

מרתון ברשתות מחשבים

רון בנימין

1 ביולי 2026

זכויות יוצרים

מרתון ברשתות מחשבים

כל הזכויות שמורות.

חוברת זו נכתבה ונערכה במיוחד עבור סטודנטים הלומדים את המרתון ברשתות מחשבים. החוברת כוללת הסברים תמציתיים, דוגמאות, תרגילים פתורים, וידע שנאסף ממגוון מקורות כולל הרצאות, תרגולים, ומסמכים רשמיים של הקורס.

אין להעתיק, לשכפל, להפיץ, לתרגם, להציג בפומבי, או לעשות כל שימוש מסחרי בתכני החוברת, כולם או חלקם, ללא קבלת רשות מפורשת מראש ובכתב מהיוצר.

השימוש בחוברת מותר לסטודנטים לצורכי לימוד אישי בלבד. הכותב אינו אחראי לשגיאות, אי-דיוקים, או תוצאות הנובעות משימוש במידע המופיע בה.

נכתב וערוך על ידי:

רון בנימין

תוכן העניינים

6	מבוא ומודלי תקשורת	1
6	הגדרות יסוד	1.1
6	מודל השכבות (Layered Model)	1.2
6	כימוס (Encapsulation)	1.3
7	נוסחאות וחישובים	1.4
8	דוגמה	1.5
8	קיבולת ערוץ (Channel Capacity)	2
8	מושגי יסוד	2.1
8	נוסחאות לחישוב קיבולת	2.2
8	2.2.1 ערוץ ללא רעש (Noiseless Channel)	
9	2.2.2 ערוץ עם רעש (Noisy Channel) - משפט שאנון	
9	קידודים בשכבה הפיזית (Line Coding)	3
9	NRZ (Non-Return to Zero)	3.1
9	Manchester	3.2
10	דוגמה : חישוב תוחלת קצב שידור	3.3
11	שאלה 1 2025 סמסטר א מועד א	3.4
15	טיפול בשגיאות וקודים (Error Handling)	4
15	למה צריך קודים?	4.1
15	מקורות לשגיאות בערוץ	4.2
15	שיטות לזיהוי שגיאות	4.3
15	4.3.1 סיבית זוגיות (Parity Bit)	
15	4.3.2 הגדרות בקוד בלוקים (Block Codes)	
17	אלגוריתמים מתקדמים לזיהוי שגיאות	5
17	Checksum (סכום ביקורת)	5.1
17	CRC - Cyclic Redundancy Check	5.2
18	Two-Dimensional Parity (זוגיות דו-ממדית)	5.3
19	5.3.1 מבנה המנגנון	
19	5.3.2 יתירות (Redundancy) ויכולות תיקון	
19	5.3.3 דוגמה לחישוב	
20	שאלה 2 2025 סמסטר א מועד א	5.4
24	מסגור (Framing) - שכבה שנייה	5.5
24	5.5.1 Byte Stuffing	
25	5.5.2 Bit Stuffing	
25	פרוטוקולי ARQ וניתוח ביצועים	6
25	מבוא ומושגי יסוד	6.1
26	סוגי עיכובים במערכת	6.2
26	פרוטוקול Stop & Wait	6.3
26	6.3.1 חישוב Timeout אופטימלי	
27	6.3.2 ניתוח נצילות ויעילות	
27	6.3.3 טיפים לניתוח שאלות	
28	פרוטוקול Go-Back-N (GBN)	6.4

28	עקרונות הפעולה של החלון	6.4.1
28	טיפול בשגיאות ו-Timeout	6.4.2
29	בחירת גודל החלון האופטימלי (N)	6.4.3
29	ניתוח ביצועים ב-GBN	6.5
29	תוחלת מספר השידורים	6.5.1
29	זמן שידור ממוצע לחבילה (t_v)	6.5.2
29	נצילות הפרוטוקול (η)	6.5.3
30	דגשים לפתרון תרגילים	6.6
30	פרוטוקול Selective Repeat (SR)	6.7
30	עקרונות המנגנון	6.7.1
30	נצילות	6.7.2
30	סיכום והשוואה בין שיטות ARQ	6.8
31	תרגיל מסכם: ניתוח פרוטוקול Go-Back-N עם קוד חזרות	6.9
40	סוגי גישות לערוץ	7
41	שיטות לחלוקת ערוץ נטולת התנגשויות	7.1
41	TDMA - Time Division Multiple Access	7.1.1
41	Access Multiple Division Frequency - FDMA	7.1.2
42	נצילות ותפוקה (Throughput)	7.2
42	תרגיל דוגמה: הנצילות ב-TDMA	7.3
43	Code Division Multiple Access (CDMA)	7.4
43	מנגנון הפעולה	7.4.1
45	פרוטוקולי גישה אקראית (Random Access)	8
45	רקע סטטיסטי - התפלגות פואסונית	8.1
45	Pure Aloha	8.2
46	ניתוח ביצועים וזמן פגיע (Vulnerable Period)	8.2.1
46	חישוב הנצילות (Throughput)	8.2.2
46	דוגמה	8.3
47	דוגמה - נצילות בפרוטוקול ALOHA	8.4
47	Slotted Aloha	8.5
47	מנגנון הפעולה	8.5.1
48	Slotted Aloha - ניתוח ביצועים	8.5.2
48	שאלה - שילוב קבוצות ב-Slotted Aloha	8.6
49	שאלה - Slotted Aloha עם גדלי הודעות משתנים	8.7
62	השכבה השנייה - Data Link Layer ורשתות LAN	9
62	שיטות להעברת הודעות בשכבה השנייה	9.1
62	Virtual Circuit Switching	9.1.1
63	Datagram Switching	9.1.2
63	Source Routing	9.1.3
63	שאלה - השוואה בין שיטות מיתוג	9.2
63	שאלה	9.3
65	רכיב ה-Switch (מתג)	10
65	מאפייני ה-Switch	10.1
66	תרגיל: טבלאות ניתוב במתגים (Switch Forwarding Tables)	10.2

67	Spanning Tree Protocol (STP) 11
67	11.1 תפקידי הפורטים ב-STP
67	11.2 אלגוריתם הבחירה
67	11.3 דוגמה
73	שכבת הרשת - Network Layer (IP) 12
73	12.1 תפקידי הנתב ופעולות השכבה
74	12.2 פרוטוקול (IPv4) Internet Protocol
74	12.2.1 מבנה הכתובת ו-Subnet Mask
74	12.3 שאלות
75	אלגוריתם Longest Prefix Match 13
75	13.1 תרגיל: ניתוח טבלת ניתוב
76	13.2 צמצום טבלאות ניתוב (Route Aggregation)
78	13.3 דוגמה: צמצום כתובות (Route Aggregation) עם חריגות
80	13.4 שאלה 1 2024 סמסטר א מועד א
83	פרוטוקול DHCP - Dynamic Host Configuration Protocol 14
83	14.1 תהליך הקצאת הכתובת (DHCP Client-Server Scenario)
84	14.2 שאלות
86	NAT - Network Address Translation 15
86	15.1 עקרון הפעולה
87	15.2 ניתוח תהליך שליחה וקבלה (Step-by-Step)
87	15.3 בעיות ואתגרים ב-NAT
87	15.3.1 בעיית הקישוריות (Inbound Connection)
90	15.4 שאלה 1: ניתוח התכנסות רשת
97	15.5 שינוי עלות קשת (Link Cost Change)
99	אלגוריתם ניתוב Link State 16
99	16.1 שאלה: הרצת אלגוריתם Dijkstra
101	16.2 שאלה: עץ המסלולים הקצרים ביותר
101	16.3 סיכום והשוואה: Distance Vector מול Link State
101	מבוא לפרוטוקול OSPF 17
102	17.1 מושגים מרכזיים ונוסחאות לחישוב הודעות
102	17.2 תרגיל: חישוב כמות הודעות ברשת עץ (ממבחן 2010)
106	פרוטוקול IPv6 18
106	18.1 מבוא ושיפורים עיקריים
107	18.2 מבנה הכתובת וכללי כתיבה
107	18.2.1 כללי צמצום וקיצור כתובות
107	18.3 חלוקת הכתובת (Hierarchical Addressing)
108	18.4 הסבר על שיטת EUI-64 (Extended Unique Identifier 64)
108	18.5 תרגיל: חישוב כתובת Link-Local בשיטת EUI-64
109	18.6 מעבר ל-IPv6 מ-IPv4
109	18.6.1 אתגרי המעבר ופתרונות Tunneling
109	18.7 מערכות אוטונומיות (Autonomous Systems - AS)
109	18.8 ניתוב בין-מערכתי (Inter-AS Routing)

109	19	פרוטוקול BGP (Border Gateway Protocol)
109	19.1	עקרונות פעולה
110	19.2	מנגנון מניעת לולאות ומדיניות
110	19.3	פרוטוקול RIP (Routing Information Protocol)
110	19.4	תרגיל: ניתוח זרימת מידע בין מערכות AS
111	20	Transport Layer
111	20.1	הגדרת השכבה ותפקידיה
112	20.2	מנגנוני Multiplexing ו-Demultiplexing
112	20.3	דוגמה וטיפים לפתרון תרגילים
114	21	פרוטוקול UDP - User Datagram Protocol
114	22	תקשורת אמינה ופרוטוקול TCP
114	22.0.1	מאפייני TCP - Transmission Control Protocol
115	22.1	מנגנון Three-way Handshake
115	22.2	ניהול מספרי Sequence ו-ACK
115	22.3	שאלה : ניתוח פרוטוקול TCP - הקמת קשר והעברת נתונים
119	23	בקרת זרימה (Flow Control) ב-TCP
119	23.1	הגדרה ומטרה
119	23.2	חלון הקליטה (Receive Window - rwnd)
120	23.3	נוסחאות וחשובים
120	23.4	מקרים מיוחדים: חלון בגודל 0
121	23.5	שאלה : מגבלת קצב העברה בגלל גודל חלון
122	23.6	שאלה : העברת קובץ ענק וחשובי תקורה
122	24	בקרת גודש (Congestion Control) ב-TCP
122	24.1	מבוא והגדרות יסוד
123	24.2	מצבי בקרת הגודש
123	24.2.1	1. Slow Start
123	24.2.2	2. Congestion Avoidance
123	24.2.3	3. Fast Recovery (אופציונלי)
123	24.3	טיפול באירועי אובדן נתונים
124	24.4	שאלה : ניתוח מנגנוני בקרת גודש ב-TCP