* 1. תקציר

המערכת שלנו מציעה שירות של סיווג תמונות על פי האובייקטים המופיעים בהן. בפרט, המערכת שפיתחנו מקבלת אוסף תמונות של פרחים, ומסווגת אותם לפי 5 סוגים שהוגדרו מראש – Daisy, Rose, Dandelion, Sunflower, Tulip. בעיה זו היא שונה מסיווג כללי של תמונות, שכן סיווג תמונות לכאלו שמכילות בני אדם, וכאלו שמכילות מטוסים היא פשוטה יותר, לאור האופי השוני מאוד של הסיווגים. בבעיה שלנו התמונות עשויות להיות דומות מאוד, ועל המערכת להפריד ולסווג בין תמונות אלה. השיטה אותה בחרנו כדי לבצע את משימת הסיווג היא התבססות על מודל של למידת מכונה, המבוסס בעיקר על מודל CNN שאומן כבר על מאגר הנתונים של תחרות ImageNet. להכניס פה אמירה על הprecision וה-recall.

* 1. מבוא

תחום סיווג התמונה הוא תחום שבשנים האחרונות נחקר מאוד, ומוצרים חדשים שיוצאים לשוק עושים שימוש נרחב בפתרונות שונים. לדוגמה, מערכות של כלי רכב אוטונומיים דורשים כיום התממשקות עם התשתיות והמאפיינים הקיימים היום בכבישים – הולכי רגל, תמרורים, מעברי חצייה, רכבים אחרים, רמזורים ועוד. כדי התמודד באופן בטיחותי בעולם, על מערכת אוטונומית שכזאת להצליח להבין במדויק ובמהירות את מצב העולם. להצליח להבין האם הרכב ממול נוסע בכיוון הנסיעה או דווקא מגיע ממול, האם ליד מעבר החצייה עומד אדם או דווקא עץ, האם התמרור מגביל את המהירות ל-100 קמ"ש או ל-50 ועוד.

בעיית סיווג הפרחים היא הבעיה שבחרנו לפתור. בניגוד לניסיון לסווג תמונות על פי תוכנן לסיווגים שונים (לדוגמה, אופניים, אדם, משאית, וכו'), סיווג תמונות בתוך אותה קטגוריה, במקרה זה פרחים, מציג אתגרים גדולים יותר לאור העובדה שמחד גיסה ישנו דמיון גדול יותר בין הסיווגים השונים , ומאידך גיסא עשוי להיות שוני רב בתוך אותו סיווג [1] [2]. העובדה האחרונה נכונה במיוחד בעולם הפרחים, שכן פרחים גמישים מטבעם, בניגוד למשל למכונית, עובדה שמאפשרת לאותו האובייקט ממש, לתפוס צורות שונות במרחב, ועל כן להיראות אחרת בתמונות שונות [3].

במערכת זו החלטנו להתבסס על מודל CNN שאומן בעבר. התבססות זאת אפשרה לנו לחסוך זמן פיתוח רב על ידי ניצול ארכיטקטורה קיימת שהציגה ביצועים טובים במערכת אחרות, ובנוסף להשתמש במשקולות קיימות על גבי אותה הארכיטקטורה, אשר אפשרה מצד אחד חסכון של זמן אימון רב, ומצד שני התבססות על ידע רב שנצבר במהלך אימון על dataset גדול [4]. במקרה זה, בחרנו מודל שאומן על ImageNet [5], מאגר נתונים הגדול בשני סדרי גודל מהdataset שזמין לנו. בפרט, בחרנו במודל MobileNet [6]. המודל מציג פשרה טובה בין דיוק בסיווג התמונות, ובין דרישת משאבים נמוכה יחסית למודלים אחרים [6].

המערכת שפיתחנו הציגה ביצועים טובים יותר מאשר מערכת דומה שפותחה על ידי צוות מקביל, להכניס פה עוד שיט על הניסוי ותוצאותיו

התחום

* 1. רקע ועבודות קודמות
     1. רקע

בבסיס המודל שלנו עומדת רשת קונבולוציה (להלן CNN). לעומת רשת נוירונים קלאסית, CNN מותאמת במיוחד לקלט של תמונה [7]. רשת נוירונים קלאסית מותאמת להתמודד, לדוגמה, בטבלה שמכילה אוסף פיצ'רים, ותכונת מטרה. אוסף הפיצ'רים לרוב יכיל מימדים בלתי תלויים, או שנוכל לבחור כאלו שהתלות בניהם נמוכה [8]. לעומת זאת, כדי לבצע Image Classification אנו נדרשים להתמודד עם תמונות, שבאופן אינהרנטי לכל פיקסל יש משמעות מסויימת רק בתוך ההקשר של שאר הפיקסלים מסביבו. מודל CNN מתחשב בדיוק בנקודה זו [7].

ניתן לחשוב על תמונה כמערך תלת מימדי בגודל WHN– מימד לרוחב התמונה בגודל W, אורך התמונה בגדול H, ומימד נוסף עבור הערוצים השונים – הם RGB, בגדול N. ב-CNN ישנם פילטרים בגודל KKM (כאשר K בדרך כלל שווה ל-3 או 5, ו-M בדרך כלל שווה לN, במקרה הנ"ל בשכבת הקלט M יהיה שווה ל-3), אשר מועברים על גבי המערך התלת מימדי, בדומה לשיטת הקונבולוציה מעולם עיבוד האותות. תוצאת המעבר הזה עבור כל פילטר נקראת Feature Map. לאחר מעבר כלל הפילטרים על התמונה המקורית, נקבל מערך תלת מימדי חדש, בגודל W’H’N’, אשר ייצגו את תוצאות הפילטרים השונים, וכאשר N’ שווה לכמות הפילטרים שהפעלנו על התמונה המקורית. כעת ניתן להמשיך לעבד את ה-Feature Map שהתקבל באופן רקורסיבי, בדומה לדרך שבה טיפלנו בקלט המקורי [9]. לאחר מספר שכבות כאלו, ניתן להוסיף שכבת Pooling – זהו פילטר תלת (או דו) מימדי נוסף, אשר מסייע במניעת overfitting של המודל, ובנוסף מצמצם את גודל המימדים על ידי ביצוע של מומצע בין ערכי הפיקסלים עליהם מכילים את הפילטר.

Transfer Learning היא טכניקה מוכרת לרתימת מודל אשר אומן במקור לביצוע משימה אחת, ואימונו מחדש לביצוע משימה שנייה [4]. בבסיס הטכניקה עומדת ההבנה שהשכבות הראשונות ברשתות נוירונים עמוקות קולטות או עוסקות בפיצ'רים פשוטים יחסית, או כלליים. לדוגמה, במערכת לזיהוי פנים, סביר שהשכבות הראשונות במודל יזהו פינות, קווים, ומאפיינים קטנים. שכבות עמוקות יותר יזהו אולי עין שלמה, ורק השכבה העליונה ביותר תדע להרכיב פנים שלמות. אם כן, אם המשימה החדשה שלנו דומה בהיבטים מסוימים למשימה המקורית, נוכל להיעזר באותן שכבות נמוכות מאומנות, וכך לא רק לחסוך זמן אימון יקר, אלא אולי אף לקבל שכבות מאומנות יותר מכפי שהיינו יכולים להשיג עם הdataset שזמין לנו, על ידי שימוש במשקולות של המודל, אשר הושגו על ידי אימון על dataset גדול [4].

* + 1. עבודות קודמות

ישנו מחקר רב בתחום עיבוד תמונה בכלל, והתמודדות עם סיווג תמונות בפרט. בבסיס המערכת שפיתחנו עומד מודל CNN, אשר מאז 2012 מציע את הביצועים הטובים ביותר בכל הנוגע לסיווג תמונה [10]. המודל שלנו מבוסס על מודל ה-MobileNet, המציע ארכיטקטורה המכילה מספר שכבות מצומצם לעומת מודלים אחרים, בכדי להתאים את השימוש במודל למערכות mobile ו-embedded [6]. בדומה למערכת שלנו, בוצעו מספר מחקרים אשר נוגעים במיצוי של dataset קטן, ואחת הטכניקות היעילות ביותר לצמצום הפער שקיים בין הdataset הקטן לבין הרעב של מודלי CNN למידע, היא Data Augmentation (להכניס פה רפרנס ל**The effectiveness of data augmentation in image classification using deep learning**).

בנוסף למחקר שבוצע בתחום, ישנן מספר מערכות אשר פותרות בעיות דומות לזו שהמערכת שלנו מנסה לפתור. המערכת Imagga מבצעת סיווג תמונות למספר רב מאוד של סיווגים, ומציעה API שעל גביו ניתן להעביר תמונות ולקבל חזרה סיווגים. לעומתה, המערכת שלנו מסווגת ל-5 הסיווגים הרלוונטיים לנו, ואינה מציעה API מסודר בשלב זה. בניגוד למערכת שלנו, Imagga מציעה למשתמשים להגדיר סיווגים חדשים בעצמם ולבצע עריכה בסיסית לתמונות שמעלה המשתמש אל המערכת.

המערכת Cloud Vision מבית Google מציעה אף היא סיווג למספר רב מאוד של סיווגים. בניגוד למערכת שלנו שמציגה ללקוח רק את הסיווג בעל ההסתברות הגבוהה ביותר, Cloud Vision מציגה את ה-Top 6, יחד עם ההסתברות עבור כל סיווג.

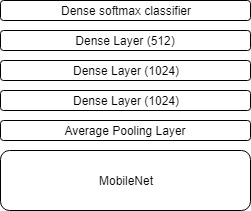
המערכת Clarifi מציעה שירות של סיווג תמונות, בדומה למערכת שלנו, אך גם של ווידאו, בניגוד למערכת שלנו. בנוסף, המערכת מאפשר למשתמש לבחור מבין מספר "מודלים", לדוגמה – מודל "אוכל", אשר יקבע את קבוצת הסיווגים האפשריים עבור התמונה. מערכת זו אינה מציעה API, והעבודה של המשתמש תעשה מול האתר לבד.

* 1. תאור המערכת\אלגוריתם
     1. מודל CNN
        1. ארכיטקטורה

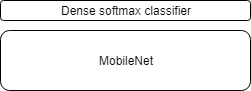
במסגרת עיצוב המערכת, ניסינו להימנע ככל הניתן מהמצאת הגלגל מחדש, ורצינו להסתמך ככל האפשר על מערכות וידע קיימים. לאור זאת, בכדי לבנות את מודל הCNN שלנו, בחרנו להיעזר בטכניקת Transfer Learning. מבין שלל המודלים הניתנים לשימוש בframework של Keras, בחרנו את המודל של MobileNet, שכן מודל זה פותח כאשר הוא מיועד להיות משובץ בתוך מערכות mobile ו-embedded, ולכן מכיל מספר שכבות מועט יחסית, ובנוי משכבות depthwise convolution, אשר מצמצמות את סיבוכיות החישובים בכל שכבה.

כדי להמשיך וליהנות מיתרונות עבודה קודמת שנעשתה על ידי אחרים, השתמשנו במשקולות המודל MobileNet אשר נלמדו על ה-dataset של ImageNet. משקולות אלו מהווים עבורנו נקודת התחלה מצוינת, שכן כך אנו מקבלים את השכבות הנמוכות במודל, אשר מזהות מאפיינים, פינות וקווים בסיסיים, כאשר הן כבר אומנו על מעל ל-14 מיליון תמונת, הרבה מעבר ל-dataset המצומצם שיש בידינו, המכיל 4326 תמונת בלבד.

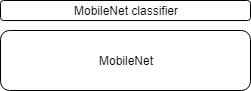
כמובן שהיה צורך להחליף את שכבת ה-classifier הקיימת במודל (איור 1) בכזאת המתאימה לבעיה שאנו מנסים לפתור. כזכור, ב-ImageNet ישנם 1000 סיווגים, בעוד בבעיה שלנו ישנם 5 בלבד. תחילה הוספנו ישירות מעל שכבות ה-CNN שכבת Dense אחת עם פונקציית אקטיביציה softmax (איור 2), אך לאחר מספר ניסויים שביצענו, הגענו לקונפיגורציה שבה מעל לשכבות הקונבולוציה של MobileNet, ישנה שכבת Average Pooling, מעליה שתיה שכבות Dense בעלות 1024 נוירונים, שכבת Dense נוספת בת 512 נוירונים, ולבסוף שכבת ה-classifier, בת 5 נוירונים, עם פונקציית אקטיבציה softmax (איור 3).



איור 3 – ארכיטקטורה סופית



איור 1 - מודל MobileNet



איור 2 - מודל MobileNet עם classifier

1. אימון המודל

שלב האימון דרש התאמות והתייחסות לעובדה שהמודל משלב שכבות מאומנות ושכבות שאינן מאומנות. בכדי לא לפגוע בשכבות התחתונות, אשר כאמור מזהות מאפיינים בסיסיים אותם תחום הבעיה שלנו חולק עם תחום הבעיה של ImageNet, הקפאנו את משקולות 20 השכבות הראשונות במודל. בחרנו את ה-optimizer שלנו להיות RMSprop, עם learning rate נמוך יחסית של , כדי שלא לשנות יותר מדי משקולות קיימים במודל.

כאמור, הdataset שלנו מצומצם מאוד, ובכדי להגדיל את מספר הדוגמאות שהשכבות העליונות של המודל שלנו רואות, חיפשנו דרכים לבצע data augmentation. בין השיטות בהן השתמשנו, נעזרנו בהפיכה אופקית, זום, שינויים ברוחב ובגובה התמונה, וסיבוב התמונה בכיוון השעון.

במסגרת הניסויים השונים שביצענו בשלב בחירת המודל המתאים לבעיה, ניסינו לבחור את מספר הepochים המתאים ביותר, אשר ישלב כמובן בין validation accuracy גבוה, ובין זמן אימון מינימאלי. צמצום הסיבוכיות ורידוד המודל ע"י שימוש ב-MobileNet כמודל עליו התבססנו הובילו, ככל הנראה, גם למשך אימון קצר יותר. במדידות אמפיריות שערכנו, עולה כי epoch בודד במודל על גבי מודל MobileNet לקח כשמינית מן הזמן שלקח לנו לבצע במודל עמוק יותר, לדוגמה Inception V3. כמו כן, הצלחנו להשיג validation accuracy של 87% לאחר 8 epoch-ים בלבד. ניסיון להגדיל את מספר ה-epoch-ים לא הראה שיפור משמעותי בביצועי המודל, והחל ממספר epoch-ים כלשהו, באופן צפוי התחלנו לראות ירידה ב-validation accuracy.

1. ממשק משתמש

הבעיה אותה המערכת מנסה לפתור היא בעיה קלה להבנה עבור בני אדם, כזאת שהקלט והפלט הצפויים עבורה פשוטים וברורים. בפיתוח ממשק המשתמש, בחרנו לשמור ככל הניתן על פשטות זאת, כדי לאפשר למספר רב ככל האפשר של משתמשים להיעזר ולהשתמש במערכת, עם דרישות מינמאליות ככל הניתן של ידע קודם בשימוש במחשבים.

ממשק המשתמש מחולק גיאוגרפית לשני חלקים, בהתאם לשתי אפשרויות השימוש במערכת. החלק הראשון, המופיע גיאוגרפית בחלקו העליון של ממשק המשתמש, עוסק בטעינת נתונים, ודרישה מהמודל לפסק סיווג עבור הנתונים. בנוסף לציון נתיב לתיקייה שבה נמצאות התמונות אותן ברצון המשתמש לסווג, נדרש המשתמש לספק גם נתיב לקובץ h5 המכיל את המודל השלם (כלומר, ארכיטקטורה ומשקולות).

חלקה השני של המערכת, המופיע גיאוגרפית בתחתית ממשק המשתמש, עוסק בהצגת תוצאות הסיווג ועיבוד נתונים. בטבלה, אשר תופסת את מרבית שטח הממשק, יוצגו שמות הקבצים אשר נטענו מתוך הנתיב אשר אותו סיפק המשתמש, ולצידם יוצגו הסיווגים אשר התקבלו על ידי המודל. מצד שמאל של חלקו התחתון של הממשק, הוספנו אפשרות לסנן את התוצאות המוצגות בטבלה, ע"י בחירת הסיווג. כלומר, אם בחרנו Daisy, יופיעו רק תמונות אשר קיבלו את הסיווג Daisy על ידי המודל. ניתן לבחור כל שילוב שרירותי של סיווגים.

1. ביבליוגרפיה

|  |
| --- |
| [1] Guru, D. S., YH Sharath Kumar, and S. Manjunath. "Textural features in flower classification." Mathematical and Computer Modelling 54.3-4 (2011): 1030-1036.‏ |
|  |
|  |  |
| [2] Gehler, Peter, and Sebastian Nowozin. "On feature combination for multiclass object classification." 2009 IEEE 12th International Conference on Computer Vision. IEEE, 2009.‏ |
|  |  |
| [3] Nilsback, Maria-Elena, and Andrew Zisserman. "Automated flower classification over a large number of classes." 2008 Sixth Indian Conference on Computer Vision, Graphics & Image Processing. IEEE, 2008.‏ |
|  |
|  |  |
| [4] Shin, Hoo-Chang, et al. "Deep convolutional neural networks for computer-aided detection: CNN architectures, dataset characteristics and transfer learning." IEEE transactions on medical imaging 35.5 (2016): 1285-1298.‏ |
|  |
| [5] Deng, Jia, et al. "Imagenet: A large-scale hierarchical image database." 2009 IEEE conference on computer vision and pattern recognition. Ieee, 2009.‏ |
|  |

[6] Howard, Andrew G., et al. "Mobilenets: Efficient convolutional neural networks for mobile vision applications." *arXiv preprint arXiv:1704.04861* (2017).‏

[7] Krizhevsky, Alex, Ilya Sutskever, and Geoffrey E. Hinton. "Imagenet classification with deep convolutional neural networks." *Advances in neural information processing systems*. 2012.‏

[8] Dreiseitl, Stephan, and Lucila Ohno-Machado. "Logistic regression and artificial neural network classification models: a methodology review." *Journal of biomedical informatics* 35.5-6 (2002): 352-359.‏

[9] LeCun, Yann, et al. "Object recognition with gradient-based learning." *Shape, contour and grouping in computer vision*. Springer, Berlin, Heidelberg, 1999. 319-345.‏

[10] Simonyan, Karen, and Andrew Zisserman. "Very deep convolutional networks for large-scale image recognition." *arXiv preprint arXiv:1409.1556* (2014).‏