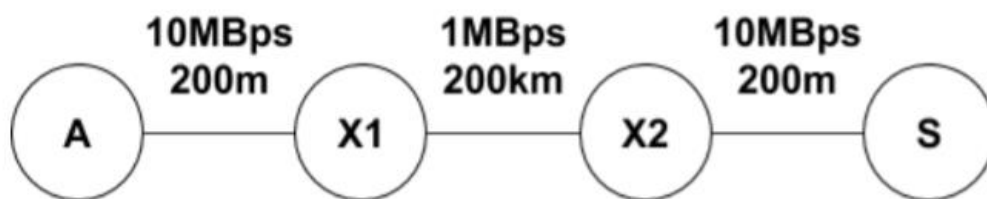


מבוא לרשתות תקשורת – תרגיל 4

שאלה 1

מחשב A מחובר לשרת web שכתובתו 9.42.41.3 דרך שני נתבים X1, X2 כמתואר בתרשים. A שולח בקשה לדף שמכיל רק אובייקט אחד (בנוסף לטקסט עצמו), ועם קבלתו מבקש את אותו אובייקט. גודל הבקשה 100 בתים, גודל הדף 900 בתים וגודל האובייקט 1800 בתים. שני הנתבים מקושרים זה לזה בערוץ פיבראופטי, עם גודל מסגרת מרבית של 1000 בתים, ואילו המחשבים מחוברים לנתבים ב-Ethernet עם גודל מסגרת מרבית (MTU) של 1500 בתים. קצב ההתפשטות 200,000 ק"מ לשנייה ומשתמשים ב-HTTP 1.1 אין תקשורת אחרת.



- א. כמה זמן ייקח עד שהדף והתמונה יגיעו למחשב A?
- ב. מה (אם בכלל) יהיה השינוי בסעיף הראשון, אם נשתמש ב-HTTP 1.0?
- ג. הניחו כי ל-X1 מחוברים עוד 3 לקוחות בדומה ל-A, וכל לקוח מבקש את הדף בהסתברות 20% מדי יום לפני ש-A מבקש (הדף משתנה מדי יום). כמה זמן, בממוצע, ייקח עד קבלת הדף והתמונה ב-A, אם מותקן web-proxy בנתב X1? כנ"ל אם מותקן web-proxy בנתב X2?

פתרון

א.

$$d_p = \frac{200m}{200,000Km/s} + \frac{200Km}{200,000Km/s} + \frac{200m}{200,000Km/s} = 1.002ms$$

התחיליות הוא: TCP Header = 20B, IP Header = 20B ולכן נקבל כי זמן ה"Handshake" שכולל את השהיית השידור של

$$\text{Handshake} = 2 \cdot (d_p + d_{t_{A \rightarrow x1}} + d_{t_{x1 \rightarrow x2}} + d_{t_{x2 \rightarrow S}}) = 2 \cdot (1.002ms + \frac{40B}{10Mbps} + \frac{40B}{1Mbps} + \frac{40B}{10Mbps}) = 2.1ms$$

$$\text{HTTP Request} = d_{t_{A \rightarrow x1}} + d_{t_{x1 \rightarrow x2}} + d_{t_{x2 \rightarrow S}} = \frac{140B}{10Mbps} + \frac{140B}{1Mbps} + \frac{140B}{10Mbps} + 1.002ms = 1.17ms$$

$$\text{HTTP response(file)} = d_{t_{A \rightarrow x1}} + d_{t_{x1 \rightarrow x2}} + d_{t_{x2 \rightarrow S}} + d_p = \frac{940B}{10Mbps} + \frac{940B}{1Mbps} + \frac{940B}{10Mbps} + 1.002ms = 2.13ms$$

מאחר ונתון הנתבים מקושרים זה לזה בערוץ פיבראופטי, עם גודל מסגרת מרבית של 1000 בתים תתבצע סגמנטציה והחבילות ישלחו באופן הבא:

חבילה 1:

IP header=20B

TCP header=20B

Data=960B

חבילה 2:

IP header=20B

TCP header=20B

Data=880B

הזמן שייקח לשרת לשלוח ללקוח את שתי החבילות הוא:

$$d_{t(\text{first_package})} = d_{t_{A \rightarrow x1}} + d_{t_{x1 \rightarrow x2}} + d_{t_{x2 \rightarrow S}} = \frac{1000B}{10Mbps} + \frac{1000B}{1Mbps} + \frac{1000B}{10Mbps} = 1.2ms$$

$$d_{t(\text{second_package})} = d_{t_{A \rightarrow x1}} + d_{t_{x1 \rightarrow x2}} + d_{t_{x2 \rightarrow S}} = \frac{880B}{10Mbps} + \frac{880B}{1Mbps} + \frac{880B}{10Mbps} = 1.056ms$$

נשים לב כי ישנה השהיית תור בנתב מספר 2 ולכן סה"כ הזמן להעברת שתי החבילות ללקוח הוא:

$$d_{t(\text{first_package})} + d_q + d_{t(\text{second_package})} + d_p = 1.2 + 0.912 + 1.056 + 1.002 = 4.17ms$$

הזמן שייקח עד שהתמונה והדף יגיעו למחשב הוא סכום כל הזמנים ולכן הזמן הוא 9.57ms

ב. אם נשתמש ב HTTP 1.0 החיבור יהיה non-persistent, לכן נצטרך לסגור את החיבור ולפתוח חיבור אחר בשביל להוריד את האובייקט. האובייקט גדול מה MTU הנתון ועל מנת לשלוח אותו ביצענו פרגמנטציה לכן במקרה זה הוא ישלח שוב בשתי חבילות אך הפעם גודל החלון יהיה 1 משום שהוא מתאפס ולכן הוא ישלח באמצעות שליחת החבילה הראשונה, קבלת ack על החבילה ורק לאחר מכן שליחת החבילה השנייה דבר שיגרור זמן נוסף לכל התהליך של הגעת הדף והתמונה למחשב A.

ג. ראשית נסמן את הזמן שלוקח לקבל את הדף אם הוא נמצא ב-proxy ב- x_1 . במידה והדף אינו נמצא ב-proxy נסמן ב- x_2 את הזמן שייקח לקבל את הדף.
נתון ש כל לקוח מבקש את הדף בהסתברות 20% מידי יום לפני ש-A מבקש ולכן ההסתברות שאף אחד לא ביקש לפני A היא 0.8^3 ולכן הזמן הממוצע יהיה: $(1 - 0.8^3)x_1 + 0.8^3x_2$

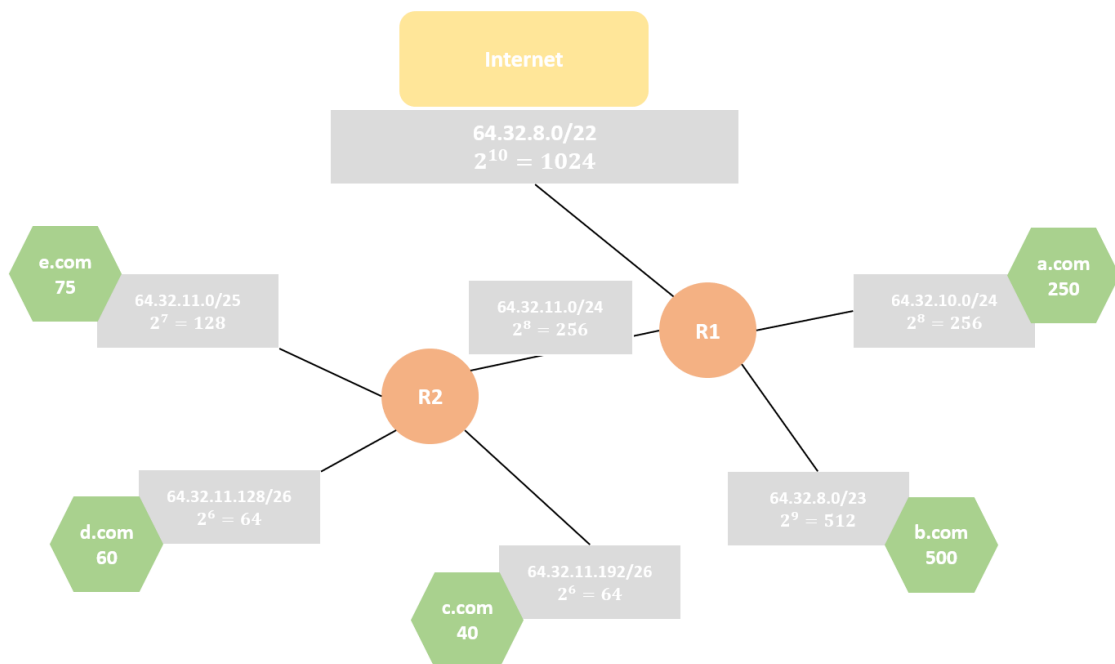
שאלה 2

ספק אינטרנט קיבל בלוק כתובות 64.32.8.0/22 שמתוכו עליו להקצות כתובות לחמישה לקוחות (להלן) באופן יעיל ביותר כאשר הוא משתמש **במספר מינימלי של נתבים**. לכל נתב לכל היותר ארבעה ממשקי רשת (שיזוהו ע"י המספרים 1 עד 4).

לקוח	a.com	b.com	c.com	d.com	e.com
מספר מחשבים	250	500	40	60	75

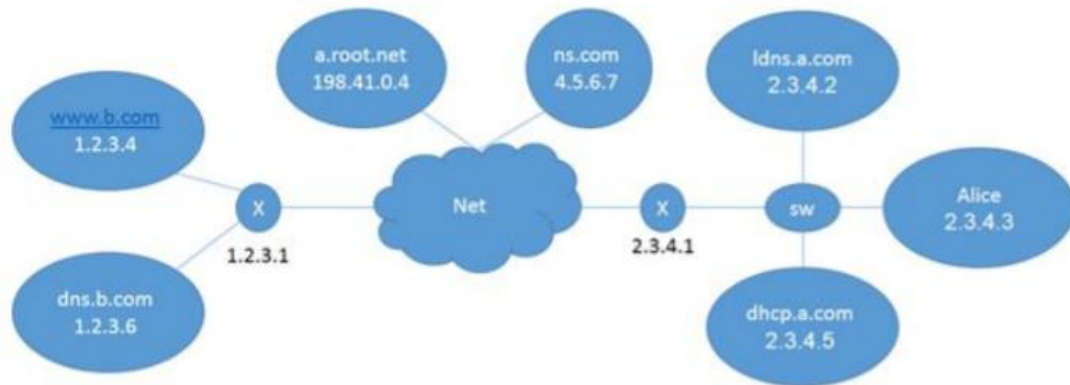
ציירו את מבנה תת-הרשת שהקצה ספק האינטרנט (החל מהחיבור לאינטרנט שאותו יש לצייר בתרשים). על כל ערוץ ציינו את כתובת ה-IP (ואת ה-mask לפני CIDR) וציינו את מספר כתובות IP המקסימלי בכל תת הרשת.

פתרון



שאלה 3

נתונה רשת כבתרשים, כאשר ns.com הוא שרת השמות של com, ו a.root.net הוא שרת השמות של השורש, ו dns.b.com שרת השמות של b.com, ו ldns.a.com הוא ה-resolver (שרת השמות המקומי) של הרשת 2.3.4.0/24.

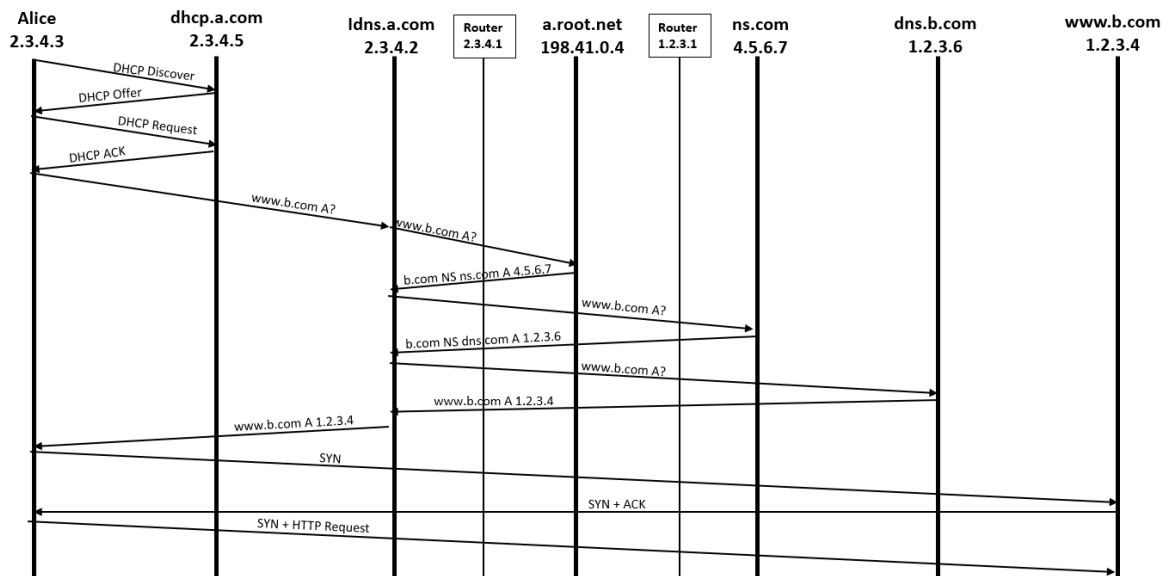


א. הניחו כי הדפדפן של אליס פונה עם ההדלקה לבקשת הדף www.b.com, וכי לא הייתה כל פעילות ברשת לפני כן (ובפרט המטמון של ה-resolver ריק, והמתג עוד לא למד איזה התקן מחובר באיזה כתובת). הציגו תרשים העברת הודעות (ללא זמנים) עד שמחשב Alice שולח חבילה ראשונה לשרת www.b.com. התרשים צריך לכלול הליך קבלת הכתובת ע"י אליס וקבלת/ למידת התצורה (לרבות כתובת הנתב ושרת ה-DNS המקומי)

ב. הניחו כי השהיית ההתפשטות ברשתות המקומיות זניחה, ובערוצים המחוברים לרשת היא 0.1 שניה. קצב השידור בכל הערוצים הוא 1.5Mbyte/sec מותר להתעלם מזמן שידור של הודעות קצרות מ-100 בתים. הציגו את המשך תרשים העברת ההודעות, עד לקבלת הדף והצגתו במחשב של אליס, הפעם בציון זמנים. הניחו שגודל הדף הוא 4KB וה-MSS בכל הערוצים הוא של 1500 בתים.

פתרון

א.



ב. נתחיל משלב הקמת החיבור, אנו משתמשים ב-slow start ולכן גודל החלון הראשון הוא 1MSS מכאן שבחלון הראשון נשלחת חבילה בגודל 1500B, החבילה מורכבת מ 1460B של מידע ועוד 40B של תחיליות (Ip Header = 20B, TCP Header = 20B) בחלון השני גדול החלון הוא 2MSS ולכן נשלח שתי חבילות אחת בגודל של 1500B והשנייה בגודל של 1120B החבילה מורכבת מכל המידע שנותר לשלוח ועוד 40 בתים של תחיליות. נתון שהתפשטות השידור מאליס לwww.b.com היא: $d_p = 0.1 \text{ sec} = 100 \text{ ms}$, נחשב את השהיית השידור עבור חבילה בגודל 1500 בתים:

$$d_{t(1500B)} = \frac{1500B}{1.5MBps} = 1 \text{ ms}$$

נחשב את זמן לחיצת הידיים:

$$\text{Handshake} = d_p * 3 = 300 \text{ ms}$$

נעת נחשב את שליחת החלון הראשון בו נשלחת חבילה אחת בגודל 1500 בתים ולכן משך הזמן שייקח כולל קבלת הACK הוא:

$$d_{t(1500B)} + d_p + d_{p(ACK)} = 1 + 100 + 100 = 201 \text{ ms}$$

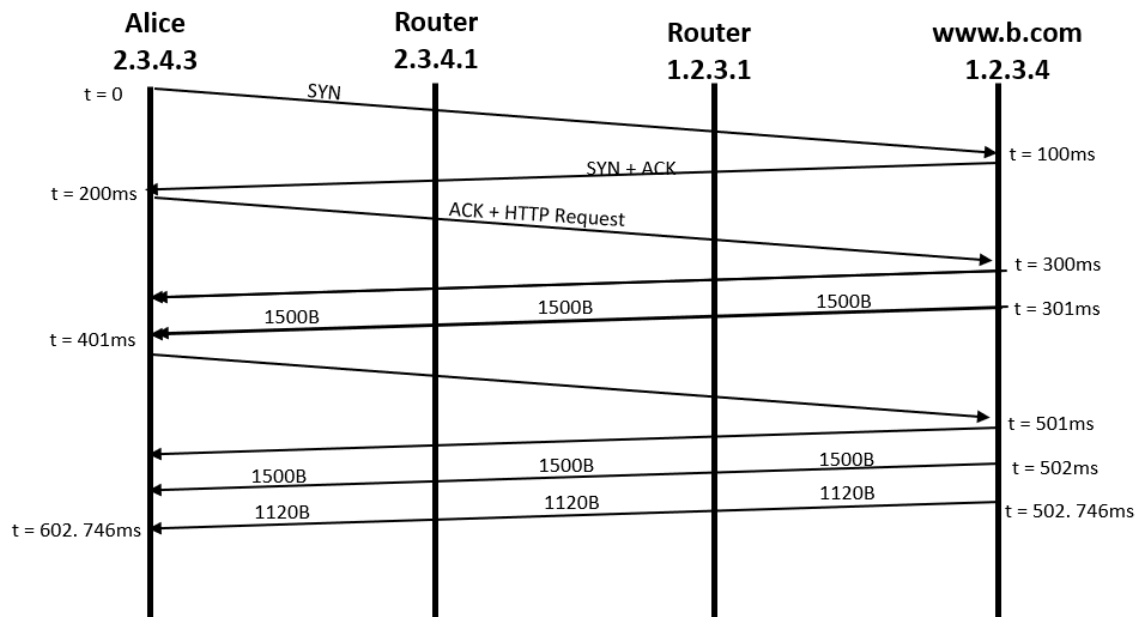
נחשב את זמן שליחת החבילות בחלון השני:

$$d_{t(1120B)} = \frac{1120B}{1.5MBps} = 0.746 \text{ ms}$$

הזמן שייקח לשליחת שתי החבילות בחלון השני הוא:

$$d_{t(1500B)} + d_{t(1120B)} + d_p = 101.746 \text{ ms}$$

בסה"כ הזמן שייקח לאליס לקבל את הדף הוא חיבור כל הזמנים, כלומר 602.746ms



שאלה 4

Network Address	Next Router	hops	Interface
196.80.0.0/12	-	0	eth0
196.94.16.0/20	-	0	eth1
196.96.0.0/12	128.3.3.1	1	C
196.104.0.0/14	10.0.0.1	2	D
128.0.0.0/1	-	0	E
64.0.0.0/2	-	0	F
0.0.0.0/2	-	0	G

בתא בטבלה בו מופיע - הכוונה לכך שאין נתב הבא, וה-host הקרוב ביותר הוא היעד הסופי.

לעיל מוצגת טבלת ניתוב מבוססת CIDR. לאיזה Interface תשלח חבילה עם כתובת IP הבאה (ענו לכל כתובת יעד ברשימה):

1. 195.65.127.3

2. 196.94.100.13

3. 196.96.34.9

4. 94.100.100.18

5. 196.106.49.46

6. 196.0.0.1

פתרון

ראשית נבדוק מהו טווח הכתובות האפשריות בעבור כל רשת:

עבור 196.80.0.0/12 נקבל שהטווח הוא: 196.80.0.1 – 196.95.256.255
עבור 196.94.16.0/20 נקבל שהטווח הוא: 196.94.16.1 – 196.94.31.255
עבור 196.96.0.0/12 נקבל שהטווח הוא: 196.96.0.1 – 196.111.256.255
עבור 196.104.0.0/14 נקבל שהטווח הוא: 196.104.0.1 – 196.107.256.255
עבור 128.0.0.0/1 נקבל שהטווח הוא: 128.0.0.1 – 256.256.256.255
עבור 64.0.0.0/2 נקבל שהטווח הוא: 64.0.0.1 – 127.256.256.255
עבור 0.0.0.0/2 נקבל שהטווח הוא: 0.0.0.1 – 63.256.256.255

ולכן חבילה עם כתובת IP הבאה תישלח ל :

1. 195.65.127.3 נשלח ל-E, יעד סופי
2. 196.94.100.13 נשלח ל-eth0, יעד סופי
3. 196.96.34.9 נשלח ל-128.3.3.1, C
4. 94.100.100.18 נשלח ל-F, יעד סופי
5. 196.106.49.46 נשלח ל-10.0.0.1, D
6. 196.0.0.1 נשלח ל-E, יעד סופי

שאלה 5

משה לוחץ על קישור כלשהו בדפדפן. נתון שכתובת ה-IP של הדומיין שמופיע בקישור אינה שמורה ב cache של משה, ולכן משתמשים ב-DNS. הניחו שתהליך ה-DNS הצריך פנייה ל n שרתי DNS, וכל פניה שכזאת (שליחת שאלה לשרת וקבלת התשובה) לקחה RTT_i זמן. כלומר, שאלה + תשובה משרת ה-DNS הראשון (מספר 1) לקחה RTT_1 שניות, שאלה משרת ה-DNS השני (מספר 2) לקחה RTT_2 שניות וכן הלאה.

הקישור שמשה לחץ עליו מחזיר עמוד html קטן (נכנס בחבילה אחת) על גבי HTTP לא הפניות למשאבים נוספים. זמן ה-RTT בין המחשב של משה לשרת מוגדר בתור RTT_0

חבילות בקרה כמו syn ו ack הינן חבילות לכל דבר ואין להתעלם מהן.

שימו לב שאין השהיות נוספות מעבר למתואר בשאלה, וזמני השידור וההתפשטות מבוטאים באמצעות ערכי ה-RTT שהוגדרו בשאלה.

נניח כעת שעמוד ה html מכיל 8 משאבים קטנים (כל משאב הינו בגודל שקטן מחבילה אחת) וכל המשאבים נמצאים על אותו השרת שנמצא עליו עמוד ה html. כמה זמן לוקח מהרגע שמשה לחץ על הקישור ועד שמשה קיבל את העמוד וכל המשאבים כאשר מדובר ב:

1. פרוטוקול HTTP non-persistent ללא חיבורים במקביל?
2. פרוטוקול HTTP non-persistent עם 5 חיבורים במקביל?
3. פרוטוקול HTTP persistent ללא חיבורים במקביל וללא pipelining?

פתרון

1. פרוטוקול HTTP non-persistent פותח וסוגר חיבור בכל בקשה. בשלב הראשון נבקש את שאילתת ה-DNS, נשים לב שניתן להחשיב את זמן ה-DNS פעם אחת בלבד ואין צורך להוסיף אותו לכל המשאבים משום שה-IP של השרת נשמר במטמון. לקבלת דף או משאב כולל סגירת החיבור הזמן הוא $3RTT_0$, את הדף עלינו להוריד פעם אחת ולאחר מכן יש לנו 7 משאבים להוריד שבהם נפתח חיבור וגם נסגור, את הזמן הסגירה של המשאב האחרון אין צורך להחשיב מאחר והמשאב התקבל אצל הלקוח לפני זמן הסגירה ולכן הזמן שייקח בעבור המשאב האחרון יהיה רק $2RTT_0$. בסה"כ נקבל:

$$\sum_{i=0}^n (RTT_i) + 3RTT_0 + 7 \cdot 3RTT_0 + 2RTT_0 = \sum_{i=0}^n (RTT_i) + 26RTT_0$$

2. כעת ישנם 5 חיבורים במקביל ולכן נוכל בזמן של $3RTT_0$ להוריד 5 משאבים, החישוב של שאילתת ה-DNS יתבצע כמו בסעיף הקודם לאחר מכן נוריד את הדף ואז יתבצע חיבור בו נוריד 5 משאבים בזמן של $3RTT_0$ ואת המשאבים הנותרים נוריד בחיבור נוסף שייקח $3RTT_0$, לכן נקבל:

$$\sum_{i=0}^n (RTT_i) + 3RTT_0 + 3RTT_0 + 2RTT_0 = \sum_{i=0}^n (RTT_i) + 8RTT_0$$

3. בסעיף זה נעבוד עם פרוטוקול HTTP persistent ללא חיבורים ולכן ניתן לפתוח חיבור פעם אחת בלבד, ולא עבור כל בקשה כמו בסעיפים הקודמים. זמן החיבור ייקח RTT_0 , בקשת הדף וקבלתו יקרו בזמן של RTT_0 ולאחר מכן הורדה של 8 משאבים תיקח $8RTT_0$, אין צורך להתייחס לסגירת החיבור כי כל המשאבים הדרושים כבר נמצאים אצל הלקוח. זמן שאילתת ה-DNS יתבצע בדומה לסעיפים הקודמים ולכן נקבל שהזמן הכולל הוא:

$$\sum_{i=0}^n (RTT_i) + RTT_0 + RTT_0 + 8RTT_0 = \sum_{i=0}^n (RTT_i) + 10RTT_0$$

שאלה 6

לקוח ושרת אינטרנט מחוברים בערוץ ישיר בקצב 1Mbps. הלקוח רוצה להוריד מהשרת קובץ בגודל 15KB כאשר MSS=1KB. התעלמו מזמן השידור של תחיליות. כמו כן, נתון שגודל הבקשה שהלקוח שולח לשרת להוריד את הקובץ זניח ולכן ניתן להתעלם מזמן השידור שלה.

מהירות ההתפשטות היא 10^6 mps.

כמה זמן ייקח להוריד את הקובץ החל מהרגע שהלקוח הקליד בדפדפן את פרטי הבקשה אם נתון שהמרחק בין השרת ללקוח הוא:

1. 1km

2. 10km

3. 0.1km

פתרון

נחשב זמנים עבור סעיף 1:

בשלב הראשון יתבצע Handshake בין השרת ללקוח, לאחר מכן בצירוף ל ACK הלקוח ישלח את הבקשה, בשרת ישלח חבילה אחת של 1KB והלקוח יחזיר לו ACK, ברגע קבלת הACK אצל השרת הוא ישדר שתי חבילות של 1KB משום שכעת החלון הוא 2 וניתן לשלוח שתי חבילות. כשהשרת יקבל את הACK על החבילה הראשונה ששלח הוא יתחיל לשדר את החלון השלישי וישדר 4 חבילות של 1KB כל אחת מהן. וישר כשיסיים לשלוח את החבילות האלו ימשיך ברצף לשליחת החלון הרביעי בו ישלחו 8 חבילות נוספות של 1KB כל אחת מהן, למעשה בשלב זה הוא מסיים לשלוח ללקוח את כל ה- 15KB שדרש.

$$d_p = \frac{1KM}{10^6mps} = 1ms$$

נתון שאפשר להתעלם מתחיליות וגם מזמן השידור של הבקשה ולכן שלב "לחיצת הידיים" ארך 3ms

$$d_t = \frac{1KB}{1mbps} = 1ms \text{ :השהיית השידור היא}$$

$$d_p + d_t = 2ms \text{ הזמן שלקח לשדר את החלון הראשון הוא}$$

$$3d_p + d_t = 4ms \text{ זמן השידור של החלון השני הוא}$$

את זמן השידור של החלון השלישי והרביעי נחשב יחד, מאחר ובסיום שליחת החלון השלישי השרת מתחיל ישר לשלוח את החלון הרביעי ולכן בסה"כ נקבל: $12d_p + d_t = 13ms$ (לא כולל את הACK על החבילה האחרונה שנשלחה).

הזמן שלקח להוריד את הקובץ אצל הלקוח הוא סכום כל הזמנים ולכן סה"כ נקבל 22ms

נחשב את הזמנים עבור סעיף 2:

$$d_p = \frac{10KM}{10^6mps} = 10ms$$

נתון שאפשר להתעלם מתחיליות וגם מזמן השידור של הבקשה ולכן שלב "לחיצת הידיים" ארך 30ms

$$d_t = \frac{1KB}{1mbps} = 1ms \text{ :השהיית השידור היא}$$

$$RTT = d_t + d_{p(Ack)} + d_{p(Package)} = 1 + 10 + 10 = 21ms$$

הקמת החיבור לוקחת זמן של 3 פעמיים $d_{p(Ack)}$ כלומר 30ms ולכן סך כל הזמן עד שכל המידע יגיע ללקוח, כולל הACK על החבילה האחרונה הוא $4RTT + 3 d_{p(Ack)} = 84 + 30 = 114ms$

עבור סעיף 3 הפעולה היא דומה, נחשב את הזמנים:

נתון שאפשר להתעלם מתחיליות וגם מזמן השידור של הבקשה ולכן שלב "לחיצת הידיים" ארך 0.3ms

$$d_t = \frac{0.1KB}{1mbps} = 0.1ms \text{ :השהיית השידור היא}$$

$$RTT = d_t + d_{p(Ack)} + d_{p(Package)} = 1 + 0.1 + 0.1 = 1.2ms$$

בעבור החלון הראשון נחשב לפי RTT ולאחר מכן נחשב לפי זמן שידור כל החבילות והתפשטות החבילה האחרונה כלומר בסה"כ נקבל:

$$Handshake + RTT + 14 d_{p(Package)} + d_t = 0.3 + 1.2 + 0.1 + 14 \cdot 1 = 15.6ms$$