חוברת לימוד · רשתות תקשורת · שכבה יג תשפ"ז

Ethernet · מבנה המסגרת · כתובת MAC

שבוע 2 · 10/09–06/09 · **בנימין נאור**

בשבוע שעבר בניתם רשת וה-`ping` עבד. עכשיו נסתכל על מה שבאמת עבר בכבל — מסגרת `Ethernet` — ונענה על השאלה איך המתג יודע לאן להעביר אותה.

1. תקן `IEEE 802.3` ומבנה המסגרת

`Ethernet` הוא התקן השולט ברשתות מקומיות. היחידה שלו נקראת **מסגרת** (`Frame`), וזה המבנה שלה:

```
+----------+----------+------+--------------+-----+
|   DEST   |  SOURCE  | Type |     DATA     | FCS |
| 6 bytes  | 6 bytes  | 2 b  |  46-1500 b   | 4 b |
+----------+----------+------+--------------+-----+
     ^
     first field on the wire
```

שדה כתובת היעד הוא הראשון שעובר בכבל — לפני כתובת המקור. זה מה שמאפשר למתג להתחיל להחליט מוקדם.

שדה	גודל	תפקיד
כתובת יעד	6 בתים	ה-`MAC` של מי שאמור לקבל
כתובת מקור	6 בתים	ה-`MAC` של מי ששלח
`Length` / `Type`	2 בתים	איזה פרוטוקול נמצא בפנים (0x0800 = `IPv4`)
נתונים	46–1500 בתים	החבילה של שכבה 3
`FCS`	4 בתים	בדיקת תקינות. מסגרת פגומה נזרקת

טיפ · שימו לב שכתובת **היעד ראשונה**. זה לא מקרי: כך המתג יכול להתחיל להחליט לאן להעביר עוד לפני שקרא את כל המסגרת.

2. כתובת `MAC`

כתובת `MAC` היא מזהה פיזי של כרטיס רשת. אורכה **48 סיביות**, ונכתבת כ-12 ספרות הקסדצימליות:

```
  00:1A:2B    :    3C:4D:5E
 |________|       |________|
     |                |
    OUI            SERIAL
  24 bits         24 bits
assigned by     assigned by
   IEEE            vendor
```

24 הסיביות הראשונות הן ה-`OUI` ומזהות את היצרן; `IEEE` מקצה אותן. 24 האחרונות הן מספר סידורי שהיצרן קובע. יחד — 48 סיביות ייחודיות בעולם.

בזכות החלוקה הזו כל כתובת בעולם ייחודית: `IEEE` מוודא שלא יינתן אותו `OUI` לשני יצרנים, וכל יצרן אחראי לא לחזור על מספר סידורי.

3. שלושה סוגי כתובת יעד

סוג	כתובת היעד	מי מקבל
`Unicast`	`MAC` של התקן ספציפי	התקן אחד בלבד
`Broadcast`	`FF:FF:FF:FF:FF:FF`	כל ההתקנים ברשת המקומית
`Multicast`	מתחילה ב-5E:01:00	קבוצה מוגדרת של התקנים

> ⚠ **שימו לב ·** מסגרת `broadcast` נשלחת לכל היציאות פרט לזו שממנה הגיעה. ככל שהרשת גדלה, נפח ה-`broadcast` גדל — וזו בדיוק הבעיה שתוביל אותנו בהמשך ל-`VLAN`.

4. איך המתג לומד — הלב של השיעור

מתג לא מגיע עם רשימת כתובות. הוא **לומד** אותה מהתעבורה שעוברת בו, לפי שני כללים פשוטים:

```
RULE 1  --  LEARN from the SOURCE address
    frame arrives on port 3, source = AA:AA
    =>  table entry:   AA:AA  ->  port 3

RULE 2  --  FORWARD by the DESTINATION address
    destination known      ->  that port only
    destination unknown    ->  flood all other ports
    destination broadcast  ->  flood all other ports
```

שני כללים, וזה כל מה שמתג עושה: לומד מכתובת המקור, ומעביר לפי כתובת היעד.

הפקודה	מה היא עושה
`show mac address-table`	מציג את הטבלה הנוכחית
`clear mac address-table dynamic`	מנקה את מה שנלמד

בפעם הראשונה שתי תחנות מדברות, המתג לא מכיר אף אחת ולכן מציף. אחרי מסגרת אחת לכל כיוון הוא כבר מכיר את שתיהן, ומכאן התעבורה ממוקדת.

הטבלה נשמרת ב-`RAM` ולכן נמחקת באתחול. לרשומה יש גם זמן תפוגה — אם התקן שתק מספיק זמן, הרשומה נמחקת.

5. `CSMA/CD` — ומה קרה לו

פעם כל המחשבים היו מחוברים לאותו כבל משותף. אם שניים שידרו יחד — התנגשות, ושתי המסגרות נהרסו.

`CSMA/CD` היה המנגנון שטיפל בזה: כל תחנה מקשיבה לפני שידור (`Carrier Sense`), אם הקו פנוי היא משדרת, ואם היא מזהה התנגשות (`Collision Detection`) — היא עוצרת, ממתינה זמן אקראי ומנסה שוב.

היום כל יציאה במתג היא **תחום התנגשות נפרד**, והתקשורת דו-כיוונית מלאה (`full duplex`). התנגשויות פשוט לא קורות.

אז למה ללמוד? כדי להבין איזו בעיה מיתוג פתר. וגם כי במבחן שואלים.

דוגמה פתורה

השאלה

מתג ריק. `PC-A` (`MAC AA:AA`) ביציאה 1 שולח מסגרת ל-`PC-B` (`MAC BB:BB`) ביציאה 2. `PC-C` יושב ביציאה 3. תארו מה קורה, ומה מצב הטבלה אחרי כל שלב.

הפתרון צעד אחר צעד

1. **המסגרת נכנסת ביציאה 1.** המתג קורא את כתובת המקור `AA:AA` ורושם: `AA:AA` ← יציאה 1. טבלה: {`AA:AA` → 1}
2. **המתג בודק את היעד `BB:BB`.** הוא לא בטבלה.
3. **המתג מציף:** שולח את המסגרת ליציאות 2 ו-3 — לכולן חוץ מזו שממנה הגיעה. גם `PC-C` מקבל אותה.
4. **`PC-C` בודק את היעד**, רואה שזה לא הוא, וזורק את המסגרת. `PC-B` מקבל ומעבד.
5. **`PC-B` עונה.** התשובה נכנסת ביציאה 2 עם מקור `BB:BB`. המתג רושם: `BB:BB` ← יציאה 2. טבלה: {`AA:AA` → 1, `BB:BB` → 2}
6. **המתג בודק את היעד `AA:AA`** — עכשיו הוא כן בטבלה. המסגרת נשלחת **רק** ליציאה 1. `PC-C` לא רואה כלום.

תשובה · מסגרת אחת הוצפה, ומשם והלאה התעבורה ממוקדת. המתג לא 'יודע' — הוא למד, ממסגרות שעברו דרכו.

תרגילים — פתרו לבד לפני שאתם בודקים בכיתה

1. כמה בתים בכתובת `MAC` וכמה ספרות הקסדצימליות?
2. למה שדה כתובת היעד מופיע לפני שדה המקור?
3. מה עושה מתג כשכתובת היעד אינה בטבלה שלו?
4. מהי כתובת ה-`broadcast` ולאן היא נשלחת?
5. מה יקרה אם שני כרטיסי רשת יקבלו אותה כתובת `MAC`?
6. מה החלק הראשון בכתובת `MAC` ומה אפשר ללמוד ממנו?
7. למה `CSMA/CD` כמעט לא רלוונטי היום?
8. ניקיתם את הטבלה. מה יקרה ל-`ping` הבא?

דף עבודה — מעבדה 2 — טבלת ה-`MAC` בפועל

שם: _____ תאריך: _____ חוליה: _____

המטרה: לראות את הטבלה נבנית לנגד עיניכם.

מהלך — סמנו כל שלב שהושלם

- ☐ פתחו את הטופולוגיה עם שתי תחנות ומתג.
- ☐ היכנסו למתג ל-`privileged mode` והריצו: `show mac address-table` רשמו כמה רשומות יש:

  _____
- ☐ הריצו `ping` מ-`PC0` ל-`PC1`.
- ☐ הריצו שוב `show mac address-table.` רשמו את הטבלה.
- ☐ נקו את הטבלה: `clear mac address-table dynamic`
- ☐ הריצו `show` שוב **בלי** לשלוח תעבורה. מה רואים?
- ☐ הריצו `ping` ואז `show`. מה השתנה?
- ☐ מצאו את כתובת ה-`MAC` של `PC0` (`Desktop` → `Command Prompt` → `ipconfig` /`all`) והשוו לטבלה.

רישום התוצאות

#	מה למלא	חישוב · הערות · ראיות (פלט פקודה)
1	טבלה לפני ה-`ping`: _____	_____
2	טבלה אחרי ה-`ping`: _____	_____
3	טבלה מיד אחרי הניקוי: _____	_____
4	ה-`OUI` של `PC0`: _____ מה זה אומר? _____	_____

רפלקציה — שתי שורות

מה היה הכי קשה, ומה פתר את זה?

_____

מה הייתי עושה אחרת בפעם הבאה?

_____

אישור המורה: ☐ שאלון היחידה ב-(100) Moodle ☐ שיעורי הבית (30) · **XP** _____ · תג: ☐ מכיר/ה את השטח · חתימה _____

כרטיס יציאה — 3 שאלות, 5 דקות, נמסר ביציאה

1. כמה סיביות בכתובת `MAC`?

---

2. לפי איזה שדה המתג לומד?

---

3. לפי איזה שדה המתג מעביר?

עוד לבדיקה עצמית — ענו בעל פה, בלי להסתכל אחורה

1. איפה נשמרת טבלת ה-`MAC`?

מילון מונחים

עברית	אנגלית	הסבר קצר
מסגרת	`Frame`	יחידת הנתונים של שכבה 2
כתובת פיזית	`MAC Address`	48 סיביות, מזהה כרטיס רשת
מזהה יצרן	`OUI`	24 הסיביות הראשונות ב-`MAC`
שידור לכולם	`Broadcast`	`FF:FF:FF:FF:FF:FF`
הצפה	`Flooding`	שליחה לכל היציאות כשהיעד לא מוכר
תחום התנגשות	`Collision Domain`	אזור שבו מסגרות עלולות להתנגש
בדיקת תקינות	`FCS`	השדה שמזהה מסגרת פגומה

להעמקה

בספר הקורס

- **ITN 7** — Ethernet Switching
- **ITN 6** — Data Link Layer · עמוד 204

קבצים שנעבוד איתם

- Port Security.docx
- תרגיל פשוט.pkt