

# Laboratorinis darbai

Domantas Keturakis

Spalis 2024

## UŽDUOTIS #1

### Pirma dalis

#### Paralelizavimo galimybių analizė

Pirmasis skaičiavimo skaičiavimo ciklas (Pav. 1) palyginus užtrunka nedaug laiko (apie 0.002 sekundės). Praktiniams tikslams, jį galima ignoruoti.

```
for (int i=0; i<numX; i++) {  
    X[i] = i;  
    bestX[i] = i;  
}  
u = evaluateSolution(X);  
bestU = u;
```

Pav. 1: Pradinės naujo ir geriausio sprendinių reikšmių apskaičiavimas

Didžiąją dalį laiko užima šis ciklas:

```
while (increaseX(X, numX-1, numCL) == true) {  
    u = evaluateSolution(X);  
    if (u > bestU) {  
        bestU = u;  
        for (int i=0; i<numX; i++) bestX[i] = X[i];  
    }  
}
```

Pav. 2: Visų galimų sprendinių perrinkimas

Šio ciklo iš esmės “aklai” parelizuoti negalima, nes reikia atsižvelgti į tai kad:

- `increaseX` - keičia masyvo `X` reikšmę (Pav. 3), ir ne tik `index`-ąjį elementą, rekursyviai kviesdamas save sumažina `index` reikšmę vienu, t.y. iškvietus `increaseX` visos masyvos reikšmės yra keičiamos. To pasekmė, kad `index`-ojo elemento skaičiavimo negalima paskirstyti skirtingoms gijoms, kitaip vėlesnėms gijoms reikėtų laukti, kol praeita gija baigs savo darbą, visiškai nustelbiant paralelizavimo naudą.
- `increaseX` skaičiavimai priklauso vienas nuo kito, t.y. norint apskaičiuoti `X` reikšmę  $n$ -ame ciklo vykdyme, reikia pirma apskaičiuoti `X` reikšmę  $(n - 1)$ -ame ciklo vykdyme. Analogiškai negalima paralelizuoti nes kitos gijos lauktų, kol praeita gija baigs savo darbą.
- `if (u > bestU) { ... }` irgi gali tik vienas ciklas vienu metu, nes `bestU` ir `X` pakeitimas turi būti atliekamas “žingsniu” - t.y. atomiškai.

Iš esmės neperrašius `increaseX`, šios funkcijos ir jos kvietimo cikle, yra nepraktiška parelizuoti.

```

int increaseX(int *X, int index, int maxindex) {
    if (X[index]+1 < maxindex-(numX-index-1)) {
        X[index]++;
    }
    else {
        if ((index == 0) && (X[index]+1 == maxindex-(numX-index-1))) {
            return 0;
        }
        else {
            if (increaseX(X, index-1, maxindex)) X[index] = X[index-1]+1;
            else return 0;
        }
    }
    return 1;
}

```

Pav. 3: Funkcija increaseX

Tuo tarpu funkcija evaluateSolution (Pav. 4) nekeičia jokių globalių kintamųjų ar savo argumentų. Analitiškai žiūrint galima spėti, kad čia ir didžioji dalis skaičiavimo laiko yra sugaištama. Teorinis šios funkcijos *big O* yra  $O(\text{numDP} \cdot \text{numX})$ , tuo tarpu increaseX rekursyviai save gali iškviesti daugiausiai numX kartų.

```

double evaluateSolution(int *X) {
    double U = 0;
    double totalU = 0;
    int bestPF;
    int bestX;
    double d;

    for (int i=0; i<numDP; i++) {
        totalU += demandPoints[i][2];
        bestPF = 1e5;
        for (int j=0; j<numPF; j++) {
            d = HaversineDistance(i, j);
            if (d < bestPF) bestPF = d;
        }
        bestX = 1e5;
        for (int j=0; j<numX; j++) {
            d = HaversineDistance(i, X[j]);
            if (d < bestX) bestX = d;
        }

        if (bestX < bestPF) U += demandPoints[i][2];
        else if (bestX == bestPF) U += 0.3*demandPoints[i][2];
    }
    return U/totalU*100;
}

```

Pav. 4: Funkcija evaluateSolution

## Sprendimo paralelizavimas

Dėl anksčiau išvardintų priežasčių `increaseX` apskaičiavimas išskiriamas į `critical` bloką, tam, kad tik viena gija galėtų modifikuoti `X` reikšmę vienu metu. Apskaičiavus ir atnaujinus `X`, kiekviena gija susikuria savo `X` kopiją - `localX`. Šią kopiją galima naudoti `evaluateSolution` nes jinais ne bus keičiama. Kiekviena gija taip pat gauna `u` kopiją į kurią įrašo `evaluateSolution` apskaičiuotą reikšmę. Ciklo gale vėl naudojamas `critical`, tam kad tik viena gija vienu metu galėtų įvertinti `u > bestU` ir pakeisti `bestU` ir `bestX` reikšmes.

```
bool increased = true;
int *manyXs = new int[NUM_THREADS * numX];

#pragma omp parallel private(u)
{
    while (increased) {
        int thread_id = omp_get_thread_num();
        int *localX = manyXs + (thread_id * numX);

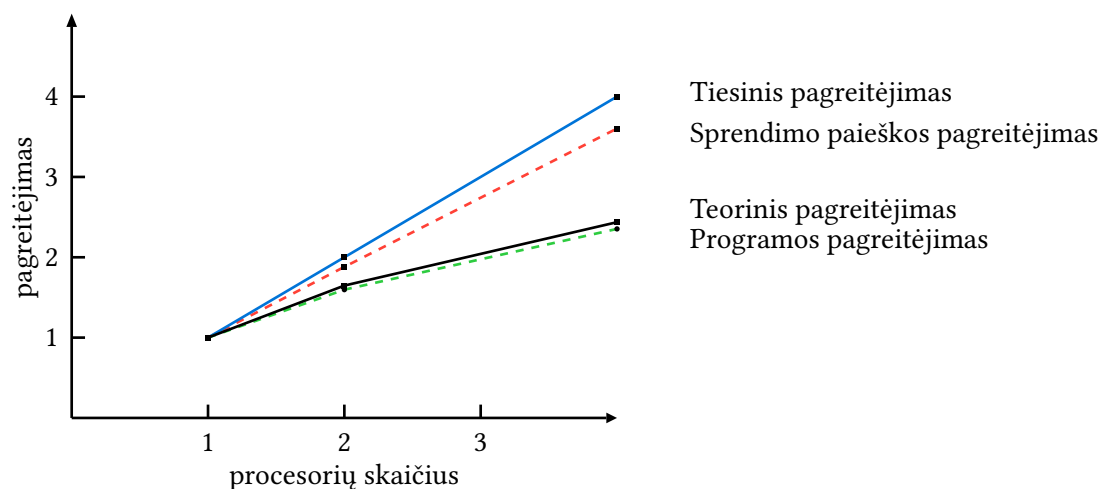
        #pragma omp critical(increaseX)
        {
            increased = increaseX(X, numX-1, numCL);
            memcpy(localX, X, sizeof(int) * numX);
        }

        u = evaluateSolution(localX);

        #pragma omp critical(best)
        {
            if (u > bestU) {
                bestU = u;
                memcpy(bestX, localX, sizeof(int) * numX);
            }
        }
    }
}
```

Pav. 5: Paralelizuotas visų galimų sprendinių perrinkimas

## Rezultatai



Graph 1: pagreitėjimo ir procesorių skaičiaus santykis

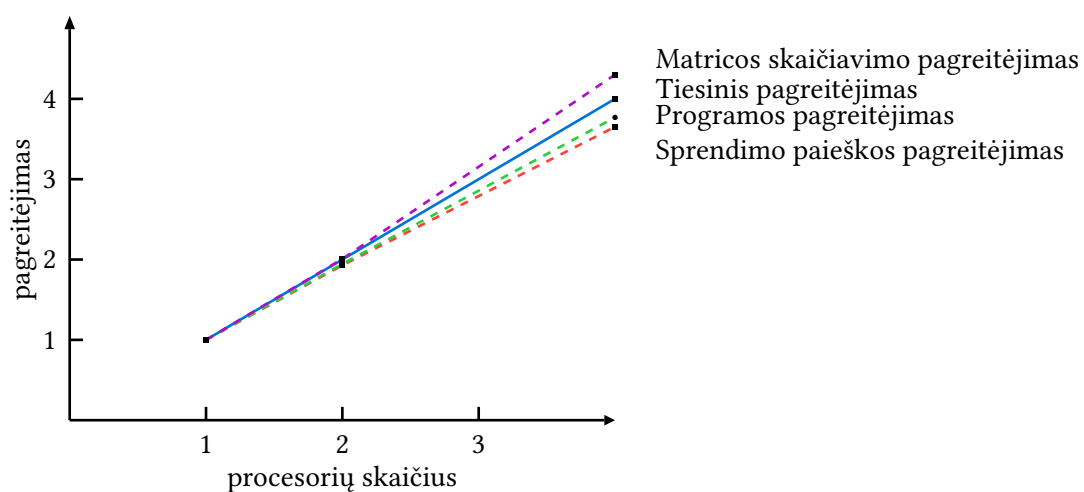
## Antra dalis

Šioje vietoje for direktyva atrodo lengvai pritaikoma, kadangi atstumų matricos kiekvieną eilutę galima apskaičiuoti nepriklausomai nuo to ar praeitos eilutės yra apskaičiuotos. Tačiau, pirmos eilutės reikia žymiai mažiau laiko negu paskutinesnės, todėl pritaikyta guided paskirstymo (angl. *scheduling*) direktyva. Tai leidžia efektyviau paskirstyti ciklą darbą per skirtingas gijas.

```
distanceMatrix = new double*[numDP];  
#pragma omp parallel  
{  
    #pragma omp for schedule(guided)  
    for (int i=0; i<numDP; i++) {  
        distanceMatrix[i] = new double[i+1];  
        for (int j=0; j<=i; j++) {  
            distanceMatrix[i][j] = HaversineDistance(  
                demandPoints[i][0],  
                demandPoints[i][1],  
                demandPoints[j][0],  
                demandPoints[j][1]  
            );  
        }  
    }  
}
```

Pav. 6: Paralelizuotas atstumų matricos skaičiavimas

## Rezultatai



Graph 2: pagreitėjimo ir procesorių skaičiaus santykis