
מיתוג

20 מאי 2025
הרצאה 8

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

נושאים להיום

- מיתוג
- שכבה 2 (קישור)
- שכבה 3 (רשת)
- מנות נתונים
- מעגל מדומה
- ~~802.11 אלחוטית~~

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



לנסוע מכנרת לעפולה

בעיה: מה אם יותר מאדם אחד בשם "מייקל" צריך לנסוע בצומת נתון?

פתרון:

ודא שלכל אדם יש שם ייחודי בכל צומת (לא חייב להיות גלובלי).
בכל צומת שים שלוש פיסות מידע: (א) שם, (ב) כיוון הנסיעה, (ג) שם בצומת הבא.

דוגמה:

בצומת **צמח**: מיכאל, לך ישר. שם הבא: נח.
בצומת **כנרת**: נח, פנה שמאלה. שם הבא: סלמן.
בצומת **אלומות**: סלמן, לך ישר. השם הבא: עוזי.
בצומת **יבנאל**: עוזי, לך ימינה. שם הבא: פאדל.

נח

מייקל



מייקל

מייקל

שיטת מנות נתונים Datagram

כל מנה מכילה את כתובת היעד המלאה

- מספיק מידע כדי שכל מתג יוכל להחליט לאן המנה צריכה ללכת.

מאפיינים של שיטת Datagram :

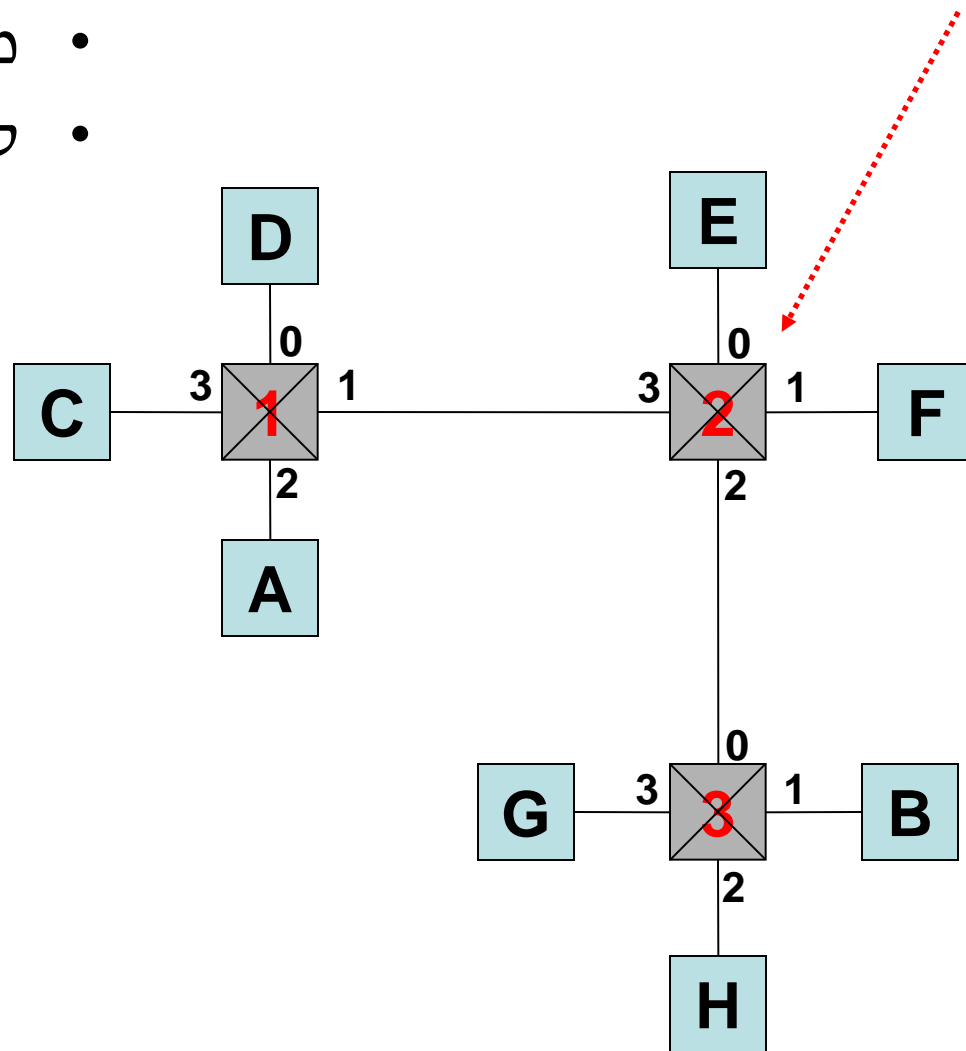
- ניתן לשלוח מנות **לכל מקום ובכל זמן**
- השולח **אינו יודע** אם הרשת יכולה להעביר את המנה עד היעד (או אם היעד זמין)
- כל מנה מועברת באופן **עצמאי** (שתי מנות עשויות לעבור במסלולים שונים)
- ניתן **לנתב מסביב** לכשלים ברשת

טבלאות ניתוב

- מכיל מידע על המסלול
- קל לקבוע אם הרשת ידועה (וסטטית)

טבלת ניתוב למתג 2

Dest.	Port
A	3
B	2
C	3
D	3
E	0
F	1
G	2
H	2



גישת מעגל מדומה Virtual Circuit

- מגדיר את החיבור לפני העברת הנתונים

- מקצה משאבים במעגלים

- מגדיר את טבלאות העברה

היתרונות של גישת מעגלים מדומים



- ביצועים: עלות מיתוג לכל מנה נמוכה



- אמינות: השהיה ותפוקה ידועים מראש

החסרונות



- זמן ההתקנה ארוך

- לפחות RTT אחד - למה?

- סובלנות לתקלות

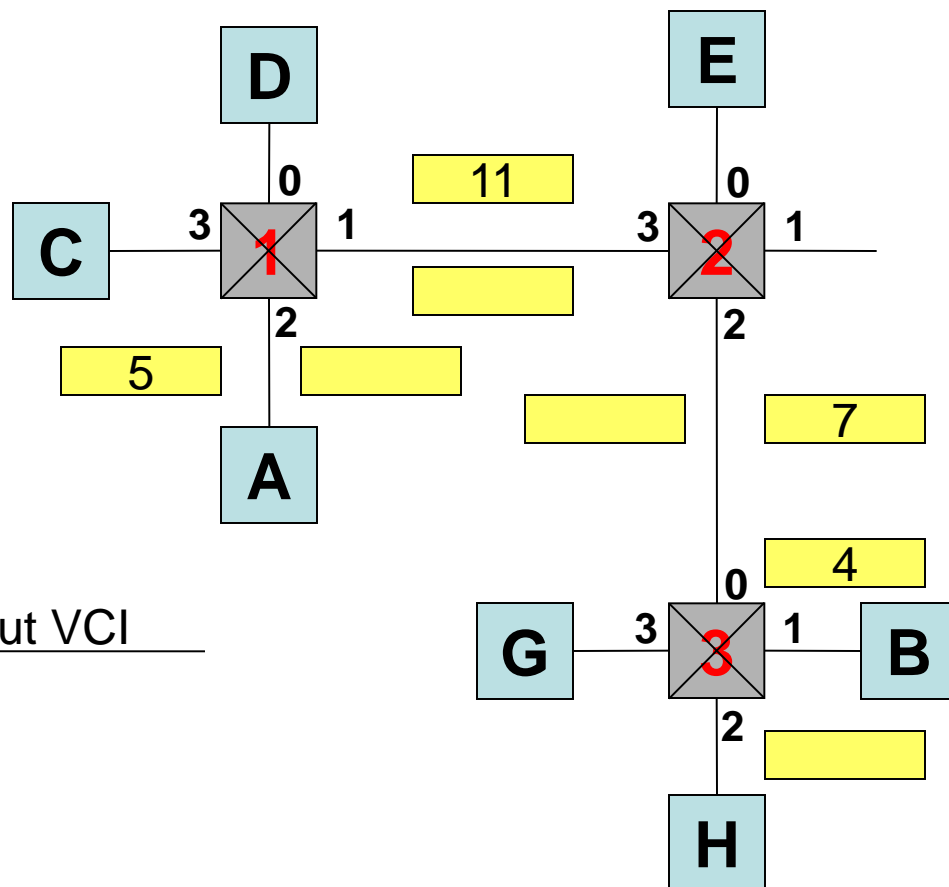


- מה אם המעגל נכשל במהלך השידור?

מיתוג מעגלים מדומים

- $VCI =$ מזהה מעגל מדומה
- יציאה נכנסת $VCI +$ מזהים באופן ייחודי מעגל מדומה
- שלב ההתקנה ממלא את ערכי טבלת מעגלים בכל מתג

A רוצה לשלוח ל-B



Switch	In Port	In VCI	Out port	Out VCI
1				
2				
3				

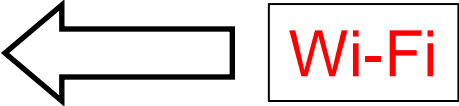
- מיתוג
 - שכבה 2 (קישור)
 - שכבה 3 (רשת)
 - מנות נתונים
 - מעגל מדומה
 - ~~802.11 אלחוטי~~

- מיתוג
 - שכבה 2 (קישור)
 - שכבה 3 (רשת)
 - מנות נתונים
 - מעגל מדומה
- 802.11 אלחוטית

Open Systems Interconnection (OSI)

מחשב קצה

מודל פורמלי – לא מימש אמיתי

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

בדומה לאתרנט, ל-802.11 יש תווד משותף

- צריכים MAC
- משתמש בנסיגה אקספוננציאלית

בניגוד לאתרנט, ב-802.11

- אין דרך לזהות התנגשות תוד כדי שליחה
- לא כל השולחים מחוברים לכל המקבלים

מחשבים ברשת אל-חוטית

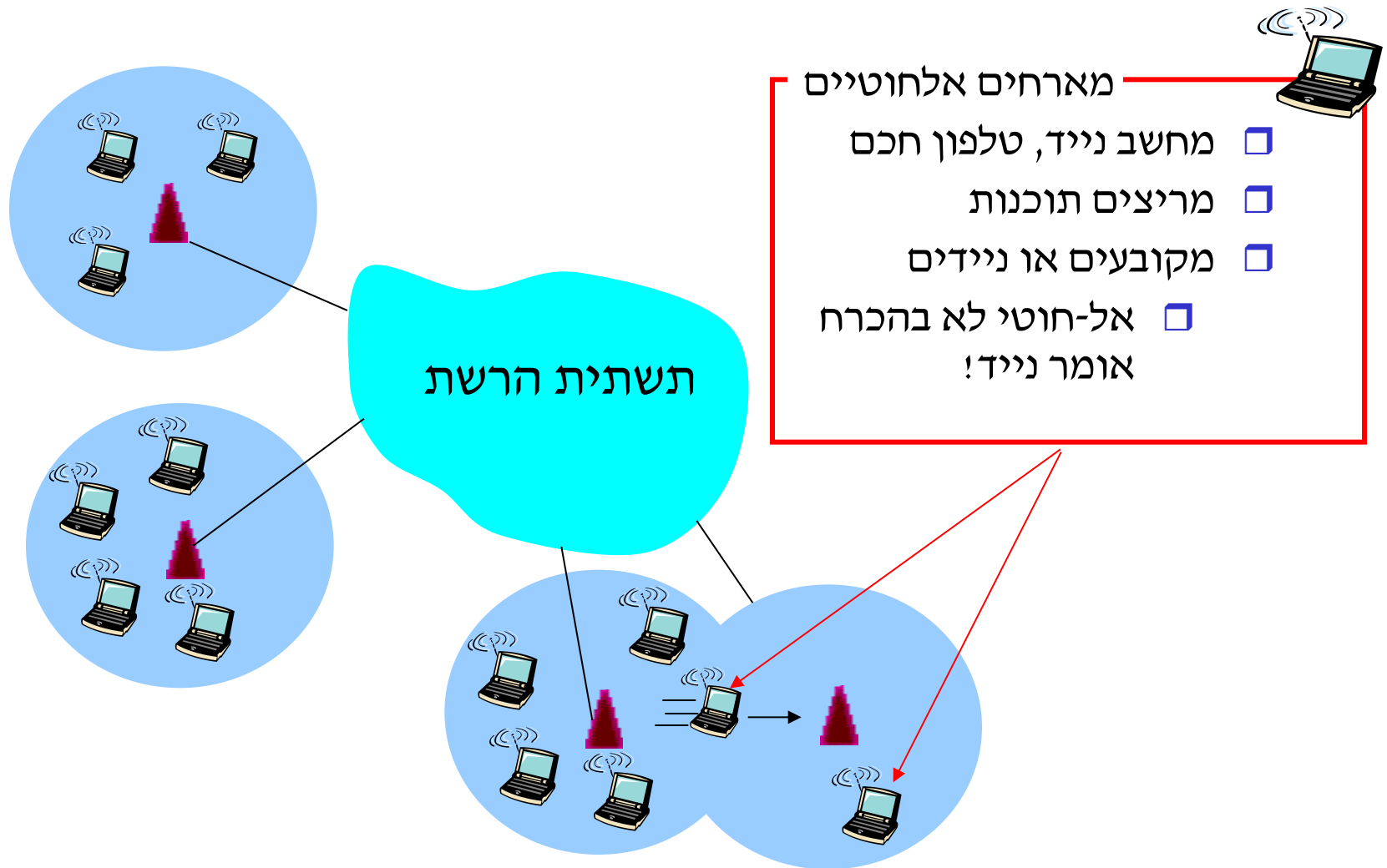
- מחשבים ניידים
- טלפונים חכמים
- טאבלטים
- מוצרים חכמים

מספר מנויי
חיבורים
אלחוטיים (ניידים)
עולה על מספר
מנויי חיבורים
קוויים (טלפון
רגיל)!

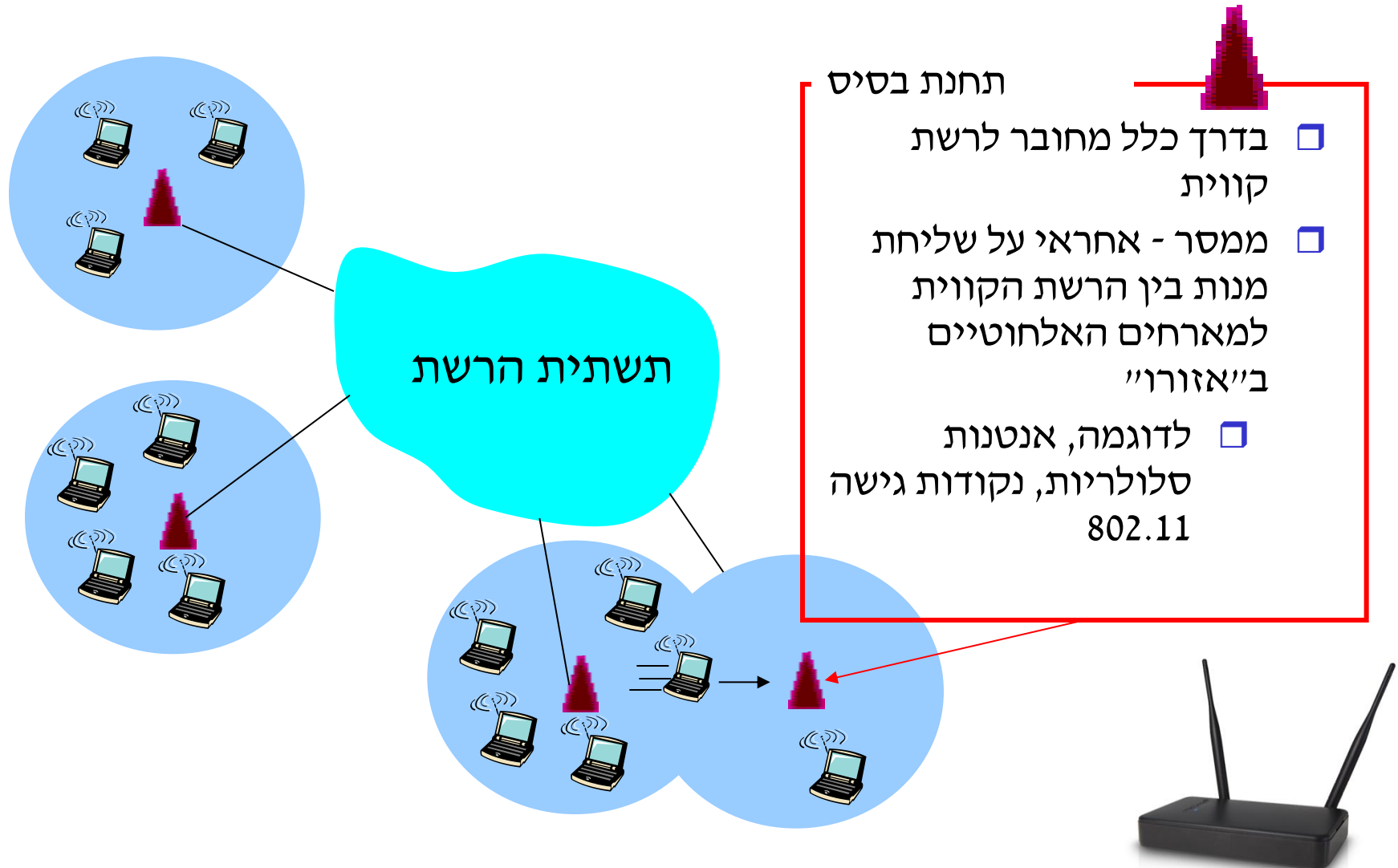
שני אתגרים חשובים (אך שונים)

- **אל-חוטית** : תקשורת באמצעות חיבור רדיו
- **ניוד** : טיפול במשתמש שמשנה את נקודת החיבור לרשת תוך כדי שיחה

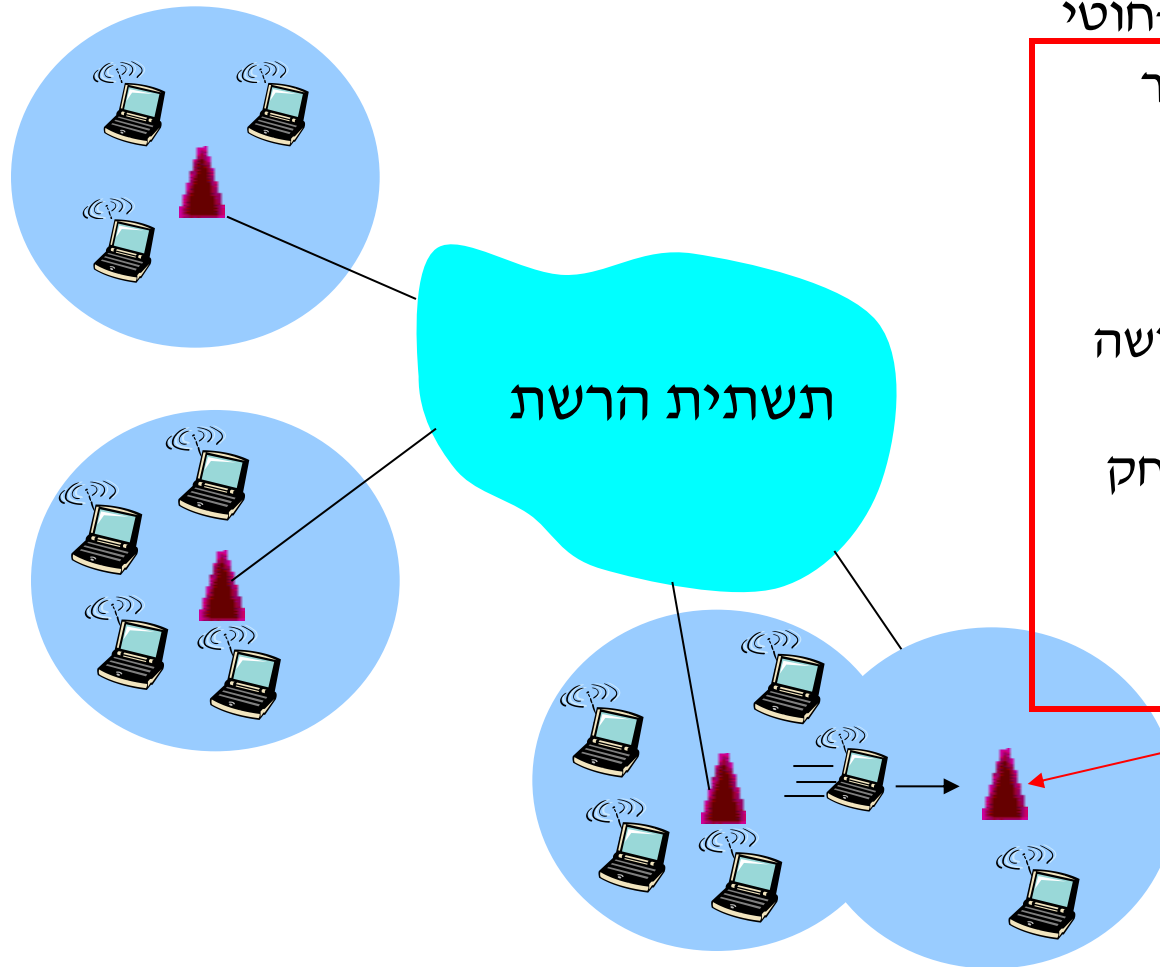
רכיבים של רשת אלחוטית



רכיבים של רשת אלחוטית



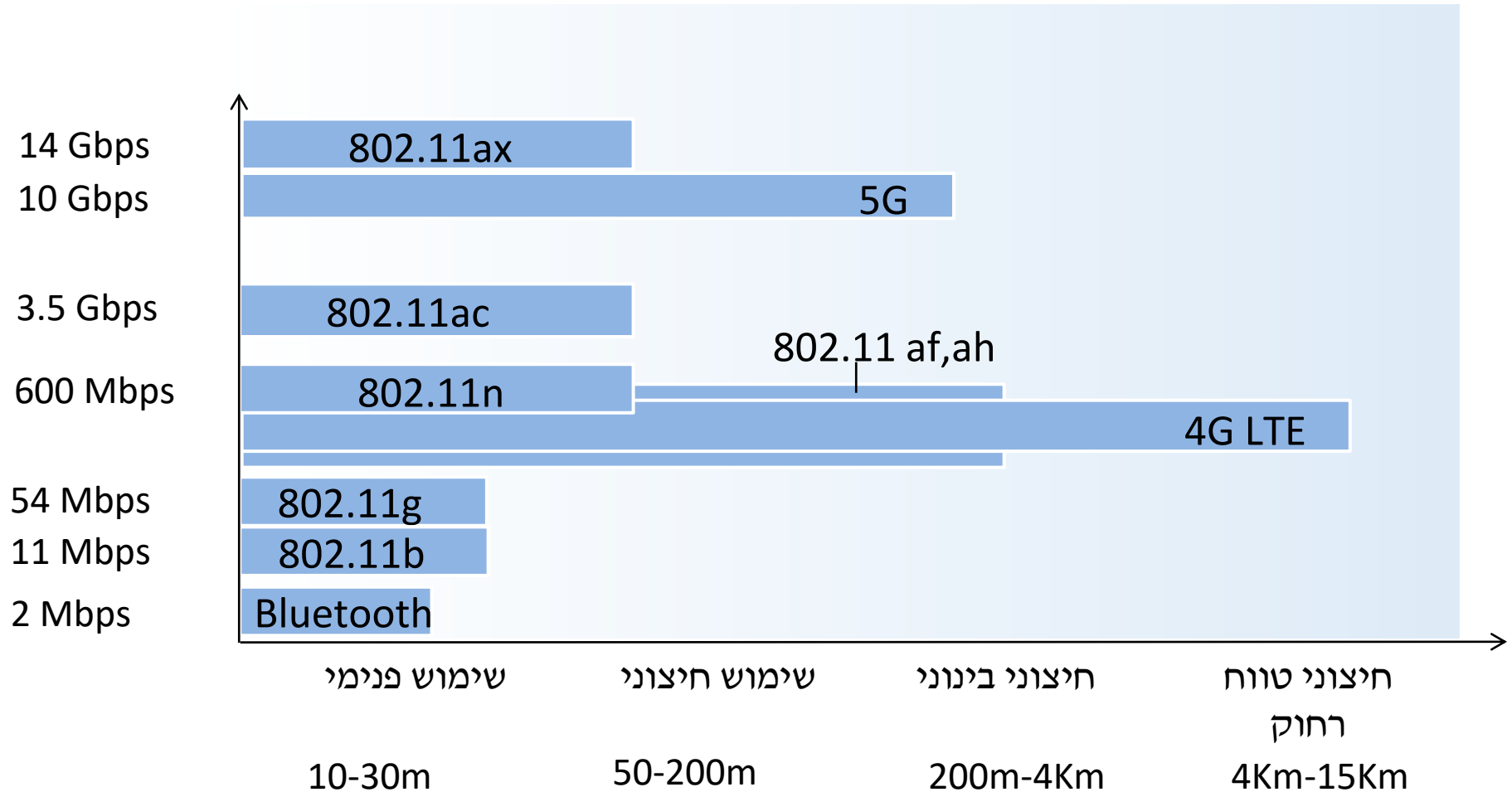
רכיבים של רשת אלחוטית



חיבור האל-חוטי

- ☐ משמש בדרך כלל כחיבור מניידים לתחנת בסיס
- ☐ משמש גם כחיבור לקו "עמוד השדרה"
- ☐ מתאם עם פרוטוקול לגישה מרובה לחיבור
- ☐ קצבי נתונים שונים, מרחק שידור

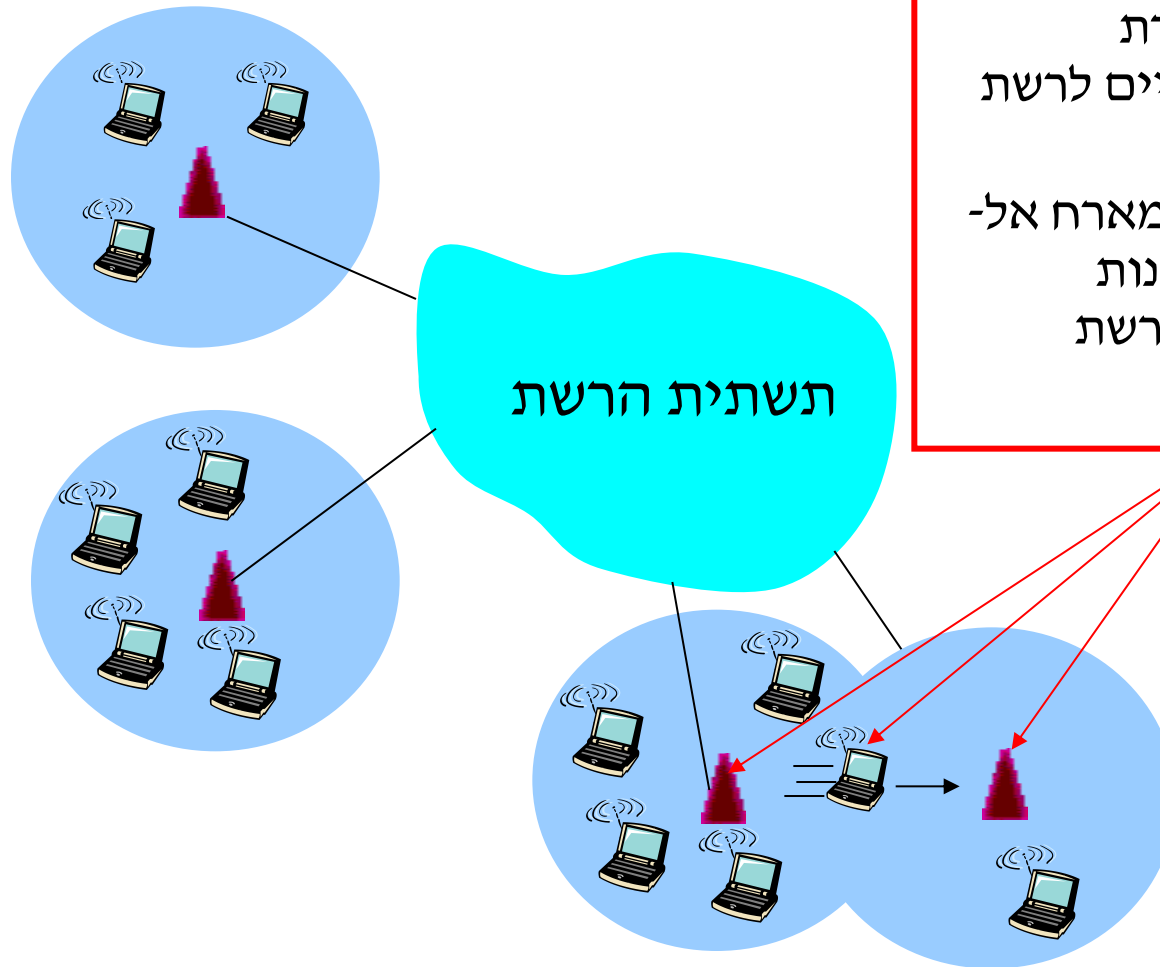
מאפיינים של תקני קישור אלחוטי נבחרים



תקני 802.11 אל-חוטי (Wi-Fi LAN)

IEEE 802.11 standard	Year	Max data rate	Range	Frequency
802.11b	1999	11 Mbps	30 m	2.4 Ghz
802.11g	2003	54 Mbps	30 m	2.4 Ghz
802.11n (WiFi 4)	2009	600	70 m	2.4, 5 Ghz
802.11ac (WiFi 5)	2013	3.47 Gbps	70 m	5 Ghz
802.11ax (WiFi 6)	2021	14 Gbps	70 m	2.4, 5 Ghz
802.11af	2014	35 – 560 Mbps	1 Km	unused TV bands (54-790 MHz)
802.11ah	2017	347 Mbps	1 Km	900 Mhz
802.11be (WiFi 7)	2024	0.4-23,059 Mbps	30-120m	2.4, 5, 6 GHz
802.11bn (WiFi8)	2028 (exp)	100,000 Mbps	30-120 m	2.4, 5, 6 GHz

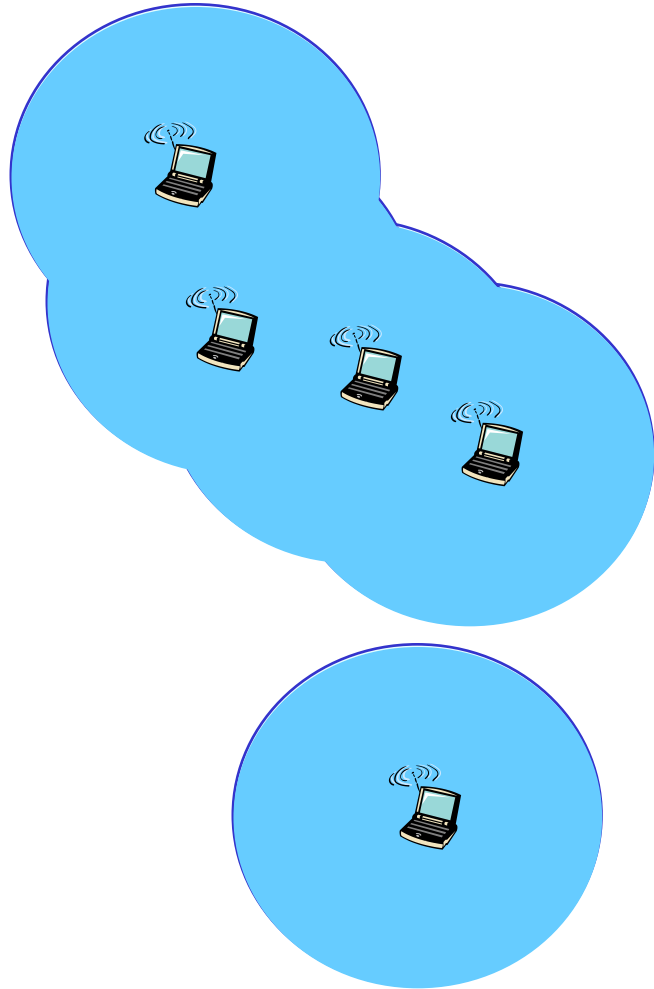
רכיבים של רשת אלחוטית



תצורת תשתית

- תחנת בסיס מחברת מארחים אל-חוטיים לרשת הקווית העולמית
- העברת אחריות : מארח אל-חוטי עובר בין תחנות שמחברות אותו לרשת הקווית העולמית

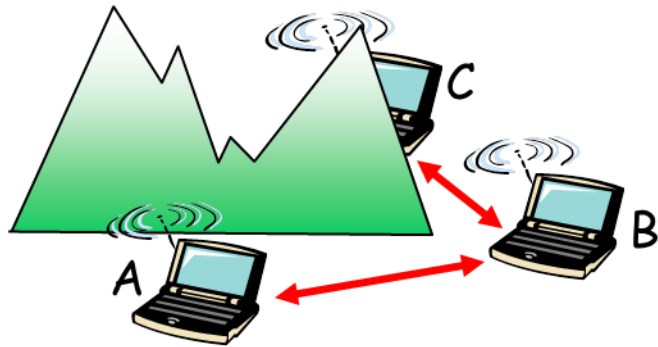
רכיבים של רשת אלחוטית



תצורת אד הוק

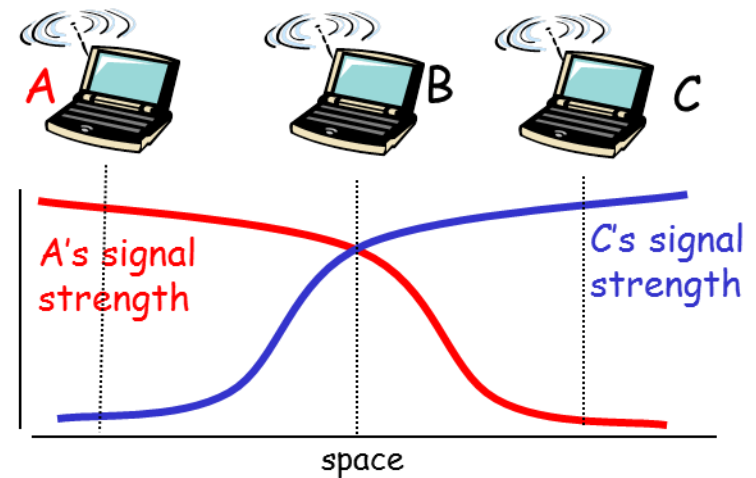
- ☐ אין תחנות בסיס
- ☐ מארחים יכולים לשדר רק למארחים אחרים בתווך כיסוי החיבור
- ☐ מארחים מארגנים את עצמם לרשת: מנתבים בינם לבין עצמם

בעיית הצומת הנסתר



בעיית הצומת הנסתר

- ☐ B, A שומעים אחד את השני
- ☐ B, C שומעים אחד את השני
- ☐ A, C לא שומעים אחד את השני
- ☐ כלומר, A ו-C לא יודעים שהם מתנגשים ב-B



הנחתת האות

- ☐ B, A שומעים אחד את השני
- ☐ B, C שומעים אחד את השני
- ☐ A, C לא שומעים אחד את השני מתנגשים אצל B

בעיית הצומת החשוף



בעיית הצומת החשוף

- ☐ B, C שומעים אחד את השני
- ☐ B רוצה לשדר ל-A
- ☐ C רוצה לשדר ל-D

- ☐ B צריך לדעת ש-D לא שומע את B ולכן ניתן לשדר

הנחתת האות

- ☐ B, C שומעים אחד את השני
- ☐ A, C לא שומעים אחד את השני
- ☐ D, B לא שומעים אחד את השני

תחומי ההתנגשות מורכבים
יותר

התווד משותף

פרוטוקול MAC מותאים
ומורחב
• פרוטוקול להזמנת חלונות שליחה

אופן הפעולה : CSMA/CA
Carrier Sensing Multiple •
Access with Collision
Avoidance
• חש התווד גישה מרובה עם מניעת
התנגשויות

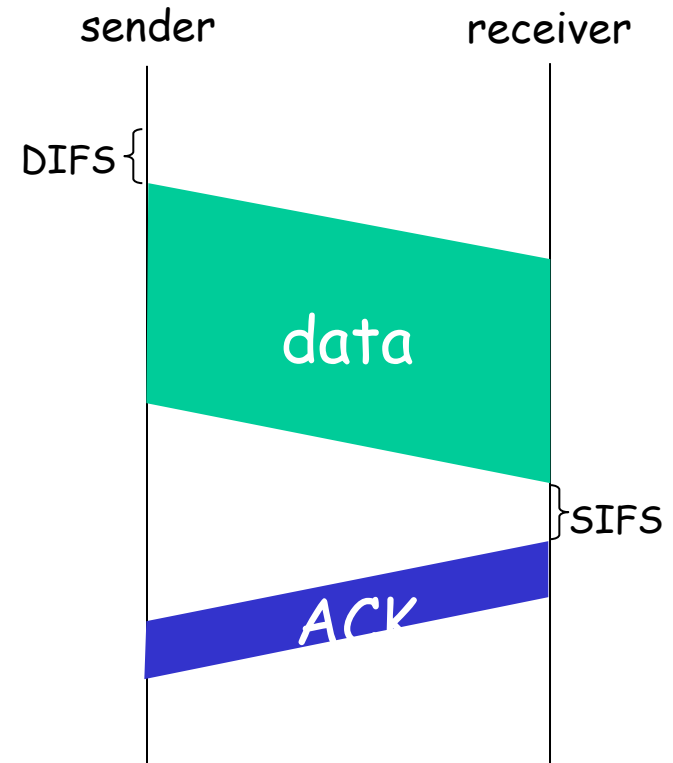
פרוטוקול MAC : CSMA/CA

שולח 802.11

1. אם חשים שערוץ השידור פנוי ל-DIFS זמן, משדרים את כל המסגרת (ללא CD)
2. אם חשים שערוץ השידור בשימוש
 1. מתחילים עם טיימר נסיגה אקראי
 2. הטיימר סופר לאחר בזמן שהערוץ פנוי
 3. משדרים כאשר הטיימר נגמר
3. אם לא מקבלים ACK, מגדילים את טווח הטיימר, חזור ל-2

מקבל 802.11

1. אם המסגרת התקבלה בסדר
2. שדר ACK אחרי SIFS זמן (צריכים ACK בגלל בעיית הצומת הנסתר)



ערכים ל-SIFS/DIFS

תקן	SIFS	Slot Time	DIFS = SIFS+ 2 × Slot Time
IEEE 802.11-1997 (FHSS)	28μs	50μs	128μs
IEEE 802.11-1997 (DSSS)	10μs	20μs	50μs
IEEE 802.11b	10μs	20μs	50μs
IEEE 802.11a	16μs	9μs	34μs
IEEE 802.11g	10μs	9 or 20μs	28 or 50μs
IEEE 802.11n (2.4 GHz)	10μs	9 or 20μs	28 or 50μs
IEEE 802.11n (5 GHz)	16μs	9μs	34μs
IEEE 802.11ac	16μs	9μs	34μs

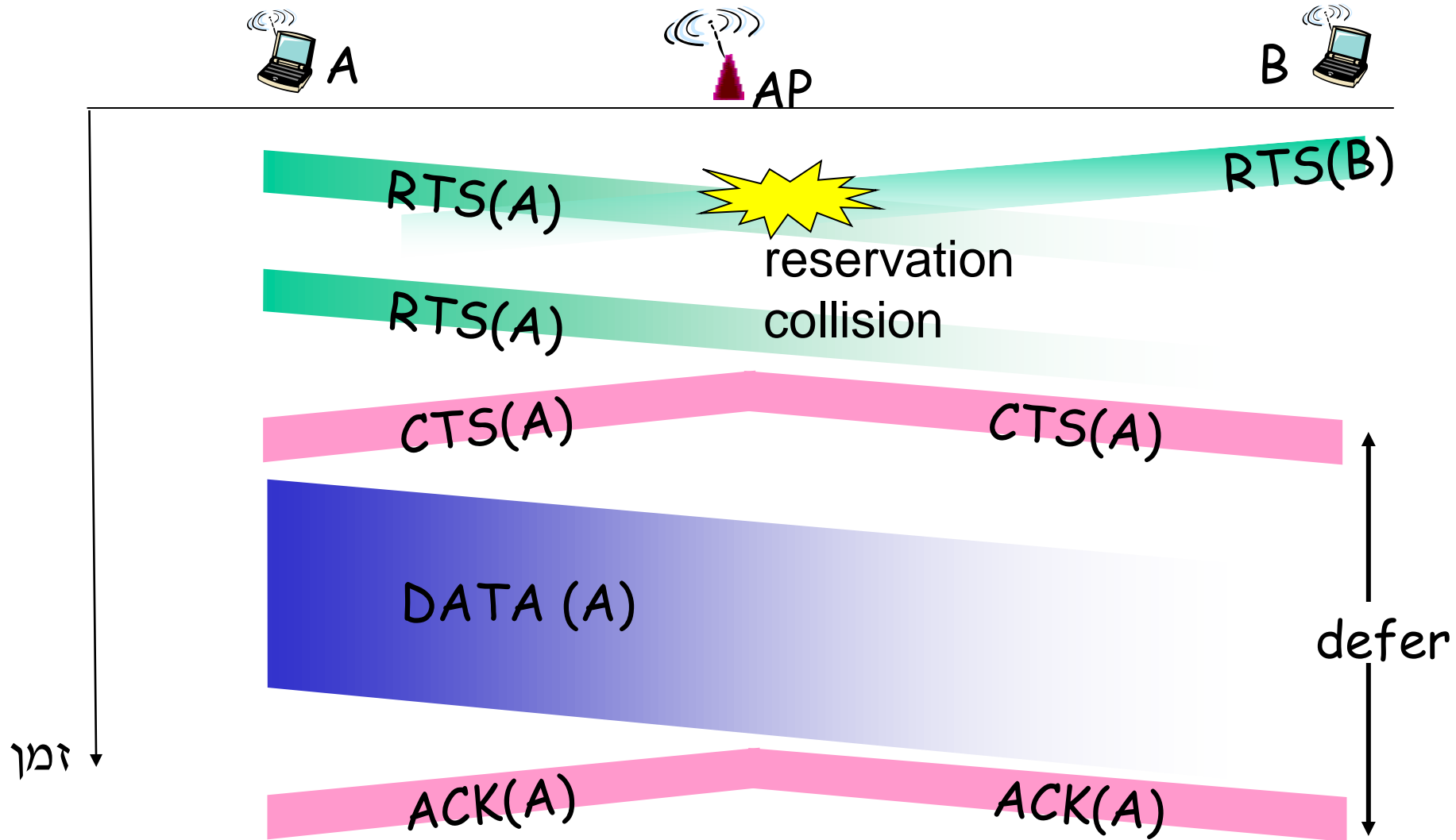
מניעת התנגשויות

רעיון: לאפשר לשולח "להזמין" ערוץ לשידור מסגרת במקום לגשת אקראית לתווך : למנוע התנגשות מסגרות ארוכות

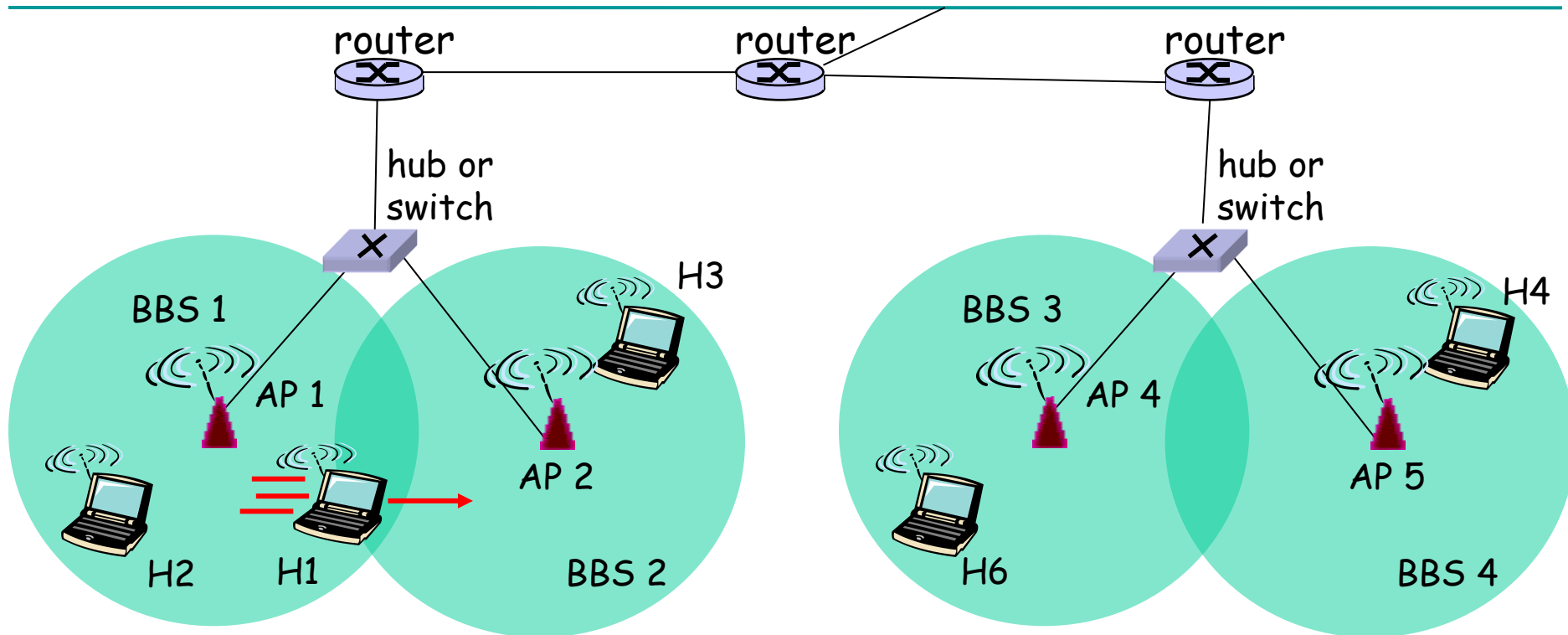
- השולח משדר תחילה מנה קטנה עם בקשה לשליחה (RTS) לתחנת הבסיס על ידי CSMA
 - RTS מכיל את שם המבקש ואורך הנתונים לשדר
 - RTS-ים עדיין עלולים להתנגש זה בזה (אבל הם קצרים)
- BS משדרת CTS (פנוי לשדר) כתגובה ל-RTS
 - מהדהד את שם המארח שאושר בקשתו ואורך הנתונים שיישלח
- CTS נשמע על ידי כולם
 - השולח משדר מסגרת נתונים
 - תחנות אחרות מחכות

מונע לחלוטין התנגשויות של מסגרות נתונים
על ידי מנות הזמנה קטנות!

מניעת התנגשויות : RTS-CTS

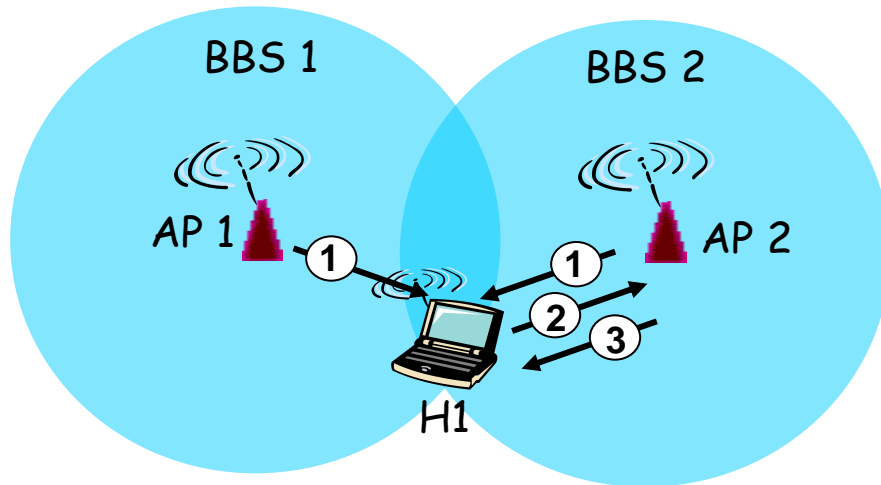


נקודות גישה אלחוטיות



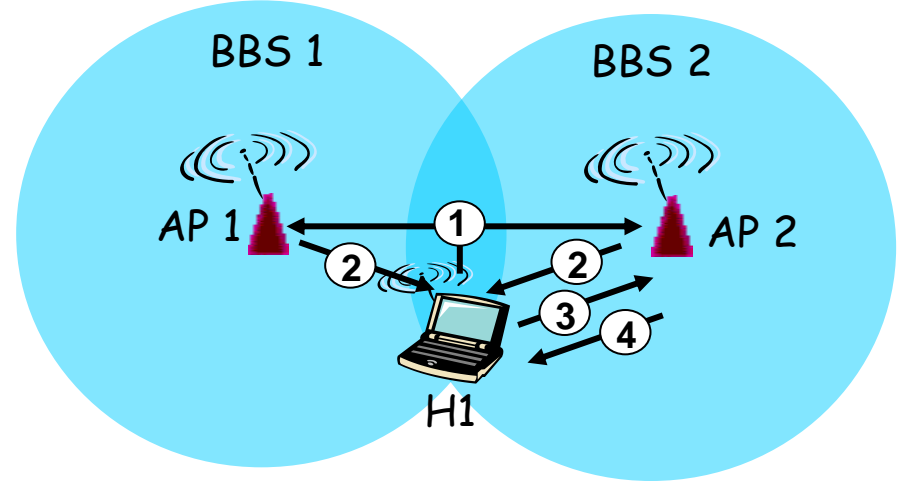
- **מערכת הפצה:** תשתית רשת קווית מחברת בין נתבים
- **ניידות:** H1 זו ימינה, רואה את AP2 יותר חזק מ-AP1, מבקש לעבור ל-AP2

סריקה : אקטיבית ופסיבית



סריקה פסיבית :

1. מסגרות מגדלור (Beacon) נשלחות מנקודות גישה
2. מסגרת "בקשת שיוך" (Association Request) נשלחה : H1 ל-AP שנבחר
3. מסגרת "תגובת שיוך" (Association Response) נשלחה : H1 ל-AP נבחרת



סריקה פעילה :

1. שידור מסגרת "בקשת בדיקה" (Probe Request) מ-H1
2. מסגרת "תגובת בדיקה" (Probe Response) נשלחה מ-AP-ים
3. שולחים מסגרת בקשת שיוך : H1 ל-AP שנבחר
4. מסגרת "תגובת שיוך" נשלחה : H1 ל-AP נבחרת



802.11 בעיות אבטחה

מניעת שימוש

- בקשות שיוך (וניתוק) לא מאובטחים

רחרוח מנות יותר חמור

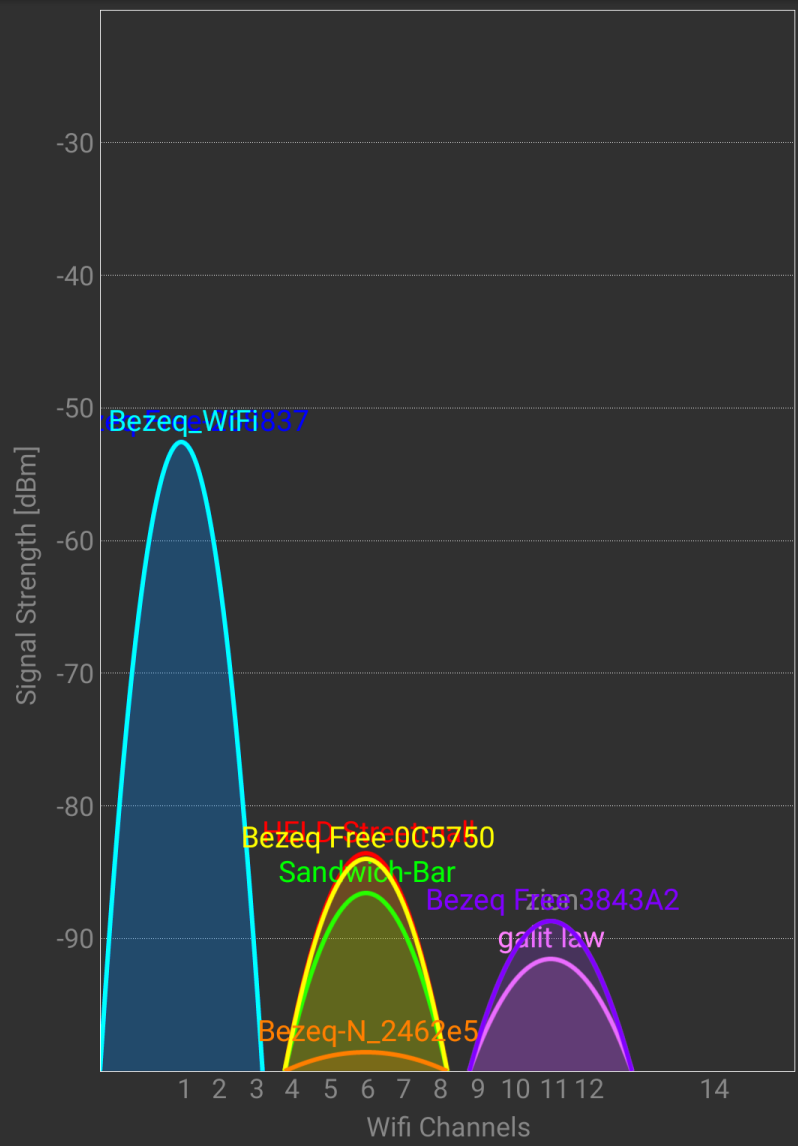
- לא צריכים חיבור פיזי
- טווח ארוך (6 רחובות טיפוסיים)
- תקני הצפנה ישנים (WEP, WEP2) היו גרועים מאוד

קחו קורס באבטחת
מידע ותקשורת ללמוד
יותר

“Wi-Fi WPA : Protected Access”

- נכנס בתקן 802.11i
- עובד עם הצפנה חזקה - AES

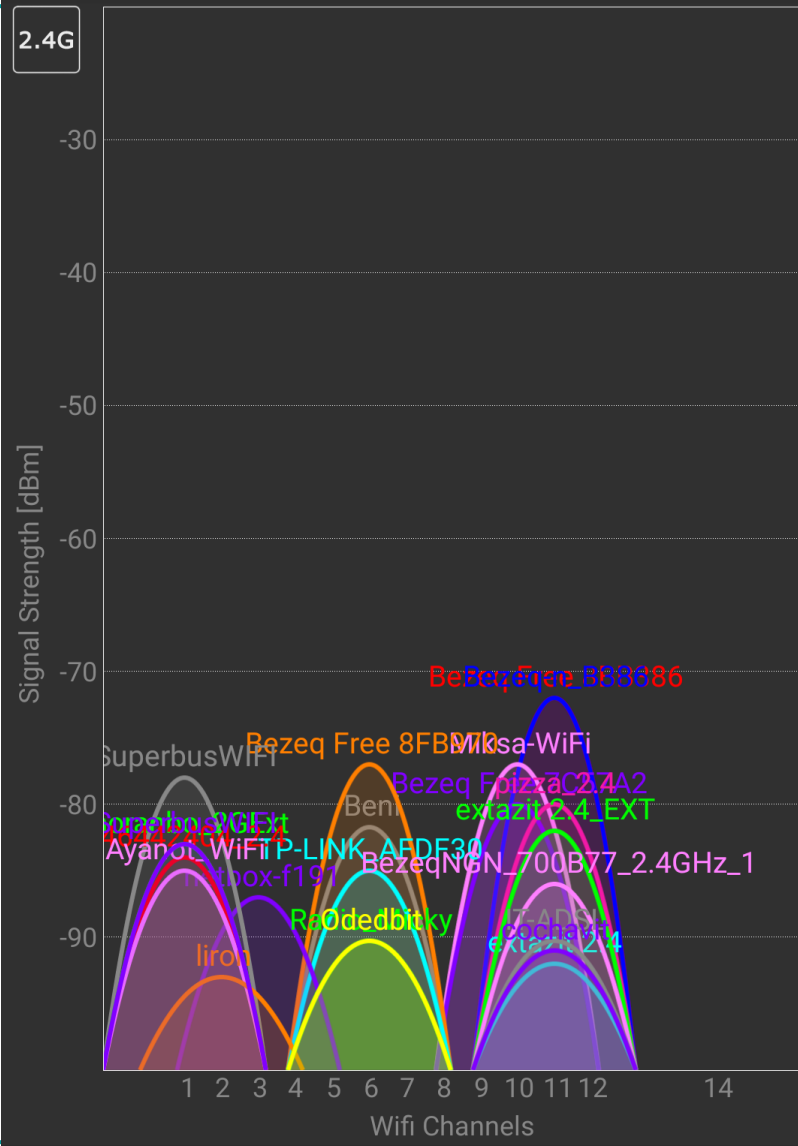
Wifi Analyzer



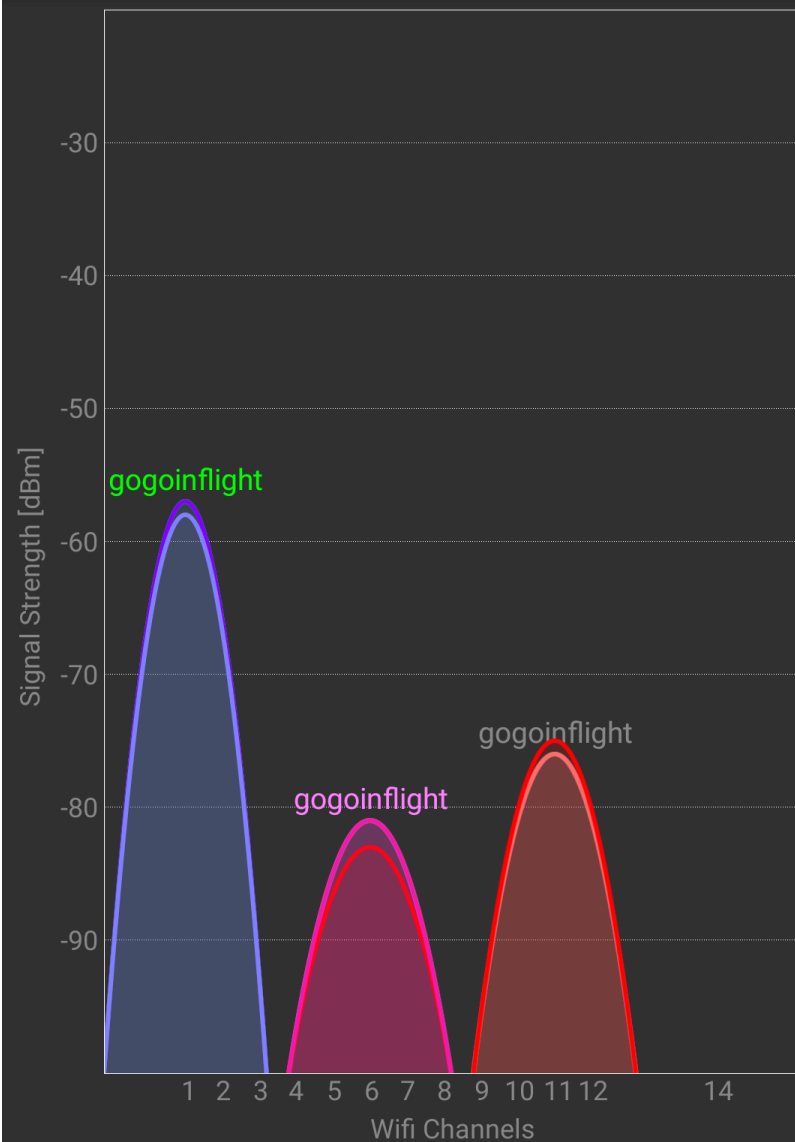
KS



Wifi Analyzer



Wifi Analyzer



Wifi Analyzer

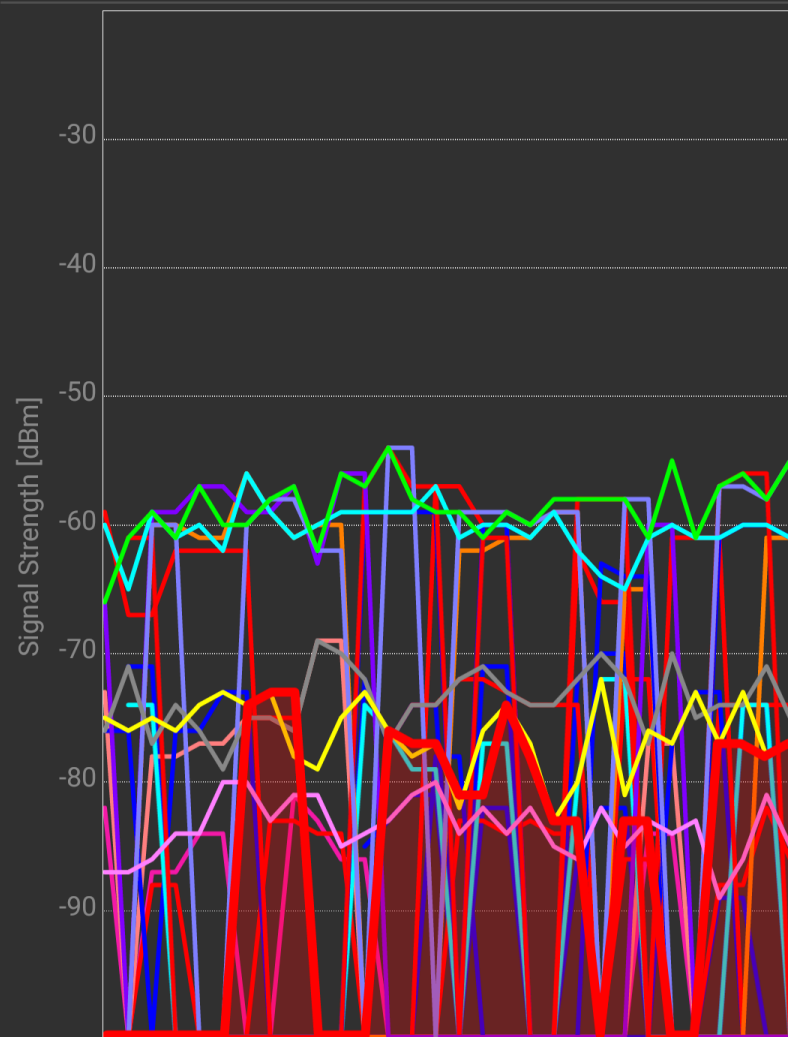


ght

gogoinflight

gogoinflight

gogoinflight



Plane WiFi



Wifi Analyzer

! Not connected!

▶ gogoinflight (...)

CH ... -58 dBm

[ESS]

▶ ? (...)

CH ... -58 dBm

[WPA2-PSK-CCMP][ESS]

▼ ? (...)

CH ... -63 dBm

[WEP][ESS]

? (5c:a4:8a:d8:59:d2)

CH 44 5220 MHz -72 dBm

CISCO SYSTEMS, INC

[WEP][ESS]

? (c0:7b:bc:92:79:92)

CH 36 5180 MHz -63 dBm

CISCO SYSTEMS, INC

[WEP][ESS]