

**שוק ההון-Timing the markets**

פרויקט בבינה מלאכותית, הפקולטה למדעי המחשב בטכניון, סמסטר אביב 2020



יקיר יהודה 205710528 אבישי אביסרור 311378947

avishaya@CAMPUS.TECHNION.AC.IL Y.YAKIR@CAMPUS.TECHNION.AC.IL



**מבוא**

שנת 2020 נפתחה עם מגפת הקורונה, שיצרה משבר עולמי בכל תחומי החיים, ובפרט בשוק ההון שהתרסק בצורה היסטורית וחסרת תקדים [1].

מאז ומתמיד **משברים בשוק ההון נחשבו להזדמנות** – משקיעים נוהגים לנצל משברים על מנת לקנות ניירות ערך במחירים אטרקטיביים, ולהרוויח את העלייה המגולמת בהתאוששות מהמשבר.

הדרך לניצול הפוטנציאל הנ"ל רצופת מכשולים, ולהלן העיקריים שבהם :

1. קשה מאוד **לחזות** אילו חברות ישרדו את המשבר. כך למשל, לאחר משבר הסאב-פריים בשנת 2008 חברות רבות ירדו מנכסיהן ופשטו רגל [2].
2. קשה מאוד **לתזמן את הכניסה לשוק –** זוהי בעצם נקודת המינימום של נייר הערך המועמד לקנייה, המאפשרת למשקיע את התזמון המושלם להיכנס לשוק במחיר אטרקטיבי.

שיטה נפוצה שהתפתחה במרוצת השנים להתמודדות עם הבעיה הראשונה היא **פיזור**. המשקיע הממוצע יחלק את הונו בין אפשרויות השקעה שונות, כדי להיות חסין מירידות ערך מאסיביות, ולייצר רשת ביטחון הגונה.

אחת הדרכים להשיג את הפיזור הנ"ל היא מכשיר פיננסי בשם **תעודת סל**. זוהי תעודה המונפקת על ידי גוף פיננסי (בנק או בית השקעות), ומאפשרת למשקיע לעקוב אחר נכס כגון **מדדי מניות** (מדדים המהווים ממוצע משוקלל של מספר רחב של מניות).

ההתמודדות עם הבעיה השנייההיא **שאלת מיליון הדולר של עולם ההשקעות,** ורבים מאמינים שבלתי אפשרי לחזות את התנהגות השוק. במרוצת השנים התפתחו שתי אסכולות מקבילות סביב השאלה הזו : Timing the markets VS Time in the markets [3] (השקעה לטווח הארוך אל מול תזמון השוק).

בפרויקט זה ננסה לאתגר אלגוריתמים שונים של בינה מלאכותית ולמידה עמוקה עם היכולת לתזמן את השוק בזמן משבר, ולמקסם את הרווח של המשקיעים = "קנה בזול ומכור ביוקר".

**תיאור הפתרון המוצע לבעיה**

רקע :

ב-30 השנים האחרונות שוק ההון התפתח במספר מובנים :

* ידע **משברים** רבים, מהם ניתן ללמוד על אופן ההתאוששות של השוק.
* נוספו **אינדיקטורים** רבים שנועדו לצוד תופעות שונות בשוק במטרה להבין לאן פניו. האינדיקטורים הללו משמשים משקיעים רבים ככללי אצבע בתכנון ההשקעות שלהם.

ברצוננו, בהינתן נייר ערך מסוים, ויום מסוים בעיצומו של משבר, לתת חיזוי לגבי מידת הכדאיות של כניסה לשוק. יום שפוטנציאל הרווח בו הוא גדול יקבל ציון קרוב ל-1, ויום בעל פוטנציאל רווח מינימלי יקבל ציון קרוב ל-0. בהמשך נסביר כיצד להשתמש בציון הזה ברמה הפרקטית – ואף נציע מספר אסטרטגיות הנשענות על הציון.

לשם כך, נשתמש במשברים קודמים כדוגמאות אימון לאלגוריתם הלמידה שלנו. כל יום מסחר בעיצומו של משבר יהווה דוגמא.

* **התכונות** של יום המסחר הם אינדיקטורים ממקורות שונים בהם האלגוריתם יתחשב.
* **התיוג** של יום המסחר הוא פוטנציאל הרווח שלו (על פי חישוב שיפורט בהמשך).

תמצית הפתרון :

הפתרון יורכב משני שלבים עיקריים :

1. בניית Regressor : מטרתו, בהינתן עשרות תכונות אשר יפורטו, ומספר רחב של דוגמאות היסטוריות מהבורסה, לחזות את פוטנציאל הרווח של כל יום מסחר בזמן משבר (אותו ציון בין 0 ל-1 אותו הזכרנו, ונרחיב עליו בהמשך) בצורה המדויקת ביותר.
2. הפיכת המידע לידע : נרצה, בהינתן תוצאות ה-Regressor, לגזור משמעויות עסקיות. קרי, נבנה נוסחאות סגורות לאסטרטגיות השקעה המבוססות על ציוני ה-Regressor, ונבחן את ביצועיהן לאורך הזמן.

תיאור שלבי המערכת :

בשלב זה נתאר בפרוטרוט את החלקים השונים במערכת, וניגע באתגרים המרכזיים בכל אחד מהם.

1. **Data Extractor**

חלק זה אמון על הגדרת "משבר" על סמך patterns של ביצועים. הוא מקבל נתונים של ביצועים היסטוריים של נייר ערך, וקובע תקופות בהיסטוריה בהם נייר ערך זה היה במשבר.

ההגדרה למשבר היא תקופה בזמן שעונה על הקריטריונים הבאים :

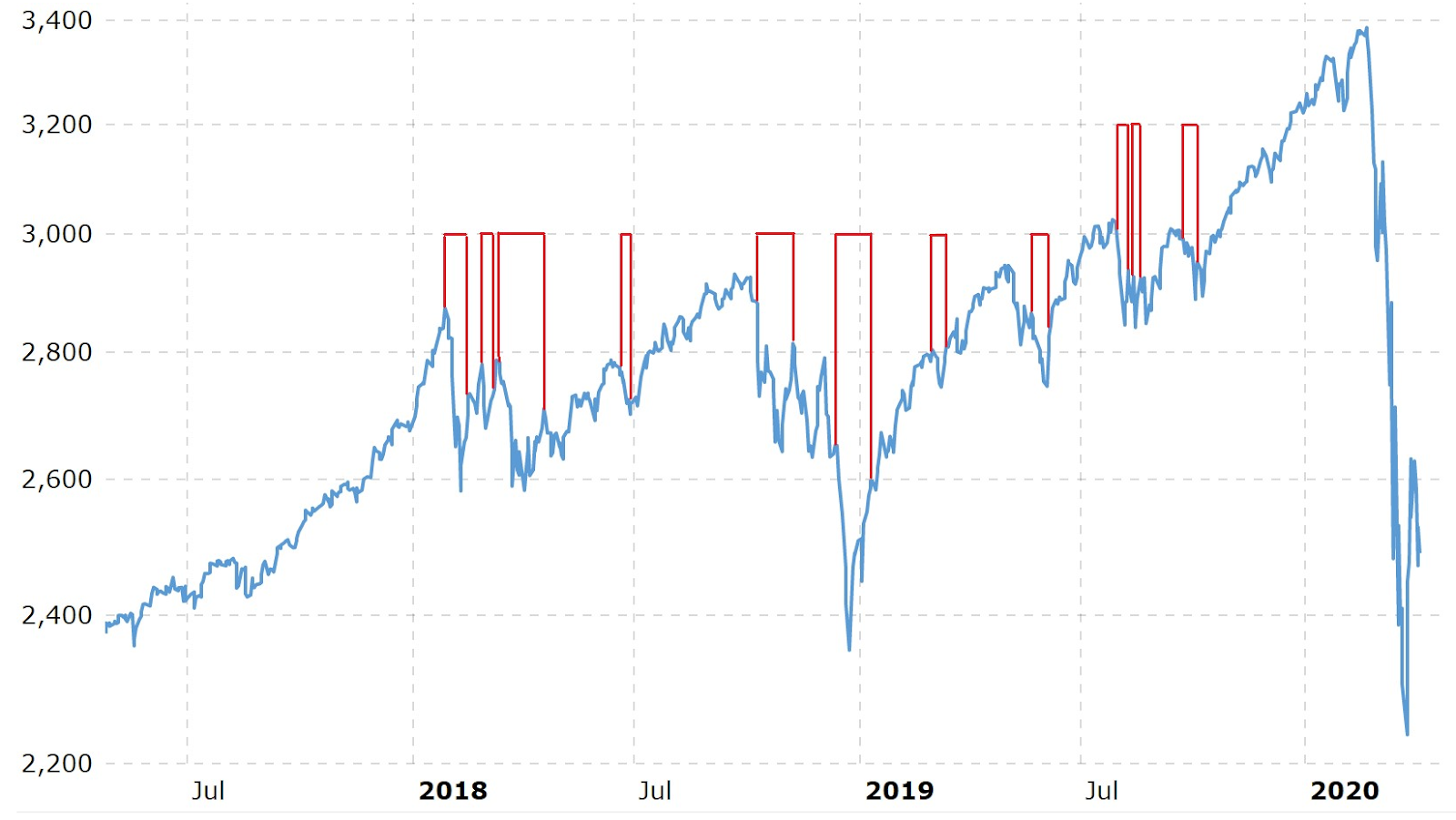
* + אורך מינימלי : לא כל יום של ירידות בשווקים ייחשב כמשבר. נרצה להגדיר סף מינימום (במונחים של ימי מסחר) שמצביע על משבר משמעותי מספיק.
  + פגיעת מינימום : לא כל רצף של ימי ירידה מעיד על משבר. נרצה שהירידה תהיה חדה מספיק (או מתונה וארוכה), ולכן נרצה להגדיר סטנדרט למחיר בשיא המשבר (נקודת המינימום ביחס למחיר המקורי).

סיום המשבר ייקבע ליום הראשון בו נייר הערך חזר להיות קרוב למחיר שממנו התחיל המשבר.

הערות :

* + האורך המינימלי, פגיעת המינימום, ורמת הקירבה למחיר המקורי (סוף המשבר) הם היפר-פרמטרים של המודל, וייקבעו בהתאם למדידות על סמך ניסויים שנבצע בהמשך.
  + קיימים משברים בהם נצפו ימי עליות בודדים אשר לא מעידים על סוף המשבר (לדוגמה, כתוצאה מהזרמה ממשלתית של כספים). כדי להתמודד עם הבעיה, נגדיר היפר-פרמטר נוסף שמאפשר מספר מסוים של ימי תיקון.

להלן ביצועי האלגוריתם על משברים בשלושת השנים האחרונות תחת פרמטרים של אורך מינימלי, פגיעת מינימום ומספר ימי תיקון שמצאנו כמדויקים ביותר (בכחול – ביצועי האמת של מדד S&P500 בבורסה האמריקאית, באדום – תקופות אותן האלגוריתם הגדיר כמשבר).

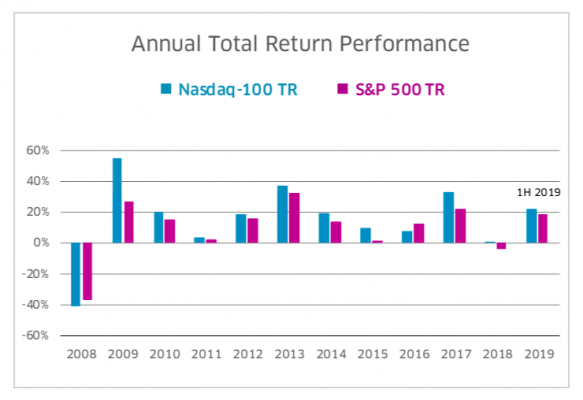


1. **Data Combiner**

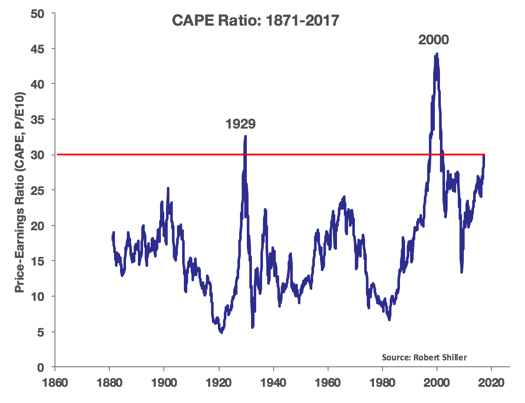
חלק זה אמון על איסוף אינדיקטורים ותכונות מימי המסחר שבתוך תקופות המשבר.

הגדרות :

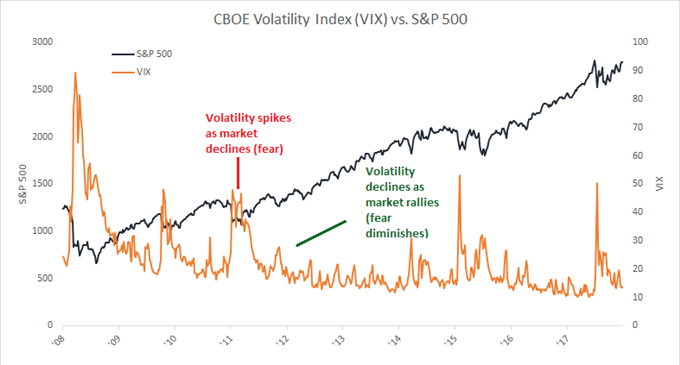
* + Nasdaq, S&P500 : מדדים מובילים בעולם המניות האמריקאי. סחירים בבורסה באמצעות תעודות סל או קרנות מחקות (קרנות שקונות מניות בהתאמה להרכב המניות של המדד במטרה להתחקות אחר הביצועים שלו). ההיסטוריה מלמדת ששני המדדים מתנהגים בצורה דומה לאורך הזמן, ולכן כל אחד מהם מהווה אינדיקטור טוב לשני.



* + אינפלציה : נתון המתאר את עליית המחירים במשק. נמדדת באמצעות מדד המחירים לצרכן, הבודק את השינוי במחירו של סל מוצרים קבוע (עלייה של מחירו גוררת עלייה באינפלציה). יש דרכים רבות להסביר את הקשר בין אינפלציה לבין ביצועי הבורסה. אחת מהן היא שירידה באינפלציה לרוב גוררת ירידה בריבית שנקבעת על ידי בנק ישראל, וזו מעודדת הוצאת כספים מפיקדונות והשקעה בשוק ההון. הגדלת מספר השחקנים בשוק מביאה לרוב להעלאת מחירים.
  + Earning Ratio : היחס בין רווחי החברה לשווי המניה. זוהי דרך נפוצה לחשב רווח PER מניה, ולכן דרך מקובלת לנרמל את האטרקטיביות של החברות.
  + Dividend Rate : מספר הדולרים שמשקיע מקבל מהחברה בה השקיע לכל מניה שקנה, כתוצאה מרווחי החברה. זוהי עוד דרך טובה לנרמל אטרקטיביות.
  + Dividend Yield : היחס בין ה-Dividend Rate של החברה לבין מחיר המניה שלה.
  + Price-Earnings Ratio : היחס בין שווי השוק של חברה לבין הרווח הנקי השנתי שלה. במדדים, מבצעים ממוצע משוקלל של היחס לפי החברות המשתתפות במדד.
  + CAPE Ratio : מתאר את שווי השוק של מדד ה-S&P500 חלקי הרווח הממוצע, מתואם לאינפלציה, ב-10 השנים האחרונות. ערך גבוה של מדד זה לרוב יצביע על שוק שהוא overvalued (נסחר מעל לערכו), ולהפך. כך למשל בשנים 1929 ו-2000 (שנים ידועות במשברים, המדד עלה קיצונית למעלה.



* + מדד הפחד (VIX) : מדד התנודתיות של בורסת האופציות בשיקאגו (CBOE), הנועד להתחקות אחר אלמנטים פסיכולוגיים של משקיעים בשוק. ירידה במדד נחשבת בעיניי רבים למגמת התייצבות (כלומר ירידה במדד לרוב תבלום עליות או ירידות אגרסיביות). עלייה, לעומת זאת, נתפסת כפאניקה הנובעת מ"ראלי" (עליות חדות מאוד) או קריסה.



* + APA : תאגיד נפט אמריקאי. משקיעים רבים רואים בו כמכשיר פיננסי שעוזר במעקב אחר מחיר הנפט בעולם. זה עשוי להיות אינדיקטור טוב לתקופות משבר כי משקיעים רבים עוברים להשקיע בסחורות בתקופות של אי וודאות בבורסה.
  + GLD : קרן סל שמתיימרת לעקוב אחר מחיר הזהב בעולם. זה עשוי להיות אינדיקטור טוב לתקופות משבר כי משקיעים רבים עוברים להשקיע בסחורות בתקופות כנ"ל.
  + TNX : תשואת אג"ח ממשלתי אמריקאי ל-10 שנים. ככלל, אג"חים ממשלתיים נחשבים לאפיק השקעה סולידי ובטוח, ואופן המסחר בהם קשור קשר הדוק לתקופות משבר. משקיעים רבים "בורחים" לאפיקים סולידים בעתות משבר.

תכונות בתדירות יומיות :

1. מחיר סגירה של S&P500 (Close) : מחיר המניה בתום יום מסחר.
2. מחיר גבוה של S&P500 (High) : העסקה היקרה ביותר (לפי מחיר מניה בודדת) שהתבצעה באותו יום.
3. מחיר נמוך של S&P500 (Low) : העסקה הזולה ביותר (לפי מחיר מניה בודדת) שהתבצעה באותו יום.
4. מחזור מסחר (Volume) : שווי כולל של העסקאות עבור מניה זו שבוצעו באותו יום.
5. מחיר סגירה של nasdaq (Nas-Close).
6. מחיר גבוה של nasdaq (Nas-High).
7. מחיר נמוך של nasdaq (Nas-Low).
8. מחזור מסחר של nasdaq (Nas-Volume).
9. מחיר סגירה של מדד הפחד (Vix-Close).
10. מחיר גבוה של מדד הפחד (Vix-High).
11. מחיר נמוך של מדד הפחד (Vix-Low).
12. מחיר סגירה של APA (Apa-Close).
13. מחיר גבוה של APA (Apa-High).
14. מחיר נמוך של APA (Apa-Low).
15. מחזור מסחר של APA (Apa-Volume).
16. מחיר סגירה של GLD (Gld-Close).
17. מחיר גבוה של GLD (Gld-High).
18. מחיר נמוך של GLD (Gld-Low).
19. מחזור מסחר של GLD (Gld-Volume).
20. מחיר סגירה של TNX (Tnx-Close).
21. מחיר גבוה של TNX (Tnx-High).
22. מחיר נמוך של TNX (Tnx-Low).
23. מחזור מסחר של TNX (Tnx-Volume).

תכונות בתדירות חודשית :

1. אינפלציה.
2. Earning Ratio.
3. Dividend Rate.
4. Dividend Yield.
5. Price-Earning Ratio.
6. CAPE Ratio.

הערות :

1. **כדי שנוכל להשתמש במסווג בזמן אמת, נרצה שהתכונות יתבססו על העבר בלבד**. לכן בעת סיווג של יום מסחר, המסווג לא ייקח בחשבון תכונות של יום המסחר הנוכחי, אלא של קודמיו.
2. מאותה סיבה, התכונות החודשיות הן במבט לאחור. כך למשל, ביום מסחר של חודש מרץ, נוכל להסתכל על הנתונים החודשיים של פברואר.
3. כל תכונה מפוצלת בפועל למספר תכונות, על מנת שנוכל לייצר זיכרון למודל על סמך תקופות זמן משמעותית יותר. כך למשל, נרצה לקחת בחשבון תכונות יומיות של חמישה ימים אחורה, ולא של יום בודד. האורך המדויק הוא היפר פרמטר של המודל (lookback).
4. עבור כל מדד שבחרנו לקחת, ניתן לראות שלקחנו מספר פרמטרים שלו (מחיר גבוה, מחיר נמוך, מחזור מסחר וכו'). הסיבה לכך היא שלכל פרמטר יש את החשיבות שלו. כך למשל, משקיעים רבים נוטים להתייחס לירידה דרסטית במחזור המסחר כסימן מקדים להיפוך מגמה (למשל, כאשר השוק מיצה תקופה של ירידות, מחזור המסחר יקטן והמגמה תתהפך).
5. **Features Converter**

כפי שראינו בחלק הקודם, חלק מהתכונות הן בתדירות יומית וחלק בתדירות חודשית. חלק זה אמון על "הפיכת" התכונות החודשיות ליומיות, כדי שנוכל להשתמש בהן במסווג (שכן הדוגמאות שהמסווג מקבל הן ברמה היומית).

חלק מהתכונות ברמה החודשית מתקבלות ביום הראשון של החודש, וחלק ביום האחרון של החודש. כדי לוודא שבכל יום, כל התכונות עליהן אנחנו מסתמכים זמינות לנו **מבעוד מועד** :

* + עבור תכונות של סוף חודש – פיצלנו את ערך התכונה לכל יום בחודש הבא.
  + עבור תכונות של תחילת חודש – פיצלנו את ערך התכונה לכל יום באותו החודש.

כך למשל, תכונה שהתקבלה ב31.3, תיוחס לכל דוגמא מימי חודש אפריל. תכונה שהתקבלה ב1.3, תיוחס לכל דוגמה מימי חודש מרץ.

1. **Model**

חלק זה אמון על תיוג הדוגמאות.

לכל משבר (כפי שהגדרנו, מאופיין בתאריך התחלה ותאריך סוף), נחשב את מחיר המינימום pricemin ואת מחיר המקסימום pricemax.

נגדיר פוטנציאל רווח למשבר באופן הבא : profitpot = pricemax - pricemin.

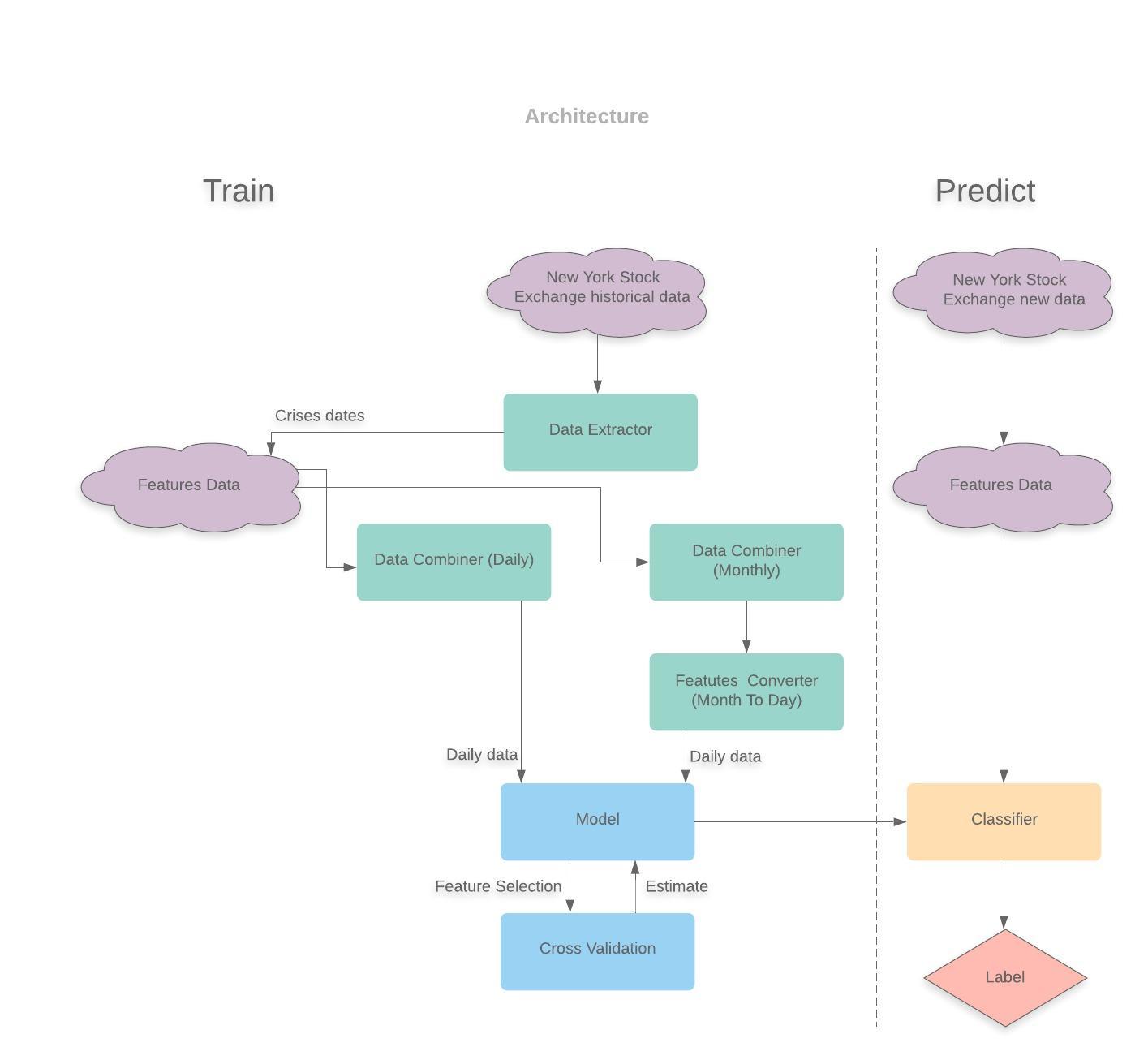
פוטנציאל הרווח של יום מסוים (דוגמה) בתוך המשבר יהיה :

(הערה : הרעיון לחישוב הציון של יום למעשה מחקה את הקונספט של min-max normalization).

1. **Cross Validation**

חלק זה אמון על בחירת תתי-קבוצות שונות של פיצ'רים (בהתאם לאלגוריתמים שיפורטו בהמשך) ואלגוריתם למידה במטרה למצוא אלגוריתם ותת-קבוצה אידיאליים שייבחרו למסווג. הערכת הביצועים תיעשה על ידי K-fold Cross Validation. התוצאות יפורטו בפרק הבא.

מבט-על :



**חקירת הבעיה באמצעות אלגוריתמי SVM, Random Forest, KNN**

בשלב זה נתאר ניסויים שעשינו על אלגוריתמי בינה, בהם היינו עדים לקושי להתמודד עם בעיה המבוססת על Time Sequences. תפקידו של חלק זה להדגיש שאלגוריתמי בינה סטנדרטיים מתקשים לענות על הציפיות, וזוהי המוטיבציה למעבר לרשתות נוירונים עם זיכרון (יפורט בהמשך).

בחרנו מספר אלגוריתמים לבדיקה, ומספר דרכים לבצע Feature Selection.

לכל אלגוריתם, בדקנו את כל מנגנוני ה-Feature Selection , ועבור תת הקבוצה של תכונות שהתקבלה, בדקנו את רמת הדיוק שלה ע"י Cross-Validation.

חזרנו על הניסוי המתואר עבור מניפולציות שונות שביצענו על ה-Data.

Data Manipulation :

1. Original Data : שימוש ב-Data שתואר בחלק הקודם כפי שהוא.
2. Normalized Data : שימוש ב-Data מנורמל לפי אלגוריתם min-max normalization [4].
3. Standardized Data : הפיכת כל פיצ'ר למפולג נורמלית בתחום שבין 0 ל-1, על פי התוחלת והשונות שלו (שיטת z-score כפי שנלמדת בקורס מבוא למערכות לומדות).

Feature Selection :

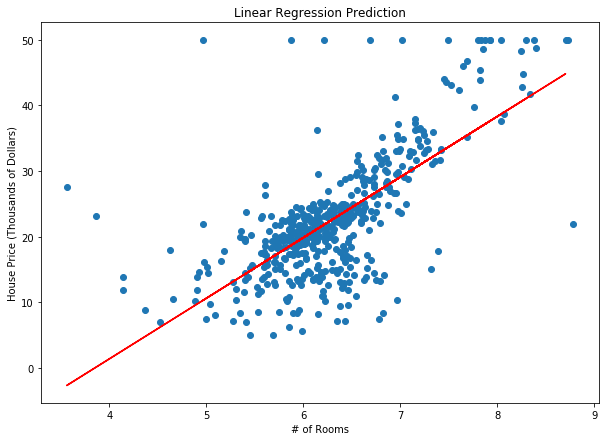
1. selectKBestFeatures : דירוג הפיצ'רים הטובים ביותר על פי פונקציית score, ובחירת k הטובים ביותר תחת הפונקצייה הזו.

פונקציית ה-score שהשתמשנו בה היא mutual\_info\_regression, המנקדת פיצ'רים בהתאם להערכת האנתרופיה שלהם [5].

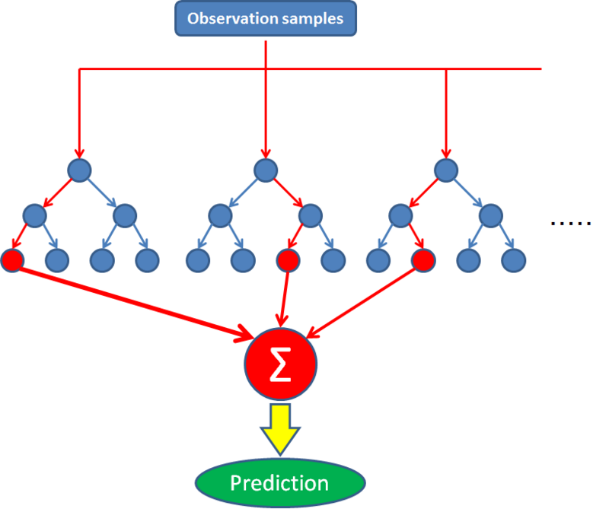
1. selectKExtraTree : מבוסס על ExtraTreeRegressor [6]. אלגוריתם זה בונה יער של עצי החלטה על פי ה-Data, ולאחר מכן דוגם את היער עם הדוגמאות ומפחית את הסיכון ל-overfitting. בדרך זו, הוא נותן ציון בין 0 ל-1 לכלל הפיצ'רים שעומדים לרשותו. תחת ההנחה זו, בחרנו את k הטובים ביותר.

אלגוריתמים :

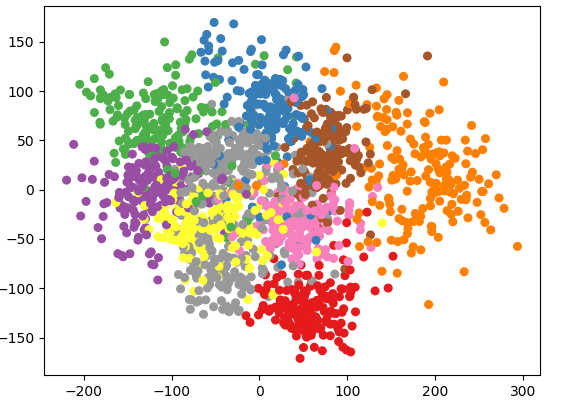
1. SVR : אלגוריתם Support Vector Regressor המבוסס על קירוב לינארי של דוגמאות. מטרתו למזער את סכום המרחקים הריבועיים (בעיית Least Squares) בין התיוגים האמיתיים לפרדיקציות של הדוגמאות במודל [7].



1. Random Forest : יער של עצי החלטה. בקבלת דוגמה חדשה כלל העצים מנסים לתת ציון לדוגמה, וההחלטה מתקבלת על פי ממוצע משוקלל שלהם [8].



1. KNN : מתן ציון לדוגמה על פי ממוצע של K השכנים הקרובים ביותר על פי תכונות מוגדרות ומרחק מוגדר.



ניסוי – מטא אלגוריתם :

1. לכל data מקבוצת Data Manipulation :
   1. לכל feature selector מקבוצת Feature Selection :
      1. לכל algorithm מקבוצת האלגוריתמים :
         1. לכל k (מספר הפיצ'רים) מ-1 עד כמות הפיצ'רים המקסימלית :
            1. הפעל את feature selector K על ה-data וקבל תת קבוצה של פיצ'רים.
            2. אמן את ה-algorithm על פי ה-data המצומצם לפי תת הקבוצה שנבחרה.
            3. בדוק את הדיוק על פי 5-Fold Cross Validation.

בתוצאות הניסוי נציע לכל data, feature selector ו-algorithm את ה-k האידיאלי בלבד.

תוצאות הניסוי :

לכל הרצה נתאר את רמת הדיוק של האלגוריתם שהתקבל ואת מספר הפיצ'רים שהאלגוריתם בחר, כאשר יש סך הכל 122 פיצ'רים זמינים.

רמת הדיוק באה לידי ביטוי בפונקציית MAE (Mean Absolute Error) - סכום הפרשי הערכים בין החיזוי למציאות [9]. כאמור, ככל שהערך שחוזר קטן יותר, כך הפרש הערכים קטן יותר, קרי החיזוי טוב יותר.

הפלט הגולמי של הניסוי מצורף בקובץ featureselectionRes.txt. בדו"ח זה נציג מידע סיכומי על התוצאות.

* Original Data :

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **KNN** | **Random Forest** | **SVM** |  | |
| 0.256 | 0.226 | 0.243 | *MAE* | **selectKBestFeatures** |
| 11 | 81 | 4 | *Features* |
| 0.23 | 0.225 | 0.234 | *MAE* | **selectKExtraTree** |
| 6 | 20 | 8 | *Features* |

* Normalized Data :

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **KNN** | **Random Forest** | **SVM** |  | |
| 0.252 | 0.226 | 0.243 | *MAE* | **selectKBestFeatures** |
| 12 | 81 | 39 | *Features* |
| 0.231 | 0.223 | 0.228 | *MAE* | **selectKExtraTree** |
| 5 | 22 | 13 | *Features* |

* Standardized Data :

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **KNN** | **Random Forest** | **SVM** |  | |
| 0.259 | 0.225 | 0.292 | *MAE* | **selectKBestFeatures** |
| 14 | 82 | 102 | *Features* |
| 0.231 | 0.227 | 0.229 | *MAE* | **selectKExtraTree** |
| 7 | 25 | 3 | *Features* |

מסקנות :

1. **selectKExtraTree** מביא לתוצאות טובות יותר (סטייה קטנה יותר) מ-selectKBestFeatures.

בגרף : ממוצע תוצאות של selectKExtraTree לעומת ממוצע תוצאות של selectKBestFeatures בכלל האלגוריתמים שנבדקו.

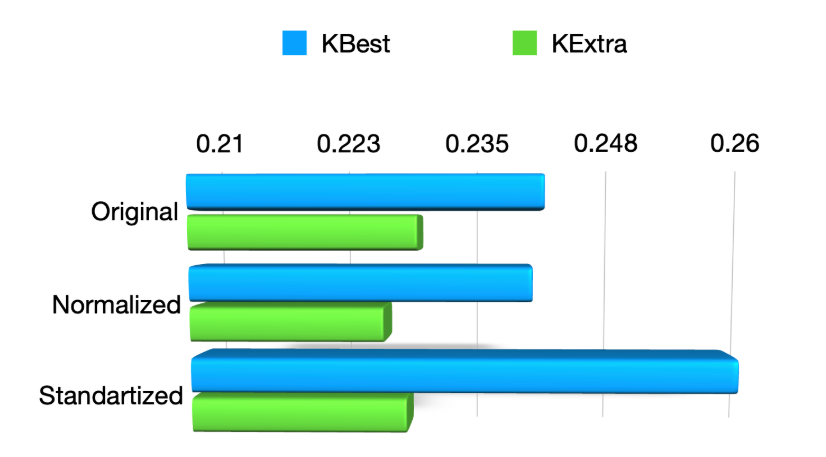


מודל Feature Selection

מרחק ממוצע של הטעות של ה-Regressor לפי MAE

1. **Normalized Data** מביא לתוצאות הטובות ביותר מבין כלל סוגי ה-Data.

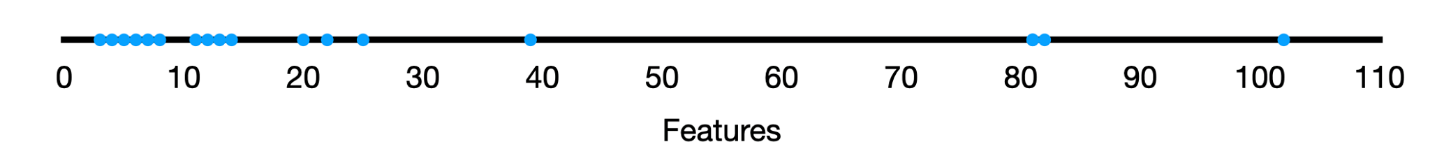
בגרף : ממוצע של Normalized data לעומת ממוצע של Original data Standardized data, בכלל האלגוריתמים שנבדקו.



Data Type

מרחק ממוצע של הטעות של ה-Regressor לפי MAE

1. האלגוריתמים לא מתאימים **לבעיות הקשורות באופן הדוק ל-Time Sequences.** ניתן לראות זאת הן **ברמת הדיוק הנמוכה** – מה שמעיד על יכולת דלה של הכללה, והן **ברמת השונות של מספר הפיצ'רים** שנלקחים בחשבון – מה שמעיד על אקראיות בסיווג.

בגרף : פיזור של מספר הפיצ'רים שנבחרו (קרי, k הטוב ביותר) בניסויים השונים שתוארו.

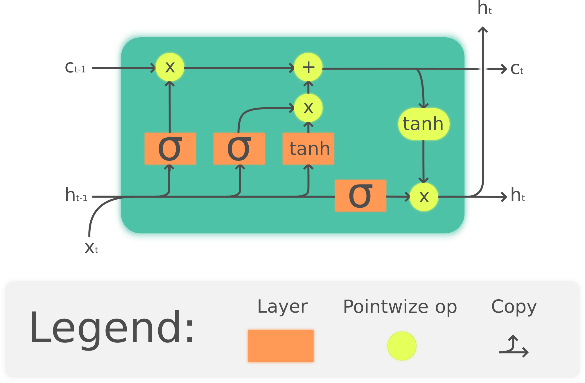
**חקירת הבעיה באמצעות Deep Learning Algorithms ובפרט LSTM**

רקע :

רשת LSTM [10] הינה ארכיטקטורת RNN (Recurrent Neural Network). בניגוד ל-FeedForward Neural Network, רשת נוירונים שמתייחסת לכל דוגמה כ-Single data point, ל-LSTM יש ממשק המכילFeedback connections, שמאפשרים לרשת להתייחס לאוסף הדוגמאות כאוסף סדרתי.

דוגמה טובה לכך היא ילד שרואה סרט ובו סצנה של שני אנשים רצים עם כדור. אם על סמך סצנות קודמות הוא יודע שמדובר בסרט על כדורסל, הוא יסיק שבסצנה ישחקו כדורסל בסבירות גבוהה. ההסקה הזו נובעת מההתייחסות לסצנה (הדוגמה) **כמידע עוקב לסצנות קודמות, ולא כ-Single data point.**

הייחוד העיקרי של LSTM הם האופרטורים בתוך תא ה-LSTM, שמאפשרים לו לזכור חלק מהמידע ולשכוח חלק אחר.



עקב כך, מספר מניפולציות קודמות שביצענו עשויות להשפיע, לטובה או לרעה, על רמת הדיוק של המסווג:

* **שימוש ב-data לא רציף** : כזכור, פיצלנו את ה-data על פי משברים. כתוצאה מכך LSTM מקבל דוגמאות רק מתקופות משבר והמידע איננו רציף.
* **שימוש ב"פוטנציאל הרווח"** : כזכור, הגדרנו "פוטנציאל רווח" כפונקציה של מחירי מינימום ומקסימום בתוך משבר מסוים. כלומר, פונקציית התיוג שלנו קשורה קשר הדוק בהיות ה-data מחולק למשברים. ויתור על החלוקה למשברים – משמעותו ויתור על נוסחת "פוטנציאל הרווח". את משמעות ויתור זה על הארכיטקטורה נפרט בהמשך.
* **שימוש ב-lookback** : לרשת LSTM, כפי שהוסבר, יש מנגנוני זיכרון מובנים, וניסיון "להעמיס" עליה זיכרון באופן ידני עשוי להביא למצב של כפילות מיותרת שתפגע בביצועים.
* **שימוש בנתונים חודשיים** : הנתונים החודשיים "נמרחים" בצורה זהה על פני ימים באותו חודש ועשויים להשפיע על התוצאות, כתכונות שאינן מפרידות היטב בין הדוגמאות.

בניסויים שיתוארו בהמשך נבחן את הנקודות הנ"ל, ונקבל החלטות לגביהן.

ניסויים :

נסמן מעתה : Predict – תוצאות המסווג על קבוצת מבחן. Ground Truth – תוצאות אמיתיות על הקבוצה.

על מנת לבחון את ההשפעות של הנקודות שהועלו לעיל, ולבחור אסטרטגיה להמשך, נבצע מספר ניסויים ובהם נבדוק את טיב התוצאות על קבוצת מבחן :

1. **שימוש ב-data רציף מול שימוש ב-data תלוי-משברים.** על מנת להשוות בין השניים, ננסה בכל יום לחזות את מחיר הסגירה של יום המסחר הבא (שכן פונקציית התיוג המקורית איננה מוגדרת היטב עבור data רציף). את מדידת הדיוק נבצע על סמך המרחק הממוצע וסטיית התקן של החיזוי של מחיר ה-Close מהתיוג האמיתי. כמו כן, נציג את התנהגות ה-Loss function [11] (מרחקהפרדיקציה מהאמת כפונקציה של מספר ה-epochs) בכל אחד מן המקרים. על סמך ההשוואה נקבל החלטה באיזה data להשתמש.

*תוצאה* :

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | **לא רציף** | **רציף** |
| Predict VS Ground Truth | מרחק Close ממוצע : 140.9$  סטיית תקן : 66$ | מרחק Close ממוצע : 89.4$  סטיית תקן : 76.3$ |
| Loss Function |  |  |

*מסקנה* :

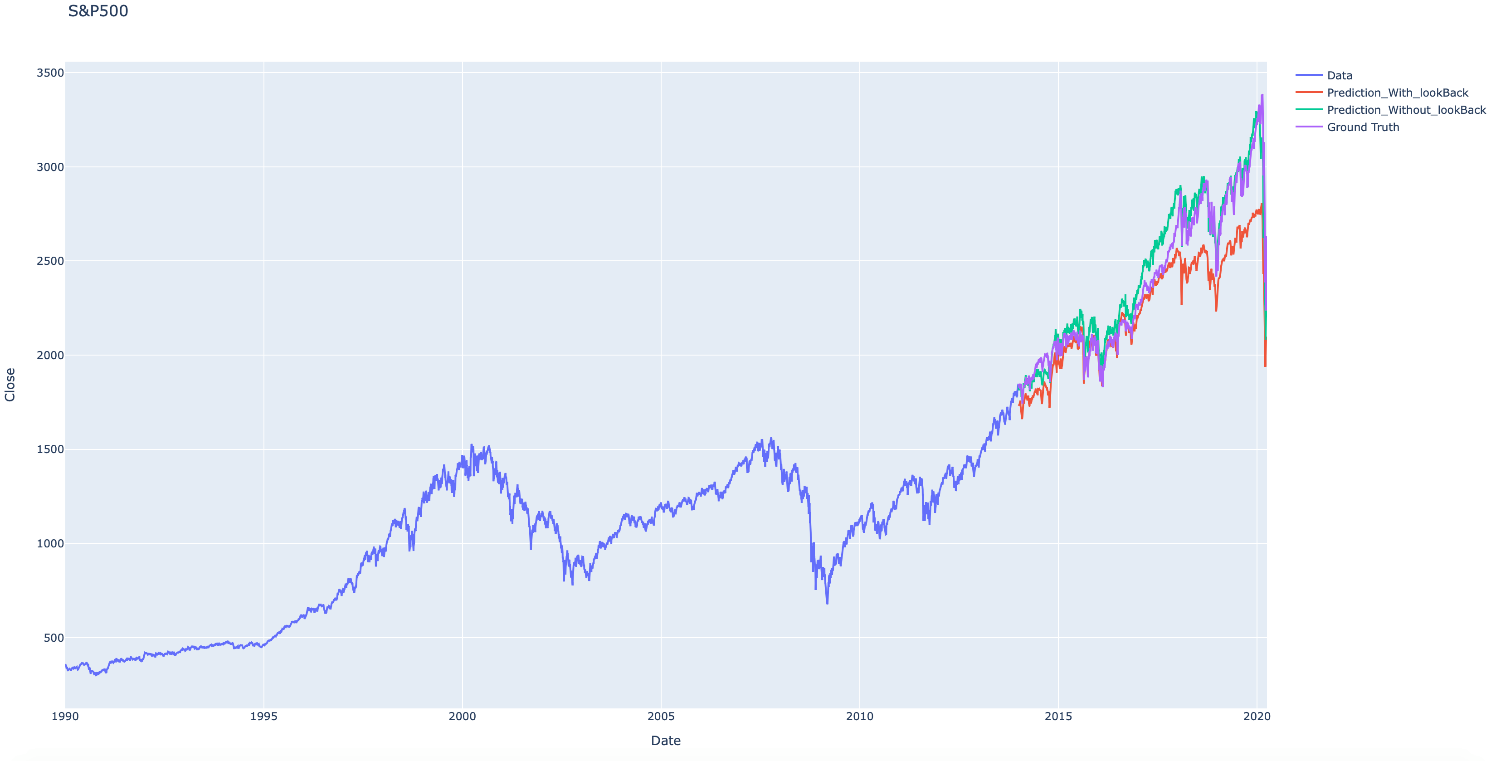
הרשת מתמודדת טוב יותר עם Data רציף. הסיבה לכך עשויות להיות רבות :

* הרציפות עצמה מסייעת למסווג בהסקת מסקנות מדויקות יותר.
* העלייה הדרמטית במספר הדוגמאות כתוצאה מכך שלא עושים filter out לימים שאינם במשבר (בערך פי 3 דוגמאות).

1. **שימוש ב-lookback אל מול אי שימוש**. ההבדל ב-data בא לידי ביטוי בכך שבשימוש ב-lookback, לכל דוגמה יש תכונות של מספר ימים אחורה, וללא ה-lookback אנו מוותרים על כך. את מדידת הדיוק נבצע ע"י השוואת שני החיזויים לתיוג האמיתי לאורך זמן.

*תוצאה :*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | **With Lookback** | **Without Lookback** |
| Predict VS Ground Truth | מרחק Close ממוצע : 161$  סטיית תקן : 138.3$ | מרחק Close ממוצע : 71.5$  סטיית תקן : 57.7$ |
| Loss Function |  |  |



תיוגים של דוגמאות האימון (Data)

תיוגים של דוגמאות המבחן (Ground Truth)

פרדיקציה של דוגמאות המבחן עם\בלי Lookback

*מסקנה* :

החיזויים ללא Lookback טובים יותר, ואת ההשוואות הבאות נעשה על בסיס נתונים ללא Lookback.

הערה – שימו לב ל-Scaling של פונקציות ה-Loss. אף על פי שלמראית עין With Lookback Loss Function נראית טובה יותר, בפועל הביצועים של Without Lookback Loss Function טובים משמעותית.

1. **שימוש בתכונות יומיות בלבד אל מול שימוש בתכונות יומיות וחודשיות יחד**. את מדידת הדיוק נבצע ע"י השוואת שני החיזויים לתיוג האמיתי לאורך זמן.

*תוצאה :*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | **With Month Attributes** | **Without Month Attributes** |
| Predict VS Ground Truth | מרחק Close ממוצע : 48.9$  סטיית תקן : 41.2$ | מרחק Close ממוצע : 92.9$  סטיית תקן : 88.6$ |
| Loss Function |  |  |



תיוגים של דוגמאות המבחן (Ground Truth)

פרדיקציה של דוגמאות המבחן עם\בלי תכונות חודשיות

תיוגים של דוגמאות האימון (Data)

*מסקנה :*

על אף פי שהתכונות החודשיות נמרחות על פני הימים השונים, הן מסייעות משמעותית בסיווג, וכדאי להשאיר אותן.

המסקנה הכוללת מהניסויים היא שאסטרטגיית הלמידה היא הבאה :

* נשתמש ב-Data רציף ולא תלוי משברים.
* **נחזה את מחיר ה-Close ולא את פוטנציאל הרווח**. היות שראינו בניסויים שחכם יותר להשתמש ב-Data רציף, נעבור לחזות את מחיר ה-Close, שכן פוטנציאל הרווח לא מוגדר היטב במקרה כזה. בהמשך נסביר איך נגדיר מחדש את מושג פוטנציאל הרווח במקרה כזה.
* נחזה על סמך התכונות ללא Lookback.
* ניקח בחשבון את התכונות החודשיות.

Hyper Parameters Tuning :

כעת, כשבחרנו אסטרטגיה, יש מספר היפר-פרמטרים באלגוריתמים שניתן לכוונן על סמך ביצועים. על מנת להגיע לרמת הסיווג המיטבית, בדקנו את כל הפרמוטציות שבאות לידי ביטוי בטווח הערכים הבא :

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Description** | **Possible Values** | **Parameter** |
| מספר מחזורי האימון של הרשת. | 18,22,26,30 | Epochs |
| מספר דוגמאות האימון בכל סיבוב. | 32,48,64,72,96 | Batch Size |
| מספר היחידות בתוך תא LSTM. | 30,40,50,60,70,80 | Units |

מדובר בבעיית אופטימיזציה ארבע-מימדית – רמת הדיוק של המסווג כפונקציה של שלושה פרמטרים. לכן, במקום לנתח את התוצאות על פני טבלה, נשתמש ב"מפת חום". ככל שהתוצאה מרשימה יותר – היא תהיה ירוקה יותר במפה. תוצאות גרועות במיוחד יסומנו באדום. המוטיבציה לשימוש בשיטה זו נעוצה בכך שהרשת מחזירה תוצאות באופן לא דטרמינסטי – ולכן נרצה לראות "אזורים" מוצלחים של תחומי ערכים לפרמטרים, ולאו דווקא ריצה מושלמת אחת.

פונקציית הדיוק תלויה בשני פרמטרים :

* Mean : המרחק הממוצע בין ה-label המקורי לבין prediction label.
* Std : סטיית התקן של המרחק ביניהם.

והרי התוצאות :

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **(Epochs, batch size, units)** | **Mean** | **std** | **(Epochs, batch size, units)** | **Mean** | **std** | **(Epochs, batch size, units)** | **Mean** | **std** | **(Epochs, batch size, units)** | **Mean** | **Std** |
| (18,32,30) | 94.3 | 78.9 | (22,32,30) | 230.8 | 194.5 | (26,32,30) | 70.1 | 81.4 | (30,32,30) | 213.2 | 195.4 |
| (18,32,40) | 73.1 | 57.4 | (22,32,40) | 64.7 | 75.6 | (26,32,40) | 50.8 | 61.4 | (30,32,40) | 170.5 | 158.6 |
| (18,32,50) | 58.7 | 65.3 | (22,32,50) | 64.2 | 64.4 | (26,32,50) | 70.8 | 87.9 | (30,32,50) | 235.7 | 187.3 |
| (18,32,60) | 176.2 | 114.8 | (22,32,60) | 115.4 | 73.1 | (26,32,60) | 60 | 57.7 | (30,32,60) | 91.6 | 105.2 |
| (18,32,70) | 57.1 | 38.5 | (22,32,70) | 106.8 | 71 | (26,32,70) | 56 | 66.9 | (30,32,70) | 116.1 | 83.2 |
| (18,32,80) | 114.5 | 124.7 | (22,32,80) | 175.5 | 114.5 | (26,32,80) | 121 | 115.4 | (30,32,80) | 242.3 | 203.1 |
| (18,48,30) | 288.6 | 158.7 | (22,48,30) | 302.7 | 154.8 | (26,48,30) | 383.8 | 180.8 | (30,48,30) | 73.1 | 69 |
| (18,48,40) | 287 | 202.6 | (22,48,40) | 147.3 | 135.3 | (26,48,40) | 167.3 | 112.1 | (30,48,40) | 112.2 | 91.5 |
| (18,48,50) | 88.3 | 51.5 | (22,48,50) | 278.8 | 186.4 | (26,48,50) | 214.9 | 132.6 | (30,48,50) | 296.1 | 142 |
| (18,48,60) | 285.9 | 140.2 | (22,48,60) | 240.7 | 150.6 | (26,48,60) | 152.1 | 123.9 | (30,48,60) | 140.1 | 99.5 |
| (18,48,70) | 164 | 81.5 | (22,48,70) | 107.6 | 73 | (26,48,70) | 86 | 62.5 | (30,48,70) | 343 | 174.3 |
| (18,48,80) | 75.3 | 41.4 | (22,48,80) | 54.7 | 57.2 | (26,48,80) | 245 | 156.2 | (30,48,80) | 171.3 | 139.5 |
| (18,64,30) | 435.3 | 178.4 | (22,64,30) | 65.8 | 58.7 | (26,64,30) | 94.9 | 68.1 | (30,64,30) | 108.8 | 67 |
| (18,64,40) | 181.3 | 84.1 | (22,64,40) | 248.2 | 103.2 | (26,64,40) | 111.5 | 75 | (30,64,40) | 111.2 | 56.1 |
| (18,64,50) | 396.4 | 152.8 | (22,64,50) | 120.4 | 67 | (26,64,50) | 121.5 | 75.5 | (30,64,50) | 125.7 | 64.8 |
| (18,64,60) | 190.9 | 145 | (22,64,60) | 50.7 | 45.9 | (26,64,60) | 184.3 | 106.5 | (30,64,60) | 84.5 | 53.2 |
| (18,64,70) | 343.8 | 130.9 | (22,64,70) | 107.6 | 71.4 | (26,64,70) | 99.5 | 62 | (30,64,70) | 112.1 | 54.6 |
| (18,64,80) | 320.6 | 140.7 | (22,64,80) | 52.6 | 42 | (26,64,80) | 181.1 | 98.3 | (30,64,80) | 185.3 | 87.9 |
| (18,72,30) | 149.2 | 83 | (22,72,30) | 54.5 | 42.1 | (26,72,30) | 182.9 | 96.5 | (30,72,30) | 91.2 | 97.6 |
| (18,72,40) | 79.1 | 75.4 | (22,72,40) | 64.3 | 42.9 | (26,72,40) | 88.1 | 53 | (30,72,40) | 177.8 | 106 |
| (18,72,50) | 160.6 | 52.7 | (22,72,50) | 182.7 | 110.6 | (26,72,50) | 233.6 | 119.2 | (30,72,50) | 95.8 | 108 |
| (18,72,60) | 176.1 | 74.4 | (22,72,60) | 74.1 | 56.1 | (26,72,60) | 135.2 | 73.6 | (30,72,60) | 258.4 | 130.6 |
| (18,72,70) | 229.7 | 83.5 | (22,72,70) | 122.1 | 60.8 | (26,72,70) | 132.2 | 69.5 | (30,72,70) | 59 | 49.1 |
| (18,72,80) | 251.1 | 112.2 | (22,72,80) | 52.5 | 44.5 | (26,72,80) | 178.8 | 96.2 | (30,72,80) | 130.6 | 75.4 |
| (18,96,30) | 87.5 | 58.1 | (22,96,30) | 148.2 | 155.2 | (26,96,30) | 343.5 | 222.5 | (30,96,30) | 327.6 | 190 |
| (18,96,40) | 84.8 | 52.2 | (22,96,40) | 75.2 | 46.8 | (26,96,40) | 108.2 | 118.5 | (30,96,40) | 356 | 223.5 |
| (18,96,50) | 46.1 | 41.4 | (22,96,50) | 126.2 | 74.5 | (26,96,50) | 147.2 | 69.7 | (30,96,50) | 429.2 | 250.9 |
| (18,96,60) | 143.6 | 85.4 | (22,96,60) | 183.9 | 116.5 | (26,96,60) | 185.3 | 68.5 | (30,96,60) | 163.6 | 173.5 |
| (18,96,70) | 57.5 | 49.4 | (22,96,70) | 142.6 | 90.5 | (26,96,70) | 118 | 83.6 | (30,96,70) | 131.1 | 65.8 |
| (18,96,80) | 183.7 | 104.3 | (22,96,80) | 178.5 | 114.1 | (26,96,80) | 258.4 | 218.3 | (30,96,80) | 122.5 | 92.8 |

*מסקנות*

* קבוצת הפרמטרים (Epochs=18,Batch Size=96, Units=50) מביאה לתוצאות האידיאליות ביותר בריצה הנ"ל.
* עבור תוצאות סיווג אידיאליות, קיים יחס הפוך בין Epochs ל-Batch Size. כך למשל, התוצאות הטובות ביותר התקבלו עבור (Epochs=22, Batch Size=72) ועבור (Epochs=26, Batch Size=32).
* נבחר את המסווג עם הפרמטרים (Epochs=26, Batch Size=32, Units=70).
* על מנת להמחיש את ההבדל בביצועים, נשווה בין זוג מסווגים – המסווג הנבחר, ומסווג שנתן תוצאות גרועות :



Ground Truth

Prediction

Training Data



Prediction

Ground Truth

Training Data

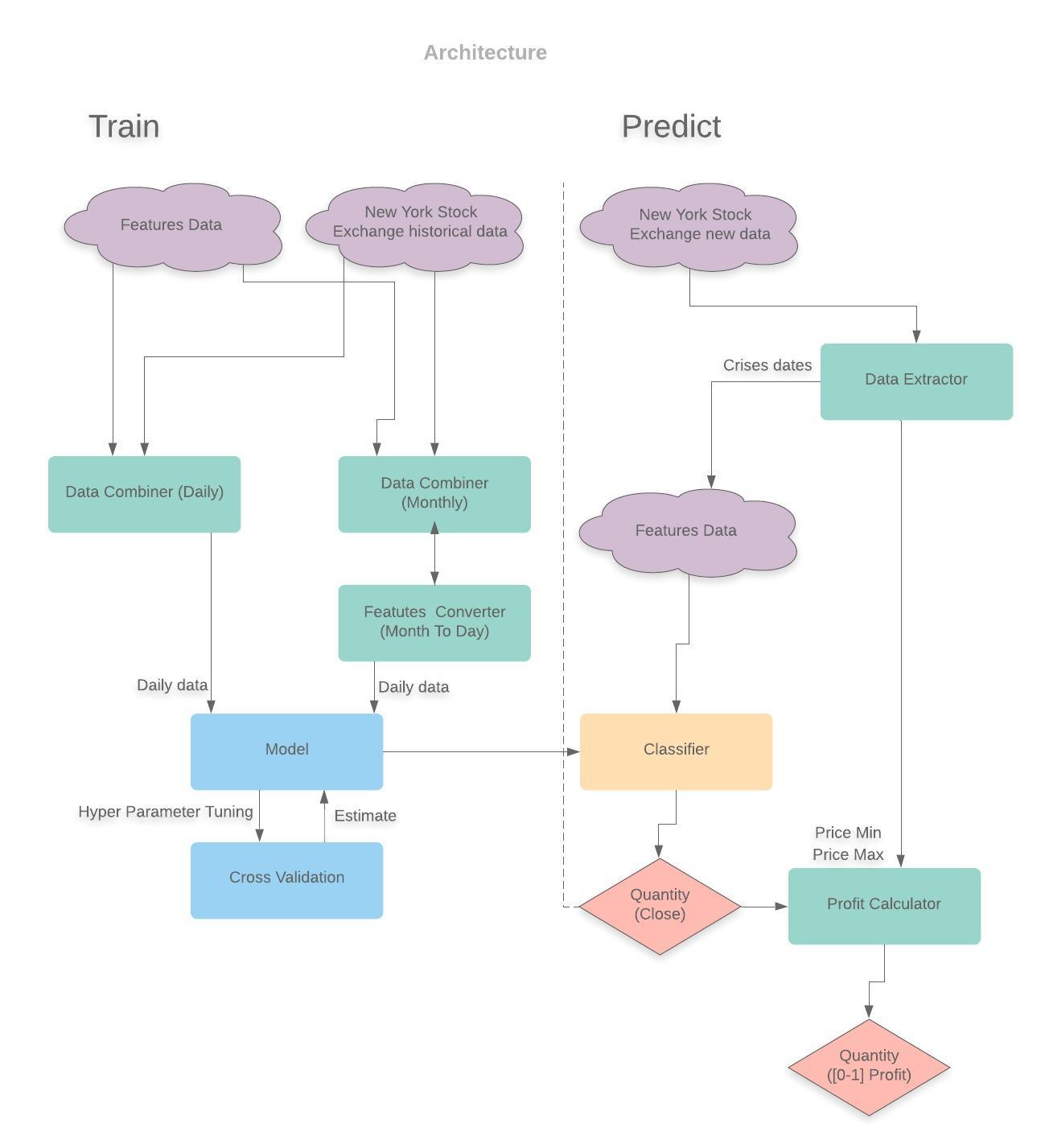
שינויים בארכיטקטורה כתוצאה משימוש ב-Data שאינו מחולק למשברים

כזכור, בפרק "תיאור הפתרון", בהסבר על פונקציית פוטנציאל הרווח, התבססנו על הפרמטריםprofitpot, pricemax, pricemin. הפרמטרים האלה מוגדרים היטב כל עוד ה-Data מחולק למשברים, אך בסעיף זה הראינו שמשתלם לאמן את המסווג על Data רציף. במקרה כזה, הפרמטרים הנ"ל לא מוגדרים היטב.

לכן, נשנה את הארכיטקטורה באופן הבא :

* **האימון (train)** אשר מתבצע על Data רציף של כל ימי המסחר, לא יקח בחשבון את הפרמטרים הללו, וכן כפי שהראינו, יחזה את מחיר הסגירה Close, במקום את פונקציית פוטנציאל הרווח.
* **הסיווג (predict)** יחזה את מחיר הסגירה Close לכל יום מסחר. ואז באופן ידני, לכל יום שנמצא בזמן תקופת משבר, נחשב על סמך החיזוי את פונקציית פוטנציאל הרווח המתאימה, כאשר :
  + pricemax – המחיר ממנו הבורסה "צנחה" טרם תקופת המשבר.
  + pricemin – מחיר המינימום אליו צנח המשבר **עד כה**.

וכך, נוכל עדיין לענות על השאלה המקורית ולהתמחות באסטרטגיית מסחר לימי משבר, ומאידך לא לוותר על Data שחיוני לאימון ולדיוק של המסווג. במבט על :



**יישום אסטרטגיית מסחר על סמך תוצאות המסווג**

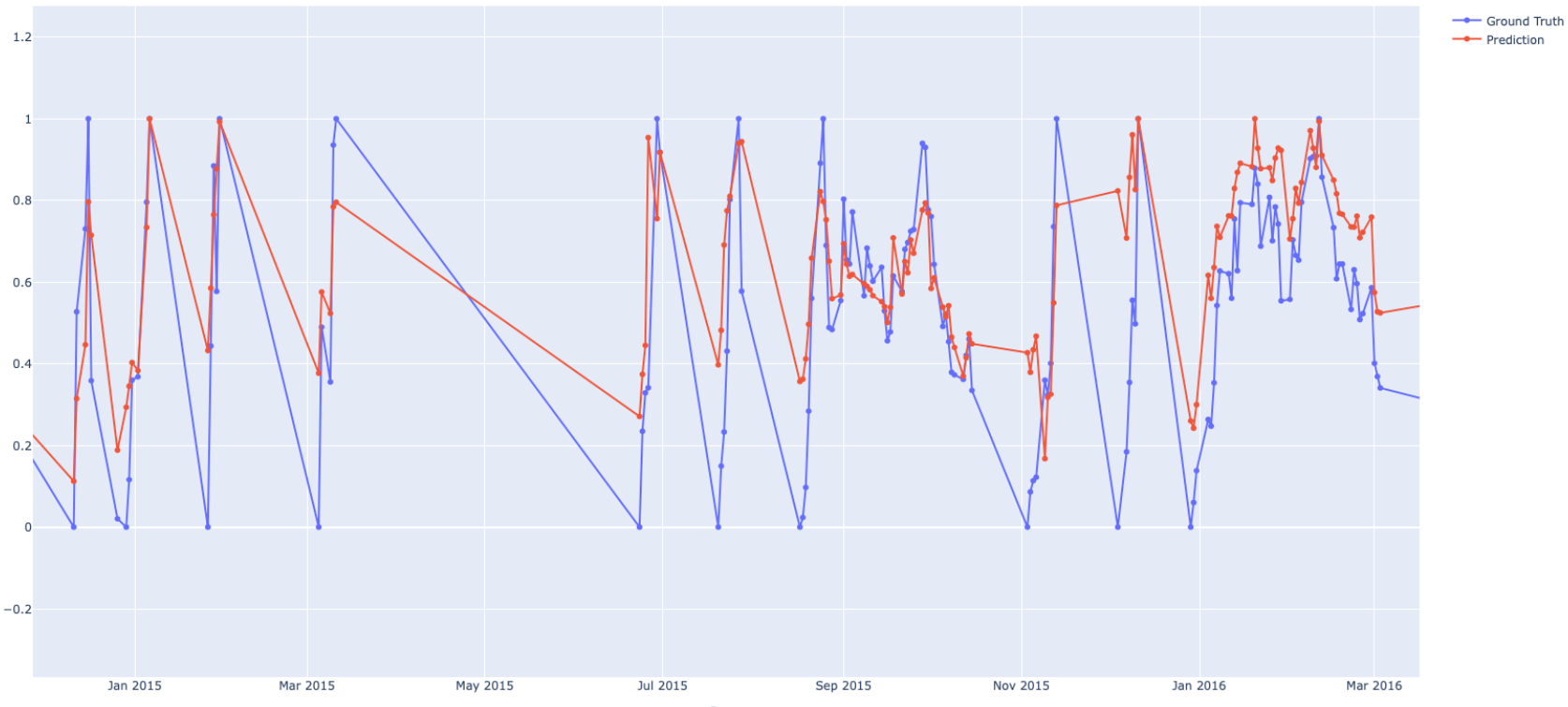
רקע

בחלק זה נחזור להשתמש בפונקציית פוטנציאל הרווח שהגדרנו. המשמעות היא שהמסווג ייתן ציונים בין 0 ל-1 לימים במהלך משבר, וככל שהציון גבוה יותר, כך לכאורה פוטנציאל הרווח עולה.

שאלה שעשויה להישאל היא איך מחלצים את פוטנציאל הרווח ממחיר הסגירה, שכן כפי שראינו בחלק הקודם, הרשת חזתה את מחיר הסגירה (Close) ולא את הפוטנציאל. התשובה לכך, אם כן, נעוצה בשינוי הארכיטקטורה שעשינו. חיזוי פוטנציאל הרווח יחושב מהחיזוי של Close, כשם שפוטנציאל הרווח האמיתי חושב מה-Close. כלומר :

הערה : להבדיל מפוטנציאל הרווח האמיתי, חיזוי פוטנציאל הרווח לאו דווקא יהיה בין 0 ל-1 (היות שהוא מבוסס על מחירי סגירה שחזינו ואינם מדויקים). עקב כך, תוצאות המסווג עבור פוטנציאל הרווח ינורמלו.

את התוצאות הנ"ל נרצה לתרגם לאסטרטגיית מסחר. בחלק זה נציע מספר אסטרטגיות שמהוות נוסחה סגורה, ומסתמכות על ניבויי המסווג בלבד. נבחן את ביצועי האסטרטגיות האלה בהינתן סכום כסף מסוים ותחת משברים מקבוצת ה-test שלנו. כלומר, נבדוק, בהינתן סכום התחלתי של 100K ואסטרטגית מסחר, כמה כסף הצלחנו להרוויח במהלך משבר מסוים.

בגרף : snapshot של ביצועי המסווג עבור תקופות משבר מסוימות מתוך קבוצת ה-test.

Prediction

Ground Truth

הערה : בעמודים הבאים נציג מספר אסטרטגיות מסחר התלויות בפרמטרים k, k1, k2, k3. אלו הם היפר פרמטרים של האסטרטגיות, ובהמשך נבצע ניסויים והערכת ביצועים על מספר ערכים שונים שלהם, כדי להגיע לקבוצת ערכים עבורם האסטרטגיות אופטימליות.

אסטרטגיה #1 – All In Strategy

משקיעים יחכו ליום שהמסווג יציין כפוטנציאלי במיוחד, ויקנו מניות בכל כספם ביום זה. לאחר מכן, ימתינו ליום שהמסווג מחשיב כשיא (ציון נמוך במיוחד) וימכרו הכל.

יתרונות :

* התאמה לאנשים שלא רוצים להתעסק במסחר יום-יומי.
* השקעת הכסף בנקודה יחסית בטוחה ומימוש בנקודה משתלמת.

חסרונות :

* טעות במסווג תעלה ביוקר.
* משקיעים רבים מאמינים שיש להיכנס לשוק בפעימות ולא בבת אחת. ככל הנראה משקיעים מהסוג הזה פחות יתחברו לאסטרטגיית המסחר הזו.

אלגוריתם :

1. בכל יום, חשב את פוטנציאל הרווח profit\_day.
2. קנה בכל כספך את נייר הערך ביום הראשון בו profit\_day גדול מ-k1.
3. ממש בכל כספך את נייר הערך ביום הראשון בו profit\_day קטן מ-k2.

אסטרטגיה #2 – Gradient Strategy

בכל יום נשווה את הציון לציון של היום הקודם. עלייה בציון תיחשב לעלייה בפוטנציאל (כמתבקש כפי שהגדרנו את פוטנציאל הרווח) ולכן נשקיע. ירידה בציון תיחשב לירידה בפוטנציאל ולכן נממש. סכום הקנייה\המימוש יהיה ביחס ישר להפרש בין הימים.

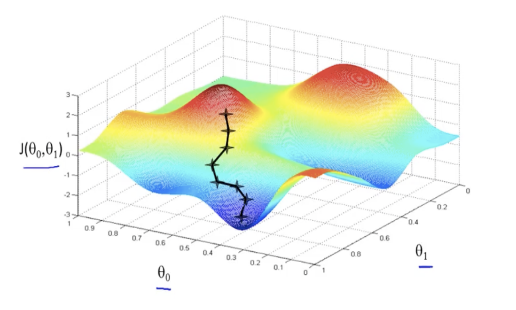
יתרונות :

* פיזור וכניסה לשוק בפעימות.
* מעט הסתמכות על ביצועי המסווג ביחס למציאות, ויותר הסתמכות על ביצועי המסווג ביחס לעצמו (ביום האתמול)

חסרונות :

* רצף ימי שפל עשויים להתפספס בעקבות פער נמוך בין כל יום לקודמו.
* עיסוק רציף ויומיומי (לא מתאים לכולם).

אלגוריתם :

1. בכל יום, חשב את פוטנציאל הרווח profit\_day, ואת פוטנציאל הרווח של אתמול profit\_yesterday.
2. נסמן : profit\_gradient – הפרש הפוטנציאלים. invested\_money – סכום הכסף המושקע ברגע נתון. uninvested\_money – סכום הכסף שנותר לא מושקע ברגע נתון.
3. בכל יום בו profit\_day גדול מ- profit\_yesterday :
   1. סכום הכסף להשקעה = uninvested\_money \* abs(profit\_gradient)k.
4. בכל יום בו profit\_day קטן מ-profit\_yesterday :
   1. סכום הכסף למימוש = invested\_money \* abs(profit\_gradient)k.

אסטרטגיה #3 – Calculated Risk Strategy

נגדיר סף מינימום להשקעה וסף מקסימום למימוש. בכל יום בו פוטנציאל הרווח גדול מסף המינימום, נשקיע ביחס ישר לפוטנציאל היומי. בכל יום בו פוטנציאל הרווח קטן מסף המקסימום, נממש ביחס הפוך לפוטנציאל היומי (שכן ככל שהציון קטן יותר, כך השפל עמוק יותר מהגדרת פוטנציאל הרווח)

יתרונות :

* פיזור וכניסה לשוק בפעימות.
* מתמודד היטב עם רצפים (הן של ימי שיא והן של ימי שפל)

חסרונות :

* חוסר דיוק של המסווג עשוי להביא לכישלון חרוץ.
* עיסוק רציף ויומיומי (לא מתאים לכולם).

אלגוריתם :

1. בכל יום, חשב את פוטנציאל הרווח profit\_day.
2. נסמן : invested\_money – סכום הכסף המושקע ברגע נתון. uninvested\_money – סכום הכסף שנותר לא מושקע ברגע נתון.
3. בכל יום בו profit\_day גדול מ-k1 :
   1. סכום הכסף להשקעה = uninvested\_money \* profit\_day \* k3.
4. בכל יום בו profit\_day קטן מ-k2 :
   1. סכום הכסף למימוש = invested\_money \* (1- profit\_day) \* k3.

תוצאות

נבחן את האסטרטגיות שהצגנו תחת ערכי k, k1, k2, k3 שונים ועבור תקופת משבר שנבחרה אקראית.

אסטרטגיה #1 :

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Date** | **Close** | **Label** | **#1 (k1=0.6, k2=0.7)** | **#2 (k1=0.6, k2=0.6)** | **#3 (k1=0.6, k2=0.5)** |
| 7/27/2015 | 2067.639893 |  |  |  |  |
| 7/28/2015 | 2093.25 |  |  |  |  |
| 8/17/2015 | 2102.439941 | 0.379858469 |  |  |  |
| 8/18/2015 | 2096.919922 | 0.391843538 |  |  |  |
| 8/19/2015 | 2079.610107 | 0.502045245 |  |  |  |
| 8/20/2015 | 2035.72998 | 0.690282973 | Buy 100k (+49 Stocks) | Buy 100k (+49 Stocks) | Buy 100k (+49 Stocks) |
| 8/21/2015 | 1970.890015 | 1 |  |  |  |
| 8/24/2015 | 1893.209961 | 1 |  |  |  |
| 8/25/2015 | 1867.609985 | 1 |  |  |  |
| 8/26/2015 | 1940.51001 | 1 |  |  |  |
| 8/27/2015 | 1987.660034 | 1 |  |  |  |
| 8/28/2015 | 1988.869995 | 0.829279827 |  |  |  |
| 8/31/2015 | 1972.180054 | 0.848891757 |  |  |  |
| 9/1/2015 | 1913.849976 | 1 |  |  |  |
| 9/2/2015 | 1948.859985 | 1 |  |  |  |
| 9/3/2015 | 1951.130005 | 0.950947818 |  |  |  |
| 9/4/2015 | 1921.219971 | 0.960579123 |  |  |  |
| 9/8/2015 | 1969.410034 | 0.911222847 |  |  |  |
| 9/9/2015 | 1942.040039 | 0.895871396 |  |  |  |
| 9/10/2015 | 1952.290039 | 0.877438427 |  |  |  |
| 9/11/2015 | 1961.050049 | 0.845733305 |  |  |  |
| 9/14/2015 | 1953.030029 | 0.813342015 |  |  |  |
| 9/15/2015 | 1978.089966 | 0.786745725 |  |  |  |
| 9/16/2015 | 1995.310059 | 0.700119088 |  |  |  |
| 9/17/2015 | 1990.199951 | 0.782091219 |  |  |  |
| 9/18/2015 | 1958.030029 | 1 |  |  |  |
| 9/21/2015 | 1966.969971 | 0.854536009 |  |  |  |
| 9/22/2015 | 1942.73999 | 1 |  |  |  |
| 9/23/2015 | 1938.76001 | 0.969649017 |  |  |  |
| 9/24/2015 | 1932.23999 | 1 |  |  |  |
| 9/25/2015 | 1931.339966 | 1 |  |  |  |
| 9/28/2015 | 1881.77002 | 1 |  |  |  |
| 9/29/2015 | 1884.089966 | 1 |  |  |  |
| 9/30/2015 | 1920.030029 | 1 |  |  |  |
| 10/1/2015 | 1923.819946 | 0.88423357 |  |  |  |
| 10/2/2015 | 1951.359985 | 0.94203803 |  |  |  |
| 10/5/2015 | 1987.050049 | 0.78270773 |  |  |  |
| 10/6/2015 | 1979.920044 | 0.730801197 |  |  |  |
| 10/7/2015 | 1995.829956 | 0.79087313 |  |  |  |
| 10/8/2015 | 2013.430054 | 0.61976777 | Sell 49 Stocks (+98.6k) |  |  |
| 10/9/2015 | 2014.890015 | 0.564447031 |  | Sell 49 Stocks (+98.7k) |  |
| 10/12/2015 | 2017.459961 | 0.408569404 |  |  | Sell 49 Stocks (+98.9k) |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Date** | **Close** | **Label** | **#4 (k1=1, k2=0.5)** | **#5 (k1=0.8, k2=0.6)** |
| 7/27/2015 | 2067.639893 |  |  |  |
| 7/28/2015 | 2093.25 |  |  |  |
| 8/17/2015 | 2102.439941 | 0.379858469 |  |  |
| 8/18/2015 | 2096.919922 | 0.391843538 |  |  |
| 8/19/2015 | 2079.610107 | 0.502045245 |  |  |
| 8/20/2015 | 2035.72998 | 0.690282973 |  |  |
| 8/21/2015 | 1970.890015 | 1 | Buy 100k (+50.7 Stocks) | Buy 100k (+50.7 Stocks) |
| 8/24/2015 | 1893.209961 | 1 |  |  |
| 8/25/2015 | 1867.609985 | 1 |  |  |
| 8/26/2015 | 1940.51001 | 1 |  |  |
| 8/27/2015 | 1987.660034 | 1 |  |  |
| 8/28/2015 | 1988.869995 | 0.829279827 |  |  |
| 8/31/2015 | 1972.180054 | 0.848891757 |  |  |
| 9/1/2015 | 1913.849976 | 1 |  |  |
| 9/2/2015 | 1948.859985 | 1 |  |  |
| 9/3/2015 | 1951.130005 | 0.950947818 |  |  |
| 9/4/2015 | 1921.219971 | 0.960579123 |  |  |
| 9/8/2015 | 1969.410034 | 0.911222847 |  |  |
| 9/9/2015 | 1942.040039 | 0.895871396 |  |  |
| 9/10/2015 | 1952.290039 | 0.877438427 |  |  |
| 9/11/2015 | 1961.050049 | 0.845733305 |  |  |
| 9/14/2015 | 1953.030029 | 0.813342015 |  |  |
| 9/15/2015 | 1978.089966 | 0.786745725 |  |  |
| 9/16/2015 | 1995.310059 | 0.700119088 |  |  |
| 9/17/2015 | 1990.199951 | 0.782091219 |  |  |
| 9/18/2015 | 1958.030029 | 1 |  |  |
| 9/21/2015 | 1966.969971 | 0.854536009 |  |  |
| 9/22/2015 | 1942.73999 | 1 |  |  |
| 9/23/2015 | 1938.76001 | 0.969649017 |  |  |
| 9/24/2015 | 1932.23999 | 1 |  |  |
| 9/25/2015 | 1931.339966 | 1 |  |  |
| 9/28/2015 | 1881.77002 | 1 |  |  |
| 9/29/2015 | 1884.089966 | 1 |  |  |
| 9/30/2015 | 1920.030029 | 1 |  |  |
| 10/1/2015 | 1923.819946 | 0.88423357 |  |  |
| 10/2/2015 | 1951.359985 | 0.94203803 |  |  |
| 10/5/2015 | 1987.050049 | 0.78270773 |  |  |
| 10/6/2015 | 1979.920044 | 0.730801197 |  |  |
| 10/7/2015 | 1995.829956 | 0.79087313 |  |  |
| 10/8/2015 | 2013.430054 | 0.61976777 |  |  |
| 10/9/2015 | 2014.890015 | 0.564447031 |  | Sell 50.7 Stocks (+102.1k) |
| 10/12/2015 | 2017.459961 | 0.408569404 | Sell 50.7 Stocks (+102.2k) |  |

בסיום המשבר, מימשנו את כל כספנו וישנו הפסד זעיר של כ-1%-2% כתלות ביום המדויק בו מימשנו (הפרמטר k2). ניתן לראות שהגדלה של k1 תסייע לשיפור. ננסה זאת :

בסיום המשבר, מימשנו את כל כספנו וישנו רווח זעיר של כ-2%, כתלות ביום המדויק בו מימשנו (הפרמטר k2).

אסטרטגיה #2 :

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Date** | **Close** | **Label** | **Gradient** | **Actions (k=1)** | **uninvested** | **invested** | **Stocks** |
| 8/17/2015 | 2102.439941 | 0.379858469 | 0.011985069 |  | 100k | 0k |  |
| 8/18/2015 | 2096.919922 | 0.391843538 | 0.110201707 | Buy 11k (+5.2 Stocks) | 89k | 11k | 5.2 |
| 8/19/2015 | 2079.610107 | 0.502045245 | 0.188237728 | Buy 16k (+7.7 Stocks) | 73k | 27k | 12.9 |
| 8/20/2015 | 2035.72998 | 0.690282973 | 0.309717027 | Buy 22k (+10.8 Stocks) | 51k | 49k | 23.7 |
| 8/21/2015 | 1970.890015 | 1 | 0 |  |  |  |  |
| 8/24/2015 | 1893.209961 | 1 | 0 |  |  |  |  |
| 8/25/2015 | 1867.609985 | 1 | 0 |  |  |  |  |
| 8/26/2015 | 1940.51001 | 1 | 0 |  |  |  |  |
| 8/27/2015 | 1987.660034 | 1 | -0.170720173 | Sell 4.2 Stocks (+8.3k) | 59.3k | 40.7k | 19.5 |
| 8/28/2015 | 1988.869995 | 0.829279827 | 0.01961193 | Buy 1k (+0.5 Stocks) | 58.3k | 41.7k | 20 |
| 8/31/2015 | 1972.180054 | 0.848891757 | 0.151108243 | Buy 9k (+4.4 Stocks) | 49.3k | 50.7k | 24.4 |
| 9/1/2015 | 1913.849976 | 1 | 0 |  |  |  |  |
| 9/2/2015 | 1948.859985 | 1 | -0.049052182 | Sell 1.3 Stocks (+2.5k) | 51.8k | 48.2k | 21.9 |
| 9/3/2015 | 1951.130005 | 0.950947818 | 0.009631304 | Buy 0k (+0 Stocks) | 51.8k | 48.2k | 21.9 |
| 9/4/2015 | 1921.219971 | 0.960579123 | -0.049356276 | Sell 1.3 Stocks (+2.6k) | 54.4k | 45.6k | 20.6 |
| 9/8/2015 | 1969.410034 | 0.911222847 | -0.015351451 | Sell 0 Stocks (+0k) | 54.4k | 45.6k | 20.6 |
| 9/9/2015 | 1942.040039 | 0.895871396 | -0.018432969 | Sell 0 Stocks (+0k) | 54.4k | 45.6k | 20.6 |
| 9/10/2015 | 1952.290039 | 0.877438427 | -0.031705122 | Sell 0.7 Stocks (+1.3k) | 55.7k | 44.3k | 19.9 |
| 9/11/2015 | 1961.050049 | 0.845733305 | -0.03239129 | Sell 0.7 Stocks (+1.3k) | 57k | 43k | 19.2 |
| 9/14/2015 | 1953.030029 | 0.813342015 | -0.026596289 | Sell 0.6 Stocks (+1.1k) | 58.1k | 41.9k | 18.6 |
| 9/15/2015 | 1978.089966 | 0.786745725 | -0.086626637 | Sell 1.6 Stocks (+3.3k) | 61.4k | 38.6k | 17 |
| 9/16/2015 | 1995.310059 | 0.700119088 | 0.08197213 | Buy 4.9k (+2.4 Stocks) | 56.5k | 43.5k | 19.4 |
| 9/17/2015 | 1990.199951 | 0.782091219 | 0.217908781 | Buy 11.3k (+5.7 Stocks) | 45.2k | 54.8k | 25.1 |
| 9/18/2015 | 1958.030029 | 1 | -0.145463991 | Sell 3.9 Stocks (+7.6k) | 52.8k | 47.2k | 21.2 |
| 9/21/2015 | 1966.969971 | 0.854536009 | 0.145463991 | Buy 6.6k (+3.4 Stocks) | 46.2k | 53.8k | 24.6 |
| 9/22/2015 | 1942.73999 | 1 | -0.030350983 | Sell 0.8 Stocks (+1.6k) | 47.8k | 52.2k | 23.8 |
| 9/23/2015 | 1938.76001 | 0.969649017 | 0.030350983 | Buy 1.4k (+0.7 Stocks) | 46.4k | 53.6k | 24.5 |
| 9/24/2015 | 1932.23999 | 1 | 0 |  |  |  |  |
| 9/25/2015 | 1931.339966 | 1 | 0 |  |  |  |  |
| 9/28/2015 | 1881.77002 | 1 | 0 |  |  |  |  |
| 9/29/2015 | 1884.089966 | 1 | 0 |  |  |  |  |
| 9/30/2015 | 1920.030029 | 1 | -0.11576643 | Sell 3 Stocks (+5.9k) | 52.3k | 47.7k | 21.5 |
| 10/1/2015 | 1923.819946 | 0.88423357 | 0.05780446 | Buy 2.6k (+1.3 Stocks) | 49.7k | 50.3k | 22.8 |
| 10/2/2015 | 1951.359985 | 0.94203803 | -0.1593303 | Sell 4.1 Stocks (+8k) | 57.7k | 42.3k | 18.7 |
| 10/5/2015 | 1987.050049 | 0.78270773 | -0.051906534 | Sell 1 Stocks (+2.1k) | 59.8k | 40.2k | 17.7 |
| 10/6/2015 | 1979.920044 | 0.730801197 | 0.060071933 | Buy 3.6k (+1.8 Stocks) | 56.2k | 43.8k | 19.5 |
| 10/7/2015 | 1995.829956 | 0.79087313 | -0.17110536 | Sell 3.7 Stocks (+7.4k) | 63.6k | 36.4k | 15.8 |
| 10/8/2015 | 2013.430054 | 0.61976777 | -0.055320739 | Sell 0.9 Stocks (+1.8k) | 65.4k | 34.6k | 14.9 |
| 10/9/2015 | 2014.890015 | 0.564447031 | -0.155877627 | Sell 2.6 Stocks (+5.2k) | 70.6k | 29.4k | 12.3 |
| 10/12/2015 | 2017.459961 | 0.408569404 | 0.100210685 | Buy 7k (+3.4 Stocks) | 63.6k | 36.4k | 15.7 |

בסיום המשבר, יש ברשותנו 63.6k כסף שאיננו מושקע, ו15.7 מניות ששווין 31.7k (לפי שווי של 2017 דולר למניה). כלומר, סה"כ ערך כספי של פחות מ-100k, ולכן אסטרטגיה זו נכשלה עבור k זה.

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Date** | **Close** | **Label** | **Gradient** | **Actions (k=0.5)** | **uninvested** | **invested** | **Stocks** |
| 8/17/2015 | 2102.439941 | 0.379858469 | 0.011985069 |  | 100k | 0k |  |
| 8/18/2015 | 2096.919922 | 0.391843538 | 0.110201707 | Buy 1.2k (+0.6 Stocks) | 98.8k | 1.2k | 0.6 |
| 8/19/2015 | 2079.610107 | 0.502045245 | 0.188237728 | Buy 3.2k (+1.5 Stocks) | 95.6k | 4.4k | 2.1 |
| 8/20/2015 | 2035.72998 | 0.690282973 | 0.309717027 | Buy 8.6k (+4.2 Stocks) | 87k | 13k | 6.3 |
| 8/21/2015 | 1970.890015 | 1 | 0 |  |  |  | 6.3 |
| 8/24/2015 | 1893.209961 | 1 | 0 |  |  |  | 6.3 |
| 8/25/2015 | 1867.609985 | 1 | 0 |  |  |  | 6.3 |
| 8/26/2015 | 1940.51001 | 1 | 0 |  |  |  | 6.3 |
| 8/27/2015 | 1987.660034 | 1 | -0.170720173 | Sell 0.2 Stocks (+0.4k) | 87.4k | 12.6k | 6.1 |
| 8/28/2015 | 1988.869995 | 0.829279827 | 0.01961193 |  |  |  | 6.1 |
| 8/31/2015 | 1972.180054 | 0.848891757 | 0.151108243 | Buy 2k (+1 Stocks) | 85.4k | 14.6k | 7.1 |
| 9/1/2015 | 1913.849976 | 1 | 0 |  |  |  | 7.1 |
| 9/2/2015 | 1948.859985 | 1 | -0.049052182 |  |  |  | 7.1 |
| 9/3/2015 | 1951.130005 | 0.950947818 | 0.009631304 |  |  |  | 7.1 |
| 9/4/2015 | 1921.219971 | 0.960579123 | -0.049356276 |  |  |  | 7.1 |
| 9/8/2015 | 1969.410034 | 0.911222847 | -0.015351451 |  |  |  | 7.1 |
| 9/9/2015 | 1942.040039 | 0.895871396 | -0.018432969 |  |  |  | 7.1 |
| 9/10/2015 | 1952.290039 | 0.877438427 | -0.031705122 |  |  |  | 7.1 |
| 9/11/2015 | 1961.050049 | 0.845733305 | -0.03239129 |  |  |  | 7.1 |
| 9/14/2015 | 1953.030029 | 0.813342015 | -0.026596289 |  |  |  | 7.1 |
| 9/15/2015 | 1978.089966 | 0.786745725 | -0.086626637 |  |  |  | 7.1 |
| 9/16/2015 | 1995.310059 | 0.700119088 | 0.08197213 | Buy 0.5k (+0.25 Stocks) | 84.9k | 15.1k | 7.35 |
| 9/17/2015 | 1990.199951 | 0.782091219 | 0.217908781 | Buy 3.7k (+1.9 Stocks) | 81.2k | 18.8k | 9.25 |
| 9/18/2015 | 1958.030029 | 1 | -0.145463991 | Sell 0.2 Stocks (+0.4k) | 81.6k | 18.4k | 9.05 |
| 9/21/2015 | 1966.969971 | 0.854536009 | 0.145463991 | Buy 1.8k (+0.9 Stocks) | 79.8k | 20.2k | 9.95 |
| 9/22/2015 | 1942.73999 | 1 | -0.030350983 |  |  |  | 9.95 |
| 9/23/2015 | 1938.76001 | 0.969649017 | 0.030350983 |  |  |  | 9.95 |
| 9/24/2015 | 1932.23999 | 1 | 0 |  |  |  | 9.95 |
| 9/25/2015 | 1931.339966 | 1 | 0 |  |  |  | 9.95 |
| 9/28/2015 | 1881.77002 | 1 | 0 |  |  |  | 9.95 |
| 9/29/2015 | 1884.089966 | 1 | 0 |  |  |  | 9.95 |
| 9/30/2015 | 1920.030029 | 1 | -0.11576643 | Sell 0.1 Stocks (+0.2k) | 80k | 20k | 9.85 |
| 10/1/2015 | 1923.819946 | 0.88423357 | 0.05780446 |  |  |  | 9.85 |
| 10/2/2015 | 1951.359985 | 0.94203803 | -0.1593303 | Sell 0.25 Stocks (+0.5k) | 80.5k | 19.5k | 9.6 |
| 10/5/2015 | 1987.050049 | 0.78270773 | -0.051906534 |  |  |  | 9.6 |
| 10/6/2015 | 1979.920044 | 0.730801197 | 0.060071933 | Buy 0.3k (+0.15 Stocks) | 80.2k | 19.8k | 9.75 |
| 10/7/2015 | 1995.829956 | 0.79087313 | -0.17110536 | Sell 0.3 Stocks (+0.6k) | 80.8k | 19.2k | 9.45 |
| 10/8/2015 | 2013.430054 | 0.61976777 | -0.055320739 |  |  |  | 9.45 |
| 10/9/2015 | 2014.890015 | 0.564447031 | -0.155877627 | Sell 0.25 Stocks (+0.5k) | 81.3k | 18.7k | 9.2 |
| 10/12/2015 | 2017.459961 | 0.408569404 | 0.100210685 | Buy 0.8k (+0.4 Stocks) | 80.5k | 19.5k | 9.6 |

ננסה k נוסף :

בסיום המשבר, יש ברשותנו 80.5k כסף שאיננו מושקע, ו9.6 מניות ששווין 19.4k (לפי שווי של 2017 דולר למניה). כלומר, סה"כ ערך כספי של 99.9k, ולכן יש שיפור מסוים.

ניתן לראות שפוטנציאל המכירה לא ממומש במלואו לעומת פוטנציאל הקנייה, מכיוון שהוא מוכפל בסכום שהושקע, שהוא משמעותית נמוך יותר. לכן, ננסה לפצל את k ל-k1,k2, כאשר k1 יהיה הפרמטר עבור הקנייה, ו-k2 עבור המימוש. נבחן מצב שבו k2 קטן יותר, כדי שסכומי המימוש יעלו.

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Date** | **Close** | **Label** | **Gradient** | **Actions (k1=2, k2=0.5)** | **uninvested** | **invested** | **Stocks** |
| 8/17/2015 | 2102.439941 | 0.379858469 | 0.011985069 |  | 100k | 0k |  |
| 8/18/2015 | 2096.919922 | 0.391843538 | 0.110201707 | Buy 1.2k (+0.6 Stocks) | 98.8k | 1.2k | 0.6 |
| 8/19/2015 | 2079.610107 | 0.502045245 | 0.188237728 | Buy 3.2k (+1.5 Stocks) | 95.6k | 4.4k | 2.1 |
| 8/20/2015 | 2035.72998 | 0.690282973 | 0.309717027 | Buy 8.6k (+4.2 Stocks) | 87k | 13k | 6.3 |
| 8/21/2015 | 1970.890015 | 1 | 0 |  |  |  | 6.3 |
| 8/24/2015 | 1893.209961 | 1 | 0 |  |  |  | 6.3 |
| 8/25/2015 | 1867.609985 | 1 | 0 |  |  |  | 6.3 |
| 8/26/2015 | 1940.51001 | 1 | 0 |  |  |  | 6.3 |
| 8/27/2015 | 1987.660034 | 1 | -0.170720173 | Sell 2.7 Stocks (+5.4k) | 92.4k | 7.6k | 3.6 |
| 8/28/2015 | 1988.869995 | 0.829279827 | 0.01961193 |  |  |  | 3.6 |
| 8/31/2015 | 1972.180054 | 0.848891757 | 0.151108243 | Buy 2k (+1 Stocks) | 90.4k | 9.6k | 4.6 |
| 9/1/2015 | 1913.849976 | 1 | 0 |  |  |  | 4.6 |
| 9/2/2015 | 1948.859985 | 1 | -0.049052182 | Sell 1.1 Stocks (+2.1k) | 92.5k | 7.5k | 3.5 |
| 9/3/2015 | 1951.130005 | 0.950947818 | 0.009631304 |  |  |  | 3.5 |
| 9/4/2015 | 1921.219971 | 0.960579123 | -0.049356276 | Sell 0.9 Stocks (+1.7k) | 94.2k | 5.8k | 2.6 |
| 9/8/2015 | 1969.410034 | 0.911222847 | -0.015351451 |  |  |  | 2.6 |
| 9/9/2015 | 1942.040039 | 0.895871396 | -0.018432969 |  |  |  | 2.6 |
| 9/10/2015 | 1952.290039 | 0.877438427 | -0.031705122 |  |  |  | 2.6 |
| 9/11/2015 | 1961.050049 | 0.845733305 | -0.03239129 |  |  |  | 2.6 |
| 9/14/2015 | 1953.030029 | 0.813342015 | -0.026596289 |  |  |  | 2.6 |
| 9/15/2015 | 1978.089966 | 0.786745725 | -0.086626637 | Sell 0.8 Stocks (+1.6k) | 95.8k | 4.2k | 1.8 |
| 9/16/2015 | 1995.310059 | 0.700119088 | 0.08197213 | Buy 0.6k (+0.3 Stocks) | 95.2k | 4.8k | 2.1 |
| 9/17/2015 | 1990.199951 | 0.782091219 | 0.217908781 | Buy 4.2k (+2.1 Stocks) | 91k | 9k | 4.2 |
| 9/18/2015 | 1958.030029 | 1 | -0.145463991 | Sell 1.75 Stocks (+3.4k) | 94.4k | 5.6k | 2.45 |
| 9/21/2015 | 1966.969971 | 0.854536009 | 0.145463991 | Buy 2k (+1 Stocks) | 92.4k | 7.6k | 3.45 |
| 9/22/2015 | 1942.73999 | 1 | -0.030350983 |  |  |  | 3.45 |
| 9/23/2015 | 1938.76001 | 0.969649017 | 0.030350983 |  |  |  | 3.45 |
| 9/24/2015 | 1932.23999 | 1 | 0 |  |  |  | 3.45 |
| 9/25/2015 | 1931.339966 | 1 | 0 |  |  |  | 3.45 |
| 9/28/2015 | 1881.77002 | 1 | 0 |  |  |  | 3.45 |
| 9/29/2015 | 1884.089966 | 1 | 0 |  |  |  | 3.45 |
| 9/30/2015 | 1920.030029 | 1 | -0.11576643 | Sell 1.3 Stocks (+2.5k) | 94.9k | 5.1k | 2.15 |
| 10/1/2015 | 1923.819946 | 0.88423357 | 0.05780446 |  |  |  | 2.15 |
| 10/2/2015 | 1951.359985 | 0.94203803 | -0.1593303 | Sell 1 Stocks (+2k) | 96.9k | 3.1k | 1.15 |
| 10/5/2015 | 1987.050049 | 0.78270773 | -0.051906534 |  |  |  | 1.15 |
| 10/6/2015 | 1979.920044 | 0.730801197 | 0.060071933 | Buy 0.35k (+0.18 Stocks) | 97.25k | 2.75k | 1.33 |
| 10/7/2015 | 1995.829956 | 0.79087313 | -0.17110536 | Sell 0.6 Stocks (+1.1k) | 98.35k | 1.65k | 0.73 |
| 10/8/2015 | 2013.430054 | 0.61976777 | -0.055320739 |  |  |  | 0.73 |
| 10/9/2015 | 2014.890015 | 0.564447031 | -0.155877627 | Sell 0.3 Stocks (+0.65k) | 99k | 1k | 0.43 |
| 10/12/2015 | 2017.459961 | 0.408569404 | 0.100210685 | Buy 1k (+0.5 Stocks) | 98k | 2k | 0.93 |

בסיום המשבר, יש ברשותנו 98k כסף שאיננו מושקע, ו0.93 מניות ששווין 1.9k (לפי שווי של 2017 דולר למניה). כלומר, סה"כ ערך כספי של 99.9k.

המסקנה הסופית לגבי אסטרטגיה #2 היא שהיא נכשלה כישלון חרוץ. ניסוי של ערכי k רבים לא הצליח להביא אותה להצלחה.

אסטרטגיה #3 :

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Date** | **Close** | **Label** | **k1=0.9, k2=0.65, k3=0.7** | **invested** | **uninvested** | **Stocks** |
| 8/17/2015 | 2102.439941 | 0.3798585 |  |  |  |  |
| 8/18/2015 | 2096.919922 | 0.3918435 |  |  |  |  |
| 8/19/2015 | 2079.610107 | 0.5020452 |  |  |  |  |
| 8/20/2015 | 2035.72998 | 0.690283 |  | 100,000 | 0 |  |
| 8/21/2015 | 1970.890015 | 1 | Buy 70,000 (+35.52 Stocks) | 30,000 | 70,000 | 35.52 |
| 8/24/2015 | 1893.209961 | 1 | Buy 21,000 (+11.09 Stocks) | 9,000 | 91,000 | 46.61 |
| 8/25/2015 | 1867.609985 | 1 | Buy 6,300 (+3.37 Stocks) | 2,700 | 97,300 | 49.98 |
| 8/26/2015 | 1940.51001 | 1 | Buy 1,890 (+0.97 Stocks) | 810 | 99,190 | 50.96 |
| 8/27/2015 | 1987.660034 | 1 | Buy 567 (+0.29 Stocks) | 243 | 99,757 | 51.24 |
| 8/28/2015 | 1988.869995 | 0.8292798 |  |  |  |  |
| 8/31/2015 | 1972.180054 | 0.8488918 |  |  |  |  |
| 9/1/2015 | 1913.849976 | 1 |  |  |  |  |
| 9/2/2015 | 1948.859985 | 1 |  |  |  |  |
| 9/3/2015 | 1951.130005 | 0.9509478 |  |  |  |  |
| 9/4/2015 | 1921.219971 | 0.9605791 |  |  |  |  |
| 9/8/2015 | 1969.410034 | 0.9112228 |  |  |  |  |
| 9/9/2015 | 1942.040039 | 0.8958714 |  |  |  |  |
| 9/10/2015 | 1952.290039 | 0.8774384 |  |  |  |  |
| 9/11/2015 | 1961.050049 | 0.8457333 |  |  |  |  |
| 9/14/2015 | 1953.030029 | 0.813342 |  |  |  |  |
| 9/15/2015 | 1978.089966 | 0.7867457 |  |  |  |  |
| 9/16/2015 | 1995.310059 | 0.7001191 |  |  |  |  |
| 9/17/2015 | 1990.199951 | 0.7820912 |  |  |  |  |
| 9/18/2015 | 1958.030029 | 1 |  |  |  |  |
| 9/21/2015 | 1966.969971 | 0.854536 |  |  |  |  |
| 9/22/2015 | 1942.73999 | 1 |  |  |  |  |
| 9/23/2015 | 1938.76001 | 0.969649 |  |  |  |  |
| 9/24/2015 | 1932.23999 | 1 |  |  |  |  |
| 9/25/2015 | 1931.339966 | 1 |  |  |  |  |
| 9/28/2015 | 1881.77002 | 1 |  |  |  |  |
| 9/29/2015 | 1884.089966 | 1 |  |  |  |  |
| 9/30/2015 | 1920.030029 | 1 |  |  |  |  |
| 10/1/2015 | 1923.819946 | 0.8842336 |  |  |  |  |
| 10/2/2015 | 1951.359985 | 0.942038 |  |  |  |  |
| 10/5/2015 | 1987.050049 | 0.7827077 |  |  |  |  |
| 10/6/2015 | 1979.920044 | 0.7308012 |  |  |  |  |
| 10/7/2015 | 1995.829956 | 0.7908731 |  |  |  |  |
| 10/8/2015 | 2013.430054 | 0.6197678 | Sell 13.21 Stocks (+26,605) | 26,848 | 73,152 | 38.03 |
| 10/9/2015 | 2014.890015 | 0.564447 | Sell 11.08 Stocks (+22,325) | 49,173 | 50,827 | 26.95 |
| 10/12/2015 | 2017.459961 | 0.4085694 | Sell 10.58 Stocks (+21,347) | 70,520 | 29,480 | 16.37 |

בסיום המשבר, יש ברשותנו 70.5k כסף שאיננו מושקע, ו16.37 מניות ששווין 33k (לפי שווי של 2017 דולר למניה). כלומר, סה"כ ערך כספי של 103.5k.

מדובר ברווח נקי של 3.5k.

ננסה היפר-פרמטרים אחרים :

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Date** | **Close** | **Label** | **k1=0.85, k2=0.6, k3=0.5** | | **invested** | **uninvested** | **Stocks** |
| 8/17/2015 | 2102.439941 | 0.3798585 |  |  | |  |  |
| 8/18/2015 | 2096.919922 | 0.3918435 |  |  | |  |  |
| 8/19/2015 | 2079.610107 | 0.5020452 |  |  | |  |  |
| 8/20/2015 | 2035.72998 | 0.690283 |  | 100,000 | | 0 |  |
| 8/21/2015 | 1970.890015 | 1 | Buy 50,000 (+25.36 Stocks) | 50,000 | | 50,000 | 25.36 |
| 8/24/2015 | 1893.209961 | 1 | Buy 25,000 (+13.21 Stocks) | 25,000 | | 75,000 | 38.57 |
| 8/25/2015 | 1867.609985 | 1 | Buy 12,500 (+6.69 Stocks) | 12,500 | | 87,500 | 45.27 |
| 8/26/2015 | 1940.51001 | 1 | Buy 6,250 (+3.22 Stocks) | 6,250 | | 93,750 | 48.49 |
| 8/27/2015 | 1987.660034 | 1 | Buy 3,125 (+1.57 Stocks) | 3,125 | | 96,875 | 50.06 |
| 8/28/2015 | 1988.869995 | 0.8292798 |  |  | |  |  |
| 8/31/2015 | 1972.180054 | 0.8488918 |  |  | |  |  |
| 9/1/2015 | 1913.849976 | 1 | Buy 1,562.5 (+0.82 Stocks) | 1,562.50 | | 98,437.50 | 50.88 |
| 9/2/2015 | 1948.859985 | 1 | Buy 781.25 (+0.4 Stocks) | 7,81.25 | | 99,218.75 | 51.28 |
| 9/3/2015 | 1951.130005 | 0.9509478 | Buy 371.46 (+0.19 Stocks) | 409.78 | | 99,590.21 | 51.47 |
| 9/4/2015 | 1921.219971 | 0.9605791 | Buy 196.81 (+0.1 Stocks) | 212.97 | | 99,787.02 | 51.57 |
| 9/8/2015 | 1969.410034 | 0.9112228 | Buy 97.03 (+0.05 Stocks) | 115.93 | | 99,884.06 | 51.62 |
| 9/9/2015 | 1942.040039 | 0.8958714 |  |  | |  |  |
| 9/10/2015 | 1952.290039 | 0.8774384 |  |  | |  |  |
| 9/11/2015 | 1961.050049 | 0.8457333 |  |  | |  |  |
| 9/14/2015 | 1953.030029 | 0.813342 |  |  | |  |  |
| 9/15/2015 | 1978.089966 | 0.7867457 |  |  | |  |  |
| 9/16/2015 | 1995.310059 | 0.7001191 |  |  | |  |  |
| 9/17/2015 | 1990.199951 | 0.7820912 |  |  | |  |  |
| 9/18/2015 | 1958.030029 | 1 |  |  | |  |  |
| 9/21/2015 | 1966.969971 | 0.854536 |  |  | |  |  |
| 9/22/2015 | 1942.73999 | 1 |  |  | |  |  |
| 9/23/2015 | 1938.76001 | 0.969649 |  |  | |  |  |
| 9/24/2015 | 1932.23999 | 1 |  |  | |  |  |
| 9/25/2015 | 1931.339966 | 1 |  |  | |  |  |
| 9/28/2015 | 1881.77002 | 1 |  |  | |  |  |
| 9/29/2015 | 1884.089966 | 1 |  |  | |  |  |
| 9/30/2015 | 1920.030029 | 1 |  |  | |  |  |
| 10/1/2015 | 1923.819946 | 0.8842336 |  |  | |  |  |
| 10/2/2015 | 1951.359985 | 0.942038 |  |  | |  |  |
| 10/5/2015 | 1987.050049 | 0.7827077 |  |  | |  |  |
| 10/6/2015 | 1979.920044 | 0.7308012 |  |  | |  |  |
| 10/7/2015 | 1995.829956 | 0.7908731 |  |  | |  |  |
| 10/8/2015 | 2013.430054 | 0.6197678 |  |  | |  |  |
| 10/9/2015 | 2014.890015 | 0.564447 | Sell 10.91 Stocks (+21,974) | 22089.94 | | 77910.06 | 40.71397 |
| 10/12/2015 | 2017.459961 | 0.4085694 | Sell 11.58 Stocks (+23,373) | 45462.94 | | 54537.06 | 29.12861 |

בסיום המשבר, יש ברשותנו 45.5k כסף שאיננו מושקע, ו29.12 מניות ששווין 58.7k (לפי שווי של 2017 דולר למניה). כלומר, סה"כ ערך כספי של 104.2k.

מדובר ברווח נקי של 4.2k.

הערות

1. לאורך הצגת תוצאות האסטרטגיות ולשם הפשטות, הוצגו מספרים לא מציאותיים של כמות מניות (כמובן שאין דבר כזה לקנות "חצי מניה"). ניתן להתגבר על הבעיה באמצעות –
   1. השקעה של סכום כסף גדול יותר.
   2. בחינה של האסטרטגיות ברמה המציאותית ע"י לקיחה של ערך שלם תחתון/עליון של כמות המניות המיועדות לקניה/מכירה.
2. את המניות שנותרו בסיומה של אסטרטגיה מסוימת המרנו לכסף על פי שער המניה ביום האחרון של המשבר, וזאת כדי לשערך את סכום הכסף שנותר, מה שעזר בהערכת טיב האסטרטגיה.

מסקנות

1. אסטרטגיה #1 : ניתן לראות שהיא מוצלחת במונחי ROI (עלות מול תועלת) – רווחים נאים ביחס לתקופת ההשקעה (2% בכ-50 יום) אל מול זמן השקעה מינימלי.
2. אסטרטגיה #2 : כשלה, להערכתנו עקב חוסר יכולת של המסווג "להתאפק" עם השקעות בתחילת משבר, וזאת לאור מחיר מינימלי למשבר שהולך וקטן ככל שמעמיקים בו. הבעיה בכך היא שאת מרבית הכסף המסווג "מבזבז" על מחירים שלא מגלמים את פוטנציאל הרווח של התקופה.
3. אסטרטגיה #3 : המוצלחת ביותר (אך יש לציין כי דורשת התעסקות בתדירות גבוהה). הצליחה להגיע לרווחים מצוינים של 3.5%-4.2% בכ-50 יום. הסיבות להצלחה –
   1. k1 גבוה המבטא חוסר פשרה בימים פוטנציאליים לכניסה לשוק.
   2. k3 נמוך המבטא מעין סולידיות שמאפשרת להזניח אי דיוקים של המסווג לאורך זמן.
4. ככל שנמצאים בשלב עמוק יותר במשבר, כך המסווג מדייק יותר את הערכתו. לכן הערכתנו היא שהמסווג יכול לתת ביצועים מרשימים מאוד במשברים ארוכים.
5. חלק מאי הדיוקים נובעים, להערכתנו, מהקושי להגדיר מהו משבר ומהן נקודות הכניסה והיציאה שלו.

בחינת אסטרטגיות #1, #3 על קבוצת מבחן

על מנת לאשש את המסקנות שלעיל, נבדוק את הפרמטרים המוצלחים ביותר של אסטרטגיות #1, #3 על קבוצת מבחן (משבר אחר).

* אסטרטגיה #1 עם הפרמטרים k1=0.8, k2=0.6.
* אסטרטגיה #3 עם הפרמטרים k1=0.85, k2=0.6, k3=0.5.

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Date** | **Close** | **Label** | **Strategy #1** | **Strategy #3** | | | |
| **actions** | **actions** | **uninvested** | **invested** | **stocks** |
| 10/3/2018 | 2925.51001 | 0 |  |  | 100k | 0k | 0 |
| 10/4/2018 | 2901.610107 | 0.084077613 |  |  | 100k | 0k | 0 |
| 10/5/2018 | 2885.570068 | 0.140504962 |  |  | 100k | 0k | 0 |
| 10/8/2018 | 2884.429932 | 0.144515854 |  |  | 100k | 0k | 0 |
| 10/9/2018 | 2880.340088 | 0.15890354 |  |  | 100k | 0k | 0 |
| 10/10/2018 | 2785.679932 | 0.491909073 |  |  | 100k | 0k | 0 |
| 10/11/2018 | 2728.370117 | 0.693519616 |  |  | 100k | 0k | 0 |
| 10/12/2018 | 2767.129883 | 0.557166402 |  |  | 100k | 0k | 0 |
| 10/15/2018 | 2750.790039 | 0.614648438 |  |  | 100k | 0k | 0 |
| 10/16/2018 | 2809.919922 | 0.406635066 |  |  | 100k | 0k | 0 |
| 10/17/2018 | 2809.209961 | 0.409132642 |  |  | 100k | 0k | 0 |
| 10/18/2018 | 2768.780029 | 0.551361343 |  |  | 100k | 0k | 0 |
| 10/19/2018 | 2767.780029 | 0.554879249 |  |  | 100k | 0k | 0 |
| 10/22/2018 | 2755.879883 | 0.596742845 |  |  | 100k | 0k | 0 |
| 10/23/2018 | 2740.689941 | 0.650179633 |  |  | 100k | 0k | 0 |
| 10/24/2018 | 2656.100098 | 0.947758751 | Buy 100k (+37.65 Stocks) | Buy 47k (+17.7 Stocks) | 53k | 47k | 17.7 |
| 10/25/2018 | 2705.570068 | 0.773728046 |  |  | 53k | 47k | 17.7 |
| 10/26/2018 | 2658.689941 | 0.938647927 |  | Buy 24.9k (+9.35 Stocks) | 28.1k | 71.9k | 27.05 |
| 10/29/2018 | 2641.25 | 1 |  | Buy 14k (+5.3 Stocks) | 14.1k | 85.9k | 32.35 |
| 10/30/2018 | 2682.629883 | 0.854429461 |  | Buy 1.1k (+0.4 Stocks) | 13k | 87k | 32.75 |
| 10/31/2018 | 2711.73999 | 0.75202284 |  |  | 13k | 87k | 32.75 |
| 11/1/2018 | 2740.370117 | 0.651304744 |  |  | 13k | 87k | 32.75 |
| 11/2/2018 | 2723.060059 | 0.712199901 |  |  | 13k | 87k | 32.75 |
| 11/5/2018 | 2738.310059 | 0.658551834 |  |  | 13k | 87k | 32.75 |
| 11/6/2018 | 2755.449951 | 0.598255305 | Sell 37.65 Stocks (+103.75k) | Sell 6.35 Stocks (+17.5k) | 30.5k | 69.5k | 26.4 |
| 11/7/2018 | 2813.889893 | 0 |  | Sell 12.3 Stocks (+34.75k) | 65.25k | 34.75k | 14.1 |
| 11/8/2018 | 2806.830078 | 0.062860178 |  | Sell 5.8 Stocks (+16.33k) | 81.58k | 18.42k | 8.3 |
| 11/9/2018 | 2781.01001 | 0.292760548 |  | Sell 2.35 Stocks (+6.5k) | 88.08k | 11.92k | 5.95 |
| 11/12/2018 | 2726.219971 | 0.780607839 |  |  | 88.08k | 11.92k | 5.95 |
| 11/13/2018 | 2722.179932 | 0.816580109 | Buy 103.75k (+38.11 Stocks) |  | 88.08k | 11.92k | 5.95 |
| 11/14/2018 | 2701.580078 | 1 |  | Buy 44k (+16.3 Stocks) | 44.08k | 55.92k | 22.25 |
| 11/15/2018 | 2730.199951 | 0.745170331 |  |  | 44.08k | 55.92k | 22.25 |
| 11/16/2018 | 2736.27002 | 0 | Sell 38.11 Stocks (+104.3k) | Sell 10.2 Stocks (+28k) | 72.08k | 27.92k | 12.05 |
| 11/19/2018 | 2690.72998 | 0.439109605 |  | Sell 2.9 Stocks (+7.8k) | 79.88k | 20.12k | 9.15 |
| 11/20/2018 | 2641.889893 | 0.910039172 |  | Buy 36.3k (+13.8 Stocks) | 43.58k | 56.42k | 22.95 |
| 11/21/2018 | 2649.929932 | 0.832514902 |  |  |  |  |  |

* אסטרטגיה #1 : הביאה לרווחים של 4.3k (4.3% בתקופת זמן של חודש וחצי), וכזכור עם מינימום השקעה של זמן.
* אסטרטגיה #3 : בסיום המשבר, יש ברשותנו 43.58k כסף שאיננו מושקע, ו-22.95 מניות ששווין 60.8k (לפי שווי של 2649 דולר למניה). כלומר, סה"כ ערך כספי של 104.4k (4.4% רווח בתקופת זמן של חודש וחצי)

להערכתנו, התוצאות של אסטרטגיות אלו על קבוצת המבחן מהוות הוכחה נוספת למסקנות שהצגנו.

**סיכום**

התחבטנו רבות בשאלת החיזוי של הפרויקט. ידענו שאנחנו מעוניינים לעשות פרויקט בשוק ההון, אך הנחנו שמחקרים רבים ניסו לחזות התנהגות של מניה, ורצינו לבחון משהו חדש. עקב התפתחות נגיף הקורונה והמשבר שנוצר בעקבותיה, עלה הרעיון הבא - חשבנו שניתוח מגמות בשוק ההון בזמן משברים, מכיל בתוכו הן מאפיינים טכניים מעניינים, והן מאפיינים פסיכולוגיים שמשחקים תפקיד מכריע בהתנהלות של השוק בתקופות כאלה.

במהלך הפרויקט נתקלנו במספר נקודות מפתח :

* למדנו על הבורסה ואיך היא עובדת. קראנו על אסטרטגיות קיימות של משקיעים ווידאנו שהאינדיקטורים בהם הם משתמשים, יעמדו לרשות המסווג שלנו.
* הבנו שהאלגוריתמים שלמדנו בקורס "מבוא לבינה מלאכותית" לאו דווקא ישיגו את התוצאות אליהם ייחלנו, בגלל האופי הסדרתי של ה-Data. לאחר סקירה של מספר כתבות בנושא, החלטנו שכדאי לנסות ללמוד איך רשת LSTM עובדת.
* למדנו על רשתות נוירונים, רשתות LSTM - כיצד בונים אותן, מעריכים את הדיוק שלהן וכו'.

בסוף הפרויקט התחבטנו בשאלה – **איך הופכים Data לידע?**

אמנם תוצאות הפרויקט הם במונחים של עולם הפתרון (AI / Deep Learning), אך רצינו **שהמסקנות של הפרויקט יהיו במונחים של עולם הבעיה** (שוק ההון). הרציונל היה לספק תשובה ישירה לשאלת החיזוי, ולא רק להציג נתונים שקשה לגזור מהן מסקנה מדויקת או תוכנית עבודה. מכאן הגיע הרעיון של ניסוח אסטרטגיות מסחר בהתאם לתוצאות המסווג, וניתוחן.

כיוונים לפיתוח עתידי

1. **טיוב הגדרת משבר** : כפי שראינו לאורך המחקר, לפעולת התחימה של המשברים שביצענו בחלק הראשון יש חשיבות והשפעה רבה על כל תהליך הסיווג, ועל טיב התוצאות. כתוצאה מכך, בראייתנו, הדבר הנכון לעשות הוא לחשוב על פרמטרים נוספים שעשויים להגדיר משבר, ולבחון את דיוק ההגדרות על Data מהעבר.
2. **ניסויים על מניות ספציפיות** : לאורך המחקר נצמדנו לביצועי S&P500 שמגלם בתוכו מניות טכנולוגיה מובילות משוק המניות האמריקאי. יהיה מעניין לראות ביצועים של המסווג על חברה ספציפית. כאמור, חיזוי של מדדים על סמך תכונות עשוי להיות קשה יותר, היות שהוא לא מגלם ביצועים של חברה בודדת. במקרה של סיווג חברה בודדת ניתן לבחון הוספה של תכונות נוספות, שקשורות באופן ספציפי יותר לאותה החברה או למגזר שלה.
3. **בחינה של תכונות נוספות** : כידוע, S&P500 מורכב מביצועים של הרבה חברות, וחלקן דומיננטיות מאוד בהרכב של המדד. ניתן ורצוי לבחון תוספת של תכונות של חברות אלו, אשר מהוות חלק ניכר מהמדד, ולראות כיצד הן השפיעו על ביצועי המסווג.
4. **בחינה של אסטרטגיות המסחר לאורך עשרות משברים** : הניתוח שעשינו בשלב האחרון ומסקנותיו נובעות מניתוח של משברים בודדים. אנו מאמינים שניתוח על כמות גדולה יותר של משברים, ועל משברים מגוונים יותר באופיים (אורכם, "עומק" המשבר וכו') יכולים להביא לתמונת מצב טובה יותר של דיוק המסווג, וכן לכוונון טוב יותר של הפרמטרים באסטרטגיות.
5. **בחינה של הוספת שכבות לרשת** : כאמור, אחת המסקנות שהובילו אותנו לעבור לעסוק בלמידה עמוקה, היא שיש לבעיה הזו אופי "סדרתי", ולא ניתן להתייחס לדוגמאות כ-Single Data Points. כאמור, LSTM ידועה בתור רשת בעלת זיכרון. ברצוננו לבחון הוספה של שכבות נוספות לרשת שיסייעו בזיכרון של פרטים נוספים שעשויים לסייע בסיווג מדויק יותר. לאחר ההוספה יש לחזור על השלבים שהוצגו בדו"ח על מנת לבחור פיצ'רים והיפר-פרמטרים ולהעריך ביצועים.

**הערות ונספחים**

כיצד לשחזר את הניסויים?

בחלק זה נתאר כיצד ניתן לשחזר את הניסויים שתוארו בדו"ח זו.

ראשית, כדי לקבל הבנה טובה יותר, ניתן לעיין בקבצים README.txt (יסביר בקצרה על כל הקבצים שנמצאים תחת פרויקט זה) ו-libs.txt (יסייע בקונפיגורציות הדרושות לסביבת ה-Python).

הקובץ main.py מכיל את התוכנית הראשית של הפרויקט. התוכנית הראשית בנויה כך שיהיה קל לשחזר את הניסויים השונים והפעולות השונות שתיארנו :

* יצירת ה-CSV-ים – חלק זה אמון על יצירת ה-CSVים השונים ששימשו כקלטים לאלגוריתמים. על מנת לשחזר זאת ניתן להוריד את התיעוד מהקריאה לפונקציה csv\_create().
* ניסוי SVR, Random Forest, KNN – חלק זה אמון על המדידות שביצענו באלגוריתמים אלה. על מנת לשחזר את הניסויים שכללו הרצה של האלגוריתמים, feature selection ו-cross validation, יש להסיר את התיעוד של part1. כדי לצפות בתוצאות הגולמיות של הניסויים מבלי הרצה מחדש, ניתן לעיין בקובץ featureselectionRes.txt.
* ניסוי LSTM לבחירת ת"ק של תכונות – על מנת לשחזר את הניסויים הללו שכללו השוואות בין פרמוטציות שונות של תתי קבוצות, תחת הרציונל שהוסבר בפרויקט זה, יש להסיר את התיעוד של part2. התוצאות של ניסויים אלה מובאות במלואן בדו"ח זה.
* ניסוי LSTM לכוונון היפר פרמטרים – על מנת לשחזר את הניסויים הללו, שכללו כוונון של היפר פרמטרים של המודל וחקר ביצועים (מהם יצרנו את מפת החום), תחת הרציונל שהוסבר בפרויקט זה, יש להסיר את התיעוד של part3. כדי לצפות בתוצאות הגולמיות של הניסויים מבלי הרצה מחדש, ניתן לעיין בקובץ param\_lstm.txt.
* החלק האחרון הוא המסווג הסופי שנבחר כזה שנתן את התוצאות הטובות ביותר, על פי הרציונל שפורט בפרויקט. על מנת לבחון אותו יש להסיר את התיעוד של last part.
* חישוב התוצאות של אסטרטגיות המסחר בוצע באופן ידני, והוא מובא בתצורתו הגולמית בקובץ strategies.xls.

GitHub - <https://github.com/yakir-yehuda/AI-Project>

**ביבליוגרפיה**

|  |  |
| --- | --- |
| <https://www.maariv.co.il/business/world/Article-760391> | [1] |
| <https://he.wikipedia.org/wiki/%D7%94%D7%9E%D7%A9%D7%91%D7%A8_%D7%94%D7%9B%D7%9C%D7%9B%D7%9C%D7%99_%D7%94%D7%A2%D7%95%D7%9C%D7%9E%D7%99_(2008)> | [2] |
| <https://zoefin.com/learn/market-timing-vs-time-in-the-market/> | [3] |
| <https://www.codecademy.com/articles/normalization> | [4] |
| <https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.feature_selection.mutual_info_regression.html> | [5] |
| <https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.ensemble.ExtraTreesRegressor.html> | [6] |
| <https://he.wikipedia.org/wiki/%D7%9E%D7%9B%D7%95%D7%A0%D7%AA_%D7%95%D7%A7%D7%98%D7%95%D7%A8%D7%99%D7%9D_%D7%AA%D7%95%D7%9E%D7%9B%D7%99%D7%9D> | [7] |
| <https://towardsdatascience.com/understanding-random-forest-58381e0602d2> | [8] |
| <https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.metrics.mean_absolute_error.html#sklearn.metrics.mean_absolute_error> | [9] |
| <https://towardsdatascience.com/illustrated-guide-to-lstms-and-gru-s-a-step-by-step-explanation-44e9eb85bf21> | [10] |
| <https://machinelearningmastery.com/loss-and-loss-functions-for-training-deep-learning-neural-networks/> | [11] |
| <https://commandowallstreet.com/%D7%9E%D7%A1%D7%97%D7%A8-%D7%90%D7%9C%D7%92%D7%95%D7%A8%D7%99%D7%AA%D7%9E%D7%99/%D7%90%D7%A1%D7%98%D7%A8%D7%98%D7%92%D7%99%D7%99%D7%AA-%D7%97%D7%96%D7%A8%D7%94-%D7%9C%D7%A9%D7%95%D7%A7/> | [12] |