206374498 + 325483444

בשני החלקים הפרוטוקול הוא ipv4
חלק א׳ מוסבר באופן מפורט על גבי הקוד בהערות מפורטות.

RUDP Code Explanation

סוקט RUDP במימוש שלנו מתפקד כערוץ תקשורת אמין המבוסס על .UDP הפרוטוקול בנוי בצורה כזו שכל הודעה הנשלחת על גבי UDP כוללת מבנה נתונים עם פרמטרים ספציפיים. מבנה זה כולל ראש חבילה (header) המכיל את סוג החבילה, נתונים כגון checksum ו seq_num-על מנת לוודא את מהימנות ושלמות החבילה, וכמובן את הנתונים הנשלחים.

תהליך יצירת הקשר
תהליך לחיצת היד מתחיל בשליחת חבילה עם דגל ייחודי המציין את פתיחת הקשר ולאחר מכן המתנה לקבלת חבילת אישור עם דגלים מתאימים. אם לא מתקבל אישור לאחר מספר ניסיונות מוגדר, הפונקציה מפסיקה לנסות ומחזירה שגיאה.

העברת נתונים
לאחר יצירת הקשר, העברת הקובץ מתבצעת בשיטת המתנה ואישור. הפונקציה מחלקת את הקובץ לחבילות בגודל המוגדר ומתחילה לשלוח אותן אחת אחרי השנייה. כל חבילה נשלחת ומחכה לקבלת אישור לפני שליחת החבילה הבאה. אם לא מתקבל אישור לאחר זמן מוגדר, החבילה נשלחת שוב.

קבלת נתונים
פונקציית הקבלה שולחת אישור לשולח עבור כל חבילה שקיבלה ומכניסה את המידע למקום המתאים בזיכרון. אם מתקבלת חבילת סגירת קשר, הפונקציה שולחת אישור וסוגרת את הקשר לאחר המתנה לוודא שהאישור התקבל.

התמודדות עם TIMEOUT
ההתמודדות עם זמן קצוב מתבצעת על ידי הגדרת הסוקט כמו שהוצע במטלה, ובנוסף שימוש בלולאות לוודא שהתקבלו כל האישורים המתאימים או שנגמר הזמן המוגדר.

API למימוש RUDP
הפונקציות הבאות מספקות ממשק עבור הפרוטוקול:

יצירת סוקט RUDP
פתיחת קשר בין שני צמתים.
הקשבה לבקשות חיבור נכנסות.
שליחת נתונים לצומת המרוחק.
קבלת נתונים מהצומת המרוחק.
סגירת סוקט.RUDP
המימוש הנוכחי מבטיח העברת נתונים אמינה, גם במקרים של אובדן חבילות, אם כי הוא לא בהכרח מהיר או מתוחכם במיוחד. לפרטים נוספים על המימוש ניתן לעיין בקבצי הקוד המצורפים.

206374498 + 325483444

Part C

TCP: reno & Cubic

בעקבות החלק של הבונוס שבו הרצנו את התוכנית 4*4 פעמים, כל פעם עם 4 אפשרויות של אובדן חבילות, ובכל ריצה שלחנו את הקובץ 5 פעמים, יצרנו קובץ גדול בגודל 2 מגה־בייט באמצעות הפונקציה C, שניתנה בנספח ושלחנו את הקובץ הגדול דרך TCP_Sender־ל TCP_Receiver.

לפני כן, הכנו טבלאות השוואה של הנתונים.

Scenario	Average Time (ms)	Average Bandwidth (MB/s)
Reno to Reno		
0% Packet Loss	0.55	3908.86
2% Packet Loss	0.60	3364.13
5% Packet Loss	0.62	3305.19
10% Packet Loss	0.62	3305.19
Cubic to Reno		
0% Packet Loss	0.78	2719.30
2% Packet Loss	0.70	3009.42
5% Packet Loss	0.61	3341.49
10% Packet Loss	0.64	3153.87
Cubic to Cubic		
0% Packet Loss	0.64	3406.15
2% Packet Loss	0.79	2648.80
5% Packet Loss	0.81	2745.85
10% Packet Loss	0.70	3115.86
Reno to Cubic		
0% Packet Loss	0.71	2892.67
2% Packet Loss	0.68	3235.99
5% Packet Loss	0.68	3045.86
10% Packet Loss	0.86	2491.15

גרם לירידה Reno בסקירה של הטבלה, ניתן להבחין כי עם עליית אובדן המידע, השימוש באלגוריתם שמר על ביצועים יחסית יציבים, גם כאשר אובדן המידע Cubic בביצועים. מתוך זאת הגענו למסקנה כי הציגה את הביצועים הטובים ביותר Reno ל Reno, עלה. ללא אובדן מידע.

*****בכדי למנוע כפילויות*****

+ נשים לב שבכל הריצות, למרות שיש 0% איבוד פאקט לוס עדיין יש איבוד מידע!

+ מקרה שכיח, wireshark לא מקבל ack , שולח ack כפול, מפספס ack כפול ברצף

206374498 + 325483444

From Reno to Reno

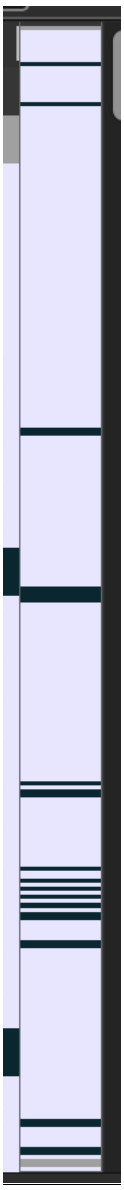
- **0% packet loss**

  * Statistics *
  Run #1 Data: Time=0.77 ms ; Speed=2604.17MB/s
  Run #2 Data: Time=0.67 ms ; Speed=2967.36MB/s
  Run #3 Data: Time=0.44 ms ; Speed=4494.38MB/s
  Run #4 Data: Time=0.39 ms ; Speed=5102.04MB/s
  Run #5 Data: Time=0.46 ms ; Speed=4376.37MB/s
  - Average time: 0.55 ms
  - Average bandwidth: 3908.86 MB/s

206374498 + 325483444

- **<u>2% packet loss</u>**

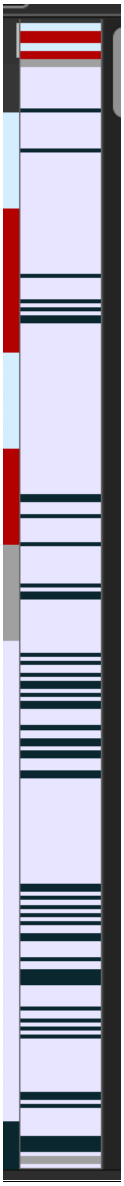
  * Statistics *
  Run #1 Data: Time=0.70 ms ; Speed=2853.07MB/s
  Run #2 Data: Time=0.51 ms ; Speed=3944.77MB/s
  Run #3 Data: Time=0.58 ms ; Speed=3454.23MB/s
  Run #4 Data: Time=0.61 ms ; Speed=3257.33MB/s
  Run #5 Data: Time=0.60 ms ; Speed=3311.26MB/s
  - Average time: 0.60 ms
  - Average bandwidth: 3364.13 MB/s



206374498 + 325483444

- **<u>5% packet loss</u>**

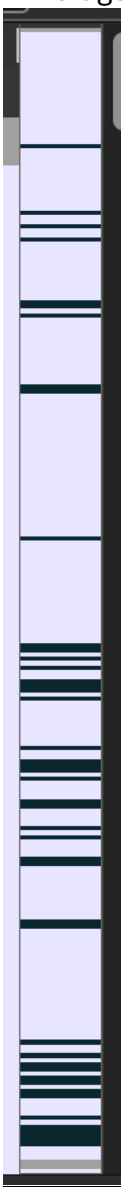
  * Statistics *
  Run #1 Data: Time=0.65 ms ; Speed=3081.66MB/s
  Run #2 Data: Time=0.50 ms ; Speed=3992.02MB/s
  Run #3 Data: Time=0.76 ms ; Speed=2621.23MB/s
  Run #4 Data: Time=0.60 ms ; Speed=3322.26MB/s
  Run #5 Data: Time=0.57 ms ; Speed=3508.77MB/s
  - Average time: 0.62 ms
  - Average bandwidth: 3305.19 MB/s



206374498 + 325483444

- **<u>10% packet loss</u>**

* Statistics *
Run #1 Data: Time=0.65 ms ; Speed=3081.66MB/s
Run #2 Data: Time=0.50 ms ; Speed=3992.02MB/s
Run #3 Data: Time=0.76 ms ; Speed=2621.23MB/s
Run #4 Data: Time=0.60 ms ; Speed=3322.26MB/s
Run #5 Data: Time=0.57 ms ; Speed=3508.77MB/s
- Average time: 0.62 ms
- Average bandwidth: 3305.19 MB/s

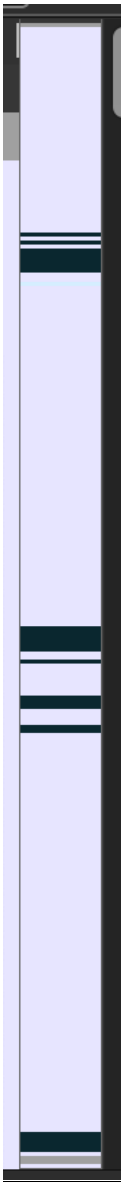


206374498 + 325483444

From Reno to Cubic

- **0% packet loss**

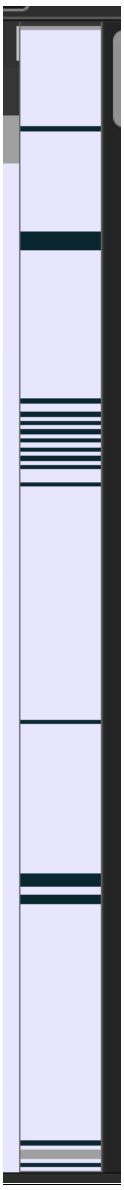
  * Statistics *
  Run #1 Data: Time=1.21 ms ; Speed=1657.00MB/s
  Run #2 Data: Time=0.64 ms ; Speed=3129.89MB/s
  Run #3 Data: Time=0.73 ms ; Speed=2739.73MB/s
  Run #4 Data: Time=0.72 ms ; Speed=2758.62MB/s
  Run #5 Data: Time=0.60 ms ; Speed=3311.26MB/s
  - Average time: 0.78 ms
  - Average bandwidth: 2719.30 MB/s



206374498 + 325483444

- **<u>2% packet loss</u>**

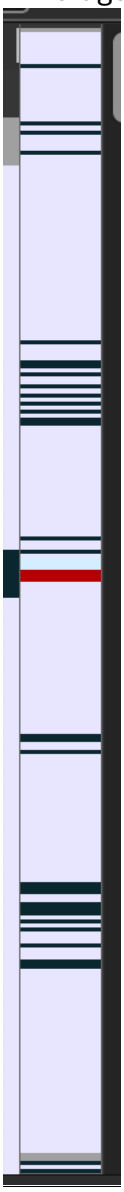
  * Statistics *
  Run #1 Data: Time=0.99 ms ; Speed=2028.40MB/s
  Run #2 Data: Time=0.62 ms ; Speed=3241.49MB/s
  Run #3 Data: Time=0.55 ms ; Speed=3669.72MB/s
  Run #4 Data: Time=0.57 ms ; Speed=3496.50MB/s
  Run #5 Data: Time=0.77 ms ; Speed=2610.97MB/s
  - Average time: 0.70 ms
  - Average bandwidth: 3009.42 MB/s



206374498 + 325483444

- **<u>5% packet loss</u>**

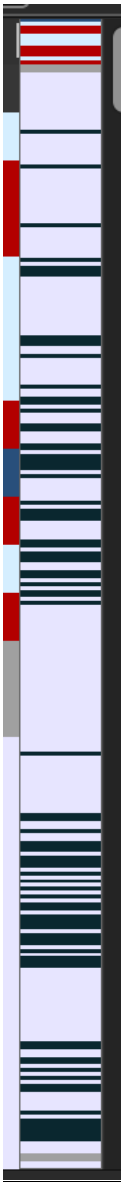
* Statistics *
Run #1 Data: Time=0.63 ms ; Speed=3194.89MB/s
Run #2 Data: Time=0.52 ms ; Speed=3838.77MB/s
Run #3 Data: Time=0.51 ms ; Speed=3937.01MB/s
Run #4 Data: Time=0.62 ms ; Speed=3205.13MB/s
Run #5 Data: Time=0.79 ms ; Speed=2531.65MB/s
- Average time: 0.61 ms
- Average bandwidth: 3341.49 MB/s



206374498 + 325483444

- **<u>10% packet loss</u>**

  * Statistics *
  Run #1 Data: Time=0.60 ms ; Speed=3327.79MB/s
  Run #2 Data: Time=0.53 ms ; Speed=3759.40MB/s
  Run #3 Data: Time=0.71 ms ; Speed=2824.86MB/s
  Run #4 Data: Time=0.69 ms ; Speed=2894.36MB/s
  Run #5 Data: Time=0.68 ms ; Speed=2962.96MB/s
  - Average time: 0.64 ms
  - Average bandwidth: 3153.87 MB/s

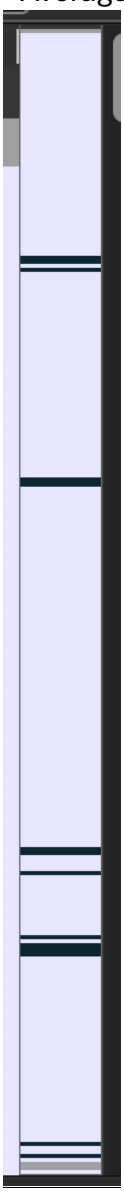


206374498 + 325483444

From Cubic to Reno

- **0% packet loss**

* Statistics *
Run #1 Data: Time=0.92 ms ; Speed=2178.65MB/s
Run #2 Data: Time=0.61 ms ; Speed=3267.97MB/s
Run #3 Data: Time=0.76 ms ; Speed=2635.05MB/s
Run #4 Data: Time=0.58 ms ; Speed=3466.20MB/s
Run #5 Data: Time=0.69 ms ; Speed=2915.45MB/s
- Average time: 0.71 ms
- Average bandwidth: 2892.67 MB/s

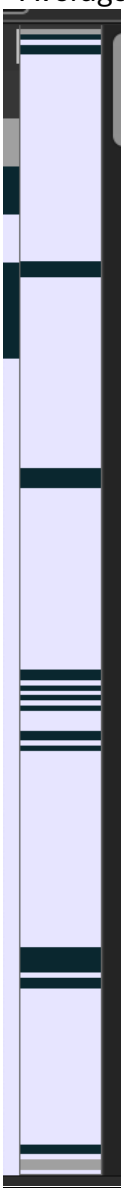


206374498 + 325483444

- **<u>2% packet loss</u>**

* Statistics *

Run #1 Data: Time=1.17 ms ; Speed=1703.58MB/s
Run #2 Data: Time=0.56 ms ; Speed=3558.72MB/s
Run #3 Data: Time=0.57 ms ; Speed=3502.63MB/s
Run #4 Data: Time=0.55 ms ; Speed=3669.72MB/s
Run #5 Data: Time=0.53 ms ; Speed=3745.32MB/s
- Average time: 0.68 ms
- Average bandwidth: 3235.99 MB/s



206374498 + 325483444

- **<u>5% packet loss</u>**

* Statistics *
Run #1 Data: Time=0.87 ms ; Speed=2296.21MB/s
Run #2 Data: Time=0.54 ms ; Speed=3738.32MB/s
Run #3 Data: Time=0.63 ms ; Speed=3154.57MB/s
Run #4 Data: Time=0.79 ms ; Speed=2525.25MB/s
Run #5 Data: Time=0.57 ms ; Speed=3514.94MB/s
- Average time: 0.68 ms
- Average bandwidth: 3045.86 MB/s

206374498 + 325483444

- **<u>10% packet loss</u>**

  * Statistics *

  Run #1 Data: Time=1.28 ms ; Speed=1560.06MB/s
  Run #2 Data: Time=0.75 ms ; Speed=2670.23MB/s
  Run #3 Data: Time=0.64 ms ; Speed=3144.65MB/s
  Run #4 Data: Time=0.66 ms ; Speed=3044.14MB/s
  Run #5 Data: Time=0.98 ms ; Speed=2036.66MB/s
  - Average time: 0.86 ms
  - Average bandwidth: 2491.15 MB/s

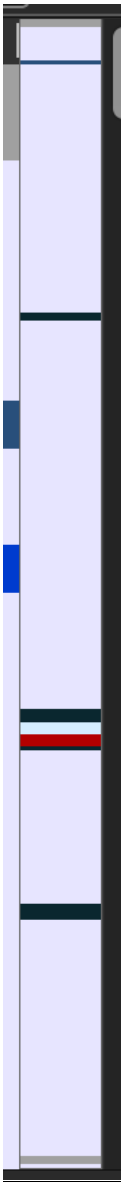
206374498 + 325483444

From Cubic to Cubic

- **0% packet loss**

  * Statistics *

  Run #1 Data: Time=0.90 ms ; Speed=2232.14MB/s
  Run #2 Data: Time=0.63 ms ; Speed=3154.57MB/s
  Run #3 Data: Time=0.56 ms ; Speed=3546.10MB/s
  Run #4 Data: Time=0.38 ms ; Speed=5277.04MB/s
  Run #5 Data: Time=0.71 ms ; Speed=2820.87MB/s
  - Average time: 0.64 ms
  - Average bandwidth: 3406.15 MB/s

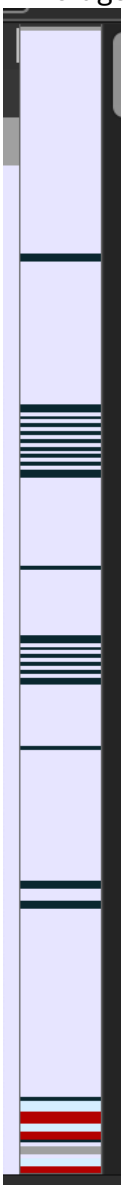


206374498 + 325483444

- **<u>2% packet loss</u>**

* Statistics *

Run #1 Data: Time=1.06 ms ; Speed=1888.57MB/s
Run #2 Data: Time=0.75 ms ; Speed=2656.04MB/s
Run #3 Data: Time=0.54 ms ; Speed=3717.47MB/s
Run #4 Data: Time=0.90 ms ; Speed=2234.64MB/s
Run #5 Data: Time=0.73 ms ; Speed=2747.25MB/s
- Average time: 0.79 ms
- Average bandwidth: 2648.80 MB/s



206374498 + 325483444

- **<u>5% packet loss</u>**

* Statistics *

Run #1 Data: Time=1.32 ms ; Speed=1514.00MB/s
Run #2 Data: Time=0.72 ms ; Speed=2789.40MB/s
Run #3 Data: Time=0.51 ms ; Speed=3898.64MB/s
Run #4 Data: Time=0.88 ms ; Speed=2285.71MB/s
Run #5 Data: Time=0.62 ms ; Speed=3241.49MB/s
- Average time: 0.81 ms
- Average bandwidth: 2745.85 MB/s

206374498 + 325483444

- **<u>10% packet loss</u>**

  * Statistics *

  Run #1 Data: Time=0.42 ms ; Speed=4728.13MB/s
  Run #2 Data: Time=0.59 ms ; Speed=3367.00MB/s
  Run #3 Data: Time=0.66 ms ; Speed=3044.14MB/s
  Run #4 Data: Time=1.05 ms ; Speed=1908.40MB/s
  Run #5 Data: Time=0.79 ms ; Speed=2531.65MB/s
  - Average time: 0.70 ms
  - Average bandwidth: 3115.86 MB/s

206374498 + 325483444

Part C

1. כפי שנתקלנו בניתוח הנתונים, כאשר אין אובדן נתונים, רנו תמיד הציגה את הביצועים הטובים ביותר. אך עם עליית האובדן בנתונים, קיוביק הציגה ביצועים יציבים יחסית בהשוואה לרנו, שהראתה ירידה חדה יותר.
כתוצאה מכך, נראה שקיוביק עשויה להיות פתרון יעיל יותר בתנאים של אובדן מידע מתמשך.

2. לאחר השוואת הביצועים של שני הפרוטוקולים, בחרנו להשתמש ב־Reno עבור TCP. ההשוואה הדגישה את יעילותו הרבה יותר של TCP ביחס ל־RUDP שלנו, במיוחד כאשר התקבלה איבוד גבוהה של מידע. מהירות העברת המידע הממוצעת הייתה גבוהה יותר עבור TCP, והזמן הממוצע לשליחת הקובץ היה נמוך יותר. בנוסף, במימוש שלנו של RUDP, נעסקנו בבקרת זרימה על ידי שיטת "stop and wait", שהיא פחות מהירה מהשיטות האחרות. דגשנו על העברת מידע אמינה יותר מאשר על העברה מהירה של המידע.

להלן זמני הריצה שיצאו לנו בארבעת המקרים:
rudp

0% Packet Loss

```
Run #1 Data: Time=0.008516 S ; Speed=234.852043 MB/S
Run #2 Data: Time=0.008787 S ; Speed=227.608968 MB/S
Run #3 Data: Time=0.006891 S ; Speed=290.233638 MB/S
Run #4 Data: Time=0.010070 S ; Speed=198.609732 MB/S
Run #5 Data: Time=0.005985 S ; Speed=334.168755 MB/S

Average time: 0.008050 S
Average speed: 257.094627 MB/S
```

2% Packet Loss

```
Run #1 Data: Time=0.006650 S ; Speed=300.751880 MB/S
Run #2 Data: Time=0.006368 S ; Speed=314.070352 MB/S
Run #3 Data: Time=0.006946 S ; Speed=287.935502 MB/S
Run #4 Data: Time=0.006348 S ; Speed=315.059861 MB/S
Run #5 Data: Time=0.006789 S ; Speed=294.594196 MB/S

Average time: 0.006620 S
Average speed: 302.482358 MB/S
```

5% Packet Loss

```
Run #1 Data: Time=0.006642 S ; Speed=301.114122 MB/S
Run #2 Data: Time=0.006349 S ; Speed=315.010238 MB/S
Run #3 Data: Time=0.006503 S ; Speed=307.550361 MB/S
Run #4 Data: Time=0.005579 S ; Speed=358.487184 MB/S
Run #5 Data: Time=0.006271 S ; Speed=318.928401 MB/S

Average time: 0.006269 S
Average speed: 320.218061 MB/S
```

206374498 + 325483444

10% Packet Loss

```
Run #1 Data: Time=0.007292 S ; Speed=274.273176 MB/S
Run #2 Data: Time=0.007387 S ; Speed=270.745905 MB/S
Run #3 Data: Time=0.009089 S ; Speed=220.046210 MB/S
Run #4 Data: Time=0.012500 S ; Speed=160.000000 MB/S
Run #5 Data: Time=0.008718 S ; Speed=229.410415 MB/S

Average time: 0.008997 S
Average speed: 230.895141 MB/S
```

3. למרות קיום מימושים יעילים ומהירים יותר של RUDP, בהתבסס על המימוש שלנו ועל ניתוח התוצאות שהצגנו, נבחר להשתמש תמיד ב־TCP.
בחירת השימוש ב־TCP מתבססת למעשה על היציבות והאמינות שהוא מציע עבור הצרכים שלנו.

206374498 + 325483444

Part D – Open

שאלה 1

הגדלת סף ההתחלה האיטית (SSThreshold) ב TCP-בתחילת חיבור מועילה ביותר בתרחישים שבהם יש RTT גדול (זמן נסיעה הלוך ושוב) והחיבור ארוך. הסיבה לכך היא ש RTT-גדול מציין שיש latency משמעותי ברשת, וחיבור ארוך אומר שיש כמות משמעותית של נתונים לשלוח.

אזי, התרחיש שבו השינוי הזה יהיה הכי מועיל הוא:

בקשר ארוך על גבי רשת לא אמינה עם RTT גדול.

RTT גדול: RTT גדול מרמז שלוקח זמן ניכר לחבילה לעבור מהשולח למקבל ובחזרה. במקרים כאלה, האלגוריתם של TCP Slow Start עלול לגרום לכך שהשולח לא ינצל את רוחב הפס הזמין באותו הרגע במהלך השלב הראשוני של החיבור בשל האופי העקבי של בקרת הצפיפות של TCP.

קשר ארוך: בחיבור ארוך, יש כמות משמעותית של נתונים להעביר. אם השולח עקבי מדי בקצב השידור הראשוני שלו בגלל SSTthreshold קטן, עשוי לקחת די הרבה זמן עד לקצב השליחה האופטימלי, מה שיוביל לתפוקה לא אופטימלית לאורך כל החיבור, לכן כדאי לקחת קשר ארוך על מנת למנוע מצב שבו קצב השליחה יקטן/יאבד פקטות בגלל עומס יתר.

רשת לא אמינה: רשת לא אמינה מציגה אובדן פקטות, מה שיכול להפעיל מנגנוני בקרת עומס של TCP. על ידי הגדלת SSTthreshold בתחילת החיבור, TCP יכול להשיג קצב שליחה ראשוני גבוה יותר, עם פוטנציאל למלא את צינור הרשת מהר יותר לפני שמתרחשים אירועי עומס הגורמים לאיבוד פקטות. דבר זה יכול לעזור להפחית את ההשפעה של אובדן פקטות על הthroughput, במיוחד בתרחישים שבהם יש RTT גדול ומשך חיבור ארוך.

לסיכום, הגדלת SSTthreshold ב-TCP בתחילת קשר ארוך ברשת לא אמינה עם RTT גדול יכולה לסייע באופטימיזציה של התפוקה בכך שהיא מאפשרת לשולח להעלות את מהירות קצב השליחה שלו ולנצל טוב יותר את רוחב הפס הזמין לפני שמתרחשים אירועי עומס, ובכך ממקסמים את ההשפעה המירבית של הגדלת ה SSTthreshold בתחילת הקשר.

206374498 + 325483444

<u>שאלה 2</u>

בהתחשב בכך ש-$rwnd > MSS * S$
ניתן להסיק ש S צריכה להיות קטנה מ $\frac{rwnd}{MSS}$

כמו כן, מכיוון שהחיבור מסתיים בפעם הראשונה שהוא מגיע לביטוי $SSthresh = S * MSS$

הערך של S לא צריך לחרוג מ $\frac{SSthresh}{MSS}$

דרך חישוב: נתחיל לשלוח 1, ובכל פעם נכפיל ב2 (בלי איבוד מידע ולכן לא יפול אף פעם).
ולכן כמות הפעמים שנשלח הוא $\log s$, וכל חבילה עם זמן העברה RTT

מכן נקבל שהזמן שיתקבל הוא log s * RTT .

ולכן נסכום מi=0 עד $\log s$ את 2 בחזקת i . וכל שליחה בגודל mss לפי הנתונים.

חישוב הסיגמה מראה ש-א׳ נכונה.

התפוקה תהיה ~

$$2S * \frac{MSS}{logS * RTT}$$

206374498 + 325483444

שאלה 3

Packet Size = 4 Kbyte = 4000 bytes
Distance = 1000 meters
Propagation = 2 x 10^8
bandwidth = 8 Gbps = 8,000,000,000 Bps

1. **Round Time Trip (RTT):**
$$RTT = Delay\ Time * 2 + Transmition\ Delay$$
2. **Window Size:**
$$Window\ Size = \frac{RTT * Propagation}{Packet\ Size}$$
3. **Delay Time:**
$$\frac{Distance}{Propagation\ Speed}$$
4. **Transmission Delay:**
$$\frac{Packet\ Size}{Propagation\ Speed}$$

א) x = 4

ב) נציב בנוסחות הנתונות למציאת Window Size כאשר אנחנו מקבלים תפוקה מקסימלית.

נמצא את ה $Delay\ Time$:

$$= \frac{1000\ m}{2 * 10^8 \frac{m}{s}} = \frac{1}{2 * 10^5} = 0.0005\ s$$

נמצא את ה $Transmition\ Delay$:

$$RTT = \frac{Packet\ Size}{Bandwidth} = \frac{4 * 10^3 * 8}{2 * 10^9} = 0.000004\ s$$

נמצא את ה RTT:

$$RTT = 2 * 0.0005 + 0.000004 = 0.001004$$

לבסוף נחשב את ה Window Size בעזרת מה שחישבנו:

$$Window\ Size = \frac{8 * 10^9 * 0.001004}{4 * 8 * 10^3} = 251$$

קיבלנו שכדי למקסם את הthroughput הwindow size שלנו יהיה בגודל 251 פקטות, (בלי איבוד נתונים)
כאשר המצב הוא עם הנתונים שקיבלנו בשאלה.