Laboratorium 4: Zastosowanie szeregowania afinicznego do znalezienia partycjonowania czasu.

Wariant pętli 1

```
for (int i=1; i<=n; i++)
    for (int j=1; j<=n; j++)
        a[i][j] = a[i][j-1] + a[i+1][j];
```

Zadanie 1.

Dla wskazanej pętli za pomocą kalkulatora ISCC znaleźć relację zależności R, przestrzeń iteracji LD, oraz zrobić rysunek grafu zależności w przestrzeni 6 x 6.

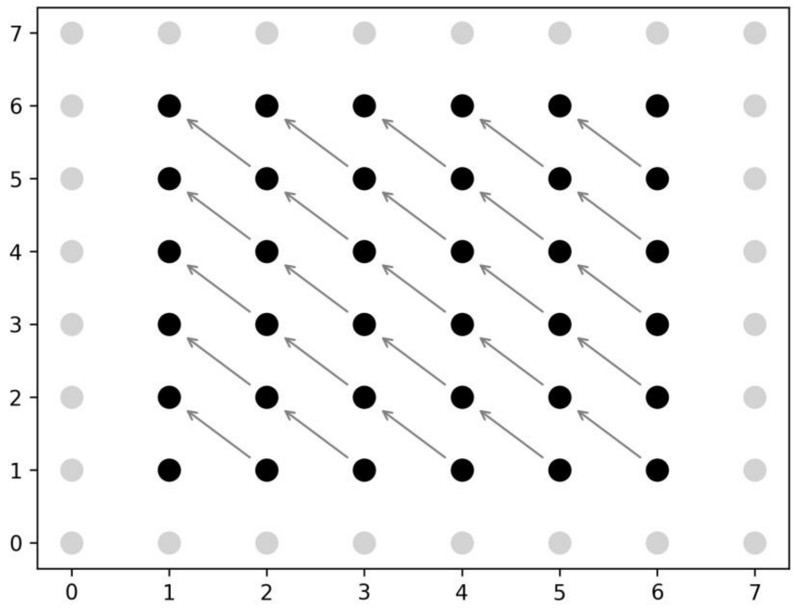
"Loop domain:"

```
[n] -> { S_0[i, j] : 0 < i <= n and 0 < j <= n }
```

"R"

```
[n] -> { S_0[i, j] -> S_0[i' = i, j' = 1 + j] : 0 < i < n and 0 < j < n; S_0[i, j] ->
S_0[i' = 1 + i, j' = j] : 0 < i <= -2 + n and 0 < j < n }
```

Rysunek grafu zależności w przestrzeni 6x6:



Zadanie 2.

Za pomocą operatora kalkulatora ISCC: IslSchedule := schedule LD respecting R minimizing R znaleźć szeregowanie afiniczne w postaci drzewa.

Szeregowanie afiniczne w postaci drzewa:

```
domain: "[n] -> { S_0[i, j] : 0 < i <= n and 0 < j <= n }"
child:
  schedule: "[n] -> [{ S_0[i, j] -> [(i)] }, { S_0[i, j] -> [(j)] }]"
  permutable: 1
  coincident: [ 1, 1 ]
```

W drzewie znajdują się dwa szeregowania:

- `[n] -> {[i, j] -> [(i)] },` czyli transformacje afiniczne: c1=1, c2=0
- `[n] -> {[i, j] -> [(j)] },` czyli transformacje afiniczne: c1=0, c2=1

Oznacza to, że istnieje możliwość implementacji techniki waveifronting.

Zadanie 3.
Za pomocą operatora kalkulatora ISCC: map przekonwertować szeregowanie afiniczne w postaci drzewa na szeregowanie w postaci relacji.

Szeregowanie w postaci relacji:
[n] -> { S_0[i, j] -> [i, j] }

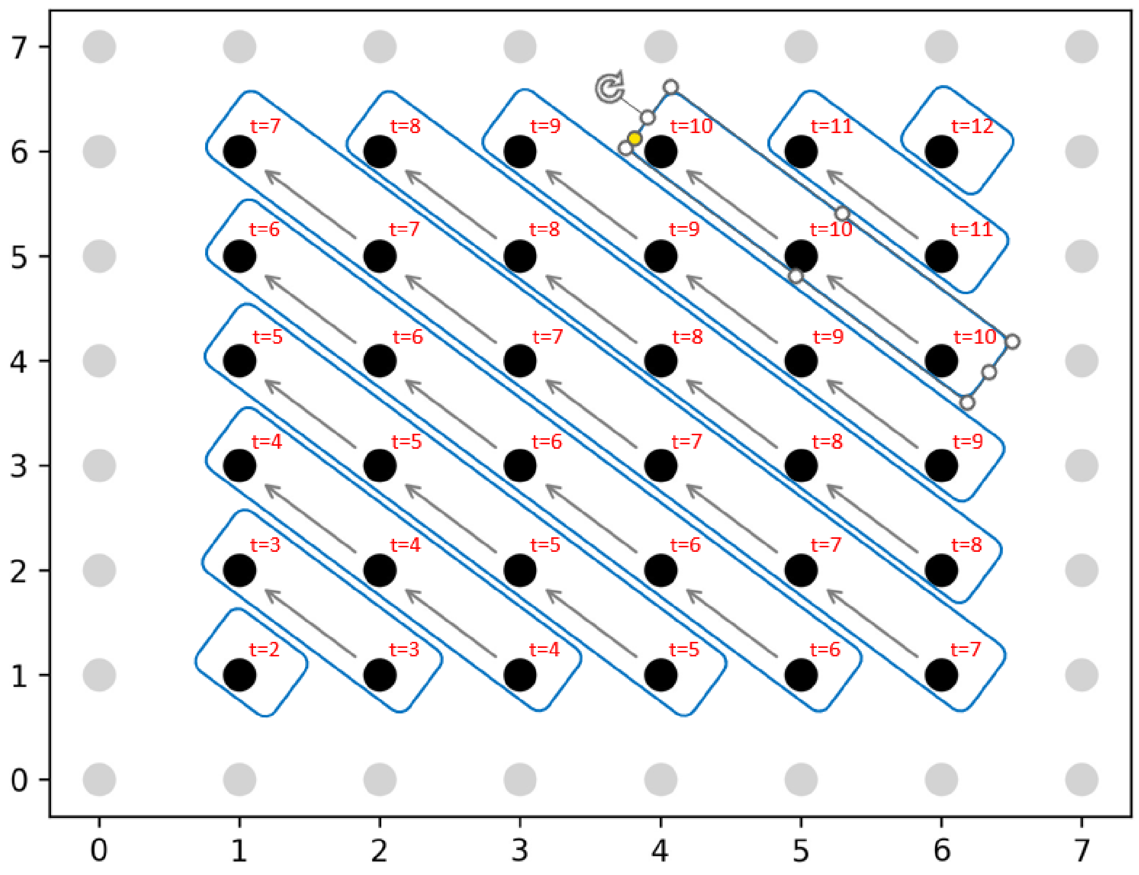
Zadanie 4.
Utworzyć szeregowanie, które pozwala na implementację techniki fali frontowej (wave-fronting) na poziomie iteracji.
Aby utworzyć szeregowanie pozwalające na wave-fronting, należy zsumować prawe strony obydwu szeregowań. W ten sposób otrzymujemy: *i+j*.

Wywołana funkcja:
```
WAVE_FR:=[n] -> { [i, j] -> [t=i+j] }*LD;
```

daje poniższy wynik:
```
[n] -> { S_0[i, j] -> [t = i + j] : 0 < i <= n and 0 < j <= n }
```

Zadanie 5.
Stosując uzyskane w punkcie 4 szeregowanie za pomocą operatora scan znaleźć wszystkie partycje czasu dla przestrzeni 6x6 (12x12) i nanieść uzyskane partycje na rysunek utworzony w p.1.

"scan (WAVE_FR*[n]->{:n=6})"
```
[n] -> { S_0[i = 6, j = 6] -> [t = 12] : n = 6; S_0[i = 5, j = 6] -> [t = 11] : n = 6;
S_0[i = 6, j = 5] -> [t = 11] : n = 6; S_0[i = 4, j = 6] -> [t = 10] : n = 6; S_0[i = 5,
j = 5] -> [t = 10] : n = 6; S_0[i = 6, j = 4] -> [t = 10] : n = 6; S_0[i = 3, j = 6] ->
[t = 9] : n = 6; S_0[i = 4, j = 5] -> [t = 9] : n = 6; S_0[i = 5, j = 4] -> [t = 9] : n =
6; S_0[i = 6, j = 3] -> [t = 9] : n = 6; S_0[i = 2, j = 6] -> [t = 8] : n = 6; S_0[i = 3,
j = 5] -> [t = 8] : n = 6; S_0[i = 4, j = 4] -> [t = 8] : n = 6; S_0[i = 5, j = 3] -> [t
= 8] : n = 6; S_0[i = 6, j = 2] -> [t = 8] : n = 6; S_0[i = 1, j = 6] -> [t = 7] : n = 6;
S_0[i = 2, j = 5] -> [t = 7] : n = 6; S_0[i = 3, j = 4] -> [t = 7] : n = 6; S_0[i = 4, j
= 3] -> [t = 7] : n = 6; S_0[i = 5, j = 2] -> [t = 7] : n = 6; S_0[i = 6, j = 1] -> [t =
7] : n = 6; S_0[i = 1, j = 5] -> [t = 6] : n = 6; S_0[i = 2, j = 4] -> [t = 6] : n = 6;
S_0[i = 3, j = 3] -> [t = 6] : n = 6; S_0[i = 4, j = 2] -> [t = 6] : n = 6; S_0[i = 5, j
= 1] -> [t = 6] : n = 6; S_0[i = 1, j = 4] -> [t = 5] : n = 6; S_0[i = 2, j = 3] -> [t =
5] : n = 6; S_0[i = 3, j = 2] -> [t = 5] : n = 6; S_0[i = 4, j = 1] -> [t = 5] : n = 6;
S_0[i = 1, j = 3] -> [t = 4] : n = 6; S_0[i = 2, j = 2] -> [t = 4] : n = 6; S_0[i = 3, j
= 1] -> [t = 4] : n = 6; S_0[i = 1, j = 2] -> [t = 3] : n = 6; S_0[i = 2, j = 1] -> [t =
3] : n = 6; S_0[i = 1, j = 1] -> [t = 2] : n = 6 }
```



Zadanie 6.

Wygenerować pseudokod i kod kompilowalny implementujący technikę fali frontowej.

Wygenerowany pseudokod:

```
for (int c0 = 2; c0 <= 2 * n; c0 += 1)
  for (int c1 = max(1, -n + c0); c1 <= min(n, c0 - 1); c1 += 1)
    (c1, c0 - c1);
```

Kod kompilowalny:

```
for (int c0 = 2; c0 <= 2 * n; c0 += 1)
  #pragma openmp parallel for
  for (int c1 = max(1, -n + c0); c1 <= min(n, c0 - 1); c1 += 1)
    a[c1][c0 - c1] = a[c1][c0 - c1-1] + a[c1 + 1][c0 - c1];
```

Zadanie 7.

Zastosować program porównujący wyniki obliczeń (zadanie 7, L2) do sprawdzenia poprawności kodu docelowego w przestrzeni 6x6 (12x12).

Wynik uruchomionej aplikacji porównującej:

```
Parallel code result:
00 01 02 03 04 05
00 01 03 06 10 15
00 01 03 06 10 15
```

```
00 01 03 06 10 15
00 01 03 06 10 15
00 01 03 06 10 15

Generated code result:
00 01 02 03 04 05
00 01 03 06 10 15
00 01 03 06 10 15
00 01 03 06 10 15
00 01 03 06 10 15
00 01 03 06 10 15

Results are identical.
```

Zadanie 8.

Wygenerować kod reprezentujący kompilowalną pętlę całkowicie wymienną (patrz skrypt L4).

Korzystając z wcześniej uzyskanego szeregowania:

`[n] -> [{[i, j] -> [(i)] }, {[i, j] -> [(j)] }].`

Szeregowanie C pozwalające na wygenerowanie pętli całkowicie wymiennej:

`C=(i,j)`

Relacja:

`FULL_PERM:= [n]->{[I]->[C]};`

gdzie I=(i,j), C=(i,j).

"codegen FULL_PERM"

```
for (int c0 = 1; c0 <= n; c0 += 1)
  for (int c1 = 1; c1 <= n; c1 += 1)
    S_0(c0, c1);
```

Zadanie 9.

Sprawdzić, że jest to pętla całkowicie wymienna poprzez obliczenie relacji zależności dla pętli wygenerowanej w p. 8 i zastosowanie operatora deltas do tej relacji. Wszystkie elementy uzyskanego wektora dystansu powinny być nieujemne.

Relacja dla wygenerowanej pętli:

```
[n] -> { S_0[c0, c1] -> S_0[c0' = c0, c1' = 1 + c1] : 0 < c0 < n and 0 < c1 < n; S_0[c0,
c1] -> S_0[c0' = 1 + c0, c1' = c1] : 0 < c0 <= -2 + n and 0 < c1 < n }
```

Loop domain:

```
[n] -> { S_0[c0, c1] : 0 < c0 <= n and 0 < c1 <= n }
```

Deltas:

```
[n] -> { S_0[c0 = 0, c1 = 1] : n >= 2; S_0[c0 = 1, c1 = 0] : n >= 3 }
```

Wszystkie elementy uzyskanego wektora dystansu są nieujemne, co oznacza, że jest to pętla całkowicie wymienna.

Załączniki:

Skrypt wykonujący zadania.

```
##Znalezienie zaleznosci
P := parse_file "1-my.c";

print "Loop domain:";
Domain := P[0];
LD := Domain;
print Domain;

Write := P[1] * Domain;
Read := P[3] * Domain;
Schedule := P[4];
Before := Schedule << Schedule;
RaW := (Write . (Read^-1)) * Before;
WaW := (Write . (Write^-1)) * Before;
WaR := (Read . (Write^-1)) * Before;

R := (RaW+WaW+WaR);
print "R";
print R;

print "scan (R*[n]->{:n=6})";
scan (R*[n]->{:n=6});

##krok 2
IslSchedule := schedule LD respecting R minimizing R;
print "IslSchedule";
IslSchedule;

##krok 3
SCHED:= map IslSchedule;
print "SCHED";
SCHED;

##krok 4 wavefronting
WAVE_FR:=[n] -> { [i, j] -> [t=i+j] }*LD;
print "WAVE_FR";
WAVE_FR;

#krok 5
print "scan (WAVE_FR*[n]->{:n=6})";
scan (WAVE_FR*[n]->{:n=6});

##krok 6 wygenerowanie pseudokodu
CODE:= [n] -> { [i, j] -> [i + j, i,j] : 0 < i <= n and 0 < j <= n };
print "CODE";
CODE;

scan (CODE*[n]->{:n=2});
codegen CODE;
```

```
## krok 8
FULL_PERM:= [n]-> {[i,j]->[i,j]}*LD;

## generujemy pseudokod
print "codegen FULL_PERM";
codegen FULL_PERM;
```

Kod aplikacji porównującej.

```
// gcc -fopenmp 5-joined.c && ./a.out
#include <stdio.h>
#include <time.h>
#include <math.h>
#define ceild(n,d)  ceil(((double)(n))/((double)(d)))
#define floord(n,d) floor(((double)(n))/((double)(d)))
#define max(x,y)    ((x) > (y)? (x) : (y))
#define min(x,y)    ((x) < (y)? (x) : (y))

int main() {
    int n = 6;
    int aInput[n+1][n+1];
    int aGenerated[n+1][n+1];

    for (int i = 0; i <= n; i++)
        for (int j = 0; j <= n; j++) {
            aInput[i][j] = j;
            aGenerated[i][j] = j;
    }

    // wejściowy
    for (int i = 1; i <= n; i++) {
        for (int j = 1; j <= n; j++) {
            aInput[i][j] = aInput[i][j-1] + aInput[i+1][j];
        }
    }

    // wygenerowany
    for (int c0 = 2; c0 <= 2 * n; c0 += 1)
       #pragma openmp parallel for
        for (int c1 = max(1, -n + c0); c1 <= min(n, c0 - 1); c1 += 1) {
            aGenerated[c1][c0 - c1] = aGenerated[c1][c0 - c1-1] + aGenerated[c1+1][c0 - c1];
    }

    printf("Initial code result:\n");
    for (int i = 0; i < n; i++) {
        for (int j = 0; j < n; j++) {
            printf("%02d ", aInput[i][j]);
        }
        printf("\n");
    }

    printf("\nGenerated code result:\n");
    for (int i = 0; i < n; i++) {
        for (int j = 0; j < n; j++) {
            printf("%02d ", aGenerated[i][j]);
        }
        printf("\n");
    }


    int noMatchCount = 0;
    for (int i = 0; i < n; i++) {
        for (int j = 0; j < n; j++) {
            if (aInput[i][j] != aGenerated[i][j]) {
                noMatchCount++;
                // printf("Not matching at: [%d][%d]\n", i, j);
            }
        }
    }

    if (noMatchCount > 0)
        printf("\nResults are not identical. %d values do not match.\n", noMatchCount);
    else
        printf("\nResults are identical.\n");

    return 0;
}
```