

מבוא לתאוריה למדעי המחשב

פרק 25 - אי שוויונים בהסתברות

תוכן העניינים

1. אי שוויון מרקוב.....1
2. אי שוויון צ'בישב.....5

אי-שוויון מרקוב:

רקע:

אי-שוויון מרקוב רלבנטי לשימוש עבור כל משתנה מקרי אי-שלילי.

הפרמטר a הינו ממשי וחיובי ואז חייב להתקיים ש: $P(X \geq a) \leq \frac{E[X]}{a}$,

לכן מתקיים גם ש: $P(X < a) \geq 1 - \frac{E[X]}{a}$.

דוגמה:

אורך חיים של מכשיר מתפלג עם תוחלת של 500 שעות. חשבו לפי אי-שוויון מרקוב את ההסתברות שאורך חיים של מכשיר יהיה לפחות 1500 שעות.

X = אורך חיים של מכשיר (רציף).

$$X \geq 0, E[X] = 500$$

$$P(X \geq 1500) \leq \frac{E[X]}{a} = \frac{500}{1500} = \frac{1}{3}$$

לכן, $0 \leq P(X \geq 1500) \leq \frac{1}{3}$.

שאלות:

- (1) ידוע מניסיון העבר כי ציון במבחן הגמר של סטודנט הוא משתנה מקרי שתוחלתו 65. מצאו חסם עליון להסתברות שציון מבחן הגמר של סטודנט יהיה לפחות 75.
- (2) התפלגות מספר הילדים למשפחה במדינה מסוימת היא עם תוחלת של 2 ילדים. נלקחו 5 משפחות אקראיות. העריכו את הסיכוי שבסה"כ בחמשת המשפחות יש יותר מ-15 ילדים.
- (3) X משתנה מקרי רציף אי-שלילי, שתוחלתו 15. האם ייתכן ש: $P(X > 65) = 0.3$?
- (4) X משתנה מקרי בדיד, המקיים: $X > -2$, ותוחלתו 6. מצאו חסם תחתון ל- $P(X < 10)$.
- (5) X משתנה מקרי המקיים: $P(X \geq 0) = 1$ ו- $s > 0$ קבוע ממשי. הוכיחו כי: $P(X < sE(X)) \geq \frac{s-1}{s}$.
- (6) נתון ש- $X_i \sim P(\lambda)$, $i = 1, 2, \dots, n$ הם משתנים בלתי תלויים. מצאו חסמים להסתברות ש- $\sum_{i=1}^n X_i \geq 3n\lambda$.
- (7) הוכיחו את אי-שוויון מרקוב. רמז: היעזרו במשתנה אינדיקטור המקבל את הערך 1 כאשר $X \geq a$.

(8) בשכונה חדשה בונים n בתים חדשים הנבנים בחלקת אדמה עגולה. כל בית נצבע בלבן בסיכוי p ללא תלות בבתיים האחרים. בניין שלא נצבע בלבן נצבע באפור. בית לבן הוא בית בודד אם הוא נמצא בין שני בתים אפורים. נגדיר את X להיות מספר הבתים הלבנים הבודדים.

א. מצאו את התוחלת של X .

ב. כעת נניח ש- $p = \frac{1}{4}$. הראו שהסיכוי שמספר הבתים הלבנים הבודדים

$$\text{יהיה קטן מ-} \frac{n}{4} \text{ הוא לפחות } \frac{7}{16}.$$

(9) הוכיחו את אי-שוויון צ'בישב: אם X הוא משתנה מקרי שתוחלתו ושונויותו הן סופיות, אז לכל ערך k חיובי מתקיים: $P\{|X - E(X)| \geq k\} \leq \frac{\text{Var}(X)}{k^2}$.

רמז: היעזרו באי-שוויון מרקוב.

תשובות סופיות:

$$P(X \geq 75) \leq \frac{65}{75} = \frac{13}{15} \quad (1)$$

$$0 \leq P\left(\sum_{i=1}^n X_i \geq 3n\lambda\right) \leq \frac{1}{3} \quad (2)$$

(3) לא יתכן.

$$\frac{1}{3} \quad (4)$$

(5) שאלת הוכחה.

$$0 \leq P\left(\sum_{i=1}^n X_i \geq 3n\lambda\right) \leq \frac{1}{3} \quad (6)$$

(7) שאלת הוכחה.

(8) א. $n \cdot p(1-p)^2$. ב. שאלת הוכחה.

(9) שאלת הוכחה.

אי-שוויון צ'בישב:

רקע:

אם X הוא משתנה מקרי שתוחלתו ושונותו הן סופיות, אז לכל ערך a חיובי

$$P\{|X - E(X)| \geq a\} \leq \frac{\text{Var}(X)}{a^2} \quad \text{מתקיים:}$$

$$P\{|X - E(X)| < a\} \geq 1 - \frac{\text{Var}(X)}{a^2} \quad \text{מכאן גם נובע שמתקיים:}$$

אי-שוויון צ'בישב נותן חסמים להסתברות סימטרית סביב התוחלת ללא צורך בדיעת ההתפלגות של המשתנה המקרי X .

דוגמה:

נתון משתנה מקרי עם סטיית תקן של 3. האם יתכן שההסתברות שהסטייה של המשתנה המקרי מתוחלתו תהיה קטנה מ-5 היא 0.6?

$$\sigma(X) = 3$$

$$P\{|X - E(X)| < a\} \geq 1 - \frac{\text{Var}(X)}{a^2} \quad \text{נציב:}$$

$$P\{|X - E(X)| < 5\} \geq 1 - \frac{3^2}{5^2} = 1 - \frac{9}{25} = \frac{16}{25} = 0.64$$

$$P\{|X - E(X)| < 5\} \neq 0.6 \quad \text{לכן לא יתכן.}$$

שאלות:

- (1) מצאו חסמים להסתברויות הבאות עבור משתנה מקרי רציף בעל תוחלת 8 וסטית תקן 3 :
 - א. $p(2 < x < 14)$.
 - ב. $p(|x - 8| \geq 9)$.
- (2) האם קיים משתנה מקרי X בעל תוחלת μ וסטית תקן σ שעבורו מתקיים $P(\mu - 3\sigma \leq X \leq \mu + 3\sigma) = 0.7$? הסבירו.
- (3) מספר המטוסים המגיעים לנמל תעופה ב-20 דקות מתפלג התפלגות פואסונית עם תוחלת של 100. היעזרו באי-שוויון צ'בישב כדי למצוא גבול תחתון להסתברות שמספר המטוסים המגיעים בתקופה בת 20 דקות נתונה תהיה בין 80 ל-120.
- (4) מטילים מטבע 120 פעמים. מה ניתן להגיד על הסיכוי שהתוצאה עץ תתקבל בין 50 ל-70 פעמים לפי אי-שוויון צ'בישב?
- (5) מתוך קו יצור של רכיבים שאורכם הממוצע הנו 10 ס"מ ושונותם 3 סמ"ר יש לקחת מדגם. מהו גודל המדגם שיבטיח שבהסתברות של 0.9 לפחות ימצא ממוצע המדגם בין 9 ל-11 ס"מ?
- (6) אחוז התומכים במפלגה מסוימת הנו 40%. נלקח מדגם מקרי בגודל 200. תנו חסם תחתון לכך שאחוז התומכים במדגם יהיה בין 35% ל-45%.
- (7) בוחרים קוד n ספרתי באופן מקרי.
 - א. עבור $n = 10$, העריכו את ההסתברות שממוצע הספרות במספר יסטה מתוחלתו בלפחות 1.
 - ב. מה אורך הקוד המינימלי (n) שיבטיח שבהסתברות של לפחות 95%, ממוצע הספרות יסטה מתוחלתו בפחות מ-0.75?

(8) בעיר מסוימת ל-5% מהמשפחות אין מכונית, ל-20% יש מכונית אחת, ל-35% יש שתי מכוניות, ל-30% שלוש מכוניות וליתר ארבע מכוניות. נניח שמספר המשפחות בעיר גדול מאוד. העריכו את ההסתברות שמספר המכוניות הכולל בעשר משפחות אקראיות יהיה לפחות 17 ולכל היותר ל-27.

(9) $X_1, X_2, \dots, X_n$ הם משתנים מקיים המתפלגים גיאומטרית עם פרמטר p באופן

$$P\left(\frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \geq \frac{2}{p}\right) \leq \frac{1-p}{n} : \text{הוכיחו שמתקיים: } 0 < p < 1. \text{ בלתי תלוי זה בזה.}$$

(10) $X_1, X_2, \dots, X_n$ הם משתנים מקיים המתפלגים פואסונית עם פרמטר $\lambda_i = i$, באופן בלתי תלוי זה בזה. נסמן את:

$$T = \sum_{i=1}^n X_i$$

$$\text{הוכיחו שמתקיים: } P(|2T - n(n+1)| < 2n) \geq \frac{n-1}{2n}$$

תשובות סופיות:

(1) א. בין $\frac{3}{4}$ ל-1. ב. בין 0 ל- $\frac{1}{9}$.

(2) לא יתכן.

(3) 0.75.

(4) לפחות 0.7.

(5) לפחות 30.

(6) 0.52.

(7) א. לכל היותר 0.825. ב. 294.

(8) 0.7056.

(9) שאלת הוכחה.

(10) שאלת הוכחה.