

# המחלקה להנדסת תוכנה

## פרויקט גמר – תשע"ו

אפליקציה לזיהוי פנים בתלת מימד  
3D face recognition application

### מאת

אפרת טראובה  
312572902

מנחה אקדמי: דר' גיא לשם  
רכז הפרויקטים: ד"ר מרים אללוף  
רכז הפרויקטים: ד"ר ראובן יגל

מערכות ניהול הפרויקט:

#	מערכת	מיקום
1	מאגר קוד	github.com/wall-et/final-project
2	יומן	
3	סרטון	<a href="https://youtu.be/uxqrt5DhycA">https://youtu.be/uxqrt5DhycA</a>

## תוכן העניינים

3	1. מבוא
4	2. תיאור הבעיה
4	דרישות ואפיון הבעי
5	הבעיה מבחינת הנדסת תוכנה
6	3. תיאור הפתרון
6	מהי המערכת
7	תהליכים ונתוני המערכת
7	תיאור הפתרון המוצע
12	תיאור הכלים המשמשים לפתרון
12	מצב הפרויקט נכון לשלב זה
14	4. תוכנית בדיקות
15	5. סקירת עבודות דומות בספרות והשוואה
19	6. נספחים
19	1. רשימת ספרות \ ביבליוגרפיה
19	2. תרשימים וטבלאות
20	3. תכנון הפרויקט
20	4. טבלת סיכונים
21	5. רשימת טבלת דרישות

## 1. מבוא

הפרויקט הבא מתבצע במסגרת פרויקט גמר לתואר מהנדס מחשבים במכללת עזריאלי בהנחיית ד"ר גיא לשם.

הפרויקט מהווה חלק ראשון מתוך ארבעה חלקים המרכיבים פרוטוקול אבטחה הנועד לאפשר למשתמשים גישה לשירותי ענן, עם דגש על שירותי ענן המנהלים בית חכם, כאשר אימות זהות המשתמש יבוצע על ידי זיהוי פנים במצלמת מכשיר נייד.

המטרה המנחה היא פרוטוקול המאפשר רמת אבטחה מקסימלית יחד עם קלות שימוש מרבית.

הפרויקט ימומש כאפליקציה אשר תנהל את הגישה תוך שימוש במצלמת תלת-מימד. עיבוד תמונה ראשוני ואבטחה חלקית יבצעו במכשיר כאשר השוואה למאגר הנתונים וחיפוש התאמה יבוצע בצד השרת.

המצלמה המתוכננת לשימוש שייכת לסדרת המצלמות RealSense של חברת אינטל ומבוססת על צילום באמצעות אינפרא אדום.

במהלך הפיתוח נתגלו בעיות משמעותיות בקוד של חברת אינטל המשמש לתקשור עם המצלמה ועיבוד הנתונים המתקבלים מן המצלמה. תוכנן לכתוב את הפרויקט בשפת JAVA וכך אכן נכתב השלב הראשוני. הקוד היה במצב בו המצלמה פעלה ואותחלה כנדרש וניתן היה לצפות בסריקות העומק וה-RGB. כמו כן בוצע איתור פנים בהסתמך על אלגוריתמים קיימים בתחום המסתמכים על סריקות הצבע וחישוב מרחקים. בשלב זה התברר כי לא ניתן לגשת לנתוני העומק בשפת JAVA כיוון שהפונקציות המטפלות בנתונים החזירו ערכי NULL. כיוון שכך נאלצתי לכתוב את כל הקוד בפותח עד כה מחדש בשפת C++ והוחלפה השפה המתוכננת של הפרויקט.

בשלב זה עוד לא ידוע אם נגיע עם הפיתוח לשלב בו נפתח אפליקציה מלאה עבור ניידים כיוון שהקוד מתברר כבעייתי ולא יציב ויתכן כי נאלץ להשאיר את הפיתוח הזה לשלב מאוחר יותר ולגרסאות קוד מאוחרות יותר.

כרגע הפיתוח מתמקד בפיתוח האלגוריתם ועיבוד התמונה והנתונים על מנת להשיג את הזיהוי הנדרש.

כמו כן נעשה שימוש רב בפונקציות ומודולי עיבוד תמונה של חברת אינטל.

## 2. תיאור הבעיה

נתמקד לצורך האפיון במקרה של גישה לשרותי ענן.

### דרישות ואפיון הבעיה

ככל שהטכנולוגיה מתקדמת חלקים הולכים וגדלים מחיינו עוברים להיות מנוהלים על ידי מחשבים. יחד עם נוחות ונגישות למשתמש גדלים גם הסיכונים והזמינות לגורמים אחרים.

כבר כיום מספר המקרים בהם שומעים על גניבת זהות ושימוש לרעה בפרטים מזהים או כרטיסי אשראי הולכים וגדלים. ככל שחלק הטכנולוגיה בחיינו גדל – הסיכון והנזקים הפוטנציאליים כמו גם המוטיבציה גדלים. ואם מדברים במקרה שאליו מכוון הפרויקט – הבית החכם – מצב בו הבית כולו, או ברובו, נשלט על ידי אמצעים טכנולוגיים הוא מצב בעייתי במיוחד. הבית החכם מכוון למצב בו הדלתות, מכשירי חשמל ביתיים, מכשירים רפואיים, מצלמות, מחשבים ביתיים וכל טכנולוגיית המשתמש תהיה זמינה ומרוכזת במקום אחד. במקרה שאדם בעל כוונות רעות ישיג שליטה או גישה למאגר הזה הוא יציג סיכון גדול מאד למשתמש.

האבטחה הנפוצה כיום מתבססת על הזנת סיסמאות, רצפי תווים האורך כזה או אחר כדי להשיג גישה לחשבונות בענן. בהתחשב בעובדה שכל סיסמא ניתנת לפיצוח בסופו של דבר (במיוחד סיסמא המיועדת לשימוש יום-יומי ולא יכולה להיות ארוכה מדי) יש למצוא אמצעי אבטחה אחרים. אך בו בזמן, הגישה לשרתים עשויה להתבצע פעמים רבות במהלך היום ובשימוש בתדירות גבוהה ולכן אינה יכולה להתבסס על אבטחה מורכבת ולא נוחה לשימוש.

### על האפליקציה להיות:

- נוחה לשימוש – מוצרים, במיוחד כאלה המשתמשים בהם בתדירות גבוהה, חייבים להיות נוחים אחרת, לא משתמשים בהם. כך שעל הפרוטוקול להיות גמיש מספיק על מנת לבצע את תפקידו בהצלחה גם בתנאים לא אידיאליים ללא הנחיות מורכבות למשתמש.
- זמינה – המידע חייב להיות זמין למשתמש בכל מקום כיוון שבכך טמון היתרון המרכזי בשרותי ענן. כך שהפרוטוקול לא יכול להתבסס על מיקום או שרות חיצוני ספציפי אלא חייב להתבצע באמצעים הנמצאים עם המשתמש בכל מקום.
- אמינה – על המערכת לאפשר למשתמש גישה לחשבונות בהצלחה קרובה ככל האפשר ל-100%. בהתחשב במטרת הפרוטוקול על תפקוד האפליקציה להיות רציף ויציב ולא יתכן מצב בו משתמש לא יקבל גישה לחשבונות בתדירות גבוהה.

## הבעיה מבחינת הנדסת תוכנה

הפרויקט מטפל באבטחת מידע בעולם בו טכנולוגיה הופכת יותר ויותר לשחקן דומיננטי בחיינו ועקב כך בעל חשיבות רבה.

האתגרים הצפויים בפיתוח מערכת:

- אמינות – אחוז הטעות אשר בעקבותיה תבצע המערכת זיהוי שגוי ותאפשר למשתמש לא מורשה גישה לחשבון אחר צריך להיות אפסי עד לא קיים בכלל. זהו התרחיש הבעייתי ביותר והמשמעותי ביותר במערכת.
- יעילות – מטרת המערכת היא אפשר גישה לחשבון המשתמש. כיוון שכך אחוז הטעות במקרה בו משתמש מורשה לא מזוהה באופן מידי ואינו מקבל גישה למערכת צריך להיות קטן ככל האפשר.
- מהירות – האפליקציה מיועדת לאפשר גישה חוזרת ונשנית ממכשירים ניידים. כיוון שכך היא צריכה לסיים את עיבוד הנתונים מהר ככל האפשר ולחזיר תשובה למשתמש בזמן קטן ככל האפשר. בעקבות כך, נכנס למערכת אלמנט של עיבוד בזמן אמת ויכולות העיבוד וסדר גודל הפתרון הם נתונים שחשוב לשים לב אליהם בזמן כתיבת האלגוריתם ובחירת אבני הדרך לפרויקט.
- הפרויקט מסתמך על טכנולוגיות חדשניות תוך צפי שבעתיד הקרוב הם יהפכו לנורמה מקובלת אך כיום יש מידע מועט באופן יחסי. המצלמות הקיימות כיום עדיין בשלבי פיתוח ומשתנות בין גרסה לגרסה אך כבר בשלב הנוכחי טובות מספיק כך שניתן להסתמך על הנתונים שהן מספקות. בשלב זה המצלמות לא מוטמעות במוצרים רבים ואין בשימוש בשוק הרחב אך צפויות להפוך למוצר שכיח בשוק.
- בזמן שזיהוי פנים בטכנולוגיות דו-מימד קיים כבר כמה שנים ונחקר רבות, זיהוי פנים בתלת מימד הינו יחסית תחום חדש ופופולרי הרבה פחות ומוצרים מקבילים הם מעטים ולא ברמה טכנולוגית מספקת. פרויקטים אחרים בקטגוריה זו הסתמכו על מצלמות סטריאו או לייזר כמו גם על צילום בתנאי מעבדה לעיתים. בנוסף, המצלמות המשתמשות באינפרא אדום הן מוצר חדש יחסית מערכות המבצעות זיהוי פנים באמצעותן הינן ספורות.
- יש לשנות ספריות המיועדות לעיבוד תמונה הקיימות כיום ולהתאים אותן לעיבוד תמונה בתלת מימד. בדומה לסעיף הקודם, בעקבות בוסריות החומרה בתחום תלת המימד גם תחום התוכנה הינו בראשיתי ודל באופן יחסי ועל מנת לעבד תמונות תלת מימד קיימות יהיה צורך להתאים טכנולוגיות קיימות ולהתאימן למערכת ולא ניתן לעבוד איתן במצב הקיים.
- בעיה נוספת שנמצאה במהלך הפיתוח נתגלתה כקוד לא מפותח מטעם חברת אינטל. פונקציות בקוד לא החזירו ערכים ולא עבדו כמו שצריך באופן כללי ונדרש שכתוב חוזר ונשנה של קוד ככל שהתקדמנו עם הפיתוח.

### 3. תיאור הפתרון

הפרוטוקול המתוכנן יהיה מורכב מארבעה חלקים. החלק הראשון יעסוק בעיבוד התמונה ומאפייניה כאשר הפלט המתוכנן יהיה מחרוזות מאפיינות. החלק השני יעסוק אף הוא בעיבוד תמונה ויבדוק דופק של המשתמש המבקש כניסה - כעין בדיקת אנושיות. השלישי ינתח את המחרוזות המתקבלות תוך שימוש בקודים לתיקון שגיאות ושווה בינה לבין הנתונים במאגר הנתונים תוך שימוש בפונקציית גיבוב לאפשר אבטחה מקסימלית. הרביעי מוקדש לטיפול בבעיות אבטחה שמקורן בפרצות בחומרה. הפרויקט הנוכחי מטפל בחלק הראשון של הפרויקט. כלומר, בצילום תמונה, ועיבודה לנתונים בהם המחשב יוכל להשתמש.

#### מהי המערכת



נקודה חשובה לפרויקט זה, השלב של זיהוי המשתמש עליו מדובר בתרשים הינו שלב תיאורטי למעשה. כנכתב לעיל הזיהוי הסופי במערכת יבוצע באמצעות אלגוריתמים ייעודיים. בשלב זה על האלגוריתם להפיק מחרוזת טובה מספיק כך שהשלבים הבאים יוכלו להמשיך ולהעביר אותה עיבוד נוסף עד להגעה לרמת הדיוק הרצויה. כיוון שכך, על אחוז השגיאה הסופי של המערכת להיות קטן עם שאיפה לאחוז מינימלי ככל האפשר אך הוא אינו מצופה להיות אפסי.

המערכת תהיה אפליקציה לטלפון חכם המורכבת מצד שרת וצד לקוח. התמונה תצולם בצד הלקוח ותעובד עיבוד ראשוני – יוצאו הנתונים הדרושים ויעברו לשרת יחד עם בקשת הכניסה.

בצד השרת תושווה המחרוזת בעזרת פונקציית HASH ואלגוריתמים לתיקון שגיאות עם הנתונים השמורים במערכת בהתאם להגדרות הפרוטוקול ויוחזר ללקוח אישור כניסה או סירוב.

## תהליכים ונתוני המערכת

כפי שצוין לעיל השוואת המחרוזת לנתונים השמורים במערכת תתבצע בשרת וכוללת אלגוריתמים ולוגיקה נוספת שיפורטו בפרויקט אחר. התהליך העיקרי המתבצע במערכת הנוגע לפרויקט הנוכחי הוא עיבוד תמונה תלת-מימדית למחרוזת ערכים בוליאניים הניתנים לעיבוד נוסף. בין אם מדובר בעיבוד ראשוני לצורך הרשמה למערכת, עיבוד מידע נוסף לצורך עיבוד אמין יותר ('אימון המערכת') או אם מדובר בבקשת גישה, האלגוריתם מעבד את התמונה ואוסף מידע על רשימה של נקודות המוגדרות מראש והופך אותן לרצף המורכב מאפסים ואחדות הנשלח לשרת.

## תיאור הפתרון המוצע

מערכות זיהוי פנים מתבססות בעיקר על מדידת מרחקים. מודדים מרחקים בין חלקים שונים בפנים של האדם המזוהה ומשווים אותם לנתונים הקיימים במערכת. ישנן מערכות המתבססות או משלבות גם שיטות אחרות כגון השוואה של מבנה פנים ונתונים כמו עומק שקעים וגובה בליטות בפנים או כיוונים בפנים. ישנן גם שיטות המתבססות על איברים ספציפיים כגון זיהוי אף או אוזן וכו.

גם הפרויקט הנוכחי משתמש בשיטות ובאלגוריתמים המצויים כאשר ההבדל הוא במקור הנתונים. היות שהתמונה הינה בעלת נתוני עומק לא יהיה צורך באלגוריתמים המעבדים את התמונה רק על מנת למדוד מרחקים בתמונה דו-מימדית, אך הנתונים יהיו זמינים בצורה אחרת מהמצוי וידרשו עיבוד אחר. בו בזמן ישנם נתונים נוספים רבים הזמינים בפרויקט זה שלא בהכרח התאפשרו לעיבוד מספק בעבר. ולכן הפרויקט לא יסתמך על השיטות הקיימות ויעבוד איתן אלא רק ישאב מהן הנחיה ויתאים אותן למאפייניו הייחודיים. כוון שכך שהפרויקט הינו פרויקט מחקרי כאשר החלק מרכזי אותו יש לחקור יהיה מהי הדרך האופטימלית לעבד את התמונה. מהי השיטה או התכונות אשר שימוש בהם מאפשר לנו תוצאה מקסימלית התואמת את דרישות הפרויקט.

התכונות המדויקות בהם ישתמש האלגוריתם כמו גם השיטה הספציפית בה יומרו הנתונים למחרוזת המדוברת הם חלק מהמחקר וצפויות להשתנות ולעבור בירור במהלך הפרויקט ולכן הפתרון המפורט מהווה הצעה ראשונית המתבססת על עבודות קודמות שנעשו בתחום ומפורטות בהמשך.

ישנם כמה נושאים העומדים למחקר על מנת להגיע לשיטה האולטימטיבית לזיהוי פנים בתלת מימד. הפירוט הנ"ל מהווה סיכום כללי של השיטות השונות בהם ניגשו פרויקטים קודמים לזיהוי פנים בתלת מימד.

באופן כללי ניתן לסכם את הגישות השונות לעבודה עם מודלים של תלת מימד הרלוונטיים לפרויקט הנוכחי לארבעה שיטות וכמה הצעות נוספות:

1. בהתחשב בעובדה שמדובר בתחום חדש ישנה כמות נכבדת של עבודות המדברות על עבודה הפוכה - עבודות שעוסקות בהמרה של תמונות דו מימד למודלי תלת מימד להקל על הזיהוי. שיטות אלה לא רלוונטיות לעבודה זו אך כמה מהן השתמשו במודל הנבנה ליצור הבעות שונות ותמונות פרופיל מכיוונים שונים וכך הקלו על הזיהוי של תמונות בתנאי שטח כגון חצאי תמונות או תמונות צד וכו'. כך שזהו כיוון נוסף שניתן לבחון.

תת קטגוריה של התחום הנ"ל שרלוונטית יותר לפרויקט הנוכחי תהיה השיטה שבחנה יצירה של מודלים כללים ותבניות לכמה הבעות שכיחות וכמה כיוונים של הטיית הפנים ובעזרת אלגוריתמים יישרה את פני האדם אותו היא מעבדת ויצרה עבורו תבניות זהות לכל התמונות האפשריות.

עבודות רבות בחרו להשתמש בADM - Annotated Deformable Models. כלומר, יצרו ממאפיינים גנריים ואלגוריתמי יישר ועיבדו כל הבעה שנסרקה להבעה ניטרלית.



בשיטה זו ההתמקדות היא בעיקר באלגוריתמים הממקמים סריקה של פנים חדשות על מודל הבעות מוגדר מראש או יישור של הסריקות על מודל באמצעות נקודות נבחרות בפנים.

הפניה לשיטות הנ"ל ניתן למצוא בפרק 4 בסעיפים (2)(1),(15),

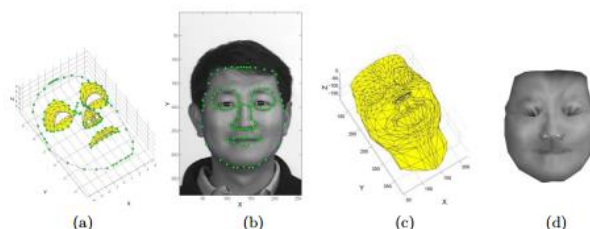


Fig. 1. Face alignment: (a) feature vertices shown as "beads" on the 3D generic face model; (b) overlaid on a given intensity face image; (c) adapted 3D face model; (d) reconstructed images using the model shown in (c) with texture mapping.

2. באופן כללי ניתן לכלול כמה שיטות בקטגוריה זו. הם בחרו להתמקד בפני השטח ולאפיין את הראש בעזרת הפנים.

שיטה אחת הייתה להשתמש בפונקציות מתמטיות כגון פונקציית הגאוסין וכו' על מנת למצוא כמה נקודות חשובות בפנים ואותם להשוות בכל פעם ועל פיהן ליישר תמונות אחת על גבי השנייה. בדרך כלל נבחרו נקודות באזור המצח, האף או העיניים.



דרך חלופית לשימוש בפונקציית גאוס'ין הניבה מפות עומק של כלל שטח הפנים ועל סמך המבנה הכללי לאסוף נתונים. שיטה נוספת בחרה להמיר את התמונה להיסטוגרמה בדו מימד ולהשוות את התוצאות באמצעות סטטיסטיקות ופונקציה כללית. פרויקט נוסף בדק את ההשפעה של איסוף נתונים הנוגעים לטקסטורה של הפנים וגילו שנראה שיפור בזיהוי של תמונות קדמיות. [הפנייה 4.7] אך לסיכום ניתן לראות שאחוזי השגיאה וההצלחה בשיטות אלו לא הראו תוצאות טובות מספיק כך שיש לבדוק את הנושא לעומק ולחקור האם הטעויות נבעו מאיכות מידע או מבעיות אחרות ולבחון האם כדאי להשתמש בשיטות האלה.

ראה הפניות בפרק 4 סעיפים (3), (4), (5), (6)

3. ישנה שיטה המתבססת על התאמה בין תמונות בדו מימד לתלת מימד. למשל באמצעות שימוש במודל ASM נמצאו הנקודות הרצויות בתמונה דו מימדית ולאחר שזוהו הנקודות מיקמו אותן במיקום המקביל במודל תלת מימדי ואספו את המידע להשוואה. [הפנייה 4.8] עבודות נוספות מציגות וריאציות של השיטה הנ"ל בה מתבססים על כמה נקודות ספציפיות האופייניות לכל אדם בצורה שונה ומשווים ביניהן בין פני אנשים שונים. נראה שעבודות אלו אכן קיבלו אחוזי הצלחה גבוהים יותר אך חלקן הסתמכו על מיקום ידני של הנקודות על המודל התלת מימדי כיוון שיישור בין שתי המודלים התגלה כבעייתי. רב האלגוריתמים שממירים תמונות תלת מימד לדו מימד מעוותים אותן בתהליך.

ראה הפניות בפרק 4 סעיפים (9), (12))

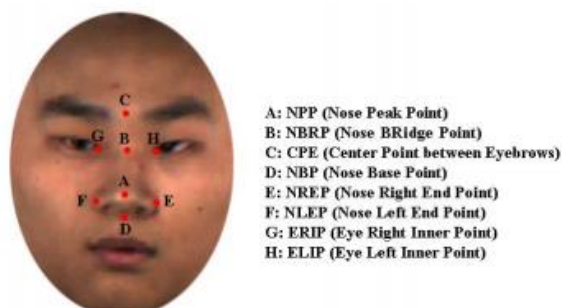
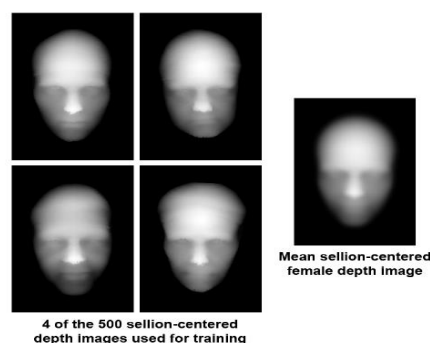


Fig. 2. Generic-facial feature points

4. שיטות נוספות מתבססות על מודלים של 3D eigenfaces או שילוב שלהם עם מפות עומק של הפנים וכו לפעמים גם מודלי eigenface בדו מימד. באופן יחסי שיטה זו היא הימור בטוח כיוון שהוכחה פעמים רבות כיעילה בזיהוי בדו מימד ואכן התוצאות המוצגות מבטיחות באופן יחסי אך בהתחשב בעובדה שזהו תחום שנחקר רבות וידוע על היתרונות כמו גם החסרונות שלו הוא לא מייצג פריצת דרך המשתמשת בנתונים החדשים הנובעים מסריקה בתלת מימד.

מודלי eigenface בתלת מימד

ראה הפניות בפרק 4 סעיפים 10, 11))



5. ניתן לשקול שילוב שלהם הם שיטות העוסקות בזיהוי של אזורים ספציפיים בפנים שאינם מועדים לשינוי רב עם השנים או הבעות כגון זיהוי אף או אוזן בניגוד לאזורים כמו הפה, העיניים והמצח. אך אזורים אלו לא תמיד זמינים בתמונה בצורה שניתן להמשיך לעבד אותם והם גורמים בדרך כלל לתלות בכיוונים.

ראה הפניות בפרק 4 סעיפים 12, 13, 16))

באופן כללי, למרות, למרות שאכן קיימות עבודות בתחום זיהוי בתלת מימד המראות כי אכן הפרויקט אפשרי קשה לאסוף מידע ולהשוות בין השיטות השונות ולהגיע לשיטה אחת מובילה על מנת שנוכל החליט להשתמש בה. הפרויקטים משתמשים במסדי נתונים בגדלים שונים כאשר הוכח כי הגדלה של מאגר הנתונים משפיע דרסטית על אחוזי ההצלחה. בנוסף, פרויקטים שונים השתמשו בתצלומים ניטרליים (פנים ללא הבעה) או בתצלומים בתנאי אור אידיאליים כאשר החידוש המשמעותי שאליו אנו שואפים להגיע על ידי עבודה עם מודלי תלת מימד הוא הורדת המשמעות הגבוהה שיש כיום לתצלומים 'נקיים' או הבעות וכיוון צילום.

אפשרות נוספת העומדת לדין הוא שימוש בזיהוי משולב בין מודלים בתלת מימד לתמונות ב-2D. ישנם עבודות שבחנו אלגוריתם שהסתמכו על שילוב של נתונים והציגו שיפור באחוזים אך לא נבדק אם האחוזים הגבוהים יותר נבעו כתוצאה משילוב סוגי הנתונים או מעצם העובדה שלא אלגוריתם היו שתי תמונות לדגום והגדלה של מאגר הנתונים מובילה לאחוזי הצלחה גבוהים יותר באופן ישיר.

בעקבות כל זאת, כפי שצוין לעיל, נדרשת עבודת מחקר והתנסות רחבה באשר לשיטה האידיאלית, עד כמה שניתן להגדיר שיטה אחת ככזו, כדי שבאמת נוכל להגשים את העקרונות המנחים את הפרויקט על הצד הטוב ביותר.

למרות זאת, מכל השיטות הנ"ל הכיוון הראשוני שאליו מכוון המחקר הינו השוואה של נתונים נקודתיים ממיקומים ספציפיים בראש האדם. השיטות האחרות ייבדקו, במיוחד אם הכיוון הראשוני יתברר כלא יעיל או בעייתי, אך בעקבות המטרות המכוונות להימנע מקריטיות הבעות, תאורה או כיוונים השיטות המשתמשות בתבניות או במפות עומק מייצגות גישה המוגדרת ומוגבלת מתפיסות וחסרונות הנפוצים בזיהוי ב-2D מימד ומתקשות להתרחק מהקביעון המוכר.

היות שמטרת הפרויקט היא לשנות את השיטה הקיימת כיום ולנצל את התקדמות הטכנולוגית על מנת להציע חלופה טובה יותר נתמקד מלכתחילה בניצול הנתונים החדשים. ננסה להתבסס על מדידת מרחקים מדויקת המתאפשרת בעקבות מדידה באינפרא-אדום ונבחן שיטות שונות לעבודה ויצירה של מודלי AFM- (Annotated Face Model) אשר מאפשרים ניצול של ייחודיות הנתונים הזמינה בפרויקט זה.

כלומר, עבודה עם מדידת מרחקים ועומק במודלי תלת מימד ללא המרה של הסריקות על ידי אלגוריתמים נוספים או הסתמכות על נתונים דו מימדיים.

באופן כללי, הסתמכות על הנתונים בצורתם הזו מקטינה סיכונים לשגיאות העלולים לנבוע מנרמול של הנתונים (שגיאות שלא ניתן לתקן בשלב מאוחר יותר כפי שצוין בכמה עבודות) כמו גם מאפשרת הימנעות מפיתוח של מספר רב של אלגוריתמים לצרכים אחרים מהצרכים הישירים של הפרויקט.

המחשבה המנחה את הגישה הזו היא הצפייה כי בהסתמכות על נקודות נבחרות בלתי משתנות ובלתי תלויות עליהם זמינים נתונים מדויקים בכל כיוון והבעה או בכל תאורה (כמתבקש מסריקה באינפרא אדום) נוכל להימנע מבעיות נפוצות במערכות לזיהוי פנים הקיימות כיום ולשפר את התוצאה הסופית.

כמו כן, ההפניות הבאות הן חלק מהעבודות שבחרו להסתמך על AFM או שיטה דומה על מנת לזהות הבעות פנים, מציאת פנים בתמונה, זווית, וכו'.

ראה הפניות בפרק 4 (סעיפים 16), (17), (18))

#### **עבודות שהסתמכתי עליהן בסיכום המחקר מצוינות בפרק 5 תת סעיף 1 הפניה a), b)**

העבודות המצוינות מטה הן עבודות ספציפיות שבחרתי להתמקד בהן כיוון שהציגו תוצאות גבוהות או שיטות שונות מאחרות ויכולו להנחות אותי במחקר נוסף של הפרויקט.

אם נתבונן בעבודה 1)) מפרק 4- פרויקט זה הינו עבודה מעניינת לבחון. הם בחרו בשיטת עבודה שאינה אינסטינקטיבית המורכבת משלבים הנבנים אחד על השני ויסודית, אך בו בזמן הם בחרו להמיר מודלים של 3D לתמונה ב-2D על פי אלגוריתמים וזהו צעד שנראה מלכתחילה שעדיף להימנע ממנו ומבטל את יתרונות סריקה תלת מימדית ( מלבד נתוני הסריקה, כמובן) ומעלה את סיכון הטעות. בסופו של דבר הפרויקט קיבלו תוצאות גבוהות מהממוצע (רב התוצאות מעל 95%) גם בתנאים לא אידיאליים ובשל כך נוספים כפתרון אפשרי. במיוחד לאור העובדה שהמרה של מידע בפורמט כזה למחרוזת בוליאנית עשוי להתברר כפשוט יותר לעומת שיטות אחרות.

נקודות נוספות שניתן ללמוד מהעבודה הנ"ל הוא השימוש שלהם בפילטרים על מנת להפטר ממידע פגום. פילטר אחד לנקות 'מריחה' (spikes) - כאשר ישנם אזורים שלא נסרקו כראוי. ופילטר נוסף לפתור 'חורים' - מידע שלא נסרק כלל בסריקה הראשונית. בנוסף, האלגוריתם בו הם השתמשו על מנת להצמיד את הסריקה החדשה למודל הקיים יכול לבא לידי שימוש במקרה שנבחן מקרה של יצירת מודל כללי בתלת מימד ולהתאים סריקות אליו.

עבודה נוספת הראויה לציון בנפרד היא הפנייה 14)) בפרק 4. העבודה שנעשתה היא מחקר על האנטומיה של הפנים בתלת מימד ואפיון מבנה פנים על ידי שימוש בנקודות בעלות משמעות וקיימורים חשובים. המחקר שנעשה מסכם ומקיף ורבים מהמחקרים העוסקים בזיהוי

פנים הסתמכו על עבודתו בקו מנחה לעיבוד הסריקות. היות והכיוון הצפוי הוא שימוש ב-AFM או נקודות קריטיות – סביר להניח העבודה הנ"ל תתברר כיעילה ביותר על מנת להגיע לניתוח יעיל.

### תיאור הכלים המשמשים לפתרון

שלב המחקר מתמקד בעיקר בתמונות ועיבודן והעבודה מתבצעת בעיקר בכלים הנ"ל

- Eclipse IDE for JAVA
- OpenCV for JAVA libraries

הצפי להמשך הפרויקט המתמקד במוצר והאלגוריתם הסופי

- Android Studio IDE
- Android OS
- OpenCV for Android libraries
- Intel RealSense SDK
- Visual Studio 2015
- C++
- OpenCV with C++

### מצב הפרויקט נכון לשלב זה

במהלך החודשים הושקע זמן למחקר של אלגוריתמי עיבוד תמונה בתלת מימד ואלגוריתמים המבצעים זיהוי פנים בתלת מימד. נעשה מחקר מקיף במיוחד באשר לשיטות השונות שהוצעו לעבודה עם נתונים תלת-מימדיים ומחקרים שנעשו עבור נתוני תלת מימד מסוגים שונים. נחקר השימוש ב-OpenCV ככלי תכנותי לעיבוד תמונה וביצוע של זיהוי פנים ומה האפשרויות המוצעות בתחום. נעשה גם מחקר באשר לכלים המוצעים על ידי חברת אינטל לעיבוד התמונה כמו גם לכלים הגרפיים שגכללו בקוד ה-SDK. הפרויקט מפותח בשלבים. כרגע פותח קוד המטפל באחזור הנתונים של הצבע והעומק הרצויים כמו גם באיתור אדם בתמונה ומציאת נקודות רצויות בפנים. בשלב זה נעשה שימוש בכלים הגרפיים המוצעים בידי אינטל כיוון שההתממשקות עם הסריקות התבררה כקלה יותר ועל מנת להמנע מאיבוד נתונים מסוימים במהלך המרת האובייקט לתמונת OpenCV. יתכן שבשלב מאוחר יותר לא תהיה ברירה אלא לבצע עבודה משולבת עם הכלים והפיתוח ישתנה. השלב הבא של הפיתוח הוא עיבוד נתוני העומק ובניית האלגוריתם שיאפשר ביצוע זיהוי פנים והוצאת תווים יחודיים למשתמש.

הנתונים אנו מעבדים הם נקודות ציון אותם מצאנו בפנים האדם (ניתן לראות אותן מסומנות בסרטון המצורף). הנתונים הזמינים עבור כל נקודה הם ציוני  $X$  ו- $Y$  בתמונת הצבע ונתוני  $X, Y$  ו- $Z$  בסריקת העומק. הפיתוח מתמקד במציאת חוקיות בנתוני העומק. הפיתוח לא מתמקד בביצוע זיהוי מסריקת הצבע למרות שבהחלט זמינים הנתונים; זה לא נושא המחקר. המחקר מתמקד בשלב זה בביצוע זיהוי פנים על ידי נתונים העומק. במציאת חוקיות באותם נתונים השונה בין אדם לאדם ועל זה לבסס זיהוי פנים. יש כמה כיוונים לחקור. הנקודות שצוינו לעיל. כמו גם לבנות סריקת עומק של הפנים ולמדוד שטח בצורה כזו. בהתאם למחקר שבוצע בחודשים קודמים יבוצעו ניסיונות בכמה דרכים עד למציאת השיטה האידיאלית מבניהם.

## 4. תוכנית בדיקות

מתוכננות בדיקות בכמה תחומים.

- הפרויקט מפותח בשלב זה כמעט באופן מוחלט למצלמות המפותחות על ידי חברת אינטל. גם אם הלוגיקה אותה מפעיל האלגוריתם אוניברסלית וניתן להתאימה לכל נתוני תלת מימד המוזנים לפרוטוקול הפונקציות המעבדות את המידע ומטפלות בהשגת המידע מסתמכות על הפיתוח של חברת אינטל ואפשרויות עיבוד התמונה המוצאים ב-SDK. לפני שימוש במצלמות אחרות יש לבצע עבודת התאמה ושינוי נרחבת. כיוון שאין מצלמות המציעות את הנתונים בהיצע נרחב ברשת קשה לשער כרגע כיצד להתמודד עם הבעיה ולכן דרישה מחיבת ראשונית תהיה התאמת המצלמה והגרסא שלה. נבצע בדיקות בתחום הזה.
- הבדיקות יפותחו בעזרת פונקציות הנכללות בפיתוח של חברת אינטל. הבדיקה נכתבה בגרסא הקודמת של האבטיפוס ועבדה אך עדין לא בוצע תרגום של הקוד לגרסא הנוכחית. (נעשה תרגום חלקי)
- תחום נוסף שחשוב לבדוק הוא מיקום האדם באשר למצלמה. היות שהנתונים נאספים מאובייקט פיזי יש לוודא שכל הנתונים הנדרשים לצורך האימות נגישים לאלגוריתם ולכן יש לבצע תהליך של בדיקה ומשוב למשתמש באשר למיקום הרצוי בו עליו למקם את פניו.
- הבדיקה תפותח בשלב מאוחר יותר בו התהליך השלם יהיה מובנה יותר.
- עלינו לוודא גם את תנאי התאורה ובכלל תנאי הצילום הקיימים מבחינת סריקת צבע. למרות שנתוני העומק מתבססים על נתוני אינפרא אדום וזמינים בכל מצב אני מסתמכים באלגוריתמים של תמונות צבע בדי מימד על מנת לבצע איתור ראשוני של פנים ועיבוד מסויים של התמונה כיוון שאין לנו אפשרות בשלב זה להכנס לתחום הפיתוח של אלגוריתמים לאיתור פנים בתלת מימד. האלגוריתמים מתבססים על כמות דגימות מרובה ומורכבים וזהו לא פיתוח שמתאפשר לנו בשלב זה.
- פותח מנגנון התחלתי לוודא שמתבצע איתור פנים. נשתמש בו לבקרה בשלב נטילת הדגימה הראשונית.

## 5. סקירת עבודות דומות בספרות והשוואה

- (1) [Kakadiaris, Ioannis A., et al. "3D Face Recognition." BMVC. 2006](#)  
הפרויקט מתבסס על עבודה בשלושה שלבים - העיקרון המנחה בשיטה הוא לסמן נקודות הנבחרות מראש בפנים כאשר התמונה ממנה נשלפים הנתונים היא תמונה שעברה עיבוד ומייצגת סריקה בתלת מימד שעוותה לדו מימד ומנקודה זו עוברת עיבוד למציאת נקודות (למרות שבשלב זה היא אינה דומה לסריקה המקורית או לפני אדם בכלל). וכיוון שמדובר בתמונה דו מימדית והמידע מיוצג במטריצה היא עוברת עיבוד בכלים פשוטים יותר לעומת עבודה עם מידע בפורמט תלת מימד.
- (2) [Hu, Yuxiao, et al. "Automatic 3D reconstruction for face recognition." Automatic Face and Gesture Recognition, 2004. Proceedings. Sixth IEEE International Conference on. IEEE, 2004](#)  
עבודה זו מתבססת על תמונות דו מימד ומשתמשת בתבניות המוגדרות כדי ליצור הבעות נוספות על פי מודלים מוגדרים מראש להבעות אדם. שמה דגש על זיהוי ללא תלות בכיווני צילום והבעות שונות.  
העבודה לא רלוונטית בפני עצמה לפרויקט הנוכחי אבל ניתן לשאוב ממנה הכוונה לגבי התמודדות עם ריבוי מידע.
- (3) [Suikerbuik, Rob, et al. Automatic feature detection in 3D human body scans. No. 2004-01-2193. SAE Technical Paper, 2004](#)  
העבודה מדברת על זיהוי אוטומטי של איברים בגוף באמצעות שימוש בפונקציית מתמטית.
- (4) [Gordon, Gaile G. "Face recognition based on depth maps and surface curvature." San Diego, '91, San Diego, CA. International Society for Optics and Photonics, 1991](#)  
הפרויקט השתמש בפונקציית גאוסין ודומות על מנת להפריד את איזור העיניים והאף ואותם השווה בין התמונות השונות.
- (5) [Moreno, Ana Belén, et al. "Face recognition using 3D surface-extracted descriptors." Irish Machine Vision and Image Processing Conference. Vol. 2003. 2003](#)  
העבודה השתמשה בפונקציית הגאוסין למצוא ולהתאים כ-35 אזורים קריטיים בשטח הפנים. כאשר נבחרו אזורים אופטימליים האחוזים היו גבוהים. במקרים אחרים התוצאות היו נמוכות יותר. לנתונים כאלה עשויים להיות מושפעים מכיווני צילום או הבעות פנים.

(6) [Chua, Chin-Seng, Feng Han, and Yeong-Khing Ho. "3D human face recognition using point signature." \*Automatic Face and Gesture Recognition, 2000. Proceedings. Fourth IEEE International Conference on\*. IEEE, 2000.](#)

העבודה מסתמכת על התאמת נקודות בפנים. לאו דווקא נקודות ספציפיות כי אם שימוש במתמטיקה על מנת למצוא את הנקודות הייחודיות לכל אדם שיובילו לזיהוי אופטימלי. הפרויקט בחן גם שימוש משולב בתמונות דו מימד ותלת מימד.

(7) [Papatheodorou, Theodoros, and Daniel Rueckert. "Evaluation of automatic 4D face recognition using surface and texture registration." \*Automatic Face and Gesture Recognition, 2004. Proceedings. Sixth IEEE International Conference on\*. IEEE, 2004.](#)

הפרויקט המדובר בחן את האפשרות לשלב סריקה של טקסטורת הפנים עם מפות עומק על מנת להגיע לתוצאות טובות יותר.

(8) [Naftal, A. J., Z. Mao, and M. J. Trenouth. "Stereo-assisted landmark detection for the analysis of 3D facial shape changes." \*Technical report Department of Computation, UMIST \(2002\)\*.](#)

העבודה משמשת במציאה אוטומטית של נקודות מתמונות דו מימד והשמה שלהן על מודל תלת מימד. בפרויקט זה השתמשו בסריקות סטריאו.

(9) [Lu, Xiaoguang, et al. "Face recognition with 3D model-based synthesis." \*Biometric Authentication\*. Springer Berlin Heidelberg, 2004. 139-146.](#)

העבודה הזו מסתמכת על יצירת מודל גנרי בתלת מימד ויישור כל תמונה המתקבלת על המדל הכללי ועל פיו למדוד את הנתונים.

(10) [Chang, Kyong I., Kevin W. Bowyer, and Patrick J. Flynn. "Multimodal 2D and 3D biometrics for face recognition." \*Analysis and Modeling of Faces and Gestures, 2003. AMFG 2003. IEEE International Workshop on\*. IEEE, 2003.](#)

הפרויקט בוחן זיהוי באמצעות eigenface בדו מימד כמו גם בתלת מימד

(11) [Xu, Chenghua, et al. "A new attempt to face recognition using 3D eigenfaces." \*Proceedings of the Asian Conference on Computer Vision\*. Vol. 2. Citeseer, 2004.](#)

בעבודה הזו בנו מודל של תלת מימד והמירו אותם למודלי eigenface על מנת לבצע את הזיהוי.



(12) [Lee, Yonguk, et al. "Local feature based 3D face recognition." \*International Conference on Audio-and Video-based Biometric Person Authentication\*. Springer Berlin Heidelberg, 2005](#)

פרויקט המתבסס על מציאה של שמונה מיקומים ספציפיים בפנים והשוואה על פי המרחקים ביניהם. השיטה מציגה תוצאות טובות אך הנקודות נמצאו באופן ידני ללא אלגוריתם שמיקם אותן.

(13) Chang, Kyong I., Kevin W. Bowyer, and Patrick J. Flynn. "Adaptive rigid multi-region selection for handling expression variation in 3D face recognition." *2005 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'05)-Workshops*. IEEE, 2005

העבודה מסתמכת על מדידות רבות באזור האף אשר אינם משתנים עם הבעות שונות על מנת להגיע למצב בו הבעות פנים שונות לא ישפיעו על הנתונים. אך יתכן שבצורה כזו כיוון הופך למשמעותי מאד.

(14) [Farkas, Leslie G., ed. \*Anthropometry of the Head and Face\*. Raven Pr., 1994](#)

זוהי עבודה המנתחת מבנה פנים של אדם על ידי נקודות מאפיינות.

(15) [Kakadiaris, Ioannis A., et al. "Three-dimensional face recognition in the presence of facial expressions: An annotated deformable model approach." \*IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence\* 29.4 \(2007\): 640-649](#)

העבודה מתרכזת ביישור סריקות על מודל קיים והימנעות מקריטיות הבעות פנים על ידי התאמת כל הסריקות למודל ניטרלי. התוצאות שהושגו היו גבוהות. שולבו גם בדיקות של טקסטורת הפנים במרה שהתוצאה לא הייתה חד משמעית.

(16) [Yan, Ping, and KevinW Bowyer. "Empirical evaluation of advanced ear biometrics." \*2005 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition \(CVPR'05\)-Workshops\*. IEEE, 2005](#)

פרויקט זה עוסק בסיווג על ידי זיהוי אוזניים בתלת מימד.

(17) [Zhu, Xiangxin, and Deva Ramanan. "Face detection, pose estimation, and landmark localization in the wild." \*Computer Vision and Pattern Recognition \(CVPR\), 2012 IEEE Conference on\*. IEEE, 2012](#)

הפרויקט משתמש בAFM על מנת למצוא פנים ולקביעת זווית וכו'.

(18) [Köstinger, Martin, et al. "Annotated facial landmarks in the wild: A large-scale, real-world database for facial landmark localization." \*Computer\*](#)

[Vision Workshops \(ICCV Workshops\), 2011 IEEE International Conference on. IEEE, 2011](#)

(19) [Fang, Tianhong, et al. "3D/4D facial expression analysis: An advanced annotated face model approach." \*Image and vision Computing\* 30.10 \(2012\): 738-749](#)

פרויקט זה עוסק בזיהוי הבעות פנים מתוך סריקות תלת מימד של פנים. למרות שהפרויקט לא מתעסק ישירות באותו תחום כפרויקט הנוכחי כותבי המחקר הגיעו לאותה מסקנה באשר לאפשרויות הקיימות לעיבוד תמונות תלת מימד והשתמשו בפרויקט במודל AFM. כמו כן הם הציגו מספר דרכים לשפר מודלים כאלה וניתן לפנות לפרויקט להכוונה בנושא.

(20) Gordon, Gaile G. "Face recognition based on depth and curvature features." *Computer Vision and Pattern Recognition, 1992. Proceedings CVPR'92., 1992 IEEE Computer Society Conference on. IEEE, 1992*

(21) Cartoux, Jean-Yves, Jean-Thierry LaPresté, and Marc Richetin. "Face authentication or recognition by profile extraction from range images." *Interpretation of 3D Scenes, 1989. Proceedings., Workshop on. IEEE, 1989*

(22) Lee, Yeung-hak, and Jae-chang Shim. "Curvature based human face recognition using depth weighted hausdorff distance." *Image Processing, 2004. ICIP'04. 2004 International Conference on. Vol. 3. IEEE, 2004*

(23) Nagamine, Takashi, Tetsuya Uemura, and Isao Masuda. "3D facial image analysis for human identification." *Pattern Recognition, 1992. Vol. I. Conference A: Computer Vision and Applications, Proceedings., 11th IAPR International Conference on. IEEE, 1992*

## 6. נספחים

## 1. רשימת ספרות \ ביבליוגרפיה

שתי עבודות מאד משמעותיות שניתן למצוא בהן מידע רב על הנושא ומסכמות גישות ומחקרים שבוצעו

(a) [Scheenstra, Alize, Arnout Ruifrok, and Remco C. Velkamp. "A survey of 3D face recognition methods." \*International Conference on Audio-and Video-based Biometric Person Authentication\*. Springer Berlin Heidelberg, 2005.](#)

העבודה הינה סיכום כללי במבט מלמעלה על הגישות השונות שננקטו באשר לעיבוד מידע בתלת מימד ואחוזי ההצלחה של כל שיטה.

(b) [Bowyer, Kevin W., Kyong Chang, and Patrick Flynn. "A survey of approaches and challenges in 3D and multi-modal 3D+ 2D face recognition." \*Computer vision and image understanding\* 101.1 \(2006\): 1-15.](#)

הפרויקט הנ"ל מסכם מספר עבודות בתחום התלת מימד ומציין את האתגרים והיתרונות הכרוכים בזיהוי פנים בתלת מימד לעומת דו מימד ובוחן תוצאות של מספר מחקרים ושיטות בתחום.

## 2. תרשימים וטבלאות

בעקבות אופי הפרויקט וההתמקדות בחלק המחקרי עד שלב מאוחר יותר עדין לא ברור מבנה המחלקות ותנועת המידע כמו גם מבני האלגוריתמים. רב התרשימים שייכים לשלב מאוחר יותר בתכנון ויצורפו בשלב מתקדם יותר של הפרויקט והקוד.

## 3. תכנון הפרויקט

מחקר תיאורטי על שיטות כלליות בזיהוי פנים ואובייקטים.	9/5 – 4/4
חיפוש ומחקר של ספריות העוסקות בעיבוד תמונה ולימוד של הפונקציות הקיימות.	7/6 – 9/5
מחקר מעמיק על עבודות מחקר בתחום הזיהוי בתלת מימד והסקת מסקנות תיאורטית באשר לאלגוריתם המפותח.	18/7 – 7/6
כתיבת ההצעה.	
פיתוח שני מערכות לזיהוי; אחת בדו מימד ואחרת בתלת מימד.	
התמקדות באלגוריתמים הזמינים ב-sdk של חברת אינטל לפיתוח בתלת מימד בשפת JAVA	6/11-5/12
סיכום הקוד עד כה והחלטה לשכתב את הפרויקט לשפה אחרת.	5/12
שכתוב הפרויקט לשפת ++C והמשך הפיתוח	5/12-01/1
אב טיפוס	

## 4. טבלת סיכונים

על פי הוראות המנחה לא התמקדתי בסיכונים והם ימולאו, במידת הצורך, בפירוט רב יותר עם התקדמות הפרויקט והתבררות פרטים נוספים.

#	הסיכון	חומרה	מענה אפשרי
1	משתמש לא מורשה מקבל גישה למערכת עקב זיהוי שגוי	גבוהה	
2	משתמש מורשה לא מקבל גישה למערכת מיד בפעם הראשונה שמנסה עקב זיהוי שגוי	בינונית	
3	זמן ריצה ארוך מדי לאלגוריתמים אשר יהפכו את התוכנה ללא רלוונטית	גבוהה	
4	התוכנה תהיה תלויה באיכות תמונה ותנאי צילום מה שלא יאפשר שימוש גמיש	בינונית	
5	המצלמה והקוד המשתמש בה בוסריים ובעלי בעיות	בינונית	כתיבה בשפת ++C בה נעשה פיתוח נרחב יותר ועבודה עם כלים מקבילים לעיבוד תמונה כגון OpenCV

## 5. רשימת טבלת דרישות

**טבלת דרישות (User Requirement Document)**

#	דרישה
1	לאפליקציה צריכה להיות גישה למצלמת תלת מימד (לא למאגר התמונות) על מנת שתוכל לסרוק את פניו של המשתמש באופן ישיר.
2	האפליקציה מתקשרת עם השרת על מנת להתחבר לשרותי ענן מאובטחים
3	על האפליקציה לעבד תמונה בפורמט 3D ולהפיק ממנו נתונים על אפיון הפנים.
4	על האפליקציה להמיר את הנתונים המצוינים לעיל למחרוזת המורכבת מ-0 ו-1
5	על העיבוד להתבצע במהירות גבוהה
6	על העיבוד להתבסס על נתונים שלא יחייבו צילום קפדני שיעיק על המשתמש.
7	על העיבוד להתבסס על כמות גדולה של נתונים על מנת לאפשר זיהוי גם במקרים של תמונות פגומות או חלקיות וכדומה ולא להיות מוגבלים לתמונות 'נקיות'
8	על האלגוריתם לייצר מחרוזות מספקות כך שהאלגוריתמים הנוגעים לזיהוי יוכלו לעבד
9	על המחרוזות המופקות מהאלגוריתם להיות דומות ברמה גבוהה עבור אותו משתמש כך שניתן יהיה להשוות ביניהן. לא מדובר רק על איסוף נתונים.