

Одеський національний університет імені І. І. Мечникова
Факультет математики, фізики та інформаційних технологій
Кафедра математичного аналізу

Дипломна робота

на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»

на тему: «Формування оптимального інвестиційного портфеля з використанням
інструментів машинного навчання»
«Optimal investment portfolio formation using machine learning tools»

Виконав: студент заочної форми навчання
спеціальності 111 Математика

Голубев Сергій Володимирович

Керівник _____
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище
та ініціали, підпис)

Рецензент _____
(науковий ступінь, вчене звання,
прізвище та ініціали)

Рекомендовано до захисту:
Протокол засідання кафедри
№ ____ від _____ р.

Завідувач кафедри

(підпис) _____ (прізвище, ініціали)

Захищено на засіданні ЕК № _____
протокол № ____ від _____ р.
Оцінка _____ / ____ / ____
(за національною шкалою, шкалою
ECTS, бали)

Голова ЕК

(підпис) _____ (прізвище, ініціали)

Одеса – 2021

ЗМІСТ

ВСТУП	3
РОЗДІЛ 1. ПОРТФЕЛЬНА ТЕОРІЯ МАРКОВИЦА	5
1.1. Диверсифікація та ризик портфеля	5
1.2. Криві байдужості та рівень корисності	8
1.3. Оптимальний портфель	14
1.4. Ефективний кордон	16
1.5. Чотири кроки підходу Марковиця	20
РОЗДІЛ 2. РОЗВИТОК ТЕОРІЇ МАРКОВИЦА	22
2.1. Модель визначення вартості капітальних активів (CAPM)	22
2.1.1. Ринковий портфель	27
2.1.2. Лінія ринку капіталу (CML)	28
2.1.3. Лінія ринку цінних паперів (SML)	30
2.2. Індексні та ринкові моделі	40
2.2.1. Одноіндексна модель та її гіпотеза	42
2.2.2. Розкладання стандартного відхилення на систематичний та диверсифікований ризик	46
РОЗДІЛ 3. НЕЙРОННІ МЕРЕЖІ	51
3.1. Розвиток нейронних мереж	51
3.2. Математична модель нейронних мереж	54
3.3. Функції активації	57
3.4. Багатошаровий персептрон	58
3.5. Рекурентні нейронні мережі	59
3.6. LSTM мережі	61
РОЗДІЛ 4. ЕМПІРИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ	63
4.1. Технологія дослідження	63
4.1.1. Об'єкт моделювання	63
4.1.2. Економетричний пакет Eviews	64
4.1.3. Гібридна модель ARIMA-LSTM	65
4.1.3.1. Сектор моделі ARIMA	66
4.1.3.2. Сектор моделі LSTM	68
4.2. Обробка даних	68
4.3. Моделювання лінійної компоненти	74
4.3.1. Перевірка лінійної моделі	80
4.4. Моделювання нелінійної компоненти	81
4.5. Результати прогнозування	83
4.6. Знаходження оптимального портфеля	85
ВИСНОВКИ	89
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	90
ДОДАТКИ	92

ВСТУП

Математичні основи для сучасних методів, що використовуються в інвестиційному менеджменті, беруть витоки у середині XX століття. Проте вони набули розвитку в області чисельних фінансів порівняно недавно. Поштовхом до зростання необхідності в подібних методах стала повсюдна комп'ютеризація біржової діяльності у 1970-х роках та відкриття доступу до інтернет торгів у 1990-х, що призвело до серйозних змін на фондових ринках: значно збільшилася кількість угод; різко зросла кількість інформації, що генерується біржами. На дослідження та розробку сучасних підходів до ризику менеджменту також вплинув розвиток комп'ютерних технологій та досягнення в галузі аналізу даних, які дозволили обробляти великі обсяги інформації та дали доступ до комп'ютеризованого вирішення завдань з області чисельних фінансів великої кількості людей. Актуальність подібних завдань пояснюється великим практичним потенціалом та науковою складністю рішень.

При побудові та виборі інвестиційного портфеля оцінка його очікуваної прибутковості та ризиків вважається основним завданням. У своїй роботі "Вибір портфеля" (1952) [1] Марковіц представив Сучасну портфельну теорію, яка пропонує методи кількісної оцінки прибутковості та ризику інвестиційного портфеля. Отримавши кількісні значення прибутковості та ризику, ми отримуємо можливість побудувати ефективну межу, яка є кривою, що поєднує всі комбінації прибутковості та ризику. Потім інвестори вибирають портфель на ефективному фронтірі, залежно від їхньої толерантності до ризику.

Для досягнення цієї мети критично важливо отримати реалістичний прониц цін акцій вибраних для інвестування. Для їхнього кращого прогнозування ми використали тимчасові ряди побудовані на реальних даних фінансових ринків. Для цього на першому етапі даної роботи модель ARIMA визначить лінійні

тенденції в часовому ряді даних. Потім модель LSTM спробує виявити нелінійні закономірності залишкових значеннях, які є результатом першої фази.

На заключному етапі на основі отриманих прогнозних цін акцій буде сформовано портфель цінних паперів. Його параметри буде порівняно з параметрами модельного портфеля на основі індексу Nasdaq Composite.

ВИСНОВКИ

Метою нашого емпіричного дослідження було запропонувати модель, яка не поступається існуючим моделям прогнозування на фінансових ринках.

Ми спробували провести експеримент з використанням гібридної моделі ARIMA-LSTM. Обчислити лінійність на етапі моделювання ARIMA, а потім спрогнозувати нелінійні тенденції за допомогою рекурентної нейронної мережі LSTM. Результати тестування показали, що гібридна модель ARIMA-LSTM має потенціал, щоб скласти конкуренцію іншим аналогічним прогнозним моделям.

Таким чином, у даній роботі продемонстрована можливість збільшення точності роботи класичної моделі портфельної теорії за допомогою сучасних методів аналізу даних.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- [1] H. M. Markowitz. Portfolio selection. The Journal of Finance, Vol.7, № 1:77-91, Mar. 1952.
- [2] T. J. Urich E. J. Elton, M. J. Gruber. Are betas best? Journal of Finance, № 33:1375-1384, 1978.
- [3] Fabozzi, Frank J. (1999). Investment Management. 2nd. ed. Prentice Hall Inc.
- [4] Шарп У.Ф., Александер Г.Дж., Бейли Дж.В. Инвестиции. – М.: ИнфраМ, 1997.
- [5] Merton R. C. An analytical derivation of Efficient Portfolio Frontier // Journal of Financial and Quantitative Analysis, 1972. P. 1851 - 1872.
- [6] Lecture 05: Mean Lecture 05: Mean-Variance Analysis & Variance Analysis & Capital Asset Pricing Model Capital Asset Pricing Model (CAPM) Prof. Markus K. Brunnermeier.
- [7] Lee M. C., Su L. E. Capital Market Line Based on Efficient Frontier of Portfolio with Borrowing and Lending Rate // Universal Journal of Accounting and Finance, 2014. Vol. 2, No 4, P. 69 - 76.
- [8] Bode, Zvi, Alex Kane, Alan J. Marcus (2005). Investments. 6th ed. McGraw Hill.
- [9] W.F. Sharpe. A simplified model for portfolio analysis. Management Science, 13:277-293, 1963.
- [10] Black Fischer, 1972, "Capital Market Equilibrium with restricted borrowing", Journal of Business.
- [11] M. J. Gruber E.J. Elton. Modern portfolio theory, 1950 to date. Journal of banking And Finance, 21:1743{1759, 1997.
- [12] W.F. Sharpe. A simplified model for portfolio analysis. Management Science, 13:277-293, 1963.
- [13] Sharpe, William F. 1964. "Capital Asset Prices: A Theory of Market Equilibrium under Conditions of Risk." Journal of Finance. 19:3, pp. 425– 42.

- [14] F. Cummins F.A. Gers, J. Schmidhuber. Learning to forget: Continual prediction with lstm. Technical Report, IDSIA-01-99, 1999.
- [15] R.A. de Oliveira D.M.Q. Nelson, A.C.M. Pereira. Stock markets price movement prediction with lstm neural networks. In 2017 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN), pages 1419-1426, 2017.
- [16] Fischer T., Krauss C. Deep learning with long short-term memory networks for financial market predictions // 2018. European Journal of Operational Research. P. 1 - 16.
- [17] J. Schmidhuber S. Hochreiter. Long short-term memory. Neural Computation, 9(8):1735-1780, 1997.
- [18] G.P. Zhang. Time series forecasting using a hybrid arima and neural network model. Neurocomputing, 50:159-175, 2003.
- [19] Mondal L., Shit L., Goswami S. Study of effectiveness of time series modeling (ARIMA) in forecasting stock prices // International Journal of Computer Science, Engineering and Applications (IJCSEA), 2014. Vol. 4, No 2, P. 13 - 29.
- [20] G. Jenkins G.E.P. Box. Time series analysis, forecasting and control. Holden-Day, San Francisco, CA, 1970.
- [21] A. Krizhsky I. Sutskever R. Salakhutdinov N. Srivastave, G. Hinton. Dropout: A simple way to prevent neural networks from overfitting. Journal of Machine Learning Research, 15:1929-1958, 2014.
- [22] Hodrick R. J., Prescott E. C. Postwar US business cycles: an empirical investigation Journal of Money, credit, and Banking. — 1997. — P. 1-16.