

Kraków, dn. 14 września 2017 r

Prof. dr hab. Stanisław Drożdż
Instytut Fizyki Jądrowej PAN oraz
Wydział Fizyki, Matematyki i Informatyki
Politechnika Krakowska

Recenzja rozprawy doktorskiej pt.**„Analysis of interevent times by methods of statistical physics”****Pana mgr Mateusza Denysa****Wstęp**

Badanie korelacji i statystyki rozkładu czasów pomiędzy zdarzeniami o określonych charakterystykach to jedno z centralnych zagadnień w analizie szeregów czasowych. Zagadnienie to ma implikacje wysoce interdyscyplinarne. W kontekście rynków finansowych, na przykład, ma bezpośrednie odniesienie do elementów określających ryzyko i jest naturalnym tematem badań w obszarze ekonofizyki. Prace opublikowane w ostatniej dekadzie (Bogachev & Bunde, 2008, 2009; Ludescher et al., 2011; Ludescher & Bunde, 2014, Tsallis, 2016) wskazują na pewien rodzaj uniwersalności w rozkładach czasów między odpowiednio stratami albo zyskami przekraczającymi określoną wartość progową. Okazują się one mianowicie nie zależeć od rozważanego instrumentu finansowego czy też skali czasowej a jedynie od zadanego progu. Ponieważ rynki finansowe stanowią system ekstremalnie złożony, zrozumienie istoty i pochodzenia takich sygnatur uniwersalności może stanowić istotny wkład w kierunku formułowania teorii układów złożonych co stanowi wielkie wyzwanie dla współczesnej fizyki.

Deklarowanym celem rozprawy Pana mgr Mateusza Denysa jest analiza zysków i strat na rynkach finansowych poprzez uzyskanie opisu uniwersalności rozkładów czasów międzyzdarzeniowych, przy użyciu metod fizyki statystycznej. W swojej pracy doktorant podchodzi do omawianego zagadnienia z dwóch komplementarnych perspektyw. W pierwszej części pracy wyprowadza model analityczny odtwarzający empiryczne właściwości czasów między zdarzeniami. W drugiej części prezentuje natomiast model agentowy rynku finansowego, również odtwarzający odpowiednie charakterystyki czasów między zdarzeniami. W odróżnieniu od poprzednich prac zaprezentowany model analityczny bazujący na Teorii Wartości Ekstremalnych (Extreme Value Theory - EVT) oraz na teorii błędzenia losowego w czasie ciągłym (Continuous-time random walk - CTRW) jest wyprowadzony od postaw i nie zakłada z góry zadanej postaci rozkładu stóp zwrotu. Z kolei przedstawiony i użyty model

agentowy nieco modyfikuje interpretację spinu oraz jako pierwszy odtwarza uniwersalność czasów między stratami (zyskami) przekraczającymi zadany próg. Recenzowana praca wnosi nowatorski element oraz wpisuje się w trend najnowszych badań w ekonofizyce.

Treść rozprawy

Rozprawa doktorska Pana mgr Mateusza Denysa bazuje w dużej mierze na czterech artykułach. Dwa z nich są opublikowane w *Acta Physica Polonica A*, jeden zmieszczony w serwisie arXiv natomiast najnowszy i najobszerniejszy jest opublikowany w *Physical Review E* a Pan Mateusz Denys jest jego głównym autorem o dominującym wkładzie.

Rozdział pierwszy rozprawy opisuje czym zajmuje się ekonofizyka i przedstawia najważniejsze światowe dokonania w tym obszarze aktywności naukowej. Rozdział ten prezentuje także wprowadzenie do centralnego zagadnienia rozprawy, przedstawia dotychczasowy stan wiedzy, oraz formułuje zakres i cele pracy.

Drugi rozdział zawiera matematyczne wprowadzenie do Teorii Wartości Ekstremalnych (EVT) oraz do teorii błędzenia losowego w czasie ciągłym (CTRW) używanych w dalszej części pracy.

Rozdział trzeci prezentuje analityczny model czasów między zdarzeniami co stanowi zasadniczy, oryginalny i bardzo wartościowy wynik rozprawy. Jedynym założeniem przy wyprowadzaniu jest niezależność czasu oczekiwania i skumulowanego rozkładu stóp zwrotu. Autor definiuje zależność średniego kwantylowego czasu R_Q między stratami (zyskami) przekraczającymi próg Q od gęstości rozkładu bazowego stóp zwrotu $D(\epsilon)$, a następnie porównuje dopasowanie trzech rozkładów bazowych (q -Weibull, q -exponential, Weibull) z danymi rzeczywistymi. Jako optymalny okazał się być rozkład Weibulla. W podrozdziale 3.3 wyprowadzona zostaje główna formuła (3.12) opisująca rozkład czasów między zdarzeniami w zależności od wartości progowej Q . Analogiczna formuła została już uzyskana w pracy doktorskiej Andrzeja Kasprzaka (2010), też powstałej pod kierunkiem prof. Ryszarda Kutnera, ale przy bardziej restrykcyjnych założeniach na postać funkcji $D(\epsilon)$, które jak pokazał Mateusz Denys nie pozwalają na kompletny opis zależności R_Q i Q . W podrozdziale 3.4 Autor weryfikuje swój model wobec danych empirycznych zaczerpniętych z prac Bogachev & Bunde (2008), Ludescher et al. (2011), Ludescher & Bunde (2014) uzyskując satysfakcjonujące wyniki.

Podrozdział 3.5 podaje przykłady zastosowania wyprowadzonego modelu a w szczególności jego bardzo naturalne użycie – analizę ryzyka i wartości zagrożonej ryzykiem (Value-at-Risk - VAR). Następny przykład zastosowania to analiza analogicznych charakterystyk po stronie zysków. W tym przypadku, z uwagi na duże błędy w oszacowaniu paramentów, nie udało się udokumentować tak jednoznacznych relacji jak te obserwowane dla strat w podrozdziale 3.3. Kolejne możliwe zastosowanie modelu podane przez autora to analiza danych geologicznych.

W rozdziale czwartym Autor opisuje koncepcję modelowania agentowego na rynkach finansowych i przedstawia wybrane kanoniczne modele (Kim-Markowitz 1989, Levy-Levy-Solomon 1994, Lux-Marchesi 1999, Cont-Bouchaud 2000, Iori 1999, Bornholdt 2001) oraz konkurencyjny model (Gontis & Kononovicius, 2014) również odtwarzający uniwersalność czasów międzyzdarzeniowych na rynkach finansowych.

Rozdział piąty to druga zasadnicza część pracy. Autor opisuje tu swój model rynku finansowego tak zwanych przebiegłych agentów („The financial-market model of cunning agents”) oparty na trójstanowym modelu Potts’a a będący reinterpretacją modelu Sieczki-Hołysta (2008). Cechą charakterystyczną modelu Sieczki-Hołysta (2008) jest wartość progowa, przy której następuje zmiana pozycji rynkowej agenta. Przedstawione w pracy udoskonalenie modelu polega na zmianie znaczenia spinu; w modelu prezentowanym w pracy oznacza on pozycję rynkową (stan) agenta a zmiana pozycji następuje przy zmianie spinu. Kolejny istotny element to zmiana w losowym elemencie zachowania inwestora, opisywanego do tej pory przez szum o rozkładzie gaussowskim na opisywany gruboogonowym rozkładem typu Weierstrassa-Mandelbrota.

W podrozdziale 5.3 Autor porównuje symulacje modelu z rzeczywistymi danymi z rynków finansowych. Prezentowany model dobrze odwzorowuje wiodące charakterystyki rynków finansowych takie jak grupowanie zmienności (volatility clustering), zachowanie rozkładów stóp zwrotu czy szybki zanik funkcji autokorelacji dla stóp zwrotu. Co ciekawe, model ten odtwarza nawet ‘dziurę korelacyjną’ (Fig.5.10), czyli szybkie zejście funkcji autokorelacji stóp zwrotu nawet do ujemnych wartości tak jak to zwykle widać dla rynków rzeczywistych. Wydaje się również, że jest to pierwszy model agentowy odtwarzający uniwersalność rozkładu czasów pomiędzy ponadprogowymi stratami (zyskami).

Rozdział szósty prezentuje końcowe wnioski i podsumowanie pracy a dodatek szczegółowe wyprowadzenie rozkładu czasów międzyzdarzeniowych $\psi_Q(\Delta_{Qt})$.

Uwagi

W rozprawie rozważane są trzy rozkłady (równania (3.5), (3.13), (3.15), (3.20), (3.21)): q -Weibulla, q -eksponencjalny oraz Weibulla. Jest to nieco w konflikcie z poczuciem precyzji nauk ścisłych, a także estetyki, ponieważ rozkład Weibulla jest szczególnym przypadkiem tego pierwszego (odpowiada $q=1$). Pewien niedosyt budzi fakt, że w rozprawie tej analizowane są jej wyniki modelowe w relacji tylko do danych rynkowych zaczerpniętych z wymienionych już powyżej prac opublikowanych przez innych autorów. Zestawienie jak na Fig.5.12 (gdzie brak jest też jawnej informacji jakie to są dane) chciałoby się widzieć nie tylko dla spółki IBM jak w pracy Ludescher et al. (2011). W dzisiejszych czasach dostępność danych giełdowych, nawet wysokiej częstości, jest wielka a konfrontacja stworzonych modeli z zestawami innych, nowszych danych, dać by mogło szerszą perspektywę oceny skuteczności tych modeli i być może impuls do nowych przemyśleń. Brak jest także w pełni ilościowej oceny jakości dopasowania modelu analitycznego jak i agentowego do rozważanych danych empirycznych (Fig 3.4, Fig 3.5, Fig 5.12). Nieco razi też brak jednolitej konwencji w spisie bibliografii co niekiedy sprawia wrażenie niedbałości a ekstremalnym przykładem jest użycie małych liter dla modelu Sieczka-Hołysta w pozycji Denys (2013).

Opinia końcowa

Mimo powyższych krytycznych uwag zawartość pracy oceniam wysoko. Przedstawione w niej wyniki wpisują się w aktualne badania w tym obszarze, a nawet w niektórych miejscach są pionierskie. Udało się wyprowadzić ilościowy model odtwarzający uniwersalność rozkładów czasów między stratami, co jest istotnym krokiem naprzód w porównaniu z dotychczasowym

opisem przy pomocy funkcji wywodzących się z q -eksponent (Ludescher et al 2011). Przedstawiony model agentowy w naturalny sposób reinterpretuje spin jako pozycję rynkową (stan) agenta. Jest to według Autora pierwsza taka modyfikacja modelu Isinga. Zastosowanie gruboogonowego rozkładu Weierstrasa-Madellborta jako szumu to realistyczne usprawnienie modelu. Jest to również pierwszy model agentowy pozwalający opisywać uniwersalność rozkładu czasów pomiędzy ponadprogowymi stratami (zyskami). Kolejną zaletą tej procedury jest użycie kwantylowego czasu R_Q zamiast zwykłej średniej jak w pracy Gontis et al. 2016, z uwagi na możliwy brak istnienia momentów dla czasów międzyzdarzeniowych Δt . Mam pełne przekonanie, że praca ta z powodzeniem spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim. Z przyjemnością wnoszę więc o dopuszczenie Pana magistra Mateusza Denysa do dalszych etapów przewodu doktorskiego.



Stanisław Drożdż