GridGraph - Specyfikacja

Skoczek Mateusz, Jędrzejewski Sebastian

2 kwietnia 2022

Streszczenie

Dokument zawiera specyfikację funkcjonalną oraz implementacyjną dotyczącą projektu *GridGraph*

Spis treści

Rozdział 1

Specyfikacja funkcjonalna

1.1 Cel projektu

Program `GridGraph` ma na celu wygenerowanie oraz zapis do pliku (lub na standardowe wyjście) grafu siatkowego o podanych paramentrach lub wczytanie grafu z pliku (lub ze standardowego wejścia) i sprawdzenie wybranych jego parametrów. Program działa w trybie wsadowym. Grafy są przedstawiane w plikach w postaci listy sąsiedztwa.

1.2 Opis funkcji

Program może działać w dwóch trybach: zapisu (`write`) i czytania (`read`).

W trybie zapisu program generuje graf o określonej przez użytkownika szerokości (ilości kolumn) (`width`), wysokości (ilości wierszy) (`height`), minimalnej (`edge_weight_min`) i maksymalnej (`edge_weight_max`) wagi krawędzi oraz minimalnej (`edge_count_min`) i maksymalnej (`edge_count_max`) ilości krawędzi wychodzących z jednego wierzchołka, a następnie zapisuje go w formie listy sąsiedztwa do pliku określonego przez użytkownika (lub wypisuje na standardowe wyjście).

Jeżeli graf zostanie pomyślnie zapisany do pliku (lub wypisany na standardowe wyjście), program zwróci `0`. W przeciwnym wypadku zostanie wyświetlony komunikat błędu, a program zwróci `1`.

W trybie czytania program wczytuje graf zapisany (w formie listy sąsiedztwa) w określonym przez użytkownika pliku (lub czyta ze standardowego wejścia), a następnie sprawdza określone przez użytkownika właściwości grafu:

- Spójność grafu (`connectivity`)
- Najkrótsza ścieżka z węzła A do innych węzłów (`shortest_path_a`) lub do określonego węzła B (`shortest_path_a` oraz `shortest_path_b`)

Jeżeli graf został wczytany oraz sprawdzony pomyślnie, zostanie wyświetlony wynik sprawdzania...

Przykład (graf spójny, ścieżka istnieje):
```
Connectivity: connected
Shortest path from 0 to 10 (weight): 0-3-4-6-9-10 (0.778)
```

Przykład (graf niespójny, ścieżka nie istnieje):
```
Connectivity: disconnected
Shortest path from 0 to 10 (weight): path does not exist
```

...a następnie program zwróci `0`. W przeciwnym wypadku zostanie wyświetlony komunikat błędu, a program zwróci `1`

1.3 Opis wywołania

Jeżeli nie zostanie wybrany tryb (tzn. nie zostanie przekazany argument `write` lub `read`) zostanie wyświetlona pomoc.

1.3.1 Tryb zapisu

Wywołanie:

```
./gridgraph --write/-w [argumenty]
```

Argumenty:

- `--width/-xw` (Szerokość grafu - liczba kolumn)

  Typ: Liczba naturalna
  Zakres: > 0
  Wymagany: TAK

- `--height/-xh` (Wysokość grafu - liczba wierszy)

  Typ: Liczba naturalna
  Zakres: > 0
  Wymagany: TAK

- `--edge_weight_min/-Wmin` (Minimalna waga pojedyńczej krawędzi)

  Typ: Liczba rzeczywista
  Zakres: <0, edge_weight_max>
  Wymagany: NIE (domyślnie: 0)

- `--edge_weight_max/-Wmax` (Maksymalna waga pojedyńczej krawędzi)

  Typ: Liczba rzeczywista
  Zakres: <edge_weight_min, 1>
  Wymagany: NIE (domyślnie: 1)

- `--edge_count_min/-Cmin` (Minimalna liczba krawędzi wychodzących z jednego wierzchołka)[1]

  Typ: Liczba naturalna
  Zakres: <0, edge_count_max>
  Wymagany: NIE (domyślnie: 0)

- `--edge_count_max/-Cmax` (Maksymalna liczba krawędzi wychodzących z jednego wierzchołka)

  Typ: Liczba naturalna

[1] Program będzie dążył do utworzenia co najmniej edge_count_min krawędzi, ale nie może tego zagwarantować. Nie jest możliwe wygenerowanie więcej niż 2 krawędzi dla wierzchołków w narożnikach oraz więcej niż 3 dla wierzchołków bocznych. Nie jest możliwe także utworzenie krawędzi, jeżeli wszystkie wierzchołki wokół osiągnęły już swoją nominalną (wylosowaną z podanego przedziału) liczbę krawędzi.

Zakres: <edge_count_min, 4>

Wymagany: NIE (domyślnie: 4)

- `--file/-f` (Plik w którym ma zostać zapisany graf)

  Typ: Ścieżka do pliku

  Zakres: -

  Wymagany: NIE (domyślnie: standardowe wyjście)

Przykład:
`./gridgraph -w -xw 6 -xh 6 --Wmin 0.65 --Wmax 0.2 -Cmax 3 -f "/home/user/graph"`

Powyższy przykład ilustruje wywołanie programu, który generuje graf o 6 kolumnach i 6 wierszach, z wagami krawędzi mieszczącymi się w przedziale od 0.2 do 0.65, gdzie minimalna ilość krawędzi wychodzących z wierzchołka to 0, a maksymalna ilość krawędzi to 3. Program zapisuje graf w odpowiednim formacie do pliku o nazwie `graph` znajdującego się w `/home/user`.

1.3.2 Tryb czytania

Wywołanie:

`./gridgraph --read/-r [argumenty]`

Argumenty:

- `--connectivity/-c` (Sprawdza czy graf jest spójny, używając algorytmu BFS)

  Typ: -

  Zakres: -

  Wymagany: NIE[2]

- `--shortest_path_a/-Sa` (Znajduje najkrótszą ścieżkę od wierzchołka A do pozostałych wierzchołków, używając algorytmu Dijkstry)

  Typ: Liczba naturalna

  Zakres: <0, ilość wierzchołków grafu>

  Wymagany: NIE[2]

- `--shortest_path_b/-Sb` (Znajduje najkrótszą ścieżkę od wierzchołka A do wierzchołka B, używając algorytmu Dijkstry)

  UWAGA: `shortest_path_a` wymagane jeżeli `shortest_path_b` zostało podane

  Typ: Liczba naturalna

  Zakres: <0, ilość wierzchołków grafu> (nie licząc `shortest_path_a`)

  Wymagany: NIE[2]

- `--file/-f` (Plik z którego ma zostać wczytany graf)

  Typ: Ścieżka do pliku

  Zakres: -

  Wymagany: NIE (domyślnie: standardowe wejście)

Przykład:
`./gridgraph -r -c -Sa 0 -Sb 10 -f \home/user/graph"`

Powyższy przykład ilustruje wywołanie programu, który czyta plik ze strukturą grafu o nazwie `graph` znajdujący się w `/home/user`, a następnie sprawdza czy ten graf jest spójny oraz wyznacza najkrótszą ścieżkę pomiędzy węzłami numer 0 i 10.

[2]Wymagany przynajmniej jeden

1.4 Format danych wejściowych i wyjściowych

Dane wejściowe i wyjściowe przechowują graf w postaci listy sąsiedztwa. W pierwszej linijce znajdują się dwie liczby, które oznaczają odpowiednio liczbę kolumn i wierszy danego grafu. Każda następna linijka reprezentuje jeden wierzchołek, przy czym wierzchołki numerujemy od 0 od lewej do prawej. Zatem druga linijka w pliku zawiera numery wierzchołków, z którymi połączony jest wierzchołek numer 0, kolejna dotyczy wierzchołka numer 1 itd. Przy każdym numerze wierzchołka po dwukropku podana jest waga krawędzi pomiędzy tymi dwoma wierzchołkami.

Przykład:

```
2 2
     1 :0.54  2 :0.78
     0 :0.54  3 :0.12
     0 :0.78  3 :0.89
     1 :0.12  2 :0.89
```

Powyżej przedstawiona jest przykładowa zawartość pliku przechowującego graf. W pierwszej linijce można odczytać, że jest to graf o dwóch kolumnach i dwóch wierszach. W drugiej linijce przedstawiona jest informacja o tym, że wierzchołek numer 0 połączony jest z wierzchołkiem numer 1, a krawędź ta ma wagę 0.54. Istnieje również krawędź pomiędzy wierzchołkiem 0 a 2 o wadze 0.78. W trzeciej linijce znajdują się numery wierzchołków połączonych z wierzchołkiem numer 1 wraz z wagami itd.

1.5 Opis błędów

W przypadku błędu program wypisuje błąd na standardowy strumień błędów i zwraca 1. Komunikat błędów jest poprzecony słowem `ERROR` oraz nazwą trybu w nawiasie (np. `(Write mode)`), jeżeli błąd dotyczy konkretnego trybu.
Poniżej przedstawione są komunikaty generowane przez program, gdy ten wykryje błąd, wraz z ich wyjaśnieniem:

WIDTH_NOT_POSITIVE_NUMBER Został wybrany argument `width`, ale nie została podana wartość lub wartość nie jest liczbą.

HEIGHT_NOT_POSITIVE_NUMBER Został wybrany argument `height`, ale nie została podana wartość lub wartość nie jest liczbą.

EDGE_WEIGHT_MIN_NOT_POSITIVE_NUMBER Został wybrany argument `edge_weight_min`, ale nie została podana wartość lub wartość nie jest liczbą (nieujemną).

EDGE_WEIGHT_MAX_NOT_POSITIVE_NUMBER Został wybrany argument `edge_weight_max`, ale nie została podana wartość lub wartość nie jest liczbą (nieujemną).

EDGE_COUNT_MIN_NOT_POSITIVE_NUMBER Został wybrany argument `edge_count_min`, ale nie została podana wartość lub wartość nie jest liczbą (nieujemną).

EDGE_COUNT_MAX_NOT_POSITIVE_NUMBER Został wybrany argument `edge_count_max`, ale nie została podana wartość lub wartość nie jest liczbą (nieujemną).

WIDTH_LOWER_OR_EQUAL_TO_ZERO Wartość argumentu `width` jest mniejsza lub równa 0 (musi być większa od 0).

HEIGHT_LOWER_OR_EQUAL_TO_ZERO Wartość argumentu `height` jest mniejsza lub równa 0 (musi być większa od 0).

EDGE_WEIGHT_MIN_LOWER_THAN_ZERO Wartość argumentu `edge_weight_min` jest mniejsza od 0 (musi być większa lub równa 0 i mniejsza lub równa `edge_weight_max`).

EDGE_WEIGHT_MAX_GREATER_THAN_ONE Wartość argumentu `edge_weight_max` jest większa od 1 (musi być mniejsza lub równa 1 i większa lub równa `edge_weight_min`).

EDGE_WEIGHT_MIN_GREATER_THAN_EDGE_WEIGHT_MAX Wartość argumentu `edge_weight_min` jest większa od `edge_weight_max` (musi być większa lub równa 0 i mniejsza lub równa `edge_weight_max`).

EDGE_COUNT_MIN_LOWER_THAN_ZERO Wartość argumentu `edge_count_min` jest mniejsza od 0 (musi być większa lub równa 0 i mniejsza lub równa `edge_count_max`).

EDGE_COUNT_MAX_GREATER_THAN_FOUR Wartość argumentu `edge_count_max` jest większa od 4 (musi być mniejsza lub równa 4 i większa lub równa `edge_count_min`).

EDGE_COUNT_MIN_GREATER_THAN_EDGE_COUNT_MAX Wartość argumentu `edge_count_min` jest większa od `edge_count_max` (musi być większa lub równa 0 i mniejsza lub równa `edge_count_max`).

SHORTEST_PATH_A_NOT_POSITIVE_NUMBER Został wybrany argument `shortest_path_a`, ale nie została podana wartość lub wartość nie jest liczbą (nieujemną).

SHORTEST_PATH_B_NOT_POSITIVE_NUMBER Został wybrany argument `shortest_path_b`, ale nie została podana wartość lub wartość nie jest liczbą (nieujemną).

SHORTEST_PATH_B_WITHOUT_SHORTEST_PATH_A_SPECIFIED Został wybrany argument `shortest_path_a`, ale nie został wybrany argument `shortest_path_b`.

SHORTEST_PATH_B_EQUAL_TO_SHORTEST_PATH_A Argument `shortest_path_b` jest równy `shortest_path_a` (wartości argumentów muszą być różne od siebie).

CHECKING_OPTIONS_NOT_SPECIFIED Nie została wybrana przynajmniej jedna opcja sprawdzająca (przynajmniej jedna wymagana).

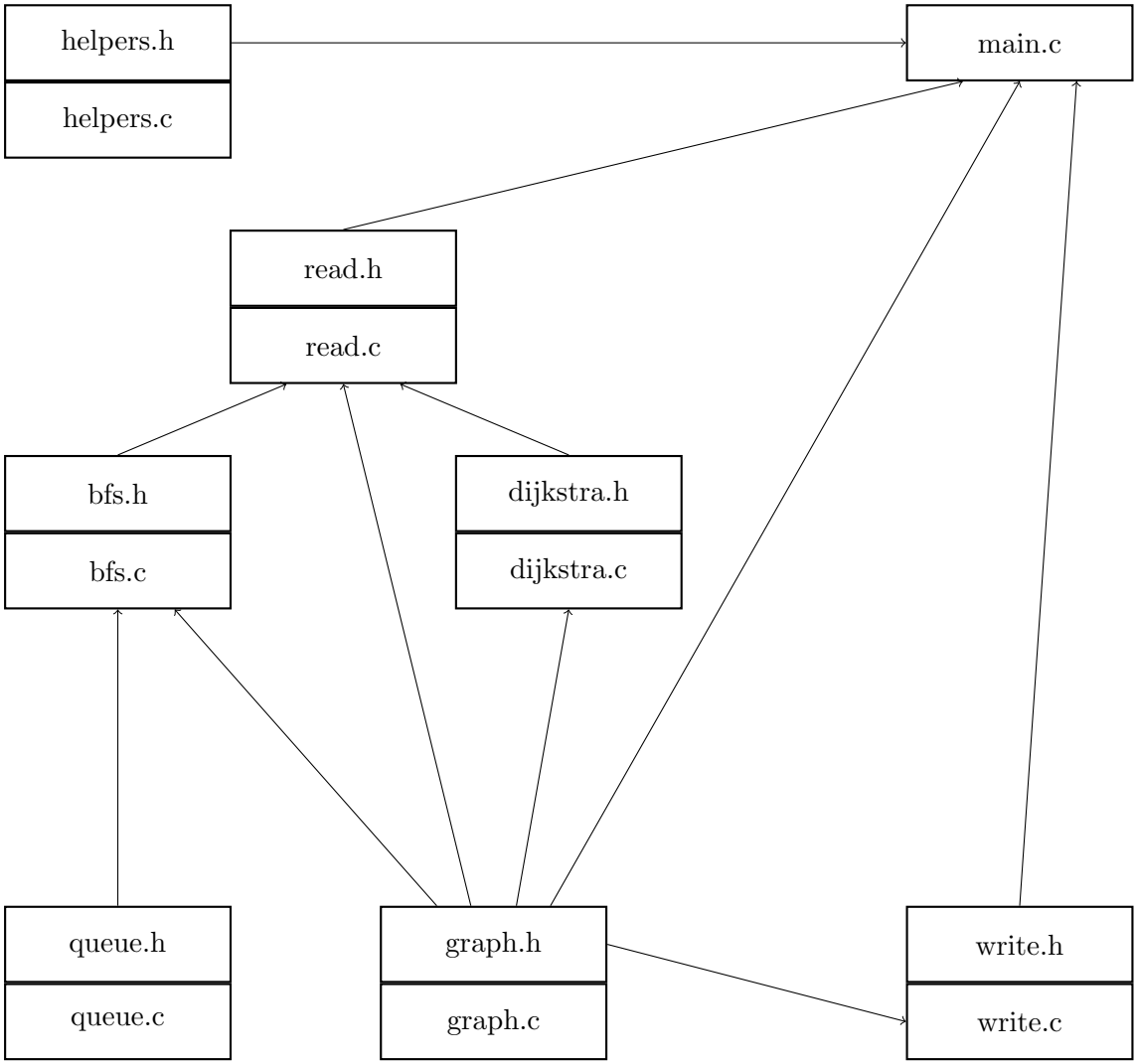
SHORTEST_PATH_A_GREATER_THAN_TOTAL_NUMBER_OF_VERTICES Wartość argumentu `shortest_path_a` jest większa niż całkowita liczba wierzchołków grafu.

SHORTEST_PATH_B_GREATER_THAN_TOTAL_NUMBER_OF_VERTICES Wartość argumentu `shortest_path_b` jest większa niż całkowita liczba wierzchołków grafu.

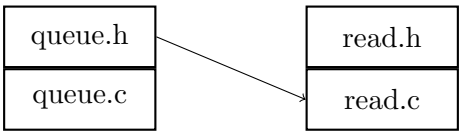
Rozdział 2

Specyfikacja implementacyjna

2.1 Diagram dołączeń plików źródłowych



Objaśnienie:



Plik `queue.h` jest dołączany do pliku `read.c` (oraz ewentualnie do `read.h`). To znaczy że w pliku `read.c` (oraz ewentualnie w `read.h`) znajduje się dyrektywa `#include "queue.h"`.

2.2 Plik main.c

Plik źródłowy (`main.c`) zawiera stałe *_o i help oraz definicje funkcji:

- `write_init`
- `read_init`
- `main`

2.2.1 Stałe *_o

`const char* *_o[2]` (np. `const char* file_o[2]`)
Stałe te przechowują nazwy argumentów wywołania, gdzie pierwszym elementem jest długa (normalna) nazwa argumentu, a drugim nazwa skrócona.

2.2.2 Stała help

`const char* help`
Stała ta przechowuje pomoc, zawierającą instrukcję wywołania i opisy wszystkich argumentów.

2.2.3 Funkcja write_init

`int write_init(int argc, char* argv[])`
Funkcja ta sprawdza argumenty wywołania dla trybu zapisu i ich wartości, a następnie wywołuje funkcję odpowiedzialną za tryb zapisu. Funkcja zwraca wartości `EXIT_SUCCESS` lub `EXIT_FAILURE`.

2.2.4 Funkcja read_init

`int read_init(int argc, char* argv[])`
Funkcja ta sprawdza argumenty wywołania dla trybu czytania i ich wartości, a następnie wywołuje funkcję odpowiedzialną za tryb czytania. Funkcja zwraca wartości `EXIT_SUCCESS` lub `EXIT_FAILURE`.

2.2.5 Funkcja main

`int main(int argc, char* argv[])`
Funkcja ta sprawdza, który tryb został wybrany, a następnie wywołuje funkcje `write_init` lub `read_init` (lub wyświetla pomoc jeżeli tryb nie został wybrany). Funkcja zwraca wartości `EXIT_SUCCESS` lub `EXIT_FAILURE`.

2.3 Pliki write.c i .h

Plik źródłowy (`write.c`) zawiera stałą `ec_drawing_weight` oraz definicje funkcji:

- `gen_graph`
- `write`*

Plik nagłówkowy (`write.h`) zawiera deklaracje zaznaczonych funkcji z pliku źródłowego (*).

2.3.1 Stała ec_drawing_weight

```
const int ec_drawing_weight[5]
```

Stała ta przechowuje informację o wagach losowania dla poszczególnych liczb krawędzi. Na przykład wartości `{1,2,3,4,5}` oznaczają że wraz z liczbą krawędzi rośnie szansa na wylosowanie danej liczby krawędzi, gdyż tablica z której losowana będzie liczba krawędzi będzie wyglądać tak: `{0,1,1,2,2,2,3,3,3,3,4,4,4,4,4}`.

2.3.2 Funkcja gen_graph

```
graph gen_graph(int width, int height, double edge_weight_min, double edge_weight_max,
                int edge_count_min, int edge_count_max)
```

Funkcja ta odpowiada za wygenerowanie grafu o szerokości (ilości kolumn) `width`, wysokości (ilości wierzy) `height`, gdzie każdy wierzchołek będzie miał maksymalnie `edge_count_max` i (w miarę możliwości) minimalnie `edge_count_min` krawędzi[1], z których każda będzie miała wagę mieszczącą się w przedziale od `edge_weight_min` do `edge_weight_max` włącznie. Funkcja zwraca graf.

2.3.3 Funkcja write

```
int write(FILE* file, int width, int height, double edge_weight_min,
          double edge_weight_max, int edge_count_min, int edge_count_max)
```

Funkcja ta wywołuje funkcję `gen_graph` (przekazując jej jednocześnie wszystkie swoje parametry poza `file`), a następnie zapisuje uzyskany graf do pliku `file`. Funkcja zwraca wartości `EXIT_SUCCESS` lub `EXIT_FAILURE` (funkcja nie przewiduje wystąpienia błędu, więc w praktyce jest to tylko `EXIT_SUCCESS`).

[1] liczba krawedzi jest losowana; patrz "Stała ec_drawing_weight"

2.4 Pliki read.c i .h

Plik źródłowy (`read.c`) zawiera definicje funkcji:

- `path_fill`
- `path_display`
- `bfs_init`
- `dijkstra_init`
- `read_graph`
- `read`*

Plik nagłówkowy (`read.h`) zawiera deklaracje zaznaczonych funkcji z pliku źródłowego (*).

2.4.1 Funkcja path_fill

```
int path_fill(d_result result, int *nv, int from, int to)
```

Funkcja ta odpowiada za wypełnienie tablicy `nv` numerami wierzchołków, które tworzą ścieżkę od `from` do `to`, na podstawie tablicy poprzedników wygenerowanej przez algorytm Dijkstry i przechowywanej w strukturze `result`. Funkcja zwraca ilość dodanych wierzchołków do tablicy.

2.4.2 Funkcja path_display

```
void path_display(int *nv, int l)
```

Funkcja ta odpowiada za wyświetlenie ścieżki pomiędzy dwoma wierzchołkami przechowywanej w tablicy `nv` znając jej długość `l`.

2.4.3 Funkcja bfs_init

```
void bfs_init(graph g)
```

Funkcja ta odpowiada za wywołanie algorytmu BFS i wyświetlenie komunikatu o spójności grafu `g`.

2.4.4 Funkcja dijkstra_init

```
void dijkstra_init(graph g, int vertex_a, int vertex_b)
```

Funkcja ta odpowiada za wywołanie algorytmu Dijkstry i wyświetlenie najkrótszej ścieżki pomiędzy wierzchołkami `vertex_a` i `vertex_b` lub najkrótszych ścieżek pomiędzy wierzchołkiem `vertex_a` i pozostałymi wierzchołkami grafu `g`.

2.4.5 Funkcja read_graph

```
graph read_graph(FILE *f)
```

Funkcja ta odpowiada za odczytanie grafu z pliku `f`, tworzenie struktury grafu i uzupełnienie jej przeczytanymi wierzchołkami i wagami z pliku. Funkcja zwraca stworzoną strukturę grafu.

2.4.6 Funkcja read

```
int read(FILE *file, int connectivity, int vertex_a, int vertex_b)
```

Funkcja odpowiada za zarządzanie trybem read. Przyjmuje wskaźnik na plik (bądź stdin), z którego ma być czytany graf, a także czy ma być sprawdzona jego spójność (`connectivity` przyjmuje wartość 1/0) oraz numery wierzchołków, między którymi ma być wyznaczona ścieżka (gdy `vertex_b` jest równy -1, wyznaczana jest ścieżka pomiędzy `vertex_a` i wszystkimi wierzchołkami).

2.5 Pliki dijkstra.c i .h

Plik źródłowy (`dijkstra.c`) zawiera definicje funkcji:

- `result_init`*
- `result_free`*
- `dijkstra`*

Plik nagłówkowy (`dijkstra.h`) poza deklaracjami zaznaczonych funkcji z pliku źródłowego (*) zawiera także deklarację struktury wyniku generowanego przez algorytm Dijkstry.

2.5.1 Struktura d_result

```
typedef struct r
{
    double *d;
    int *p;
} *d_result;
```

Struktura przechowuje dwie tablice: `d` - zawierającą całkowitą wagę dojścia do danego wierzchołka z wierzchołka początkowego oraz `p` – zawierającą numery poprzedników.

2.5.2 Funkcja result_init

```
d_result result_init(int n, int vertex_a, int *visited)
```

Funkcja ta odpowiada za zainicjalizowanie struktury typu `d_result` i wypełnienie jej tablic w taki sposób jaki wymaga tego algorytm Dijkstry (tablica `d` wypełniona nieskończonościami oprócz elementu o indeksie wierzchołka początkowego; tablica `p` wypełniona wartościami -1). Oprócz tego uzupełnia tablicę `visited` zerami. Funkcja zwraca utworzoną strukturę.

2.5.3 Funkcja result_free

```
void result_free(d_result result)
```

Funkcja ta odpowiada za zwolnienie pamięci zarezerwowanej dla struktury `result`.

2.5.4 Funkcja dijkstra

```
d_result dijkstra(graph graph, int vertex_a)
```

Funkcja ta odpowiada za wykorzystanie algorytmu Dijkstry do uzupełnienia tablic struktury typu `d_result`. Funkcja zwraca utworzoną strukturę.

2.6 Pliki bfs.c i .h

Plik źródłowy (`bfs.c`) zawiera definicje funkcji:

- `bfs`*

Plik nagłówkowy (`bfs.h`) zawiera deklaracje zaznaczonych funkcji z pliku źródłowego (*).

2.6.1 Funkcja bfs

```
int* bfs(graph graph, int vertex)
```

Funkcja ta jest implementacją algorytmu BFS (Breadth-first search) w uproszczonej wersji. Sprawdza czy w grafie `graph` od wierzchołka `vertex` istnieją ścieżki do wszystkich pozostałych wierzchołków. Funkcja zwraca tablicę liczb 0/1 (prawda/fałsz) o długości [ilość wierzchołków grafu], w której index oznacza numer wierzchołka a wartość wynik sprawdzenia dla wierzchołka o danym indeksie.

2.7 Pliki graph.c i .h

Plik źródłowy (`graph.c`) zawiera definicje funkcji:

- `graph_init`*
- `graph_free`*
- `edge_list_add`*
- `edge_list_contains_vertex`*
- `edge_list_length`*

Plik nagłówkowy (`graph.h`) poza deklaracjami zaznaczonych funkcji z pliku źródłowego (*) zawiera także deklarację struktury grafu w formie listy sąsiedztwa (`graph`) oraz deklarację struktury listy wierzchołków (`edge_list`).

2.7.1 Struktura graph

```
typedef struct g
{
    int width;
    int height;
    edge_list **list;
} *graph;
```

Struktura przechowuje szerokość grafu (liczba kolumn) (`width`), wysokość grafu (liczba wierszy) (`height`) oraz tablicę list połączonych wierzchołków dla każdego wierzchołka (lista sąsiedztwa) (`list`).

2.7.2 Struktura edge_list

```
typedef struct e
{
    int vertex;
    double weight;
    struct e *next;
} edge_list;
```

Struktura przechowuje numer połączonego wierzchołka (`vertex`), wagę krawędzi (`weight`) oraz wskaźnik na następny element (`next`) (lista jednokierunkowa).

2.7.3 Funkcja graph_init

```
graph graph_init(int w, int h)
```

Funkcja ta odpowiada za zainicjalizowanie grafu o szerokości (ilości kolumn) `w` i wysokości (ilości wierszy) `h`. Funkcja zwraca graf

2.7.4 Funkcja graph_free

```
void graph_free(graph g)
```

Funkcja ta odpowiada za zwolnienie pamięci zarezerwowanej dla grafu `g`.

2.7.5 Funkcja edge_list_add

```
edge_list* edge_list_add(edge_list *l, int v, double wt)
```

Funkcja ta odpowiada za dodanie na koniec listy połączonych wierzchołów `l` nowego wierzchołka o numerze `v` i wadze krawędzi `wt`. Funkcja zwraca wskaźnik na listę połączonych wierzchołków.

2.7.6 Funkcja edge_list_contains_vertex

```
int edge_list_contains_vertex(edge_list* l, int v)
```

Funkcja ta odpowiada za sprawdzenie czy na liście połączonych wierzchołków `l` znajduje się wierzchołek o numerze `v`. Funkcja zwraca wartości 1/0 (prawda/fałsz).

2.7.7 Funkcja edge_list_contains_vertex

```
int edge_list_length(edge_list* l)
```

Funkcja ta odpowiada za sprawdzenie długości listy połączonych wierzchołków `l`. Funkcja zwraca długość listy.

2.8 Pliki queue.c i .h

Plik źródłowy (`queue.c`) zawiera definicje funkcji:

- `queue_enqueue`*
- `queue_dequeue`*

Plik nagłówkowy (`queue.h`) poza deklaracjami zaznaczonych funkcji z pliku źródłowego (*) zawiera także deklarację struktury kolejki FIFO (First in, first out) (`queue`).

2.8.1 Struktura queue

```
typedef struct q
{
    int value;
    struct q* next;
} queue;
```

Struktura przechowuje wartość pojedyńczego elementu (`value`) oraz wskaźnik na następny element (`next`) (lista jednokierunkowa).

2.8.2 Funkcja queue_enqueue

```
void queue_enqueue(queue** q, int value)
```

Funkcja ta odpowiada za dodanie na początku kolejki `q` (listy) nowego elementu o wartości `value`.

2.8.3 Funkcja queue_enqueue

```
int queue_dequeue(queue** q)
```

Funkcja ta odpowiada za pobranie wartości elementu z końca kolejki `q` (listy), usunięcie ostatniego elementu z kolejki, a następnie zwrócenie pobranej wartości.

2.9 Pliki helpers.c i .h

Plik źródłowy (`helpers.c`) zawiera definicje funkcji:

- `str_arr_get_index`*
- `str_is_int`*
- `str_is_float`*

Plik nagłówkowy (`helpers.h`) zawiera deklaracje zaznaczonych funkcji z pliku źródłowego (*).

2.9.1 Funkcja str_arr_get_index

```
int str_arr_get_index(char* element, const char* array[], int length)
```

Funkcja ta odpowiada za znalezienie w tablicy napisów `array` o długości `length` konkretnego napisu `element`. Funkcja zwraca indeks tego napisu w tablicy.

2.9.2 Funkcja str_is_int

```
int str_is_int(char* string)
```

Funkcja ta odpowiada za sprawdzenie czy napis `string` jest liczbą całkowitą nieujemną (tzn. napis zawiera tylko cyfry). Funkcja zwraca wartości 1/0 (prawda/fałsz).

2.9.3 Funkcja str_is_double

```
int str_is_double(char* string)
```

Funkcja ta odpowiada za sprawdzenie czy napis `string` jest liczbą rzeczywistą nieujemną (tzn. napis zawiera tylko cyfry i jedną kropkę). Funkcja zwraca wartości 1/0 (prawda/fałsz).

2.10 Plik makefile

Plik `makefile` przechowuje instrukcje kompilacji programu oraz instrukcję czyszczenia folderu (`clean`) i instrukcję testu (`test`).

2.10.1 Kompilacja (make)

Instrukcja kompilacji składa się z czterech etapów:

1. wygenerowania pliku zawierającego zależności
   (`cc -MM [pliki źródłowe] > [plik zaw. zależności]`)
2. wczytania go (`-include [plik zaw. zależności]`)
3. skompilowania programu (`cc -o gridgraph [pliki .o]`)
4. czyszczenia pokompilacyjnego (`rm [pliki .o] [plik zaw. zależności]`)

2.10.2 Czyszczenie (make clean)

Instrukcja czyszczenia usuwa pliki (wywoływana jest komenda `rm [pliki]`):

- plik programu
- pliki .o
- plik zawierający zależności

2.10.3 Test (make test)

Instrukcja testu w pierwszej kolejności wywołuje instrukcję kompilacji, a następnie