

ПРОИЗВОДИТЕЛНОСТ И ЕНЕРГИЙНА ЕФЕКТИВНОСТ НА RASPBERRY PI БАЗИРАН КОМПЮТЪРЕН КЛЪСТЕР

Стоянка Моллова, Силвия Лецковска, Кольо Орешков,
Елдар Заеров, Кристиян Лодкаджиев
Бургаски свободен университет, ЦИТН

PERFORMANCE AND ENERGY EFFICIENCY OF THE RASPBERRY PI BASED COMPUTER CLUSTER

Stoyanka Mollova, Silviya Letskovska, Kolyo Oreshkov,
Eldar Zaerov, Kristian Lodkadjiev
Burgas Free University, CITN

Abstract: A cluster structure of single-board Raspberry Pi microcomputers has been implemented. Laboratory studies and analysis of performance and energy efficiency characteristics for the created cluster have been carried out.

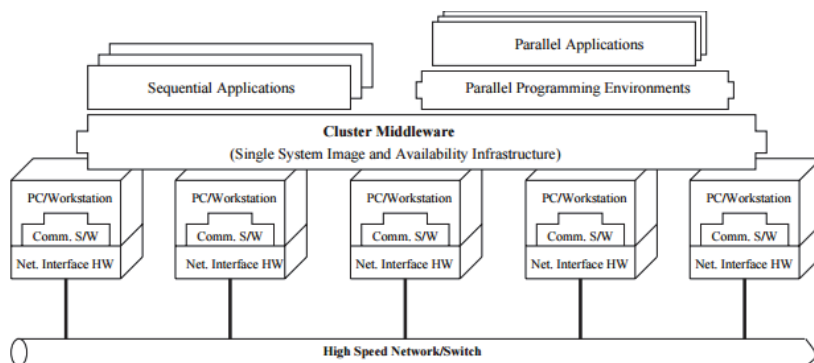
Key words: Raspberry Pi microcomputers, computer cluster, performance, energy efficiency

Въведение

Архитектура на клъстерите

Компютърният клъстер представлява паралелна структура, в която са свързани определен брой самостоятелни машини, които под управлението на операционната система работят като единен изчислителен ресурс.

Компютърният възел на една такава структура може да се състои от единична или мултипроцесорна система с памет, входно-изходни устройства и операционна система. Възлите може да се намират в един шкаф или разделени физически и свързани чрез LAN. Свързаните чрез LAN клъстери от компютри може да се представят като един единствен пред потребителя (фиг.1).



Фиг. 1



Компоненти на клъстерите

- Два или повече на брой компютри (PC, Workstations, Raspberry Pi, NanoPi 2 Fire, Parallella)
- Операционна система (сървърна, настолна, 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

Хардуерният интерфейс на мрежата служи за предаването и получаването на пакети от данни между възлите на клъстера посредством мрежовия хардуер.

Комуникационният софтуер предлага бърза и надеждна комуникация както между възлите, така и извън тях.

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.

Видове клъстери

Клъстери от лични компютри

Клъстерите от лични компютри се съставят от обикновени компютри свързани в мрежа и работещи заедно. Пригодени са за най-различни задачи и приложения. Използваните компютри обикновено са нискобюджетни и широкодостъпни. Свързват се посредством изграждане на локална мрежа между възлите, използвайки комутатори или маршрутизатори. Сравнително евтина алтернатива на суперкомпютрите представляват клъстерите от типа Beowulf, които се състоят от множество нескъпоструващи компютри и използват безплатни софтуери с отворен код. Обикновено използват Unix базирани операционни системи, като BSD, Linux и Solaris. Включват библиотеки като Message Passing Interface (MPI) и Parallel Virtual Machine (PVM).

Клъстери от работни станции

Поради увеличаващата се нужда от повече изчислителна мощ, все по-разпространени стават клъстерите от работни станции. Работните станции са специални компютри проектирани за техническа или научна работа, като те са по-качествени, по-издръжливи и не на последно място по-производителни. Често една работна станция може да бъде използвана от няколко души посредством виртуални частни мрежи.

Клъстерите от работни станции са свързани с различни бързоскоростни мрежови технологии, като гигабитови маршрутизатори и многослоени комутатори. Такъв тип мрежи със съответните софтуери и протоколи са проектирани да намалят латентността и времето за достъп.

От голямо значение за този тип клъстери е да се оптимизира използваната изчислителна мощ да бъде на пълен капацитет, т.е. да не се позволява работните станции да стоят без работа. Софтуера, който се използва често е специализиран и проектиран за определен тип работа и справяне с проблем.

Клъстери от едноплаткови компютри

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, както и 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, за това те са все по-търсени.

Клъстерите от едноплаткови компютри са лесно преносими и с малък форм фактор, но основният недостатък е сравнително ниската обща производителност. Въпреки това те са все по-разпространени поради ниската обща цена и това, че все пак са отлични за пускане и тестване на паралелна обработка на данни. Използват се предимно в академични среди, но и все по-често като малки web сървъри и клъстери за резервираност.

Връзката между възлите е подобна като при останалите типове клъстери чрез изграждане на локална мрежа използвайки комутатори или маршрутизатори. Използват се предимно ARM базирани програми и операционни системи, които по нищо не отстъпват от останалите видове софтуер.

Възможности и предимства на клъстерите

Клъстерната технология позволява по-висока изчислителна мощ, използвайки сравнително стандартна техника, която може да бъде закупена на ниска цена.

Друго предимство е повишената надеждност поради факта, че всеки един компютър в така формираната структура може да се разглежда като резервен и да поеме работата на друг, в случай на повреда.

Клъстерните системи водят със себе си много предимства на скалируемите паралелни изчисления. Много от тези предимства са следствие на съотношението цена/производителност спрямо големите суперкомпютри.

Някои по-важни предимства и възможности са:

- *Скалируемост* – Принципната структура на всеки клъстер, лежи във възможността за скалируемост. Чрез по-ниската цена и по-голямата достъпност на елементите се осигурява много по-гъвкави системи отговарящи на нуждата от производителност и отказоустойчивост на потребителя. Друга перспектива на скалируемостта е възможността за постоянно разширяване на паметта за съхранение, както и оперативната памет.
- *Съотношение цена/качество* – Без съмнение най-признатото предимство на клъстерните системи е именно съотношението цена/качество. За много потребители клъстерите са с предимство по отношение на производителността в сравнение с масивните паралелни процесори (massive parallel processors) и системите с разпределена памет. Сравнително ниската цена на клъстерите ги

прави идеални в академичните среди, позволявайки обучението и тренировка-та за паралелно програмиране.

- *Гъвкавост на конфигурацията и обновяване на системата* – В зависимост от конкретните потребители съществува широк диапазон от конфигурации, с много малко рестрикции от производителите. Клъстерите могат да бъдат оптимизирани за необходимите способности и капацитет, които най-добре отговарят на естеството на проблема, който се решава.

Клъстерна структура, базирана на Raspberry Pi едноплаткови микрокомпютри

Клъстерът обединява два модула от паралелно свързани Raspberry Pi едноплаткови микрокомпютри.

В първия модул са използвани четири броя Raspberry Pi 3B+ микрокомпютри компютри (фиг. 2).



Фиг. 2

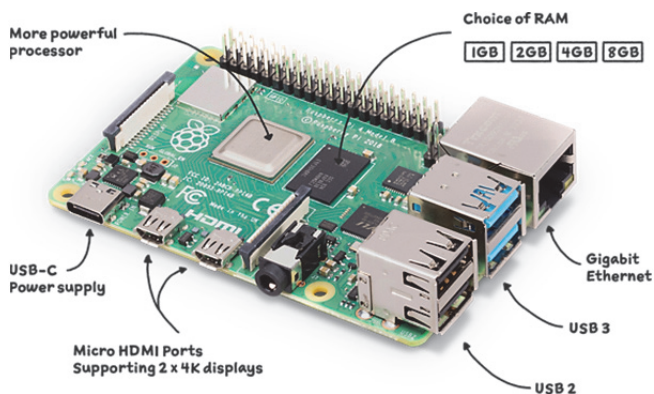
Те имат следната спецификация:

- процесор – Broadcom BCM2837B0 quad-core A53 (ARMv8) 64-bit @ 1.4GHz
- RAM: 1GB LPDDR2 SDRAM
- мрежа – Gigabit Ethernet (via USB channel), 2.4GHz and 5GHz 802.11b/g/n/ac Wi-Fi, Bluetooth 4.2, Bluetooth Low Energy (BLE)
- хранилище – Micro-SD
- GPU: Broadcom Videocore-IV
- портове – HDMI, 3.5mm аналогов аудио-видео жак, 4x USB 2.0, Ethernet, Camera Serial Interface (CSI), Display Serial Interface (DSI)
- захранване – 5V/2.5A DC през micro USB

Във втория модул са включени четири броя Raspberry Pi 4 компютри (фиг. 3), които имат следната спецификация:

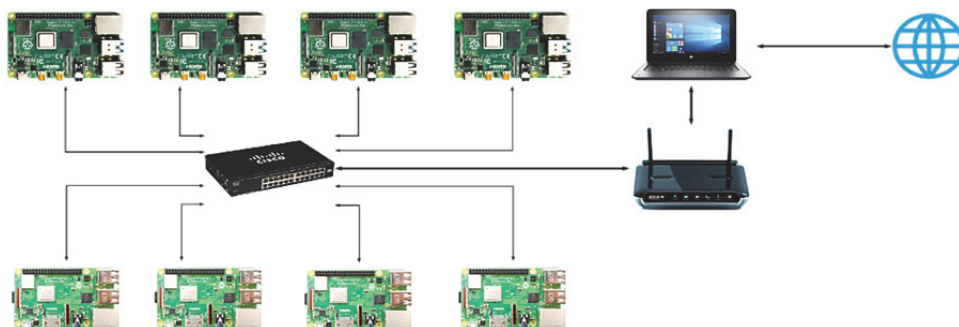
- процесор – Broadcom BCM2711, Quad core Cortex-A72 (ARM v8) 64-bit SoC @ 1.5GHz
- RAM – 4GB LPDDR4-3200 SDRAM

- мрежа – 2.4 GHz and 5.0 GHz IEEE 802.11ac wireless, Bluetooth 5.0, BLE, Gigabit Ethernet,
- хранилище – Micro-SD card
- портове – 2 USB 3.0 ports, 2 USB 2.0 ports, 2 HDMI micro ports, 2-lane MIPI DSI display port, 2-lane MIPI CSI camera port
- захранване – 5V DC през USB-C connector.



Фиг. 3

Концептуалната схема на кълъстера е показана на фиг. 4.



Фиг. 4

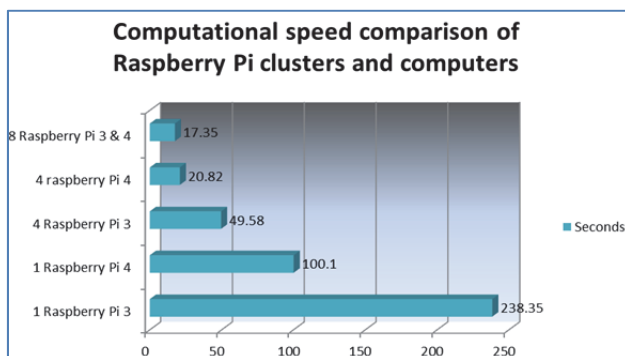
Изследване на производителността и енергийната ефективност на Raspberry Pi базиран компютърен кълъстер

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. 5.

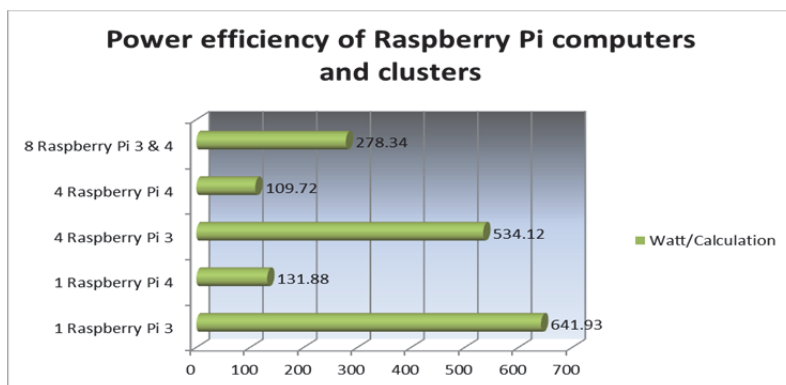


Фиг. 5

С резултатите експериментално се потвърждава зависимостта между производителността и броя на паралелно работещите възли в една паралелна компютърна структура, представена на графиката на фиг. 5. Във втората зона на тази графика се вижда, че пропорционалното увеличение на производителността 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 разглежданите случаи е показано на фиг. 6.



Фиг. 6.

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

Заключение:

Използването на кълстерни структури позволява на първо място да се повиши производителността на така получената компютърна система. В същото време, това е съпроводено с консумирането на повече електрическа енергия, което от своя страна води до нарастване на въглеродния отпечатък. Това поставя с особена важност въпросът за енергийната ефективност при изграждане на компютърни кълстери.

Литература:

1. Blaise Barney, Introduction to Parallel Computing, Lawrence Livermore National Laboratory, 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. Faye 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,
10. Mollova S., A.Kostadinov, P.Georgieva FAULT-TOLERANCE OF A LABORATORY COMPUTER CLUSTER, 20th International Symposium (SIELA), 2018,
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
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
14. Долчинков Р., Пенка Георгиева, Ефективност на системи за слънчево проследяване, Годишник БСУ, том XXVII, ISBN 1311-221-X ,стр. 243-255, 2012
15. Seymenliyski K., D. Radostin, S., Dolchinkov, Radoslav, R., Simionov, Application of European Union directives on energy efficiency of building systems in practical training of students in RES technologies ICTRS '21, p. 43-47, November 15, 16, 2021, ISBN 978-1-4503-9018-7/21, ICTRS '21, November 15, 16, 2021
16. Камен Сейменлийски, ДИГИТАЛНИ ТЕХНОЛОГИИ В ТЕХНИЧЕСКАТА БЕЗОПАСНОСТ, Годишник БСУ, 2021, том XLIV, стр. 215 - 222, ISSN: 1311-221X
17. Пламен Ангелов, АНАЛИЗ НА ТЕХНОЛОГИЧНИТЕ ОСОБЕНОСТИ ПРИ АСЕМБЛИРАНЕ И ЗАПОЯВАНЕ НА ПЕЧАТНАТА ПЛАТКА Годишник БСУ, 2020, том XLII, стр. 164 - 171, ISSN: 1311-221X