



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

Implementazione sequenziale e parallela del K-means

Guido Ciardi 7090798
guido.ciardi@stud.unifi.it

Esame orale di Parallel Computing

Università degli studi di Firenze

Firenze, 12/01/2023

Pseudocodice algoritmo di clustering K-means

Input: Dataset di "numPoints" punti e "numClusters" centroidi;

Output: Insieme di "numClusters" clusters;

Steps:

Per ogni punto p_i del dataset considerato:

Ripeti:

1. Calcola la distanza da ogni punto ad ogni centroide;
2. Inserisci tale punto all'interno del cluster del centroide ad esso più vicino;

Per ogni centroide:

- a) Aggiorna le sue coordinate facendo la media delle rispettive coordinate di ogni punto presente nel cluster attualmente considerato;

Finchè:

Le coordinate dei centroidi non cambiano più;

(Criterio di convergenza)

Codice sequenziale

1. Inizializzazione dei punti/centroidi;
2. Funzione k_means:
 - a) Aggiornamento delle coordinate dei centroidi;
 - Calcolo distanza Euclidea;
 - b) Funzione newCentroidCoordinates;
3. Stampa dei risultati;

Inizializzazione di punti/centroidi

```
point point_initialization(double x, double y){  
    point p = {x, y, .clusterId: -1};  
    return p;  
}
```

- Caso punto standard → clusterId = -1;
- Caso punto centroide → clusterId = numero del cluster

```
typedef struct{  
    double x;  
    double y;  
    int clusterId;  
}point;
```

Logica di memorizzazione dei punti usata: **Arrays of Structures (AoS)**

Funzione K_means

- Condizione di convergenza: `while(convergence == 0){`
- Calcolo del centroide più vicino al punto attuale:

```
for (int i = 0; i < numPoints; i++) { // Scansione dei punti  
    centroidIndex = nearestCentroid( actualPoint: points[i], clusters);  
    points[i].clusterId = centroidIndex; // Il punto "i" viene assoc
```

- Fase di aggiornamento delle coordinate dei centroidi:

```
if(newX != clusters[centroid].x || newY != clusters[centroid].y){  
    clusters[centroid].x = newX;  
    clusters[centroid].y = newY;  
    convergence = 0;  
}
```

Funzione nearestCentroid

```
int nearestCentroid(point actualPoint, point clusters[]){  
    double distance;  
    int centroidIndex = 0;  
  
    // Confronto del punto col primo centroide per inizializzare la distanza  
    double minDistance = euclideanDistance(a: actualPoint, b: clusters[0]);  
    // minDistance viene usata per mantenersi la distanza minore ed individu  
    // appartenenza di un determinato punto  
  
    for (int centroid = 1; centroid < numClusters; centroid++) { // Scansion  
        distance = euclideanDistance(a: actualPoint, b: clusters[centroid]);  
  
        if (distance < minDistance) {  
            minDistance = distance;  
            centroidIndex = centroid;  
        }  
    }  
  
    return centroidIndex;  
}
```

Aggiornamento delle coordinate dei centroidi

```
for(int centroid = 0; centroid < numClusters; centroid++){
    newX = 0;
    newY = 0;
    numPointsOfCluster = 0;

    for(int i = 0; i < numPoints; i++){
        if(points[i].clusterId == centroid){
            newX = newX + points[i].x;
            newY = newY + points[i].y;
            numPointsOfCluster++;
        }
    }
}
```

```
if(numPointsOfCluster != 0){
    newX = newX / numPointsOfCluster;
    newY = newY / numPointsOfCluster;
}
else{
    newX = clusters[centroid].x;
    newY = clusters[centroid].y;
}
```

```
if(newX != clusters[centroid].x || newY != clusters[centroid].y){
    clusters[centroid].x = newX;
    clusters[centroid].y = newY;
    convergence = 0;
}
```

Esempio di output in un'esecuzione sequenziale

```
Cluster numero: 0
Lista dei punti associati al centroide (1.000000, 5.000000):
(0.000000, 6.000000) (1.000000, 5.000000) (2.000000, 4.000000)

Cluster numero: 1
Lista dei punti associati al centroide (3.500000, 2.500000):
(3.000000, 3.000000) (4.000000, 2.000000)

Cluster numero: 2
Lista dei punti associati al centroide (5.000000, 1.000000):
(5.000000, 1.000000)

Tempo di esecuzione dell'algoritmo: 0.019000
```


Codice parallelo

Introduzione della macro: `#define nThreads 8`

Inizializzazione parallela dei punti:

```
#pragma omp parallel num_threads(nThreads)
{
    #pragma omp for schedule(auto) nowait
    for(int i = 0; i < numPoints; i++){
        points[i] = point_initialization(x: i, y: numPoints - i);
    }
    // Si utilizza nowait perchè i due cicli sono indipendenti e non
    // La schedule(auto) decide se schedulare/distribuire i valori t

    #pragma omp for schedule(auto)
    for(int i = 0; i < numClusters; i++){
        clusters[i] = point_initialization(x: (i * numClusters) % (n
        clusters[i].clusterId = i;
    }
}
```

Funzione k_means parallela

- **Calcolo del cluster di appartenenza per ciascun punto:**

```
#pragma omp parallel num_threads(nThreads)
{
#pragma omp for schedule(auto) private(centroidIndex)
    for (int i = 0; i < numPoints; i++) { // Scansione dei punti

        centroidIndex = nearestCentroid(actualPoint: points[i], clusters);

        points[i].clusterId = centroidIndex; // Il punto "i" viene asso
    }
}
```

- **Aggiornamento delle coordinate dei centroidi:**

```
#pragma omp for schedule(auto) private(newX, newY)
    for(int centroid = 0; centroid < numClusters; centroid++){
        newX = 0;
        newY = 0;
        numPointsOfCluster = 0;

        for(int i = 0; i < numPoints; i++){
            if(points[i].clusterId == centroid){
                newX = newX + points[i].x;
                newY = newY + points[i].y;
            }
        }
    }
```

Stampe finali parallelizzate

```
#pragma omp parallel for schedule(auto) num_threads(nThreads)
for(int point = 0; point < numPoints; point++) {
    if(points[point].clusterId == i){
        printf("(%.f, %.f) ", points[point].x, points[point].y);
    }
}
}
```

Confronto delle prestazioni

numPoints = 10000; numClusters = 150;
(Per il caso parallelo anche:) nThreads = 8;

TEMPI DI ESECUZIONE	
CASO SEQUENZIALE	CASO PARALLELO
14.582	2.006

$$Speedup = \frac{T_S}{T_P} = \frac{14.582}{2.006} = 7.2692$$



Aumento del numero di centroidi

Nota: La parallelizzazione viene fatta per centroidi, quindi all'aumentare del numero di centroidi si avrà un aumento dello speedup.

numPoints = 10000; numClusters = 150; (Per il caso parallelo anche:) nThreads = 8;

TEMPI DI ESECUZIONE	
CASO SEQUENZIALE	CASO PARALLELO
46.489	3.895

$$Speedup = \frac{T_S}{T_P} = \frac{46.489}{3.895} = 11.93556$$



Confronto delle prestazioni

Tempi di esecuzione con <u>numPoints = 10000</u> e <u>numClusters = 200</u>	
Sequenziale	46.489
<u>nThreads = 2</u>	17.689
<u>nThreads = 4</u>	11.288
<u>nThreads = 6</u>	8.423
<u>nThreads = 8</u>	3.895
<u>nThreads = 10</u>	9.965

