



Didelio dažnio kompiuterizuotų prekybos strategijų inžinerija finansinėse rinkose

3 metų doktorantūros studijų ir mokslinių tyrimų ataskaita

Doktorantas: Mantas Vaitonis

Darbo vadovas: Doc. Dr. Saulius Masteika

Planas

| | Darbo pavadinimas | Atlikimo terminai | Pastabos |
|----|---|---|----------|
| 1. | <p>Mokslinių tyrimų disertacijos tema apžvalga ir analizė (Lietuvoje ir užsienyje):</p> <p>1.1. Didelio dažnio prekybos šaltiniai, jų mokslas ir raida</p> <p>1.2. Didelio dažnio prekybinių sandorių taikymas finansų inžinerijoje</p> <p>1.3. Didelio dažnio prekybos strategijų klasifikacija</p> <p>1.4. Informacijos sistemų inžinerija ir taikymas didelio dažnio prekybos strategijoms</p> <p>1.5. Didelio dažnio prekybos technologiniai sprendimai</p> | <p>2015 m. spalio mėn. – 2016 m. rugsėjo mėn.</p> | |
| 2. | <p>Mokslinio tyrimo vykdymas:</p> <p>2.1. Tyrimo metodikos parengimas:</p> <p>2.1.1. Didelio dažnio prekybos strategijų sudarymo metodika</p> <p>2.1.2. Didelio dažnio kompiuterizuotų prekybos strategijų testavimo metodika</p> <p>2.1.3. Didelio dažnio prekybos strategijų techninių ir programinių specifikacijų sudarymo metodika</p> <p>2.2. Teorinis tyrimas:</p> <p>2.2.1. Didelio dažnio prekybos strategijų parinkimas ir kintamųjų identifikavimas</p> <p>2.2.2. Didelio dažnio prekybos strategijų formalizavimas, bei prekybinių algoritmų sudarymas</p> <p>2.2.3. Formalizuotų prekybos strategijų taikymas finansų inžinerijoje ir jų diegimas vertybinių popierių rinkose</p> <p>2.3. Empirinis tyrimas:</p> <p>2.3.1. Didelio dažnio prekybos strategijų efektyvumo tyrimas</p> <p>2.3.2. Lygiagrečių skaičiavimų bei didelio našumo kompiuterinių technologijų taikymo tyrimas didelio dažnio prekyboje</p> <p>2.3.3. Programinės ir techninės įrangos sąveikos tobulinimas skaičiavimų spartinimui bei strategijų tobulinimui</p> | <p>2016 m. spalio mėn. – 2016 m. lapkričio mėn.</p> <p>2016 m. gruodžio mėn. – 2017 m. rugsėjo mėn.</p> <p>2017 m. spalio mėn. – 2018 m. gegužės mėn.</p> | |
| 3. | <p>3.1. Gautų duomenų analiza, apibendrinimas, išvadų parengimas:</p> <p>3.1.1. Efektyvios didelio dažnio prekybos strategijos identifikavimas</p> | <p>2018 m. birželio mėn. – 2018 m. rugsėjo mėn.</p> | |

2015–2017 m. m. išlaikyti egzaminai

| Dalyko pavadinimas | Kreditų skaičius | Numatyta atsiskaitymo data | Įvykusio egzamino data | Įvertinimas |
|---|------------------|----------------------------|------------------------|-------------|
| Informatikos ir informatikos inžinerijos tyrimo metodai ir metodika | 9 | 2016-06-09 | 2016-06-09 | 7 |
| Informacijos poreikių specifikavimas | 7 | 2016-09-27 | 2016-09-27 | 9 |
| Duomenų analizės strategijos ir sprendimų priėmimas | 7 | 2016-12-05 | 2016-12-05 | 8 |
| Žiniomis grindžiama kompiuterizuota informacijos sistemų inžinerija | 7 | 2017-03-14 | 2017-03-14 | 9 |

Dalyvavimas konferencijose 2015–2018 m. m.

- 2015-12-03 – 2015-12-05 7-oje mokslinėje konferencijoje DAMSS 2015 „Duomenų analizės metodai programų sistemoms“, Druskininkuose, pristatytas standinis pranešimas „High frequency statistical arbitrage strategy engineering and algorithm for pairs trading selection“.
- 2016-10-13 – 2016-10-15 ICIST 2016 22-oje „Tarptautinėje informacijos ir programų technologijų konferencijoje“, Druskininkuose, skaitytas pranešimas „Research in high frequency trading and pairs selection algorithm with Baltic region stocks“.
- 2016-12-01 – 2016-12-03 8-oje mokslinėje konferencijoje DAMSS 2016 „Duomenų analizės metodai programų sistemoms“, Druskininkuose, pristatytas standinis pranešimas „ Computerized high frequency trading of nanoseconds in futures market“.
- **2017-10-12 – 2017-10-14 ICIST 2017 ICIST 2017 Druskininkai 23-oje „Tarptautinėje informacijos ir programų technologijų konferencijoje“, Druskininkuose, skaitytas pranešimas „Statistical Arbitrage Trading Strategy in Commodity Futures Market with the Use of Nanoseconds Historical Data“.**
- **2017-11-30 – 2017-12-02 Research in High Frequency Statistical Arbitrage Strategies Applied to Microsecond and Nanosecond Information, Data analysis methods for software systems : 9th international workshop on data analysis methods for software systems, DAMSS Druskininkai.**
- **2018-04-27 IVUS 2018 23-oje tarptautinėje mokslinėje konferencijoje „Information Society and University Studies“, skaitytas pranešimas „CPU and GPU Implementations for High Frequency Trading in Algorithmic Finance“.**
- **2018-05-29 SYSTEM 2018 23-oje tarptautinėje mokslinėje konferencijoje „Information Society and University Studies“, skaitytas pranešimas „Algorithmic trading and machine learning based on GPU“.**

Publikacijos 2015–2018 m. m

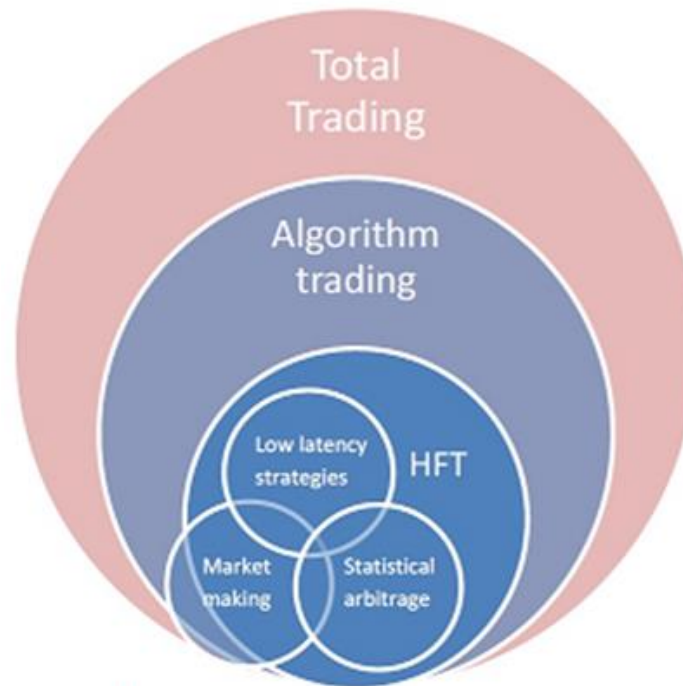
- Masteika S., Vaitonis M., Quantitative Research in High Frequency Trading for Natural Gas Futures Market, Business Information Systems Workshops, Springer International Publishing, Vol. 228,p. 29-35, 2015 m.
- Vaitonis M., Masteika S. (2016). High frequency statistical arbitrage strategy engineering and algorithm for pairs trading selection. 7th International Workshop on Data Analysis Methods for Software Systems [abstracts book], Druskininkai, Lithuania, December 3-5, 2015. ISBN 978-9986-680-58-1. p. 51.
- Vaitonis M., Masteika S. (2016). Research in high frequency trading and pairs selection algorithm with Baltic region stocks. Information and Software Technologies. 22nd International Conference, ICIST 2016, Druskininkai, Lithuania, October 13-15, 2016, Proceedings. ISBN 978-3-319-46254-7, p.p. 208 – 217.
- Vaitonis M., (2017). Pairs Trading Using HFT in OMX Baltic Market. *Baltic J. Modern Computing*, Vol. 5(2017), No. 1, 37-49
- Vaitonis M., Masteika S. (2017) „Statistical Arbitrage Trading Strategy in Commodity Futures Market with the Use of Nanoseconds Historical Data“,Information and Software Technologies: 23rd International Conference, ICIST 2017, Druskininkai, Lithuania, October 12–14, 2017, Proceedings. R. Damaševičius and V. Mikašytė (Eds.): ICIST 2017, CCIS 756, pp. 303–313, ISBN 978-3-319-67642-5
- **Vaitonis M., Masteika S. (2018). Experimental Comparison of HFT Pair Trading Strategies using Microsecond and Nanosecond Future Commodity Contracts Data. *Baltic J. Modern Computing*, Vol. 6(2018), No. 2, 195-216, ISSN 2255-8950**

Pedagoginė praktika

| Studijų metai | Studijų modulis | Studijų pakopa, kursas | Valandos | | |
|---------------|--------------------------|------------------------|----------|---------|---------|
| | | | Paskaitų | Pratybų | Iš viso |
| 2016 | Finansinių rinkų analizė | VI(F)3 | 1 | | 1 |
| 2017 | XML inžinerija | VI, VI(FI)3 | 32 | 16 | 48 |
| 2017 | Kompiuterių architektūra | ISKS7 | 32 | 16 | 48 |

Tyrimo objektas

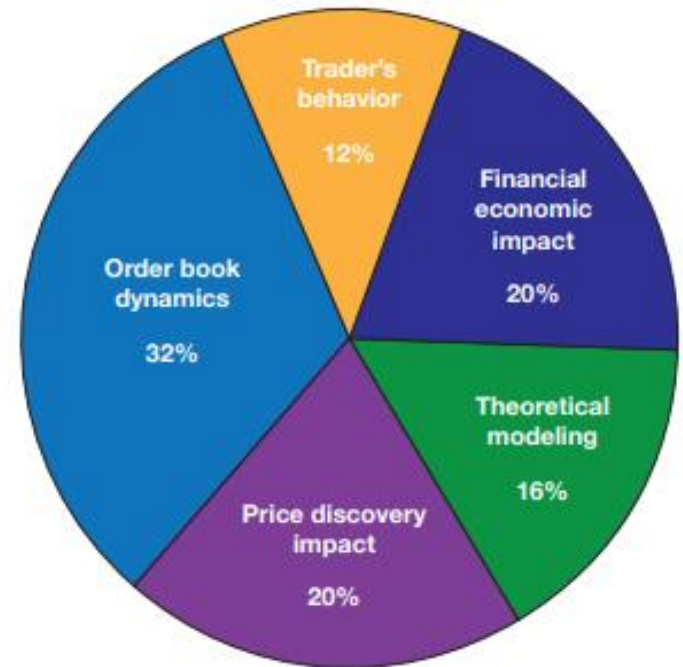
- Didelio dažnio duomenys elektroninėse finansų biržose



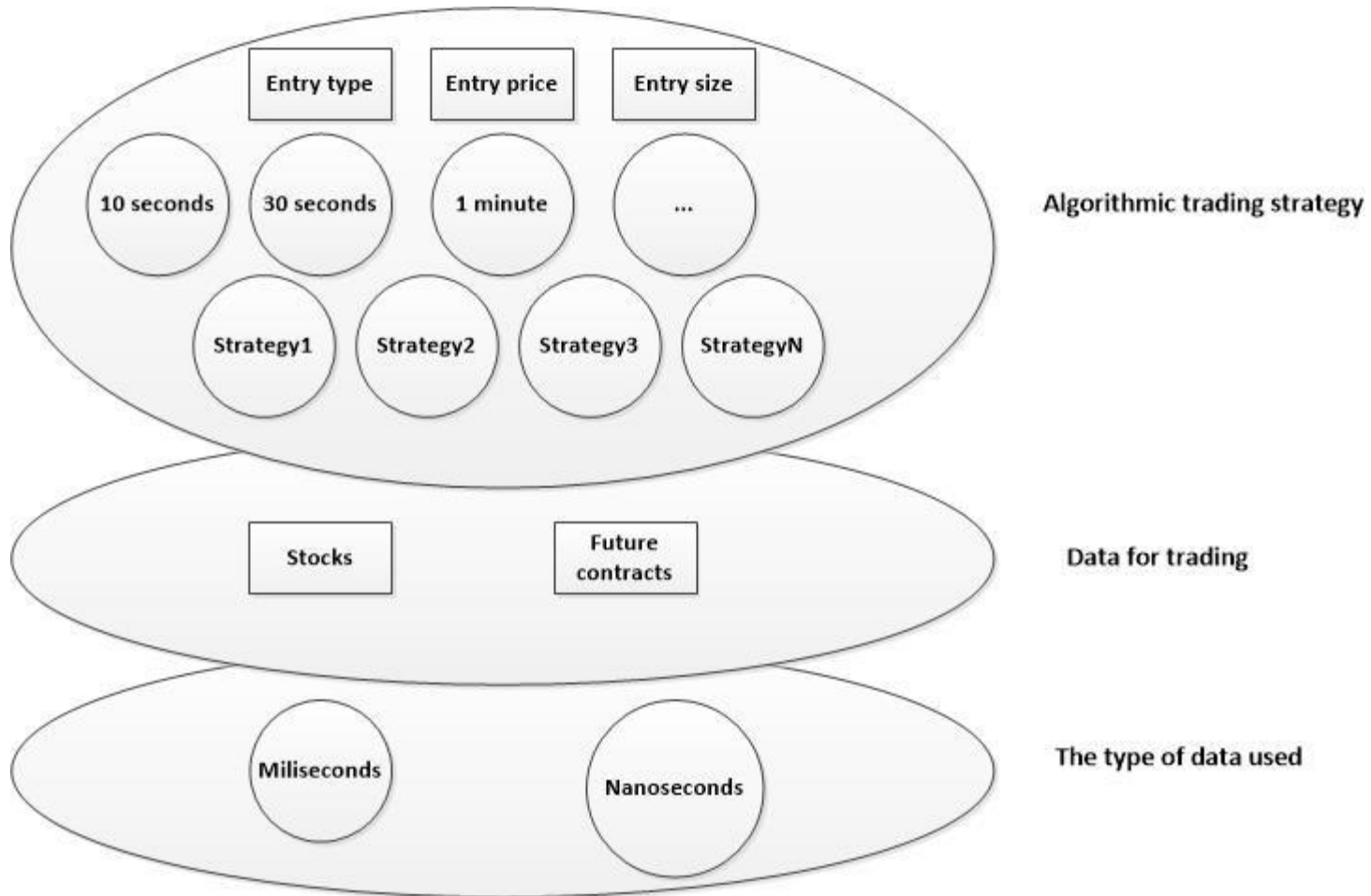
Source: AFM

Tyrimo objektas

- Overall, although there are still differences in opinion with regard to HFT, they conclude that HFT provides liquidity and on average improves market quality, with more discernible positive effects in large-cap stocks. They state that, due to the limited empirical data that academic researchers can access, answers to questions regarding optimal HFT configuration, HFTs' economic merit, and regulation surrounding HFT behaviors are far from being definitive. (Khaldoun Khashanah, Ionut Florescu, Steve Yang, High – frequency trading: a white paper, The Investor Responsibility Research Center Institute 2016)



Tyrimo problema



Tyrimo problema

- Pavyzdžiui turim galimų 10 prekybos algoritmų, 10 galimų prekybos langų, tokiu atveju yra 100 galimų variacijų, papildomai yra 3 skirtingi duomenų tipai, iš kurių gali būti naudojami arba visi 3, 2 arba tik 1, dabar jau yra 700 galimų variacijų, galime naudoti dviejų tipų informaciją (akcijos, ateities sandoriai) ir dviejų tipų dažnumo duomenis (milisekundiniai ir nanosekundiniai), perskaičiavus yra 4200 skirtingų variacijų strategijoms. Galima turėti skirtingą kiekį portfelių, pavyzdžiui galima turėti 10 skirtingų portfelių, tokiu atveju yra 42000 variacijų. Tyrimo metu galima turėti nuo 100 skirtingų akcijų ir nuo 100 skirtingų ateities kontraktų ir galima naudoti skirtingus kiekius abiejų tipo duomenų arba tik, kuri vieną tipą duomenų. Tada atsiranda nuo 420 000 iki 4 200 000 variacijų.

Didelio dažnio prekyba

- Didelio dažnio prekybos sistemos
- Elektroninių rinkų atsakymo laikas <100 nanosekundžių
- Greičiausios prekybos sistemos dirba ~15 nanosekundžių greičiu
- Elektroninės rinkos gali sukurti virš milijono pranešimų per sekundę.
- CME elektroninė biržai reikia apdoroti ~5 mln. įrašų per sekundę vienai ateities sandorių grupei.
- Piko metu per vieną sekundę gali būti perduodama ~98.18 Mbps duomenų.

Tyrimo tikslas

- Sukurti didelio dažnio likvidumą didinančių prekybos strategijų elektroninėse finansų biržose apdorojimo metodą, taikant didelės apimties skaičiavimus, leidžiančius apdoroti duomenis mikro/nanosekundžių tikslumu.

Tyrimo uždaviniai

- Apžvelgti didelio dažnio duomenų algoritmes strategijas, didelio dažnio duomenų apdorojimo metodus, jų įrankius bei technologijas.
- Sukurti ir iširti didelio dažnio duomenimis paremtų algoritminių strategijų elektroninėse finansų biržose apdorojimo metodą, dirbantį su didelės apimties duomenimis.
- Sukurti algoritminių strategijų apdorojimo prototipą, integruojant pasiūlytą metodą, skirtą didelio dažnio ir apimties duomenų elektroninėse finansų biržose apdorojimui.
- Aprašyti gautus rezultatus ir pastebėjimus, įvertinti sukurtą algoritminių strategijų prototipą.

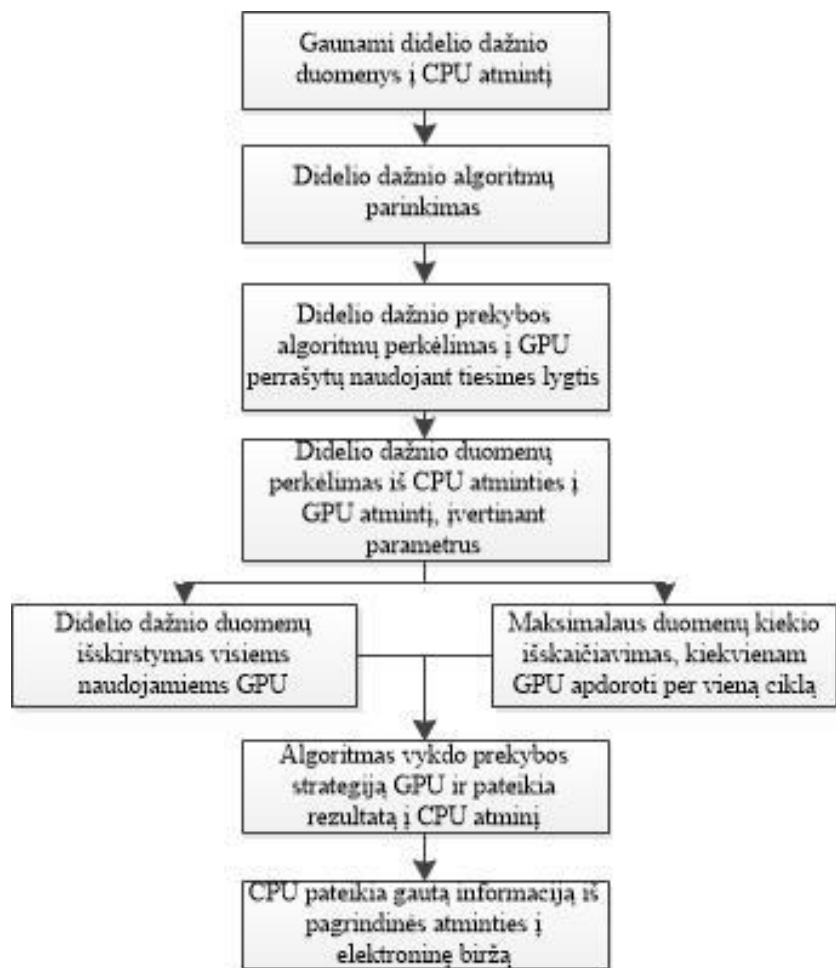
Planuojami rezultatai

- Didelio dažnio ir apimties duomenimis paremtų algoritminių strategijų elektroninėse finansų biržose apdorojimo metodas ir jo prototipas.

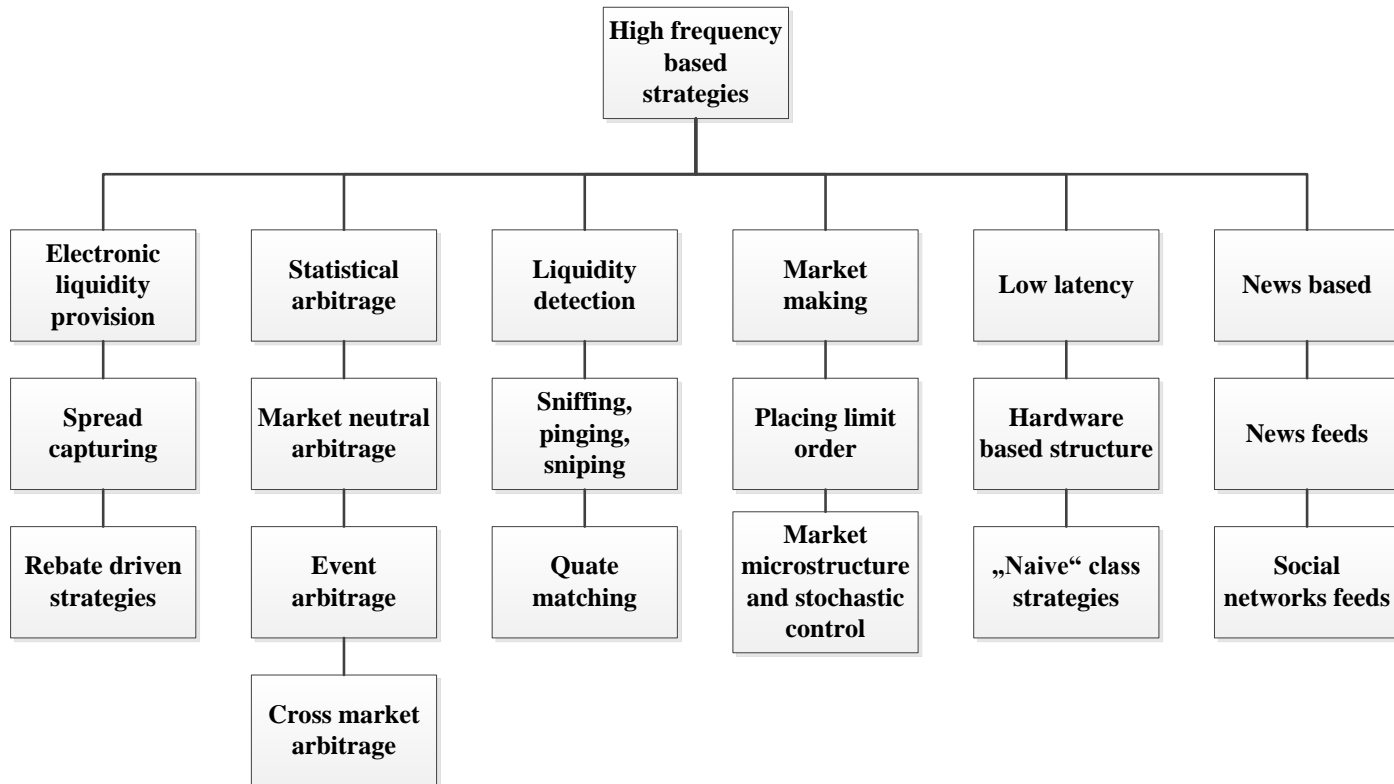
Darbo naujumas

- Darbo pabaigoje bus sukurtas metodas, kuris leis klasikines prekybos strategijas perkelti į didelio dažnio prekybos aplinką naudojant lygiagrečius skaičiavimus, pritaikant juos grafinėm vaizdo plokštėm panaudojant tiesinių lygčių metodą.

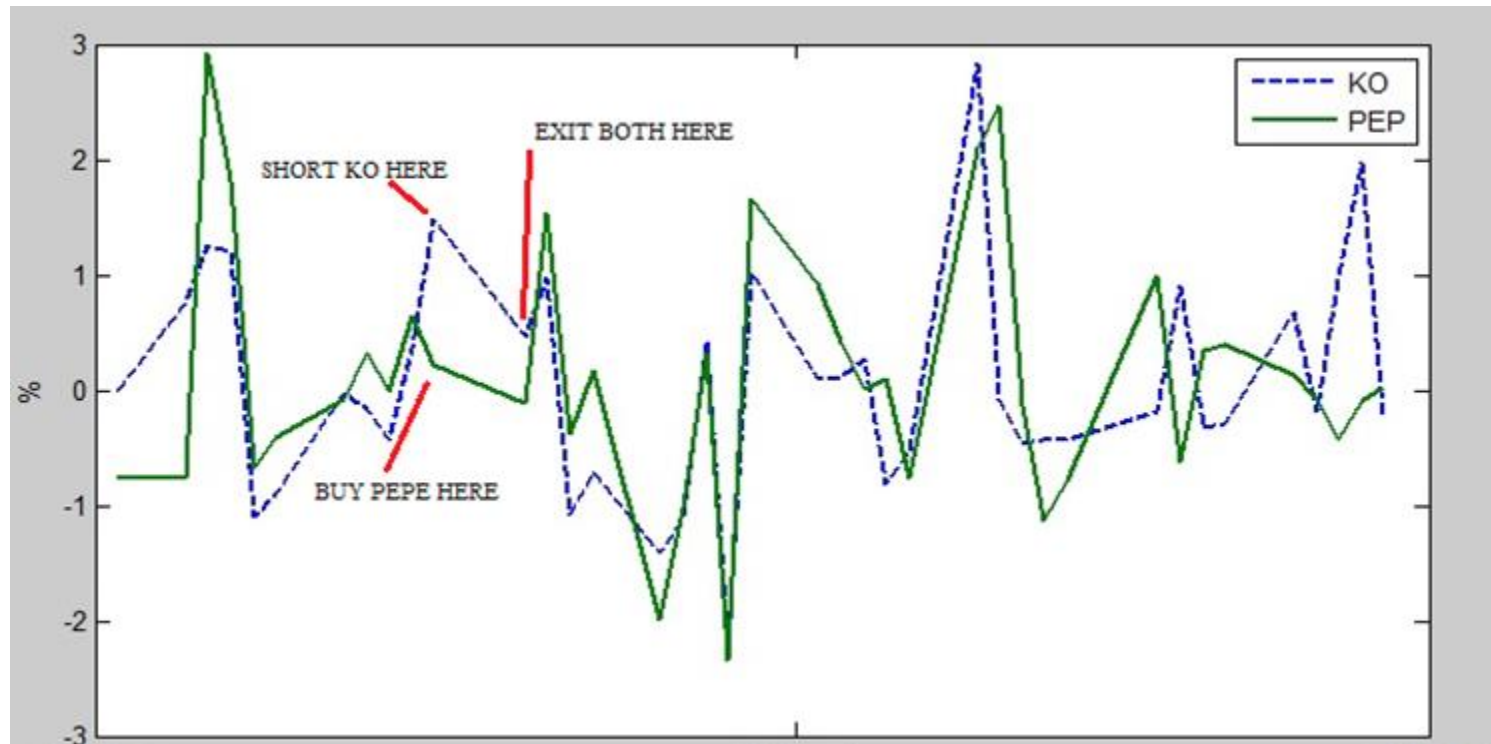
Tyrime naudojamas metodas



Didelio dažnio prekybos strategijos



Atlikti tyrimai: didelio dažnio porų prekyba



Porų prekybos strategijų metodologija

- Prekybos ir duomenų normalizavimo lango dydžio parinkimas;
- Duomenų normalizavimas;
- Koreliuotų porų parinkimas;
- Prekybos signalų nustatymas;
- Prekyba;
- Prekybos strategijų efektyvumo nustatymas.

Duomenys naudoti tyrimui

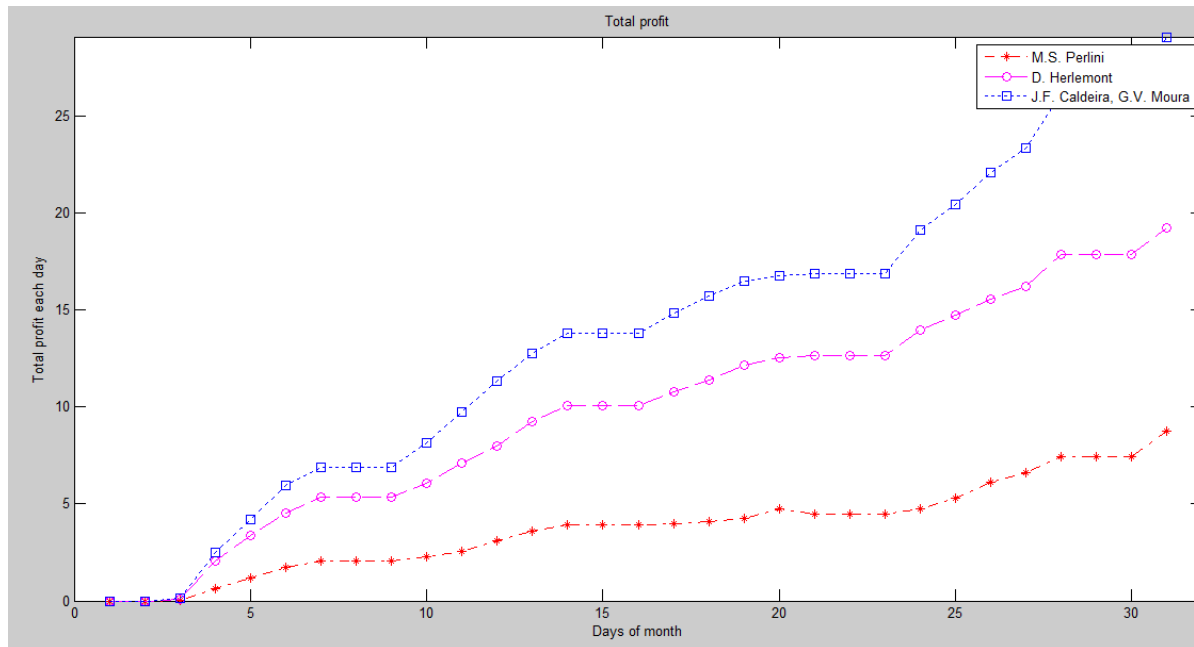
- NANOTICK pateikė mikrosekundinius ir nanosekundinius duomenis apie 5 ateities sandorius (NG, BZ, CL, HO, RB)
- Duomenys pateikti laikotarpiu nuo 2015-08-01 iki 2015-08-31. Po normalizacijos milisekundiniai duomenys susidėjo iš 24957994 duomenų eilučių ir nanosekundiniai iš 287872500.

| AMG1L | APG1L | CTS1L | GRD1R | GZE1R | KNF1L | SFG1T | TVEAT | LDJ1L | LES1L | OEG1T | OLF1R | ITAL1T | TEO1L | Date | Time |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|------------|--------------|
| 0.927 | 2.770 | 1.720 | 6.950 | 9.400 | 0.411 | 1.120 | 13.900 | 0.680 | 1.000 | 1.920 | 6.100 | 0.840 | 1.050 | 2015-03-04 | 15:53:58.640 |
| 0.927 | 2.770 | 1.720 | 6.950 | 9.400 | 0.411 | 1.120 | 13.900 | 0.680 | 1.000 | 1.920 | 6.100 | 0.840 | 1.050 | 2015-03-04 | 15:53:58.670 |
| 0.927 | 2.770 | 1.720 | 6.950 | 9.400 | 0.411 | 1.120 | 13.900 | 0.680 | 1.000 | 1.920 | 6.100 | 0.840 | 1.050 | 2015-03-04 | 15:54:17.437 |
| 0.927 | 2.770 | 1.720 | 6.950 | 9.400 | 0.411 | 1.120 | 13.900 | 0.680 | 1.000 | 1.920 | 6.100 | 0.840 | 1.050 | 2015-03-04 | 15:54:17.450 |
| 0.927 | 2.740 | 1.730 | 6.950 | 9.400 | 0.400 | 1.120 | 14.100 | 0.710 | 1.000 | 1.920 | 6.100 | 0.840 | 1.050 | 2015-03-04 | 15:54:17.513 |
| 0.927 | 2.740 | 1.730 | 6.950 | 9.400 | 0.400 | 1.120 | 14.100 | 0.710 | 1.000 | 1.920 | 6.100 | 0.840 | 1.050 | 2015-03-04 | 15:54:17.530 |
| 0.927 | 2.740 | 1.730 | 6.950 | 9.400 | 0.400 | 1.120 | 14.100 | 0.710 | 1.010 | 1.920 | 6.100 | 0.840 | 1.050 | 2015-03-04 | 15:56:49.607 |
| 0.927 | 2.740 | 1.730 | 6.950 | 9.400 | 0.400 | 1.120 | 14.100 | 0.710 | 1.010 | 1.920 | 6.100 | 0.840 | 1.050 | 2015-03-04 | 15:56:49.733 |
| 0.927 | 2.740 | 1.730 | 6.950 | 9.400 | 0.400 | 1.120 | 14.100 | 0.710 | 1.010 | 1.920 | 6.100 | 0.840 | 1.050 | 2015-03-04 | 15:59:12.607 |
| 0.925 | 2.740 | 1.730 | 6.950 | 9.400 | 0.400 | 1.120 | 14.100 | 0.710 | 1.010 | 1.920 | 6.100 | 0.840 | 1.050 | 2015-03-04 | 15:59:16.310 |
| 0.925 | 2.740 | 1.730 | 6.950 | 9.400 | 0.400 | 1.120 | 14.100 | 0.710 | 1.010 | 1.920 | 6.100 | 0.841 | 1.050 | 2015-03-04 | 15:59:16.343 |

Naudotos strategijos

- Perlin, M. **Evaluation of Pairs Trading Strategy at Brazilian Financial Market.** Journal of Derivatives & Hedge Funds. 2009, Volume 15.
- Caldeira J. F., Moura G. V. **Selection of a portfolio of pairs based on cointegration: A statistical arbitrage strategy.** Revista Brasileira de Financas. 2013, Volume 11, No. 1.
- Herlemont D. **Pairs Trading, Convergence Trading, Cointegration.** Quantitative Finance. 2013, Volume 12, No. 9.

Visų strategijų pelningumas tyrimo metu



Rezultatai

| | M. S. Perlini | D. Herlemont | Caldeira ir Moura |
|----------------------------------|----------------------|---------------------|--------------------------|
| Pelnas su nanosekundėmis | 8,74% | 19,27% | 29,11% |
| Iš viso sandorių | 9878627 | 5869860 | 18051372 |
| Pelnas su mikrosekundėmis | 4,01% | 3,39% | 4,75% |
| Iš viso sandorių | 1491576 | 2135360 | 2538979 |

Rezultatai

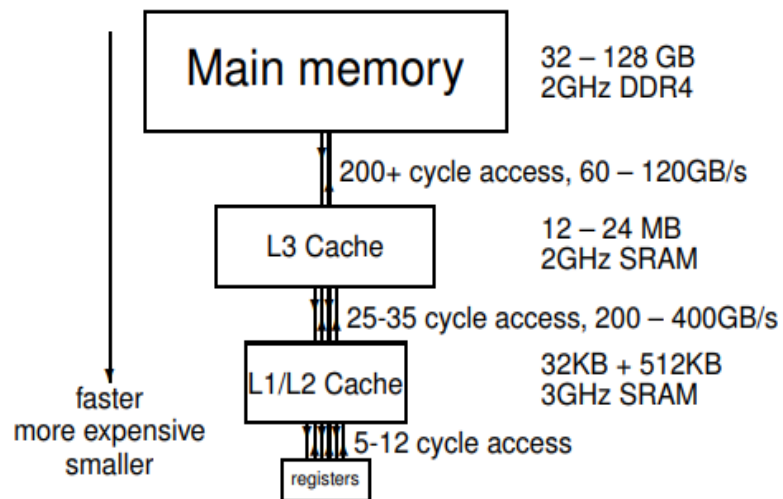
| | M. S. Perlini strategijos Šarpo rodiklis | D. Herlemont strategijos Šarpo rodiklis | Caldeira and Moura strategjos Šarpo rodiklis |
|--------------------------------|---|--|---|
| Naudojant mikrosekundes | 1,3380 | 1,4240 | 1,7651 |
| Naudojant nanosekundes | 1,3144 | 2,6388 | 2,0442 |

Tyrimas naudojant GPU

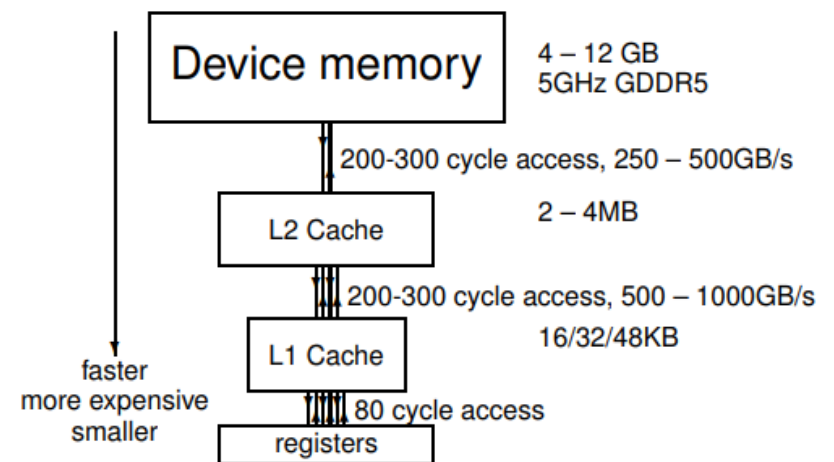
- GPU galima naudoti skaičiavimams „gilyn“, kaip atliktame tyrime GPU naudojamas apskaičiuoti kiekvienos strategijos pelningumą atskirai su istoriniais duomenimis.
- GPU galima naudoti skaičiavimas „į plotį“ pasitelkiant paralelizmą, kuris bus naudojamas tolimesniems tyrimams, atlikti daug skaičiavimų vienu metu, realiu laiku milieskundiniu ar nanosekundiniu greičiu.

CPU ir GPU atminties hierarchija

CPU Memory Hierarchy

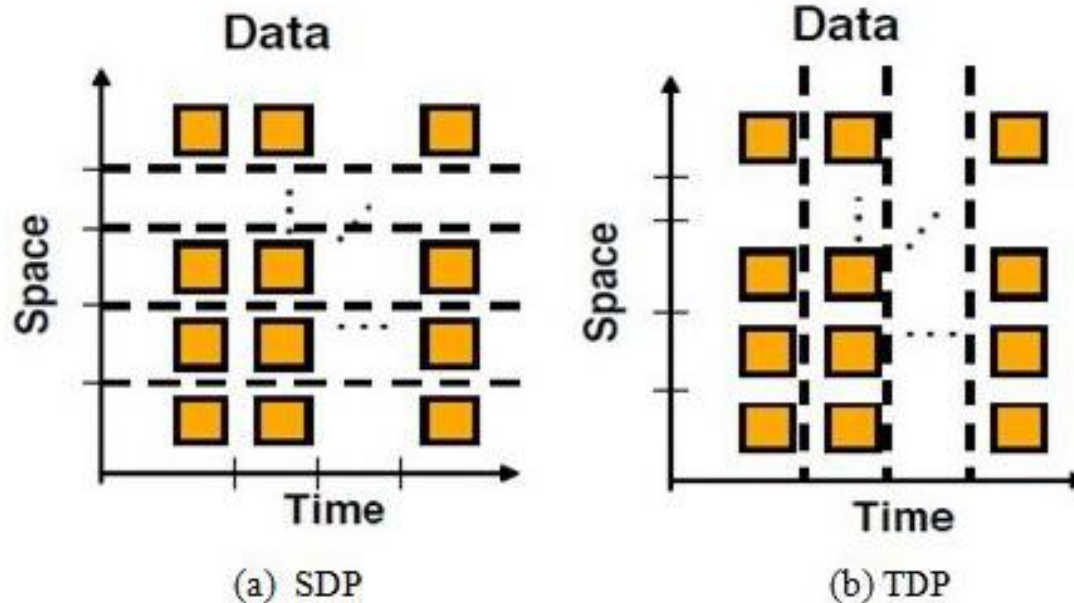


GPU Memory Hierarchy



Duomenų paralelizavimas

- Erdvinis duomenų dalinimas (SDP)
- Laikinas duomenų dalinimas (TDP)

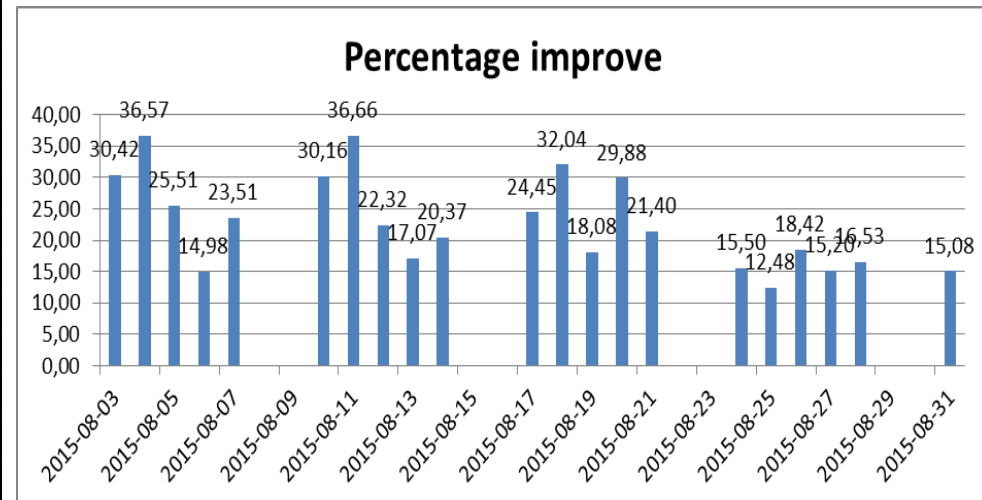


H. Hoffmann, A. Agarwal, and S. Devadas, "Partitioning strategies for concurrent programming," in Massachusetts Institute of Technology (MIT), CSAL Lab, 2009

CPU ir GPU palyginimas

| Date | Intel i5 - 3230M 2,6 GHz, 2 cores (in seconds) | GeForce 710m, 96 CUDA Cores (in seconds) | Number of records processed |
|------------|--|--|--------------------------------|
| 2015-08-03 | 2991,80 | 2081,60 | 6096505 |
| 2015-08-04 | 2208,10 | 1400,50 | 4579465 |
| 2015-08-05 | 2393,70 | 1783,10 | 5793525 |
| 2015-08-06 | 3040,90 | 2585,3 | 5595770 |
| 2015-08-07 | 2650,10 | 2027,1 | 5586360 |
| 2015-08-10 | 4410,80 | 3080,70 | 5732355 |
| 2015-08-11 | 4980,30 | 3154,50 | 6249980 |
| 2015-08-12 | 2769,20 | 2151,20 | 6758875 |
| 2015-08-13 | 4122,60 | 3419,00 | 5666900 |
| 2015-08-14 | 1325,90 | 1055,80 | 4227335 |
| 2015-08-17 | 1550,00 | 1171,10 | 4879990 |
| 2015-08-18 | 1912,10 | 1299,50 | 4364540 |
| 2015-08-19 | 4002,30 | 3278,70 | 5666700 |
| 2015-08-20 | 4449,00 | 3119,43 | 5411145 |
| 2015-08-21 | 4311,70 | 3389,10 | 5946205 |
| 2015-08-24 | 4809,40 | 4064,00 | 7710745 |
| 2015-08-25 | 3960,20 | 3466,10 | 5105175 |
| 2015-08-26 | 3187,60 | 2600,40 | 5119660 |
| 2015-08-27 | 5004,90 | 4244,20 | 7963320 |
| 2015-08-28 | 5287,10 | 4413,10 | 7721975 |
| 2015-08-31 | 5409,70 | 4594,10 | 8613445 |

Šio tyrimo metu naudotas CPU buvo Intel i5 - 3230M 2,6 GHz su 2 branduoliais ir naudotas GPU GeForce 710M su 96 CUDA branduoliais



CPU ir GPU palyginimas naudojant tiesinių lygčių metodą

| M. S. Perlini | | | D. Herlemont | | | J. Caldeira and G. V. Moura | | |
|---------------|---------------|------------|---------------|---------------|------------|-----------------------------|---------------|------------|
| Nonlinear CPU | Nonlinear GPU | Linear GPU | Nonlinear CPU | Nonlinear GPU | Linear GPU | Nonlinear CPU | Nonlinear GPU | Linear GPU |
| 3082,01 | 2212,58 | 7,56 | 2991,80 | 2234,69 | 7,06 | 3188,30 | 2175,46 | 7,13 |
| 2312,21 | 1866,77 | 5,92 | 2208,10 | 1625,87 | 5,52 | 2300,20 | 1836,70 | 5,55 |
| 2548,00 | 2275,70 | 7,41 | 2393,70 | 2033,04 | 6,80 | 2577,20 | 2238,40 | 6,87 |
| 3157,23 | 1980,72 | 7,02 | 3040,90 | 1796,88 | 6,51 | 3025,80 | 1741,62 | 6,56 |
| 2757,20 | 2020,74 | 7,01 | 2650,10 | 1617,00 | 6,67 | 2736,30 | 2010,04 | 6,75 |
| 4930,11 | 1723,71 | 7,12 | 4410,80 | 2397,89 | 6,72 | 4850,30 | 2409,41 | 6,79 |
| 5182,32 | 2513,59 | 7,58 | 4980,30 | 2833,62 | 7,22 | 5144,90 | 2215,78 | 7,22 |
| 2900,12 | 2174,64 | 8,21 | 2769,20 | 2007,54 | 7,68 | 2837,10 | 2075,58 | 7,73 |
| 4211,10 | 2082,78 | 7,08 | 4122,60 | 2287,30 | 6,55 | 4222,80 | 2591,05 | 6,65 |
| 1398,00 | 1208,22 | 5,52 | 1325,90 | 1204,28 | 5,24 | 1483,00 | 1284,10 | 5,21 |
| 1602,56 | 1491,32 | 6,21 | 1550,00 | 1342,17 | 5,87 | 1597,30 | 1333,63 | 5,86 |
| 2102,70 | 1455,73 | 5,66 | 1912,10 | 1695,52 | 5,33 | 2074,60 | 1570,07 | 5,40 |
| 4179,40 | 1633,95 | 6,92 | 4002,30 | 1620,07 | 6,61 | 4154,70 | 1495,48 | 6,63 |
| 4982,20 | 2130,43 | 6,65 | 4449,00 | 1948,76 | 6,41 | 4591,40 | 2098,70 | 6,42 |
| 4591,80 | 1883,19 | 7,26 | 4311,70 | 2111,37 | 7,22 | 4421,70 | 1941,67 | 6,89 |
| 5080,60 | 3185,21 | 9,07 | 4809,40 | 3193,18 | 8,61 | 4982,50 | 3306,48 | 8,74 |
| 4229,10 | 1810,58 | 6,44 | 3960,20 | 2200,31 | 5,94 | 4074,30 | 2154,72 | 6,06 |
| 3377,20 | 2266,08 | 6,38 | 3187,60 | 2564,24 | 6,03 | 3269,70 | 2261,87 | 6,05 |
| 5305,40 | 3110,35 | 9,42 | 5004,90 | 3494,92 | 8,87 | 5238,00 | 3089,66 | 9,09 |
| 5698,10 | 3186,38 | 9,07 | 5287,10 | 3642,83 | 8,59 | 5534,70 | 3769,10 | 8,71 |
| 5671,80 | 3835,31 | 10,08 | 5409,70 | 3033,25 | 9,51 | 5583,40 | 3617,43 | 9,64 |

CPU ir GPU palyginimas naudojant tiesinių lygčių metodą

- Duomenų apdorojimo pragreitėjimas iš netiesinių lygčių GPU į tiesinių lygčių GPU sistemą siekia apie 300 kartų.
- Naudotas CPU Xeon E5-2650 su 8 branduoliais ir 20 MB spartinančiaja atmintimi.
- Naudotas GPU Nvidia GTX – 1060 6GB, 1280 CUDA branduoliais.

2018–2019 m. m. darbo planas

- **Mokslinių tyrimų planas:**
- Teorinio ir empirinio tyrimų rezultatų interpretacija, palyginimas su esamais sprendimais finansinių rinkų sektoriuje;
- Gautų duomenų analizė, apibendrinimas, išvadų parengimas;
- Informacijos ir technologinių poreikių specifikavimas taikant lygiagrečius skaičiavimus finansų inžinerijoje;
- Atskirų daktaro disertacijos dalių (tyrimo metodikos, rezultatų, ginamų teiginių, išvadų, ir kt.) parengimas.

2018–2019 m. m. darbo planas

- **Mokslinių publikacijų planas:**
- Planuojamas straipsnis, kuriame naudojamos kombinuotus GPU plokštės didelio dažnio algoritminėje prekyboje, algoritmą perkeliant į GPU tiesinių lygčių metodu.

Ačiū už dėmesį