Софийски университет “Св. Климент Охридски”,
Факултет по математика и информатика

Курсов проект

по Системи за паралелна обработка

Тема: Граф - обхождане в ширина (BFS)

Изготвил:
Стилиян Емилов Горанов
фн: 81554, Компютърни науки, курс 3, поток 1, група 1

Научен ръководител:
ас. Христо Христов

1. Цел на проекта

Целта на проекта е реализация на паралелен алгоритъм за обхождане на даден граф в ширина, като алгоритъмът генерира различните обхождания, започвайки от всеки един връх на графа.

2. Изисквания към проекта

- Програмата трябва да използва паралелни процеси (нишки, задачи) за да разпредели работата по обхождането от всеки връх на повече от един процесор.

- Програмата трябва да позволява команден параметър, чрез който да разбира каква е размерността на графа (броят на върховете му) - например “-n 10240”; Ребрата на графа програмата трябва да генерира произволно.

- Програмата трябва да позволява команден параметър указващ входен текстов файл, съдържащ графа, който ще обхождаме – например „-i graph-data.in“. Параметрите „-n“ и „-i“ са взаимно-изключващи се; Ако все пак бъдат зададени и двата решението как да реагира програмата е Ваше.
Форматът на файла graph-data.in е следният:
=== цитат ===
n
0 1 1 0 1 1 0 ... 0
1 0 1 0 1 0 0 ... 1
...
1 0 0 0 0 0 0 ... 1
=== цитат ===
Тоест:
1вият ред съдържа единствено число, указващо размерността на графа;
На оставащите n реда във файла са разположени редовете от матрицата на съседство описваща нашият граф. Елементите на всеки ред от матрицата са разделени със интервали.

- Програмата да позволява команден параметър, указващ изходен файл, съдържащ резултата от обхождането – например „-o graph-data.out“.
Форматът на изходният файл можете да определите сами, стига

файлът да е текстов; При липса на този команден параметър не се записва във файл резултата от обхождането на графа.

- Програмата трябва да има задължителен команден параметър, който задава максималния брой нишки (задачи), на които разделяме работата по обхождането на графа – например “–t 1” или “–tasks 3”.

- Програмата трябва да извежда подходящи съобщения на различните етапи от работата си, както и времето отделено за изчисление и резултата от изчислението

- Да се осигури възможност за „quiet“ режим на работа на програмата, при който се извежда само времето отделено за обхождане на графа, отново чрез подходящо избран друг команден параметър – например “-q”.

3. Описание на алгоритъма

1. Обхождане в ширина (BFS) на граф

Обхождането на граф означава посещаването на всеки връх и всяко ребро точно веднъж и по точно дефиниран ред. Програмата използва един от най-известните алгоритми за обхождане на граф - в ширина. Накратко алгоритъмът може да се опише така:

Избираме произволен връх на графа, откъдето да започнем обхождането и оттам излседваме абсолютно всички негови съседи, преди да преминем към излседването на съседите от следващия слой, т.е. съседите на съседите на началния връх. И така нататък, докато не обходим целия граф.

Това става по следния начин в проекта:

```
private[graph] def bfsTraversalFrom(start: Vertex): BFSTraversal = {
  @tailrec
  def bfs(toVisit: Queue[Vertex], reached: Set[Vertex], path: BFSTraversal): BFSTraversal = {
    if (toVisit.isEmpty) path
    else {
      val current = toVisit.head
      val newNeighbours = getNeighbours(current).right.get.filter(!reached(_))

      bfs(
        toVisit.dequeue._2.enqueue(newNeighbours),
        reached ++ newNeighbours,
        current :: path
      )
    }
  }

  bfs(Queue(start), Set(start), List.empty).reverse
}
```

2. Въведение в Scala Futures

Какво представлява монадът Future?

Future-ите ни дават възможност да изпълняваме много задачи в паралел по ефективен и асинхронен начин. Самият Future е нещо като ‘контейнер’ (placeholder object) за стойност, която все още може и да не съществува (оттук идва и името). Идеята е, че стойността, която е във Future обекта, бива предоставена конкурентно в даден момент от времето и съответно може да бъде използвана впоследствие.

Ползата от всичко това (композиране на конкурентни задачи по описания начин) е, че получаваме бърз, асинхронен, не-блокираш паралелен код.

Идиоматичен пример за използване на Future в Scala:

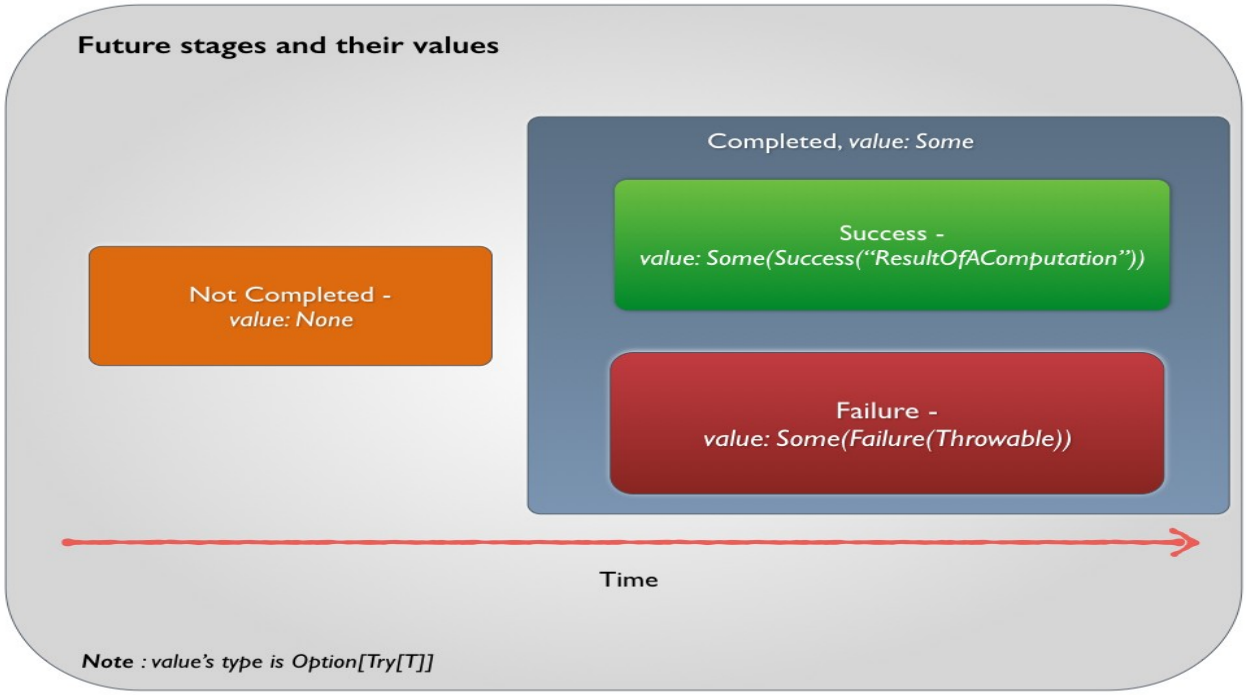
```
implicit val ec: ExecutionContext = ...
val inverseFuture : Future[Matrix] = Future {
  fatMatrix.inverse()
} // ec is implicitly passed
```

Идеята в примера е, че изпълнението на функцията fatMatrix.inverse() е делегирана към ExecutionContext. А пък обектът inverseFuture един вид ‘олицетворява’ резултатът от изчислението.

Execution Context

Накратко Execution Context-а е отговорен за изпълнението на дадени задачи (Future обектите разчитат на такъв, за да работят). Той изпълнява задачите в нова нишка, в thread pool (може би най-често ползваният начин), или в текущата нишка (въпреки че това в доста случаи е нежелателно).

Резултатът от изпълнението на Future съответно може и да върне грешка – както се вижда на следващата картинка.



3. Паралелен алгоритъм

За написване на програмата е използван езикът Scala 2.12.8. Използван е паралелизъм по данни – SPMD. Работата на всички Future-и (задачи) е асинхронна. Архитектурата на програмата е по модела Master-Slaves.

Main нишката е Master, като тя започва изпълненеито на абсолютно всички task-ове, по възможност върху отделни нишки (посредством Future). Конкретно идеята за BFS е следната:

- В зависимост от параметъра за броя на задачите (-t n), се създава thread pool с n на брой работници (нишки), който ще играе ролята на ExecutionContext, нужен за създаването на Future-и.

- Main нишката създава нов Future за всеки един връх от графа, като задачата на Future-а е да върне резултат от асинхронното изпъление на функцията bfsTraversalFrom (снимката на функцията е по-горе).

- Резултатите от всички Future-и се връщат в колекция накрая, като ако е подаден параметър за записване на резултати във файл, резултатите се записват в подходящ формат.

Основната функция, която създава ExecutionContext и задава задачите:

```
def bfsTraversalStartingFromAllVertices(numberOfTasks: Int): BFSTraversalFromAllVerticesResult = {
  logger.debug("Starting BFS traversal from all vertices (" + getNumVertices + ") with number of tasks: " + numberOfTasks)

  val threadPool = Executors.newFixedThreadPool(numberOfTasks)
  implicit val ec = ExecutionContext.fromExecutor(threadPool)

  if (numberOfTasks < 1) {
    throw new IllegalArgumentException("Number of tasks for bfs traversal cannot be less than 1!")
  }

  val sortedListOfVertices = getVertices.toList.sorted

  val result = time {
    sortedListOfVertices.map(start_BFS_task_from_vertex(_)).map(Await.result(_, Duration.Inf))
  }

  logger.debug("Total number of threads used in current run: " + result._1.map(_.threadID).distinct.size)
  logger.debug("Total time elapsed (milliseconds) in current run: " + result._2 + "\n----------------\n")

  threadPool.shutdown

  BFSTraversalFromAllVerticesResult(
    allResults = result._1,
    timeForCompletionInMilliseconds = result._2,
    numberOfThreads = numberOfTasks)
}
```

Функцията за стартиране на нова задача (съответно връщаща Future обект, съдържащ бъдещия резултат от изпълнението на BFS), викана от основната функция:

```
private def start_BFS_task_from_vertex(startingVertex: Vertex)(implicit ec: ExecutionContext)
      : Future[BFSTraversalFromSingleVertexResult] = Future {
  logger.debug("Start BFS from vertex " + startingVertex)
  val result = time {
    bfsTraversalFrom(startingVertex)
  }

  logger.debug("Finish BFS started from vertex " + startingVertex
    + ". Time elapsed in milliseconds: " + result._2)

  BFSTraversalFromSingleVertexResult(result._1, result._2, Thread.currentThread.getName.split("-").last.toLong)
}
```

4. Резултати

Резултатите са генерирани от изпълнения на програмата върху 2 различни графа – единият с 300 на брой върха, другият 150.

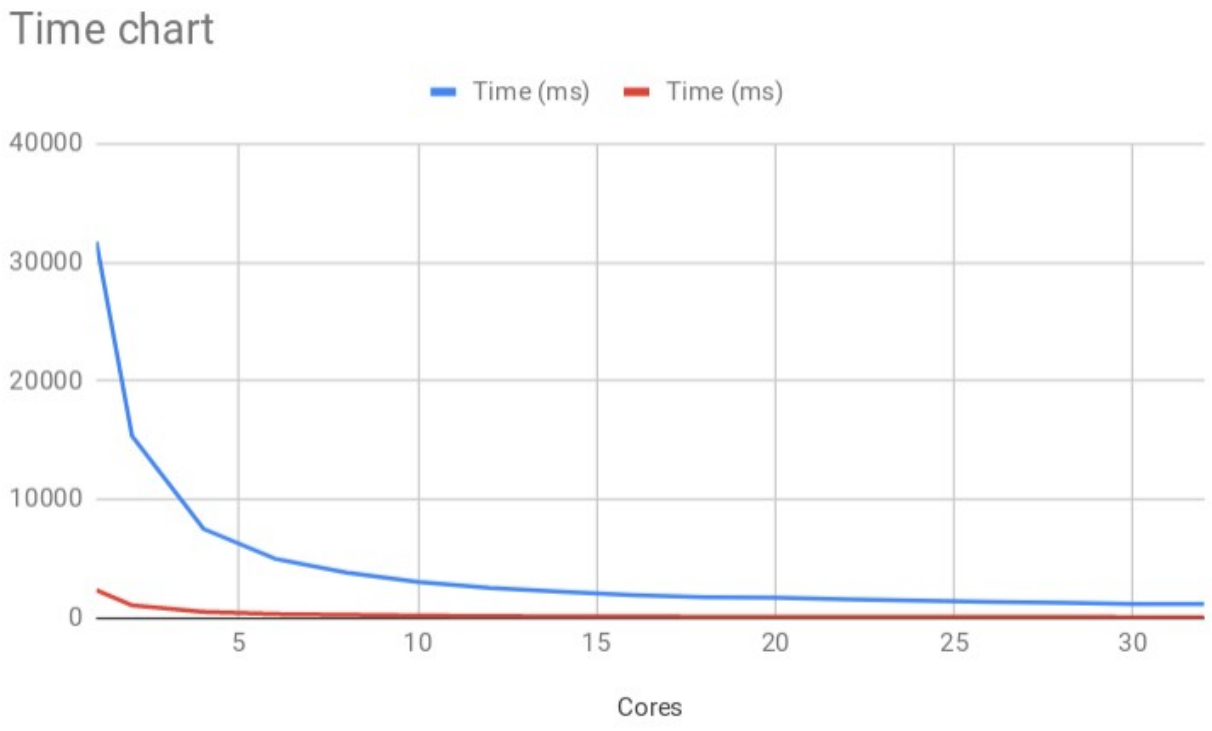
Cores	Time (ms)	Speedup	Efficiency	Time (ms)	Speedup	Efficiency
1	31744	1	1	2363	1	1
2	15345	2.06869	1.03434	1080	2.18796	1.09398
4	7528	4.21679	1.0542	533	4.4334	1.10835
6	5012	6.3336	1.0556	354	6.67514	1.11252
8	3839	8.26882	1.0336	290	8.14828	1.01853
10	3049	10.4113	1.04113	224	10.5491	1.05491
12	2561	12.3952	1.03293	183	12.9126	1.07605
14	2231	14.2286	1.01633	155	15.2452	1.08894
16	1961	16.1877	1.01173	141	16.7589	1.04743
18	1782	17.8137	0.98965	131	18.0382	1.00212
20	1721	18.4451	0.922255	123	19.2114	0.960569
22	1576	20.1421	0.915551	134	17.6343	0.80156
24	1467	21.6387	0.901613	110	21.4818	0.895076
26	1381	22.9862	0.884086	103	22.9417	0.882375
28	1312	24.1951	0.864111	109	21.6789	0.774246
30	1204	26.3654	0.878848	95	24.8737	0.829123
32	1189	26.6981	0.834315	92	25.6848	0.802649

Първата част на таблицата е за графа с 300 върха – имената на колонките са оцветени в синьо, втората част е за 150 – в оранжево/червено).

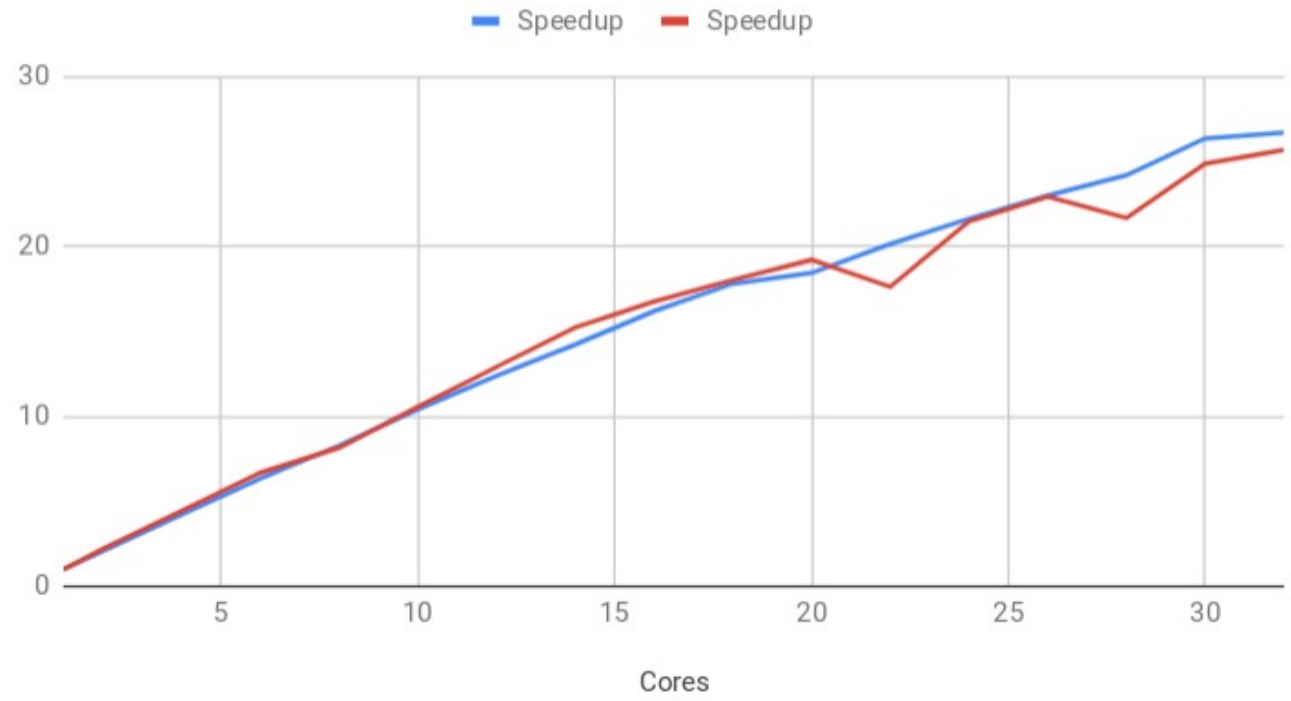
Колоните **Time (ms)** показват времето за изпълнение в секунди на програмата при използване на **n** на брой процесорни ядра **T1 … T32**.

Колоните **Speedup** показват ускорението на нашата програма при използване на **n** на брой процесорни ядра. **Sp = T1 / Tp**.

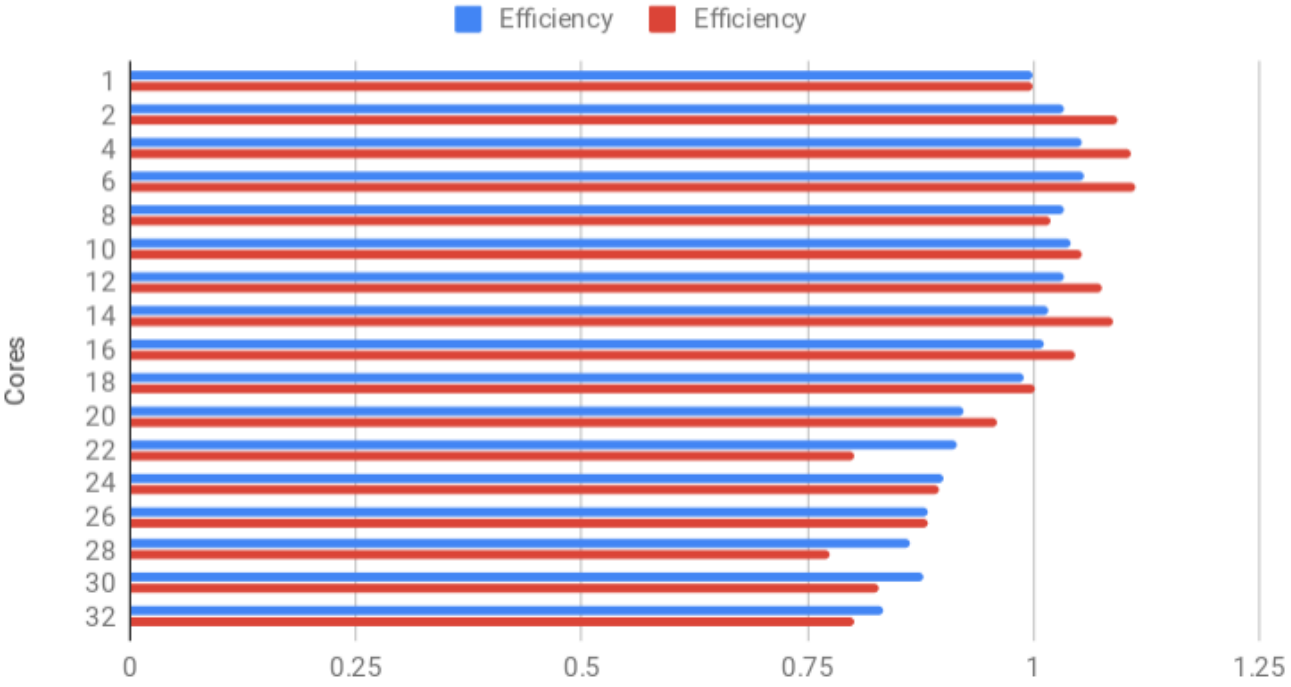
Колоните **Efficiency** показват ефективността на нашата програма при използване на **n** на брой процесорни ядра. **E = Sp / p**.



Speedup chart



Efficiency chart



5. Извод

Анализирайки горните таблици, достигаме до извода, че при най-едрата грануларност (1 процесорно ядро) ускорението и ефективността са значително с по-лоши показатели в сравнение с останалите. С нарастване на броя на процесорните ядра, ефектът на грануларността се увеличава, като при 32 ядра най-фината грануларност отчита най-високото ускорение - 25-26 пъти спрямо най-едрата.

Тестовете са изпълнени на машина със следните параметри:
Architecture: x86_64
CPU(s): 32
Model name: Intel(R) Xeon(R) CPU E5-2660 0 @ 2.20GHz
RAM: 62GB