Corso di High Performance Computing

Esercitazione MPI del 20/4/2017

Moreno Marzolla

Ultimo aggiornamento: 2017/04/19

Per svolgere l'esercitazione è possibile collegarsi al server `disi-hpc.csr.unibo.it` tramite ssh, usando come *username* il proprio indirizzo mail istituzionale completo, e come password la propria password istituzionale (cioè quella usare per accedere alla casella di posta o ad AlmaEsami). Sulla macchina è installato il compilatore `gcc` e alcuni editor di testo per console: `vim`, `pico`, `joe`, `ne` e `emacs`. Per chi non è pratico suggerisco `pico`, che è semplice da usare e richiede poche risorse. Chi ha un portatile con Linux può lavorare localmente, dopo aver installato il compilatore.

Per scaricare l'archivio con i surgenti di questa esercitazione è possibile usare i comandi:

```
wget http://www.moreno.marzolla.name/teaching/HPC/ex1-mpi.zip
unzip ex1-mpi.zip
cd ex1-mpi/
```

1. Comunicazione ad anello

Realizzare un programma MPI che effettua una comunicazione "ad anello" tra i processi. Più in dettaglio, detto P il numero di processi MPI utilizzati (da specificare con il comando `mpirun`; si deve avere $P > 1$), il programma deve operare come segue:

- Il programma accetta sulla riga di comando un valore intero K, che rappresenta il numero di "giri" dell'anello che devono essere effettuati ($K \geq 1$). Ricordo che tutti i processi MPI hanno accesso ai valori passati sulla riga di comando, quindi tutti possono conoscere il valore di K.
- Il processo 0 (il *master*) invia al processo 1 un intero, il cui valore iniziale è 1.
- Ciascun processo p (incluso il master) rimane in attesa di ricevere un valore v dal processo $p - 1$; una volta ricevuto, il processo invia il valore $(v + 1)$ al processo $p + 1$. Poiché la comunicazione si considera "ad anello", il predecessore del processo 0 è il processo $(P - 1)$, mentre il successore del processo $(P - 1)$ è il processo 0.
- Il master stampa il valore ricevuto dopo la K-esima iterazione e la computazione termina.

Suggerimento: è possibile usare `MPI_Send()`/`MPI_Recv()` oppure `MPI_Sendrecv()`. Consiglio di iniziare usando `MPI_Send()`/`MPI_Recv()` prestando attenzione ad evitare deadlock. Chi lo desidera può successivamente realizzare lo stesso programma con `MPI_Sendrecv()`; attenzione che in questo caso è necessario definire due buffer distinti per l'invio e la ricezione dei dati (`MPI_Sendrecv()` non funziona correttamente se il buffer di invio e ricezione è lo stesso; per questo bisognerebbe usare `MPI_Sendrecv_replace()`, che però non abbiamo visto a lezione). Tenere presente che il processo p deve ricevere dal processo p - 1 e spedire al processo p + 1.

2. Prodotto scalare

Il file `mpi-dot.c` calcola il prodotto scalare tra due array `a[]` e `b[]` di uguale lunghezza n. Ricordo che il prodotto scalare s di due array `a[]` e `b[]` è:

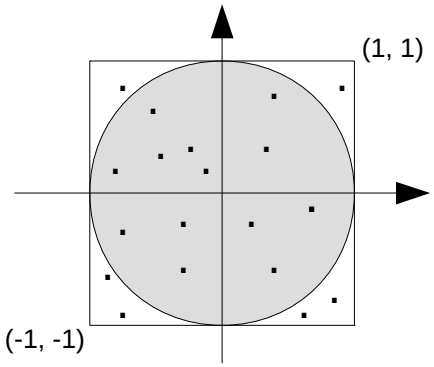
$$s = \sum_{i=0}^{n-1} a[i] \times b[i]$$

Il programma implementa una soluzione seriale in quanto solo il master esegue la computazione. Scopo di qusto esercizio è di parallelizzare il calcolo del prodotto scalare, distribuendo gli array `a[]` e `b[]` tra i processi usando la funzione `MPI_Scatter()`. Ciascun processo calcola il prodotto scalare della porzione di array ricevuti; il master potrà quindi usare la funzione `MPI_Reduce` per sommare i prodotti scalari parziali, determinando il valore di *s*.

Assumere inizialmente che *n* sia un multiplo esatto del numero di processi MPI. Realizzare successivamente una versione del programma che accetta valori di *n* arbitrari; la soluzione più semplice consiste nel far processare gli elementi in eccesso al master.

3. Calcolo di Pi greco

Il file `mpi-pi.c` contiene una implementazione seriale di un algoritmo di tipo Monte Carlo per il calcolo del valore approssimato di pi greco. Il principio di funzionamento dell'algoritmo è molto semplice:



- Vengono generati *N* punti casuali all'interno del quadrato di vertici opposti (-1, -1) e (1, 1);
- Si definisce *x* il numero di punti che cadono all'interno del cerchio di raggio unitario e centro nell'origine degli assi;
- Il rapporto *x* / *N* approssima il rapporto tra l'area del quadrato (che vale 4) e l'area del cerchio inscritto in esso. Poiché sappiamo che l'area di tale cerchio è π, possiamo stimare il valore di π come (4*x* / *N*)

Modificare il file `mpi-pi.c` per parallelizzare il calcolo del valore di π. Sono possibili diverse strategie; si consiglia di usare quella seguente che ha il vantaggio di essere abbastanza semplice da realizzare (*P* rappresenta il numero di processi MPI utilizzati):

1. Ciascun processo ottiene il valore di *N* dalla riga di comando; si può inizialmente assumere che *N* sia multiplo di *P*, e successivamente rilassare questo requisito per fare funzionare il programma con qualsiasi valore di *N*.
2. Ciascun processo *p*, incluso il master, genera *N*/*P* punti casuali e tiene traccia del numero x_p di punti all'interno del cerchio;
3. Il master calcola la somma *x* di tutti i valori x_p usando `MPI_Reduce`. A questo punto il master stampa il valore approssimato di π come (4*x* / *N*).

4. Distanza di Levenshtein con OpenMP

Il file `omp-levenshtein.c` contiene una implementazione seriale di un algoritmo, basato sulla

programmazione dinamica, per il calcolo della distanza di Levenshtein tra due stringhe. La distanza di Levenshtein è una misura di similarità tra due stringhe (più la distanza è alta, più le stringhe sono diverse), e indica il numero minimo di operazioni elementari necessarie per trasformare una delle due stringhe nell'altra. Per operazione elementare si intende: (*i*) inserimento di un carattere; (*ii*) cancellazione di un carattere; (*iii*) sostituzione di un carattere con uno diverso.

La distanza di Levenshtein può essere calcolata mediante la programmazione dinamica; chi è interessato ai dettagli può consultare https://en.wikipedia.org/wiki/Levenshtein_distance oppure i lucidi da 65 in poi all'indirizzo http://www.moreno.marzolla.name/teaching/algoritmi-e-strutture-dati/2015-2016/L04-Programmazione-Dinamica.pdf. Conoscere i dettagli di funzionamento dell'algoritmo non è comunque essenziale per svolgere questo esercizio, perché il programma fornito dovrebbe già effettuare il calcolo corretto. Date due stringhe $s[n]$, $t[m]$, indichiamo con $L[i][j]$ la distanza di Levenshtein tra i prefissi composti dai primi i caratteri di s e j caratteri di t; la distanza complessiva tra s e t è data da $L[n+1][m+1]$. Il calcolo di L viene effettuato da due cicli "for" annidati, ma le dipendenze tra le iterazioni danno origine ad uno stencil a tre punti simile a quella illustrata nel lucido 31 di `L05-parallelizing-loops.odp`; tale struttura non può essere parallelizzata banalmente, ma può diventarlo se si riempie la matrice L "in diagonale", realizzando una computazione di tipo *wavefront* come mostrato nel lucido 33.

Scopo di questa esercitazione è quello di riscrivere i cicli "for" annidati evidenziati nei commenti della funzione `levenshtein()` per realizzare una visita in diagonale della matrice L, in modo da poter poi applicare un costrutto `#pragma omp parallel for` al ciclo più interno.