

Mgr inż. Kamil Piotr Żbikowski

Promotor- prof. dr hab. inż. Mieczysław Muraszkiewicz

Tytuł rozprawy: „Konstrukcja funkcji kary dla klasyfikatorów SVM w automatycznych strategiach inwestycyjnych”

Streszczenie rozprawy doktorskiej

Praca poświęcona została aplikacyjnym zastosowaniom metod uczenia maszynowego w kontekście analizy finansowych szeregów czasowych.

W pracy tej zaproponowana została nowa konstrukcja zmiennej w czasie funkcji kary oraz oparty na niej klasyfikator bazujący na Maszynie Wektorów Nośnych. Propozycja uzależnienia wartości funkcji kary od parametrów bazowego szeregu motywowana jest specyfiką finansowych szeregów czasowych. Charakteryzują się one zmienną w czasie wartością oczekiwaną oraz wariancją, która posiada własność grupowania. Sprawia to, iż stosowanie statycznej oceny błędu klasyfikacji wydaje się intuicyjnie nie być najskuteczniejszą metodą.

Analiza tego rodzaju danych wymaga konstrukcji specjalnego systemu informatycznego, który pozwoli na adekwatne testowanie proponowanego klasyfikatora metodą testowania kroczącego. System taki został przygotowany na potrzeby weryfikacji postawionej w niniejszej pracy hipotezy.

Przeprowadzona analiza pokazała, iż wyniki predykcji krótkoterminowych trendów rynkowych z użyciem proponowanej funkcji kary są statystycznie istotnie lepsze niż z użyciem funkcji bazowej. Proponowaną funkcję kary wykorzystano w algorytmie tworzącym strategię inwestycyjną. Testy zostały przeprowadzone z użyciem danych kwotowań akcji amerykańskich oraz waluty bitcoin. Eksperymenty wskazują na znaczącą poprawę wyników w zakresie stopy zwrotu oraz ryzyka mierzonego maksymalnym procentowym spadkiem w okresie testowania.

Politechnika Warszawska
Wydział Elektroniki i Technik Informacyjnych

Warszawa, 30 maja 2017 r.

D z i e k a n a t

Uprzejmie informuję, że na Wydziale Elektroniki i Technik Informacyjnych Politechniki Warszawskiej odbędzie się w dniu 12 czerwca 2017 r. publiczna obrona rozprawy doktorskiej

mgr inż. Kamila Żbikowskiego

temat: „Konstrukcja funkcji kary dla klasyfikatorów SVM w automatycznych strategiach inwestycyjnych”

promotor – prof. dr hab. inż. Mieczysław Muraszkiewicz z Politechniki Warszawskiej

recenzenci:

Prof. dr hab. inż. Jacek Koronacki z Instytutu Podstaw Informatyki PAN

Prof. dr hab. inż. Andrzej Skowron z Uniwersytetu Warszawskiego

Obrona odbędzie się w dniu 12 czerwca 2017 r. w sali 116 na Wydziale Elektroniki i Technik Informacyjnych – Gmach im. Janusza Groszkowskiego, Warszawa, ul. Nowowiejska 15/19; początek godz. 11.00.

Po adresem: www.elka.pw.edu.pl/Wydzial/Rada-Wydzialu/Harmonogram-obron-doktorskich-streszczenia-i-recenzje zapewniony jest na stronie Wydziału dostęp do tekstów streszczenia rozprawy i recenzji, jak również do tekstu rozprawy umieszczonej w Bazie Wiedzy Politechniki Warszawskiej.

Dziekan



prof. dr hab. inż. Krzysztof Zaremba

prof. dr hab. inż. Andrzej Skowron
tytuł, stopień, imię i nazwisko

10.05.2017
data

Uniwersytet Warszawski
miejsce pracy

**KWESTIONARIUSZ - RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ DLA RADY
WYDZIAŁU ELEKTRONIKI I TECHNIK INFORMACYJNYCH
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ**

Tytuł rozprawy: *Konstrukcja funkcji kary dla klasyfikatorów SVM w automatycznych strategiach inwestycyjnych*

Autor rozprawy: mgr inż. Kamil Żbikowski

1. **Jakie zagadnienie naukowe jest rozpatrzone w pracy /teza rozprawy/ i czy zostało ono dostatecznie jasno sformułowane przez autora? Jaki charakter ma rozprawa (teoretyczny, doświadczalny, inny)?**

Teza pracy została sformułowana następująco (str. 25 rozprawy):

Funkcja kary klasyfikatora maszyny wektorów nośnych uwzględniająca zależność funkcyjną od wolumenu transakcyjnego zwiększa w statystycznie istotny sposób skuteczność predykcji krótkoterminowych trendów dla finansowych szeregów czasowych mierzoną wskaźnikami dokładności, czułości modelu oraz miarą F1, co z kolei przekłada się na zwiększoną skuteczność proponowanej strategii inwestycyjnej mierzoną kryterium zysku ekonomicznego oraz ryzyka określonego przez poziom maksymalnej procentowej straty.

Cel rozprawy został jasno sformułowany, jest dobrze umotywowany i może z pewnością być uznany jako ambitny cel rozprawy doktorskiej. Dotyczy on aktualnych i trudnych zagadnień badawczych. Podjęte badania wymagają zarówno bardzo dobrej znajomości problematyki rynków finansowych jak i zagadnień dotyczących handlu algorytmicznego. Tematyka ta jest w polu zainteresowań wielu zespołów badawczych, instytucji i firm na świecie. Autor poszukuje rozwiązań związanych z postawioną tezą poprzez odpowiednią modyfikację modelu klasyfikatorów nazywanych maszynami wektorów nośnych (ang. *support vector machines*, SVM).

Rozprawa liczy 128 stron i została opublikowana w Wydawnictwach Politechniki Warszawskiej w serii rozpraw doktorskich. Składa się z pięciu rozdziałów, podsumowania, spisów rysunków i tabel, bibliografii oraz dodatku, w którym przedstawiono kod strategii inwestycyjnej w języku Java.

We wstępie omówiono zagadnienia efektywności rynków finansowych, zakres pracy z uwzględnieniem motywacji i tezy pracy oraz przedstawiono treść pracy. Rozdział pierwszy jest wprowadzeniem do analizy szeregów czasowych z zastosowaniem metod uczenia maszynowego. Wskazano w nim na istotność konstrukcji funkcji kary przy indukcji klasyfikatorów stosowanych do analizy danych dynamicznych reprezentowanych, np. za pomocą szeregów czasowych. Omówiona została hipoteza efektywności rynków finansowych wraz z krytyczną argumentacją kwestionującą tę hipotezę. Argumentacja ta wykorzystuje wyniki empirycznej obserwacji oraz właściwości finansowych szeregów czasowych. Rozdział drugi zawiera podstawowe pojęcia dotyczące uczenia maszynowego (ang. *machine learning*, ML) oraz klasyfikatorów SVM. Przeglądowi wybranych metod analizy rynków finansowych, z uwzględnieniem tych bazujących na ML poświęcono rozdział trzeci. W rozdziale tym przytoczono też definicje cech analizy technicznej, które wykorzystane zostały w dalszej części pracy. Najważniejsze wyniki rozprawy zawarte są w kolejnych dwóch rozdziałach. W rozdziale czwartym zdefiniowano funkcję kary z wykorzystaniem zależności funkcyjnej od woluminu transakcyjnego dla zaproponowanego zmodyfikowanego klasyfikatora SVM. W rozdziale piątym omówiono wyniki przeprowadzonych eksperymentów z zastosowaniem zmodyfikowanego klasyfikatora SVM. Rozdział ten zawiera również uwagi dotyczące oceny statystycznej istotności uzyskanych wyników eksperymentalnych. Rozprawę kończy podsumowanie uzyskanych wyników wraz z proponowanymi kierunkami dalszych badań.

2. Czy w rozprawie przeprowadzono w sposób właściwy analizę źródeł / w tym literatury światowej, stanu wiedzy i zastosowań w przemyśle /świadczący o dostatecznej wiedzy autora. Czy wnioski z przeglądu źródeł sformułowano w sposób jasny i przekonujący?

Rozprawa przynosi dobrze przygotowany przegląd stanu wiedzy na temat analizy danych finansowych oraz wybranych metod ML. Został on przygotowany starannie i wyczerpująco. Przedstawiony materiał wskazuje, że autor rozprawy dogłębnie przestudiował literaturę związaną z rozprawą i posiada sporą wiedzę w tematyce analizy danych finansowych.

3. Czy autor rozwiązał postawione zagadnienia, czy użył właściwej do tego metody i czy przyjęte założenia są uzasadnione?

Teza rozprawy została zrealizowana. Zastosowane metody i przyjęte założenie należy uznać za właściwe.

4. Na czym polega oryginalność rozprawy, co stanowi samodzielny i oryginalny dorobek autora, jaka jest pozycja rozprawy w stosunku do stanu wiedzy czy poziomu techniki reprezentowanych przez literaturę światową?

Do najważniejszych wyników rozprawy należą:

- opracowanie nowej, zmiennej w czasie funkcji kary dla klasyfikatora SVM bazującej na zmianie wolumenu transakcyjnego,
- opracowanie metody dla strategii inwestycyjnej bazującej na zmodyfikowanym klasyfikatorze SVM o wprowadzoną funkcję kary dla automatycznego prowadzenia handlu na rynkach akcji oraz rynkach walutowych,
- opracowanie architektury systemu informatycznego dla prowadzenia testów opracowanej metody zapewniającego zwiększenie w statystycznie istotny sposób skuteczności predykcji krótkoterminowych trendów dla finansowych szeregów czasowych z zastosowaniem wskaźników dokładności, czułości modelu oraz miary F1; prowadzi to do zwiększenia skuteczności proponowanej strategii inwestycyjnej mierzonej za pomocą kryterium zysku ekonomicznego oraz ryzyka określonego przez poziom maksymalnej procentowej straty,
- przeprowadzenie eksperymentów na danych rzeczywistych wraz z uzasadnieniem statystycznej istotności uzyskanych wyników.

Warto podkreślić, że autor rozprawy opublikował już część wyników rozprawy (w tym główną metodę z rozprawy) w czasopiśmie z listy filadelfijskiej *Expert Systems with Applications; impact factor* (za ostatnie 5 lat) 2.879.

5. Czy autor wykazał umiejętność poprawnego i przekonującego przedstawienia uzyskanych przez siebie wyników /zwięzłość, jasność, poprawność redakcyjna rozprawy/?

Autor rozprawy wykazał umiejętność poprawnego i przekonującego przedstawienia opracowanych metod i uzyskanych wyników eksperymentalnych. W szczególności, treść rozprawy wskazuje że autor jest ekspertem, rozumiejącym specyfikę i trudności pojawiające się przy analizie danych finansowych.

Rozprawa napisana jest starannie. Nie zauważyłem w niej istotnych błędów merytorycznych. Nieliczne są w niej drobne usterki redakcyjne.

6. Jakie są słabe strony rozprawy i jej główne wady?

Dal porządku wymienię kilka wad rozprawy.

Wyraźnie widać, że zagadnienia algorytmiczne są słabszą stroną rozprawy. Nie przeprowadzono głębszej dyskusji o poprawności zaproponowanego algorytmu ani o jego złożoności obliczeniowej, czy też skalowalności. Dotyczy to również redakcji, np. skąpe komentarze utrudniają czytelnikowi analizę tego algorytmu.

Z jednej strony autor zapewnia w opracowanej architekturze systemu zwiększenie w statystycznie istotny sposób skuteczności predykcji krótkoterminowych trendów dla finansowych szeregów czasowych z zastosowaniem wskaźników dokładności, czułości modelu oraz miary F1 ale nie podejmuje szerszej dyskusji zmierzającej do uzasadnienia tego faktu. Na przykład, brak jest dyskusji uzasadniającej wybór tych miar statystycznych i użytych testów, dlaczego G-mean lub AUC czy też inne testy nie są bardziej właściwe.

Pewnym brakiem jest też brak jest szerszej dyskusji o wpływie głębszej wiedzy dziedzinowej (nie reprezentowanej we wskaźnikach technicznych) na predykcję.

Kolejną wadą wiąże się nie tyle z samą rozprawą ile z organizacją badań w dziedzinie eksploracji danych w Polsce. Brak zaawansowanych platform sprzętowych i oprogramowania oraz brak specjalistycznych laboratoriów prowadzących zaawansowane badania w specyficznych złożonych dziedzinach (jak, np. analiza danych finansowych) uniemożliwia wszechstronne testowanie opracowywanych metod przez różne osoby czy zespoły i porównywanie ich z innymi oraz prowadzi do niemożności zapewnienia powtarzalności eksperymentów (np. jednym z postulatów *Data Science* jest zapewnienie własności powtarzalności eksperymentów (ang. *reproducibility*)).

7. Jaka jest przydatność rozprawy dla nauk technicznych?

Uzyskane wyniki w rozprawie mogłyby być zastosowane do analizy danych w postaci szeregów czasowych pochodzących z innych dziedzin, np. technicznych. Jednak autor nie podejmuje szerzej tego tematu w rozprawie.

8. Do której z następujących kategorii Recenzent zalicza rozprawę:

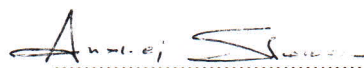
spełniająca wymagania

Reasumując uważam, że opiniowana rozprawa doktorska

mgr. inż. Kamila Żbikowskiego

Konstrukcja funkcji kary dla klasyfikatorów SVM w automatycznych strategiach inwestycyjnych spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim przez odpowiednie przepisy i wnoszę do Rady Wydziału Elektroniki i Technik Informacyjnych Politechniki Warszawskiej o dopuszczenie mgr. inż. Kamila Żbikowskiego do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Powyższe pytania mają charakter pomocniczy. Wskazane jest takie formułowanie treści recenzji, by można ją było odczytywać bez przeczytania pytań.


.....
podpis

**Recenzja rozprawy doktorskiej mgr. inż. Kamila Żbikowskiego
„Konstrukcja funkcji kary dla klasyfikatorów SVM
w automatycznych strategiach inwestycyjnych”**

Niniejsza recenzja ma postać zgodną z kwestionariuszem przesłanym przez Pana Dziekana WEiTI PW – stanowi zatem zestaw odpowiedzi na kolejne pytania zawarte w tym kwestionariuszu.

1. Rozprawa ma za cel wykazanie, że funkcja kary popularnego klasyfikatora znanego pod nazwą maszyny wektorów podpierających (u Doktoranta nośnych), uwzględniająca zależność funkcyjną od wolumenu transakcyjnego, zwiększa w statystycznie istotny sposób skuteczność predykcji krótkoterminowych trendów finansowych szeregów czasowych i, tym samym, zwiększa skuteczność zaproponowanej w rozprawie strategii inwestycyjnej mierzonej stopą zwrotu za dany okres oraz poziomem maksymalnej procentowej straty.¹ Na pierwszy rzut oka taki cel można uznać za nadmiernie szczegółowy, ale w istocie byłaby to ocena niesprawiedliwa. Rzecz w tym, że predykcja trendów finansowych jest problemem tyleż ważnym i ciekawym, co niebanalnym. Predykcji tej poświęconych jest wiele prac krok po kroku poprawiających jej jakość. Do takich prac należy recenzowana rozprawa, przy czym krok poczyniony przez Doktoranta jest ciekawy i bardzo rozsądnie pomyślany, a uzasadnienie trafności tego kroku wymagało pracy godnej doktoratu.

Zagadnienie rozpatrywane w rozprawie zostało jasno sformułowane. Jak to jest zwykle w przypadku tego typu zagadnień, wykazanie trafności autorskiej propozycji podniesienia jakości predykcji wymagało przede wszystkim uzasadnienia eksperymentalnego, i tak to zostało w rozprawie uczynione.

2. Analizy stanu wiedzy w chwili podejmowania własnych badań dokonał Doktorant w trzech pierwszych rozdziałach. Najpierw bardzo ładnie – wyczerpująco, ale w zwarty sposób – przedstawił finansowe tło problemu, którym się zajął proponując rozwiązanie z dziedziny uczenia maszynowego. Magister Żbikowski zarysował historię zabiegów o uzyskiwanie krótkoterminowych zysków, w tym łączenia różnych podejść do analizy

¹ Niniejszy recenzent używa słów „wektory podpierające”, a nie „wektory nośne”, mimo że ten drugi termin jest co najmniej tak samo popularny, ponieważ wektory te wyznaczają hiperpłaszczyznę, którą przez analogię z terminologią obowiązującą od dziesiątków lat w teorii optymalizacji można nazwać hiperpłaszczyzną podpierającą.

szeregów finansowych i łączenia tych różnych podejść – takich jak selekcja akcji (atrybutów), wykorzystanie w analizach wolumenu transakcyjnego oraz analizy technicznej – w jedną strategię inwestycyjną. Autorskim osiągnięciem Doktoranta jest połączenie tych wszystkich trzech podejść w jedno. Warto dodać, że Doktorant nie zapomniał – lapidarnie i zarazem przekonująco – odnieść się do hipotezy efektywności rynków finansowych.

W kolejnym rozdziale mgr Żbikowski dał krótkie wprowadzenie do uczenia maszynowego i dłuższe do maszyny wektorów podpierających (SVM). W jeszcze bardziej potrzebnym rozdziale trzecim kompetentnie przedstawił wybrane metody analizy szeregów finansowych, w tym różne wskaźniki analizy technicznej.

Zawartość tej całości jest dobrym uzasadnieniem celowości postawienia i sposobu rozwiązania głównego zadania rozprawy.

3. Wspomniałem już, że wykazanie trafności autorskiej propozycji podniesienia jakości predykcji i w rezultacie wykazanie wysokiej skuteczności zaproponowanej w rozprawie strategii inwestycyjnej wymagało przede wszystkim badań eksperymentalnych. Magister Żbikowski postawił sobie także za cel wykazanie, iż jego podejście – jeśli porównać je z tradycyjnym zastosowaniem maszyny wektorów podpierających – zwiększa jakość predykcji krótkoterminowych trendów finansowych w statystycznie istotny sposób.

Analizy te poprzedził bardzo dobrym i już mającym w dużej mierze autorski charakter rozdziałem o: sposobie przygotowania danych; użyciu dyskryminacyjnego wskaźnika Fishera („Fisher score”) do selekcji atrybutów; skalowaniu atrybutów; metodzie „walk forward” doboru parametrów klasyfikatora; autorskiej funkcji kary klasyfikatora SVM (czyli klasyfikatorze VW-SVM); autorskiej architekturze systemu informatycznego do testowania strategii inwestycyjnych; oraz propozycji metody budowy strategii inwestycyjnej.

Zaproponowana w rozprawie metoda automatycznej budowy strategii inwestycyjnej jest dobrze uzasadniona intuicyjnie, ma dobre podstawy metodologiczne i jest dobrze osadzona w historii wcześniejszych metod. Metoda została dogłębnie zbadana na dwóch rzeczywistych przykładach: akcjach 20 spółek giełdowych wybranych losowo ze zbioru spółek uwzględnianych przez S&P 500; oraz danych z giełdy bitcoin Bitstamp.

Już powyższe dwa akapity mówią o dojrzałym i oryginalnym rozwiązaniu zasadniczego zadania, jakie sobie postawił Doktorant – opracowania rozsądnej i przynoszącej niezłe lub dobre wyniki automatycznej strategii inwestycyjnej.

Podzadaniem tego zadania było wykazanie, iż jego klasyfikator VW-SVM zwiększa jakość predykcji krótkoterminowych trendów finansowych w porównaniu z klasycznym klasyfikatorem SVM w statystycznie istotny sposób. Zdaniem niniejszego recenzenta mgr Żbikowski zaatakował ten problem ciekawie i rozsądnie, ale – może przez to, że poświęcił opisowi swojego podejścia zbyt mało miejsca – można odnieść wrażenie, że nie dał w pełni przekonującej odpowiedzi.

Doktorant oparł się na statystycznej analizie wyników otrzymywanych przez wymienione dwa klasyfikatory, użytych do binarnej prognozy 5-dniowego trendu, czyli binarnej klasyfikacji (5-dniowy trend wzrostowy vs 5-dniowy trend spadkowy) obserwacji pochodzących z niezależnych symulacji 840 szeregów (po 420 szeregów dla każdego klasyfikatora), każdy szereg z 2577 obserwacjami. Kolejne decyzje klasyfikatora dla danego szeregu tworzą zatem szereg 2577 statystycznie od siebie zależnych wyników doświadczenia Bernoulliego. (Dla niniejszego recenzenta nie jest jasne jak strojone były parametry klasyfikatorów – zapewne korzystając z procedury „walk forward” – ale to nie ma tu znaczenia, byleby strojenie odbywało się wedle tej samej zasady w przypadku obydwu klasyfikatorów.) Nie przejmując się tym, że wyniki działania danego klasyfikatora są statystycznie zależne, możemy obliczyć jego dokładność, precyzję, czułość oraz wartość miary F1. Ograniczając się przykładowo do dokładności, rozumowanie mgra Żbikowskiego pobiegło dalej taką drogą: mając po 420 statystycznie niezależnych dokładności dla każdego klasyfikatora, możemy obliczyć dwie średnie dokładności i zastosować test t-Studenta w wersji Welcha (czyli nie zakładając takiej samej wariancji dokładności obydwu klasyfikatorów), by sprawdzić czy różnica między średnimi jest statystycznie istotna. (Liczba 420 obserwacji jest liczbą dużą, ale może jednak warto było pokazać ich w przybliżeniu normalne rozkłady.)

Doktorant wykazał w ten sposób, że w statystycznie istotny sposób (na poziomie 0,01) różnią się: czułość, F1 i dokładność. Ale różnią się w odniesieniu do wylosowanych szeregów. W rozprawie nie ma słowa o sposobie losowania 840 szeregów, a zatem nie sposób orzec, jaka jest możliwość uogólnienia wniosków wynikających z przeprowadzonej – skądinąd bardzo rzetelnej i żmudnej – przykładowej analizy.

4. Spisane dotąd uwagi wskazują oryginalne propozycje mgra Żbikowskiego, jak też uzasadniają konkluzję, iż propozycje te stanowią ciekawy i wartościowy, kolejny krok w rozwoju systemów automatycznego budowania strategii inwestycyjnych. Mamy oryginalną propozycję nowej funkcji kary klasyfikatora SVM, w autorskim systemie uwzględnione są skalowanie i selekcja atrybutów, wskaźniki analizy technicznej, sam system jest ważnym osiągnięciem, nadto zaś dostaliśmy autorską propozycję architektury systemu informatycznego do testowania strategii inwestycyjnych.

5. Całość skomponowana jest logicznie, jeśli pominąć niepotrzebne powtórzenie – raz krótsze, ale już wnioskujące w pewne szczegóły – i potem dłuższe opisu maszyny wektorów podpierających. Nota bene w owym krótszym omówieniu brakuje znaku sumy we wzorze (2.13) oraz niektórych ograniczeń, jakie spełniać muszą parametry SVM.

Ta ostatnia uwaga jest niejako wstępem do listy drobnych uchybień językowych i formalnych w rozprawie, które niekiedy utrudniają lekturę. Rozprawa, która ogólnie biorąc jest jasno, kompetentnie i raczej zwięźle (powtarzana jest tylko informacja, że nie należy testować narzędzia na tych danych, które były wykorzystane do jego uczenia)

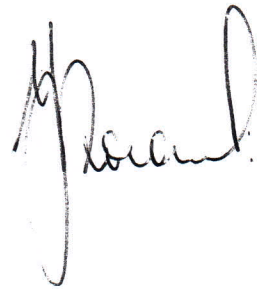
zredagowana, w szczegółach potrafi być niejasna i myląca, niekiedy wręcz denerwująca. Oto lista (strona po stronie, w tym uwagi trywialne i zupełnie nieistotne):

- s. 15 i inne: zbitka „aplikacyjne zastosowanie”
- s. 25: Dową, a nie Dow’a, Cowelsa, a nie Cowels’a
- s. 26^{1-3}: niejasna konstrukcja gramatyczna – do czego odnoszą się słowa „jego”
- s. 32¹: „szereg nieefektywności” – niezręczne sformułowanie
- s. 33³: co to jest „uwolnienie minimalnej liczby”?
- s. 33₁: nie wysoki bias, a wysokie obciążenie
- s. 34, rys. 2.1: wcale nie jest pewne czy na prawym rysunku mamy do czynienia z modelem o wysokiej wariancji (na pewno tak byłoby, gdyby granica decyzyjna „opierała się” o punkty z brzegów klas
- 35^{1-6}: A gdzie np. uczenie pod częściowym nadzorem?
- s. 35^{11-12}: to nieprawda, że zawsze „wraz ze wzrostem złożoności modelu statystycznego błąd na zbiorze testowym rośnie”
- s. 35, wzór (2.5) i wyżej: co za eta?
- s. 36⁴: wcześniej nie zostało wprowadzone pojęcie przestrzeni hipotez
- s. 36_{6-5}: to nieprawda, że znalezienie optymalnej hiperpłaszczyzny prowadzi do zmniejszenia złożoności modelu – każda hiperpłaszczyzna ma tyle samo parametrów
- s. 40₁: „sentymet inwestorów” brzmi zabawnie
- s. 43: warto było zaznaczyć, że np. chodzi o AR p-tego rzędu; we wzorze (3.3) jest błąd
- s. 44: co to jest grupowanie wariancji; opis modelu ARCH nie jest dobry
- s. 47: (3.8) można było zapisać prościej
- s. 48₄: brakuje: (mniejszy)
- s. 50: co to jest momentum?
- s. 53: dlaczego cytaty z Marka Aureliusza podany jest w języku angielskim?
- s. 54 i następne: wskaźnik f najpierw jest wektorem, a potem przez f oznacza się jego współrzędne; to prawda, że zdefiniowana w (4.4) macierz jest macierzą, ale z jedną kolumną i zwykle jest nazywana wektorem; co to jest „otherwise” w (4.5); fraza „bądź to z klasy T, bądź ze wszystkich przykładów” nie jest poprawna
- s. 57-58: krok 4 w algorytmie zawiera błąd
- s. 59: dlaczego silnik odpowiadający za odczyt (historycznych) danych rynkowych z bazy nosi nazwę silnika symulacji; mnie taka nazwa wydaje się bardzo myląca (a może taki jest zwyczaj ludzi z branży finansowej?), przestaję bowiem być pewny co Doktorant rozumie pod pojęciem symulacji
- s. 59_{7-5}: w zdaniu brakuje słów „to okno optymalizacji jest”
- s. 68_{2-1}: słowo „Łącznie” jest mylące (no bo jeśli 1.082.340 próbek, to 420, a nie 840 szeregów)
- s. 72⁶: „dotyczących wielkości czy też wariancji” – o co tu chodzi?
- s. 92: „Jest bazuje”; założę się, że wprowadzenie do protokołu bitcoin nic nie powie czytelnikowi, który nie wie, czym ten bitcoin jest.

6. Moc denerwujących, jakkolwiek najczęściej nie mających żadnego znaczenia, wpadek językowych i formalnych.

7. Przydatność rozprawy oceniam stosunkowo wysoko – zaproponowana metoda wymaga wielu dalszych badań, generalnie biorąc w duchu zaproponowanym przez samego Doktoranta w rozdziale zamykającym rozprawę, ale jestem przekonany, że jego podejście warte jest tych badań i da dobre wyniki w dobrze określonej klasie zagadnień inwestycyjnych. Na razie osiągnane przez system wyniki nie są zbyt zachęcające, ale ich poprawa jest możliwa (jakkolwiek nie sądzę, że Doktorant powtórzy sukces funduszu hedgingowego wielkich matematyków – Jamesa Simonsa i Jamesa Axa).

8. (c) Rozprawa mgr inż. Kamila Żbikowskiego spełnia wymagania nakładane przez odnośną ustawę.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'K. Żbikowski', is positioned to the right of the text in item 8.