

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ
ФАКУЛЬТЕТ КОМП'ЮТЕРНО-ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ І ПРОГРАМНОЇ
ІНЖЕНЕРІЇ

ЧАЙКОВСЬКИЙ МИХАЙЛО ЯРОСЛАВОВИЧ

УДК 004.9:504:519.6

**МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ОРГАНІЗАЦІЇ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНИХ СИСТЕМ
ПРОГНОЗУВАННЯ ПОГОДИ**

123 «Комп'ютерна інженерія»

Автореферат

дипломної роботи на здобуття освітнього ступеня «магістр»

Тернопіль
2018

Роботу виконано на кафедрі комп'ютерних систем та мереж Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя Міністерства освіти і науки України

Керівник роботи: кандидат технічних наук, доцент кафедри комп'ютерних систем та мереж
Луцків Андрій Мирославович,
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя,

Рецензент: кандидат технічних наук, доцент кафедри програмної інженерії
Михалик Дмитро Михайлович,
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя,

Захист відбудеться 22 лютого 2018 р. о 9⁰⁰ годині на засіданні екзаменаційної комісії №34 у Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя за адресою: 46001, м. Тернопіль, вул. Руська, 56, навчальний корпус №1, ауд.1-603

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми роботи. Правильне прогнозування погоди відіграє важливу роль у всіх сферах життєдіяльності людини: транспорті, сільському господарстві, туристичній галузі, в охороні здоров'я та багатьох інших. Від достовірного прогнозу погоди залежать не лише економічні показники, але й життя багатьох людей.

Яскравим прикладом важливості метеопрогнозу був ураган Сенді (англ. Hurricane Sandy) - потужний тропічний циклон, що утворився в кінці жовтня 2012 року й зачепив Ямаїку, Кубу, Багамські острови, Гаїті, узбережжі Флориди і, згодом, північний схід США і східну Канаду. Ураган завдав найбільш важкий збитків північно-східним штатам США, зокрема Нью-Джерсі, Нью-Йорк і Коннектикут, але без повноцінних прогнозів погоди і прогнозів, які стосувалися цього урагану - збиток був би значно більшим. Практично беззастережно, метеорологи США визнали, що якби хоч одне, нехай навіть мале, джерело даних було не враховане в аналізі руху Сенді, то точність прогнозів (наприклад таке важливе питання: де саме ураган «вийде» на сушу) могла б помітно знизитися, а це могло б мати катастрофічні, а може навіть і летальні наслідки для багатьох людей.

З урахуванням наведеного вище, важливою науково-практичною задачею є оцінювання швидкості та точності метеопрогнозування на певній ПРКС. Розроблення сучасних систем прогнозування погоди передбачає окрім безпосередньо прогнозування погоди також розроблення допоміжних сервісів збору метеоданих. А тому потрібно розробити загальну архітектуру програмно-апаратної системи прогнозування погоди.

Мета роботи: Метою магістерського дослідження є обґрунтування вибору ефективних методів та засобів, які лежать в основі роботи систем прогнозування погоди. Зокрема, у дослідженні буде здійснено аналіз алгоритмічного та математичного забезпечення, яке лежить в основі сучасних моделей прогнозування погоди. Відповідні обчислювальні моделі та методи реалізуються у векторних, паралельних та розподілених обчислювальних системах.

Об'єкт дослідження: обчислювальні системи прогнозування погоди.

Предмет дослідження: математичні моделі погодніх явищ та методи прогнозування погоди, методи декомпозиції обчислювальних задач, паралельні та розподілені обчислювальні системи.

Методи дослідження: моделювання комп'ютерних систем та програм, теорія алгоритмів та обчислювальних методів, моделі прогнозу погоди, теорія побудови обчислювальних систем.

Наукова новизна отриманих результатів:

1. Вперше, на основі аналізу особливостей чисельних моделей прогнозування погоди проаналізовано можливість їх використання на доступній програмно-апаратній базі й інтеграції з іншими сервісами. Для побудови системи використано відкрите та безкоштовне програмне забезпечення й загальнодоступні метеодані.

2. Вперше запропоновано використання комплексної архітектури системи прогнозування погоди на базі моделі WRF та сукупності мікросервісів для збору метеоданих.

3. Вперше обґрунтовано доцільність використання мікросервісів на базі кросплатформових технологій програмування при розв'язанні задач прогнозування погоди.

Практичне значення отриманих результатів.

Реалізовано програмну систему прогнозування погоди на базі моделі WRF. Проведено обчислювальні експерименти з метою обґрунтування доцільності запропонованої архітектури програмно-апаратної системи.

Апробація результатів дипломної роботи магістра. Результати дипломної роботи магістра апробовано на двох конференціях:

- міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» (Тернопіль, ТНТУ, 2017);
- XX-й науковій конференції Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя (2017).

Структура роботи. Робота складається з розрахунково-пояснювальної записки та графічної частини. Розрахунково-пояснювальна записка складається з вступу, 6 розділів, висновків, переліку посилань та додатків. Обсяг роботи: розрахунково-пояснювальна записка – 128 арк. формату А4, графічна частина – 10 аркушів формату А1

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність й важливість даного дослідження та здійснено короткий огляд сучасного стану проблем у галузі високопродуктивних обчислювальних систем для розв'язання задач прогнозування погоди. Охарактеризовано основні завдання, які необхідно вирішити у дипломній роботі магістра.

В **розділі 1 «Аналіз предметної області комп'ютерних систем прогнозування погоди»** проведено аналіз предметної області прогнозування погоди, апаратного та програмного забезпечення комп'ютерних систем для прогнозування погоди. Проаналізовано систему Метеум та проект Open Weather Мар, як джерело метеорологічних даних для прогнозування погоди. Система Метеум є хорошим прикладом реалізації комерційної системи прогнозування погоди з використанням: попереднього та статистичного опрацювання даних, моделювання погоди та засобів машинного навчання. Дана система розглянута як архітектурний прототип власної розробки.

Показано місце та роль таких етапів системи прогнозування погоди як: попереднього відбору даних та їх попереднього опрацювання, статистичного опрацювання даних, побудови прогнозу, оцінювання його достовірності шляхом використання технологій машинного навчання та статичних даних попередніх років,

представлення цього прогнозу користувачу. Сформульовано основні задачі дипломної роботи магістра.

В розділі 2 «Апаратне, програмне та математичне забезпечення комп'ютерних систем прогнозування погоди» проведено огляд моделей (глобальної моделі GFS, локальних моделей: MM5, WRF та WRF-ARF) та здійснено обґрунтування вибору моделі прогнозування погоди, а саме WRF.

Суть роботи моделі WRF полягає у тому, що у тривимірній чисельній метеорологічній моделі чисельно розв'язується повна система рівнянь гідротермодинаміки атмосфери, яка включає в себе рівняння нерозривності, перенесення імпульсу (з урахуванням ефектів стислості і негідростатичності), перенесення вологи і внутрішньої енергії. Для вирішення завдання метеорологічного прогнозу система рівнянь гідротермодинаміки атмосфери повинна бути доповнена початковими і граничними умовами. У якості початкових умов мають задаватися тривимірні розподіли полів чотирьох компонент: швидкості, температури, тиску і вологості. У якості граничних умов мають задаватися значення температури, вологості і компонент швидкості на бокових і на верхній межі області, а також значення потоків тепла, вологи і імпульсу на нижній межі області, прилеглої до поверхні Землі.

WRF є регіональною моделлю, тому для її ініціалізації й завдання граничних умов необхідний результат розрахунків глобальної моделі чисельного прогнозу погоди (GFS). Цикл роботи моделі WRF складається з підготовки даних, включаючи їх горизонтальну й вертикальну інтерполяцію на сітку моделі, покращення інтерпольованих даних за допомогою опрацювання спостережень метеостанцій та радіозондів і чисельного інтегрування.

Розрахунки прогнозу погоди за допомогою WRF для України можна проводити на області розміром 3000x3000x10 км, з центром у точці: 47,3° пн.ш. і 32,4° східної довготи. Таким чином, обчислювальна область цілком покриває всю територію України. Горизонтальна роздільна здатність моделі: 100 вузлів із заходу на схід і 106 з півночі на південь, крок сітки по цих напрямках однаковий, і дорівнює 30 км. Вертикальна роздільна здатність моделі - 14 рівнів; мінімальний вертикальний крок сітки біля поверхні Землі = 50 м.

Обґрунтовано архітектуру обчислювальної системи для виконання програмної реалізації системи моделювання погоди, а саме кластерну (систему з розподіленою пам'яттю). Проаналізована модель обчислювальної системи обчислювального ядра WRF для оцінювання часу виконання обчислювальних задач на кластері. Запропоновано використання мікросервісної архітектури для збору даних зі сторонніх ресурсів.

В розділі 3 «Засоби та методи розробки програмного забезпечення комп'ютерних систем прогнозування погоди» проаналізовано технології, апаратне та програмне забезпечення, які дали б змогу розробити необхідну систему. Зокрема, детально розглянуто побудову кластерної системи прогнозування погоди, для чого обґрунтовано вибір компонент мережевої інфраструктури (активного та пасивного мережевого обладнання), апаратного забезпечення серверів та обчислювальних вузлів кластера. Обґрунтовано їх використання та проведено обчислювальний

експеримент. Обґрунтовано вибір операційної системи — Ubuntu Linux 16.04 Server LTS.

Детально розглянуто програмну реалізацію моделі прогнозування погоди WRF, її налаштування та розгортання.

Модель WRF реалізована на мові програмування Fortran й може виконуватись на системах зі спільною (SMP-системі) та розподіленою пам'яттю (кластерній системі). Взаємодія між компонентами моделі реалізована засобами технології MPI. Усі компоненти моделі є безкоштовними та відкритими, а для роботи програмної реалізації потрібне розгортання в середовищі операційної системи Linux.

Розкрито питання збору метеоданих з відкритих джерел, а саме з ресурсу Open Weather Map. Описано реалізацію алгоритму збору даних. Для відбору даних запропоновано створити окрему підсистему з використанням фреймворку Spring та мови Java на основі мікросервісної архітектури. Для роботи з сервісом Open Weather Map наявна низка бібліотек на мові JAVA, а робота з однією з таких бібліотек наведена в додатках до дипломної роботи магістра.

Показано результати роботи системи, зокрема карти температури, хмарності та зони видимості. Здійснено тестування продуктивності налаштованого кластера прогнозування погоди за допомогою синтетичного тесту Whetstone. Показано принципи організації моніторингу створеної системи засобами відкритої програмної системи ganglia.

В розділі 4 «Обґрунтування економічної ефективності» показано доцільність проведення науково-дослідних робіт за даною тематикою і економічно обґрунтовано доцільність застосування запропонованих засобів. Розраховано вартість та ціну проведено науково-дослідної роботи.

В розділі 5 «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях» розглянуто вимоги до охорони праці користувачів ВДТ, до яких належать науковці, розробники програмного забезпечення, користувачі, а також розглянуті вимоги до організації серверних кімнат у яких може розташовуватись високопотужні системи опрацювання даних. Це дало змогу забезпечити належний рівень умов праці. Також розглянуто питання електробезпеки користувачів у відповідному підрозділі.

В розділі 6 «Екологія» проаналізовано сучасні програмні продукти для опрацювання великих масивів екологічної інформації, а також розглянуто питання отримання енергії за рахунок альтернативних джерел. Очевидно, що проект системи даної дипломної роботи магістра може бути використаний при роботі електростанції на альтернативних джерелах енергії.

У загальних висновках щодо дипломної роботи описано прийняті в роботі технічні рішення і організаційно-технічні заходи, які забезпечують виконання завдання на проектування; оригінальні технічні рішення, прийняті автором в процесі роботи.

В додатках до пояснювальної записки наведено фрагменти вихідного коду програм для відбору вхідних даних для прогнозування погоди на мові програмування Java.

В графічній частині наведено структурні схеми, які відображають архітектурні особливості створеної системи, її компоненти. А також наведено основні задачі роботи та основні результати розробки.

ВИСНОВКИ

У даній дипломній роботі магістра розроблено проект обчислювальної системи для прогнозування погоди. Основні результати та висновки проведених теоретичних та експериментальних досліджень такі:

1. Проаналізовано предметну область прогнозування погоди й високопродуктивних обчислювальних систем й сформульовано рекомендації по вибору доступних апаратних та програмних компонентів високопродуктивних обчислювальних систем за критерієм вартості та доступності.

2. Проведено аналітичне оцінювання продуктивності апаратних засобів для реалізації системи прогнозування погоди. А також, проаналізовано підходи до формування архітектур ПРКС для такого класу системи. Зокрема, з можливістю інтеграції їх з різноманітними джерелами метеоданих та спряження їх з існуючими ПРКС, системами моніторингу та керування завданнями.

3. Запропоновано використовувати технологію Java для створення програмного забезпечення розподіленої обчислювальної системи для збору метеоданих та розглянуто практичні аспекти її впровадження, а саме на основі мікросервісної архітектури.

4. Обґрунтовано використання мікросервісної архітектури на базі технології Java для збору метеоданих та надання прогнозу погоди у вигляді REST-служб.

5. Запропоновано програмно-апаратну архітектуру, яка базується на доступних апаратних (багатоядерні x86_64 SMP-системи, які обладнані GPU-відеокартами та об'єднані Gigabit-ethernet мережею) та програмних (ОС Linux, Java, MPI) засобах.

6. Розроблено розподілену програмну систему для прогнозування погоди. Система орієнтована на кілька обчислювальних вузлів і реалізує поставлене завдання, а саме: збір метеоданих та наступне їх опрацювання у системи прогнозування погоди WRF. Для реалізації поставленого завдання використано технології MPI та JAVA. Програму реалізовано на мові програмування JAVA з використанням фреймворку Spring з метою спрощення процесу розробки.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ АВТОРОМ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ РОБОТИ

1. Луцків А. М. Особливості та проблеми міграції на Java 9 / А. М. Луцків, М. Я. Чайковський // Матеріали XX наукової конференції ТНТУ ім. І. Пулюя, 17-18 травня 2017 року. — Т. : ТНТУ, 2017. — С. 87–88. — (Інформаційні технології). [Електронний ресурс] Режим доступу: URL: <http://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/22287>
2. Луцків А. М. Архітектури високопродуктивних веб-сервісів прогнозування погоди / А. М. Луцків, М. Я. Чайковський // Збірник тез доповідей VI Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“, 16-17 листопада 2017 року. — Т. : ТНТУ, 2017. — Том 2. — С. 106–107. — (Комп'ютерно-інформаційні технології та системи зв'язку). [Електронний ресурс] Режим доступу: URL: <http://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/23086>

АНОТАЦІЯ

Чайковський М.Я. Методи та засоби організації комп'ютеризованих систем прогнозування погоди

Дипломна робота магістра, 123 – Комп'ютерна інженерія. – Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Тернопіль, 2018.

Дипломну роботу магістра присвячено створенню системи прогнозування погоди. Обґрунтовано архітектуру обчислювальної системи для прогнозування погоди. У даній дипломній роботі розроблено обчислювальну систему прогнозування погоди на базі моделі WRF. Система складається з апаратної та програмної частин. Апаратна — це кластер на базі обчислювальних вузлів, які об'єднані в єдину мережу. Програмна — це операційна система, утиліти та спеціалізоване програмне забезпечення. Ключовим програмним забезпеченням є програма, яка реалізує модель WRF. Дане програмне забезпечення було інстальоване й налаштоване для реалізації поставлених завдань. Розглянуто питання отримання вхідних даних для моделювання погоди.

Для організації мережі використано обладнання D-Link, Hewlett-Packard, Mellanox як таке, що задовольняє поставленим вимогам: з точки зору експлуатаційних якостей, а також проаналізовано можливі апаратні платформи вузлів кластера й обґрунтовано їх вибір. Розкрито питання обслуговування (адміністрування) та моніторингу роботи розробленої системи.

У роботі наведені результати оцінювання ефективності використання відповідних технологій. Застосування технології Java дало змогу використати усі конкурентні переваги даної мови програмування, зокрема простоту, надійність та високу ефективність. Використано фреймворк Spring для реалізації підсистеми збору метеоданих та їх представлення.

Ключові слова: високопродуктивні обчислення, прогнозування погоди, JAVA, WRF, MPI, чисельні методи, кластери

ANNOTATION

Chaykovskyy M. Methods and means of computer-aided systems organization for weather forecast

Master diploma thesis, 123 – Computer engineering - Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ternopil, 2018.

Master diploma thesis deals with the study of development of weather forecasting system. The architecture of the computer system for forecasting the weather is substantiated. In this thesis the computer-based weather forecasting system based on the WRF model is developed. The system consists of hardware and software components. Hardware is a cluster based on computing nodes that are integrated into a single network. Software is an operating system, utilities and specialized software. A main part of software is the program that implements the WRF model. This software was installed and configured to fulfill the set tasks. The question of obtaining input data for weather simulation is considered.

To organize the network, the D-Link, Hewlett-Packard, Mellanox equipment was used as meeting the requirements: in terms of performance, as well as analysis of the

possible hardware platforms of the cluster nodes and their choice. The tasks of administration and computations monitoring of the developed system is disclosed.

The results of the evaluation of the effectiveness of the use of the relevant technologies are presented in the work. The use of Java technology has made it possible to take advantage of all the competitive advantages of this programming language, including simplicity, reliability and high efficiency. The Spring framework was used to implement the meteorological data collection subsystem and representation of these data.

Key words: high-performance computing, weather forecasting, JAVA, WRF, MPI, numerical methods, cluster