

# גלאי חריגות פשוט ל time-series data

## הקדמה

סטודנטים יקרים שלום רב,

בימנו הרבה פרויקטים מכילים אלמנטים של data science / ML בצד השרת ואפליקציות שונות בצד הלקוח. גם קיימים כלים מאד מתקדמים שמאפשרים לנו לעבוד ברמת אבסטרקציה מאד גבוהה. גבוהה עד כדי כך שאנו עלולים שלא להבין כיצד הדברים עובדים מאחורי הקלעים, וכתוצאה להפעיל אותם לא נכון. לכן, כדי ליצור הבנה עמוקה, בקורס זה אנו נממש דוגמאות פשוטות כמעט מאפס ונבנה אותן שכבה מעל שכבה בפרויקט מתגלגל עד שנגיע לסיום מכובד של מערכת שלמה.

למעשה פרויקט זה יכול לשמש כחלון הראווה שלכם כשתרצו להציג את הניסיון התכנותי שצברתם.

פרויקט זה מכיל את האלמנטים הבאים:

- שימוש בתבניות עיצוב וארכיטקטורה
- תקשורת וארכיטקטורת שרת-לקוח
- שימוש במבני נתונים ובמסד נתונים
- הזרמת נתונים (קבצים ותקשורת)
- הטמעה של אלגוריתמים מבוססי data בתוך המערכת שניצור
- תכנות מקבילי באמצעות ת'רדים
- תכנות מוכוון אירועים, אפליקציית desktop עם GUI
- תכנות מוכוון אירועים, אפליקציית Web בסגנון REST
- אפליקציית מובייל (אנדרואיד)

בכל סמסטר תגישו 3 אבני דרך:

### תכנות מתקדם 1

1. מטלת "חימום" – ספריית קוד
2. גלאי חריגות פשוט
3. שרת גילוי חריגות

### תכנות מתקדם 2

4. אפליקציית desktop לתחקור טיסה וגילוי חריגות
5. אפליקציית רשת (SaaS) לגילוי חריגות
6. אפליקציית מובייל – שלט רחוק למטוס

במסמך מקוון שיפורסם באתר המודול של הקורס יופיעו כל פרטי ההגשה – מה מגישים, לאן, כיצד תתבצע הבדיקה וכדומה.

בהצלחה!

## אבן דרך 1 – ספריית קוד לצורך גילוי חריגות

מיני-משימה – לימוד עצמי – GIT

לפני שנתחיל, לימדו לעבוד עם version control. זהו לא חומר לימוד אקדמי, אלא כלי. עם כלים של version control אתם יכולים לשמור את הקוד שלכם בענן, לעבוד במקביל עם שותפים ולמזג את הקוד שכתבו, לחזור לגרסאות קודמות ועוד. מערכת GIT הפכה בשנים האחרונות לפופולרית ביותר, ולכן עליכם להכיר אותה (<https://git-scm.com/>). אחד משרתי האחסון הפופולריים נקרא GitHub.

קיימים לא מעט tutorials לשימוש ב-GIT. אולם, הדרך הטובה ביותר לדעתי ללמוד את הכלי היא להתנסות איתו. צרו עם השותפים פרויקט קטן ב C++ בסגנון "hello world" ותשתפשו עליו בכל הקשור להעלאה, הורדה, עדכון, מיזוג של קוד וכדומה. כאשר אתם מרגישים שהשימוש בכלי כבר טבעי לכם, תוכלו להתחיל את הפרויקט. לאורך השנה, עליכם להשתמש בכלי זה.

### ספריית קוד לצורך גילוי חריגות

בפרויקט זה נממש גלאי חריגות (Anomaly Detector) פשוט המבוסס על שיטות סטטיסטיות פשוטות. לשם כך נצטרך להיעזר בספריית קוד שאותה נממש באבן דרך זו. עליכם לממש את הפונקציות הבאות בקובץ anomaly\_detection\_util.cpp עבור הקובץ anomaly\_detection\_util.h הבא:

```
// returns the variance of X and Y
float var(float* x, int size);

// returns the covariance of X and Y
float cov(float* x, float* y, int size);

// returns the Pearson correlation coefficient of X and Y
float pearson(float* x, float* y, int size);

class Line{
public:
    const float a,b;
    Line(float a, float b):a(a),b(b){}
    float f(float x){
        return a*x+b;
    }
};

class Point{
public:
    const float x,y;
    Point(float x, float y):x(x),y(y){}
};

// performs a linear regression and return s the line equation
Line linear_reg(Point** points, int size);

// returns the deviation between point p and the line equation of the points
float dev(Point p,Point** points, int size);

// returns the deviation between point p and the line
float dev(Point p,Line l);
```

הפונקציה var צריכה להחזיר את השונות (variance) עבור מדגם סופי של משתנה בדיד  $X$ .

בהינתן אוכלוסייה בגודל  $N$  נוכל לחשב את השונות על ידי לקיחת הסתברות אחידה:

$$\text{Var}(X) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2 = \left( \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^2 \right) - \mu^2$$

כאשר

$$\mu = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \text{ הוא ערך התוחלת.}$$

הפונקציה cov צריכה להחזיר את השונות המשותפת (covariance) של המשתנים  $X$  ו- $Y$ .

$$\text{cov}(X, Y) = E(XY) - E(X)E(Y) = E((X - E(X))(Y - E(Y)))$$

כאשר גם כאן מדובר על מדגם סופי ולכן  $E(X)$  כמו  $\mu$  לעיל, הוא ממוצע פשוט.

הפונקציה Pearson היא מדד לקורלציה ליניארית. ככל שהערך קרוב יותר ל 1 כך שני המשתנים מתנהגים דומה יותר (כשהאחד עולה או יורד השני עולה או יורד בהתאמה). ככל שהערך קרוב יותר ל -1 כך המשתנים מתנהגים הפוך זה מזה (כשהאחד עולה, השני יורד). בשני המקרים מדובר בקורלציה מאד חזקה. לעומת זאת, ככל שהערך קרוב יותר ל 0 כך גובר חוסר הקשר בין המשתנים.

יש לממש את Pearson כך:

$$\frac{\text{cov}(X, Y)}{\sigma_x \sigma_y}$$

כאשר  $\sigma$  היא סטיית התקן (השורש של variance)

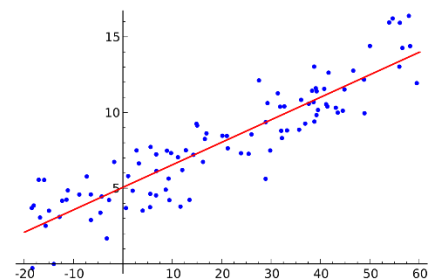
כעת נתונה המחלקה Line המייצגת משוואת ישר ע"י  $Y = a \cdot X + b$  והמחלקה Point המייצגת נקודה דו-ממדית.

הפונקציה linear\_reg צריכה בהינתן מערך של נקודות להחזיר את משוואת הישר ע"י טכניקה שנקראת רגרסיה ליניארית:

$$a = \frac{\text{COV}(x, y)}{\text{VAR}(x)} \text{ ואילו } b = \bar{y} - a\bar{x} \text{ הם הממוצעים של } (Y \mid X)$$

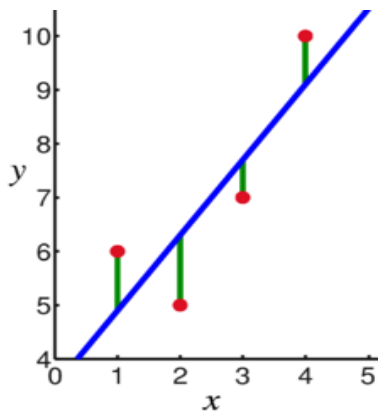
כך מתקבלת משוואת ישר  $Y = a \cdot X + b$  המתארת את הנק' אם אכן יש ביניהן קורלציה ליניארית.

למשל:



לקריאה נוספת (ולאפשרויות חישוב נוספות):

[https://en.wikipedia.org/wiki/Simple\\_linear\\_regression](https://en.wikipedia.org/wiki/Simple_linear_regression)



כעת, שתי הפונקציות האחרונות בספרייה יעזרו לנו למדוד את הסטייה בין נק' כלשהי, לבין שאר הנקודות בהתפלגות. יש המון דרכים למדוד זאת. אנו נבחר בדרך פשוטה והיא המרחק בין הנק' לבין הישר שיצרו הנקודות. ראו את התרשים הבא. לכל נק'  $(x, y)$  יש את הנק' המתארת היכן צפינו שהיא תהיה על הישר

$(x, f(x))$  וההפרש בערך מוחלט  $|f(x) - y|$  מתאר לנו את המרחק מהצפייה הזו. בתרשים אלו הקווים הירוקים. ככל שאורך הקו הירוק גדול יותר כך הנק' נראת לנו חריגה יותר ביחס לכל האחרות.

(הערת אגב: אין צורך למדוד את אורך הקו בין נק' אדומה וניצב לקו הכחול כי בגלל כלל פיתגורס החישוב הפשוט שלנו מספיק כדי לתאר עד כמה רחוקה הנק' האדומה מהקו הכחול)

במסמך ההגשות מפורט תאריך היעד להגשה, כיצד להגיש ולכן.

הבדיקה בודקת את הפונקציות לעיל על קלט סטנדרטי ואקראי וכן כל מיני מקרי קצה.

בהצלחה

## אבן דרך 2 – גלאי חריגות פשוט

באבן דרך זו נרצה לממש גלאי חריגות פשוט עבור time-series data. ה data שלנו מאופיין בכך שהוא מגיע (בדרך כלל) בצורה של טבלה ע"י ערכים מופרדים בפסיק (csv). בשורה הראשונה ישנה כותרת לכל עמודה, אלו הם שמות המאפיינים (features) שנמדדו. לאחר מכן כל שורה מתארת את הערכים שהיו למאפיינים אלו בכל איטרציית דגימה (time step). למשל מידע שנדגם משעוני טיסה:

Time (seconds)	Altitude (feet)	Air Speed (knots)	Heading (deg)
0.1	12000.2	250	45.0
0.2	12001.0	250	45.3
0.3	12000.5	250	45.8

המטרה שלנו היא בהינתן דגימה של שורה, להכריע מהר ככל הניתן האם היא חריגה ביחס לשורות הקודמות שראינו.

ה domain עבורו נפעיל את גלאי החריגות שלנו הוא סימולטור טיסה בשם FlightGear. כשנזריק תקלה לטיסה נרצה שהיא תתגלה כחריגה ע"י גלאי החריגות שלנו.

נניח כמה הנחות עבור גלאי החריגות שלנו:

- טיסות מתחילות כתקינות, ולאחר נק' זמן כלשהי עלולה להתפתח תקלה
- נתוני הטיסה שנדגמים מכילים לא מעט מאפיינים קורלטיביים זה לזה
- נצפה ממאפיינים שנמצאו כקורלטיביים על פני טיסה תקינה שלמה להישאר קורלטיביים גם בטיסות אחרות. אם צפייה זו תישבר נכריז על גילוי חריגה.

לכן, גלאי החריגות שלנו יפעל בשני שלבים – שלב מקדים (offline learning) ושלב גילוי (online anomaly detection).

**בשלב המקדים** ניקח קובץ של טיסה תקינה ונבדוק לכל מאפיין מי מהמאפיינים האחרים הכי קורלטיבי אליו ע"פ Pearson. כלומר לכל מאפיין  $f_i$  נמדוד באמצעות Pearson את הקורלציה בין וקטור הערכים של  $f_i$  לבין וקטור הערכים של כל  $f_j$ . כך לכל מאפיין  $f_i$  נחזיר את המאפיין  $f_j$  שעבורו קבלנו את תוצאת ה Pearson בערך מוחלט הגבוהה ביותר.

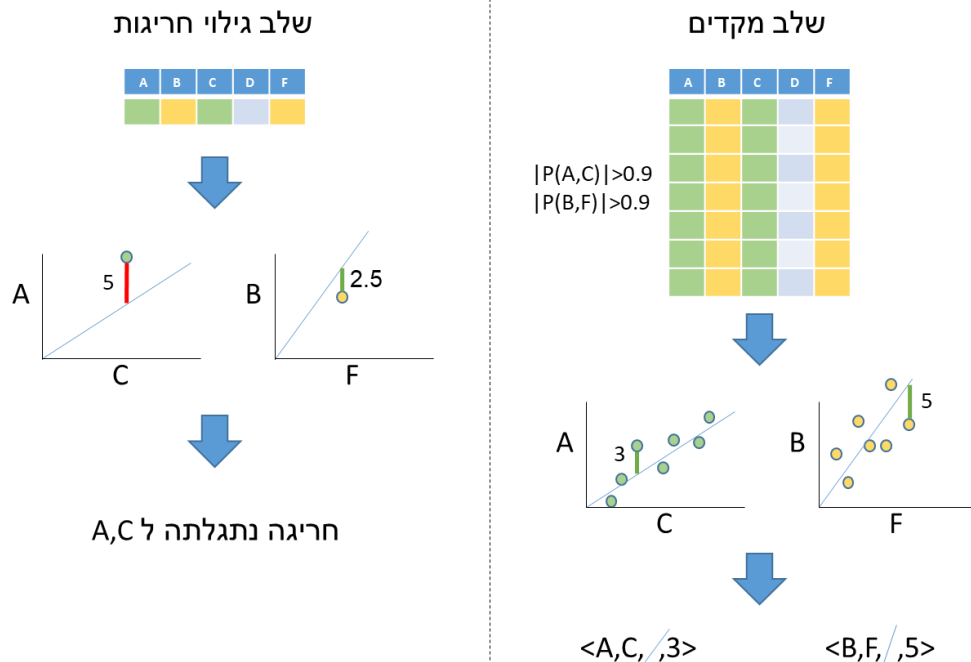
אך לא די בכך, נצטרך גם להגדיר איזשהו סף (threshold) שמעליו המאפיינים ייחשבו בכלל כקורלטיביים. לדוגמה אם נמצא שהקורלציה המקסימלית בין שני מאפיינים כלשהם היתה 0.2 זה לא יכול לעזור לנו לגלות חריגה שכן מראש שני המאפיינים הללו בלתי תלויים. לעומת זאת על קורלציה של 0.9 אפשר לסמוך הרבה יותר. הסף הזה הוא פרמטר של האלגוריתם וכנזה הוא ישפיע מאד על הדיוק שלו.

לכל זוג מאפיינים שימצאו קורלטיביים דיים (קורלציה ישירה או הפוכה) נלמד את קו הרגרסיה שהנתונים שלהם מייצרים.

כעת נעבור על הטיסה התקינה שוב, ולכל זוג מאפיינים, ולכל נקודה דו-ממדית שלהם ב data נמדוד את ההיסט המקסימאלי שראינו ביחס לקו הרגרסיה שלהם. מכיוון שזו טיסה תקינה, אז נניח שהמרחקים שראינו מותרים וצפויים. אם בטיסת המבחן נראה נק' שמייצרת היסט גדול יותר, נתריע על כך כחריגה ואף נוכל לומר מיהם המאפיינים המעורבים בחריגה.

**בשלב גילוי החריגות** נקבל את הקלט תוך כדי טיסה – כלומר שורה אחר שורה. מכל שורה שכזו ניצור אוסף של נקודות דו-ממדיות ע"פ המאפיינים שלמדנו שהם קורלטיביים בשלב המקדים. לכל נק' דו-ממדית שכזו נמדוד את המרחק שלה מקו הרגרסיה שלמדנו עבור המאפיינים שיצרו אותה. אם המרחק הזה גדול דיו מהמרחק המקסימאלי שראינו עבור המאפיינים האלה נתריע על חריגה ונכלול בדיווח את המאפיינים המעורבים.

התרשים הבא מתאר אילוסטרציה של גלאי החריגות הפשוט שלנו:



## מימוש:

כרגע אנו יודעים על מימוש אחד לגלאי החריגות שלנו. אולם, יתכן ובעתיד נרצה לשחק עם הקוד ולבחון מימושים שונים לאלגוריתם הזה או אפילו לנסות אלגוריתמים שונים לחלוטין לגילוי חריגות.

המשמעות היא שלא נרצה להטמיע את האלגוריתם בצורה קבועה בפרויקט, אלא לשמור על היכולת להחליף ולשבץ אלגוריתמים שונים בלי שזה ישפיע על שאר החלקים של הפרויקט.

במילים אחרות, עלינו לשמור על עקרון חשוב שנקרא **Open / Closed** – שמשמעותו העיצוב שלנו צריך להיות **פתוח להרחבה** אך **סגור לשינויים**. נבין מתוך דוגמה. אם נממש את האלגוריתם לעיל במחלקה כלשהי, מן הסתם יהיו לה מתודות ספציפיות שמתאימות לדרישות האלגוריתם הזה. כשנרצה לנסות כל מיני וריאציות למימוש נצטרך לשנות קוד קיים. אם נרצה לכתוב אלגוריתם אחר או לייבא אחד, אז המתודות שלו יהיו שונות, והטמעתו בפרויקט לא תהיה פשוטה.

לעומת זאת, אילו נתאמץ להגדיר ממשק שמתאר את הפונקציונאליות הכללית של כל גלאי חריגות, ובכל שאר הפרויקט יעבדו עם ממשק זה כטיפוס, אז נוכל להחליף אפילו בזמן ריצה מימושים שונים לממשק מבלי שזה ישפיע על שאר הקוד. כלומר העיצוב סגור לשינויים. ואם נרצה להוסיף עוד מימוש פשוט נוסיף מחלקה שמממשת את הממשק וכך היא תתחבר לפרויקט, או במילים אחרות, פתוח להרחבה.

נגדיר את הממשק שלנו בקובץ AnomalyDetector.h:

```
class TimeSeries{
    //...
};

class AnomalyReport{
public:
    const string description;
    const long timeStep;
    AnomalyReport(string description, long timeStep) :
        description(description), timeStep(timeStep){}
};

class TimeSeriesAnomalyDetector {
public:
    virtual void learnNormal(const TimeSeries& ts)=0;
    virtual vector<AnomalyReport> detect(const TimeSeries& ts)=0;
    virtual ~TimeSeriesAnomalyDetector(){}
};
```

הגדרנו את המחלקה TimeSeriesAnomalyDetector כממשק – ישנן רק מתודות וכולן pure virtual.

תחילה אנו נותנים את האפשרות לכל גלאי חריגות ללמוד ולמדל data שנחשב נורמלי – במתודה learnNormal. מתודה זו תקבל אובייקט מסוג TimeSeries – טיפוס שאותו עליכם להגדיר בכוחות עצמכם.

בסופו של דבר TimeSeries צריך להחזיק טבלה כמתואר לעיל. רצוי שיהיו לו מתודות שיעשו את החיים שלנו קלים יותר, כגון הזנה או החזרה של רשימת שמות המאפיינים, הוספת שורה, איזה ערך יש למאפיין j בזמן i, טעינה מתוך קובץ csv וכדומה.

אם גלאי החריגות שלנו מבוסס על למידה מקדימה, אז באמצעות המתודה `learnNormal` נוכל להזין לו `TimeSeries` (פעם אחד או יותר) מבלי שיהיה תלוי מהיכן הגיע המידע (למשל קובץ או `stream` של תקשורת וכדומה).

המתודה העיקרית של גלאי החריגות היא המתודה `detect`. בהינתן `TimeSeries` (למשל סדרה המאפיינת טיסה חדשה) נרצה להחזיר רשימה של דיווחים. לכל דיווח (`AnomalyReport`) יש תיאור ונק' זמן. כך נוכל למדוד את הדיוק של גלאי החריגות.

כעת נוכל להגדיר את גלאי החריגות הפשוט שלנו כסוג של `TimeSeriesAnomalyDetector`. נעשה זאת בקובץ `SimpleAnomalyDetector.h`.

```
struct correlatedFeatures{
    string feature1,feature2;
    float correlation;
    Line lin_reg;
    float threshold;
};

class SimpleAnomalyDetector:public TimeSeriesAnomalyDetector{
public:
    SimpleAnomalyDetector();
    virtual ~SimpleAnomalyDetector();

    virtual void learnNormal(const TimeSeries& ts);
    virtual vector<AnomalyReport> detect(const TimeSeries& ts);
    vector<correlatedFeatures> getNormalModel();
};
```

במתודה `learnNormal` עליכם לממש את השלב המקדים של האלגוריתם שתיארנו, ואילו במתודה `detect` את תהליך גילוי החריגות.

בנוסף, הגדרנו את המתודה `getNormalModel` למען הטסטביליות של המחלקה. במתודה זו תחזירו רשימה של מאפיינים קורלטיביים כמתואר בקוד. כך, נוכל לבדוק שהלמידה היתה תקינה.

**בונס 5 נק':** תוכלו לממש גלאי חריגות משלכם בשם `MyAnomalyDetector` (או השאירו אותו ריק). אם הוא יהיה מדויק יותר בצורה מובהקת מהגלאי הפשוט אז תקבלו לציון הפרויקט 5 נק' בונס.

במסמך ההגשות מפורט תאריך היעד להגשה, כיצד להגיש ולאן.

הבדיקה בודקת את המודל הנורמלי ואת רמת הדיוק של הגלאי. תשחקו עם הפרמטרים של סף הקורלציה או סף המרחק שתוארו לעיל כדי לקבל דיוק מיטבי.

בהצלחה

## אבן דרך 3 – שרת גילוי חריגות

כיום ישנם שרתים מוכנים שמאד נוח להתממשק אליהם. אולם, כדי שההבנה שלנו תהיה עמוקה, אנו נממש שרת פשוט בכוחות עצמנו. מאוחר יותר תוכלו להשתמש בשרתים מוכנים וכבר יהיה לכם מושג טוב כיצד הם עובדים מאחורי הקלעים.

בשלב זה נרצה שלשרת שלנו יהיה Command Line Interface (CLI). כלומר, כאשר לקוח יתחבר, יופיעו לו תפריטים טקסטואליים שהשרת שלח ובאמצעותם תתבצע האינטראקציה בין השרת ללקוח.

הלקוח יוכל להעלות לשרת קובץ csv, לעדכן פרמטרים של האלגוריתם ולקבל בחזרה דו"ח חריגות שנתגלו. בנוסף הלקוח יוכל להזין היכן התרחשו החריגות בפועל ולקבל ניתוח של דיוק האלגוריתם על ה data ששלח.

השרת שלנו יצטרך לטפל במספר לקוחות במקביל ונצטרך אף להגביל את הכמות הזו כדי שהשרת לא יקרוס כתוצאה מעומס.

בשלב מאוחר יותר (ת. מתקדם 2) נרצה להחליף את ה CLI ולהפוך את השרת שלנו ל Service שניתן להפעלה ישירות מקוד הלקוח לפי סטנדרטים מודרניים.

**הערה חשובה:** משלב זה של הפרויקט אתם מקבלים בהדרגה יותר חופש ואחריות על ההחלטות בפרויקט. המשמעות היא שאגדיר לכם מה עליכם לממש ופחות אגדיר לכם איך לממש זאת. נתחיל בכך שתקבלו את העיצוב בלבד, ועליכם לנתח ולגזור משמעויות לאימפלמנטציה, ולממש בהתאם.

### משימה א' CLI

לשם מימוש ה CLI נשתמש בתבנית עיצוב שנקראת Command Pattern בה לכל פקודה במערכת שלנו יש מחלקה משלה מסוג Command. המחלקה Command יכולה להגדיר כל מה שרלוונטי לכל הפקודות במערכת שלנו, ובפרט פקודת execute אבסטרקטית עבור הפעלה. היתרונות הם:

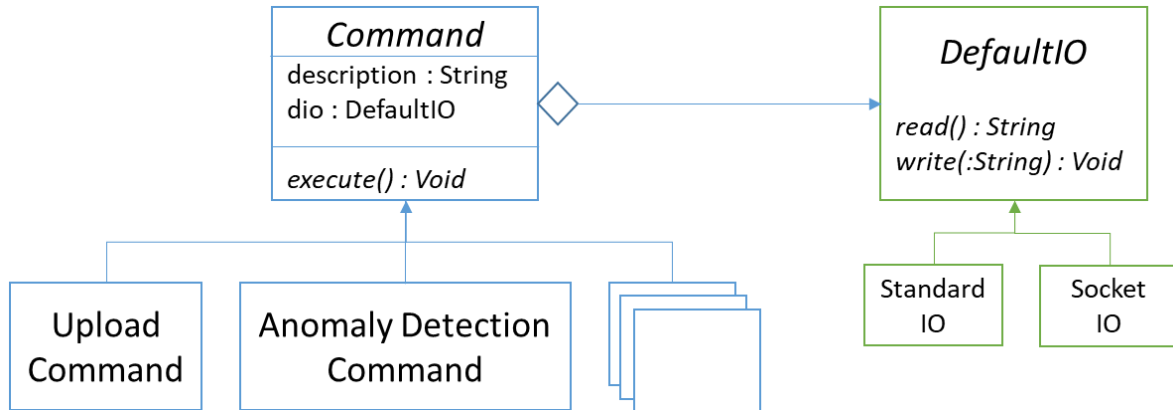
- מכנה משותף פולימורפי לכל הפקודות
  - ניתן למשל להכניס את כל הפקודות למבנה נתונים
  - כגון מפה או מערך, ובהינתן ה key (או אינדקס) מיד לשלוף את הפקודה ולהפעילה
  - לרכז את כל הבקשות לפקודות המגיעות במקביל בתור \ תור עדיפויות
- פתוח להרחבה – ניתן להוסיף עוד מחלקות Command ע"פ הצורך \ לרשת פקודות קיימות
- ליצור הרכבות עם תבניות עיצוב אחרות, למשל עם Composite. אם למשל המחלקה MacroCommand תחזיק מערך פולימורפי של Commands אז כשנקרא ל execute שלה היא בתורה תקרא ל execute של כל פקודה במערך, שבתורן יכולות להיות פקודות רגילות (עלים) או גם MacroCommands.

אך היתרון העיצובי הוא החשוב ביותר – והוא ההפרדה בין יוזם הפקודה (invoker) לבין מי שהולך להיות מופעל (receiver). למשל אם יש 5 דרכים שונות ליזום את אותו הדבר (נניח פעולת הדבק) אז מכולן יהיה קישור לאותו אובייקט פקודה ויצרנו מקור אחד של אמת אם נרצה לשנות בעתיד משהו.

לעוד מידע תוכלו לצפות בסרטון 14.1.

נגדיר את העיצוב הבא:





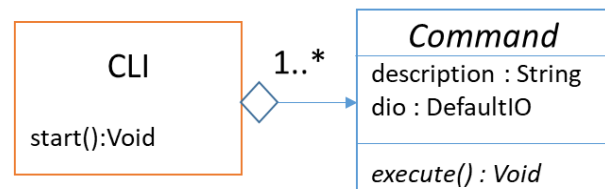
כפי שניתן לראות יש לנו מחלקה אבסטרקטית Command עם מתודה אבסטרקטית execute(). את המתודה הזו יצטרכו לממש כל היורשים – הפקודות השונות בתוכנית שלנו.

בנוסף לכל Command יש מחרוזת description. כדי ליצור תפריט למשל, נוכל להשתמש במערך של Command\* ולעבור על כל Command\* ולהדפיס את ה description שלו. כאשר המשתמש יבחר אופציה i נוכל ללכת ל Command ה i במערך ולקרוא ל execute שלה. הפקודה הזו בתורה תמשיך את האינטראקציה עם המשתמש לפי הצורך. היא אפילו יכולה בתורה להפעיל פקודות אחרות.

אולם, לא תמיד נרצה להדפיס למסך או לקרוא מהמקלדת... בהקשר שלנו נרצה להשתמש בעיצוב הזה בתוך שרת, כאשר את הקלט והפלט אנו מבצעים דרך socket-ים של תקשורת. לשם כך הגדרנו את הטיפוס המופשט DefaultIO שהיורשים שלו יצטרכו לממש בדרכם את המתודות הקריאה והכתיבה. כך נוכל להזין בזמן ריצה ל Command מימושים שונים של DefaultIO. בדומה לעיל, אם נרצה קלט-פלט סטנדרטי אז נזין לו את StandardIO ואילו אם נרצה באמצעי תקשורת אז נזין SocketIO. נשים לב שזה גם פתוח להרחבה, כי אם נרצה למשל לקרוא ולכתוב לקבצים אז נוכל להוסיף מימוש ל DefaultIO וכל ה Command-ים לא יצטרכו להשתנות ויעבדו אותו הדבר.

**זכרו!** תרשים מחלקות ב UML אינו מהווה תחליף לקוד; הוא מכיל רק את מה שרלוונטי להבנת העיצוב. עליכם לגזור משמעויות נוספות שקשורות למימוש.

קעת צרו את המחלקה CLI עם המתודה void start().



**טיפ:** תחילה תעבדו עם standardIO. זה יהיה הרבה יותר נוח ונכון לדיבאג. כשהכל יעבוד ב CLI, תוכלו לממש את socketIO ואז ה CLI יזין אותו ל Command, ולראות שהכל עובד גם דרך ערוצי התקשורת.

כאשר מתודה זו תופעל יודפס ללקוח התפריט הבא:

```
Welcome to the Anomaly Detection Server.
Please choose an option:
1. upload a time series csv file
2. algorithm settings
3. detect anomalies
4. display results
5. download results
6. upload anomalies and analyze results
7. exit
```

על כל אופציה שהלקוח בוחר יופעל אובייקט Command מתאים שימשיך ע"פ הצורך את האינטראקציה עם הלקוח.

זכרו שהאינטראקציה צריכה להיעשות ע"י אובייקט ה DefaultIO כדי שמאוחר יותר תוכלו להחליף אותו עם קלט-פלט מבוסס תקשורת. כשתעשו את זה, מן הסתם תצטרכו לבנות גם צד לקוח, לעת עתה ניתן להניח לזה.

**אם הלקוח הקליד 1** ו enter, תינתן האפשרות ללקוח להקליד נתיב לקובץ csv לוקאלי אצלו במחשב, ולאחר לחיצה על enter הלקוח ישלח את הקובץ לשרת. בסיום ההעלאה השרת יכתוב חזרה ללקוח הודעת "upload complete".

זה צריך להיראות כך:

Please type the full path for your local CSV file. C:\data\flightgear\flight1.csv Upload complete. Type enter to return to main menu.	השרת מדפיס הלקוח מקליד קובץ כלשהו השרת מדפיס השרת מדפיס
--	--

**טיפ:** זה יכול להיות רעיון טוב להוסיף ל DefaultIO אפשרות להעלות \ להוריד קבצים.

לאחר לחיצה על enter יוצג שוב התפריט הראשי.

**אם הלקוח בחר 2,** השרת יציג לו את סף הקורלציה והאפשרות להחליפו באופן הבא:

```
The current correlation threshold is 0.9
Type a new threshold or just press enter to exit without changing
```

אם הלקוח רק לחץ enter אז הסף יישאר כפי שהוא. אם הוא בחר ערך תקין ולחץ enter אז הסף ישתנה. אם הוא לא בחר ערך בין 0 ל 1 אז יש לכתוב לו את ההודעה הבאה:

"please choose a value between 0 and 1."

ולאחר enter לחזור להציג שוב את האפשרות לשנות את הסף.

לאחר בחירה של סף תקין (או השארת הסף כפי שמוגדר) יש לחזור לתפריט הראשי.

**אם הלקוח בחר 3,** השרת יריץ את האלגוריתם על קובץ ה CSV שהועלה קודם לכן. בסוף הריצה השרת יכתוב "anomaly detection complete." ולאחר enter של הלקוח נחזור לתפריט הראשי. אם לא הועלה

קובץ CSV קודם לכן, השרת ידפיס ללקוח "you must upload a CSV file first." ולאחר enter של הלקוח לחזור לתפריט הראשי.

**אם הלקוח בחר 4**, השרת ידפיס את דיווחי החריגות. לכל דיווח ההדפסה תהיה כך: ה time step, טאב, ה description ואז ירדת שורה. לבסוף יודפס "Done.". לאחר enter של הלקוח יש לחזור לתפריט הראשי. לדוגמה:

```
543      altimeter, gps_indicated_altitude
605      airspeed_indicator, ground_speed
623      airspeed_indicator, ground_speed
Done.
```

אם האלגוריתם לא הופעל לפני בחירה זו השרת ידפיס הודעה

"you must first apply the algorithm (option 3 in the main menu)."

ולאחר enter של הלקוח יוצג שוב התפריט הראשי.

**אם הלקוח בחר 5**, ההתנהגות תהיה דומה לזו של אופציה 4, רק שבמקום להדפיס את התוצאות הלקוח יקליד נתיב לשמירת הקובץ אצלו לוקאלית, השרת ישלח קובץ בשם results.txt שמכיל את התוצאות בדיוק באותו הפורמט לעיל. לאחר סיום ההורדה השרת יכתוב "download complete" ולאחר enter של הלקוח יופיע שוב התפריט הראשי.

שימו לב שכאשר נעבוד באמצעות תקשורת, צד הלקוח מקבל stream של מידע שאותו הוא שומר כקובץ results.txt היכן שהמשתמש הגדיר לו. באף שלב זה לא מעניין את השרת היכן המשתמש בחר לשמור את הקובץ וממילא השרת יכול רק לשלוח את המידע. הלקוח הוא זה שקורא את המידע ושומר אותו בקובץ.

**אם הלקוח בחר 6**, הוא יקליד שם מלא של קובץ חריגות. לאחר enter הלקוח יעלה את הקובץ לשרת, השרת ינתח את תוצאות האלגוריתם ויצג אותן ללקוח.

קובץ החריגות הוא קובץ טקסט בו בכל שורה יופיעו הזמנים שבהם אכן הופיעו חריגות (לפי סדר כרונולוגי). הפורמט הוא time step של תחילת החריגה, טאב, time step של סיום החריגה. לדוגמה:

```
122      150
180      185
1001     1020
```

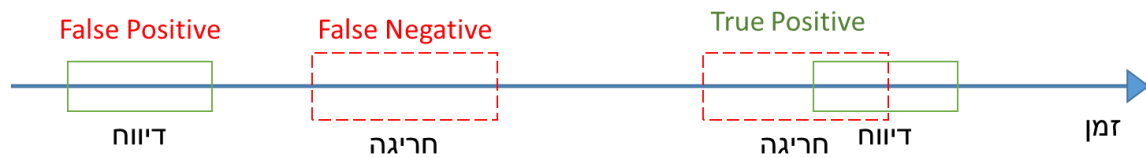
השרת ישווה את זמני הדיווחים של שרת גילוי החריגות לזמנים הללו.

תחילה, עלינו לאחד דיווחים שיש להם את אותו ה description ורציפות ב timestep. לדוגמה אם גלאי החריגות דיווח 15 דיווחים רציפים מ time step x ועד time step x+15 ולכולם אותו התיאור, אז נחשיב את זה כדיווח אחד רציף שהתחיל ב x והסתיים ב x+15. את כמות הדיווחים נסמן כ P (עבור positive). את כמות ה time steps שבהם לא היה כל דיווח נסמן כ N (עבור negative). כעת נוכל למדוד את האלגוריתם:

- כל דיווח מחוץ לאחת ממסגרות הזמן בהן היו חריגות ייחשב כ false positive. נסמן כ FP.
- כל מסגרת זמן שבה היתה חריגה, ויש לה חיתוך גדול מ 0 עם זמן של דיווח חריגה ייחשב כ true positive. נסמן כ TP.
- ישנם מדדים נוספים שאין לנו בהם צורך כרגע, אך כדי להשלים את התמונה:

- כל מסגרת זמן שבה היתה חריגה, ואין לי חיתוך עם אף דיווח – תיחשב כ false negative.
- נסמן כ FN.
- כל זמן בו לא היתה חריגה ולא היה דיווח ייחשב כ true negative. נסמן כ TN.

המחשה ויזואלית:



נרצה לדווח שני מדדים:

כמה מתוך כלל הדיווחים היו נכונים –  $\text{True positive rate} = \text{TP} / P$

יחס אזעקות השווא –  $\text{False alarm rate} = \text{FP} / N$

האינטראקציה בין השרת ללקוח תיראה כך:

<pre>Please type the full path for your local anomalies file. C:\data\flightgear\flight1_anomalies.txt Upload complete. Analyzing... True Positive Rate: 0.753 False Positive Rate: 0.12</pre>	<p>השרת מדפיס הלקוח מקליד השרת מדפיס</p>
--	--

את התוצאות יש להדפיס עם עיגול של 3 ספרות אחרי הנקודה.

לאחר enter של הלקוח נחזור לתפריט הראשי.

גם הפעם, אם האלגוריתם לא הופעל לפני בחירה זו השרת ידפיס הודעה

"you must first apply the algorithm (option 3 in the main menu)."

ולאחר enter של הלקוח יוצג שוב התפריט הראשי.

**אם הלקוח בחר 7,** תסתיים האינטראקציה בין השרת ללקוח.

כאמור, מומלץ לבדוק את כל ה CLI לוקאליות עם standardIO לפני שממשיכים למשימות הבאות.

## משימה ב' צד שרת

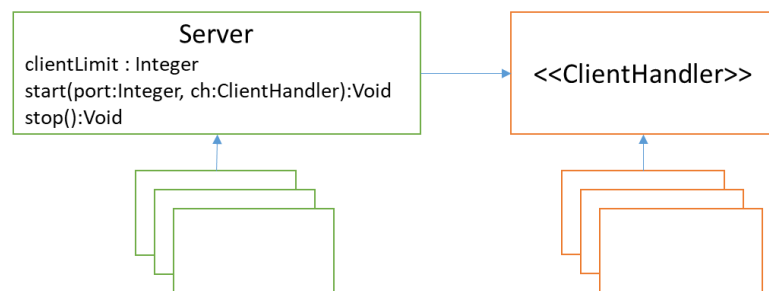
בדומה לאלמנטים הקודמים בפרויקט, גם כאן נרצה לשמור כלליות הקוד כך שיתאפשר reuse בעת הצורך. כשאנו כותבים צד שרת יש חלקים שחוזרים על עצמם מפרויקט לפרויקט ויש כמובן דברים שמשתנים. זה חשוב להפריד בין אלו כדי שנוכל לעשות reuse לקוד שאינו משתנה. לשם כך אסור לו להיות תלוי בקוד שכן צפוי להשתנות. צריך לנתק בין חלקים אלו – כלומר לעשות decoupling.

בצד השרת נרצה להפריד בין המנגנון שמפעיל את השרת, דהיינו מאזין על port כלשהו וממתין ללקוח, פותח ת'רד כדי להתנהל איתו במקביל, מגביל את כמות הת'רדים וכדומה, לבין השיחה עם הלקוח שתשתנה כמובן מפרויקט לפרויקט.

נשתמש בתבנית עיצוב בשם Bridge pattern כדי להפריד בין מימושים שונים של השרת לבין מימושים שונים לשיחה עם הלקוח.

צפו בהרצאה 11, וכן בסרטון 12.3 אודות התבנית.

כעת אתם מקבלים יותר חופש. הביטו בתרשים הכללי הבא, והפכו אותו לעיצוב שמתאים למימוש צד השרת.



בצד אחד של הגשר יש לנו את המחלקה Server. בצד השני יש לנו ממשק בשם ClientHandler שצריך להגדיר את הפונקציות של טיפול בלקוח שהתחבר. במתודה start() של Server נקבל מופע מהסוג של ClientHandler. כך, ניתן להרחיב את Server בצד אחד של הגשר בלי להיות תלויים בהרחבות השונות של ClientHandler. הלכה למעשה, נוכל לממש את Server פעם אחת, ובכל פרויקט להחליף לו ClientHandler.

בנוסף, הערך של clientLimit יגביל את כמות הלקוחות שנטפל בהם במקביל. המתודה start תפעל את השרת על port כלשהו, ותפעיל את ה client handler שקבלה כדי להתכתב עם הלקוח שהתחבר. המתודה stop() תסגור את השרת בצורה מסודרת. כלומר, לא יתקבלו לקוחות חדשים. כל הלקוחות שהתחברו יסיימו את הטיפול, ולאחר מכן כל המשאבים (ת'רדים, socket-ים) ייסגרו.

- עליכם להגדיר בכוחות עצמכם מה צריך להיות בממשק של Client Handler.
- עליכם לממש את Client Handler במחלקה בשם AnomalyDetectionHandler
- עליכם לשבץ בצורה נכונה במחלקה זו את השימוש ב CLI, ה Command-ים שלו, ובפרט את ה DefaultIO שלו שצריך עתה להתכתב באמצעות ה Socket-ים שהשרת פתח.

## משימה ג' – צד לקוח

זו כבר משימה פשוטה. כאן עליכם לממש צד לקוח במחלקה בשם `GeneralClient`. למחלקה זו תהיה מתודה `start()` שתקבל את ה IP וה PORT של השרת. פעולה כללית: את הפלט של השרת היא תדפיס למסך, ואת הקלט של המשמש מהמקלדת היא תשלח לשרת.

יהיו מקרים שבהם השרת כותב קודם (כמו אצלנו) ויהיו מקרים הפוכים, אז במתודה `start` ציינו ע"י פרמטר בוליאני בשם `readFirst` (עם ערך דיפולטיבי שווה ל `true`) האם קודם תתבצע קריאה מהשרת בתהליך ההתכתבות. אם הערך של `readFirst` הוא `false` המשמעות היא שאנו מתכתבים עם שרת שמצפה לקריאה לפני שיכתוב משהו, ולכן קודם נקלוט מהמשמש טקסט שישלח לשרת.

בעיה אחרונה שאתם צריכים לפתור, זה כיצד לשלב בין שליחה וקבלה של טקסט, לעומת שליחה וקבלה של קבצים תוך כדי ההתכתבות.

**טיפ:** לא כל מה שהשרת שולח חייבים בהכרח להדפיס ללקוח. הוא יכול למשל לשלוח מחרוזות שתציין שעומד להישלח קובץ בגודל X בתים. כנ"ל הפוך.

**טיפ נוסף:** מומלץ לבדוק את הלקוח מול שרת פשוט תחילה, למשל כזה שמטפל בלקוח אחד בלבד ושולח מחרוזות הפוכות. אחרי זה מול שרת שמטפל בכמה לקוחות במקביל. לאחר שזה עובד, עברו לבדוק את הלקוח מול השרת הראשי.

במסמך ההגשות מפורט תאריך היעד להגשה, כיצד להגיש ולכן.

הבדיקה בודקת את ה `CLI` בנפרד, ולאחר מכן באמצעות לקוח שיתחבר לשרת שלכם.

בהצלחה!

פרומו לאבן דרך 4 בסמסטר ב: ☺

