

# **Sprawozdanie** programu grapher

Szymon Półtorak i Sebastian Sikorski

14.04.2022r

## **Streszczenie**

Niniejszy dokument jest sprawozdaniem z prac projektowych w ramach projektu *grapher* w języku C. W dokumencie został przypomniany cel projektu, opisana struktura folderów, diagram modułów, przedstawione wywołania programu wraz z ich wynikami. Podsumowaliśmy projekt oraz współpracę i wysnuliśmy wnioski na temat tego przedsięwzięcia.

# Spis treści

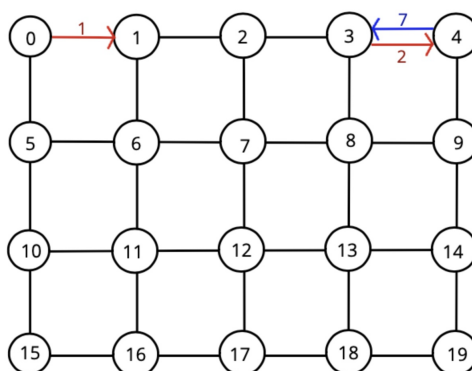
|   |  |    |
|---|--|----|
| 1 | Cel projektu . . . . .                               | 2  |
| 2 | Struktura programu . . . . .                         | 2  |
|   | 2.1 Struktura folderów . . . . .                     | 3  |
|   | 2.2 Diagram modułów . . . . .                        | 3  |
| 3 | Kompilacja programu . . . . .                        | 4  |
| 4 | Przykładowe wywołania i wyniki programu . . . . .    | 4  |
|   | 4.1 Plik wejściowy dla trybów generujących . . . . . | 4  |
|   | 4.2 Wage Mode . . . . .                              | 4  |
|   | 4.3 Edge Mode . . . . .                              | 5  |
|   | 4.4 Random Mode . . . . .                            | 5  |
|   | 4.5 Read Mode z flagą Standard . . . . .             | 6  |
|   | 4.6 Read Mode z flagą Extended . . . . .             | 7  |
| 5 | Zmiany względem specyfikacji . . . . .               | 8  |
|   | 5.1 Implementacja Algorytmów . . . . .               | 8  |
|   | 5.2 Diagram modułów . . . . .                        | 8  |
|   | 5.3 Obsługiwane błędy . . . . .                      | 8  |
|   | 5.4 Zmiany w typach danych . . . . .                 | 9  |
|   | 5.5 Zmiany w strukturach . . . . .                   | 9  |
|   | 5.6 Wywoływanie programu . . . . .                   | 10 |
|   | 5.7 Struktura folderów . . . . .                     | 11 |
|   | 5.8 Makefile . . . . .                               | 11 |
|   | 5.9 Zmiany w funkcjach . . . . .                     | 11 |
| 6 | Podsumowanie projektu . . . . .                      | 12 |
| 7 | Podsumowanie współpracy . . . . .                    | 12 |
| 8 | Wnioski . . . . .                                    | 12 |

## 1 Cel projektu

Celem projektu było stworzenie programu mającego za zadanie generowanie grafów, sprawdzanie ich spójności oraz wyszukiwanie w nich najkrótszej ścieżki między zadanymi przez użytkownika punktami. Grafi są typu *kartka w kratkę*.

- Wage Mode – program generuje graf o losowych wagach dróg między wierzchołkami w taki sposób, że jest on spójny,
- Edge Mode – program losuje istnienie krawędzi między wierzchołkami grafu oraz wagi do momentu powstania grafu spójnego. Do sprawdzania wykorzystuje algorytm BFS,
- Random Mode – program losuje wagi dróg oraz krawędzie między wierzchołkami. W tym trybie graf może być niespójny,
- Read Mode – program odczytuje odpowiednio sformatowany plik i szuka najkrótszej ścieżki między podanymi przez użytkownika punktami za pomocą algorytmu Dijkstry. Format pliku został opisany w specyfikacji funkcjonalnej projektu. Jeżeli użytkownik poda w pliku nieprawidłowe dane tzn. wprowadzi literę zamiast wierzchołka lub wagi albo nie poda wierzchołka, a poda wagę i na odwrót to program intencjonalnie pominie tę daną tak jakby nie istniała.

Struktura grafu oparta jest na koncepcji "kartka w kratkę" tzn. graf składa się z wierzchołków równo rozmieszczonych na liniach poziomych i pionowych wyznaczanych przez liczbę wierszy i kolumn. Jedyne połączenia zachodzące między wierzchołkami dozwolone są pionowo i poziomo co pokazuje poniższy diagram, na którym zostały zaznaczone jedynie wagi wybranych krawędzi aby zachować czytelność całego diagramu, jednocześnie obrazując schemat połączeń.

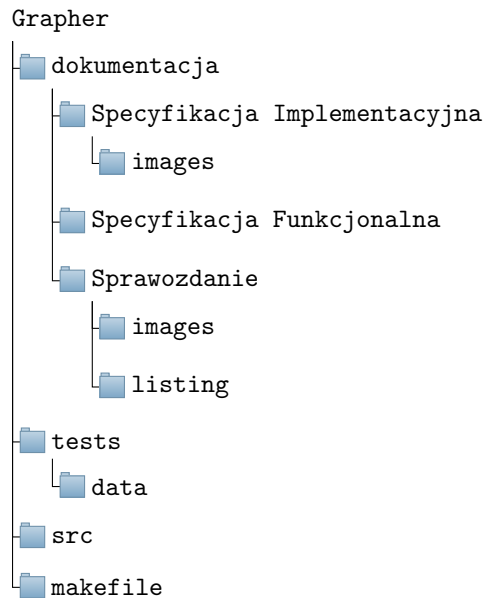


Rysunek 1: Przykład grafu typu "kartka w kratkę"

## 2 Struktura programu

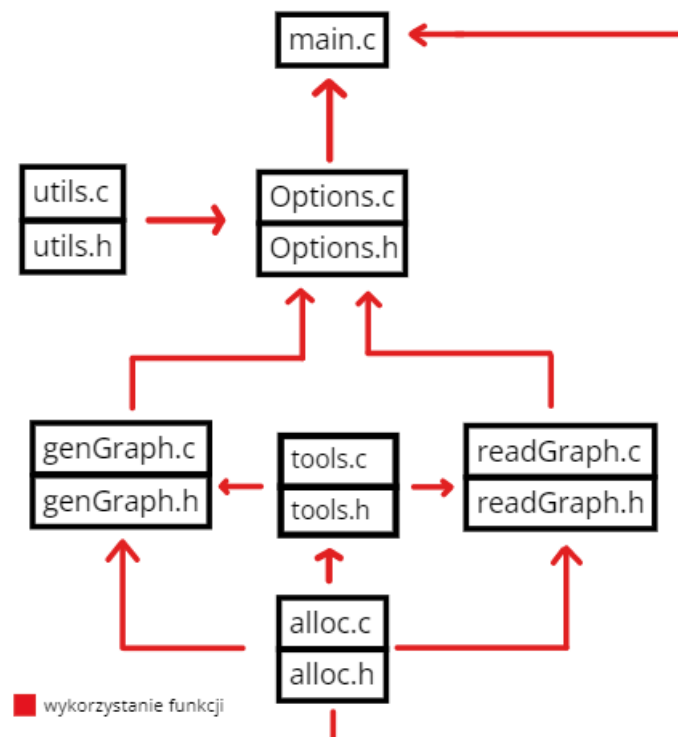
Program *grapher* składa się z 4 folderów nadrzędnych zawierających jego poszczególne elementy. Folder *dokumentacja* zawiera dokumenty opisujące projekt, czyli: specyfikację funkcjonalną i implementacyjną oraz końcowe sprawozdania z projektu. Są w nich pliki *\*.pdf*, zdjęcia w formacie *\*.png* i *\*.jpg* oraz kod źródłowy tych dokumentów w formacie *\*.tex*. Folder *tests* zawiera kod odpowiedzialny za przeprowadzanie testów programu, natomiast folder *src* zawiera pliki z kodem źródłowym oraz pliki nagłówkowe programu *grapher*.

## 2.1 Struktura folderów



## 2.2 Diagram modułów

Projekt *grapher* składa się z modułów: *alloc*, *readGraph*, *genGraph* oraz *utils*. Każdy moduł składa się z pliku nagłówkowego *\*.h* oraz pliku z kodem źródłowym *\*.c*. Posiada on również główny moduł *main* sterujący działaniem całego programu i składa się on tylko z pliku źródłowego *main.c*.



Rysunek 2: Diagram modułów

### 3 Kompilacja programu

Program trzeba najpierw skompilować w katalogu głównym projektu. Poniżej przedstawiamy wszystkie komendy możliwe do użycia:

- `make` – podstawowa kompilacja programu *grapher*,
- `make clean` – usuwa z programu wszystkie pliki robocze oraz skompilowany plik do uruchamiania programu *grapher*,
- `make wm` – kompiluje program i uruchamia go w trybie *wage mode* z góry zakładanymi danymi,
- `make rem` – robi to samo co powyższa komenda ale uruchamia program w trybie *random mode*,
- `make em` – wykonuje to samo co powyższe 2 instrukcje ale uruchamia program w trybie *edge mode*,
- `make rm_s` – również wykonuje to samo zadanie ale program korzysta z trybu *read mode* z flagą *standard*,
- `make rm_e` – działa identycznie jak powyższa z tą różnicą, że z flagą *extended*
- `make test` – komenda służy do wykonania testów funkcji programu.

### 4 Przykładowe wywołania i wyniki programu

W tym rozdziale przedstawimy wywołania programu wraz z ich wynikami dla różnych scenariuszów aby ukazać jak nasz program działa.

#### 4.1 Plik wejściowy dla trybów generujących

W trybach generujących może to być plik pusty ale może to być również plik z danymi z tym, że zostanie on w całości nadpisany.

#### 4.2 Wage Mode

Wywołanie:

```
./grapher -wm -rows 3 -start 1 -file tests/data/wg.test -end 10 -columns 3
```

Wynik:

```
1 3 3
2   1 : 4.585717   3 : 2.045820
3   2 : 4.538733   4 : 5.423964   0 : 7.244069
4   5 : 1.824305   1 : 5.235066
5   0 : 7.925698   4 : 2.196238   6 : 6.312826
6   1 : 4.510533   5 : 1.920535   7 : 2.290965   3 : 7.128286
7   2 : 6.035478   8 : 1.094937   4 : 6.864753
8   3 : 6.536647   7 : 1.280849
9   4 : 4.256875   8 : 2.632008   6 : 7.220493
10  5 : 6.789282   7 : 6.582145
```

### 4.3 Edge Mode

Wywołanie:

```
./grapher -em -rows 3 -file tests/data/em.test -end 20 -columns 4 -start 5
```

Wynik:

```
1 3 4
2   1 :19.565087
3   2 :7.709044  5 :19.098520  0 :12.023589
4   3 :5.234521  6 :9.323373  1 :9.560008
5   7 :17.910099  2 :9.985162
6   0 :5.691044
7   1 :7.378758  6 :13.917838  9 :16.329826  4 :7.795271
8   2 :17.290208  7 :14.446736  5 :10.979684
9   3 :11.326285 11 :19.911679  6 :6.850261
10  9 :14.851600
11 10 :12.269472  8 :9.939303
12  6 :7.851846 11 :16.226280  9 :19.367096
13  7 :10.335632 10 :13.676853
```

### 4.4 Random Mode

Wywołanie:

```
./grapher -rem -file tests/data/rem.test -end 10 -rows 4 -start 1 -columns 4
```

Wynik:

```
1 4 4
2   4 :3.420527
3
4   6 :8.291166
5   7 :9.221248
6   0 :2.329118  5 :1.648308
7   9 :7.623956  4 :3.778387
8   2 :1.069845
9   3 :4.940822 11 :5.811645
10  4 :2.458988  9 :8.196780 12 :3.049104
11  5 :8.954763 10 :1.132083 13 :3.599470  8 :2.490996
12  6 :9.019028
13  7 :8.915343 15 :2.557549
14
15  9 :1.867567 14 :6.710879
16 13 :4.420448
17 11 :5.035956
```

## 4.5 Read Mode z flagą Standard

Plik wejściowy :

```
1 4 5
2      1 :2.685866    5 :5.470052
3      2 :3.155808    6 :1.603836    0 :2.151275
4      3 :5.568488    7 :8.678036    1 :6.805621
5      4 :4.893502    8 :6.352131    2 :3.465382
6      9 :8.893915    3 :1.397341
7      0 :2.100994    6 :1.124542    10 :9.470264
8      1 :5.177972    7 :4.706604    11 :3.765574    5 :3.933496
9      2 :9.133201    8 :4.643032    12 :7.491190    6 :5.518209
10     3 :2.872742    9 :4.960544    13 :4.615400    7 :3.383972
11     4 :6.784856    14 :9.889497    8 :7.879598
12     5 :8.470722    11 :5.359549    15 :1.035407
13     6 :9.074558    12 :6.510824    16 :5.603895    10 :7.752595
14     7 :3.316445    13 :9.497397    17 :4.104725    11 :5.781827
15     8 :8.391312    14 :4.502067    18 :6.882821    12 :8.515854
16     9 :3.972331    19 :2.060793    13 :3.222458
17     10 :6.737906    16 :4.994289
18     11 :2.355659    17 :1.380938    15 :2.485479
19     12 :6.873868    18 :3.253679    16 :6.446023
20     13 :1.489268    19 :5.637651    17 :3.230879
21     14 :1.378765    18 :3.517249
```

Wywołanie:

```
./grapher -rm -file tests/data/rm.s.test -points 1,5,4,8 -standard
```

Wynik:

```
GRAPH IS COHERENT !
(1,5); 1 ---> 6 ---> 5
(4,8); 4 ---> 3 ---> 8
```



## 4.6 Read Mode z flagą Extended

Plik wejściowy :

```

1 5 7
2      1 :14.079570  7 :18.013451
3      8 :18.027349  0 :8.487977
4      3 :10.579045  1 :18.637221
5      4 :5.258607  10 :7.197692  2 :15.897541
6      5 :19.195051  11 :9.345530  3 :15.480282
7      6 :17.268742  12 :16.839028  4 :7.884089
8      13 :17.236659  5 :14.512482
9      0 :9.893743  8 :12.356867  14 :7.506790
10     1 :7.865755  9 :7.874695
11     2 :8.110882  16 :5.115988  8 :8.157934
12     3 :7.248958  11 :12.474005  17 :18.592836
13     4 :16.970298  12 :16.095942  18 :9.500838  10 :13.332601
14     5 :19.161458  13 :13.960831  19 :18.983178  11 :9.366063
15     6 :10.753299  20 :10.594030  12 :5.453957
16     7 :13.135396  21 :19.473409
17     22 :5.860485  14 :7.825802
18     17 :15.299807  23 :6.726627
19     10 :9.560902  18 :16.138496  24 :12.203447  16 :15.495648
20     11 :6.480293  19 :14.071909  25 :10.351046  17 :5.993468
21     12 :16.341457  20 :19.739661  18 :18.111915
22     13 :8.936962  27 :15.667228  19 :11.762764
23     22 :12.689115  28 :6.990043
24     15 :12.511560  23 :11.550945  29 :18.400750  21 :8.843950
25     24 :7.714718  30 :15.746017  22 :17.931632
26     17 :15.041366  25 :9.103630  31 :15.380775  23 :7.640766
27     18 :9.297662  26 :12.901612  32 :18.555363  24 :16.178947
28     19 :14.363605  27 :6.283068  33 :10.752525  25 :15.325887
29     34 :19.517290  26 :6.844361
30     21 :10.190828  29 :13.772129
31     22 :5.475628  30 :6.971490  28 :6.855536
32     23 :19.712006  31 :15.893046  29 :5.518989
33     30 :6.691543
34     25 :8.755690  33 :5.361426  31 :14.560269
35     34 :8.460465  32 :8.341884
36     27 :5.071621  33 :18.667771

```

Wywołanie:

```
./grapher -rm -extended -points 2,7,3,11 -file tests/data/rm.e.test
```

Wynik:

GRAPH IS COHERENT !

```
(2,7); 2(18.637220) ----> 1(8.487977) ----> 0(18.013451) ----> 7
```

```
(3,11); 3(5.258607) ----> 4(9.345530) ----> 11
```

## 5 Zmiany względem specyfikacji

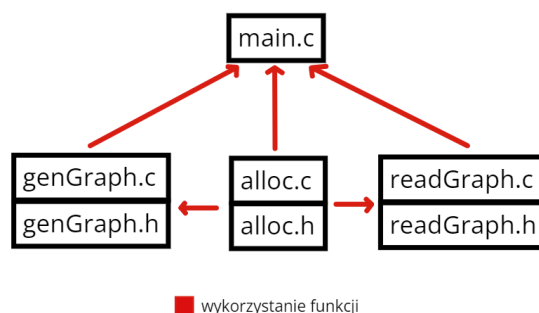
W niniejszym rozdziale opisujemy zmiany jakie zaszły między specyfikacją funkcjonalną i implementacyjną, a wersją finalną programu.

### 5.1 Implementacja Algorytmów

Ze względu na chęć poprawy wydajności zmieniona została implementacja algorytmów. Algorytm Dijkstry oparty jest teraz na kopcu minimalnym co znacząco zmniejsza złożoność obliczeniową, udało się uzyskać złożoność liniowo-logarytmiczną. Sprawdzanie spójności odbywa się teraz z każdego wierzchołka, aby zagwarantować silną spójność grafu.

### 5.2 Diagram modułów

Z powodu potrzeby dodania nowego modułu zmienił się również diagram modułów. Doszedł moduł *utils* wspomagający pracę *maina* w zakresie obsługi błędów. Zostały dodane trzy nowe moduły *tools*, *options* oraz *utils*. Ten pierwszy przechowuje funkcje odpowiedzialne za kolejkę oraz sprawdzanie spójności grafu, drugi wspomaga działanie *maina* w taki sposób, że przejmuje jego odpowiedzialność w zakresie wywoływania funkcji odpowiadających za działanie trybów oraz za przypisywanie wartości z wywołania programu. Moduł *utils* jest modulem współpracującym z *options*. Pomaga on w sprawdzaniu danych wejściowych oraz weryfikuje podanie wszystkich niezbędnych wartości. Poniżej pokażemy starą wersję diagramu modułów, a wersja najnowsza jest przedstawiona wyżej.



Rysunek 3: Diagram modułów – stara wersja

### 5.3 Obsługiwane błędy

W trakcie pisania programu napotkaliśmy na sytuacje, które wymagają zdefiniowania nowych błędów żeby użytkownik wiedział, dlaczego program się wyłączył. Niestety okazało się również, że nasze kody błędów były zbyt duże i program nie mógł zwracać takich wartości dlatego musieliśmy podjąć decyzję o ich zmianie.

Poniższa tabela zawiera wszystkie zadeklarowane błędy w programie:

| Nazwa Błędu               | Kod | Wyjaśnienie błędu   |
|---------------------------|-----|---|
| NO_MODE_FOUND             | 226 | Niepoprawny tryb lub jego brak  |
| NO_FILE_FOUND             | 231 | Nie podano pliku lub plik nie istnieje                                  |
| WRONG_NUM_OF_ROWS         | 232 | Podano niepoprawną liczbę wierszy                                       |
| WRONG_NUM_OF_COL          | 233 | Podano niepoprawną liczbę kolumn  |
| WRONG_RANGE_OF_WAGES      | 234 | Zły zakres losowania wartości wag                                       |
| NO_FLAG_FOUND             | 235 | Nie podany flagi w trybie Read Mode                                     |
| WRONG_POINTS              | 228 | Podano nieistniejący punkt lub ich złą liczbę                           |
| NO_COHERENT               | 237 | Graf jest niespójny   |
| NULL_POINTER_EXCEPTION    | 228 | Alokacja pamięci się nie udała  |
| NOT_READ_MODE             | 229 | Użyto flagi w trybie do generacji, ale działającej tylko w Read Mode    |
| MULTIPLE_MODE_DECLARATION | 230 | Dokonano próby nadpisania zadeklarowanego wcześniej trybu programu      |
| WRONG_MODE                | 227 | Użyto flagi w trybie Read, ale działającej tylko w trybach generujących |
| INVALID_DATA              | 225 | Nie podano wymaganego argumentu lub podano flagę, która nie istnieje    |
| NO_COL_ROWS_FOUND         | 223 | W pliku do czytania nie znaleziono kolumn lub wierszy                   |
| NO_NODES_FOUND            | 220 | W trybie nie znaleziono wierzchołków                                    |
| WRONG_ROWS_COLUMNS        | 198 | W czytany pliku kolumny lub wiersze mają wartość mniejszą równą 0       |

## 5.4 Zmiany w typach danych

Na drodze optymalizacji naszego kodu postanowiliśmy zmienić liczby typu `double` na typ `float`, ponieważ uznaliśmy, że nie potrzebujemy podwójnej precyzji w naszym programie.

## 5.5 Zmiany w strukturach

Struktury również przeszły małe modyfikacje spowodowane nieprzewidzianymi potrzebami. Zaprezentujemy je poniżej.

- `struct entryRead` – ta struktura otrzymała nową zmienną `numberPoints` odpowiedzialną za przetrzymywanie liczby wszystkich punktów podanych przez użytkownika oraz zmieniliśmy typ zmiennej `printFlag` żeby móc sprawdzać poprawnie jego podanie. Dodano również dwie nowe zmienne `rows` i `columns` odpowiedzialne za przechowanie liczby wierzchołków i kolumn,

```
1 typedef struct entryRead {
2     int rows;
3     int columns;
4     char* fileName;
5     short int printFlag;
6     int* points;
7     int numberPoints;
8 } entryR;
```

- `struct graphRead` – została całkowicie usunięta, ponieważ podczas implementacji okazała się bezużyteczna,
- `struct node` – ta struktura otrzymała nową zmienną tablicową `nodeToConnect` oraz wszystkie tablice zostały zmienione ze wskaźników na tablice o określonym rozmiarze,

```
1 typedef struct node {
2     bool edgeExist[4];
3     float edgeWeight[4];
4     int nodeToConnect[4];
5 } node;
```

- `struct entryGen` – w tej strukturze jedyna zmiana to typy zmiennych `double` na `float`.

```
1 typedef struct entryGen {
2     int rows;
3     int columns;
4     float rangeStart;
5     float rangeEnd;
6     short int mode;
7     char* fileName;
8 } entryG;
```

## 5.6 Wywoływanie programu

Zmianom uległo samo wywołanie programu. Poprzednio zakładaliśmy, że użytkownik będzie musiał przestrzegać kolejności wywołania, ale w czasie pisania programu stwierdziliśmy, że jest to zadanie bezsensowne i teraz użytkownik może wprowadzać przy pomocy odpowiednich flag w dowolnej kolejności poza jednym wyjątkiem. Owym wyjątkiem jest tryb działania programu, który musi być podawany jako pierwszy argument wywołania programu. Teraz flagi wymagają od użytkownika podania liczb po niektórych flagach. Poniżej przedstawiamy składnię programu.

Dla trybów, które generują graf:

```
./grapher [tryb] [plik] [wiersze] [kolumny] [początek] [koniec]
```

Dla trybu Read mode:

```
./grapher [tryb] [plik] [flaga] [punkty]
```

Argumenty wymagające podania wartości:

- plik,
- wiersze,
- kolumny,
- początek,
- koniec,
- punkty.

Ważnym odnotowania faktem jest to, że punkty powinny zostawać podawane po przecinku przykładowo:

np.

```
./grapher -points 1,2,3,4
```

Poniżej w tabeli pokazujemy jak wyglądają wszystkie flagi wraz z ich, krótszymi wersjami jedno-literowymi oraz z krótkim opisem ich działania.

| Flaga     | Literowy odpowiednik | Funkcja flagi  |
|-----------|----------------------|--|
| -points   | -p                   | Służy do określenia punktów w trybie Read Mode.                                    |
| -file     | -f                   | Służy do załączania pliku, do którego zapisujemy graf lub, z którego czytamy graf. |
| -rows     | -o                   | Służy do określania liczby wierszy w trybach generujących.                         |
| -columns  | -c                   | Służy do wprowadzenia liczby kolumn w trybach generujących.                        |
| -start    | -t                   | Pozwala określić początek przedziału losowania wag.                                |
| -end      | -n                   | Służy do wprowadzania końca przedziału losowania wag.                              |
| -WM       | -w                   | Ustawia tryb działania programu na Wage Mode.                                      |
| -RM       | -r                   | Ustawia tryb działania programu na Read Mode.                                      |
| -ReM      | -m                   | Ustawia tryb działania programu na Random Mode.                                    |
| -EM       | -e                   | Ustawia tryb działania programu na Edge Mode.                                      |
| -standard | -s                   | Włącza standardowy sposób wyświetlania ścieżki                                     |
| -extended | -x                   | Włącza rozszerzony sposób wyświetlania ścieżki                                     |

Na koniec dodam, że flagi dotyczące trybów mogą się składać z samych małych liter.

## 5.7 Struktura folderów

W obecnej strukturze zaprezentowanej w tym sprawozdaniu uwzględniliśmy folderu zawierający dokumentację projektu oraz odpowiedzialny za testy.

## 5.8 Makefile

Makefile został wzbogacony o nowe komendy, które opisane są w rozdziale *Kompilacja programu*. Poniżej przedstawiamy ich listę:

- `make wm,`
- `make rem,`
- `make em,`
- `make rm_s,`
- `make rm_e.`

## 5.9 Zmiany w funkcjach

Postanowiliśmy zrezygnować ze zmiennych będącymi wskaźnikami na wskaźniki, ponieważ stwierdziliśmy, że nie ma sensu ich stosować w przypadku naszego programu. Dzięki dodanym nowym modułom umiejscowienie funkcji się również zmieniło i niektóre funkcje stały się bardziej uniwersalne.

`int checkIfCoherentRead(graphR** graph, entryR* entry)` oraz `int checkIfCoherentGen(node** graph, entryG* entry)` zostało zastąpione jedną funkcją:

`bool checkIfCoherent(node* graph, int numOfNodes)`, która otrzymuje graf oraz liczbę wierzchołków i zwraca wartość *true* lub *false*.

`void printShortPath(entryR* entry, int* parents) →`  
`void printShortPath(entryR* entry, int* predecessors, int startPoint, int endPoint),`

`void printExtendedPath(entryR* entry, int* parents, double* weights) →`  
`void printExtendedPath(entryR* entry, int* predecessors, double* weights, int startPoint, int endPoint).`

## 6 Podsumowanie projektu

Projekt dotyczący grafów w języku C był realizowany od dnia 24.02.2022r do 14.04.2022r. W ramach niego powstały specyfikacja funkcjonalna i implementacyjna oraz moduły programu *grapher* takie jak: *alloc*, *main*, *genGraph*, *readGraph* i *utils*. Program można uruchamiać z wieloma flagami, które pozwalają na uruchomienie programu z dostosowanymi przez użytkownika wartościami. *Grapher* można uruchomić w czterech różnych trybach: *Wage*, *Random*, *Edge* oraz *Read*. W trybie *Read* użytkownik ma m.in. możliwość wybrania w jaki sposób wyświetlać najkrótszą ścieżkę między zadanymi przez użytkownika punktami dzięki flagom *-standard* i *-extended*. Program został gruntownie przetestowany, dlatego nie powinno być żadnych niespodziewanych zdarzeń.

## 7 Podsumowanie współpracy

Współpraca podczas trwania projektu dotyczącego grafów przebiegła bezproblemowo i sprawnie. Wymagało ona od nas zmian naszej koncepcji ale dzięki stałemu kontaktowi mogliśmy sprawnie wprowadzać zmiany. System kontroli wersji *git* pozwalał nam na równoczesną pracę nad projektem co spowodowało, że mogliśmy bez zbędnego stresu i presji prowadzić pracę nad zadaniem. Wszelkie zmiany w kodzie były tłumaczone po ukończeniu prac na danym modulem. Podsumowując, współpraca stała na zadowalającym poziomie i pozwalała na wzajemną naukę.

## 8 Wnioski

Sprawdzanie spójności grafów oraz szukanie w nich najkrótszej ścieżki nie jest zadaniem szybkim i trywialnym, a wręcz przeciwnie jest to zadanie wymagające i skomplikowane. Bardzo pomocne w uproszczeniu tych zadań są algorytmy przeszukiwania wszerz (BFS) oraz Dijkstry. Znacząco usprawniły i uprościły wykonanie tych właśnie zadań. Przy takich projektach wymagające jest również pilnowanie by program natrafiając na błąd informował dokładnie co i dlaczego się wydarzyło, oraz zapobieganie wyciekom pamięci. Z tym ostatnim wsparło nas narzędzie *valgrind*, które pozwoliło nam na skuteczną walkę z wyciekami.