) = j) dx = p_{ij},$$

pro každou dvojici stavů $i, j \in S$. Potom definujeme naši náhodnou realizaci řetězce $\{X_n\}$ takto:

$$X_0 = \Psi(U_0), \quad X_{n+1} = \Phi(X_n, U_n) \quad \text{pro } n \geq 1.$$

- a) Ukažte, že takto generovaný řetězec $\{X_n\}$ má skutečně požadované rozdělení.
 b) Navrhněte vhodné funkce Ψ a Φ .

Domácí úloha - zadání až na šestém cvičení, tj. 25.3., tj. odevzdání 5.4.

a) Aleš a Barbora hrají v kostky (každý vyhraje danou partii s pravděpodobností $\frac{1}{2}$) a začínají oba s deseti mincemi. V každé partii ten, kdo prohraje, dá svému soupeři jednu minci. Buď X_n počet mincí, které vlastní Aleš v čase n , $n \in \mathbf{N}$. Pokud je jeden hráč ruinován, stav X_n zůstane zafixován a už se pro další n nemění. Buď $\{X_n\}_{n=0}^{\infty}$ náš Markovský řetězec, přičemž pokládáme $X_0 = 10$.

Simulujte několik průběhů Markovského řetězce $\{X_n\}$ (např. 20). Nakreslete graf se všemi průběhy a graf, který ukáže, jak se vyvíjejí četnosti

$$\hat{p}_i(t) = (\text{počet realizací řetězce ve stavu } i \text{ v čase } t) / (\text{počet všech simulovaných realizací}),$$

například pro časy $t = 0, 5, 10, 15, 20, 25$.

Spočtete také, jaké jsou teoretické absolutní pravděpodobnosti $\mathbf{p}(t)$ (k tomu budete samozřejmě potřebovat určit počáteční rozdělení $\mathbf{p}(0)$ a matici pravděpodobností přechodu P - a použít software, který umí násobit matice).

b) Simulujte Markovský řetězec z příkladu 4. Nasimulujte několik trajektorií (řekněme 10) délky 100, vycházející z počátečního stavu 0 a stejný počet vycházející z počátečního stavu 20. Vytvořte grafy s průběhem těchto trajektorií a spočtete relativní četnosti jednotlivých stavů (tj. počet časových okamžiků, v nichž byl řetězec ve stavu $i \in S$ dělený délkou pozorovaného řetězce - !pozor! význam těchto četností je jiný než v případě a). Jak moc se tyto pozorované četnosti liší pro jednotlivé průběhy?

Jak se změní situace, když bude Aleš vyhrávat s pravděpodobností 0.5, remíza nastane s pstí 0.25 a Barbora vyhraje s pravděpodobností 0.25?

Nakreslete graf průběhů všech trajektorií a graf s relativními četnostmi.

Řešení by v obou případech a,b mělo obsahovat popis, jak jste realizace řetězce generovali.