

מבוא לרשתות מחשבים - דף עזר

השכבה הפיזית

תפקידה לשדר ביטים בערוץ תקשורת (בין שתי תחנות)

שכבת בקרת הקו (DLC)

תפקידה להבטיח ששידור הביטים ע"י השכבה הפיזית יתבצע ללא שיבושים ולפי הסדר. היא משדרת את המידע במסגרות (Frames).

הפרדה בין מסגרות, גילוי ותיקון שגיאות

הפרדה בין מסגרות

- ע"י הוספת אורך המסגרת בתחילתה (לא טוב, גודל המסגרת חסום ושגיאה בשדה האורך תגרור רצף של שגיאות)
- ע"י הוספת דגל בין שתי מסגרות, נניח שבחרנו בדגל 01111110, אזי נדאג לכך שבכל פעם שמופיע בנתונים הרצף 11111, נוסף אחריו 0.

תיקון שגיאות

- כדי לתקן d שגיאות, מרחק המינג בין כל שתי מלים צריך להיות $2d+1$.
- המספר המינימלי r של בסיביות הגנה שיש לצרף למסגרת באורך m כדי להבטיח תיקון של שגיאה אחת, מקיים: $(m+r+1) = 2^r$. חסם זה מושג ע"י "קוד המינג".
- קוד המינג הוספת סיבי זוגיות במקומות 1,2,4,8... כל אחת מגינה על הסיביות שבפיתוח הבינארי של מספרן היא "1". (למשל: סיבית 1 תגן על סיביות 1,3,5,7,9...)

גילוי שגיאה

- כדי לגלות d שגיאות, מרחק המינג בין כל שתי מלים צריך להיות $d+1$.

קוד CRC:

נגדיר התאמה בין מילים בינאריות לפולינומים (למשל $x^5 + x^2 + 1 = 100101$).

המשדר והמקלט מסכימים על פולינום $G(x) = x^g + \dots + 1$ המקיים:

$$g = d(G) > 1$$

$$\exists S(x) \neq 0 : G(x) = (x+1)S(x)$$

אם המשדר רוצה לשדר את M(x) הוא ישדר את $T(x) = x^g M(x) - ((x^g M(x)) \% G(x))$

המקלט יקבל את $T'(x) = T(x) + E(x)$ כאשר E(x) זו השגיאה.

המקלט יבדוק $T(x) \% G(x) = 0$ אז המסגרת תקינה. אחרת - היא שגויה.

מקרים אפשריים של מספרי השגיאות (מס' השגיאות שקול למס' רכיבי E(x)):

עד g שגיאות: יתגלו בוודאות.

מספר אי-זוגי כלשהו של שגיאות יתגלה בוודאות.

מספר שגיאות r זוגי וגדול מ-g: על מנת ששגיאה לא תתגלה G(x) צריך לחלק את

$$x^{g-1} + \dots + 1$$

פרוטוקולי ARQ ב-DLC

משמשים להעברת מידע ברשתות בהן ערוצי השידור אינם משותפים לכמה תחנות. שכבת ה-DLC בצד המקבל מזהה מסגרות משובשות ומבקשת משכבת ה-DLC בצד השולח לשדרן שוב. מניחים כי אין שגיאות שלא מתגלות וכי נשמר סדר FIFO בערוץ (מסגרות לא עוקפות מסגרות אחרות).

ניצולת של פרוטוקולים

ניצולת של פרוטוקול תקשורת היא המספר הממוצע של חבילות המועברות לשכבת הרשת (כלומר: מטופלות) בפרק זמן השווה לזמן שידורי של מסגרת אחת.

תעבורה של פרוטוקול היא המספר הממוצע של חבילות המועברות לשכבת הרשת ביחידת זמן אחת. (אם מגדירים שזמן שידור מסגרת אחת הוא יחידת זמן אחת אז התעבורה שווה לניצולת)

נסמן: זמן שידור מסגרת Ti, זמן התפשטות על הקו Tp, זמן המתנה Tout (Timeout), הסתברות לשגיאה במסגרת P, הסתברות לשידור אותה מסגרת k פעמים P(k).

נגדיר: זמן המחזור Tt=Ti+Tout, בטא $\beta = \frac{Tout}{Ti}$, הזמן הממוצע לשידור מוצלח $Tv = Tt \cdot E(k) = Tt \cdot \sum kP(k)$

$$S = \frac{Ti}{Tv}$$

הניצולת:

פרוטוקול Stop and Wait ARQ

מבנה מסגרת מידע: |SN|Packet|CRC|, מבנה מסגרת תגובה: |RNICRC|.

השולח:

1. אתחל את SN ל-0.
2. המתן לחבילה חדשה מרמת הרשת וקבלה.
3. שדר את החבילה בתוך מסגרת המכילה את SN בשדה SN.
4. אם מתקבלת מסגרת תגובה שבה $RN=SN+1$ הגדל את SN ל- $SN+1$ וחזור ל-2. אם מסגרת התגובה לא מתקבלת תוך זמן $Tout$ חזור ל-3.

המקבל:

1. אתחל את RN ל-0 ובצע לעד:
 - a. אם מתקבלת מסגרת תקינה שבה $SN=RN$, הוצא ממנה את החבילה ומסור לרמת הרשת, הגדל את RN ל- $RN+1$ ושדר מסגרת תגובה עם RN בשדרה ה-RN.
 - b. אם מתקבלת מסגרת תקינה שבה $SN \neq RN$, שלח מסגרת תגובה עם RN בשדה ה-RN.
 - c. אם ממתקבלת מסגרת שגויה (לפי CRC), זרוק אותה.

שיפורים:

- שדה המספר הסידורי SN/RN מוגבל, אך הוכח שיניתן להשתמש ב-0 ו-1 בלבד ולכן מספיק ביט בודד.
- ניתן, במקום לשלוח מסגרות תגובה מיוחדות לשלוח אותן כחלק ממסגרת מידע שהמקבל רוצה לשלוח למשדר (Piggybacking). אז מסגרת מידע תראה כך: |SN|RN|Packet|CRC|.

הניצולת המקסימלית של הפרוטוקול מתקבלת כאשר $Tout=2Tp$ והיא $S_{stop-and-wait} = \frac{1-p}{1+\beta} = \frac{Ti}{Tt} (1-p)$

פרוטוקול Go-back-N ARQ

שיפור הניצולת של Stop and Wait ע"י כך שלתחנה השולחת מותר לשלוח עד n מסגרות עם חבילות שונות (ומספרים סידוריים שונים) מבלי להמתין לאישור לאחר כל מסגרת. מתקבל שבכל רגע נתון יש לשלוח חלון שמכיל רצף מספרים סידוריים שממנו הוא יכול לשלוח הודעות.

השולח:

1. אתחל את SN_{min}, SN_{max} ל-0 (אלה גבולות החלון).
2. בצע לעד:
 - a. אם $SN_{max} < SN_{min} + n + 1$ וקיימת חבילה חדשה המוכנה לשידור: הכנס אותה למסגרת שמספרה SN_{min} והגדל את SN_{max} ב-1.
 - b. אם מתקבלת מסגרת תגובה עם $RN > SN_{min}$, בצע $RN \rightarrow SN_{max}$.
 - c. אם תוך זמן $Tout$ מהרגע בו נשלחה מסגרת SN_{min} לא התקבל עבורה אישור (הודעת תגובה עם $RN > SN_{min}$), שדר אותה שוב.
 - d. התנאי הקודם קובע פרק זמן מקסימלי בין שידורים חוזרים, אולם בכל רגע מותר לשדר כל אחת מהמסגרות שבחלון שידור נוסף. (ניתן לא לנצל את האפשרות המוזכרת בשלב זה, אולם מקובל להחזיק עבור כל מסגרת שעון שאומר מתי היא שודרה לאחורונה וכשיש צורך בשידור חוזר משדרים את כל המסגרות בחלון).

המקבל: כמו בפרוטוקול Stop and Wait.

הניצולת המקסימלית מתקבלת כאשר $n=\beta+1$ והיא $S_{go_back_n} = \frac{1-p}{1+\beta p}$

פרוטוקול Selective repeat ARQ

שיפור הניצולת של Go-back-N ע"י שמירת מסגרות תקינות שהגיעו לאחר מסגרת לא תקינה, ובקשת שידור חוזר של המסגרות המשובשות בלבד.

השולח: כמו בפרוטוקול GO-back-N.

המקבל: כמו בפרוטוקול Go-back-N, עם השינויים הבאים:

- התחנה מסכימה לקבל לא רק את מסגרת RN, אלא כל מסגרת מהתחום $(RN, RN+M-1)$.
 - כמו ב-Go-back-N, הערך של RN צריך להישלח מדי פעם לתחנה השולחת, אך בנוסף מצורף מידע לגבי המסגרות שבתחום $(RN, RN+M-1)$ אותן אין צורך לשדר שוב.
- גודל החלון האופטימלי של השולח הוא $i\beta-1$, כאשר i הוא המספר המקסימלי של פעמים שיש לשלוח מסגרת עד שתגיע בצורה תקינה.

הניצולת המקסימלית מתקבלת כאשר נשמרות כל המסגרות התקינות שהגיעו לאחר מסגרת לא תקינה (צריך חוצץ אינסופי), וכאשר מניחים כי הגודל החלון הוא אופטימלי (אינסופי במקרה הכללי, כי לא ידוע חסם על i), והיא $S_{selective_repeat} = 1-P$ זו גם הניצולת המרבית שניתן להשיג בכלל.

פרוטוקולי MAC

כאשר ערוצי השידור ברשת משותפים לכמה תחנות, מחלקים את שכבת ה-DLC לשתי תת-שכבות: שכבת ה-MAC ושכבת ה-LLC. פרוטוקולי ה-MAC מאפשרים לכל התחנות ברשת לשדר מבלי להפריע זו לזו. שכבת ה-LLC אסורה להוסיף אמינות לשידור אך בדר"כ לא קיימת בשל אמינותם הגבוהה של הקווים.

תורת התורים

- מתייחסים לקו התקשורת התקשורת כאל תור: חבילות מגיעות באקראי ומחכות בתור להתפנות הקו. ותור התורים מאפשרת קביעת הסטטיסטיקה של התור: זמן המתנה ממוצע בתור, מס' חבילות ממתנות, והסתברות לאיבוד או חסימה של חבילה בהגיעה לתור. אנחנו נדון בתור מסוים: M/M/1.

התפלגות פואסונית:

- הגעת מופעים בזמנים אקראיים ובלתי תלויים עם קצב ממוצע קבוע.
- פרמטר המאפיין את ההתפלגות הוא λ והוא המספר הממוצע של אירועים ביחידת זמן.
- הסתברות ל-k מופעים ביחידת זמן: $P(k, \lambda, t) = \frac{(\lambda t)^k}{k!} \cdot e^{-\lambda t}$ כאשר k מס' מופעים, λ קצב ההגעה ו-t מס' הזמן.
- תוחלת מספר המופעים ב-t יחידות זמן: $E(t) = \lambda t$.
- הפרש הזמן בין המופעים מתפלג מעריכית עם פונקציית צפיפות $f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$.

תור M/M/1 מוגדר ע"י:

- קצב כניסה של חבילות לתור: פואסוני עם פרמטר λ .
- קצב שירות (טיפול בחבילות): פואסוני עם פרמטר μ .
- החבילות מטופלות לפי FIFO.

אנליזה של תור M/M/1:

- נסמן את ההסתברות שבתור ישנן i חבילות ב-Pi ונסמן $\rho = \frac{\lambda}{\mu}$.
- נתאר את התור כאוטומט מצבים שבו האוטומט נמצא במצב i אמ"מ יש i חבילות בתור, על הקשתות נרשום את ההסתברות למעבר. על הקשתות ממצב i למצב i+1 נרשום λP_i ועל הקשת שבכוון ההפוך נרשום μP_{i+1} .
- נגדיר: התור נמצא במצב יציב אם קצב המעברים ממצב i למצב i+1 שווה לקצב המעברים ממצב i+1 למצב i. התנאי למצב יציב: $\rho < 1$.

$$P_k = \rho^k (1 - \rho)$$

$$\text{מתקיים } \bar{N} = \frac{\rho}{1 - \rho} \quad (\text{תוחלת מספר החבילות בתור}).$$

$$\text{משפט Little עבור תור M/M/1: מתקיים } \bar{T} = \frac{1}{\mu - \lambda} \quad (\text{תוחלת זמן השהייה בתור})$$

- ניתן לחלק את התור למס' ערוצים כמספר המקסימלי של תחנות שיכולות לשדר בו זמנית (גניח N) חלוקה פיסית (FDM) או חלוקה לוגית (TDM). בכל מקרה נקבל כי $\bar{T} = \frac{N}{(c)\mu - \lambda}$ (c קיבולת הערוץ), כלומר: זמן ההמתנה הממוצע גדל פי N (אך פתרנו את בעיית השימוש הבו זמנית בקו). עדיף לכן להשתמש בפרוטוקולי MAC המטפלים בכך טוב יותר.

פרוטוקול ALOHA

- הנחות: ישנם אינסוף משתמשים על הערוץ המשותף.
 - זמן שידור חבילה הוא יחידת זמן אחת. (לכן התעבורה והניצולת זהות).
 - קצב הופעת החבילות פואסוני עם ממוצע G חבילות ליחידת זמן.
- הפרוטוקול:
- המתן לקבלת חבילה חדשה מהשכבה שלמעלה.
 - שדר מיד את החבילה והאזן לקו. אם היתה התנגשות, המתן מס' אקראי של יחידות זמן ובצע שידור חוזר. אחרת חזור ל-1.

$$P(1, G, 2) \quad S_{ALOHA} = Ge^{-2G} \quad (\text{המקסימום מתקבל כאשר } G=0.5 \text{ והוא } 0.18)$$

פרוטוקול Slotted ALOHA

כמו פרוטוקול ALOHA, אבל ציר הזמן מחולק להרצים בדידים ברוחב זמן שידור מסגרת (=יחידת זמן אחת), ובשלב 2, במקום לשדר מיד את החבילה, מחכים לתחילת חריץ הזמן הבא ואז משדרים. הדבר משפר את הניצולת משום שכעת פרק הזמן שבו מסגרת חשופה להפרעות יורד ליחידת זמן אחת (במקום 2 ב-ALOHA)

$$P(1, G, 1) \quad S_{SlottedALOHA} = Ge^{-G} \quad (\text{המקסימום מתקבל כאשר } G=1 \text{ והוא } 0.36)$$