



המעבדה לרשתות מחשבים  
אביב תשס"א



הטכניון - מכון טכנולוגי לישראל  
הפקולטה להנדסת חשמל

# המעבדה לרשתות מחשבים

## ניסוי הדמית פרוטוקולי קו (גרסה 2.0)

**המעבדה לרשתות מחשבים**  
**ניסוי הדמית פרוטוקולי קו**

**תוכן העניינים**

2 ..... פרק א': רקע תאורטי

2 ..... מטרה

2 ..... פרוטוקול STOP AND WAIT

3 ..... פרוטוקול GO BACK N

5 ..... פרוטוקול SELECTIVE REPEAT

5 ..... קביעת זמן ההמתנה (TIMEOUT)

7 ..... פרק ב': הכרת הסימולטור

7 ..... פנל MODE

8 ..... פנל DATA FRAME PARAMETERS

8 ..... פנל ACKNOWLEDGMENT PARAMETERS

8 ..... מודל הרעש

9 ..... פנל DATA LINK PROTOCOL

9 ..... פנל FILES

9 ..... כפתורי ההפעלה

9 ..... התפריט הראשי

10 ..... מהלך הריצה

12 ..... פרק ג': מהלך הניסוי

12 ..... חלק א': הפעלת הסימולטור

12 ..... חלק ב': ביצועי הפרוטוקולים בתנאי קו עם שגיאות

13 ..... חלק ג': התלות בגודל החלון

13 ..... חלק ד': התלות בגודל החבילה

הערה: מטעמי נוחות, חוברת זו כתובה בלשון זכר, אך מיועדת לשמש סטודנטים/יות משני המינים.

## פרק א': רקע תאורטי

חלק זה מהווה תזכורת לחומר שנלמד בקורס "מבוא לרשתות מחשבים" בנושא פרוטוקולי קו. מומלץ לקרוא את התזכורת לפני שתיגש לפתרון שאלות ההכנה.

### מטרה

פרוטוקולי קו פועלים ברמת Data Link (שכבה 2 במודל השכבות של OSI), ומיועדים להשיג מספר מטרות, ביניהן:

- העברה אמינה של המידע בנוכחות שגיאות בשכבה הפיזית;
- סנכרון המידע בין המקור ליעד;
- בקרת קצב הזרימה של ההעברה.

בניסוי זה נתמקד אך ורק במטרה הראשונה שהוזכרה.

כל הפרוטוקולים המוזכרים להלן פועלים, בבסיסו של דבר, בשיטה דומה, הנקראת ARQ (Automatic Repeat Request). תחילה, המידע מחולק לחבילות (מסגרות), בגודל זהה בדרך-כלל, הממוספרות במספרים סידוריים. הצד השולח משדר את החבילות ומצפה לקבל אישורים (חיוויים); הצד המקבל קולט את החבילות, בודק את תקינותן, ומחזיר אל השולח אישורים. כאשר הצד השולח מקבל חיווי על חבילה, הוא יודע כי החבילה התקבלה בהצלחה בצד השני. לעומת זאת, אם עובר זמן מסוים, המכונה timeout, מרגע סיום שידור החבילה מבלי לקבל אישור, יש להסיק כי החבילה אבדה או הגיעה בצורה לא תקינה. הפרוטוקולים נבדלים זה מזה אך ורק בהתנהגותם בזמן ההמתנה לאישור ובתגובתם לאי-קבלת אישור.

על מנת לאפשר לצד המקבל לזהות האם החבילה הגיעה כשורה וללא שגיאות, הצד השולח מצרף אל תוכן החבילה (המידע עצמו) מידע "אדמיניסטרטיבי". בדרך-כלל זה מופיע בראש החבילה, לפני המידע עצמו; משום כך התוספת מכונה רישא. הרישא חייב לכלול, בין השאר:

- מספר סידורי של החבילה;
  - חתימה, למשל בשיטת CRC.
- המספר הסידורי נחוץ כדי לאפשר להבחין בחבילות המשודרות שלא לפי הסדר הרגיל, לדוגמה חבילה המשודרת מחדש לאחר שלא התקבלה בצורה תקינה קודם לכן, או חבילה שהולכת לאיבוד. חתימה (CRC) דרושה כדי לודא שלא נפלו שגיאות במידע המשודר, עקב רעש או הפרעות אחרות בקשר הפיזי. החתימה (באורך ידוע, בדרך-כלל 32 סיביות) אמורה להתאים למידע שבחבילה; אי-התאמה מצביעה על אי-נכונות המידע, וכמוהו כאבדן החבילה כולה.

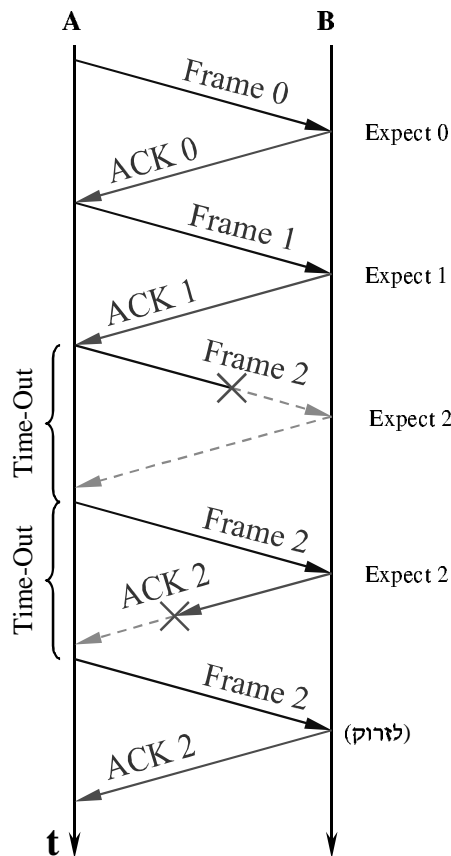
### שאלת הכנה 1

כתוב את הביטוי להסתברות השגיאה לחבילה  $P_e$ , אם הסתברות השגיאה לסיבית בודדת היא  $P_b$  ובלתי-תלויה בסיביות אחרות, אורך החבילה (ללא הרישא) הוא  $L$ , ואורך הרישא הוא  $H$ . חבילה נחשבת שגויה אם נופלת שגיאה בסיבית אחת לפחות. הנח שבאישורים עצמם לא נופלות שגיאות.

### פרוטוקול Stop And Wait

פרוטוקול Stop And Wait הוא הפשוט ביותר מבין הפרוטוקולים במשפחת ARQ. הצד השולח ממתין לאחר כל חבילה להגעת האישור, ולא שולח חבילות נוספות, עד אשר מגיע האישור (שאז הוא מתקדם לחבילה הבאה) או עובר זמן ה-timeout (שאז הוא חוזר ומשדר את החבילה מחדש). פרוטוקול זה נוח לשימוש בקוי half-duplex, כלומר קוים שבהם לא ניתן לשדר לשני הכיוונים בו-זמנית.

התרשים הבא מתאר דוגמה של ההתרחשויות בפרוטוקול זה. חבילות 0,1 מגיעות ליעדן והאישורים עליהן חוזרים לשולח ללא תקלות. חבילה 2 אובדת פעם אחת, ובהמשך מגיעה ליעדה אך האישור שלה אובד. בשני המקרים, השולח חוזר על שידור החבילה.



### שאלת הכנה 2

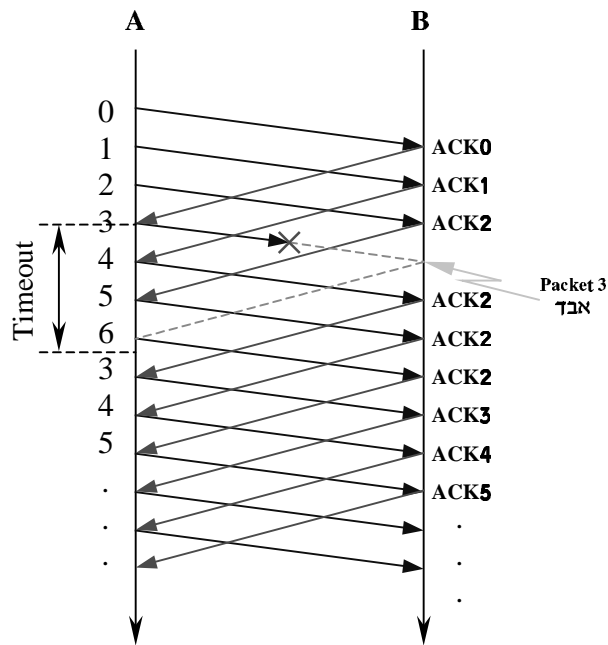
כתוב ביטוי למספר הפעמים הממוצע שחבילה משודרת בפרוטוקול Stop And Wait, בתלות בהסתברות השגיאה לחבילה  $P_e$  (הזנח את אפשרות השגיאה באישור). הסבר.

### פרוטוקול Go Back N

הפרוטוקול Go Back N ממשיך, בזמן ההמתנה לאישור חבילה, לשדר את החבילות הבאות אחריה בתור. אם מסתיים זמן timeout מבלי שהגיע אישור על חבילה מסוימת, הפרוטוקול חוזר ומתחיל לשדר מחדש ברצף החל מהחבילה שאבדה.

פרוטוקול זה (כמו גם הפרוטוקול Selective Repeat המתואר בהמשך) משתמש במושג של "חלון" בגודל N חבילות. בכל רגע נתון, מותר מצב שעל הקו שודרו עד N חבילות, לכל היותר, טרם אישור; לפיכך, לאחר שמשודרות N חבילות ללא אישור, הפרוטוקול עוצר וממתין לסיום זמן ה-timeout של החבילה המוקדמת ביותר שטרם אושרה.

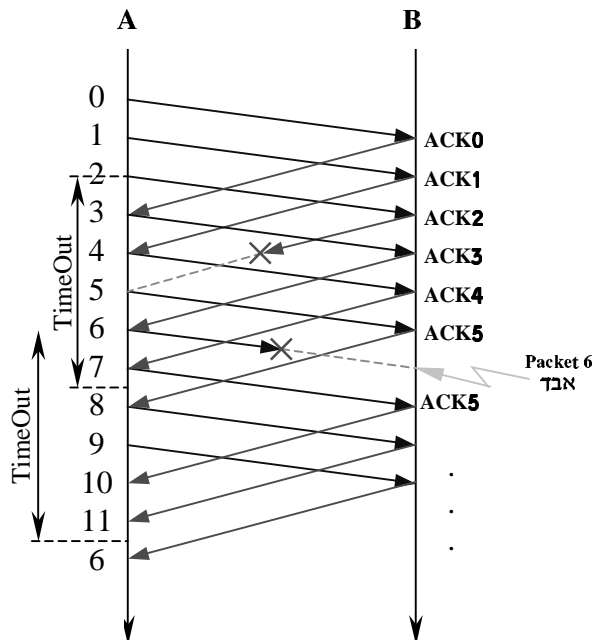
האיור הבא מדגים את התנהגות הפרוטוקול כאשר חבילה 3 אובדת בדרכה אל היעד.



**שאלת הכנה 3**

כתוב ביטוי למספר הפעמים הממוצע שחבילה משודרת בפרוטוקול Go Back N, בתלות בהסתברות השגיאה לחבילה  $P_e$  ובגודל החלון. שים לב: התיחס בנפרד למקרה הקצה של תחילת הקובץ! (הביטוי שונה ל-N החבילות הראשונות). הסבר.

הצד המקבל שולח אישורים ברצף בלבד, כלומר, אינו מוכן לקבל חבילות המגיעות שלא לפי הסדר הרציף; במקום זאת, כאשר מתקבלת חבילה שלא לפי הסדר, נשלח שוב אישור על החבילה האחרונה שהתקבלה ברציפות. זו הסיבה לכך שהצד השולח נאלץ לשדר שוב את כל החבילות לאחר זו שאבדה, גם אם ייתכן שחבילות אלה כשלעצמן לא נפגעו קודם לכן. מאידך, קבלת אישור על חבילה כלשהי פירושה כי גם כל החבילות שלפניה בהכרח הגיעו; במילים אחרות, האישורים בפרוטוקול Go Back N הם מצטברים. פירוש הדבר שאם חבילה מגיעה בצורה תקינה ליעדה אך האישור שלה אובד, אובדן זה עשוי שלא לגרום שיזור מחדש של החבילה, אם בתוך זמן ה-timeout מספיק להגיע גם אישור של חבילה מאוחרת יותר. האיור הבא מדגים את האפשרות הזו; כאן אישור חבילה 2 אובד בדרכו מהצד המקבל לשולח, אך כיון שה-timeout גדול מספיק, האישור הבא לאחר מכן מחפה על כך.



בפרוטוקול Selective Repeat, בניגוד לפרוטוקול Go Back N שתואר קודם, הצד המקבל יכול לקלוט את החבילות (המגיעות בצורה תקינה) בסדר כלשהו; האישורים הם, לפיכך, פרטניים ולא מצטברים (אישור קבלה של חבילה x אינו אומר דבר על חבילות לפני או אחרי x). הצד השולח ממשיך, בזמן ההמתנה לאישור חבילה, לשדר את החבילות הבאות אחריה בתור; כאשר מסתיים timeout של חבילה מבלי שמגיע אישור על קבלתה, חבילה זו בלבד משודרת מחדש - החבילות הבאות אחריה אשר שודרו כבר לא ישודרו שנית, בהנחה שבהן עצמן לא חלו שיבושים. כמו ב-Go Back N, מותר רק ל-N חבילות לכל היותר להיות משודרות בקו לאחר החבילה הגבוהה ביותר שאושרה ברציפות. לדוגמה, אם  $N=6$  וכל החבילות עד חבילה 17 (כולל) אושרו, אז מותר לשדר על הקו את חבילות 18-23. לא ניתן להמשיך ולשדר את חבילה 24 עד הגעה תקינה של האישור של חבילה 18, גם אם כל החבילות 19-23 כבר אושרו.

#### שאלת הכנה 4

מהו מספר הפעמים הממוצע לשידור חבילה בפרוטוקול Selective Repeat, בתלות בהסתברות השגיאה לחבילה  $P_e$  ובגודל החלון?

#### קביעת זמן ההמתנה (timeout)

ראינו כי זמן ה-timeout משפיע ישירות על התנהגות הפרוטוקולים, ונדרשת קביעה נאותה שלו על מנת להשיג ביצועים טובים. כיצד נקבע ה-timeout?

בפרוטוקול Stop And Wait קביעת ה-timeout פשוטה: זהו הזמן הצפוי לעבור מרגע סיום שידור החבילה ע"י הצד השולח ועד לקבלת האישור, ומכונה "זמן הלךך ושוב" (round-trip time). זמן זה מורכב מזמן ההתפשטות של החבילה אל הצד המקבל, זמן התגובה של המחשב המקבל, זמן השידור של מסגרת האישור, וזמן ההתפשטות של האישור חזרה אל המחשב השולח. בדרך-כלל, זמן התגובה של המחשב המקבל הינו זניח ביחס לזמני השידור וההתפשטות על קו התקשורת עצמו, ואנו נתעלם ממנו במהלך הניסוי.

#### שאלת הכנה 5

מה יקרה אם, בטעות, בצד השולח יקבע timeout מעט קצר יותר מזמן הלךך ושוב? מה יקרה אם הוא יהיה, בטעות, מעט ארוך יותר? (בשני המקרים, "מעט" פירושו זמן קצר יותר מזמן השידור של חבילה בודדת). התייחס בנפרד למקרה שניתן להפסיק שידור חבילה שכבר החל, ולמקרה שהדבר לא ניתן.

כדי שקביעת timeout למשך הזמן הלךך ושוב תהיה מוצלחת גם בפרוטוקולים Go Back N ו-Selective Repeat, רצוי כי סיום ה-timeout יפול בדיוק על סיום שידור החלון; במילים אחרות, זמן הלךך ושוב צריך להיות שווה בדיוק לזמן השידור של  $N-1$  חבילות מידע בצד השולח (זכור כי ה-timeout נמדד מסיום השידור של חבילה). פרוטוקול בו מתקיים תנאי זה נקרא מאוזן. ברור שתנאי הכרחי לכך שניתן יהיה להפעיל פרוטוקול באופן מאוזן, הינו כי הזמן הלךך ושוב צריך להיות כפולה שלמה של זמן השידור של חבילה.

אם התנאי הנ"ל לא מתקיים, לא ניתן לבחור  $N$  כך שהפרוטוקול יופעל באופן מאוזן. לעיתים, גם אילוצים אחרים מונעים בחירה מאוזנת של  $N$  - לדוגמה, הגבלה על גודל החוצצים בזכרון הצד השולח ו/או המקבל.

#### שאלת הכנה 6

- א. אם הזמן הלךך ושוב אינו כפולה שלמה של זמן השידור של חבילה, האם תעדיף לקבוע את  $N$  כך שזמן השידור של  $N-1$  חבילות יהיה מעט יותר קטן או מעט יותר גדול מאשר הזמן הלךך ושוב? כיצד תקבע את ה-timeout במקרה זה - האם לפי זמן השידור של החבילות או לפי הזמן הלךך ושוב? תן שיקולים בעד ונגד כל אחת מהאפשרויות (בשתי השאלות).
- ב. מתי יכול להיות עדיף להגדיל את  $N$  כך שזמן שידור החלון יהיה גדול עוד יותר מאשר הזמן הלךך ושוב - כלומר, שזמן הלךך ושוב יהיה שקול לזמן השידור של  $N-2$  חבילות ואף פחות מכך? התייחס בנפרד לפרוטוקול Go Back N ול-Selective Repeat.

## שאלת הכנה 7

הסבר באיזה מקרה עדיף להשתמש בפרוטוקול Go Back N, ומתי עדיף הפרוטוקול Selective Repeat. התייחס לביצועי הפרוטוקולים מבחינת מהירות ההתקדמות (או, לחילופין, זמן השידור הכולל של קובץ בגודל נתון).

## פרק ב': הכרת הסימולטור

הניסוי מתבצע באמצעות כלי המכונה DLS (Data Link Simulator). כלי זה מורץ על שתי תחנות בו זמנית ופועל באחת מהן כצד השולח ובאחרת כצד המקבל. (ישנה גם אפשרות להריץ את DLS על תחנה אחת שתדמה הן את הצד השולח והן את המקבל, אך לא נשתמש בה בניסוי זה). הפעלת DLS מתבצעת על-ידי הקשת הפקודה הבאה בשורת הפקודות:

```
> java -jar DLS.jar
```

יש לבצע פקודה זו בשתי התחנות (אין חשיבות לסדר).

בעקבות כך, מופיע החלון הבא (תלון הקונפיגורציה):

The screenshot shows the Data Link Simulator configuration window. It includes sections for Mode, Data frame parameters, Acknowledgment parameters, Data link protocol, and Files. The Mode section has radio buttons for 'Sender and Receiver', 'Sender', and 'Receiver'. The Data frame parameters section has input fields for Rate [bytes/sec], Propagation delay [sec], Bit error probability, and Probability of transition to noisy/clean state. The Acknowledgment parameters section has similar input fields. The Data link protocol section has a dropdown menu set to 'Stop And Wait', Packet size [bytes], Timeout [sec], and a checkbox for Preemptable transmissions. The Files section has three 'Choose...' buttons for Transmitted file, Sender log file, and Receiver log file. At the bottom, there is an 'Accelerate simulation speed by:' field, a 'Run simulation' field set to '1' time(s), and 'Start' and 'Exit' buttons.

בחלון זה נקבעים כל נתוני הניסוי. החלון מורכב ממספר חלקים (פנלים); להלן נפרט את תוכנם.

### פנל Mode

כאן נקבע האם התחנה תדמה הן את הצד השולח והן את המקבל, או רק את אחד מהם. בחר "Sender" בתחנה המיועדת לדמות את הצד השולח ו-"Receiver" בזו המיועדת לצד המקבל. אין

\* זוהי צורתו של חלון הקונפיגורציה בגרסת מערכת הפעלה Windows 95/98/NT. לחלון תהיה צורה מעט שונה תחת מערכות הפעלה אחרות.

צורך להתייחס לכפתור "Physical Layer...", שנועד לקבוע כיצד התחנות "ישוחחו" ביניהן ברמה הנמוכה במהלך ריצת הסימולציה; השאר את הפרמטרים האלה כפי שנקבעו עבורך.

שים לב: עצם הבחירה של "Sender" או "Receiver" תאפיר חלקים מהחלון שהופכים כעת בלתי רלוונטיים. כך, לדוגמה, בחירת log file Receiver לא תתאפשר כאשר תחנה זו נבחרת לדמות את הצד השולח. תוכנם של שדות אפורים אינו רלוונטי לריצת הסימולציה, ואין חובה להקפיד שיהיה בהם ערך כזה או אחר (בפרט, אין צורך להקפיד שהערכים בפנל מואפר יהיו תואמים את אלה שבתחנה השניה).

### Data frame parameters פנל

כאן נקבעים פרמטרים הקשורים לשידור החבילות מהצד השולח לצד המקבל. מדובר בקצב השידור (ביחידות של בתים לשניה), בהשחית ההתפשטות (בשניות), ובמידת הרעש בקו. הפנל פעיל רק בתחנה המדמה את הצד השולח; בצד המקבל, הפרמטרים האלה אינם רלוונטיים ולכן הפנל מואפר.

אפיון הרעש בקו מבוצע דרך קביעת מספר פרמטרים; פירוט משמעויותיהם מובא להלן בסעיף "מודל הרעש".

### Acknowledgment parameters פנל

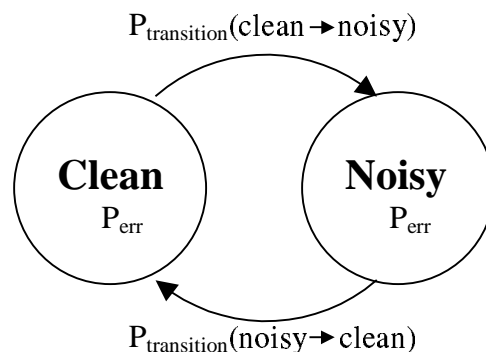
כאן נקבעים פרמטרים הקשורים לשידור האישורים מהצד המקבל לצד השולח. מדובר בקצב השידור (ביחידות של בתים לשניה), בהשחית ההתפשטות (בשניות), ובמידת הרעש בקו. הפנל פעיל רק בתחנה המדמה את הצד המקבל; בצד השולח, הפרמטרים האלה אינם רלוונטיים ולכן הפנל מואפר.

אפיון הרעש בקו מבוצע דרך קביעת מספר פרמטרים; פירוט משמעויותיהם מובא להלן בסעיף "מודל הרעש".

### מודל הרעש

לפני שנמשיך בתיאור אופן הפעלת הסימולטור והממשק, נפרט מה משמעות כל הפרמטרים הקובעים את הרעש בקו (בכל אחד מהכיוונים).

המודל של הרעש בקו התקשורת מבוסס על שרשרת מרקוב דו-מצבית. אל דאגה! אין צורך להכיר את התאוריה של שרשראות מרקוב כדי להבין את המודל. הקו יכול להיות באחד משני מצבים: מצב נקי (clean) ומצב רועש (noisy). לכל אחד מהמצבים הסתברות שגיאה לביט משלו וכן הסתברות משלו למעבר למצב האחר אחרי כל ביט. הסימולטור, אם כן, מדמה מכונת מצבים אקראית, שבה לאחר כל ביט מוגרל המצב הבא בהתאם להסתברות המעבר, וכן מוגרלת החלטה האם הביט המשודר יתקבל שגוי.



יצוין שהגרלות אלה אינן תלויות זו בזו, אלא רק במצב הנוכחי בו נמצאת מכונת המצבים. חבילה נתונה כלשהי, המורכבת ממספר רב של ביטים, תשודר בהצלחה רק אם כל הביטים שלה משודרים בהצלחה, כלומר אף אחד מהביטים שלה לא הוגרל להקלט שגוי.

מודל זה הוא, כמובן, הכללה של קו עם הסתברות שגיאה קבועה לביט - אם זהו המודל המבוקש, ניתן לקבוע הסתברות שגיאה זהה בשני המצבים, ולהסתברויות המעבר בין המצבים אין אז כל חשיבות. מודל שרשרת מרקוב דו-מצבית הינו דרך פשוטה לדמות גם קודים שבהם קיים רעש "עם זכרון", כלומר כזה שהסתברויות השגיאה של ביטים שונים אינן לגמרי בלתי-תלויות (במצאות, בדרך-כלל, הסתברות השגיאה של ביט נתון תהיה גבוהה יותר אם הביט הקודם היה שגוי מאשר אם הוא נקלט נכון, שכן הרעש נוטה להגיע ב-"פרצים" שאורכם גדול מביט אחד).

## פנל Data link protocol

כאן נקבעים נתוני פרוטוקול הקו. בראש ובראשונה - סוג הפרוטוקול, שהוא אחד מן השלושה: Stop And Wait, Go Back N, Selective Repeat. כאשר בוחרים את אחד מהשניים האחרונים, מופיע גם שדה לקביעת גודלו של החוצץ (N). כמו כן נקבעים כאן גודל החבילה (ביחידות של בתים), זמן ההמתנה לאישור (בשניות), והאם מותר להפסיק שידורה של חבילה באמצע.

נציין, שלמעט סוג הפרוטוקול, כל שאר השדות בפנל זה מואפרים כאשר התחנה נבחרת לדמות רק את הצד המקבל.

## פנל Files

בפנל זה נבחרים שמות הקבצים הקשורים לניסוי: הקובץ המשודר עצמו (שייפתח לקריאה בלבד), וכן קבצי log של הצד השולח ושל הצד המקבל, המכילים את פירוט מהלך הארועים בביצוע פרוטוקול (מתי נשלחה כל חבילה, מתי הגיעו האישורים, לאילו חבילות לא הגיע אישור עד ה-timeout). ניתן לכתוב את שמות הקבצים באופן ידני (שם מלא אבסולוטי או שם חלקי ביחס לספריה הנוכחית, שממנה הופעלה תוכנת הסימולטור), או להעזר בכפתורי "Choose..." כדי לבחור אותם מן המוכן באמצעות העכבר.

## כפתורי ההפעלה

בתחתית חלון הקונפיגורציה נמצאים כפתורי ההפעלה. בצד הכפתורים, ניתן לקבוע את יחס ההאצה של הסימולציה (יחס של 1 פירושו סימולציה בזמן-אמת; ככל שהמספר גבוה יותר, כך הסימולציה תרוץ מהר יותר), ואת מספר הפעמים שהסימולציה תרוץ (ברירת המחדל היא פעם אחת). הכפתור "Start" יתחיל את הריצה. אם נקבע להריץ יותר מאשר סימולציה אחת, אזי הן יורצו בזו אחר זו באופן בלתי תלוי, והפלטים שלהן יצטרפו לקובץ log אחד. הכפתור "Exit" מספק דרך אלטרנטיבית לסיים את תוכנת הסימולטור, השקולה לסגירת החלון או לבחירת "File/Exit" בתפריט שבראש החלון.

חשוב לציין כי לא ניתן להגדיל את יחס ההאצה של הסימולציה עד בלי די, שכן האצה מוגזמת תגרום לכך שתוכנת הסימולטור לא תספיק לעקוב אחר כל הארועים שאמורים להתרחש על קו התקשורת, והתוצאה תהיה פלט ארועים חסר ובלתי-אמין. אם הדבר קורה, תופיע בחלון ה-console (ממנו הורץ הסימולטור) הודעה בנוסח:

Warning: event order error (computer too slow)

אם מופיעה הודעה כזו, יש לעצור את הריצה של הסימולציה הנוכחית ולנסותה מחדש עם יחס האצה נמוך יותר.

## התפריט הראשי

כל הפרמטרים שבחלון הקונפיגורציה נשמרים באופן אוטומטי בקובץ בשם DLS.ini, אשר נטען עם הפעלת הסימולטור; לפיכך, בהפעלת הסימולטור מופיעים תמיד הפרמטרים האחרונים שהוכנסו בריצה הקודמת. פרט לכך, אפשר לשמור גם קונפיגורציות נוספות, ע"י שימוש בתפריט File שבראש חלון הקונפיגורציה. הכניסות שבתפריט מאפשרות שמירה וטעינה של קונפיגורציה בכל עת.

פעולה נוספת המתאפשרת ע"י התפריט File היא טעינה של תוצאות סימולציה שנעשתה בעבר. בחירת הכניסה "Load Simulation..." תפתח חלון המאפשר לבחור קבצי log שנוצרו בריצה קודמת, ולאחריו חלון המאפשר לבחור סימולציה מסוימת מתוך מספר (אולי רב) של סימולציות שהוקלטו בקבצים. אם אין שגיאות בקבצים, נתוני הסימולציה ייקראו ויוצגו על המסך כאילו

התבצעה זה עתה; לאחר מכן ניתן לבחון את רשימת הארועים בטקסט ו/או את הדיאגרמות, וכן לשמור חלק כלשהו מהדיאגרמת החיצים לקובץ GIF (למשל, לשם שילוב בדו"ח המסכם).

## מהלך הריצה

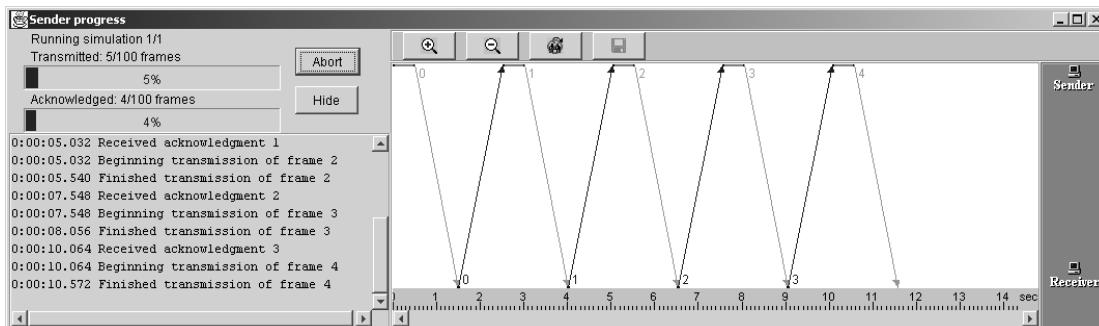
לאחר הלחיצה על כפתור Start, מתבצעת בדיקת תקינות של הפרמטרים שהוקלדו. אם ישנה שגיאה כלשהי שאינה מאפשרת את תחילת הריצה (לדוגמה, אם אחד מערכי הסתברות השגיאה אינו מספר שבין 0.0 ל-1.0), יופיע חלון המפרט את מהות השגיאה. אם כל הפרמטרים תקינים, ריצת הסימולציה תתחיל.

בתחילת הריצה, שתי התחנות פותחות את ערוץ הקשר ביניהן. הדבר מתבצע ע"י פניה של התחנה השולחת אל התחנה המקבלת. לפיכך, חשוב להתחיל את הסימולציה קודם בתחנה המקבלת! אם לחצת על כפתור Start בצד השולח תחילה, הוא ינסה לפנות לתחנה המקבלת לפני שזו עדיין מוכנה לכך, ולאחר זמן מה יתקבל חלון עם הודעה בסגנון הבא:

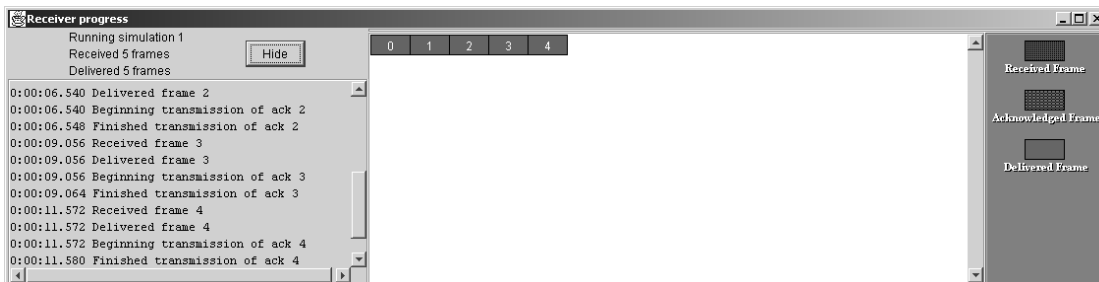


אם קיבלת חלון עם הודעה כזו, ודא כי התחלת את הריצה קודם בתחנה המקבלת, ורק אז נסה שנית להתחיל את הצד השולח.

לאחר שנפתח הקשר בין התחנה השולחת לזו המקבלת, מתחילה הסימולציה עצמה, שבה הצד השולח משדר חבילות והצד המקבל מחזיר אישורים, בהתאם לפרמטרים שנקבעו ובהם קצב השידור, זמן ההשהיה והסתברויות השגיאה. בצד השולח מופיע חלון דיווח התקדמות שנראה כדוגמת התמונה הבאה:



בצד המקבל מופיע חלון כדלהלן:



שני החלונות יתעדכנו באופן אוטומטי וידווחו בכל רגע על התקדמות ריצת הסימולציה. בחלק הטקסטואלי (בצד שמאל) יופיעו, בין השאר, זמני התחלה וסיום שידור כל חבילה וכל אישור, זמני ההגעה שלהם אל הצד השני, וזמני ארועים חריגים כגון timeout. כל הזמנים נקובים ביחס

לזמן תחילת הניסוי, המוגדר כזמן שבו התחיל שיזור החבילה הראשונה בצד השולח. בחלק הגרפי (בצד ימין) תופיע, בצד השולח, דיאגרמת חיצים מתאימה, ובצד המקבל דיאגרמת מלבנים המציינת את מצבה של כל חבילה ביעד. יצוין שהטקסט המופיע בחלונות זהה לטקסט הנכתב לקבצי log של הצד השולח והמקבל, בהתאמה, וניתן (ע"י שימוש באפשרות "Load Simulation...") מתוך התפריט הראשי שבחלון הקונפיגורציה) לטעון קבצי log שנוצרו בעבר ולהפכם לדיאגרמות כנ"ל.

במקרה הצורך, ניתן להפסיק את הריצה ע"י לחיצה על הכפתור Abort שבחלון הצד השולח. **זהירות!** לחיצה על כפתור זה תפסיק את הריצה כולה (לא רק של הסימולציה הנוכחית), ללא בקשת אישור נוספת!

הכפתור Expand/Hide המופיע הן בצד השולח והן בצד המקבל מאפשר לקבוע האם תופיע הדיאגרמה בצד ימין. לחיצות עוקבות על כפתור זה יחביאו או יציגו את הדיאגרמה, לסירוגין.

מעל הדיאגרמה שבצד השולח מופיעים מספר כפתורי בקרה, המפורטים להלן:

- כפתור Zoom In מגדיל את הרזולוציה האופקית של הדיאגרמה, מה שגורם לחלק הנראה של הדיאגרמה להכיל פחות ארועים.
- כפתור Zoom Out מקטין את הרזולוציה האופקית של הדיאגרמה, מה שמאפשר להכניס יותר ארועים בחלק הנראה על המסך.
- כפתור Freeze/Align Scrollbar קובע האם הדיאגרמה עוקבת אחר הארועים המתווספים לסימולציה (כלומר, "גולשת" ימינה על מנת להראות את הארוע האחרון) או קופאת במקומה הנוכחי. לחיצות עוקבות על כפתור זה יחליפו את המצב לסירוגין.
- כפתור Save, המאפשר רק לאחר סיום הסימולציה (או הפסקתה ע"י לחיצה על כפתור Abort), מאפשר לשמור את החלק הנראה של הדיאגרמה לקובץ GIF. ניתן לשמור גם חלק קטן יותר מאשר את כל החלק הנראה על המסך, ע"י בחירתו באמצעות גרירת העכבר טרם הלחיצה על הכפתור Save.

## פרק ג': מהלך הניסוי

**הערה:** החלוקה להלן של מהלך הניסוי היא חלוקה לוגית, ואינה חייבת בהכרח לחפוף את החלוקה לפגישות.

### חלק א': הפעלת הסימולטור

חלק א' של הניסוי נועד לבצע מספר הרצות נסיון של תוכנת הסימולציה.

קבע את פרמטרי הסימולציה הבאים:

הקובץ לשידור - text

קצב השידור - 1000 בתים לשניה (בשני הכיוונים)

השהיה - 1 שניה (בשני הכיוונים)

גודל חבילה - 500 בתים

timeout - 2.5 שניות

כל הסתברויות השגיאה - 0

הרץ את הסימולטור עם הפרמטרים הנ"ל בכל אחד מהפרוטוקולים:

Stop And Wait, Go Back N (N=6), Selective Repeat (N=6)

התבונן בפלטי הריצה.

#### שאלה 1

א. מהו זמן השידור של כל חבילה? האם הוא תואם את הצפוי מתוך גודל החבילה וקצב השידור? אם לא, הסבר את ההבדל.

ב. מהו זמן השידור של כל מסגרת אישור (acknowledgment)? חשב מתוכו את גודל המסגרת.

כעת קבע את הפרמטר timeout להיות 1.9 שניות (השאר את שאר הפרמטרים ללא שינוי), וחזור על הריצות עם הפרוטוקולים השונים.

#### שאלה 2

מה השתנה בעקבות שינוי ה-timeout? מדוע לא השתנו גם דברים נוספים? הסבר.

כעת סמן את הדגל Preemptable transmissions, וחזור על הריצות של כל הפרוטוקולים.

#### שאלה 3

מה השתנה עכשיו? הסבר את ההתרחשויות.

לקראת החלקים הבאים של הניסוי, כבה את הדגל Preemptable transmissions. מכאן ואילך הסימולציה תורץ תמיד רק עם הערך "הטבעי" של ה-timeout, כלומר כזה המתאים בדיוק לגודל החלון (N) ואו לזמני השידור וההתפשטות.

### חלק ב': ביצועי הפרוטוקולים בתנאי קו עם שגיאות

נעבור לביצוע הניסוי בקו עם שגיאות. נרצה כי הסתברות השגיאה לחבילה תהיה

$<0.001$  מספר הסטודנט שלך.

בחר לשם כך את אחד ממספרי הסטודנט של מבצעי הניסוי, ללא האפס המוביל. אם כך, ההסתברות לשגיאה בחבילה צריכה להיות בין 0.1 ל-0.4. אם אין זה המצב, פנה למדריך.

בהנחה כי הסתברות השגיאה בלתי-תלויה בין ביטים שונים, חשב מהי הסתברות השגיאה לביט הנדרשת כדי לקבל את הסתברות השגיאה הרצויה לחבילה. אל תשכח להתחשב באורך הרישאה

(header) שחישבת בשאלה 1! קבע את הסתברות השגיאה הזו בפנל Data frame parameters (הן

במצב clean והן במצב noisy; קבע שרירותית את הסתברויות המעבר בין המצבים). השאר את

הסתברויות השגיאה למסגרות האישור שוות ל-0.

#### שאלה 4

חשב באופן תאורטי את הנתונים הבאים, לכל אחד מהפרוטוקולים. התחשב גם בתנאי הקצה (כלומר, בהתנהגות השונה מעט של הפרוטוקולים בהתחלה ובסיום הקובץ).

- תוחלת מספר הפעמים שכל חבילה משודרת;
- תוחלת זמן ההעברה של הקובץ כולו.

הרץ את הסימולציה עבור כל אחד מהפרוטוקולים הני"ל 10 פעמים.

**שים לב:** לפרוטוקול Stop and Wait יהיה ערך timeout שונה מזה של הפרוטוקולים האחרים, בעלי החלון. מצא את הערכים הנכונים והראה למדריך את חישוביך לפני שתיגש לביצוע הסימולציות - שגיאה בשלב זה עלולה לפגוע במשמעות הריצות כולן!

#### שאלה 5

נתח את קבצי ה-log של הצד השולח ומצא מתוכם את מספר הפעמים הממוצע לשידור חבילה והזמן הממוצע להעברת הקובץ. האם קיבלת התאמה לחישוב בשאלה 4? הסבר.

כעת חזור את הסתברות השגיאה של חבילות ל-0, וחשב מהי הסתברות השגיאה לביט הנדרשת כדי לקבל את אותה הסתברות שגיאה כקודם, אך במסגרות האישור (המשודרות ע"י הצד המקבל) במקום בחבילות עצמן. להזכירך, את אורכן של מסגרות האישור חישבת בשאלה 1. קבע הסתברות זו בפנל acknowledgment parameters (הן במצב clean והן במצב noisy); קבע שרירותית את הסתברויות המעבר בין המצבים). הרץ שוב את הסימולציה עבור כל אחד מהפרוטוקולים 10 פעמים.

#### שאלה 6

נתח את קובצי ה-log ומצא שוב את ממוצעי מספר השידורים לחבילה וזמן ההעברה. ביצועי אילו מהפרוטוקולים הושפעו ע"י השינוי? האם חל שיפור או גריעה? הסבר מהו הגורם להבדל.

#### חלק ג': התלות בגודל החלון

חזור שוב על חלק ב' עבור הפרוטוקולים Go Back N ו-Selective Repeat, הפעם עבור ערכים אחרים של  $N$ :  $N=4$ ,  $N=8$ . אל תשכח לתקן בהתאם את ערכי ה-timeout כדי שיתאימו לגודל החלון בכל פעם.

הערה: בחלק זה, את הפרוטוקול Selective Repeat מספיק להרץ כאשר השגיאות הן בחבילות המידע בלבד. את הפרוטוקול Go Back N, לעומת זאת, הרץ בשני האופנים כמתואר בחלק ב' (כלומר, פעם אחת עם השגיאות בחבילות המידע בלבד, ופעם אחת עם השגיאות באישורים בלבד).

#### שאלה 7

נתח את התוצאות שקיבלת ושרטט גרפים המתארים את מספר השידורים הממוצע לחבילה ואת זמן ההעברה הכולל הממוצע בתלות בגודל החלון ( $N$ ), לשני הפרוטוקולים. כלול בגרפים גם את המקרה של החלק הקודם ( $N=6$ ). הסבר את התוצאות.

#### חלק ד': התלות בגודל החבילה

קבע שוב את הסתברויות השגיאה לביט כמו במחצית הראשונה של חלק ב' (הסתברויות השגיאה של מסגרות האישור הן 0), ואל תשנה אותן במהלך חלק זה.

חזור כעת על המחצית הראשונה של חלק ב' עבור אותו הקובץ, אך מחולק לחבילות בגודל שונה: עבור הפרוטוקול S&W - חבילות בגודל 250 ו-1250 בתים, ו-timeout ללא שינוי ביחס לחלק ב'. עבור שאר הפרוטוקולים - חבילות בגודל 100, 250, 1250 בתים; שנה לכל אחד מהמקרים את גודל החלון ( $N$ ) כך שה-timeout ישאר דומה עד כמה שאפשר לערכו בחלק ב' (רצוי מאד) להראות למדריך את פרמטרי הריצה לפני ביצוע חלק זה).

#### שאלה 8

נתח את התוצאות שקיבלת ושרטט גרפים המתארים את תוחלת זמן ההעברה הכולל בתלות בגודל החבילה (אין צורך לשרטט גרפים של מספר השידורים הממוצע לחבילה),

לכל אחד מהפרוטוקולים. כלול בגרפים גם את המקרה של החלק הקודם (גודל חבילה של 500 בתים). מהן מסקנותיך מחלק זה?

### שאלה 9

עבור פרוטוקול Stop And Wait בלבד, כתוב ביטוי לתוחלת זמן השידור של הקובץ כולו בתלות בגודל החבילה (כאשר כל שאר הפרמטרים, כגון הסתברות השגיאה לביט, קבועים בהתאם לערכיהם בחלק זה של הניסוי). חשב מתוכו את גודל החבילה עבורו תוחלת זו היא מינימלית.