

## שכבת הערוץ. פרוטוקולי תוכנה להעברת מסגרות עם מידע

### פרוטוקול 1. פרוטוקול חד-כיווני, לא אמין וללא אישורים.

כאן מניחים שרק תחנה א משדרת מסגרות מידע אל תחנה ב. תקשורת לא אמין, ללא אישורים. המסגרות משודרות, ללא קבלת אישורים על תקינות ההעברה. התוכנה של שכבת הערוץ מכילה את הנוהלים האלה:

(1) נוהל בשם "המתן", אשר מאפשר המתנה להתרחשות של אירוע כלשהו. נרשום בסוגריים ת האירועים להם ממתניים).

לדוגמה: המשפט המתן (הגעת מסגרת) גורם להמתנה עד להגעת המסגרת. (2) נוהלים לקבלת מנה משכבת הרשת (בתחנה א) ולהעברה של מנה לשכבת הרשת (בתחנה ב).

(3) נוהלים לקבלת מסגרת מהשכבה הפיזית (בתחנה ב) ולהעברה של מסגרת לשכבה הפיזית (בתחנה א).

### התוכנה בתחנה שולחת:

בצע לולאה (אינסופית):

קבל מנה משכבת הרשת

צור מסגרת לשידור

העבר את המסגרת לשכבה הפיזית

סוף הלולאה.

### התוכנה בתחנה המקבלת:

בצע לולאה (אינסופית):

המתן לאירוע (הגעת מסגרת)

קבל מסגרת מהשכבה הפיזית

בודד את שדה המידע (המנה)

העבר את שדה המידע לשכבת הרשת

סוף לולאה.

פרוטוקול 1 הוא מהיר (אין המתנה לאישור ואין שידורים חוזרים). לכן פרוטוקול זה מתאים להעברת קול או וידאו ללא עיכובים, גם במחיר שיבושים.

### פרוטוקול 2. פרוטוקול עצור והמתן, חד-כיווני, לא אמין עם אישורים.

כאן מניחים שתחנה א משדרת אל תחנה ב, ותחנה ב מדווחת לשולח האם הנתונים הגיעו באופן תקין או לא.

שכבת הערוץ בתחנה ב צריכה לספק לשכבת הרשת שמעליה מנות תקינות בלבד. אם המנה הגיעה בהצלחה, שכבת הערוץ בצד ב מעבירה את המנה לשכבת הרשת שמעליה ותשלח מסגרת Ack אל תחנה א.

אם המנה לא הגיעה בהצלחה, שכבת הערוץ בצד ב לא מעבירה את המנה לשכבת הרשת שמעליה ותשלח מסגרת Nak אל תחנה א.

כאשר תחנה א מקבלת את מסגרת Ack, היא מדווחת לשכבת הרשת שמעליה על הצלחה בשידור המנה. אם מקבלת מסגרת Nak, היא מדווחת לשכבת הרשת שמעליה על כשלון.

אם לא הגיעה כל תגובה מתחנה ב במשך פרק זמן מוגדר, תניח תחנה א שהמסגרת ששלחה אבדה, ולכן תדווח לשכבת הרשת שמעליה גם במקרה הזה על כשלון.

השרות איננו נחשב אמין, כי אין טיפול בשיבושים או באובדן מסגרות, יש רק העברת מנות תקינות לשכבת הרשת בצד הקולט, ודיווח על תקינות כל מנה לצד

המשדר. לכן שכבת הרשת בצד המשדר יודעת על השיבושים וכולה, תיאורטית, להתגבר על כך על-ידי שידורים חוזרים, אבל הפרוטוקול עצמו אינו מחייב זאת.

### התוכנה בתחנה השולחת:

בצע לולאה (אינסופית):  
קבל מנה משכבת הרשת  
צור מסגרת לשידור  
העבר את המסגרת לשכבה הפיזית ואתחל קוצב-זמן  
המתן (תגובה מתחנת היעד או פסק זמן)  
אם התקבל אישור תקינות דווח (הצלחה)  
אחרת, דווח (כשלון)  
סוף לולאה.

### התוכנה בתחנה המקבלת:

בצע לולאה (אינסופית):  
המתן (הגעת מסגרת)  
קבל מסגרת מהשכבה הפיזית  
אם המסגרת תקינה, בצע:  
1. צור מסגרת תגובה Ack  
2. בודד שדה המידע והעבר אותו לשכבת הרשת  
אחרת:  
1. צור מסגרת תגובה Nak  
2. העבר לשכבה הפיזית את מסגרת התגובה  
סוף לולאה.

פרוטוקול 3. פרוטוקול עצור והמתן חד-כיווני, עם שרות אמין.  
בפרוטוקול 2 לא התגברו, לא טיפלו בשיבושים ובאובדן מסגרות.  
בפרוטוקול 3 שהעברת הנתונים מתחנה א אל תחנה ב תבטיח שכל הנתונים יתקבלו בתחנה ב כסדרם כשהם תקינים וללא כפילויות.  
בפרוטוקול 3 יהיה שידור חוזר של כל מסגרת ששובשה או אבדה.  
שידור החוזר יתבצע לפי הכלל:  
• כאשר תחנה א מקבלת מסגרת Nak, או כאשר ההמתנה תופסק על-ידי אירוע פסק-זמן, התחנה תשדר שוב את המסגרת האחרונה ששודרה.

### התוכנה בתחנה השולחת:

קבל מנה (ראשונה) משכבת הרשת  
צור מסגרת לשידור  
בצע לולאה (אינסופית):  
העבר עותק של המסגרת לשכבה הפיזית ואתחל קוצב הזמן  
המתן (תגובה מתחנת היעד, או פסיקת זמן)  
אם התקבלה תגובת Ack, בצע:  
1. קבל מנה משכבת הרשת (אם לא התקבל Ack, לא תועבר מנה נוספת משכבת הרשת, אלא אותה מנה תשודר שוב).  
2. צור מסגרת לשידור  
סוף הלולאה.

## התוכנה בתחנה המקבלת:

בצע לולאה (אינסופית):

המתן (הגעת מסגרת)

קבל מסגרת מהשכבה הפיזית

אם המסגרת שהגיעה תקינה, אז:

1. צור מסגרת תגובה Ack

2. בודד שדה המידע והעבר אותו לשכבת הרשת

אחרת

צור מסגרת תגובה Nak

העבר את התגובה לשכבה הפיזית

סוף לולאה.

תחנה א מבצעת לולאה אינסופית, שבה היא מקבלת מנותמשכבת הרשת, יוצרת מהן מסגרות ומשדרת אותן. עם שידור כל מסגרת מאותחל קוצב-זמן, והתחנה ממתינה לתגובה או לפסק-זמן. אם לא מגיעה תגובה, או שהתגובה היא Nak, שכבת הערוץ אינה פונה לשכבת הרשת לקבל מנה נוספת, אלא משדרת שוב את אותה מסגרת במחזור הבא של הלולאה. פרוטוקול 3 מתגבר על כמות כלשהי של שיבושים ואובדנים, שהרי כל מנה משודרת שוב ושוב, עד שיתקבל עבורה Ack.

**המגבלה של פרוטוקול 3:** האלגוריתם מתבצע ע"י מעבדים מרוחקים זה מזה ("אלגוריתם מבוזר"). המעבדים מעבירים מידע מאחד לשני, וחלק מהמידע משתבש או נאבד. נניח למשל שמסגרת המידע הגיעה בסדר ליעד, אבל מסגרת התגובה נאבדה. הצד המשדר ישדר אותה מנה שוב ולכן תתקבל כפילות של מנות זהות שמגיעות אל היעד. לפי פרוטוקול 3, כל המנות שהגיעו תקינות מועברות לשכבת הרשת שמעליה, ולכן בשכבת הרשת יתקבלו כפילויות של מנות זהות! כדי להתגבר על הבעיה, יש לבצע **מספור של המנות הנשלחות:** שכבת הערוץ של תחנת היעד מבחינה בין מנה שמתקבלת בפעם הראשונה, לבין מנה שמתקבלת שוב, לאחר שכבר התקבלה בעבר. אפשר להשיג זאת ע"י מספור המנות הנשלחות. לצורך מימוש השיטה, יש לקיים תנאים אלה:

1. כל תחנה צריכה להחזיק משתנה שישמש כמונה.
2. כל מסגרת צריכה לכלול שדה מספור.

\* תחנה א תשתמש **במונה שליחה**, שיאחסן את מספר המנה הבאה שצריכה להשלח.

אחרי שיתקבל אישור על המנה שנשלחה, תחנה א תוסיף 1 למונה (עדכון). מקובל לקרוא למונה זה SN (Sequence Number).

• תחנה ב תשתמש **במונה קבלה**, שיאחסן את מספרה של המנה הבאה שצריכה להתקבל. מקובל לקרוא למונה הזה RN (Request Number). העדכון של המונה הזה יתבצע לאחר העברה של מנה תקינה לשכבת הרשת.

לכן, יש להוסיף שדה מספור לכותרת של כל מסגרת מנה.

אם שדה המספור במנה קטן מערכו של מונה הקבלה, התחנה מניחה שמנה זאת כבר התקבלה בעבר ונשלחה שוב כי מנת האישור אבדה. במקרה זה המנה לא תועבר לשכבת הרשת ומונה הקבלה לא יעודכן. כדי לאפשר לתחנה א לעבור לשידור המסגרת הבאה, תשלח תחנה ב Ack בכל מקרה.  
מספור המנות שנשלחות פתרה את הבעיה שהוצגה קודם, אבל ישבעיה נוספת:  
**בעיה של שידור חוזר בטרם זמן:**

הבעיה נובעת משידור חוזר המבוצע לפני הגעת האישור: לא בטוח שזמן ההמתנה, שנקבע לפני ביצוע שידור חוזר, יספיק תמיד. האישור עלול להתמהמה בגלל עומס בתחנה ב, או בגלל עיכוב בצמתי הרשת. לכן זמן ההמתנה שהוקצב בתחנה א עלול להסתיים לפני הגעת האישור. לכן תחנה א תבצע שידור חוזר. לכן עלול להווצר מצב שמגיעות לתחנה א אישורים על מסגרות ששודרו קודם, ותחנה א לא תדע לאיזו מסגרת מתיחס האישור הנוכחי: למסגרת אחרונה או למסגרת קודמת. אולי מסגרת האחרונה נאבדה, אבל מגיעה Ack של מסגרת קודמת וצד א עלול להבין כאילו מסגרת האחרונה הגיעה בסדר!

### **הפתרון לבעיה: מספור האישורים.**

תחנה ב כוללת במסגרת התגובה שהיא שולחת, את מספרה הסידורי של המסגרת הבאה שהיא מצפה לה (ערכו של RN). הוספת המספור למסגרות התגובה מחליפה את התגובות Ack, Nak. לכן מסגרת התגובה החדשה היא מסגרת אחידה. כדי לממש את פרוטוקול 3 (בגרסה הסופית), **מסגרת המידע צריכה לכלול השדות:**

1. שדה מידע.

2. שדה מספור.

3. שדה לגילוי שגיאות.

מסגרת האישור צריכה להכיל את השדות:

1. שדה מספור.

2. שדה לגילוי שגיאות.

אם מתגלה שגיאה במסגרת האישור, תחנה א תתעלם ממנה ותתיחס כאילו לא הגיע אישור.

האלגוריתמים המשופרים של פרוטוקול 3:

### **התוכנה בתחנה השולחת:**

הצב "0" בתוך SN

קבל מנה (ראשונה) משכבת הרשת

צור מסגרת לשידור

בצע לולאה (אינסופית):

העבר העתק של המסגרת לשכבה הפיזית ואתחל קוצב-זמן

המתן (תגובה, פסיקת זמן)

אם התקבלה מסגרת האישור בצע:

1.  $SN = SN + 1$

2. קבל מנה משכבת הרשת (אם לא התקבל אישור, לא תועבר

3. צור מסגרת לשידור מנה נוספת, אותה מנה תשודר

במחזור הבא של הלולאה).

סוף הלולאה.

### התוכנה בתחנה המקבלת:

הצב "0" בתוך RN.  
בצע לולאה (אינסופית):  
המתן (הגעת מסגרת)  
קבל מסגרת מהשכבה הפיזית  
אם המספר הסידורי של המסגרת שהתקבלה שווה לערכו של RN  
וגם המסגרת שהגיעה תקינה אז  
בצע:

בודד את שדה המידע והעבר אותו לשכבת הרשת

$$RN = RN + 1$$

צור מסגרת אישור (ושים את ערכו של RN לשדה המספור שלה)  
העבר לשכבה הפיזית את מסגרת האישור  
סוף לולאה.

### פרוטוקול 4. תקשורת דו-כיוונית. שק - קמח (piggyback)

שתי התחנות יוכלו לשדר נתונים. הערוץ יספק שרות אמין.  
כל תחנה מונה שליחה, מונה קבלה וקוצב זמן, ותבצע כן את פעולות השולח וכן את פעולות המקבל. לעתים קרובות אפשר "להעמיס" את מסגרת האישור על גבי מסגרת נתונים שנשלחת ממילא. שיטה זו נקראת "שיטת שק-קמח"  
(piggyback). על-ידי כך מקטינים את התקורה ומגדילים את ניצול הערוץ.  
כאשר תחנה קיבלה מסגרת ואין לה מה לשדר לצד השני, היא תשדר, אחרי פרק זמן מסויים, מסגרת אישור עצמאית, כדי לאפשר לתחנה השניה להמשיך לשדר.

### התוכנה לפרוטוקול 4 דו-כיוונית. שק - קמח

הצב "0" בתוך SN

הצב "0" בתוך RN

קבל מנה (ראשונה) משכבת הרשת

בצע לולאה (אינסופית):

צור מסגרת לשידור (הכנס למסגרת מספר מסגרת SN ומספר אישור RN)  
העבר עותק של המסגרת אל הרמה הפיזית  
המתן (הגעת מסגרת)  
קבל מסגרת מהשכבה הפיזית  
אם המסגרת תקינה, אז:  
אם המספר הסידורי שלה שווה ל-RN  
בצע:

1. בודד את שדה המידע והעבר אותו לשכבת הרשת

2. עדכן את RN

אם שדה האישור של המסגרת שווה ל-SN (התקבל אישור למסגרת שנשלחה)  
בצע:

1. קבל מנה חדשה משכבת הרשת

2. עדכן את SN

סוף הלולאה.

פרוטוקול	שרות	בקרת שגיאות	בקרת זרימה	נצילות
1	לא-אמין	אין	אין	גבוהה
2	לא-אמין עם אישורים	יש, אבל מתקן שגיאות	יש	תלויה באורך הערוץ
3	אמין	יש	יש	תלויה באורך הערוץ

פרוטוקול 4 הוא שיפור לפרוטוקול 3 בכך שהוא מטפל בתקשורת דו-כיוונית.

### פרוטוקולי שידור ברצף.

כאן משיגים שיפור בנצילות הערוץ, על חשבון הגדלת שטח האיחסון הדרוש לשמירת מסגרות בשכבת הערוץ של שתי התחנות המתקשרות. הרעיון של השידור ברצף: תחנה א אינה ממתינה לאישור אחרי שידור כל מסגרת, ממשיכה לשדר מסגרות ברצף. כל המסגרות ששודרו וטרם התקבל אישור, מועמדות לשידור חוזר, לכן תחנה א צריכה לשמור אותן ברשימה שנקראת "רשימת השליחה". רשימת השליחה מנוהלת בתור (FIFO).

תחנה ב מאשרת כל מסגרת שמגיעה אליה, כמו בפרוטוקול 3. גם כאן, מסגרת האישור מכילה מספר סידורי. כאשר תחנה א מקבלת אישור, היא מוציאה מרשימת השליחה את המסגרת שקבלתה אושרה.

כאשר יש שגיאות, דרוש שידור חוזר, ויש שתי שיטות מקובלות לשידור חוזר:

- **פרוטוקול 5 - חזרה אחורנית n (go back n)** - תחנה א חוזרת אחורנית, אל המסגרת הראשונה שלא אושרה, ומשדרת שוב את כל המסגרות שלא אושרו.

- **פרוטוקול 6 - חזרה סלקטיבית (selective repeat)** - תחנה א משדרת שוב רק מסגרות ששובשו או אבדו.

השיטה של חזרה סלקטיבית היא יעילה למדי, אבל היא מחייבת את תחנה ב לאחסן מסגרות באופן זמני, כי במקרה של שיבוש – המסגרות יתקבלו בתחנה ב בסדר שונה מסדר שליחתן.

בשיטתה של חזרה אחורנית n – תחנה ב צריכה לאחסן רק מסגרת יחידה (חלון קבלה ברוחב 1), לכן אינה יכולה לקבל מסגרות שלא לפי סדרן בתשדורת, ולכן נדרש שידור חוזר של כל המסגרות החל מהמסגרת המשובשת. ניצול הערוץ נמוך יותר יחסית לשיטת החזרה הסלקטיבית, אך בתחנה ב נדרש פחות זכרון.

