

---

---

# פרוטוקול האינטרנט IP

27 מאי 2025  
הרצאה 9

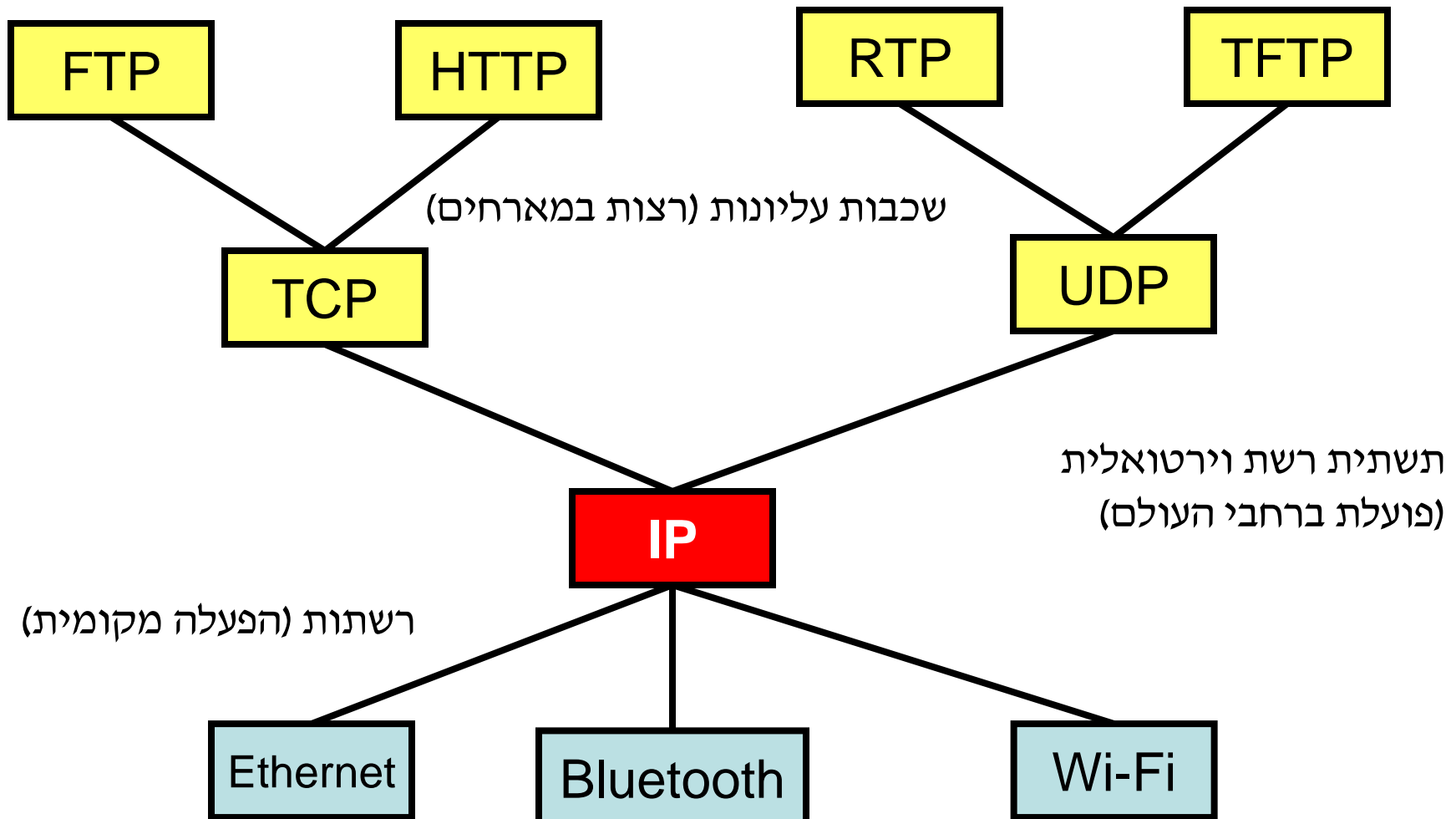
Some Slides Credits: Steve Zdancewic (UPenn)

# נושאים להיום

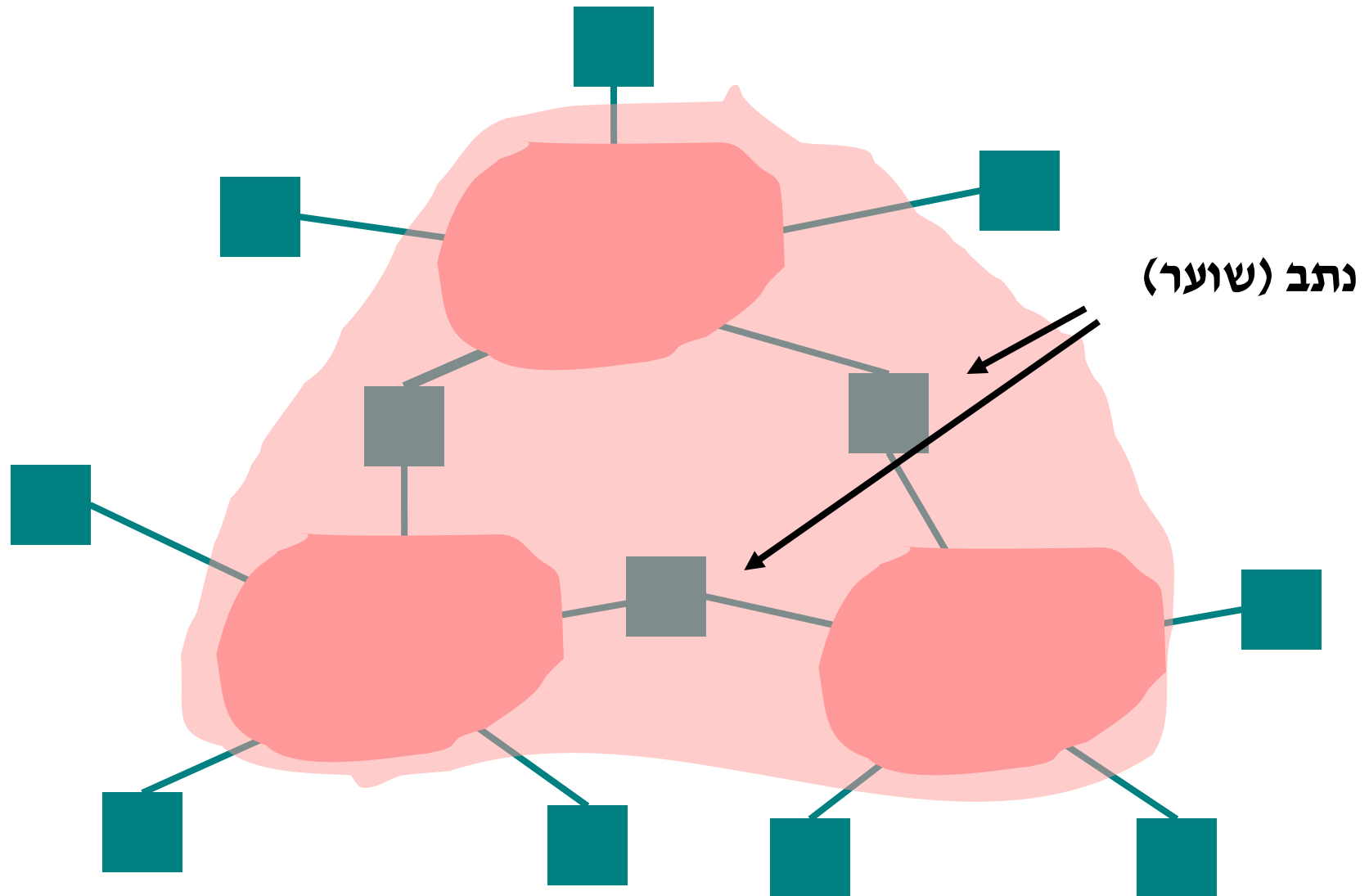
---

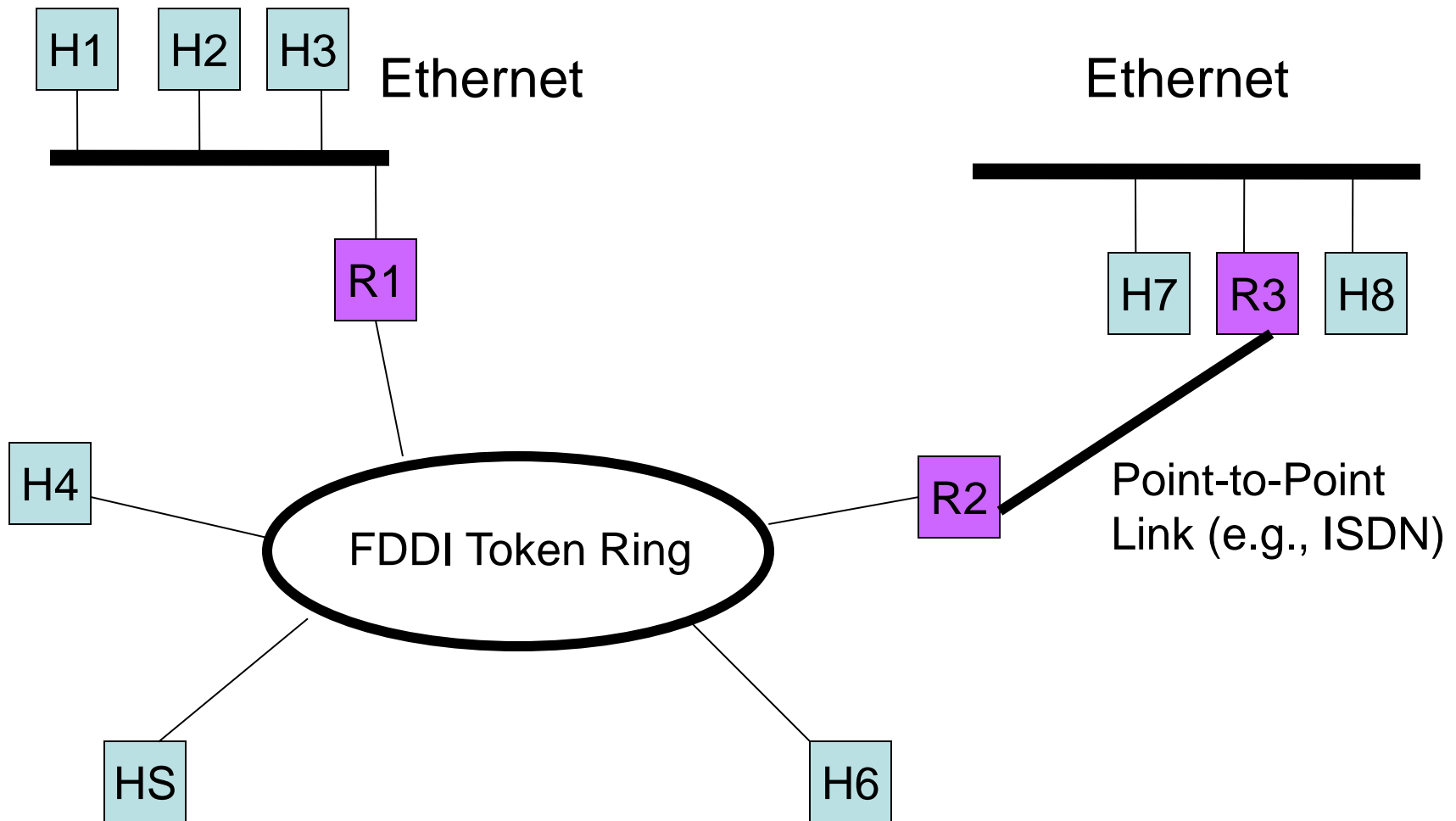
- פרוטוקול האינטרנט (IP)
  - עקרונות
  - כתובות
  - פיצול והרכבה מחדש

# שילוב של פרוטוקול אינטרנט



# רשת של רשתות (מרשתת)





כתובת



נתב



העברה



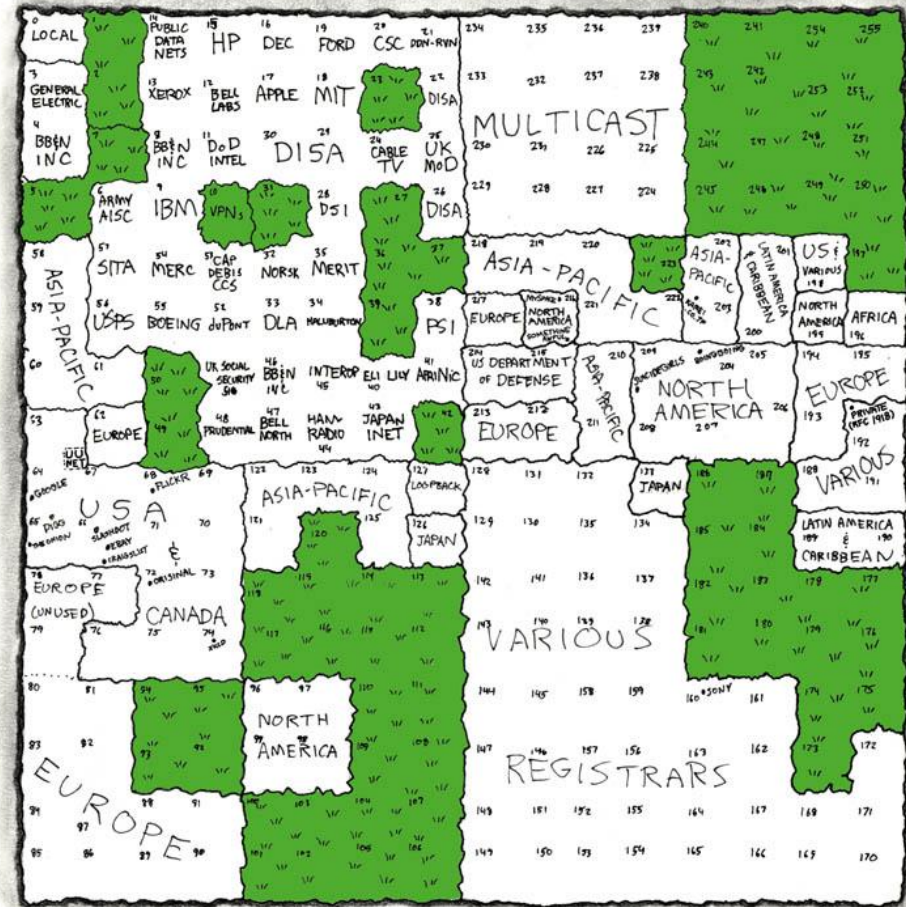
פיצול



# כתובות IP

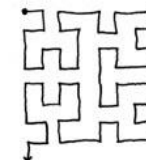
- כתובות עם 4 בתים
- נכתבות
- 255.255.255.255
- היררכיות

MAP OF THE INTERNET  
THE IPv4 SPACE, 2006

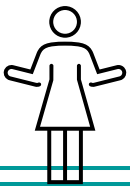


THIS CHART SHOWS THE IP ADDRESS SPACE ON A PLANE USING A FRACTAL MAPPING WHICH PRESERVES GROUPING--ANY CONSECUTIVE STRING OF IP<sub>s</sub> WILL TRANSLATE TO A SINGLE COMPACT, CONTIGUOUS REGION ON THE MAP. EACH OF THE 256 NUMBERED BLOCKS REPRESENTS ONE /8 SUBNET (CONTAINING ALL IP<sub>s</sub> THAT START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

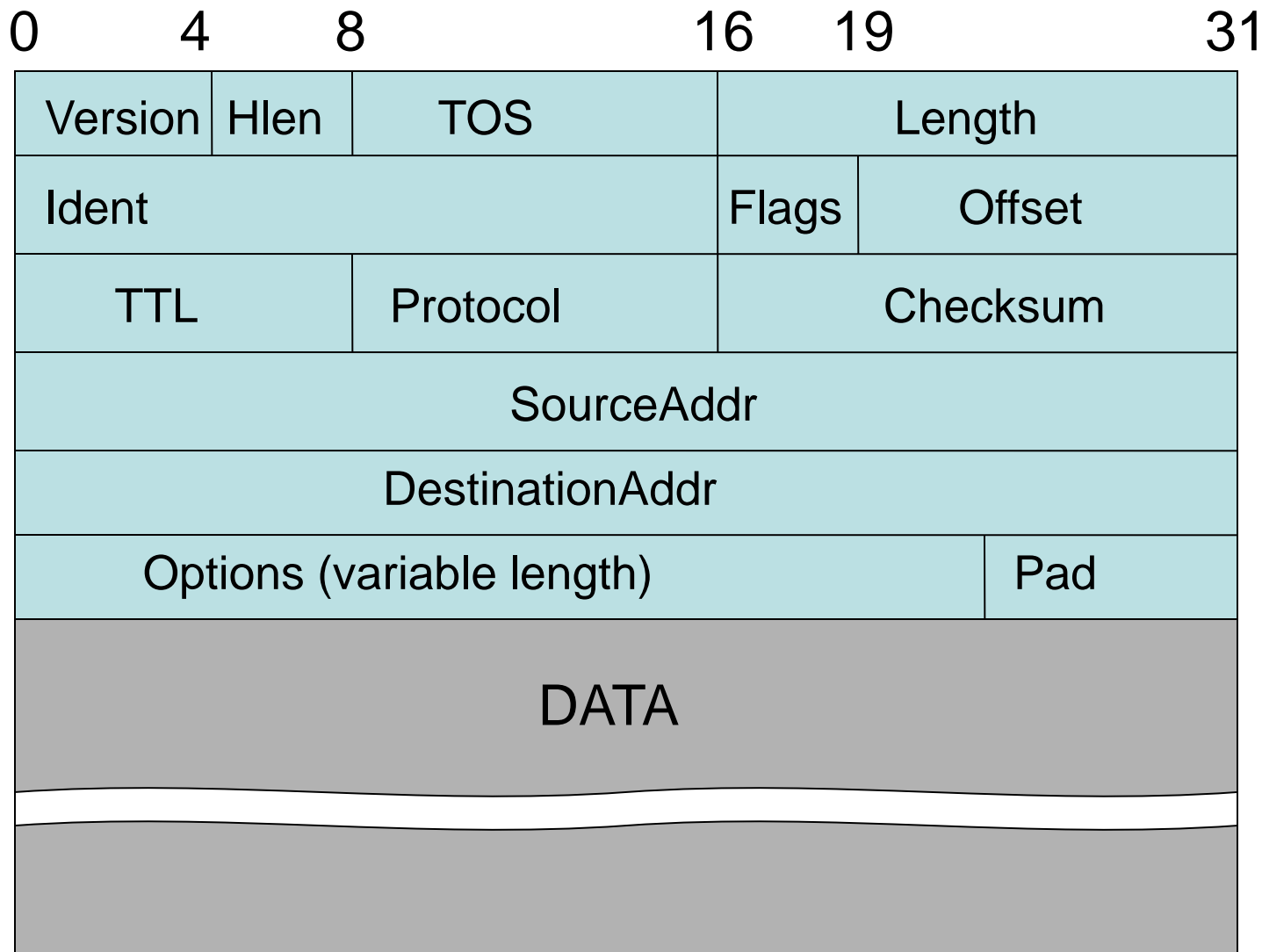
- כל רשת יכולה ליישם
- קיצון – יעבוד גם עם "פחיות וחוט"

## 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

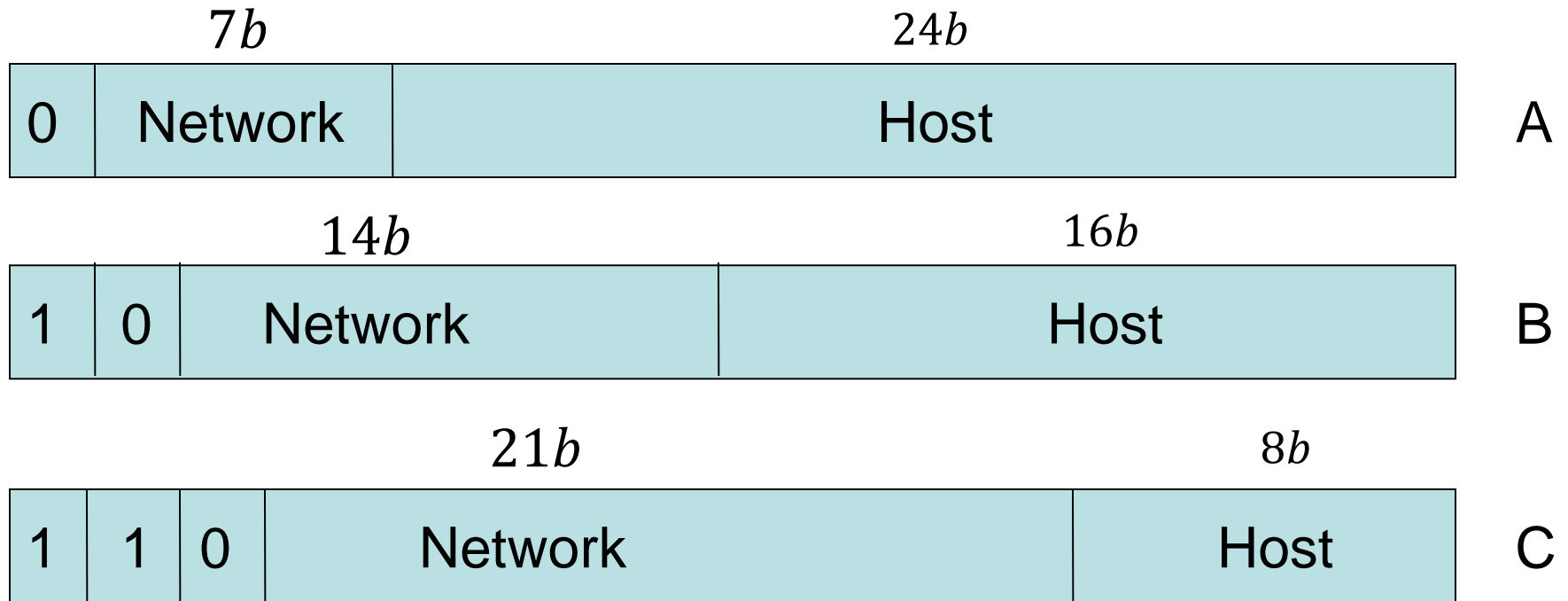
- שדות נוספים אפשריים
- ניתן לחשב אורך באמצעות Hlen

## 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 1	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 1 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 1 1 1	0 0 0 0 0 1 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 1 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

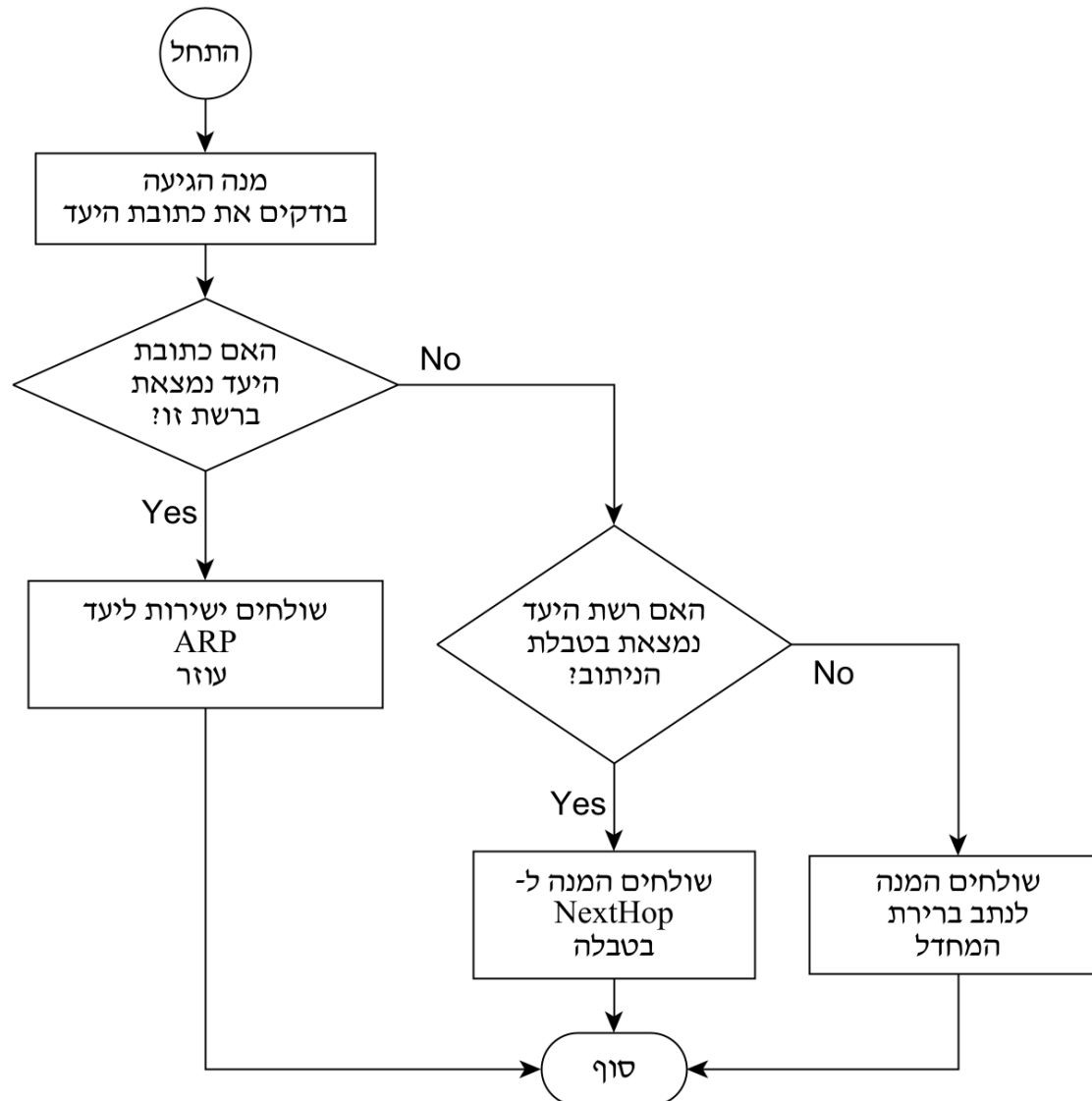
**אחרת** : שלח המנה לנתב ברירת המחדל

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

למה?

- רשתות שונות יכולות להעביר מנות בגדלים מרביים שונים

איך?

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

## *Maximum Transmission Unit (MTU)*

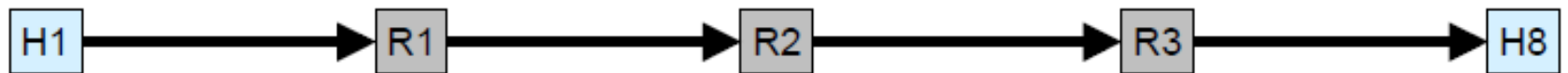
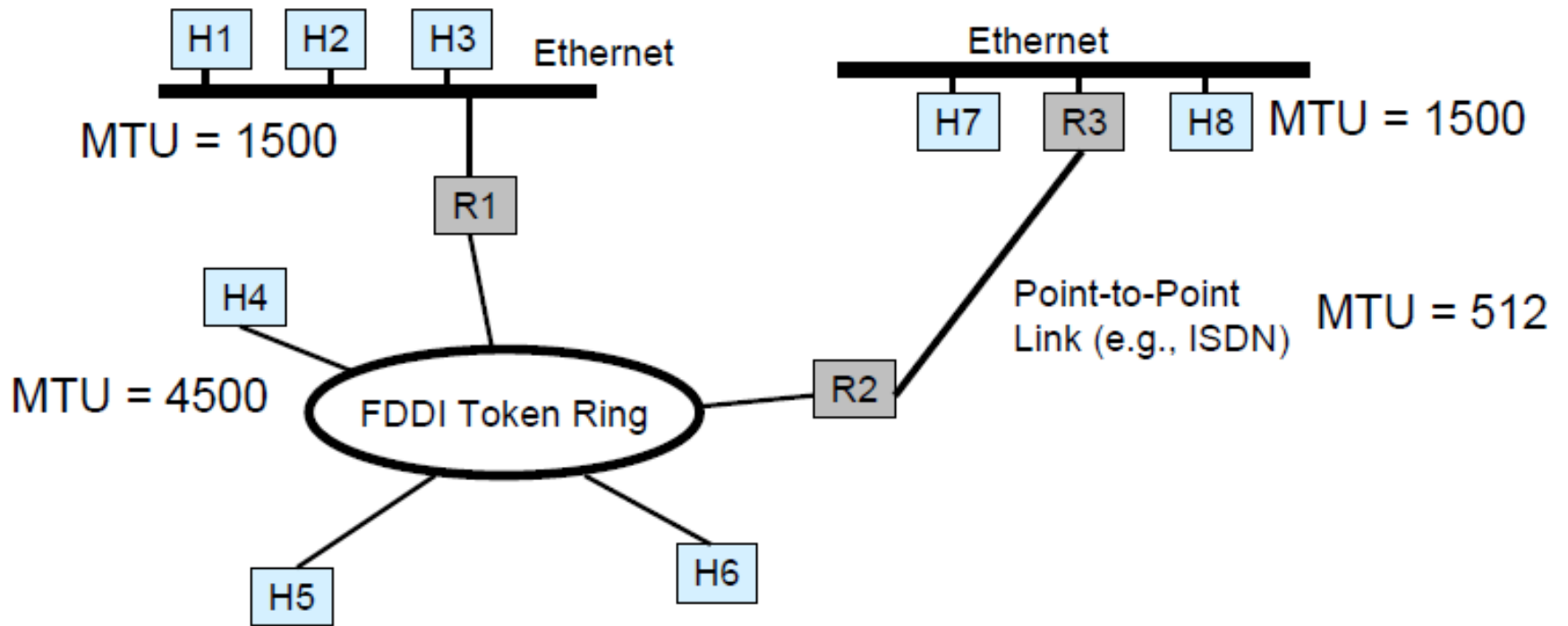
- גודל השליחה המרבי
- MTU של כל נתיב הוא ה-MTU הקטן ביותר לכל הנתיב
- השולח בדרך כלל שולח מנות לפי ה-MTU של הצעד הראשון



# ערכי MTU לדוגמה

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





ETH	IP	(1400)	FDDI	IP	(1400)	P2P	IP	(512)	ETH	IP	(512)
						P2P	IP	(512)	ETH	IP	(512)
						P2P	IP	(376)	ETH	IP	(376)

## 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

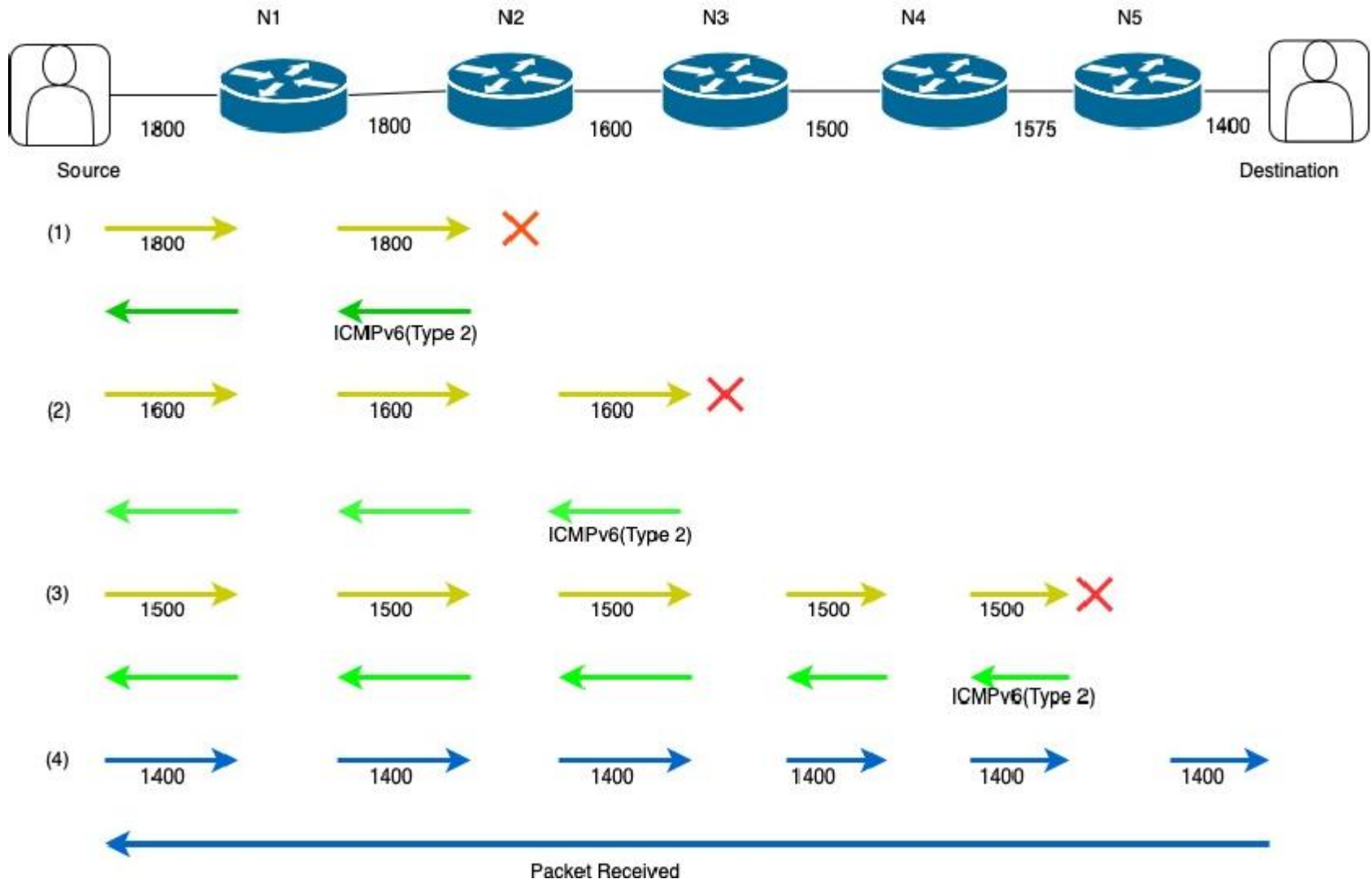
**רק** השולח המקורי יכול  
לפצל

- תת-מנות מגיעות ליעד ושם מורכבות מחדש

נתבים שולחים הודעות  
TooBig לפי הצורך



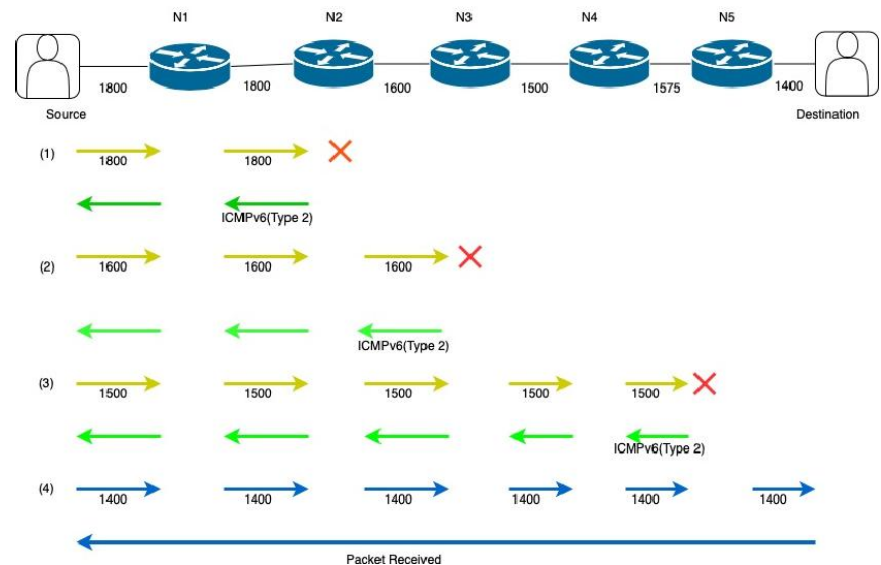
# גילוי MTU של הנתב



Hussain, Ishfaq 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