

## ИЗСЛЕДВАНЕ ЕНЕРГИЙНАТА ЕФЕКТИВНОСТ НА ЛАБОРАТОРЕН КОМПЮТЪРЕН КЛЪСТЕР

доц. д-р С. Моллова, инж. Р. Симионов  
Бургаски свободен университет

## A STUDY OF THE ENERGY EFFICIENCY OF A LABORATORY COMPUTER CLUSTER

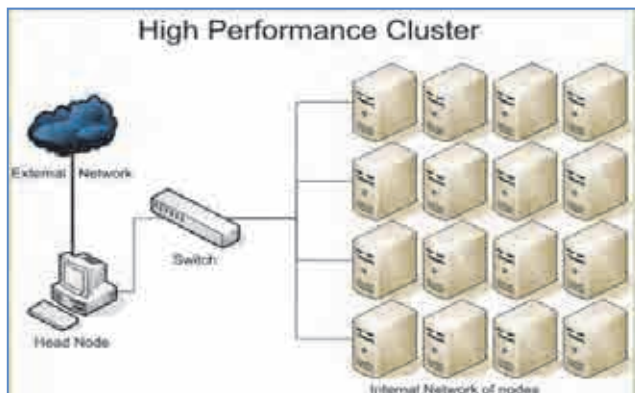
Assoc. Prof. S. Mollova, PhD, eng. R. Simionov  
Burgas Free University

**Abstract:** Cluster systems bring with them many advantages of scalable parallel calculations. Many of these benefits are a result of the cost / performance ratio of large supercomputers. Other important aspects are related to the structure and method of implementation of the cluster structure. Every cluster system realized high performance and fault - tolerance. This issue is being discussed, associated with energy efficiency of cluster system.

**Key words:** high performance cluster, Raspberry, energy efficiency

### Въведение

Клъстерните системи имат много предимства на скалируемите паралелни изчисления [1]. Много от тези предимства са следствие на съотношението цена/производителност спрямо големите суперкомпютри. Други важни аспекти са свързани със структурата и метода на имплементация на клъстерната структура (Фиг. 1)



Фиг. 1. Блокова схема на клъстер

Възлите могат да работят, както заедно като единна машина, така и като индивидуални компютри. Клъстерният посредник (middleware) е отговорен за създаване на илюзията, че многото свързани компютри работят като унифицирана интегрирана система.

Средите за програмиране предлагат преносими, ефективни и лесни за използване инструменти за проектиране на приложение. Те включват библиотеки за паралелно предаване на данни (message passing libraries), софтуери за откриване на грешки, както и специални профили за MPI. Клъстерите могат да се използват за изпълнение на паралелни и последователни приложения

**I. Клъстери от едноплаткови компютри (Single Board Computers -SBCs)**

Едноплатковият компютър е напълно функционална компютърна система, изградена върху една единствена печатна платка. Те имат микропроцесор, памет, входно/изходни системи и други характеристики, нужни за основната работа на един компютър. За разлика от персоналните компютри при едноплатковите често няма слотове за разширяване, основните му компоненти са запоеани за платката, така че последващ ъпгрейд на процесор или оперативна памет е невъзможна .

Съществуват много вариации на едноплатковите компютри по размер, форма, форм - фактор и характеристики. Поради напредването на технологиите цените на тези устройства обикновено са ниски, затова те са все по - търсени.

В таблица 1 са показани основните разлики между едноплатковите компютри и персоналните компютри.

Характеристика	Едноплаткови компютри	Персонални компютри
Процесор (CPU)	Вграден в основната платка (System-On-Chip)	Отделен чип поставен на сокет в компютъра
Оперативна памет (RAM)	Вградена в основната платка, често едноплаткова	Отделен чип поставен на сокет в компютъра, като може да бъдат поставени няколко платки
Форм фактор	Малка платка съдържаща всичко необходимо	Голяма конфигурация от различни елементи
Консумация на мощност	Малка	Голяма
Възможност за ъпгрейд	Не	Да
Цена	Ниска	Висока

Таблица. 1 - Разлика между SBS и PC.

**II. Лабораторен клъстер на базата на едноплаткови компютри**

**2.1. Компоненти на клъстера:**

- Четири броя едноплаткови компютри Raspberry Pi (фиг. 2);
- Операционна система – интегрирана;
- Високоскоростни мрежови компоненти (комутатори, маршрутизатори);
- Мрежови интерфейсни карти (NICs) – в повечето случаи на главния възел му трябва поне две мрежови карти;
- Хардуер или софтуер посредник на клъстера (Cluster Middleware):

- Хардуер(Digital Memory Channel – DMC, Symmetric Multiprocessing - SMP);
- Програмни приложения (System Management Tools, Cluster Manager);
- Ресурсно менажиране и софтуер за графици (Load Sharing Facility -LSF, Computing in Distributed Networked Environments -CODINE).
- Среда и инструменти за паралелно програмиране (компилатори, Parallel Virtual Machine, Message Passing Interface – MPI);
- Приложения за справяне с конкретни проблеми и задачи:
  - Последователни;
  - Паралелни или дистрибутивни.



Фиг. 2. Модул от 4 едноплаткови компютри Raspberry Pi 3

## 2.2. Хардуерната платформа

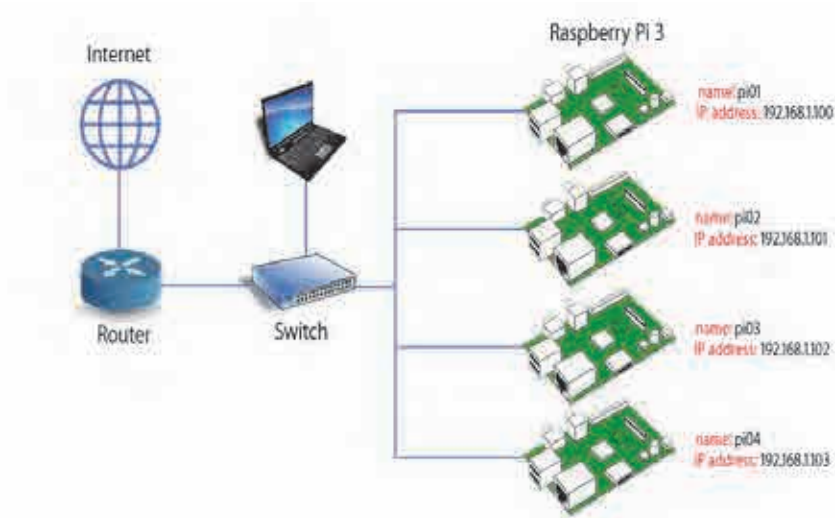
- 4 x Raspberry Pi 3;
- 4 x SD карти Class 10;
- 10/100 Mbit Tenda S108 Switch;
- 6 ports x 2,4A Tecknet U601 14,4A Power Supply;
- 4 x UTP кабели CAT 5E;
- 4 x USB захранващи кабели.

Схемата на свързване на компонентите на кълстера е показана на фиг.3.

## 2.3. Софтуерна платформа

Raspbian е Linux операционна система базирана на Debian, специално оптимизирана за хардуера на Raspberry Pi [3] , който е с ARM архитектура. Операционната система предоставя повече от 35000 налични пакета в хранилището си, прекомпили-

ран софтуер, наличен веднага след инсталацията на Raspbian. След 2015 г. е официално призната от Raspberry Pi Foundation като основна операционна система на Raspberry.



Фиг. 3. Схема за свързване на лабораторен клъстер на база Raspberry Pi 3

### III. Изследване енергийната ефективност на лабораторния клъстер и получени експериментални резултати

С описания по-горе лабораторен компютърен клъстер на база едноплаткови компютри Raspberry Pi 3 са направени изследвания и са получени експериментални резултати, свързани с неговата производителност [4] и отказоустойчивост [5].

В настоящата разработка са описани експерименталните резултати от изследване енергийната ефективност на такъв тип хардуерно решение на компютърен клъстер.

Разглеждат се два типа реализации на клъстера:

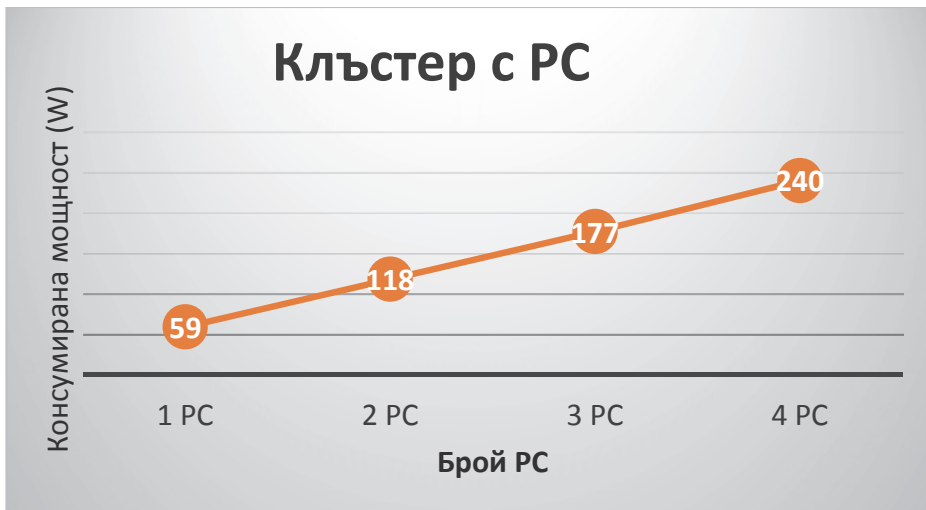
- на база персонални компютри
- на база едноплаткови компютри

Стартирана е контролна задача „Изчисляване на  $\pi$ “

В първия случай (фиг. 4) са измерени мощностите на клъстер, който е изграден от персонални компютри. Съотношението между брой машини и изразходвана мощност е представено на фиг. 5.



Фиг. 4. Компютърен клъстер на база персонални компютри

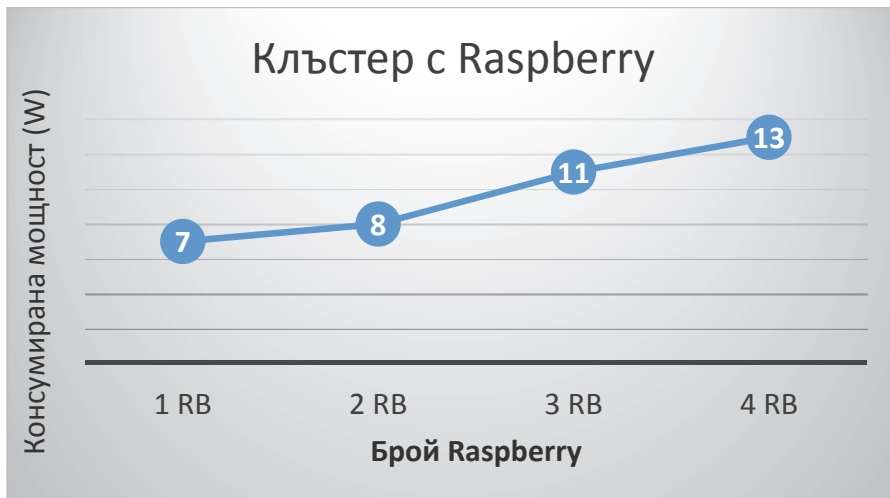


Фиг. 5. Консумирана мощност

Във втория случай същата задача се изпълнява от лабораторния клъстер, изграден на база едноплатков компютри (фиг. 6). Изразходената мощност спрямо броя работещи в даден момент машини е показан във фиг. 7.



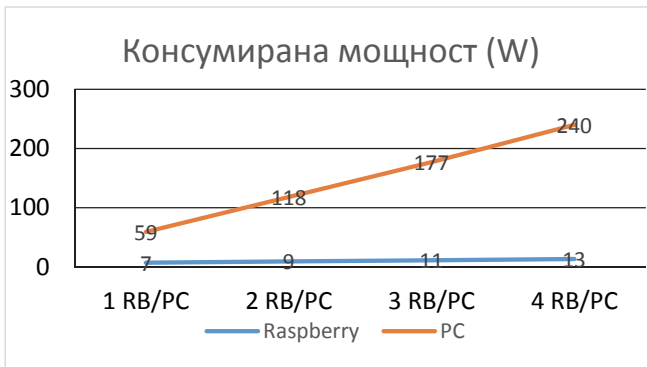
Фиг. 6. Компютърен клъстер на база едноплаткови компютри



Фиг. 7. Консумирана мощност

Измерванията са направени в лабораторни условия с уред ENERGY METER 230 VAC - 16 A, Марка PEREL, модел E305EM5-G. Точността на уреда е  $\pm 1\%$  или  $\pm 0.2$  W.

Въз основа на получените данни са направени изчисления, от които се вижда, че за едно денонощие лабораторният клъстер на база едноплаткови компютри е изразходил с 1.33 kW по-малко спрямо клъстера, на база персонални компютри (фиг. 8).



Фиг. 8. Сравнение на консумираната мощност

Получените резултати от направеното сравнение дават възможност да се продължи изследването в посока „екология и енергийна ефективност“. За целта са направени изчисления относно спестените вредни емисии за сметка на спестената електроенергия, ако тя е произведена в ТЕЦ на база лигнитни въглища (Табл.2).

Период	ден	месец	година
P спест.	1.33 kWh	40.45 kWh	485.45 kWh
CO2	908.39 g	27589.74 g	331562.35 g
SO2	4.66 g	141.59 g	1699.08 g
NO2	0.93 g	28.32 g	339.82 g

Табл. 2. Спестени вредни емисии

### Заклучение

Компютърните кълстери, проектирани с цел по-висока производителност и отказоустойчивост могат да се разглеждат и като енергийно ефективни системи, ако при хардуерната им реализация се използват едноплаткови компютри. Получените експериментални резултати дават основание да се направи извод, че такъв тип компютърни системи биха могли успешно да се използват в практически решения, свързани с екологични изисквания и ограничения.

### Литература

- [1]. Hoffmann K., Meyer A., Parallel Algorithms and Cluster Computing, Springer“, 2006
- [2]. Pajankar A., Kakkar A., Raspberry Pi By Example, изд. „Packt“, 2016.
- [3]. Pajankar A., Raspberry Pi Supercomputing and Scientific Programming, изд. „Apress“, 2017
- [4]. S. Mollova, M. Zhekov, A.Kostadinov, P.Georgieva, „Laboratory Model for Research on Computer Cluster Systems“, Proceedings MIPRO 2018, pp. 1595-1600.
- [5]. S. Mollova, A.Kostadinov, P.Georgieva, Fault-tolerance of a Laboratory Computer Cluster „XX International Symposium on Electrical Apparatus and Technologies“, Bourgas, Bulgaria.
- [6]. Ушева М. П., К. Д. Сейменлийски, Ръководство за лабораторни упражнения по Електротехника, изд. „Колор Принт“ - АД, Варна, 2001, ISBN 954-760-006-0.
- [7]. Р. Радусhev - Всичко е енергия. Бедният богат българин енергийно независим, изд. Стено, 2017.