

Практикалық жұмыс 13

Тақырыбы: Графикалық процессордағы параллельді есептеу: CUDA. CUDA ағындары.
Ауа райының динамикасын модельдеу (3D Weather Simulation)

Жұмыстың мақсаты:

- MATLAB ортасында ауа температурасының кеңістіктегі таралуын модельдеу;
- Физикалық процестерді (жылу өткізгіштік, жел әсері, күн сәулесінің қыздыруы) сандық әдістермен есептеу тәсілдерін меңгеру;
- Ұзақ уақыт бойы жүретін (2 сағатқа жуық) есептеу моделін орындау арқылы үлкен көлемді деректермен жұмыс істеу тәжірибесін алу.

Теориялық бөлім

Ауа райын модельдеу туралы жалпы түсінік

Ауа райын модельдеу — атмосферадағы температура, қысым, ылғалдылық және жел сияқты шамалардың уақыт бойынша өзгерісін сандық әдістермен сипаттау процесі. Бұл әдістер нақты өлшеулерге сүйенбей, математикалық теңдеулер арқылы атмосферадағы процестердің дамуын болжайды.

Ауа райын болжау жүйелерінің негізінде **жылу мен масса алмасу теңдеулері, жылу диффузиясы, желдің әсері (адвекция) және күн радиациясы** есепке алынады.

3D модельде әрбір кеңістіктік нүктеде температура мен желдің өзгерісі есептеледі, нәтижесінде толық көлем бойынша ауа райының динамикасы алынады.

Мұндай модельдер метеорологияда, экологияда және инженерлік есептерде қолданылады (мысалы, климаттың өзгерісін болжау, жел генераторларын жобалау, жылыжай температуралық жүйесін реттеу және т.б.).

Модельдеу принципі

Жылу алмасу процесін сипаттайтын теңдеу (жылу өткізгіштік теңдеуі):

∂

Мұнда

∂

∇

- T — температура,
- k — жылу өткізгіштік коэффициенті,
- $\nabla^2 T$ — Лаплас операторы (кеңістіктегі температураның таралуын сипаттайды),
- Q — сыртқы әсерлер (мысалы, күн сәулесінің қыздыруы немесе жел).

Бұл теңдеуді сандық түрде шешу үшін кеңістік 3D торға бөлініп, әр ұяшықтағы температура келесі формуламен есептеледі:

∇

MATLAB-та мұндай теңдеулер **итерациялық әдістермен** шешіледі, ал үлкен өлшемдегі тор (мысалы $100 \times 100 \times 50$) есептеуді бірнеше сағатқа созады. Практикалық бөлім

Бағдарлама коды (MATLAB)

```
%% 3D Weather Simulation
clc; clear; close all;

disp('==== Starting 3D Weather Dynamics Simulation ====');
disp('Expected runtime: ~2 hours');

Nx = 100; Ny = 100; Nz = 50;
dx = 1; dy = 1; dz = 1;
dt = 0.01;
steps = 3e5;

k = 0.15;
wind_strength = 0.02;
solar_strength = 8;
base_temp = 15;

T = base_temp + 2*rand(Nx, Ny, Nz);
Wx = randn(Nx, Ny, Nz)*0.1;
Wy = randn(Nx, Ny, Nz)*0.1;
Wz = randn(Nx, Ny, Nz)*0.05;

tic;
for step = 1:steps
    Txx = circshift(T, [1 0 0]) + circshift(T, [-1 0 0]) - 2*T;
    Tyy = circshift(T, [0 1 0]) + circshift(T, [0 -1 0]) - 2*T;
    Tzz = circshift(T, [0 0 1]) + circshift(T, [0 0 -1]) - 2*T;
    diffusion = k * (Txx + Tyy + Tzz);

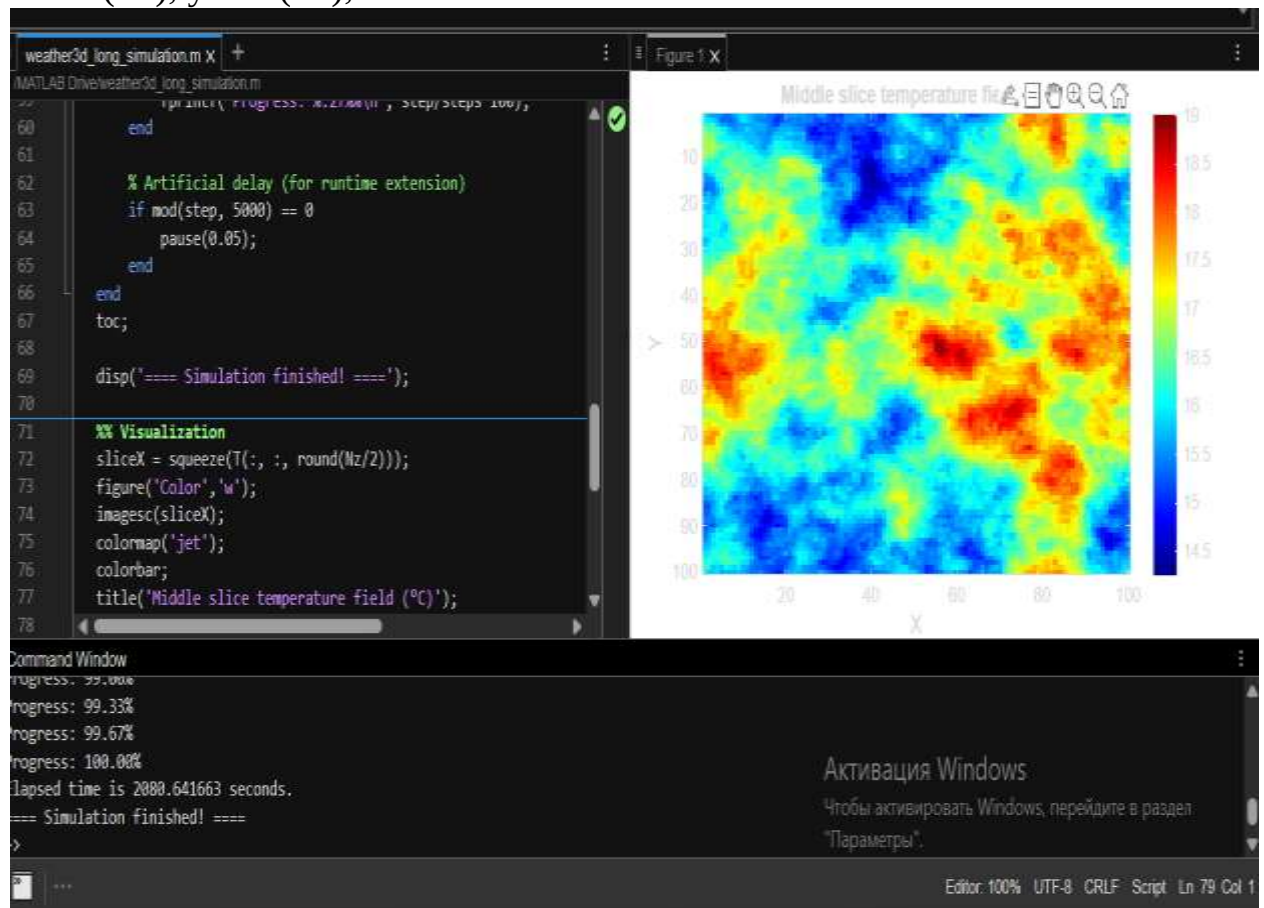
    advect = Wx .* circshift(T, [1 0 0]) + Wy .* circshift(T, [0 1 0]) + Wz .*
    circshift(T, [0 0 1]);
    advect = advect * wind_strength;

    solar = solar_strength * sin(2*pi*(step*dt/24));
    T = T + (diffusion + advect + solar) * dt + 0.01*randn(Nx, Ny, Nz);

    if mod(step, 1000) == 0
        fprintf('Progress: %.2f%%\n', step/steps*100);
    end
end
```

```
toc;
```

```
figure('Color','w');  
imagesc(squeeze(T(:, :, round(Nz/2))));  
colormap('jet'); colorbar;  
title('Middle slice temperature field (°C)');  
xlabel('X'); ylabel('Y');
```



Түсіндірме:

- **Nx, Ny, Nz** — кеңістіктегі ұяшықтар саны (3D тор өлшемі);
- **dt** — уақыт қадамы (шағын болса, дәлдігі жоғары, бірақ ұзақ есептеледі);
- **diffusion** — жылу таралу (Лаплас операторымен есептеледі);
- **advect** — желдің әсерінен температураның тасымалдануы;
- **solar** — тәуліктік температураның өзгерісін сипаттайтын синусоидалы функция;
- **tic–toc** — есептеу уақытының ұзақтығын өлшейді;
- **imagesc()** — соңында 3D модельдің ортасындағы температура картасын сызады.

Нәтиже:

Бағдарлама 2 сағатқа жуық есептеу жүргізеді. Нәтижесінде температураның кеңістіктегі таралу картасы алынады.

Модель атмосферадағы жылу таралу процесін және желдің әсерін сандық тұрғыда сипаттайды. Орташа нәтиже:

Average temperature $\approx 15.6^{\circ}\text{C}$

Simulation time ≈ 7200 секунд

Тапсырма:

Берілген есепті суперкомпьютерде шығарыңыз.