

---

---

# פרוטוקול האינטרנט IP

9 יוני 2026

הרצאה 9

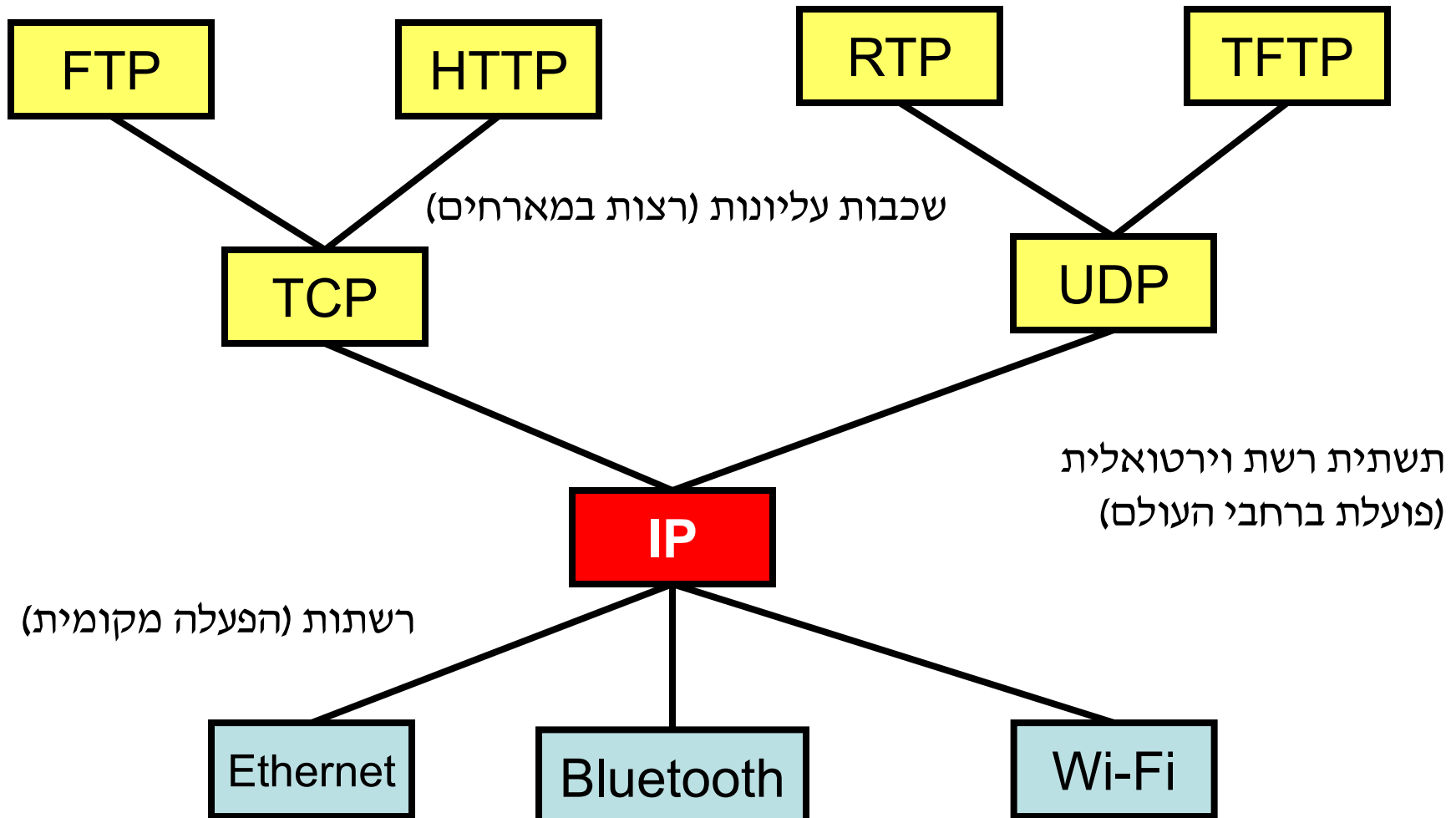
Some Slides Credits: Steve Zdancewic (UPenn)

# נושאים להיום

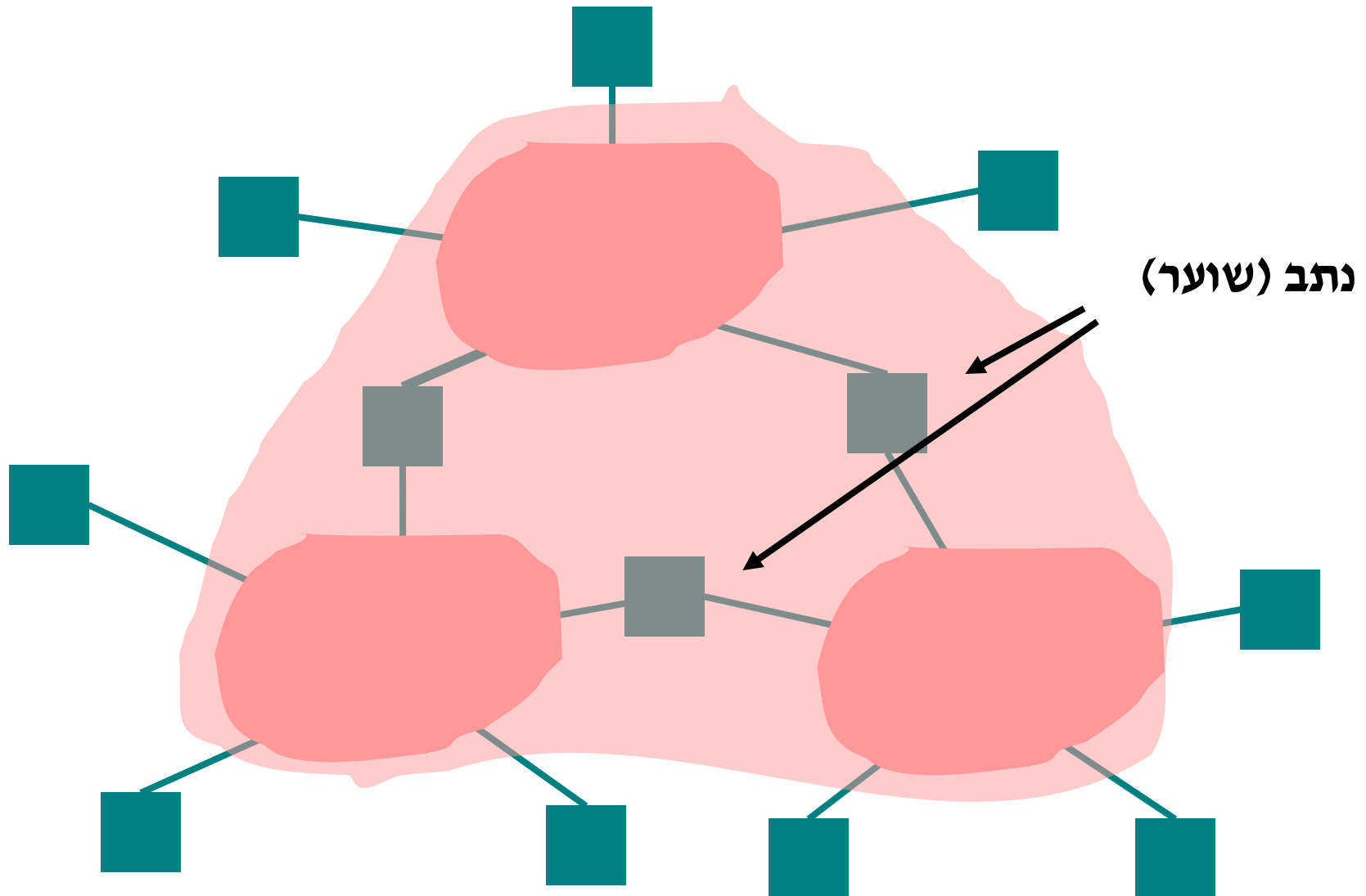
---

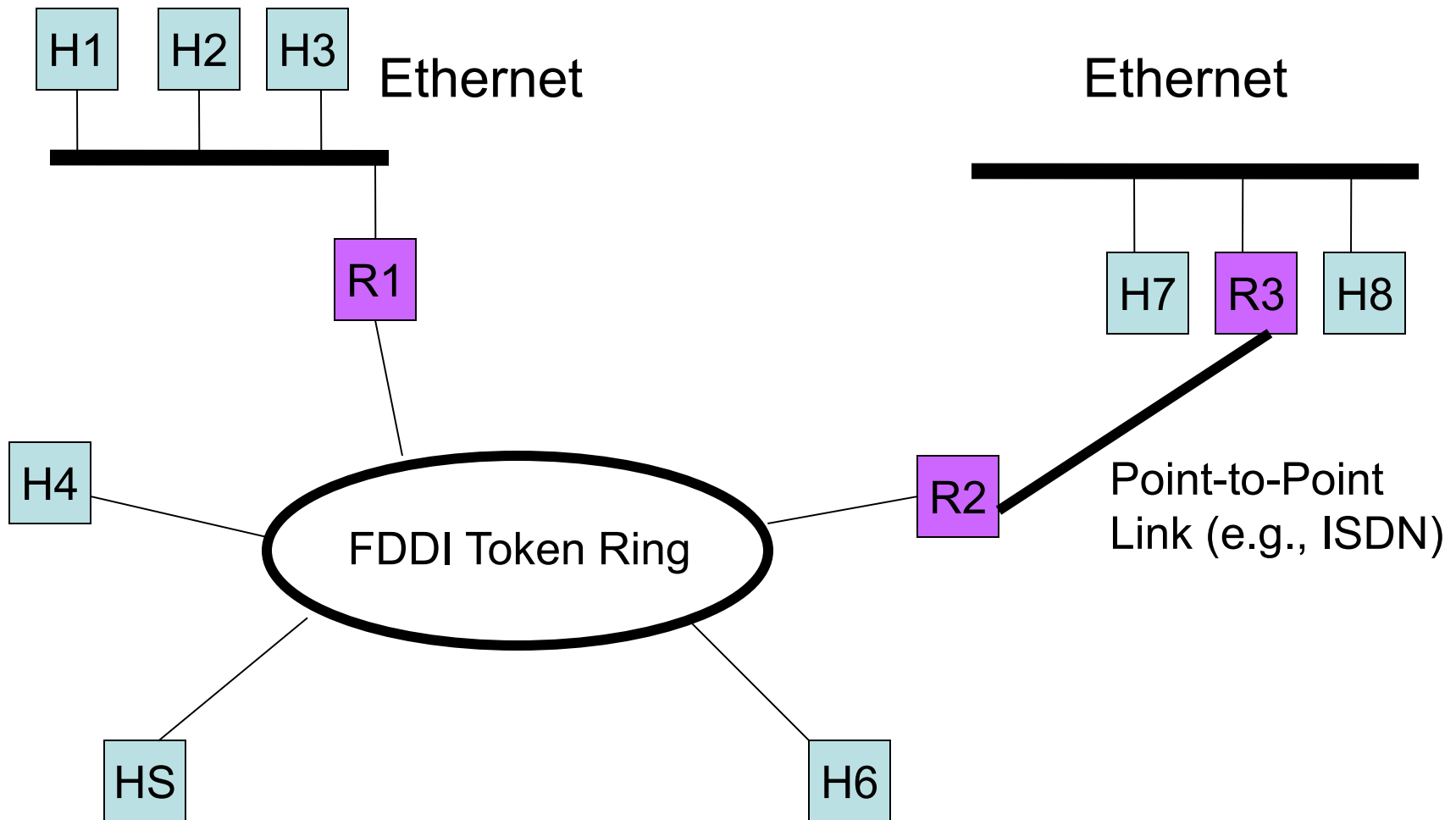
- פרוטוקול האינטרנט (IP)
  - עקרונות
  - כתובות
  - פיצול והרכבה מחדש

# שילוב של פרוטוקול אינטרנט

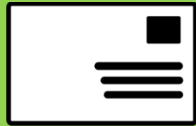


# רשת של רשתות (מרשתת)





כתובת



נתב



העברה



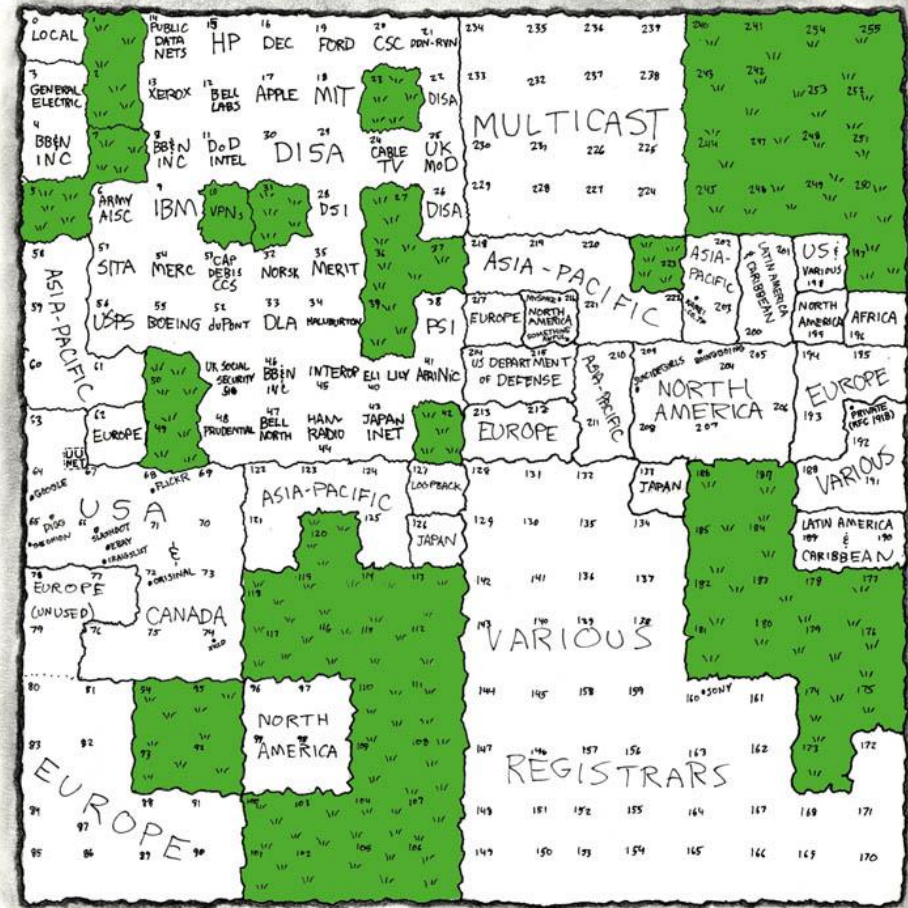
פיצול



# כתובות IP

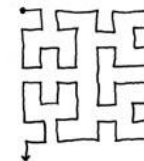
MAP OF THE INTERNET  
THE IPv4 SPACE, 2006

- כתובות עם 4 בתים
- נכתבות
- 255.255.255.255
- היררכיות

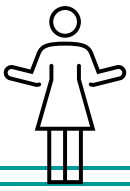


THIS CHART SHOWS THE IP ADDRESS SPACE ON A PLANE USING A FRACTAL MAPPING WHICH PRESERVES GROUPING--ANY CONSECUTIVE STRING OF IP<sub>s</sub> WILL TRANSLATE TO A SINGLE COMPACT, CONTIGUOUS REGION ON THE MAP. EACH OF THE 256 NUMBERED BLOCKS REPRESENTS ONE /8 SUBNET (CONTAINING ALL IP<sub>s</sub> THAT START WITH THAT NUMBER). THE UPPER LEFT SECTION SHOWS THE BLOCKS SOLD DIRECTLY TO CORPORATIONS AND GOVERNMENTS IN THE 1990's BEFORE THE RIR<sub>s</sub> TOOK OVER ALLOCATION.

0	1	14	15	16	19
3	2	13	12	17	18
4	7	8	11		
5	6	9	10		



 = UNALLOCATED BLOCK



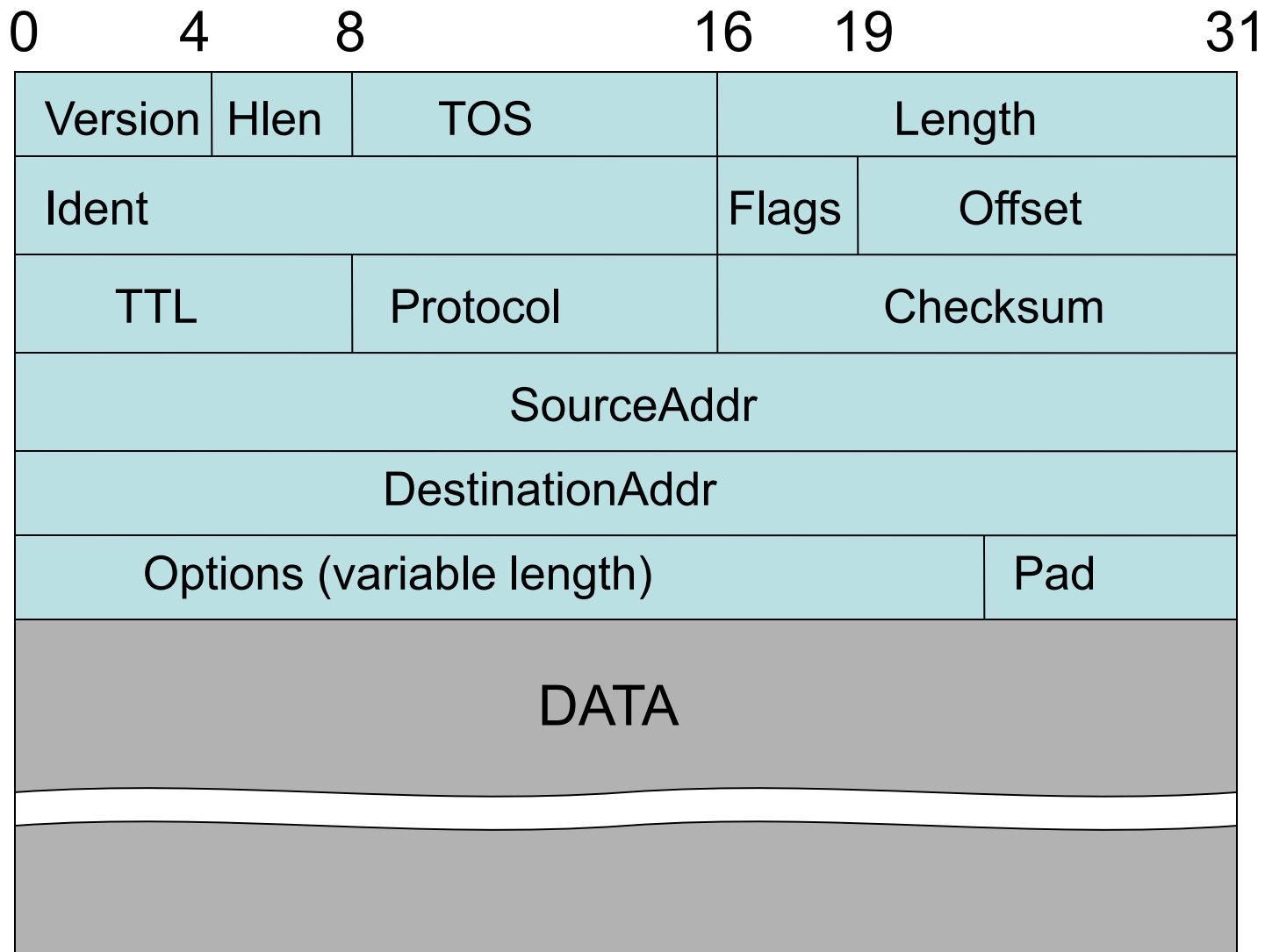
## מודל שירות מינימלי

- כל רשת יכולה ליישם
- קיצון – יעבוד גם עם "פחיות וחוט"

## מאפיינים

- מבנה מנה אחידה
- ניסיון הטוב ביותר להוביל מנות נתונים (לא אמין)
- רץ על כל תווד

# תבנית המנה של IPv4



# שדות של כותרת IPv4

## TOS - Type of Service

- סוג השירות (שימוש לא נפוץ)
- עדיפות, עיכוב, תפוקה, אמינות

## Hlen

- אורך הכותרת, במילים של 32 סיביות

## גרסה

- גרסת IP
- בגרסה זו, 4
- השדה הראשון לכן קל לממש קוד סינון

## שדות לפיצול והרכבה מחדש

- מזהה
- דגלים
- היסט

## אורך

- אורך מנת הנתונים בבתיים
- שדה בגודל 16 סיביות, ולכן גודל מרבי 65,535 בתיים

# שדות של כותרת IPv4

## Checksum

- תמצית ביקורת של **הכותרת** (לא CRC)
- אם הכותרת לא שלמה, מתעלמים מכל החבילה

## פרוטוקול

- דוגמאות: TCP (6), UDP (17)

## TTL – Time to Live

- תוחלת חיים
- באמת, ספירת צעדים
- ברירת מחדל - 64.
- גם משתמשים ב-128

## תוספות

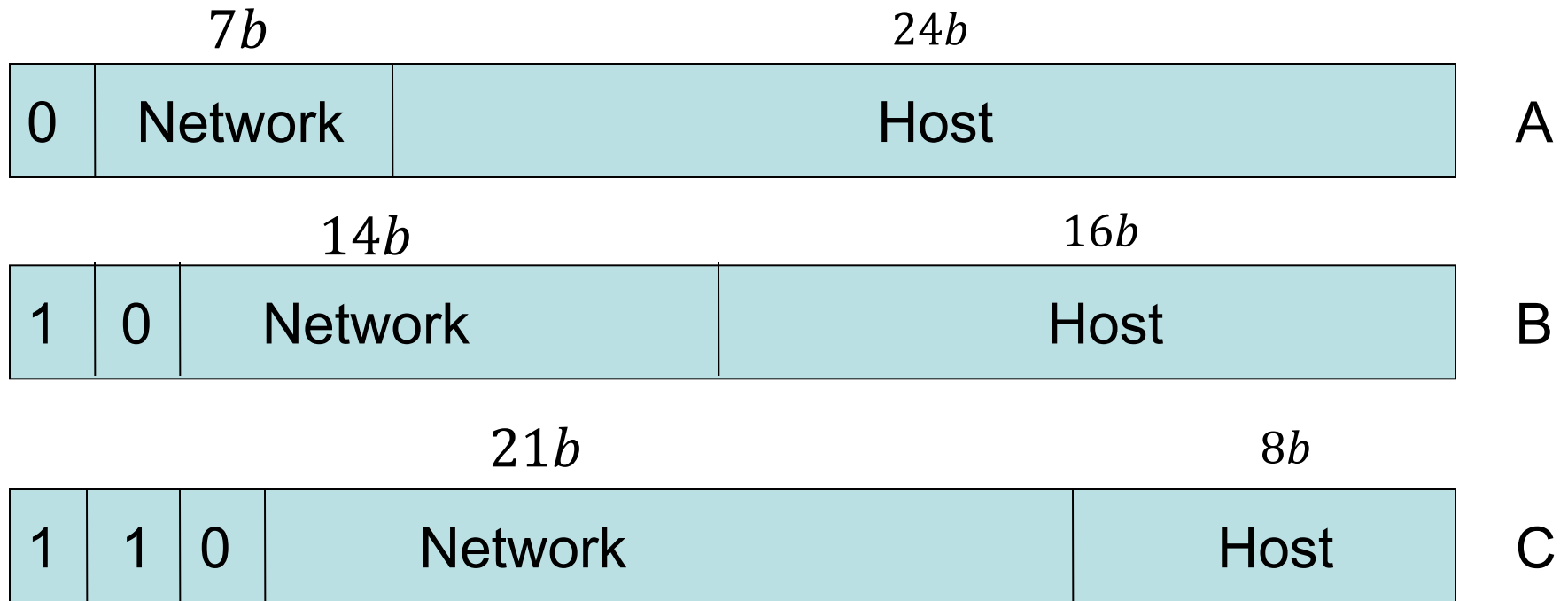
- שדות נוספים אפשריים
- ניתן לחשב אורך באמצעות Hlen

## כתובות מקור ויעד

- SourceAddr,
- DestinationAddr
- כתובות בנות 32 סיביות (4 בתים)
- כתובות עולמיות לפי IP

# כתובות IP

• היררכיות, לא שטוחות כמו ב-Ethernet



• נכתבות עד ידי ארבעה מספרים עשרוניים המופרדים בנקודות:

158.130.14.2

# טווחי כתובות IP

0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0	0.0.0.0	Any IP
0 0 0 0 0 0 0 1	0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0	1.0.0.0	Class A
0 0 0 0 0 0 1 0	0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0	2.0.0.0	
0 1 1 1 1 1 1 0	0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0	126.0.0.0	
0 1 1 1 1 1 1 1	0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0	127.0.0.0	Localhost
1 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0	128.0.0.0	Class B
1 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 1	0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0	128.1.0.0	
1 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 1 0	0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0	128.2.0.0	
1 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 1 1	0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0	128.3.0.0	
1 0 1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1 1 0	0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0	191.254.0.0	
1 0 1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1 1 1	0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0	191.255.0.0	
1 1 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0	192.0.0.0	Class C
1 1 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 1	0 0 0 0 0 0 0 0	192.0.1.0	
1 1 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 1 0	0 0 0 0 0 0 0 0	192.0.2.0	
1 1 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 1 1	0 0 0 0 0 0 0 0	192.0.3.0	
1 1 0 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1 1 0	0 0 0 0 0 0 0 0	223.255.254.0	
1 1 0 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1 1 1	0 0 0 0 0 0 0 0	223.255.255.0	
1 1 1 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0	224.0.0.0	Class D
1 1 1 0 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1 1 1	239.255.255.255	
1 1 1 1 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0	240.0.0.0	Class E
1 1 1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1 1 1	255.255.255.255	

# מחלקות כתובות IP

Class מחלקה	# of nets # רשתות	# of hosts per net # מארחים לרשת
A	128	<i>~16 million</i>
B	16,384	65,534
C	<i>~2 million</i>	254

# כתובות IP ורשתות

כל מנת IP (מנת נתונים)  
מכילה כתובת IP בתור  
יעד

לכל מכשיר ברשת יש  
כתובת IP

נתבים מחוברים  
לממשקי רשת מרובים

- לנתב יש מתאמי רשת מרובים
- נתב יכול לקבל ולשלוח מנות לכל רשת שאליה הוא מחובר

חלק ה-"רשת" של  
כתובת IP מזהה באופן  
ייחודי רשת פיזית אחת

- חלק מהאינטרנט הגדול

# אלגוריתם העברה ל-IP

**מבוצע על ידי הנתב:**

**אם** אני מחובר לאותה רשת שעליה נמצא היעד :

שלח את המנה ליעד (ARP)

**אחרת** : חפש בתוך טבלת הניתוב :

**אם** רשת היעד נמצאת בטבלת ההעברה :

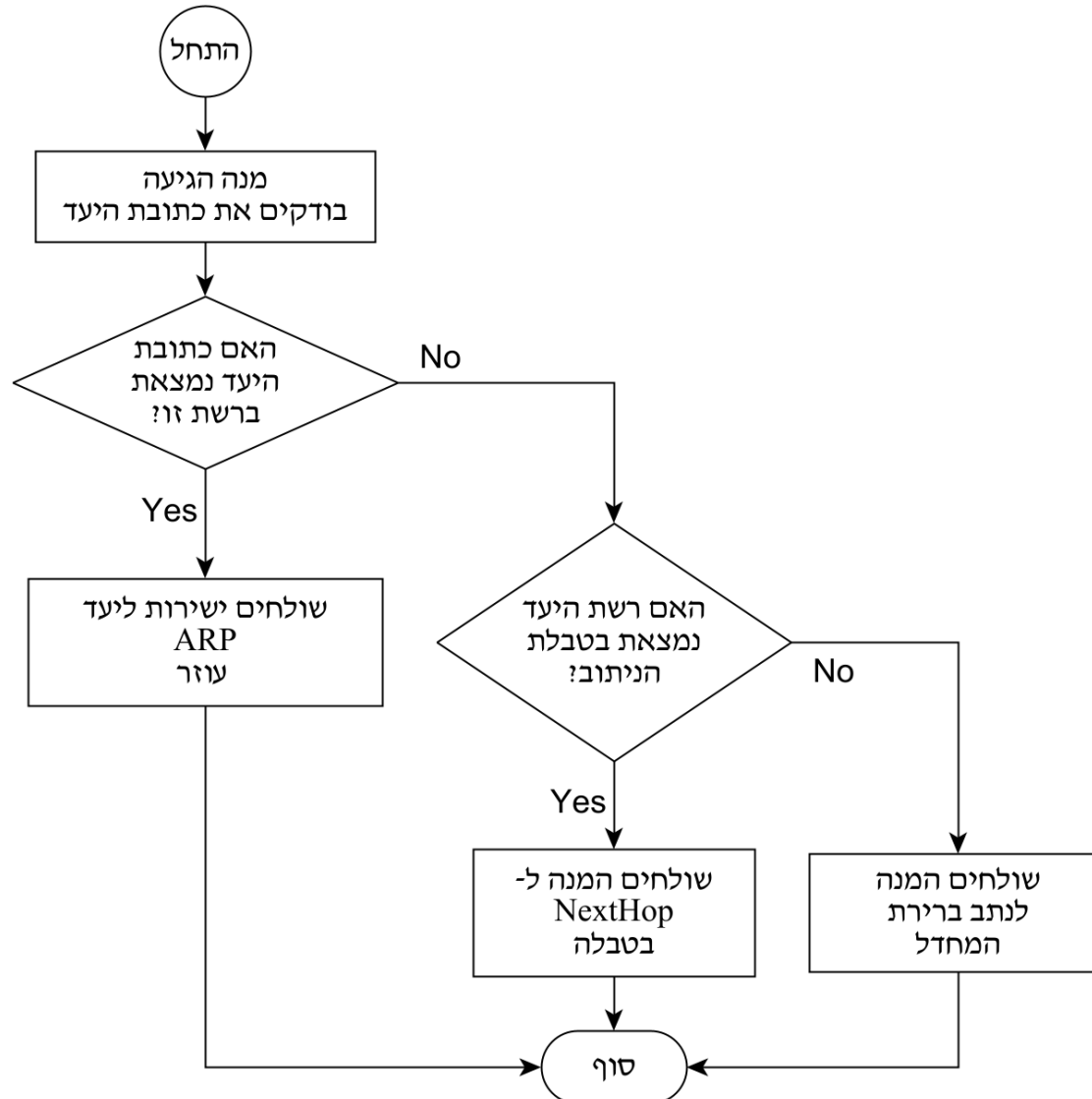
שלח את המנה לנתב NextHop

**אחרת** : שלח המנה לנתב ברירת המחדל

טבלת ניתוב

- מכילה רשומות (מספר רשת, צעד הבא NextHop)
- מידע נוסף
- נבנה על ידי פרוטוקול ניתוב

# אלגוריתם העברה ל-IP



- פרוטוקול האינטרנט (IP)
  - עקרונות
  - כתובות
  - פיצול והרכבה מחדש

# פיצול והרכבה מחדש

## איך?

- פיצול מנות לתת-מנות
- כל קטע הוא בעצמו חבילה שלמה
- המארח המקבל מרכיב אותם מחדש

## למה?

- רשתות שונות יכולות להעביר מנות בגדלים מרביים שונים

## *Maximum Transmission Unit (MTU)*

- גודל השליחה המרבי
- MTU של כל נתיב הוא ה-MTU הקטן ביותר לכל הנתיב
- השולח בדרך כלל שולח מנות לפי ה-MTU של הצעד הראשון



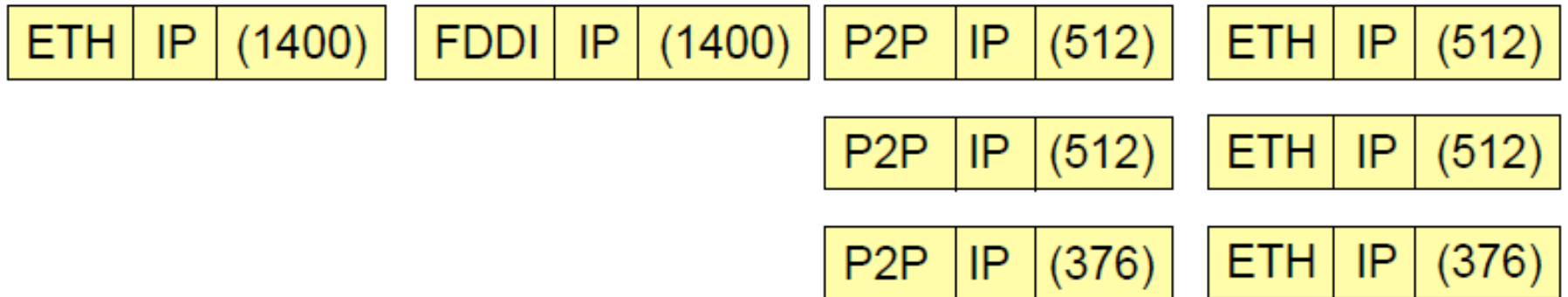
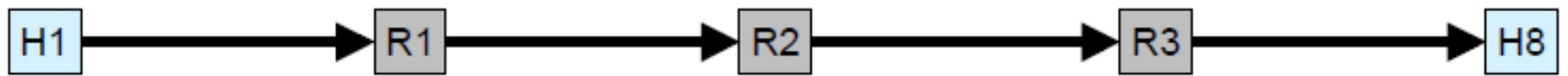
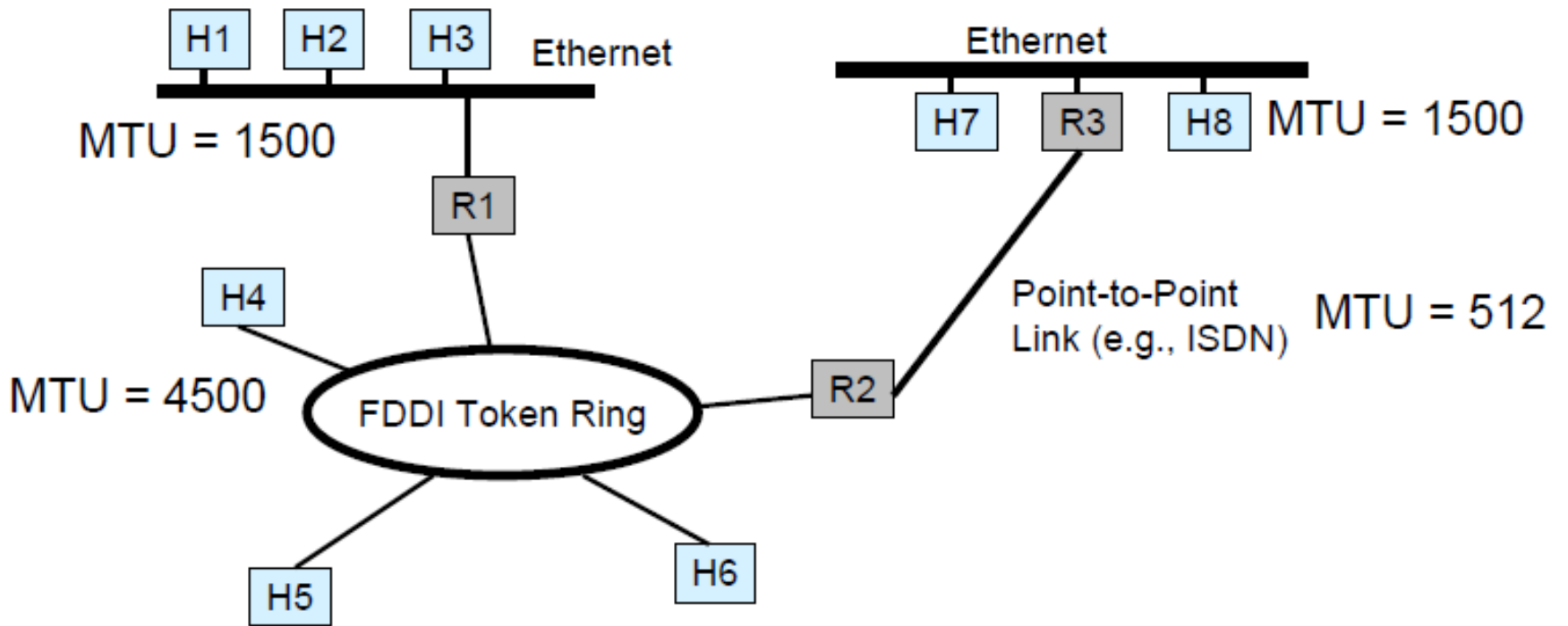
# ערכי MTU לדוגמה

MTU	הערות	טכנולוגית שכבה 2
1500B	רשת ביתית ועבודה טיפוסית	Ethernet
1492B	עבור חיבור מודמי DSL לרשתות של ספקי אינטרנט	PPPOE over Ethernet
2304B	אל-חוטי רגיל	802.11 (Wi-Fi)
4464B	ימין תחתון	Token Ring (802.5)
4352B	שמאל תחתון	FDDI



Image source: By Shieldforyoureyes Dave Fischer - Own work, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=4656017>

Image source: By Raymangold22 - Own work, CC0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=39134574>



## Unfragmented Packet

Start of Header			
Ident = x		0	Offset = 0
Rest of header			
1400 Bytes of data			

More to come flag  
דגל "עוד"

$\text{Offset} \times 8 =$   
*#bytes*

## Fragmented Packet

Start of Header			
Ident = x		1	Offset = 0
Rest of header			
512 Bytes of data			

Start of Header			
Ident = x		1	Offset = 64
Rest of header			
512 Bytes of data			

Start of Header			
Ident = x		0	Offset = 128
Rest of header			
376 Bytes of data			

# IPv4 לעומת IPv6

## IPv4

הנתב **או** השולח המקורי יכולים לפצל מנות

- תת-מנות מגיעות ליעד ושם מורכבות מחדש

השולח יכול לסמן דגל Don't Fragment בכותרת למנוע פיצול

- הנתב ישלח הודעת שגיאה TooBig על ידי פרוטוקול ICMP

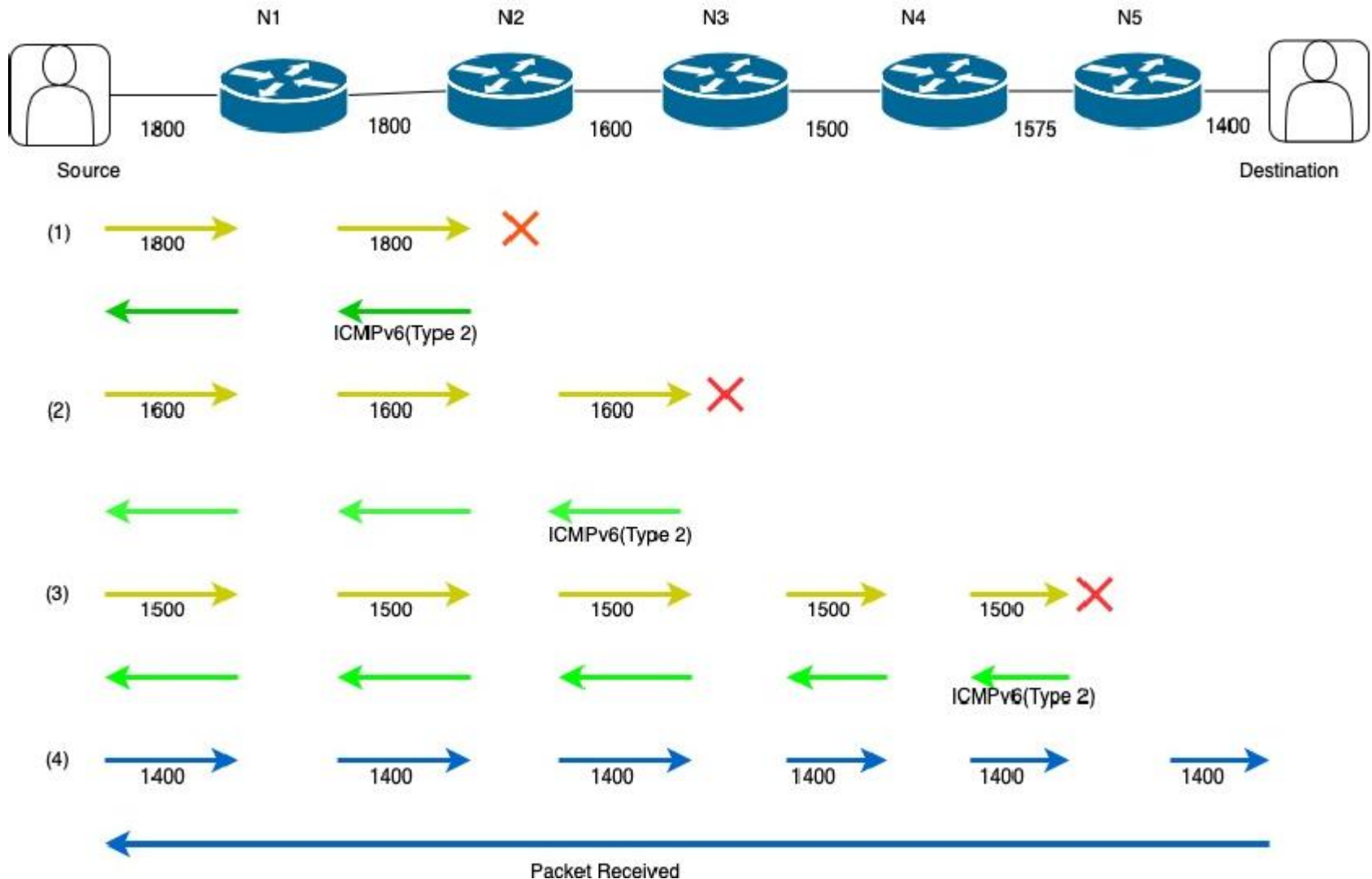
## IPv6

**רק** השולח המקורי יכול לפצל

- תת-מנות מגיעות ליעד ושם מורכבות מחדש

נתבים שולחים הודעות TooBig לפי הצורך

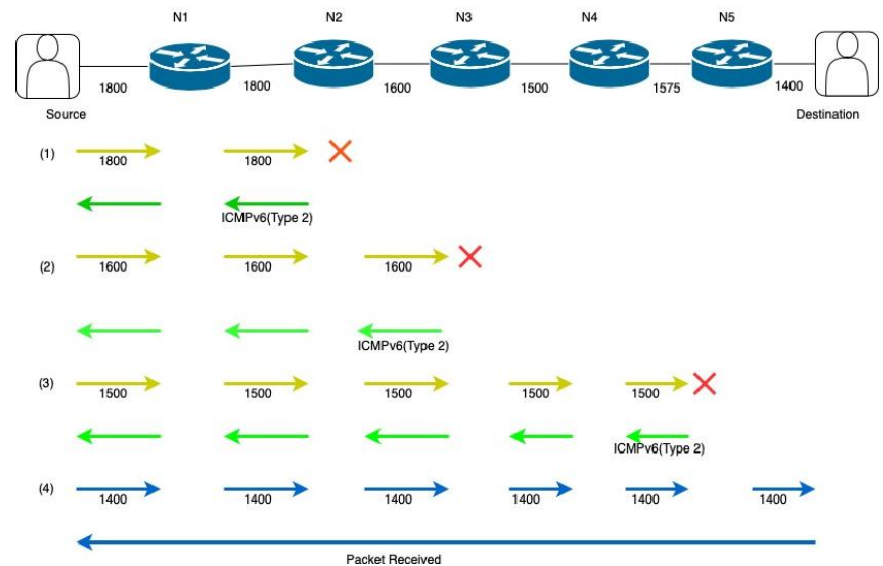
# גילוי MTU של הנתיב



Hussain, Ishtaq and Janibul Bashir. "Measuring time delay in path MTU discovery in transmitting a packet in IPv4 and IPv6 network." ArXiv abs/2011.06935 (2020): n. pag.

# גילוי MTU של הנתב

1. השולח שולח מנה עם דגל DF (לא לפצל) ב- IPv4 או IPv6
2. נתב מגיב עם הודעת TooBig עם ה-MTU שלו
3. השולח בודק התגובה ומעדכן את גדלי המנה
4. בסוף, השולח ידע את ה-MTU של הנתב



- פרוטוקול האינטרנט (IP)
  - עקרונות
  - כתובות
  - פיצול והרכבה מחדש