

האוניברסיטה הפתוחה

20407

מבני נתונים

ומבוא לאלגוריתמים

חוברת הקורס אביב - 2010ב

כתב: ד"ר גיק וינשטין

מרץ 2010 – סמסטר אביב – תש"ע

פנימי – לא להפצה.

© כל הזכויות שמורות לאוניברסיטה הפתוחה.

תוכן העניינים

א	אל הסטודנט
	מתכונת הקורס
ה	1. מידע על הקורס
ו	1.1 פרקי הלימוד
ו	1.2 ידע מוקדם דרוש
ז	1.3 כיצד ללמוד
ז	1.4 מפגשי ההנחיה
ח	1.5 שימוש במחשב אישי
ט	1.6 בחינות הגמר
ט	1.7 התנאים לקבלת נקודות זכות בקורס
י	2. למידה מתוקשבת ואתר הקורס באינטרנט
יג	3. לוח זמנים ופעילויות
	מטלות הקורס
יז	4. תיאור המטלות
יז	4.1 מבנה המטלות
יז	4.2 חומר הלימוד הדרוש לפתרון המטלות
יח	4.3 ניקוד המטלות
יח	4.4 הנחיות לכתיבת אלגוריתמים
יט	4.5 הנחיות לכתיבת פרויקט הרצה
כא	5. נוהל הגשת מטלות
1	ממ"ן 11
3	ממ"ן 12
5	ממ"ן 13
7	ממ"ן 14 - פרויקט 1
9	ממ"ן 15
11	ממ"ן 16
13	ממ"ן 17
15	ממ"ן 18 - פרויקט 2
19	נספח : אלגוריתמי מיון - פסידוקוד

אל הסטודנט,

אנו מברכים אותך עם הצטרפותך לקורס "מבני-נתונים ומבוא לאלגוריתמים" באוניברסיטה הפתוחה. על מנת לסייע לך לעבור את הקורס בהצלחה, ברצוננו להפנות את תשומת לבך למספר נקודות חשובות:

- כידוע לך, נוכחות במפגשי ההנחיה אינה חובה. יחד עם זאת, **מומלץ מאד** להגיע באופן סדיר למפגשי ההנחיה. המפגשים כוללים תרגול רב והשתתפות בהם תסייע לך בפתרון המטלות. כמו כן, ניסיון העבר מלמד, כי קיים מתאם גבוה בין נוכחות סדירה במפגשי ההנחיה לבין הצלחה במבחן הסופי.
 - במהלך הקורס יש להגיש תרגילי בית. כדי להיות זכאי לגשת לבחינה, יש להגיש את שני הפרויקטים (ממ"נים 14 ו-18) וכן להגיש עוד שלושה ממ"נים. הכנת תרגילי הבית מהווה הכנה מצוינת לבחינה ולכן מומלץ להגיש כמה שיותר תרגילים. (כל ממ"ן נוסף שיוגש מעבר למינימום הנדרש יוכל רק **לשפר** את ציון המגן - ר' סעיף 4.3 בחוברת). יש להקפיד על הגשת הממ"נים במועד.
 - כמו קורסים רבים אחרים באו"פ, גם הקורס "מבני-נתונים ומבוא לאלגוריתמים" הוא קורס **מתוקשב**. לקורס יש אתר-בית, שבו ניתן להיפגש עם סטודנטים אחרים בקורס ולדון איתם על החומר הנלמד בקורס, המטלות, או כל נושא אחר. מומלץ לעקוב אחרי ההודעות המתפרסמות בלוח ההודעות שבאתר. מאגר המשאבים שבאתר מתעדכן באופן שוטף במהלך הסמסטר, והוא מכיל פתרונות לשאלות מספר הלימוד, בחינות לדוגמה וכדומה.
 - לתשומת לבך**, אתר הקורס הוא ערוץ תקשורת רשמי. יש להתייחס להודעות ועדכונים שיופיעו בלוח ההודעות שבאתר כאילו נשלחו בדואר.
- רצוי לקרוא את חוברת הקורס לפני תחילת הסמסטר. השקעת זמן מועט בקריאת החוברת עשויה לענות על שאלות רבות ולמנוע קשיים ואי-הבנות בעתיד.
- צוות הקורס ישמח לעמוד לרשותך בכל שאלה שתתעורר.

ניתן לפנות למנחים בשעות ההנחיה הטלפונית שלהם, או אל מרכזי הקורס:

ד"ר ג'ק וינסטין: ביום א' בשעות 15:00-17:00 בטלפון 09-7781270,

e-mail: jack-weinstein@hotmail.com

אייל משיח: ביום ג' בשעות 11:00-13:00 בטלפון 09-7781233,

e-mail: eyalma@openu.ac.il

פגישות יש לתאם מראש.

אנו מאחלים לך לימוד פורה ומהנה.

בברכה,

ד"ר ג'ק וינסטין
מרכז ההוראה בקורס

מתכונת הקורס

1. מידע על הקורס

הקורס דן בשני נושאים הקשורים באופן הדוק זה לזה: אלגוריתמים ומבני נתונים. בתחום האלגוריתמים מתוארות שיטות שונות לתכנון אלגוריתמים כמו, למשל, הפרד ומשול ותכנון דינמי. הקורס עוסק בניתוח אלגוריתמים ובהוכחת נכונותם, תוך שימת דגש מיוחד על ניתוח האלגוריתמים מבחינת **יעילותם**.

בתחום מבני הנתונים, כל מבנה נתונים מוצג תחילה בצורתו המופשטת, ולאחר מכן מוצג מימוש אפשרי של מבנה הנתונים המופשט.

הקורס מתבסס על התרגום לעברית של הספר "*Introduction to Algorithms*" שנכתב בידי T.H. Cormen, C.E. Leiserson, R.L. Rivest & C. Stein, כשהוא מלווה במדריך למידה. לימוד הפרקים הרלוונטיים בספר יתנהל בהתאם להנחיות במדריך הלמידה.

1.1 פרקי הלימוד

פרקי הספר הנלמדים בקורס הם:

פרקים 1-2	-	מבוא
פרק 3	-	גידול של פונקציות
פרק 4	-	נוסחאות נסיגה
פרק 6	-	מיון-ערמה
פרק 7	-	מיון-מהיר
פרק 8	-	מיון בזמן לינארי
פרק 9	-	חציונים וערכי מיקום
פרק 10	-	מבני נתונים בסיסיים
פרק 11	-	טבלאות גיבוב
פרק 12	-	עצי חיפוש בינריים
פרקים 13-14	-	עצים אדומים-שחורים

מדריך הלמידה המלווה את הספר מתאר באופן מפורט את דרך הלימוד ואת הסדר שבו יש ללמוד את פרקי הספר השונים.

מדריך הלמידה כולל 12 פרקים המפורטים להלן:

פרק במדריך	נושאים
א'	פרקים 1 ו-2 בספר
ב'	פרק 3 בספר
ג'	פרק 4 בספר
ד'	פרק 6 בספר
ה'	פרק 7 בספר
ו'	פרק 9 בספר
ז'	פרק 8 בספר
ח'	פרק 10 בספר
ט'	פרק 11 בספר
י'	פרק 12 בספר
י"א	פרק 13 בספר
י"ב	פרק 14 בספר

כל פרק במדריך הלמידה מכיל הסברים נוספים לגבי חלק מהחומר המתאים מהספר ואוסף של שאלות עם פתרונות מלאים.

1.2 ידע מוקדם דרוש

הנספחים בספר הלימוד דרושים כתנאי מוקדם לצורך לימוד הקורס. במידה שאינך מכיר את המושגים המופיעים בסעיפים אלה, טוב תעשה אם תקרא לפני תחילת הקורס (או כאשר הדבר יידרש) את הסעיפים הרלוונטיים.

1.3 כיצד ללמוד?

הלימוד בקורס יתנהל על-פי מדריך הלמידה המכיל הנחיות לסדר הלימוד ומפרט במדויק אילו סעיפים יש לקרוא בספר בכל שלב. המדריך מחלק את החומר ליחידות קטנות, מסביר ומבהיר כל יחידה, ומכיל שאלות רבות בלויית פתרונותיהן.

עליך לקרוא את הפרקים במדריך הלמידה בזה אחר זה על-פי תכנית הקורס. עליך ללמוד ביסודיות כל סעיף ולהקדיש לכך את מלוא הזמן הדרוש להבנת החומר הכלול בו. רצוי מאוד שתנסה לענות בעצמך על השאלות המופיעות בגוף הפרק לפני שתפנה לקרוא את התשובות.

יש להקדיש ללימוד ותרגול החומר כ- 10-15 שעות בשבוע. אם תיתקל בקשיים תוך כדי לימוד, נצל את ההנחיה הטלפונית, או שאל את המנחה במפגש הקרוב.

רק לאחר שהבנת היטב את חומר הלימוד, תוכל לגשת לפתרון המטלה. המטלה כוללת שאלות, שלפחות בחלקן הן קשות ומורכבות יותר מאלו המופיעות במדריך הלמידה, והן נועדו לבדוק את יכולתך ביישום חומר הלימוד.

שמירה על קצב הלימוד המתוכנן, כמפורט ב"לוח זמנים ופעילויות" והגשת המטלות בזמן ימנעו ממך קשיים בלתי רצויים במהלך הסמסטר ויסייעו לך בהפקת מלוא התועלת מהקורס.

ספרים המומלצים לצורך קריאה נוספת:

1. A.V. Aho & J.E. Hopcroft & J.D. Ullman: *Data Structures & Algorithms*
2. A.V. Aho & J.E. Hopcroft & J.D. Ullman: *The Design and Analysis of Computer Algorithms*

1.4 מפגשי ההנחיה

במהלך הסמסטר יתקיימו שבעה מפגשי הנחיה במרכזי הלימוד השונים (בקבוצות הלימוד שבהן ההנחיה מוגברת, יתקיימו 12 מפגשים). בכל מפגש יוקדש חלק מן הזמן להבהרת נקודות מרכזיות בחומר הלימוד, ושאר הזמן יוקדש לשאלות הסטודנטים ולפתרון תרגילים. חשוב להדגיש כי המפגש אינו מהווה תחליף ללימוד עצמי. (כלומר, אין לצפות לכך שהמנחה ילמד במפגשי ההנחיה את החומר!)

להלן פירוט המפגשים (בהנחיה רגילה):

מפגש 1:	פרקים א, ב במדריך הלמידה
מפגש 2:	פרקים ג, ד במדריך הלמידה
מפגש 3:	פרקים ה, ו במדריך הלמידה
מפגש 4:	פרקים ז, ח במדריך הלמידה
מפגש 5:	פרקים ט, י במדריך הלמידה
מפגש 6:	פרקים יא, יב במדריך הלמידה
מפגש 7:	מפגש חזרה

מידע על מיקום מרכז הלימוד וכן על תאריכי המפגש של קבוצתך תוכל למצוא ב"לוח מפגשים ומנחים".

הערה: כדי להפיק את מלוא התועלת מהמפגשים, מומלץ לקרוא את החומר הרלוונטי לפני המפגש.

1.5 שימוש במחשב אישי

במהלך הקורס תזדקק למחשב אישי כדי להכין את תרגילי ההרצה. אם אין ברשותך מחשב אישי מתאים, תוכל להשתמש במחשבים הנמצאים במרכז הלימוד של האו"פ. תוכל גם להדפיס את התוכניות במדפסות שבמרכז הלימוד.

1.6 בחינות הגמר

הנך זכאי לגשת לבחינת גמר בקורס רק אם עמדת בכל דרישות הקורס לפני מועד בחינה. (כלומר הגשת מטלות במשקל מינימלי והשתתפת בשאר פעילויות החובה של הקורס).

בחינות הגמר יחלו כשבוע ימים לאחר תום הסמסטר. הודעה על המועדים המדויקים תישלח לסטודנטים על-ידי מרכז ההישגים הלימודיים כחודשיים לאחר תחילת הסמסטר. מועדי בחינות הגמר שנקבעו לסמסטרים הבאים מפורטים בידיעון האקדמי.

לתשומת לבך!

הנך זכאי להיבחן בקורס פעמיים: במועדים של הסמסטר הנוכחי או במועדים של הסמסטר הבא בו יילמד הקורס. בכך תמצה את זכותך להיבחן בקורס. סטודנט שניגש לבחינות גמר בשני מועדים ונכשל בשניהם, יוכל להירשם לקורס זה פעם נוספת ולקבל הנחה בשכר הלימוד. פרטים בידיעון האקדמי.

על מתכונת בחינת הגמר ראה בנספח "בחינות גמר לדוגמה" בחוברת זו. בחינות הגמר לדוגמה מייצגות בחינות שהתקיימו בסמסטרים קודמים. אנו מצרפים בחינות אלה כדי שתוכלנה לשמש כלי עזר נוסף ללימוד, ולעזור בהכנה למבחן. אין בכך התחייבות שהבחינות בסמסטר הנוכחי תהיינה זהות במבנה, באופי השאלות וכו' לאחת מן הבחינות לדוגמה.

1.7 התנאים לקבלת נקודות זכות בקורס

- א. הגשת פרויקט 1 (ממ"ן 14) ופרויקט 2 (ממ"ן 18).
- ב. הגשת שלושה ממ"נים לפחות מתוך ששת הממ"נים הרגילים.
- ג. ציון של 50 לפחות בכל פרויקט.
- ד. ציון של 23 לפחות בכל מטלה אחרת הנלקחת בחשבון (ר' סעיף 4.3).
- ה. ציון של 60 לפחות בבחינת הגמר.
- ו. הציון המשוקלל של המטלות, הפרויקטים והבחינה נדרש להיות 60 לפחות.

2. למידה מתוקשבת ואתר הקורס באינטרנט <http://telem.openu.ac.il>

לקורס שבו אתם לומדים קיים אתר באינטרנט הפועל כמעין מרכז לימוד וירטואלי של הקורס. האתר מהווה עבורכם ערוץ תקשורת עם סטודנטים אחרים בקורס ועם צוות ההוראה, ומאפשר לכם ליהנות מחומרי למידה נוספים שמפרסם מרכז ההוראה. ההשתתפות בפעילות המתוקשבת באתר אינה דורשת הרשמה מיוחדת. הכניסה לאתר מתבצעת מכל עמדת מחשב שיש בה חיבור לאינטרנט (בבית, במקום העבודה, ממחשב של חבר), בשעות ובימים הנוחים לכם.



מהם הציוד והתוכנה הנדרשים כדי לגלוש באתר?

כדי לבקר באתר ולהשתתף בפעילות נדרשת גישה למחשב המסוגל להריץ Microsoft Internet Explorer 6 ומעלה, הכולל מעבד התמלילים Microsoft Word 7.0 ומעלה. תוכנות Office אחרות מומלצות.

כיצד מגיעים לאתר הקורס?

תחילה עליכם להיכנס לאתר הראשי של שוהם בכתובת: <http://telem.openu.ac.il>
לאחר מכן הקלידו את מספר הקורס או את שמו בחלון שלהלן:

כניסה לאתרי הקורסים

סמסטר 2009 א

שם קורס או מספר קורס (2009 א בלבד)

לאתר הקורס

[לרשימת אתרי הקורסים והמחלקות \(2009 א\)](#)

מה כוללים אתרי הקורסים?

אתרי הקורסים מאפשרים לקיים **תקשורת זמינה ושוטפת** בין כל השותפים ללמידה ולהוראה בקורס.

נוסף על כך באתרי הקורסים מתפרסמים **חומרי לימוד** כגון: עדכונים ליחידות הלימוד, תרגול נוסף, דוגמאות של מבחנים, משובים לממ"נים, המחשות, לומדות ועוד. **חומרי העשרה** כגון: מצגות, עבודות לדוגמה של סטודנטים, נושאים אקטואליים, מבחני רב ברירה עם משוב מיידי, קישורים למאגרי מידע ולאתרים שונים ברשת האינטרנט ועוד.

בחלק מהאתרים משולבים **שיעורי וידיאו** מוקלטים המחולקים לפרקים והמזמנים לימוד הדומה במקצת לשיעור חי. החלוקה לפרקים מאפשרת צפייה נוחה בשיעור, ובמיוחד חזרה על פרקים ספציפיים מתוך הרצף. בדקו האם יש הפניה לשיעורי וידיאו בקורס שלכם והיעזרו בהם ללמידה. כל אלה הן דוגמאות בלבד - באתר של כל קורס בוחר מרכז ההוראה להציג את החומרים המתאימים לתכני הקורס.


הפנקס האישי

באתרי הקורסים משולב "פנקס אישי" המאפשר לכם לרכז הערות אישיות לחומרים שתבחרו מתוך אתר הקורס. הפנקס האישי, כשמו כן הוא - אישי. רק אתם מורשים לצפות בו. אותו פנקס ילווה אתכם בכל תקופת לימודיכם באוניברסיטה הפתוחה וישרת אתכם בכל הקורסים שתלמדו. תוכלו לאסוף לפנקס האישי פריטי תוכן מאתרי קורסים שונים, בתנאי שיש לכם הרשאה אליהם. פרטים על הפנקס האישי והמלצות לשימוש בו ראו באתר תלם, אזור מידע לסטודנטים או ישירות בכתובת: http://telem.openu.ac.il/personal_notes מקווים שהפנקס האישי יהיה לכם לעזר במהלך לימודיכם באוניברסיטה הפתוחה.

כיצד מתבצעת התקשורת באתר?

בדף הבית באתר פרוס לוח הודעות בו מתפרסמות הודעות שוטפות מטעם צוות ההוראה בנושאים ואירועים הקשורים לקורס. באתר יש קבוצת דיון המאפשרת שיח שוטף בין כל משתתפי הקורס באמצעות חילופי טקסט. אפשר לשתף ולהתייעץ, לדון בחומר הלימוד, להעלות קשיים, לשאול שאלות ולקיים שיח לימודי וחברתי. קבוצת הדיון פתוחה רק בפני הסטודנטים והמנחים הלומדים ומלמדים בקורס. הדואר האלקטרוני מאפשר קיום תקשורת בינאישית בין הסטודנטים ומול צוות ההוראה. הציט מאפשר לכל משתתפי הקורס, לומדים ומלמדים, "לשוחח" בזמן אמת באמצעות הודעות טקסט במועד שנקבע מראש.

ביקור ראשון באתר הקורס

הצעד הראשון בביקורכם באתר הוא לערוך עימו הכרות - התחילו לשוטט במדורים השונים הנמצאים באתר בצורה חופשית כדי להכיר את המבנה שלו ואת התכנים שנמצאים בו. היכנסו ל  עדכון פרטים אישיים ובצעו את הפעולות הבאות:

- **עזכנו את כתובת הדואר האלקטרוני שלכם** כדי שתוכלו לקבל דואר ממרכז ההוראה.
 - **אשרו פרסום שמכם** בדף רשימות הסטודנטים באתר כדי שסטודנטים אחרים יוכלו לפנות אליכם ישירות.
 - **תוכלו לשנות את סיסמת הגישה האישית לאתר** (אם היא מסובכת מדי לזכירה).
- בקרו בקבוצת הדיון והציגו עצמכם בפני צוות הקורס וחברי הקבוצה, תוכלו לספר מעט על עצמכם ולשתף אחרים בציפיות שלכם מהקורס. בביקורים הבאים באתר, נצלו את קבוצת הדיון להעלות שאלות, להציע רעיונות ולשתף אחרים בחוויות ובפתרונות. לרשותכם קיים באתר מדריך למשתמש הכולל הנחיות טכניות לתפעול סביבת הלמידה, אליו ניתן להגיע מהקישור [עזרה](#) בראש דף הבית.

תדירות הביקור באתר ולמה כדאי לחזור ולבקר בו

האינטרנט כידוע הוא מדיום בעל יתרונות רבים, אחד מהם הוא האפשרות לעדכן את המידע באופן שוטף ובמהירות. היתרון הזה בא לידי ביטוי באתרי הקורסים ומאפשר לצוות ההוראה לעדכן את האתר ואתכם, הסטודנטים, באופן שוטף בפרסומים, בחידושים, בדוגמאות אקטואליות ועוד. במילים אחרות, בניגוד ליחידות הלימוד הכתובות, אתר הקורס כפי שמוצג בראשית הסמסטר אינו דומה כלל וכלל לאתר הקורס בסוף הסמסטר. אתרי הקורסים מתרחבים ומתעדכנים כל העת. עשו לעצמכם מנהג לבקר באתר באופן שגרתי ולהפנות אליו את שאלותיכם. גם אם בהתחלה הדבר יהיה אולי מכביד או מאולץ, עם הזמן תיווכחו כי עומד לרשותכם אמצעי עזר יעיל ללמידה.

היכנסו לאתר, היעזרו בתכנים השונים וכמובן השתתפו באופן פעיל. האתר נועד לכם ושימוש נכון בו יכול להקל עליכם את הלמידה.
להתראות באתר!

כיצד מקבלים סיסמת גישה לאתר הקורס?

לכל סטודנט הרשום לקורס מתוקשב, נפתח באוניברסיטה חשבון אישי הכולל סיסמת גישה לאתר הקורס באינטרנט. הסיסמה מופקת פעם אחת לכל תקופת הלימודים, ותשרת אתכם בכל הקורסים המתוקשבים שאליהם אתם רשומים. **חשוב לשמור את הסיסמה גם לקורסים ולסמסטרים הבאים.** אם זו פעם ראשונה שאתם לומדים בקורס מתוקשב, תישלח לביתכם הודעה שתכלול את שם המשתמש והסיסמה המקורית שלכם. **אנא הקפידו לשמור פרטים אלה!** תוכלו לשנות את הסיסמה האישית באתר הקורס בכפתור **עדכון פרטים אישיים**. אם שנייתם את הסיסמה, אנא הקפידו לרשום אותה לפניכם. אם שכחתם אותה, עליכם ליצור קשר עם מוקד הפניות והמידע בטלפון 09-7782222, באמצעות דואר אלקטרוני: infodesk@openu.ac.il או תוכלו להשתמש גם בשירותי קול האו"פ בטלפון 09-7781111.

שימו לב! מטעמי סודיות לא ניתן לקבל את הסיסמה בטלפון. בכל מקרה של דרישת סיסמה, היא תישלח בדואר לכתובת המעודכנת במחשב האוניברסיטה הפתוחה.

שליחת ממ"נים באמצעות מערכת המטלות המקוונת

בכל קורס (למעט בודדים), ניתן להגיש מטלות באמצעות מערכת המטלות המקוונת. מערכת המטלות המקוונת היא, מערכת ממוחשבת מבוססת אינטרנט לשינוע מטלות מן הסטודנטים למנחים ובחזרה. המטלות נשלחות באמצעות מהסטודנטים למנחי הקורס ומוחזרות לאחר בדיקתן כולל ציון ומשוב, תוך בקרה מלאה של מרכזי ההוראה. יתרונותיה הבולטים של המערכת, היא האפשרות של הסטודנטים לדעת בכל שלב האם המטלה נמצאת אצל המנחה (הורדה למחשב שלו), האם נבדקה, ומה הציון שניתן עליה. על כל אלה יש להוסיף את היתרון כי שימוש במערכת המקוונת אינו מצריך מילוי ידני של טפסים וכמובן שאין צורך במשלוח בדואר. לצד המעקב המנהלי, המערכת מאפשרת, קבלת משוב מסודר ומתועד היטב בגוף המטלה או בקובץ נפרד.

תמיכה טכנית ובירורים



מוקד הפניות והמידע

טלפון רב קווי 09-7782222, דואר אלקטרוני: infodesk@openu.ac.il
שעות הפעילות של מוקד הפניות הן:

בימי ראשון עד חמישי בין השעות: 8:30 - 19:00

בימי שישי וערבי חג בין השעות: 8:30 - 12:30

בעת הפנייה למוקד, הנכם מתבקשים להצטייד במספר ת"ז וקוד אישי.

יש לפנות למוקד בנושאים:

- סיסמת המשתמש (לקבלה או שחזור סיסמה. ניתן גם להשתמש גם בשירותי קול האו"פ בטלפון 09-7781111)
 - הודעת שגיאה המודיעה כי אינכם מורשים לגשת לדף כלשהו באתר
 - קשיים בהפעלת מערכת שליחת מטלות (במידה שקיבלתם הודעה שבקורס נעשה שימוש במערכת)
 - שאלות כלליות על אתרי הקורסים ודיווח על תקלות טכניות באתר (למשל דף משובש או כתובת URL שגויה)
- בכל הנושאים הקשורים לתכנים באתר הקורס, עליכם לפנות לצוות ההוראה בקורס.**

3. לוח זמנים ופעילויות (20407 \ 2010ב)

שבוע לימוד	תאריכי שבוע הלימוד	יחידת הלימוד המומלצת	מפגשי ההנחיה*	תאריך אחרון למשלוח ממ"ן (למנחה)
1	12.3.2010-7.3.2010	פרקים 1 - 2		
2	19.3.2010-14.3.2010	פרק 3	מפגש ראשון	
3	26.3.2010-21.3.2010	פרק 4		ממ"ן 11 28.3.2010
4	2.4.2010-28.3.2010 (ג-ו פסח)	פרק 6	מפגש שני	
5	9.4.2010-4.4.2010 (א-ב פסח)	פרק 7		ממ"ן 12 11.4.2010
6	16.4.2010-11.4.2010 (ב יום הזכרון לשואה)	פרק 7		
7	23.4.2010-18.4.2010 (ב יום הזכרון) (ג יום העצמאות)	פרק 9	מפגש שלישי	
8	30.4.2010-25.4.2010	פרק 8		ממ"ן 13 2.5.2010
9	7.5.2010-2.5.2010 (א ל"ג בעומר)	פרק 10	מפגש רביעי	פרויקט 1 9.5.2010

* התאריכים המדויקים של המפגשים הקבוצתיים מופיעים ב"לוח מפגשים ומנחים". אנא שבצו אותם בכתב ידכם. מרכז הלימוד ומספר הקבוצה מצוינים בהודעה ללומד שקיבלתם ממערך שירותי הוראה.

לוח זמנים ופעילויות - המשך

שבוע הלימוד	תאריכי שבוע הלימוד	יחידת הלימוד המומלצת	מפגשי ההנחיה*	תאריך אחרון למשלוח הממ"ן (למנחה)
10	14.5.2010-9.5.2010 (ד יום ירושלים)	פרק 11		ממ"ן 15 16.5.2010
11	21.5.2010-16.5.2010 (ג-ד שבועות)	פרק 12	מפגש חמישי	
12	28.5.2010-23.5.2010	פרק 13		ממ"ן 16 30.5.2010
13	4.6.2010-30.5.2010	פרק 14	מפגש שישי	
14	11.6.2010-6.6.2010	פרק 14		ממ"ן 17 13.6.2010
15	18.6.2010-13.6.2010	חזרה	מפגש שביעי	פרויקט 2 1.7.2010

מועדי בחינות הגמר יפורסמו בנפרד

* התאריכים המדויקים של המפגשים הקבוצתיים מופיעים ב"לוח מפגשים ומנחים". אנא שבצו אותם בכתב ידכם. מרכז הלימוד ומספר הקבוצה מצוינים בהודעה ללומד שקיבלתם ממערך שירותי הוראה.

מטלות הקורס

4. תיאור המטלות

קרא היטב עמודים אלו לפני שתתחיל לענות על השאלות

חוברת זו מכילה שש מטלות "יבשות" ושני פרויקטים שעליך להגיש במהלך הקורס. **שני פרויקטי ההרצה הם חובה!** מבין שש המטלות הנותרות יש לפתור **שלוש לפחות**.

4.1 מבנה המטלות

ממ"ן רגיל

מטלה זו מורכבת מכמה שאלות. פתרון השאלות במטלה כזו אינו דורש הרצת תוכניות במחשב. את הפתרון יש לכתוב **בעט** על דף נייר, **בכתב ברור** ובצורה מסודרת. רצוי לכתוב ברווחים ולהשאיר שוליים רחבים להערות המנחה. (אפשר ורצוי, כמובן, להדפיס את הפתרונות למטלה.) אם שאלה כלשהי בממ"ן אינה ברורה די הצורך, תוכל להיעזר בקבוצת הדיון של הקורס, או להתקשר לאחד המנחים (בשעת ההנחיה הטלפונית).

פרויקט הרצה

במטלה כזו עליך לכתוב ולהריץ במחשב תוכנית בשפת פסקל או C/C++. מובן שעל התוכנית לעבור קומפילציה ולבצע את הנדרש ממנה ללא טעויות. עליך לשלוח למנחה: 1. הדפסה של קובץ התוכנית
2. דוגמאות מייצגות של קלטים/פלטים אפשריים
3. דיסקט המכיל את קובץ התוכנית וקובץ exe של התוכנית.

הערה: מומלץ להתחיל לעבוד על הפרויקטים לפחות שבועיים לפני מועד ההגשה.

4.2 חומר הלימוד הדרוש לפתרון המטלות

מ ט ל ה	חומר הלימוד הנדרש לפתרונה (במדריך הלמידה)
ממ"ן רגיל 11	פרקים א,ב (עד עמוד 22)
ממ"ן רגיל 12	פרקים ב,ג
ממ"ן רגיל 13	פרקים ד,ה
ממ"ן 14 - פרויקט הרצה 1	פרקים א עד ה
ממ"ן רגיל 15	פרקים ו,ז
ממ"ן רגיל 16	פרקים ח,ט
ממ"ן רגיל 17	פרקים י,י"ב
ממ"ן 18 - פרויקט הרצה 2	פרקים ו עד י"ב

הערות: 1. לצורך פתרון המטלה, יש להשתמש רק בחומר שנלמד עד למועד הגשת המטלה ולא בחומר הנמצא בפרקים מתקדמים יותר.

2. כעיקרון, בעת פתרון שאלות, אין להסתמך על תוצאות משאלות בלתי-פתורות בספר הלימוד בלי להוכיחן, אלא אם ניתן לכך היתר מפורש, או אם פתרונות לאלה מופיעים במדריך הלמידה, בחומר הנלמד במפגשי ההנחיה, באתר הקורס וכדומה (ובמקרה זה יש להזכיר את המקור עליו מסתמכים). עם זאת, ניתן לחרוג מכלל זה, ככל שמדובר בתוצאות מוכרות וקלות, או שאין בהן כדי להפוך את השאלה המקורית לקלה מדי ולחסרת עניין.

4.3 ניקוד המטלות

משקל כל אחד מהממ"נים 11, 12, 13, 15, 16, 17 - 4 נקודות.

משקלו של פרוייקט 1 (ממ"ן 14) - 2 נקודות

משקלו של פרוייקט 2 (ממ"ן 18) - 4 נקודות

כאמור, חובה להגיש את ממ"נים 14 ו-18 ועוד שלושה ממ"נים רגילים.

כלומר, כדי שתוכל לגשת לבחינה עליך לצבור לפחות 18 נקודות מתוך 30 הנקודות האפשריות.

הכנת המטלות הרגילות חייבת להיעשות על-ידי כל סטודנט **בנפרד**. במקרה שתוגשנה שתי מטלות זהות, המטלות תיפסלנה ותוגש תלונה לוועדת המשמעת.

הכנת הפרוייקטים (ממ"נים 14 ו-18) יכולה להיעשות בזוגות.

לתשומת לבכם!

כדי לעודדכם להגיש לבדיקה מספר רב של מטלות הנהגנו את ההקלה שלהלן:

אם הגשתם מטלות מעל למשקל המינימלי הנדרש בקורס, **המטלות** בציון הנמוך ביותר, שציוניהן נמוכים מציון הבחינה (**עד שתי מטלות**), לא יילקחו בחשבון בעת שקלול הציון הסופי.

זאת בתנאי שמטלות אלה **אינן חלק מדרישות החובה בקורס** ושמשקל המטלות האחרות שהוגשו עובר את המינימום ההכרחי.

זכרו! ציון סופי מחושב רק לסטודנטים שעברו את בחינת הגמר בציון 60 ומעלה והגישו מטלות כנדרש באותו קורס.

4.4 הנחיות לכתיבת אלגוריתמים

בחלק מהשאלות בממ"נים הרגילים יש לכתוב **אלגוריתם**. להלן מספר הנחיות:

1. הסבר בקצרה את אופן הפעולה של האלגוריתם (אלא אם כן האלגוריתם מאוד פשוט).

אלגוריתם ללא הסבר - לא יתקבל!

2. כתוב את האלגוריתם בפסידו-קוד, בדומה לספר. מותר לשלב בפסידו-קוד הוראות בעברית, במידה שהמימוש שלהן חד-משמעי וברור. (לדוגמה: ניתן לכתוב "בחר את האיבר הראשון ברשימה; אם הוא גדול מ-7 אז...").

3. אסור בשום אופן לכתוב תוכניות בשפת תכנות במקום בפסידו-קוד.

4. אם נתבקשת להוכיח את נכונות האלגוריתם עשה זאת בצורה פורמלית ומדויקת (למשל, תוך שימוש באינדוקציה או בכלים מדויקים אחרים). **גם אם לא** נתבקשת להוכיח נכונות, יש להסביר באופן כללי מדוע האלגוריתם עובד כשורה.
5. בכל מקרה (גם אם הדבר לא צוין במפורש) יש לנתח את זמן הריצה של האלגוריתם. כמו כן, **תמיד** נסה להגיע לאלגוריתם יעיל ככל שניתן.

4.5 הנחיות לכתיבת פרוייקט הרצה

ההנחיות נחלקות לשני נושאים עיקריים:

1. כתיבת הקוד: תכנות פשוט וקריא, מודולריות, תכנות מלמעלה למטה.
2. תיעוד: תיעוד כללי, תיעוד בגוף התוכנית.

1. כתיבת הקוד

תכנות פשוט וקריא

- א. לאחר קריאת התיעוד, על התכנית להיות מובנת גם למי שלא היה שותף לכתיבתה! לכן יש להקפיד על הכללים הבאים:
- א. יש לתת למשתנים שמות משמעותיים.
- ב. אין להשתמש באותו משתנה למטרות שונות (יוצאים מן הכלל בעניין זה הם משתנים המשמשים כאינדקסים).
- ג. אם משתנה מקבל במהלך התכנית ערכים בתחום מסוים, יש להגדיר תחום זה.
- ד. כדאי להשתמש ב- `ordered type` בעל משמעות בכל מקום שאפשר. למשל, בשפת פסקל, במקום: `month = 1..12` נשתמש ב- `month = (jan, feb, ..., dec)`.
- ה. יש להעביר פרמטרים בין הפרוצדורות השונות ולא להשתמש במשתנים גלובליים.

מודולריות

- א. את התוכנית יש לחלק למודלים (פרוצדורות ופונקציות) בהתאם לכללים הבאים:
- א. אם קטע קוד או פעולה חוזרים על עצמם בשינויים קלים, יש לכתוב אותם פעם אחת כפרוצדורה/פונקציה.
- ב. מספר המשפטים בפרוצדורה/פונקציה צריך להיות מוגבל, כך שניתן לקרוא ולהבין את פעולתה בקלות.
- ג. אם פרוצדורה x נקראת אך ורק בתוך פרוצדורה y , יש להגדיר את x בתחום הגדרת הפרוצדורות של y .
- ד. יש להשתדל לרכז את פעולות הקלט/פלט בתוך פרוצדורות ספציפיות למטרות אלו.
- ה. התוכנית הראשית צריכה להיות מורכבת אך ורק מקריאות לפרוצדורות ופונקציות.

תכנות מלמעלה למטה (Top-Down)

לאחר כתיבת האלגוריתם לפתרון הבעיה המוצגת בממ"ן, יש "לתרגם" את האלגוריתם לתוכנית מחשב.

רצוי לכתוב את התוכנית באופן הבא :

- שלב א - תכנון המבנה הכללי של התוכנית, וחלוקה לפרוצדורות/פונקציות עיקריות (מודולים).
- שלב ב - תכנון כל מודול וחלוקה לתת-מודולים. (יש להחליט בשלב זה אילו ערכים מועברים בין המודולים).
- שלב ג - כתיבת הקוד לתוכנית בסדר שבו היא תוכננה : מתחילים בתוכנית הראשית ומסיימים בפרוצדורות ופונקציות העזר.
- שלב ד - ניפוי שגיאות, בדיקת נכונות התוכנית באמצעות הרצתה על קלטים שונים, כתיבת התיעוד.

2. תיעוד

התיעוד צריך להיות מורכב מ-2 חלקים :

1. תיעוד כללי :

- תיאור הבעיה והגישה הכללית של התוכנית לפתרונה.
- תיאור מבני הנתונים העיקריים שבהם התוכנית משתמשת.
- תיאור כללי של הפרוצדורות והפונקציות המרכיבות את התוכנית והקשרים ביניהן (מי קורא למי וכו').

2. תיעוד בגוף התכנית :

לכל פרוצדורה ופונקציה יש להוסיף מספר שורות, המסבירות באופן כללי מה מבצעת השגרה ומהו תפקיד המשתנים המוגדרים בה. כמו כן יש להוסיף הסברים נוספים לפי הצורך.

5. נוהל הגשת מטלות מנחה (ממ"ן)

קיימות שתי חלופות להגשת מטלות :

- **שליחת מטלות באמצעות מערכת המטלות המקוונת**
מערכת שליחת המטלות קלה להפעלה, היא חוסכת את הצורך במילוי טפסים, במשלוח דואר ובשמירת עותק של המטלה, ומאפשרת מעקב אחר המטלה.
הגישה למערכת המטלות המקוונת היא דרך אתר הבית של הקורס בקישור "מערכת המטלות".

- **שליחת מטלות באמצעות הדואר או הגשה ישירה למנחה במפגשי ההנחיה**
לכל מטלת מנחה עליכם לצרף טופס נלווה אחד.
הקפידו למלא את כל הפרטים בחלק א של הטופס. הכניסו את הטופס (על כל חלקיו הצבעוניים) יחד עם המטלה למעטפה המיועדת לכך ורשמו בכתב יד ברור את כתובתכם (כולל מיקוד!) במקום המיועד לכך.
רשמו את שם המנחה וכתובתו באופן מדויק. (דוגמה לטופס נלווה לממ"ן ראו בהמשך).
השאירו עותק של המטלה בידכם!

מועדי הגשה ומשלוח מטלות בדואר
בעמוד הראשון של כל מטלה מצוין מועד הגשתה. יש לשלוח את המטלה עד ל"מועד האחרון להגשה" המצוין עבורה. אסור שחזרת הדואר על המעטפה תישא תאריך מאוחר מ"המועד האחרון" להגשת הממ"ן.

שימו לב : אין לשלוח מטלות בדואר רשום! הקפידו לרשום את כתובת המנחה בצורה מדויקת כולל מיקוד.

את הממ"ן עליכם לשלוח לבדיקה **רק למנחה שלקבוצתו אתם משובצים**. ממ"ן שישלח למנחה אחר ללא אישור מראש של מרכז ההוראה ציונו לא ייחשב.

הממ"ן ייבדק ויוחזר לכם תוך שלושה שבועות מהתאריך האחרון להגשת הממ"ן. אם הממ"ן לא יוחזר אליכם במועד זה, אנא התקשרו עם המנחה לבירור סיבת העיכוב.

דחייה בהגשת מטלות
במקרים מיוחדים, כגון שירות מילואים, תוכלו לפנות למנחה שלכם לקבלת אישור לדחיית מועד ההגשה. לכל מטלה המוגשת באיחור צרפו מכתב/אישור המנמק את סיבת האיחור.
בסמכותו של המנחה שלכם לאשר לכם איחור של עד שבוע בהגשת ממ"ן (אלא אם קיבל הנחיות אחרות ממרכז ההוראה). במקרה חריג ביותר שנדרש איחור בהגשה של למעלה מזה יש לבקש אישור של מרכז ההוראה בקורס. מטלות שתגענה באיחור וללא אישור תיבדקנה על-ידי המנחה אך לא יינתן להן ציון והן לא תובאנה בחשבון המטלות המוגשות.

ערעור על ציון בממ"ן
אם יש לכם השגות על הציון שקיבלתם בממ"ן תוכלו להגיש ערעור מנומק בכתב למנחה שלכם בצירוף הממ"ן והטופס המלווה (ההעתק הצהוב), תוך שבוע ימים מיום קבלת הממ"ן.
אם המנחה לא יקבל את ערעורכם, הרשות בידכם לערער בפני מרכז ההוראה בקורס בצירוף הממ"ן והטופס המלווה, תוך שבוע מיום קבלת תשובת המנחה על ערעורכם. החלטת מרכז ההוראה היא סופית.

את התשובות לממ"נים הנכם מתבקשים לכתוב על דפי פוליו (שורות). כתבו על צדו האחד של העמוד והשאירו שוליים רחבים להערות המנחה (לפחות 5 ס"מ).

מק"ט 9-830-1 יוסף וולף ושות', בע"מ

כב

שימו לב,

עליכם להשאיר לעצמכם העתק של המטלה.

אין האוניברסיטה הפתוחה אחראית

למטלה שתאבד בשל תקלות בדואר.

מטלת מנחה (ממ"ן) 11

הקורס: 20407 - מבני נתונים ומבוא לאלגוריתמים

חומר הלימוד למטלה: פרקים 1, 2, 3 (ספר הלימוד)

משקל המטלה: 4 נקודות

מספר השאלות: 5

מועד אחרון להגשה: 28.3.2010

סמסטר: 2010ב

קיימות שתי אפשרויות להגשת המטלות:

- שליחת המטלות באמצעות מערכת המטלות המקוונת באתר הבית של הקורס
 - שליחת המטלות באמצעות הדואר או הגשה ישירה למנחה במפגשי ההנחיה
- הסבר מפורט ב"נוהל הגשת מטלות המנחה"

שאלה 1 (20 נקודות)

הוכיחו את נכונות האלגוריתם הנתון בשגרה הבאה:

BETTER-BUBBLESORT-INV(A)

```
1 for  $i \leftarrow \text{length}[A]$  downto 1
2   do  $\text{swap} \leftarrow \text{FALSE}$ 
3     for  $i \leftarrow 1$  to  $j - 1$ 
4       do if  $A[i] > A[i + 1]$ 
5         then  $T \leftarrow A[i + 1]$ 
6            $A[i] \leftarrow A[i + 1]$ 
7            $A[i + 1] \leftarrow T$ 
8          $\text{swap} \leftarrow \text{TRUE}$ 
9   if  $\text{swap} = \text{FALSE}$ 
10    then return
```

ראו קודם את הבעיה 2-2 בספר הלימוד ואת השאלות א-11, א-12, א-13 במדריך הלמידה.

שאלה 2 (30 נקודות)

פתרו את הבעיה 2-4 מספר הלימוד (עמוד 33).

שאלה 3 (10 נקודות)

שינו את שגרת החיפוש הבינרי כך שבמקום לחלק את המערך לשני חלקים (כמעט) שווים, היא תחלק אותו לחלק אחד בגודל שליש וחלק אחר בגודל שני שלישים. מה אפשר לומר על זמן הריצה?

שאלה 4 (15 נקודות)

שינו את שגרת החיפוש הבינרי כך שתחלק את המערך לשלושה חלקים כל אחד בגודל שליש (בערך). מה אפשר לומר על זמן הריצה?

שאלה 5 (25 נקודות)

סדרו את הפונקציות הבאות לפי שיעור הגידול שלהן; כלומר, מצאו סדר f_1, f_2, \dots, f_9 המקיים

$$f_1 = O(f_2), \dots, f_8 = O(f_9)$$

$$\begin{array}{ccc} n^{100} & (\sqrt{2})^{\lg n} & n^2 \\ 2^{\sqrt{2 \lg n}} & n \cdot \lg n & n \cdot \lg n^{\frac{\lg \lg \lg n}{\lg n}} \\ 4^{\lg n} & 1/n & n^2 + n \cdot \lg^3 n \end{array}$$

מטלת מנחה (ממ"ן) 12

הקורס: 20407 – מבני נתונים ומבוא לאלגוריתמים

חומר הלימוד למטלה: פרקים 4, 6 (ספר הלימוד)

משקל המטלה: 4 נקודות

מספר השאלות: 4

מועד אחרון להגשה: 11.4.2010

סמסטר: 2010ב

קיימות שתי אפשרויות להגשת המטלות:

- שליחת המטלות באמצעות מערכת המטלות המקוונת באתר הבית של הקורס
 - שליחת המטלות באמצעות הדואר או הגשה ישירה למנחה במפגשי ההנחה
- הסבר מפורט ב"נוהל הגשת מטלות המנחה"

שאלה 1 (25 נקודות)

מצאו חסמים אסימפטוטיים הדוקים עבור נוסחאות הנסיגה הבאות (הניחו כי $T(n)$ קבוע עבור ערכים קטנים של n):

א'

$$T(n) = 4T(n/8) + \sqrt{n \cdot \lg^3 n} + \sqrt[5]{n^3 \cdot \lg^4 n}$$

ב'

$$T(n) = 16T(n/8) + n^3 \sqrt[3]{n} + n \cdot \lg^4 n + \lg^8 n$$

ג'

$$T(n) = 81T(n/3) + n^6 \cdot \lg n + n^4 \cdot \lg^2 n$$

ד'

$$T(n) = T(n-2) + n^2 + 2 \lg n$$

ה'

$$T(n) = n^3 \cdot T(\sqrt{n}) + (5n^2 \lg^3 n + \lg^5 n) \cdot (n^4 \lg n + 5 \lg^5 n)$$

שאלה 2 (25 נקודות)

פתרו את הבעיה 4-6 מספר הלימוד (עמודים 74-75).

שאלה 3 (10 נקודות)

נתונה ערמת מכסימום המקיימת את התכונה הבאה: בהיבחר שני צמתים i ו- j באותה רמה בערמה, ניתן להחליף ביניהן את שתי התת-ערמות המושרשות ב- i וב- j , ללא הפרת תכונת הערמה.

באיזו רמה נמצא המפתח k הגדול ביותר.

הערה: רמת השורש היא 0.

שאלה 4 (40 נקודות)

נשנה את אופן הייצוג של הערמה: בשורש נשמור את הערך האמיתי; בכל צומת אחר נחזיק את ההפרש בין ערך אביו לבין ערכו. ייצוג זה מאפשר לבצע את הפעולה $\text{ADD-TO-KEYS}(A, k)$, המוסיפה לכל ערך ב- A את הקבוע k , בזמן $\Theta(1)$.

א' איך משתנות שגרות הערמה $(\text{BUILD-MAX-HEAP}(A), \text{MAX-HEAPIFY}(A, i))$, $\text{HEAPSORT}(A)$, $\text{HEAP-EXTRACT-MAX}(A)$, $\text{MAX-HEAP-INSERT}(A, key)$ עקב שינוי הייצוג?

ב' מהי השפעת השינוי על סיבוכיות השגרות האלה?

מטלת מנחה (ממ"ן) 13

הקורס: 20407 – מבני נתונים ומבוא לאלגוריתמים

חומר הלימוד למטלה: פרקים 7, 9 (ספר הלימוד)

משקל המטלה: 4 נקודות

מספר השאלות: 4

מועד אחרון להגשה: 2.5.2010

סמסטר: ב2010

קיימות שתי אפשרויות להגשת המטלות:

- שליחת המטלות באמצעות מערכת המטלות המקוונת באתר הבית של הקורס
 - שליחת המטלות באמצעות הדואר או הגשה ישירה למנחה במפגשי ההנחיה
- הסבר מפורט ב"נוהל הגשת מטלות המנחה"

שאלה 1 (10 נקודות)

הדגימו את פעולתה של השגרה PARTITION על הסדרה

$$A = \langle 13, 19, 9, 5, 12, 8, 7, 4, 11, 2, 6, 21 \rangle$$

שאלה 2 (40 נקודות)

פתרו את הבעיה 1-7 מספר הלימוד (עמודים 133-134).

שאלה 3 (25 נקודות)

יהיו $A[1..m]$ ו- $B[1..n]$ שני מערכים, שכל אחד מהם מכיל רשימה ממוינת. כתבו אלגוריתם למציאת ערך המיקום ה- k בתוך איחוד שתי הרשימות, שזמן ריצתו $O(\lg(\max(m,n)))$.

שאלה 4 (25 נקודות)

פתרו את הבעיה 9-2 (סעיפים א', ב', ג') מספר הלימוד (עמודים 161-162).

מטלת מנחה (ממ"ן) 14

הקורס: 20407 – מבני נתונים ומבוא לאלגוריתמים

חומר הלימוד למטלה: פרק 9 (ספר הלימוד)

משקל המטלה: 2 נקודות

מספר השאלות: 1

מועד אחרון להגשה: 9.5.2010

סמסטר: ב2010

קיימות שתי אפשרויות להגשת המטלות:

- שליחת המטלות באמצעות מערכת המטלות המקוונת באתר הבית של הקורס
 - שליחת המטלות באמצעות הדואר או הגשה ישירה למנחה במפגשי ההנחיה
- הסבר מפורט ב"נוהל הגשת מטלות המנחה"

מותר לעבוד בזוגות

מטרת הפרויקט היא לממש את האלגוריתמים SELECT ו-RANDOMIZED-SELECT ולהשוות ביניהם.

א. כתבו תכנית (ב- C/C++, Java, או שפה אחרת שבה המנחה יכול לבדוק) המבצעת את הפעולות הבאות:

1. יוצרת שלוש סדרות A, B, C (אורך A 20, אורך B 40, אורך C 80) בעזרת פונקצית ספרייה המיועדת ליצירת מספרים אקראיים; כל סדרה תכיל איברים בתחום 1..100.
2. מוצאת את החציון של כל סדרה באמצעות האלגוריתמים SELECT ו-RANDOMIZED-SELECT.
3. סופרת את ההשוואות שמבצע כל אלגוריתם (השוואות בין איברי הסדרה בלבד).
4. מדפיסה אחרי כל הרצה את הנתונים הבאים:
 - שם האלגוריתם;
 - נתוני הקלט (הסדרה המקורית);
 - נתוני הפלט (החציון והסדרה המתקבלת בתום האלגוריתם);
 - מספר ההשוואות שביצע האלגוריתם.

ב. צרפו את מסקנותיכם. איזה אלגוריתם מבצע פחות פעולות השוואה ? איך משפיע מספר האיברים על מספר ההשוואות באלגוריתמים ועל תוצאות ההשוואה בין שני האלגוריתמים?

מטלת מנחה (ממ"ן) 15

הקורס: 20407 – מבני נתונים ומבוא לאלגוריתמים

חומר הלימוד למטלה: פרקים 8, 10 (ספר הלימוד)

משקל המטלה: 4 נקודות

מספר השאלות: 4

מועד אחרון להגשה: 16.5.2010

סמסטר: ב2010

קיימות שתי אפשרויות להגשת המטלות:

- שליחת המטלות באמצעות מערכת המטלות המקוונת באתר הבית של הקורס
 - שליחת המטלות באמצעות הדואר או הגשה ישירה למנחה במפגשי ההנחיה
- הסבר מפורט ב"נוהל הגשת מטלות המנחה"

שאלה 1 (30 נקודות)

הוכיחו שכל אלגוריתם מבוסס השוואות המחפש ערך נתון בסדרה ממוינת של n ערכי קלט, מבצע $\Omega(\lg n)$ השוואות במקרה הגרוע.

שאלה 2 (30 נקודות)

פתרו את הבעיה 4-8 מספר הלימוד (עמודים 149-150).

שאלה 3 (20 נקודות)

סדרת תווים $c_1 c_2 \dots c_n$ נקראת פלינדרום אם $c_i = c_{n-i+1}$ לכל $1 \leq i \leq \lfloor n/2 \rfloor$.

כתבו שגרה הבודקת האם סדרה נתונה $c_1 c_2 \dots c_n$ הינה פלינדרום.

רמז: השגרה משתמשת במחסנית ובתור ומוסיפה להם בעת ובעונה אחת את כל אחד מן התווים.

שאלה 4 (20 נקודות)

הראו כיצד אפשר לממש שתי מחסניות RS, LS ודו-תור DQ באמצעות מערך אחד $A[1..n]$.

הגדירו את אוסף הפעולות המתאימות (הכנסה, מחיקה ובדיקת מצבי הגלישה והמחיקה).

מטלת מנחה (ממ"ן) 16

הקורס: 20407 – מבני נתונים ומבוא לאלגוריתמים

חומר הלימוד למטלה: פרקים 11, 12 (ספר הלימוד)

משקל המטלה: 4 נקודות

מספר השאלות: 4

מועד אחרון להגשה: 30.5.2010

סמסטר: 2010ב

קיימות שתי אפשרויות להגשת המטלות:

- שליחת המטלות באמצעות מערכת המטלות המקוונת באתר הבית של הקורס
 - שליחת המטלות באמצעות הדואר או הגשה ישירה למנחה במפגשי ההנחיה
- הסבר מפורט ב"נוהל הגשת מטלות המנחה"

שאלה 1 (20 נקודות)

- פרופסור כלומסקי מציע את שיטת המיון הבאה עבור סדרה בת n איברים:
1. הכניסו את n האיברים לטבלת גיבוב (עם שרשור במקרי התנגשות);
 2. מיינו כל אחת מהרשימות (מיון פנימי נפרד);
 3. שרשרו את הרשימות (הרשימה של 0 ראשונה, של 1 שנייה, וכן הלאה).

א' מה תוחלת זמן הרי של השגרה?

ב' האם אכן מדובר בשגרת מיון?

שאלה 2 (30 נקודות)

א' נשווה בין שיטת המיעון הישיר לבין שיטת הגיבוב. נניח שמפתח תופס b_k בתים בזיכרון ומצביע תופס b_p בתים.

עבור אלו ערכים של מקדם העומס α תופסת טבלת הגיבוב פחות מקום מאשר טבלת המיעון הישיר?

ב' נשווה בין שיטת הגיבוב האחד לבין שיטת החיפוש הבינרי.

עבור אלו ערכים של מקדם העומס α מהיר יותר החיפוש באמצעות טבלת גיבוב מאשר החיפוש הבינרי במערך?

שאלה 3 (20 נקודות)

נתון עץ בינרי המכיל את העלים $\langle \ell_1, \ell_2, \dots, \ell_m \rangle$ ועומקיהם $\langle d_1, d_2, \dots, d_m \rangle$ בהתאמה.

$$\sum_{i=1}^m 2^{-d_i} \leq 1$$

הוכיחו שמתקיים

באילו תנאים מתקיים השוויון?

שאלה 4 (30 נקודות)

א' נתון עץ חיפוש בינרי T ושני מפתחות k_1 ו- k_2 המקיימים $k_1 \leq k_2$. כתבו שגרה

(בפסידוקוד) המדפיסה את כל האיברים $y \in T$ המקיימים $k_1 \leq \text{key}[y] \leq k_2$.

זמן הריצה של השגרה חייב להיות $O(K + \lg n)$ במקרה הממוצע, כאשר K מציין את מספר

המפתחות המודפסים (שגרה כזאת נקראת רגישה לפלט).

ב' מהו זמן הריצה של השגרה במקרה הגרוע?

ג' מה ניתן לומר על זמני הריצה במקרה ש- T הוא עץ מאוזן (גבהו $\Theta(\lg n)$)?

מטלת מנחה (ממ"ן) 17

הקורס: 20407 – מבני נתונים ומבוא לאלגוריתמים

חומר הלימוד למטלה: פרקים 13, 14 (ספר הלימוד)

משקל המטלה: 4 נקודות

מספר השאלות: 3

מועד אחרון להגשה: 13.6.2010

סמסטר: 2010ב

קיימות שתי אפשרויות להגשת המטלות:

- שליחת המטלות באמצעות מערכת המטלות המקוונת באתר הבית של הקורס
 - שליחת המטלות באמצעות הדואר או הגשה ישירה למנחה במפגשי ההנחיה
- הסבר מפורט ב"נוהל הגשת מטלות המנחה"

שאלה 1 (20 נקודות)

עץ חיפוש בינארי הוא עץ אדום-אדום-שחור אם הוא מקיים את התכונות של האדום-אדום-שחור:

1. כל צומת הוא אדום או שחור;
2. כל צומת עלה (NIL) הוא שחור;
3. אם צומת הוא אדום וההורה שלו גם הוא אדום, אזי שני בניו שחורים;
4. כל המסלולים הפשוטים מצומת לצאצאים עלים מכילים אותו מספר של צמתים שחורים (גובה-השחור של הצומת).

כמה צמתים פנימיים שגובה-השחור שלהם k קיימים לכל היותר בעץ אדום-אדום-שחור המכיל n צמתים? כמה קיימים לכל הפחות?

שאלה 2 (40 נקודות)

נגדיר את המבנה של עץ צובר – עץ בינארי המכיל בכל צומת z שני שדות מספריים:

- שדה המפתח $key[z]$;

- השדה הצובר $accum[z]$.

בהינתן עץ צובר A , ניתן לבנות ממנו עץ בינארי רגיל T : עבור כל צומת z ב- A , מחברים את הערך

$accum[z]$ לכל המפתחות בתת-עץ המושרש ב- z ; נאמר ש- A מייצג את T .

א' כתבו אלגוריתם הרץ בזמן $O(n)$, הבודק האם העץ הצובר A מייצג עץ חיפוש בינרי.
 ב' כתבו שְגָרוֹת בִּפְסִידוֹקוּד עבור פעולות החיפוש, ההכנסה והמחיקה עבור העץ הצובר A , המייצג עץ חיפוש בינארי; זמן הריצה של שלוש השְגָרוֹת חייב להישאר $O(h)$ (h הוא גובה העץ).
 ג' הראו שניתן להוסיף לכל צומת ב- A שדה צבע, כך ש- A ייצג עץ אדום-שחור. כתבו את הגרסאות החדשות של שְגָרוֹת הרוטציות.

שאלה 3 (40 נקודות)

נתונה קבוצה של N רשומות. כל רשומה R מכילה שני מפתחות מספריים: $key0[R]$ ו- $key1[R]$.
 יהי n מספר הערכים של $key0$ השונים זה מזה המופיעים ב- N הרשומות (N ו- n משתנים בלתי-תלויים זה בזה, $n \leq N$).

נניח שלכל ערך נתון k_0 של $key0$ קיימים לכל היותר m ערכים של $key1$ השונים זה מזה.

(m משתנה בלתי-תלוי ב- N וב- n , $m \leq N$).

הערה: ייתכן שעבור ערך נתון k_0 של $key0$ יהיו כמה רשומות בעלות אותו ערך של $key1$.

הציעו מבנה נתונים S , שבאמצעותו ניתן לממש כל אחת מהפעולות הבאות בזמנים הנדרשים (במקרה הגרוע):

1. BUILD (S): בניית המבנה S ; סיבוכיות הזמן: $O(N \cdot \lg(m \cdot n))$;

2. SEARCH (S, k_0, k_1): חיפוש רשומה R המקיימת את התנאים

$$key1[R] = k_1, key0[R] = k_0$$

סיבוכיות הזמן: $O(\lg(m \cdot n))$;

3. INSERT (S, k_0, k_1): הכנסה למבנה S של רשומה R המקיימת את התנאים

$$key1[R] = k_1, key0[R] = k_0$$

סיבוכיות הזמן: $O(\lg(m \cdot n))$;

4. DELETE (p): מחיקה מהמבנה S של הרשומה R , שאליה מצביע p ; סיבוכיות הזמן:

$$O(\lg m)$$

5. MODE (S, k_0): החזרת ערך k_1 של $key1$ בעל שכיחות גבוהה ביותר (לערך נתון k_0 של

$$key0);$$

סיבוכיות הזמן: $O(\lg n)$;

6. MODE (S): החזרת זוג מפתחות (k_0, k_1) בעל שכיחות גבוהה ביותר במבנה S ; סיבוכיות

$$O(n).$$

הערה: עליכם לתאר כל פעולה באופן מלא.

מטלת מנחה (ממ"ן) 18

הקורס: 20407 – מבני נתונים ומבוא לאלגוריתמים

חומר הלימוד למטלה: פרקים 11, 12, 13 (ספר הלימוד)

משקל המטלה: 4 נקודות

מספר השאלות: 1

מועד אחרון להגשה: 1.7.2010

סמסטר: ב2010

קיימות שתי אפשרויות להגשת המטלות:

- שליחת המטלות באמצעות מערכת המטלות המקוונת באתר הבית של הקורס
 - שליחת המטלות באמצעות הדואר או הגשה ישירה למנחה במפגשי ההנחיה
- הסבר מפורט ב"נוהל הגשת מטלות המנחה"

שמונה-עשרה ... שמונה-עשרה ... שמונה-עשרה

מותר לעבוד בזוגות

מבוא

בפרויקט זה עליכם לכתוב ולהריץ תכנית ב-Java או ב-C/C++, שתפקידה לנהל עבור אוניברסיטה את אוסף הסטודנטים, אוסף הקורסים והקשרים ביניהם (כגון: איזה סטודנט לומד באיזה קורס).

לכל סטודנט יש נתונים אישיים כדלקמן: שם, שם משפחה ומספר זהות. מספר הזהות הוא ייחודי לכל סטודנט (כלומר, לסטודנטים שונים יש מספרי זהות שונים). לכל קורס יש שם קורס ומספר קורס. מספר הקורס הוא ייחודי לקורס.

הקלט הבסיסי לתכנית הוא אוסף שורות; בכל שורת קלט יש הודעה על סטודנט שסיים קורס מסוים, או שאילתה המבקשת מידע על סטודנט או קורס כלשהו.

הדרישה העיקרית בתכנית היא לבחור מבנה נתונים **יעיל ככל האפשר**, כך שבעקבות הודעה חדשה על סטודנט שסיים קורס, ניתן יהיה לבצע בצורה יעילה את השינוי הנדרש על מבנה הנתונים. כמו-כן, נדרש שהתשובות לשאלות יוכלו להינתן ביעילות.

אופן ייצוג הקלט

הקלט לתכנית מורכב מאוסף של שורות. כל שורה מכילה אחד מהשניים:

- הודעה כי סטודנט מסוים סיים בהצלחה קורס מסוים.
- שאילתה.

• ההודעות:

שורה של הודעה נראית כך (משמאל לימין):

ציון מספר הקורס שם הקורס ת"ז שם משפחה שם הסטודנט

דוגמה לשורה אפשרית:

89 47211 Computer Vision 058823456 LEWY YOSI

כלומר, יוסי לוי, שמספר הזהות שלו 058823456, סיים את הקורס ראייה ממוחשבת. המספר הסידורי של הקורס הוא 47211, ציון הסטודנט בקורס הוא 89.

הערה: הציונים נעים בין 60 ל-100; אין הודעה על סטודנט שסיים קורס במקרה של כישלון בקורס. הנתונים השונים בתוך כל שורה מופרדים ברווחים (למשל, יש רווח אחד לפחות בין השם לבין שם המשפחה).

• השאלות:

כל השאלות מתחילות בסימן שאלה. יש שלושה סוגי שאלות:

א. שאילתה מהצורה:

47211 058823456 SC ?

- ? מסמן שאילתה.
- SC מסמן שזוהי שאילתה על ציונו של סטודנט מסוים בקורס מסוים.
- המספר הראשון הוא מספר הזהות של הסטודנט.
- המספר השני הוא מספר הקורס.

יש להחזיר את שם הסטודנט, את שם הקורס ואת הציון של הסטודנט בקורס (או הודעה שהסטודנט לא עבר את הקורס).

בדוגמה לעיל התשובה היא: יוסי לוי, ראייה ממוחשבת, ציון 89.

ב. שאילתה מהצורה:

SA 058823456 ?

יש להחזיר את ממוצע הציונים של הסטודנט בעל מספר הזהות הנתון (בליווי הודעה מתאימה).

ג. שאילתה מהצורה:

CA 47211 ?

יש להחזיר את ממוצע הציונים של הסטודנטים בקורס הנתון (בליווי הודעה מתאימה).

הערה: אין צורך לבדוק את חוקיות הקלט. ההנחה היא כי הקלט חוקי (למשל: כאשר קורס מופיע פעמים רבות, תמיד יהיה לו אותו מספר קורס).

צורת הפלט

יש להדפיס כל הודעה על סטודנט שלמד קורס בצורה מסודרת וברורה (למשל: "הסטודנט יוסי לוי, ת"ז 058823456, למד ראייה ממוחשבת וציונו 89"). כמו-כן, יש להדפיס בצורה ברורה כל שאילתה ואת התשובה הנכונה על השאילתה.

יעילות

הפרמטרים של הבעיה הם מספר הקורסים m ומספר הסטודנטים n . ביצוע הפעולות השונות צריך להיות יעיל כפונקציה של m ו- n .

הרצה

הריצו את התכנית על 2 קלטים. כל קלט צריך להכיל 15 שורות לפחות.

תיעוד

תעדו את התכנית בהתאם לכתוב בסעיף "הנחיות לכתיבת פרויקט הרצה" בחוברת הקורס. תארו את מבנה הנתונים והסבירו איך מתבצעת כל פעולה. נתחו את זמן הביצוע של כל פעולה כפונקציה של m ו- n .

נספח

אלגוריתמי מיון - פסידוקוד

(א)

BubbleSort (A)

```
    for j ← length [A] downto 1
      do for i ← 1 to j-1
        do if A[i] > A[i+1]
          then T ← A[i]
A[i] ← A[i+1]
A[i+1] ← T
```

(ב)

BubbleSort 2 (A)

```
    for j ← length [A] downto 1
      do flipped ← FALSE
        for i ← 1 to j-1
          do if A[i] > A[i+1]
            then T ← A[i]
A[i] ← A[i+1]
A[i+1] ← T
        flipped ← TRUE
    if not flipped
      then return
```


BidirectionalBubbleSort (A)

left \leftarrow 0

right \leftarrow length [A]+1

while left < right

do flipped \leftarrow FALSE

left \leftarrow left +1

right \leftarrow right-1

for i \leftarrow left to right-1

do if A[i] > A [i+1]

then T \leftarrow A[i]

A [i] \leftarrow A[i+1]

A [i+1] \leftarrow T

flipped \leftarrow TRUE

if not flipped

then return

else flipped \leftarrow FALSE

for i \leftarrow right-1 downto left

do if A[i] > A[i+1]

then T \leftarrow A[i]

A[i] \leftarrow A[i+1]

A[i+1] \leftarrow T

flipped \leftarrow TRUE

if not flipped

then return

(7)

```
ShakerSort (A)
left ← 1
right ← length [A]
while left < right
do min ← left
max ← left
for i ← left+1 to right
do if A [min] > A[i]
then min ← i
if A [max] < A[i]
then max ← i
T ← A[min]
A[min] ← A[left]
A[left] ← T
if max = left
then T ← A[min]
A[min] ← A [right]
A [right] ← T
else T ← A [max]
A [max] ← A [right]
A [right] ← T
left ← left+1
right ← right-1
```

(8)

```
ShellSort (A)
h ← 1
while 3h+1 < length [A]
do h ← 3h+1
while h > 0
do for i ← h to length [A]
```

```

do B ← A[i]
  j ← i
  while j > h and A[j-h] > B
    do A[j] ← A[j-h]
    j ← j-h
  A[j] ← B
h ← ⌊ h / 3 ⌋

```

(9)

CombSort11 (A)

```

shrink_factor ← 1.3
flipped ← FALSE
gap ← length [A]
repeat
  gap ← ⌊ gap/shrink_factor ⌋
  if gap = 0
    then gap ← 1
  else if gap = 9 or gap = 10
    then gap ← 11
  flipped ← FALSE
  top ← length [A] - gap
  for i ← 1 to top
    do j ← i+gap
      if A[i] > A[j]
        then T ← A[i]
        A[i] ← A[j]
        A[j] ← T
      flipped ← TRUE
until not flipped and gap = 1

```

```

Msort (A, low, high)
    i ← low
    j ← high
    if i ≥ j
        then return
    mid ← ⌊(i + j) / 2⌋
    MSort (A, i, mid)
    MSort (A, mid+1, j)
    end_i ← mid
    start_j ← mid+1
    while i ≤ end_i and start_j ≤ j
        do if A[i] < A[start_j]
            then i ← i+1
            else T ← A[start_j]
                for k ← start_j - 1 downto i
                    do A[k+1] ← A[k]
                A[i] ← T
                i ← i+1
                end_i ← end_i+1
                start_j ← start_j+1

```

קריאת ההפעלה :

```

MergeSort (A)
    MSort (A, 1, length[A])

```

(ח)

```
ExtraStorageMSort (A, i, j, B)
    if  $i \geq j$ 
        return
     $mid \leftarrow \lfloor (i + j) / 2 \rfloor$ 
    ExtraStorageMSort (A, i, mid, B)
    ExtraStorageMSort (A, mid+1, j, B)
     $t_i \leftarrow i$ 
     $t_j \leftarrow mid+1$ 
    for  $k \leftarrow i$  to  $j$ 
        do if  $t_i \leq mid$  and ( $t_j > j$  or  $A[t_i] < A[t_j]$ )
            then  $B[k] \leftarrow A[t_i]$ 
                 $t_i \leftarrow t_i + 1$ 
            else  $B[k] \leftarrow A[t_j]$ 
                 $t_j \leftarrow t_j + 1$ 
    for  $k \leftarrow i$  to  $j$ 
        do  $A[k] \leftarrow B[k]$ 
```

קריאת ההפעלה :

```
ExtraStorageMergeSort (A)
    ▷ allocate a new array B;  $\text{length}[B] \leftarrow \text{length}[A]$ 
    ExtraStorageMSort (A, 1,  $\text{length}[A]$ , B)
```

```

QSort (A, low, high)
  i ← low
  j ← high
  if i ≥ j
    then return
  else if i = j-1
    then if A[i] > A[j]
      then T ← A[i]
           A[i] ← A[j]
           A[j] ← T
    return
  pivot ← A[⌊(i + j)/2⌋]
  A[⌊(i + j)/2⌋] ← A[j]
  A[j] ← pivot
  while i < j
    do while A[i] ≤ pivot and i < j
      do i ← i+1
    while pivot ≤ A[j] and i < j
      do j ← j-1
    if i < j
      then T ← A[i]
           A[i] ← A[j]
           A[j] ← T
  A[high] ← A[j]
  A[j] ← pivot
  QSort (A, low, i-1)
  QSort (A, j+1, high)

```

קריאת ההפעלה :

```

Quick Sort (A)
  QSort (A, 1, length [A])

```

BubbleSort ($A, low, high$)

```

for  $j \leftarrow high$  downto  $low+1$ 
  do for  $i \leftarrow low$  to  $j-1$ 
    do if  $A[i] > A[i+1]$ 
      then  $T \leftarrow A[i]$ 
          $A[i] \leftarrow A[i+1]$ 
          $A[i+1] \leftarrow T$ 

```

QubbleSort ($A, low, high$)

```

 $i \leftarrow low$ 
 $j \leftarrow high$ 
if  $j-i \leq 6$ 
  then BubbleSort ( $A, i, j$ )
  return
pivot  $\leftarrow A[\lfloor (i+j)/2 \rfloor]$ 
 $A[\lfloor (i+j)/2 \rfloor] \leftarrow A[j]$ 
 $A[j] \leftarrow pivot$ 
while  $i < j$ 
  do while  $A[i] \leq pivot$  and  $i < j$ 
    do  $i \leftarrow i+1$ 
  while  $pivot \leq A[j]$  and  $i < j$ 
    do  $j \leftarrow j-1$ 
  if  $i < j$ 
    then  $T \leftarrow A[i]$ 
        $A[i] \leftarrow A[j]$ 
        $A[j] \leftarrow T$ 
 $A[high] \leftarrow A[j]$ 
 $A[j] \leftarrow pivot$ 
QubbleSort ( $A, low, i-1$ )
QubbleSort ( $A, j+1, high$ )

```

קריאת ההפעלה :

QuickBubbleSort (A)

QubbleSort ($A, 1, length[A]$)

```

BruteSort ( $A, i, j$ )
  if  $j-i = 1$ 
    then if  $A[j] < A[i]$ 
      then  $T \leftarrow A[j]$ 
          $A[i] \leftarrow A[j]$ 
          $A[j] \leftarrow T$ 
  if  $j-i = 2$ 
    then if  $A[i] < A[i+1]$ 
      then  $pmin \leftarrow i$ 
      else  $pmin \leftarrow i+1$ 
    if  $A[pmin] > A[i+2]$ 
      then  $pmin \leftarrow i+2$ 
    if  $pmin \neq i$ 
      then  $T \leftarrow A[i]$ 
          $A[i] \leftarrow A[pmin]$ 
          $A[pmin] \leftarrow T$ 
    BruteSort ( $A, i+1, j$ )
  if  $j-i = 3$ 
    then if  $A[i] < A[i+1]$ 
      then  $pmin \leftarrow i$ 
      else  $pmin \leftarrow i+1$ 
    if  $A[pmin] > A[i+2]$ 
      then  $pmin \leftarrow i+2$ 
    if  $A[pmin] > A[i+3]$ 
      then  $pmin \leftarrow i+3$ 
    if  $pmin \neq i$ 
      then  $T \leftarrow A[i]$ 
          $A[i] \leftarrow A[pmin]$ 
          $A[pmin] \leftarrow T$ 
    if  $A[j] > A[j-1]$ 
      then  $pmax \leftarrow j$ 
      else  $pmax \leftarrow j-1$ 

```



```

    if  $A[pmax] < A[j-2]$ 
    then  $pmax \leftarrow j-2$ 
    if  $pmax \neq j$ 
    then  $T \leftarrow A[j]$ 
         $A[j] \leftarrow A[pmax]$ 
         $A[pmax] \leftarrow T$ 
    BruteSort ( $A, i+1, j-1$ )

```

EQSort ($A, low, high$)

```

     $i \leftarrow low$ 
     $j \leftarrow high$ 
    if  $j-i \leq 3$ 
        BruteSort ( $A, i, j$ )
    return
    pivot  $\leftarrow A[\lfloor (i+j)/2 \rfloor]$ 
     $A[\lfloor (i+j)/2 \rfloor] \leftarrow A[j]$ 
     $A[j] \leftarrow pivot$ 
    while  $i < j$ 
        do while  $A[i] \leq pivot$  and  $i < j$ 
            do  $i \leftarrow i+1$ 
        while  $pivot \leq A[j]$  and  $i < j$ 
            do  $j \leftarrow j-1$ 
        if  $i < j$ 
            then  $T \leftarrow A[i]$ 
                 $A[i] \leftarrow A[j]$ 
                 $A[j] \leftarrow T$ 
     $A[high] \leftarrow A[j]$ 
     $A[j] \leftarrow pivot$ 
    EQSort ( $A, low, i-1$ )
    EQSort ( $A, j+1, high$ )

```

קריאת ההפעלה :

EnhancedQuickSort (A)

EQSort ($A, 1, \text{length}[A]$)

(י"ב)

QuickSort (A, l, r)

$M \leftarrow 4$

if $r-l > M$

then $i \leftarrow \lfloor (l+r)/2 \rfloor$

if $A[l] > A[i]$

then Swap (A, l, i)

if $A[l] > A[r]$

then Swap (A, l, r)

if $A[i] > A[r]$

then Swap (A, i, r)

$j \leftarrow r-1$

Swap (A, i, j)

$i \leftarrow l$

$v \leftarrow A[j]$

while $i \leq j$

do $i \leftarrow i+1$

$j \leftarrow j-1$

while $A[i] < v$

do $i \leftarrow i+1$

while $A[j] > v$

do $j \leftarrow j-1$

if $i \leq j$

then Swap (A, i, j)

Swap ($A, i, r-1$)

QuickSort (A, l, j)

QuickSort ($A, i+1, r$)

Swap (A, i, j)

$T \leftarrow A[i]$

$A[i] \leftarrow A[j]$

$A[j] \leftarrow T$

InsertionSort ($A, low, high$)

for $i \leftarrow low+1$ to $high$

do $v \leftarrow A[i]$

$j \leftarrow i$

while $j > low$ and $A[j-1] > v$

do $A[j] \leftarrow A[j-1]$

$j \leftarrow j-1$

$A[j] \leftarrow v$

קריאת ההפעלה :

FastQuickSort (A)

QuickSort ($A, 1, length[A]$)

InsertionSort ($A, 1, length[A]$)