

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

**«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ Н. Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»**

Кафедра дискретной математики и информационных технологий

**ПРИМЕНЕНИЕ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ГЕНЕТИЧЕСКОГО
АЛГОРИТМА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ВЫБОРА
ОПТИМАЛЬНОГО ПОРТФЕЛЯ ЦЕННЫХ БУМАГ**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

студента 4 курса 421 группы
направления 09.03.01 — Информатика и вычислительная техника
факультета КНиИТ
Бегиджаняна Романа Артуровича

Научный руководитель
доцент, к. ф.-м. н.

И. Д. Сагаева

Заведующий кафедрой
доцент, к. ф.-м. н.

Л. Б. Тяпаев

Саратов 2023

ВВЕДЕНИЕ

В современном мире инвестирование в ценные бумаги является одним из наиболее популярных способов инвестирования капитала. Однако выбор оптимального портфеля ценных бумаг является сложной задачей. Для решения этой задачи применяются различные методы, включая генетические алгоритмы.

Генетические алгоритмы являются эффективным инструментом для решения задач оптимизации, включая задачу выбора оптимального портфеля ценных бумаг. Однако при работе с большими объемами данных, генетические алгоритмы могут столкнуться с проблемой длительного времени выполнения. Поэтому актуальным является рассмотрение параллельных генетических алгоритмов, которые позволяют ускорить процесс оптимизации и сократить время выполнения.

В данной работе рассматривается применение параллельного генетического алгоритма для решения задачи выбора оптимального портфеля ценных бумаг.

Параллельный генетический алгоритм работает путем разделения задачи на несколько подзадач, которые решаются параллельно на нескольких процессорах. Это позволяет ускорить процесс оптимизации и сократить время выполнения. При этом, каждый процессор работает с небольшим подмножеством данных, что позволяет снизить нагрузку на каждый процессор и увеличить эффективность работы алгоритма.

Традиционные модели формирования оптимального портфеля включают модель Марковица, модель Тобина и модель Шарпа (рыночная модель). Эти модели представляют собой различные подходы к определению оптимального портфеля, учитывая различные факторы, такие как доходность, риск и коэффициенты отдачи.

Целью выпускной квалификационной работы является разработка метода, основанного на параллельном генетическом алгоритме, для решения задачи выбора оптимального портфеля ценных бумаг.

Для достижения поставленной цели в работе будут решены следующие задачи:

- изучение основных моделей формирования оптимального портфеля: Модель Марковица, Модель Тобина и Модель Шарпа;

- изучение генетических алгоритмов и их применение для решения задачи выбора оптимального портфеля;
- разработка программной реализации параллельного генетического алгоритма;
- анализ результатов и формулирование выводов.

В данной работе содержится 6 глав, а именно «Обзор проблемы выбора оптимального портфеля», «Обзор моделей формирования оптимального портфеля», «Смешанно-целочисленная задача квадратичного программирования», «Генетический алгоритм», «Параллельный генетический алгоритм» и «Сравнение скорости работы ПГА и ГА».

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе рассматривается проблема выбора оптимального портфеля. Она заключается в нахождении наилучшего сочетания активов (например, акций, облигаций, недвижимости и других финансовых инструментов) с целью достижения максимальной доходности при заданном уровне риска или минимизации риска при заданном уровне доходности.

Существует несколько факторов, которые усложняют выбор оптимального портфеля.

Разнообразие активов. Различные типы активов имеют различные уровни доходности и риска. Инвестору необходимо учитывать эти факторы и искать баланс между ними, чтобы достичь своих целей.

Риск и доходность. Инвесторы обычно стремятся получить наивысшую доходность при минимальном уровне риска. Однако риск и доходность тесно связаны, и инвестору приходится принимать компромиссные решения, чтобы найти оптимальный баланс.

Корреляция активов. Корреляция между активами определяет, насколько сильно они движутся вместе. Наличие сильно коррелированных активов в портфеле может увеличить риск, поскольку они склонны к одновременному снижению или росту. Диверсификация позволяет снизить этот риск, включая в портфель активы, которые имеют низкую или отрицательную корреляцию.

Индивидуальные предпочтения и ограничения. Инвесторы имеют различные финансовые цели, временные горизонты, уровни толерантности к риску и другие ограничения. Выбор оптимального портфеля должен учитывать эти индивидуальные предпочтения и ограничения.

Неопределенность рынка. Рыночные условия постоянно меняются, и прошлые результаты не гарантируют будущую доходность. Инвестору необходимо учитывать неопределенность и прогнозировать будущие тенденции, чтобы принять рациональные решения[1].

Во второй главе рассматриваются основные модели формирования оптимального портфеля. Модели Марковица, Тобина и Шарпа.

Модель Марковица, также известная как портфельная теория Марковица, разработана Гарри Марковицем в 1952 году и является одним из основных инструментов для оптимизации выбора портфеля в инвестиционном анализе.

Основная идея модели Марковица состоит в том, что инвестор может достичь оптимального соотношения риска и доходности путем правильного распределения своих инвестиций между различными активами. Модель Марковица учитывает ожидаемую доходность, стандартное отклонение (меру риска) и корреляцию между активами[2].

Модель Тобина, разработанная Джеймсом Тобином, представляет собой экономическую модель, которая изучает связь между инвестициями и финансовыми решениями фирм. Она была впервые предложена в 1969 году в работе Тобина "Выбор инвестиций: Критерии и поездка мыслей".

Основная идея модели Тобина заключается в том, что фирма будет инвестировать в новое оборудование и расширять свою производственную мощность, если стоимость замены (создания) новых активов меньше, чем стоимость существующих активов. Таким образом, фирма будет рассматривать стоимость капиталовложений в новые активы относительно уже имеющихся.

Ключевым показателем, который используется в модели Тобина, — это коэффициент Куна (q -коэффициент). Он определяется как отношение рыночной стоимости активов фирмы к их стоимости замены. Если q -коэффициент больше единицы, то это означает, что стоимость замены активов выше и фирма может быть склонна инвестировать в новые активы. Если q -коэффициент меньше единицы, то это может указывать на неэффективное использование уже имеющихся активов, и фирма может быть менее склонна к инвестициям[3].

Модель Шарпа, также известная как коэффициент Шарпа, была разработана Уильямом Ф. Шарпом и представляет собой один из основных показателей для оценки эффективности портфеля инвестиций.

Основная идея модели Шарпа заключается в том, что инвестор должен учитывать как ожидаемую доходность, так и риск при принятии решений о выборе портфеля. Коэффициент Шарпа измеряет доходность портфеля сверх безрисковой ставки в соотношении к его стандартному отклонению (мере риска). Он позволяет сравнивать доходность различных портфелей с учетом риска[4].

В третьей главе кратко рассмотрено, что значит смешанно-целочисленная задача квадратичного программирования.

Смешанно-целочисленная задача квадратичного программирования (Mixed

Integer Quadratic Programming, MIQP) представляет собой оптимизационную задачу, в которой некоторые переменные могут принимать только целочисленные значения, в то время как остальные переменные могут быть любого типа (целочисленные или вещественные)[5].

В четвертой главе изучена работа генетического алгоритма и его применение для задачи выбора оптимального портфеля.

Генетические алгоритмы (Genetic Algorithms, GA) — это стохастические оптимизационные алгоритмы, вдохновленные процессами эволюции в природе. Они используют механизмы естественного отбора, скрещивания и мутации для эффективного поиска оптимального решения в пространстве поиска.

Основная идея генетических алгоритмов заключается в создании популяции индивидуальных решений (часто называемых хромосомами или генотипами), которые представляют потенциальные решения задачи. Каждый индивидуум в популяции представляет собой набор параметров или переменных, которые определяют решение задачи[6].

Генетические алгоритмы широко применяются для решения задач выбора оптимального портфеля, которые включают в себя проблемы оптимизации распределения инвестиций с целью максимизации доходности и минимизации риска. Общий подход к применению ГА для задачи выбора оптимального портфеля:

Определение переменных. Необходимо определить переменные, которые представляют инвестиционные инструменты и их доли в портфеле. Например, каждая переменная может соответствовать доле акций, облигаций, фондов и т. д.

Определение функции приспособленности. Функция приспособленности определяет, насколько хорошо каждый портфель соответствует определенным целям. Она может включать в себя ожидаемую доходность, риск, корреляции между инвестиционными инструментами и другие факторы. Цель состоит в том, чтобы максимизировать функцию приспособленности.

Кодирование решений. Индивидуальное решение (хромосома) представляет собой набор значений переменных, определяющих доли инвестиций в портфеле. Различные методы кодирования могут использоваться, например, бинарное кодирование, вещественное кодирование или перестановочное коди-

рование.

Создание начальной популяции. Начальная популяция создается случайным образом или с использованием эвристических методов. Каждый индивидум в популяции представляет случайный портфель.

Операторы генетического алгоритма. Применяются операторы селекции, скрещивания и мутации для эволюции популяции. Селекция отбирает лучшие портфели на основе функции приспособленности. Скрещивание комбинирует выбранные портфели, а мутация вносит случайные изменения в портфели для вариативности.

Оценка приспособленности. Каждый индивидум в популяции оценивается на основе функции приспособленности, чтобы определить, насколько хорошо он соответствует целям.

Эволюция популяции. Процесс селекции, скрещивания, мутации и оценки приспособленности повторяется в цикле до достижения условия остановки, такого как достижение максимального числа итераций или сходимость популяции.

Интерпретация результата. Найденное оптимальное решение представляет собой портфель с определенными долями инвестиций в различные инструменты, которые максимизируют ожидаемую доходность и минимизируют риск согласно заданным целям.

Применение генетических алгоритмов для задачи выбора оптимального портфеля позволяет исследовать большое пространство возможных портфелей и находить решения, которые учитывают различные факторы и ограничения. Однако, для достижения наилучших результатов, важно тщательно выбирать функцию приспособленности, операторы и настройки алгоритма, а также учитывать специфические особенности и требования задачи выбора оптимального портфеля[7].

В пятой главе описывается создание программной реализации параллельного генетического алгоритма по модели Марковица на платформе Python. Среди нескольких классов ПГА, была выбрана модель глобального параллелизма.

Модель глобального параллелизма (Global Parallelism Model). В этой модели все индивидумы популяции распределены между различными процессорами или узлами, которые выполняют эволюцию параллельно и неза-

висимо друг от друга. В каждом процессоре выполняются все генетические операторы, включая селекцию, скрещивание и мутацию. Иногда процессоры обмениваются информацией для согласованности и координации эволюции[8].

Python имеет обширную коллекцию библиотек, которые предоставляют множество функций и инструментов для решения различных задач. В случае финансового анализа и работы с данными, библиотеки, такие как Pandas, NumPy и ufinance, предоставляют мощные средства для обработки, анализа и визуализации данных.

Для получения котировок акций была выбрана библиотека ufinance. Библиотека ufinance предоставляет простой и интуитивно понятный интерфейс для получения финансовых данных. Она облегчает процесс получения котировок акций и другой финансовой информации без необходимости написания сложного кода или взаимодействия с низкоуровневыми API. Также Ufinance предлагает широкий набор функций для получения различных типов данных, связанных с финансовыми инструментами. Она позволяет получать исторические данные о ценах акций, объемах торгов, дивидендах, а также информацию о компании, ключевых показателях и т.д.[9].

Чтобы реализовать параллельный генетический алгоритм используется импорт модуля Pool из стандартной библиотеки Python multiprocessing позволяет использовать параллельные вычисления и распределение задач на несколько процессов.

multiprocessing.Pool предоставляет удобный интерфейс для создания пула процессов, которые могут выполнять задачи параллельно. Он облегчает распределение задач между процессами и сбор результатов[10].

Сначала будут сгенерированы массивы (портфели) с псевдослучайными весами акций в портфеле. Следующим шагом требуется создать первые популяции состоящие из портфелей акций. Процессы мутации и скрещивания будут распараллелены на количество ядер процессора до окончания генерации всех поколений. Тип мутации — замена: в роли гена будет выступать вес акции, который будет сгенерирован псевдослучайно. Тип скрещивания — одноточечный кроссовер: будет выбрана псевдослучайная точка, делящая ребенка (портфель) на две части, которые заполнят родители соответственно. Каждый раз, когда создается новый портфель, у него считается доходность и

риск. После прохождения выбранного числа поколений на выходе получится столько оптимальных портфелей, сколько параллельных процессов было запущено. Итоговой задачей остается выбрать портфель с наименьшим риском и наибольшим доходом. Пример результата работы приведен на рисунке 1.

```

Оптимальный портфель (вес акций):
PYPL = 0.00025381
PFE = 0.00023848
ORCL = 0.40357251
PEP = 0.03931948
MRK = 0.55661571
Доходность: 0.01563104888043832
Риск: 0.027670918650048806
    
```

Рисунок 1 – Результат запуска

В шестой главе приведены результаты скорости выполнения ГА и ПГА на разном количестве потоков.

Запуски проводятся на компьютере с процессором Intel Core i7-6700, имеющим 8 потоков. На основании истории 44 акций за 1 месяц. Вероятность мутации 0.01, популяция состоит из 100 портфелей и 10000 поколений.

В таблице 1 представлены результаты скорости выполнения ГА и ПГА.

Таблица 1 – Результат измерения скорости при запуске на разное количество процессов

	Процессы	Время, сек
ГА	1	75,3
ПГА	2	39,9
ПГА	4	24,8
ПГА	8	19,0
ПГА	16	19,8

Время выполнения на 16 процессов не изменилось, так как тесты проведены на восьмипоточном процессоре. Следовательно, процессы которым не хватило потоков встают в очередь, тем самым время работы алгоритма больше не уменьшается.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

За время работы над бакалаврской работой был рассмотрен необходимый материал по моделям формирования оптимального портфеля. Были рассмотрены алгоритм оптимизации на основе ПГА. Разработана программная реализация на основе модели Марковица. Данные для апробации программы получены с помощью библиотеки `yfinance` от финансового провайдера API Yahoo Finance.

Основные источники информации:

- 1 Выбор оптимального портфеля: [Электронный ресурс] URL: <http://bibliotekar.ru/4-1-19-finansoviy-menedzhment/22.htm> (дата обращения: 22.04.2023)
- 2 Борисова, Л.В. Модели оптимального портфельного инвестирования / Борисова, Л.В., Сагаева И.Д. — Саратов: СГУ им. Н.Г. Чернышевского, 2015. 22 с.
- 3 Модель Тобина: [Электронный ресурс] URL: https://bstudy.net/748850/ekonomika/model_tobina (дата обращения: 25.04.2023)
- 4 Терехова А.Н. Индексная модель Уильяма Шарпа / А.Н. Терехова, Т.И. Васильева // «Хроноэкономика». 2017, №6(8). 95-98 с.
- 5 Смешанно-целочисленные линейные алгоритмы программирования: [Электронный ресурс] URL: <https://docs.exponenta.ru/optim/ug/mixed-integer-linear-programming-algorithms.html> (дата обращения: 30.04.2023)
- 6 Борисова Л.В. Генетические алгоритмы и задачи актуальной математики / Борисова Л.В., Сагаева И.Д. — Саратов: СГУ им. Н.Г. Чернышевского, 2015. 77 с.
- 7 Борисова Л.В., Сагаева И.Д. Численная реализация задачи выбора оптимальной структуры инвестиционного портфеля. // Современная наука: теоретический и практический взгляд: матер. Междунар. науч.-практ. конф.-Тюмень: Науч.-издат. центр "Аетерна 2016. 6-9 с.
- 8 Борисова Л.В., Кабанов А.Ю., Сагаева И.Д. Генетический алгоритм для решения задачи оптимального портфельного инвестирования с ограничением на кардинальность. // Компьютерные науки и информационные технологии: матер. Междунар. науч. конф.- Саратов: Издат. центр "Наука 2016. 90-93 с.
- 9 Yfinance Python Tutorial: [Электронный ресурс] URL:

<https://analyzingalpha.com/yfinance-python> (дата обращения: 08.05.2023)
10 Multiprocessing — Process-based parallelism: [Электронный ресурс] URL:
<https://docs.python.org/3/library/multiprocessing.html> (дата обращения:
10.05.2023)