

אוניברסיטת תל-אביב

מדעי המחשב

תשס"ח

מבחן ברשתות תקשורת מחשבים 0368.3030.01

מועד א 30.3.2008

פרופ' יהודה אפק

מוטי סוראני

- זמן הבחינה 3 שעות.
- מותר השימוש בכל חומר עזר
- במבחן 4 שאלות
- את התשובות יש לענות על גבי הטופס עצמו – המחברות ישמשו לטיוטה בלבד.
- במבחן זה 11 עמודים כולל עמוד זה.

מ.ס.:

ניקוד :

שאלה	ציון
1	/20
2	/25
3	/25
4	/30
סה"כ	

שאלה 1: Slotted Aloha (20 נקודות)

A ו-B הן שתי רשתות אלחוטיות מסוג Slotted Aloha, עם הפרמטרים הבאים:

- מספר אינסופי של תחנות.
- משך החריץ (slot) הוא שניה אחת.
- משך זמן השידור של חבילה הוא שניה אחת; חבילה משודרת מיד עם תחילת החריץ.

בשל אילוצים טכניים, מתקיימת הפרעה הדדית בין הרשתות: שידורים המבוצעים ברשת A נקלטים גם ברשת B, ושידורים ברשת B נקלטים גם ברשת A.

נתון כי החריצים (slots) בשתי הרשתות מסונכרנים.

כמו תמיד, הגעת החבילות (חדשות וישנות) לכל אחת מהרשתות A ו-B מפולגת פואסון עם ממוצע G_A ו- G_B חבילות לשניה, בהתאמה. ההגעות לרשת A בלתי-תלויות בהגעות לרשת B, ולהיפך.

א. בהינתן שיש שידור ברשת A, מה ההסתברות שהשידור יהיה מוצלח? נמק.

$$\Pr(\text{No transmissions in A AND No transmissions in B}) = \exp(-G_A - G_B)$$

ב. מהי הנצילות של רשת A? (שימו לב: מדובר בתוחלת מספר השידורים המוצלחים לחריץ, עבור תחנות רשת A). נמק.

תוחלת מספר השידורים המוצלחים לחריץ = הסתברות שיש שידור יחיד ב-A, ואין שידורים ב-B

$$G_A * \exp(-G_A - G_B)$$

בשל תקלה טכנית, הרשתות מאבדות סינכרון, כלומר זמן תחילת החריץ אינו מתואם עוד בין הרשתות. ההיסט בין שעוני הרשתות אינו ידוע, עם זאת, משך החריץ בכל רשת נותר כשהיה - שניה אחת.

ג. כעת, מהי הנצילות של רשת A? נמק.

ההיסט אינו ידוע, לסלוט ב-A יש חפיפה עם שני סלטים ב-B (במקרה הגרוע) הנצילות = הסתברות שיש שידור יחיד ב-A, ואין שידורים ב-B במשך שני סלטים

$$G_A * \exp(-G_A - 2G_B)$$

מהנדס ההמערכת מצליח לסנכרן את שעוני המערכות, אולם אגב כך, מפיץ גירסת תוכנה שגויה לתחנות ברשת B אשר גורמת לתחנות אלה לעבוד עם חריצים באורך 2 שניות במקום שניה אחת. יצוין כי התחנות ברשת B משדרות מיד בתחילת החריץ, החבילות הן באורך שניה אחת. קצב הגעת החבילות לרשת B נותר כשהיה.

ד. כעת, מהי הנצילות של רשת A? נמק.

נחלק את רצף הסלטים של A לזוגיים ואיזוגיים. סלוט אחד של B חופף לשני סלטים ב-A : סלוט זוגי יחיד וסלוט איזוגי יחיד. בה"כ שידורים ב-B מתבצעים רק בסלטים הזוגיים, אבל הם נובעים מהגעות שאירעו במשך שתי השניות שקדמו לסלוט.

בסלוט זוגי, תוחלת מספר השידורים המוצלחים = הסתברות שיש שידור יחיד ב-A, ולא היו הגעות ב-B

במשך 2 שניות. כלומר $G_A * \exp(-G_A - 2G_B)$

בסלוט איזוגי, אין התנגשויות עם B, ולכן הנצילות היא $G_A * \exp(-G_A)$ והנצילות הכוללת תהיה הממוצע של השניים:

$$0.5 * G_A * \exp(-G_A) * [1 + \exp(-2G_B)]$$

שאלה 2: ARQ (25 נקודות)

להלן תיאור של פרוטוקול ARQ, בין תחנות A ו-B:

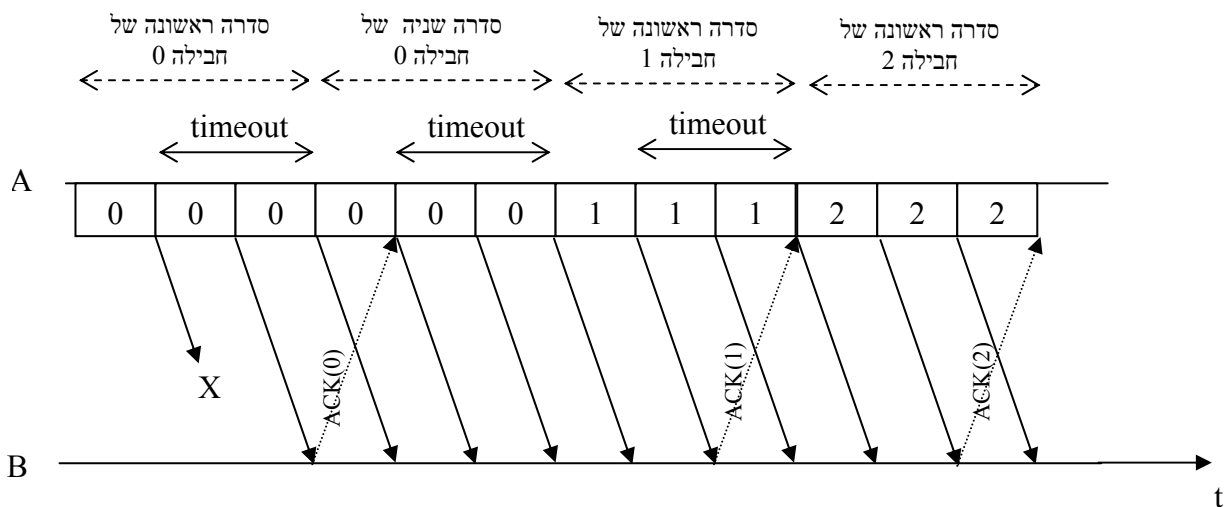
- חבילות המידע וה-ACK ממוספרות באמצעות מספר סידורי.
- בכל פעם שהמשדר שולח חבילה הוא משדר סדרה של N עותקים זהים של החבילה, אשר נשלחים זה אחר זה ברצף (ראה ציור למטה). כל העותקים נושאים את אותו מספר סידורי.
- המשדר מודד timeout מסיום שידור העותק הראשון של החבילה בסדרה הנוכחית.
- אם המשדר מקבל ACK על חבילה בזמן שידור סדרה, המשדר בכל מקרה ישדר את כל N העותקים של הסדרה הנוכחית, ומיד לאחר מכן יעבור לשדר את החבילה הבאה עם מספר סדורי עוקב לזה של החבילה הנוכחית.
- אם פקע שעון ה-timeout, מבלי שהגיע ACK, המשדר חוזר על התהליך, כלומר משדר שוב סדרה של N עותקים (נקרא לה סדרה חוזרת) ומודד timeout מסיום שידור העותק הראשון בסדרה.
- ACK שהגיע ממש עם פקיעת שעון ה-timeout ייחשב כאילו הגיע לפני ה-timeout.
- המקלט שומר את המספר הסידורי הבא לו הוא מצפה במשתנה expected. כאשר מגיע עותק עם מספר סדורי הזהה ל-expected, המקלט שולח ACK עם אותו מספר סדורי, ומקדם את expected. אם מגיעה חבילה עם מספר סידורי שונה מ-expected לא נשלח ACK.

כמו כן נתון כי:

- ACK-ים לא הולכים לאיבוד, ולא נופלות בהן שגיאות.
- זמן השידור של ACK-ים מ-B ל-A זניח.
- לתחנה המשרתת A יש כל הזמן חבילות לשדר לתחנה B.
- זמן ההתפשטות מ-A ל-B ומ-B ל-A הוא T_p .
- ה-timeout הוא: $T_{out} = 2 T_p$.
- זמן שידור של חבילה הוא T_i .
- $T_{out} = (N-1) T_i$.
- ההסתברות לשגיאה/איבוד של חבילת מידע היא p, בלתי תלוי בשידורים אחרים או פרמטרים אחרים של המערכת.

להלן ציור המדגים שליחה מ-A ל-B.

בדוגמא $N=3$, ולכן משודרים בכל סדרה 3 עותקים, ו- $T_{out} = 2T_i$. בתסריט: העותק הראשון של חבילה 0 אבד, אולם כל שאר העותקים ששודרו הגיעו למקלט.



(סעיפי השאלה מופיעים בעמוד הבא)

א. מהי ההסתברות שהחבילה תשודר בהצלחה כבר בסדרה הראשונה (כלומר שלא תהיה סדרה שניה) ? (קבל ביטוי התלוי בפרמטרים של השאלה כפי שהוצגו לעיל). הסבר את תשובתך

על מנת שלא תשודר סדרה שניה, צריך שיגיע לפחות ACK אחד לפני (או עם) פקיעת ה-timeout הראשון. ה-ACK היחיד שיכול לעמוד בתנאים אלה הוא ה-ACK על העותק הראשון. כיוון ש-ACK-ים לא הולכים לאיבוד, צריך פשוט שהעותק הראשון יגיע, וההסתברות לכך היא:

$$1-P$$

ב. מהי ההסתברות שהחבילה תשודר בהצלחה תוך ביצוע שתי סדרות בדיוק (כלומר שלא תהיה סדרה שלישית - נסיים לשדר את החבילה בסדרה השניה שהיא הסדרה החוזרת הראשונה)? הסבר את תשובתך

נסיים לשדר בדיוק בסדרה השניה, שהיא החוזרת הראשונה, אם: העותק הראשון הלך לאיבוד וגם הגיע ACK על אחד מ-N העותקים העוקבים (העותקים הללו הם בעצם N-1 עותקים השייכים לסדרה הראשונה, והעותק הראשון של הסדרה השניה) הטיעון כאן זהה לטיעון המופיע בסעיף א' (יש להבחין אילו ACK-ים יכולים להגיע במסגרת ה-timeout של הסדרה השניה, ובכך למנוע סדרה נוספת). ההסתברות היא

$$P(1-P^N)$$

ג. מהי תוחלת של משך הזמן מרגע שמתחילים לשדר חבילה ועד שמסיימים לשדר אותה ועוברים לחבילה הבאה? קבל ביטוי התלוי בפרמטרים p, N, T_i . הסבר את תשובתך !

בדומה לתרגיל שפתרנו בכיתה, נחשב את תוחלת מספר השידורים החוזרים עד להצלחה:

ההסתברות להצליח בסדרה החוזרת ה-k ית היא:

$$P * (P^N)^{k-1} * (1-P^N)$$

הסבר :

כישלון בסדרה הראשונה וגם כישלון ב-k-1 סדרות חוזרות וגם הצלחה בסדרה ה-k ית

$$P * (1-P^N) * \sum_{k=1.. \infty} k * (P^N)^{k-1} = P / (1-P^N)$$

מכיוון שתמיד חייבים לשדר את הסדרה הראשונה, תוחלת מספר הסדרות עד להצלחה תהיה:

$$1 + \{ P / (1-P^N) \}$$

וכל סדרה אורכת

$$T_i + T_{out} = N T_i$$

ולכן סה"כ תוחלת הזמן שידרש לשידור מוצלח:

$$T_r = T_i * N * [1 + \{ P / (1-P^N) \}]$$

ד. מהי נצילות הפרוטוקול? קבל ביטוי התלוי בפרמטרים p, N, T_i . הסבר את תשובתך !

T_i / Tr

הנצילות היא החלק (fraction) של הערוץ אותו הפרוטוקול מנצל להעברה מוצלחת של אינפורמציה. הזמן נטו הנדרש לשידור חבילה הוא T_i , אבל הפרוטוקול מעביר חבילה בממוצע במשך Tr , המנה בין השניים היא בדיוק הנצילות.

להלן "פרוטוקול משופר" הוזה לפרוטוקול שלעיל, למעט השינוי הבא:
אם הגיע ACK על החבילה, במהלך שידור העותק ה- j של החבילה (מתוך N עותקים), השידור ה- j יהיה השידור האחרון של החבילה, ומיד אחריו יתחיל שידור של החבילה הבאה (סדרת עותקים).

ה. חשבו את הנצילות של הפרוטוקול המשופר. הסבר את תשובתך !

אבחנה: נשים לב שבעצם משדרים את החבילה שוב ושוב ברצף עד אשר מגיע עליה ACK,

ואין כבר משמעות לסדרה שבה נמצאים!

כיוון ש- $T_{out} = (N-1)T_i$, נוכל לחשב זמן ממוצע עד להצלחה:

אם סיימנו ב-ACK הראשון, הזמן עד להצלחה הוא $T_i + (N-1)T_i$

אם סיימנו ב-ACK השני, הזמן עד להצלחה הוא $2T_i + (N-1)T_i$

אם סיימנו ב-ACK ה- k , הזמן עד להצלחה הוא $kT_i + (N-1)T_i$

באופן דומה:

מסיימים ב-ACK הראשון בהסתברות $(1-p)$

מסיימים ב-ACK השני (בדיוק) בהסתברות $p(1-p)$

מסיימים ב-ACK ה- k (בדיוק) בהסתברות $p^{k-1}(1-p)$

סה"כ ה-ACK הממוצע בו מסיימים הוא $1/(1-p)$

והזמן הממוצע עד להצלחה יהיה לכן

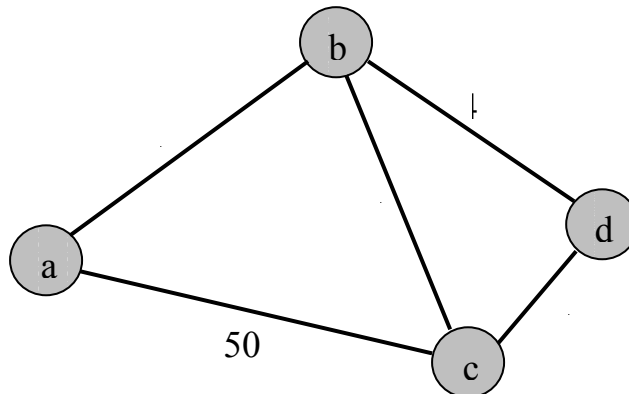
$$Tr = (N-1)T_i + \{1/(1-p)\} * T_i$$

הנצילות תהיה T_i/Tr :

$$1 / (N-1 + 1/\{1-P\}) = (1-P) / \{N-NP+P\}$$

שאלה 3 (25 נקודות)

נתונה הרשת הבאה כאשר פועל בה אלגוריתם Distance Vector Routing לחישוב טבלאות הניתוב.



א. בסעיף זה ובבאים אחריו אנחנו עוסקים במרחקים ליעד a, מלא את הערכים החסרים בשורה המתאימה ליעד a בשלושת הטבלאות הבאות (של b, c ו d) לאחר שהאלגוריתם התיצב.

D^b	דרך a	c	d
a יעד	1	3	7

שורת יעד a בטבלה של b

D^c	a	b	d
A	50	2	4

שורת יעד a בטבלה של c

D^d	b	C
A	5	3

שורת יעד a בטבלה של d

ב. הקשת בין a ו-b "התקלקלה" והמחיר שלה קופץ ל 100. כמה איטרציות (כמה עידכונים שונים למרחק של a) יתרחשו אצל צומת b עד שערכו יתיצב על ערך חדש? מה הוא אותו ערך? כל זאת ללא Poisoned Reverse. נמק והסבר את תשובתך !!

הערך החדש 51.

כו c "יספרו" כך שאצל b הערך יעלה 1, 3, 5, 7, 9, וכן הלאה עד 51. סה"כ 25 איטרציות. הערך של c יעלה בזוגיים מ 2 עד 50.

ג. חזור על סעיף ב. כאשר Poisoned Reverse מופעל באלגוריתם.

1. ראשית מלא את הטבלאות הבאות עבור ארבע האיטרציות הראשונות של האלגוריתם (השורה

הראשונה היא לפני שינוי המחיר של $b-a$).

D^b	דרך a	C	d	D^c	a	b	d	D^d	b	C
יעד a	1	∞	7	a	50	2	∞	a	5	3
D^b	דרך a	c	d	D^c	a	b	d	D^d	b	C
יעד a	100	∞	7	a	50	2	∞	a	5	3
D^b	דרך a	c	d	D^c	a	b	d	D^d	b	c
יעד a	100	∞	7	a	50	8	∞	a	∞	3
D^b	דרך a	c	d	D^c	a	b	d	D^d	b	c
יעד a	100	∞	7	A	50	8	∞	a	∞	9
D^b	דרך a	c	d	D^c	a	b	d	D^d	b	c
יעד a	100	∞	13	A	50	14	∞	a	∞	9

2. כמה עידכונים שונים יתרחשו בטבלת הניתוב של b עד אשר הערך החדש יתיצב? על איזה

ערך יתיצב המרחק מ b ל a בטבלת הניתוב של b? נמק והסבר את תשובתך !!

צומת b יקבל את הערכים 7, 13, 19, 25, 31, ..., 49, 55, 51.

כאשר מ 49 ל- 55 c עדיין מדווח ∞ (מנתב דרך b) רק אחרי ש c יעבור לנתב דרך a יקבל b מ c מסלול באורך כולל 51.

סה"כ 10 עידכונים.

ד. כעת הקשת בין a ו-b "התקלקלה" לגמרי והתנתקה (מחיר אין סופי) וגם הקשת בין a ל c התנתקה.

(קודקוד a התנתק מהרשת). כמה איטרציות עד להתיצבות המרחק ל a בטבלת הניתוב של b?

(באלגוריתם כמו בסעיף הקודם). נמק והסבר את תשובתך !!

האלגוריתם לא יתיצב. כלומר אין-סוף איטרציות. קדקוד b "מתקן דרך" d ש"מתקן דרך" c ש"מתקן

דרך" b. המרחקים ל-a בטבלאות יגדלו לאין סוף. (counting to infinity).

ה. מה זה אומר על שיטת ה Poisoned Reverse?

שיזה עובד רק במקרים מאוד מסוימים, כאשר מעגל השיפור הוא באורך 2.

שאלה 4: שיטה אמריקאית (30 נקודות)

לפניך עשר שאלות קצרות. בשאלות 1-9 יש לבחור את התשובה המתאימה ביותר.

1. מחשב A ומחשב B נמצאים על אותה רשת מקומית (אותו IP subnet) המחוברת החוצה אל האינטרנט באמצעות נתב R.
הנח כי התקשורת היחידה המתקיימת כעת ברשת המקומית היא משלוח של חבילת UDP ממחשב A אל מחשב B. מבין ארבע התשובות הבאות, עליך לבחור את זו שמתארת סדר הגיוני של הודעות שנשלחו על הרשת:
 - א. UDP מ-A ל-R
 - ב. UDP מ-R ל-B
 - ב. ARP request מ-A ל-R
 - א. ARP reply מ-R ל-A
 - ב. UDP מ-A ל-B
 - ג. ARP request מ-A לכל התחנות (broadcast)
 - א. ARP reply מ-B ל-A
 - ב. UDP מ-A ל-B
 - ד. ARP request מ-B ל-A
 - א. ARP reply מ-A ל-B
 - ב. UDP מ-A ל-B

2. אהובה מפעילה sniffer על קו תקשורת בין תחנה A לתחנה B. הסניפר מציג את החבילות אשר נשלחו מ-A ל-B (כוון אחד). בפרק זמן מסוים, נצפות החבילות עם המספרים הסידוריים הבאים (משמאל לימין, לפי סדר הופעתן על הקו):

15, 0, 1, 15, 2, 3

בהנחה שהסניפר רואה את כל החבילות שנשלחו, איזה מהמשפטים הבאים נכון?

- א. על קו זה פועל פרוטוקול S&W
- ב. על קו זה פועל פרוטוקול GBN
- ג. על קו זה פועל פרוטוקול SR
- ד. לא ייתכן שעל קו זה פועל אחד מהפרוטוקולים SR, GBN, S&W
- ה. ייתכן שעל קו זה פועל GBN וייתכן שפועל SR

3. למתג מסוים שלושה תורי כניסה שווי משקל, A, B ו-C.
בזמן $t=0$ מגיעה חבילה באורך 2KB לתור A, וחבילה באורך 4KB לתור B
בזמן $t=1$ מגיעה חבילה באורך 2KB לתור B.
בזמן $t=2$ מגיעה חבילה נוספת לתור C, שאורכה 2KB.
קצב השידור במוצא המתג הוא 1KB/s.
לפי WFQ זמן סיום השידור של החבילה שהגיעה לתור C הוא:

- א. $t=2$
- ב. $t=4$
- ג. $t=6$
- ד. אף אחת מהתשובות

4. נתון ערוץ המשדר בקצב של 2Kbyte/sec והוא משותף לשלוש תחנות, A, B ו-C. מדיניות התזמון היא DRR עם $Quantum=2KByte$.

בזמן $t=0$ מגיעה חבילה באורך 20KB ל-A
 בזמן $t=5$ מגיעה חבילה באורך 4KB ל-B
 בזמן $t=6$ מגיעות חבילות באורכים הבאים: 4KB ל-A, 6KB ל-B, 2KB ל-C.

מהו זמן הסיום של החבילה שהגיעה לתחנה C?

- א. 2
- ב. 10
- ג. 11
- ד. 22

5. נתונה רשת CSMA/CD עליה 200 תחנות המחוברות באמצעות קבל coax שאורכו 10km. קצב השידור על הקו הוא 1Mbit/s (הניחו כי $M=10^6$), ומהירות ההתפשטות היא $2 \cdot 10^5 km/s$.

להלן אילוצים שונים על אורך החבילה:

- i. אורך מינימלי של חבילה: 50 ביט
- ii. אורך מינימלי של חבילה: 100 ביט
- iii. אורך מקסימלי של חבילה: 5000 ביט

איזה מהאילוצים שלעיל הכרחי על מנת לאפשר פעולה תקינה של הפרוטוקול?

- א. אילוץ i
- ב. אילוץ ii
- ג. אילוץ i ואילוץ iii
- ד. אילוץ ii ואילוץ iii
- ה. תשובות א'-ד' אינן נכונות

6. השימוש במדיניות תזמון Round Robin מבטיחה:

- א. הוגנות במקרה שלכל זרימה אורך חבילות שונה
- ב. הוגנות במקרה שלכל זרימה מספר חבילות שונה בגודל שווה
- ג. א' ו-ב' נכונים
- ד. אף תשובה אינה נכונה

הסעיפים הבאים הם שאלות כן/לא, נכון/לא נכון

7. השאלה הבאה נוגעת לממשק sockets ושכבת TCP.

שרת מבקש להקצות עבורו socket וקושר אותה באמצעות `bind()` לפורט מקומי שמספרו 1025. לאחר מכן השרת מבצע `listen()` על הפורט, ו-`accept()`. לאחר ש-`accept()` חוזרת עם קשר חדש, היא מחזירה socket חדש (שונה מה-socket עליו בוצע `listen`) עבור הקשר שהתקבל, וברמת TCP - מוקצה פורט מקומי חדש (שונה מ-1025) עבור הקשר שהתקבל.

נכון / לא נכון

8. פרוטוקול Stop&Wait יעבוד (כלומר יצליח להעביר אינפורמציה מהמשדר למקלט) גם אם משך ה-Timeout שבו הוא משתמש קצר מהדרוש

נכון / לא נכון

9. מדוע משתמש יצפין את הודעתו במפתח הפרטי שלו?

א. כדי לשמור על סודיות ההודעה

ב. כדי שיוכלו לאמת את מקור ההודעה

ג. כדי שפורץ רשת שמאזין לרשת לא יוכל לשנות את ההודעה

ד. א, ב, ו-ג לא נכונים

ה. א, ב, ו-ג נכונים

10. (בשאלה זאת עליך לתת תשובה מספרית!) מה היא ההשמה Max-Min-Fair לחמשת השיחות הבאות בקו עם קיבול 36: (לפי סדר מימין לשמאל) 5 9 7 8 13 הוסף הסבר קצר!

5 8 7 8 8

בהצלחה !!!