

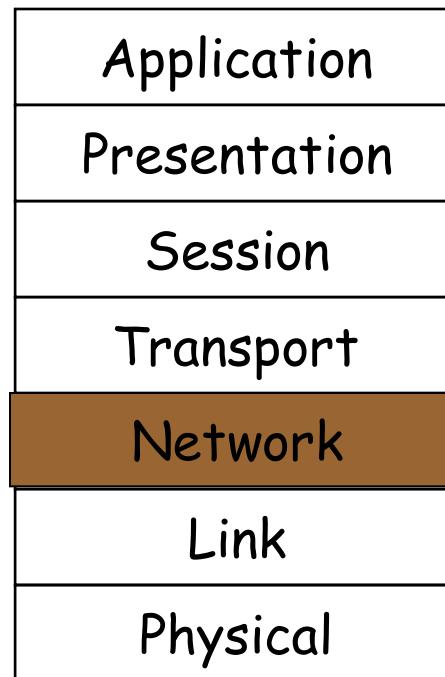
תקשורת מחשבים ואלגוריתמים מבזרים

קורס מס' 202-2-1131

מתרגל: ד"ר גיא לשם leshemg@cs.bgu.ac.il

הרצאה רבעית – שכבת הרשת

איך זה נראה ה层层ת התקשורת ו层层ת התקשורת



The 7-layer OSI Model

שכמת כרשת

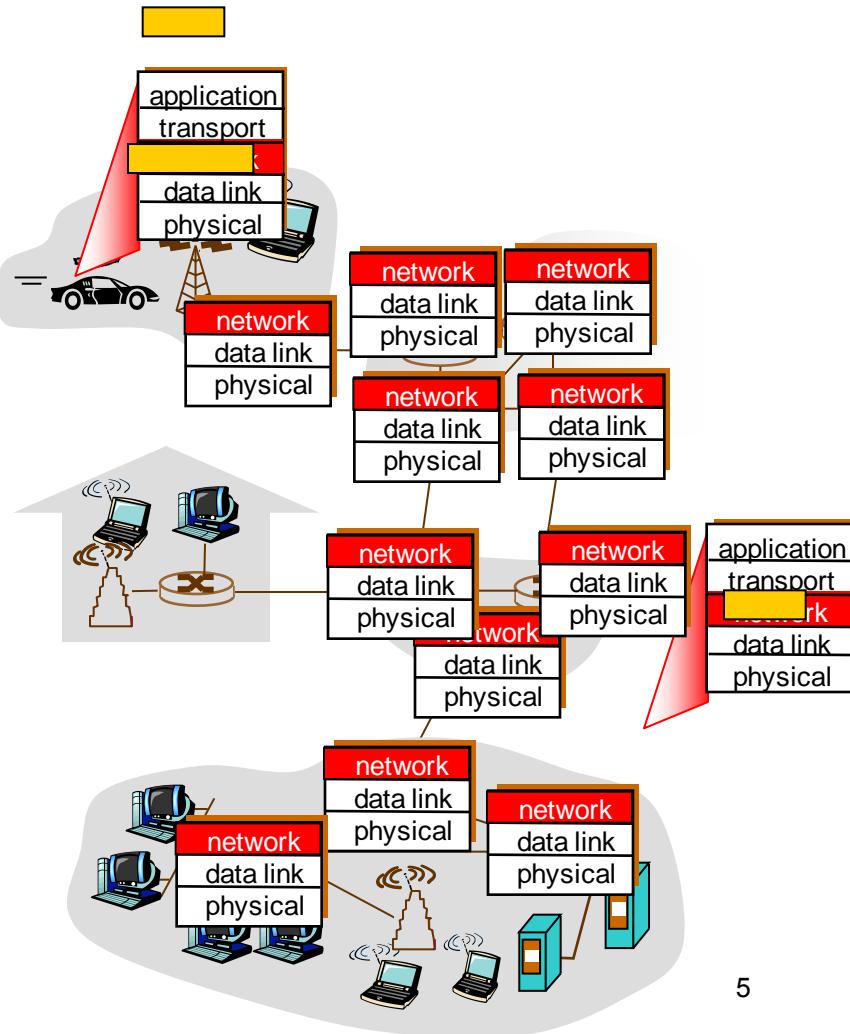
- **מבוא**
- **מעגלים וירטואליים וחבילות**
- **המידע בראשת**
- **מה יש בתוך הנטב (router)**
- **פרוטוקלי אינטרנט**
- Datagram format ■
- IPv4 addressing ■
- ICMP ■
- IPv6 ■
- **אלגוריתמי ניתוב:**
 - Link state ■
 - Distance Vector ■
 - Hierarchical routing ■
- **ניתוב באינטרנט:**
 - RIP ■
 - OSPF ■
 - BGP ■
- **ניתוב ↗ Broadcast ↘ multicast**

תפקידי סכמת התקשורת

- תפקיד של שכבת הרשת
 - להעביר חבילות מידע (packets) מהמחשב (host) השולח למחשב מקבל.
- פונקציות עיקריות:
 1. שליחת מידע ממחשב למחשב (Host-to-Host delivery).
 - מייעון (Addressing)
 - ניתוב (Routing)
 2. קריאה להגדרת תצורה (Call Setup):
 - (Path determination) אלגוריתמי ניתוב → (Routing Algorithms)
 - קביעת נתיב
 - בחירת הממשק (port) היוצא הנכון → (Forwarding) העברת הלאה
 3. ייצור חבילות מידע (Packetizing).
 4. שבירת למקטעים (Fragmenting).

מפרק'י סכמת הרכבת-אגדא (האפק)

- ▢ שכבת הרשת מעבירה "מפרק" (segment) מהמחשב השולח למקבל.
- ▢ פרוטוקול שכבת הרשת ק"מ בכל מחשב, ובכל נתב (router).
- ▢ מחד השולח שכבת הרשת עוטפת את המפרק לטור חבילת מידע.
- ▢ מחד המქבל שכבת הרשת מעבירה את המפרק לשכנת התעבורה.
- ▢ הנתב בוחן את שדה "הראש" בכל חבילה IP ומעביר אותה.



ספורהקטיים סכמת החלטת צו, "אפטוחומ"

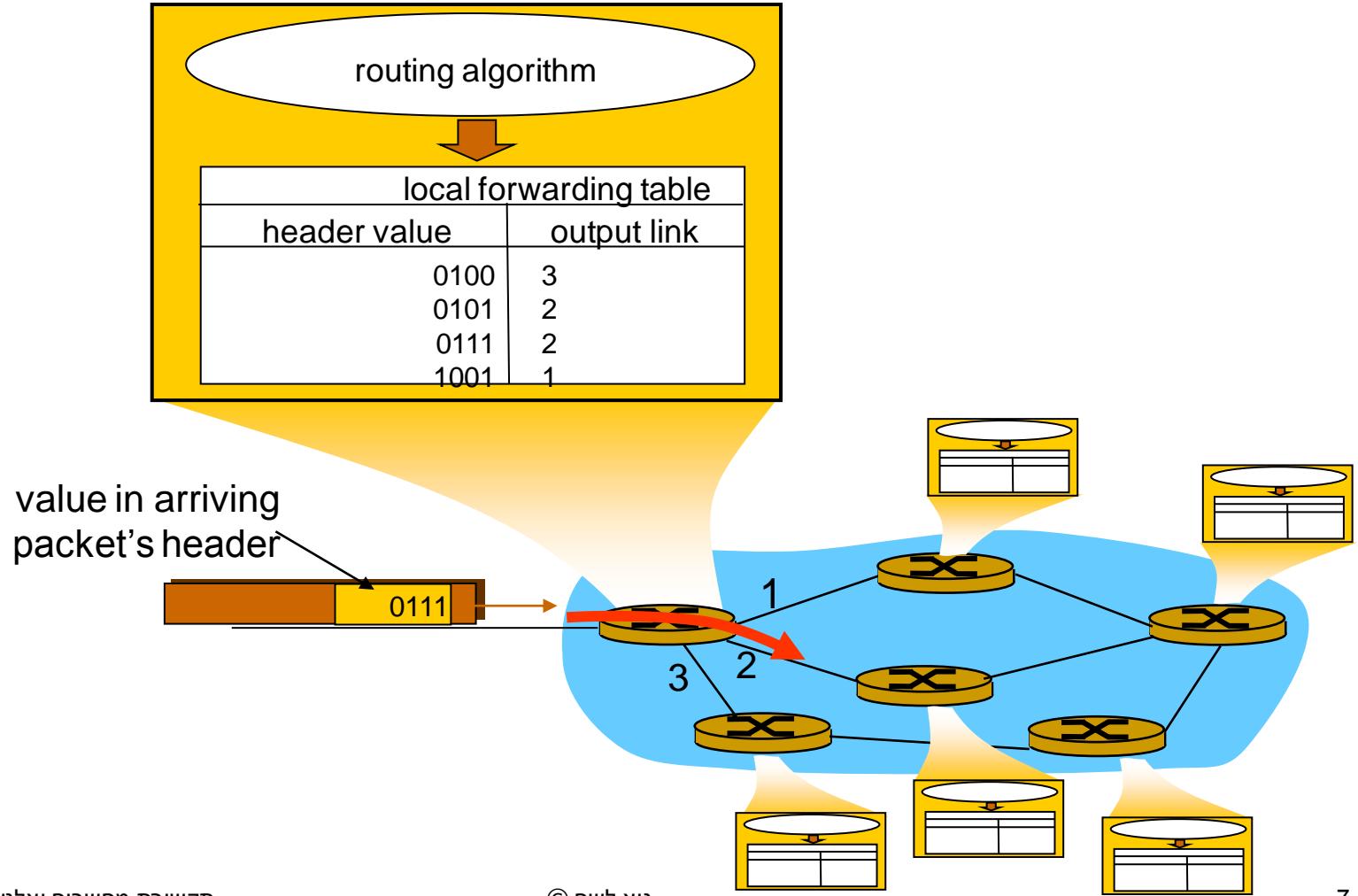
פרוטוקולי תקשורת

- **העברה:** מעביר חבילות מהנתב הקלט לנtab הפלט המתאים.
- **ניתוב:** קובע את הנתיב הנלכח ע"י החבילה מהמקור ליעד.
- ■ ע"י אלגוריתם ניתוב (routing algorithms)

אנלוגיה: טiol

- **העברה:** תהליך של קבלת נתיב דרך צומת בודד.
- **ניתוב:** תהליך של תכנון טiol מהמוצא ליעד.

כיצד הניתן לאלגוריתם בירור?



הקמת התקשורת

- **לדוגמה שלוש פונקציות חשובות בכמה ארכיטקטורות רשת:**
 - ATM (Asynchronous Transfer Mode) - פרוטוקול להעברת נתונים בקצב גובה.
 - frame relay - הוא פרוטוקול תקשורת לשינוע מהיר של חבילות מידע מעלה גבי חיבורים וירטואליים לחיבור אל התקני רשת.
 - X.25 - מורכבת מכלול פרוטוקולים תקניים למיתוג מנוגת ברשות Chawa. כולל מגדרה כיצד מוקמת ומתיוחזקת תקשורת בין תחנות קצה לרכיבי רשת וצד תקשורת נתונים.
- **לפני שabitת המידע נשלחת, 2 נקודות קצה ונתבים מפרידים מקימים חיבור וירטואלי.**
 - הנתבים נעשים מעורבים.
- **הרשת דרכו שכבת התעבורה מקשרת שירותים:**
 - **רשת:** בין שני מחשבים (כאשר יתכן שמערבים גם נתבים במקרה של חיבור וירטואלי).
 - **תעבורה:** בין שני תהליכיים.

איך הלקוח מקבל

שאלה: מהו "מודל השירות" עבור עורך תעבורת חבילות מהשלוח למקבל ?

דוגמא לשירות עבור חבילה

דוגמא לשירות עבור זרימה של

חבילות:

- ❑ הבטחה לשיליחה.
- ❑ הבטחה לשיליחה עם עיכוב הקטן מ- msec 40 .

- ❑ סדר תקין של שליחת החבילות.
- ❑ הבטחה לשימוש במינים רוחב פס בשיליחה.
- ❑ הגבלה על השינויים למרחב החבילה הפנימי.

שכמת כרשת

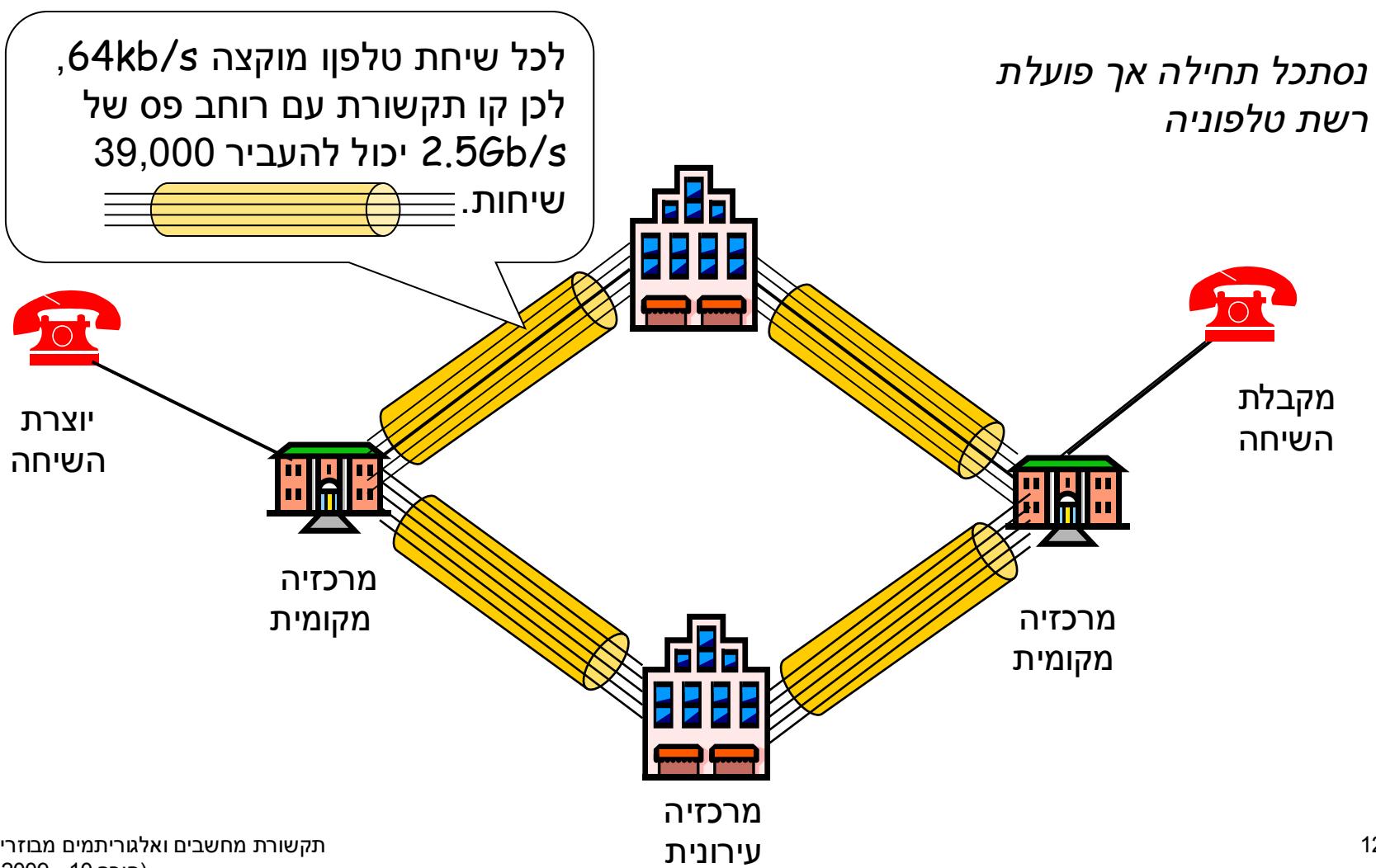
- **מבוא**
- **מעגלים וירטואליים וחבילות**
- **המידע בראשת**
- **מה יש בתוך הנットב (router)**
- **פרוטוקלי אינטרנט**
- Datagram format ■
- IPv4 addressing ■
- ICMP ■
- IPv6 ■
- **אלגוריתמי ניתוב:**
 - Link state ■
 - Distance Vector ■
 - Hierarchical routing ■
- **ניתוב באינטרנט:**
 - RIP ■
 - OSPF ■
 - BGP ■
- **- Broadcast**
- **multicast**

שיכום *of* שכמת הרכבת

- רשות של מעגלים וירטואלים (VC) מספקת שירות שכבת רשות עם קישור.
- רשות של חבילות מידע מספקת שירות שכבת רשות ללא קישור.
- מקביל לשירות שכבת התעבורה, אבל:
 - **שירות:** מחשב למחשב.
 - **לא בחירה:** הרשות מספקת לאחד או לאחרים.
 - **ישום:** בליבת הרשות.

וְאִמְתּוֹךְ נַעֲסֶה יָמִים

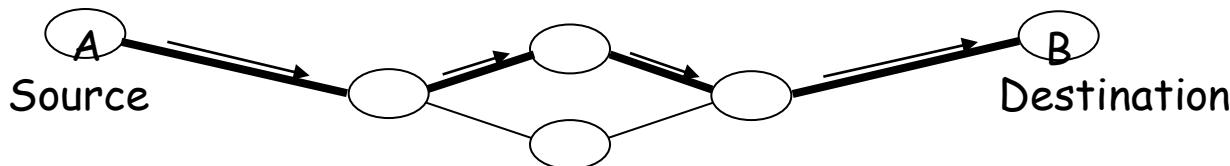
Virtual circuits –



אימוץ אספדי

"הנתיב המקורי ליעד מתנהג כמו מעגל טלפון."

- הרשות פועלת לאורך הנתיב המקורי ליעד



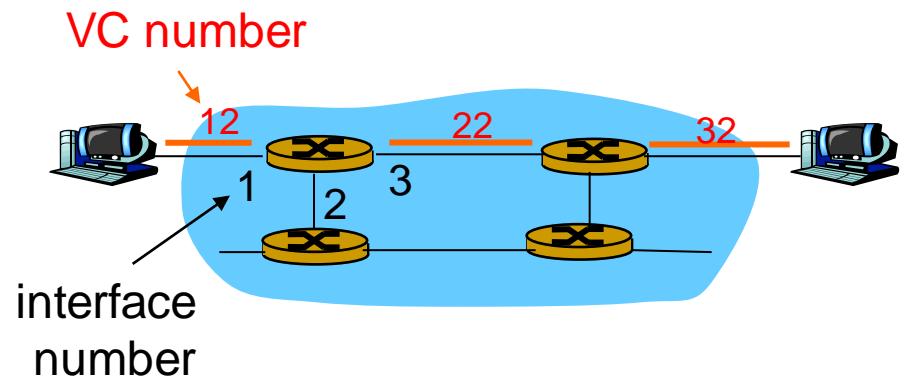
- ▢ זהה שיטה שבה משתמשת ברשות הטלפונית, לקריאה יש מספר פאות:
 1. קביעת (בחירה) המעגל מוקצה לקצה - התקשרות עצמה לפני שנתוונים יכולם לזרום.
 - 2.1 התקשרות עצמה - כל חבילה נושא זיהוי של חיבור וירטואלי (VC) ולא כתובת של מחשב היעד.
 - 2.2 כל נתב בנתיב של מקור-יעד מתחזק "מצב" עברו כל חבילה העוברת בקשר זהה.
 - 2.3 הרצף, משאבי הנתיב (רוחב פס, זכרון זמני (buffers)) חייבים להיות מוקצים לחיבור הווירטואלי (משאים הדבקים במטרה = שירות הנitin לחיזוי).
- 3. סגירת המעגל.

וַיֹּאמֶר כִּי אָמַת הַיְמָנוֹתִים (VC)

החיבור הירטואלי מורכב מ:

1. נתיב מהמקור ליעד.
 2. מספר של המugal הירטואלי, מספר אחד לכל ערוץ לאורק הנתיב.
 3. גישה לטבלת-shellיות (forwarding) בנתבים לאורק הנתיב.
- חvíלה שיצת למעגל וירטואלי נושא את מספר המugal הירטואלי ולא את כתובות היעד.
 - מספר המugal הירטואלי יכול להיות שונה בכל ערוץ.
 - מספר מעגל וירטואלי חדש מגיע לטבלת-shellיות (forwarding).

Forwarding table מילון הולכה



Forwarding table in northwest router:

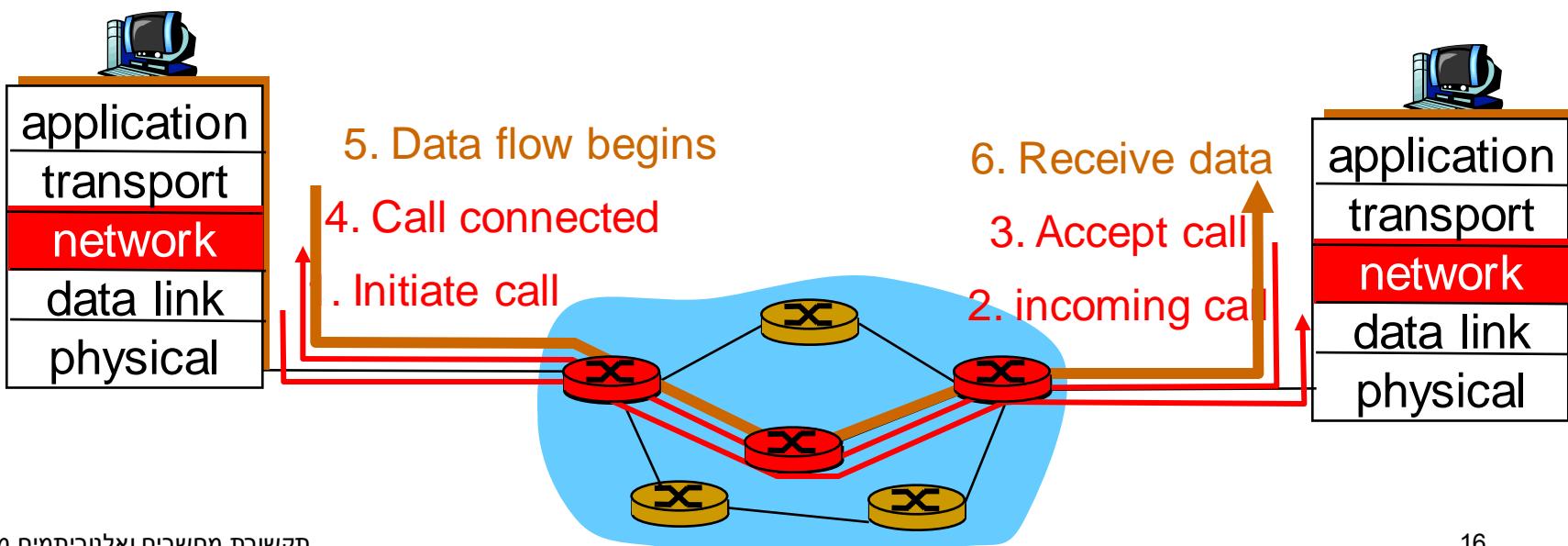
Incoming interface	Incoming VC #	Outgoing interface	Outgoing VC #
1	12	3	22
2	63	1	18
3	7	2	17
1	97	3	87
...

Routers maintain connection state information!

קווינטנסנס וירטואלי

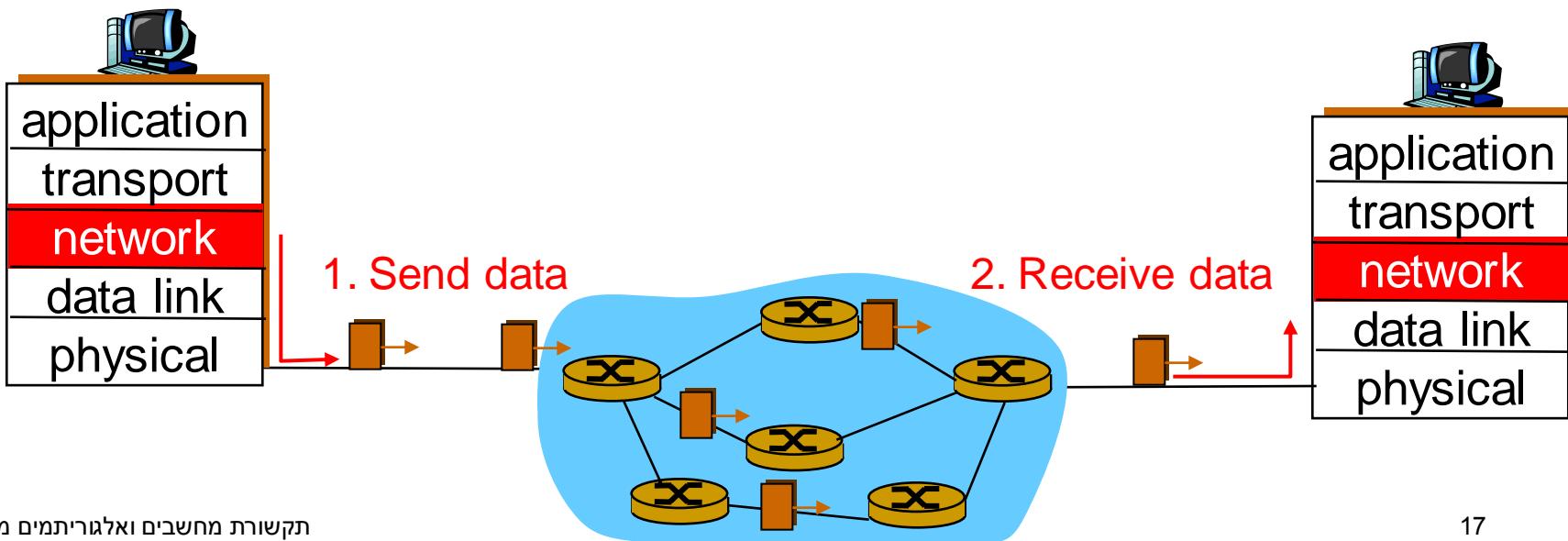
סיכון לשימוש במעגל וירטואלי (Virtual circuits):

- ☒ משמש להקמת תקשורת, תחזקה, הריסת מעגלים וירטואלים.
- ☒ משתמש ב프וטוקולים: ATM, frame-relay, X.25
- ☒ לא שימושי כיום ברשת האינטרנט.



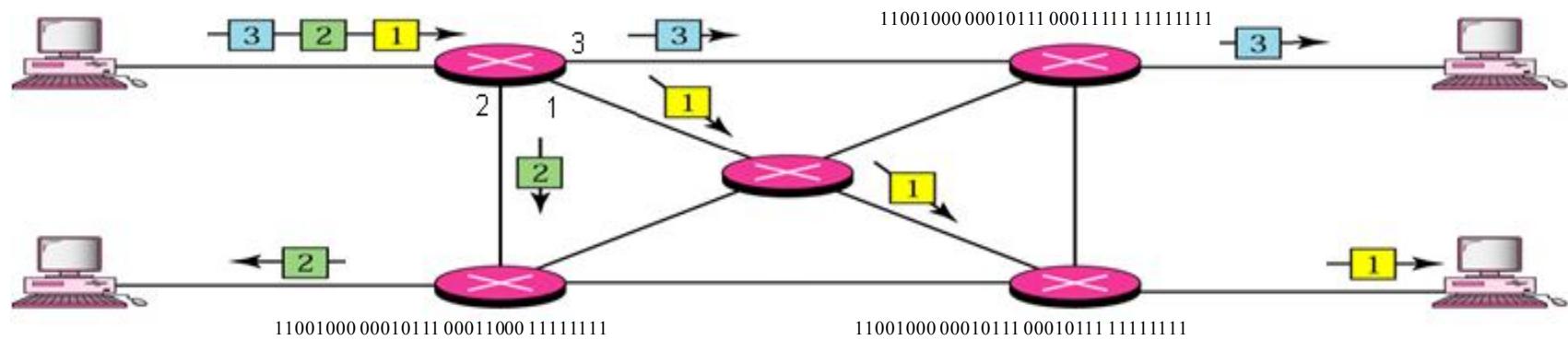
דיאגרם רשת מוגדרת כאיקס

- השיטה בה משתמשים באינטרנט.
- כל חיבור בנפרד נשלחת לדרישה ובוחרת את נתיביה, כך חיבור אחר חיבור, כאשר הן משתמשות בטבלת הניתוב המקומית של הנットב (ROUTER-ROUTER).
- הנットב מתחזק לא לפי מצב זרימה מסוים.
- חבריות שונות יתכן ויבחרו נתיבים שונים.
- מספר חברות יכולות להגיע בערך מסוים באותו זמן, וכך לגישת חיבור המידע יש חוץ (מקום אחסון זמן בזיכרון).



Forwarding table ካነፋ አፈጻ

<u>Destination Address Range</u>	<u>Link Interface</u>
11001000 00010111 00010000 00000000	1
11001000 00010111 00011000 00000000	2
11001000 00010111 00011001 00000000	3



כיצד מגלמת גאיך את אצת ורוף?

אינטרנט (חbillות מידע)

- מידע מוחלף בין המחשבים.
 - שירות גמיש לא נדרש תזמון מושלם.
- קצה המערכת "חכם" (מחשב):
 - יכול לעבוד נתונים, לבצע בקרה, להתואשש משגיאות.
 - רשות פשוטה מבפנים, מסובכת רק בקצה.
- סוג ערכאים רבים:
 - מאפיינים שונים.
- השירות האחד קשה לישום.

MAT (מעגל ורטואלי)

- התקשורת מרשת הטלפונית.
- בדומה לשיחה אנושית:
 - דורך תזמון מושלם ואמינות.
 - נדרש להבטחת השירות.
- קצה המערכת "אלם-טיפש":
 - לכן נדרש טלפון.
 - רשות מסובכת מבפנים.

כליות סינטטיicas

ATM (מעגל ורטואלי)

כאן אנחנו בונים נתיב מהמקור ליעד. השירות דומה לזה של רשת טלפונים המאפשרת לנו תקשורת real time מרוגע שהוקם נתיב.

לחבילות אין את כתובת היעד, אלא מזהה של הנטייב, כי היעד ידוע לפי הנטייב, וכך כן ידועים כל הנתבים בדרך.

המשאים של הנטייב (רוחב פס, חוצצים ועוד) מוקצים בזמן הקמת הנטייב, ומספקים שירותים שונים כמו בקלה על אבדן חבילות, קצב שידור קבוע, העברת חבילות לפי הסדר, ורוחב פס קבוע.

עבור רשותות שתומכות במולטי מדיה, כמו טלוויזיה בכבלים, תכונות כמו קצב שידור קבוע ושמירה על סדר החבילות הן תכונות חיוניות. עבור העברת מידע בין מחשבים הן פחות חשובות.

אינטרנט (חבילות מידע)

- השירות אותו אנחנו מקבלים בראשת האינטרנט, זהו שירות של best effort, כלומר הוא משתדל להעביר חבילות בלי טעות, אבל הוא לא מתחייב על כך. אין הקמת ערז שיחה, אין **connection**.
- לחבילות יש את כתובת IP של מחשב היעד, וחבילות שונות מאותו מקור יכולות להגיע לאותו היעד בנתיבים שונים.

נוקט' שיטות סכמת תקשורת

Network Architecture	Service Model	Guarantees ?			Congestion feedback
		Bandwidth Loss	Order	Timing	
Internet	best effort	none	no	no	no (inferred via loss)
ATM	CBR	constant rate	yes	yes	yes
ATM	VBR	guaranteed rate	yes	yes	yes
ATM	ABR	guaranteed minimum	no	yes	no
ATM	UBR	none	no	yes	no

CBR - Constant Bit Rate

VBR - Variable Bit Rate

ABR - Available Bit Rate

UBR - Unspecified Bit Rate

ATM - כל שירות בראשת מגדרים מסלול תעבורת מקצת לפחות. כלומר, אם מידע מסוים ממתג A צריך להגיע למatta D, והוא עובר בדרךו את מתגים B ו- C, תוכנת ניהול של הרשות צריכה לקבוע הגדרות מתאימות בכל המתגים שהמידע עובר דרכם, כדי שיכל להגיע ליעדו. חלק מההגדרות לכל מתג הן איקנות השירות בכל כניסה במתג.

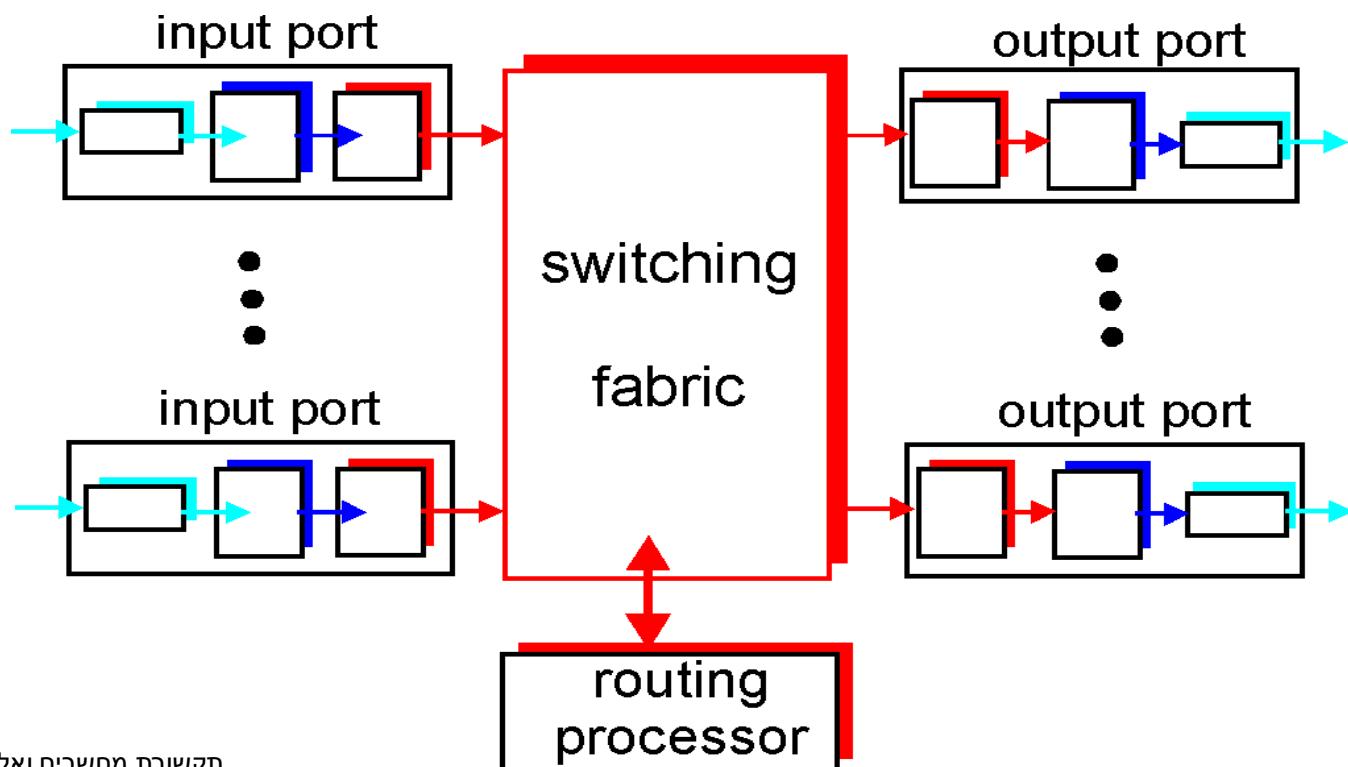
IP - מספק קישוריות חסרת חיבור (connectionless) ושולח נתונים במירב המאמצים (best effort).

שכנת הרשת

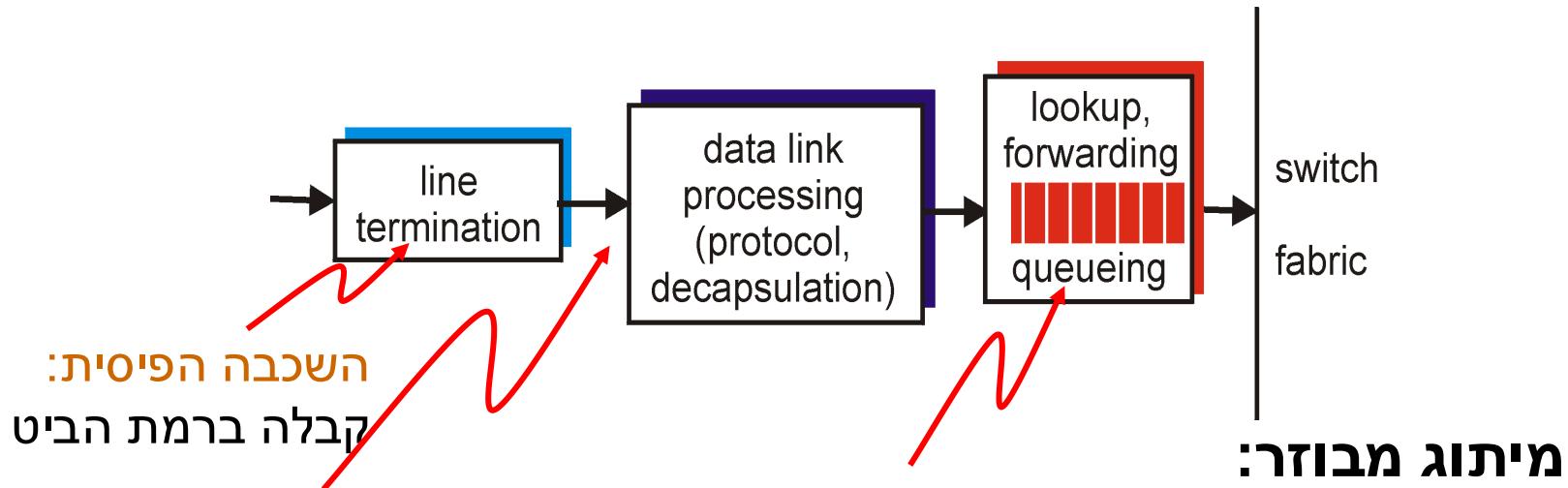
- **מבוא**
- **מעגלים וירטואליים וחבילות**
- **המידע בראשת**
- **מה יש בתוך הנטב (router)**
- **פרוטוקלי אינטרנט**
- Datagram format ■
- IPv4 addressing ■
- ICMP ■
- IPv6 ■
- **אלגוריתמי ניתוב:**
 - Link state ■
 - Distance Vector ■
 - Hierarchical routing ■
- **ניתוב באינטרנט:**
 - RIP ■
 - OSPF ■
 - BGP ■
- **▪ ניתוב broadcast
▪ ניתוב multicast**

אגף ארכיטקטורת הרמה

- לנתב שתי פונקציות מפתח:
 - להרץ אלגוריתמי/פרוטוקלי ניתוב (RIP, OSPF, BGP).
 - לשולח חבילות מידע מערך קלט לערכי הפלט.

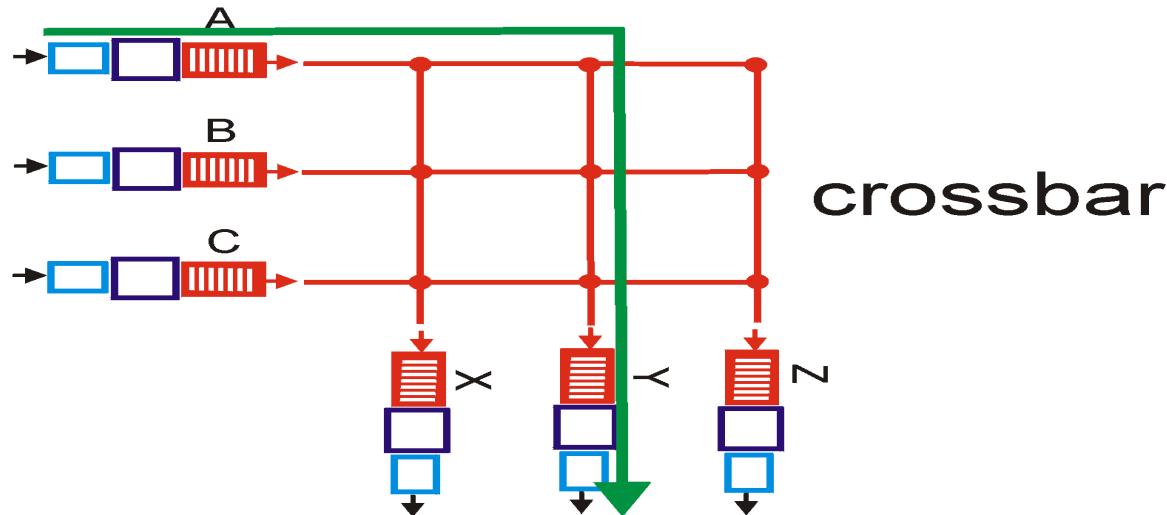
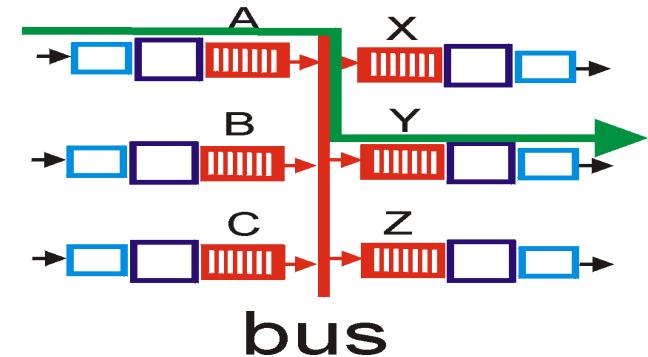
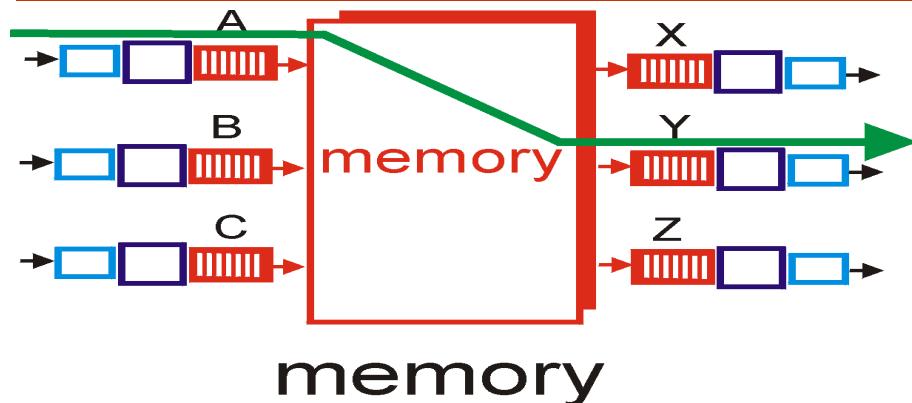


פורך זיהוי אנקרי קפְּסָלֶת



- נתון יעד חבילת המידע, מtabצע חיפוש ממושך הפלט תוך שימוש בטבלת השילוחות (forwarding table) (הנמצאת בזיכרון ממושך הקלט).
- המטרה: להשלים את תהליך ממושך הקלט במהירות העroz.
- עמידה בתורה: אם חבילת המידע מגיע מהר יותר מאשר קצב השילוחה של מבנה המיתוג (fabric).

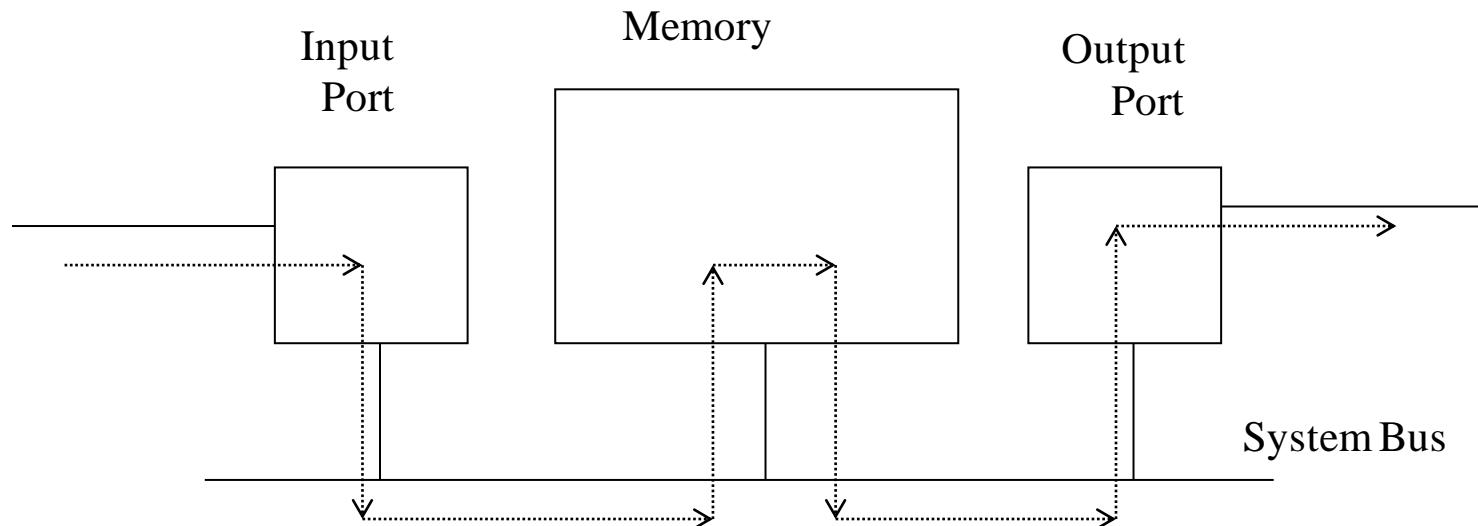
סידור סיבים (switching fabrics) כרשת אינטראקטיבית



אִתָּם גַּאנְגָּוֶת הַלְּכָלָן

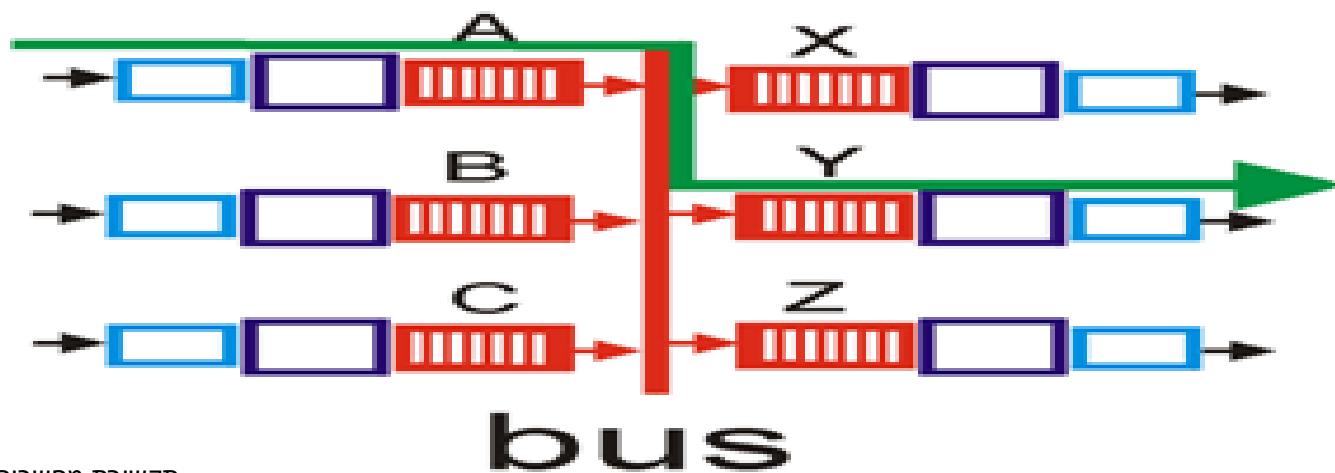
הדור הראשון של הנטביס:

- באופן מסורתי מחשבים עובדים עם מיתוג תחת בקרה ישירה של המעבד המרכזי (CPU).
- חבילות מועתקות למערכת הזיכרון.
- מהירות מוגבלת ע"י רוחב הפס של הזיכרון.



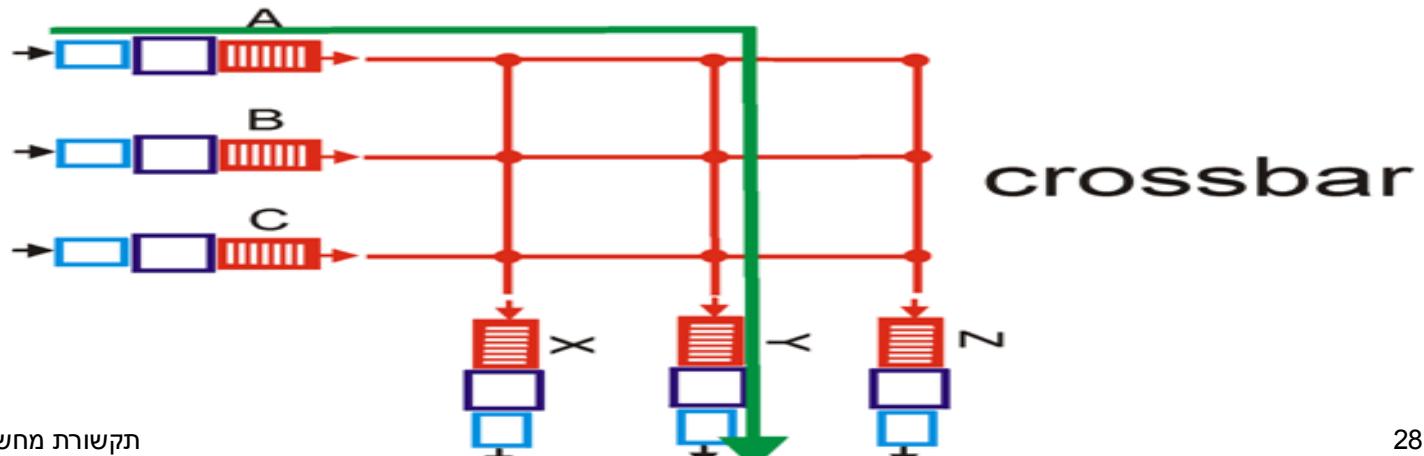
אימוץ אקזצ'ט האפיק (Bus)

- ❑ חבילות מידע עוברות מזיכרון משיק הקלט לזכרון משיק הפלט דרך אפיק משותף.
- ❑ **קישוריות האפיק:** מהירות המיתוג מוגבלת ע"י רוחב הפס של האפיק.
- ❑ בנתב Cisco 5600, רוחב הפס של האפיק 32 Gbps זו לדוגמא מהירות המספיקה לביצוע פעולות של הנתב

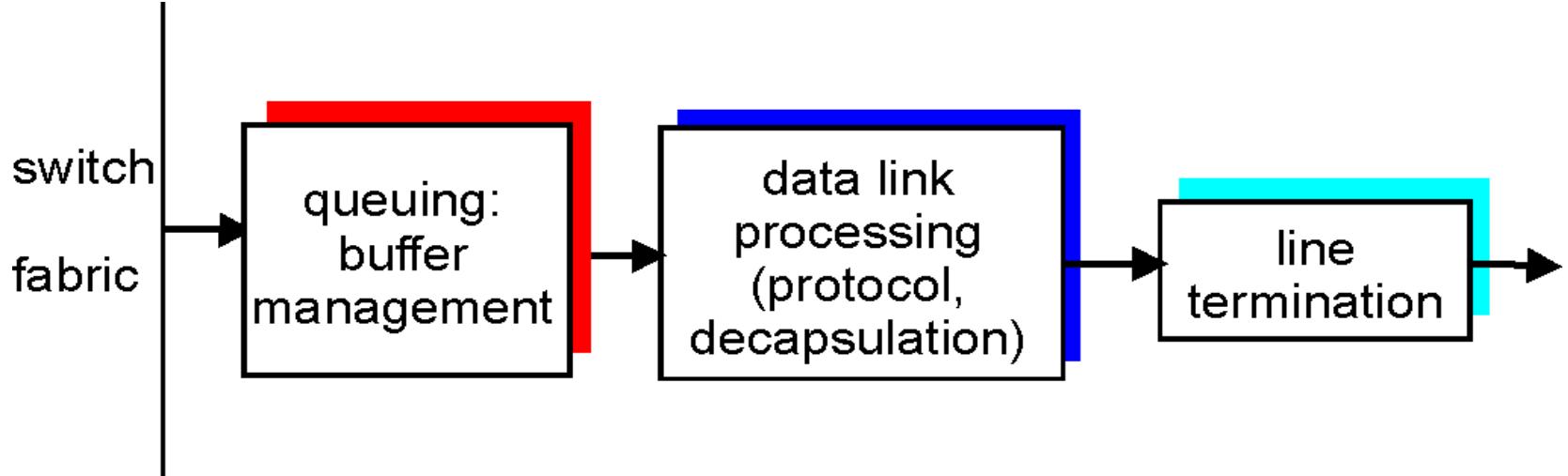


אימוץ זכר כ metamorphosis

- מתגבר על מוגבלות רוחב הפס של האפיק.
- רשת Banyan, רשת פנימית של קישור הדדי הפותחה על מנת לחבר בין מעבדים במערכות ריבוי מעבדים.
- תכנון מתקדם: "שובר" את חבילות המידע לטור תאים בעלי אורך קבוע, וממTAG את התאים דרך המבנה.
- לדוגמה נתב 12000 Gbps: ממתג Cisco 60 דרכ רשת של קישור הדדי.

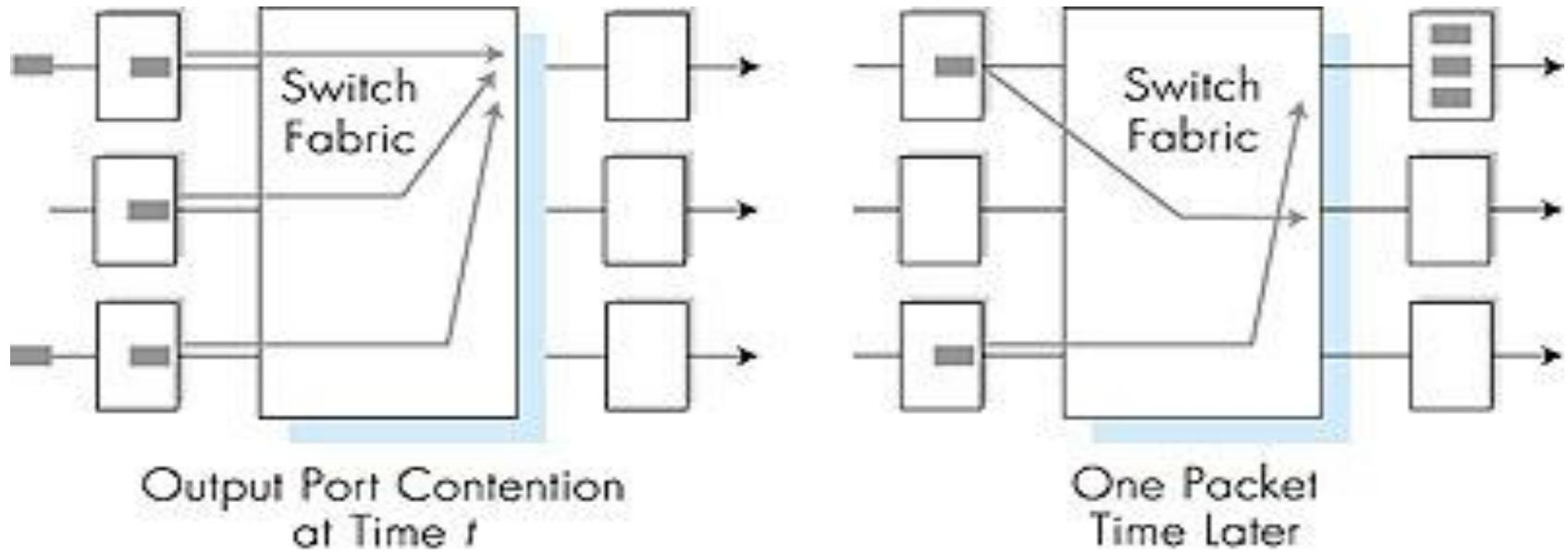


נקה וכפף



- **חוצץ** נדרש מאשר חבילות מידע (datagrams) מגיעות מהמבנה המיתוג (switch fabric) יותר מהר מאשר קצב השידור.
- **סינכרון זמני** נדרש לבחור בין התורים של חבילות המידע עבור שידורם.

תוכים נאנק היפר



- ▢ שימוש בחוצץ כאשר קצב הגעה דרך מבנה המיתוג עולה על מהירות ערוץ הפלט.
- ▢ עמידה בתור (עיכוב) ויתכן גם אובדן מידע הודות לגלישה של החוצץ (תקלה בה התכנית מנסה לאחסן נתונים כשיין מקום בזיכרון) של ממוקם הפלט.

כמה "אטיות" רצ诘ת ?

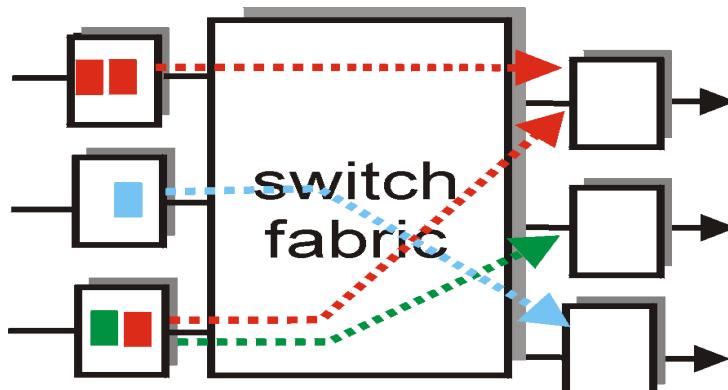
- כלל אצבע לפי RFC 3439 (Comments)
- במוצע חוץ שווה ל- (~250msec) RTT (round trip time) פעמים קיבולת הערז C.
- לדוגמה: $C = 10 \text{ Gps} \rightarrow \text{link: } 2.5 \text{ Gbit buffer}$
- המלצת האחרונה: עם N זרימות, החוץ שווה ל-

$$\frac{\text{RTT} \cdot C}{\sqrt{N}}$$

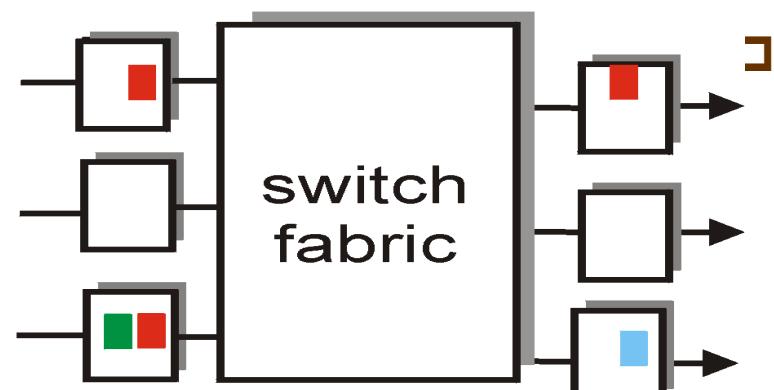
- כמה זמן לוקח להודעה להגיע מוקצה אחד של הרשות לקצה RTT (round trip time) באשני ובחזרה (ack).

תוכימן נאפק הקפּי

- מבנה המיתוג (switch fabric) בנתב איטי יותר מאשר ממוקי הקלט המשולבים ← עמידה בתור יכולה לגרום לתוצאה מיותרת בקלט.
- חסימה בראש התור (Head-of-the-Line blocking):
יצירת תור של חבילות המידע בחזית של התור מונע מהאחרים בתור להתקדם.



output port contention
at time t - only one red
packet can be transferred



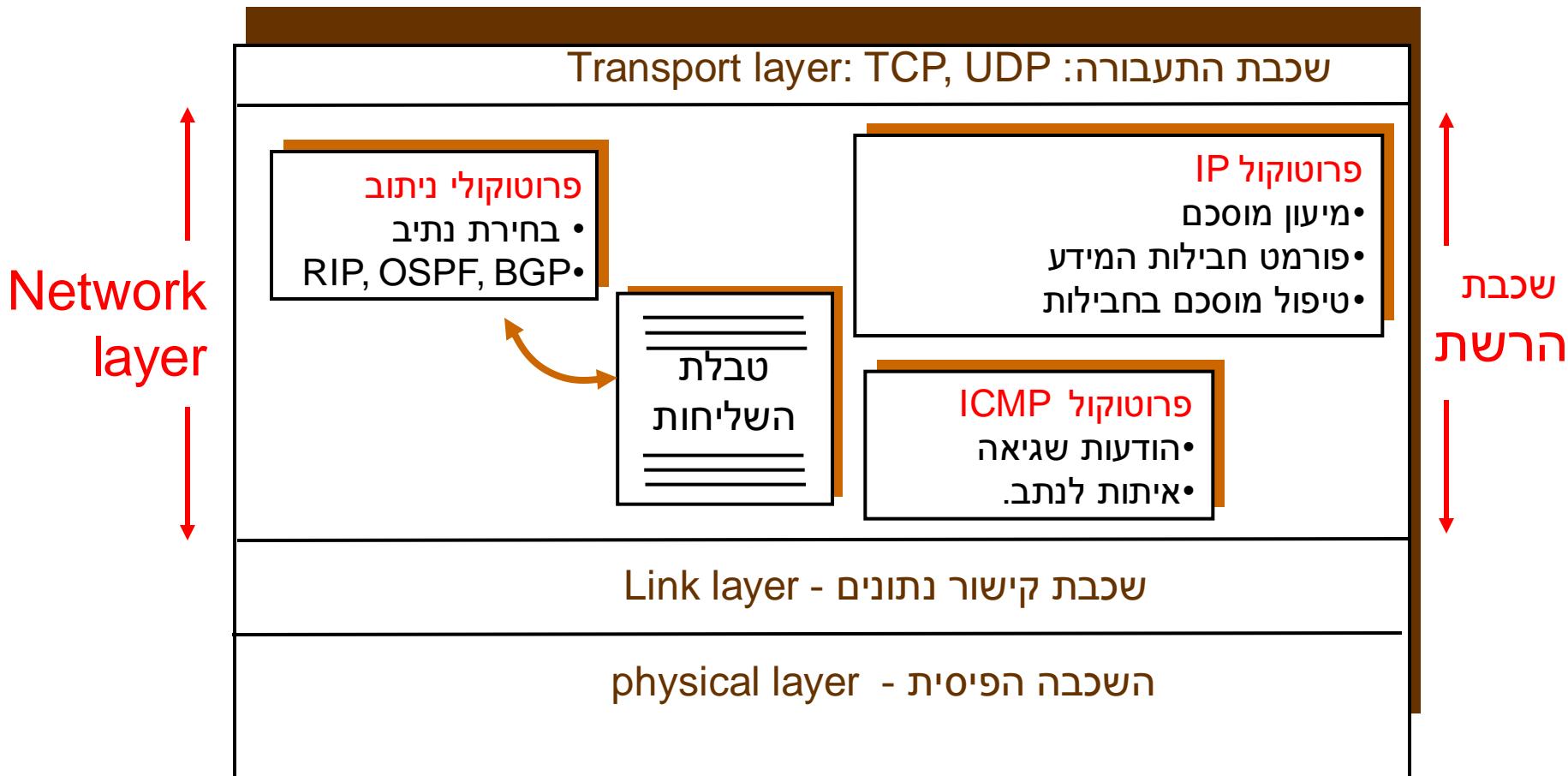
green packet
experiences HOL blocking

שכמת כרשת

- **מבוא**
- **מעגלים וירטואליים וחבילות**
- **המידע בראשת**
- **מה יש בתוך הנטב (router)**
- **פרוטוקלי אינטרנט**
- Datagram format ■
- IPv4 addressing ■
- ICMP ■
- IPv6 ■
- **אלגוריתמי ניתוב:**
 - Link state ■
 - Distance Vector ■
 - Hierarchical routing ■
- **ניתוב באינטראנט:**
 - RIP ■
 - OSPF ■
 - BGP ■
- **▪ ניתוב broadcast
multicast**

שכמת הרכבת אירטנס

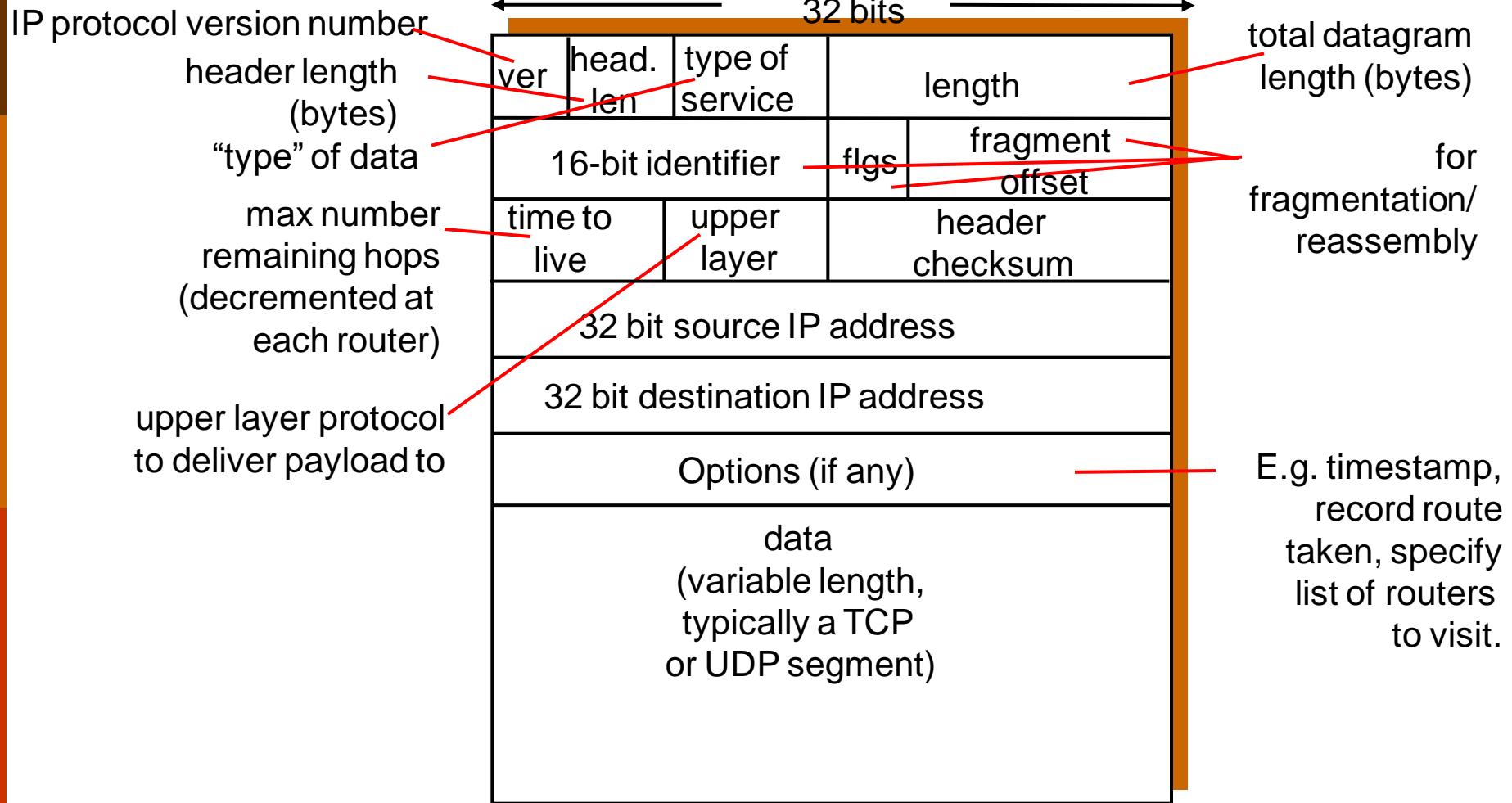
פונקציות שכבת הרשת



שכמת כרשת

- **מבוא**
- **מעגלים וירטואליים וחבילות**
- **המידע בראשת**
- **מה יש בתוך הנטב (router)**
- **פרוטוקלי אינטרנט**
- Datagram format
- IPv4 addressing
- ICMP
- IPv6
- **אלגוריתמי ניתוב:**
 - Link state
 - Distance Vector
 - Hierarchical routing
- **ניתוב באינטראנט:**
 - RIP
 - OSPF
 - BGP
- **▪ ניתוב broadcast
▪ ניתוב multicast**

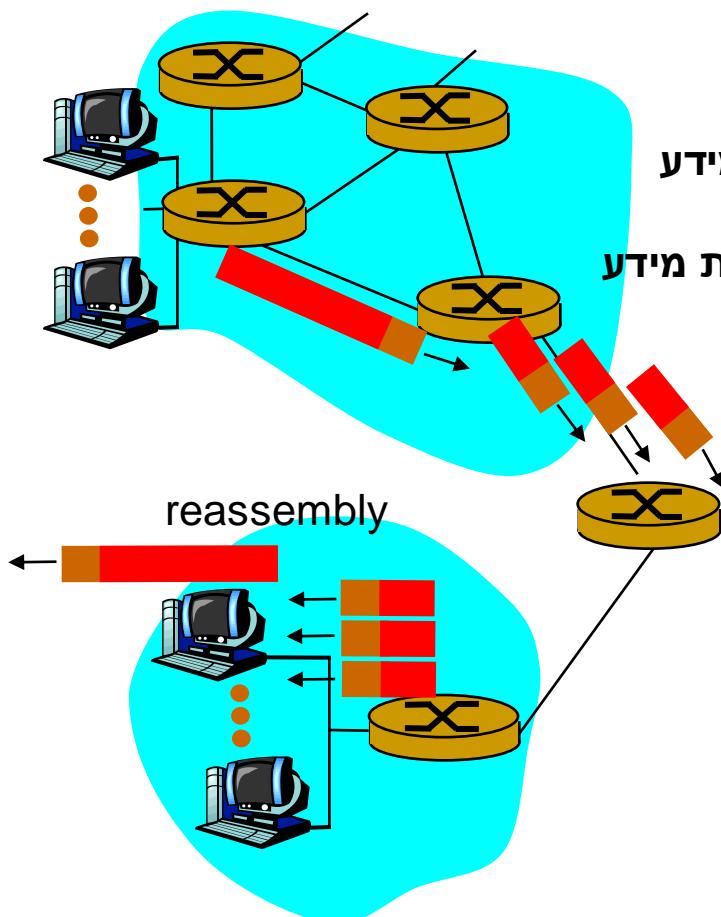
כיצן מיפוי IP



אנו מציג IP

- 3 הסיבות הבאות משמשות במרקם שבهم המידע מחולק בין יותר מחבילה אחת. במקרה כזה הסיבית הראשונה תכıl 1, ואם זו היא החבילה האחורה לאוטו מידע מחולק גם הסיבית האחורה תכıl 1. בכל מקרה אחר הן יכilo 0.
- 13 הסיבות הבאות משמשות ל"זיהוי" הסדר שבו צריך להרכיב את המידע, במקרה שהוא מחולק בין כמה חבילות. שדה זה מכיל את המיקום היחסי של המידע בחבילה הנוכחית, ביחס לחבילה המקורית שעברה חולקה. המיקום נתון ביחידות של 8 בתים.
- 8 הסיבות הבאות מייצגות את "זמן החיים" של החבילה – TTL (Time To Live) השדה מקבל מספר כלשהו בעת השילוח, ובכל תחנה שהחביבה עוברת בדרך מסוימת מוקטן באחד. אם "זמן החיים" של החבילה הגיע לאפס לפני שהיא הגעה לעדשה, היא מושמטת ולא מעברת להלאה. מגננון זה הומצא כדי למנוע מחבילות שלא יכולות להגיע לעדשן להסתובב באופן אינסופי בראשת.
- 8 הסיבות הבאות מייצגות מספר, הקובע לאיזה פרוטוקול יש להעביר את המידע לאחר העבר. לדוגמה - 1 UDP, 17 TCP, 6 ICMP.
- 16 הסיבות הבאות מכלולות מספר שנועד לוודא את המעבר התקין של הפתיחה. מפעלים על הפתיחה פונקציה ידועה, שלל-פי נתונים שונים שהוא מכיל מהירה מספר בן 16 סיביות. התמונה המקבלת מפעילה את אותה הפונקציה על הפתיחה ומשווה את התוצאה עם תכולת השדה על מנת לוודא שהפתיחה הגע תקין. IP לא מודוא את אמינות הנתונים, אלא רק את אמינות הפתיחה.
- 32 הסיבות הבאות מכלולות את כתובות ה-IP של השולח.
- 32 הסיבות הבאות מכלולות את כתובות ה-IP של הנמען.
- אופציונות שונות למשל אפשרויות אבטחה.
- המידע DATA.
- 4 הסיבות הראשונות משמשות לשימון גרסת הפרוטוקול שבו נעשה שימוש. כיום נפוץ השימוש בגרסה 4 (IPv4) אך עקב מצוקת כתובות מתחילה לחדר השימוש בגרסה 6, IPv6.
- 4 הסיבות הבאות מגדרות את אורך הפתיחה, ביחידות של 32 סיביות. מכיוון שפתח של חבילת IP יכולה להכיל נתונים שונים, בהתאם לאפשרויות השונות בהן נעשה שימוש, ולכן אורך הפתיחה משתנה בין חביבה לחבילה. לדוגמה, פתח בן 20 בתים קיבל את האורך 5 (20 בתים הם 160 סיביות). יש לשים לב שאורך הפתיחה לא יכול לעלות על 60 בתים.
- 8 הסיבות הבאות נועדו במקור כדי לאפיין את סוג השירות (Type of Service) – S-CoM, האם על החביבה להעדייף מעבר מריר על פני אמינות גבוהה.
- 16 הסיבות הבאות מגדרות את גודלה הכללי של החבילה, ביחידות של בית אחד. הגודל המינימלי לחבילה מוגדר להיות 6576 בתים, והגודל המקסימלי הוא 65535 בתים.
- 16 הסיבות הבאות מייצגות את "מספר הזיהוי" של החביבה. שדה זה משמש בעיקר לצורך הרכבה מחדש של הודיעות אשר חולקו. במקרה בו יש מספר רב של חלקים (Fragments), הצד מקבל צורך לדעת את מי מה חלקים להרכיב מחדש. בזמן חלוקה של הודעה, מספר זה חייב להישמר. מערכת הפעלה בדרך כלל מעלה את המספר באופן סדרתי בכל הודעה שייצאת מהמחשב.

סג'ינה וכינוס אחיזה IP



שבירה
לפניהם חבילת מידע
אחד גדולה.
אחרי: 3 חבילות מידע
קטנות יותר.

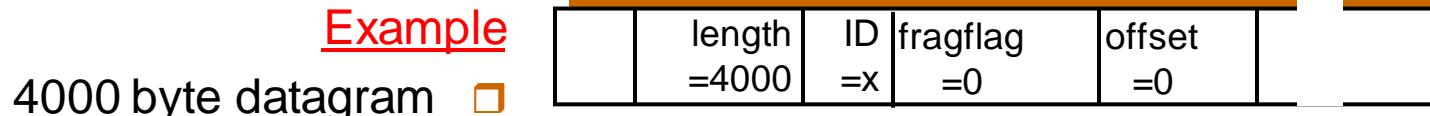
לשכבה הרשת יש MTU (Maximum Transmission Unit) שזו חבילת הנתונים הגדולה ביותר הניתנת להעברה כיחידה אחת ברשות של מסר חבילות נתונים.

- לכל סוג של ערוץ יש MTU שונה.

חbillת IP גדולה מתחלה ("נשברת") בתוך הרשת:

- חbillת מידע הופכת מספר חבילות מידע.
- כינוס מחדש רק ביעד הסופי.
- bit הראש משמש לזיהוי לכל השברים.

הג'ירה וכירום אמצעי IP

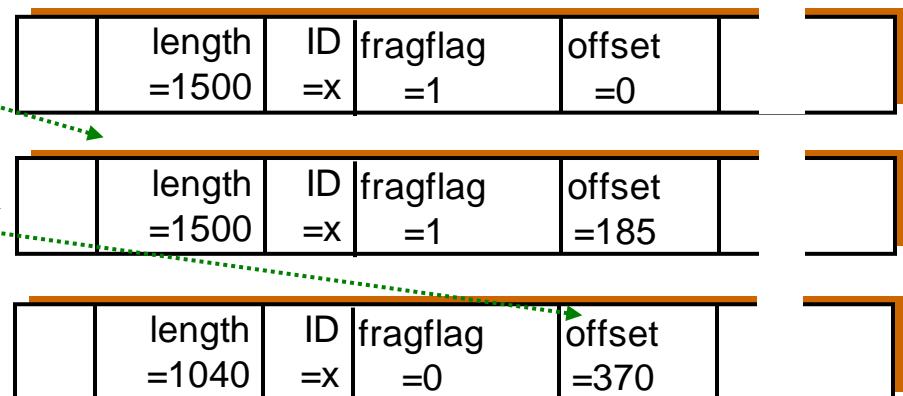


MTU = 1500 bytes

1480 bytes in
data field

offset =
 $1480/8$

One large datagram becomes
several smaller datagrams



נעבור על השדות הרלוונטיים של חבילות IP.

שדה ID - בחבילה המקורית היה 12, והוא לא משתנה לאחר חלוקה לחבילות קטנות יותר, זה חיוני להרכבת החבילה המקורית ביעד.

שדה flag - בחבילה ראשונה ושנייה שווה לאחד כיון שיש עוד חבילות אחרות ובחבילה שלישית שווה לאפס כיון שזאת חבילה אחרת.

שדה length - מצין גודל החבילה כਮובן שהוא כולל גם 20 בתים של IP header.

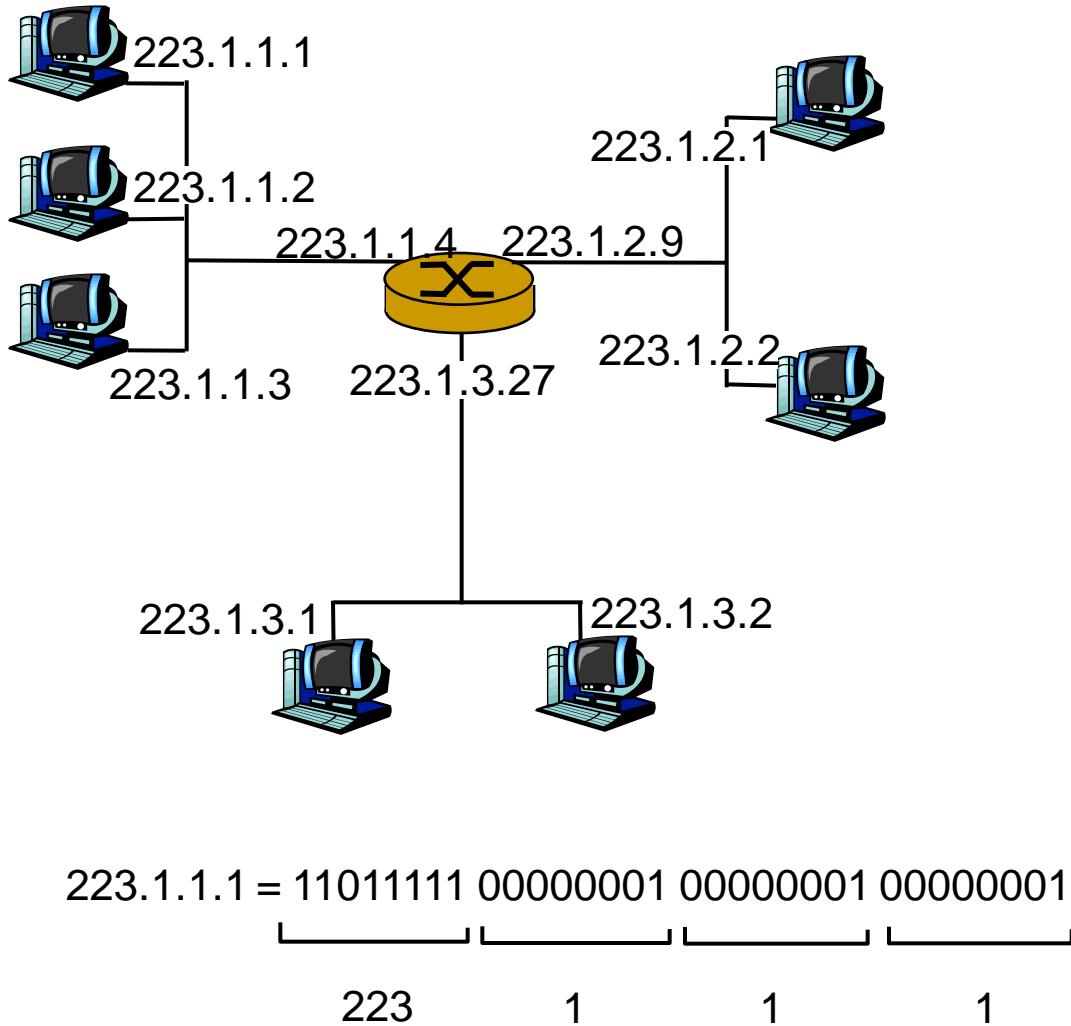
שדה offset - מצין את היחס של data, שמכילה חבילה IP קטנה מהתחלת data של חבילת IP המקורית.

על פי שדה זה נוכל להרכיב ביעד את החבילה המקורית בסדר הנכון. בדוגמהנו בחבילה הראשונה שדה זה שווה לאפס בחבילה השנייה הוא 1480 בתים של header שבחבילה ראשונה ובחבילה השלישית 2960. שוב זה לא 3000 בתים של headers של שתי חבילות ראשונות. בדוגמא זאת קיימת תוספה של עוד 40 בתים של IP headers.

שכמת כרשת

- **מבוא**
- **מעגלים וירטואליים וחבילות**
- **המידע בראשת**
- **מה יש בתוך הנטב (router)**
- **פרוטוקלי אינטרנט**
- **Datagram format**
- **IPv4 addressing**
- **ICMP**
- **IPv6**
- **אלגוריתמי ניתוב:**
 - Link state ■
 - Distance Vector ■
 - Hierarchical routing ■
- **ניתוב באינטראנט:**
 - RIP ■
 - OSPF ■
 - BGP ■
- **▪ ניתוב broadcast
multicast**

אנו פנויים



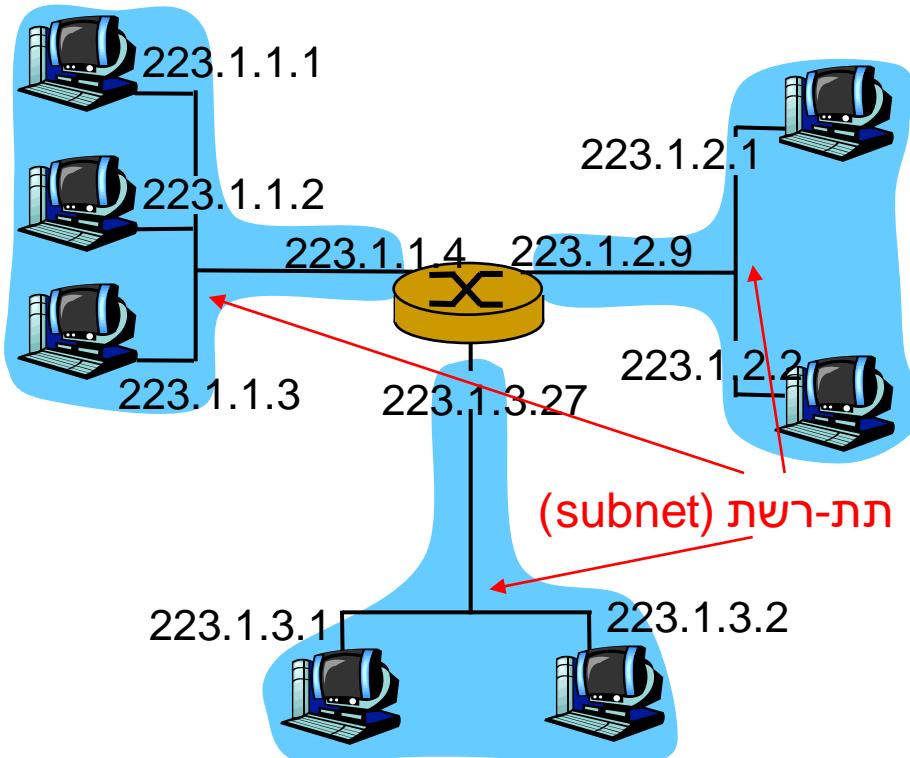
כתובת IP: 32 ביט ליזיוי המחשב (host), וממשק הנטב (router). מקובל לייצג ערך זה כארבעה מספרים עשרוניים, כל אחד בין 0 ל-255.

תאורטית, שיטה זו מאפשרת עד 2 בחזקת 32 (מעל 4 מיליארד) כתובות שונות, אולם, מכיוון שטוווחים גדולים של כתובות שמורות למטרות מיוחדות, מספר הכתובות השימושות קטנים יותר. לעומת זאת המספר נכבד, כמוות זו ככל הנראה לא תספק בעתיד.

ממשק (interface): מחבר בין נטב/מחשב והשכבה היפיסית:

- בד"כ לנטב יש מספר ממשקים
- למחשב בד"כ יש ממשק אחד.
- כתובת IP מקוועת עם ממשק.

ממי-רשתות - Subnets



הרשת כוללת 3 תת-רשתות

□ כתובת IP:

- חלק התת-רשת (סדר ביטים גבוה).

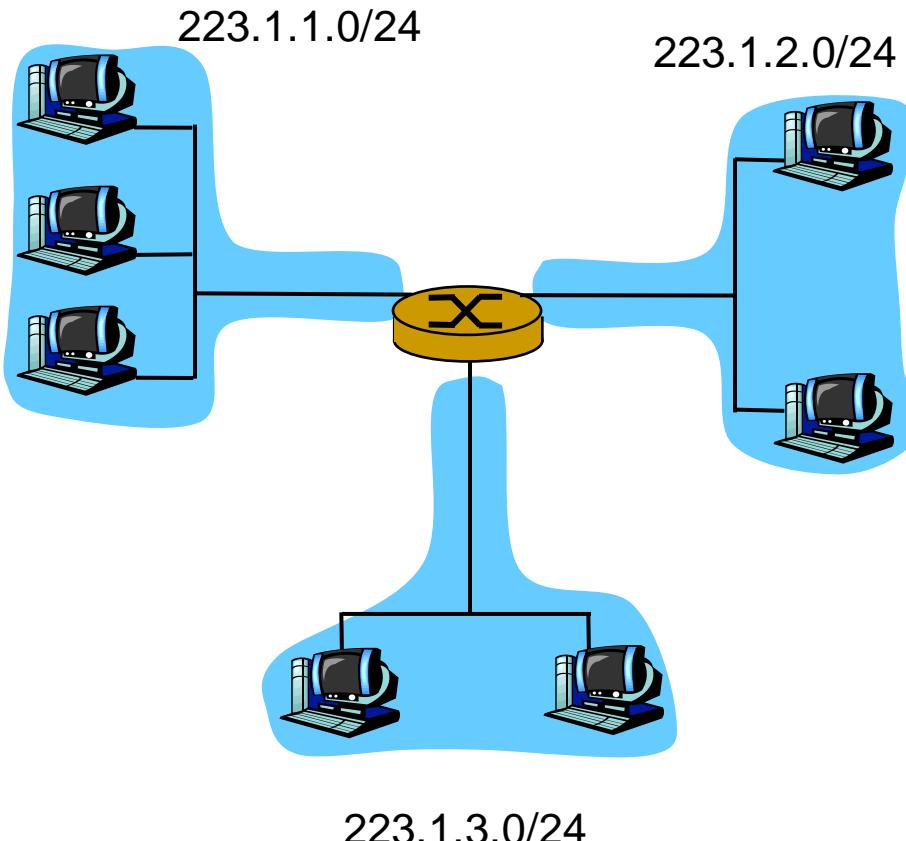
- חלק המחשב (סדר ביטים נמוך)

□ מהי תת-רשת ?

- רכיב חומרה שיכל לקבל או לשלוח נתונים עם אותו חלק של תת-רשת בכתבת IP.

- יכול פיסית להציג כל התקן אחר בתת הרשת ללא הטעבות של נתב.

תתי-רשתות

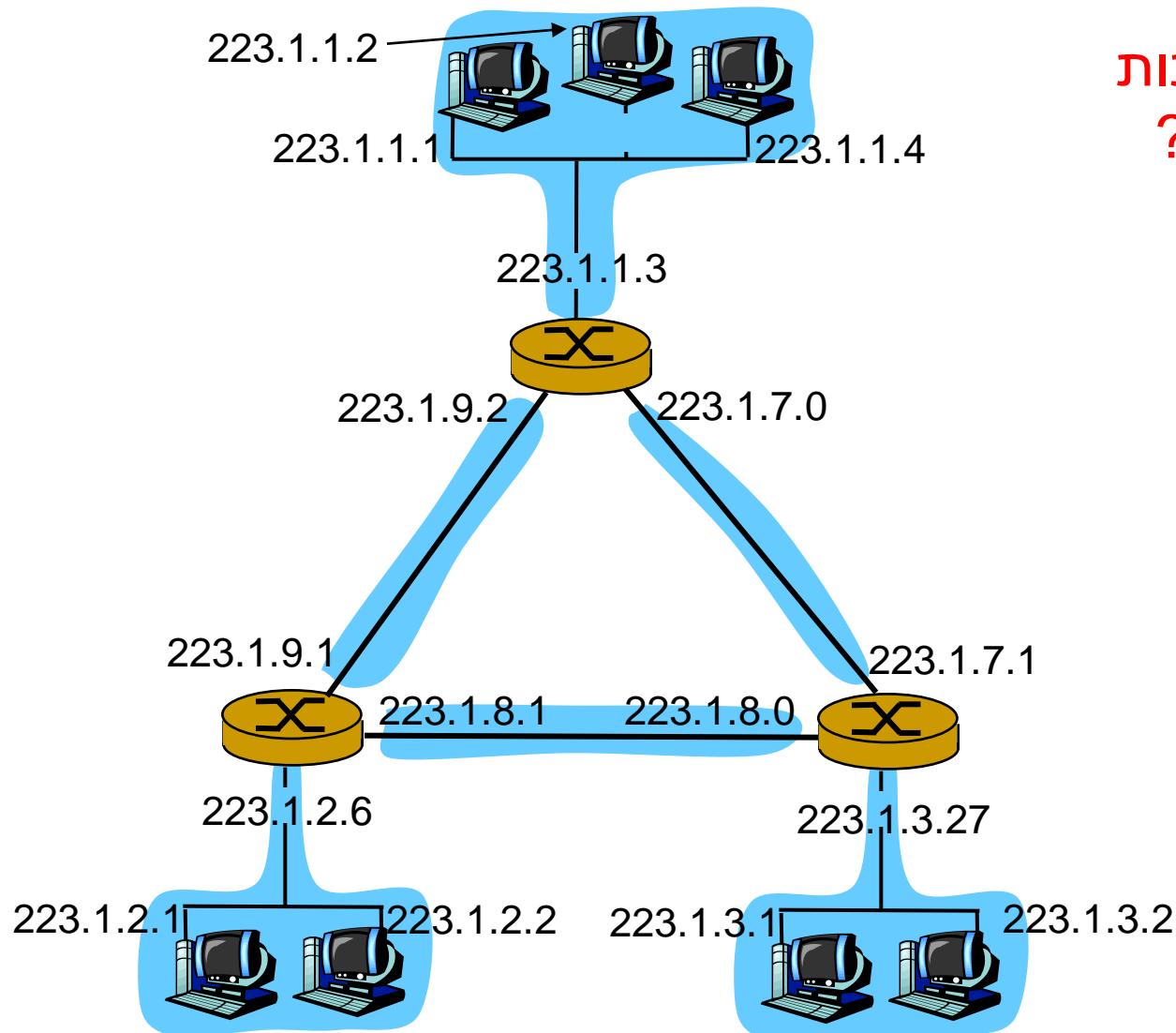


Subnet mask: /24

מתכוון:

- לקביעת תת-רשת, ננתק כל משק מהמחשב או הנטב, נוצר כר ע"י בידוד רשת מבודדת.
- לכל רשת בודדת נקרא **תת-רשת**.

מת'י-כטמות



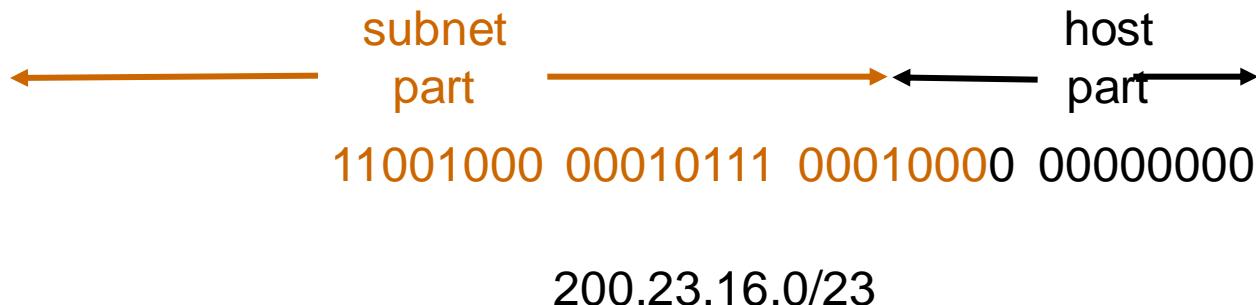
כמה תת-רשתות
ניתן ליצור ?

6

CIDR : IP כתוגאת

CIDR: Classless Inter-Domain Routing

- חילק תת-רשת של הכתובת של האורק השירותי.
- פורמט הכתובת: $a.b.c.d/x$, כאשר x הוא # הביט בחלוקת תת רשתה של הכתובת.



איסכום כתוב

- כדי שאפשר יהיה לבדוק בין חלק הרשות וחלק המשתמש בכתבota ה- IP נהוג להציג לכל כתובת "מסכה" (Subnet Mask).
- במסכה אפשרית, באמצעות פעולה לוגית פשוטה, למצוא את כתובת הרשות של כתובת IP מסוימת.
- במסכה, כמו כתובת ה- IP מורכבת מארבע קבוצות של שמונה סיביות. ביצוג בינארי, עבור כל סיבית בכתובת ה- IP שמייצגת את הרשות יופיע 1, ועבור כל סיבית בכתובת ה- IP שמייצגת את המחשב המסויים יופיע 0.
- למשל - בכתובת 192.168.0.17 החלק 192.168.0 מייצג את הרשות והמספר 17 מייצג את המחשב המסויים. מסכת הרשות של כתובת זו תהיה 255.255.255.0, או ביצוג בינארי:

00000000 11111111 11111111 11111111

- כדי למצוא את כתובת הרשות מתוך כתובת IP של מחשב ברשות, יש לבצע פעולה AND (וגם או "כפל") ביןarity בין כתובת ה- IP למסכת הרשות. בדוגמה הקודמת, התוצאה תיראה כך -

צג עשרוני	צג בינארי	כתובת IP	מסכת רשות	כתובת הרשות
192.168.0.17	11000000 10101000 00000000 00010001	192.168.0.17	11111111 11111111 11111111 00000000	192.168.0.17
255.255.255.0	11111111 11111111 11111111 00000000	255.255.255.0	11111111 11111111 11111111 00000000	192.168.0.17
192.168.0.0	11000000 10101000 00000000 00000000	192.168.0.0	11111111 11111111 11111111 00000000	192.168.0.0

מג'יקה אכלה כמתוגאת לאחזקאות

מחלקה A: כוללת את כל הכתובות שבהן המספר הראשוני הוא בין 1 ל-126. הרשותות במחלקה זו מוגדרות כך שהרשות מיוצגת על ידי המספר הראשוני (שמונה הסיביות הראשונות), והמחשב מיוצג על ידי שלושת המספרים הנוסתרים (24 הסיביות הננותרו). קיימות רק 127 רשותות שונות במחלקה A, אך כל אחת מהן יכולה להכיל 2 רשותות (24 בחזקת 2) ביחס ל-16 (מעל 16 מיליון) מחשבים. מכיוון שכך, רשותות מחלקה A מוקצות למדיניות או לספקיות אינטרנט גדלות במילוי.

מחלקה B: כוללת את כל הכתובות שבהן המספר הראשוני הוא בין 128 ל-191. הרשותות בה מוגדרות כך שהרשות מיוצגת על ידי שני המספרים הראשוניים (16 הסיביות הראשונות), והמחשב מיוצג על ידי 2 המספרים האחרונים (16 הסיביות האחרונות). קיימות 16,384 רשותות שונות במחלקה B, וכל אחת מהן יכולה להכיל עד 65,534 מחשבים. רשותות מחלקה B מוקצות לחברות גדלות ובינוניות.

מחלקה C: כוללת את כל הכתובות שבהן המספר הראשוני הוא בין 192 ל-223. הרשותות בה מוגדרות כך שהרשות מיוצגת על ידי שלושת המספרים הראשוניים (24 הסיביות הראשונות), והמחשב מיוצג על ידי 3 המספרים האחרונים (8 הסיביות האחרונות). קיימות 2,097,152 רשותות שונות במחלקה C וכל אחת מהן יכולה להכיל עד 254 מחשבים. רשותות מחלקה C מוקצות לחברות וארגונים קטנים בדרך כלל.

מחלקה D: כוללת את כל הכתובות שבהן המספר הראשוני הוא בין 224 ל-239. מחלקה D הוגדרת לצורך מחקר וניסוי של שידור נתונים לקבוצות. כיום משמשת לתקשורת - Multicast שידור מחשב בוודuct למספר מחשבים בו זמן. השדר יוצא פעמי אחד מחשב המקורי ומגיע לכל מחשבי היעד. בשיטה זו לא לכל מחשב יש כתובות, אלא לכל שירות התומך בו. Multicast ולכל שירות יש כתובות זהה במחלקה D כלומר כל המחשבים מסוימים לכתובת מסוימת של השירות, בנוסף לכתובת IP הריגלה שלהם. שימוש לדוגמה ניתן לראות בשירותי WINS של מיקרוסופט 2000 Windows. משמש בעיקר לאפליקציות של שירותי ועדת בוידאו.

מחלקה E: כוללת את כל הכתובות שבהן המספר הראשוני הוא בין 240 ל-255. מחלקה E הוגדרה כ"שמורה לשימוש עתידי" ועוד היום אין שימוש בכתובות ש谟וגדרות בה.

מחלקה	תחום כתובות	מספר כתובות	מספר כתובות	מספר כתובות	מחלקה
A	0 עד 126	255.0.0.0	255.0.0.0	16,777,216	127
B	128 עד 191	255.255.0.0	255.255.0.0	65,536	16,384
C	192 עד 223	255.255.255.0	255.255.255.0	256	2,097,152
D	לא מוגדר	לא מוגדרת	לא מוגדרת	לא מוגדר	לא מוגדר
E	240 עד 255	לא מוגדרת	לא מוגדרת	לא מוגדר	לא מוגדר

CIDR – Classes InterDomain Routing

מחלקת IP	לא מוגדר	לא מוגדר	לא מוגדר	טוקן כתובות	מספר כתובות	מספר רשות
A	עד 224	255.0.0.0	126 עד 0	0 עד 126	16,777,216	127
B	עד 192	255.255.0.0	128 עד 191	191 עד 128	65,536	16,384
C	עד 192	255.255.255.0	192 עד 223	223 עד 192	256	2,097,152
D	לא מוגדר	לא מוגדר	לא מוגדר	לא מוגדר	לא מוגדר	לא מוגדר
E	עד 240	255.255.255.255	240 עד 255	255 עד 240	לא מוגדר	לא מוגדר

- נסתכל שוב על המחלקות:

- נוצר מצב שטוח כתובות ממחלקה B גדול מדי וגורם לבזבוז של כתובות אבל טווח כתובות C קטן מדי ולכן נדרש פתרון טוב יותר.
- CIDR מאפשר הקצאת טווח משתנה של כתובות – קלומר ללא התחשבות במבנה המחלקות. למשל, כאשר ארגון מסוים זוקק ל- 2000 כתובות, ניתן יהיה להקצות להם בלוק של 2048 כתובות.
- בעת, לכל כתובה יצורף Mask בגודל 32 ביט וטבלאות הניתוב יכולוכניסות מהצורה הבאה – (IP address, Mask, Line).
- כאשר מנה מגיעה אל הנtab, הנtab יחפש את הכניסה המתאימה ע"י ביצוע AND עם כל אחת מה- Masks ובבדיקה האם התוצאה שווה ל- IP address שבכניסה.
- אם יש יותר מההתאמה אחת, נבחרת ההתאמה עם ה- Mask הגדול ביותר

• **מבחןת מספר ה- 1-ים ב- Mask.**

CIDR – Classes InterDomain Routing

• **למשל –**

University	First address	Last address	How many	Written as
Cambridge	194.24.0.0	194.24.7.255	2048	194.24.0.0/21
Edinburgh	194.24.8.0	194.24.11.255	1024	194.24.8.0/22
(Available)	194.24.12.0	194.24.15.255	1024	194.24.12/22
Oxford	194.24.16.0	194.24.31.255	4096	194.24.16.0/20

Address	Mask
C: 11000010 00011000 00000000 00000000	11111111 11111111 11111000 00000000
E: 11000010 00011000 00001000 00000000	11111111 11111111 11111100 00000000
O: 11000010 00011000 00010000 00000000	11111111 11111111 11110000 00000000

• **כעת, אם מגיעה מנה עם כתובות יעד 194.24.17.4 , מבוצע AND עם ה-Mask 11000010 00011000 00010000 00000000 : מקבלים :**
11000010 00011000 00010000 00000000 של Cambridge – לא מתאים.

CIDR – Classes InterDomain Routing

- המשך –
- כעת מבצעים AND עם ה-Mask של Edinburgh ומקבלים:
11000010 00010000 00000000
כלומר – שוב לא מתאים.
- בשלב הבא, מבצעים AND עם ה-Mask של Oxford ומקבלים –
11000010 00010000 00000000
כלומר – מתאים!
- אם אין יותר התאמות בטבלה, שולחים את המנה על הקו שמצוין בכניסה זו.

IP "רקבץ" כתובות

שאלה: איך מחשב משיג כתובת IP ?

- hard-coded by system admin in a file □
 - Wintel: control-panel->network- ■
 - >configuration->tcp/ip->properties
- UNIX: /etc/rc.config ■

DHCP: Dynamic Host Configuration Protocol: □
dynamically get address from as server
“plug-and-play” ■

DHCP: Dynamic Host Configuration Protocol

מטרה:

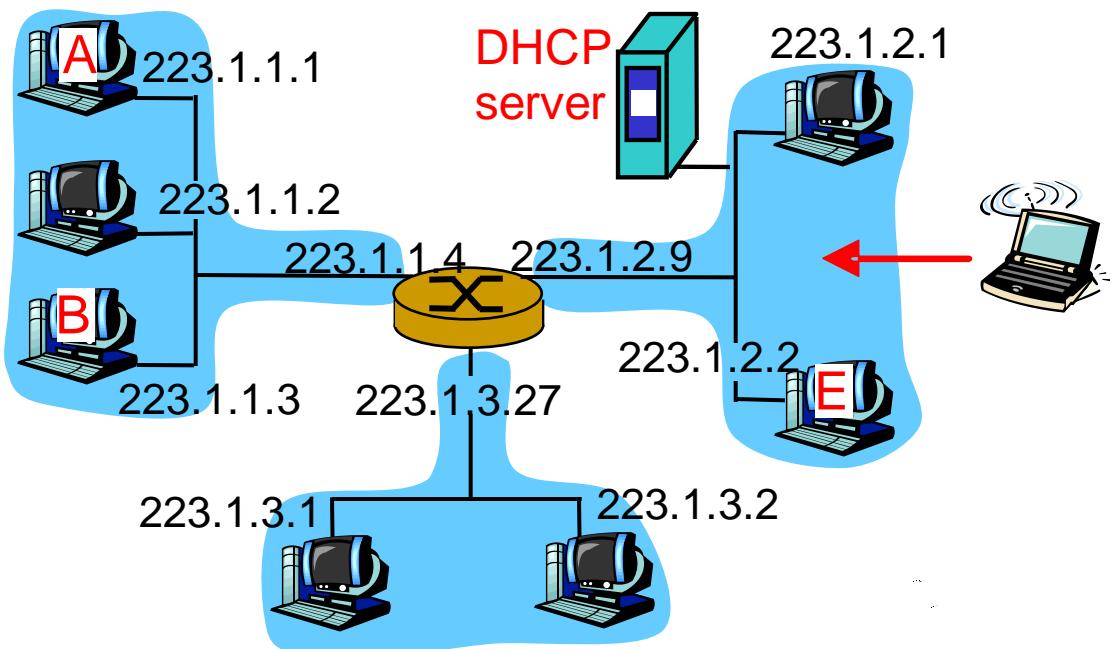
1. להרשות למחשב באופן דינמי להשיג כתובת IP משרת הרשות כאשר הוא מצטרף לרשת.
2. לאפשר לחדש את הcharts של הכתובת תוך כדי שימוש.
3. לאפשר שימוש חדש בכתובת.
4. לתמוך במשתמשים ניידים שמצטרפים לרשת短时间内.

DHCP overview:

- host broadcasts “**DHCP discover**” msg
- DHCP server responds with “**DHCP offer**” msg
- host requests IP address: “**DHCP request**” msg
- DHCP server sends address: “**DHCP ack**” msg

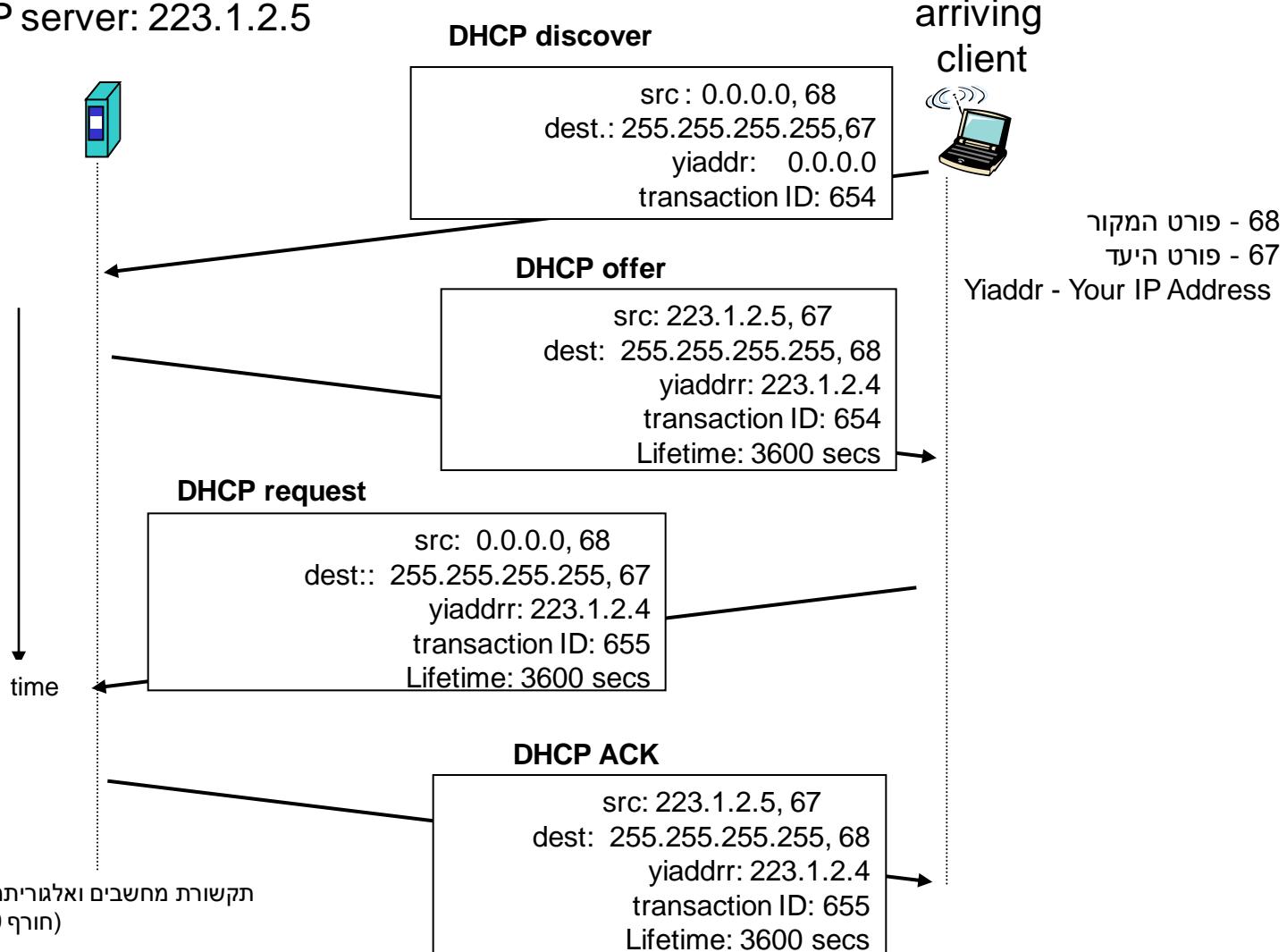
DHCP client-server scenario

מגיע ללקוח DHCP
שצריך כתובת IP בראשת



DHCP client-server scenario

DHCP server: 223.1.2.5



שכמת כרשת

- **מבוא**
- **מעגלים וירטואליים וחבילות**
- **המידע בראשת**
- **מה יש בתוך הנטב (router)**
- **פרוטוקלי אינטרנט**
- Datagram format ■
- IPv4 addressing ■
- ICMP ■
- IPv6 ■
- **אלגוריתמי ניתוב:**
 - Link state ■
 - Distance Vector ■
 - Hierarchical routing ■
- **ניתוב באינטראנט:**
 - RIP ■
 - OSPF ■
 - BGP ■
- **- Broadcast**
- **multicast**

כָּוֹרְקָוִיּ ICMP

(Internet Control Message Protocol)

- ▢ חבילות ICMP יכולות למכת לאיבוד ברשת – אין מדוחים על שגיאות שנגרמו ע"י חבילות IP הנושאות חבילות ICMP (למעט שאילותות).
- ▢ ICMP הינו חלק אינטגרלי מפרוטוקול ה-IP ממומש בכל מודל IP.
- ▢ יעד הסופי של הودעות ICMP היא תוכנת ה-IP עצמה בתחנת המקור.
- ▢ הפרוטוקול אינו מוגבל רק לשימושם של נתבי IP אלא מאפשר לכל מכונה לשלוח הודעות לכל מכונה אחרת ברשת.
- ▢ ICMP הוא מנגןון דיווח של שגיאות. הפרוטוקול יפנה בעיות שאין יכול לפתר ל프וטוקול העליון או לאפליקציה שיזמה את החבילה, במיוחד אם התקלה נגרמת לאורך המסלול שבו עברת החבילה.
- ▢ ICMP הינו סוג של פרוטוקול מסווג IP שפועל בשכבות הרשת ואשר מספק הודעות שגיאה ומידע בקרה אחר בחזרה למקור.
- ▢ סוגי תקלות: נפילת רשת, נפילת נתב במסלול, ניתוק מחשב היעד מהרשת, עומס באחד הנתבים, בעיות ניתוב.
- ▢ אם חבילה הולכת לאיבוד או נזקפת מסיבות שונות – יש צורך במנגןון שיאפשר דיווח על התקלה.
- ▢ הودעת ICMP מאפשרת לנtb לדוח על התקלה ב- Datagram חרזה לתחנת המקור שמננה נשלחה החבילה.
- ▢ הודעות ICMP מועברות בחלק המידע של ה-IP Datagrams בדומה לכל חבילת מידע בפורמט IP.

ICMP: Internet Control Message Protocol

Type	Code	description
0	0	echo reply (ping)
3	0	dest. network unreachable
3	1	dest host unreachable
3	2	dest protocol unreachable
3	3	dest port unreachable
3	6	dest network unknown
3	7	dest host unknown
4	0	source quench (congestion control - not used)
8	0	echo request (ping)
9	0	route advertisement
10	0	router discovery
11	0	TTL expired
12	0	bad IP header

☒ בשימוש ע"י מחשבים & נתבים לקלט/העברת מידע ברמת הרשת.

- דיווח שגיאות: מחשבים, רשתות, משקדים ופרוטוקולים שאינם בר-השגה.
- בקשה או החזרה של echo (שימוש ב프וטוקול DUCP).

☒ שכבת הרשת "מעל" ה-IP:
■ הודעת ICMP נישאת בחבילת ה-IP.
■ הודעת ICMP: סוג, קוד פלוֹס 8 הביטים הראשונים של חבילת ה-IP שגרמה לשגיאה.

Traceroute and ICMP

תכנית שירות באינטרנט היוצרת תרשيم של הנתיב והזמן
הדרוש להגעת חבילות נתונים ממחשב אישי למחשב מרוחק Traceroute

- Source sends series (סדרה) of UDP segments to destination.
 - First has TTL (Time To Live) = 1
 - Second has TTL=2, etc.
 - Unlikely (לא סביר) port number
- When nth datagram arrives to nth router:
 - Router discards (משלים) datagram
 - And sends to source an ICMP message (type 11, code 0)
 - Message includes name of router& IP address
- When ICMP message arrives, source calculates RTT (round trip time)
- Traceroute does this 3 times
- Stopping criterion
- UDP segment eventually arrives at destination host
- Destination returns ICMP “host unreachable” packet (type 3, code 3)
- When source gets this ICMP, stops.

שכמת הרשת

- **מבוא**
- **מעגלים וירטואליים וחבילות**
- **המידע בראשת**
- **מה יש בתוך הנットב (router)**
- **פרוטוקלי אינטרנט**
- Datagram format ■
- IPv4 addressing ■
- ICMP ■
- I Pv6 ■
- **אלגוריתמי ניתוב:**
 - Link state ■
 - Distance Vector ■
 - Hierarchical routing ■
- **ניתוב באינטראנט:**
 - RIP ■
 - OSPF ■
 - BGP ■
- **- Broadcast**
- **multicast**

IPv6

- **מוטיבציה ראשונית:** מרחב כתובות של 32-bit יגמר בקרוב ולכן נדרש הרחבה.
- **מוטיבציה נוספת:**
 - פורמט הראש (header) עוזר ל מהירות התהיליך / השליחה.
 - פורמט הראש (header) מקדם את איכות השירות (QoS).
- **פורמט חבילות מידע IPv6:**
 - אורך קבוע של הראש (header) - 40 byte
 - שבירת חבילות אינה מושתת.
- ב- IPv6 נעשה שימוש ב-128 סיביות, המאפשרות עד 3.4×10^{38} כתובות שונות (2^{128}).

כטראנס IPv6

- בניגוד לכתובת IPv4, שנכתבת בצורה של 4 מספרים עשרוניים המופרדים בנקודות, כתובות IPv6 מיוצגת ע"י מספרים הקסאדיימליים (בבסיס 16 ולא בסיס 10), והמספרים מופרדים זה מהו ע"י נקודות ע"י). דוגמא לכתובת כזו היא **fe80::2a0:d2ff:fea5:e9f5** כאשר כל קבוצה של 16 ביטים מיוצגת ע"י 4 ספרות הקסאדיימליות. כאשר יש קבוצה של 16 ביטים שמכילה אפסים בלבד, ניתן ליצג אותה ע"י "...". כך, הכתובת שראינו קודם יכולה להיות מיוצגת גם באופן מלא, כך: **fe80::2a0:d2ff:fea5:e9f5** (HEX(16): **A=10, B=11,...,F=15**, **a=01:2:::64:2001:638**).

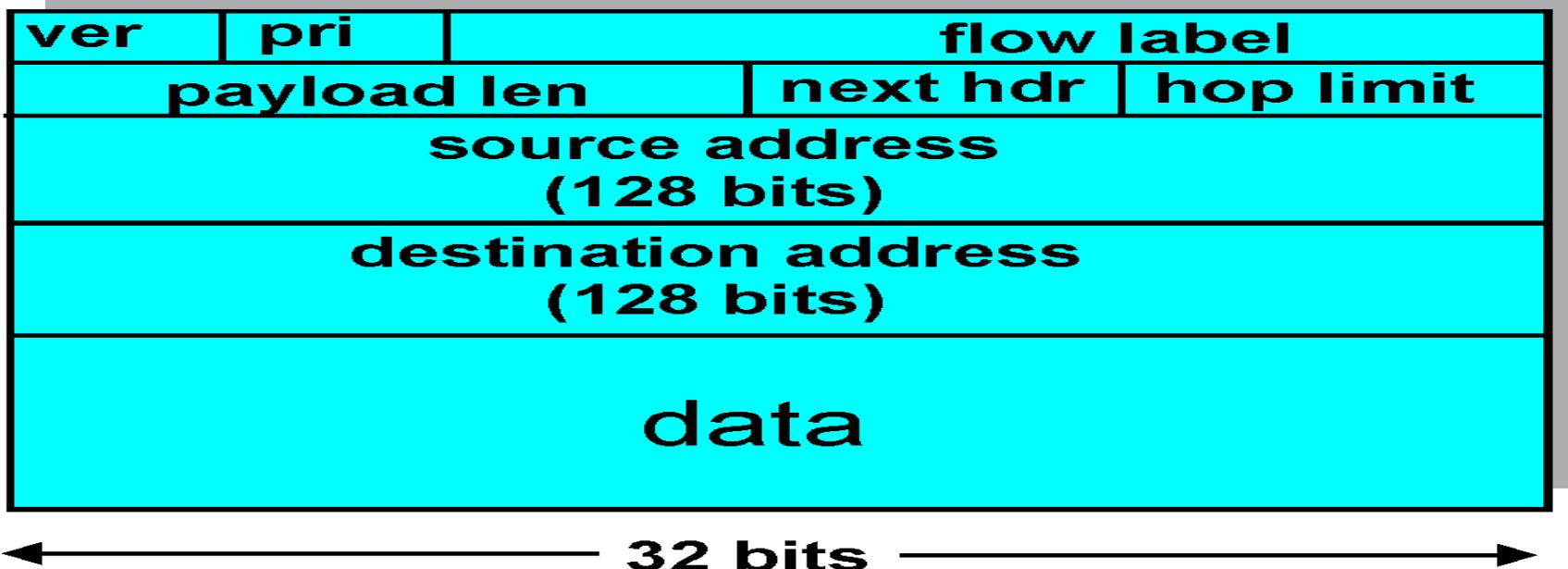
IPv6 משתמש בשיטה הנוחה זו לציון מס' רשות: **64:2001:638:2::a** מסכה זו מציינת שארך מזהה הרשות, בכתבoted ה- IP זו, הוא 64 ביטים.

בדרכן כלל, כתובות IPv6 מכילות 48 ביטים של מזהה הרשות כולה, 16 ביטים של מזהה תת-הרשות (ובסה"כ 64 ביטים של מזהה רשות), דבר המשאיר 64 ביטים לזייהו המחשב ברשות. זה יכול להיראות כבזבוז - קשה לחשב על רשות שתצטער להשתמש בכל מרחב מזהה המחשב זהה (כמה מיליארד מיליארדים!). הסיבה לכך היא, שב- IPv6 מומלץ לבנות את מזהה המחשב לפי כתובות ה-MAC של המחשב (הכתובת הצורובה בכרטיס הרשות שלו). תבנית כתובות זו מכונה "כתובות EUI64".

לדוגמה, במקרה שבו כרטיס הרשות בו משתמש המחשב הוא אינטרנט, וכתובות ה-MAC שלו היא **01:23:45:67:89:ab** מזהה המחשב בכתבoted ה- IP שלו יהיה **0123:45:67:89:ab:01:23:45:67:89**.

כלומר, כתובות ה-MAC, שבניהם מ- 48 ביטים, ועוד 16 ביטים באמצע. השימוש בכתבoted ה- MAC כביסס לכתובות האינטרנט, מאפשר השמה אוטומטית של מזהה המחשב בכתבoted IP לכל מכשיר, יוכל להקל מאוד על מנהלי רשות.

IPv6 Header (Cont)



Priority – עדיפות: מטרתו לזהות עדיפויות של חבילות בטור זרם הנתונים, שדה זה מאפשר להבחין בין תעבורה הרגישה במיוחד לעיכובים, כמו וידאו וקול, לבין תעבורה בעדיפות נמוכה יותר, כמו דואל ותעבורה *web*.

Flow Label - תוית זרימה: המחשב השולח יכול להשתמש בשדה זה כדי לסמן חבילות השייכות לאותו "זרם", ככלומר לאוטו קישור בין מחשבי קצה. כך ניתן להגדיר טיפול מיוחד לזרמים שונים, ולספק דרישות של איכות השירות (QoS).

Payload len - אורך חבילה: שדה זה מצין את אורך הנתונים של חבילת ה- IP בנגד לשדה המקביל ב- IPv4, ב- IPv6 שדה זה אינו כולל את אורך הפתיחה.

הראש הבא – Next header: זיהוי פרוטוקול השכבה הגבוה יותר עבר נתונים.

IPv6 Header (Cont)

■ **field hop-limit הקפיצות:** שדה זה מגדר את המספר המקסימלי של נתבים שונים (כלומר מספר הקפיצות) שabilia יכולה לעבור בדרך, לפני שהיא מושמדת. שדה זה מקביל לשדה ה-TTL ב-IPv4. שדה ה-TTL הוגדר בתחילת כמספר השניות שנותרו לחabilia לחיות, ולא כמספר הקפיצות שנותר לו עוד לעבור, אך בפועל השימוש בשדה ה-TTL התבצע לפי קפיצות ולא לפי זמן.

■ סירויים נוספים נ-IPv4

- **Checksum:** הסרת תכונה זו לחלוטין כדי שנוכל להוריד את זמן התהילך בכל hop ("ניתור") נקודת חיבור בין מחשבים ברשת).
- **Next Header:**abel מחוץ ל-header header להיעד על שדה "Options".
- **ICMPv6:** גרסה חדשה של ICMP.
- **"Packet Too Big"** הודעה נוספת נסotta מסוג.
- **multicast group management functions**

אאג' נ-IPv4-IPv6

◻ לא כל הנתבים יכולים להתעדכן בו בזמןית.

- אין "יום הדגל"
- لكن נשאלת השאלה איז הרשות תפעל עם עירוב של נתבי IPv4 ו-IPv6 ?

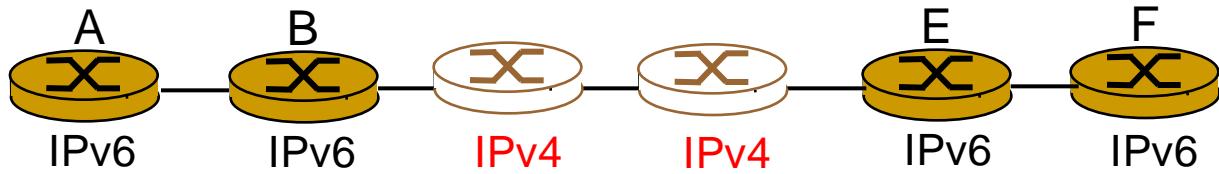
◻ **מינהור:** IPv6 ינסה (מלשון לשאת) כמתען בחבילות המידע של IPv4 בין נתבי IPv4.

Tunneling - ניירור

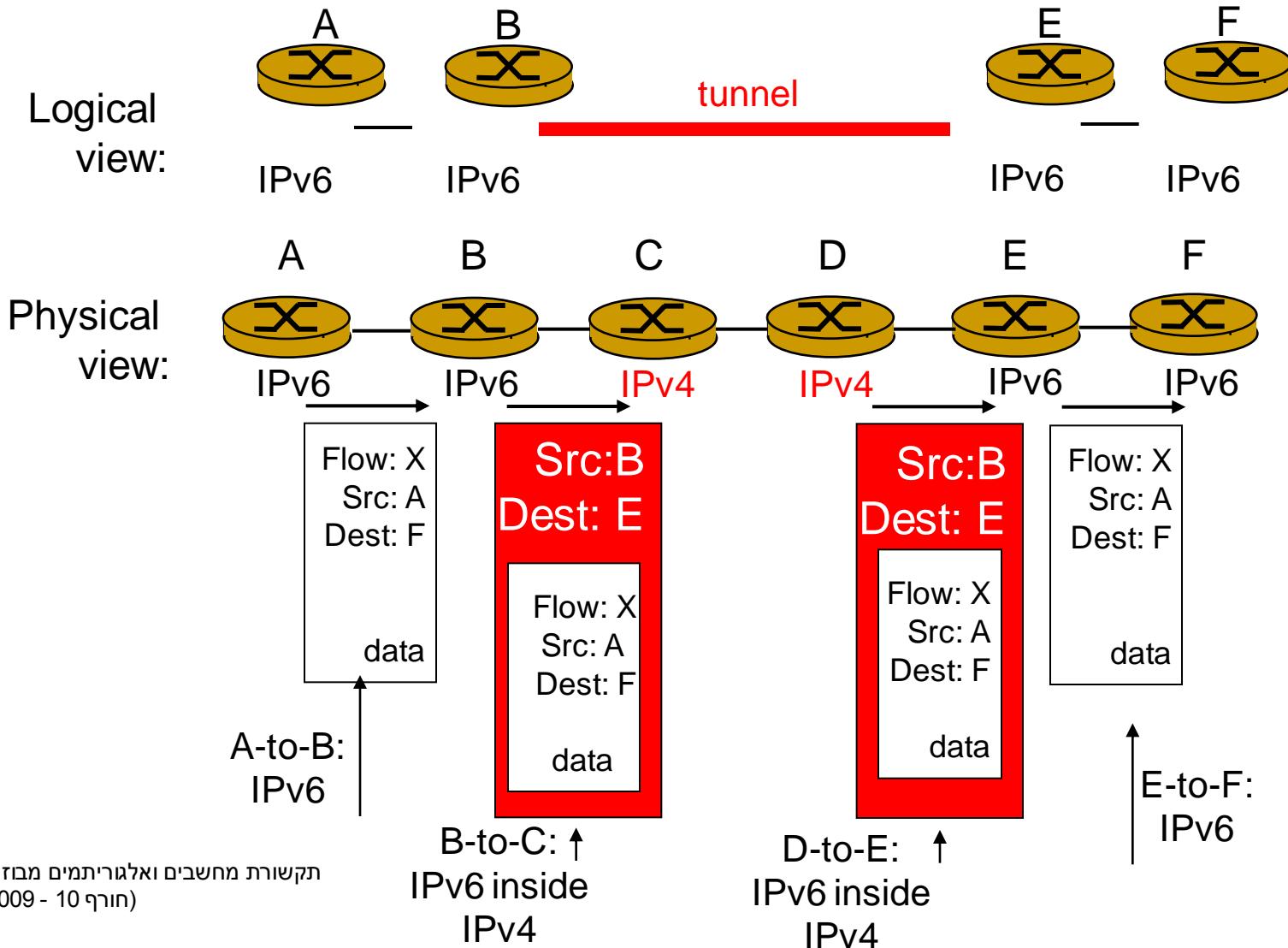
Logical view:



Physical view:



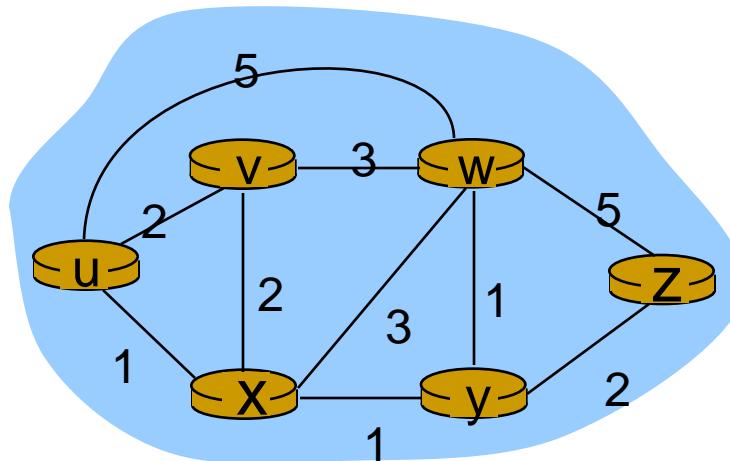
Tunneling תונלינג



שכמת כבליות

- **מבוא**
- **מעגלים וירטואליים וחבילות**
- **המידע בראשת**
- **מה יש בתוך הנットב (router)**
- **פרוטוקלי אינטרנט**
- Datagram format
- IPv4 addressing
- ICMP
- IPv6
- **ניטוב באינטראנט:**
 - Link state
 - Distance Vector
 - Hierarchical routing
- **ניטוב נייח:**
 - RIP
 - OSPF
 - BGP
- **ניטוב נוירלי - Broadcast
multicast**

הכלאה של תוכנת הפלכית



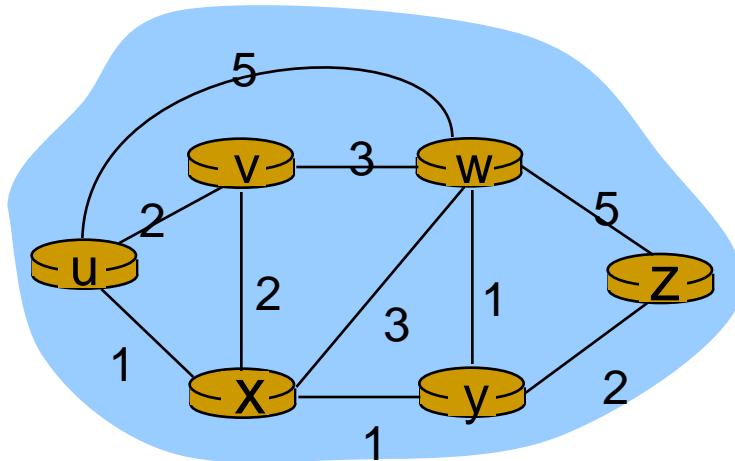
Graph: $G = (N, E)$

$N = \text{set of routers} = \{ u, v, w, x, y, z \}$

$E = \text{set of links} = \{ (u,v), (u,x), (v,w), (v,x), (w,z), (w,y), (x,y), (w,y), (w,z), (y,z) \}$

תזכורת: הפשטה של תורת גרפים שימושית בהקשר של רשת תקשורת

הכלוגה של מוכמת הכלכלה: אמירות



• Cost of $c(x, x')$ = מחיר הנתיב (path) (x, x') .

• לדוגמה: $c(w, z) = 5$.

• מחיר רצוי שיהיה תמיד 1, או ביחס הפוך לרוחב הפס או לעוממו.

מחיר הנתיב $c(x_1, x_2) + c(x_2, x_3) + \dots + c(x_p, x_1)$

שאלה: מהו המחיר הנמוך ביותר בין u ל-z?

אלגוריתם ניתוב: אלגוריתם שモצא את הנתיב במחיר הנמוך ביותר.

סינכטיקה ריאתית

Routing Algorithm classification

מידע כללי (גלוּבְּלִי) או ביזורי
(נקודתי)?

סטטי או דינמי?

סטטי:

- הניתוב משתנה באיטיות לאורך הזמן.

לכל הנתבים יש את הטופולוגיה שלמה,
ומידע על עלות הערוץ.

אלגוריתם "link state".

דינמי:

- הניתוב משתנה יותר מהר:
 - עדכן תקופתי.

הנתב יודע את השכנים המחברים
אליו פיסית, ואת מחיר הערוץ לכל שכן.
תהליך איטרטיבי של חישוב, והחלפת
מידע עם השכנים.

- בתגובה לשינויים במחיר
הערוץ.

אלגוריתם "distance vector".

שכמת כבליות

- מבוא
- מעגלים וירטואליים וחבילות המידע בראשת
- מה יש בתוך הנットב (router)
- פרוטוקלי אינטרנט
 - Datagram format
 - IPv4 addressing
 - ICMP
 - IPv6
- ניתוב באינטראנט:
 - RIP
 - OSPF
 - BGP
- ניתוב ב-Broadcast
multicast
- אלגוריתמי ניתוב:
 - Link state
 - Distance Vector
 - Hierarchical routing

אלגוריתם רימתה "אצה גאלוּץ" (Link-State)

האלגוריתם של Dijkstra

- טופולוגיה הרשת, מחיר הערכות ידועים לכל הקודדים.
 - לכל הקודדים אותו מידע.
- מחשבים את מחיר הנתיב הנמוך ביותר מכל קודקוד לכל קודדים האחרים.
 - נתונה טבלת השליחות (forwarding table) של הקודדים.
- איטרטיבי: אחרי k חזרות, ידועים מחירי הנתיבים ל- k יעדים.

גיא ליטמן מתקנים נטwort Dijkstra

1 **Initialization:**

2 $N = \{A\}$

3 for all nodes v

4 if v adjacent to A

5 then $D(v) = c(A,v)$

6 else $D(v) = \text{infinity}$

7 end

8 **Loop**

9 find w not in N such that $D(w)$ is a minimum

10 add w to N

11 update $D(v)$ for all v adjacent to w and not in N :

12 $D(v) = \min(D(v), D(w) + c(w,v))$

13 /* new cost to v is either old cost to v or known

14 shortest path cost to w plus cost from w to v */

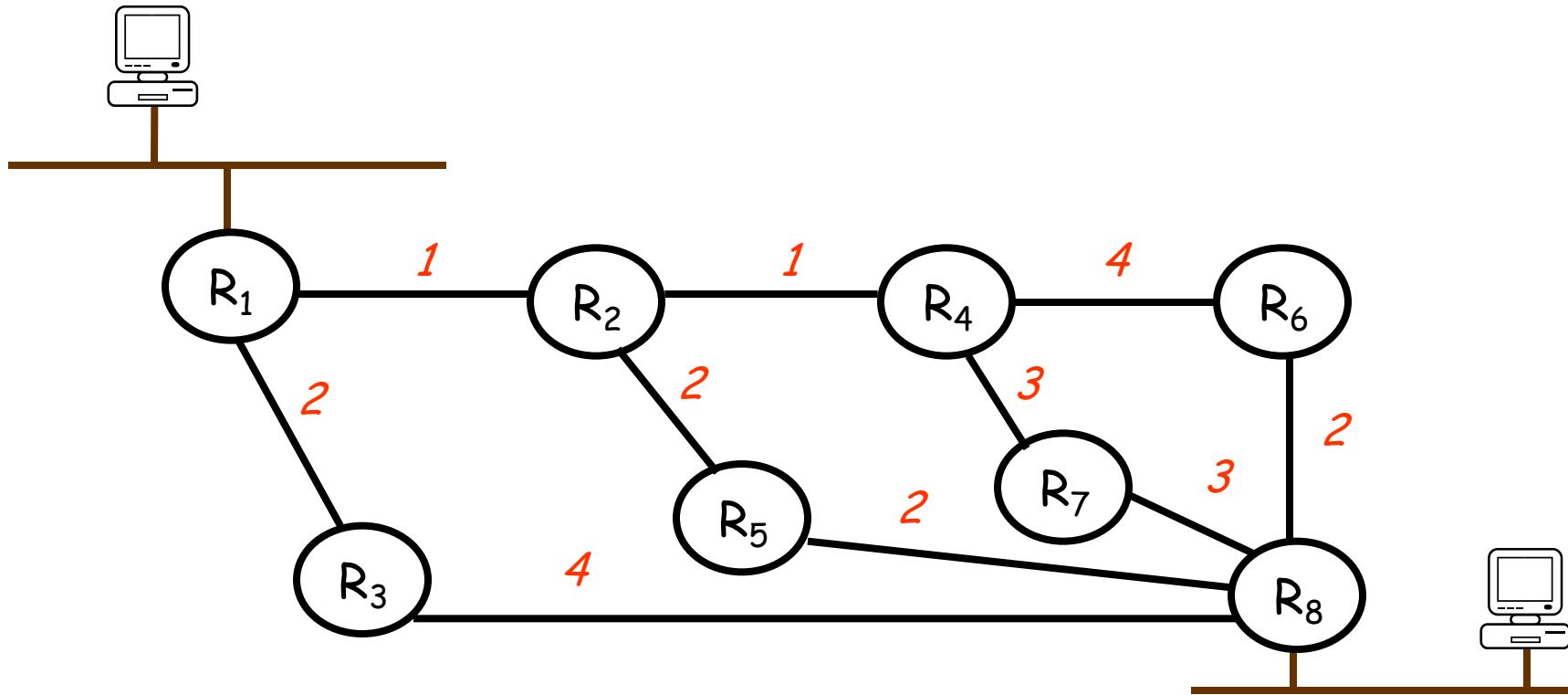
15 **until all nodes in N**

- ❖ Each router calculates lowest cost path to all its neighbors, starting from itself;
- ❖ At each step of the algorithm, a router
 - adds a node to N to which it can reach with its current minimum cost
 - For every node outside N , updates the minimum path cost to it

הסכט של אוזמת האלגוריתם Dijkstra

- בשלב הראשון אנחנו מגדירים את קבוצת הקודקודים שהמරחק אליהם ידוע מראש והוא נקודת התחלה N להיות רק קודקוד A.
- נותנים מחירים מעבר לכל הקודקודים שמקושרים לו - A לפחות היקשת הישירה מ- A אליהם ולכל שאר הקודקודים מחיר אינסופי. כאשר אנחנו יודעים מהמחיר של היקשת הישירה מ- A לאותם קודקודים הוא המחיר המינימאלי כדי להגיע אליהם לפי אי שוויון המשולש (המחיר של היקשת הישירה שמחברת 2 קודקודים זול יותר מסכום מחירי היקשות שיוצרות כל מסלול עקיף בניהו).
- בתוך הלולאה אנחנו מוסיפים בכל איטרציה את הקודקוד שמחיר היקשת שmagua אליו מתר קבוצת הקודקודים הידועים N הוא הנמוך ביותר.
- מכיוון שההתוצאות שלנו לקבוצה N היא כמו לקודקוד אחד, אנחנו יכולים לנסות למזער מחירי היקשות בכל פעם שאנו מוסיפים קודקוד חדש, כי יכול להיות שקיבלנו עכשו היקשה חדשה וזרה לקודקוד מסוים. הלולאה תמשיך למשך עד שכל הקודקודים יכנסו ל- N, כלומר, עד שכל הגראף יМОפה.

הנחתה הדרישה מ_DIjkstra



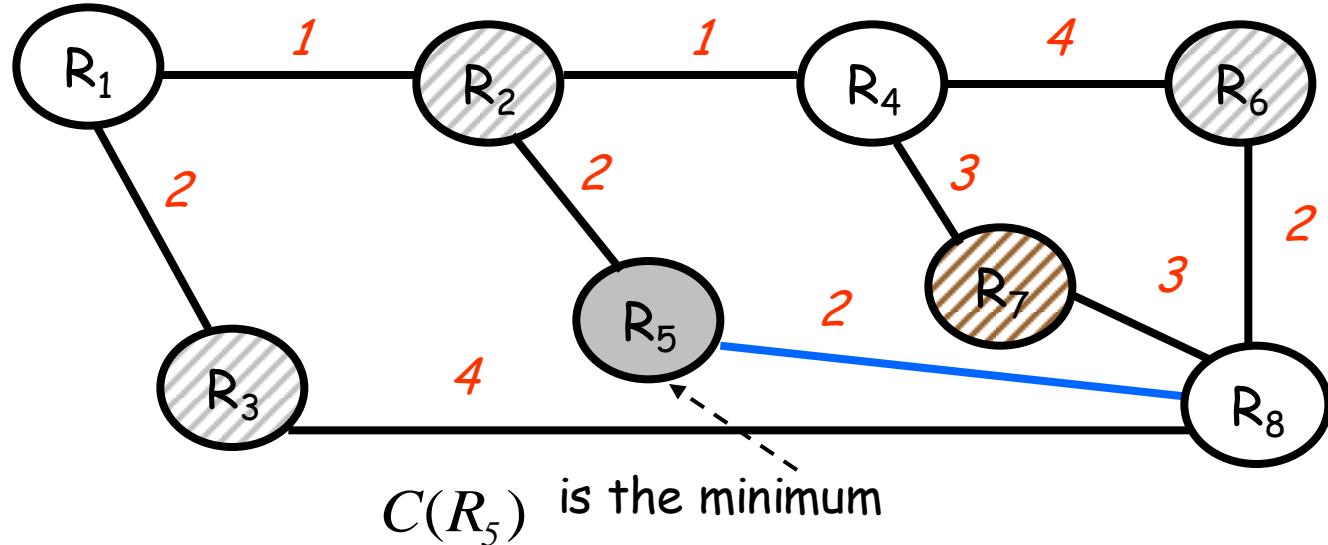
הנחתה הנקבּתְּן כִּי אַתָּה

Step 1. Shortest path set : $M = \{R_8\}$

Candidate set (finite cost) : $C = \{R_3, R_5, R_7, R_6\}$

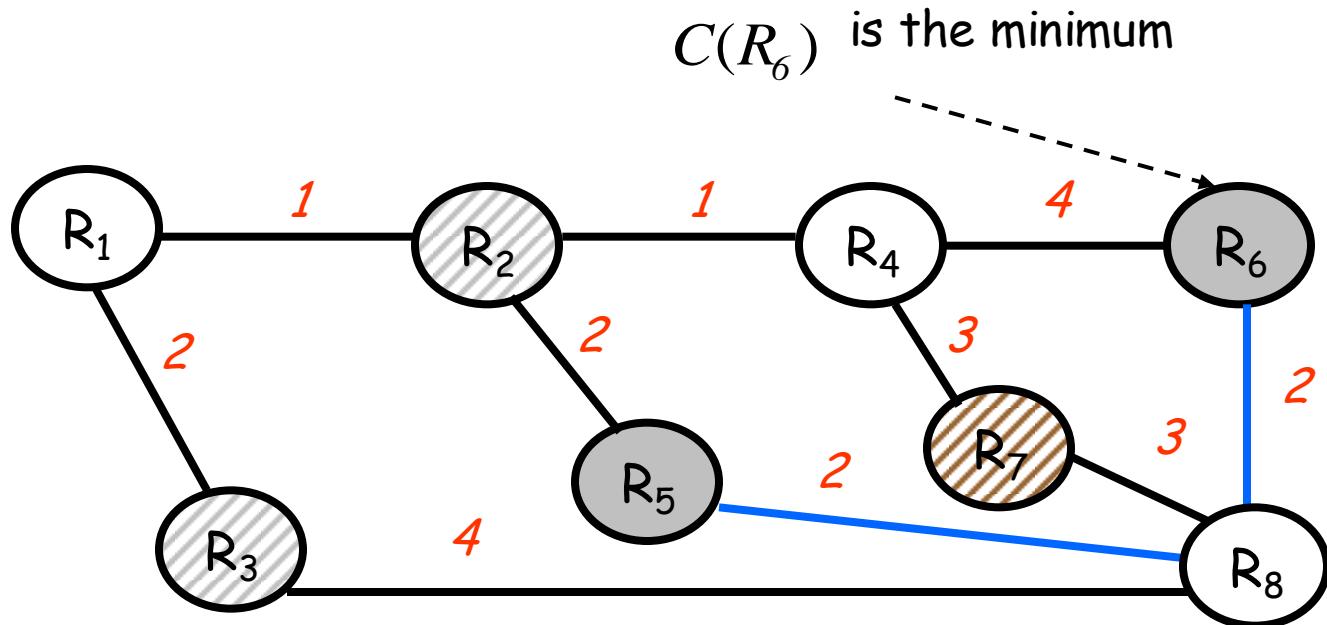
Step 2 : $M = \{R_8, R_5\}$,

$C = \{R_3, R_7, R_6, R_2\}$.



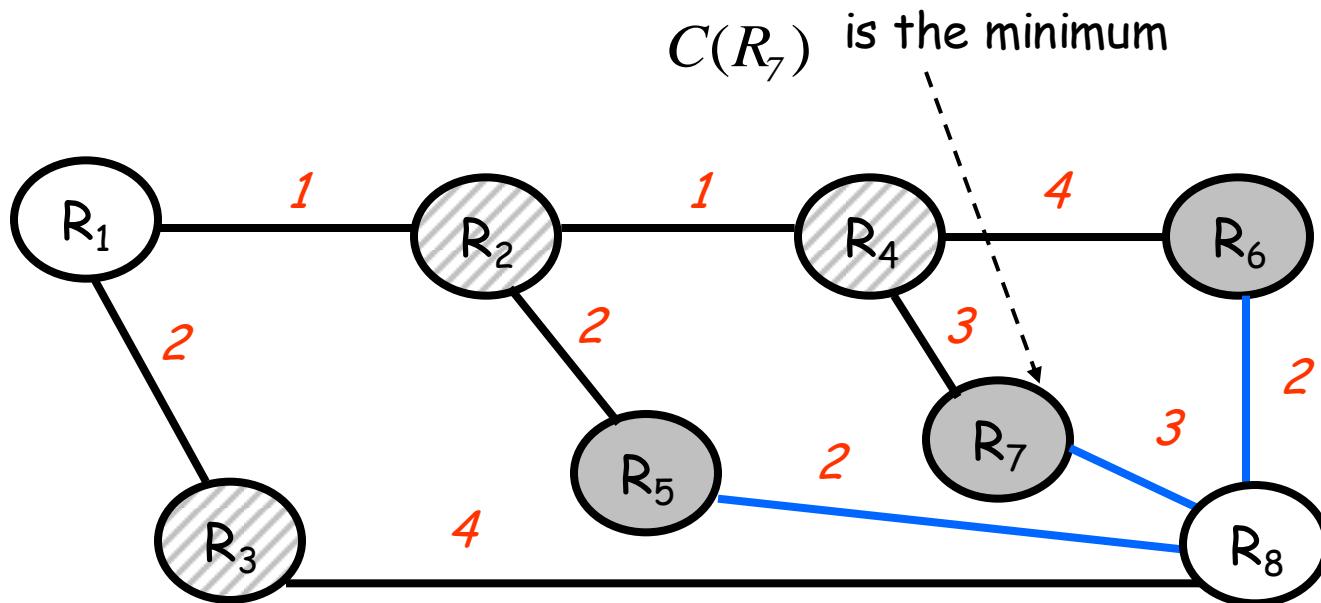
הסבר לאלגוריתם Dijkstra

Step 3: $S = \{R_8, R_5, R_6\}$,
 $C = \{R_3, R_7, R_2, R_4\}$.



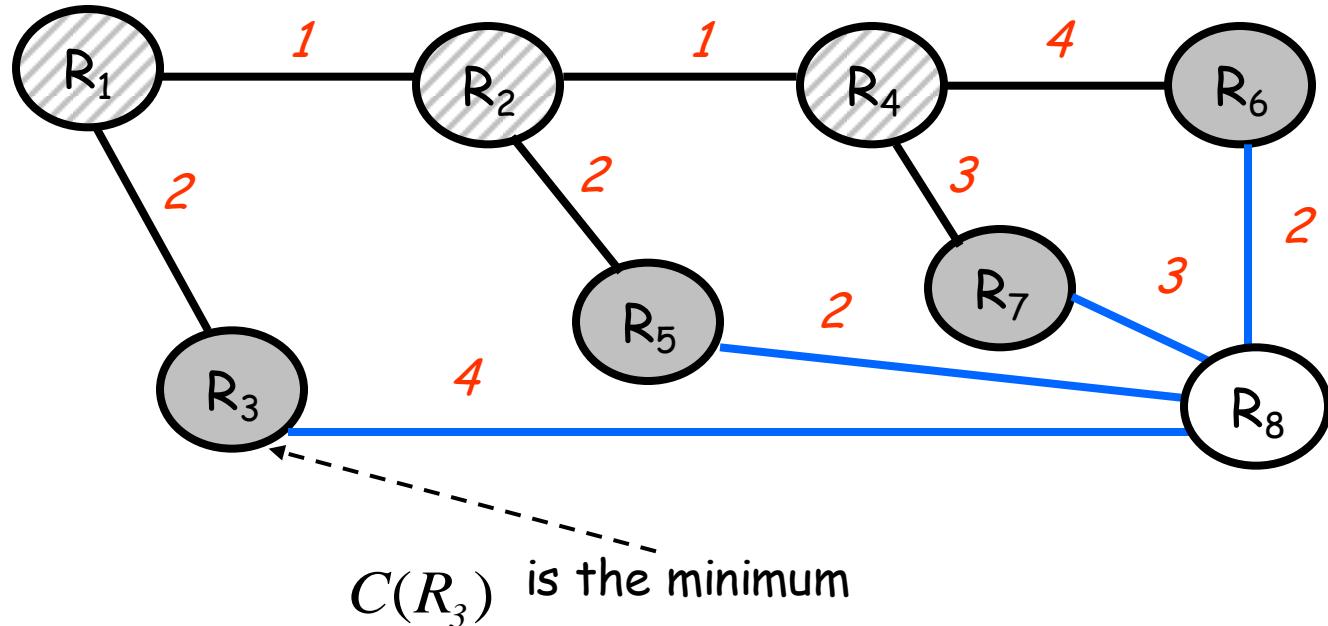
הנחתה הדרישה בדijkstra

Step 4 : $S = \{R_8, R_5, R_6, R_7\}$,
 $C = \{R_3, R_2, R_4\}$.



הנחתה הדרגתית בדijkstra

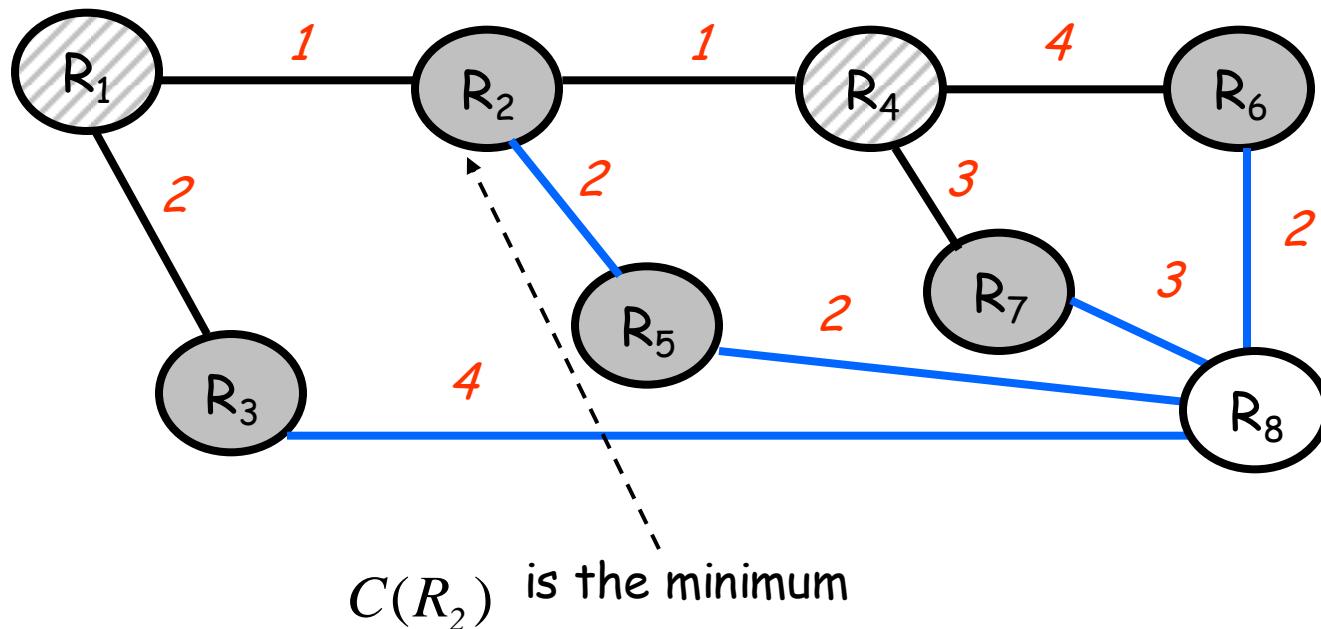
Step 5: $S = \{R_8, R_5, R_6, R_7, R_3\}$,
 $C = \{R_2, R_4\}$.



הסבר לאלגוריתם Dijkstra

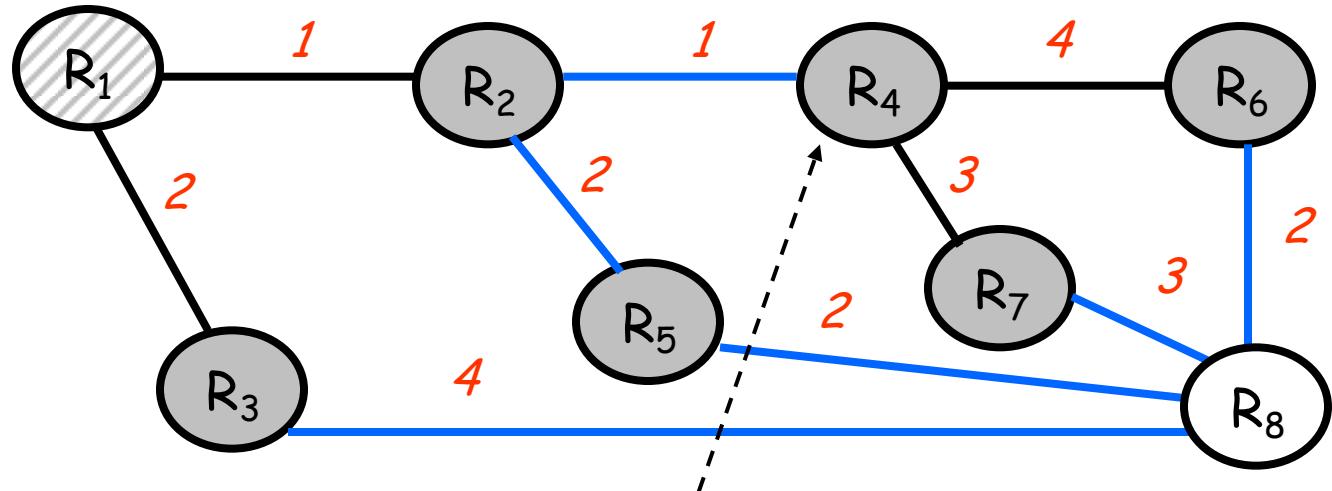
Step 6: $S = \{R_8, R_5, R_6, R_7, R_3, R_2\}$,

$C = \{R_4, R_1\}$.



הנחתה הדרגתית בדijkstra

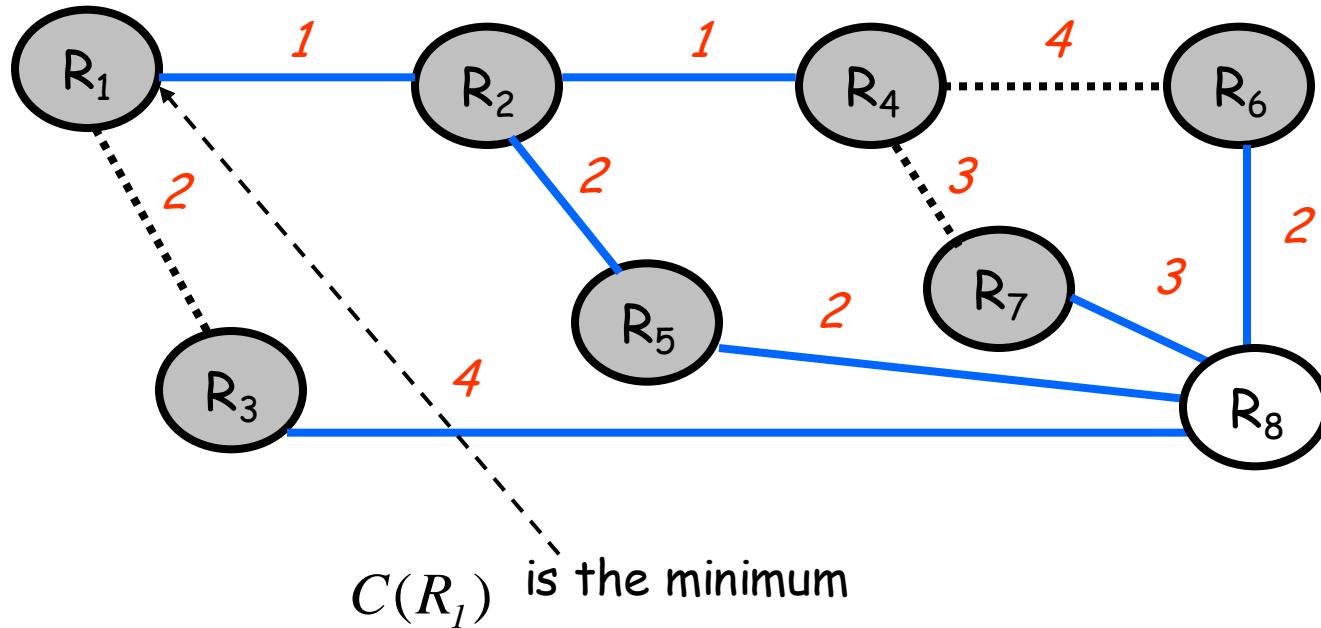
Step 7 : $S = \{R_8, R_5, R_6, R_7, R_3, R_2, R_4\}$,
 $C = \{R_1\}$.



$C(R_4)$ is the minimum

מתקנים נספחים Dijkstra-fe מינימום קנדיז הסתמך על קבוצה מינימלית

Step 7: $S = \{R_8, R_5, R_6, R_7, R_3, R_2, R_4, R_1\}$



סידור וריאנט Dijkstra - קיון

סיבוכיות האלגוריתם: ח קודקודים

- ◻ בכל איטרציה: נדרש לבדוק את כל הקודקודים, C, שאין בו-S.
- ◻ לנץ זמן ריצה של האלגוריתם (**ללא הוכחה**): $O(n \log n)$

שכמת כבאים

- **מבוא**
- **מעגלים וירטואליים וחבילות**
- **המידע בראשת**
- **מה יש בתוך הנットב (router)**
- **פרוטוקלי אינטרנט**
- Datagram format
- IPv4 addressing
- ICMP
- IPv6
- **אלגוריתמי ניתוב:**
 - Link state
 - Distance Vector
 - Hierarchical routing
- **ניתוב באינטרנט:**
 - RIP
 - OSPF
 - BGP
- **▪ ניתוב broadcast**
- ניתוב multicast**

אקוֹוָו אַכְמָקִים

- מחרורי, שני דרכי להחליף מידע בין שכנים.
- חוזר על עצמו (איטרטיבי), לא בו-זמן (לא סינכרוני) ומבוזר.
- בזמן ההחלפה, ה-switch שולח:
 - רשימה של זוגות.
 - כל זוג כולל יעד וمرחק ליעד
- הקולט (Receiver):
 - משווה כל פריט ברשימה לנútב המקומי.
 - משנה את הנútב אם נútב טוב יותר קיים.

ק'ירטוק'יז'יט אַקְטּוֹר פָּאַכְּמִיקִיט

Distance Vector Intuition

□ יהי:

- N מספר השכנים אשר שלוחים הודעות ניתוב
- V היעד בזוג (זוג כולל יעד ומרחק ליעד).
- D המרחק ליעד בזוג (זוג כולל יעד ומרחק ליעד)
- $W_N = C$ כאשר W הוא המחיר הנדרש להשיג את השולח.

□ אם אין נתיב מקומי ליעד V או לנטייב המקומי יש מחיר גדול מ- C

- נקבע נתיב עם נקודת חיבור (hop) הבאה N , במחיר C .
- לאחר התעלם מהזוג.

dfsก אמצעי וקווים (distance vector)

Initialization

```
2 for all adjacent nodes v:  
3   D (*,v) = infinity      /* the * operator means "for all rows" */  
4   D (v,v) = c(X,v)  
5 for all destinations, y  
6   send minw Dx (y,w) to each neighbor /* w over all X's neighbors */
```

loop

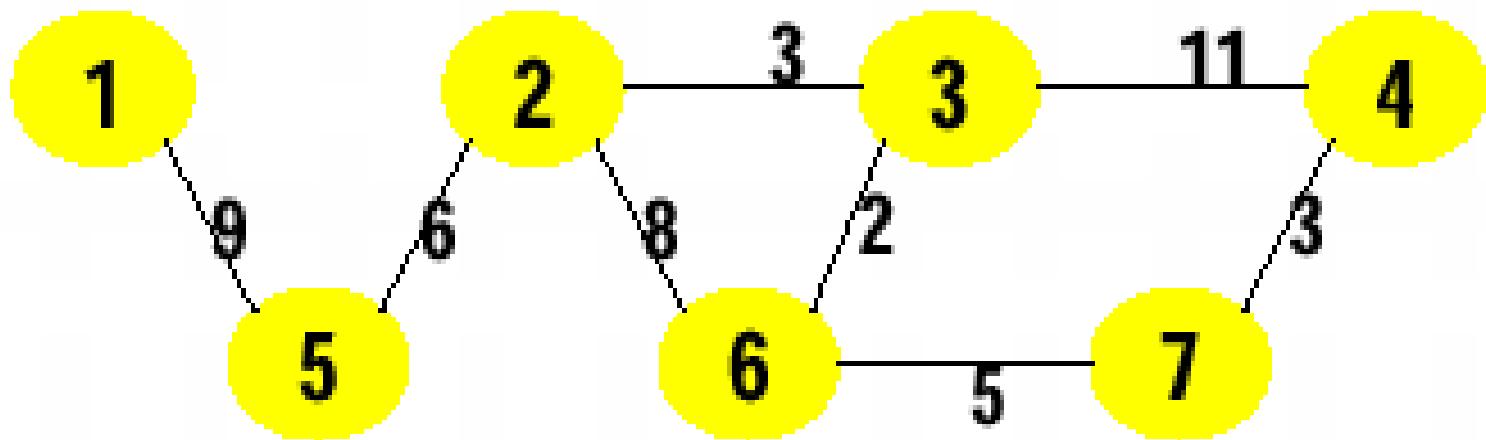
```
7 wait (until I see a link cost change to neighbor V  
8     or until I receive update from neighbor V)  
9 if (c(X,V) changes by d)  
10    for all destinations y: D (y,V) = D (y,V) + d  
11 else if (update received from V wrt destination Y)  
12    for the single destination y: D (Y,V) = c(X,V) + newval  
13 if we have a new min D(Y,w) for any destination Y  
14    send new value of minD(Y,w) to all neighbors
```

forever

הסכם צג כאפליאט

- אלגוריתם זה ירוץ על כל צומת בגרף עם כניסה לגרף. תחילת כל המחירים יאותחלו לאינסוף (שורה 3), ולאחר מכן מחירי הקשתות לשכנים יאותחלו כמחירי המינימום לצמתים אלה (שורה 4), ואז המידע הזה יופץ לכל שכניו של אותו קודקוד (שורות 5,6).
- קטע הקוד הבא (שורות 7,14) ירוץ על כל קודקוד בגרף כל הזמן, תפקידו לניהל עדכנים. בכל פעם שיש אירוע של שינוי בקשר לשכן V (שינוי בקשר שמחוברת ישירות לקודקוד או שינוי שכן הודיע עליו), נסכם את השינוי יחד עם המחיר המקורי שהוא לנו (אם השינוי היה שלילי אז המחיר ירד), ואם המחיר האופטימלי לקודקוד V אכן השתנה נשלח את העדכון – המחיר החדש לשכנים (шибכו את אותה שגרה).

לינקן רימת וקווים אמצעים

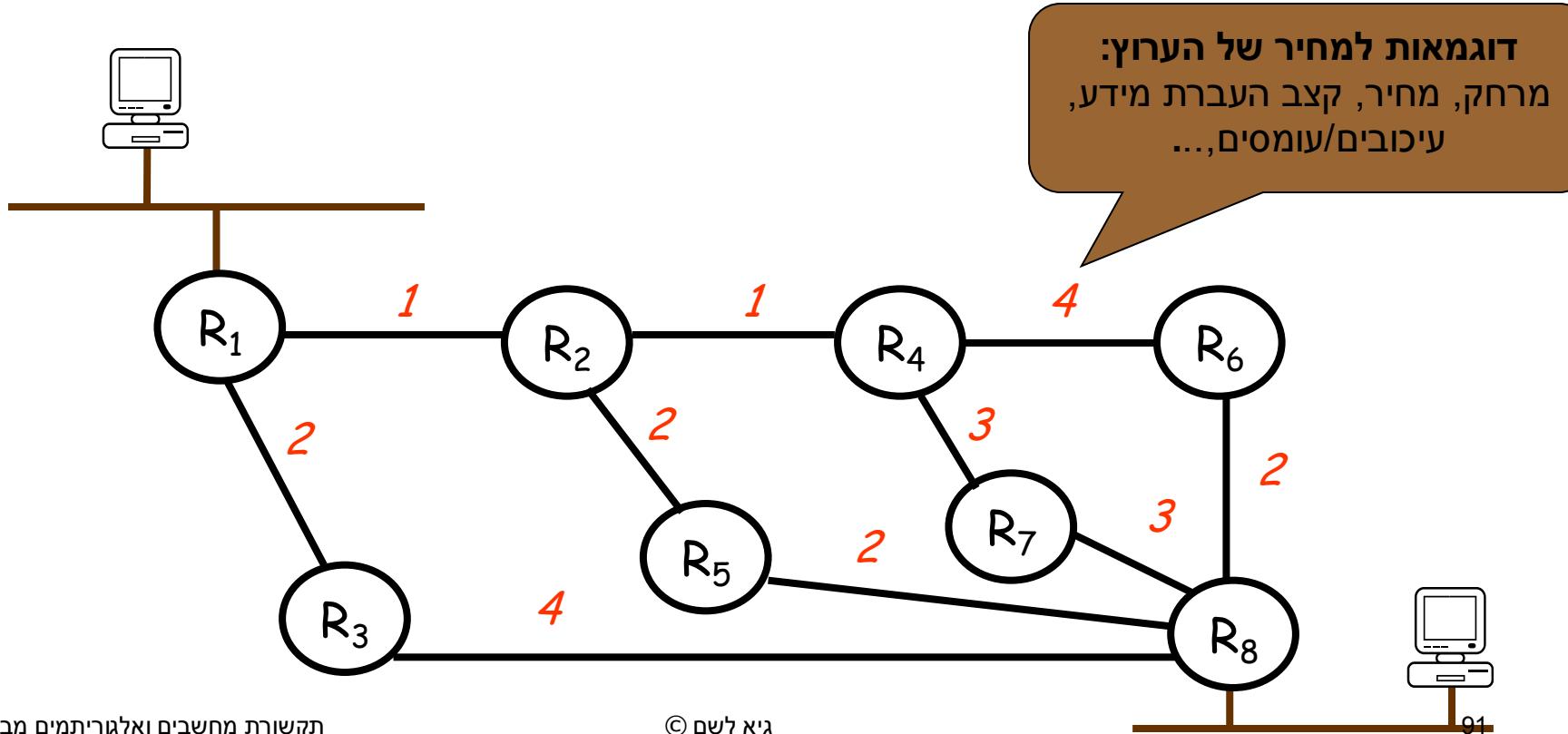


- נסתכל על העברה של הودעת ניתוב וקטור מרחקים (DV) אחות:
 - .1. צומת מספר 2 שולח לצמתים 3, 5, ו-6.
 - .2. צומת 6 קובע מחיר 8 בניתוב לצומת 2.
 - .3. יותר מאוחר צומת 3 שולח עידכון לצומת 6.
 - .4. צומת 6 משנה ניתוב כדי לעשות את צומת 3 נקודת החיבור הבאה עבורי היעד 2.

Bellman-Ford *פ'ק*

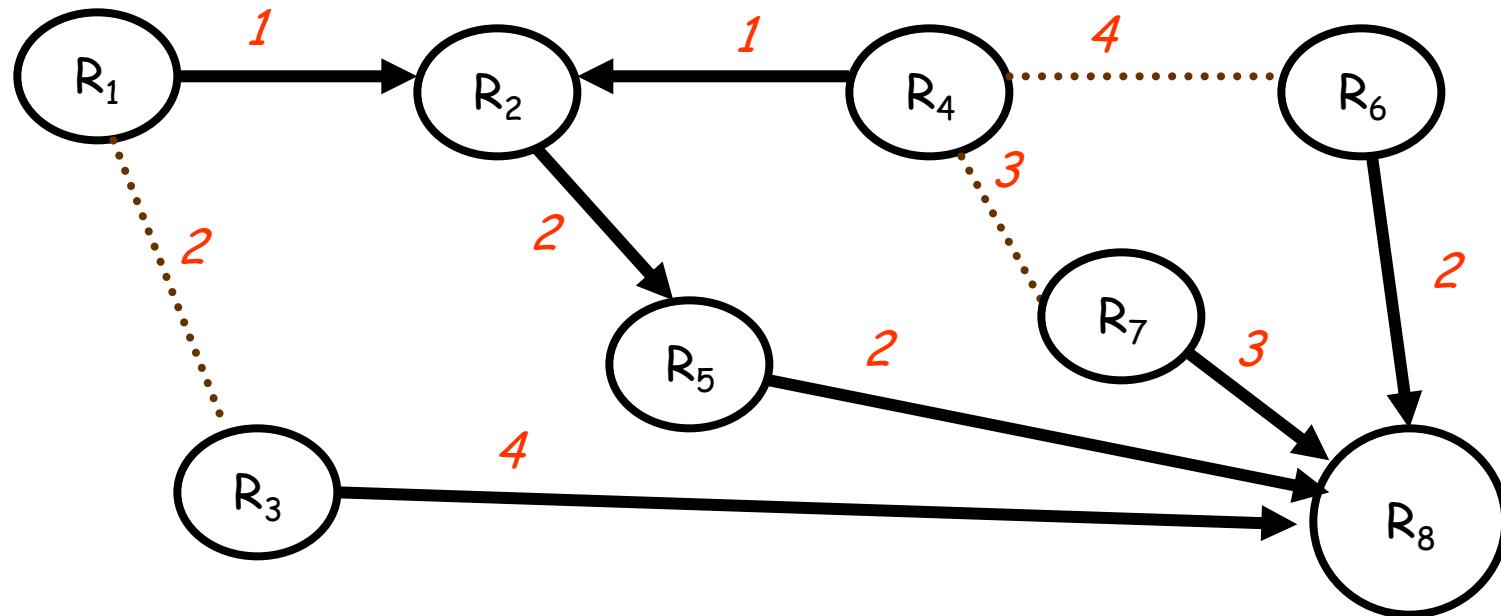
מטרה: למצוא נתיב עם מחיר מינימאלי מכל צומת לכל צומת אחר בגרף.

לדוגמה:לקבוע נתבים מ- (R_1, \dots, R_7) ל- R_8 אשר מזערים את המחיר



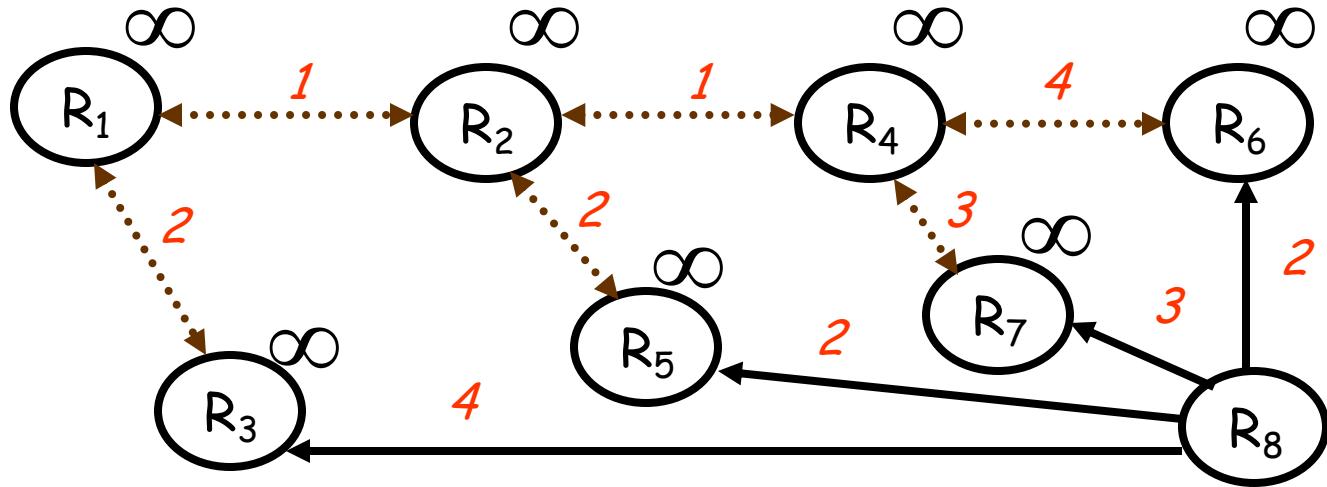
אlgόרithm B-F הינו אlgόרithm אקזיטט האומק'ית

B-F is a Distance Vector Algorithm

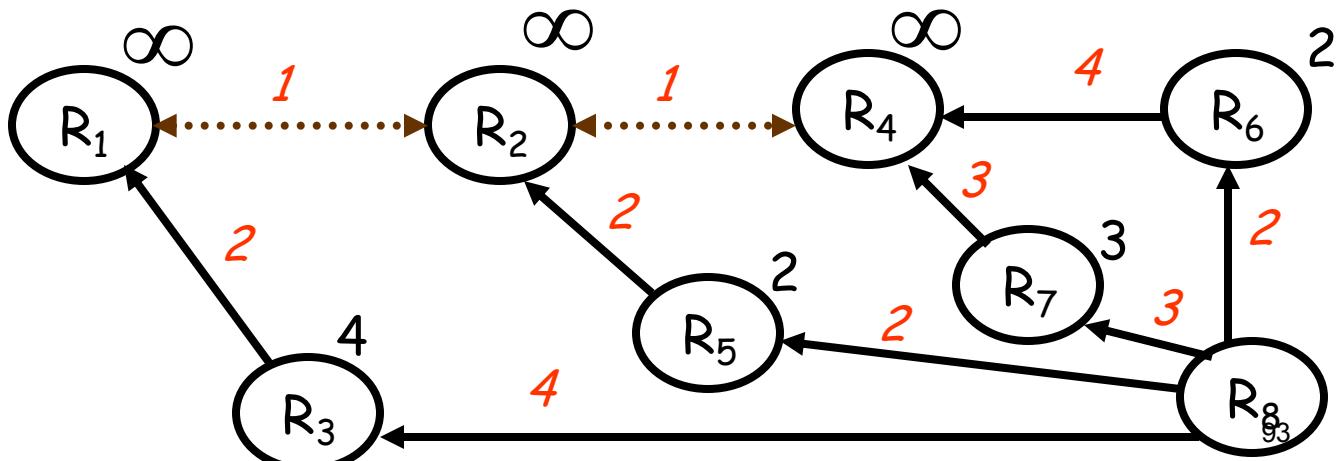


- ❖ הפתרון הוא עץ פורס (*spanning tree*) עם R₈ כשורש של העץ, כאשר מחירי הקשתות (הערוצים) הם המחרירים של הגישה ל-R₈.
- ❖ אלגוריתם Bellman-Ford מוצא את כל העצים הפורסים בגרף.

B-F ρ מ'סfk מפ'זא f knclz

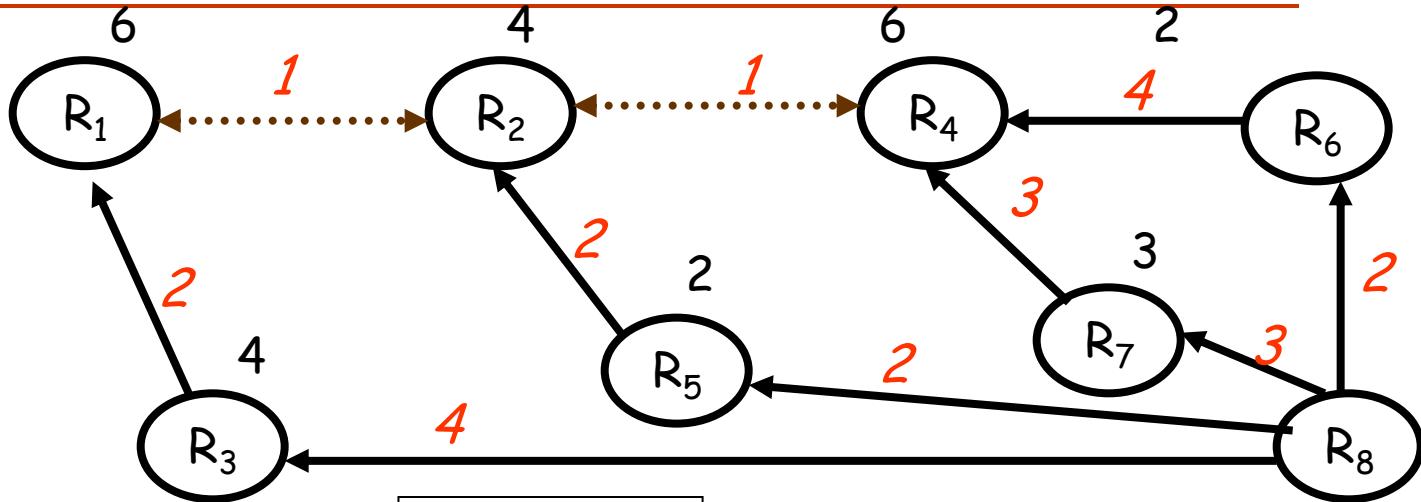


R ₁	Inf
R ₂	Inf
R ₃	4, R ₈
R ₄	Inf
R ₅	2, R ₈
R ₆	2, R ₈
R ₇	3, R ₈

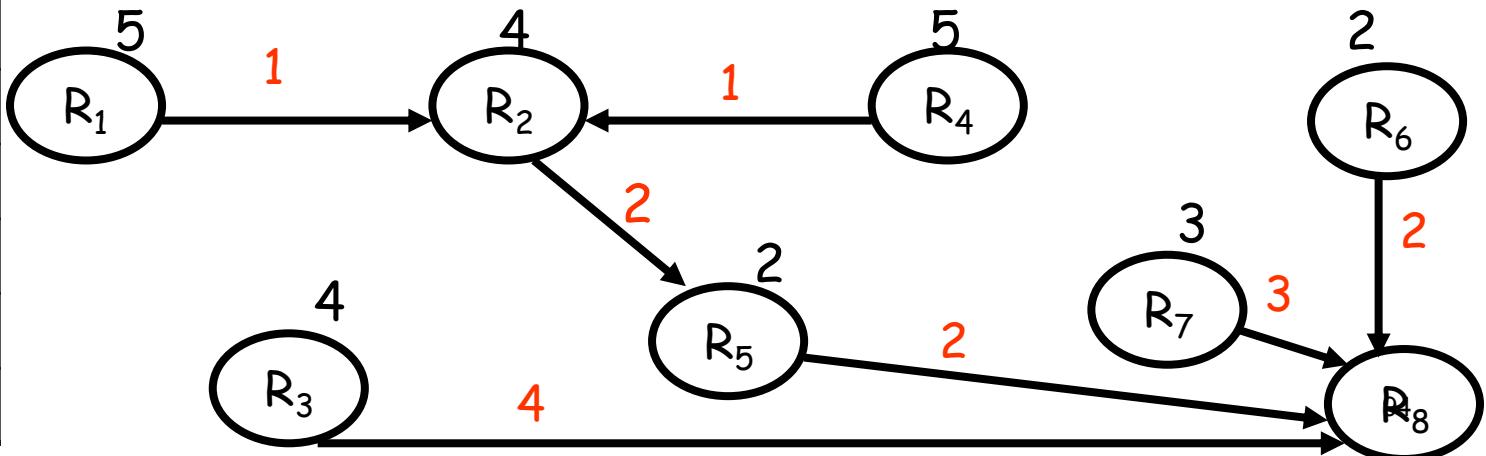


B-F בדיקת כפיפות קנדיז

R ₁	6, R ₃
R ₂	4, R ₅
R ₃	4, R ₈
R ₄	6, R ₇
R ₅	2, R ₈
R ₆	2, R ₈
R ₇	3, R ₈



R _{1z}	5, R ₂
R ₂	4, R ₅
R ₃	4, R ₈
R ₄	5, R ₂
R ₅	2, R ₈
R ₆	2, R ₈
R ₇	3, R ₈



שכמת כ רשת

- **מבוא**
- **מעגלים וירטואליים וחבילות**
- **המידע בראשת**
- **מה יש בתוך הנット (router)**
- **פרוטוקלי אינטרנט**
- Datagram format
- IPv4 addressing
- ICMP
- IPv6
- **אלגוריתמי ניתוב:**
 - Link state
 - Distance Vector
 - Hierarchical routing
- **ניתוב באינטרנט:**
 - RIP
 - OSPF
 - BGP
- **ניתוב ↪ Broadcast
multicast**

רימוג היררכי

לימוד הניתוב שלנו עד עכשו:

- **אידיאלי** (חסר פגמים).
- כל הנתבים זהים.
- רשת שטוחה.
- ... כל זה לא נכון באופן מעשי כי:

קנה מידה: עם 200 מיליון יעדים אוטונומיה אדמיניסטרטיבית

- אין אפשרות לאחסן את כל היעדים▫ אינטרנט = רשת של רשתות.
- מנהל כל רשת רוצה לפקח על בטבת הניתוב.
- בטבת הניתוב מוצפת שינויים של העורכים.

רִימָוֶת הַרְכָּלָה

- צירוף הנטב לתוכ איזור "מערכת אוטונומית"
(autonomous systems (AS))
- נטב עם אותה מערכת אוטונומית מריצ את אותם פרוטוקולי ניתוב:
 - פרוטוקול ניתוב פנימי "intra-AS" המתמקדים בעיקר בביטויים.
 - נטבים עם מערכת אוטונומית שונה יכולים להריץ פרוטוקולי ניתוב -**"inter-AS"** שונים, והם מתמקדים לא רק בביטויים אלא גם באפשרות לקבוע מדיניות.

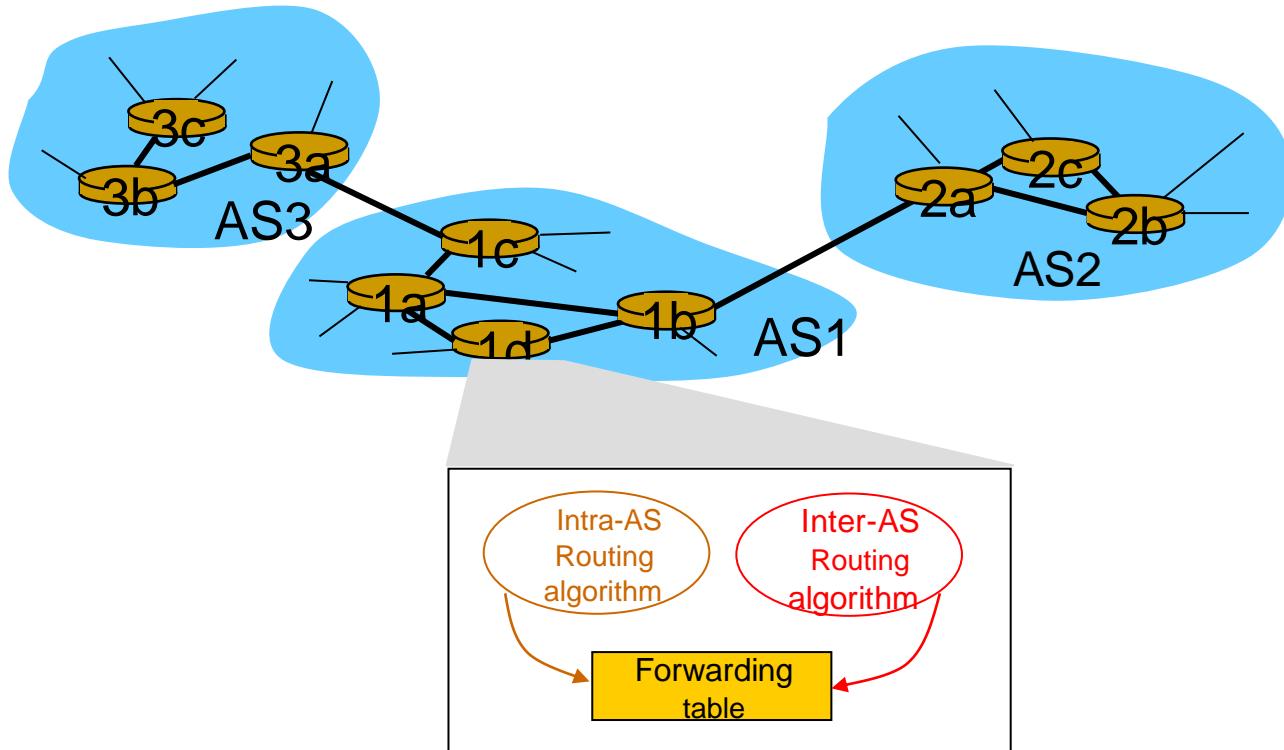
□ נטב **Gateway**

- לחבר ישרות לנטב עם מערכת אוטונומית שונה.

פרק 10 אוטונומיות – איזה ה'יכלכ'

- פרקנו את הבעה לשתי רמות של אלגוריתמי ניתוב – פנים אוטונומי intra autonomous system (intra-AS) routing protocols וEXTERN autonomous system routing protocols (inter-AS)
- אלגוריתם הניתוב הבין אוטונומי (inter-AS) צריך להיות אחיד לכל הרשת, אבל בתוך כל AS אפשר להריץ אלגוריתם ניתוב אחר. המחשבים בכל AS צריכים להכיר רק את intra AS routing protocol של אותה אוטונומיה.
- בכל AS חייב להיות לפחות נתב אחד שמכיר את ה프וטוקול הבין אוטונומי , אחרת ה- AS הזה תהיה לא תוכל לתקשר עם שאר הרשת.
- הרשות מחלוקת לאוטונומיות (Autonomous Systems) מאפשר כל אוטונומיה יכולה להכיל מספר רשתות, כך שהיא מעין "אינטרנט קטן" (למשל קמפוס בגין גוריון יכול להיות אוטונומיה). אם נרצה להעביר הודעות בתוך אוטונומיה אז נשתמש בנתבים מסויימים של אותה אוטונומיה, ואם נרצה להעביר הודעה לאוטונומיה אחרת, נשתמש בנתב שיודיע להעביר הודעות בין אוטונומיות.

אקוּלִיט גָּזְבֵּית – ASes



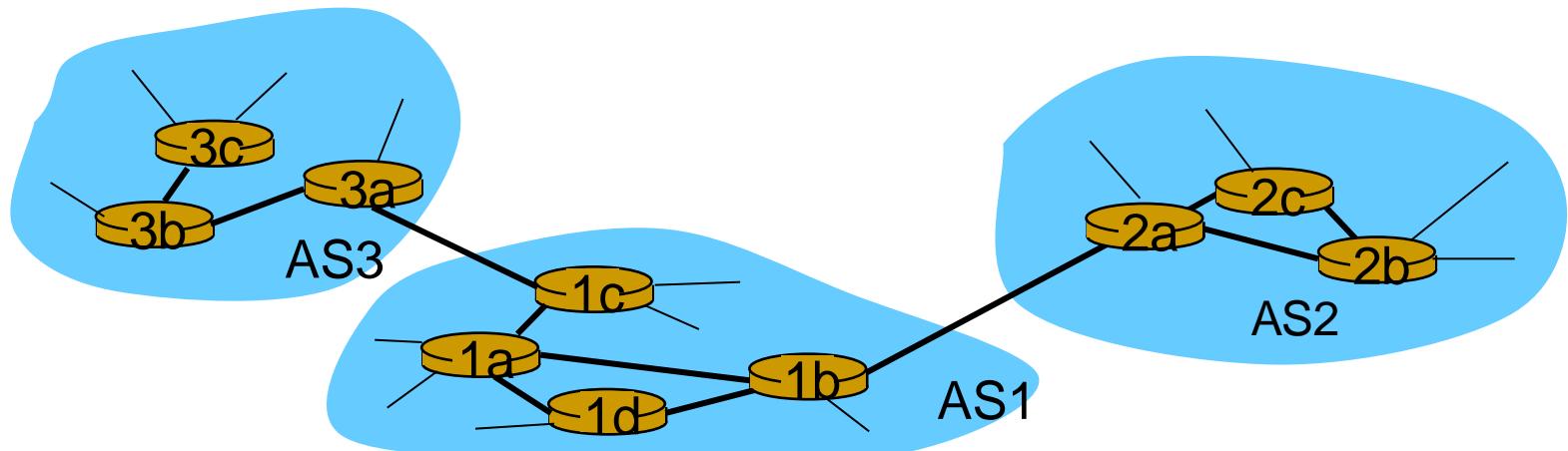
- טבלת שליחות "מקונפגת" ע"י אלגוריתמי הניתוב של AS-inter-AS ו intra-AS ■ AS intra-AS קובעת כניסה عبر יעדים פנימיים. ■ AS inter-AS קובעים כניסה عبر יעדים חיצוניים.

אינטרנט Inter-AS

AS חיב:

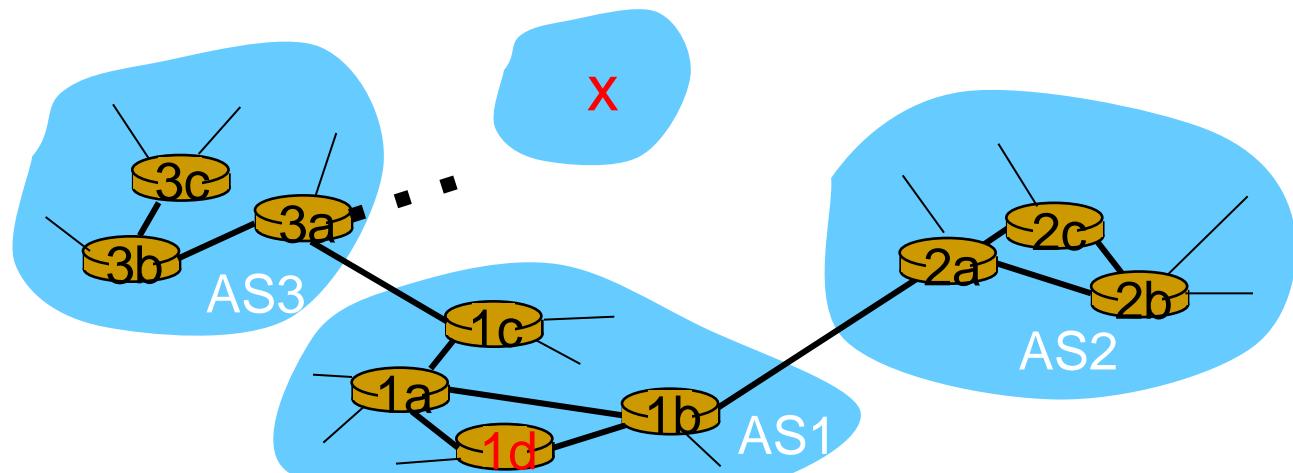
1. למדוד איזה יעד אפשרי דרך AS2,
ואיזה דרך AS3.
2. להפיץ את המידע על הנגישות הזו
 לכל הנתבים ב-AS1.

- נניח שהנתב ב-AS1 מקבל
חbillת מידע עם יעד מחוץ ל-
AS1.
- הנתב חיב לשלוח את החbillת
לנתב gateway, אבל לאיזה
מהם ? גם AS2 וגם AS3 באים
 בחשבון !



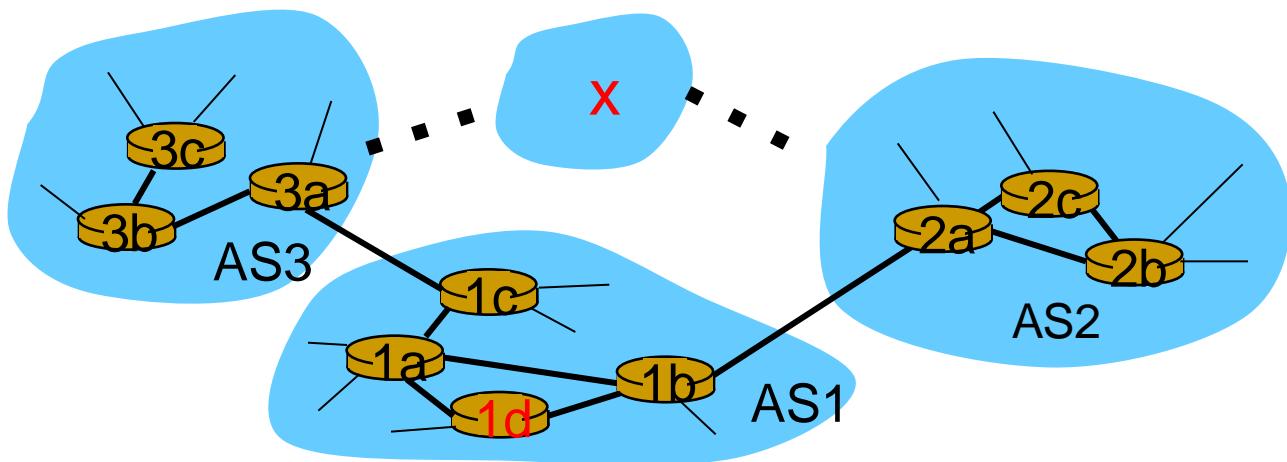
קואנס: קיימת סגנון מיחות גרמה לכך – "1d"

- ☐ נניח ש-AS1 לומד (דרך פרוטוקול inter-AS) שתת רשת **X** יכולה להיות נגישה דרך AS3 (gateway 1c), אבל לא דרך AS2.
- ☐ פרוטוקול inter-AS מיפוי מידע על נגישות זו לכל הנתבים הפנימיים.
- ☐ הנתב **1d** קובע בזירת מידע על ניתוב מ-As-Intra-As שהמשיק שלו הוא **I** והוא הנתיב הנמוך ביותר ל-**1c**.
- נקבע בטבלת השליחות (forwarding table) רישום/כניסה ל-**(X,I)**.



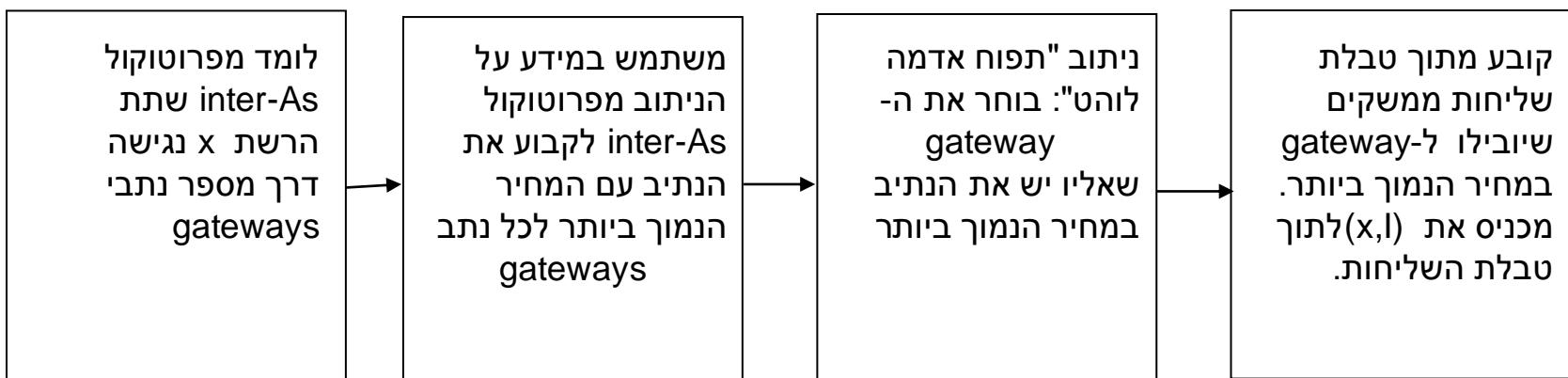
קואקס: מהיכך ג'ז ASes

- נניח עכשו ש- AS1 לומד מפרוטוקול inter-AS ששת הרשות **X** נגישה מ- AS3 ו- AS2.
- ל"קינפוג" טבלת השליחות (forwarding table) הנtab **1d** חייב לקבוע לקראת איזה נתב gateway הוא חייב לשלווחabilות עבור היעד **X**.
- זה גם תפקיד של פרוטוקול ניתוב inter-AS.

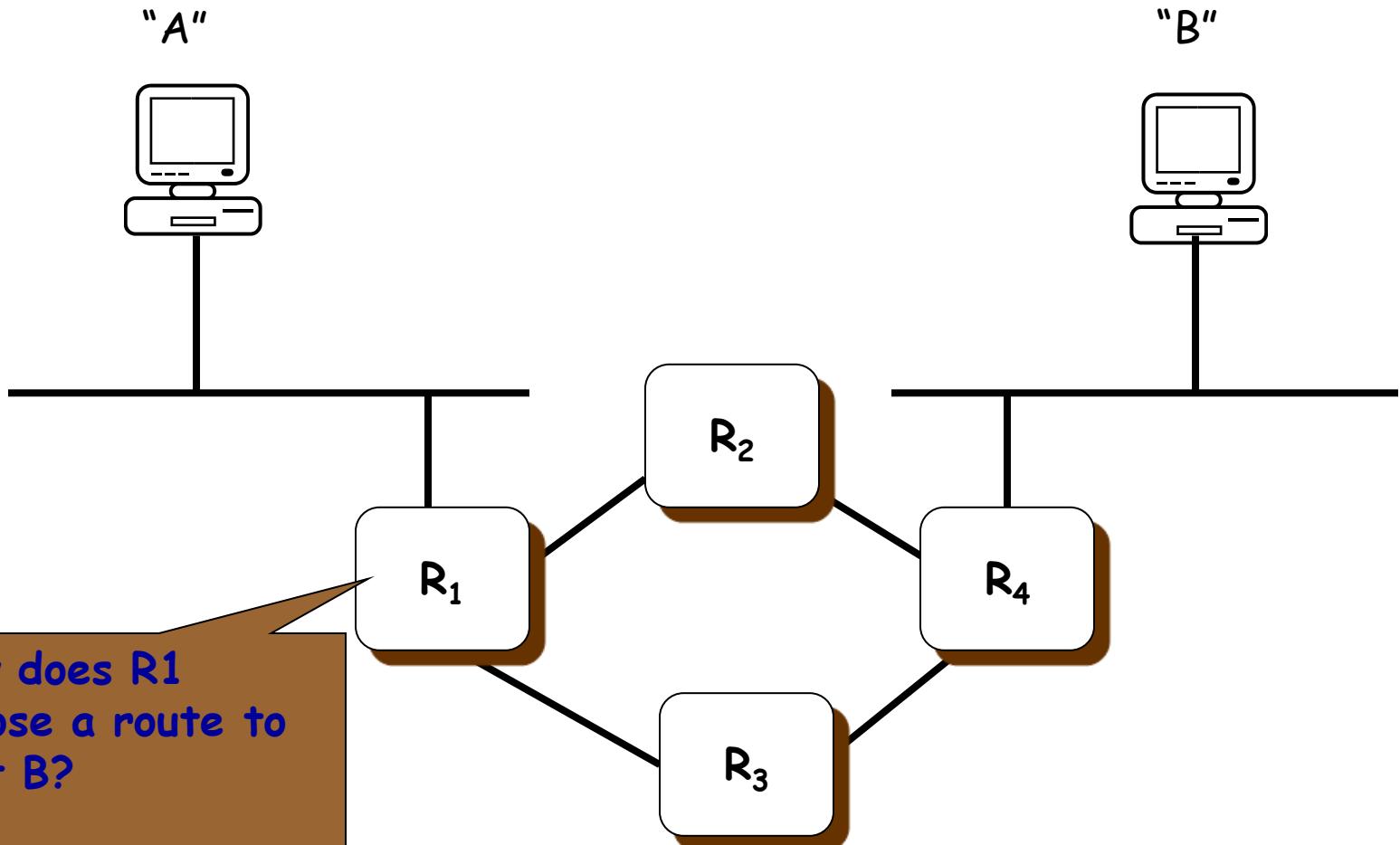


קולאך: מילכה ג'ן ASes

- ◻ עכשו נניח ש-AS1 לומד פרוטוקול inter-AS לשתי הרשות **X** היא נגישה גם מ-AS3 וגם מ-AS2.
- ◻ ל"קינפוג" טבלת השליחות (forwarding table) הנtab **1d** חייב לקבוע לקראת איזה נתב gateway הוא חייב לשלווחibilitות עבור היעד **X**.
- זה גם תפקיד של פרוטוקול נתוב inter-AS.
- ◻ **נתוב "תפוח אדמה לוהט"**: לשלווחabilitות קראת "הכי קרוב" של שני הנתבים.



The Routing Problem

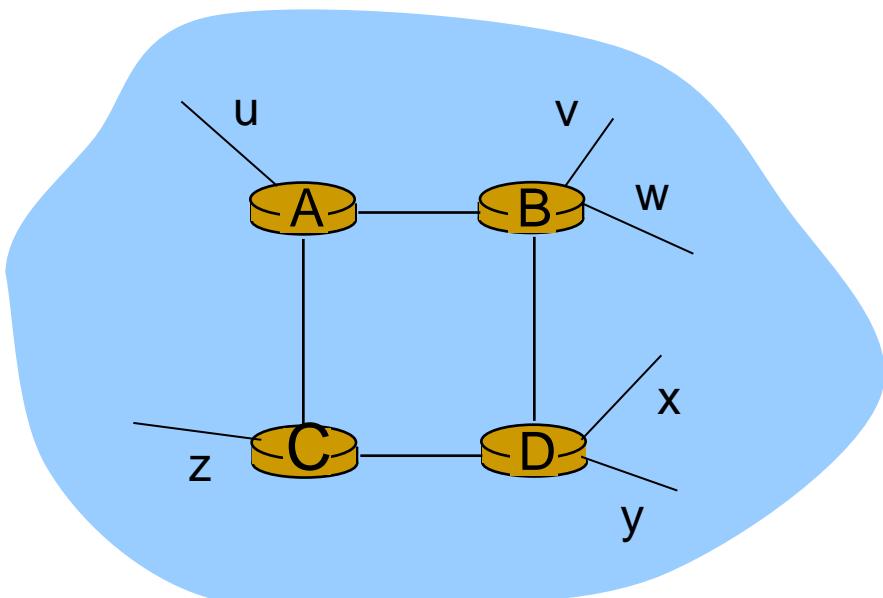


שכמת הרכבת

- **מבוא**
- **מעגלים וירטואליים וחבילות**
- **המידע בראשת**
- **מה יש בתוך הנットב (router)**
- **פרוטוקלי אינטרנט**
- Datagram format ■
- IPv4 addressing ■
- ICMP ■
- IPv6 ■
- **אלגוריתמי ניתוב:**
 - Link state ■
 - Distance Vector ■
 - Hierarchical routing ■
- **ניתוב באינטראנט:**
 - RIP ■
 - OSPF ■
 - BGP ■
- **- Broadcast**
- **multicast**

RIP (Routing Information Protocol)

- מפעיל אלגוריתם וקטור מרחקים (distance vector) כאשר מרחק מוגדר ככמויות הנתבים בדרכ אל היעד.
- בשימוש חלק מתוכנת XINU-BSD משנת 1982.
- מטריצת מרחקים של hops (נקודות חיבור בין מחשבים בראשת, דרישה עובר המידע בראשת מנוקודה לנוקודה) ← מקסימום 15 hops.



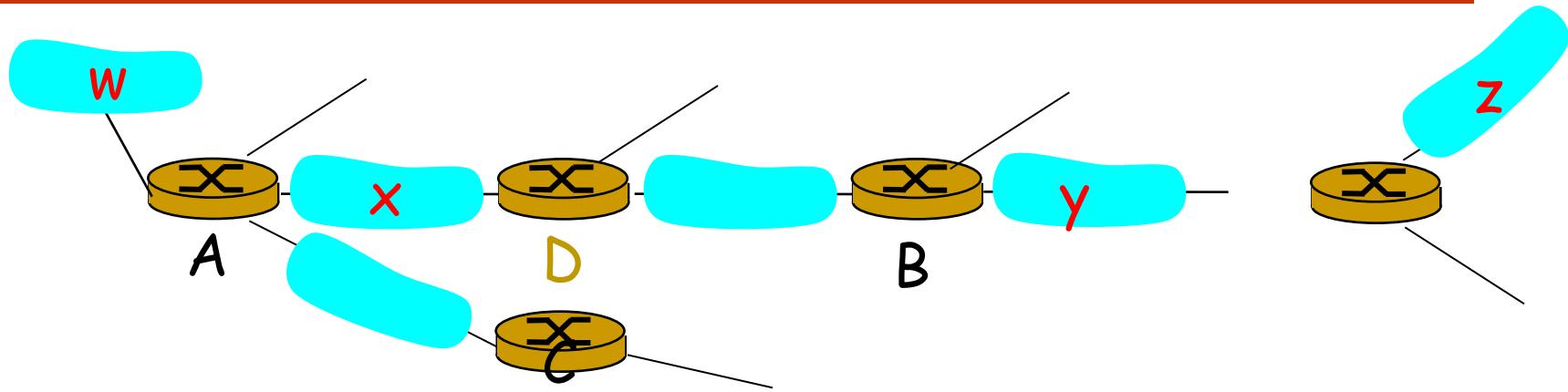
From router A to subsets:
destination hops

u	1
v	2
w	2
x	3
y	3
z	2

RIP *fe* "רכסום"

- ❑ וקטורי מרחקים (distance vectors): מוחליפים בין השכנים כל sec 30 דרך הודעות תגובה (Response), הנראות גם כ"פרסום" (Message) או כפרסום (advertisement).
- ❑ כל "פרסום" (advertisement): רשימה של מעלה מ-25 יעדים בראש הcoliims גם AS.

RIP-*f* קנסיז



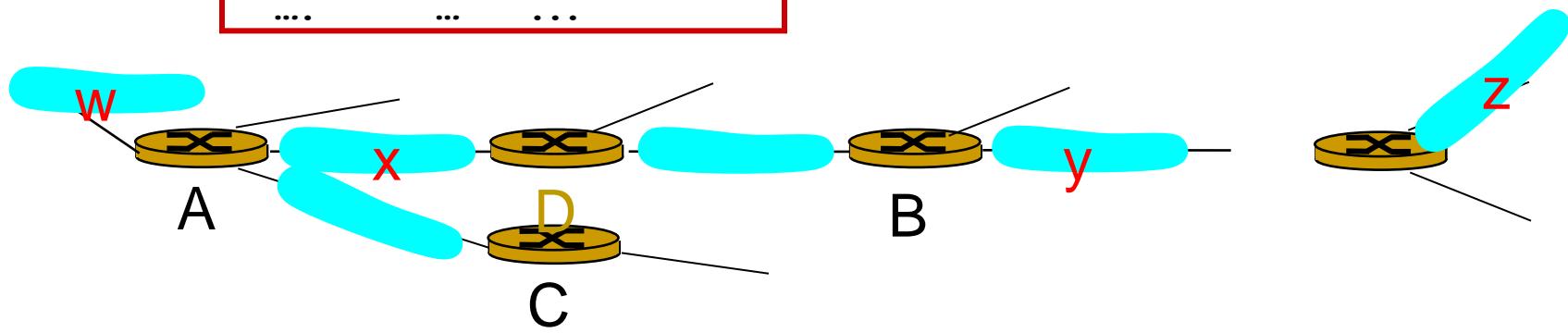
Destination Network	Next Router	Num. of hops to dest.
W	A	2
Y	B	2
Z	B	7
X	--	1
....

Routing table in D

RIP-פונקצי?

Dest	Next hops
w	- 1
x	- 1
z	c 4
...

Advertisement
from A to D



Destination Network	Next Router	Num. of hops to dest.
w	A	2
y	B	2
z	B A	7 5
x	--	1
...

Routing table in D

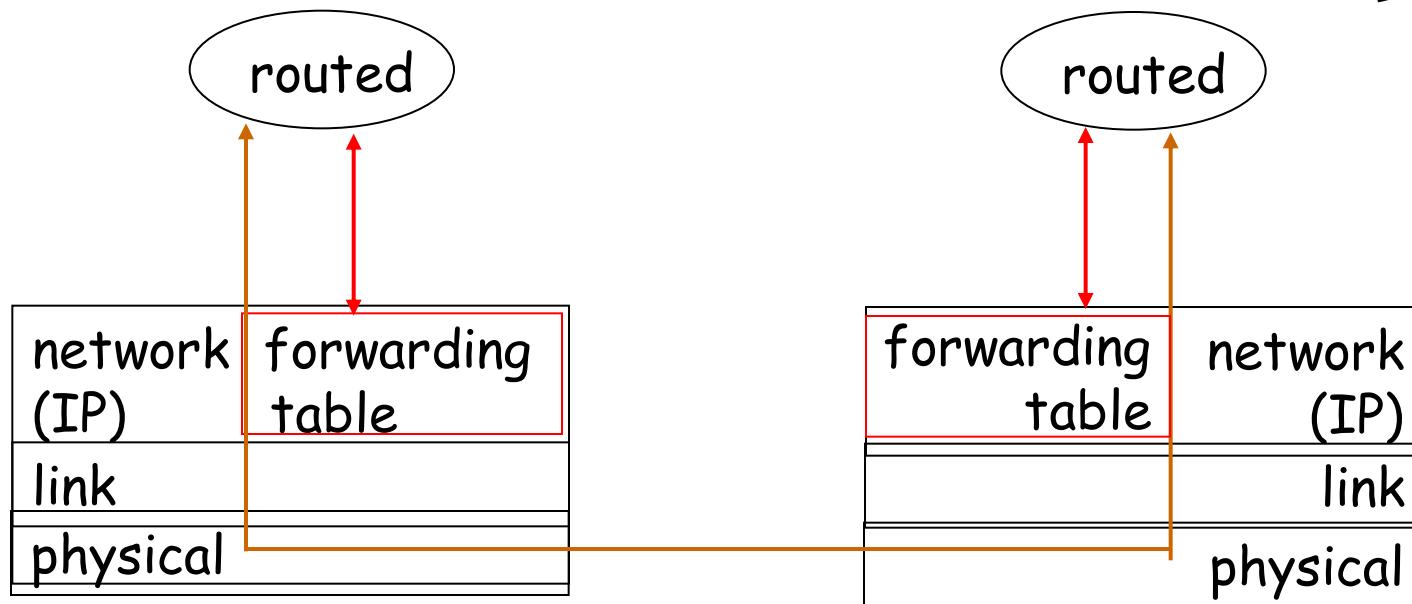
RIP: רכימת אלוורים ומתקניות

אם לא נשמע "פרסום" (advertisement) אחרי 180 שניות ←
שכנים / ערוצים מוכרים "מתים".

- נשלל תוקפו של ניטוב דרך שכנים.
- "פרסום" (advertisements) חדש נשלח לשכנים.
- שכנים לפי תור שלוחים "פרסום" (advertisements) חדש (אם הטבלה השנתה).
- המידע על נפילת ערוצים מהיר ומודפס לכל הרשת.
- משתמשים ב-"רעל נגדי" (*poison reverse*) למנוע לולאות פינג-פונג (מרחק אינסופי = 16 hops).

RIP: מנגנון הטעינה

- ניהול טבלת הניתוב של RIP מתבצע ע"י התהיליך נקרא שד-הניתוב (route-d) (daemon).
- הפירסום (advertisements) נשלח בחבילות UDP , במחזוריות החזרת על עצמה.



שכמת הרכבת

- **מבוא**
- **מעגלים וירטואליים וחבילות**
- **המידע בראשת**
- **מה יש בתוך הנットב (router)**
- **פרוטוקלי אינטרנט**
- Datagram format ■
- IPv4 addressing ■
- ICMP ■
- IPv6 ■
- **אלגוריתמי ניתוב:**
 - Link state ■
 - Distance Vector ■
 - Hierarchical routing ■
- **ניתוב באינטראנט:**
 - RIP ■
 - OSPF ■
 - BGP ■
- **▪ ניתוב broadcast**
- ניתוב multicast**

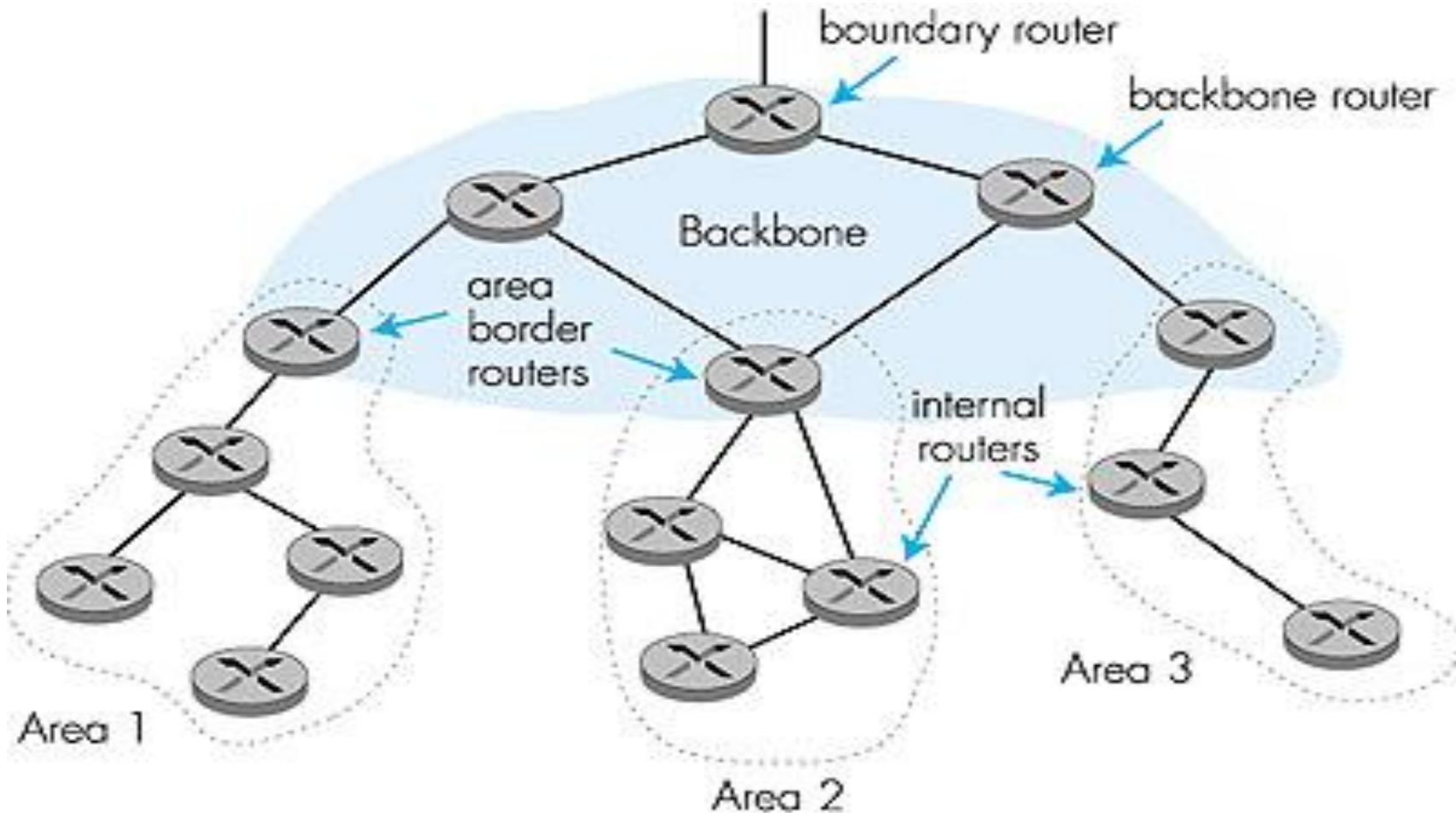
כלוֹקֶפּ (Open Shortest Path First) OSPF

- פרוטוקול פתוח: פומביות אפשרית.
- משתמש באלגוריתם מצב העроз (Link State).
- חビルות Link State מופצות.
- מפה טופולוגית של הגרף נמצאת אצל כל קודקוד.
- חישוב הנתיב מתבצע ע"י האלגוריתם של Dijkstra.
- OSPF מפרסם כניסה אחת (advertisement) לכל נתב שכן.
- הפירסום מופץ ל-AS.
- נשיאה בהודעת OSPF ישירות ל-IP (ולא דרך TCP או UDP).
- כל צומת מכיר את כל גրף הרשת.
- כל צומת מחשב את המסלולים הקצרים ביותר ממנו לכל שאר הצמתים ע"י אלגוריתם של Dijkstra.
- כל צומת בונה טבלת ניתוב על-סמך תוצאות האלגוריתם. הטבלה מציננת את ה-hop Next לכל יעד.
- ניתוב אופטימלי מחייב שלכל הצמתים יהיה גраф רשות זהה.
- כל צומת מיפוי מידע לגבי נתבים/הרשאות המחברים אליו. מידע זה מוצפּ לכל הרשת.

██████████ OSPF

- █ כל נתב אחראי לדוח לcoliן על הקשתות (רשתות) היוצאות ממנו. הפצת המידע בהצפה. ישנו מספר סוג נתבים:
 - נתבים רגילים - Designated Router
 - נתבים על גבול האזור - Area Border Router
 - נתבים על גבול ה-AS – External Border Router
- █ Backbone OSPF תומך בחלוקת ה-AS לאזוריים, תוך דרישת קיום של איזור (אזור אשר מחובר לכל שאר האזוריים):
 - ההצפה של מידע על קשתות באזור נעשו רק באיזור עצמו.
 - Area Border Routers מציפים מידע לגבי יעדים מהאזורים האחרים.
 - External Border Routers מציפים מידע לגבי יעדים מחוץ ל-AS.
- █ סוג "קשתות" (דוחים / רשומות במבנה נתונים של הנתבים):
 - Router Link – דוח על קשתות היוצאות מנתב.
 - Network Link – דוח על הקשתות היוצאות מ-AS.
 - External Link – דוח על יעדים מחוץ ל-AS.

היכאכית OSPF



היכאכית OSPF

- **היררכיה בשתי רמות:** רמת השטח, השלד.
 - פירסום (advertisements) מצב העורץ (Link-state) רק ברמת השטח (area).
 - לכל קודקוד יש מידע על טופולוגיה השטח, וידע רק ציוויל (הנתיב הקצר ביותר) לרשת בשטחים האחרים.
- **נתבי גבול השטח (area border routers):** "סיכון" מרוחקים לרשת בשטח "האישי", מודיע בפורמבר לנתבי גבול השטח האחרים.
- **נתבי השלד (backbone routers):** מרכיבים ניתוב OSPF המוגבל לשלד (backbone).
- **נתבי התחום (boundary routers):** מחוברים ל- S' 'AS אחרים.

אפקטם ההפוך

- לכל דוח יש את הנתונים הבאים:
 - מזהה הקשת - ID-LS, וכך.
 - מספר סידורי - LS Sequence Number
 - גיל.
- התוישנות מבנה הנתונים:
 - הגיל מוקדם ב-1 - כל מעבר דרך נתב וכל שנייה.
 - כאשר מגיעים ל-eMaxTime יש לזרוק את הרשומה.
 - זריקת הרשומה גוררת הצפת הודעה על קר (עדכן שבו הזמן הינו שווה).
 - כל נתב מפרסם את הקשותות שבאחריותו כל פרק זמן (בד"כ חצי של MaxTime). שינוי במצב קשת גורר שידור מיידי. כל פירוטם כזה הינו עם גיל 0 ומספר סידורי עולה.
- פרוטוקול הצפה - בקבלת הודעה עדכן משכן:
 - אם רשותה אינה קיימת, הכנס לממבנה נתונים והפץ לשכנים אחרים (והגדיל גיל).
 - אם רשותה קיימת, ובעלת מספר סידורי גדול יותר, שלח רשותה לממבנה נתונים לשכן.
 - אם רשותה קיימת, ובעלת מספר סידורי קטן יותר, עדכן מבנה נתונים, והפץ לשכנים אחרים.
 - אם רשותה קיימת, ובעלת אותו מספר סידורי, אז:
 - אם גיל ההodata MaxAge, קיבל הודעה (ז"א מחק מבנה נתונים, והפץ הודעה לשכנים אחרים).
 - אם יש הבדל גיל עד 15 דקות, התעלם.
 - אחרת השתמש בהodata המאוחרת יותר (גיל נמוך יותר).

מכוון אתקזאת OSPF

- **אבטחה:** כל הודעות OSPF מאושרות (למנוע חדירה של הודעות זדוניות).
- **הכפלה** של נתיבים באותו מחיר מורשים (לעומת נתיב אחד ב-). (RIP)
- עבור כל ערז, הכפלה של מטריצת מחיר עברו SOT שונה (לדוגמה, ערז לוין יהיה בעל מחיר נמוך עבור דרישת נמוכה שדורשת מאמץ קטן, וגובה בזמן אמת).
- אחד תמייה בשידור מרובב (**multicast**) ויחיד (**uni-**): ■ (MOSPF) MOSPF משתמש באותה טופולוגיה נתוניים בסיסית כמו OSPF.

שכמת הרכבת

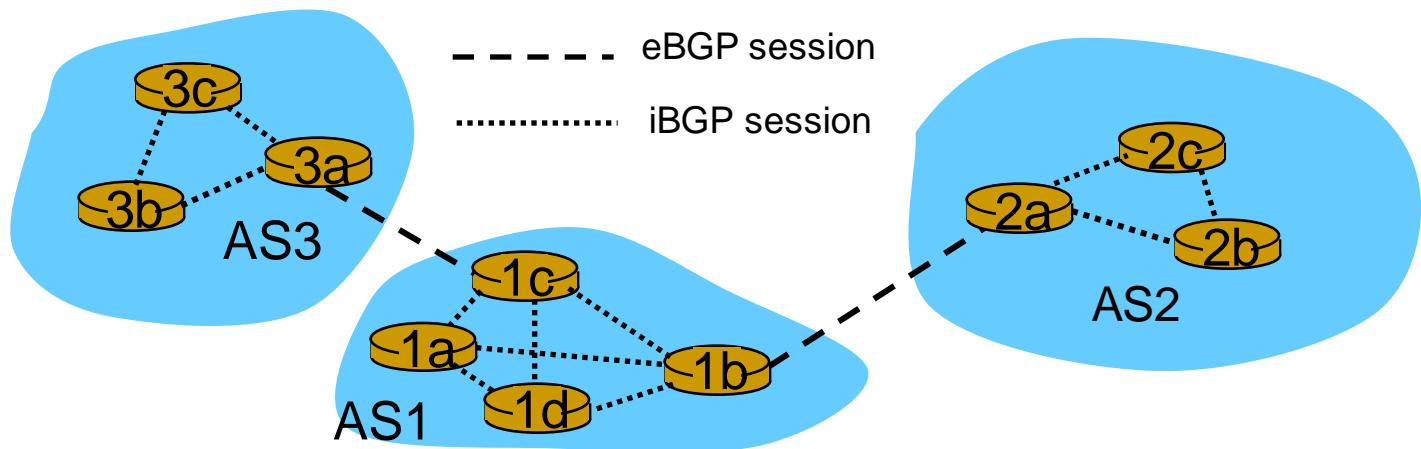
- **מבוא**
- **מעגלים וירטואליים וחבילות**
- **המידע בראשת**
- **מה יש בתוך הנットב (router)**
- **פרוטוקלי אינטרנט**
- Datagram format ■
- IPv4 addressing ■
- ICMP ■
- IPv6 ■
- **אלגוריתמי ניתוב:**
 - Link state ■
 - Distance Vector ■
 - Hierarchical routing ■
- **ניתוב באינטראנט:**
 - RIP ■
 - OSPF ■
 - BGP ■
- **▪ ניתוב broadcast
▪ ניתוב multicast**

ר'מזה inter-AS מארצרים:

- (BGP (Border Gateway Protocol: באופן מעשי הסטנדרט האינטראנט.
- BGP מספק לכל מערכת אוטונומית (AS) אמצעי ל:
 1. לקבל תת רשות נגישה ומידע משבכים בעלי מערכת אוטונומית (AS).
 2. להפיץ מידע על נגישות לכל הנתבים הפנימיים בכל מערכת אוטונומית (AS).
 3. לקבוע נתיב "טוב" לחת רשות על בסיס מידע על נגישות ו מדיניות.
- אפשר לחת רשות להפיץ את ניסינה לכל האינטראנט בסגנון: "*I am here*".

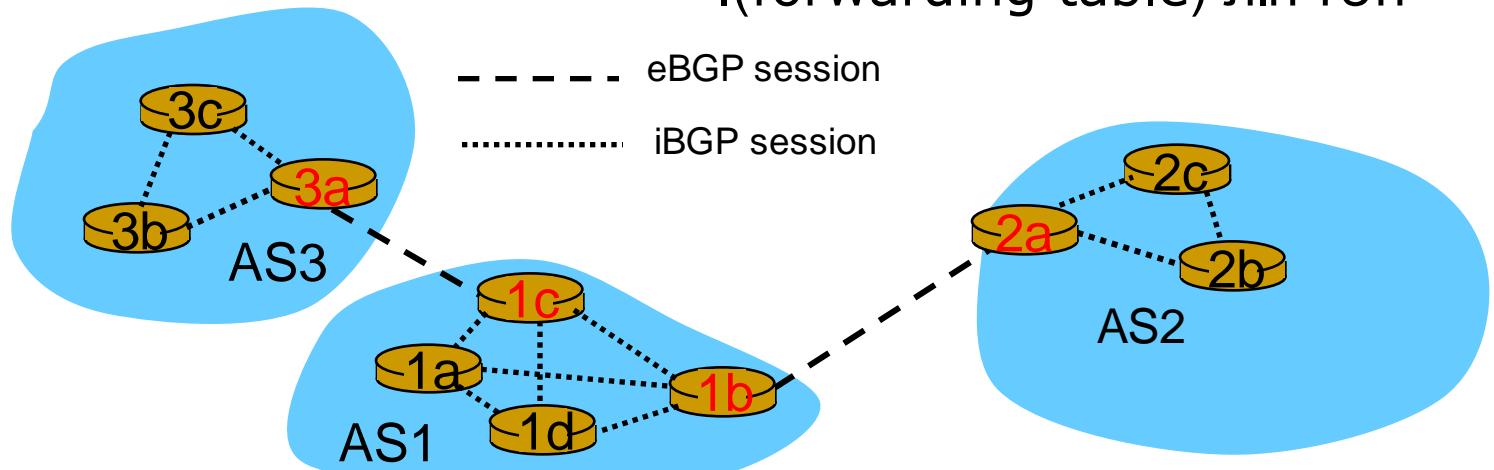
BGP בסיסי

- זוג של נתבים (עמיתי BGP) מחליפים מידע על ניתוב על סמך חיבור TCP קבוע למחצה: **שיחת BGP sessions (BGP sessions)**.
- שייחות BGP sessions (BGP sessions) הנדרשת לא מתאימה לשכבה הפיזית.
- כאשר AS2 מפיתח "קידומת (prefix)" ל-AS1:
 - מבטיחה שהיא תשלח כל כתובת חבילת המידע קידומה לקידומת זו.
 - יכולה להבטיח קידומת בפירסום שלה.



הכנת איזען לרשת

- ◻ שימוש בשיחת eBGP בין 3a ל-1c, AS3 שולח קידומת של מידע על נגישות ל-AS1:
- c 1c אזי יכול להשתמש ב- iBGP להפץ מידע על קידומת חדשה לכל הנתבים ב-AS1.
- b 1b אזי יכול להפץ שוב מידע על נגישות חדשה ל-AS2 באמצעות שיחת eBGP מ-b 1b ל-a 2a.
- ◻ כאשר הנתב לומד על קידומת חדשה, תותר כניסה חדשה לקידומת בטבלת השליחות (forwarding table).



אפקטור רטיה & רימתה BGP

- קידומת (prefix) שמתפרסת מת כולל מאפייני BGP.
 - "prefix + attributes = route"
- שני מאפיינים חשובים:
 - AS-PATH: מכיל מערכות אוטונומיות (ASs) שדרcum הקידומת מפרסת את הדרך: לדוגמה, AS 67, AS 17, AS.
 - NEXT-HOP: מצביע על נתב AS פנימי ספציפי ל-AS שבו התרחש ה-hop הבא (יכול להיות על מספר עروצים מה-AS הנוכחי ל-AS שבו התרחש ה-hop הבא).
- כאשר נתב gateway מקבל פרסום על נתיב, הוא משתמש ב- **"יבוא מדיניות (import policy)"** על מנת לקבל או לדוחות.

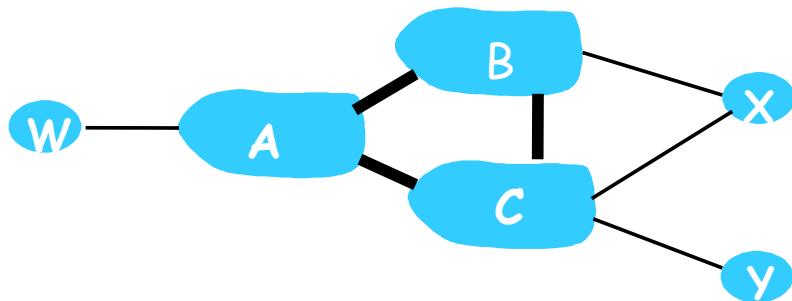
חומר לימוד BGP

- הנטב יכול ללמידה על יותר מאשר נתיב אחד לכמה קידומות. הנטב חייב לבחור נתיב.
- הסרת כלליים:
 - .1. מאפייני ערך של ביצועים מקומיים: מדיניות החלטות.
 - .2. הנתיב הקצר ביותר של AS-PATH.
 - .3. הנתיב הקרוב ביותר עבור NEXT-HOP.
 - .4. קритריונים נוספים.

גאומטריה BGP

- החלפת הודעות BGP על ידי TCP.
- הודעות BGP:
- **פתחה:** חיבור TCP פתוח לעמיטים ומאמטים כר את שולח.
- **עדכון:** פירסום נתיבים חדשים (או להוצאה ישנים).
- **לשמור בחיים:** שומר קישורים/חיבורים חיים בהעדך עדכון, ובנוסף אישור (ACKs) פתוח בקשה.
- **הודעות:** דיווח על תקלות בהודעות הקודמות, בנוסף משמש לסגור חיבורים.

(1) BGP אקיניות רימת

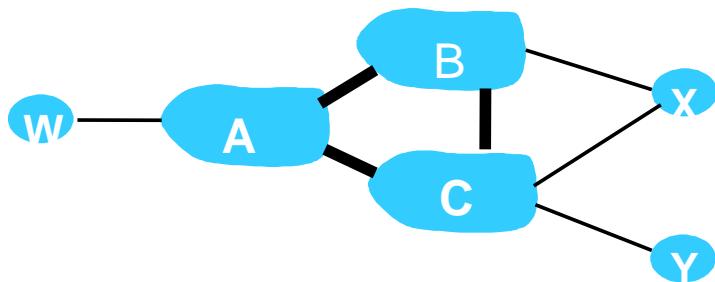


legend:

- provider network
- customer network:

- C, B, A הם ספקים של רשת.
- Y, W, X הם הלקוחות של ספק הרשת.
- X שייך לשתי רשתות,(Cluster) מוסף לשתי רשתות.
- X אינו רוצה נתיב מ-B דרך X ל-C.
- אך X לא יפרעם ל-B נתיב ל-C.

(2) אקיניות רימת BGP



legend:

- provider network
- customer network:

- A מפרסם נתיב AW ל-B.
- B מפרסם נתיב BAW ל-x.
- אם B מפרסם נתיב BAW ל-C ?
 - אין סיכוי! B מקבלchein "הכנסה" עבור ניתוב CBAW מאחר שגם לא W ואף לא C הם לקוחות של B.
 - B רצה לכפות על C לנtab לא דרך A.
 - B רצתה לנtab רק ל-/מ- הלקוחות שלו.**

סאה קיימן צוואר גנטואה fe Inter-AS – / Intra-AS

מדיניות:

- Inter-AS : המנהל רוצה לבקר על ניתובי התנועה שלו, ואיזה נתיב עובר באיזה רשת.
- Intra-AS: מנהל יחיד, لكن אין מדיניות החלטות נדרשת.

קנה מידת:

- ניתוב היררכי שומר על גודל טבלה, מוריד עדכוני תנועה.

ביצועים:

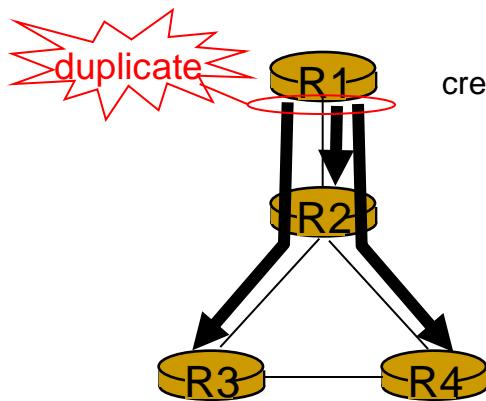
- Intra-AS: יכול להתפרק על הביצועים.
- Inter-AS: דרך המדיניות הוא יכול לשלוט על הביצועים.

שכמת כרשת

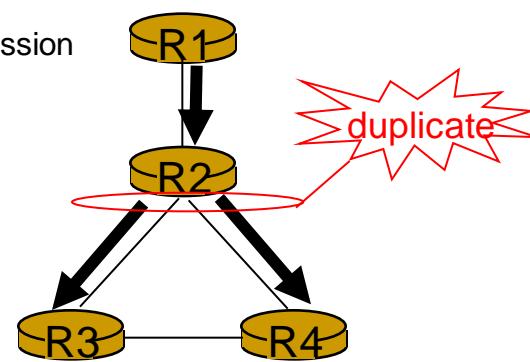
- **מבוא**
- **מעגלים וירטואליים וחבילות**
- **המידע בראשת**
- **מה יש בתוך הנットב (router)**
- **פרוטוקלי אינטרנט**
- Datagram format ■
- IPv4 addressing ■
- ICMP ■
- IPv6 ■
- **אלגוריתמי ניתוב:**
 - Link state ■
 - Distance Vector ■
 - Hierarchical routing ■
- **ניתוב באינטראנט:**
 - RIP ■
 - OSPF ■
 - BGP ■
- **▪ ניתוב broadcast
multicast**

ברידג' בריידס

- העברת חבילות מהמקור לכל הצלמים האחרים.
- שיכפול המקור אינו יעיל:



שיכפול
מקור



שיכפול
ברשת

- שיכפול המקור: איך המקור קובע את הכתובות שיקבל?

שייכוף גלחת

- הצלפה: כאשר צומת מקבלת חבילה broadcast שולח עותק לכל השכנים.
- בעיה: מעגל & "סערת" broadcast.
- הצלפה מבוקרת: צומת שולח חבילה broadcast רק אם לא קיבל את אותה חבילה קודם.
- צומת שומר את המסלול של חבילות שכבר נשלחו ב广播.
- או, רק שולח חבילות קדימה אם הם מגיעים בנתיב הקצר ביותר בין הצומת והמקור.
- עצ פורש
- אין כל חבילות עודפות המתקבלות בצומת כלשהיא.

הגכה

□ יתרונות:

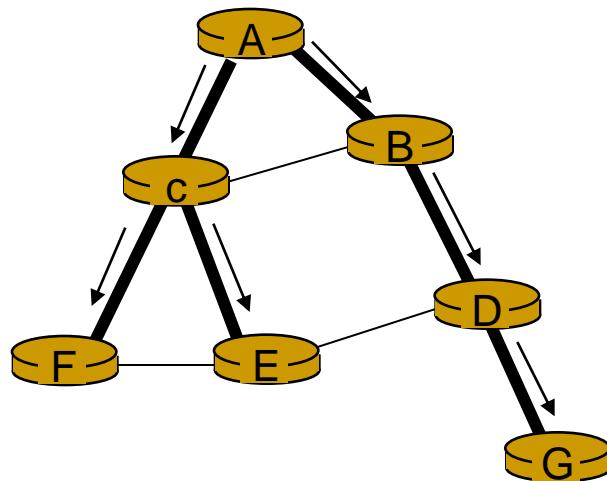
- אמינות גבואה מאד (אין תלות בפרוטוקול ניטוב כלשהו).
- זמן הגיעו ליעדים הוא המינימלי האפשרי.

□ חסרונות:

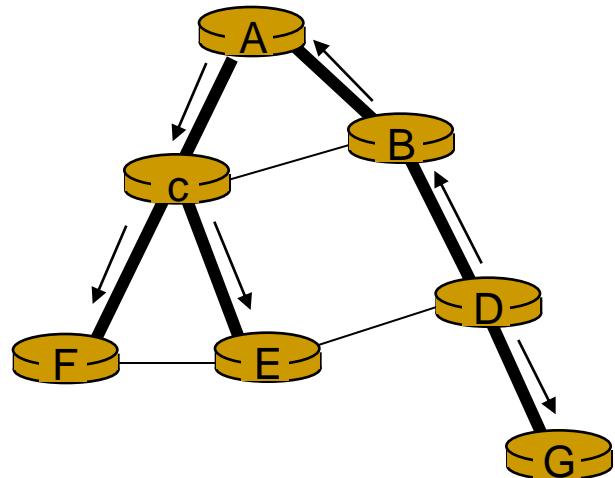
- בזבוז משאבי רשות (חbillות נשלחות על-פני כל מסלול אפשרי, במקום מסלול אחד נבחר).
- בזבוז משאבי זכרון (נתבים נדרשים לזכור ולזהות חbillות שהם קיבלו בתקופה الأخيرة).
- אינה מתאימה לזרמים מהירים, אלא לעדכנים תקופתיים.

אץ אקס Spanning Tree

- תחיליה נבנה עץ פורס
- צמתים שלוחים עותקים לאורק העץ הפורס.



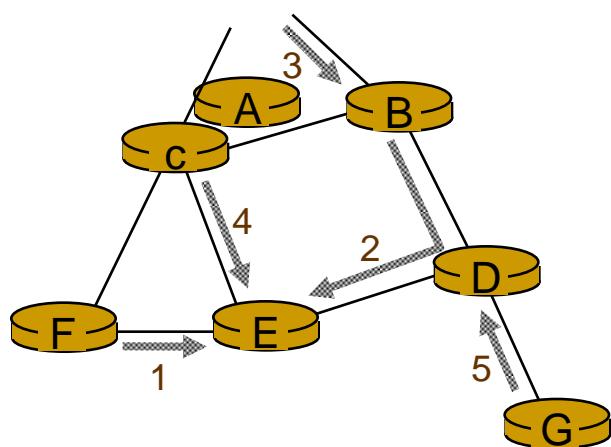
A מתחילה Broadcast



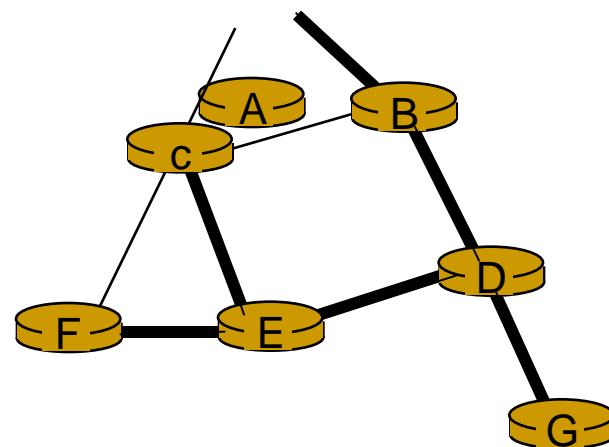
D מתחילה Broadcast

ירכט אן כוכס

- צומת מרכזי
- כל צומת שולח unicast (שידור על גבי רשות, המיועד להתקבל על-ידי מחשב אחד ויחיד המחבר לרשות זו) ומऋף הודעה לצומת המרכזי.
- **הודעה מועברת עד אשר היא מגיעה לצומת שהוא כבר שיכת לעצם הפורט.**



בנייה בשלבים של עצם פורס



בנייה של עצם פורס

אנו כוכב

□ יתרונות

- חסכו בזיכרון (רק בית אחד לכל משק לסמן האם הוא שיר לעצם הפרוש).

□ חסרונות

- משתמש במלולים שאינם בהכרח יעילים.

ר' מ/מ Multicast

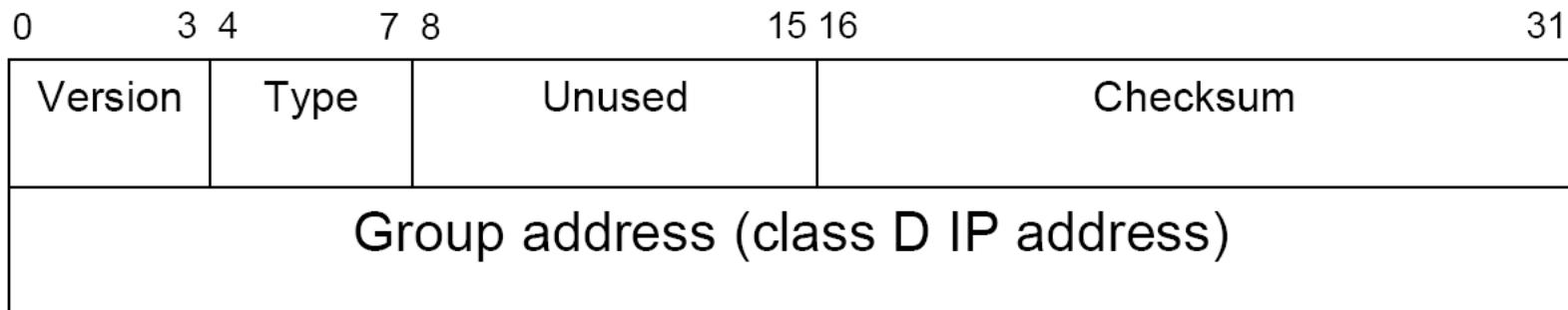
- **הגדרה:** שידור multicast יוצא מתחנה אחת ומגיע לקבוצה של תחנות.
- **דוגמאות לישומי multicast:**
 - שידור רדיו
 - לימוד מרוחק
 - שיחת ועידה
 - הפצת מידע למוניים.

כתובות IP multicast

- קבוצת הכתובות ב-D Class שומרה לתקשורת multicast.
- כל קבוצת multicast מאופיינת ברגע נתון ע"י כתובות ייחודית. כתובות אלה הן דינמיות; אין שירוף קשיich בין תחנות לבין כתובות multicast, אלא כל תחנה יכולה להצטרף או להפסיק מקבוצת multicast בכל עת.
- תחנה המעוניינת לשדר לקבוצת multicast תשים את כתובות הקבוצה לשדה IP Destination. אין צורך להודיעו מראש על השתייכות לקבוצת.
- תחנה המעוניינת לקבלות המיועדות לקבוצת multicast כלשהי צריכה להודיע על כך באמצעות פרוטוקול IGMP (Internet Group Management Protocol).
- מספר קטן של כתובות D Class שמורות לקבוצות בעלות שימושים מיוחדים, למשל:
 - 224.0.0.1 - כל התחנות באינטרנט (התומכות ב-multicast).
 - 224.0.0.5 - כל נתבי OSPF במערכת האוטונומית.
- מיפוי כתובות D Class לכטבות פיזיות - אופן המיפוי מכתובת IP לכטבה פיזית תלוי בטכנולוגיה של הרשת הפיזית:
 - ברשתות התומכות ב-broadcast, אפשר לשנות חבילות המיועדות לכטבה ב-D Class באמצעות broadcast.
 - רשת Ethernet תומכת ב-multicast ברמה הפיזית.
 - ברשתות שאינן תומכות בשידור למספר תחנות בו-זמנית, אין מנוס מלשכפל כל חבילה multicast לכל אחד מהיעדים בנפרד.

ככים וכך IGMP

- IGMP - נחשב פרוטוקול בשכבה IP.
- חבילות IGMP משודרות בתוך חבילות IP.
- חבילות IGMP הן בעלות אורך קבוע.
- **מבנה חבילת IGMP:**



- השדה Version מכיל תמיד 1.
- השדה Type הוא 1 עבור שאלות, 2 עבור דיווחים.

כג', שימוש מultycast

- כאשר תחנה רוצה להצטרף לקבוצת multicast, היא משדרת חבילת דיווח (type=2).
- תחנה אינה מדוחת כאשר היא מפסיקה להאזין לקבוצה, אלא מתעלמת מחבילות המגיעות אליה.
- מדי פעם, הנטב משדר ב广播 broadcast לרשף המקומיות "חbillת שאלה" (type=1) כדי לברר מהן קבוצות multicast אליהן יש תחנות מזיניות (אם בכלל).
- בתשובה לשאלתך, כל תחנה המזינה לקבוצת multicast מסיימת תשליח חבילת דיווח (type=2) עם כתובות הקבוצה.
- תחנה יכולה לשלוח יותר מחבילת דיווח אחת (אם היא מזינה למספר קבוצות multicast).
- לפני שידור תשובה, כל תחנה ממתינה זמן קצר אקראי. אם במהלך זה משודרת חבילת דיווח ע"י תחנה אחרת לאותה קבוצת multicast, התחנה מבטלת את שידור התשובה שלה.

רימוט Multicast

- פרוטוקול IGMP מטפל בניהול קבוצות multicast רמת הרשות המקומית -
מחננת הקצה עד הנטב הקרוב אליו.
- Multicast routing עוסק בהפצת חברות בין נטבים.
- **שיטות בסיסיות:**
 - הצפה
 - עץ פורש
 - עץ Steiner
- **שיפורים:**
 - Reverse Path Forwarding + prunes
 - Core-Based Tree
 - תקן PIM