

Specyfikacja funkcjonalna projektu 1

Sebastian Pietrykowski, Paweł Borkowski
Grupa projektowa nr 3

9 marca 2022

1 Cel projektu

Program tworzony w ramach projektu 1. znajduje najkrótszą możliwą ścieżkę pomiędzy dwoma wybranymi wierzchołkami oraz sprawdza, czy graf jest spójny. Potrafi on generować grafy o zadanej liczbie kolumn, wierszy oraz zakresie wartości, z którego będzie losowana waga krawędzi, podawanych przez użytkownika. Program dodatkowo wyposażony jest w możliwość zapisu wygenerowanego grafu do pliku oraz odczytu grafu z takiego pliku. W programie wykorzystywane są dwa algorytmy:

- algorytm Dijkstry – algorytm dzięki, któremu wyszukiwana jest najkrótsza ścieżka,
- algorytm BFS – algorytm umożliwiający sprawdzenie czy graf jest spójny.

Program działa w trybie wsadowym.

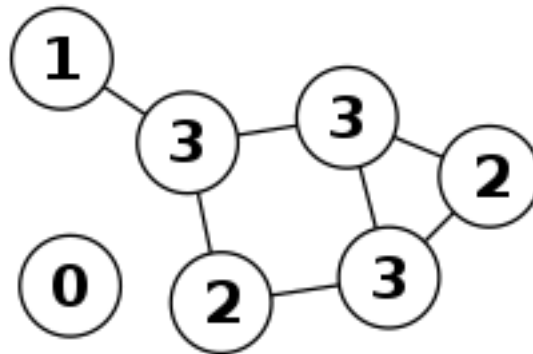
2 Teoria

Graf

Matematyczna struktura, oznaczana: $G = (V, E)$ składająca się z niepustego, skończonego zbioru wierzchołków V oraz zbioru połączeń między nimi, zwanymi krawędziami E .

Graf spójny i niespójny

Graf nazywamy spójnym jeśli istnieje droga pomiędzy każdym wierzchołkiem grafu. Jeśli w danym grafie dwa punkty nie są ze sobą połączone, to taki graf nazywamy niespójnym.



Rys.1 Przykładowy graf niespójny

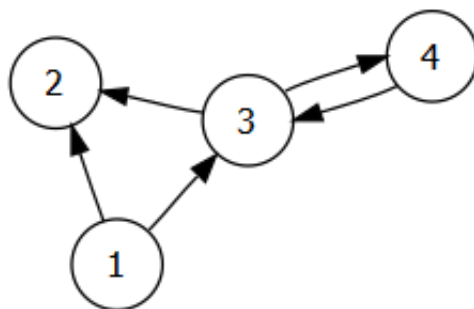
Graf skierowany

Rodzaj grafu definiowany jako uporządkowana para zbiorów. Pierwszy zbiór zawiera wierzchołki grafu, a drugi krawędzie będące uporządkowaną parą wierzchołków. Ruch po takim grafie jest możliwy tylko w kierunkach wskazanych przez krawędzie - od pierwszego wierzchołka do drugiego.

Matematyczna definicja: $G = (V, A)$

Gdzie:

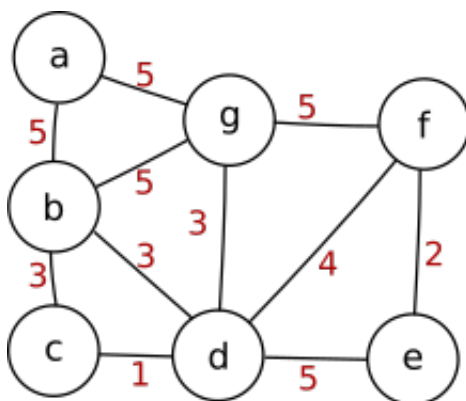
1. V – zbiór wierzchołków
2. A – uporządkowany zbiór par nazywanych krawędziami skierowanymi, będący podzbiorem $V \times V$
3. $e = (a, b)$ – krawędź skierowana z wierzchołka a do b



Rys.2 Przykładowy graf skierowany

Graf z wagami

Modyfikacja grafu polegająca na przypisaniu krawędziom lub wierzchołkom etykiet, przechowujących dodatkowe informacje. Etykiety liczbowe są często nazywane wagami, a graf – grafem z wagami.



Rys.3 Przykładowy graf z wagami

W programie wykorzystywany jest graf skierowany z wagami przyporządkowanymi krawędziom.

3 Dane wejściowe

Przy uruchamianiu programu możemy podać :

- plik tekstowy z zapisanym grafem

Przykładowy zapis grafu umieszczony jest poniżej:

7 4

1 :0.8864916775696521 4 :0.2187532451857941

5 :0.2637754478952221 2 :0.6445273453144537 0 :0.4630166785185348

6 :0.8650384424149676 3 :0.42932761976709255 1 :0.6024952385895536

```

7 :0.5702072705027322    2 :0.86456124269257

8 :0.9452864187437506    0 :0.8961825862332892    5 :0.9299058855442358

1 :0.5956443807073741    9 :0.31509645530519625    6 :0.40326574227480094    4 :0.44925728

10 :0.7910000224849713    7 :0.7017066711437372    2 :0.20056970253149548    5 :0.35513835

6 :0.9338390704123928    3 :0.797053444490967    11 :0.7191822139832875

4 :0.7500681437013168    12 :0.5486221194511974    9 :0.25413610146892474

13 :0.8647843756083231    5 :0.8896910556803207    8 :0.4952122733888106    10 :0.40183865

14 :0.5997502519024634    6 :0.5800735782304424    9 :0.7796297161425758    11 :0.37690937

15 :0.3166804339669712    10 :0.14817882621967496    7 :0.8363991936747263

13 :0.5380334165340379    16 :0.8450927265651617    8 :0.5238810833905587

17 :0.5983997022381085    9 :0.7870744571266874    12 :0.738310558943156    14 :0.45746700

10 :0.8801737147065481    15 :0.6153113201667844    18 :0.2663754517229303    13 :0.22588495

19 :0.9069409600272764    11 :0.7381164412958352    14 :0.5723418590602954

20 :0.1541384547533948    17 :0.3985282545552262    12 :0.29468967639003735

21 :0.7576872377752496    13 :0.4858285745038984    16 :0.28762266137392745    18 :0.626458825

17 :0.6628790185051667    22 :0.9203623808816617    14 :0.8394013782615275    19 :0.275147949

18 :0.6976948178131532    15 :0.4893608558927002    23 :0.5604145612239925

24 :0.8901867253885717    21 :0.561967244435089    16 :0.35835658210649646

17 :0.8438726714274797    20 :0.3311114339467634    25 :0.7968809594947989    22 :0.928194390

21 :0.6354858042070723    23 :0.33441278736675584    18 :0.43027465583738667    26 :0.374652267

27 :0.8914256412658524    22 :0.8708278171237049    19 :0.4478162295166256

20 :0.35178269705930043    25 :0.2054048551310126

21 :0.6830700124292063    24 :0.3148089827888376    26 :0.5449034876557145

27 :0.2104213229517653    22 :0.8159939689806697    25 :0.4989269533310492

26 :0.44272335750313074    23 :0.4353604625664018

```

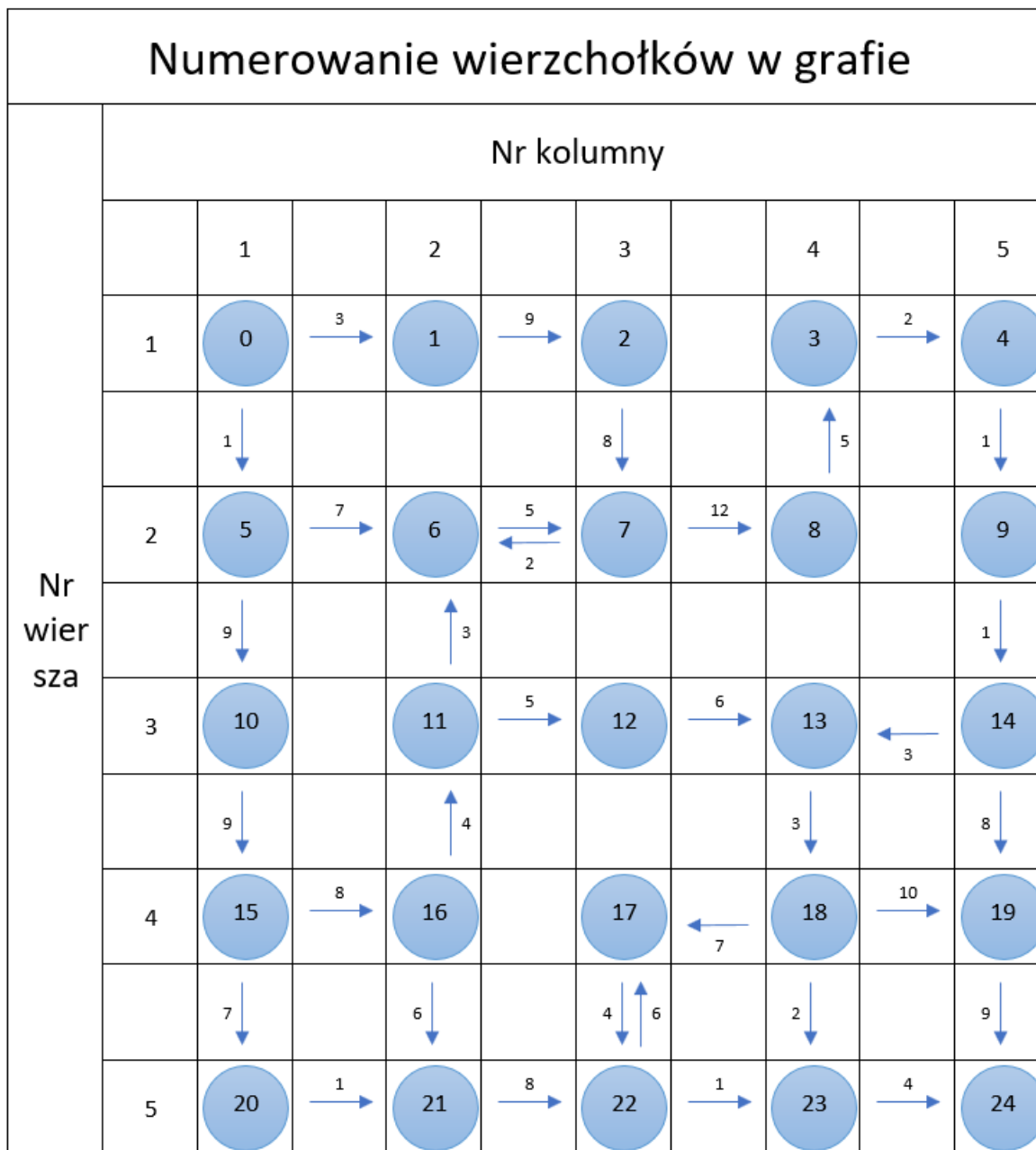
Dwie liczby na początku pliku oznaczają odpowiednio liczbę kolumn oraz liczbę wierszy. Każda następna linia reprezentuje wierzchołek, od którego zaczyna się krawędź, rozpoczynając numerację od wierzchołka nr 0. W liniach podane są numery wierzchołków, w których kończy się krawędź. Po odstępach podane są wagi dla konkretnych krawędzi, zaczynające się od przedrostka ":". Każdy wpis w linii oddzielony jest odstępem.

Dla przykładu:

Linia 2: 1 :0.8864916775696521 4 :0.2187532451857941 – Oznacza to, że wagi krawędzi, które łączą wierzchołki 0 z 1 oraz 0 z 4 wynoszą odpowiednio 0.8864916775696521 oraz 0.2187532451857941.

Uwaga: wagi w grafie nie mogą być ujemne.

Sposób numerowania wierzchołków został przedstawiony na poniższej grafice:



Rys.4 Sposób numerowania wierzchołków w grafie na przykładzie pewnego grafu.

4 Argumenty wywołania programu

Program akceptuje następujące argumenty wywołania:

- i input-file nazwa pliku z danymi wejściowymi; jeżeli określony, nie generuje pliku z grafem, określonym w -o output-file;

- -o output-file nazwa pliku przechowującego wygenerowany graf; pomijany jeżeli wczytano plik z danymi wejściowymi w -i input-file;
Jeżeli nie podano ani -i input-file, ani -o output-file, to następuje generowanie grafu;
- -c columns liczba kolumn w generowanym grafie; domyślna wartość columns=5;
- -r rows liczba wierszy w generowanym grafie; domyślna wartość rows=5;
- -f from-weight dolna granica wagi generowanej dla krawędzi w generowanym grafie; program generuje wagi w zakresie (from-weight,to-weight); domyślna wartość from-weight=0;
- -t to-weight górna granica wagi generowanej dla krawędzi w generowanym grafie; program generuje wagi w zakresie (from-weight,to-weight); domyślna wartość to-weight=1;
- -m 1|2|3 (mode) pozwala na wybór trybu działania programu:
 1. W przypadku generowania grafu: program generuje graf z wszystkimi możliwymi krawędziami (pomiędzy punktami sąsiadującymi poziomo lub pionowo) oraz z losowymi wagami. W przypadku czytania grafu: jeżeli graf nie posiada wszystkich możliwych krawędzi (pomiędzy punktami sąsiadującymi poziomo lub pionowo), program kończy działanie;
 2. W przypadku generowania grafu: program generuje graf spójny z losowymi wagami. W przypadku czytania grafu: jeżeli graf jest niespójny, program kończy działanie;
 3. W przypadku generowania grafu: program generuje graf z losowo występującymi krawędziami (spójny lub niespójny) oraz losowymi wagami. W przypadku czytania grafu: nie wpływa na działanie programu;

Domyślna wartość mode=3.

- -s start-vertex-number -e end-vertex-number określa wierzchołki, pomiędzy którymi ma zostać wyznaczona najkrótsza możliwa ścieżka – od wierzchołka start-vertex-number do wierzchołka end-vertex-number;
- -n 0|1 (check-connectivity) określa, czy program ma sprawdzić spójność grafu dla użytkownika; 0 – nie, 1 – tak; domyślna wartość 0;
- -p 0|1 (print-weights) określa, czy wypisane mają zostać wagi dla krawędzi w najkrótszej możliwej ścieżce; 0 – nie, 1 – tak; domyślna wartość 1;

Ogólny schemat wywołania:

```
./projekt1 [-i input-file | [ [-o output-file] [ [-c columns] [-r rows] [-f from-weight] [-t to-weight] ] ] ] [-m 1|2|3] [-s start-vertex-number -e end-vertex-number] [-n 0|1] [-p 0|1]
```

Przykładowe wywołania programu:

- ./projekt1 -o plik.txt -c 10 -r 10 -f 0 -t 2 -m 1 -n 0 -s 0 -e 12
Program wygeneruje graf do pliku plik.txt o 10 kolumnach i 10 rzędach oraz wagach w zakresie (0,2). Wybrano -m 1, więc graf wygeneruje się z wszystkimi możliwymi krawędziami (pomiędzy punktami sąsiadującymi poziomo lub pionowo) oraz z losowymi wagami. Program nie wydrukuje komunikatu, czy graf jest spójny. Znajdzie najkrótszą możliwą ścieżkę z wierzchołka 0 do wierzchołka 12. Domyślnie wydrukuje wagi dla krawędzi w najkrótszej możliwej ścieżce.
- ./projekt1 -o plik.txt -c 7 -r 9 -m 3 -n 1 -s 3 -e 20 -p 0
Program wygeneruje graf do pliku plik.txt o 7 kolumnach i 9 rzędach oraz wagach w domyślnym zakresie (0,1). Wybrano -m 3, więc graf wygeneruje się z losowo występującymi krawędziami (spójny lub niespójny) oraz z losowymi wagami. Program wydrukuje komunikat, czy graf jest spójny. Znajdzie najkrótszą możliwą ścieżkę z wierzchołka 3 do wierzchołka 20. Nie wydrukuje wag dla krawędzi w najkrótszej możliwej ścieżce.

- `./projekt1 -i plik.txt -m 1 -n 0 -s 1 -e 8`
Program odczyta graf z pliku `plik.txt`. Jeżeli graf nie posiada wszystkich możliwych krawędzi (pomiędzy punktami sąsiadującymi poziomo lub pionowo), to program przerwie działanie. Program nie wydrukuje komunikatu, czy graf jest spójny. Znajdzie najkrótszą możliwą ścieżkę z wierzchołka 1 do wierzchołka 8. Domyślnie wydrukuje wagi dla krawędzi w najkrótszej możliwej ścieżce.
- `./projekt1 -i plik.txt -m 3 -s 12 -e 15`
Program odczyta graf z pliku `plik.txt`. Wybrany tryb nie wpływa na działanie programu. Domyślnie nie zostanie wydrukowany komunikat, czy graf jest spójny oraz domyślnie wydrukuje wagi dla krawędzi w najkrótszej możliwej ścieżce. Znajdzie najkrótszą możliwą ścieżkę z wierzchołka 1 to wierzchołka 12 do wierzchołka 15.

5 Komunikaty błędów

Program stara się kontynuować pracę mimo napotkania nieprawidłowych danych.

1. Błędy związane z plikiem wejściowym – czytaniem grafu:
 - (a) Nie zadeklarowano ilości kolumn/wierszy w pliku wejściowym: Linia 1: Nie znaleziono ilości kolumn/wierszy. Przerywam działanie. Komunikat pojawia się, gdy w podanych danych wejściowych program nie znajdzie poprawnie zadeklarowanej ilości kolumn/wierszy w 1. linii pliku. Może to wynikać z tego, że zostały one wpisane w niepoprawnym formacie lub plik jest pusty.
 - (b) Numer wierzchołka (poprzednika) większy niż $\text{columns} \times \text{rows} - 1$ lub mniejszy od 0: Linia 106: Numer wierzchołka musi być mniejszy od $\text{columns} \times \text{rows}$ i większy lub równy 0. Wczytano: "104". Wierzchołek poprzednik wraz z jego następnikami został pominięty. Program wykrył wierzchołek (poprzednik) o numerze większym niż $\text{columns} \times \text{rows} - 1$ lub ujemnym (o wartości 104) w linii 106 w danych wejściowych. Program ignoruje nieprawidłowy wierzchołek poprzednik wraz z jego następnikami.
 - (c) Numer wierzchołka (następnika) większy niż $\text{columns} \times \text{rows} - 1$ lub mniejszy od 0: Linia 24: Numer wierzchołka musi być mniejszy od $\text{columns} \times \text{rows}$ i większy lub równy 0. Wczytano: "7890". Wierzchołek (następnik) został pominięty. Program wykrył wierzchołek (następnik) o numerze większym niż $\text{columns} \times \text{rows} - 1$ lub ujemnym (o wartości 7890) w linii 24 w danych wejściowych. Program ignoruje nieprawidłowy wierzchołek.
 - (d) Waga krawędzi w danych wejściowych mniejsza/równa 0: Linia 15: Waga krawędzi musi być większa od 0. Wczytano: "-3.3". Krawędź została pominięta. Program wykrył ujemną wagę (o wartości -3.3) w linii 15 w danych wejściowych. Program ignoruje nieprawidłową krawędź, ponieważ uniemożliwiłaby ona znalezienie najkrótszej możliwej drogi za pomocą algorytmu Dijkstry.
 - (e) Brak poprawnie wczytanych krawędzi: W podanych danych wejściowych brak poprawnie zdefiniowanych krawędzi. Przerywam działanie. Komunikat pojawia się, gdy w podanych danych wejściowych program nie znajdzie poprawnie zdefiniowanych krawędzi. Może to wynikać z tego, że w pliku nie zadeklarowano żadnych krawędzi, albo wszystkie wpisy zawierają błędy.
2. Błędy związane z nieprawidłowymi danymi wprowadzonymi przez użytkownika:
 - (a) `columns` lub `rows` mniejsze/równe 0: Wartość wczytana w `-c columns` lub `-r rows` jest mniejsza od 0 lub równa 0. Przerywam działanie. Program wykrył, że użytkownik podał w `-c columns` lub `-r rows` liczbę mniejszą od 0 lub równą 0. Ze względu na niepoprawność matematyczną program przerywa działanie.
 - (b) `from-weight` lub `to-weight` mniejsze od 0: Wartość wczytana w `-f from-weight` lub `-t to-weight` jest ujemna. Przerywam działanie. Program wykrył, że użytkownik podał w `-f from-weight` lub `-t to-weight` liczbę mniejszą od 0. Program ignoruje nieprawidłową krawędź, ponieważ uniemożliwiłaby ona znalezienie najkrótszej możliwej drogi za pomocą algorytmu Dijkstry.

- (c) from-weight większe od to-weight: Wartość wczytana w -f from-weight jest większa niż w -t to-weight. Przerywam działanie. Program wykrył, że użytkownik podał w -f from-weight wartość większą niż w -t to-weight. Ze względu na niepoprawność matematyczną program przerywa działanie.
- (d) Niepoprawny numer wierzchołka: Zadeklarowano niepoprawny numer wierzchołka w -s start-vertex-number lub -e end-vertex-number. Nie znajdę najkrótszej możliwej ścieżki. Program wykrył, że użytkownik podał w argumentach wywołania programu -s start-vertex-number lub -e end-vertex-number numer wierzchołka większy od $\text{columns} \times \text{rows} - 1$ lub ujemny. Z tego powodu program nie będzie mógł znaleźć najkrótszej możliwej ścieżki z wierzchołka start-vertex-number do wierzchołka end-vertex-number.
- (e) Nie podano drugiego wierzchołka: Podano jedynie jeden wierzchołek – nie mogę wyznaczyć najkrótszej możliwej ścieżki. Program wykrył, że użytkownik podał jeden wierzchołek w -s start-vertex-number lub -e end-vertex-number, jednak nie podał drugiego – -s start-vertex-number lub -e end-vertex-number.

Literatura

- [1] Jacek Starzyński. *Prezentacja "Algorytmy dla grafów" na podstawie: Cormen, Leiserson, Rivest, Stein: "Wprowadzenie do algorytmów", WNT 2004*
- [2] Artykuł "Graf (matematyka)" na stronie Wikipedia,
[[https://pl.wikipedia.org/wiki/Graf_\(matematyka\)](https://pl.wikipedia.org/wiki/Graf_(matematyka))]
- [3] Artykuł "Graf skierowany" na stronie Wikipedia,
[https://pl.wikipedia.org/wiki/Graf_skierowany]

Źródło Rys.1: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:UndirectedDegrees.svg>

Źródło Rys.2: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Directed_graph_no_background.svg

svg

Źródło Rys.3: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Graph_weights.svg

Źródło Rys.4: Rysunek własny