# בדיקת הקשר בין אירועים במשחק כדורגל לניצחון קבוצת הבית

פרויקט בבינה מלאכותית

236502

מגישים:

**מבוא:**

חיזוי תוצאות משחק כדורגל הינו משאלה של כל אוהד כדורגל או מהמר, אך גם משאת ליבם של לא מעט מתכנתים ודי בחיפוש שטחי באינטרנט בכדי למצוא מאגרי נתונים הפרושים לציבור הרחב על מנת לנסות ולהפיק תחזית עבור תוצאת המשחק. יחד עם זאת ככל הנראה שאין אלגוריתם מושלם היודע לספק תחזית בהסתמך אך ורק על סטטיסטיקות קודמות. אילו היה כזה הרי שהמחזיק במידע היה יכול להתעשר בין לילה באמצעות חיזוי טופס טוטו או ווינר עם יחס גדול.

במאמר זה ננסה למצוא קשר בין האירועים במשחק עצמו ובין התוצאה של קבוצת הבית. ניבוי זה נראה לנו יומרני פחות מאחר והוא אינו מתבסס על נתונים וסטטיסטיקות קודמות אלא בעיקר על מידע שברובו נוצר תוך כדי מהלך המשחק. יחד עם זאת הוא מאוד מעניין. ננסה לגלות מהן התכונות הדומיננטיות והאם תכונות שנראות שוליות הינן בעלות משקל משמעותי על תוצאת המשחק. על מנת לגלות ולבחון את הקשר אספנו את הdata הגולמי הפזור ברחבי האינטרנט ועיבדנו אותו לכדי data שמכיל מספר רב של תכונות בכל משחק. את התכונות הנ"ל נחקור לעומק באמצעות אלגוריתמי למידה מסוגים שונים. ננסה להבין מהי הדרך הנכונה להציג את התכונות שחילצנו ואילו מהן אכן קשורות בקשר חזק לתוצאת המשחק.

לאחר חיפוש מצאנו לא מעט מידע באתר Kaggle אשר מכיל מאגר מידע רב. המידע כפי שציינו לא היה מלוטש והיה צורך בעיבודו. במאמר ננסה להבין בין היתר מדוע בחרנו בצורות הצגה מסוימות עבור התכונות שאספנו. חלק זה הינו בעל משמעות רבה שכן חילוץ מידע והצגתו בצורה נכונה יכול להשפיע על רמת הדיוק של האלגוריתם.

**זיהוי תכונות**

התכונות שחילצנו הינן התכונות הבאות:

התאריך שבו המשחק התרחש, סוג הליגה, מספר עונה, המדינה בה התרחש המשחק, קבוצת הבית, קבוצת החוץ, מספר שערים שהבקיעה קבוצת הבית, מספר השערים שהבקיעה קבוצת החוץ, תוצאות ההימורים עבור ניצחון לקבוצת הבית, תוצאות ההימורים עבור תיקו, תוצאות הימורים עבור ניצחון קבוצת החוץ, הזמן בו האירוע התרחש.

לאלו נוספו:

1- ניסיון הבקעה  
2- קרן  
3- עבירה  
4- כרטיס צהוב  
5- כרטיס צהוב שני  
6-כרטיס אדום ישיר   
7- חילוף  
8- בעיטה חופשית  
9- נבדל  
10- נגיעת יד  
11- פנדל   
12 – כדור עובר לקבוצה השנייה  
13 - כדור כושל  
14-כדור חוץ   
15-גול עצמי

כל אירוע שכזה הינו כפול למעשה מאחר והוא יכול לקרות לטובת קבוצת הבית ולטובת קבוצת החוץ. ניתן היה לכווץ את התכונות ולא להכפילם בעמודות נוספות על ידי חיסור בין מספר הפעמים בהם האירוע קרה עבור קבוצת הבית ומספר הפעמים בהם הוא קרה עבור קבוצת החוץ אך העדפנו להכפיל את התכונות ולהכניס כתכונה את מספר הפעמים בהם אירע אירוע i עבור קבוצה j. כלומר חילצנו את מספר הפעמים בהם אירע האירוע לטובת קבוצת הבית והצגנו זאת כתכונה ואת מספר הפעמים בהם האירוע היטיב עבור קבוצת החוץ. בצורה זו נוכל לבדוק האם תכונות דומיננטיות עבור צד אחד הינן דומיננטיות גם עבור הצד השני הרחבה על כך תינתן בהמשך.

מהתכונות הקודמות החלטנו להסיר את המדינה בה המשחק התרחש מאחר והיא כלולה בסוג הליגה.

מרבית התכונות שהשארנו הינן מספריות בדידות הואיל ומדובר **במספר הפעמים** שהאירוע התרחש. מאידך, קיימות גם מעט תכונות קטגוריאליות דוגמת "סוג הליגה" ואף תכונות מספריות אשר הינן למעשה קטגוריאליות דוגמת "מספר העונה" שהרי אין באמת ערך למספר כמספר והוא אינו חשוב מפני הסדר שהוא מייצג. בנוסף לאלו קיימות תכונות מספריות רציפות דוגמת "תוצאת ההימורים עבור קבוצת בית\חוץ\תיקו".

**פיצול ה-DATA**

החלטנו לחלק את הדאטא כך:

Train 60%

Validation 20%

Test 20%

בחרנו גודל יחסית גדול לקבוצת הוולידציה כי רצינו שהבדיקות עליה ידמו בצורה קרובה ככל הניתן את הבדיקות על קבוצת המבחן.

**בדיקת ביצועים**

כדי להעריך את טיב קבלת ההחלטות שביצענו, כמו בחירת המתודות בהן אנו עושים outlier detection, scaling ו-feature selection וקביעת פרמטרים שונים לאלגוריתמים בהם השתמשנו, החלטנו להשתמש במסווג ולבדוק את ביצועיו (אחוזי ה-accuracy) על ה-data שעבר עיבוד על ידינו, אשר מאומן על ה-train data ונבדק על ה-validation data.

החלטנו לבחור במסווג שביצועיו על ה-data הראשוני שלא עבר עיבוד לא גבוהים מידי, כדי שנוכל לראות שינויים יחסית משמעותיים כאשר נריץ אותו על ה-data המעובד. כמובן שלצורך הבחירה הסרנו את התכונות של תוצאת המשחק עבור קבוצת הבית וקבוצת החוץ להם קיים קשר ישיר עם החיזוי (לשם המחשה כאשר בדקנו את ה- accuracyעם התכונות הנ"ל התקבלה התוצאה 1 עם random forest ו- 0.999 עם svm).

אולם ראשית עלינו להתמודד עם השאלה מהי הצלחה. מאחר ולמשחק קיימות 3 אפשרויות שונות ואנו חוקרים רק אחת מהן לא יהיה נכון לומר שמעל 50 אחוז נחשב להצלחה בדיוק כשם שאלגוריתם החוזה את מספר הפעמים בהם לא נקבל 6 בקובייה ומסמן שלא קיבלנו כל הזמן לא יחשב להצלחה מאחר וההסתברות לטעות היא 1/6. על מנת להעריך את טיב הביצועים החלטנו להריץ את הdata שלנו עם עמודות רנדומליות ולבחון את טיב הביצועים שלו.

לצורך בחירת מסווג אשר יעזור לנו רק להעריך את ה-data preparation החלטנו לבדוק את random forest ו-svm בהרצה עם עמודת ערכים רנדומלית התקבלו התוצאות הבאות:

|  |  |
| --- | --- |
| **מסווג** | **accuracy** |
| Random forest | 0.557 |
| svm | 0.557 |

כלומר עבור נתונים רנדומליים אחוז הדיוק הוא קצת מעל 50 אחוז. אם נצליח להשיג אחוזים משמעותיים יותר ככל הנראה שהמסווג עובד. כמות הנתונים הכוללת שאספנו הינה כ-10,000 משחקים ולכן חוק המספרים הגדולים תופס למקרה שלנו. לצורך המחשה עבור הרצה רנדומלית לחלוטין עם מסווג טרינארי ועמודות רנדומליות התקבל דיוק של 0.442.

כעת נעבור לבחירת המסווג הראשוני אשר איתו נבצע בדיקה ראשונית עבור עיבוד הדאטא. בהשוואה בין המסווגים הנ"ל התקבלו התוצאות הבאות:

|  |  |
| --- | --- |
| **מסווג** | **accuracy** |
| Random forest | 0.695 |
| svm | 0.557 |

החלטנו לבחור במסווג svm שביצועיו על ה-data הראשוני היו דומים למסווג רנדומלי ולבדוק אם אכן ביצועיו משתפרים לאחר עיבוד ה-data.

**עיצוב תכונות**

כפי שציינו לעיל ניתן לייצג את הdata שלנו בצורה כפולה כאשר פעם האירועים יספרו עבור קבוצת הבית ופעם עבור קבוצת החוץ (תצוגה א'). אך ניתן לייצגם בצורה של חיסור התכונות בהם קרה הדבר לטובת קבוצת החוץ מהפעמים בהם האירוע התרחש לטובת קבוצת הבית (תצוגה ב'). נשווה בין התוצאות על מנת לזהות האם מתקבלת השפעה משמעותית על הדיוק.

לאחר השוואה התקבלו תוצאות זהות ברמת הדיוק (0.557) בין שני המקרים ולכן בחרנו להמשיך עם תצוגה א' בכדי לראות האם תכונות דומיננטיות עבור קבוצה אחת הינן דומיננטיות גם עבור קבוצה אחרת אך נמשיך להשוות ביניהן בהמשך.

את התכונות הבאות זיהינו כבינאריות ולכן המרנו את ערכיהם למינוס אחד ואחד:

Winner – הקבוצה המנצחת

League – הליגה בה שוחק המשחק

:One hot התכונות הבאות הכילו מעל 2 ערכים אשר אין סדר ביניהן ולכן החלטנו להמירן ל-

Season – שנת העונה

**נרמול**

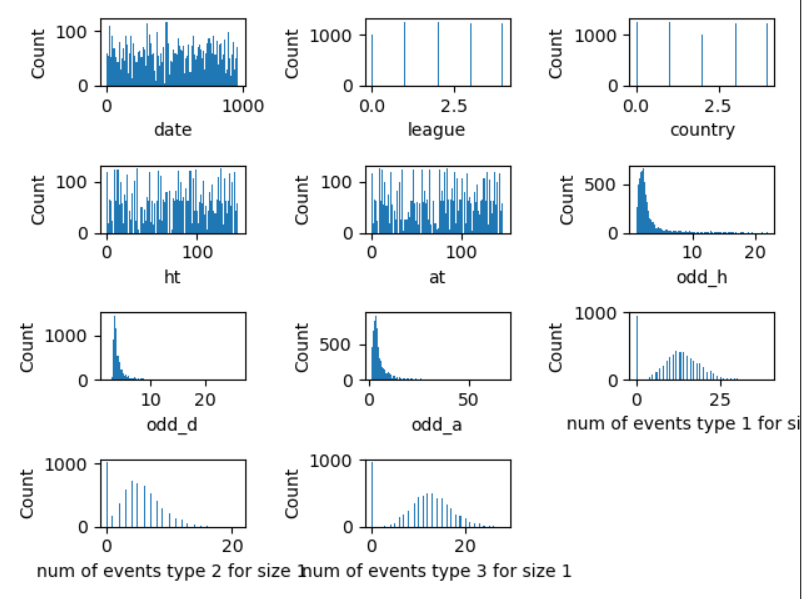
התלבטנו בין 2 אפשרויות נרמול. אחת מסוג min max שנוסחתה היא:

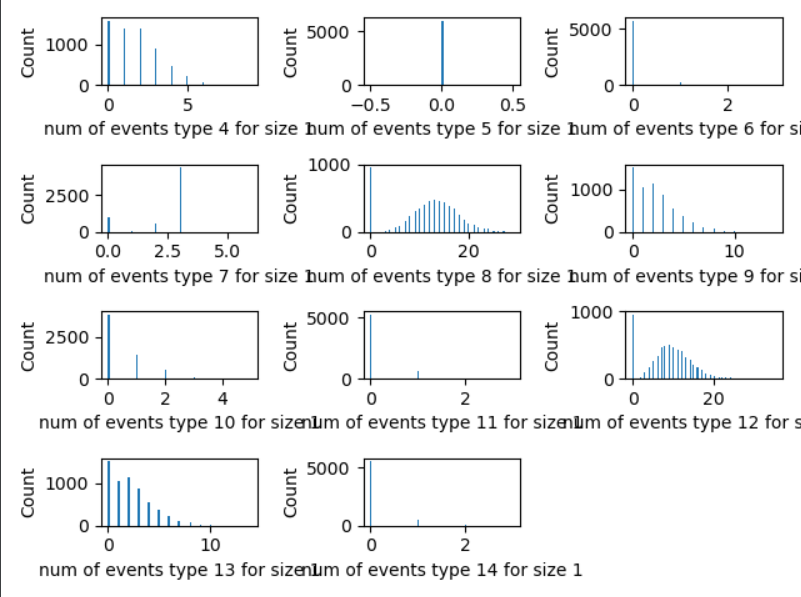
כאשר המטרה היא להביא את כל הערכים לאינטרוול [-1,1]

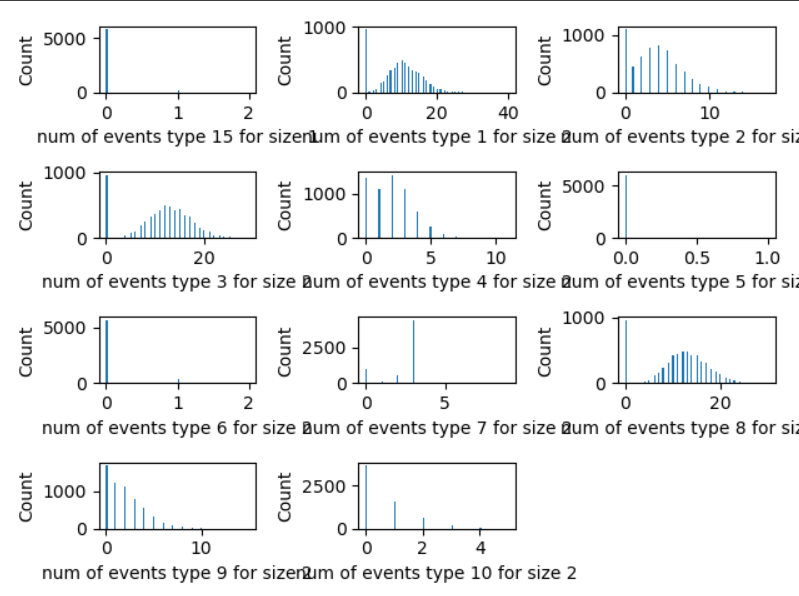
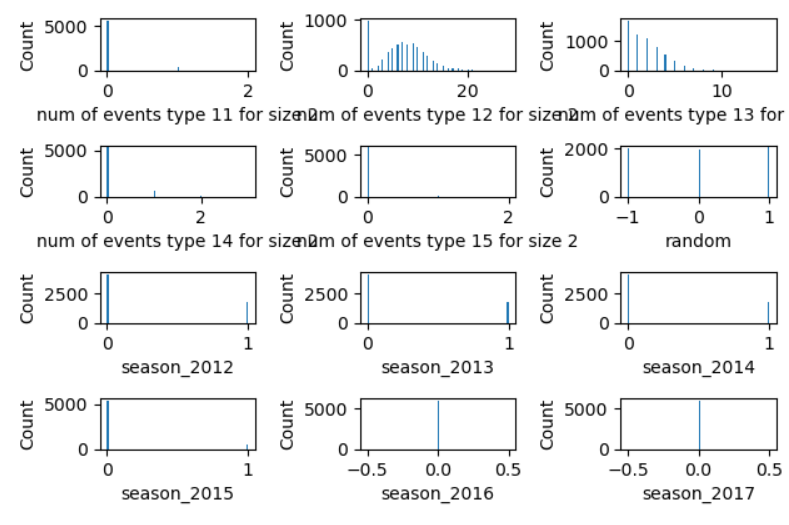
והשנייה מסוג z score שנוסחתה היא כאשר mean זהו הממוצע ו-std זוהי השונות. כלל האצבע הוא שכאשר מדובר בהתפלגות נורמלית לבחור ב-z score וכאשר מדובר בהתפלגות אחידה לבחור ב-min-max.

כך נראו הגרפים של התכונות לפני נרמול:

מקרא: ציר ה-y הוא מספר התכונות עם הערך שמכיל ציר ה-x. הקשר בין המספר והתכונות לפי המקרא המופיע במבוא



****

****

ניתן לראות כי מרבית התכונות אינן בעלי התפלגות נורמלית ולכן בחרנו עבורן באפשרות של z score ואילו עבור קבוצת הבית, קבוצת החוץ והתאריכים ניתן אכן לראות כי מדובר בהתפלגות נורמלית ועבורם נבחר ב-min-max דבר זה לא מפתיע אותנו שכן היינו מצפים ששמות הקבוצות יהיו אחידות לעומת מהלכי המשחק שנוטים להשתנות בין משחק למשחק.

לאחר הנרמול האופן הנ"ל קיבלנו דיוק של 0.711 שזהו שיפור משמעותי. (מאחר ובחרנו עבור הציון מסווג svm סביר להניח שהוא יהיה רגיש לנרמול מאחר והוא תלוי מאוד בסדר הגודל של הערכים).

**הסרת דוגמאות רועשות**

על מנת לזהות דוגמאות רועשות/ חריגות **בקבוצת המבחן** החלטנו להשתמש באלגוריתם Isolation Forest של הספריה Sklearn. האלגוריתם מחשב ערך "נורמליות" ועם הערך נמוך מסף מסוים הוא מגדיר אותה כרועשת.

ערך הנורמליות מחושב כך:

האלגוריתם בונה "יער" של עצים. כל עץ נבנה בצורה איטראטיבית – בכל איטרציה נבחר פיצ'ר וערך פיצול אקראי להפרדת הדוגמאות על פי הפיצ'ר הזה, בדומה לעץ החלטה. ערך הנורמליות של דוגמה הוא ממוצע אורכי המסלולים בעצים עד להפרדה מוחלטת של הדוגמה משאר הדוגמאות.

הרעיון הוא שדוגמה רועשת ניתן להפריד בקלות יחסית משאר הדוגמאות כי היא "מרוחקת" מהם במרחב ולכן מסלול הפרדה עבורה יהיה קצר ברוב המקרים, לעומת דוגמה לא רועשת שלרוב תהיה קרובה להרבה דוגמאות נוספות ולכן מסלול ההפרדה עבורה בעץ יהיה יותר ארוך.

בחרנו באלגוריתם הזה לאחר שקראנו עליו במהלך חיפוש דרכים שונות לזיהוי רעשים, ומצאנו שהוא אלגוריתם יעיל עם ביצועים טובים המתאים לדאטה עם הרבה דוגמאות.

לאלגוריתם יש פרמטר של כמה אחוזים מה-data לזרוק (וע"פ פרמטר זה הוא מחשב את ערך הסף של ה"נורמליות"). על מנת לבחור את הערך לפרמטר זה, ניסינו חמש אפשרויות ובדקנו את הביצועים לאחריהם כפי שניתן לראות בטבלה:

|  |  |
| --- | --- |
| **% of the data to drop** | **Accuracy score** |
| 5 | 0.705 |
| 4 | 0.708 |
| 3 | 0.709 |
| 2 | 0.705 |
| 1 | 0.715 |

הערך הגבוה ביותר התקבל עבור 1% ולכן בחרנו בערך זה. בנוסף הפערים אינם משמעותיים ולכן אין טעם להסיר יותר מכך.

**סינון תכונות**

את סינון התכונות נעשה בשני שלבים. שלב ראשון בשיטת בדיקת קורלציה גבוהה מידי בין תכונות (דבר המייתר אותן) שלב שני בשיטת wrapper method את השלב הראשוני נבצע קודם בחירת המסווג על ידי בחינת הקורלציה בין התכונות והסרת אלו שהקורלציה ביניהם גדולה מ-0.95 תחת ההנחה שהם לא מוסיפים לנו מידע חדש.

לאחר בחינת מטריצת הקורלציה מצאנו כי בין התכונות הבאות קיימת קורלציה גבוהה:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| תכונה 1 | תכונה 2 | ניתוח | corr |
| num of events type 12 for size 1 | num of events type 1 for size 1 | קיימת קורלציה גבוהה בין כדור עובר וניסיון בעיטה לשער דבר שניתן לצפות לו מאחר ואירוע של ניסיון כזה ככל הנראה יוביל להעברת הכדור לקבוצה היריבה. | 0.955 |
| num of events type 8 for size 2 | num of events type 3 for size 1 | קיימת קורלציה גבוהה בין עבירה ובעיטה חופשית דבר שניתן לצפות לו מאחר ואירוע של עבירה מוביל לבעיטה חופשית עבור הקבוצה השנייה. | 0.991 |
| num of events type 3 for size 2 | num of events type 8 for size 1 | בדיוק כמו קודם והעובדה שקיימת סימטריה מחשקת את ההבנה שקיים קשר עמוק ביניהם. | 0.992 |
| num of events type 13 for size 1 | num of events type 9 for size 1 | קיימת קורלציה גבוהה בין נבדל וכדור כושל דבר שניתן לצפות לו מאחר ואירוע של נבדל נחשב גם ככדור כושל. | 0.999 |
| num of events type 12 for size 2 | num of events type 1 for size 2 | כמו קודם קיימת קורלציה גבוהה בין כדור עובר וניסיון בעיטה לשער דבר שניתן לצפות לו מאחר ואירוע של ניסיון כזה ככל הנראה יוביל להעברת הכדור לקבוצה היריבה. גם כאן היחס מתקיים עבור הקבוצת חוץ דבר המחזק את הקשר. | 0.951 |
| num of events type 13 for size 2 | num of events type 9 for size 2 | קיימת קורלציה גבוהה בין נבדל וכדור כושל דבר שניתן לצפות לו מאחר ואירוע של נבדל נחשב גם ככדור כושל. גם כאן מדובר ביחס סימטרי | 1 |

החלטנו להסיר את התכונות הבאות מאחר וככל הנראה הן אלו שמוכלות בראשונות (נבדל מוכל בכדור כושל, ניסיון בעיטה מוכל בכדור עובר ועבירה מוכל בבעיטת כדור חופשי).

ולכן הסרנו את התכונות:

num of events type 9 for size 1

num of events type 9 for size 2

num of events type 1 for size 1

num of events type 1 for size 2

num of events type 3 for size 2

num of events type 3 for size 1

**בחירת מודל**

כעת נשווה בין מספר מודלים על מנת למצוא את המסווג הטוב ביותר עבור ה-data שאספנו. המודלים שנשווה הינם המודלים הבאים:

Svm, Random Forest, Knn, Decision Tree, Voting, Stochastic GD, Multy-layer Preceptron, Lda, Naïve Bayes, GradientBoosting.

עבור כל אחד מהם נבחן את הפרמטרים שהוא צריך לקבל ואת התכונות הטובות ביותר באמצעות cross validation. נסביר על המודלים והפרמטרים אותם אנו בודקים עבורם.

**SVM**

מסווג זה מנסה למקסם את השוליים בין דוגמאות עם תווית אחת לדוגמאות עם תווית אחרת. (חסר - הוספת תמונה של מסווג SVM) עבור מסווג זה ניתן לבדוק מספר פרמטרים. כגון פונקציית ה-kernel בה הוא משתמש על מנת לבצע את ההפרדה, ערך הקנס אשר ניתן לדוגמאות החוצות את השוליים. את בדיקת הפרמטרים ביצענו באמצעות cross validation עם k fold השווה ל-10. כלומר חילקנו את קבוצת האימון ל-10 חלקים שווים ובכל פעם חזינו לפי 9 מהם את תוצאות החלק העשירי ולבסוף חישבנו את הממוצע.

התוצאות עבור ערכי הקנס מתוארים בטבלה הבאה:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **linear** | **poly** | **rbf** | **sigmoid** |
| **0.001** | 0.673 | 0.541 | 0.539 | 0.539 |
| **0.01** | **0.696** | 0.557 | 0.541 | 0.615 |
| **0.1** | 0.694 | 0.607 | 0.681 | 0.688 |
| **0.5** | 0.693 | 0.645 | 0.694 | 0.635 |
| **1** | 0.693 | 0.652 | 0.688 | 0.62 |
| **2** | 0.693 | 0.653 | 0.687 | 0.616 |
| **5** | 0.694 | 0.643 | 0.673 | 0.613 |
| **10** | 0.693 | 0.629 | 0.659 | 0.616 |

ניתן לראות שהציון הטוב ביותר מתקבל עבור פונקציית kernel לינארית עם ערך שגיאה של 0.01.

חסר – גרף של הערכים והתוצאות והסבר קצר על הפונקציות עצמן. אפשר להוסיף חישוב של שיפור אחוז הדיוק לעומת 0.55

**בחירת תכונות**

כעת נבצע הסרת תכונות וננסה לזהות את מספר התכונות הדומיננטי שהאלגוריתם מותיר לנו. לצורך כך בחנו את התוצאות בשיטת cross validation עם חלוקה ל-4 ובדיקת הממוצע. את התכונות ניתן להפריד בשתי שיטות אחת בדיקה לאחור (backward) והשנייה בדיקה לפנים (forward) כלומר אחת מתחילה עם כל התכונות והשנייה מתחילה ללא התכונות ומוסיפה תכונה כאשר היא משפרת את התוצאות.

תוצאות הדיוק מתוארות בטבלה:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **מספר תכונות** | **backward** | **forward** | **תכונות דומיננטיות בסדר יורד בשיטת backward** | **תכונות דומיננטיות בסדר יורד בשיטת forward** |
| 39 | 0.697 | 0.695 | odd\_h | odd\_a |
| 38 | 0.698 | 0.696 | num of events type 2 for size 1 | num of events type 14 for size 2 |
| 37 | 0.699 | 0.697 | num of events type 7 for size 1 | num of events type 14 for size 1 |
| 36 | 0.7 | 0.697 | num of events type 14 for size 1 | num of events type 2 for size 1 |
| 35 | 0.7 | 0.696 | odd\_d | num of events type 7 for size 1 |
| 34 | 0.701 | 0.696 | num of events type 2 for size 2 | odd\_h |
| 33 | 0.701 | 0.697 | num of events type 12 for size 2 | num of events type 15 for size 2 |
| 32 | 0.702 | 0.698 | num of events type 15 for size 2 | num of events type 12 for size 1 |
| 31 | 0.702 | 0.698 | num of events type 15 for size 1 | num of events type 2 for size 2 |
| 30 | 0.702 | 0.698 | num of events type 4 for size 1 | num of events type 15 for size 1 |
| 29 | 0.702 | 0.698 | num of events type 12 for size 1 | date |
| 28 | 0.702 | 0.7 | num of events type 6 for size 2 | season\_2012 |
| 27 | 0.701 | 0.699 | num of events type 7 for size 2 | num of events type 6 for size 1 |
| 26 | 0.701 | 0.702 | num of events type 13 for size 1 | num of events type 5 for size 1 |
| 25 | 0.701 | 0.702 | num of events type 11 for size 1 | season\_2016 |
| 24 | 0.702 | 0.702 | at | season\_2017 |
| 23 | 0.701 | 0.702 | num of events type 14 for size 2 | num of events type 8 for size 2 |
| 22 | 0.699 | 0.701 | num of events type 4 for size 2 | num of events type 7 for size 2 |
| 21 | 0.7 | 0.7 | num of events type 8 for size 2 | season\_2015 |
| 20 | 0.699 | 0.7 | num of events type 6 for size 1 | num of events type 10 for size 1 |
| 19 | 0.699 | 0.7 | num of events type 13 for size 2 | num of events type 13 for size 1 |
| 18 | 0.699 | 0.699 | num of events type 10 for size 2 | num of events type 13 for size 2 |
| 17 | 0.698 | 0.699 | num of events type 8 for size 1 | season\_2014 |
| 16 | 0.699 | 0.699 | odd\_a | num of events type 5 for size 2 |
| 15 | 0.697 | 0.699 | season\_2014 | season\_2013 |
| 14 | 0.697 | 0.699 | num of events type 11 for size 2 | **random** |
| 13 | 0.696 | 0.699 | ht | country |
| 12 | 0.695 | 0.699 | season\_2015 | ht |
| 11 | 0.693 | 0.698 | country | num of events type 8 for size 1 |
| 10 | 0.691 | 0.696 | num of events type 5 for size 1 | league |
| 9 | 0.69 | 0.692 | season\_2016 | num of events type 11 for size 2 |
| 8 | 0.687 | 0.687 | season\_2017 | num of events type 10 for size 2 |
| 7 | 0.684 | 0.686 | num of events type 5 for size 2 | num of events type 6 for size 2 |
| 6 | 0.677 | 0.679 | date | odd\_d |
| 5 | 0.673 | 0.664 | league | num of events type 12 for size 2 |
| 4 | 0.655 | 0.655 | **random** | num of events type 4 for size 2 |
| 3 | 0.65 | 0.651 | season\_2013 | num of events type 11 for size 1 |
| 2 | 0.642 | 0.643 | season\_2012 | num of events type 4 for size 1 |
| 1 | 0.621 | 0.634 | odd\_h | at |

בשיטת forward ניתן לראות כי באופן מפתיע התכונה הדומיננטית ביותר היא דווקא "ההימורים בעד תוצאת קבוצת החוץ" (בדרך שבה האלגוריתם מכריע). בנוסף ניתן לראות שהשינוי בתוצאה הוא קטן יחסית עבור שינוי והוספה של תכונה אחת.

התוצאה המקסימלית מתקבלת עבור 26 תכונות בשיטת forward. דבר זה מתיישב היטב עם כך ש-Random נבחרה במקום ה-26 כתכונה דומיננטית (כלומר כל תכונה אחרת דומיננטית לכל הפחות כמו תכונה רנדומלית). כמו כן, ניתן לזהות כי תכונות תוצאת ההימורים יחד עם תכונות 14,2 ו-7 הינם דומיננטיות בפרט כאשר הן לטובת קבוצת הבית לפי 2 השיטות.

כעת על מנת לבחור מודל הרצנו עם 26 התכונות על קבוצת הוולידיצה וקיבלנו את הציון **0.703**.

ניתן לבצע הרצה עם כל תכונה בנפרד

**Random Forest**

אלגוריתם זה מקים וועדה של עצים ומקבל החלטה לפי רוב העצים בוועדה. הפרמטרים אותם החלטנו לבדוק הם הפרמטרים הבאים: מספר העצים, עומק מקסימלי של העץ. גם כאן בדקנו כמובן בשיטת cross validation.

להלן התוצאות:

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **d/n** | **1** | **5** | **10** | **25** | **50** |
| **1** | 0.562 | 0.624 | 0.614 | 0.573 | 0.592 |
| **10** | 0.631 | 0.67 | 0.668 | 0.647 | 0.65 |
| **25** | 0.628 | 0.67 | 0.675 | 0.668 | 0.665 |
| **50** | 0.646 | 0.671 | **0.683** | 0.673 | 0.67 |
| **100** | 0.637 | 0.67 | 0.682 | 0.681 | 0.681 |
| **200** | 0.643 | 0.67 | **0.683** | **0.683** | 0.681 |

התוצאה הטובה ביותר ניתנת עבור 50 עצים עם עומק 10 אך עבור עוד פרמטרים אשר דורשים הוספת עצים ועומק ולכן משיקולי יעילות בחרנו בנמוך מבניהם.

חסר – גרף של הערכים והתוצאות והסבר קצר על הפונקציות עצמן. אפשר להוסיף חישוב של שיפור אחוז הדיוק לעומת 0.55

**בחירת תכונות**

כעת נבצע הסרת תכונות וננסה לזהות את מספר התכונות הדומיננטי שהאלגוריתם מותיר לנו. לצורך כך בחנו את התוצאות בשיטת cross validation עם חלוקה ל-4 ובדיקת הממוצע. את התכונות ניתן להפריד בשתי שיטות אחת בדיקה לאחור (backward) והשנייה בדיקה לפנים (forward) כלומר אחת מתחילה עם כל התכונות והשנייה מתחילה ללא התכונות ומוסיפה תכונה כאשר היא משפרת את התוצאות.

תוצאות הדיוק מתוארות בטבלה:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **מספר תכונות** | **backward** | **forward** | **תכונות דומיננטיות בסדר יורד בשיטת backward** | **תכונות דומיננטיות בסדר יורד בשיטת forward** |
| 39 |  | 0.678 |  | odd\_a |
| 38 |  | 0.685 |  | odd\_d |
| 37 |  | 0.681 |  | num of events type 2 for size 1 |
| 36 |  | 0.684 |  | num of events type 12 for size 1 |
| 35 |  | 0.682 |  | num of events type 14 for size 2 |
| 34 |  | 0.684 |  | num of events type 14 for size 1 |
| 33 |  | 0.686 |  | num of events type 15 for size 2 |
| 32 |  | 0.686 |  | num of events type 7 for size 2 |
| 31 |  | 0.687 |  | season\_2015 |
| 30 |  | 0.689 |  | num of events type 8 for size 1 |
| 29 |  | 0.685 |  | season\_2016 |
| 28 |  | 0.684 |  | season\_2013 |
| 27 |  | 0.688 |  | num of events type 7 for size 1 |
| 26 |  | 0.69 |  | num of events type 15 for size 1 |
| 25 |  | 0.689 |  | num of events type 5 for size 2 |
| 24 |  | 0.687 |  | num of events type 10 for size 2 |
| 23 |  | 0.689 |  | at |
| 22 |  | 0.691 |  | ht |
| 21 |  | 0.691 |  | num of events type 6 for size 1 |
| 20 |  | 0.687 |  | num of events type 6 for size 2 |
| 19 |  | 0.688 |  | num of events type 10 for size 1 |
| 18 |  | 0.691 |  | num of events type 2 for size 2 |
| 17 |  | 0.691 |  | num of events type 13 for size 2 |
| 16 |  | 0.689 |  | date |
| 15 |  | 0.692 |  | num of events type 11 for size 2 |
| 14 |  | 0.689 |  | season\_2014 |
| 13 |  | 0.685 |  | num of events type 12 for size 2 |
| 12 |  | 0.686 |  | season\_2012 |
| 11 |  | 0.685 |  | num of events type 11 for size 1 |
| 10 |  | 0.687 |  | season\_2017 |
| 9 |  | 0.686 |  | **random** |
| 8 |  | 0.684 |  | num of events type 13 for size 1 |
| 7 |  | 0.681 |  | num of events type 4 for size 1 |
| 6 |  | 0.679 |  | odd\_h |
| 5 |  | 0.669 |  | num of events type 8 for size 2 |
| 4 |  | 0.668 |  | league |
| 3 |  | 0.654 |  | num of events type 5 for size 1 |
| 2 |  | 0.65 |  | num of events type 4 for size 2 |
| 1 |  | 0.635 |  | country |

ניתן לראות כי באופן מפתיע התכונה הדומיננטית ביותר היא דווקא "ההימורים בעד תוצאת קבוצת החוץ" (בדרך שבה האלגוריתם מכריע). בנוסף ניתן לראות שהשינוי בתוצאה הוא קטן יחסית עבור שינוי והוספה של תכונה אחת.

התוצאה המקסימלית מתקבלת עבור 26 תכונות בשיטת forward. דבר זה מתיישב היטב עם כך ש-Random נבחרה במקום ה-26 כתכונה דומיננטית (כלומר כל תכונה אחרת דומיננטית לכל הפחות כמו תכונה רנדומלית).

כעת על מנת לבחור מודל הרצנו עם 26 התכונות על קבוצת הוולידיצה וקיבלנו את הציון **0.703**.

ניתן לבצע הרצה עם כל תכונה בנפרד

**Knn**

אלגוריתם זה מקבל החלטה לפי קבוצת הדוגמאות הקרובה ביותר אשר קיימת לו במאגר (קבוצת האימון). הפרמטרים אותם בחנו הם הפרמטרים הבאים: מספר השכנים הקרובים לפיהם הוא מחליט והמשקולות הניתנים לשכנים כאשר האופציות הן משקולת אחידה או כפונקציה של המרחק.

להלן התוצאות:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | **uniform** | **distance** |
| **1** | 0.575 | 0.575 |
| **2** | 0.598 | 0.575 |
| **3** | 0.596 | 0.596 |
| **5** | 0.604 | 0.604 |
| **10** | 0.626 | 0.620 |
| **25** | 0.64 | 0.64 |
| **50** | 0.652 | 0.652 |
| **100** | 0.653 | 0.653 |
| **150** | 0.655 | 0.655 |
| **200** | 0.652 | 0.652 |

ניתן לראות כי לא קיים הבדל משמעותי בין הפונקציות והדיוק הטוב ביותר ניתן עבור 150 תכונות.

חסר – גרף של הערכים והתוצאות. אפשר להוסיף חישוב של שיפור אחוז הדיוק לעומת 0.55

**בחירת תכונות**

כעת נבצע הסרת תכונות וננסה לזהות את מספר התכונות הדומיננטי שהאלגוריתם מותיר לנו. לצורך כך בחנו את התוצאות בשיטה הפשוטה של חיזוי על קבוצת האימון ובדיקה על קבוצת הוולידציה על מנת לא לסבך את האלגוריתם.

את התכונות ניתן להפריד בשתי שיטות אחת בדיקה לאחור(backward) והשנייה בדיקה לפנים (forward) כלומר אחת מתחילה עם כל התכונות והשניה מתחילה ללא התכונות ומוסיפה תכונה כאשר היא משפרת את התוצאות.

תוצאות הדיוק על קבוצת הוולידציה מתוארות בטבלה:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | **backward** | **forward** |
| **ללא הסרת אף תכונה** | 0.682 | 0.682 |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |

**Stochastic GD**

אלגוריתם זה מנסה למזער את השגיאה על סט האימון באמצעות הליכה בכיוון מינוס הנגזרת של הפונקציה. מאחר ומדובר ב- **Stochastic** בחירת הדוגמאות עצמן היא אקראית ואין מעבר על כל הדוגמאות על מנת לחסוך בזמן ריצה וביעילות.

עבור אלגוריתם זה בחנו את הפרמטרים הבאים: פונקציית המחיר אותה גוזר האלגוריתם על מנת למזער וסוג הקנס אותו הוא נותן.

להלן התוצאות (עבור 1000 איטרציות):

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | **squared\_loss** | **huber** | **epsilon\_insensitive** |
| **l2** | 0.516 | 0.633 | 0.577 |
| **l1** | 0.498 | 0.645 | 0.594 |
| **elasticnet** | 0.488 | 0.640 | 0.611 |

ניתן לראות שהתוצאה הטובה ביותר התקבלה עבור הפונקציה huber עם הקנס l1.

חסר – גרף של הערכים והתוצאות. אפשר להוסיף חישוב של שיפור אחוז הדיוק לעומת 0.55

**בחירת תכונות**

כעת נבצע הסרת תכונות וננסה לזהות את מספר התכונות הדומיננטי שהאלגוריתם מותיר לנו. לצורך כך בחנו את התוצאות בשיטה הפשוטה של חיזוי על קבוצת האימון ובדיקה על קבוצת הוולידציה על מנת לא לסבך את האלגוריתם.

את התכונות ניתן להפריד בשתי שיטות אחת בדיקה לאחור(backward) והשנייה בדיקה לפנים (forward) כלומר אחת מתחילה עם כל התכונות והשניה מתחילה ללא התכונות ומוסיפה תכונה כאשר היא משפרת את התוצאות.

תוצאות הדיוק על קבוצת הוולידציה מתוארות בטבלה:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | **backward** | **forward** |
| **ללא הסרת אף תכונה** | 0.697 | 0.697 |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |

**Decision Tree**

אלגוריתם מסוג עץ החלטה. אלגוריתם זה מנסה להפריד את הדוגמאות בסט האימון לפי התכונות וליצור מסלולי החלטה כלליים אותם הוא יכליל על כל דוגמה שתתווסף. בחרנו בעץ החלטה המפריד לפי ההפרדה הטובה ביותר.

הפרמטרים אותם בחנו עבור העץ הינם: מספר דגימות מינימלי הנדרש בעלים, הקריטריון לבחינת הפיצול הטוב ביותר (כלומר סוג הפונקציה אשר בוחנת מה נחשב פיצול משמעותי).

להלן התוצאות:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | **gini** | **entropy** |
| **2** | 0.604 | 0.607 |
| **5** | 0.603 | 0.599 |
| **10** | 0.608 | 0.599 |
| **50** | 0.625 | 0.632 |
| **100** | 0.643 | 0.643 |
| **250** | 0.664 | 0.661 |
| **500** | 0.658 | 0.663 |
| **1000** | 0.654 | 0.66 |

ניתן לראות כי הפערים אינם משמעותיים אך הציון הטוב ביותר ניתן עבור הפיצול עם קריטריון gini ועם 250 דגימות.

חסר – גרף של הערכים והתוצאות. אפשר להוסיף חישוב של שיפור אחוז הדיוק לעומת 0.55

**בחירת תכונות**

כעת נבצע הסרת תכונות וננסה לזהות את מספר התכונות הדומיננטי שהאלגוריתם מותיר לנו. לצורך כך בחנו את התוצאות בשיטה הפשוטה של חיזוי על קבוצת האימון ובדיקה על קבוצת הוולידציה על מנת לא לסבך את האלגוריתם.

את התכונות ניתן להפריד בשתי שיטות אחת בדיקה לאחור(backward) והשנייה בדיקה לפנים (forward) כלומר אחת מתחילה עם כל התכונות והשניה מתחילה ללא התכונות ומוסיפה תכונה כאשר היא משפרת את התוצאות.

תוצאות הדיוק על קבוצת הוולידציה מתוארות בטבלה:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | **backward** | **forward** |
| **ללא הסרת אף תכונה** | 0.675 | 0.675 |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |

**Lda**

מודל זה מניח כי ההתפלגויות של כל מחלקה הינן נורמליות ומנסה ליצור את ההפרדה הטובה ביותר ביניהן על ידי מקסום מרחק התוחלת ביניהם ומציאת שונות מינימלית עבור כל מחלקה שכזו.

עבור מודל זה בחנו את הפרמטר solver אשר בוחר את השיטה לבצע את ההרחקה הנ"ל.

חסר – לפרט על השיטות.

התוצאות מתוארות בטבלה הבאה:

|  |  |
| --- | --- |
| **svd** | **lsqr** |
| 0.66 | 0.695 |

ניתן לראות כי התוצאות הטובות ביותר ניתנו עבור lsqr.

חסר – גרף של הערכים והתוצאות. אפשר להוסיף חישוב של שיפור אחוז הדיוק לעומת 0.55

**בחירת תכונות**

כעת נבצע הסרת תכונות וננסה לזהות את מספר התכונות הדומיננטי שהאלגוריתם מותיר לנו. לצורך כך בחנו את התוצאות בשיטה הפשוטה של חיזוי על קבוצת האימון ובדיקה על קבוצת הוולידציה על מנת לא לסבך את האלגוריתם.

את התכונות ניתן להפריד בשתי שיטות אחת בדיקה לאחור(backward) והשנייה בדיקה לפנים (forward) כלומר אחת מתחילה עם כל התכונות והשניה מתחילה ללא התכונות ומוסיפה תכונה כאשר היא משפרת את התוצאות.

תוצאות הדיוק על קבוצת הוולידציה מתוארות בטבלה:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | **backward** | **forward** |
| **ללא הסרת אף תכונה** | 0.718 | 0.718 |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |

**Naïve Bayes**

אלגוריתם זה פועל תחת ההנחה כי התפלגות התוצאות הינה מסוג כלשהו ומנסה למקסם אותה. עבור ה-Naïve Bayes בחנו את הפרמטרים של הנחת הפילוג.

להלן התוצאות:

|  |  |
| --- | --- |
| **GaussianNB** | **BernoulliNB** |
| 0.531 | 0.665 |

התוצאה הטובה ביותר ניתנה אם כן עבור ההנחה שההתפלגות ברנולית.

חסר – גרף של הערכים והתוצאות. אפשר להוסיף חישוב של שיפור אחוז הדיוק לעומת 0.55

**בחירת תכונות**

כעת נבצע הסרת תכונות וננסה לזהות את מספר התכונות הדומיננטי שהאלגוריתם מותיר לנו. לצורך כך בחנו את התוצאות בשיטה הפשוטה של חיזוי על קבוצת האימון ובדיקה על קבוצת הוולידציה על מנת לא לסבך את האלגוריתם.

את התכונות ניתן להפריד בשתי שיטות אחת בדיקה לאחור(backward) והשנייה בדיקה לפנים (forward) כלומר אחת מתחילה עם כל התכונות והשניה מתחילה ללא התכונות ומוסיפה תכונה כאשר היא משפרת את התוצאות.

תוצאות הדיוק על קבוצת הוולידציה מתוארות בטבלה:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | **backward** | **forward** |
| **ללא הסרת אף תכונה** | 0.67 | 0.67 |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |

**Multy-layer Preceptron,**

הסבר על המסווג

הפרמטרים אותם בחנו הם מספר השכבות ומספר הפרסיפטרונים בכל שכבה.

להלן התוצאות:

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **5** | **4** | **3** | **2** | **1** |  |
| 0.684 | 0.692 | 0.691 | 0.674 | 0.67 | **2** |
| 0.67 | 0.687 | **0.693** | 0.691 | 0.679 | **5** |
| 0.686 | 0.676 | 0.681 | 0.667 | 0.665 | **10** |
| 0.661 | 0.665 | 0.682 | 0.67 | 0.653 | **15** |
| 0.665 | 0.661 | 0.658 | 0.664 | 0.668 | **20** |
| 0.643 | 0.649 | 0.642 | 0.656 | 0.656 | **50** |
| 0.633 | 0.647 | 0.632 | 0.66 | 0.643 | **70** |
| 0.641 | 0.643 | 0.642 | 0.638 | 0.634 | **100** |

ניתן לראות שהתוצאה הטובה ביותר התקבלה עבור 3 שכבות פנימיות עם 5 פרסיפטרונים בכל שכבה.

חסר – גרף של הערכים והתוצאות. אפשר להוסיף חישוב של שיפור אחוז הדיוק לעומת 0.55

**בחירת תכונות**

כעת נבצע הסרת תכונות וננסה לזהות את מספר התכונות הדומיננטי שהאלגוריתם מותיר לנו. לצורך כך בחנו את התוצאות בשיטה הפשוטה של חיזוי על קבוצת האימון ובדיקה על קבוצת הוולידציה על מנת לא לסבך את האלגוריתם.

את התכונות ניתן להפריד בשתי שיטות אחת בדיקה לאחור(backward) והשנייה בדיקה לפנים (forward) כלומר אחת מתחילה עם כל התכונות והשניה מתחילה ללא התכונות ומוסיפה תכונה כאשר היא משפרת את התוצאות.

תוצאות הדיוק על קבוצת הוולידציה מתוארות בטבלה:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | **backward** | **forward** |
| **ללא הסרת אף תכונה** | 0.67 | 0.67 |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |

**GradientBoosting**

מסווג זה דומה ל Random forest בכך שהוא מייצר מספר עצים אך הוא מייעל את משקל כל עץ בהתאם לפונקציית של כל עץ ומנסה לייעל את המשקל של כל עץ לפי הליכה במינוס הגרדייאנט.

עבור מסווג זה נבחן את הפרמטרים הבאים: קנס הלמידה ומספר המסווגים.

התוצאות מתוארות בטבלה הבאה:

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 500 | 200 | 100 | 50 | 30 | 10 |  |
| 0.655 | 0.61 | 0.548 | 0.539 | 0.539 | 0.539 | 0.001 |
| 0.691 | 0.675 | 0.666 | 0.655 | 0.642 | 0.548 | 0.01 |
| 0.682 | 0.692 | **0.696** | 0.687 | 0.68 | 0.667 | 0.1 |
| 0.669 | 0.684 | 0.685 | 0.692 | 0.69 | 0.677 | 0.25 |
| 0.652 | 0.661 | 0.663 | 0.676 | 0.685 | 0.687 | 0.5 |

ניתן לראות כי התוצאה הטובה ביות מתקבלת עבור 100 עצים וקנס של 0.1

חסר – גרף של הערכים והתוצאות. אפשר להוסיף חישוב של שיפור אחוז הדיוק לעומת 0.55

**בחירת תכונות**

כעת נבצע הסרת תכונות וננסה לזהות את מספר התכונות הדומיננטי שהאלגוריתם מותיר לנו. לצורך כך בחנו את התוצאות בשיטה הפשוטה של חיזוי על קבוצת האימון ובדיקה על קבוצת הוולידציה על מנת לא לסבך את האלגוריתם.

את התכונות ניתן להפריד בשתי שיטות אחת בדיקה לאחור(backward) והשנייה בדיקה לפנים (forward) כלומר אחת מתחילה עם כל התכונות והשניה מתחילה ללא התכונות ומוסיפה תכונה כאשר היא משפרת את התוצאות.

תוצאות הדיוק על קבוצת הוולידציה מתוארות בטבלה:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | **backward** | **forward** |
| **ללא הסרת אף תכונה** | 0.707 | 0.707 |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |

**Voting**

מסווג זה משתמש בוועדת מסווגים ומחליט לפי הרוב כאשר הרוב מוגדר או לפי שקלול אחוזי הביטחון של כל מסווג. הוועדה שהרכבנו על מנת לקבל החלטה מורכבת מהמסווגים הטובים ביותר שהתקבלו עד כה. הציון שהתקבל בשיטת cross validation הוא 0.694. (על הוולידציה 0.715)

עם המולטי 0.691 (על הוולידציה 0.714)

כעת בדקנו עם 3 המסווגים הטובים ביותר (lda, random forest, svm) התוצאה שהתקבלה היא 0.697.

עם המולטי 0.696 (על הוולידציה 0.728)

לאחר מכן בדקנו מודל המשלב משקולות כאשר עבור מסווג טוב נתנו משקל של 1 ועבור מסווג פחות טוב נתנו משקל של 0.5. התוצאה שהתקבלה היא 0.697 (על הוולידציה 0.728)

עם נתינת יותר משקולות למסווגים הטובים (svm-3, RF-1,lda-2 והשאר חצי) קיבלנו 0.696 (על קבוצת הוולידציה 0.728)

עם מתן משקל למסווגים הפחות טובים קיבלנו 0.691 (על הוולידציה 0.717)

לאחר ניסוי של וריאציות שונות תמיד התקבלו תוצאות קרובות למספרים הנ"ל ולכן נראה על פניו שהמסווגים מסכימים ביניהם על הקשר בין תכונות ותוצאות (ניתן יהיה לבסס זאת אחר זיהוי התכונות הדומיננטיות)

**בחירת תכונות**

כעת נבצע הסרת תכונות וננסה לזהות את מספר התכונות הדומיננטי שהאלגוריתם מותיר לנו. לצורך כך בחנו את התוצאות בשיטה הפשוטה של חיזוי על קבוצת האימון ובדיקה על קבוצת הוולידציה על מנת לא לסבך את האלגוריתם.

את התכונות ניתן להפריד בשתי שיטות אחת בדיקה לאחור(backward) והשנייה בדיקה לפנים (forward) כלומר אחת מתחילה עם כל התכונות והשניה מתחילה ללא התכונות ומוסיפה תכונה כאשר היא משפרת את התוצאות.

תוצאות הדיוק על קבוצת הוולידציה מתוארות בטבלה:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | **backward** | **forward** |
| **ללא הסרת אף תכונה** | 0.729 | 0.729 |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |