



## ИЗСЛЕДВАНЕ ПАРАМЕТРИТЕ НА ПАРАЛЕЛНА СТРУКТУРА БАЗИРАНА НА RASPBERRY PI КОМПЮТЪРЕН КЛЪСТЕР

Стоянка Моллова, Хрусав Хрусарфов

*Бургаски свободен университет*

## A STUDY OF THE PARAMETERS OF A PARALLEL STRUCTURE BASED ON A RASPBERRY PI COMPUTER CLUSTER

Stoyanka Mollova, Hrusav Hrusafov

*Burgas Free University*

**Abstract:** *A cluster structure of single-board Raspberry Pi microcomputers has been implemented. A study of the parameters performance and energy efficiency for the obtained parallel scalable computer system.*

**Key words:** *Raspberry Pi microcomputers, computer cluster, performance, energy efficiency.*

### Въведение

Една от най-често използваните техники за повишаване производителността на компютърните системи е използването на паралелизъм. Реализирането на паралелна обработка може да е на следните нива:

*На ниво задания*

- а) между заданията
- б) между фазите на заданията

Това е една от най-рано възникналите и използвана форма на паралелизъм. За реализацията ѝ са необходими няколко паралелно работещи компютъра, слабо свързани, разположени в едно помещение или в съседни помещения. Това е така наречената многомашинна система. Паралелизъм от този тип представлява интерес по-скоро за системните администратори, отколкото за обикновения потребител.

*На ниво програми.*

- а) между частите на програмите (подпрограмите).
- б) в границите на оператора за цикъл.

И в двата случая за реализацията е необходимо компютър с няколко процесора, всеки от които изпълнява свой набор команди. Процесорите могат да взаимодействат помежду си или чрез общо поле на паметта или чрез обмен на съобщения.

*На ниво команди*

Това е възможно да стане между фазите на изпълнението на командите. Тази паралелност се постига чрез конвейерна обработка на командите и е паралелизъм от ниско ниво.

*На ниво машинна дума и аритметични операции*

а) между елементите на векторните операции

Този паралелизъм е характерен за векторните компютри, където наред с другите начини за увеличаване на производителността се използват и операционни конвейери.

б) вътре в логическите схеми на аритметичното устройство

На практика всички процесори, дори и тези в еднопроцесорните компютри реализират паралелизъм на това подниво. От тази гледна точка, чисто последователен компютър няма, защото той би работил изключително бавно. И в този случай реализирания паралелизъм е от ниско ниво.

В реалният свят е възможно в един и същ компютър да се използва паралелност на повече от едно ниво. Най-често това се постига като се съчетае реализацията на паралелност в пространството (паралелна работа на няколко процесора) с паралелност във времето (конвейерната обработка на данни и команди). Така се мултиплицира ефектът от въвежданата паралелност.

След въвеждане на паралелна обработка на някое от изброените нива може да се оцени с колко се е променила производителността на новополучения компютър. За оценка на тази промяна се използва формулата:

$$S = \frac{T_1}{T_N} \quad (1.1)$$

където:

S е коефициент на изменение на бързодействието;

T<sub>1</sub> е времето за решаване на дадена задача на еднопроцесорен компютър;

T<sub>N</sub> е времето за решаване на същата задача на паралелен компютър с N на брой процесора, имащи същите характеристики както тези на процесорът от еднопроцесорния компютър.

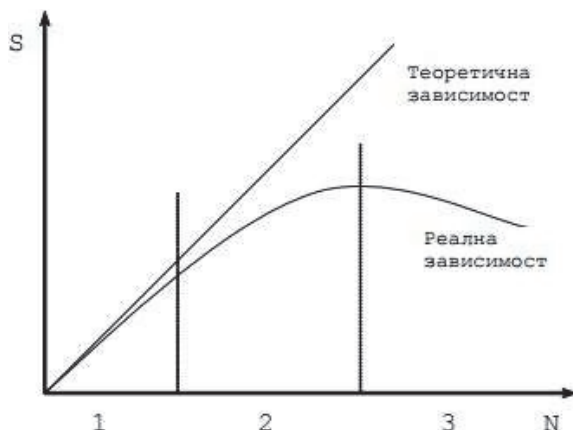
За да има смисъл от въвеждането на паралелна обработка е очевидно, че трябва да е в сила отношението  $S > 1$ . Формула (1.1) показва относителното изменение на производителността на компютъра след въвеждане на паралелна обработка. Така, този коефициент отчита архитектурните особености и не зависи от технологията на производство. Ефективността от въвеждането на паралелна обработка се дава чрез:

$$E = \frac{S}{N} \leq 1 \quad (1.2)$$

Коефициентът E показва средното натоварване на всички процесори, включени в паралелния компютър. Колкото този коефициент е по-близък до 1, толкова повече процесори работят през цялото време на решаване на задачата и обратно.

Обобщената зависимост на S(N) е дадена на фиг.1. За идеалният компютър с увеличаване на N следва пропорционално увеличаване на S. В реалния практика нещата се различават съществено. На фиг.1 условно могат да се разграничат три зони – 1, 2 и 3.

В първата зона, увеличаването на S се доближава, повече или по-малко, до идеалното изменение на S.



Фиг. 1.

Във втората зона, пропорционалното увеличение на  $S$  постепенно намалява, докато се достигне до насищане. В третата зона  $S$  не само че не расте с увеличаване на  $N$ , но и постепенно намалява. Разликите между идеалното и реалното  $S$  се дължат на специфични задачи, които трябва да се решат от паралелния компютър и по-точно разпределение на задачата между процесорите, синхронизация на множеството процесори, разрешаване на конфликтни ситуации при достъпа до общи ресурси. Решаването на тези задачи изискват допълнително време, което се сумира към времето за изчисление. Очевидно, най-доброто използване на паралелните компютри е в първата зона и отчасти от втората. Когато това е постигнато се казва, че паралелния компютър е мащабируем т.е. производителността нараства пропорционално (или близко до пропорционалното) с увеличаване на броя процесори.

## I. Паралелна структура, базирана на Raspberry Pi компютърен клъстер

### *Клъстерна технология*

Клъстерната технология позволява да се подобрят двете основни характеристики на една компютърна система:

- производителност
- надеждност (отказоустойчивост)

Производителността се постига за сметка на паралелната работа на много машини, при което задачата за изпълнение се разпределя между тях.

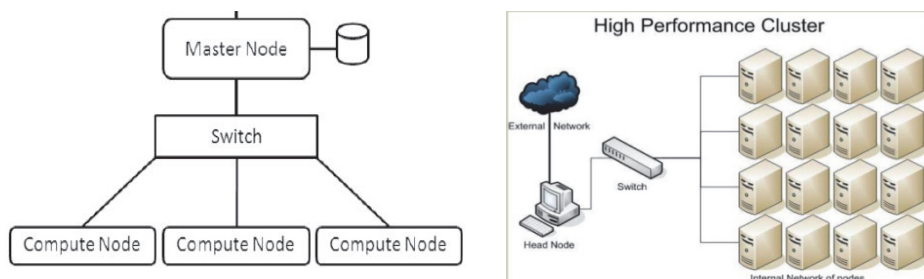
Надеждността се постига чрез наличието на излишъка от машини, при което се реализира резервиране. Като краен резултат системата става отказоустойчива.

Клъстерите могат да се класифицират по различни признаци. Най-често използвани са тези, по отношение на производителност и отказоустойчивост.

Високопроизводителните клъстери (НРС) се използват за обработване на голяма и сложна задача, обикновено предназначена за паралелна обработка. Първоначално разработени само за научни цели, в момента все повече навлизат в практически приложения. Основната задача на НРС клъстера е чрез паралелни алгоритми и софтуер

задачата да се раздели на по-малки компоненти и да се обработва самостоятелно и едновременно на отделните процесори, при което изпълнението на задачата значително се ускорява. Този тип кълстери са създадени, като решение на очакванията за все по-висока производителност.

Архитектурата на такъв тип кълстер е сравнително опростена. Използват се няколко възела, които изпълняват различни роли и които са свързани в мрежа.



Фиг. 2. Базова схема на HPC кълстер

В повечето случаи има главен възел (master node), наречен още и „head node“.

Главният възел е контролиращото устройство в един кълстер. Той следи за състоянието на останалите сървъри и в повечето случаи потребителите ползват именно него за достъп до кълстера. В по-малките кълстери главните възли се използват и като част от изчислителната система, но в големите изпълняват основно разпределителна и мониторингова цел.

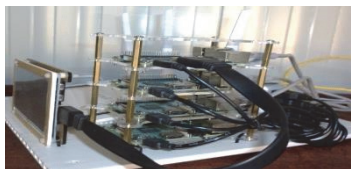
Подчинените възли (slave nodes) изпълняват ролята на изчислителни възли. Обикновено не изпълняват никаква друга дейност освен да обработват данните, дадени им от основния възел. Работят с опростени и минимални операционни системи и не се пуска допълнителен софтуер, който да намали тяхната производителност.

За свързване между възлите може да се ползва всяка една мрежова топология. Най-простата схема се получава с мрежови комуникатор, на който са свързани всички възли. С цел по-висока производителност, тези мрежи трябва да са самостоятелни и достъпа да се осъществява само от главния възел. По тази причина на този възел се слага и втора мрежова карта, която да е свързана с външна мрежа.

Друга характеристика е споделянето на директории между възлите, което е препоръчително при изпълнение на Messaging Passing Interface (MPI). Най-лесно се конфигурира споделена директория, която да е общодостъпна между всички възли в кълстера.

### ***Raspberry Pi компютърен кълстер***

Кълстерът обединява два модула от паралелно свързани Raspberry Pi едно-платкови микрокомпютри. В първия модул (фиг. 3) са използвани четири броя Raspberry Pi 3 компютри, а във втория модул (фиг. 4) – четири броя Raspberry Pi 4 компютри.

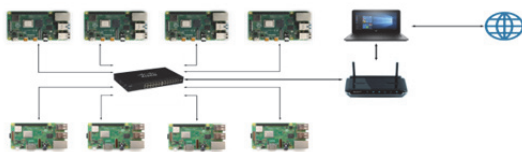


Фиг. 3.



Фиг. 4.

Концептуалната схема на кълстера е показана на фиг. 5, а физическата реализация на фиг. 6.



Фиг. 5.



Фиг. 6.

## II. Изследване на параметрите на скалируема паралелна структура, базирана на Raspberry Pi компютърен кълстер

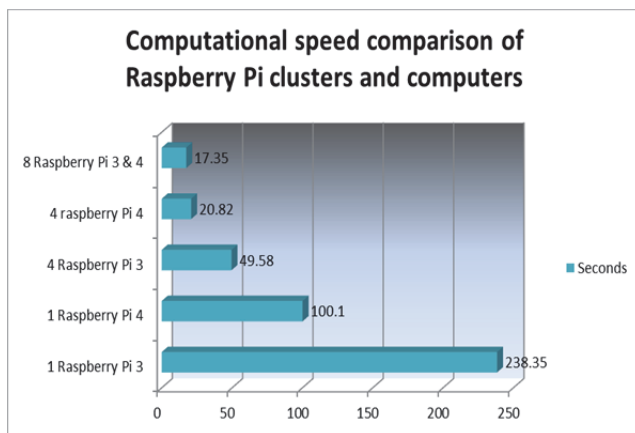
### Производителност

Проведеният тест за производителност е за намиране на всички прости числа от 1 до 100 000.

Разгледани са три случая на скалиране на системата :

- един микрокомпютър Raspberry Pi 3/ Raspberry P4
- четири микрокомпютъра Raspberry Pi 3/ Raspberry P4
- осем микрокомпютъра Raspberry Pi 3 & Raspberry P4

Получените резултати от тестването са показани на фиг. 7.

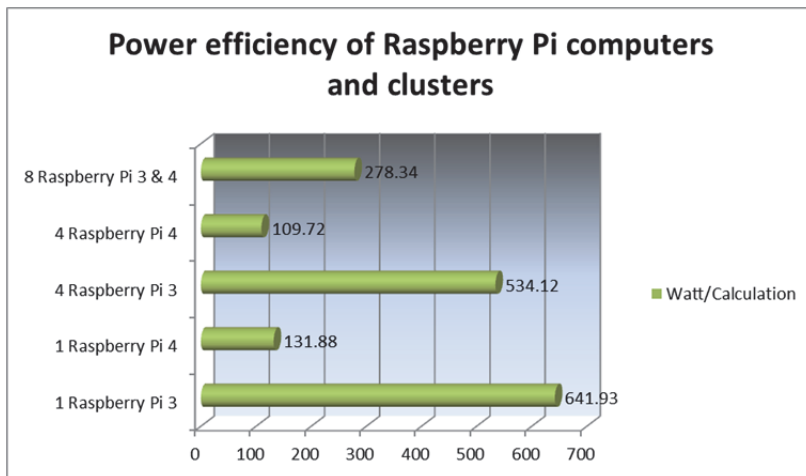


Фиг. 7.

С резултатите експериментално се потвърждава зависимостта между производителността и броя на паралелно работещите възли в една паралелна компютърна структура, представена на графиката на фиг. 3. Във втората зона на тази графика се вижда, че пропорционалното увеличение на производителността  $S$  постепенно намалява.

### *Енергийна ефективност*

В процеса на изпълнението на тестовата задача се измерва консумацията на електроенергия при работа на самостоятелни, на обединени в кълстерни структури от четири и съответно осем броя Raspberry Pi микрокомпютри. Съотношението ват/изчисления за разгледаните случаи е показано на фиг. 8.



Фиг. 8.

Очакваното увеличение на консумацията при включване на повече работещи възли не се наблюдава, защото паралелната структура е ефективна при изпълнение на сложни изчислителни задачи.

### **Заклучение**

Използването на кълстерни структури, при което се реализира паралелна работа позволява да се повиши на първо място производителността на така получената компютърна система. От друга страна една от най-разпространените техники за повишаване на надеждността, т.е. отказоустойчивостта на компютърните системи е въвеждането на структурен излишък. Изследването на паралелната скалируема система в надеждностен смисъл е друга посока, в която могат да се продължат изследванията.



## Литература

- [1]. Blaise Barney, Introduction to Parallel Computing, Lawrence Livermore National Laboratory, [https://computing.llnl.gov/tutorials/parallel\\_comp/](https://computing.llnl.gov/tutorials/parallel_comp/)
- [2]. Victor Eijkhout, Edmond Chow, Robert van de Geijn, Introduction to High Performance Scientific Computing - 2nd edition, revision 2016
- [3]. Overview of Parallel Computer Systems, N.I. Lobachevsky State University of Nizhni Novgorod, <http://www.hpcc.unn.ru/mskurs/ENG/DOC/pp01.pdf>
- [4]. Prasad Jogalekar, Murray Woodside, Evaluating the scalability of distributed systems, IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems – 2000
- [5]. Mark Alan Fienup, Scalability Study in Parallel Computing, Iowa State University, 1995
- [6]. Kumar V.P., Gupta A., Analyzing Scalability of Parallel Algorithms and Architectures, Journal of Parallel and Distributed Computing - Volume 22, Issue 3, September 1994, Pages 379-391
- [7]. Kai Hwang, Naresh Jotwani, Advanced Computer Architecture – Parallelism, Scalability, Programmability (second edition), Tata McGraw Hill Education Private Limited, 2010
- [8]. Fayez Gebali, Algorithms and Parallel Computing, published by Wiley, first edition, 2011
- [9]. Mollova S., M. Zhekov, A.Kostadinov, P.Georgieva LABORATORY MODEL FOR RESEARCH ON COMPUTER CLUSTER SYSTEMS, 41st International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO),2018, (Scopus; IEEE Xplore Digital Library )
- [10]. Mollova S., A.Kostadinov, P.Georgieva FAULT-TOLERANCE OF A LABORATORY COMPUTER CLUSTER, 20th International Symposium on Electrical Apparatus and Technologies (SIELA), 2018, (Scopus; IEEE Xplore Digital Library)
- [11]. Mollova S.,S. Simionov, K. Seymenliyski, A STUDY OF THE ENERGY EFFICIENCY OF A COMPUTER CLUSTER, 7th International Conference on Telecommunications and Remote Sensing, 2018, Barcelona (ACM=Association for Computing Machinery; IEEE Xplore Digital Library)
- [12]. Моллова С., Р. Симионов ИЗСЛЕДВАНЕ ЕНЕРГИЙНАТА ЕФЕКТИВНОСТ НА ЛАБОРАТОРЕН КОМПЮТЪРЕН КЛЪСТЕР, Международна научна конференция СИНЯ ИКОНОМИКА И СИНЬО РАЗВИТИЕ, Бургаски свободен университет, Бургас, 1-2 юни 2018
- [13]. S. Mollova, R. Simionov, K. Seymenliyski, E. Zaerov, S. Letskovska, TRAINING SYSTEM FOR STUDING COMPUTER CLUSTERS, International conference on High Technology for Sustainable Development HiTECH 2019, Sofia