שנקר בי״ס גבוה להנדסה ולעיצוב
החוג להנדסת תוכנה
קורס ׳רשתות תקשורת׳ (קורס מספר 3503836)
תשפ״ו – סמסטר ב׳

מרצה: יצחק נודלר

תרגיל בית מס׳ 1 – פתרון

1. רשתות תקשורת מחשבים, החל מהרשתות הראשונות ועד לרשתות המחשבים המודרניות, מבוססות על שיטת העברת data אשר נקראת packet switching.
הביאו הגדרה מדויקת ומפורטת של שיטה זו.

הגדרת מיתוג מנות (Packet Switching)
מיתוג מנות הוא פרדיגמת תקשורת נתונים שבה הודעות או זרמי נתונים ארוכים מחולקים ליחידות מידע קטנות יותר הנקראות מנות (Packets). כל מנה מכילה את המידע המקודד (Payload) בתוספת כותרת (Header) הכוללת מידע בקרה הכרחי, כגון כתובות מקור ויעד.
ברשת מיתוג מנות, המשאבים ברשת (כגון רוחב פס בקישורים) אינם מוקצים מראש למשתמשים ספציפיים.
במקום זאת, כל מנה מועברת באופן עצמאי דרך רכיבי הרשת (נתבים או מתגים) בתהליך הנקרא Store-and-Forward: הרכיב מקבל את המנה במלואה, מאחסן אותה בזיכרון, בוחן את כותרת היעד, ומנתב אותה לקישור הבא בתור בדרכה ליעד.

2. המודל של מיתוג מעגלים, packet switching, הסתבר כלא מתאים לשמש ברשתות תקשורת מחשבים.
ולכן פותחה עבורו רשתות אלו שיטת ה- packet switching.
א. מדוע שיטת מיתוג המעגלים אינה מתאימה עבור רשתות מחשבים?
ב. מדוע שיטת מיתוג החבילות/מנות כן מתאימה עבור רשתות מחשבים?

מיתוג מעגלים מול מיתוג מנות

א. מדוע מיתוג מעגלים (Circuit Switching) אינו מתאים לרשתות מחשבים?

מיתוג מעגלים מחייב הקצאה מראש של מסלול פיזי ייעודי ובלעדי (מעגל) בין המקור ליעד למשך כל זמן התקשורת.
בתקשורת מחשבים, ה'מקור' לשליחת מידע ברשת הם המארחים. ה- host-ים
תקשורת זו מאופיינת ב"פרציות" (Burstiness) – תקשורת אינטנסיבית לסירוגין עם שתיקה ממושכת.
בשל ה- burstiness – מיתוג מעגלים מוביל לבזבוז משאבים קיצוני.
למה? מכיוון שכאשר המקור אינו משדר נתונים, משאבי הרשת המוקצי מראש {!!!} למעגל 1= circuitאנים בשימוש. ולא רק זה הם גם בלתי ניתנים לניצול {!!!} על ידי משתמשים אחרים, מה שגורם לתת-ניצול של רוחב הפס ועליות תקשורת גבוהות ללא הצדקה.

ב. מדוע מיתוג מנות מתאים לרשתות מחשבים?

מיתוג מנות מאפשר שיתוף יעיל של משאבי הרשת. מאחר שאין צורך במסלול בלעדי, רכיבי הרשת יכולים להעביר מנות ממשתמשים שונים על גבי אותם קישורים פיזיים.
אם למשתמש מסוים אין נתונים לשלוח, המשאבים מתפנים באופן מיידי לטובת משתמשים אחרים.
יכולת זו מתאימה אידיאלית לאופי הדינמי והבלתי צפוי של תעבורת אינטרנט.

3. שיטת מיתוג המנות מהווה מימוש הנדסי של רעיון קונספטואלי שנקרא statistical multiplexing.
א. הביאו הגדרה מדויקת ומפורטת של statistical multiplexing.
ב. הביאו הסבר מפורט ומלא לגבי קביעה זו. מה פירוש 'רעיון קונספטואלי'?
ג. מה פירוש 'מימוש הנדסי'?

ריבוב סטטיסטי (Statistical Multiplexing)

א. הגדרה של Statistical Multiplexing:

זוהי טכניקה לניצול משאבים שבה המשאב (למשל, רוחב פס של קישור תקשורת) אינו מחולק מראש לפי לוחות זמנים קבועים (כמו ב-TDM) או תדרים (כמו ב-FDM).
במקום זאת, הגישה למשאב נקבעת על פי הביקוש המיידי.
המערכת מנהלת תורים (Buffers) שבהם מאוחסנות מנות הממתינות לשידור, והערוץ 'מעביר מידע' בהתאם לזמינות המנות בכל רגע נתון.

ב. רעיון קונספטואלי:
הכוונה היא לעיקרון התיאורטי המופשט של ניצול מקסימלי: ההבנה שתנועת נתונים אינה קבועה. הקונספט מניח שבהינתן אוכלוסייה גדולה של משתמשים, ההסתברות שכולם ישדרו בו-זמנית בעומס מלא היא נמוכה, ולכן ניתן לעצב מערכת שתטפל בעומס הממוצע ולא בעומס המקסימלי התיאורטי.

ג. מימוש הנדסי:
הביטוי מתייחס ליישום הממשי של הרעיון באמצעות רכיבים חומרתיים ותוכנתיים כגון: זכרון נתבים (Buffers), מנגנוני ניהול תורים (Queuing disciplines כמו FIFO), ואלגוריתמי ניתוב. המימוש ההנדסי מתמודד עם האתגרים המציאותיים: מה עושים כשיש עומס יתר? כיצד נמנעים מאובדן נתונים? כיצד מסדרים את המנות?

.4
א. הביאו תיאור מפורט של ציר הזמן של רשת ה- DARPANET
ב. הביאו תיאור מפורט של ציר הזמן של מודל ה- TCP/IP
ג. מתי שני הצירים האלו הצטלבו?
ד. מה היו הסיבות לכך שהצירים האלו הצטלבו?

ציר הזמן והתכנסות DARPANET ו-TCP/IP
א. ציר הזמן של ARPANET:

- *1969: הקמת ארבעת הצמתים הראשונים (UCLA, SRI, UCSB, Utah).*
- *שנות ה-70: התרחבות לרשתות אוניברסיטאיות וממשלתיות, פיתוח פרוטוקול NCP (Network Control Program).*
- *1983: מעבר רשמי ומלא של ARPANET מ-NCP ל-TCP/IP (היום המכונה ה-Flag Day).*

ב. ציר הזמן של TCP/IP:

- *1974: פרסום המאמר המכונן של Vint Cerf ו-Bob Kahn המציג את ארכיטקטורת ה-TCP.*
- *שנות ה-70 המאוחרות: פיצול ה-TCP ל-TCP ו-IP.*
- *1983: אימוץ רשמי ב-ARPANET.*

ג. מתי הם הצטלבו?
ההצטלבות המכרעת התרחשה ב-1 בינואר 1983, עת רשת ה-ARPANET נטשה את פרוטוקול NCP לטובת חבילת הפרוטוקולים TCP/IP.

ד. סיבות להצטלבות:
הצורך בתקשורת בין רשתות הטרוגניות (Inter-networking). ה-NCP היה מוגבל לרשת אחת בלבד. TCP/IP תוכנן להיות פרוטוקול גמיש, חסין וסקלבילי המסוגל לקשר רשתות שונות (לוויין, רדיו, כבלים) לכדי רשת אחת גדולה (האינטרנט).

5. בהרצאות תיארנו כי נכון להיום, כל רשתות המחשבים, מבוססות על מודל שנקרא TCP/IP.
הביאו תיאור מלא ומפורט של מודל זה.

מודל ה-TCP/IP

המודל מוגדר כאוסף של פרוטוקולים המסודרים בשכבות, שכל אחת מהן מספקת שירות לשכבה שמעליה. המודל מתמקד ביכולת עבודה משותפת (Interoperability). השכבות כוללות:

1. ***שכבת היישום (Application Layer):*** *ממשק המשתמש ותוכנות הקצה (HTTP, FTP, SMTP).*
2. ***שכבת התעבורה (Transport Layer):*** *ניהול העברת הנתונים מקצה לקצה (TCP להעברה אמינה, UDP להעברה מהירה).*
3. ***שכבת הרשת (Network/Internet Layer):*** *ניתוב המנות בין רשתות שונות באמצעות כתובות IP.*
4. ***שכבת הגישה לרשת (Network Access/Link Layer):*** *העברה פיזית של ביטים בתווך מסוים (Ethernet, WiFi).*

הערה: לעיתים מפרידים את השכבה התחתונה לשכבת ערוץ נתונים ושכבה פיזית, אך המודל המקובל כיום ללימוד כולל 5 שכבות.

6. הארכיטקטורה של מודל ה- TCP/IP (ה- TCP/IP architecture, או: ה- TCP/IP Protocol stack) כוללת 5 שכבות (layers)
א. הביאו הסבר מדויק ומלא למושג TCP/IP architecture
ב. וכן למושג TCP/IP Protocol Stack
ג. הסבירו מדוע 2 מונחים אלו, שעל פניו נראים שונים, מציינים למעשה אותו דבר.

ארכיטקטורה מול Stack

א. TCP/IP Architecture: *הגדרה רעיונית של עקרונות התכנון: אופי השכבות, הפרדת הסמכויות בין השכבות, והאופן שבו פרוטוקולים מתקשרים ביניהם כדי לפתור בעיות תקשורת.*

ב. TCP/IP Protocol Stack: *היישום המעשי של אותה ארכיטקטורה. זהו "ערימה" של פרוטוקולים המותקנים במערכת ההפעלה, כאשר כל שכבה "יושבת" על זו שתחתיה.*

ג. מדוע הם מציינים אותו דבר? *הארכיטקטורה היא התוכנית (Blueprint), וה- stack הוא המימוש (Implementation).*
אי אפשר לקיים סטאק בלי ארכיטקטורה, וארכיטקטורה ללא סטאק היא רק תיאוריה.
לכן, בהקשר האקדמי, הם משמשים לסירוגין לתיאור אותה מערכת היררכית.

7. בעבר היה קיים מודל שנקרא OSI [= Open Systems Interconnection). מודל זה מבוסס על 7 שכבות. לא על 5 שכבות כמו מודל ה- TCP/IPO.
מדוע בסופו של דבר אומץ מודל ה- TCP/IP ולא מודל ה- OSI?

מדוע TCP/IP ניצח את OSI?
בעוד ש-OSI היה מודל מתמטי תיאורטי אלגנטי ומדויק יותר, הוא היה מורכב מדי ולא מומש ביעילות בזמן אמת. TCP/IP, לעומת זאת, פותח בתוך האקדמיה והצבא מתוך צורך פרקטי, והיה מבוסס על "מימושי רפרנס" עובדים (כמו ב-BSD Unix).
כאשר הגיע הזמן לבחור תקן לתעשייה, ה-TCP/IP כבר היה מוכח, יציב וזמין לכל, בעוד ש-OSI נשאר תקן "על הנייר" שסבל מביצועים נחותים עקב המורכבות המיותרת של שכבות הניהול שלו.

8.
ראינו בהרצאות כי:
ה- packets הנשלחים על ידי פרוטוקול ה- TCP נקראים segments.
ה- packets הנשלחים על ידי פרוטוקול ה- UDP נקראים UDP datagrams.
ה- packets הנשלחים על ידי פרוטוקול ה- IP נקראים IP datagrams.
ה- packets הנשלחים על ידי פרוטוקול שכבה 2, כמו לדוגמא פרוטוקול ה- Ethernet או פרוטוקול ה- WiFi, נקראים מסגרות [= frames].

הביאו הגדרה מדויקת ומפורטת עבור כל אחד מהמונחים האלו.

הגדרת סוגי החבילות

- ***Segment:*** *יחידת הנתונים של שכבת התעבורה בשימוש פרוטוקול TCP. כוללת את הנתונים ומידע לבקרת זרימה, שידור חוזר וסדר הגעה.*
- ***UDP Datagram:*** *יחידת הנתונים של שכבת התעבורה בשימוש פרוטוקול UDP שהוא אינו מבטיח הגעה או סדר (Best-effort delivery).*
- ***IP Datagram:*** *יחידת הנתונים של שכבת הרשת (שכבה 3). מכילה את כתובות ה-IP של המקור והיעד. הנתונים (ה-Segments או ה-Datagrams של השכבה מעל) ארוזים בתוך ה-Payload של חבילה זו.*
- ***Frame (מסגרת):*** *יחידת הנתונים של שכבת הקישור (שכבה 2). היא עוטפת את ה- IP Datagram במידע פיזי הדרוש להעברה בתוך הספציפי (למשל, כתובות MAC ב-Ethernet), וכוללת סימני התחלה וסוף או בדיקות שגיאה פיזיות (FCS).*

9. הצגנו בהרצאת המבוא את העובדה כי רשתות תקשורת מחשבים מבוססות על ערוצי תקשורת פיזיים.
ערוצים כאלו כוללים ערוצים קוויים חשמליים, ערוצים קוויים אופטיים (סיבים אופטיים), ערוצים אלחוטיים.
א. הביאו הגדרה מדויקת ומפורטת למונח 'ערוץ תקשורת פיזי'.
ב. האם קיימים סוגים נוספים של ערוצי תקשורת פיזיים?
ג. הביאו הסבר מפורט ומלא לגבי כל אחד מהסוגים.
ד. מה המשותף לכל הסוגים האלו?
ה. מהם ההבדלים המהותיים בין הסוגים השונים?
ביותר.

ערוצי תקשורת פיזיים (Physical Transmission Media)

א. הגדרה ל'ערוץ תקשורת פיזי':

ערוץ תקשורת פיזי, המכונה בספרות גם "תווך השידור" (Transmission Medium), הוא החומר או המרחב שדרכו עוברים האותות האלקטרומגנטיים המייצגים את הביטים (הנתונים). זהו השכבה הפיזית ביותר (Layer 1) במודל ה-OSI/TCP/IP, המגשרת בין המערכות הדיגיטליות לקצה המוחשי. הערוץ אחראי על הובלת האנרגיה המשתנה בזמן, שפענוחה מאפשר למקלט לשחזר את הרצף הבינארי שנשלח על ידי המשדר.

ב. האם קיימים סוגים נוספים?

מעבר לקוויים חשמליים, אופטיים ואלחוטיים, ניתן להוסיף סיווגים המבוססים על אופי התווך, כגון שימוש בתווך נוזלי (למשל תקשורת אקוסטית תת-ימית) או שימוש בתדרים קיצוניים שונים, אך אלו הם תתי-סיווגים של הקטגוריות הקיימות. העיקרון הפיזיקלי של העברת גלים נשאר זהה.

ג. הסבר על סוגי הערוצים:

- ***ערוצים קוויים חשמליים (Guided Media - Copper):*** *שימוש במוליכים מתכתיים (נחושת) להעברת אותות חשמליים. דוגמאות: כבלים מסוככים (Twisted Pair) וקווי קואקס. המידע מועבר כשינויי מתח או זרם.*
- ***ערוצים קוויים אופטיים (Guided Media - Fiber):*** *שימוש בסיבי זכוכית או פלסטיק להעברת אור. האותות הדיגיטליים מומרים לפולסים של אור (פוטונים).*
- ***ערוצים אלחוטיים (Unguided Media):*** *העברת גלים אלקטרומגנטיים בחלל פתוח (אוויר, ריק). המידע נישא על גבי תדר רדיו (RF), אינפרה-אדום או גלי מיקרו.*

ד. המשותף לכל הסוגים:

המשותף הוא היותם כולם מערכות להעברת אנרגיה. בכל סוג, המידע מקודד על תכונה פיזיקלית של גל (אמפליטודה, תדר, מופע), והאנרגיה הזו עוברת מהמשדר למקלט תוך שהיא נתונה להשפעות סביבתיות (הנחתה, רעש, עיוות).

ה. הבדלים מהותיים:

*ההבדל המהותי טמון ב**תווך התפשטות האנרגיה** ו**במגבלות הפיזיקליות**:*

- ***רוחב פס (Bandwidth):*** *יכולת העברת תדרים גבוהים.*
- ***רגישות לרעש אלקטרומגנטי (EMI/RFI):*** *קווי נחושת חשופים להפרעות, בעוד סיבים אופטיים חסינים להן לחלוטין.*
- ***מרחק שידור:*** *כבלים חשמליים סובלים מהנחתה חזקה למרחקים קצרים, בעוד סיבים אופטיים מאפשרים מרחקים עצומים ללא צורך בשחזור אות.*

11. הביאו השוואה מפורטת ומקיפה של סוגי ערוצי התקשורת הפיזיים הנ"ל.
על בסיס אוסף קריטריונים להשוואה שנחשבים בספרות הטכנית והאקדמית לקריטריונים המשמעותיים ביותר.

השוואת ערוצי התקשורת הפיזיים

להלן טבלת השוואה לפי הקריטריונים המקובלים בספרות האקדמית:

קריטריון	***כבל נחושת (Twisted Pair)***	***סיב אופטי (Fiber Optic)***	***אלחוטי (Wireless/RF)***
רוחב פס (Bandwidth)	*נמוך עד בינוני*	*גבוה מאוד*	*משתנה (תלוי תדר)*
הנחתה (Attenuation)	*גבוהה*	*נמוכה מאוד*	*תלויה במרחק ותווך*
חסינות להפרעות	*נמוכה*	*מצוינת (חסין ל-EMI)*	*נמוכה (רגיש להפרעות)*
עלות הקמה ותחזוקה	*זול*	*יקר*	*גמיש אך תלוי תשתית*
ביטחון (Security)	*קל להאזנה*	*קשה מאוד להאזנה*	*קל ליירוט (באוויר)*

12. כל סוג כזה של ערוץ תקשורת פיזי, חייב להיות מחובר ל- NIC מתאים.
מה זה בדיוק אומר?

מהו ה-NIC והקשר לערוץ התקשורת?

*המונח **NIC (Network Interface Card/Controller)** מציין את כרטיס ממשק הרשת – רכיב החומרה המהווה את נקודת המפגש הקריטית בין המחשב (המעבד והזיכרון) לבין ערוץ התקשורת הפיזי.*

*כשאומרים שכל ערוץ חייב להיות מחובר ל-NIC "מתאים", הכוונה היא ל**התאמה של שכבת ה-PHY (Physical Layer)**:*

1. ***קידוד פיזי (Physical Encoding):** ה-NIC מכיל מעגלים המתרגמים את הביטים מהזיכרון של המחשב לאותות הפיזיים המתאימים לתווך. NIC של סיב אופטי משתמש ברכיב לייזר/LED, בעוד NIC של נחושת משתמש ברכיבי אלקטרוניקה לניהול מתחים על חוטי הנחושת.*
2. ***התאמת עכבות (Impedance Matching):** ה-NIC מבטיח שהאנרגיה משודרת לתוך התווך בצורה יעילה ללא החזרים (Reflection) שעלולים להשחית את המידע.*
3. ***ניהול מדיום:** ה-NIC הוא זה שמבצע בפועל את בדיקת נוכחות האות על הקו, ניהול התנגשויות (במידת הצורך) וביצוע ה-Framing של השכבה הפיזית.*

לסיכום, ה-NIC הוא ה"מתרגם" של המערכת: הוא הופך את השפה הלוגית של המחשב לגל הפיזיקלי שהערוץ מסוגל להוליך. לכן, לכל תווך יש NIC ייעודי (למשל, כרטיס Ethernet RJ45 לעומת כרטיס Fiber optic עם ממשק SFP).