

רשתות מחשבים

פרק 7ב - כתובות IP, ראטר

ברק גונן

מבוסס על ספר הלימוד "רשתות מחשבים" מאת

עומר רוזנבוים

מה נלמד?



- ▶ בחלק זה נלמד:
 - למצוא את כתובת ה-IP שלנו
 - לגלות איך יודעים אם כרטיס רשת אחר נמצא ברשת שלנו
 - מהו ראוטר
 - איך ראוטר מחליט לאן לנתב פקטות

- ▶ מה כתובת ה-IP שלנו?
- ▶ היכנסו ל-cmd והקישו את הפקודה ipconfig

```
C:\Windows\system32\cmd.exe
Microsoft Windows [Version 6.1.7601]
Copyright (c) 2009 Microsoft Corporation. All rights reserved.

C:\Users\USER>ipconfig

Windows IP Configuration

Ethernet adapter Local Area Connection:

    Connection-specific DNS Suffix  . : privatebox
    Link-local IPv6 Address . . . . . : fe80::419b:3369:cfb6:705%11
    IPv4 Address. . . . . : 192.168.14.51
    Subnet Mask . . . . . : 255.255.255.0
    Default Gateway . . . . . : 192.168.14.1
```

שאלה למחשבה

- ▶ כמה כתובות IP אפשריות ישנן?
 - תשובה: כתובת IP מורכבת למעשה מ-32 ביט*, לכן כמות הכתובות היא 2 בחזקת 32
- * הכוונה ל-IPv4 אליו נתייחס מעתה ואילך



Network ID, Host ID



- ▶ כתובת IP מחולקת לשני חלקים:
 - Network ID - לאיזו רשת שייכת הכתובת?
 - לדוגמה: האם זו הרשת של בית הספר?
 - Host ID - לאיזה כרטיס רשת ספציפי שייכת הכתובת?
- ▶ דוגמה:
 - נניח שלבית הספר יש Network ID: **200.100**
 - ולאחד מחשבים ברשת יש Host ID: **0.1**
 - כתובת ה-IP המלאה: **200.100.0.1**
- ▶ האם הכתובות הבאות שייכות לרשת של בית הספר?
 - 200.100.1.4
 - 200.101.2.3
 - 100.200.5.6

Subnet Mask



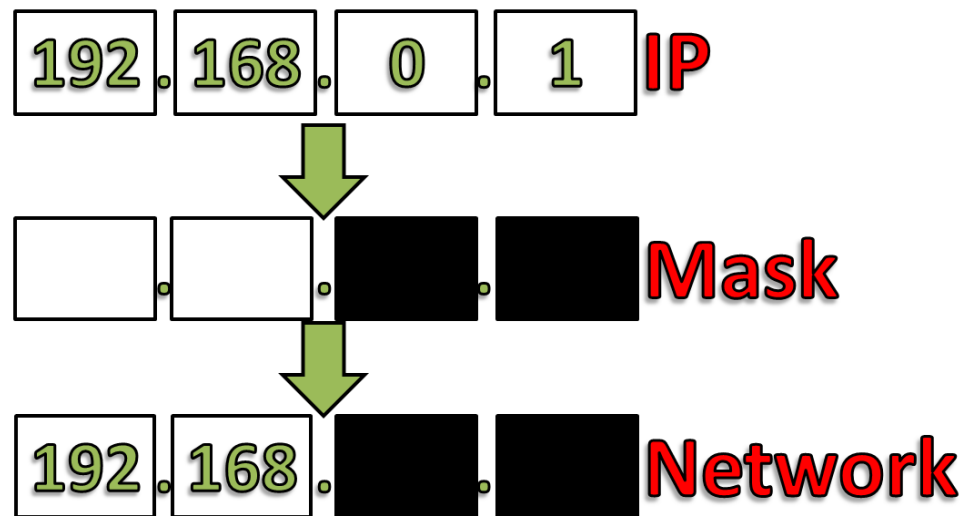
- ▶ חישוב- האם אפשר לדעת מכתובת ה-IP שלכם מהו ה- Network ID של הרשת שלכם?
 - נניח שמצאנו את כתובת ה-IP שלנו ברשת של בית הספר, 192.168.0.5. האם 192.168.1.1 נמצא גם הוא ברשת של בית הספר?

Subnet Mask - המשך

- ▶ בשביל לדעת אם שתי כתובות IP נמצאות באותה רשת, צריך לדעת כמה ביטים מתוך כתובת ה-IP מייצגים את ה-**Network ID**
 - לדוגמה, כתובת ה-IP שלנו היא **192.168.0.5**:
 - בבינארי- **11000000 10101000 00000000 00000101**
 - אם ה-**Network ID** מיוצג על ידי... :
 - 8 ביטים- כל IP שמתחיל ב-**11000000** נמצא ברשת שלנו
 - 16 ביטים- כל IP שמתחיל ב-**11000000 10101000** נמצא ברשת שלנו
 - 18 ביטים - כל IP שמתחיל ב-**11000000 10101000 00** ברשת שלנו
 - כפי שרואים, ה-**Network ID** לא חייב להיות כפולה של 8 ביטים

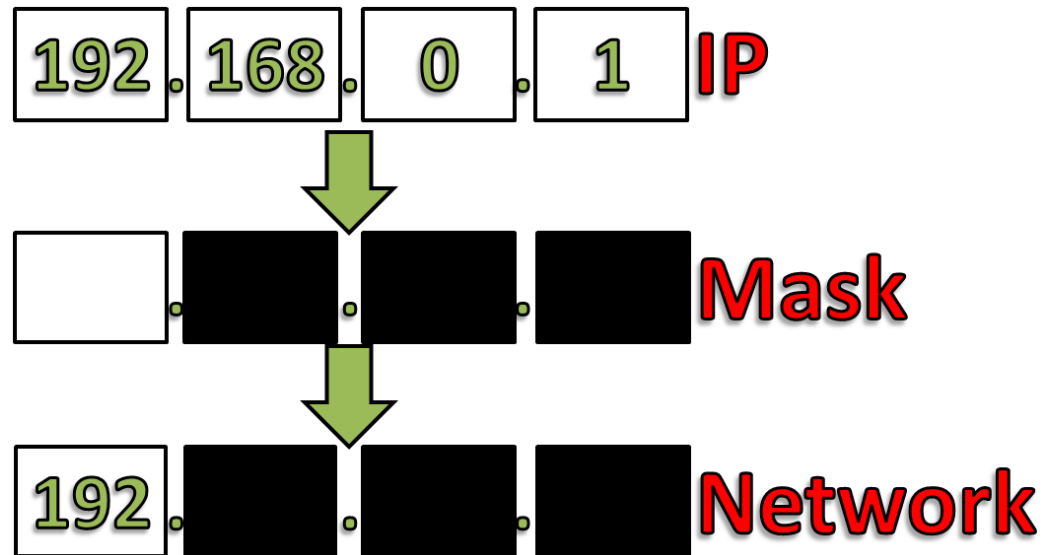
Subnet Mask - המשך

- ▶ מציינים את כמות הביטים ב-Network ID באחת משתי שיטות:
 - ע"י לוכסן וכמות הספרות. לדוגמה: 192.168.0.5/16 מציין ש-16 הביטים הראשונים הם ה-Network ID
 - ע"י Subnet mask - לדוגמה 255.255.0.0, מציין ש-16 הביטים הראשונים "דולקים" והם ה-Network ID



Subnet Mask - המשך

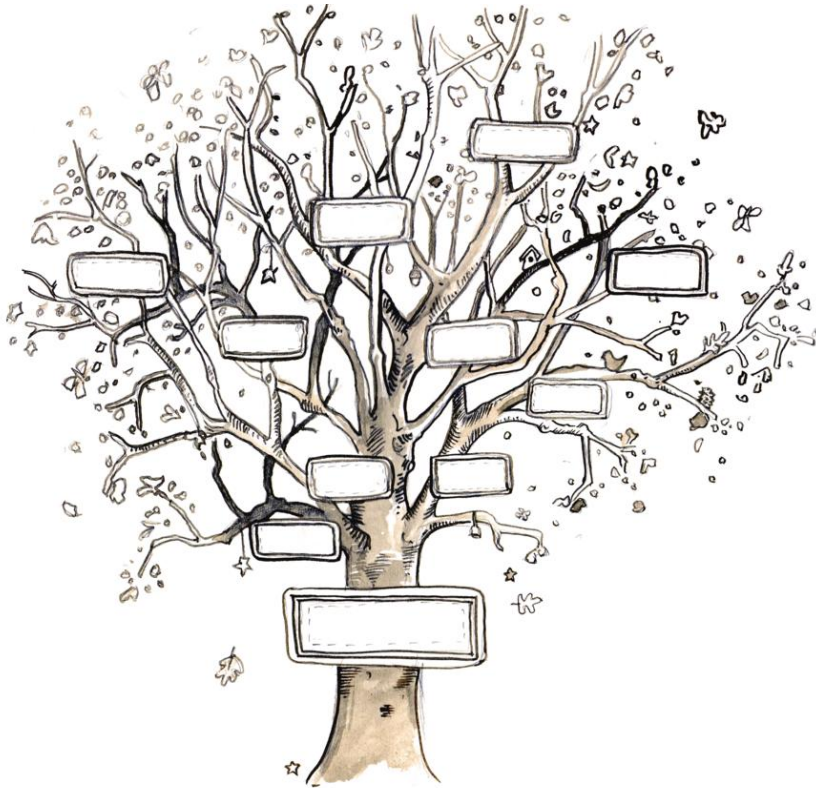
לדוגמה 255.0.0.0, מצוין ש-8 הביטים הראשונים "דולקים" והם
ה- Network ID



תרגול - Subnet Mask

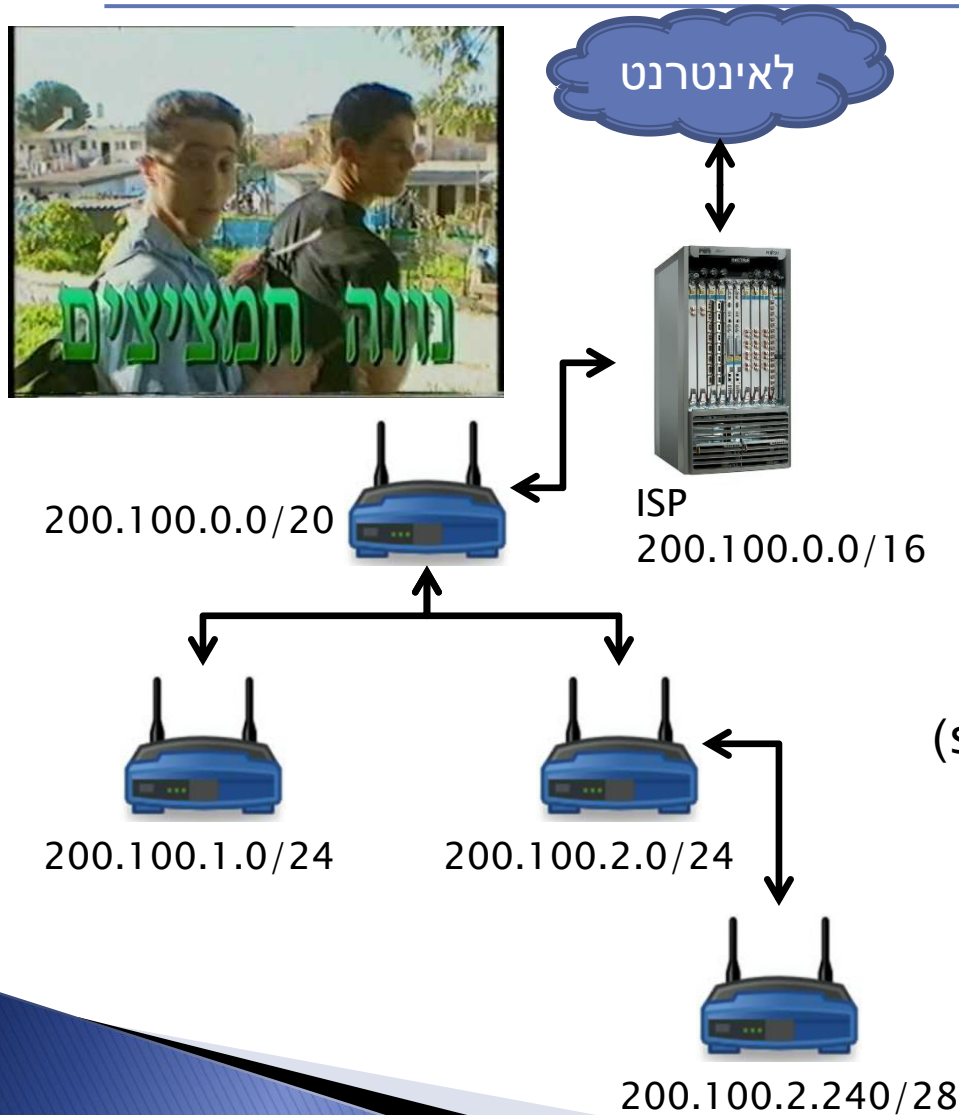
- ▶ באמצעות ipconfig, מיצאו את ה-subnet mask שלכם
- ▶ חישבו על IP נוסף שעשוי להיות איתכם באותה רשת
- ▶ חישבו על IP שהוא בהכרח מחוץ לרשת שלכם
- ▶ הסניפו את הרשת שלכם במשך דקה ורישמו את כל כתובות ה-IP ששייכות לרשת הפנימית שלכם





- ▶ אוסף של כרטיסי רשת שיש להם את אותו Network ID נקראים תת-רשת, או Subnet
- ▶ אפשרי שבתוך Subnet יהיו Subnets נוספים
 - חיטבו על עץ משפחתי: יכולות להיות מספר משפחות, שהן צאצאים של משפחה אחת
- ▶ Subnet מקושרים ביניהם ע"י רכיבי רשת שנקראים ראוטרים- נתבים, Router

Subnets - המחשה



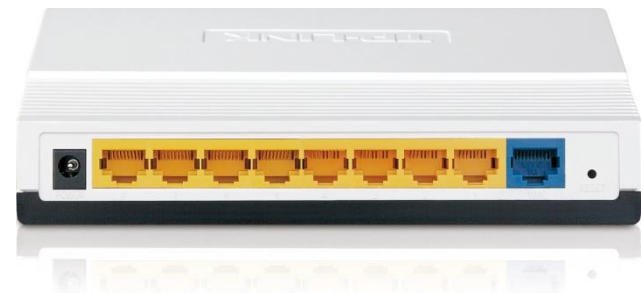
- ▶ בבית הספר "נווה חמציצים" יש רשת 200.100.0.0/20
- ▶ למעבדת מחשבים א' יש רשת 200.100.1.0/24
- ▶ למעבדת מחשבים ב' יש רשת 200.100.2.0/24
- ▶ למעבדת מחשבים ג' יש רשת 200.100.2.240/28
- ▶ כמה subnets יש בבית הספר?
 - 4 (גם הרשת הבית ספרית היא subnet)
- ▶ כמה מחשבים יכולה להכיל כל subnet?
 - 16, 256, 256, 4096

נתב - Router



ראוטר מדגם CRS תוצרת Cisco ו-Fujitsu, משמש ISP'ים

- ▶ בחלק זה נדון בתפקידי הראוטר
- ▶ מהם חלקי הראוטר
- ▶ מהי טבלת ניתוב
- ▶ נבין היכן פקטות עלולות ללכת לאיבוד



ראוטר 8 פורטים ביתי תוצרת TP-LINK

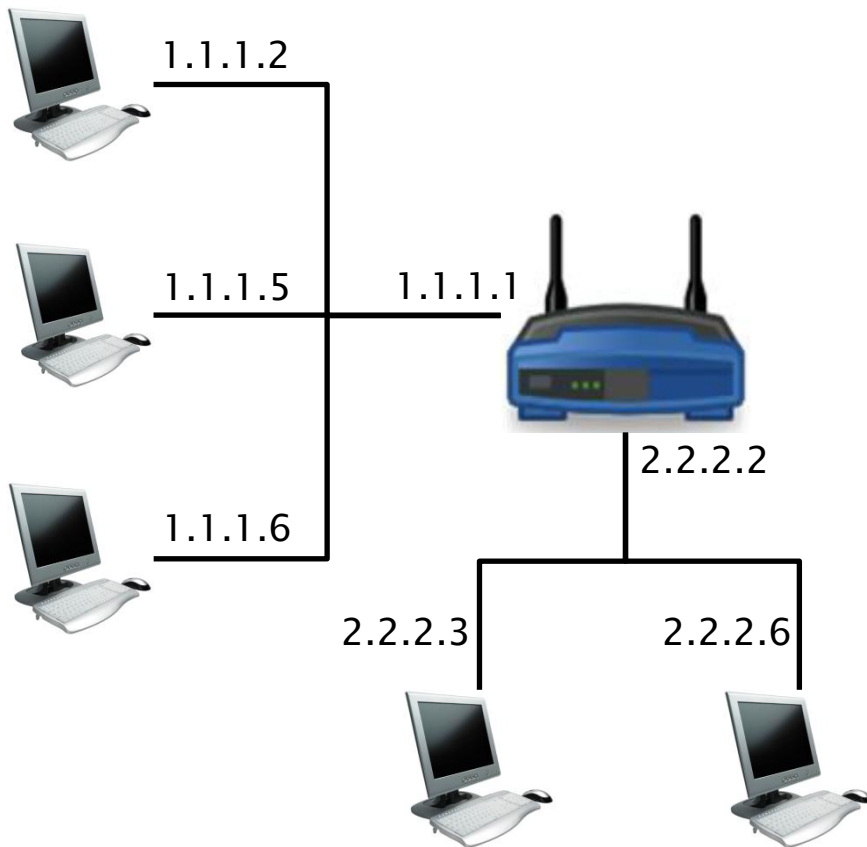
מהו Router?



מחלף בכביש 9, יפן

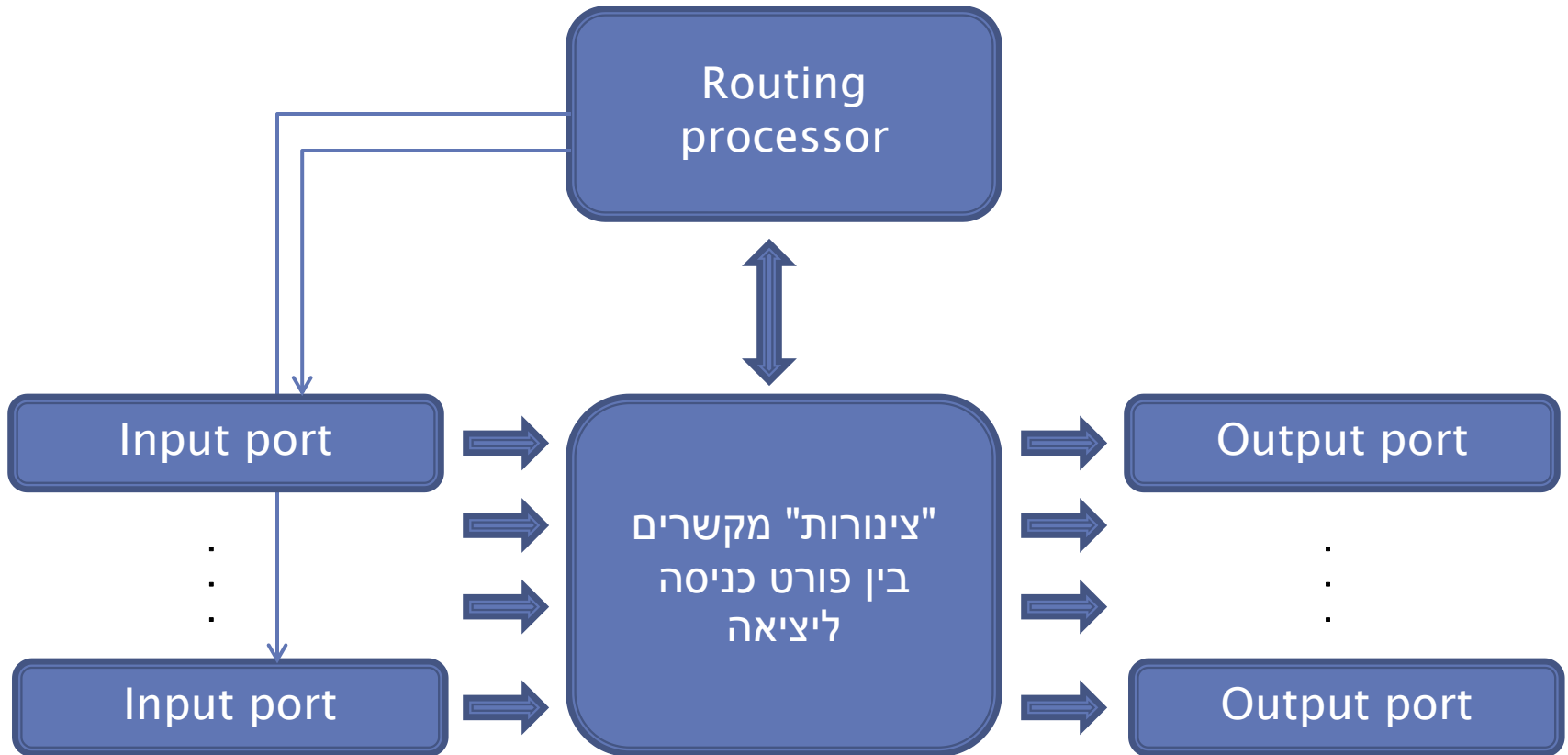
- ▶ ראוטר הוא ציוד תקשורת בעל שני תפקידים מרכזיים:
 - **Routing** - מציאת הנתיב הטוב ביותר ממנו לכל נקודה ברשת האינטרנט
 - **Forwarding** - קישור בין רשתות ברמת שכבת הרשת. קבלת המידע שמגיע אליו והעברה לחוליה הבאה בשרשרת

מהו קישור בין רשתות?

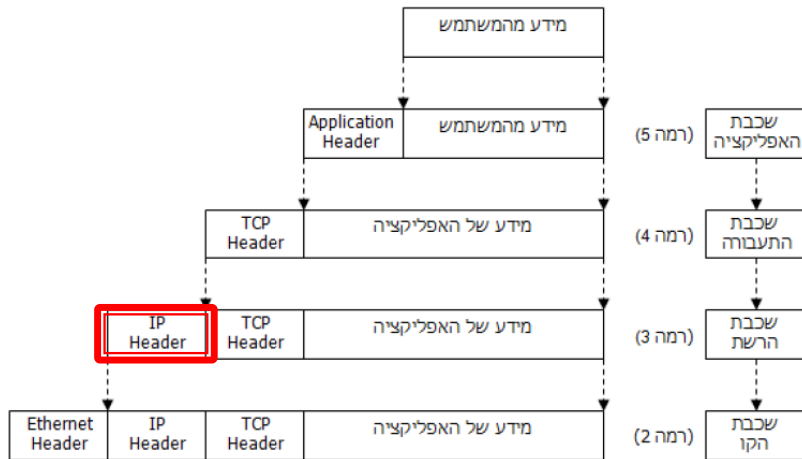


- ▶ באיור 2 רשתות המקושרות ע"י ראוטר:
 - 1.1.1.0/8
 - 2.2.2.0/8
- ▶ לראוטר יש ממשק רשת מול כל אחת מהרשתות
 - כיוון שממשק רשת דורש כתובת IP- לראוטר יש כתובת IP בכל אחת מהרשתות:
 - 1.1.1.1
 - 2.2.2.2
- ▶ בעזרת הראוטר אפשר להעביר פקטות מרשת אחת לאחרת

ארכיטקטורה של ראוטר



Input Ports

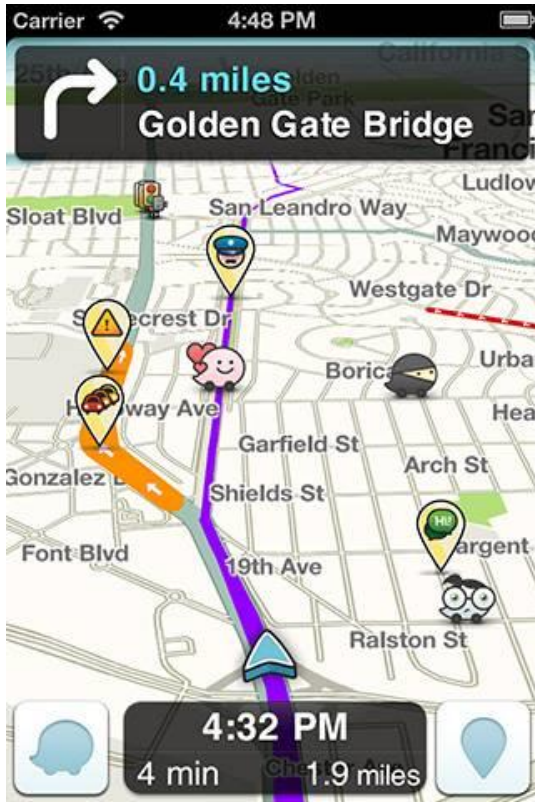


▶ דרכם נכנסות פקטות אינטרנט אל הראוטר

▶ תפקידים:

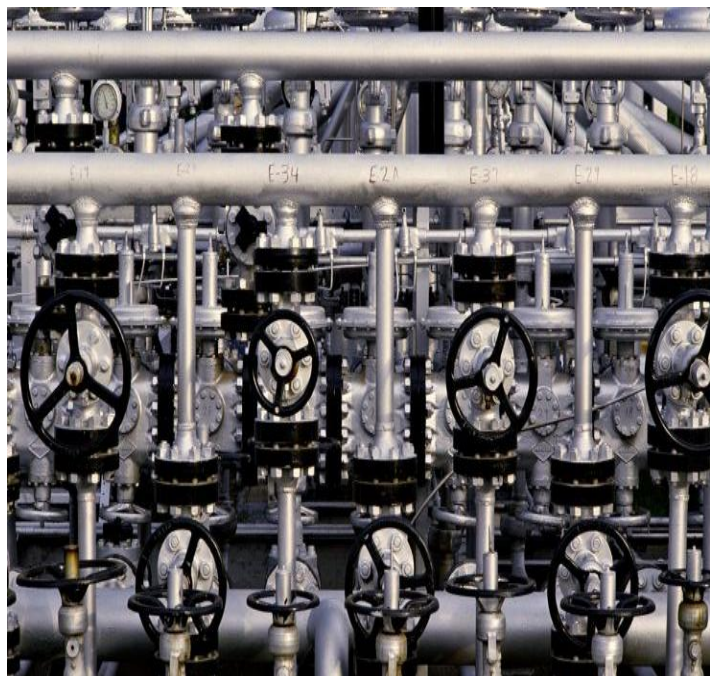
- לקלוט את הפקטות (השכבה הפיזית)
- "לקלף" את שכבת הקו
- כזכור היא עוטפת את שכבת הרשת
- לחלץ את כתובת ה-IP של היעד מתוך ה-IP header ולהעביר אותה למעבד
- להעביר את הפקטה אל ה"צינורות" המקשרים אל פורט היציאה

Routing Processor



- ▶ קובע את הניתוב המתאים לכל פקטה
 - לדוגמה: "פקטות שמיועדות ל-1.2.3.4, יש להפנות ל-Output port מספר 6"
- ▶ איך נקבע הניתוב?
 - לראוטר יש טבלת ניתוב
 - נלמד עליה בהמשך
- ▶ מהיכן נוצרת טבלת הניתוב?
 - מנהל הרשת יכול להזין ידנית
 - אלגוריתמי ניתוב
- ▶ מהו אלגוריתם ניתוב?
 - ישנם רבים. RIP, BGP, Is-Is ועוד
 - הרעיון הכללי: מציאת המסלול הקצר ביותר אל היעד, בהתאם לעומסים המשתנים
 - כמו Waze 😊

"צינורות" קישור בין פורט כניסה ויציאה



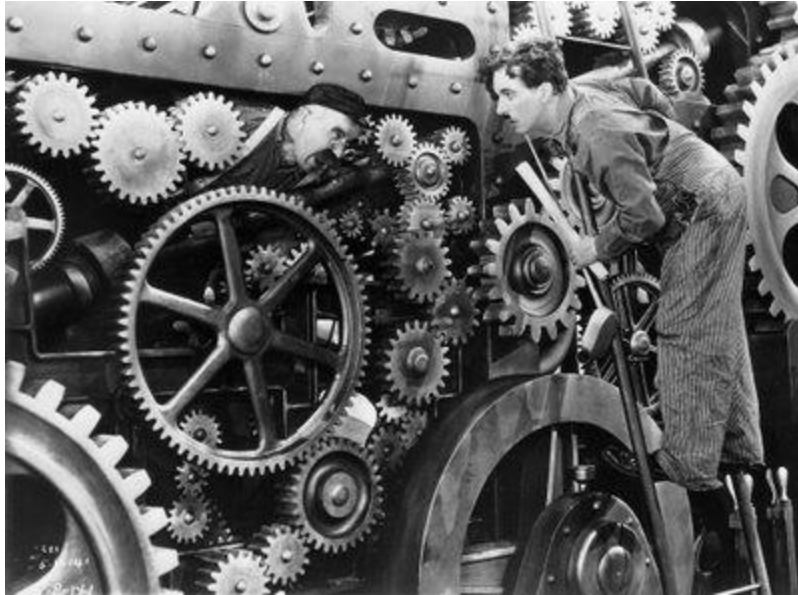
- ▶ מימוש הקישור בין פורט הכניסה והיציאה יכול להתבצע במספר דרכים
- ▶ לדוגמה: ע"י רכיב זיכרון
 - לכל פורט יש אזור זיכרון שקשור אליו
 - כדי להעביר פקטה מפורט כניסה A לפורט יציאה B מעתיקים אותה מהזיכרון שקשור ל-A אל הזיכרון שקשור ל-B

Output ports



- ▶ מבצעים את הפעולות ההפוכות ל-
input ports
- ▶ תפקידים:
 - קליטת הפקטה מ"הצינורות" המקשרים
 - בשלב זה הפקטה היא שכבת הרשת +
תעבורה + אפליקציה
 - עטיפת הפקטה בשכבת ה-data link
 - כתובת ה-mac של היעד הבא
 - שידור הפקטה (מימוש השכבה הפיזית)

קצב עבודה של ראוטר



- ▶ חישובו - מה קורה אם קצב הפקטות גבוה מדי?
 - פקטות צפויות ללכת לאיבוד
- ▶ היכן פקטות הולכות לאיבוד?
 - ה-input port לא מספיק לקלוט אותן
 - במהלך העתקות הזיכרון מ-input ל-output port
 - ה-output port לא מספיק לשדר אותן
- ▶ זוכרים שאמרנו ששכבת הרשת לא בהכרח אמינה? מצאנו נקודה שבגללה לא מובטחת אמינות 😊
 - חישובו- באילו עוד מקומות ברשת פקטות עלולות ללכת לאיבוד?

איך ראوتر יודע לאן לנתב?

נניח רשת: ▶

- הראטר R1 מכיר את הרשת 192.168.0.0/16 ואת R2
- הראטר R3 מכיר את הרשת 100.200.0.0/16 ואת R2
- R2 מחובר ל-3 רשתות שונות, ויש לו 3 כתובות IP



- אל R2 מגיעה פקטה שכתובת ה-IP של היעד שלה היא 100.200.5.8. איך יידע R2 לאן לנתב את הפקטה?

טבלת ניתוב Routing Table

▶ כזכור אחד מתפקידיו של ה-routing processor שבראוטר הוא להחזיק טבלת ניתוב עדכנית. הטבלה של R2:

מספר שורה	יעד (Network) (Destination)	מסכת רשת (Network) (Mask)	ממשק (Interface)
1	0.0.0.0	0.0.0.0	3.3.3.3
2	192.168.0.0	255.255.0.0	1.1.1.1
3	100.200.0.0	255.255.0.0	2.2.2.2

- ▶ הראוטר עובר על השורות מלמטה למעלה ומחפש התאמות
- ▶ החיפוש נעצר בהתאמה הראשונה
- ▶ מה יהיה הממשק שיבחר עבור הפקטה שמיועדת ל- 100.200.5.8?
 - הכתובת מתאימה לחוק בשורה 3, הממשק יהיה 2.2.2.2

טבלת ניתוב - המשך



- ▶ מה יהיה הממשק הנבחר עבור פקטה שמיועדת ל-
192.168.6.6?
- הפקטה מתאימה לחוק בשורה 2, הממשק יהיה 1.1.1.1
- ▶ ומה יהיה הממשק עבור 5.5.5.5?
- הפקטה אינה עונה על החוקים בשורות 2,3
- החוק בשורה 1 תופס כל פקטה (חישבו- מדוע?)
- הממשק בשורה 1 הוא ממשק ברירת המחדל **default gateway** - כל פקטה שלא ענתה לחוק אחר, תישלח אליו

מספר שורה	יעד (Network) (Destination)	מסכת רשת (Network) (Mask)	ממשק (Interface)
1	0.0.0.0	0.0.0.0	3.3.3.3
2	192.168.0.0	255.255.0.0	1.1.1.1
3	100.200.0.0	255.255.0.0	2.2.2.2

Route Print

- ▶ בידקו את טבלת הניתוב במחשב שלכם!
- ▶ ב-cmd הקלידו route print

```

C:\Windows\system32\cmd.exe
C:\Users\USER>route print
=====
IPv4 Route Table
=====
Active Routes:
Network Destination        Netmask          Gateway          Interface        Metric
0.0.0.0                    0.0.0.0          192.168.14.1    192.168.14.51    20
127.0.0.0                  255.0.0.0        0n-link        127.0.0.1        306
127.0.0.1                  255.255.255.255 0n-link        127.0.0.1        306
127.255.255.255           255.255.255.255 0n-link        127.0.0.1        306
192.168.14.0              255.255.255.0   0n-link        192.168.14.51    276
192.168.14.51             255.255.255.255 0n-link        192.168.14.51    276
192.168.14.255           255.255.255.255 0n-link        192.168.14.51    276
224.0.0.0                  240.0.0.0        0n-link        127.0.0.1        306
224.0.0.0                  240.0.0.0        0n-link        192.168.14.51    276
255.255.255.255           255.255.255.255 0n-link        127.0.0.1        306
255.255.255.255           255.255.255.255 0n-link        192.168.14.51    276
  
```

Route Print - שדות

Network Dest. של הצירוף של Netmask הוא ההתאמה ו- שנבדקת לגבי כל IP יעד

כתובת ה-IP אליה יש להעביר את הפקטה כדי שתגיע ליעד

ה"מרחק" אל היעד

```

C:\Windows\system32\cmd.exe
C:\Users\USER>route print

-----
IPv4 Route Table
-----
Active Routes:
Network Destination     Netmask          Gateway          Interface        Metric
-----
0.0.0.0                 0.0.0.0          192.168.14.1    192.168.14.51    20
127.0.0.0               255.0.0.0        127.0.0.1      127.0.0.1        306
127.0.0.1               255.255.255.255 127.0.0.1      127.0.0.1        306
127.255.255.255        255.255.255.255 127.0.0.1      127.0.0.1        306
192.168.14.0            255.255.255.0   192.168.14.51  192.168.14.51    276
192.168.14.51          255.255.255.255 192.168.14.51  192.168.14.51    276
192.168.14.255         255.255.255.255 192.168.14.51  192.168.14.51    276
224.0.0.0               240.0.0.0        127.0.0.1      127.0.0.1        306
224.0.0.0               240.0.0.0        192.168.14.51  192.168.14.51    276
255.255.255.255        255.255.255.255 127.0.0.1      127.0.0.1        306
255.255.255.255        255.255.255.255 192.168.14.51  192.168.14.51    276
  
```

On-link: המחשב יודע לנתב לבד, בלי צורך בראוטר

כתובת ה-IP של ה-NIC (כרטיס הרשת) דרכו יש לשלוח את הפקטה

תרגילים - טבלת ניתוב

```

C:\Windows\system32\cmd.exe
C:\Users\USER>route print
=====
IPv4 Route Table
=====
Active Routes:
Network Destination        Netmask          Gateway          Interface        Metric
0.0.0.0                    0.0.0.0          192.168.14.1     192.168.14.51    20
127.0.0.0                  255.0.0.0        0n-link         127.0.0.1        306
127.0.0.1                  255.255.255.255 0n-link         127.0.0.1        306
127.255.255.255           255.255.255.255 0n-link         127.0.0.1        306
192.168.14.0               255.255.255.0    0n-link         192.168.14.51    276
192.168.14.51             255.255.255.255 0n-link         192.168.14.51    276
192.168.14.255            255.255.255.255 0n-link         192.168.14.51    276
224.0.0.0                  240.0.0.0        0n-link         127.0.0.1        306
224.0.0.0                  240.0.0.0        0n-link         192.168.14.51    276
255.255.255.255           255.255.255.255 0n-link         127.0.0.1        306
255.255.255.255           255.255.255.255 0n-link         192.168.14.51    276
  
```

השלימו על פי טבלת הניתוב: ▶

Destination IP	Interface
255.255.255.255	192.168.14.51
192.168.14.51	192.168.14.51
127.0.0.1	127.0.0.1
127.5.5.6	127.0.0.1
1.2.3.4	192.168.14.51

כתובות IP מיוחדות



- ☺ את 127.0.0.1 הכרנו ▶
- Broadcast IP ▶
- Multicast IP ▶

Broadcast IP



- ▶ נדמיין מנהל בית ספר שרוצה להודיע הודעה לתלמידים. מה עדיף?
 - לקרוא לכל תלמיד
 - להשתמש במערכת הכריזה
- ▶ נדמיין subnet בעל 200 מחשבים, מחשב רוצה לשלוח הודעה לכולם:
 - אפשר לשלוח פקטה לכל כתובת IP ברשת הפנימית
 - ... או לשלוח פקטה אחת לכתובת IP מיוחדת - 255.255.255.255 - שמשמעותה הוא שהיא מיועדת לכל מי שנמצא ברשת המקומית
 - יתרון נוסף - אם לא כל כתובות ה-IP ב-subnet מוכרות לשולח

Multicast IP



- ▶ Multicast - שליחה של פקטה למספר כתובות IP
- ▶ איך זה מתבצע?
 - כמו קבוצה ב-whatsapp 😊
 - מספר כרטיסי רשת מוגדרים בראוטר "קבוצה"
 - לקבוצה יש כתובת IP מיוחדת
 - הוגדרו כמה טווחים של כתובות IP שמורות ל-multicast
 - אם הראוטר מקבל הודעה לכתובת ה-IP המיוחדת, הוא משכפל אותה לכל IP בקבוצה
- ▶ שידור Multicast משמש לדוגמה לתקשורת בין ראוטרים, כגון לפרוטוקול ניתוב RIP2

סיכום- מה למדנו?



- ▶ איך אפשר לדעת מה ה-IP שלי?
- ▶ איך אפשר לדעת אם שני IPים שייכים לאותה subnet?
- ▶ מה 2 התפקידים של ראوتر?
- ▶ איך ראوتر יודע לאן לנתב פקטה שמגיעה אליו?
- ▶ מהו default gateway?

הרחבה

NAT

NAT – Network Address Translation



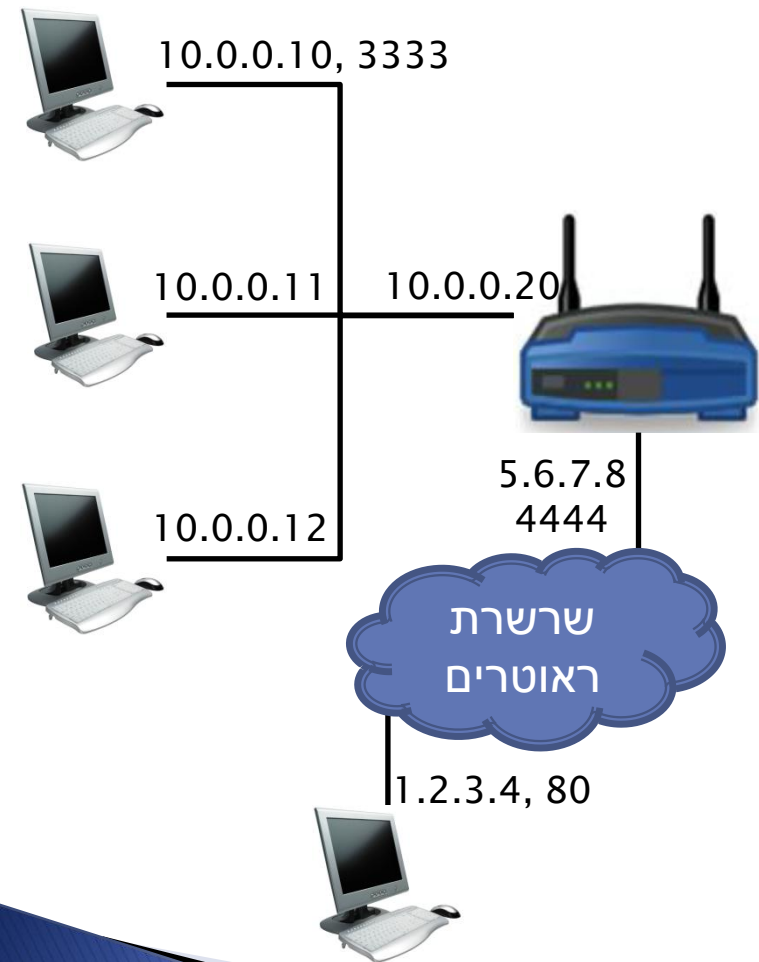
- ▶ כדי שתעבורת רשת האינטרנט תעבוד ללא תקלות, אסור שלשני התקנים תהיה אותה כתובת IP
 - כמו שאין שתי כתובות אימייל זהות
 - ואין שתי כתובות "החילזון 15 רמת גן"
- ▶ מאידך, כמות כתובות ה-IP היא קטנה מדי (IPv4 – 32 ביט) והקצאה לא יעילה בתחילת ימי האינטרנט החמירה את המצב
- ▶ פתרונות:
 - מעבר לכתובת IP של 64 ביט – IPv6
 - NAT



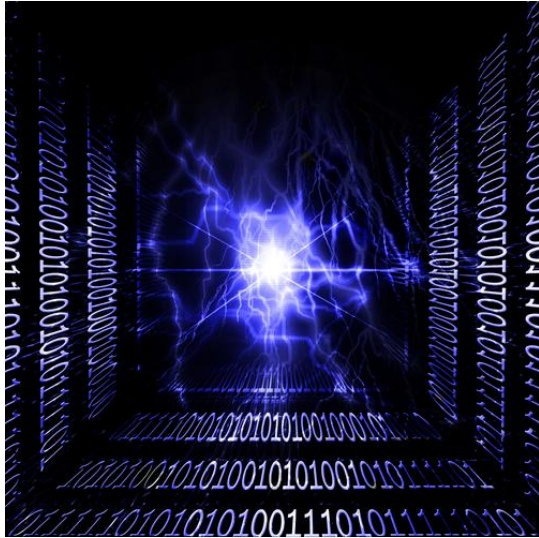
- ▶ הרעיון הכללי: לכל התקן רשת ב-subnet תהיה כתובת IP פנימית (בדויה) שמוכרת רק לראוטר* שלה
 - אפשרי שלמחשב בבית ספר א' תהיה כתובת ה-IP הפנימית 10.0.0.10 וגם מחשב ב-subnet של בית ספר ב' ישתמש באותה כתובת
- ▶ בדרך מחוכמת הרשת תדע לנתב אליהם את התעבורה בלי להתבלבל
- ▶ חישובו- איך אפשר לעשות את זה?

* NAT וראוטר יכולים להיות רכיבים נפרדים, אבל בדרך כלל כשנקנה ראוטר הוא יכול NAT

המחשת אופן פעולה של NAT



- ▶ מחשב שכתובת ה-IP הפנימית שלו היא 10.0.0.10 מבקש לגלוש לאתר בעל IP 1.2.3.4 בפורט 80
- ▶ המחשב בוחר אקראית להשתמש ב-source port מספר 3333
- ▶ המחשב שולח את הבקשה לראוטר, שכתובת ה-IP הפנימית שלו היא 10.0.0.20
- ▶ לראוטר יש גם כתובת IP תקינה, שמשמשת לתקשורת חיצונית, נניח 5.6.7.8
- ▶ הראוטר מחליף את ה-IP הפנימי ב-IP ה"תקין" שלו
- ▶ הראוטר בוחר source port כלשהו, נניח 4444
- ▶ נפתח סוקט בין כתובת 1.2.3.4 בפורט 80 (שרת), לכתובת 5.6.7.8 בפורט 4444- צירוף תקין
- ▶ הראוטר שומר בזיכרון שכל מידע שיגיע חזרה לפורט 4444 בעצם מיועד ל-10.0.0.10 בפורט 3333



- ▶ ע"י שימוש ב-NAT, בכמה מחשבים ברשת פנימית יכול לתמוך ראوتر יחיד?
 - ראوتر יכול תיאורטית לתמוך עם IP חיצוני אחד ב-65536 מחשבים ברשת פנימית, כמספר הפורטים הקיימים
- ▶ האם אפשר לפנות באופן יזום למחשב שנמצא מאחורי NAT?
 - לא, הראوتر לא יידע למי להעביר את הפקטות.
- ▶ דמיינו פרוטוקול רשת שמצפין את ה-header של ה-IP. חישוב- האם, בעקרון, פרוטוקול כזה יכול לעבור דרך NAT?
 - רמז: התבוננו ב-IP Header
 - תשובה: לא, אי אפשר לשנות את כתובת ה-IP בלי לשבש את ה-checksum ולגרום לפסילת הפקטה