

## תרגיל 1 - ALOHA, CSMA/CD

מבוא לרשתות תקשורת - 67594

23.05.2024

יש להגיש את התרגיל עד יום רביעי, 12/06/2024, דרך המודל. ההגשה בזוגות. תרגילים מוקלדים יזכו ב-3 נקודות בonus. ציון התרגיל המקסימלי הוא 100.

תזכורת (רלוונטי לשאלות 2-4 בתרגיל ולהמשך הקורס)

- בתהליך פואסוני עם קצב הגעה  $g$ , ההסתברות להתחרשות  $k$  מאורעות בפרק זמן  $t$  היא:  
$$P_k(t = T) = \frac{(gT)^k}{k!} \cdot e^{-gT}$$
- אלא אם נאמר אחרת:  $1K = 1 \times 10^3$ ,  $1M = 1 \times 10^6$ , וכיו"ב.
- $b = \text{bit}$ ,  $B = \text{byte} = 8\text{bits}$

| מספר שאלה | נקודות |
|-----------|--------|
| 1         | 30     |
| 2         | 20     |
| 3         | 25     |
| 4         | 25     |
| סה"כ      | 100    |

## שאלה 1 - Pure/Slotted ALOHA (מודל בינומי) (30 נק')

שני החלקים בשאלה זו אינם תלויים אחד בשני.

### חלק א'

$N + M$  יחידות קצה מריצות פרוטוקולי ALOHA על ערוץ תקשורת משותף באופן הבא:

- אורך הסלוט של כל היחידות הוא  $T$  שניות.
  - זמן שידור של כל הודעה שווה לאורך הסלוט.
  - $N$  יחידות מריצות Slotted ALOHA עם הסתברות לשליחה  $p \in [0, 1]$ .
  - $M$  יחידות מריצות Pure ALOHA עם הסתברות לשליחה  $q \in [0, 1]$ .
  - לכל יחידת קצה תמיד יש הודעה מוכנה לשליחה.
- בטאו את תשובותיכם לסעיפים הבאים באמצעות  $M, N, p, q, L, T$ , בהתאם לצורך.
1. (5 נק') נניח שליחידה מסוימת שמריצה Slotted ALOHA יש  $L \geq 1$  הודעות לשליחה. מה הזמן הממוצע שיעבור עד שכל  $L$  ההודעות ישודרו בהצלחה?
  2. (5 נק') נניח שליחידה מסוימת שמריצה Pure ALOHA יש  $L \geq 1$  הודעות לשליחה. מה הזמן הממוצע שיעבור עד שכל  $L$  ההודעות ישודרו בהצלחה?
  3. (5 נק') מהו ה-goodput במערכת כולה (עבור  $N + M$  יחידות הקצה)?

### חלק ב'

$N$  יחידות קצה מריצות את פרוטוקול Slotted ALOHA בערוץ תקשורת משותף.

- רוחב הפס  $B$  מחולק באופן שווה לשלושה תדרים לא חופפים כך שהודעות שנשלחות בתדרים שונים לא מתנגשות.
  - הסלוטים של כל התדרים מתחילים באותו הזמן.
  - זמן השידור של כל הודעה שווה לאורך הסלוט.
  - לכל יחידה יש תמיד הודעה מוכנה לשליחה והיא שולחת בכל סלוט בהסתברות  $p$ .
- בטאו את תשובותיכם באמצעות הפרמטרים הנתונים:  $B, N, p, N_i, p_i$  בהתאם לצורך (ולסעיף).
1. (5 נק') נניח שכשיחידת קצה רוצה לשלוח הודעה היא בוחרת בהתפלגות אחידה את אחד התדרים ושולחת בו. מה ההסתברות לכך שיחידת קצה מסוימת תשלח הודעה בהצלחה בסלוט מסוים?
  2. (5 נק') נניח כעת שמחלקים את יחידות הקצה לשלוש קבוצות לא ריקות בגודל  $N_1, N_2, N_3$  כך שהיחידות בקבוצה ה- $i$  שולחות רק בתדר ה- $i$ , ובכל סלוט ההסתברות לשליחה היא  $p_i$  מה ה-goodput של הרשת?
  3. (5 נק') נניח שניתן להגדיר לכל יחידת קצה בנפרד באיזה תדר היא יכולה לשדר, ועבור כל תדר את ההסתברות לשליחה בכל סלוט של היחידות השולחות בתדר זה (בדומה לסעיף קודם). הציעו חלוקה לתדרים והסתברויות בכל סלוט שימקסמו את ה-goodput. כלומר, מצאו  $i=1,2,3, N_i, p_i$  שעבורם מתקבל goodput מקסימלי.

## שאלה 2 - Slotted ALOHA & CSMA (מודל פואסוני) (20 נק')

אינסוף יחידות קצה מריצות את פרוטוקול Slotted ALOHA בערוץ תקשורת משותף.

- אורך הסלוט של כל היחידות הוא  $S$  שניות.
- זמן שידור של כל הודעה שווה לאורך הסלוט.
- הגעת ההודעות (חדשות ושידורים חוזרים) היא תהליך פואסוני עם קצב  $g$  הודעות לשניה.

היחידות מפעילות מנגנון CSMA הפועל באופן הבא:  
יחידת הקצה בודקת אם הערוץ פנוי כאשר הודעה (חדשה או שידור חוזר) מגיעה לשידור (להזכירכם, הודעה יכולה להגיע בכל זמן בסלוט). אם הערוץ פנוי אז יחידת הקצה תתחיל לשדר בתחילת הסלוט הקרוב (כמו ב-Slotted ALOHA רגיל), ואם הערוץ תפוס אז היחידה תגריל זמן עתידי לשידור חוזר (כלומר ההודעה תגיע לשידור חוזר בעתיד כמו הודעות ששידורן נכשל; קצב הגעת ההודעות החוזרות נכלל בקצב ההגעה הכולל לרשת,  $g$ ) בנוסף, הניחו שזמן ההתפשטות ברשת,  $T_{prop}$ , זניח ביחס לזמן שידור הודעה.

1. (5 נק') מה ההסתברות לכך שיהיה שידור כלשהו (לא בהכרח מוצלח) בסלוט מסוים בהינתן שהיה שידור בסלוט שלפניו? הסבירו.
2. (5 נק') מה ההסתברות לכך שלא יהיה שידור בסלוט מסוים בהינתן שלא היה שידור בסלוט שלפניו? הסבירו.
3. (5 נק') חשבו את ה-goodput ברשת (כפונקציה של  $g, S$ ). הסבירו.  
רמז: ראשית חשבו את  $P_{empty}$ , ההסתברות בה בסלוט מסוים לא יהיו שידורים (מוצלחים או כושלים).
4. (5 נק') כיצד הוספת מנגנון ה-CSMA השפיעה על ה-goodput בהשוואה ל-Slotted ALOHA ללא המנגנון (עבור  $g$  נתון) - האם הוא יגדל/יקטן/יישאר אותו דבר? נמקו

### שאלה 3 - Slotted ALOHA (מודל פואסוני) (25 נק')

בשאלה זו נדון בערוץ תקשורת משותף ל- $2N$  תחנות משדרות ולתחנת בסיס אחת המאזינה להודעות משאר התחנות.  
נתון:

- $N$  הינו מספר גדול מאוד (אינסופי).
- זמן השידור של כל הודעה הוא  $T$  שניות, אלא אם נאמר אחרת.
- הגעת ההודעות (חדשות ושידורים חוזרים) היא תהליך פואסוני עם פרמטר  $g$  הודעות לשנייה.
- התחנות מריצות את פרוטוקול Slotted ALOHA.
- הסלוטים של כל התחנות (המשדרות והבסיס) מסונכרנים ואורך כל סלוט הוא  $T$  שניות.
- בסוף כל שידור, תחנה ששידרה יודעת אם השידור שלה הצליח.

#### בסעיפים 1-3 נניח כי:

- רוחב הפס מחולק לשני תדרים לא חופפים, המסומנים ב-A ו-B, כך שהודעות בתדרים שונים לא מתנגשות.
- התדר A מהווה שני שלישי מרוחב הפס של ערוץ התקשורת, והתדר B מהווה שליש מרוחב הפס של הערוץ.
- אלא אם נאמר אחרת, תחנת הבסיס מאזינה להודעות בשני התדרים (A ו-B) לסירוגין: בכל סלוט אי-זוגי היא מאזינה רק לתדר A, ובכל סלוט זוגי היא מאזינה רק לתדר B. התחנות המשדרות לא יודעות לאיזה תדר תחנת הבסיס מאזינה בכל סלוט.
- נניח כי בדיוק חצי מהתחנות המשדרות (כלומר,  $N$  תחנות) משדרות רק בתדר A ושאר  $N$  התחנות משדרות רק בתדר B. קצב הגעת ההודעות מתחלק באופן שווה בין שני התדרים.
- שידור יוגדר כמוצלח אם לאורך כל זמן השידור תחנת הבסיס האזינה לתדר של השידור וגם לא שודרו הודעות נוספות במקביל באותו תדר.

1. (5 נק') מהו ה-goodput ברשת?

נניח מעתה ועד לסוף השאלה שזמן השידור של כל הודעה שנשלחת בתדר B הוא  $2T$  שניות. כל שאר הנתונים, כולל אורך הסלוט וזמן שידור הודעה בתדר A, אינם משתנים.

2. (5 נק') מהו ה-goodput ברשת?

3. (5 נק') בסעיף זה בלבד נניח שתחנת הבסיס מאזינה לשני התדרים במקביל בכל סלוט. מהו ה-goodput ברשת?

#### מעתה ועד לסוף השאלה נניח את השינויים הבאים:

- מבטלים את החלוקה לתדרים, כך שבכל הרשת משתמשים רק בתדר אחד המכיל את כל רוחב הפס, בו התחנות משדרות ולו תחנת הבסיס מאזינה.

- זמן השידור של כל ההודעות ברשת הוא  $2T$ .
  - מחלקים את התחנות המשדרות לשתי קבוצות:
    - חצי ( $N$ ) מהתחנות משדרות רק בסלוטים אי-זוגיים והחצי השני משדרות רק בסלוטים זוגיים.
    - קצב הגעת ההודעות מתחלק באופן שווה בין שתי הקבוצות.
  - **התחנות מחלקות שידור של כל הודעה לשני חלקים:** כל תחנה תשהה שידור בסוף כל סלוט המוקצה לה (זוגי/אי זוגי) ותמשיך לשדר מהמקום בו הפסיקה בסלוט הבא שבו מותר לה לשדר.
  - לדוגמה: אם תחנה התחילה לשדר חלק ראשון של הודעה בסלוט  $k$ , היא תשדר את החלק השני של ההודעה בסלוט  $k + 2$  (גם אם השידור בסלוט ה- $k$  נכשל).
  - נגדיר שידור מוצלח כשידור ששני חלקיו שודרו בהצלחה.
4. (5 נק') נניח שתחנה מסוימת התחילה לשדר חלק ראשון של הודעה בסלוט מסוים, מה ההסתברות לכך שכל השידור של ההודעה (על שני חלקיו) יצליח?
5. (5 נק') מהו ה-goodput ברשת?

## שאלה 4 - CSMA/CD (25 נק')

שני החלקים בשאלה זו אינם תלויים אחד בשני.

### חלק א'

נתונה רשת עם  $N$  יחידות קצה.

המרחק בין שתי היחידות הרחוקות ביותר הוא  $7[km]$ .  
מהירות ההתפשטות (propagation speed) ברשת היא  $3.5 \times 10^7 [\frac{m}{s}]$ .  
רוחב הפס של הרשת הוא  $8[MBps]$ .

1. (5 נק') מה גודל הפקטה המינימלי, ביחידות של Bytes, שניתן לשלוח כך שפרוטוקול CSMA/CD יעבוד כראוי?

2. (5 נק') מנהל הרשת החליט לשנות את גודל החבילות ברשת, ובמקום הגודל מהסעיף הקודם, שינה את הגודל ל- $5000B$ . תחת ההנחות של חישוב ה-goodput עבור CSMA/CD שראיתם בהרצאה ובתרגול (סלוטים, שליחה בהסתברות  $p$  וכו'), כיצד השינוי ישפיע על ה-goodput (יגדל/יקטן/לא ישתנה)? הסבירו.

3. (5 נק') כדי לשפר את הביצועים ברשת, מנהל הרשת החליט להגדיל את רוחב הפס. עבור נתוני השאלה וגודל חבילה של  $5000B$ , האם יש מגבלה על גודל רוחב הפס (כך ש-CSMA/CD יעבוד)?

אם כן, חשבו את רוחב הפס המקסימלי האפשרי ביחידות של MBps; אם לא - נמקו.

4. (5 נק') מנהל הרשת החליט להגדיל את רוחב הפס ל- $10MBps$ . תחת ההנחות של חישוב ה-goodput עבור CSMA/CD שראיתם בהרצאה ובתרגול (סלוטים, שליחה בהסתברות  $p$  וכו'), כיצד השינוי ישפיע על ה-goodput (יגדל/יקטן/לא ישתנה ביחס לרשת עם השינוי בגודל החבילות מסעיפים 2,3)? הסבירו.

### חלק ב'

(5 נק') נתונה רשת שבה יש שתי יחידות קצה המריצות את פרוטוקול Ethernet. נניח ששתי היחידות מתחילות לשדר הודעה בדיוק באותו הזמן.  
מה תוחלת מספר ההתנגשויות עד לשידור מוצלח? (ניתן לכתוב כטור אינסופי)