Dr. Quapp: Statistik für Mathematiker mit SPSS

Hinweise zur 8. Übung – – Faltung + Grenzwertsatz von Moivre-Laplace

[1.] Erzeugen Sie (je 200 Zeilen) von zwei diskreten Zufallsgrößen $X \sim BINOM(n_x, p)$, und $Y \sim BINOM(n_y, p)$ und bilden Sie damit die neuen Zufallsgröße $W = X + Y$. Überprüfen Sie das bekannte Faltungsverhalten der Binomialverteilung, d.h. berechnen Sie die resultierenden Parameter n_w und p_w.

Aus einem Bernoulli-Experiment B_1 mit Ja-Nein Entscheidung mit Wahrscheinlichkeit p zu (1-p) entsteht durch Wiederholung, d.h. durch Addition der Zufallsvariablen B_1 zu einer weiteren von gleichem Typ, die Binomialverteilung. Diese ist also per Definition schon eine Faltung.

$$BINOM(n,p) = \underbrace{B_1(p) * B_1(p) * \cdots * B_1(p)}_{n\ Faktoren}$$

Dabei gilt die simple Relation 1=(p+(1-p))=(p+(1-p))^n .
Folglich ist $BINOM(n, p) * BINOM(m, p) = BINOM(n + m, p)$
Sei im SPSS-Experiment n_x=10, p=1/3, und n_y=20. Wir benutzen den Mittelwert als Schätzer für n_w. Es ergab sich für die Mittelwerte: M_x=3.36, M_y=6.665 und für die Summe beider Zufallsvariablen M_w=10.025, was n_w=30 entspricht. Aus Mittelwert und Varianz kann man auch wieder p schätzen: M/Var=(1-p), hier ergab sich $(1-p_w)$=0.64.

[2.] Erzeugen Sie (je 200 Zeilen) von zwei diskreten Zufallsgrößen $X, Y \sim POISSON(\lambda_x)$, $POISSON(\lambda_y)$ und bilden Sie damit die neuen Zufallsgrößen $W = X + Y$. Überprüfen Sie das bekannte Faltungsverhalten der Poissonverteilung, d.h. berechnen Sie den resultierenden Parameter λ_w für ein $w = POISSON(\lambda_w, k)$.

Die Dichte der Poissonverteilung an der Stelle l ist

$$d(\lambda)(l) = e^{-\lambda}\frac{\lambda^l}{l!}$$

Die Faltung ist also direkt

$$d(\lambda_x) * d(\lambda_y)(k) = \sum_{l=0}^{k} e^{-\lambda_x}\frac{\lambda_x^l}{l!} e^{-\lambda_y}\frac{\lambda_y^{k-l}}{(k-l)!}\frac{k!}{k!} = e^{-(\lambda_x+\lambda_y)}\frac{1}{k!}\sum_{l=0}^{k}\binom{k}{l}\lambda_x^l\lambda_y^{k-l} =$$

$$= e^{-(\lambda_x+\lambda_y)}\frac{(\lambda_x+\lambda_y)^k}{k!} = d(\lambda_x+\lambda_y)(k)\ .$$

Sei im SPSS-Experiment λ_x=5 und λ_y=10. Wir benutzen den Mittelwert als Schätzer für n_w. Es ergab sich für die Mittelwerte: M_x=5.205, M_y=9.745 und für die Summe beider Zufallsvariablen M_w=14.95, was λ_w=15 entspricht. Einfacher ist noch die Betrachtung der Modalwerte als Schätzer für n_w: 5+10=15.

[3.] Erzeugen Sie (je 200 Zeilen) von zwei Zufallsgrößen $X, Y \sim N(a_x, \sigma_x), N(a_y, \sigma_y)$ und bilden Sie damit neue Zufallsgrößen $W = X + Y$ und $V = X - Y$. Überprüfen Sie das bekannte Faltungsverhalten der Normalverteilung, d.h. berechnen Sie die resultierenden Mittelwerte und Streuungen von W und V.

Für die Normalverteilung gilt bekannterweise

$$N(a_x, \sigma_x) * N(a_y, \sigma_y) = N(a_x + a_y, \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2})$$

Sei im SPSS-Experiment a_x=1, a_y=2, σ_x=2, und σ_y=5. Es ergab sich für die Mittelwerte: M_x=1.078, M_y=2.064 und für die Summe beider Zufallsvariablen exakt M_w=3.142 und die Differenz M_v=-0.986. Die Varianzen ergaben sich zu Var_x=2.13, Var_y=4.92 und für die Summe beider Zufallsvariablen Var_w=5.345, bzw. Var_v=5.372, was $\sqrt{2.13^2 + 4.92^2}$=5.361 gut entspricht.

[4.] Erzeugen Sie (je 200 Zeilen) von zwei Zufallsgrößen $X \sim CHISQ(df_x)$, und $Y \sim CHISQ(df_y)$ und bilden Sie damit die neuen Zufallsgrößen $W = X + Y$. Überprüfen Sie das bekannte Faltungsverhalten der χ^2-Verteilung, d.h. berechnen Sie den resultierenden Parameter df_w.

Für die χ^2-Verteilung gilt analog wie in [1.], daß sie selbst schon eine Faltung ist:

$$CHISQ(n) = \underbrace{\chi_1^2 * \chi_1^2 * \cdots * \chi_1^2}_{n\ Faktoren} \ \ (= \Gamma_{\frac{1}{2},\frac{n}{2}} \ )$$

Folglich addieren sich wieder die Parameter df_x und df_y .
Sei im SPSS-Experiment df_x=5 und df_y=15. Wir benutzen den Mittelwert als Schätzer für df_w. Es ergab sich für die Mittelwerte: M_x=5.36, M_y=14.44 und für die Summe beider Zufallsvariablen M_w=19.80, was df_w=20 ergibt. Die Varianz wäre ein etwas schlechterer Schätzer für df_w: Es ergab sich für: Var_x=9.12, Var_y=24.41 und für die Summe beider Zufallsvariablen Var_w=33.69, was df_w=17 entspräche.

[5.] Die Binomialverteilung $BINOM(n, p)$ läßt sich durch die Normalverteilung approximieren, wenn p nicht zu nahe an 0 oder 1 ist, und wenn n hinreichend groß ist (zentraler Grenzwertsatz). Vergleichen Sie mit →Streu-Diagramm die Verteilungsfunktionen von N(0,1) und der entsprechend verschobenen Verteilungsfunktion der Binomialverteilung für p=1/3 und n=10, 30, 100, und 300.
Hinweis: "verschoben" bedeute, wenn $B \sim BINOM(n, p)$ ist, dann sollte $(B - np)/\sqrt{np(1-p)}$ näherungsweise nach $N(0, 1)$ verteilt sein. In SPSS kann damit die Binomialverteilung auf einer ganzzahligen Achsenvariablen x (mit B_n=CDF.BINOM(x,n,1/3)) verschoben werden zu der neuen Achsenvariablen x_n durch $x_n = (x - np)/\sqrt{np(1-p)}$. Mit dieser sind je zwei Verteilungen B_n und $N(0, 1)$ gleichzeitig betrachtbar. Die 4 Fälle für x_n sind einzeln zu behandeln.
Für n p (1-p)$\geq$9 ist das Ersetzen der Binomialverteilung durch die Normalverteilung mit n p→ μ und n p (1-p)→ σ^2 möglich. Also bei p=1/3 ab n>40. Mit den Befehlen aus spss085V12.sps kann die Aufgabe in einem Syntaxfenster abgearbeitet werden. Ein Feld muss dabei im Datenfenster aktiviert sein.