

# Specyfikacja funkcjonalna programu *grafexe*

v2.0

Konrad Skarżyński

Krystian Sereda

## Cel projektu

Program *grafexe* wyznacza pomiędzy określonymi parami węzłów najkrótszą ścieżkę wykorzystując algorytm Dijkstry. Program działa w trybie wsadowym i umożliwia generowanie lub wczytanie grafu, sprawdzanie spójności grafu, poprzez wykorzystanie algorytmu BFS, oraz wyznaczanie najkrótszej ścieżki pomiędzy dowolną liczbą par węzłów.

## Scenariusze działania

1. Generowanie grafu spójnego lub losowego;
2. Wczytywanie grafu;
3. Sprawdzanie spójności grafu;
4. Znajdowanie najkrótszej ścieżki między węzłami;
5. Wyświetlenie informacji o działaniu programu;

Użytkownik może łączyć przedstawione scenariusze.

## Dane wejściowe

Do poprawnego działania programu niezbędne będą dane dotyczące wykorzystywanego przez program grafu. W zależności od sposobu dostarczenia tej informacji podawane będą odmienne dane wejściowe.

- Nazwa generowanego przez program grafu lub istniejącego, użytkownik nadaje ją jako jednocłonowy wyraz, w którym występować mogą symbole z alfabetu łacińskiego, cyfry oraz symbole specjalne. Długość nazwy zawiera się w 64 znakach. Odczytywany plik z grafem powinien zawierać w kolejnych liniach, które odpowiadają numerom węzłów (pierwsza linia w pliku odpowiada węzłowi numer zero) oddzielone znakiem białym numer węzła, z którym następuje połączenie ścieżką z aktualnego węzła oraz waga tej ścieżki, w przedstawionej kolejności. W jednej linii znajdują się odpowiednio wprowadzone wszystkie ścieżki poprowadzone z aktualnego węzła.

UWAGA: W pełni obsługiwany graf może mieć maksymalnie 40000 wierzchołków. Przy większych grafach może nastąpić problem związany z alokowaniem pamięci.

- Nazwa podawanego przez użytkownika pliku z danymi do określania najkrótszych ścieżek nadawana jako jednoczłonowy wyraz, w którym występować mogą symbole z alfabetu łacińskiego, cyfry oraz symbole specjalne. Długość nazwy zawiera się w 64 znakach. Każda następna linia powinna składać się z dwóch liczb określających kolejno pierwszy i drugi węzeł z przedziału  $<0, w*k-1>$ .
- Liczba wierszy (w), kolumn (k): podawana jako liczba naturalna, większa od jeden.
- Przedział, z którego losowane będą wartości wag przejść podawane poprzez liczbę będącą początkiem (f) oraz końcem (t) tego przedziału ( $f < t$ ).
- Liczba (n) tworzonych najkrótszych ścieżek między parami węzłów określonych kolejno w załączonym pliku. Najkrótszą ścieżką określamy przejście między węzłami, których suma wag pojedynczych przejść jest najmniejsza. (n - liczba naturalna)

Przykładowy wygląd pliku z grafem:

2 3

2 :0.9052198542771953

0 :0.9052198542771953

5 :13.6148927475395105

3 :13.6148927475395105

Pierwsze dwie liczby to kolejno liczba kolumn oraz liczba wierszy grafu. Pusta linia oznacza, że z danego wierzchołka nie wychodzi żadne połączenie z innym wierzchołkiem.

Przykładowy wygląd pliku z parami węzłów, między którymi ma zostać obliczona najkrótsza ścieżka:

0 3

1 9

8 2

5 7

0 12

3 14

## Argumenty

Program *grafexe* przyjmuje następujące argumenty:

- **-g graf** powoduje wygenerowanie grafu do pliku o określonej nazwie.
- **-p x1** określa liczbę kolumn generowanego grafu.
- **-q x2** określa liczbę wierszy generowanego grafu.
- **-f k** określa początek przedziału, z którego losowane są wagi ścieżek.
- **-t 1** określa koniec przedziału, z którego losowane są wagi ścieżek.

- **-r plikr** powoduje wczytanie grafu znajdującego się w określonym przez użytkownika.
- **--bfs** powoduje sprawdzenie spójności grafu oraz wypisanie adekwatnego komunikatu.
- **--file plikf** powoduje wczytanie par węzłów z pliku określonego przez użytkownika.
- **-h|--help** powoduje wyświetlenie się pomocy dotyczącej uruchamiania programu: tj. objaśnienie użycia poszczególnych flag.
- **-n liczba\_sciezek** określa ilość tworzonych ścieżek między odpowiednimi węzłami wczytywanymi z pliku.
- **--spojny** powoduje zapewnienie spójności generowanego grafu.

## Użycie

Wzorcowe wywołanie programu zawierające relacje pomiędzy poszczególnymi flagami programu:

```
$: /grafexe [ -h|--help ] | [ [-g nazwa_pliku -p <x1> -q <x2> -f <k> -t <l>
[--spojny] [--bfs] [-n liczba_sciezek --file plikf]] | [-r nazwa_pliku [ --bfs ]
[-n liczba_sciezek --file plikf] ] ]
```

## Przykładowe wywołania programu

```
./grafexe -g grafjeden -n 2 -p 5 -q 6 -f 0 -t 11 --bfs --file punkty
```

Efektem będzie stworzenie przez program grafu o 5 kolumnach i 6 wierszach z wagami przejść z zakresu 0 - 11 oraz zapisanie go do pliku o nazwie “grafjeden”. Następnie zostanie sprawdzona spójność grafu oraz wyznaczona najkrótsza ścieżka pomiędzy pierwszymi dwoma parami węzłów określonych w pliku “punkty”.

```
./grafexe -r plik --bfs --file pary -n 15
```

Efektem będzie odczytanie z pliku o nazwie “plik” grafu, sprawdzenie jego spójności oraz wyznaczenie najkrótszej ścieżki pomiędzy pierwszymi 15 parami węzłów określonych w pliku “pary”.

## Teoria

**Algorytm Dijkstry** - algorytm służący do wyznaczania najkrótszych ścieżek w grafie. Wyznacza on najkrótsze ścieżki z jednego wierzchołka (wierzchołka źródłowego) do pozostałych wierzchołków, przy założeniu, że wagi krawędzi grafu nie są ujemne.

**Zasada działania:** Tworzymy dwa zbiory wierzchołków  $Q$  i  $S$ . Zainicjowany zbiór  $Q$  zawiera wszystkie wierzchołki grafu, a zbiór  $S$  jest pusty. Dla wszystkich wierzchołków  $u$  grafu za wyjątkiem startowego  $v$  ustawiamy koszt dojścia  $d(u)$  na nieskończoność. Koszt dojścia  $d(v)$  zerujemy. Dodatkowo ustawiamy poprzednik  $p(u)$  każdego wierzchołka  $u$  grafu na niezdefiniowany (liczba ujemna). Poprzednie wierzchołki będą wyznaczały w kierunku odwrotnym najkrótsze ścieżki od wierzchołków  $u$  do wierzchołka startowego  $v$ . Dopóki zbiór  $Q$  zawiera wierzchołki, wykonujemy następujące czynności:

- Wybieramy ze zbioru  $Q$  wierzchołek  $u$  o najmniejszym koszcie dojścia  $d(u)$ .
- Wybrany wierzchołek  $u$  przenosimy ze zbioru  $Q$  do zbioru  $S$ .
- Dla każdego sąsiada  $w$  wierzchołka  $u$ , który jest wciąż w zbiorze  $Q$ , sprawdzamy, czy
- $d(w) > d(u) + \text{waga krawędzi } u-w$ .
- Jeśli tak, to należy wyznaczyć nowy koszt dojścia do wierzchołka  $w$  jako:
- $d(w) \leftarrow d(u) + \text{waga krawędzi } u-w$ .
- Następnie wierzchołek  $u$  czynimy poprzednikiem  $w$ :
- $p(w) \leftarrow u$ .

**BFS** - algorytm przeszukiwania grafów wszerz, wykorzystujący kolejkę FIFO (First in first out). Przechodzenie grafu rozpoczyna się od wybranego wierzchołka  $s$  i polega na sprawdzeniu wszystkich osiągalnych z niego wierzchołków. Wynikiem działania algorytmu jest drzewo przeszukiwania wszerz o korzeniu w  $s$ , zawierające wszystkie wierzchołki osiągalne z  $s$ . Do każdego z tych wierzchołków prowadzi dokładnie jedna ścieżka z  $s$ , która jest jednocześnie najkrótszą ścieżką w grafie wejściowym.

Źródła:

- [https://pl.wikipedia.org/wiki/Przeszukiwanie\\_wszerz](https://pl.wikipedia.org/wiki/Przeszukiwanie_wszerz)
- [https://edufinf.waw.pl/inf/alg/001\\_search/0126.php](https://edufinf.waw.pl/inf/alg/001_search/0126.php)
- [https://edufinf.waw.pl/inf/alg/001\\_search/0138.php](https://edufinf.waw.pl/inf/alg/001_search/0138.php)

## Komunikaty oraz błędy

Wystąpienie większości błędów wiąże się z przerwaniem działania programu. Przedstawione komunikaty to schematy komunikatów, które będą wyświetlane, a w miejsce pogrubionych wyrażeń wstawiane będą odpowiednie zmienne. Komunikaty wyświetlane będą bez polskich znaków, aby zabezpieczyć program przed występowaniem różnych znaków w miejscu polskich liter w niektórych programach/systemach.

- Podanie argumentu bez wcześniejszego podania flagi:  
“*Sprawdź poprawność wprowadzanych argumentów.*”

\*Wyświetlona zostanie pomoc dotycząca działania programu, taka sama jak w przypadku podania flagi “-h” lub “--help”.

- Podanie liczby węzłów w postaci liczby większej od jeden i niecałkowitej lub w postaci liczby nie większej niż jeden:

*“Wprowadzono niepoprawną liczbę kolumn lub węzłów.” err2*

- Podanie liczby określającej początek przedziału, z którego losowane są wagi przejść w grafie większej niż liczby określającej koniec tego przedziału:

*“Podany przedział wag nie jest poprawny.” err3*

- Podanie złej nazwy flagi:

*“ Wprowadzono nieznana flage.” err4*

- Podanie nazwy pliku nieistniejącego lub podanie niepoprawnej nazwy przy fladze odczytywania węzłów, między którymi mają zostać znalezione najkrótsze ścieżki:

*“[czytac.c]: Nie udalo sie otworzyc pliku z wierzchołkami”*

- Podanie nazwy pliku nieistniejącego lub podanie niepoprawnej nazwy przy fladze odczytywania grafu z pliku:

*“[czytac.c]: Nie udalo sie otworzyc pliku z grafem : **plik**”*

- Nieodpowiednie wprowadzenie argumentów:

*“Sprawdz poprawnosc wprowadzanych argumentow.”*

\*Wyświetlona zostanie pomoc dotycząca działania programu, taka sama jak w przypadku podania flagi “-h” lub “--help”.

- Brak jakichkolwiek danych wejściowych:

\*Wyświetlona zostanie pomoc dotycząca działania programu, taka sama jak w przypadku podania flagi “-h” lub “--help”.

- Wprowadzenie ilości kolumn lub wierszy bez podania flagi “-g”:

*“Nie wprowadzono flagi ‘-g’, dlatego program nie utworzy grafu o okreslonych parametrach.” err5*

- Nieodpowiednio zapisany graf w odczytywanym pliku:

*“[czytac.c]: Zly format pliku z grafem [fscanf]”*

- Wprowadzenie nieodpowiedniej liczby (mniejszej niż zero) określającej jeden z końców przedziału, z którego losowane zostaną wagi:

*“Wprowadzono niewlasciwa liczbe wyznaczajaca przedzial, z ktorego losowane beda wagi.”*

*err8*

- Nieodpowiednia (nienaturalna) liczba określająca ilość wyszukanych ścieżek:

*“Wprowadzono nieodpowiednia liczbe okreslajaca ilosc par, miedzy ktorymi wyznaczone beda sciezki.” err7*

- Liczba określająca ilość tworzonych ścieżek jest naturalna i większa niż ilość par określających początek i koniec danej drogi lub zły format pliku z parami wierzchołków.

*“[czytac.c]: Zly format pliku z wierzchołkami lub bledna informacja o ilosci drog do znalezienia 'wprowadzaliczba'”*

- Nie podano przedziału wagowego lub brak argumentu/flagi dla generowanego grafu.  
*“Brak przedzialu wagowego dla generowanego grafu”. err8*
- Generowanie grafu, który zawiera więcej niż 40000 wierzchołków:  
*“Wielkosc grafu jest zbyt duza. Obslugiwane grafy moga miec co najwyzej 40000 wierzchołkow.” err10*
- Nie określone wyżej inne błędy związane z wywołaniem programu.

\*Wyświetlony zostanie pomoc dotycząca działania programu, taka sama jak w przypadku podania flagi “-h” lub “--help”.

- Inne komunikaty związane z problemami wykrytymi w poszczególnych plikach na kolejnych etapach działania programu np. braku możliwości zaalokowania pamięci dla grafu lub kolejnymi etapami działania programu.

## Specyfikacja implementacyjna programu *grafexe*

### Podział i opis plików

- **main.c**  
Odpowiada za uporządkowanie działania podprogramów znajdujących się w pozostałych plikach, sprawdzenie wystąpienia ewentualnych błędów oraz odpowiednie odczytanie argumentów i flag.
- **komunikaty.c (komunikaty.h)**  
Przechowuje i pozwala wyświetlić odpowiednie komunikaty błędów.
- **bfs.c (bfs.h)**  
Pozwala sprawdzić spójność określonego grafu wykorzystując kolejkę.
- **dij.c (dij.h)**  
Pozwala odnaleźć najkrótszą ścieżkę między określonymi parami węzłów. Wykorzystuje kolejkę priorytetową.
- **generator.c (generator.h)**  
Pozwala wygenerować graf o określonej wielkości i wygenerować wagi ścieżek na podstawie podanego przez użytkownika przedziału. Pozwala też na wygenerowanie losowego lub zawsze spójnego grafu.

Jeżeli użytkownik zdecyduje się na wygenerowanie grafu, to zostanie on wygenerowany w macierzy sąsiedztwa, a następnie zapisany w postaci listy znajdującej się w podanym przez użytkownika pliku.

- **czytacz.c (czytacz.h)/czytacztemp.c**

Pozwala na wczytanie grafu oraz pliku zawierającego pary węzłów pomiędzy, którymi obliczone zostaną najkrótsze ścieżki i zapisanie ich do odpowiednich tablic.

Odpowiada za zaalokowanie pamięci dla określonej wielkości grafu i wypełnienie go domyślnie liczbami “-1”.

W pliku czytacz.h znajduje się struktura odpowiedzialna za przechowywanie grafu:

```
typedef struct e{
    double* graph;
    int columns;
    int rows;
} *graph_t;
```

Plik czytacztemp.c wykorzystywany przy obsłudze (testowaniu) większych grafów.

- **pqmin.c (pqmin.h)**

Odpowiada za obsługę kolejki priorytetowej.

W pliku pqmin.h znajdują się struktury odpowiedzialne za kolejkę priorytetową wykorzystywaną w algorytmie dijkstry:

```
typedef struct {
    int vert; // numer indeksu
    double dist; // dystans
} * v_t;
```

```
typedef struct {
    v_t *q; // the queue of v_t
    int n; // actual # of doubles in it
    int s; // it's size
} * pq_t;
```

- **queue.c (queue.h)**

Odpowiada za interakcje z kolejką.

W pliku queue.h znajduje się struktura odpowiedzialna za kolejkę, która następnie wykorzystywana jest w algorytmie BFS, czy Dijkstry:

```
typedef struct q{
    int* que;
    int front;
    int rear;
```

```
int HowMany;  
int SIZE;  
} *ptr_t;
```

- bfs\_test.c; test\_dij.c; test\_czytacz.c; test\_que.c; test pqmin.c

W tych plikach znajdują się programy testujące poszczególne fragmenty programu. Wykonanie testów znajdujących się w tych plikach opisane zostało w rozdziale “Testy”.

- makefile

## Struktury danych

Graf przechowywany w postaci macierzy sąsiedztwa (tablicy jednowymiarowej) zawierającej informacje o możliwych przejściach między parami węzłów oraz wagach tych przejść.

Generator generuje graf w postaci macierzy sąsiedztwa, a następnie zapisuje ten graf w postaci listy w docelowym pliku.

Wykorzystane są struktury przedstawione już przy okazji opisu poszczególnych plików. Istotnym elementem całego programu jest wykorzystanie tablic, które są podstawowym elementem przechowywania danych w *grafexe*.

## Testy

Testy przeprowadzane są po osiągnięciu kolejnych istotnych elementów implementacyjnych, jak testy kolejki. Wyniki testów zapisane są w pliku dane oraz, w utworzonym po przeprowadzeniu testu, pliku “log”. Testy algorytmu BFS polegały na sprawdzeniu spójności grafów specjalnie tworzonych oraz generowanych przez generator. Wybrane wyniki testów znajdują się w podfolderach z testami w folderze “dane”. Część wyników testów samego generatora (w postaci macierzy sąsiedztwa) oraz generatora w połączeniu z plikiem main znajduje się w folderze dane/Testy generatora. Można przeprowadzić przykładowe testy poszczególnych podprogramów poprzez użycie komend “make test”; “make testgen”; “make test2” lub “make testgen2”.