

קצב של 100Gbps באופטיקה - תחזית וניתוח המצב בשוק הטלקום

אורן ברקאי

הקדמה

הקצב הממוצע בישראל לקישוריות אינטרנט הוא 4.5 מגה ביט לשנייה, וזאת על פי הדוח שנקרא "State of the internet" לשנת 2011. ישראל מדורגת במקום ה-28 במהירות הגלישה הממוצעת, אך במקום ה-19 מבחינת אחוז החדירה של האינטרנט (92%). שוק הטלקום הכולל את השוק הסלולארי והקווי נמצא בצמיחה מתמדת ברוחבי הפס. רוחב הפס הוגדר על פי שאנון (אבי תורת האינפורמציה) הוא כמות הנתונים שאפשר להעביר בקו תקשורת בזמן נתון. למי שזוכר, עד לפני עשור מהירות הגלישה הממוצעת בישראל הייתה כעשירית אם לא פחות מהמהירות שפורסמה לשנת 2011. על מנת לתמוך בקצבים אלו, נדרש ספק השירות לאסוף את כלל הקצבים האלו מלקוחותיו הפזורים על כל המדינה, ולהעביר את המידע בין האתרים השונים עד לחיבור לרשת האינטרנט העולמית. מכאן ניתן להבין מדוע נדרשים קצבים גבוהים במיוחד על מנת להתמודד עם שיטפון המידע והדרישה לו.

התפתחות העברת רוחבי הפס

סביר להניח כי חוק מור (כוח המחשוב גדל פי שתיים כל 18 חודשים) מוכר לרוב הקוראים במידה זו או אחרת. אך ישנם עוד 2 חוקים דמויי חוק מור אשר משפיעים על ההתפתחות של הטלקום ועל הצורך בקצבים הולכים וגבוהים של רוחב פס. החוק הראשון נקרא חוק מטקאלף. רוברט מטקאלף היה אחד ממייסדי חברת COM3 ומכותבי פרוטוקול האתרנט. על פי חוק מטקאלף, ערכה של רשת תקשורת גדל ע"פ החזקה הריבועית של כמות המשתמשים בה. כדי להדגים זאת, אפשר לחשוב על מכשיר פקס. כאשר יש רק מכשיר פקס אחד בעולם ערכו הוא מועט מאוד (הוא יכול לשמש כמכונת צילום), אך ככל שיש יותר מכשירים כאלה בעולם ערכם עולה. זו הסיבה שרשתות חברתיות מנסות לגרום לאימוצן על ידי מספר רב של משתמשים, ככל שיהיו יותר משתמשים כך ערך יגדל. החוק השני נקרא חוק מק'גווייר. ראס מק'גווייר הוא סמנכ"ל האסטרטגיה בספרינט נקסטל האמריקאית אשר טען כי ערכו של שירות עולה בצורה מעריכית ככל שהשירות נייד יותר (=זמין יותר). חוק זה חזה את עלייתו של האינטרנט הסלולארי. שני חוקים אלה גורמים לתופעה הבסיסית של עליית רוחב הסרט ברשתות הטלקום בעולם, וכתוצאה מכך נוצר ביקוש לקצבים הולכים וגבוהים של ממשקים בין צמתי הרשת.

ההתפתחות התקינה של 100 גס"ש לאחרונה

החלק הקודם דן בגורמי "מאקרו" אשר דוחפים את רוחב הפס כלפי מעלה. על מנת לעמוד בביקוש, יש לתקן את הממשקים. נכון להיום, הדרך הטובה ביותר להעביר רוחב סרט רב למרחקים הוא באמצעות תקשורת בסיסים אופטיים. במדינת ישראל היום יש מעל ל-20 אלף קילומטרים של סיבים, כאשר החברה המובילה בכך היא חברת בזק (אחריה חברת החשמל וצה"ל). על מנת להעביר אותות חשמליים בסיב יש לאפנן אותם על גבי לייזר. קיימות מספר שיטות אפנן שונות, כאשר לכל אחת יתרונות וחסרונות משלה. הקצבים אשר ניתן להעביר על גבי סיב נעים החל מ-100 מס"ש (מיליון סיביות לשנייה) ועד ל-100 גס"ש (מיליארד סיביות בשניה). המדען הראשי מפעיל כיום מאגד בשם "טרה סנטה" אשר במסגרתו מנסים להתמודד עם העברת טרה (ביליון או אלף מיליארד) סיביות בשנייה על גבי סיב. 100 גס"ש הוא קצב חדש יחסית. ישנם מספר תקנים אשר נסגרו בגופי התקינה בשנים האחרונות.

100 גס"ש IEEE-2

תקן ראשון הוא של IEEE. ל-IEEE קבוצת עבודה ותיקה של 802.3 אשר התחילה מתיקון האתרנט. IEEE בעצמו נחשב לגוף העיקרי המתקן ממשקי אתרנט למיניהם. בשנת 2006 הקים הארגון כוח משימה (task force) בשם 802.3ba. המנדט של כוח המשימה היה להציע תקנים לממשקי אתרנט מעל קצב 10 גס"ש. ביוני 2010 אושר התקן אשר מאפיין למעשה 2 קצבים - 40 גס"ש ו-100 גס"ש אתרנט.

תקן ה-40 גס"ש נבע מדרישתם של חברי כוח המשימה שבאו מעולמות מרכזי המידע (data center) והשרתים. ספקים אלו לא ראו צורך מיידי בתקן של 100 גס"ש בממשק לשרתים ולמתקני האחסון (storage) במרכזי המידע. לטענתם, הקפיצה מ-10 גס"ש ל-100 גס"ש גדולה מדי ולא תאפשר להם לספק יכולת שדרוג בטווח הביניים. טענות הנגד היו כי סטנדרט דואלי יגרום לבלבול ויפזר את מאמץ הפיתוח ובכך יגרום לאימוץ מאוחר של תקן ה-100 גס"ש. הפתרון כמובן היה פשרה, במסגרתה נקבע כי 40 גס"ש אתרנט יהיה סטנדרט אשר המרחק אותו הוא יעבור למעשה קטן יחסית. הסטנדרט יאומץ בתוך מרכזי המידע ולא יעבור למעשה 100 מטר על גבי סיב. תקן ה-100 גס"ש אתרנט לעומת זאת, התמקד ברשת אזורית או

(Implementation Agreements) המתארות כיצד נדרש להגיע לאותה התאמות בהתבסס על סטנדרטים מקובלים. הארגון מובל בעיקר על ידי יצרני ציוד ומפעילי תקשורת.

הזווית הישראלית של הארגון היא חברות משתתפות כגון ECI Telecom ו-Finisar אשר שותפות בוועדות הטכניות.

כדי לקדם את השימוש ב-100 גס"ש, הארגון יזם מספר פרויקטים וביניהם:

- הגדרת ארכיטקטורה ליישום 100 גס"ש מרובב אופטית (DWDM) וזאת על מנת להביא לתיקון של רכיבים שונים (כגון מקלט ומשדר אופטי) על מנת להגיע למסה קריטית ולייצור המוני שלהם.
- פרויקט נגזר של הגדרת מקלט אופטי משולב ל-100 גס"ש
- פרויקט נגזר של הגדרת משדר אופטי משולב ל-100 גס"ש
- שימוש ב-FEC (Forward Error Correction) שהוא פרוטוקול לתיקון שגיאות ב-100 גס"ש.

ניסויי 100 גס"ש ופריסה חזויה בעולם

הניסויים הראשונים בעולם נערכו בארה"ב. בשנת 2008 ערכה Verizon 3 ניסויים מדווחים עם 3 חברות שונות בהעברת 100 גס"ש. רק ב-2009 נערכו הניסויים הראשונים מחוץ לארה"ב, בגרמניה על ידי דויטשה טלקום, על ידי מפעילים אירופאים אחרים ומפעילים אוסטרלים. רק ב-2010 נערך ניסוי מחוץ לתחומי המערב, בסין על ידי צ'ינה טלקום.

התחזית קדימה מתבססת על מחקר של Heavy reading מ-2011. להלן טבלה המתארת את מכירות הממשקים (ports) של DWDM למרחקים ארוכים (long haul) (ראה טבלה 1).

ניתן לראות כי הגידול המרשים של ממשקי 100 גס"ש, עדיין צפוי להיות קטן בהרבה משאר השוק. זוהי חזירה קלאסית של מוצר חדש לשוק, אשר ייקח לו זמן עד אשר יתבסס. אפשר לראות כי ממשקי ה-2.5 גס"ש נמצאים בסוף דרכם ולא צפויים יותר להיות נוכחים בשוק, בעוד שממשקי ה-10 גס"ש אמורים להישאר עימנו לעוד זמן רב. ממשקי ה-40 גס"ש נמצאים כ-4 שנים לפני ממשקי ה-100 גס"ש באימוצם על ידי השוק, אך קצב הגידול של ה-100 גס"ש מרשים הרבה יותר.

על פי התחזית, גם בעוד 3 שנים, צפויים ממשקי ה-40 גס"ש להיות דומיננטיים בשוק מבחינת רכישות. מבחינת הכנסות, עתידים הקצבים הנמוכים להצטמצם במכירתם, אך עדיין הם יהיו נתח הארי

WAN (Wide Area Network). על פי התקן, על גבי סיב מסוג חד אופן (single mode) יוכל האות לעבור עד מרחק של 40 ק"מ. להבדיל מתקן ה-40 גס"ש אתרנט אשר לא אמור לעבור יותר מ-100 מטר.

100 גס"ש ב-ITU

ארגון ה-ITU (International Telecommunication Union) הוא הגוף העיקרי המתקן סטנדרטי טלקום בכללם, והעברת רוחבי פס בפרט. ה-ITU תקן עוד בסוף שנות ה-80 ותחילת ה-90 את מהדורת הסטנדרטים להעברת רוחב פס בשם OTN (Optical Transport Network). מסגרת סטנדרטים זו מטפלת ביכולת להעביר (transport), לרבב (multiplex), למתג (switch), לנהל, ולשמור על שרידות של עורקים אופטיים הנושאים אותות.

התקן העיקרי מתוך סטנדרטים אלו נקרא ITU-T G.709. תקן זה מגדיר בין היתר את הקצבים השונים ומבנה המידע העובר בהם. להלן טבלה המפרטת את הקצבים השונים הכלולים בתקן:

שם	קצב	ייעוד
OTU1	Gbit/s 2.66	העברת אות SDH בקצב 16STM (2.5 גס"ש)
OTU2	Gbit/s 10.70	העברת אות SDH בקצב 64STM (10 גס"ש) העברת אות 10 גס"ש אתרנט לרשת אזורית (WAN).
OTU2e	Gbit/s 11.09	העברת אות 10 גס"ש אתרנט של רשת מקומית (LAN)
OTU3	Gbit/s 43.01	העברת אות SDH בקצב 256STM (40 גס"ש) העברת אות 40 גס"ש אתרנט לרשת אזורית (WAN).
OTU3e	Gbit/s 44.58	העברת עד 4 אותות OTU2e
OTU4	Gbit/s and 112	העברת אות 100 גס"ש אתרנט לרשת אזורית (WAN).

העדכון האחרון של ה-ITU, ההגדרה של ה-OTU4 הושלמה בדצמבר 2009, מעט לפני סיום התיקון של ה-IEEE ל-100 גס"ש אתרנט.

100 גס"ש ב-OIF

ארגון ה-OIF (Optical Interworking Forum) מתמקד ביישום תאימות (interoperability) באמצעות יצירת הגדרות יישום

טבלה 1

מהירות	2010	2011	2012	2013	2014	2015	קצב גידול שנתי מצטבר (CAGR) %
G2.5	12930	8463	0	0	0	0	-100%
G10	217392	217744	227428	196268	177694	156137	-6.4%
G40	17084	27870	38241	51107	59194	64195	30.3%
G100	5	494	1836	6759	14345	25856	460.5%

טבלה 2

מהירות	2010	2011	2012	2013	2014	2015	קצב גידול שנתי מצטבר (CAGR) %
G2.5	288522	314832	274811	279937	271347	243568	-3.3%
G10	213886	276718	363777	435956	520357	602731	23%
G40	2314	4865	9883	17019	24876	34939	72.1%
G100	33	328	882	1983	3451	5515	177.6%

נראה כי קצב זה, אשר תוקנן רק לאחרונה, נמצא במגמת גידול מעריכית. אך אם נבצע אקסטרפולציה לתחזיות האנליסטים נוכל לראות כי את מקומו כקצב תקשורת דומיננטי יגיע קצב זה רק תוך כ 10 שנים. בינתיים, יתפוס קצב זה את מקומו כעתידי של תחום העברת רוחב הפס למרחקים ארוכים. בינתיים, מדובר בנתח שוק קטן מאוד (1% באזור ה-Metro ו-10% באזור ה-Long Haul), החזוי לעוד 3 שנים. סביר להניח כי בעוד מספר שנים מועט (שנה? שנתיים?) ייווצר באזז חדש לגבי הקצב העתידי והלא מתוקנן עדיין של 1 טרה סיביות לשנייה. קצב זה מתחיל לגרד את רוחב הסרט התיאורטי של סיבים אופטיים, ויהיה מעניין לעקוב אחר ההתפתחויות בתחום.



אורן ברקאי הוא מהנדס חשמל (B.Sc) בוגר אוניברסיטת תל אביב ובעל תואר שני במנהל עסקים מהטכניון. עובד בחברת ECI Telecom כראש צוות פתרונות משולבים. למר ברקאי ניסיון בעולם הטלקום של כ-16 שנים, והוא משמש גם כמנהל מוצר בחברה.

של כלל הפורטים באופטיקה.

תחזית נוספת היא לתחום אחר ברשתות האופטיקה, תחום המרחקים הבינוניים (Metro). להלן טבלה מקבילה המתארת את מכירות הממשקים של DWDM לאזור ה-METRO (ראה טבלה 2). ניתן לראות כי באזור ה-Metro, הוא האזור האוסף את ממשקי הלקוחות, הקצבים הנמוכים יותר יהיו דומיננטיים עוד יותר. סיבה אחת היא שנכון להיום הקצב הדומיננטי באזור זה הוא ה-2.5 גס"ש, אשר אינו קצב אתרנטי. העליה המרשימה של קצב ה-10 גס"ש נובעת מכך שהוא מתוקנן כתקן אתרנטי מובהק. לפיכך ריבוב של קצבי אתרנט נמוכים יותר לקצב זה קורה היום וצפוי לקרות עוד יותר בעתיד ככל שהקצבים הנמצאים בשימוש על ידי הלקוחות יעלו. בתחום זה, 100 גס"ש הוא קצב עוד פחות דומיננטי. הסיבה העיקרית היא שמיקומו בשרשת הוא בחיבור כלפי מרכזי המידע והטווחים הארוכים, חיבורים אשר מעצם טיבם קיימים בכמות פחותה יותר.

סיכום

מאמר זה דן בקצב 100 גס"ש, התקנים העומדים מאחוריו והסיבות להתפתחותו. בנוסף, הובאה תחזית המבוססת על ניתוחי אנליסטים לשנים הקרובות.