

문제 2 (학부/대학원 공통): 불연속 갤러킨 이류 병렬화

(배점: 학부 40 점 / 대학원 30 점)

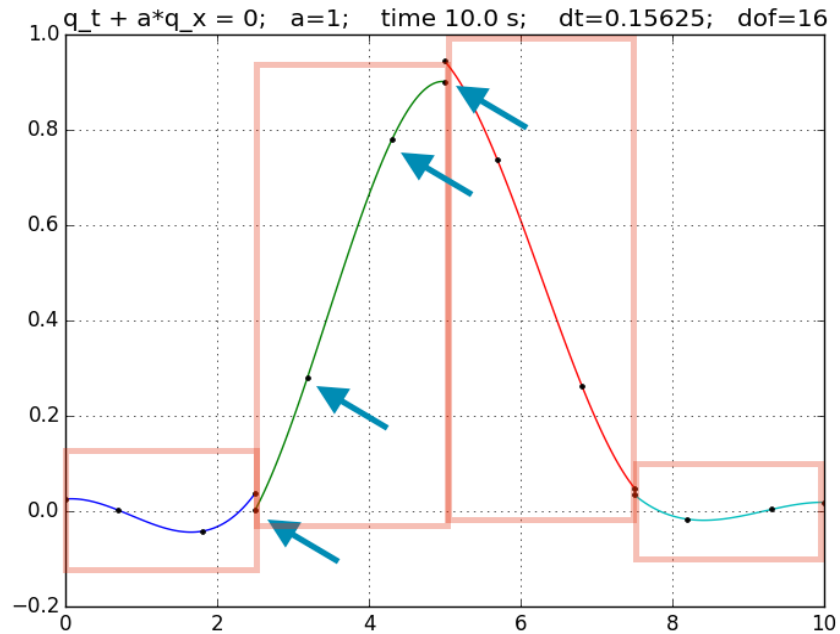
문제 개요

우리가 풀고자 하는 편미분 방정식은

$$\frac{dq}{dt} + \frac{d(qv)}{dx} = 0$$

이며 불연속 갤러킨 방안으로 이산화되어 있다. 본 문제에서 속도 v 는 상수로 주어지며
경계 조건은 주기 경계조건이다. (periodic boundary condition).

도메인 길이가 10m 이고 $v=1\text{m/s}$ 일 경우 매 10 초 마다 q 는 초기장의 모습으로 돌아온다.



<그림 1> 요소 4 개로(붉은 상자) 이루어진 가우시안. 각 요소마다 노드(하늘색 화살표) 가 4 개가 있다. 노드 끝점은 이웃 요소와 겹쳐져 있으면서 x 좌표상으로 중첩되어 있다.

불연속 갤러킨 방안은 유한 요소 기법중 하나로 **각 요소 값의 변화는 오직 인접하고 있는 요소들의 플럭스 값에만 의존한다.** 도메인에는 총 ne 개의 요소가 존재하며 각 요소 안에는 np 개의 노드들로 구성되어 있다.

영역 분할의 최소 단위는 요소가 된다. 따라서 10 개의 요소가 있고 5 개의 프로세스로 병렬화를 할 경우 각 프로세스당 2 개의 요소가 배당될 것이다.

본 문제를 병렬화 하기 위해서는

- 문제 영역을 요소별로 분할하고
- 분할 영역마다 인접하고 있는 영역과 플럭스 정보를 통신하도록 해야 한다.

마지막으로 결과 확인을 위해서

- 시간적분 종료 뒤에 각 랭크마다 계산된 q 필드를 마스터 랭크로 모아서 파일로 만들어야 한다.

문제 설명

포트란 문제의 경우 다음의 파일이 주어진다.

- 1d_serial.f90
- sub_mod1.f90
- sub_mod2.f90
- Makefile

이중 병렬화가 필요한 파일은 1d_serial.f90 과 sub_mod2.f90 이다. **sub_mod1.f90 은 병렬화가 필요 없으므로 변경 할 수 없다.** 병렬화한 파일은 각각 1d_par.f90, sub_mod2par.f90 으로 이름지어 주어진 Makefile 을 통해 컴파일한다.

C 문제의 경우

- 1d_serial.c
- Makefile

만 주어지며 포트란의 sub_mod1, sub_mod2 에 있는 서브루틴들이 함수 형태로 한 파일에 모두 포함되어 있다. 병렬화는 main 과 interface_flux, rhs 만 필요하므로 **이외 함수들은**

변경할 수 없다. 병렬화한 파일 이름은 `1d_parallel.c` 로 이름지어 주어진 `Makefile` 을 통해 컴파일한다.

코드 양은 비교적 많아 보이지만 이 문제의 병렬화 핵심은 `interface_flux` 에 달려있다고 봐도 무방하다.

주의 사항은 아래와 같다.

- 병렬화는 MPI 를 통해서만 이루어진다. (OpenMP 혼합 금지)
- `Makefile` 변경 금지.
 - 외부 라이브러리 사용 금지
 - gnu compiler 사용만 허용. (컴파일러와 mpi 지정해준 대로만 사용)
 - 컴파일 옵션은 -O3 외 허용 없음.
 - vectorization 금지
- 성능 개선은 오직 병렬화로만 이루어져야 하며 병렬화와 관련되지 않은 곳의 코드는 변경할 수 없다. (이를테면 `cf`, `dt` 계산 방식 변경 불허)
- `rhs` 서브루틴/함수의 경우 병렬화된 `interface_flux` 와의 호환을 위한 최소한의 변경만 가능하다. (MPI rank, nprocs 정보를 주고 받는 인자 처리). `rhs` 안에 있는 matrix-vector 곱 계산 루프 변경은 불가하다.

실행 조건

- `np = 30` ! 요소 내부의 노드 숫자
- `ne = 512` ! 요소의 개수
- `tend = 100.` ! 총 모의 시간 (초)
- `speed = 1D0` ! 이류 속도
- `init_type = 'mixed2'` ! 초기장 옵션
- `xmin = 0D0` ! 도메인 시작 위치
- `xmax = 1D1` ! 도메인 끝 위치

serial job 결과를 빠르게 확인해보기 위해 np, ne, tend 등의 파라미터를 조절하여 실험해볼 것을 권장한다. (ex, np=4, ne=5, tend = 1.). np 30, ne 512 로 두고 순차코드를 통해 계산할 경우 계산이 되지 않거나 1 시간 넘게 시간이 걸릴 수 있음에 유의.

평가 방법

- 학부 32 CPU, 대학원 64 CPU 를 이용해서 병렬화된 코드 수행 시간을 time 으로 측정. Reference 병렬 코드 대비 실행 시간 비율로 순위 결정.
- save_field 를 통해 생성되는 data.txt 파일이 올바르게 생성되어야 함. 결과 파일의 값이 Round-off 에러를 벗어나는 경우 정확성 검증 실패로 결격처리