
פרוטוקולי דבק, DNS, NAT

7 יולי 2026
הרצאה 13

Some slides adapted from Kurose and Ross

נושאים להיום

- פרוטוקולי דבק
- DNS
- NAT



ARP פרוטוקול לבירור כתובות

פתרון

- **ARP – Address Resolution Protocol**
- כל מארח מחזיק במטמון טבלת מיפוי בין שכבות IP ולינק
- פג תוקף אוטומטי של המידע המאוחסן במטמון (15 דקות)

בעיה

- צריכים דרך למפות בין כתובות IP ושכבת הלינק
- 10.0.10.10 → ab: cd: ef: 12: 34: 56

דמיינו חדר דואר





ARP פרוטוקול לבירור כתובות



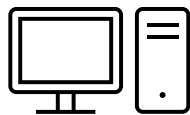
שולח

- משדר "מי מחזיק כתובת IP ברשת?"
- ההודעה נשלחת לכולם וכוללת כתובת ה-IP וכתובת שכבת הלינק של השולח

מקבלים

- כל מארח עם מידע על השולח במטמון "מרענן" את שעון פג תוקף
- מארח עם כתובת ה-IP הרצויה משיב "כתובת X שייכת לכתובת לינק Y"
- מארח היעד מוסיף את המידע על השולח (אם עדיין לא נמצא במטמון)

10.0.0.5 is at ab:cd:ef:12:34:56



Who has 10.0.0.5?
Tell 10.0.0.3

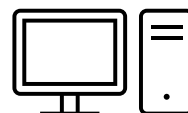
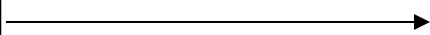


Image source: Font Awesome by Dave Gandy - <https://fontawesome.github.com/Font-Awesome>
[CC BY-SA 3.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>), via Wikimedia Commons]

ARP הקלטה לדוגמה

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
12896	272.707828000	QuantaCo_	Broadcast	ARP	60	who has 10.0.0.5? Tell 0.0.0.0
12916	273.706199000	QuantaCo_	Broadcast	ARP	60	Gratuitous ARP for 10.0.0.5 (Request)
12956	277.144084000	QuantaCo_	Broadcast	ARP	60	who has 10.0.0.3? Tell 10.0.0.5
12958	277.144101000	Dell_	QuantaCo_	ARP	42	10.0.0.3 is at 44:

< |||

Frame 12956: 60 bytes on wire (480 bits), 60 bytes captured (480 bits) on interface 0

Ethernet II, Src: QuantaCo_ (60:), Dst: Broadcast (ff:ff:ff:ff:ff:ff)

Address Resolution Protocol (request)

- Hardware type: Ethernet (1)
- Protocol type: IP (0x0800)
- Hardware size: 6
- Protocol size: 4
- Opcode: request (1)
- Sender MAC address: QuantaCo_ (60:)
- Sender IP address: 10.0.0.5 (10.0.0.5)
- Target MAC address: 00:00:00_00:00:00 (00:00:00:00:00:00)
- Target IP address: 10.0.0.3 (10.0.0.3)



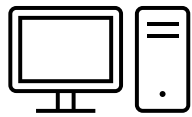
ARP פרוטוקול לבירור כתובות

- ARP מיותר (Gratuitous): בודק אם למישהו אחר יש את כתובת ה-IP שלך

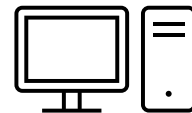
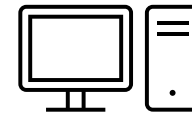
```

> Frame 2213: 90 bytes on wire (720 bits), 90 bytes captured (720 bits)
> Radiotap Header v0, Length 24
> 802.11 radio information
> IEEE 802.11 QoS Data, Flags: .....TC
> Logical-Link Control
▼ Address Resolution Protocol (ARP Announcement)
  Hardware type: Ethernet (1)
  Protocol type: IPv4 (0x0800)
  Hardware size: 6
  Protocol size: 4
  Opcode: request (1)
  [Is gratuitous: True]
  [Is announcement: True]
  Sender MAC address: Intel_d1:b6:4f (00:13:02:d1:b6:4f)
  Sender IP address: 192.168.1.109
  Target MAC address: 00:00:00_00:00:00 (00:00:00:00:00:00)
  Target IP address: 192.168.1.109

```



Who has 10.0.0.5?
Tell 10.0.0.5





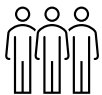
ARP פרוטוקול לבירור כתובות

- **ARP מיותר (Gratuitous)** : בודק אם למישהו אחר יש את כתובת ה-IP שלך

- למה?

גלה מחשבים עם
כתובות IP זהות

- אם מישהו עונה, יש
בעיה



ספר לכולם את
כתובת ה-MAC
שלך



פרוטוקול תצורת מארח דינאמי (DHCP)

Dynamic Host Configuration Protocol

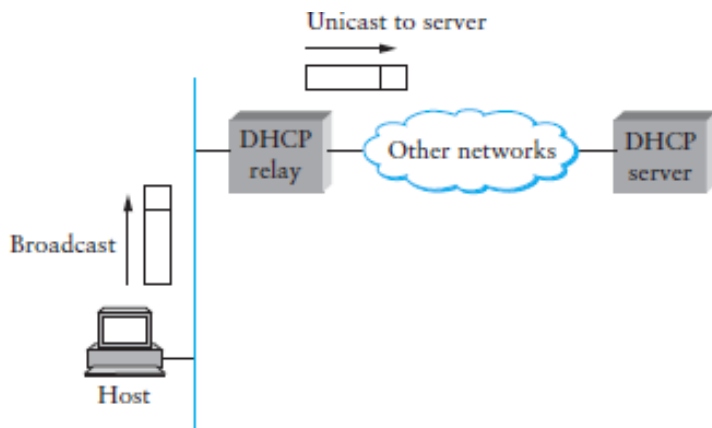
מטרה: לאפשר למחשבים לקבל כתובות IP באופן דינאמי

- לזמן מוגבל

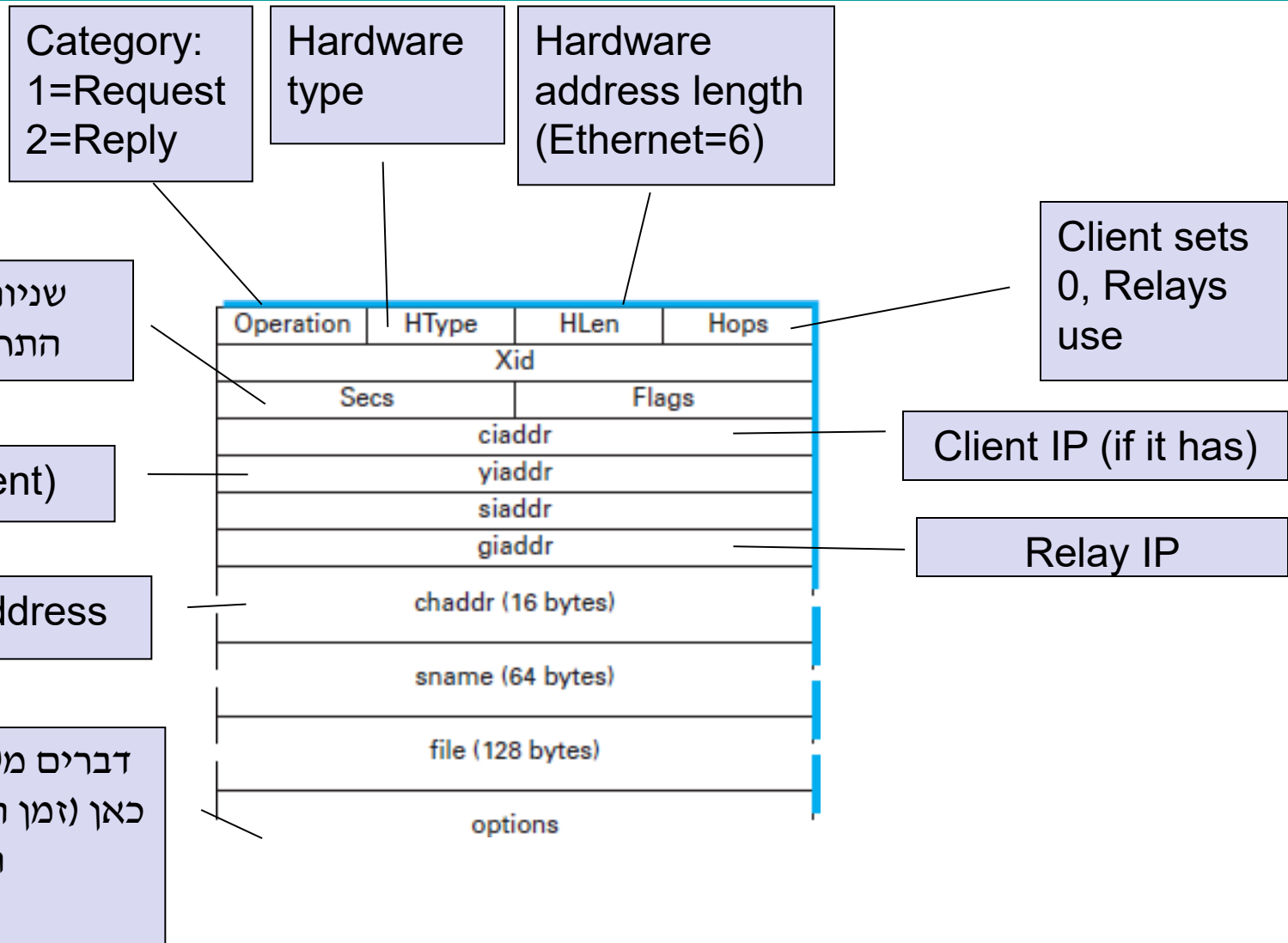
שלבים:

1. הלקוח משדר הודעת DHCP Discover
2. שרתים מגיבים להודעות ע"י DHCP Offer
3. הלקוח שולח הודעת DHCP Request אחת (בוחר)
4. שרת ה-DHCP בוחר לשלוח הודעת DHCP ACK
5. עבודה.
6. הלקוח שולח הודעת DHCP Release
7. השרת שוכח את הלקוח

כדי לבקש או לרענן כתובת ישנה, דלג על 1-2



שדות DHCP



DHCP הקלטה לדוגמה

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
3	4.357459000	10.0.0.12	10.0.0.138	DHCP	342	DHCP Release - Transaction ID 0xb61cd97f
4	7.490334000	0.0.0.0	255.255.255.255	DHCP	342	DHCP Discover - Transaction ID 0x7983fd04
5	7.506559000	10.0.0.138	10.0.0.12	DHCP	316	DHCP Offer - Transaction ID 0x7983fd04
6	7.506973000	0.0.0.0	255.255.255.255	DHCP	344	DHCP Request - Transaction ID 0x7983fd04
7	7.532959000	10.0.0.138	10.0.0.12	DHCP	316	DHCP ACK - Transaction ID 0x7983fd04

< | | |

⊞ User Datagram Protocol, Src Port: 67 (67), Dst Port: 68 (68)

⊞ Bootstrap Protocol (Offer)

- Message type: Boot Reply (2)
- Hardware type: Ethernet (0x01)
- Hardware address length: 6
- Hops: 0
- Transaction ID: 0x7983fd04
- Seconds elapsed: 0
- ⊞ Bootp flags: 0x0000 (Unicast)
- Client IP address: 0.0.0.0 (0.0.0.0)
- Your (client) IP address: 10.0.0.12 (10.0.0.12)
- Next server IP address: 0.0.0.0 (0.0.0.0)
- Relay agent IP address: 0.0.0.0 (0.0.0.0)
- Client MAC address: Dell_ (44:)
- Client hardware address padding: 00000000000000000000
- Server host name not given
- Boot file name not given
- Magic cookie: DHCP
- ⊞ Option: (53) DHCP Message Type (Offer)
- ⊞ Option: (54) DHCP Server Identifier
- ⊞ Option: (51) IP Address Lease Time
 - Length: 4
 - IP Address Lease Time: (3600s) 1 hour
- ⊞ Option: (1) Subnet Mask
 - Length: 4
 - Subnet Mask: 255.255.255.0 (255.255.255.0)
- ⊞ Option: (3) Router
 - Length: 4
 - Router: 10.0.0.138 (10.0.0.138)
- ⊞ Option: (6) Domain Name Server
 - Length: 4
 - Domain Name Server: 10.0.0.138 (10.0.0.138)
- ⊞ Option: (255) End

- פרוטוקולי דבק
- DNS
- NAT

מערכת לשמות מתחם Domain Name System

- מערכת למיפוי שמות שקלים לזכור לכתובות IP

www.telhai.ac.il → 172.67.13.209

- היררכיית מתחמים

- שרתי שמות

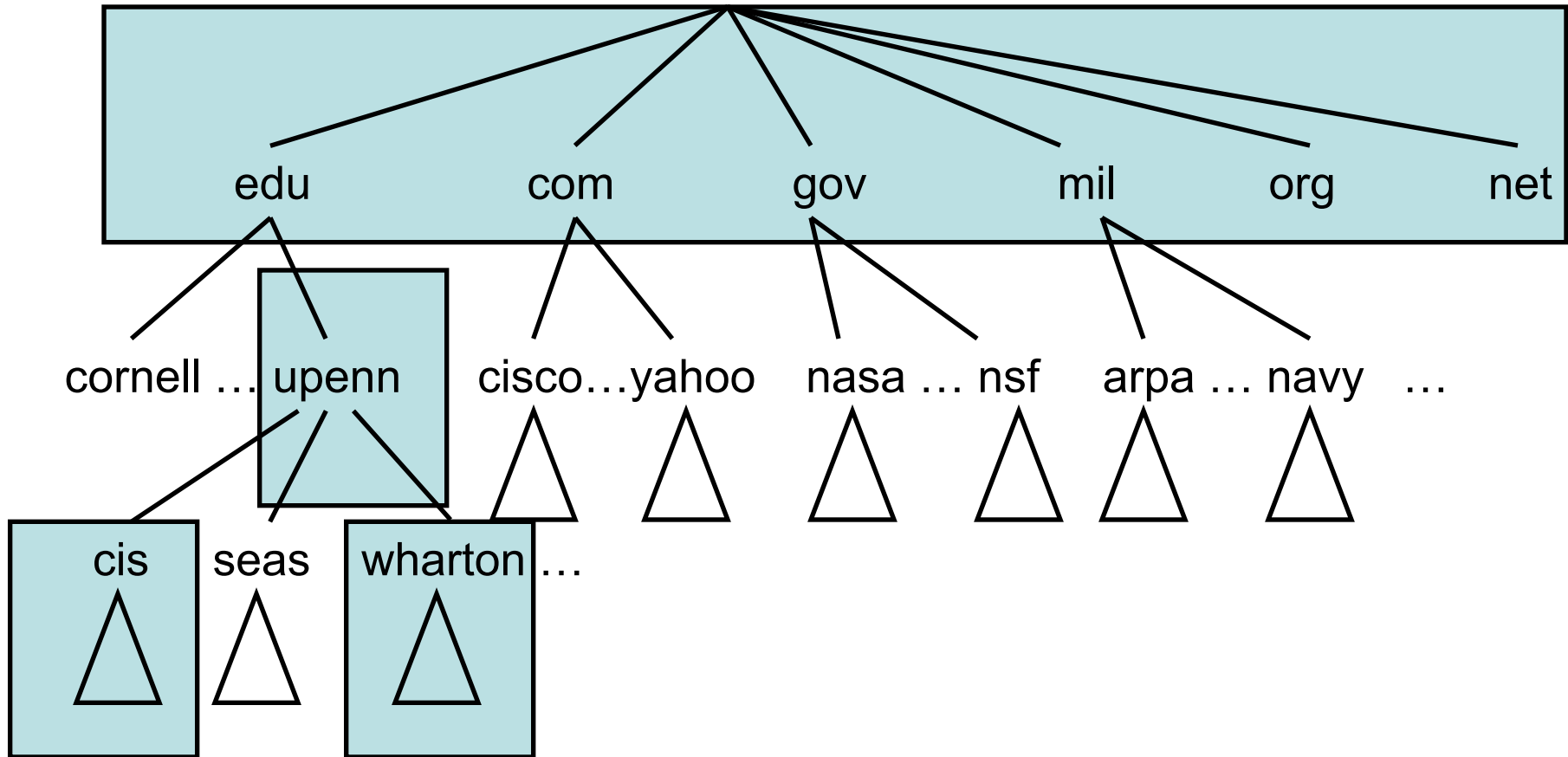
- 13 שרתי שורש ממפים מתחמים ברמה העליונה כגון .com ו-.net.

- בירור שם

- פרוטוקול לחיפוש שמות מתחם היררכיים לגלות מהן כתובות ה-IP שלהם

- הפרוטוקול פועל על גבי UDP עם פורט ברירת מחדל 53

היררכיית שמות מתחם



רשומות DNS

- הסוגים החשובים ביותר של רשומות משאבים (Resource Records)
- הם המידע ששרתי DNS מחזיקים

Type of record	Associated entity	Description
SOA	Zone	Holds information on the represented zone
A	Host	Contains an IP address of the host this node represents
MX	Domain	Refers to a mail server to handle mail addressed to this node
SRV	Domain	Refers to a server handling a specific service
NS	Zone	Refers to a name server that implements the represented zone
CNAME	Node	Symbolic link with the primary name of the represented node
PTR	Host	Contains the canonical name of a host
HINFO	Host	Holds information on the host this node represents
TXT	Any kind	Contains any entity-specific information considered useful

מתוך מסד הנתונים ה-DNS עבור האזור cs.vu.nl.

Name	Record Type	Record Value
cs.vu.nl.	SOA	primary name server = star.cs.vu.nl responsible mail addr = hostmaster.cs.vu.nl serial = 2022112500 refresh = 7200 (2 hours) retry = 3600 (1 hour) expire = 2419200 (28 days) default TTL = 7200 (2 hours)
cs.vu.nl	TXT	"v=spf1 redirect=vu.nl"
cs.vu.nl	TXT	"google-site-verification=Hgkj69rep7_FHZsXaTOoO8JxO6e9XUpK1aeNqPKUo7I"
cs.vu.nl	NS	ns1.labs.vu.nl
cs.vu.nl	NS	ns0.labs.vu.nl
cs.vu.nl	NS	ns2.labs.vu.nl
cs.vu.nl	NS	new-ns1.vu.nl
cs.vu.nl	NS	new-ns2.vu.nl

מתוך מסד הנתונים ה-DNS עבור האזור cs.vu.nl.

Name	Record Type	Record Value
ns0.labs.vu.nl	A	192.31.231.42
ns1.labs.vu.nl	A	130.37.192.252
ns2.labs.vu.nl	A	130.37.192.254
new-ns1.vu.nl	A	130.37.164.20
new-ns2.vu.nl	A	130.37.164.22
ns0.labs.vu.nl	AAAA	2001:610:110:6e0::2a
ns1.labs.vu.nl	AAAA	2001:610:110:6e0::1:0
ns2.labs.vu.nl	AAAA	2001:610:110:6e0::1:2
cs.vu.nl	MX	0 cs-vu-nl-mail.protection.outlook.com
star.cs.vu.nl	A	192.31.231.42
zephyr.cs.vu.nl	HINFO	“CPU = Sun OS = Unix”
ftp.cs.vu.nl	CNAME	soling.cs.vu.nl

מתוך מסד הנתונים ה-DNS עבור האזור cs.vu.nl.

Name	Record Type	Record Value
www.cs.vu.nl	CNAME	papac022.vu.nl
papac02.vu.nl	A	130.37.164.171
inkt.cs.vu.nl	A	192.168.4.3
inkt.cs.vu.nl	HINFO	"CPU = OCE OS = Proprietary"
pen.cs.vu.nl	HINFO	"CPU = OCE OS = Proprietary"
pen.cs.vu.nl	A	192.168.4.2

רשומות DNS של תל חי (1/2)

- מתוך מסד הנתונים ה-DNS עבור אזור telhai.ac.il

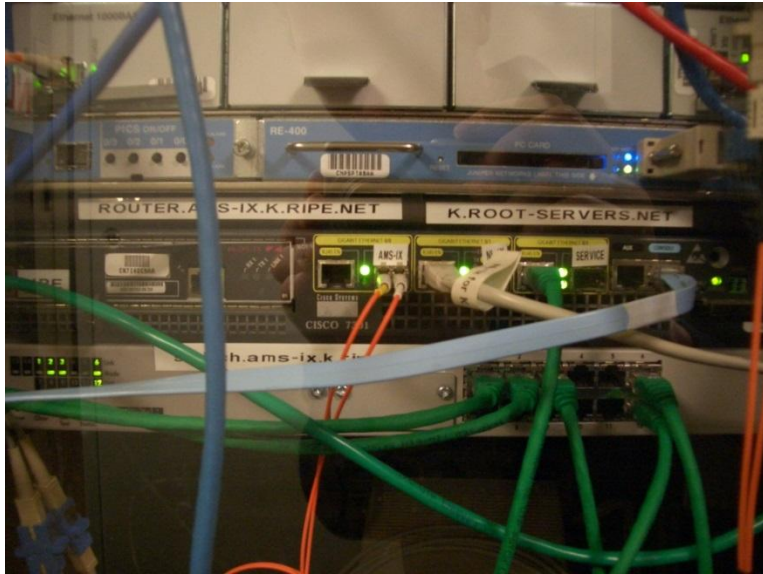
telhai.ac.il	A	104.22.27.116
telhai.ac.il	A	104.22.26.116
telhai.ac.il	A	172.67.13.209
telhai.ac.il	AAAA	2606:4700:10::6816:1b74
telhai.ac.il	AAAA	2606:4700:10::6816:1a74
telhai.ac.il	AAAA	2606:4700:10::ac43:dd1
telhai.ac.il	NS	donald.ns.cloudflare.com
telhai.ac.il	NS	donna.ns.cloudflare.com

רשומות DNS של תל חי (2/2)

- מתוך מסד הנתונים ה-DNS עבור אזור telhai.ac.il

telhai.ac.il	MX	0 telhai-ac-il.mail.protection.outlook.com
telhai.ac.il	SOA	primary name server = donald.ns.cloudflare.com responsible mail addr = dns.cloudflare.com serial = 2375632327 refresh = 10000 (2 hours 46 mins 40 secs) retry = 2400 (40 mins) expire = 604800 (7 days) default TTL = 1800 (30 mins)
telhai-ac-il.mail.protection.outlook.com	A	52.101.73.4
	A	52.101.73.30
	A	52.101.68.36
	A	52.101.68.39

שורשי DNS



Root server K in Amsterdam, Holland
(Wikipedia)



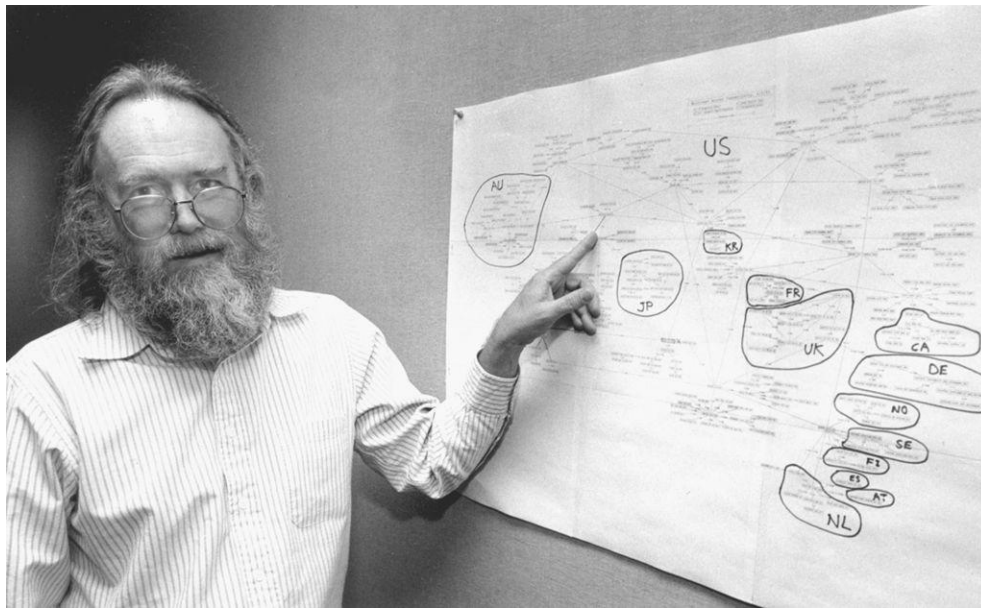
ICANN אחראית על ניהול שורשים ומתחמים ברמה העליונה

- 13 שרתי שורש DNS משוכפלים על פני העולם
- 12 ארגונים עצמאיים מנהלים את השורשים

בקרה מבוזרת (DNS)

ינואר 1998: ג'ון פוסטל מ-IANA בקש מ-8 מתוך 12 השורשים באותה תקופה להתחבר עם השורש של IANA במקום השורש של ממשלת ארה"ב (Network Solutions, Inc. בהרנדון, וירג'יניה)

- פוסטל טען שזה היה בדיקה ושינה אותו בחזרה כשנשאל (!?)
- ספטמבר 1998 – ICANN נוסדה ומקבלת את התפקיד של IANA

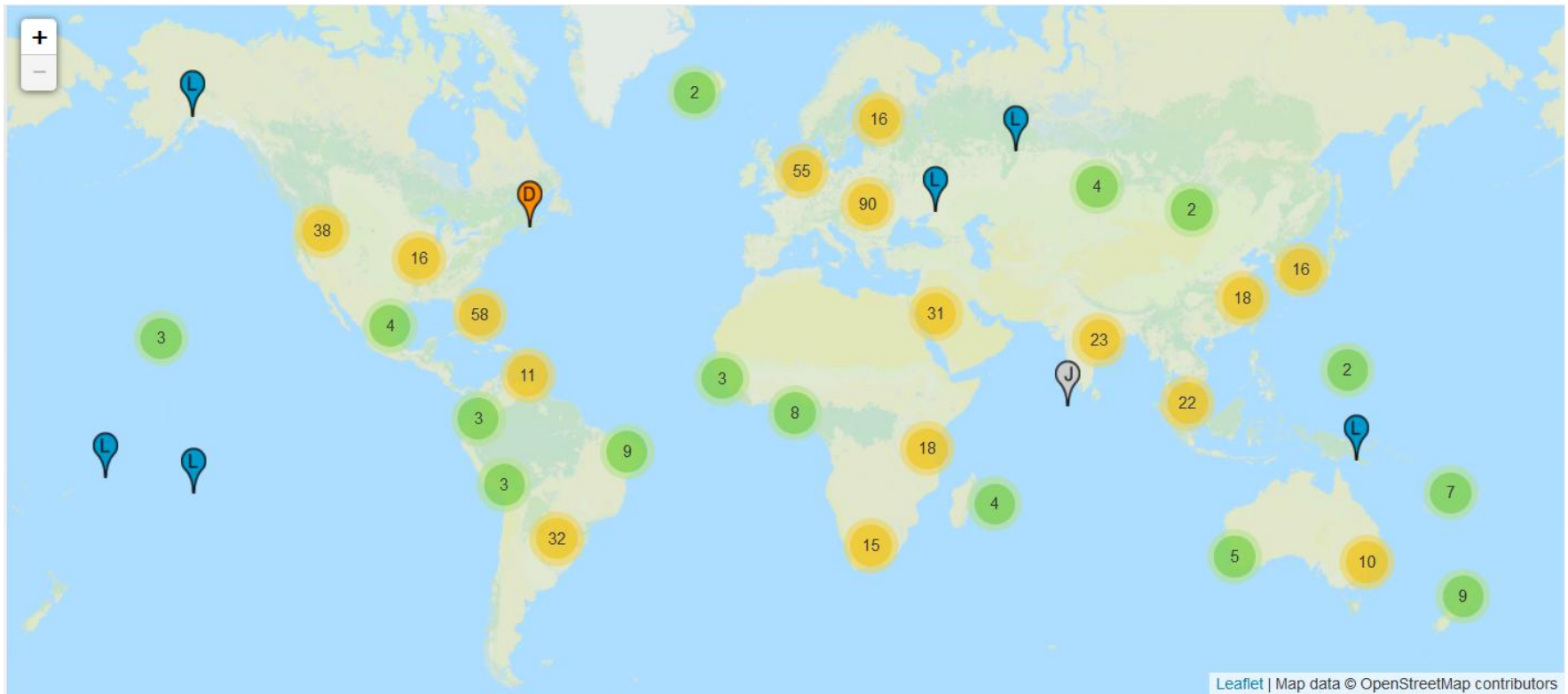


From <http://www.postel.org/pr.htm>: Photo by Irene Fertik, USC News Service. © 1994, USC. Permission granted for free use and distribution, conditioned upon inclusion of the above attribution and copyright notice.

שורשי DNS ברחבי העולם (2015)



שורשי DNS ברחבי העולם (2016)



שורשי DNS ברחבי העולם (2018)



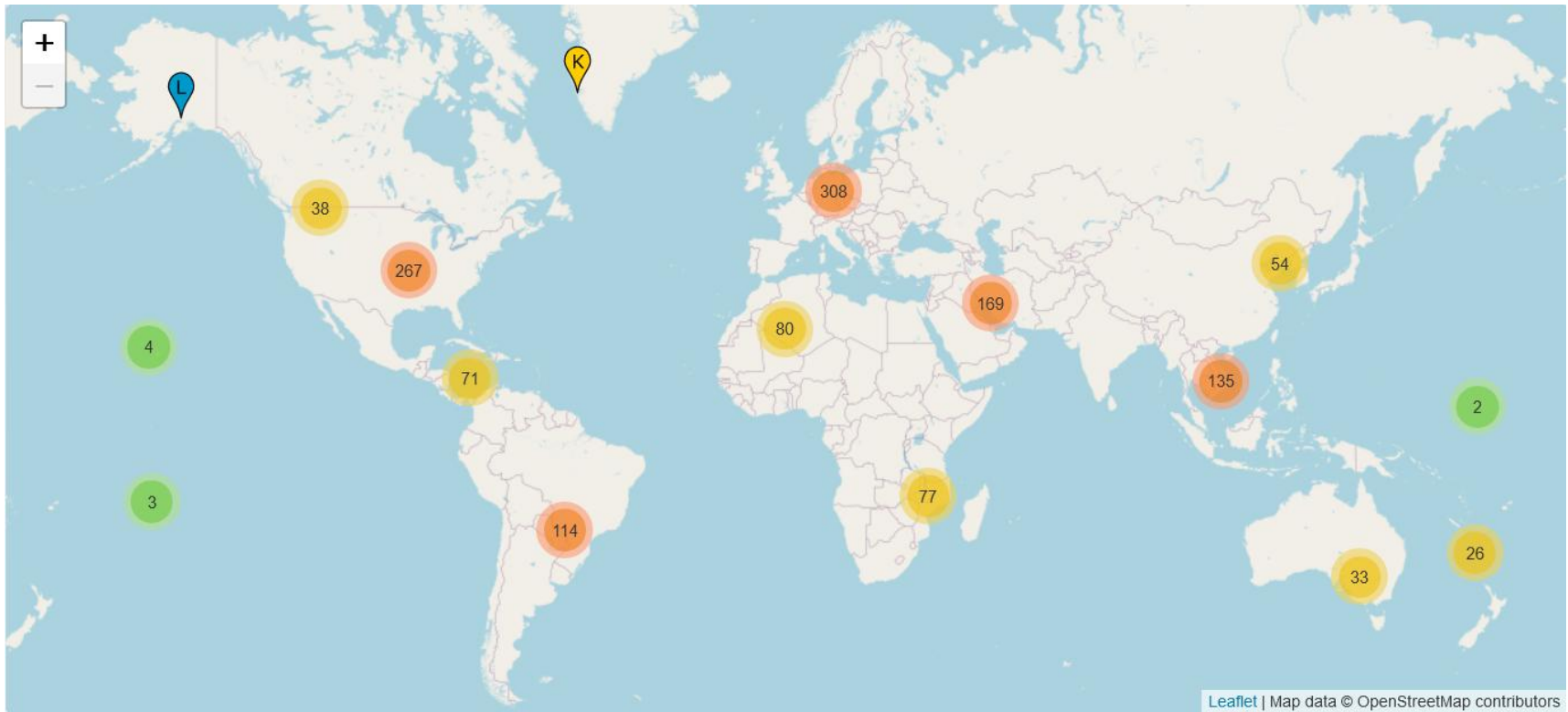
שורשי DNS ברחבי העולם (2019)



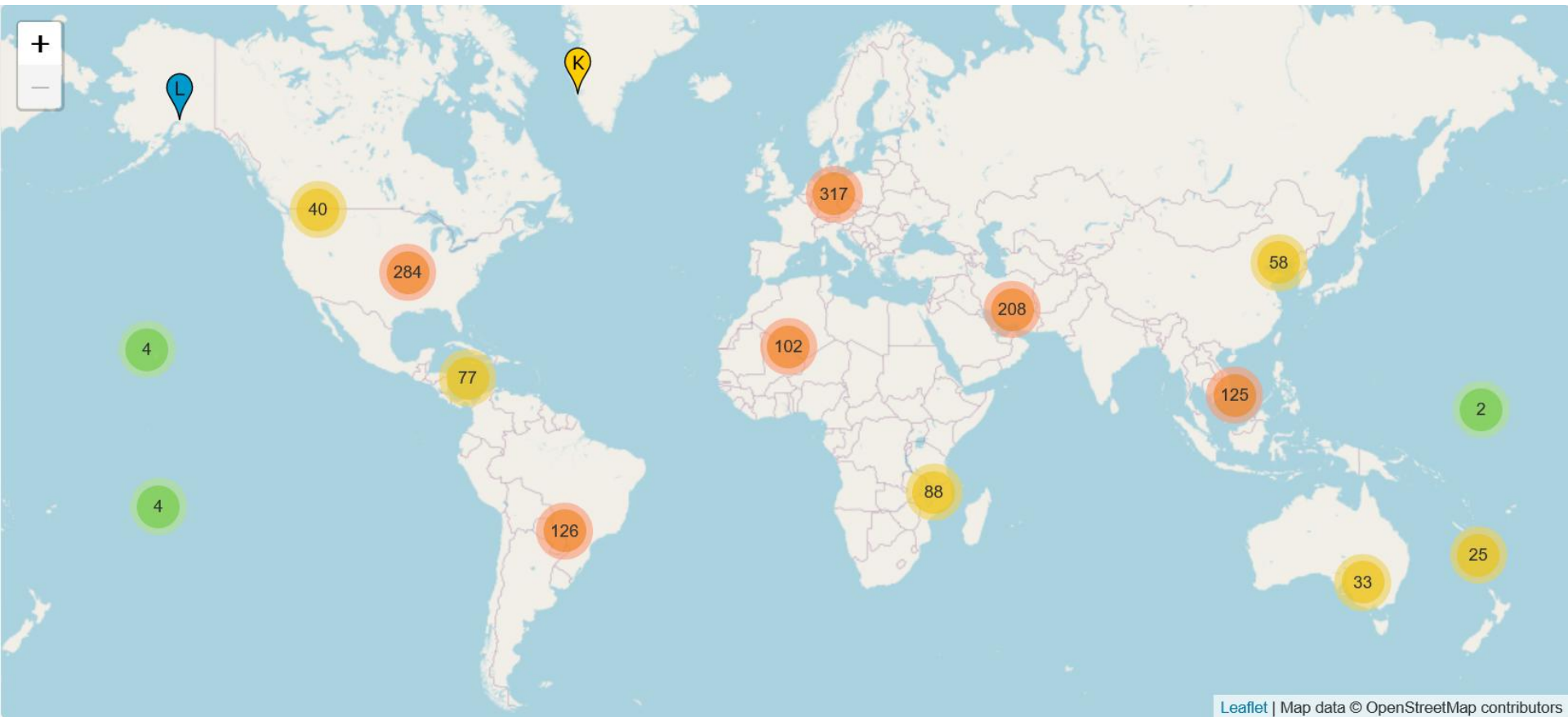
שורשי DNS ברחבי העולם (2021)



שורשי DNS ברחבי העולם (2022)



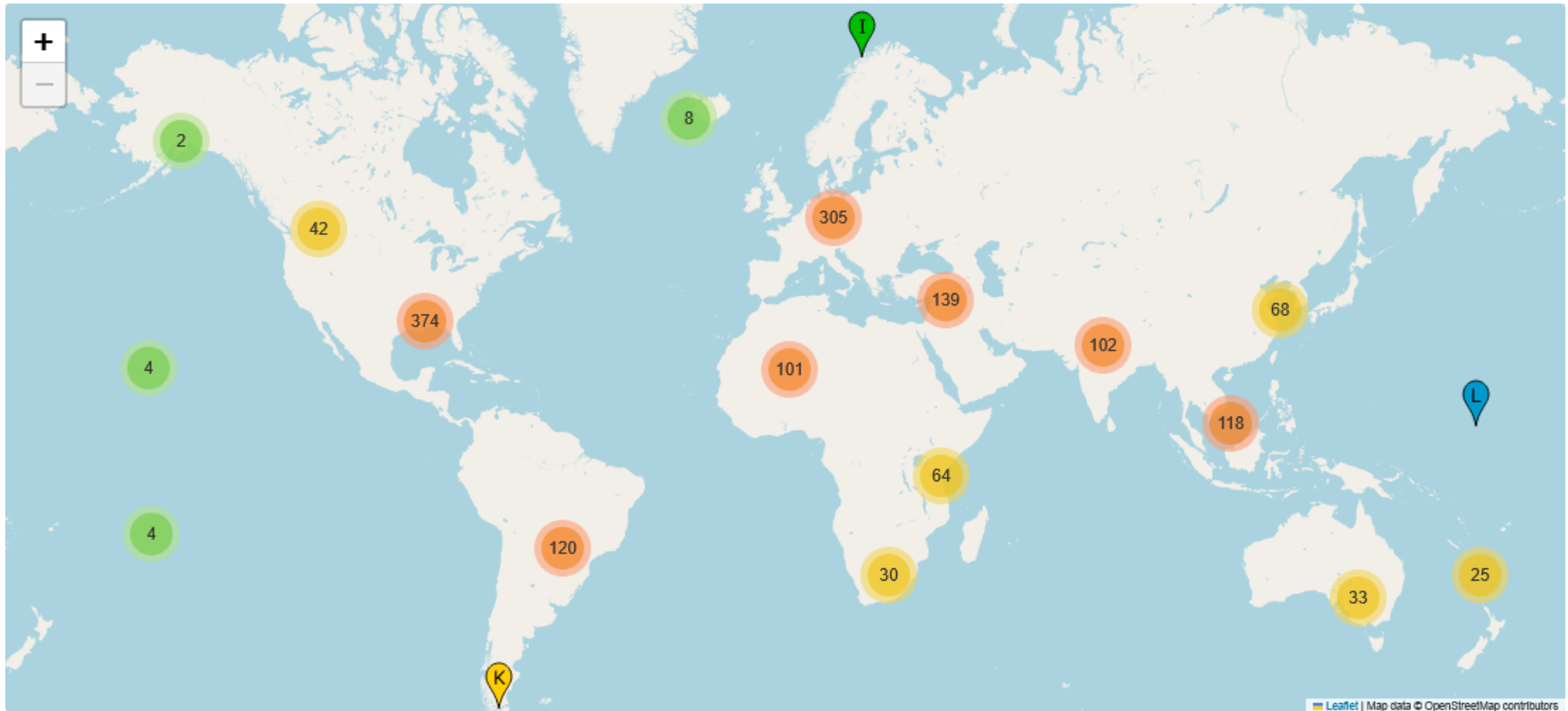
שורשי DNS ברחבי העולם (2023)



שורשי DNS ברחבי העולם (2024)

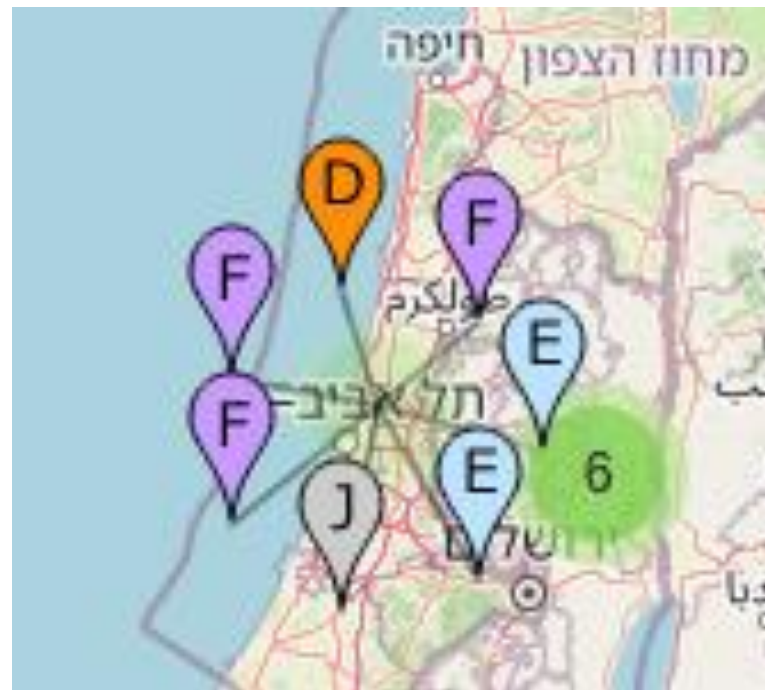


שורשי DNS ברחבי העולם (2026)



שורשי DNS בישראל

- המפה כוללת כמה עותקים בירדן, רמאללה ועזה.
- סה"כ 7 בפתח תקווה ובתל אביב.



DNS מתחמים עליונים

1,437 Top Level Domains (TLDs) מתוחזקים על ידי חברות וארגונים פרטיים (יולי 2026)

• רשמים פרטיים Registrars רושמים לקוחות

ישנם סיומות TLD :

לפי סוג ארגון

• .org, .ac.il, .edu, .co.uk

לפי מדינה

• .us, .il, .ca, .uk

לפי מגזר עסקי

• .bike, .clothing, .plumbing

גנרי

• .info, .xyz, .center, .cards

לפי שפה

• סינית XN--1QQW23A
• קוריאנית XN--3E0B707E
• הודית XN--45BRJ9C

DNS מתחמים עליונים

TLDs בולטות ומפורסמות:

.edu

- מנוהל ע"י Educause (מוסב ל-Verisign)

.com

- נוהל ע"י משרד ההגנה האמריקאי
- כעת מנוהל על ידי חברת Verisign
- 164 מיליון מתחמים (יולי 2026)

.ישראל

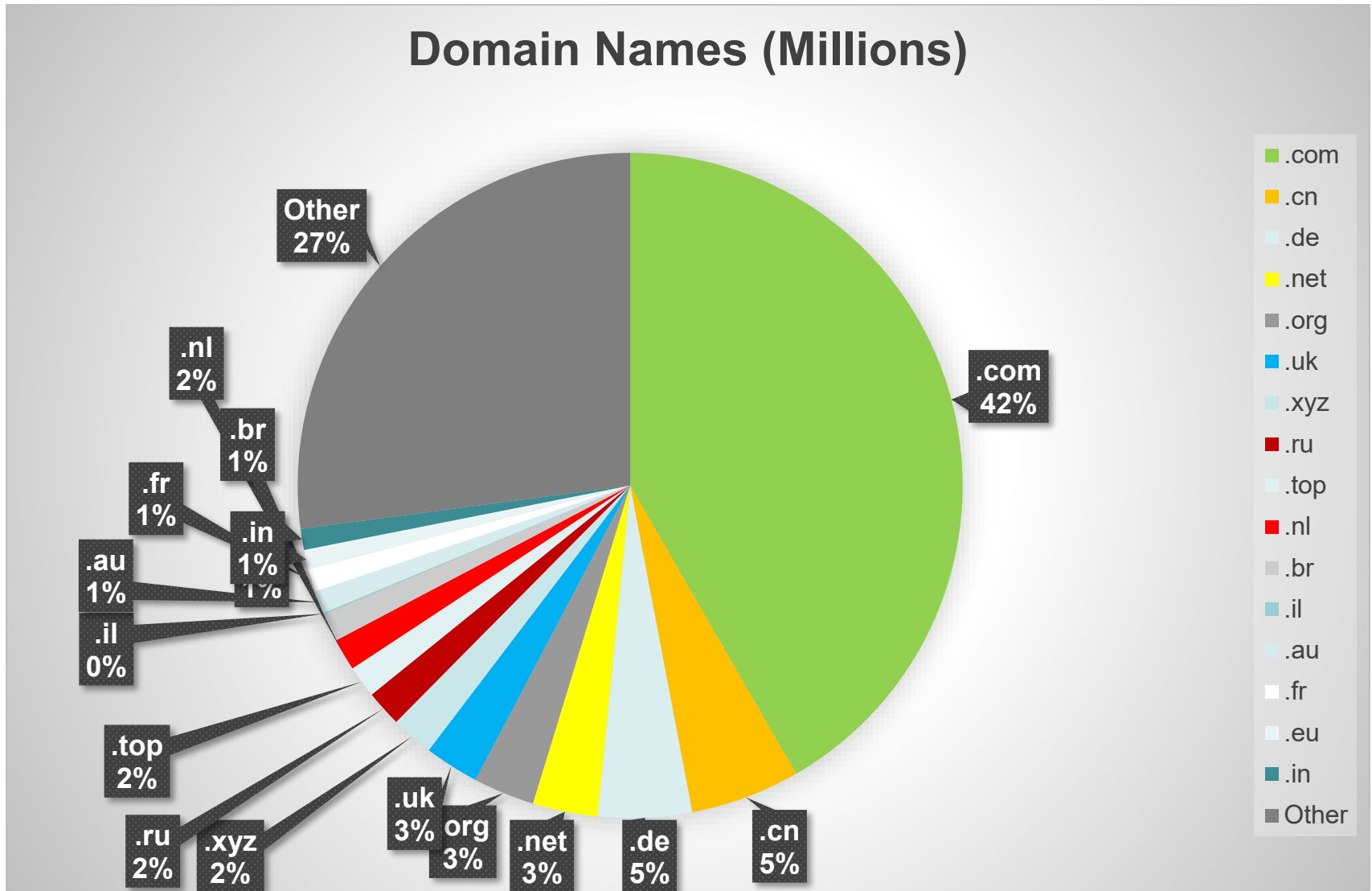
- מנוהל על ידי ISOC
- 8 אלף מתמחים (2025)

.il

- מנוהל על ידי איגוד האינטרנט הישראלי ISOC
- 289 אלף מתמחים (2025)

התפלגות שמות מתחם בינ TLD

Domain Names (Millions)

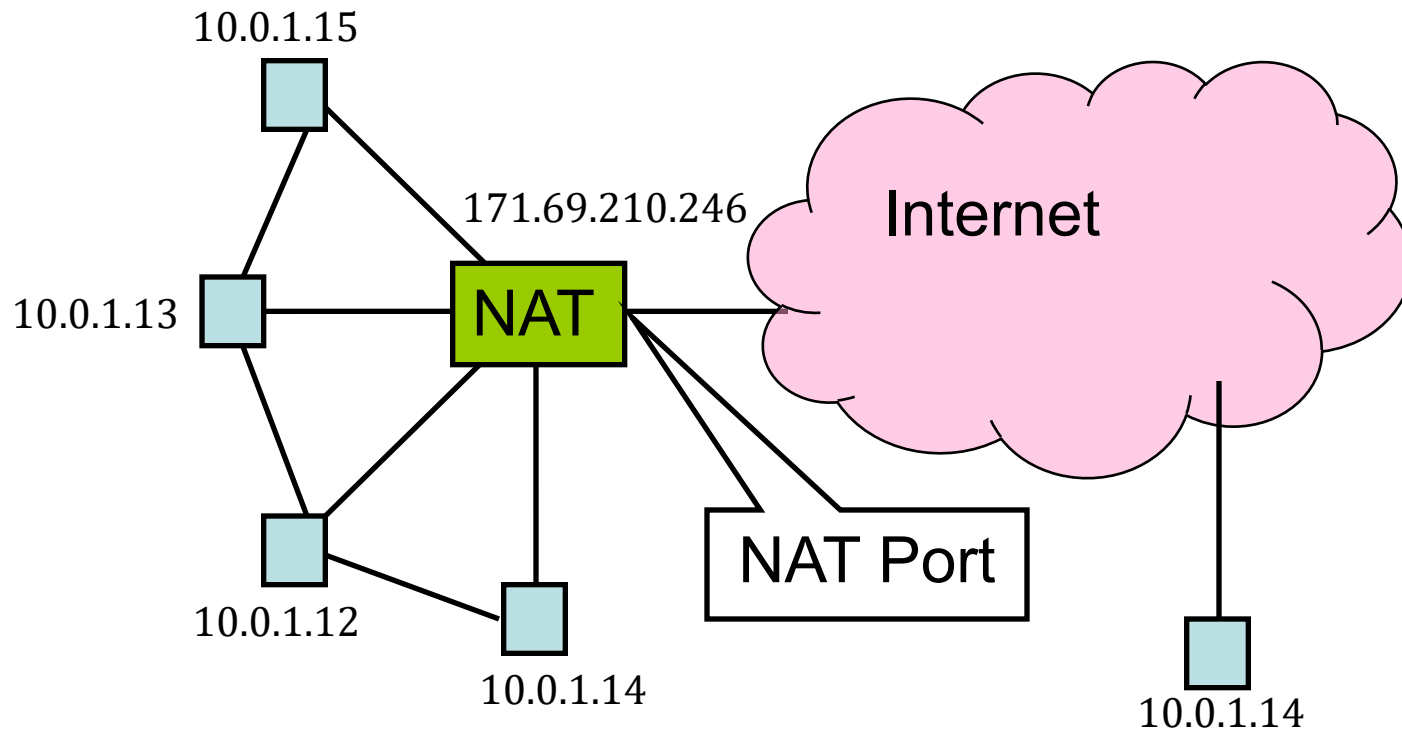


Data source: Domain Name Industry Brief Q1 2026
(<https://www.dnib.com/articles/the-domain-name-industry-brief-q1-2026>)

- TCP ותהליכים
- פרוטוקולי דבק
- DNS
- NAT

תרגום כתובות רשת Network Address Translation

- רעיון: לשבור את ההנחה שכתובות IP הן ייחודיות ברמה הגלובלית





כתובות פרטיות

- ניתן לתת כתובות IP לא ייחודיות עולמיות מתוך מרחבים שהוקצו לכך

- 3 "מרחבים פרטיים" הוגדרו בתקנים של IP

– באזור מחלקה A $10.x.x.x$

– באזור מחלקה B $172.16.x.x-172.31.x.x$

– באזור מחלקה C $192.168.x.x$

התנהגות NAT (שליחה)

- נתב NAT מחזיק טבלה עם המבנה:

$\langle Client IP \rangle \langle Client Port \rangle \langle NAT ID \rangle$

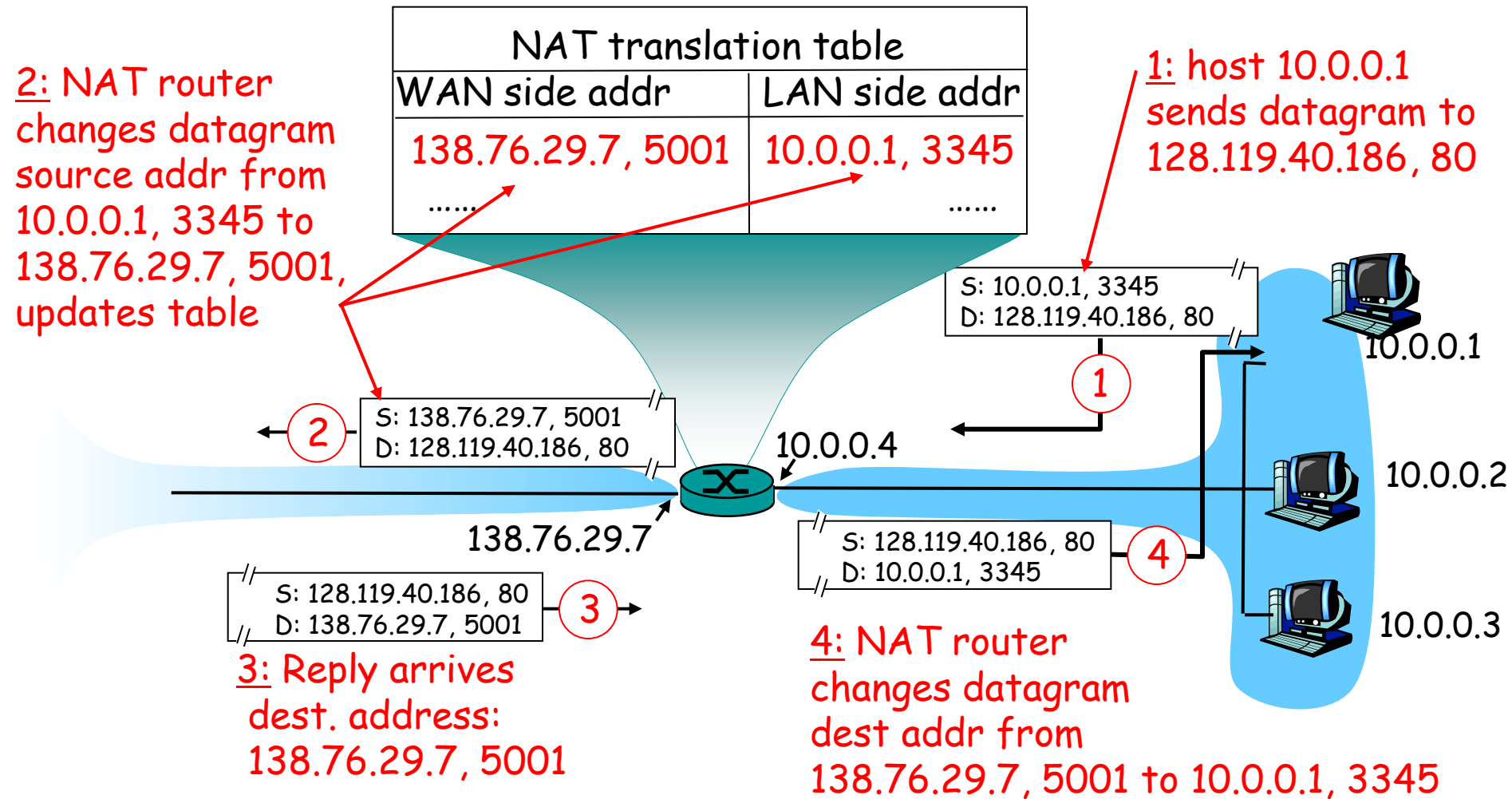
תהליך העיבוד של מנות שיוצאות מהרשת:

1. חפש את כתובת ה-IP והפורט של השולח בתוך המנה בטבלת המיפוי
2. אם נמצאה שורה מתאימה: החלף את פורט הלקוח עם מזהה NAT שהוקצה כבר (לעולם החיצוני מזהה NAT נראה כמו פורט)
3. אם לא נמצאה שורה מתאימה: הקצה מזהה NAT חדש והחלף את פורט השולח איתו
4. מכל מקום, החלף את כתובת ה-IP של השולח עם כתובת ה-IP של הנתב

התנהגות NAT (קבלה)

- אלגוריתם העיבוד למנות שנכנסות לרשת
 - חפש את הפורט יעד כמזהה NAT בטבלת מיפוי (מזהה NAT ושיחות)
 - אם נמצאה שורה מתאימה : החלף את כתובת היעד והפורט בערכים מטבלת המיפוי
 - אם לא נמצאה שורה מתאימה : מוחקים את המנה
- שורות הטבלה פגות אחרי 2-3 דקות לאפשר איסוף אשפה

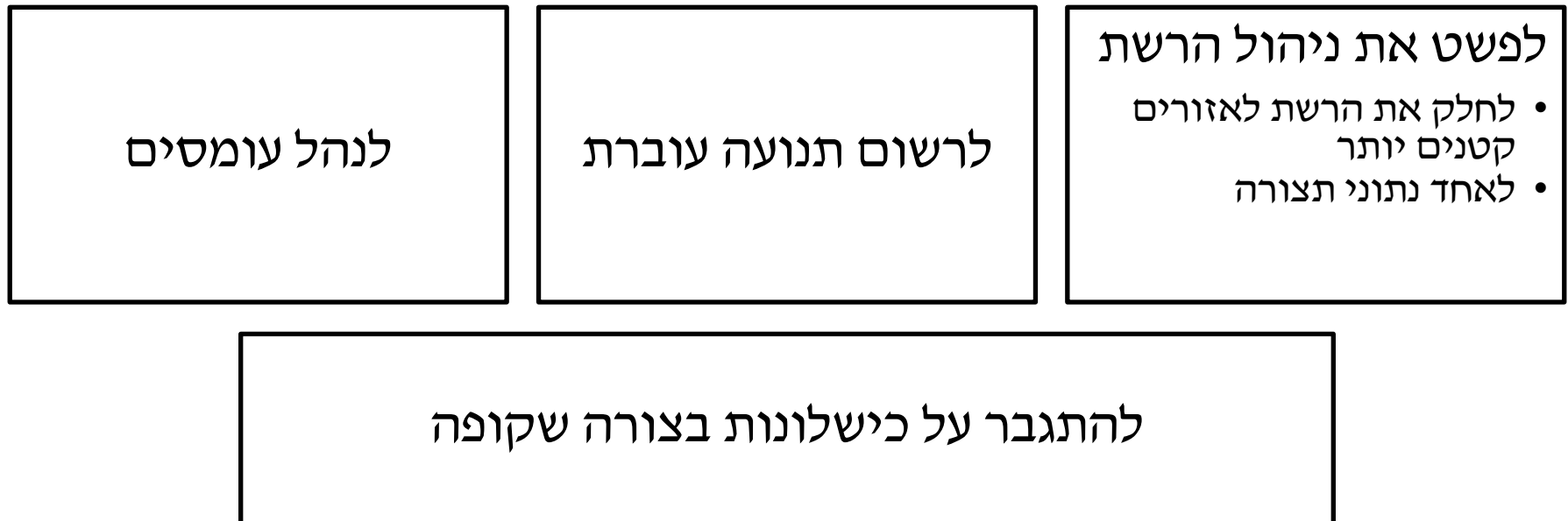
NAT: Network Address Translation



היתרונות של NAT

- מאפשר רק חיבורים מבחוץ שייזמו על ידי מחשבים בפנים
 - מארחים מבחוץ יכולים ליצור קשר רק עם מארחים פנימיים שמופיעים בטבלת המיפוי, והם מתווספים רק כאשר מחשב פנימי יוזם את החיבור
 - ישנם נתבי NAT שמתפקדים כמו חומת אש (סינון מנות)

נתב NAT יכול לעזור בתפקידים הבאים:



חסרונות של NAT

הגבלות על סינון מנות /
שינוי סמנטיקה של מנות

- לדוגמה, ייתכן ש-NAT לא יעבוד היטב עם מנות מוצפנות הכוללות מידע על כתובת ה-IP

שכתוב מחדש של כתובות IP אינו קל:

- חייבים לחפש כתובות IP במקומות אחרים במנה ולשנות אותן (ייתכן צורך להיות מודע לפרוטוקול)
- עשוי לשנות את מספרי הרצף של המנות
- חייבים גם לוודא/לחשב מחדש את ערך ה-Checksum

מעכב את התפוקה

- לא בהכרח יעבוד עם כל פרוטוקול
- לקוחות יצטרכו לדעת שתרגום NAT מתרחש

האט את האימוץ של IPv6?

- פרוטוקולי דבק
- DNS
- NAT