

## פרק 7

# רשתות תקשורת ו-IP

# הרצוי לעומת המצוי

- ❖ ברמת היישום דרוש קשר אמין בין תוכניות שרצות על מחשבים שונים שאינם מחוברים ישירות זה לזה, אלא בעקיפין דרך רשת תקשורת מורכבת (כמו האינטרנט)
- ❖ ברמת החומרה ניתן לתקשר רק בין מחשבים שמחוברים פיזית, התקשורת לא תמיד אמינה, והיא מתבצעת לפעמים במנות (חבילות מידע בדידות בגודל קבוע או מוגבל)

# על הפער מגשרים בשכבות

- ❖ השכבה הפיזית: המאפיינים הפיזיים של ערוץ תקשורת (רמות מתח, סוג מחבר, מספר חוטים, תדרים, וכדומה)
- ❖ שכבת המיקשר מגדירה פרוטוקולים להעברת מנות מידע בין מחשבים שמחוברים פיזית בתווך
  - פרוטוקול מגדיר את מבנה המנה, שיטת מיעון, ועוד
- ❖ שכבת הרשת מגדירה פרוטוקולים לניתוב מנות בין מחשבים ברשת שאינם מחוברים בהכרח פיזית זה לזה
- ❖ שכבת ההעברה מגדירה פרוטוקולים לתקשורת בין תהליכים במחשבים שונים
- ❖ שכבת היישום מגדירה פרוטוקולים ליישומים ספציפיים, כמו העברת קבצים (FTP ו-HTTP), דואר אלקטרוני (SMTP), ועוד

# פרוטוקולי האינטרנט

FTP	HTTP	SMTP	יישום
TCP		UDP	העברה
IP			רשת
אתרנט		PPP	מיקשר
אתרנט		מודם	פיזית

# השכבה הפיזית ושכבת

## המיקשר: אתרנט (Ethernet)

Computer  
Systems

G. Bell, S. Fuller and  
D. Siewiorek, Editors

### Ethernet: Distributed Packet Switching for Local Computer Networks

Robert M. Metcalfe and David R. Boggs  
Xerox Palo Alto Research Center

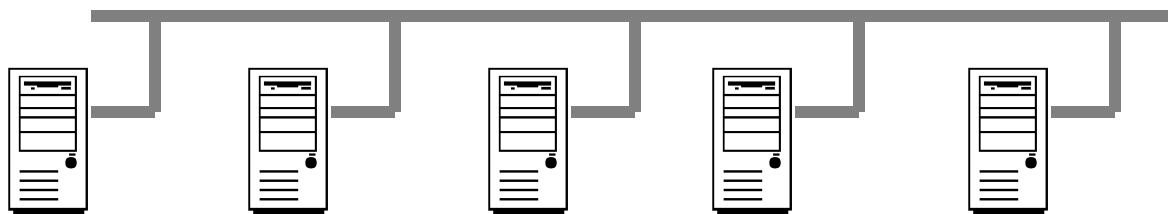
**Ethernet is a branching broadcast communication system for carrying digital data packets among locally distributed computing stations. The packet transport mechanism provided by Ethernet has been used to build systems which can be viewed as either local computer networks or loosely coupled multiprocessors. An Ethernet's shared communication facility, its Ether, is a passive broadcast medium with no central control. Coordination of access to the Ether for packet broadcasts is distributed among the contending transmitting stations using controlled statistical arbitration. Switching of**



Communications  
of  
the ACM

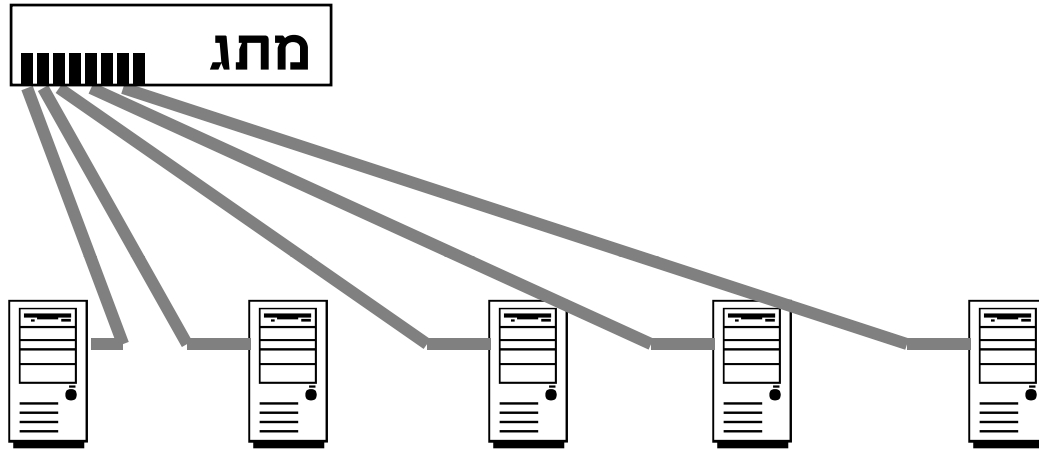
July 1976  
Volume 19  
Number 7

# השכבה הפיזית ושכבת המיקרו: אתרנט (Ethernet)



- ❖ מקטע מחבר מספר מחשבים בבניין יחיד (מגבלת מרחק)
- ❖ לכל מחשב במקטע יש כתובת אתרנט
- ❖ כל מחשב יכול לתקשר עם כל אחד מהמחשבים האחרים במקטע
- ❖ מנגנון לגילוי שגיאות
- ❖ ניתן לקלוט רק אם מחשב אחד בלבד משדר
- ❖ במקור קצב של 10 Mb/s עם חיווט מסורבל, כיום בד"כ Mb/s 100 או 1 GB/s עם חיווט נוח (דומה לחוטי טלפון); רוחב פס יותר גדול בשרתים

# מקטע אתרנט ממותג



- ❖ מבחינת המחשבים המחוברים אין הבדל בין מקטע ממותג ורגיל
- ❖ המתג מעביר כל מנה ליעדה
- ❖ מאפשר תקשורת בו-זמנית בקצב מלא בין זוגות מחשבים

# אתרנט אלחוטי (WiFi)

- ❖ מבנה דומה לסגמנט אתרנט; כל התחנות (מחשבים) שומעות זו את זו
- ❖ קצת יותר מסובך כי אי אפשר להבטיח שמשדר יזהה תמיד התנגשות (תחנות נסתרות, hidden terminal problem)
- ❖ יותר קל לצותת ולכן אבטחת מידע ואבטחת גישה יותר חשובות
- ❖ מנגנוני אבטחה הראשונים (WEP) לא היו מספיק טובים וקל לפרוץ אותם
- ❖ קצבי נתונים החל מ-1MB/s ועד ל-104MB/s, תלוי באיכות הקליטה ובגיל החומרה



# רשתות תקשורת אחרות

❖ רשתות מקומיות דועכות: decnet, token-ring

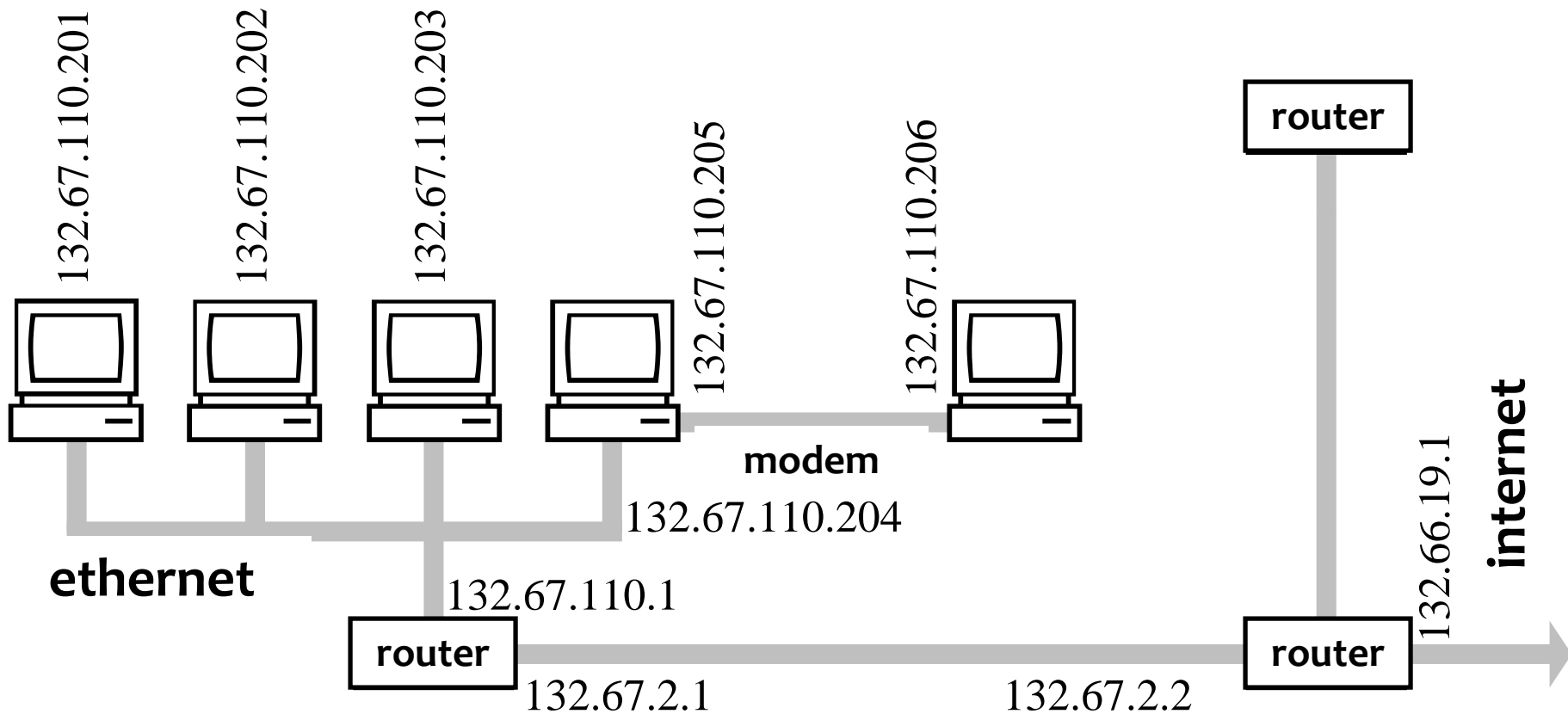
❖ מודמים אנלוגיים: הגיעו עד 56Kb/s על קו טלפון אנלוגי

❖ מודמים לקווי טלפון סיפרתיים: ISDN (קו טלפון ספרתי בקצב של  
2 x 64 Kb/s)

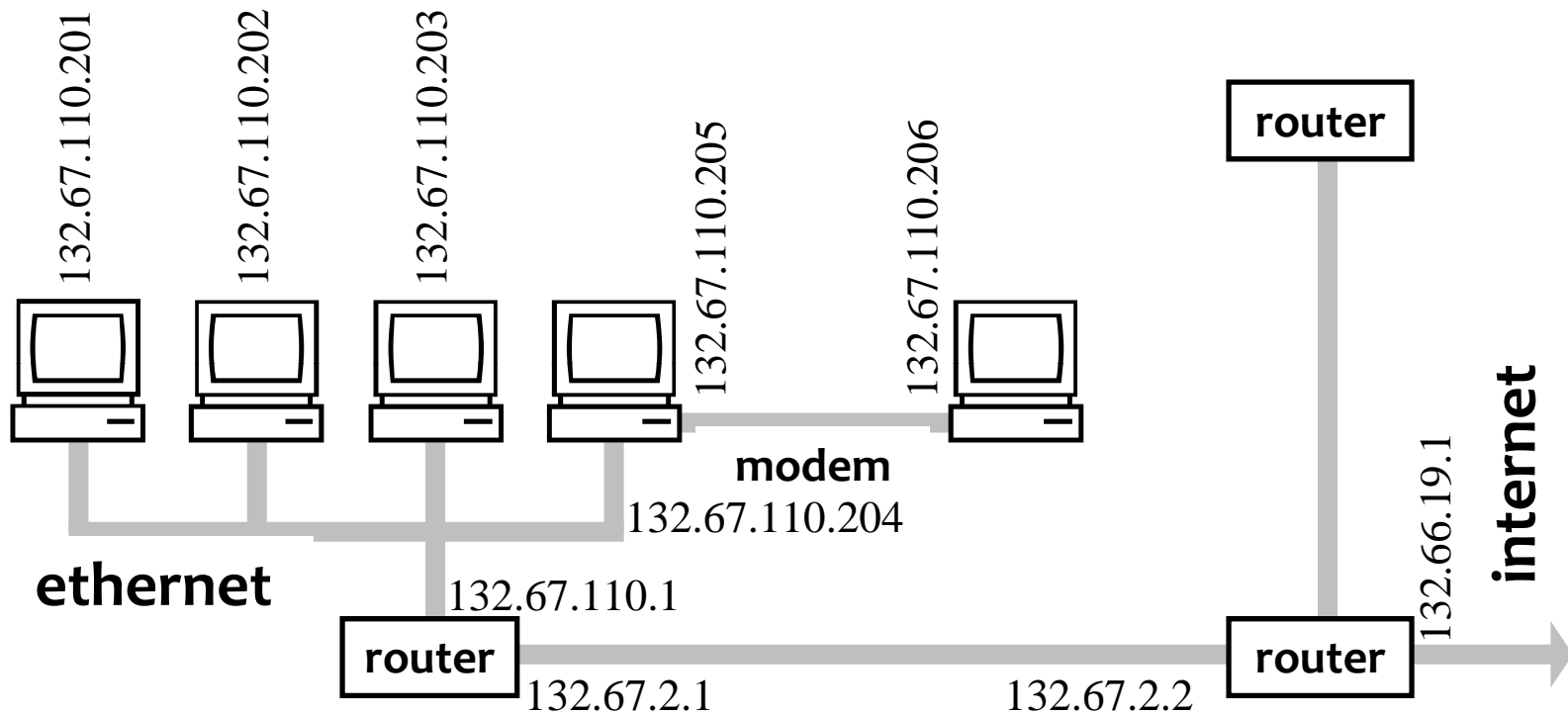
❖ ADSL (תקשורת ספרתית על קו טלפון אנלוגי, מאות Kb/s עד  
מספר Mb/s, לא סימטרי), מודמים לשימוש בתשתית הוידאו  
בכבלים, סיב אופטי עד הבית

❖ רשתות תקשורת לאזוריים נרחבים

# פרוטוקול הרשת IP



# פרוטוקול הרשת IP



- ❖ היפר-גרף שבו המחשבים הם צמתים, קשתות מחברות זוגות צמתים והיפר-קשתות מחברות מספר צמתים
- ❖ לקצוות של קשתות יש שמות בני 32 סיביות
- ❖ עקרונית שמות הם ייחודיים (מעשית לא)

# עקרונות ניתוב מנות ב-IP

- ❖ מנה מפלסת את דרכה ברשת מהמקור ליעד
- ❖ כל מחשב במסלול מחליט על הקשת הבאה שהמנה תעבור ועל המחשב הבא במסלול (באחד מקצות הקשת הבאה) על פי היעד שמצוין במנה; המסלול אינו נקבע מראש
- ❖ מחשב שמבצע החלטות ניתוב כאלה נקרא נתב; בדרך כלל אין לו תפקידים משמעותיים אחרים, אך כל מחשב כיום מסוגל לנתב
- ❖ נתב מקבל החלטות ניתוב בעזרת טבלת ניתוב
- ❖ כתובות IP מוקצות בצורה שמאפשרת להשתמש בטבלאות ניתוב קומפקטיות

# טבלאות ניתוב

❖ כל כניסה בטבלה מתארת החלטת ניתוב לקבוצה של כתובות

❖ קבוצת הכתובות מתוארת על ידי תחילית

▪ כתובת יעד

▪ מסיכה של 32 סיביות מכריזה איזה סיביות ביעד שייכות לתחילית

▪ דוגמה: יעד 127.0.0.0 ומסיכה 255.0.0.0 מתארות את כל הכתובות שהסיביות הבכירות שלהן 01111111

❖ ההחלטה מיוצגת על ידי

▪ שם של קשת (מנהל התקן והתקן בשכבת המיקשר)

▪ כתובת IP של המחשב הבא במסלול, שצריך להיות מחובר לקשת

▪ אם הכתובת חסרה, ניתן להגיע לכל היעדים בקבוצה ישירות דרך הקשת

❖ הכניסה עם התחילית הארוכה ביותר שמתאימה ליעד של המנה

קובעת את הניתוב

# הקצאת כתובות IP

- ❖ כתובות IP מוקצות בצורה היררכית שמשקפת את מבנה הרשת
- ❖ טבלת ניתוב מכילה כללי ניתוב ויוצאים מן הכלל
  - כניסה בטבלה מייצגת כלל ניתוב עבור היעדים שהתחילית מתארת
  - כניסה עם תחילית יותר ארוכה (ותואמת) מייצגת יוצא מן הכלל
- ❖ השאיפה היא לטבלאות עם מעט כללים ומעט יוצאים מן הכלל
- ❖ השאיפה מתקיימת מבחינת נתב מסוים אם כל אחד מהמחשבים שמחוברים אליו הוא המחשב הבא הנכון עבור קבוצת יעדים שניתנת לתיאור במספר קטן של תחיליות

# דוגמה להקצאת כתובות IP

- ❖ הרשת האוניברסיטאית הישראלית קיבלה מהגוף המנהל של האינטרנט תחום כתובות מסויים
- ❖ הרשת האוניברסיטאית מקצה לכל מוסד תת-תחום מתוך הכתובות שהוקצו לה
- ❖ אם כל מוסד מקבל תחום כתובות עם תחילית אחת ואם לכל מוסד יש נתב אחד בכניסה לרשת שלו, אז כל היעדים של מוסד מיוצגים בטבלאות הניתוב במוסדות אחרים בכניסה אחת בלבד
- ❖ כל מוסד מקצה תתי-תחומים קטנים יותר לפקולטות ובתי ספר, שמקצים כתובות למחשבים בודדים

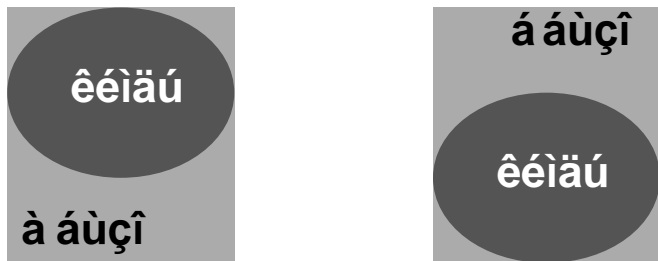
# תחזוקת טבלאות הניתוב

- ❖ במחשבים אישיים וביתיים תחזוקה ידנית (בעזרת הפקודה route ותסריטי אתחול) ועדכון הטבלה בזמן התחברות לרשת (חלק מפרוטוקולים כמו DHCP ו-PPP שמקצים כתובות דינמית)
- ❖ בנתבים: תחזוקה ידנית או השתתפות באלגוריתמים מבוזרים לקביעת טבלאות ניתוב (על ידי מציאת מסלולים קצרים, למשל)
- ❖ טבלאות הניתוב צריכות להתעדכן כתוצאה משינויים ברשת כמו נפילה של קווי תקשורת
- ❖ בכל מקרה, חשוב שטבלאות הניתוב לא ייצרו מעגלי ניתוב שמנות עלולות להסתחרר בהם; הסתחררות כזו מבזבזת משאבים ומונעת ניתוב מנות ליעדן

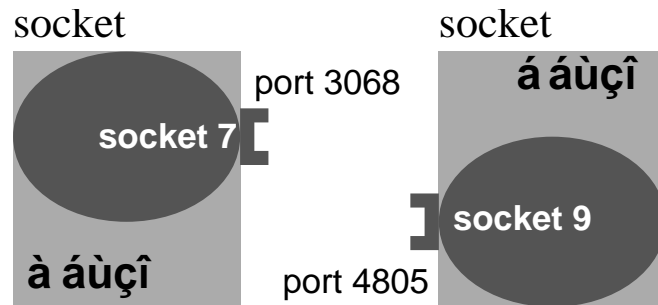


# מבוא לשכבת ההעברה: שקעים

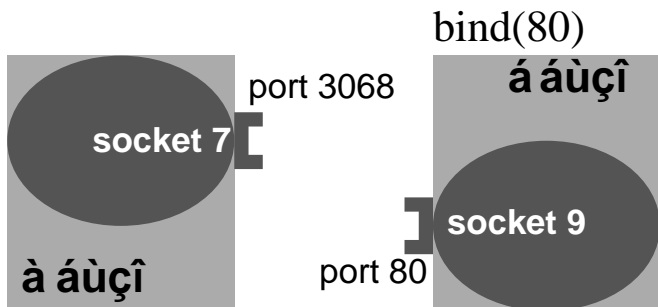
- ❖ כתובת IP מציינת מחשב; על מנת ליצור קשר בין תהליכים צריך כתובת לתהליך
- ❖ תהליך יכול ליצור שקע, עצם שניתן לשלוח ולקבל דרכו מידע
- ❖ שקע חדש מקבל כתובת שרירותית, אבל ניתן לקשור אותו לכתובת מסוימת; הכתובת נקראת שער
- ❖ בפרוטוקול UDP ניתן לשלוח מנדעים (מעין מברקים) לשער מסוים בכתובת IP מסוימת
- ❖ בפרוטוקול TCP ניתן לחבר שני שקעים בקשר קבוע ואמין



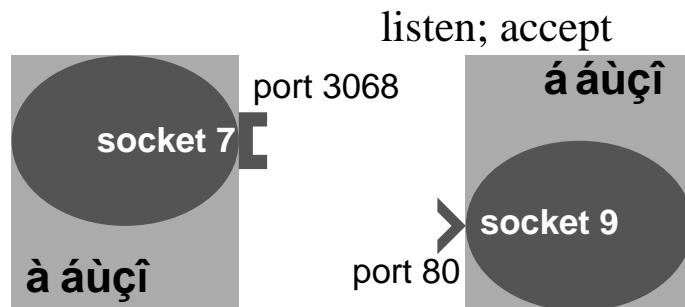
1



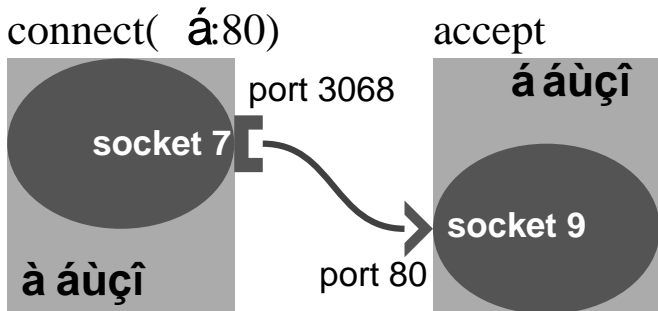
2



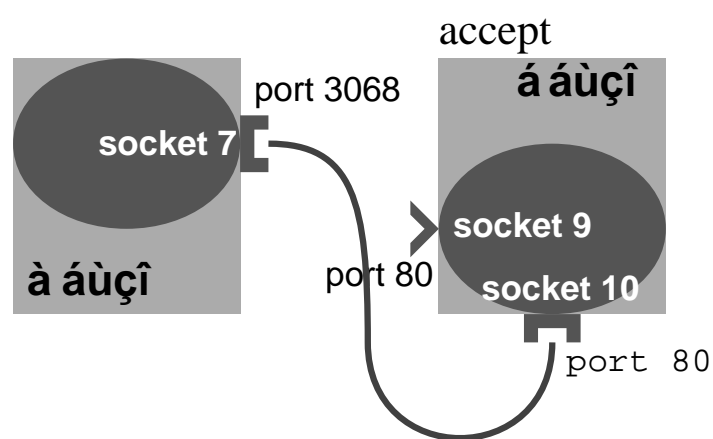
3



4



5



6

# תרגום כתובות IP (NAT)

- ❖ להרבה רשתות אין מספיק כתובות IP ציבוריות (כלומר שאפשר לנתב אליהן מנה מכל מחשב ברשת)
- ❖ למשל לבתים פרטיים מוקצה כתובת אחת לכל היותר
- ❖ הרשת משתמשת בטווח של כתובות שמותר להשתמש בהן שימוש חוזר בתוך ארגונים אבל אסור להן להופיע באינטרנט הציבורי (private addresses), למשל 10.0.0.0/8, (192.168.0.0/16)
- ❖ הנתב שמחבר את הרשת הפרטית לאינטרנט מתרגם את הכתובות הפרטיות בכל מנה יוצאת לכתובת שלו וממציא מספר שער
- ❖ הוא זוכר את המיפוי ומתרגם בחזרה מנות נכנסות
- ❖ בעייתי ודורש קינפוג כאשר המנה הראשונה בקשר מגיעה מבחוץ

# זרימת מידע במחסנית הפרוטוקולים

- ❖ קריאת מערכת מעבירה מידע מתהליך (שכבת היישום) לשכבת ההעברה דרך שקע
- ❖ קריאת המערכת מזהה את פרוטוקול ההעברה על פי סוג השקע וקוראת לשגרה מתאימה של אותו פרוטוקול
- ❖ השגרה הזו מפרקת את המידע למנות או מצרפת אותו למידע קודם או מתייחסת אליו כמנה, מוסיפה למנות תחילית עם שדות של הפרוטוקול, ומעבירה אותן לשגרה של שכבת הרשת
- ❖ השגרה של שכבת הרשת מחליטה איך לנתב את המנה, מוסיפה לה תחילית IP, ומעבירה אותה לשגרה של פרוטוקול המיקשר המתאים
- ❖ השגרה של שכבת המיקשר מתרגמת את כתובת ה-IP לכתובת פיזית של מחשב שמחובר לקשת היוצאת, מוסיפה תחילית, ומעבירה לבקר לשליחה

# פרוטוקול ARP

❖ פרוטוקול לתרגום כתובות IP לכתובות פיזיות של מחשבים במקטע אתרנט

❖ ממומש כחלק משכבת המיקשר, לתרגום כתובות רשת לכתובות מיקשר; פרוטוקולים דומים דרושים למימושי מיקשר אחרים

❖ מחשב שצריך לבצע תרגום כזה שולח הודעת שאילתה לכל המחשבים במקטע (הודעת broadcast)

❖ מחשב שמזהה את כתובת ה-IP שלו בשאילתה כזו עונה בהודעה עם כתובת האתרנט שלו (MAC address)

❖ שכבת המיקשר מטמינה את התרגומים הללו בטבלה לזמן מה על מנת לחסוך בהודעות ARP (שמעכבות משלוח מנות)

```
$ /sbin/arp -n
```

Address	HWtype	HWaddress	Flags	Mask	Iface
192.168.0.1	ether	30:46:9a:96:10:b5	C		wlan0
192.168.0.5	ether	00:2d:0a:53:4d:a4	C		wlan0