

Detectarea anomaliilor în tranzacționarea cu acțiuni

Coman Tudor, 351 Eftimie Petre-Laurențiu, 351
Luculescu Ștefan, 311

Rezumat

Această lucrare explorează tehnici pentru detectarea anomaliilor în tranzacțiile bursiere și analizează impactul acestora asupra eficienței piețelor financiare. Scopul principal al studiului este identificarea și caracterizarea evenimentelor neobișnuite care pot afecta performanța activelor financiare. Pentru a valida eficacitatea metodelor propuse, se folosesc seturi de date reale provenind de pe diverse piețe financiare. Sunt prezentate atât metode din analiza semnalelor, cât și din analiza statistică.

Cuprins

1	Introducere	5
1.1	Definiția anomaliilor	5
1.2	Indicatorul beta	5
1.3	Online versus offline	6
1.3.1	Detecția anomaliilor offline	6
1.3.2	Detecția anomaliilor online	6
1.3.3	Comparație	6
2	Metode statistice	7
2.1	Eliminarea trendului	7
2.1.1	Metoda regresiei polinomiale	7
2.1.2	Metoda regresiei polinomiale - rezolvarea sistemului	7
2.2	Detectarea anomaliilor	8
2.2.1	Metoda z-score	8
2.2.2	Metoda medie mobilă	8
2.2.3	Metoda de deviație medie absolută	8
2.2.4	Metoda procentuală	9
2.3	Alegerea pragurilor	9
2.4	Concluzii	10
3	Transformata Fourier pentru găsirea regiunilor cu anomalii	11
3.1	Scopul metodei	11
3.2	Ideea din spatele metodei	11
3.3	Reprezentarea matematică	12
3.4	Rezultate și concluzii	12
4	Modelul ARMA	14
4.1	Scopul metodei	14
4.2	Ideea din spatele metodei	14
4.3	Reprezentarea matematică	15
4.4	Implementare	15

5	Prophet	17
5.1	Despre Prophet	17
5.2	Setup	17
5.3	Găsirea factorului optim, rezultate și concluzii	18
	Bibliografie	20

Capitolul 1

Introducere

1.1 Definiția anomaliilor

O **anomalie** este o entitate ce diferă semnificativ de restul entităților din setul de date. Definiția lui Hawkins este următoarea[4]: *"O anomalie este o observație ce deviază atât de mult față de restul observațiilor, încât să creeze suspiciunea că a fost generată de un mecanism diferit"*.

1.2 Indicatorul beta

Volatilitatea acțiunilor este o măsură importantă în analiza seriilor de timp determinate de evoluția prețurilor acestora, fiind indicatorul principal și un standard în industrie pentru exprimarea riscului asociat cu o investiție în acele acțiuni. Aceasta oferă investitorilor și analiștilor financiari o imagine asupra incertitudinii și dinamicii pieței.

O măsură relativă (față de piață) pentru volatilitate este indicatorul β . Acțiunile cu valori $\beta > 1$ sunt mai volatile decât S&P 500, iar cele mai mici (dar pozitive) sunt mai puțin volatile. O valoare egală indică o strânsă corelare cu piața. În același timp, β poate lua și valori negative, caz în care corelația este inversă (de exemplu, dacă $\beta = -1.0$, atunci acțiunea respectivă are o corelație inversă 1 la 1 cu piața). [1]

Formula pentru calcularea indicatorului este următoarea [1]:

$$\beta = \frac{Cov(R_e, R_m)}{Var(R_m)}$$

unde R_e - rentabilitatea acțiunii, R_m - rentabilitatea pieții, iar Cov și Var sunt notațiile uzuale pentru covarianța și varianța dintre două variabile.

1.3 Online versus offline

Prin detecția de anomalii **offline** se înțelege detecția anomaliilor pe întreaga serie de timp, iar prin detecția de anomalii **online** se înțelege detecția anomaliilor în ultimul punct al seriei (cel mai recent).

1.3.1 Detecția anomaliilor offline

Prin această abordare, se analizează întreaga serie de timp pentru a identifica modele neobișnuite sau schimbări neașteptate.

Această metodă poate fi utilă, de exemplu, în cazul detectării anomaliilor mai complexe, care nu reies dintr-un singur punct de date (a se vedea o anomalie de acest tip în analiza făcută mai jos pentru AAPL). În plus, este o opțiune folosită dacă se dorește analiza datelor istorice, pentru a descoperi cum au influențat anumite evenimente (crize financiare, războaie șamd.) piețele de capital.

1.3.2 Detecția anomaliilor online

În general, detecția anomaliilor online (în ultimul punct al seriei) se face prin compararea valorii acestuia cu rezultate statistice, istorice sau date de un model predictiv.

Un exemplu de caz în care această metodă ar fi aleasă în detrimentul primeia ar fi în cazul trading-ului *high-frequency* (la intervale foarte scurte de timp), unde eficiența computațională poate face diferența între o tranzacție profitabilă sau o tranzacție care generează o pierdere.

1.3.3 Comparație

Din punct de vedere al contextului pe care îl deține modelul, metoda offline este clar una mai bună. În schimb, această metodă are o latență în detectare (fiind necesară analiza unei întregi serii de timp), abordarea online fiind una mai bună dacă se dorește eficiență computațională.

Capitolul 2

Metode statistice

2.1 Eliminarea trendului

2.1.1 Metoda regresiei polinomiale

Metoda constă în presupunerea că trendul seriei este un polinom de grad mic (2, 3, 4, 5) și calcularea polinomului de regresie. Pașii metodei sunt:

- 1) Se consideră valorile seriei de timp $v = [v_0, v_1, \dots, v_{n-1}]^T$ și momentele de timp $t = [t_0, t_1, \dots, t_{n-1}]^T$ la care au fost înregistrate valorile v .
- 2) Se determină trendul seriei sub forma unui polinom P de grad mic $d \in \{2, 3, 4, 5\}$ prin rezolvarea sistemului liniar $P(t_i) = v_i, i \in \{0, 1, \dots, n-1\}$ în sensul celor mai mici pătrate.
- 3) Seria fără trend este $r = [r_0, r_1, \dots, r_{n-1}]^T, r_i = v_i - P(t_i)$.

2.1.2 Metoda regresiei polinomiale - rezolvarea sistemului

- 1) Polinomul P este reprezentat prin vectorul de coeficienți $c = [c_0, c_1, \dots, c_d]^T, P = c_0 + c_1X + \dots + c_dX^d$.
- 2) Matricea sistemului este $A \in M_{n,d+1}(\mathbb{R}), A_{i,j} = t_i^j, i \in \{0, 1, \dots, n-1\}, j \in \{0, 1, \dots, d\}$.
- 3) În ipoteza $n - 1 > d$ (seria de timp este lungă, iar gradul polinomului este mic), matricea A are rang $d + 1$ și sistemul $Ac = v$ admite soluție unică în sensul celor mai mici pătrate (c minimizează norma vectorului $v - Ab$, unde b este un vector din \mathbb{R}^{d+1}).

4) $c = (A^T A)^{-1} A^T v$.

2.2 Detectarea anomaliiilor

2.2.1 Metoda z-score

Ideea metodei constă în presupunerea că valorile din seria fără trend reprezintă eșantioane dintr-o distribuție normală de medie m și deviație standard sd . Apoi se calculează estimatorii de verosimilitate maximă [3], în acest caz media empirică pentru medie și varianța empirică pentru pătratul deviației standard. Pașii metodei sunt:

1) Se lucrează pe serii fără trend $r = [r_0, r_1, \dots, r_{n-1}]^T$.

2) Se calculează media $m = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} r_i$ și deviația standard $sd = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} (r_i - m)^2}$.

3) Se calculează $z = [z_0, z_1, \dots, z_{n-1}]^T$, $z_i = \frac{1}{sd}(r_i - m)$.

4) Se consideră anomalii valorile z_i cu modulul mai mare decât un anumt prag (de obicei 2 sau 3 sau chiar și mai mic).

2.2.2 Metoda medie mobilă

Ideea metodei constă în calcularea mediei pe o fereastră glisantă, în loc de toată seria, în scopul de a neglija posibile oscilații ale seriei. Pașii metodei sunt:

1) Se lucrează pe serii fără trend $r = [r_0, r_1, \dots, r_{n-1}]^T$.

2) Se calculează media mobilă pe fiecare fereastră glisantă de lungime ws , cu pas $step < ws$.

3) După ce se calculează diferența față de medie pe toate ferestrele, valorile care depășesc un anumit prag sunt considerate anomalii.

2.2.3 Metoda de deviație medie absolută

Ideea metodei constă în presupunerea că valorile din seria fără trend reprezintă eșantioane dintr-o distribuție Laplace de parametri m și s . Apoi se calculează estimatorii de verosimilitate maximă [2], în acest caz mediana empirică pentru m și deviația absolută medie pentru s .

Pașii metodei sunt:

- 1) Se lucrează pe serii fără trend $r = [r_0, r_1, \dots, r_{n-1}]^T$.
- 2) Se calculează mediana seriei de timp. Mediana (p) este o valoare aleasă astfel încât jumătate din valori să fie $\geq p$ și jumătate din valori să fie $\leq p$ (în practică vom alege mijlocul vectorului sortat).
- 3) Se calculează deviația absolută medie $s = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} |r_i - p|$.
- 4) Se calculează $z = [z_0, z_1, \dots, z_{n-1}]^T$, $z_i = \frac{1}{s}(r_i - p)$.
- 5) Se consideră anomalii valorile z_i cu modulul mai mare decât un anumit prag.

2.2.4 Metoda procentuală

Presupunem că apar anomalii pe un anumit procent (cunoscut) din serie (de exemplu, procent aproximat de o metodă Fourier). Se aplică una dintre metodele anterioare cu diferența că pragul se ajustează pentru a obține procentul dorit de anomalii.

2.3 Alegerea pragurilor

Pentru calcularea pragurilor pentru fiecare metodă se folosește metoda procentuală. Folosind seria fără trend $r = [r_0, r_1, \dots, r_{n-1}]^T$, verificăm ce amplitudine au frecvențele 3, 4 și 5 (frecvențele 0, 1 și 2 reprezintă eventuale componente ale trendului ce nu au fost eliminate, iar frecvențele mai mari decât 5 reprezintă sezonabilitatea și zgomotul). Implementare:

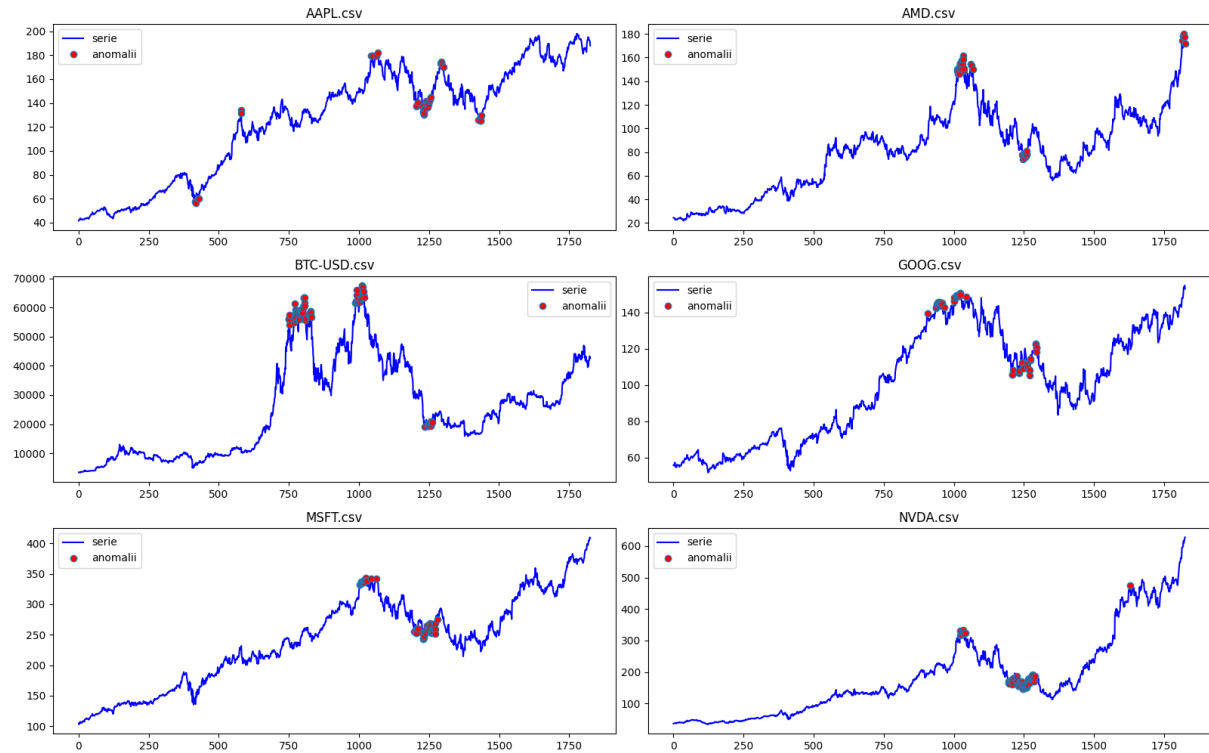
- 1) Se lucrează cu serii fără trend $r = [r_0, r_1, \dots, r_{n-1}]^T$.
- 2) Se calculează transformata Fourier a seriei $z = [z_0, z_1, \dots, z_{n-1}]^T$.
- 3) Se calculează suma amplitudinilor frecvențelor 3, 4, 5 (care pot indica anomalii).
- 4) Dacă una dintre aceste frecvențe este frecvența de amplitudine maximă, se neglijează (reprezintă probabil o componentă importantă a sezonaliității).
- 5) Se împarte suma obținută la suma tuturor frecvențelor. Această valoare va fi folosită ca *procent* de anomalii.

6) Se caută pragul optim pentru fiecare metodă în parte. Se stabilește limita inferioară a pragului la 1. Apoi se folosește observația că numărul de anomalii scade cu creșterea pragului ($anomalii(prag)$ este o funcție descrescătoare). Se pornește cu limita superioară a pragului setată la 2 și această limită se tot dublează cât timp dă procent de anomalii mai mare decât *procent*. În final se caută pragul optim între limita inferioară (=1) și limita superioară prin metoda biseției.

2.4 Concluzii

Metodele statistice se dovedesc a fi în același timp simple și eficiente la detectarea anomaliilor când se lucrează cu seria generală, așa cum se vede din testarea lor pe un set de date. Din punct de vedere al timpului de execuție, complexitățile algoritmilor sunt: $O(n)$ pentru determinarea trendului, $O(n)$ pentru z-score și medie mobilă, $O(n \log n)$ pentru deviație absolută, $O(n \log n)$ pentru determinarea procentului în cazul metodei procentuale. Căutarea efectivă a pragului are aceeași clasă de complexitate ca metoda pentru care se caută pragul.

Imaginea de mai jos exemplifică rularea metodei deviației absolute cu prag determinat automat pe un set de date despre prețurile a 6 categorii de acțiuni.



Capitolul 3

Transformata Fourier pentru găsirea regiunilor cu anomalii

3.1 Scopul metodei

Putem folosi această metodă pentru a găsi regiuni cu puncte anormale dintr-o serie de timp, anume regiuni în care punctele au caracteristici similare doar că foarte diferite față de vecinii lor din afara regiunii [5].

Vom utiliza această idee doar pentru găsirea anomaliilor în date înregistrate în trecut, fapt ce ne-ar ajuta să analizăm impactul pe care anumite evenimente l-au avut asupra bursei de valori, precum o criză economică, și astfel am putea prezice mai bine în viitor ce efect ar avea un eveniment similar. Metoda nu are ca scop prezicerea unor noi valori de pe bursă.

3.2 Ideea din spatele metodei

Transformata Fourier presupune că semnalul pe care îl analizează este **periodic** sau măcar foarte apropiat de unul periodic. Astfel, ar fi posibil să modelăm acest semnal folosind o sumă de sinusoidă de frecvențe diferite pentru seriile de timp complexe sau chiar cu o singură sinusoidă în cazul banal.

Aplicăm transformata Fourier pe seria de timp dată, iar apoi inversăm operația doar că vom păstra doar un număr p de parametri, practic presupunând ca **magnitudinea frecvențelor** corespunzătoare este 0. Alegem să păstrăm doar primii p parametri cu magnitudinile cele mai mari.

Apoi, folosind acest semnal, calculăm diferențele între valorile eșantioanelor de pe aceeași poziție (înregistrate la aceeași dată) a ambelor semnale. Punctele care au o diferență absolută mai mare decât media diferențelor absolute pentru toate punctele vor fi considerate **potențiale** anomalii. Pentru aceste potențiale anomalii vom păstra într-un

set S diferența dintre valoarea seriei în punctul respectiv și media a c vecini ai săi de pe ambele părți. Aplicăm **z-score** pentru fiecare punct din setul S , iar punctele a căror valoare depășește un prag predefinit t sunt considerate anomalii. Pentru găsirea regiunilor anormale, găsim 2 puncte consecutive cu z-score de **semn opus** care vor marca începutul regiunii, iar pentru a marca finalul, găsim 2 puncte consecutive cu z-score de semn opus, doar că în ordine inversă față de semnele care marchează începutul.

Punctele cu z-score pozitiv sunt asociate cu **vârful**, în timp ce cele cu semn negativ sunt asociate **văilor**. Din acest motiv, acest algoritm funcționează cel mai bine atunci când datele suferă schimbări **bruste în frecvență**. Dacă schimbările se întâmplă gradual, este posibil să nu mai găsim aceste diferențe majore pentru z-score care să ne indice regiunile cu anomalii. Cu toate acestea, complexitatea de timp scăzută a algoritmului, anume $O(n \log n)$ datorită transformării Fourier rapide, face această metodă atractivă atunci când eficiența este un criteriu important.

3.3 Reprezentarea matematică

$$X[k] = \sum_{n=0}^{N-1} x[n] \cdot e^{-j\frac{2\pi}{N}kn}$$

$$y[n] = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X[k] \cdot e^{j\frac{2\pi}{N}kn}$$

cu $X[k] = 0$ dacă $k \notin P$, unde P este setul parametrilor cu cele mai mari p magnitudini. x este semnalul inițial, X este transformarea semnalului în domeniul frecvență, iar y este semnalul rezultat după trunchierea frecvențelor.

$$S = \{x[i] - \text{medie}(\text{vecini}) | \text{abs}(x[i] - y[i]) > \text{abs}(\text{medie}(x - y))\}$$

unde $\text{vecini} = \{x[j] | j \in [i - c, i + c], i \neq j\}$

$$A = \{i | \text{abs}(z[i]) > t\}$$

unde $z = \left\{ \frac{s[i] - \text{mean}(S)}{\text{std}(S)} | s \in S \right\}$ este z-score.

3.4 Rezultate și concluzii

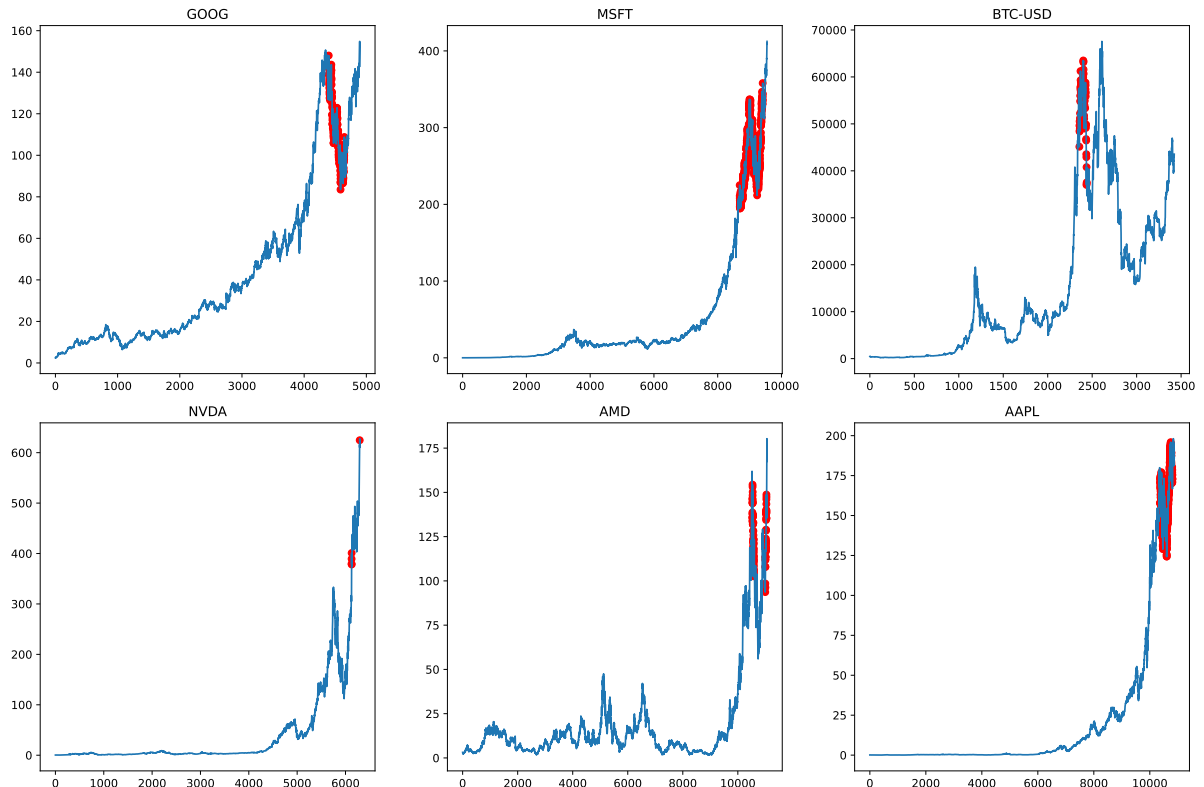
Pentru alegerea pragului t vom folosi cuantila de 0.99 din vectorul de z-score calculat, întrucât presupunem ca numărul de anomalii este mult mai mic decât cel al punctelor normale.

Numărul de parametri p îl menținem mic, chiar sub 0.1% din numărul total de parametri, deoarece seriile de timp de pe bursa de valori au o periodicitate aproape inexistentă și astfel ar domina componenta medie doar că având foarte mult zgomot adăugat, deci practic am fi comparat semnalul inițial aproape cu o linie orizontală.

Numărul c de vecini influențează probabilitatea ca un punct ce este potențial anomalie să fie detectat ca anomalie după testul cu z-score. Dacă includem mulți vecini în media calculată, există o posibilitate mai mare de a include puncte ce deviază față de medie, deci un punct ce ar fi avut o mică șansă să fie detectat ca anomalie, acum va fi acoperit de punctele ce deviază și ele, micșorând diferența rezultată. În cazul opus, dacă includem mai puțini vecini, iar aceștia diferă cu mult față de potențiala anomalie, atunci va avea o șansă mai mare să treacă de testul z-score.

Mai există încă 2 parametri pe care îi numim max_{local} și max_{region} care influențează numărul maxim de puncte detectate ca anomalii pe care suntem dispuși să îi lăsăm între 2 anomalii cu z-score de semn opus, respectiv numărul maxim de puncte dintr-o regiune cu anomalii. Primul parametru, intuitiv, reprezintă cât de mult vrem să lăsăm semnalul să crească sau să descrească gradual până se atinge o schimbare de semn, astfel, o valoare mai mică favorizează schimbările bruște, pe când o valoare mai mare favorizează schimbările mai line. Al doilea parametru, practic, ne arată care este lungimea maximă a unui "plafon" cu anomalii, anume până la o schimbare de semn a z-score. În general, vom presupune că regiunile cu anomalii se întâmplă pe o perioadă scurtă de timp pentru că altfel nu ar mai fi considerate anomalii.

Mai jos se pot vedea rezultatele obținute pentru 6 tipuri de acțiuni.



Capitolul 4

Modelul ARMA

4.1 Scopul metodei

Putem folosi această metodă pentru a prezice următoarele puncte dintr-o serie de timp, cu o acuratețe ce în mod natural va scădea cu cât încercăm să vedem mai mult în viitor, și astfel putem să semnalăm o posibilă anomalie dacă noul eșantion pe care credem că îl vom obține și în realitate, deviază cu mult față de punctele înregistrate deja.

Pentru a decide dacă un nou punct este sau nu anomalie, vom folosi un prag care este influențat într-o proporție majoră de volatilitatea instrumentului, anume indicatorul beta despre care am vorbit în introducere.

Acest model funcționează bine atunci când datele din viitor pot fi modelate cu ajutorul datelor din trecut. Dacă nu există nicio relație între evenimentele din trecut și cele din viitor, atunci modelul nu va putea extrage caracteristicile necesare prezicerii.

4.2 Ideea din spatele metodei

Acest model este compus din 2 părți, AR(AutoRegressive) și MA(Moving-Average).

Partea autoregresivă încearcă să modeleze punctele din seria de timp folosind o regresie liniară bazată pe un număr finit de puncte din trecut la care se adaugă și o variabilă de eroare care se poate presupune că este independent și identic distribuită, provenită dintr-o distribuție Gaussiană. Numărul de puncte din trecut este notat cu p și reprezintă singurul hiperparametru pentru această componentă.

Partea de medie glisantă încearcă să modeleze termenul eroare folosind o combinație liniară dintr-un număr de termeni de eroare din trecut. Despre aceste erori, putem face aceleași presupuneri ca mai sus. Numărul de termeni eroare din trecut este notat cu q și reprezintă hiperparametrul pentru această componentă.

Aceste 2 componente sunt însumate pentru a obține modelul final pe care îl vom putea folosi pentru a prezice noile puncte din seria de timp.

Găsirea hiperparamterilor optimi se poate realiza cu ajutorul funcției de autocorelație parțială pentru aflarea lui p , iar pentru q putem folosi funcția de autocorelație. Apoi, pentru rezolvarea sistemului rezultat se poate folosi tehnica celor mai mici pătrate.

4.3 Reprezentarea matematică

ARMA(p, q):

$$X_t = \varepsilon_t + \sum_{i=1}^p \phi_i X_{t-i} + \sum_{j=1}^q \theta_j \varepsilon_{t-j}$$

AR(p):

$$X_t = \varepsilon_t + \sum_{i=1}^p \phi_i X_{t-i}$$

MA(q):

$$X_t = \mu + \varepsilon_t + \sum_{j=1}^q \theta_j \varepsilon_{t-j}$$

unde X_t este seria de timp, ε_t este termenul eroare, μ este media semnalului X_t pe care o presupunem 0 de obicei, iar ϕ_i și θ_j sunt parametrii pentru regresia liniară a modelului AR, respectiv pentru combinația liniară a modelului MA.

4.4 Implementare

Metoda ARMA se implementează în python cu ajutorul funcției ARIMA din *statsmodels*. Ținând cont că ARMA(p, q) = ARIMA(order=($p, 0, q$)), se stabilește p la o zecime din lungimea seriei de timp și un prag superior pentru q ($qmax$, probabil 5 pentru că ARIMA rulează lent).

Se construiește modelul ARMA(p, q) pentru fiecare q de la 1 la $qmax$ și se prezice următoarea valoare a seriei. Media valorilor obținute reprezintă predicția.

Dacă modulul diferenței dintre valoarea reală a seriei și predicție depășește un anumit prag, se consideră anomalie.

Pragul se stabilește în funcție de predicțiile obținute pentru fiecare valoare a lui q .

Aplicare pentru ultima valoare a seriei

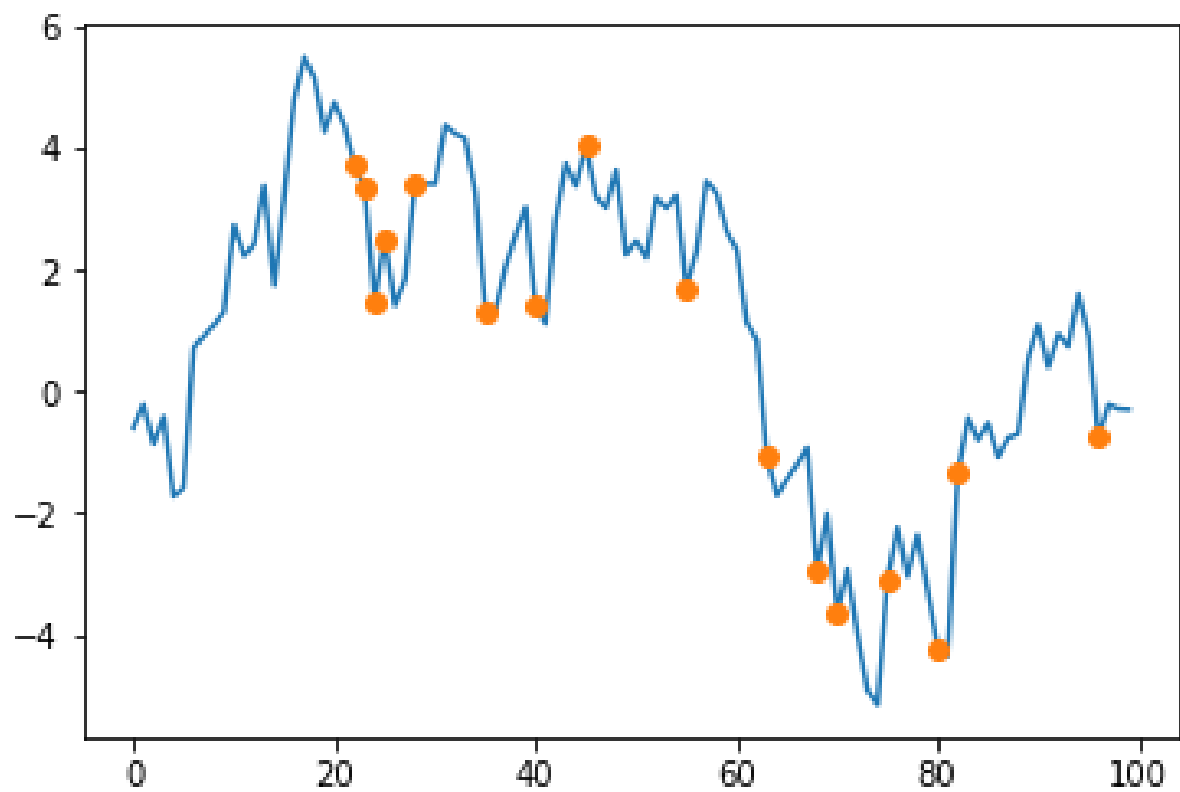
Modelul ARMA se construiește pentru toată seria înafară de ultima valoare sau pe ultimele $k\%$ valori înafară de ultima. Se aplică pașii anteriori pentru ultima valoare a seriei.

Aplicare pe seria generală

Pentru fiecare $start$ de la $2p$ până la $n - 1$ se aplică același algoritm ca la aplicarea pentru ultima valoare a seriei trunchiate până la $start$, cu diferența că pragul care indică ano-

meliile poate fi setat ulterior dacă se cunoaște dinainte procentul de anomalii din serie.

Exemplu de rulare



Capitolul 5

Prophet

5.1 Despre Prophet

Prophet [6] este un model open-source dezvoltat de Facebook pentru analiza seriilor de timp, în special pentru prognozare (“forecasting”). Această librărie separă componentele de trend, sezoniere și reziduale, folosind în spate regresie non-liniară. Descompunerea seriei de timp se face în felul următor:

$$y(t) = g(t) + s(t) + h(t) + \epsilon_t$$

unde y este seria completă de timp, g este funcția de trend, s este funcția de sezonali-tate, h este funcția care modelează efectele vacanțelor ce pot apărea în mod neregulat asupra uneia sau mai multor zile, iar ϵ_t este termenul de eroare reziduală [6].

5.2 Setup

Pentru testarea modelului, am folosit date reale de pe bursă, cu ajutorul bibliotecii `yfin`, ce este un Python SDK pentru API-ul oferit de Yahoo Finance. Din aceste date, am extras timestamp-ul (în acest caz, trunchiat la zi) și prețul zilnic la care s-a închis tranzacționarea (“Close”), pentru a obține seria de timp.

Din punct de vedere al predicțiilor, pentru fiecare punct din prognoza generată de Prophet, avem 3 valori: `yhat`, `yhat_lower` și `yhat_upper`. Ultimele două valori reprezintă limitele intervalului de incertitudine, în timp ce `yhat` este valoarea estimată pe baza acestor valori. Pe baza datelor din trecut, am calculat o eroare absolută (diferența dintre valoarea actuală și cea prezisă), respectiv un factor de incertitudine (diferența între capetele intervalului de incertitudine). Am considerat anomalii acele puncte pentru care eroarea era mai mare decât pragul de incertitudine, înmulțit cu un factor setat.

5.3 Găsirea factorului optim, rezultate și concluzii

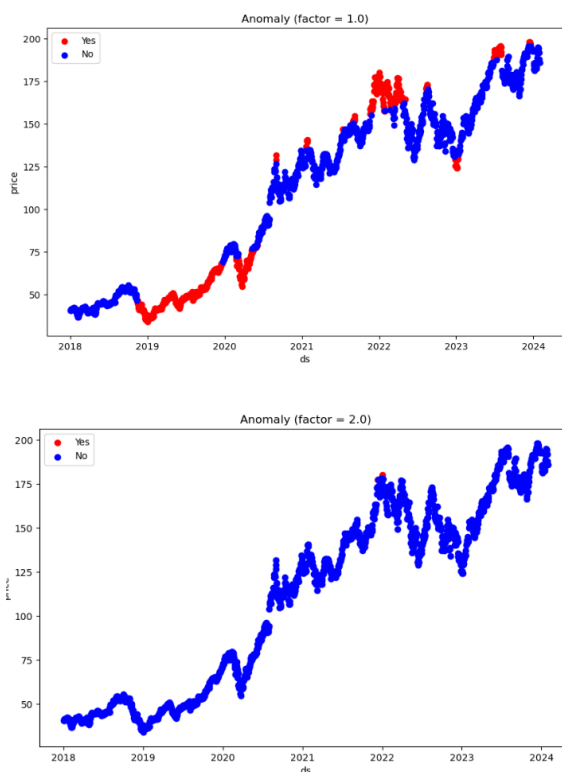
Prima încercare a fost aplicarea metodei procentuale pe Prophet, dar aceasta nu a mers pentru că este funcțională doar dacă numărul de anomalii depinde monoton de un singur parametru. În continuare, factorul a fost determinat din mai multe rulări (și rezultatele cele mai bune au fost obținute pe intervalul $[1.25, 1.5]$, i.e o eroare mai mare cu 25% - 50% decât intervalul de incertitudine).

Totodată, pentru a stabili relevanța rezultatelor obținute din aceste rulări, am ales mai multe instrumente financiare, cu diverse volatilități și sezonaliități, selectându-le cu ajutorul indicatorului β . Am comparat rezultatele obținute de Prophet pentru detectarea de anomalii cu ajutorul a trei instrumente: Ethereum (este cunoscut faptul că pe piața de criptomonede volatilitatea este mult mai mare), AAPL (o acțiune cu volatilitate medie, având $\beta = 1.29$ la momentul redactării) și VZ (o acțiune cu volatilitate mică, având $\beta = 0.38$ la momentul redactării). Graficile prezentate arată ultimii 5 ani din seriile de timp, dar Prophet a fost antrenat cu întreg setul de date disponibil pe Yahoo Finance.

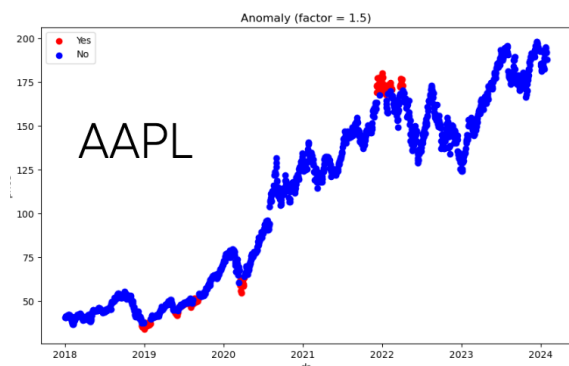
Din punct de vedere al măsurării erorilor, modelul a obținut rezultate foarte bune, obținând valoarea erorii medii absolute procentuale în jurul valorilor 0.1% - 0.2% în cazul acțiunilor și în jur de 1% pentru criptomonede.

Am început prin a selecta valorile 1 și 2 pentru factor pe acțiunea AAPL, pentru a vedea cum se comportă modelul.

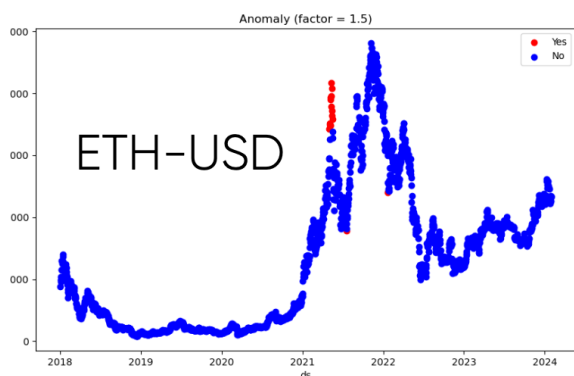
Așa cum reiese din grafice, pentru valoarea 1 a detectat multe valori ca anomalii, în timp ce pentru valoarea 2 a detectat una singură, pe vârful de la sfârșitul anului 2021. Prin urmare, pentru a verifica dacă factorul 2 este într-adevăr prea mare pentru ca modelul să detecteze anomalii, am ales un instrument mult mai volatil, și anume ETH-USD (Ethereum).



Chiar și în acest caz, detectarea anomaliilor este una redusă pentru un instrument atât de volatil, așa că următorul experiment a implicat rularea ambelor instrumente cu factorul 1.5.

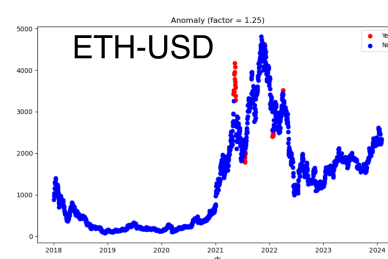
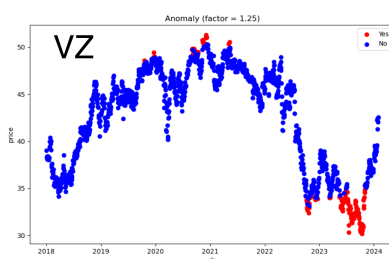
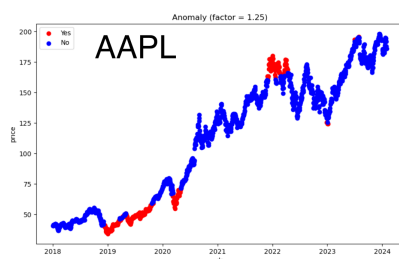
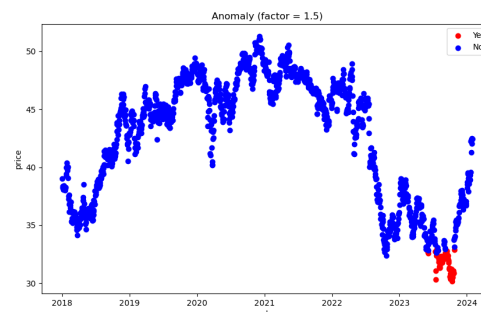


Se poate observa că modelul începe să dea rezultate de o calitate mai bună, detectând mai multe puncte de minim și mai multe de maxim (puncte ce sunt bune pentru efectuare de tranzacții de long, respectiv short, în contextul unui program de trading algoritmic).



Această valoare este una bună, așa că urmează să fie validată și pentru acțiunea VZ. Totodată, pentru a verifica dacă o valoare mai mică poate obține rezultate mai bune, este nevoie de o rulare pe toate cele trei instrumentele folosite până acum, cu valoarea factorului de 1.25.

Rezultatele obținute pentru VZ (imaginea din dreapta) confirmă faptul că 1.5 este un factor bun. Având β mic, este de așteptat ca anomaliile detectate să fie mai puține.



Și pentru factorul 1.25 au fost obținute rezultate foarte bune, dar, în mod evident, modelul este mai sensibil și va detecta mai multe anomalii. Prin urmare, în funcție de comportamentul așteptat de către utilizator, acest prag poate fi situat între 1.25 și 1.5.

Bibliografie

- [1] *Beta: Definition, Calculation, and Explanation for Investors*, URL: <https://www.investopedia.com/terms/b/beta.asp>.
- [2] *Estimatorii de verosimilitate maximă pentru distribuția Laplace*, URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Laplace_distribution#Statistical_inference.
- [3] *Estimatorii de verosimilitate maximă pentru distribuția normală*, URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Normal_distribution#Estimation_of_parameters.
- [4] David M Hawkins, *Identification of Outliers*, Chapman și Hall, 1980.
- [5] Faraz Rasheed, Peter Peng, Reda Alhajj și Jon Rokne, „Fourier transform based spatial outlier mining”, în *Proceedings of the 10th International Conference on Intelligent Data Engineering and Automated Learning*, IDEAL'09, Burgos, Spain: Springer-Verlag, 2009, pp. 317–324, ISBN: 3642043933.
- [6] Sean J Taylor și Benjamin Letham, în *Forecasting at scale* (Sept. 2017), DOI: [10.7287/peerj.preprints.3190v2](https://doi.org/10.7287/peerj.preprints.3190v2).