דו"ח אמצע - מנוע ארבע בשורה ועוד

שם התלמיד: גיל אלפרט

ת.ז: 328259809

נושאים: אלגוריתמיקה, תקשורת מחשבים

בית ספר ועיר: תיכון בן-צבי קריית אונו

שם המנחה: ד"ר דרור מלכה

שם המורה המלווה: סער יסעור

תאריך הגשה:

העבודה נעשתה במסגרת התכנית:

"מדעי המחשב, אקדמיה, ותעשייה"

מכון דוידסון לחינוך מדעי, מכון ויצמן למדע

תשפ"א

מכון דוידסון לחינוך מדעי, ליד מכון ויצמן למדע (ע"ר)
ת.ד 26 רחובות 7610001 | טל. 08-9378300 פקס. 08-9378419

תוכן עניינים

מכון דוידסון לחינוך מדעי, ליד מכון ויצמן למדע (ע"ר)
ת.ד 26 רחובות 7610001 | טל. 08-9378300 פקס. 08-9378419

תיאור המערכת

תקציר

הפרוייקט שלי, "מנוע ארבע בשורה ועוד", עוסק במשחק הארבע בשורה הפופולרי בארץ ובעולם, ובפרט בניית תוכנת מחשב המסוגלת "לפתור" ולשחק את המשחק. המשחק קיים במקומות רבים באינטרנט ומבחינה זו אין כאן משהו חדשני. לעיתים מתחשק לנו לשחק משחק הדורש בן זוג או יותר, לעיתים ארבע בשורה, אך אין לנו שותף. המחשב יחליף את תפקידו של השותף למשחק ויאפשר למשתמשי התוכנה שלי לשחק נגד יריב שיקבעו את דרגת הקושי שלו, שלא מתעייף לעולם, וכך לשחק כמה משחקים שיירצו. בנוסף, המחשב ברמות הקושי השונות יכול לסייע לאימון על מנת להשתפר במשחק, ולהדגים אסטרטגיות מיוחדות למיניהן. בנוסף, למערכת תהיה חלק נפרד המאפשר לשני משתמשים לשחק אחד עם השני משני מחשבים שונים מסביב לעולם.

מספר פרטים טכניים

ראשית, חשוב לציין כי משחק הארבע בשורה (באנגלית, Connect-4) משתייך לז'אנר משחקי האסטרטגיה בעלי "סכום אפס" (Zero-Sum). על ז'אנר משחקים זה ניתן לכתוב עבודות, מאמרים, ספרים ואנציקלופדיות שלמות ולכן לא ארחיב עליו מידי. בקצרה, ז'אנר משחקי ה-Zero-Sum כולל משחקים של שני צדדים (יכול להיות שחקן אחד שמפסיד או מנצח מול יריב דמיוני או שני שחקנים שמשחקים אחד מול השני) אשר ניתן להעריך מצב משחק מסויים בערך מספרי אובייקטיבי כלשהו. דרישה חשובה ביותר במשחקי Zero-Sum היא שלשני הצדדים תהיה את אותה האינפורמציה ושהצלחתם במשחק תלוייה במהלכיהם בלבד (אין מעורב מזל מסוג כלשהו, המשחק אובייקטיבי לחלוטין). דרישות אלה חשובות במיוחד, ועל אף שמחמירות (יחד עם עוד דרישות נוספות שלא נציין), רבים יופתעו כמה משחקים אהובים עומדים בדרישות אלה ומשתייכים לז'אנר זה.

הז'אנר נקרא בשמו בהתאם להצלחת שני הצדדים במשחק: עמדה שטובה לשחקן מספר 1 רעה באותה מידה בדיוק לשחקן מספר 2. באותה מידה, נראה כי מצב של

מכון דוידסון לחינוך מדעי, ליד מכון ויצמן למדע (ע"ר)
ת.ד 26 רחובות 7610001 | טל. 08-9378300 פקס. 08-9378419

שוויון מוחלט במשחקן מוגדר על פי עמדת משחק שערכה 0. בדרך כלל, יוגדר ערך עמדה כטוב יותר לשחקן מספר 1 ככל שגדול יותר (חיובי יותר) ורע יותר לשחקן מספר 1 ככל שקטן יותר (שלילי יותר). כמו כן, ערך שלילי יותר טוב לשחקן מספר 2 וערך חיובי יותר רע לשחקן מספר 2. במשחקים בז'אנר זה, לעיתים ניתן לצפות את הניצחון עמדות רבות לפני שהוא מתרחש, ולכן עמדת ניצחון עבור שחקן מספר 1 מוגדרת בתור ∞ (אותה עמדה של הפסד עבור שחקן מספר 2) ועמדת הפסד עבוד שחקן מספר 1 מוגדרת בתור ∞− (אותה עמדה של ניצחון עבור שחקן מספר 2). לעיתים בתכנות מערכת שמעריכה עמדות כך נשתמש בערך מספיק גדול כדי שנבין שמדובר בניצחון ולא באינסוף ממש. סכום ערכי העמדה של שני השחקנים תמיד (ומכאן השם).

בשנים האחרונות התפתחו טכנולוגיות ואלגוריתמים חדשות העוסקות וחוקרות באופן ספציפי במשחקים מסוג Zero-Sum. טכנולוגיות אלה מרתקות ומעניינות, אך ברמה גבוהה ביותר שחורגת מגבולות הפרוייקט (ולמעשה אין בה צורך כי ארבע בשורה משחק פשוט יחסית).

בזאת אעצור את הדיון בנוגע למשחקי Zero-Sum, ואחזור לדבר על הפרוייקט שלי. למרות שארבע בשורה הינו משחק מסוג Zero-Sum, כדי לפתור אותו (דבר שנעשה בעבר) לא נדרשת טכנולוגיה מתקדם כמו שנדרשת לניתוח משחקים כגון שחמט, גו, ועוד... למרות זאת, הפרוייקט לא פשוט ומדגים מספר טכניקות מעניינות המשומשות גם בניתוח המשחקים המורכבים יותר, כגון "Alpha-Beta Pruning", "Zobrist-Hashing", "Transposition Table", "Move Ordering Optimizations"...

בתור שחקן שחמט לשעבר וחובב משחקי אסטרגי (וכמו כן מתעניין בנושאים כמו תורת המשחקים והמתמטיקה שמאחוריה), בחרתי במשחק מסוג Zero-Sum בשל היכרותי עם הנושא והרצון לחקורו עוד יותר וליצור פרוייקט שייפתח את דרכי להתקדם אל התת נושאים המתקדמים יותר שבתחום. משחק הארבע בשורה ויזואלי, קל להבנה ולכן כל אדם יכול לשחק בו, אך עדיין כולל בו רמת מורכבות המסוגלת לאתגר אנשים (ואף מחשבים – אם כי פתור) ולכן מהווה נושא פרוייקט אינטראקטיבי נהדר.

מכון דוידסון לחינוך מדעי, ליד מכון ויצמן למדע (ע"ר)
ת.ד 26 רחובות 7610001 | טל. 08-9378300 פקס. 08-9378419

מטרות ויעדי המערכת

- לאפשר למשתמש לראות את מהלכי יריבו ולשחק את מהלכיו בנוחות, תוך כדי שימוש ב- GUI (Graphical User Interface) מעוצב (מספיק).
- לאפשר לזוג משתמשים מסביב לעולם לשחק ולתקשר בצ'אט (לא מאובטח – הפרוייקט לא עוסק בנושא זה) אחד עם השני באמצעות חיבור פשוט לאינטרנט.
- לבנות מנוע שמסוגל לשנות את רמת הקושי שלו בהתאם לצורך (לפי בקשת המשתמש).
- לבנות מנוע אשר "פותר" את משחק הארבע בשורה, או במילים אחרות, על המנוע להיות מסוגל לנצח כאשר המהלך הראשון שלו (מנועי ארבע בשורה מראים כי הדבר אפשרי – משחק הארבע בשורה נחשב כ"פתור") בעבור כל תגובה אשר מספק לו המשתמש.

	הושג/עוד לא הושג	*דרך מימוש*
GUI אינטראקטיבי	✓	קומפוננטות ספריית JavaFX
חיבור אינטרנטי של שחקנים	✓	תקשורת ע"י פרוטוקול TCP
שינוי רמת הקושי של המשחק	✓	הקטנת עומק הרקורסיה באלגוריתם "Alpha-Beta Pruning"
מנוע ה"פותר" את המשחק	✗	המשך ייעול המערכת לשם הגדלת עומק הרקורסיה

מכון דוידסון לחינוך מדעי, ליד מכון ויצמן למדע (ע"ר)
ת.ד 26 רחובות 7610001 | טל. 08-9378300 פקס. 08-9378419

שפות התכנות וכלי פיתוח

שפות התכנות

- **Java (ג'אווה)** – הפרוייקט נכתב בשפת Java המאפשרת שימוש בתכנות מונחה עצמים (אובייקטים), וגם תכנות פונקציונלי. בחרתי בשפת Java בשל האפשרות להריצה בדיוק באותו אופן על ה-JVM בכל מחשב ומערכת הפעלה.

- **FXML (FX Markup Language)** – שפת בת של XML שתומכת בבניית קבצי "fxml." המשמשים את מחלקות ה"Controller" הנכתבות עבור הGUI של ספריית JavaFX. קבצים אלה נטענים בזמן ריצה אל הקוד ומזריקים ערכים אל מחלקת ה-Controller, כמו למשל, אילו קומפוננטות ייטענו ואיפה, שמות של "מאזינים" שמתואמים לאירועים מסויימים של קומפוננטות, ועוד.

- **CSS (Cascading Style Sheets)** – שפת עיצוב המשמשת לעיצוב ממשק המשתמש בקלות דרך קובץ "CSS." חיצוני. השפה מותאמת למאפייני הקומפוננטות של JavaFX ולכן מעט שונה מה-CSS המוכר הרגיל שמשמש ל-Web Design.

כלי הפיתוח

- **IntelliJ IDEA (Ultimate Edition, Version 2022.2.1)** – סביבת הפיתוח עבור Java (ועוד) של חברת JetBrains.

- **SceneBuilder** – תוכנה ויזואלית המקלה על בניית הGUI וקבצי הFXML.

- **ספריית JavaFX (18.0.2)** – ספרייה של שפת ג'אווה המאפשרת בניית GUI.

מכון דוידסון לחינוך מדעי, ליד מכון ויצמן למדע (ע"ר)
ת.ד 26 רחובות 7610001 | טל. 08-9378300 פקס. 08-9378419

הקשר שלי עם המנחה

כשבוע לאחר שנקבע לי השיבוץ לד"ר מלכה פניתי אליו ותיאמנו מועד לפגישה ראשונית. נפגשנו בשיחת "Zoom" של כרבע שעה בו הוא הציג את עצמו ואני הצגתי את עצמי. ד"ר מלכה הסביר על מדיניות הליווי שלו ולאחר מכן שוחחנו על התכניות שלי ושלו להמשך השנה. העליתי הצעה לפרוייקט ואישר לי להתחיל לעבוד על הרעיון. מעתה ואילך כל התקשורת בינינו התבצעה דרך דואר אלקטורני (מייל). לאחר מספר ימים שלחתי הצעת פרוייקט על אותו פרוייקט, וד"ר מלכה אישר לי אותה. לאחר כשבועיים החלטתי שאני מעדיף את הפרוייקט הנוכחי ושלחתי עליו הצעה חדשה. ד"ר מלכה החזיר לי אותה לתיקון מספר פרטים ולאחר מכן העליתי את הגרסא הסופית לאתר (לאחר אישור סופי שלו). מנקודה זו התחלתי לעדכן את ד"ר מלכה במייל בתדירות של שבועיים – שלושה בנוגע להתקדמות שלי בפרוייקט, כפי שסיכמנו. מעבר לכך לא הייתה ביני ובין ד"ר מלכה תקשורת נוספת (כי אין בה צורך).

מכון דוידסון לחינוך מדעי, ליד מכון ויצמן למדע (ע"ר)
ת.ד 26 רחובות 7610001 | טל. 08-9378300 פקס. 08-9378419

שלבי הפיתוח עד כה

- תכנון המערכת "על הנייר"- תכנון המערכת מבחינת חלוקה למחלקות, הפרדה בין חבילות שונות (למשל חבילת GUI המטפלת בגרפיקה ובקלט\פלט מופרדת מחבילת Logic המטפלת בלוגיקה שמאחורי המשחק – מחלקת המשחק עצמו, המנוע, Utilities, ועוד...).

- פיתוח הקוד- השלב הבא הינו פיתוח הקוד עצמו. שלב זה עוד לא הושלם, אך ניתן לפצלו למספר תת שלבים חשובים:

1. מחלקת הבסיס (Game)- מחלקה זו מכילה את המידע על עמדת משחק מסויימת ומספקת פונקציות ציבוריות המאפשרות לבצע פעולות מסויימות על המשחק, כגון לבדוק מה מצב המשחק בעמדה מסויימת (ניצחון, תיקו או משחק חי).

2. ממשק המשתמש- חלק זה של הפרוייקט כולל מספר מחלקות אשר דואגות לגרפיקה של המשחק, לקיחת קלט מן המשתמש, והצגת קלט למשתמש. בשלב זה פותח כל הממשק על מנת שיהיה נוח להריץ את התכנית, לבדוקה במהלך הפיתוח, ולהשתמש בה כדי לבדוק את הפונקציונליות של כל מאפיין גרפי. בחלק זה פותחו מאפיינים (Features) כמו למשל, הצגת הלוח למסך, אנימציית הדיסקית הנופלת, הזזת "דיסקית דמיונית" בהתאם למיקום העכבר המסמלת איפה בלוח תונח דיסקית בהינתן לחיצה של העכבר במיקומו הנוכחי, קליטת הודעה מהמשתמש לשלוח לשרת ולשחקן השני, ועוד...

3. תקשורת המחשבים וצד השרת- לאחר מכן, פיתחתי את צד השרת (GUI פשוט המציג מין logים) המשמש לתעבורה של מידע בין שני השחקנים (שני השחקנים שולחים הודעות לשרת והוא מעביר את ההודעות הלאה, כך שהשחקנים לא צריכים לדעת את IP של השחקן שמשחק איתם אלא רק את הIP הקבוע של השרת). חלק זה אחראי על שליחת וקבלת המהלכים (והודעות צ'אט פשוטות)

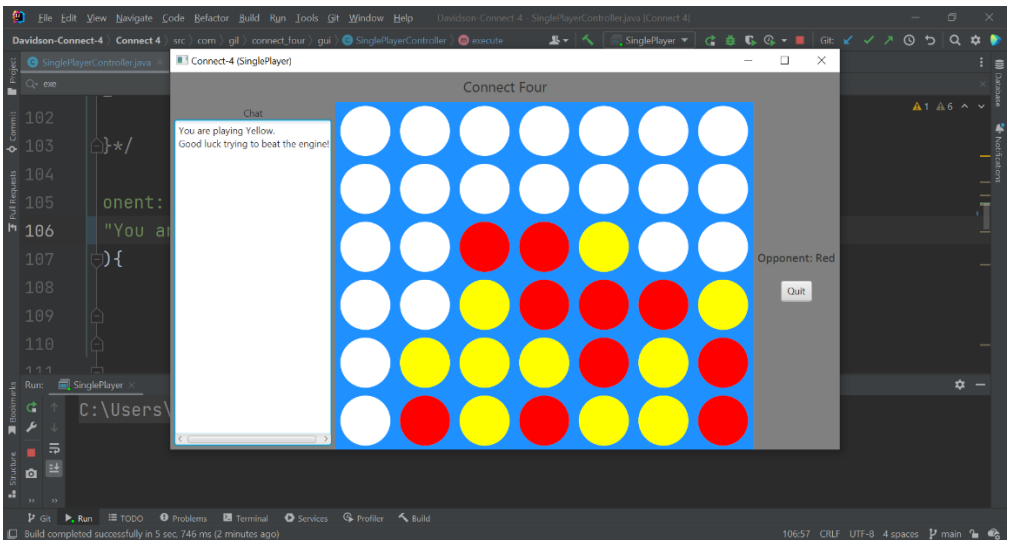
מכון דוידסון לחינוך מדעי, ליד מכון ויצמן למדע (ע"ר)
ת.ד 26 רחובות 7610001 | טל. 08-9378300 פקס. 08-9378419

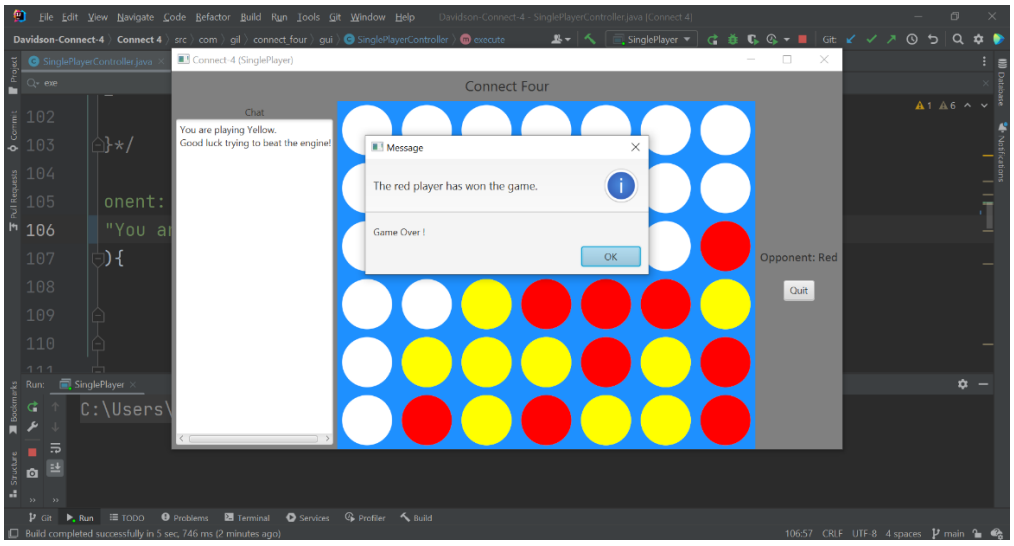
4. <u>מנוע המהלכים-</u> כעת, אני עובד על פיתוח המנוע ומקסום יכולותיו על מנת שאוכל לפתור את המשחק. חלק זה של המערכת אחראי על לקיחת עמדת משחק מסויימת והפקה של מהלך כלשהו. כמו כן, בחלק זה השתמשתי באלגוריתמי **"alpha-beta pruning"**, **"Zobrist-hashing"**, **"Transposition table"**, ואלגוריתם מתן ניקוד לעמדה על סמך היוריסטיקות אשר בחרתי בעצמי.

מכון דוידסון לחינוך מדעי, ליד מכון ויצמן למדע (ע"ר)
ת.ד 26 רחובות 7610001 | טל. 08-9378300 פקס. 08-9378419

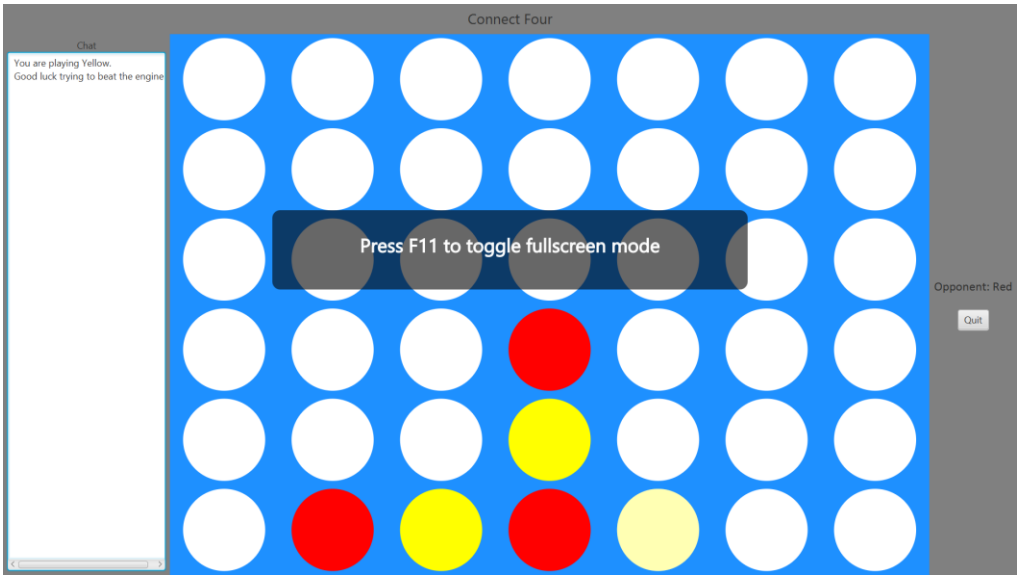
תמונות ריצה

מצב שחקן יחיד

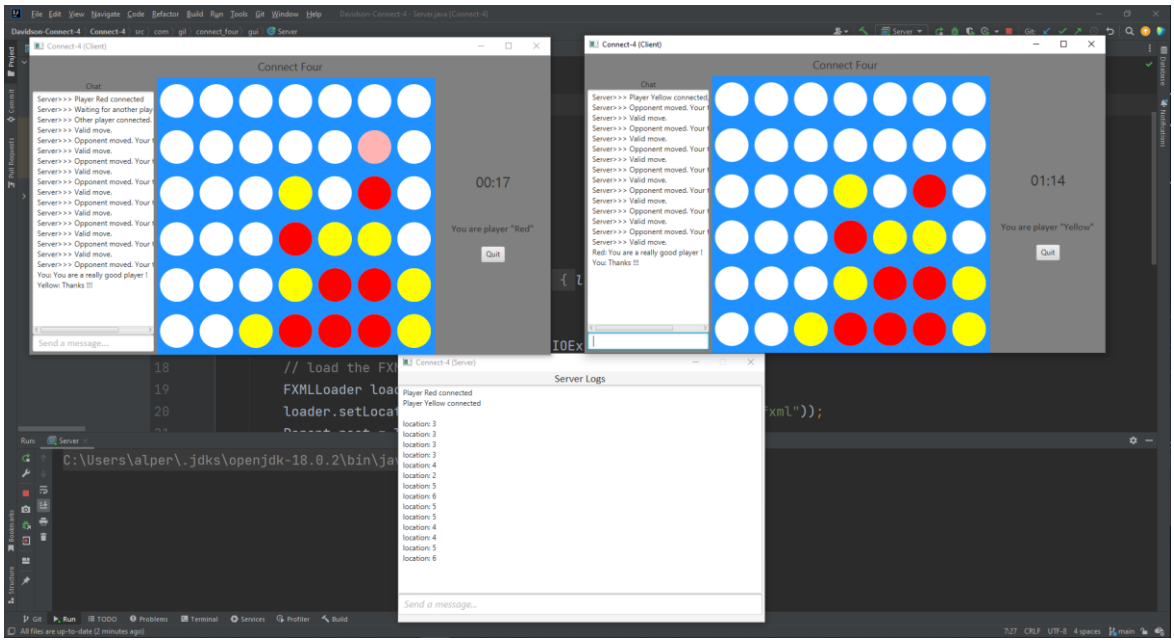




מכון דוידסון לחינוך מדעי, ליד מכון ויצמן למדע (ע"ר)
ת.ד 26 רחובות 7610001 | טל. 08-9378300 פקס. 08-9378419



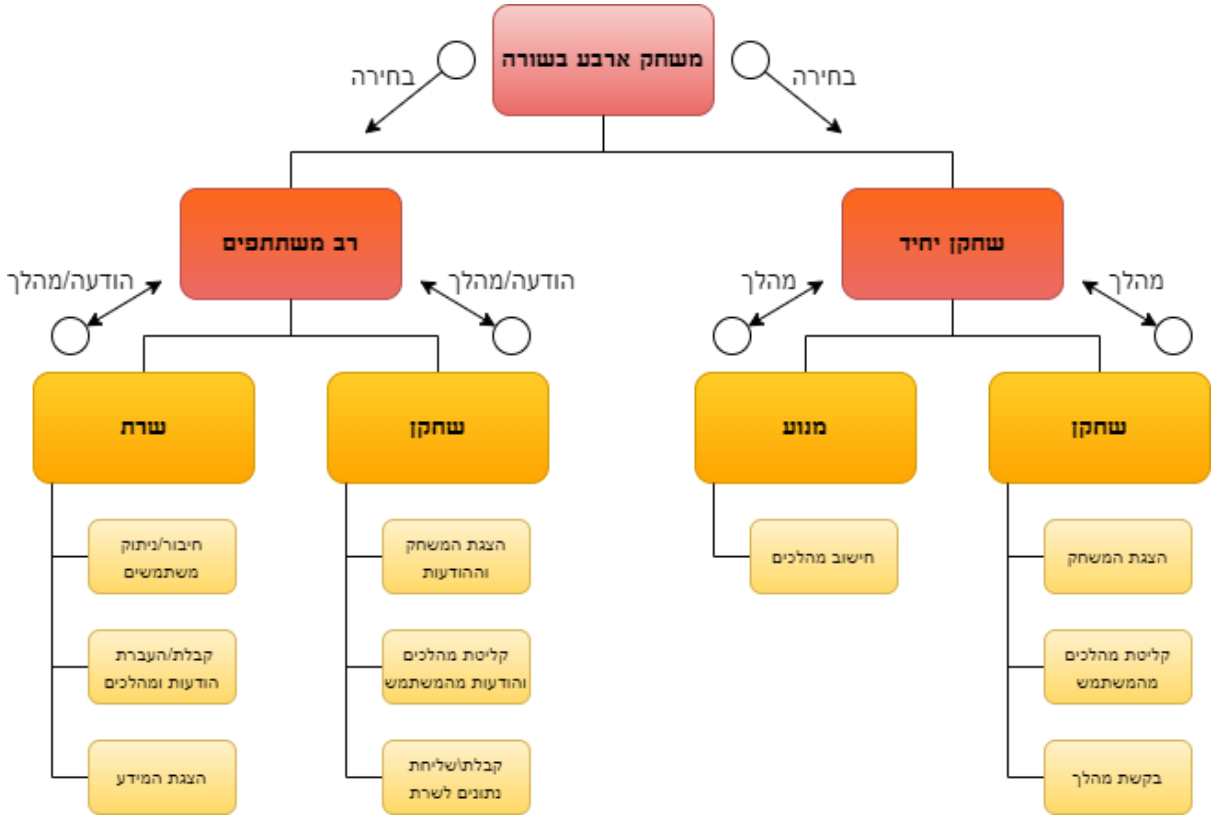
מצב רב שחקנים



מכון דוידסון לחינוך מדעי, ליד מכון ויצמן למדע (ע"ר)
ת.ד 26 רחובות 7610001 | טל. 08-9378300 פקס. 08-9378419

מבנה הפרוייקט

תרשים Top-Down Levels



1. שחקן יחיד

1.1. שחקן

1.1.1. הצגת המשחק; קלט – עמדת משחק, פלט – גרפיקות לוח.

1.1.2. קליטת מהלכים מהמשתמש; קלט – עכבר.

1.1.3. בקשת מהלך; שליחת בקשה ליחידת המנוע עם העמדה הנוכחית.

1.2. מנוע

1.2.1. חישוב מהלכים; קלט – עמדת משחק, פלט – מהלך (מספר עמודה).

מכון דוידסון לחינוך מדעי, ליד מכון ויצמן למדע (ע"ר)
ת.ד 26 רחובות 7610001 | טל. 08-9378300 פקס. 08-9378419

2. רב משתתפים

2.1. שחקן

2.1.1. הצגת המשחק וההודעות; קלט – עמדת משחק ורשימת הודעות, פלט – גרפיקות לוח וצ'אט.

2.1.2. קליטת מהלכים והודעות מהמשתמש; קלט – עכבר, מקלדת.

2.1.3. קבלת/שליחת נתונים לשרת; קלט/פלט – תקשורת TCP.

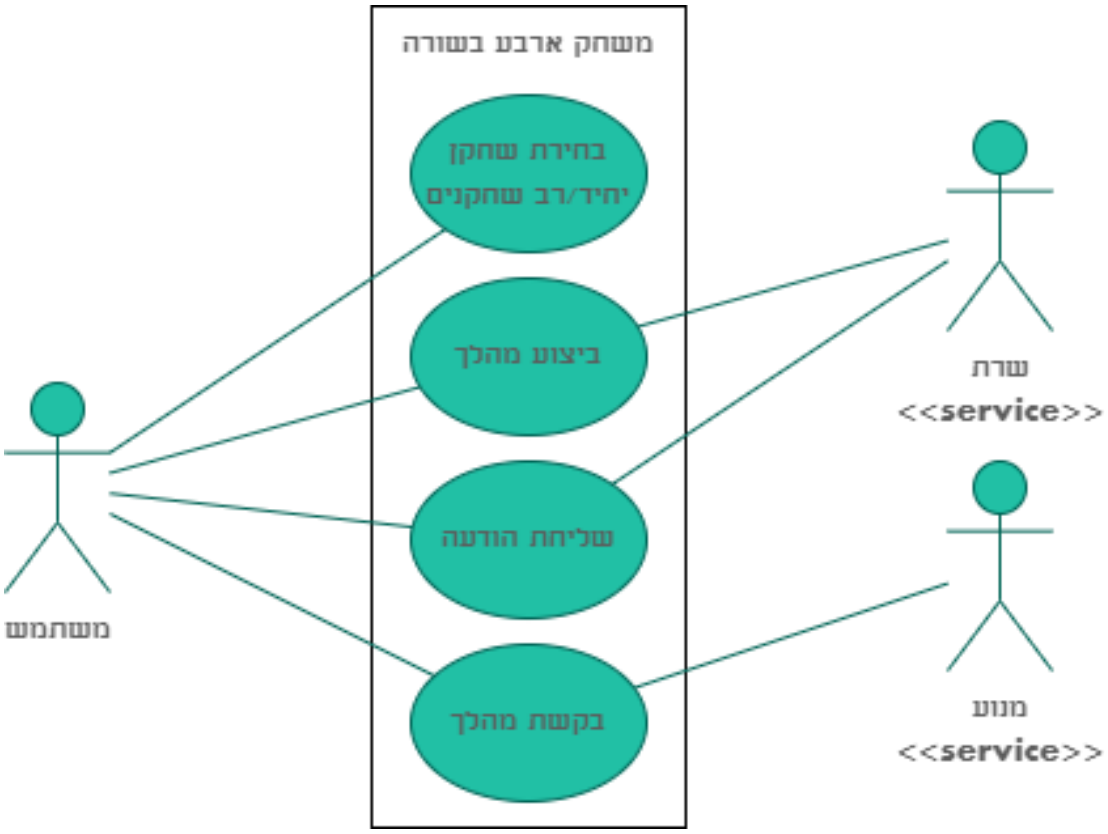
2.2. שרת

2.2.1. חיבור/ניתוק משתמשים; קלט – בקשות חיבור/ניתוק בתקשורת.

2.2.2. קבלת/העברת הודעות ומהלכים; קלט/פלט – TCP למשתמש השני.

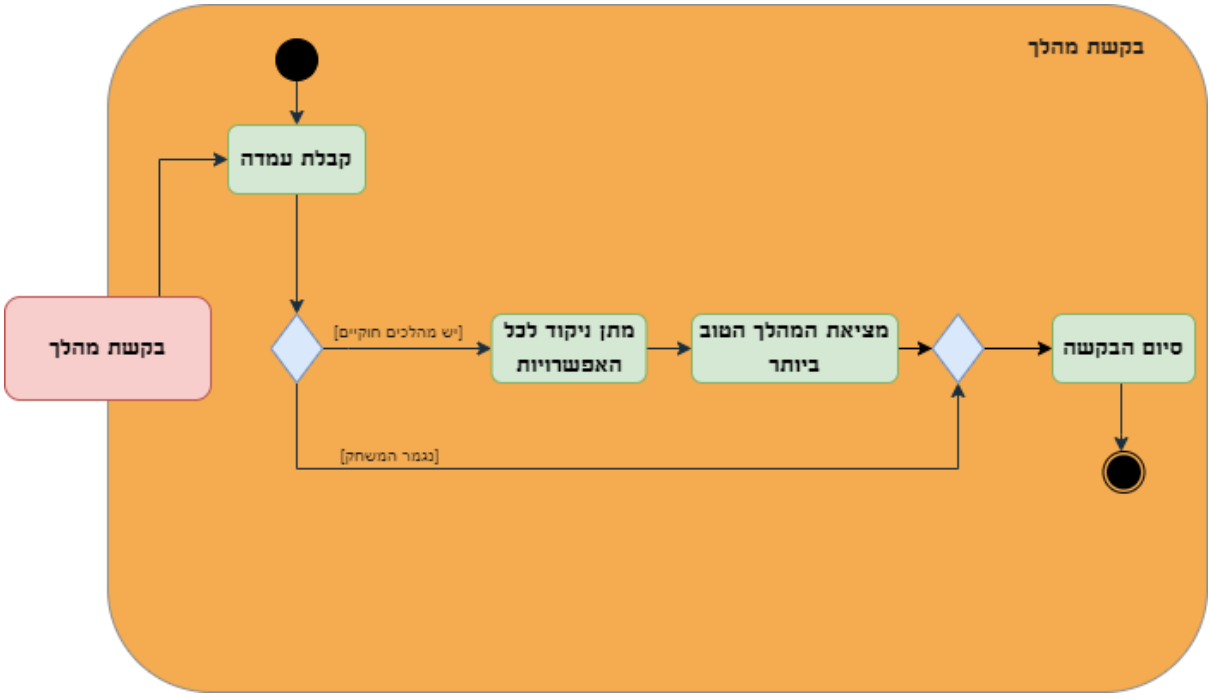
2.2.3. הצגת המידע; GUI של log-ים, חיבור/ניתוק, קבלת/העברת נתונים...

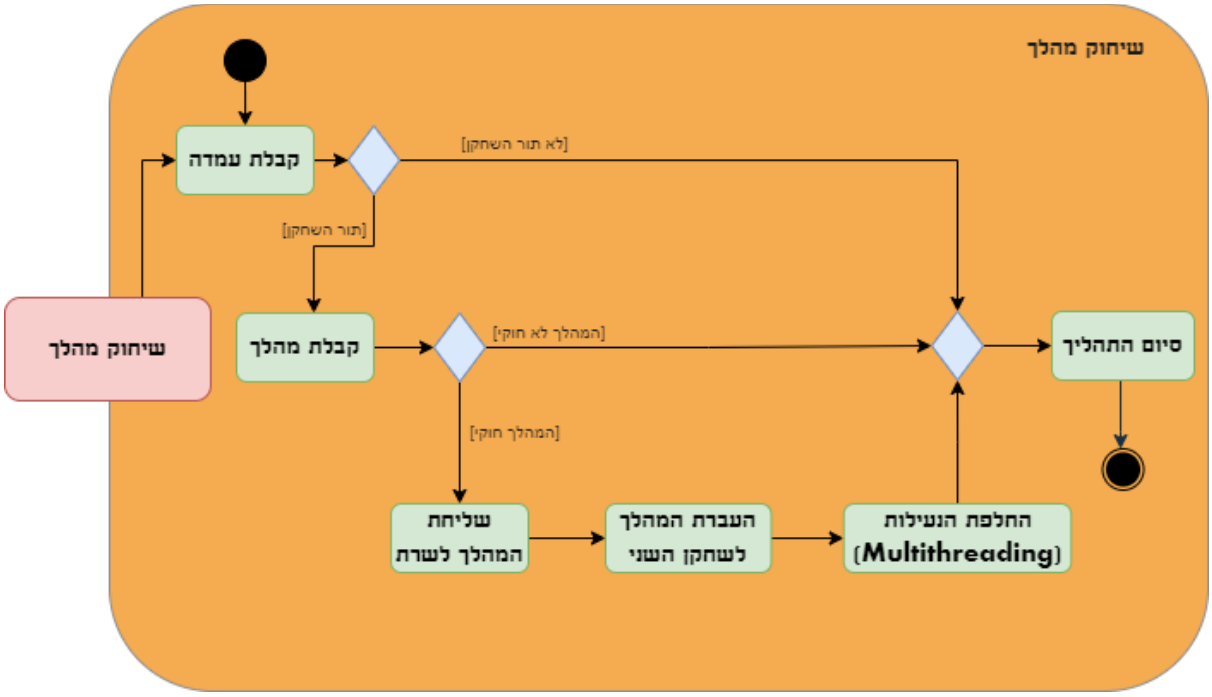
תרשים Use-Case



מכון דוידסון לחינוך מדעי, ליד מכון ויצמן למדע (ע"ר)
ת.ד 26 רחובות 7610001 | טל. 08-9378300 פקס. 08-9378419

תרשימי Activity





מכון דוידסון לחינוך מדעי, ליד מכון ויצמן למדע (ע"ר)
ת.ד 26 רחובות 7610001 | טל. 08-9378300 פקס. 08-9378419

מבני נתונים

- טבלת גיבוב (Hash Map) – טבלת גיבוב היא מבנה נתונים מופשט (גנרי) המיישם מערך או מילון אסוציאטיביים. זהו סוג נתונים מופשט הממפה מפתחות לערכים. בשפת Java, טבלת גיבוב היא ממשק (אבסטרקטי) וניתן ליצור ממנה טבלה בעל פונקציונליות בסיסית באמצעות המחלקה HashMap<,> הממשת את הממשק Map<,>. השימוש העיקרי בפרוייקט בטבלאות גיבוב הינו בשמירת הניקוד של עמדה מסויימת (במנוע) על מנת שנוכל להשוות אותה לעמדות אחרות. לשם כך, המפתח של הטבלה הינו מסוג int (מספר שלם בן 32 סיביות) המייצג את הגיבוב – hash של העמדה ששומרים, (נשמור את הגיבוב בלבד כדי שלא נצטרך לשמור את כל האובייקט ולבזבז זכרון) ואילו הערכים אליהם ממופים המפתחות בטבלה הם מסוג double (מספר ממשי) המייצג את הניקוד של העמדה הממופה אליו. היתרון הגדול ביותר של טבלת גיבוב, הוא שהגישה לנתון מסויים הוא בזמן קבוע (סיבוכיות O(1)), ולא נשמר זכרון עודף (אסימפטוטית), כלומר יעילות המקום היא O(n) – המינימום לשמירת n ערכים (מפתחות, ערכים).

- רשימה (List) - רשימה היא מבנה נתונים מופשט (גנרי) המייצג מספר סופי של ערכים מסודרים, כאשר אותו ערך עשוי להופיע יותר מפעם אחת. בשפת Java, רשימה היא ממשק (אבסטרקטי) וניתן ליצור ממנה רשימה בעל פונקציונליות בסיסית באמצעות המחלקה ArrayList<> הממשת את הממשק List<>. כמו כן, ישנן עוד מחלקות רבות המשתייכות למערכות שונות הממשות את הממשק List<>, כמו למשל ObservableList<> של JavaFX. ניתן למצוא מספר רב של פעמים בהם נעשה שימוש ברשימות בפרוייקט, כמו למשל באגירת מהלכים חוקיים בעמדה מסויימת (יש צורך ברשימה דינמית ולא מערך), או מעבר על רשימת הילדים של Node מסויים בקומפוננטות הJavaFX באמצעות ObservableList<>. רשימה רגילה לא מספקת יעילות מיוחדת לפעולות הבסיסיות הנדרשות ממנה (מציאת אובייקט O(n) זמן, שמירת הערכים O(n) מקום, וכו'), אך אין הדבר פגם, שכן לא נדרש ממנה ביצועים מיוחדים, אין אנו משתמשים בה לביצוע חישובים

מכון דוידסון לחינוך מדעי, ליד מכון ויצמן למדע (ע"ר)
ת.ד 26 רחובות 7610001 | טל. 08-9378300 פקס. 08-9378419

אינטנסיביים הדורשים זאת (לא כמו טבלאות הגיבוב למשל), אלא רק למספר קטן (ובעל חסם עליון קבוע וקטן) של פעולות.

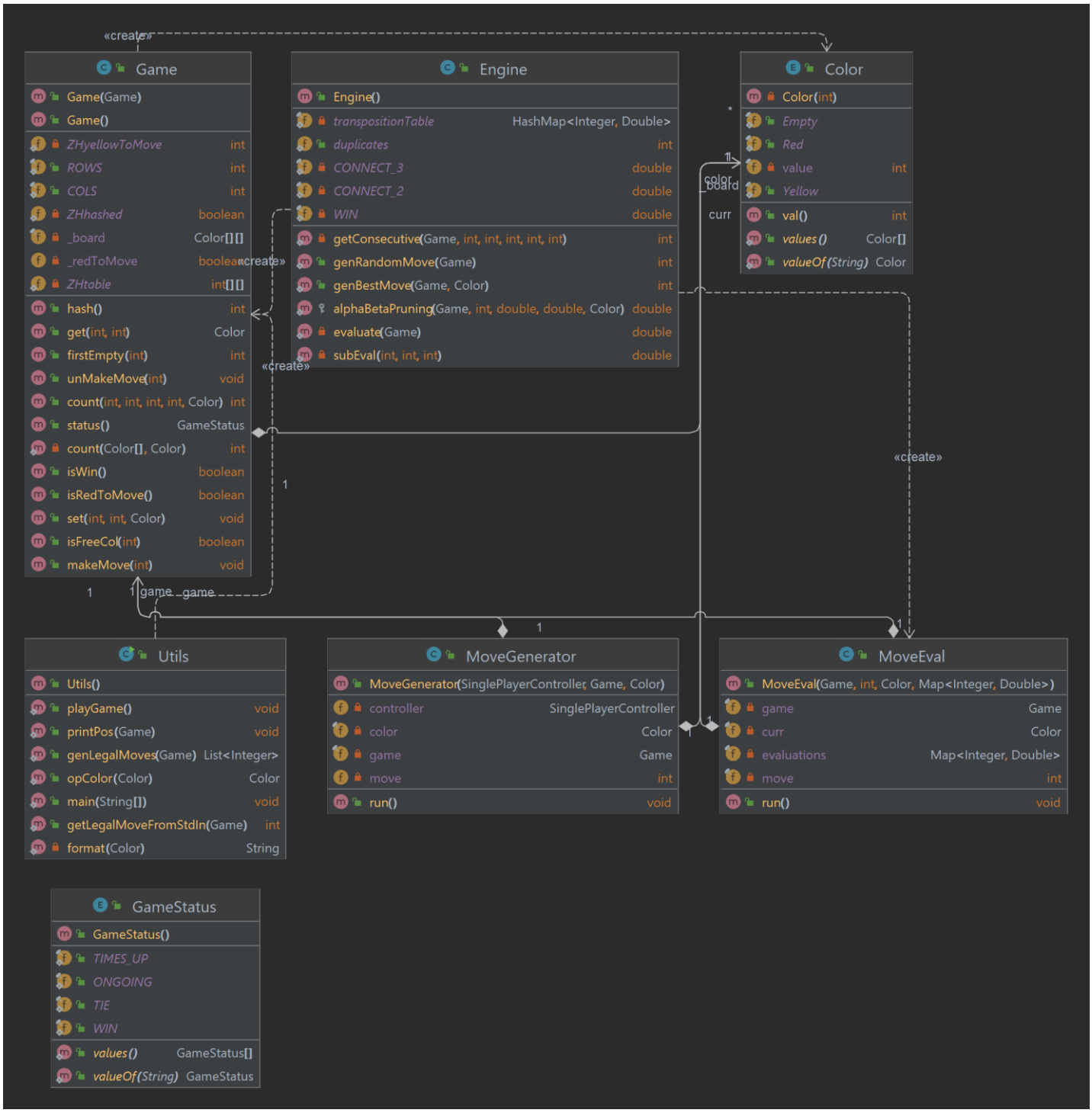
- מערך (Array) – מערך הוא מבנה נתונים המייצג אוסף של אלמנטים (ערכים או אובייקטים), אשר כל אחד מהם נבחר על ידי אינדקס (Index) אחד או יותר שניתן לחשב בזמן ריצה במהלך הפעלת התוכנית. מערך הוא אוסף הנתונים (Collection) הפשוט ביותר, ובשפת Java מוגדר באמצעות סוגריים מרובעות ']', ואף לא נחשב כמחלקה (אך גם לא כמשתנה פרימיטיבי). השימוש העיקרי במערכים בפרוייקט הינו מערך דו-ממדי (Two Dimensional Array), במחלקה Game, על מנת לייצג את לוח הארבע בשורה והדיסקיות שמונחות בו. במקרה זה, המערך מחזיק משתני Enum פשוטים מסוג צבע (Enum Color).

מכון דוידסון לחינוך מדעי, ליד מכון ויצמן למדע (ע"ר)
ת.ד 26 רחובות 7610001 | טל. 08-9378300 פקס. 08-9378419

תיאור התוכנה

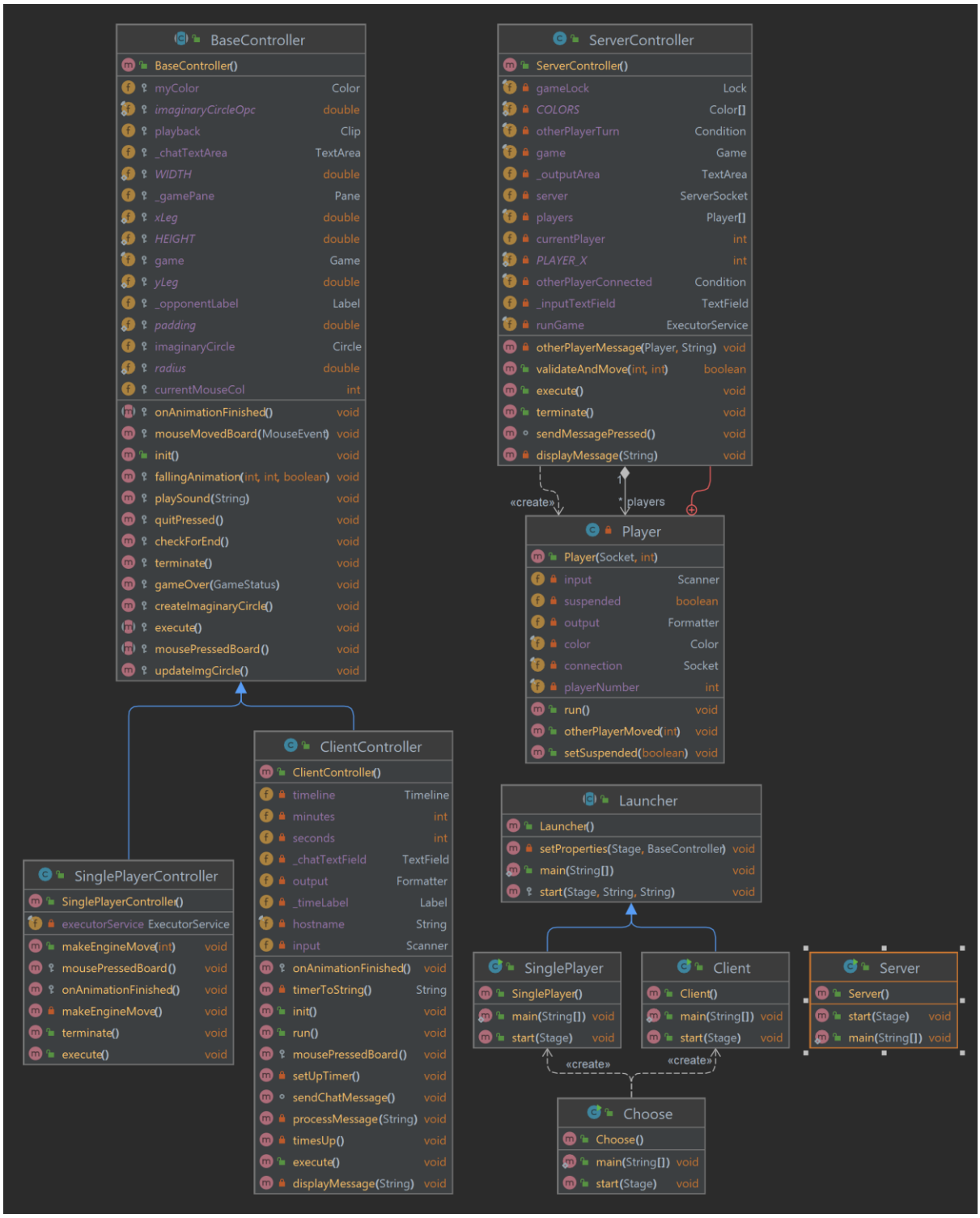
תרשימי Class

חבילת "logic" המטפלת בלוגיקת המשחק, המנוע, מבני נתונים, תהליכונים וכו':



מכון דוידסון לחינוך מדעי, ליד מכון ויצמן למדע (ע"ר)
ת.ד 26 רחובות 7610001 | טל. 08-9378300 פקס. 08-9378419

חבילת "gui" המטפלת בממשק המשתמש, אנימציות, חיבור שרת עם הלקוח וכו':



מכון דוידסון לחינוך מדעי, ליד מכון ויצמן למדע (ע"ר)
ת.ד 26 רחובות 7610001 | טל. 08-9378300 פקס. 08-9378419

רפלקציה

מכון דוידסון לחינוך מדעי, ליד מכון ויצמן למדע (ע"ר)
ת.ד 26 רחובות 7610001 | טל. 08-9378300 פקס. 08-9378419

ניהול פרוייקט

מכון דוידסון לחינוך מדעי, ליד מכון ויצמן למדע (ע"ר)
ת.ד 26 רחובות 7610001 | טל. 08-9378300 פקס. 08-9378419

נספחים

נספח 1 – ביבליוגרפיה

1. Wikipedia - Zobrit Hashing
2. NEW HASHING METHOD WITH APPLICATION FOR GAME PLAYING (by Albert L. Zobrist, The University of Wisconsin CS Department)
3. Wikipedia - Alpha-beta pruning
4. Intellij - UML class diagrams
5. Oracle - JavaFX documentation
6. Wikipedia - Heuristic evaluation
7. Chess programming wiki
8. Wikipedia - Zero-sum game
9. Wikipedia - Connect Four
10. COMPUTER NETWORKS Fifth Edition, Andrew S. Tanenbaum, David J. Wetherall, Pearson, 2011 (physical book)
11. Java™ How to Program Early Objects ELEVENTH EDITION, Paul Deitel, Harvey Deitel, Pearson, 2018 (physical book + online chapters)

מכון דוידסון לחינוך מדעי, ליד מכון ויצמן למדע (ע"ר)
ת.ד 26 רחובות 7610001 | טל. 08-9378300 פקס. 08-9378419

נספח 2 – קוד

הקוד, הקבצים, כל הקשור בפרוייקט נמצא בעמוד הגיטהאב (GitHub) של הפרוייקט.

מכון דוידסון לחינוך מדעי, ליד מכון ויצמן למדע (ע"ר)
ת.ד 26 רחובות 7610001 | טל. 08-9378300 פקס. 08-9378419

נספח 3 – הצעת הפרוייקט

הצעת הפרוייקט גם היא נמצאת בעמוד הגיטהאב (GitHub) שלעיל.

מכון דוידסון לחינוך מדעי, ליד מכון ויצמן למדע (ע"ר)
ת.ד 26 רחובות 7610001 | טל. 08-9378300 פקס. 08-9378419