

Algoritmo di Kadane

Alessandro Ferro

13 maggio 2022

Sommario

Si vuole dimostrare la correttezza dell'Algoritmo di Kadane, in particolare la versione che ammette l'esistenza di una sotto-seguenza vuota (ovvero l'algoritmo non restituirà mai un valore inferiore a 0).

1 Teorema

Per dimostrare la correttezza dell'algoritmo, enunciamo il seguente teorema:

Fissati $i, r \in \mathbb{N}$, se $\forall j$ compreso nell'intervallo $i \leq j < r$ si verifica che

- $SUM(i, j) \geq 0$
- $SUM(i, r) < 0$

\implies

1. $SUM(p, q) \leq SUM(i, q)$ $\forall p, q$ comprese nell'intervallo $i \leq p \leq q \leq r$
2. $SUM(p, r + k) < SUM(r + 1, r + k)$ $\forall p$ comprese nell'intervallo $i \leq p \leq r$ con $k \geq 1$

1.1 Dimostrazione informale

Dimostriamo dapprima il punto 1:

Tutte le sequenze $(i, i), (i + 1), (i + 2), \dots, (i, q)$ hanno somma non negativa per ipotesi (in quanto q è nell'intervallo $i \leq q < r$), pertanto è evidente che una somma che ha più termini ($SUM(i, q)$) sia maggiore o uguale di una somma che ne ha di meno o in egual misura ($SUM(p, q)$).

Adesso dimostriamo il punto 2:

Tramite una più formale dimostrazione scopriremo che $SUM(p, r) < 0$. Avremo quindi che $SUM(p, r + k) = SUM(p, r) + SUM(r + 1, r + k) \implies SUM(p, r + k) < SUM(r + 1, r + k)$.

1.2 Dimostrazione

Dimostrazione punto 1:

Se $p = i$ allora si ha banalmente $SUM(p, q) = SUM(i, q)$. Dimostriamo allora quando $i < p$.

$$\begin{aligned} SUM(i, q) &= SUM(i, p - 1) + SUM(p, q) \\ &\implies \\ SUM(p, q) &= SUM(i, q) - SUM(i, p - 1) \end{aligned}$$

Sappiamo che $SUM(i, p - 1) \geq 0$ in quanto $i \leq p - 1 < r$

Ma allora

$$SUM(p, q) \leq SUM(i, q)$$

Dimostrazione punto 2:

$$SUM(p, r) = SUM(p, r - 1) + SUM(r, r)$$

Sappiamo che $SUM(p, r - 1) \leq SUM(i, r - 1)$ grazie al teorema del punto 1 supponendo $q = r - 1$
Quindi

$$\begin{aligned} SUM(p, r - 1) &\leq SUM(i, r - 1) \\ &\implies \\ SUM(p, r - 1) + SUM(r, r) &\leq SUM(i, r - 1) + SUM(r, r) \end{aligned}$$

Sapendo che $SUM(i, r - 1) + SUM(r, r) = SUM(i, r)$ e sapendo inoltre che $SUM(i, r) < 0$ si ha che

$$\begin{aligned} SUM(p, r) &\leq SUM(i, r) < 0 \\ &\implies \\ SUM(p, r) &< 0 \end{aligned}$$

Inoltre sappiamo che

$$\begin{aligned} SUM(p, r + k) &= SUM(p, r) + SUM(r + 1, r + k) \\ &\implies \\ SUM(p, r + k) &< SUM(r + 1, r + k) \end{aligned}$$

In quanto $SUM(p, r) < 0$.

1.3 Significato e applicazione del teorema

Se sappiamo che si verifica questa proprietà allora

- Grazie al punto 1 possiamo dire che $SUM(x, y)$ con $i < x \leq y \leq r$ sarà sempre minore o uguale a $SUM(i, y)$. Poiché il valore di $SUM(i, y)$ lo si conosce già [in quanto abbiamo già analizzato tutte le sequenze $(i, i), (i, i + 1), \dots, (i, r)$], è inutile generare tali sotto-sequenze.

Se per assurdo si avesse che $SUM(x, y) > SUM(i, y)$, la sotto-sequenza localmente massima potrebbe essere (x, y) , e dunque sarebbe necessario valutarne il valore della somma.

- Grazie al punto 2 possiamo dire che è inutile analizzare le sequenze $(x, r + k)$ con x nell'intervallo $[i, r]$ perché più avanti si troverà sicuramente una sottosequenza di somma maggiore.

Dunque, se abbiamo analizzato le sequenze $(i, i), (i, i + 1), (i, i + 2), \dots, (i, r)$ sarà inutile analizzare una sequenza (x, y) con x compreso nell'intervallo $i < x \leq r$, perché comunque preso y , sarà inutile la sua analisi.

2 Algoritmo

```
KadaneAlgorithm( Array v){  
    n = v.Length();  
    max_sum = 0;  
    local_sum = 0;  
  
    for( i = 0 ; i < n ; i++ ){  
        local_sum = local_sum + v[ i ];  
        if( local_sum < 0 ){  
            local_sum = 0;  
        }  
        else if( local_sum > max_sum ){  
            max_sum = local_sum;  
        }  
    }  
  
    return max_sum;  
}
```

2.1 Spiegazione

L'algoritmo ha una complessità $T(n) = \Theta(n)$ in quanto non genera tutte le sottosequenze possibili (altrimenti il tempo sarebbe stato un $\Omega(n^2)$).

Infatti se trova che $SUM(i, r) < 0$ resetta sum a 0 e riparte iniziando a sommare dalla cella $r + 1$ in avanti, in virtù del fatto che generare qualsiasi sotto-seguenza (x, y) con $i < x \leq r$ sarebbe inutile.