

---

---

# אתרנט, אתרנט מהיר, מיתוג

26 מאי 2026

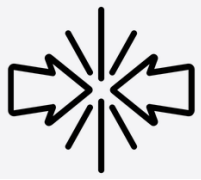
הרצאה 6

Some Slides Credits: Steve Zdancewic (UPenn), Kurose and Ross

# נושאים להיום

---

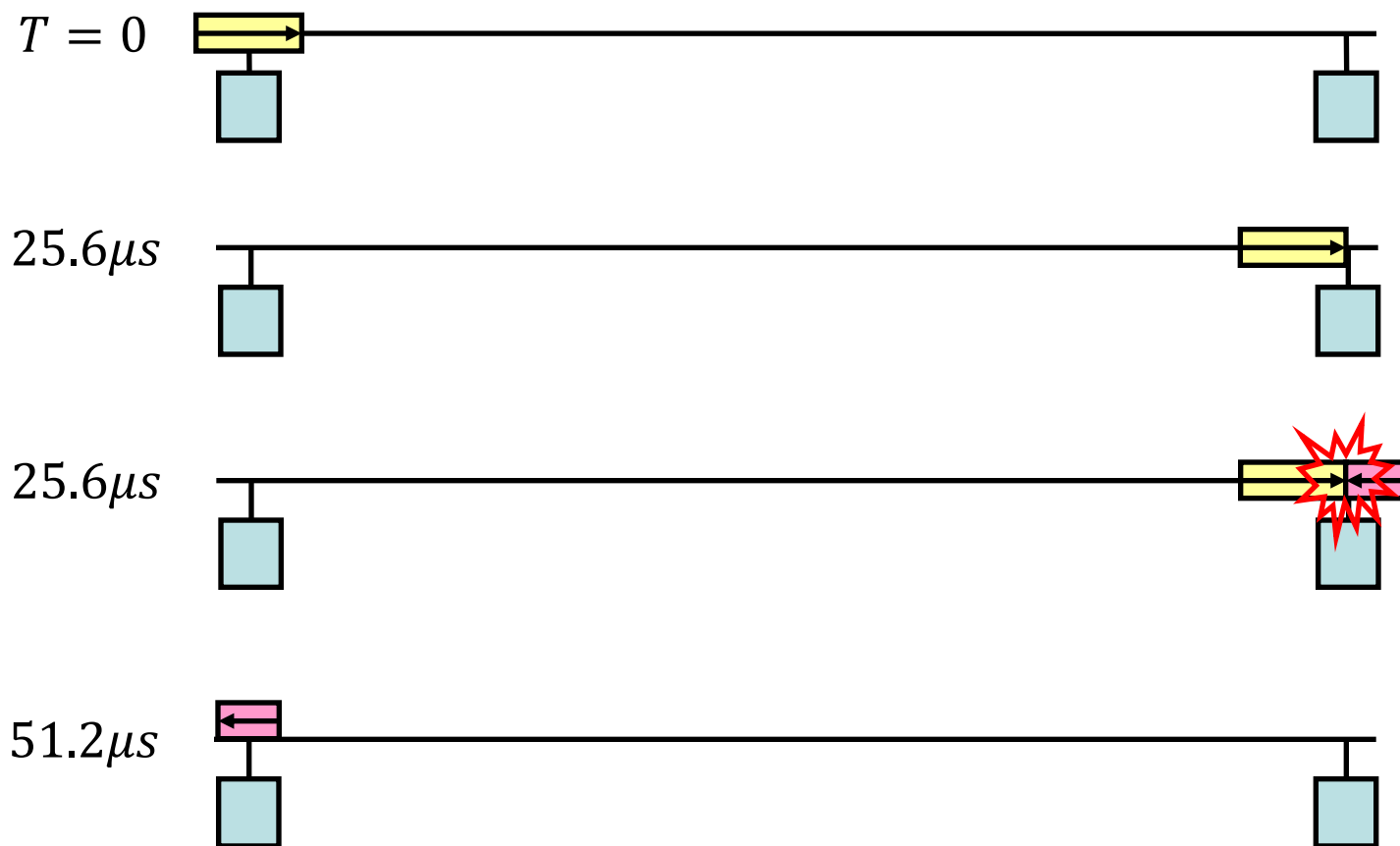
- אתרנט
- אתרנט מהיר
- 100 Mbps
- 1 Gbps
- מיתוג
- שכבה 2 (קישור)
- שכבה 3 (רשת)
- מנות נתונים
- מעגל מדומה



# זיהוי התנגשות

- כאשר מתאם מזהה התנגשות
  - הוא שולח מיד **אות חסימה Jamming Signal** של 32 סיביות (לסירוגין 1 ו-0)
  - הוא מפסיק לשדר
- ייתכן שמתאם  $10Mbps$  יצטרך לשלוח 512 סיביות כדי לזהות התנגשות. למה?
  - $2500m + 4$  מגברים גורמים ל-RTT של  $51.2\mu s$
  - $51.2\mu s$  בקצב שליחה של  $10Mbps = 512$  סיביות
  - למרבה המזל, מסגרת מינימלית (לא כולל הקדמה) הינה 512 סיביות = 64 בתים
  - 46 בתים נתונים + 14 בתים כותרת + 4 בתים CRC

# התנגשות אתרנט (המקרה הגרוע ביותר)



# נסיגה אקספוננציאלית

---

- לאחר זיהוי התנגשות #1
  - המתאם ממתין 0 או  $51.2\mu s$  לפני שהוא ינסה שוב
  - נבחר באופן אקראי
- לאחר ניסיון השידור הכושל #2
  - המתאם ממתין באופן אקראי 0,  $51.2\mu s$ ,  $102.4\mu s$ ,  $153.6\mu s$
- לאחר ניסיון השידור #n
  - בוחר  $k$  מתוך  $0..2^n - 1$
  - ממתין  $51.2\mu s \times k$  מיותר אחרי 16 ניסיונות חוזרים
  - (אבל  $n$  נעצר ב-10)

- אתרנט
- אתרנט מהיר
- 100 Mbps
- 1 Gbps
- מיתוג
- שכבה 2 (קישור)
- שכבה 3 (רשת)
- מנות נתונים
- מעגל מדומה

# אתרנט מהיר : אתגר

בשנת 1995, IEEE כינסה מחדש את קבוצת 802.3 לשפר את אתרנט

**המטרה** : לקדם את אתרנט ל-100Mbps  
אבל—

- אותו **מבנה מסגרת**
- שכבה פיזית זהה/דומה
- אותם **מאפייני פרוטוקול** (גודל מסגרת מינימלי, גודל מסגרת מרבי)

איך?

# אתרנט מהיר : פתרון

## רעיון מרכזי :

- צמצם את האורך המרבי מ-2500 מ' לכ-200 מ' (צמצם את האורך ל-10%)
- הגדל את הקצב האיתות baud של הקו (זה נהיה מסובך)

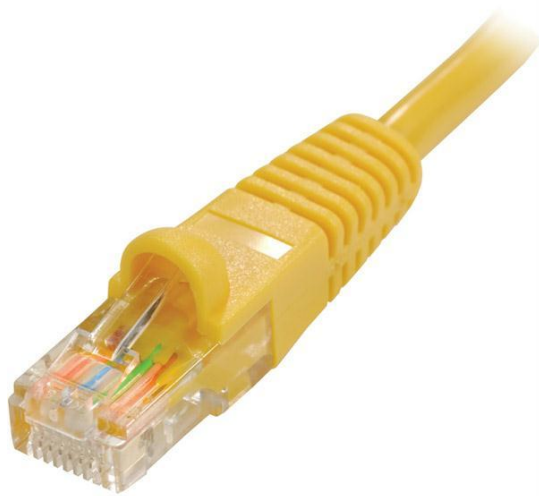
## פרטים :

- שלושה תווכים פיזיים אושרו, כל אחד עם יתרונות וחסרונות

Name	Cable	Max. Seg. Length	Advantages
100Base-T4	Twisted pair	100 m	Uses category 3 UTP
100Base-TX	Twisted pair	100 m	Full duplex at 100Mbps (Cat 5 UTP)
100Base-FX	Fiber optics	2000 m	Full duplex at 100Mbps; long runs

# קטגוריה 5 UTP

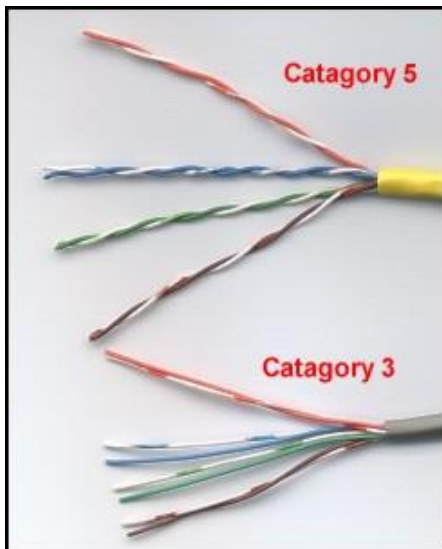
- Cat 5 יכול להתמודד עם  $125MHz$  ל-100 מ' •  
• לכן לא צריכים את הטריקים של Cat 3



## פתרון:

- עוזבים את מנציסטר (50% יעילות) -  
נשתמש ב-4B/5B במקום (80% יעילות)
- 4B/5B משתמש בחלק מהשילובים של 5 סיביות עבור נתונים
- השאר אסורים או משמשים לאיתות בתוך הפס
- משתמשים בחוט אחד להעלות, חוט שני להוריד

$$1 \text{ bit} \times 100MHz = 100Mbps \quad \bullet$$



# סיבים אופטיים

סיבים יכולים להעביר בקלות עם 100 Mbps בדופלקס מלא

- האורך הוא יותר מ-200 מ', כך שכל כבלי הסיבים חייבים לעבור דרך מתגים - ללא רכזות
- כלומר, אין התנגשויות, כך שאין CSMA/CD



# אתרנט גיגה-ביט : אתגר

---

בשנת 1999, IEEE הוציאה 1 Gbps - Gigabit Ethernet

אותן דרישות :

- חומרה דומה
- אותו מבנה מנה
- אותם מאפייני פרוטוקול (מינימום, גודל מנות מרבי)

איך?

# אתרנט גיגה-ביט : פתרון

- בגיגה-ביט אתרנט רגיל, הכול עובר דרך מתגים
- ללא רכזות, אין התנגשויות, אין CSMA/CD
- מה אם בכל זאת רוצים להשתמש ברכזות?

## פתרון לא ריאלי:

- צמצם את המרחק המרבי ל-25 מטר

## פתרון:

- שמור על מרחק מרבי של 200 מטר
- הגדל את גודל המנה המינימלי ל-512 בתים (!)
- **Frame Bursting** מאפשר לשלוח מספר מסגרות בו-זמנית אם הם קטנים מ-512 בתים.
- כרטיס הרשת מרפד בשקט מסגרות עם 0-ים אם הן קטנות מ-512 בתים ( **Carrier Extension** )
- מהי היעילות עבור חבילת מינימום ישנה?

# הדורות הבאים

## 10 Gigabit Ethernet - 2002

- משתמש רק במתגים, כך שאין CSMA/CD
- 25/50 Gbps Ethernet קיים כעת למרכזי נתונים
- הספקת-כוח על גבי אתרנט Power over Ethernet

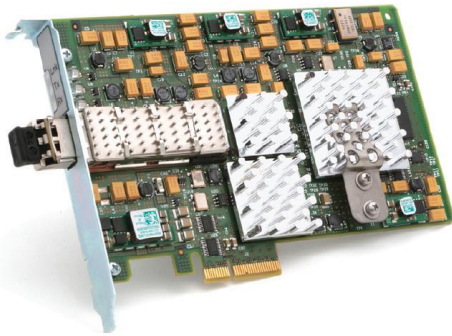


Figure 1. Cisco ASR 9000 Series 2-Port 100 Gigabit Ethernet Line Card

## 2010 - 40 Gbps ו-100 Gbps אתרנט

- 40 Gbps לשימוש במרכזי נתונים
- 100Gbps עבור חיבורי רשת למרחקים ארוכים
- משתמשים ב- $(4 \times 25Gbps)$

## כעת: עובדים על 400Gbps ו-1Tbps אתרנט

- רוצים לשמור על מבנה המסגרת וגודל מסגרת
- מרחקים של עד 10 ק"מ



# מפת הדרכים של Ethernet Alliance 2025

## BACK TO THE FUTURE OF ETHERNET EST. 1973

### CLOUD PROVIDERS

Cloud providers widely adopted 10G servers in 2010 to support hyperscale data centers. By the 2020s, the growing demand for AI and Machine Learning applications required faster connectivity, leading hyperscalers to transition from 25G/40G speeds to 50G, 100G, and beyond. These warehouse-scale data centers utilize a diverse mix of active and passive copper cables, multi-mode and single-mode fiber, and emerging technologies like linear Pluggable Optics (PLO) to support 100G, 200G, 400G, and 800G interconnects. The challenge remains balancing bandwidth growth with power efficiency and cooling innovations to sustain rapid scaling.

Over the past decade, the gap between Telco and Cloud provider networking needs has narrowed, particularly with the global expansion of 5G services. Historically, telco drove technology advancements to match and ease equipment demands, while cloud and hyperscale providers prioritized higher density, faster speeds, and energy-efficient interconnects. Today, the two sectors are more aligned than ever, fostering greater collaboration to develop and deploy scalable, high-performance networking solutions that meet both enterprise and consumer market needs.

### SERVICE PROVIDERS & ENTERPRISE

Service providers have long been at the forefront of high-speed Ethernet innovation, driving advancements in router connections, EPON, optical transport (OTN) client optics, and wired and wireless backhaul. The global rollout of 5G networks has intensified demand for frontend and backhaul solutions, accelerating Ethernet's evolution toward higher speeds and longer distances.

With consumer video consumption surging, bandwidth requirements show no signs of slowing. Service provider networks continue to push Ethernet speeds forward, with 1.6 Tb/s on the horizon to meet growing data demands. Synchronous Ethernet (SyncE) has become a

cornerstone of 5G network synchronization, and its adoption is expected to expand significantly in the coming years as Telco deploys next-generation services.

Enterprise and campus networks represent a massive market for Ethernet, with over a billion ports shipping annually. The majority of these ports are BASE-T at the access layer, while multi-mode (MMF) and single-mode fiber (SMF) support higher-speed connections deeper in the network. Evolving Wi-Fi access points and Enterprise-class client devices are accelerating the transition to higher-speed Ethernet. BASE-T ports are shifting from 10GBASE-T to 25G, 50G, and 100G BASE-T, while optical ports are rapidly advancing from 10G/40G to 25G, 100G, and 200G, ensuring greater capacity, efficiency, and future scalability.

### AUTOMOTIVE, WI-FI, ENTERPRISE & 5G

Automotive industry is embracing Ethernet as the backbone of next-gen vehicle connectivity. Single-Pair Ethernet (SPE) enables cost-effective, scalable in-vehicle networking, supporting ADAS, autonomous vehicles, and infotainment while accelerating the convergence of legacy TPN technologies. A major shift to zonal architectures is reducing vehicle weight and complexity, while Time-Sensitive Networking (TSN) ensures deterministic, real-time communication for safety-critical applications. With software-defined vehicles (SDV) on the rise and the rapid growth of the automotive Ethernet market, demand is surging for high-speed, low-latency networking. These advancements position Ethernet as the foundation for intelligent, connected transportation, delivering the performance, reliability, and scalability needed for the future of mobility.

As Wi-Fi 7 (802.11be) rolls out, Ethernet remains the backbone enabling high-speed, low-latency connectivity for next-gen wireless networks. With multi-link operation (MLO), 320 MHz channels, and 40% QAM, Wi-Fi 7 delivers faster speeds and improved efficiency, but reliable wired backhaul is essential to unlock its full potential. Ethernet's role in powering smart enterprises, industrial, and home networks continues to expand, supporting higher-speed access points (APs), lower latency, and seamless integration with 5G and fiber networks. The synergy between Wi-Fi and Ethernet is critical for enabling scalable, high-performance hybrid networks for the future.

### AUTOMATION, 5G, AUTOMOTIVE & ENTERPRISE

The convergence of Ethernet, 5G, and automation is transforming industrial and building networks. 5G's wireless flexibility combined with Ethernet's reliability enables real-time, deterministic communication, crucial for Industrial IoT (IIoT) and smart automation. This synergy enhances network efficiency, scalability, and automation, paving the way for Industry 4.0 innovations.

Industrial and building automation applications are rapidly shifting from legacy fieldbus networks to Ethernet, accelerating the adoption of Interconnection, Information Transparency, Technical Assistance, and Decentralized Decision—the core themes of Industry 4.0. Ethernet unlocks decades of IT networking advancements while delivering ruggedized physical layer like 10BASE-T1L, designed for harsh operational environments. Additionally, Time-Sensitive Networking (TSN) is revolutionizing real-time automation, bringing Ethernet back to its roots with 10/100 Mb/s speeds and shared media, now enhanced for modern industrial applications.

Ethernet Alliance © 2025

- אתרנט
- אתרנט מהיר
- 100 Mbps
- 1 Gbps
- מיתוג
- שכבה 2 (קישור)
- שכבה 3 (רשת)
- מנות נתונים
- מעגל מדומה

- מתג הוא קופסת

- אלקטרוניקה עם 4 עד 32

- כרטיסים

- כל כרטיס מכיל 1-8 יציאות

- הכרטיסים מחוברים באמצעות לוח

- אחורי במהירות גבוהה (Gbps)

- כל יציאה מתחברת למחשב אחד (או

- לרבות)

שני סוגי כרטיסים :

1. לכל קלף יש חוצץ

- כלומר, רק מחשב אחד יכול לדבר בכרטיס בכל פעם

- מצמצם את תחומי ההתנגשות רק ליציאות באותו כרטיס

2. לכל יציאה יש מחסנית

- כלומר, לכל יציאה יש מחסנית לשליחה/קבלה ייעודית

- לא יהיו התנגשויות בכלל (מכיוון שכל יציאה עצמאית)



# אתרנט ממותג

- מתג מוסיף
- ניהול תורים
- **טבלת ניתוב**
- העברה סלקטיבית

מתג מפעיל את החוקים הבאים כאשר מסגרת מגיעה מ-Y ומיועדת ל-X

- אם ל-X יש ערך בטבלת הניתוב
- אם המסגרת הגיעה מיציאה לכיוון X, מתעלמים ממנה
- אחרת, שולח אותה ליציאה לכיוון X
- אם ל-X אין ערך בטבלת הניתוב
- שולח את המסגרת על כל היציאות מלבד זו שממנה היא הגיעה
- אם ל-Y אין ערך בטבלת הניתוב
- מוסיף את היציאה שממנה הגיעה המסגרת בתור היציאה לכיוון Y

# יתרונות המתג

---

אנו מקבלים:

- תחומי התנגשות מחולקים (חלוקת רשתות Ethernet)
- ניהול תורים
- התאמה למהירויות רשת משנה מרובות

מתגים קצת יותר יקרים מרכזות

- מתג 10/100/1000 עולה \$25-\$100
- עלויות רכזת 10/100 בעצם בלתי אפשרי למצוא עכשיו לקנות

# בעיות אבטחה באתרנט

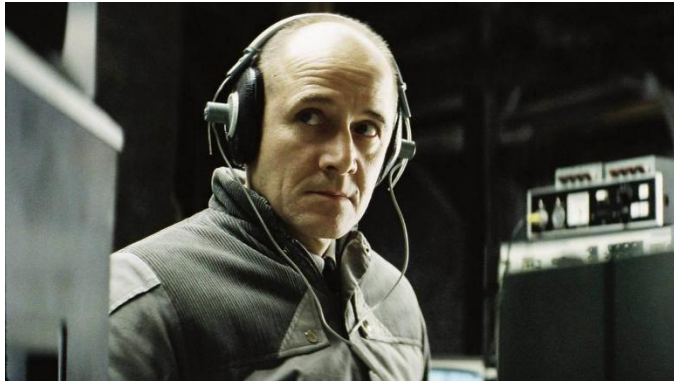


Image copyright Sony Pictures Classics and Sony Pictures Entertainment

## מצב מרחרח

- מרחרח שומע את כל המסגרות ברשת

## פחות בעיה באתרנט ממותג

- למה?

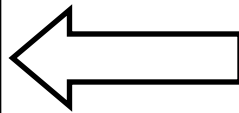
- אתרנט
- אתרנט מהיר
- 100 Mbps
- 1 Gbps
- מיתוג
- שכבה 2 (קישור)
- שכבה 3 (רשת)
- מנות נתונים
- מעגל מדומה

# Open Systems Interconnection (OSI)

מחשב קצה

מודל פורמלי – לא מימש אמיתי

Application אפליקציה	שולח הודעות (למשל, HTTP או FTP)
Presentation תצוגה	מטפל בפורמט נתונים (למשל, big- vs. little-endian)
Session שיחה	מנהל זרימות נתונים
Transport תעבורה	פרוטוקולי תהליך לתהליך
Network רשת	מנתב מנות בין צמתים ברשת
Link עורק	אורז סיביות בתוך מסגרות
Physical פיזי	מעביר סיביות פשוטות על גבי הלינק



# ניתוב מנות

מתג

- בעל כניסות רבות ויציאות רבות
- לוקח מנות שמגיעות מיציאה אחת ושולח אותן דרך היציאה הנכונה



בעיה מרכזית : רוחב פס סופי ברשת

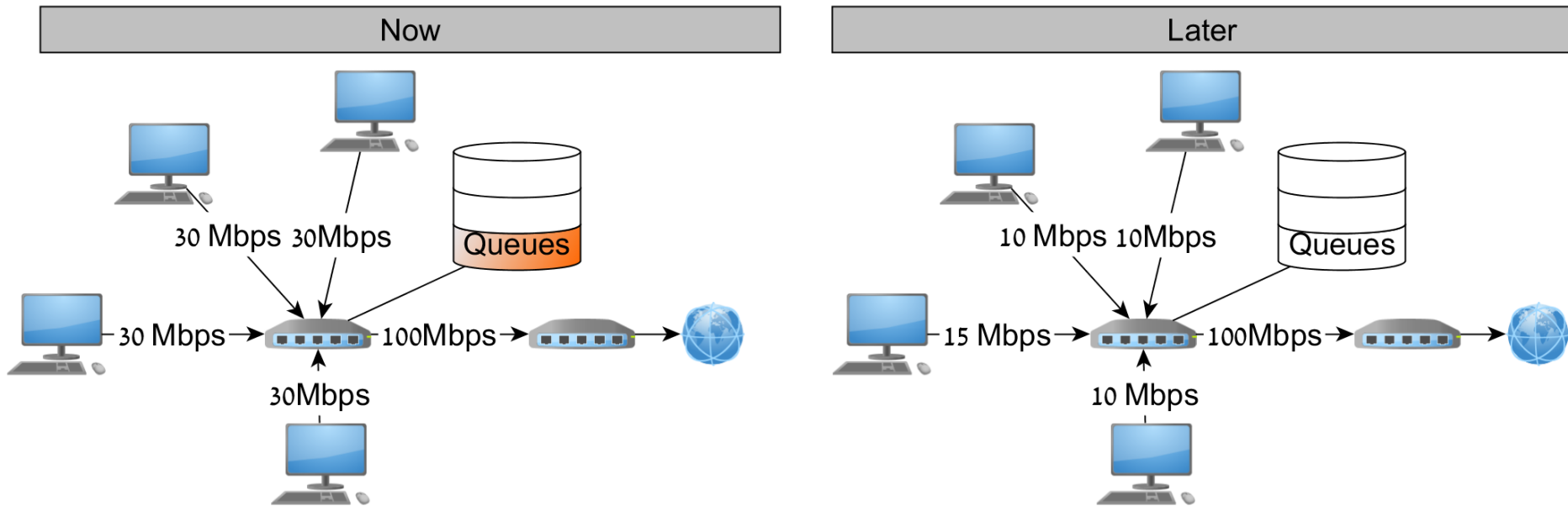
פקקים / גודש

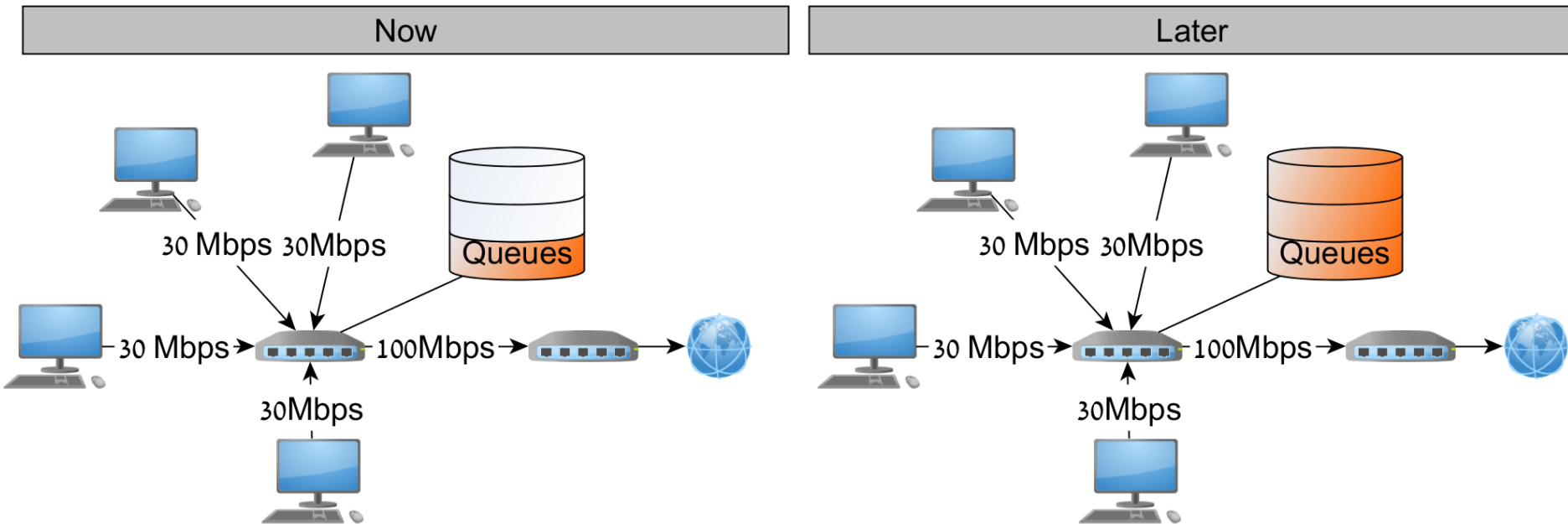
עימות

– נגמר מקום האחסון במחסני המתג

– נאלץ למחוק מנות

– קצב ההגעה של מנות המיודעות לאותה יציאה עולה על קיבולת הקו  
– המתג שומרת מנות במחסנית





# החלטת העברה

- איך המתג יודע לאן להעביר מנה?
- מסתכלים על כותרת המנה להחליט
- גישות נפוצות

ניתוב מקור  
• פחות נפוץ

מעגל מדומה (או  
מכוון חיבור)  
• למשל, Frame  
Relay, ATM

מנות נתונים (או  
ללא חיבור)  
• למשל, IP

# ניתוב : נסיעה לעפולה מכנרת

## אפשרות 1:

רשות הדרכים מציבה שלט בכל צומת להראות לאיזה כיוון לנסוע אם יש 200 יעדים אפשריים, צריכים 200 חיצים בכל צומת בכל צומת מחפשים בין 200 חיצים למצוא את החץ לעפולה.

## אפשרות 2:

ראשית, שלח מישהו שיודע את הדרך. הוא מציב שלט בכל צומת עם השם "מייקל" וכיוון הנסיעה. צריך רק שיהיו כמה שלטים בכל צומת כמו מספר הנוסעים. הגדרת המסלול עולה הלוך ושוב אחד



- אתרנט
- אתרנט מהיר
- 100 Mbps
- 1 Gbps
- מיתוג
- שכבה 2 (קישור)
- שכבה 3 (רשת)
- מנות נתונים
- מעגל מדומה