

20 שכבת הקישור ואתרנט

אנחנו יורדים לעומק הדברים: שכבת הקישור.

שכבה	אחריות	פרוטוקולים לדוגמה
יישום	נתוני יישום מובנים	HTTP, FTP, TFTP, Telnet, SSH, SMTP, POP, IMAP
תחבורה	שלמות הנתונים, חיתוך וחיבור מנות	TCP, UDP
אינטרנט	ניתוב	IP, IPv6, ICMP
קישור	פיזי, אותות על חוטים	Ethernet, PPP, token ring

שכבת הקישור היא המקום שבו כל הפעולה קורה, שם הבתים הופכים לאנרגיה חשמלית. כאן שוכן אתרנט, כפי שנראה בקרוב.

20.1 הערה קצרה על אוקטטים

השתמשנו במילה "בית" כמשמעות של 8 ביטים, אבל עכשיו הזמן להיות יותר ספציפיים. היסטורית, בית לא היה בהכרח 8 ביטים. (כמו שידוע, בשפת C אין הגדרה מדויקת לגבי מספר הביטים בבית.) ואין שום דבר שמונע ממעצבי מחשבים להמציא דברים. למעשה, כמעט כל מחשב מודרני משתמש ב-8 ביטים לבית. כדי להיות מדויקים יותר, אנשים לפעמים משתמשים במילה "אוקטט" לצורך ייצוג 8 ביטים. זה מוגדר בדיוק כ-8 ביטים, סיום הסיפור. כאשר מישו אומר (או כותב) "בית", הוא כנראה מתכוון ל-8 ביטים. כאשר מישו אומר "אוקטט", הוא בהחלט מתכוון בדיוק ל-8 ביטים, סיום הסיפור.

20.2 מסגרות מול מנות

כאשר אנו מגיעים לשכבת הקישור, יש לנו עוד מעט מונחים להתרגל אליהם. נתונים שנשלחים דרך אתרנט הם מנות, אך בתוך כל מנה ישנה מסגרת. זה כמו תת-מנה. בשיחה יומיומית, אנשים משתמשים במילים "מסגרת" ו"מנה" של אתרנט להחלפה, אך כפי שנראה מאוחר יותר, יש הבחנה במודל הרשת המלא של ISO OSI. במודל הרשת הפשטני של האינטרנט, הבחנה זו לא נעשית, דבר שמוביל לטרמינולוגיה מבלבלת. עוד על סיפור מרתק זה מאוחר יותר בפרק.

20.3 כתובת MAC

לכל התקן רשת יש כתובת MAC (Media Access Control). זו כתובת ייחודית ברשת המקומית (LAN) שמשתמשים בה לשליחה וקבלה של נתונים.

כתובת MAC של אתרנט מופיעה בצורה של 6 בתים הקסדצימליים (12 ספרות הקסדצימליות) מופרדים על ידי נקודותיים (או מקפים או נקודות). לדוגמה, אלה הם דרכים שבהן תוכל לראות כתובת MAC:

ac:d1:b8:df:20:85

ac-d1-b8-df-20-85

acd1.b8df.2085

כתובת MAC חייבת להיות ייחודית ברשת המקומית. המספרים מוקצים על ידי היצרן ואינם משתנים בדרך כלל על ידי המשתמש הסופי. (תשנה אותם רק אם קיבלת מזל רע וקנית שתי כרטיסי רשת עם כתובת MAC זהה.)

שלושת הבתים הראשונים בכתובת MAC של אתרנט נקראים OUI (Organizationally Unique Identifier) המוקצים ליצרן. זה משאיר לכל יצרן שלושה בתים לייצוג הייחוד של הכרטיסים שהם מייצרים. (יש 16,777,216 שילובים אפשריים ייחודיים. אם יצרן נגמר להם, הם תמיד יכולים לקבל OUI נוסף – יש 16 מיליון כאלו זמינים!)

שמועה מצחיקה באינטרנט: היה פעם יצרן של כרטיסי רשת חיקויים שנקרא NE2000, שכבר היה ידוע ככרטיס רשת "זול". היצרן של החיקויים השתמש בקיצור על ידי חרית כתובת MAC זהה על כל כרטיס שהם ייצרו. זה התגלה כאשר חברה קנתה כמות גדולה מהם וגילתה כי רק מחשב אחד פועל בכל פעם. כמובן, ברשת LAN ביתית, שבה ייתכן שיהיה למישהו רק כרטיס אחד כזה, זה לא היה בעיה – וזה מה שהיצרן היה מייחל לו. כדי להוסיף חטא (או אולי פגיעה) לפגיעה, לא היה ניתן לשנות את כתובת ה-MAC בכרטיסי החיקוי. החברה נאלצה לזרוק את כולם.

חוץ מאחד, כנראה.

20.4 כולנו באותו חדר (בדרך כלל)

רבים מהפרוטוקולים של שכבת הקישור המודרניים איתם תתמודד פועלים על הרעיון שהם משדרים כולם לתוך מדיה משותפת ומאזינים לתעבורה שמיועדת להם.

זה כמו להיות בחדר מלא אנשים מדברים ומישהו צועק את שמך – אתה מקבל את הנתונים המיועדים לך וכל השאר מתעלמים מהם.

זה עובד בחיים האמיתיים ובפרוטוקולים כמו אתרנט. כאשר אתה משדר מנה ברשת אתרנט, כל מי שנמצא באותה רשת אתרנט יכול לראות את התעבורה הזו. רק שהכרטיסי רשת שלהם מתעלמים מהתעבורה אלא אם היא מיועדת להם במיוחד.

אזהרה: יש כמה פרטים שצריכים להבהיר בפסקה זו.

אחד מהם הוא שבאתרנט מודרני, התקן שנקרא סוויץ' בדרך כלל מונע מהמנות לצאת ליעדים שהם לא אמורים להגיע אליהם. כך שהרשת לא רועשת כפי שהאנלוגיה של החדר הצפוף מציעה. לפני שהיו סוויצ'ים, השתמשנו בהאב, שלא היה לו את היכולת להבחין בין היעדים. הם היו משדרים את כל המנות לכל היעדים.

אבל לא כל פרוטוקול בשכבת הקישור עובד בצורה כזו. המטרה המשותפת של כולם היא שאנחנו הולכים לשלוח ולקבל נתונים ברמת החוט.

20.5 שיטה לגישה מרובה

מוכנים להמשך הסיפור?

אם כולם באותו אתרנט נמצאים באותו חדר צועקים על אחרים, איך זה עובד על החוט? איך יצורים מרובים יכולים לגשת למדיה משותפת מבלי להתנגש?

כאשר אנו מדברים על "מדיה" כאן, אנו מתכוונים לחוטים (אם חיברתם את המחשב לרשת) או רדיו (אם אתם ב-WiFi).

השיטה שבה פרוטוקולי שכבת הקישור מאפשרים לישות מרובה גישה למדיה משותפת נקראת שיטת גישה מרובה או שיטת גישה לערוץ.

ישנן מספר דרכים לעשות זאת. על אותה מדיה:

- אפשר לשדר מנות בתדרים שונים.
- אפשר לשלוח מנות בזמנים שונים, כמו שיתוף זמן.
- אפשר להשתמש בטכנולוגיית התפשטות תדרים או קפיצה בתדרים.
- אפשר לחלק את הרשת לתאים שונים.
- אפשר להוסיף חוט נוסף כדי לאפשר תעבורה בשני כיוונים בו זמנית.

כדוגמה, אתרנט עובד בצורה הכי דומה למצב של "שיתוף זמן", כמו למעלה.

אבל זה עדיין משאיר הרבה אפשרויות לגבי איך עושים זאת.

אתרנט משתמש במשהו שנקרא CSMA/CD (Carrier-Sense Multiple Access with Collision Detection). קל לומר את זה, לא?

השיטה עובדת ככה:

כרטיס האתרנט מחכה לשקט בחדר – כשאין כרטיס רשת אחר שמשדר. (זה החלק של "CSMA" ב-CSMA/CD).

הוא מתחיל לשלוח.

הוא גם מאזין בזמן שהוא שולח.

אם הוא מקבל את מה שהוא שלח, הכל בסדר.

אם הוא לא מקבל את מה שהוא שלח, זה אומר שמכשיר רשת אחר התחיל לשלוח בו זמנית. זו זיהוי התנגשות, החלק של "CD" ב-CSMA/CD.

כדי לפתור את המצב, כרטיס הרשת משדר אות מיוחד שנקרא "אות הרעשים" כדי להתריע בפני כרטיסים אחרים ברשת שהתרחשה התנגשות והם צריכים להפסיק לשלוח. לאחר מכן, כרטיס הרשת מחכה לזמן קצר, שהוא חלקית אקראי, ואז חוזר לשלב 1 ומנסה לשלוח שוב.

WiFi (אתרנט אלחוטי) משתמש בשיטה דומה, חוץ מזה שזה CSMA/CA (Carrier-Sense Multiple Access with Collision Avoidance). קל לומר את זה, לא?

השיטה עובדת ככה:

כרטיס האתרנט מחכה לשקט בחדר – כשאין כרטיס רשת אחר שמשדר. (זה החלק של "CSMA" ב-CSMA/CA).

אם הערוץ לא שקט, כרטיס הרשת מחכה זמן אקראי קצר, ואז חוזר לשלב 1 ומנסה לשלוח שוב.

ישנם עוד כמה פרטים חסרים כאן, אבל זה הרעיון.

20.6 אתרנט

זוכרים את מודל הרשת המודולרי שבו כל שכבה מקיפה את נתוני השכבה הקודמת בכותרת שלה?

למשל, נתוני HTTP (שכבת היישום) עטופים בכותרת TCP (שכבת התחבורה). ואז כל זה עטוף בכותרת IP (שכבת האינטרנט). ואז כל זה עטוף במסגרת Ethernet (שכבת הקישור).

ותזכרו שכל פרוטוקול היה לו מבנה כותרת משלו שעוזר לו לבצע את עבודתו.

אתרנט לא שונה. הוא יקיף את הנתונים מהשכבה שמעליו.

אני רוצה להיות מעט מדויק מבחינת טרמינולוגיה. כל חבילת הנתונים שנשלחת היא "מנה" של אתרנט. אבל בתוך המנה הזו יש "מסגרת" של אתרנט. כפי שנראה מאוחר יותר, אלו תואמות לשתי שכבות במודל הרשת המודולרי של ISO OSI (שננסו לשכבת "קישור" אחת במודל הרשת של האינטרנט).

למרות שכתבתי שהמסגרת "בתוך" המנה כאן, שימו לב שהם נשלחים כולם כזרם ביטים אחד.

המנה: 7 אוקטטים: Preamble (בהקס: AA AA AA AA AA AA AA)
1 אוקטט: Start frame delimiter (בהקס: AB)

המסגרת: 6 אוקטטים: כתובת MAC יעד

6 אוקטטים: כתובת MAC מקור

4 אוקטטים: תג "Dot1q" להבחנה ברשתות וירטואליות

2 אוקטטים: Payload Length/Ethertype (ראה למטה)

46-1500 אוקטטים: Payload

4 אוקטטים: CRC-32 checksum

סימן סיום מסגרת, אובדן אות

פער בין מנות, מספיק זמן כדי לשלוח 12 אוקטטים

שדה Payload Length/EtherType משמש לאורך payload בשימוש רגיל. אבל ניתן להכניס שם ערכים נוספים שמעידים על מבנה payload חלופי.

ה-MTU (Maximum Transmission Unit) של הרשת הוא 1500 אוקטטים. נתונים שגדולים מכך חייבים להתפצל.

חומרת האתרנט יכולה להשתמש במספר 1500 כדי להבחין בין שדה Payload Length/EtherType. אם זה 1500 או פחות, זה אורך. אחרת זה ערך EtherType.

לאחר המסגרת, ישנו סימן סיום. זה מצוין על ידי אובדן אות ברשת או על ידי שידור מפורש בגרסאות מסוימות של אתרנט.

לבסוף, ישנו פער זמן בין המנות של אתרנט שמציין את הזמן שלוקח לשדר 12 אוקטטים.

20.6.1 שתי שכבות של אתרנט?

אם תזכרו, המודל המפושט שלנו הוא למעשה גרסה מקוצרת של המודל המלא 7 שכבות של ISO OSI.

פרוטוקולים לדוגמה	אחריות	שכבת ISO OSI
HTTP, FTP, TFTP, Telnet, SMTP, POP, IMAP	נתוני יישום מובנים	יישום
MIME, SSL/TLS, XDR	תרגום קידוד, הצפנה, דחיסה	הצגה
סוקטות, TCP	השהייה, סיום, הפסקת סשנים בין מחשבים	סשן
TCP, UDP	שלמות הנתונים, חיתוך וחיבור מנות	תחבורה
IP, IPv6, ICMP	ניתוב	אינטרנט
Ethernet, PPP, SLIP	העטפת נתונים במסגרת	קישור נתונים
Ethernet physical layer, DSL, ISDN	פיזי, אותות על חוטים	פיזי

מה שאנחנו קוראים לו "שכבת הקישור" באינטרנט הוא למעשה "שכבת הקישור נתונים" ו"שכבת הפיזי".

שכבת הקישור נתונים של אתרנט היא המסגרת. היא תת-קבוצה של כל המנה (כפי שצוין למעלה) שמוגדרת בשכבת הפיזי.

דרך נוספת להסתכל על זה היא ששכבת הקישור נתונים עוסקת ביישומים לוגיות כמו מי יש לו איזו כתובת MAC ואיזה שדה checksum יש ל payload. וששכבת הפיזי מתמקדת בשליחת דפוסים של אותות שמתאימים להתחלת וסיום המנה והמסגרת, מתי להפסיק אות, וכמה זמן לחכות בין השידורים.

20.7 חושב

מה כתובת ה-MAC שלך במחשב? חפש באינטרנט איך לבדוק את זה.

מה ההבדל בין מנות למסגרות באתירת? באיזו שכבה במודל הרשת של ISO OSI הם נמצאים?

מה ההבדל בין בית לאוקטט?

מה ההבדל העיקרי בין CSMA/CD ל-CSMA/CA?