

Сведения о документе / About.....	1
Функции CBioInfCpp.h и их предназначение/ Functions included in CBioInfCpp.h and their possible use .....	1
Функции ввода-вывода/ Input-Output functions.....	2
Функции работы со строками / Working with strings .....	6
Функции работы с графами / Working with graphs .....	11
Вспомогательные функции / Auxiliary functions.....	21

## Сведения о документе / About

Настоящий документ содержит общее описание CBioInfCpp.h и содержащихся в нем функций.

Документы CBioInfCpp.h, About\_CBioInfCpp.rtf, About\_CBioInfCpp.pdf (все указанные файлы размещены в настоящем каталоге) составляют собой одно произведение, которое распространяется на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International Public License (сокращенно - CC BY, гиперссылка на текст лицензии: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode.ru>).

Автор CBioInfCpp.h, About\_CBioInfCpp.rtf, About\_CBioInfCpp.pdf - Черноухов Сергей ([chernouhov@rambler.ru](mailto:chernouhov@rambler.ru))

This document contains general data on CBioInfCpp.h library.

The documents About\_CBioInfCpp.pdf, CBioInfCpp.h, About\_CBioInfCpp.rtf (all of them are placed in this directory) constitute a single Work (i.e. this Work is divided into these 3 files), and this Work is distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International Public License (CC BY) (hyperlink to the License: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode.ru>).

CBioInfCpp.h, About\_CBioInfCpp.rtf, About\_CBioInfCpp.pdf are written by Sergey Chernouhov ([chernouhov@rambler.ru](mailto:chernouhov@rambler.ru)).

## Функции CBioInfCpp.h и их предназначение/ Functions included in CBioInfCpp.h and their possible use

CBioInfCpp.h содержит ряд функций, которые могут быть полезны как при решении различных задач в области биоинформатики, так и других задач, связанных с работой со строками и графами.

Все функции объявлены и полностью определены в файле CBioInfCpp.h. При этом в данном файле также объявляется включение библиотек `iostream`, `fstream`, `string`, `vector`, `set`, `algorithm`, `queue`, `map`, `cmath`, `stack`, `limits.h`, `float.h`, необходимых для корректной работы всех функций.

Да, наверное, такой подход и не является каноническим, но он позволяет быстро начать работу (достаточно лишь включить CBioInfCpp.h в свою программу с помощью `include`).

При работе с графами применена структура данных «вектор смежности» - см. раздел "Функции работы с графами / Working with graphs".

PS Настоящая версия CBioInfCpp.h содержит не так много функций. Однако автор будет рад, если эта она получит дальнейшее развитие.

CBioInfCpp.h contains a number of functions that may be used as in bioinformatics as well as in other fields related to working with graphs and strings.

All the function are defined in the only file CBioInfCpp.h. Also the libraries `iostream`, `fstream`, `string`, `vector`, `set`, `algorithm`, `queue`, `map`, `cmath`, `stack`, `limits.h`, `float.h` are included. Yes, this way may be considered as "not the only best", but it allows to start immediately by writing "include CBioInfCpp.h" at the program beginning.

The data structure "Adjacency vector" to represent a graph is used in the CBioInfCpp (see the section "Working with graphs").

PS The current version of CBioInfCpp.h contains not so many functions. But it would be nice if this library grows up.

## Функции ввода-вывода/ Input-Output functions

```
int FastaRead (std::ifstream & fin, std::vector < std::string> & IndexS,
std::vector < std::string> & DataS)
// Чтение строк FASTA из файла. Возвращает 0, если кол-во индексов строк равно
кол-ву самих строк, самая первая строка является индексом (не начинается с ">") и
в процессе считывания не встретились 2 индекса подряд. Иначе вернет -1.
```

```
// Reads FASTA dataset from file. Returns 0 if the number of indexes of strings =
number of strings, the first string in dataset is index (starts with ">") and in
dataset there is no 2 indexes one-by-one without a data string in between.
Otherwise returns -1.
```

IndexS:

```
// Сюда будут записываться индексы (обозначения) строк
// Here indexes of strings will be contained
```

DataS:

```
// Сюда будут записываться сами строки
// Here data strings will be contained
```

```
void StringsRead (std::ifstream & fin, std::vector <std::string> & DataS)
// Reads all strings from file to vector DataS
```

```
int MatrixCout (std::vector <std::vector <int>> & B, char g = ' ')
// Вывод матрицы (int) на экран через пробелы. Возвращает -1, если матрица не
содержит строк/ столбцов
// Если строки матрицы разной длины, то "остатки" длины до максимальной при выводе
заполняются символом g
// "Couts" Matrix (int) to screen. Returns -1 if the Matrix is empty.
// The Matrix may have lines of different length. In this case the "missing"
values to the end for the "shorter lines" are filled with the char g.
```

```
int MatrixCout (std::vector <std::vector <long long int>> & B, char g = ' ')
// Вывод матрицы (long long int) на экран через пробелы. Возвращает -1, если
матрица не содержит строк/ столбцов
// Если строки матрицы разной длины, то "остатки" длины до максимальной при выводе
заполняются символом g.
// "Couts" Matrix (long long int) to screen. Returns -1 if the Matrix is empty.
// The Matrix may have lines of different length. In this case the "missing"
values to the end for the "shorter lines" are filled with the char g.
```

```
int MatrixCout (std::vector <std::vector <double>> & B, unsigned int prec = 4,
char g = ' ', bool scientifique = false)
// Вывод матрицы (double) на экран через пробелы. Возвращает -1, если матрица не
содержит строк/ столбцов
```

```
// Если строки матрицы разной длины, то "остатки" длины до максимальной при выводе
// заполняются символом g
// Вывод чисел проводится с заданной точностью prec, если bool scientifique ==
// false. Если bool scientifique == true, вывод производится в экспоненциальной
// форме.
// "Couts" Matrix (double) to screen. Returns -1 if the Matrix is empty.
// The Matrix may have lines of different length. In this case the "missing"
// values to the end for the "shorter lines" are filled with the char g.
// If bool scientifique == false, the precision will be set as prec; if bool
// scientifique == true, scientific notation will be applied.
```

```
int MatrixCout (std::vector <std::vector <long double>> & B, unsigned int prec =
4, char g = ' ', bool scientifique = false)
// Вывод матрицы (long double) на экран через пробелы. Возвращает -1, если матрица
// не содержит строк/ столбцов
// Если строки матрицы разной длины, то "остатки" длины до максимальной при выводе
// заполняются символом g
// Вывод чисел проводится с заданной точностью prec, если bool scientifique ==
// false. Если bool scientifique == true, вывод производится в экспоненциальной
// форме.
// "Couts" Matrix (long double) to screen. Returns -1 if the Matrix is empty.
// The Matrix may have lines of different length. In this case the "missing"
// values to the end for the "shorter lines" are filled with the char g.
// If bool scientifique == false, the precision will be set as prec; if bool
// scientifique == true, scientific notation will be applied.
```

```
int MatrixFout (std::vector <std::vector <double>> & B, std::ofstream & fout,
unsigned int prec = 4, char g = ' ', bool scientifique = false)
// Вывод матрицы (double) в файл через пробелы. Возвращает -1, если матрица не
// содержит строк/ столбцов
// Если строки матрицы разной длины, то "остатки" длины до максимальной при выводе
// заполняются символом g
// Вывод чисел проводится с заданной точностью prec, если bool scientifique ==
// false. Если bool scientifique == true, вывод производится в экспоненциальной
// форме.
// "Fouts" Matrix (double) to file. Returns -1 if the Matrix is empty.
// The Matrix may have lines of different length. In this case the "missing"
// values to the end for the "shorter lines" are filled with the char g.
// If bool scientifique == false, the precision will be set as prec; if bool
// scientifique == true, scientific notation will be applied.
```

```
int MatrixFout (std::vector <std::vector <long double>> & B, std::ofstream & fout,
unsigned int prec = 4, char g = ' ', bool scientifique = false)
// Вывод матрицы (long double) в файл через пробелы. Возвращает -1, если матрица
// не содержит строк/ столбцов
// Если строки матрицы разной длины, то "остатки" длины до максимальной при выводе
// заполняются символом g
// Вывод чисел проводится с заданной точностью prec, если bool scientifique ==
// false. Если bool scientifique == true, вывод производится в экспоненциальной
// форме.
// "Fouts" Matrix (long double) to file. Returns -1 if the Matrix is empty.
// The Matrix may have lines of different length. In this case the "missing"
// values to the end for the "shorter lines" are filled with the char g.
// If bool scientifique == false, the precision will be set as prec; if bool
// scientifique == true, scientific notation will be applied.
```

```
int MatrixFout (std::vector < std::vector <int>> & B, std::ofstream & fout, char g
= ' ')
// Вывод матрицы (int) в файл через пробелы. Возвращает -1, если матрица не
// содержит строк/ столбцов
```

```
// Если строки матрицы разной длины, то "остатки" длины до максимальной при выводе
// заполняются символом g
// "Fouts" Matrix (int) to file. Returns -1 if the Matrix is empty.
// The Matrix may have lines of different length. In this case the "missing"
// values to the end for the "shorter lines" are filled with the char g.
```

```
int MatrixFout (std::vector < std::vector <long long int>> &B, std::ofstream &
fout, char g = ' ')
// Вывод матрицы (long long int) в файл через пробелы. Возвращает -1, если матрица
// не содержит строк/ столбцов
// Если строки матрицы разной длины, то "остатки" длины до максимальной при выводе
// заполняются символом g
// "Fouts" Matrix (long long int) to file. Returns -1 if the Matrix is empty.
// The Matrix may have lines of different length. In this case the "missing"
// values to the end for the "shorter lines" are filled with the char g.
```

```
int VectorCout (const std::vector <int> &P)
// Вывод вектора (int) на экран через пробелы
// "Couts" vector (int) to screen. Returns -1 if the vector is empty
```

```
int VectorFout (const std::vector <int> &P, std::ofstream &fout)
// Вывод вектора (int) в файл через пробелы. Возвращает -1, если вектор - пустой
// "Fouts" vector (int) to file. Returns -1 if the vector is empty
```

```
int VectorCout (const std::vector <long long int> &P)
// Вывод вектора (long long int) на экран через пробелы
// "Couts" vector (long long int) to screen. Returns -1 if the vector is empty
```

```
int VectorFout (const std::vector <long long int> &P, std::ofstream &fout)
// Вывод вектора (long long int) в файл через пробелы. Возвращает -1, если вектор
// - пустой
// "Fouts" vector (long long int) to file. Returns -1 if the vector is empty
```

```
int VectorCout (const std::vector <double> &P, unsigned int prec = 4, bool
scientific = false)
// Вывод вектора (double) на экран через пробелы. Возвращает -1, если вектор -
// пустой
// Вывод чисел проводится с заданной точностью prec, если bool scientific ==
// false. Если bool scientific == true, вывод производится в экспоненциальной
// форме.
// "Couts" vector (double) to screen. Returns -1 if the vector is empty
// If bool scientific == false, the precision will be set as prec; if bool
// scientific == true, scientific notation will be applied.
```

```
int VectorFout (const std::vector <double> &P, std::ofstream &fout, unsigned int
prec = 4, bool scientific = false)
// Вывод вектора (double) в файл через пробелы. Возвращает -1, если вектор -
// пустой
// Вывод чисел проводится с заданной точностью prec, если bool scientific ==
// false. Если bool scientific == true, вывод производится в экспоненциальной
// форме.
// "Fouts" vector (double) to file. Returns -1 if the vector is empty
// If bool scientific == false, the precision will be set as prec; if bool
// scientific == true, scientific notation will be applied.
```

```

int VectorCout (const std::vector <long double> &P, unsigned int prec = 4, bool
scientific = false)
// Вывод вектора (long double) на экран через пробелы. Возвращает -1, если вектор
- пустой
// Вывод чисел проводится с заданной точностью prec, если bool scientific ==
false. Если bool scientific == true, вывод производится в экспоненциальной
форме.
// "Couts" vector (long double) to screen. Returns -1 if the vector is empty
// If bool scientific == false, the precision will be set as prec; if bool
scientific == true, scientific notation will be applied.

int VectorFout (const std::vector <long double> &P, std::ofstream &fout, unsigned
int prec = 4, bool scientific = false)
// Вывод вектора (long double) в файл через пробелы. Возвращает -1, если вектор -
пустой
// Вывод чисел проводится с заданной точностью prec, если bool scientific ==
false. Если bool scientific == true, вывод производится в экспоненциальной
форме.
// "Fouts" vector (long double) to file. Returns -1 if the vector is empty
// If bool scientific == false, the precision will be set as prec; if bool
scientific == true, scientific notation will be applied.

int VectorCout (const std::vector <std::string> &P)
// Вывод вектора (string) через Enter на экран. Возвращает -1, если вектор -
пустой
// "Couts" vector (string) to screen. Returns -1 if the vector is empty

int VectorFout (const std::vector <std::string> &P, std::ofstream &fout)
// Вывод вектора (string) через Enter в файл. Возвращает -1, если вектор - пустой
// "Fouts" vector (string) to file. Returns -1 if the vector is empty

int PairVectorCout (const std::pair < std::vector<int>, std::vector<double>> & P,
unsigned int prec = 4, bool scientific = false)
// Модификация функции VectorCout (см. выше).
// Modification of the function VectorCout (see it above) for not-integer (double)
weights of edges of a graph.
// Graph is represented here as a pair of 2 vectors. The first one is an
"Adjacency vector" without weights. But weights are set in the second one.
// So an edge that is set by the pair of vertices indexed as 2*i, 2*i+1 in the
first vector has its weight set as i-th element in the second one.

int PairVectorFout (const std::pair < std::vector<int>, std::vector<double>> & P,
std::ofstream &fout, unsigned int prec = 4, bool scientific = false)
// Модификация функции VectorFout (см. выше).
// Modification of the function VectorFout (see it above) for not-integer (double)
weights of edges of a graph.
// Graph is represented here as a pair of 2 vectors. The first one is an
"Adjacency vector" without weights. But weights are set in the second one.
// So an edge that is set by the pair of vertices indexed as 2*i, 2*i+1 in the
first vector has its weight set as i-th element in the second one.

int GraphCout (const std::vector <int> &P, const bool weighted)
// Вывод графа, заданного вектором смежности, на экран: каждое ребро выводится в
новой строке. Граф - невзвешенный либо веса его ребер целочисленны.
// "Couts" a graph that is set by Adjacency vector A to screen: one edge in one
line. Parameter "weighted" sets if the graph A is weighted or no.
// Returns -1 if input data is not correct. Otherwise returns 0.

```

```

int GraphFout (const std::vector<int> &P, const bool weighted, std::ofstream
&fout)
// Вывод графа, заданного вектором смежности, в файл: каждое ребро выводится в
новой строке. Граф - невзвешенный либо веса его ребер целочисленны.
// "Fouts" a graph that is set by Adjacency vector A to file: one edge in one
line. Parameter "weighted" sets if the graph A is weighted or no.
// Returns -1 if input data is not correct. Otherwise returns 0.

int GraphCout (const std::pair< std::vector<int>, std::vector<double>> & P,
unsigned int prec = 4, bool scientifique = false)
// Модификация функции GraphCout (см. выше) для взвешенных графов с
нецелочисленными весами ребер.
// Modification of the function GraphCout (see it above) for not-integer (double)
weights of edges of a graph.
// Graph is represented here as a pair of 2 vectors. The first one is an
"Adjacency vector" without weights. But weights are set in the second one.
// So an edge that is set by the pair of vertices indexed as 2*i, 2*i+1 in the
first vector has its weight set as i-th element in the second one.

int GraphFout (const std::pair< std::vector<int>, std::vector<double>> & P,
std::ofstream &fout, unsigned int prec = 4, bool scientifique = false)
// Модификация функции GraphFout (см. выше) для взвешенных графов с
нецелочисленными весами ребер.
// Modification of the function GraphFout (see it above) for not-integer (double)
weights of edges of a graph.
// Graph is represented here as a pair of 2 vectors. The first one is an
"Adjacency vector" without weights. But weights are set in the second one.
// So an edge that is set by the pair of vertices indexed as 2*i, 2*i+1 in the
first vector has its weight set as i-th element in the second one.

```

## Функции работы со строками / Working with strings

```

int HmDist (const std::string &s1, const std::string &s2)
// Counts Hamming Distance; returns -1 if any string is empty or they have
different length.
// Считает Hamming Distance, возвращает -1 если строки разной длины либо хоть одна
пустая.

int RComplDNA (const std::string& s, std::string &sr)
// generates reverse complement of string s as string sr, returns -1 and empty
string sr if string s is empty or it is not DNA

int RComplRNA (const std::string& s, std::string &sr)
generates reverse complement of string s as string sr, returns -1 and empty string
sr if string s is empty or it is not RNA

std::string rp (const std::string& s)
// generates reverse complement of DNA without any checking of input data
correctness

std::string rpr (const std::string& s)
// generates reverse complement of RNA without any checking of input data
correctness

double gcDRNA (const std::string &s)
// Counts DNA/RNA GC-content; in case any symbol not DNA/RNA-nucleotide or string
s is empty returns -1.0.

```

```

int RNAfromDNA (const std::string &s, std::string &sr)
// generates RNA from DNA, returns -1 and empty string sr if the input string s is
empty or it is not DNA

int DNAfromRNA (const std::string &s, std::string &sr)
// generates DNA from RNA, returns -1 and empty string sr if the input string s is
empty or it is not RNA

std::string RNAg (const std::string &s)
// generates RNA from DNA without any checking of input data correctness

std::string DNAg (const std::string &s)
// generates RNA from DNA without checking of data correctness

std::string StrToCircular (const std::string& s, int tail = INT_MAX)
// Находит и возвращает кратчайшую "круговую" ("скрученную в кольцо") строку для
заданной (т.е. с максимальным "нахлестом" конца строки на начало).
// Для строк длиной менее 3 символов возвращает ее же (считается, что в этом
случае "нахлест" невозможен.
// Возможно задать параметр tail - величину максимального "нахлеста". Значения
tail<=0 в расчет не принимаются.

// Returns a circular string of minimal length of a string s; if length of s <3
returns s itself.
// One may set "tail" i.e. maximal overlap "tail-to-beginning" of the string s
(nonpositive values of "tail" will be ignored).

int TandemRepeatsFinding (const std::string &s, std::vector<int> &Result, int
MaxWordLength = 4, int limit = 5)
// Функция находит все тандемные повторы в строке s, сформированные j-мерами
длиной от 1 до MaxWordLength символов включительно и имеющие длину не менее limit.
// MaxWordLength должно быть в границах от 2 по 6. limit должен быть больше
MaxWordLength (иначе limit будет присвоено значение MaxWordLength+1).
// Результат возвращается в векторе Result, где на четных позициях, отсчитываемых
с нуля - позиции начала тандемного повтора в s (символы в s также нумеруются с
нуля), а на нечетных - длина повтора
// Возвращает 0 в случае успеха. В случае некорректных данных (длина s <
MaxWordLength, MaxWordLength не в диапазоне [2; 6]) возвращает пустой Result и -1.

// Finds all tandem repeats in the string s as follows:
// the repeat has its lenght >= limits, the repeat should be formed by j-mers: j
in [1; MaxWordLength], MaxWordLength in [2; 6]
// limit should be more than MaxWordLength (if no the limit's value will be set as
MaxWordLength+1)
// Returns 0 and vector Result: every even position of Result contains the
starting position of tandem repeat in the s (0-based indexing)
// and every odd position of Result contain the lenghts of the repeat that have
its starting position as previous element in the Result.
// Returns -1 and empty Result if input data is incorrect.

void GMapCodonRNA (std::map< std::string, std::string> & MapCodon)
//Generates codon table for RNA in the map MapCodon (" $" means stop codon).
// MapCodon format: Codon -> Amino acid.

void GMapCodonRNA_A (std::map<std::string, std::vector<std::string>> & MapCodon)
//Generates codon table for RNA in the map MapCodon (" $" means stop codon).

```

```

// MapCodon format: Amino acid -> vector of relevant codons.

void GMapMonoisotopicMassTableLD (std::map <char, long double> & MassTable)
//Generates Monoisotopic mass table in the map (long double)

int GPFM (std::vector <std::string> &s, std::vector <std::vector <int>> & B, const
std::string &Alpha)
// Генерирует позиционную матрицу частот B по набору исходных строк s и алфавиту
Alpha (содержит последовательность символов алфавита);
// Последовательность строк в матрице B соответствует последовательности символов
в строке Alpha (т.е. последовательности символов алфавита).
// в случае если в наборе менее 2х строк или они имеют неодинаковую длину или в
алфавите менее 2 букв или хоть одна из строк содержит хоть один символ не из
алфавита,
// или же если алфавит содержит дублирующиеся символы - возвращается -1 и пустая
матрица B (в случае успеха возвращается 0).

// Generates position frequency matrix (PFM) B upon an array of strings s and
given Alphabet (Alphabet is set via string Alpha that contains the sequence of its
symbols);
// Ordering of the rows in B corresponds to sequence of symbols in Alph.
// If s contains 1 or 0 items or strings have not equal length or even the only
string contains symbol that not belongs to Alphabet
// or if there are any identical symbols in the Alphabet - returns -1 and empty B.

double PDist (const std::string& s1, const std::string& s2)
// counts p-distance without checking of the input data correctness

int GDistanceMatrix (std::vector <std::string> &s, std::vector <std::vector
<double>> & B)
// Генерирует матрицу расстояний "B" по набору исходных строк s; в случае если в
наборе менее 2х строк или они имеют неодинаковую длину - возвращается -1 (в случае
успеха - 0).
// Generates DistanceMatrix "B" upon array of strings s; if s contains 1 or 0
items or strings have not equal length returns -1 and empty B.

int EditDist (const std::string &s1, const std::string &s2)
// Рассчитывает редакционное расстояние (расстояние Левенштейна) между строками,
принимает на вход даже пустые. Цена каждой операции = 1
// Computes Edit Distance (Levenshtein distance) between two strings (strings may
be empty too).

void EDistForFindMR (const std::string &s1, const std::string &s2, const int D,
const int L, int l, int b, std::set <std::pair <int, int>> &Result)

// Вспомогательная функция для FindMutatedRepeatsED (см. ниже, приводится
следующей).
// An auxiliary function for FindMutatedRepeatsED, see its info for details
(below, the following one).

int FindMutatedRepeatsED (std::string &StrShort, std::string &StrLong, int D,
std::set <std::pair <int, int>> &Result)
// Функция находит все подстроки для строки StrLong, редакционное расстояние
которых до StrShort не превышает D. При этом принимается, что "штраф" за пропуск и
несовпадение символов = 1.

```



```

// Результат возвращается в set <std::pair <int, int>> Result, где первое число в
// паре - номер позиции начала подстроки в StrLong (счет позиций идет с 0), а второе
// - длина подстроки (пары не отсортированы).
// Если исходные данные некорректны - возвращается -1 и пустой Result;, в случае
// успеха возвращается 0.
// Идея реализованного алгоритма:
// (1) Найти все начала таких подстрок в StrLong.
// Для этого обе строки реверсируются, затем StrShort "выравнивается" на StrLong
// по обычным правилам для нахождения редакционного расстояния, но с тем отличием,
// что суммарный начальный пропуск по StrLong не "штрафуется" (начать можно с
// любой позиции в длинной строке без "штрафа"). Найденные начальные позиции
// нумеруются с 1. Затем строки реверсируются обратно.
// (2) Для каждой позиции вычисляется максимально возможная длина искомой
// подстроки, которая не может быть более длины StrShort плюс D, и при этом не может
// выходить за границу StrLong.
// Пояснение. Длины искомым подстрок не могут отличаться от длины StrShort более
// чем на D в ту и другую сторону, т.к. редакционное расстояние не превышает D, а
// цена пропуска = 1.
// (3) Если такая максимально возможная длина есть и составляет не менее длины
// StrShort минус D, то для соответствующей подстроки (обозначим как TempS) и StrShort
// осуществляем стандартный Edit Distance Alignment с помощью вспомогательной функции
// EDistForFindMR.
// И в выстраиваемой для этих целей матрице будут значения Edit Distance не только
// между StrShort и TempS, но и (!) укороченным с конца подстрокам TempS (для этого
// берем значения в матрице не только по последней строке (TempS "откладывается"
// вниз), но и по предшествующим.
// Если для каждого такого префикса строки TempS (при условии, что его длина
// удовлетворяет пояснению к шагу (2)) значение Edit Distance не превышает D -
// фиксируем в set Result его начальную позицию (в нумерации от 0) и длину.
// Функция возвращает 0 и заполненный Result в случае успеха и -1 и пустой Result
// в случае некорректности исходных данных (любая из строк пуста или StrShort длиннее
// StrLong или длина StrShort не превосходит D)

// The function finds all the substrings of a string StrLong, that have Edit
// Distance to a string StrShort <= D. Gap and mismatch penalties are set as "1"
// here.
// If dataset is correct returns 0 and set <std::pair <int, int>> Result, that
// contains pairs of integers: first one is a start position of a required substring
// in StrLong (0-based indexing) and the second one is its length.
// If dataset is not correct (any string is empty of StrShort is longer than
// StrLong or StrShort's length <= D) returns -1 and empty Result.
// The algorithm idea is:
// (1) to find all start positions of such substrings. To do so we should reverse
// both strings and then do Edit Distance Alignment but with no gap penalty at the
// beginning: The required substring may start at every position of the longer string
// so here are no penalty fo gapping at start.
// (2) For each start position the maximal possible length for the required
// substring (<= StrShort.length+D, but within StrLong).
// Note that the required substrings may have length <= StrShort.length+D and >=
// StrShort.length-D because gap penalty = 1.
// (3) If such maximal possible length meets this condition, let a string TempS be
// a substring of StrLong of this length (TempS starts from relevant start position
// in StrLong).
// And then let's do Edit Distance Alignment between TempS and StrShort in order
// to find prefixes of TempS, that require the statement of problem to be solved
// here.

bool CompStrDLO (const std::string & s1, const std::string & s2)
//Comparing function for arranging an array (vector) of strings in descending
//length order
// Компаратор для сортировки строк по убыванию длин

```

```

std::string ShortSuperstringGr (std::vector <std::string> DataS)
// Generates shortest superstring of an array (vector) of strings DataS via
// implementing greedy algorithm. In doing so, every string that is a substring of
// any another one of DataS is to be excluded.
// DataS is copied (not linked) here as it will be changed here.
// Returns empty string if DataS is empty or all strings of DataS are empty.
// Применен "жадный алгоритм" поиска наименьшей надстроки. При этом из
// рассмотрения исключаются строки, являющиеся подстроками других строк DataS.
// Исходные данные DataS копируются, а не привязываются по ссылке, т.к. DataS
// будет изменяться в процессе работы функции
// Возвращается пустая строка, если DataS - пустой или содержит только пустые
// строки.

int TrieMake (std::vector <std::string> &DataS, std::vector <int> & Trie)
// Trie constructing upon vector of strings DataS
// Построение префиксного дерева Trie по массиву строк DataS

// Trie: Here the Trie will be contained as a number of triplets of integers (a =
// Trie [3i], b = Trie [3i+1], c = Trie [3i+2], i = 0, 1, ...). Each triplet means an
// edge a->b marked with symbol (char) c. Vertices in the Tree are numerated starting
// with "1".
// Trie: Здесь будет само дерево в виде набора триплетов чисел. Первые два задают
// ребро графа, а третье - соответствующий символ (букву). Вершины графа нумеруются с
// 1.

void Num (std::string & Numbers, std::vector <double> & A)
// перегон строки с числами <double> в массив (вектор) A
// converts string of numbers <double> (separated by spaces) to a vector of
// numbers

void Num (std::string & Numbers, std::vector <int> & A)
// перегон строки с числами int в массив (вектор) A
// converts string of numbers <int> (separated by spaces) to a vector of numbers

int Num (std::string & Numbers, int &a1, int &a2, double &a3)
// Перегон строки, содержащей 3 числа, разделенных пробелами (пары целых и одного
// double) соответственно в int a1, int a2, double a3. Числа должны быть разделены
// пробелами, а более ничего строка содержать не должна.
// Возвращает -1 если выявлена ошибка исходных данных (нет 3х "кандидатов в
// числа").
// При этом проверка на то, что конвертируемая в число подстрока содержит лишь
// цифры и десятичный разделитель, в данной версии функции НЕ проводится.
// Converts a string to 3 numbers (2 integers and 1 double; they should be
// separated by spaces in the string and the string should't contain any other
// symbols) to int a1, int a2, double a3.
// Returns -1 if input data is incorrect (no 3 "candidates to numbers" are found).
// But note that here is NO checking if a substring to be converted to a number
// contains digits and decimal point only.

```

## Функции работы с графами / Working with graphs

При работе с графами здесь используется такая структура данных как «**Вектор смежности**».

### **Невзвешенный граф**

Назовем вектором смежности для взвешенного графа упорядоченный набор (массив) четного кол-ва чисел ( $a[2i]$ ,  $a[2i+1]$ , ..., где  $i$  нумеруется с 0), где каждая пара чисел  $a[2i]$ ,  $a[2i+1]$  задает ребро графа между вершинами  $a[2i]$  и  $a[2i+1]$  ("список ребер в строку").

Данный формат не содержит информации, является ли граф ориентированным или нет (возможны оба варианта). При использовании формата для орграфа считается, что ребро направлено из  $a[2i]$  в  $a[2i+1]$ .

### **Взвешенный граф: целочисленные веса ребер**

Назовем вектором смежности для взвешенного графа упорядоченный набор (массив) чисел ( $a[3i]$ ,  $a[3i+1]$ ,  $a[3i+2]$ , ..., где  $i$  нумеруется с 0), где каждая тройка чисел  $a[3i]$ ,  $a[3i+1]$  задает ребро графа между вершинами  $a[3i]$  и  $a[3i+1]$ , а  $a[3i+2]$  есть вес этого ребра, ("список ребер в строку").

Данный формат не содержит информации, является ли граф ориентированным или нет (возможны оба варианта). При использовании формата для орграфа считается, что ребро направлено из  $a[3i]$  в  $a[3i+1]$ .

### **Взвешенный граф: нецелочисленные веса ребер (double)**

Ввиду того, что в одном массиве (векторе) нельзя хранить разнородные элементы, предложена следующая реализация. Граф хранится в паре векторов (`std::pair < std::vector<int>, std::vector<double>>`) где первый вектор является вектором смежности графа без указания весов, а второй вектор содержит соответствующие веса. Таким образом, для ребра, задаваемого парой вершин под индексами  $2*i$ ,  $2*i+1$  первого вектора, вес будет равен элементу под индексом  $i$  второго вектора.

Структура данных «Вектор смежности» достаточно компактна, занимает меньше памяти, чем матрица смежности (для разреженных графов), относительно просто реализуется и может быть удобна для решения ряда задач.

При этом:

- Вершины графа могут быть промаркированы и отрицательными числами. При этом в ряде функций происходит приведение номеров вершин к неотрицательным либо положительным при реализации функции (ответ же выдается в исходных, неприведенных номерах вершин).
- Графы могут содержать множественные ребра и множественные петли.

Дополнение. Для обеспечения более быстрого доступа к значению веса ребра в графе, с лета 2019 года в CBioInfCpp также используется модификация Вектора смежности – **Ассоциативный массив смежности**, реализованный на базе контейнера Map. При этом ключом является пара целых чисел `int`, задающими номера вершин, а значением – вес ребра между ними: `int` либо `double`. Однако минусом здесь является невозможность хранения множественных ребер, поэтому чаще используется Вектор смежности.

The "Adjacency vector" is a data structure to represent a graph is used in the library CBioInfCpp.

### **Adjacency vector of unweighted graph**

Let "Adjacency vector" of unweighted graph be a data structure, that contains array of integers such as  $a[2i]$ ,  $a[2i+1]$ , ... (0-basing indexing).

So such array contains even number of elements. Every pair  $a[2i]$ ,  $a[2i+1]$  means an edge between vertex  $a[2i]$  and  $a[2i+1]$  (~ "Edge list as one String").

This format don't identify the graph as directed or undirected (both cases may be). If the graph is considered as directed, its edges should be considered as  $a[2i] \rightarrow a[2i+1]$ .

### **Adjacency vector of weighted graph: weights are integers**

Let "Adjacency vector" of weighted graph (all weights are integers) be a data structure, that contains array of integers such as  $a[3i]$ ,  $a[3i+1]$ ,  $a[3i+2]$ ,... (0-basing indexing).

So such array contains  $3n$  number of elements. Every pair  $a[3i]$ ,  $a[3i+1]$  means an edge between vertex  $a[3i]$  and  $a[3i+1]$  with weight  $a[3i+2]$  ("Edge list as one String").

This format don't identify the graph as directed or undirected (both cases may be). If the graph is considered as directed, its edges should be considered as  $a[3i] \rightarrow a[3i+1]$ .

### **Adjacency vector of weighted graph: weights are doubles**

As we are not able to create an array (or a vector) that contains both integers and doubles let's do the following. Let a graph is represented here as a pair of 2 vectors (i.e. `std::pair < std::vector<int>, std::vector<double>>`). The first one is an "Adjacency vector" without weights. But weights are set in the second one. So an edge that is set by the pair of vertices indexed as  $2*i$ ,  $2*i+1$  in the first vector has its weight set as  $i$ -th element in the second one.

The "**Adjacency vector**" may be considered as another one data structure to represent a graph. It is compact, smaller than Adjacency Matrix (for sparse graphs), simple to implement and it may be a convenient one for some tasks and problems solving.

By the way, vertices of a graph may be marked by both positive and non-positive numbers here. In order to implement some function vertices may be renumbered to get started from "0" or "1"; in doing so, the vertices will be assigned their original numbers before the function is complete.

Also any graph may have multiple edges and multiple loops.

Since Summer of 2019 CBioInfCpp also have a modification of Adjacency vector - **Adjacency map**. Adjacency map allows to have quicker access to edge's weight (the key is a pair of vertices numbers (int), weight may be int or double). But Adjacency map can't work with multiple edges so **Adjacency vector** is used most often here.

```
int UWGraphRead (std::ifstream & fin, std::vector <int> & A)
// Чтение невзвешенного графа в вектор смежности A.
// Назовем вектором смежности для взвешенного графа упорядоченный набор (массив)
четного кол-ва чисел ( $a[2i]$ ,  $a[2i+1]$ ,... /  $i$  нумеруется с 0 /),
// где каждая пара чисел  $a[2i]$ ,  $a[2i+1]$  задает ребро графа между вершинами  $a[2i]$  и
 $a[2i+1]$  ("список ребер в строку").
// Данный формат не содержит информации, является ли граф ориентированным или нет
(возможны оба варианта). При использовании формата для орграфа считается, что
ребро направлено из  $a[2i]$  в  $a[2i+1]$ .
// Предполагается считывание из файла, содержащего список ребер (каждое ребро -
отдельная строка)
// Возвращает -1 и пустой вектор A, если полученный вектор смежности пустой или же
при считывании очередного ребра считано не 2 элемента (числа)

// Reads Edge list to "Adjacency vector" of unweighted graph (i.e. to vector A).
Let "Adjacency vector" of unweighted graph be a data structure,
// that contains array of integers such as  $a[2i]$ ,  $a[2i+1]$ ,... / 0-basing indexing
in array /.
// So such array contains even number of elements. Every pair  $a[2i]$ ,  $a[2i+1]$  means
an edge between vertex  $a[2i]$  and  $a[2i+1]$  (~ "Edge list as one String").
// This format don't identify the graph as directed or undirected (both cases may
be). If the graph is considered as directed, its edges should be considered as
 $a[2i] \rightarrow a[2i+1]$ .
// Input file should be in edge list format, every edge in new line.
```

```
// Returns -1 and empty "Adjacency vector" A if any line contains number of
elements that !=2.
```

```
int WGraphRead (std::ifstream & fin, std::vector<int> & A)
// Чтение взвешенного графа в вектор смежности. Назовем вектором смежности для
взвешенного графа упорядоченный набор (массив) чисел (a[3i], a[3i+1], a[3i+2],...
// i нумеруется с 0 /), где каждая тройка чисел a[3i], a[3i+1] задает ребро графа
между вершинами a[3i] и a[3i+1], а a[3i+2] есть вес этого ребра, ("список ребер в
строку").
// Рассматриваемый формат не содержит информации, является граф ориентированным
или нет (возможны оба варианта). При использовании формата для орграфа считается,
что ребро направлено из a[3i] в a[3i+1].
// Данная структура данных занимает меньше памяти, чем матрица смежности, и может
быть удобна для решения ряда задач.
// Предполагается считывание из файла, содержащего список смежности (каждое ребро
- отдельная строка)
// Возвращает -1, если полученный вектор смежности пустой или же при считывании
очередного ребра считано не 3 элемента (числа)

// Reads Edges list to "Adjacency vector" of weighted graph. Let "Adjacency
vector" of weighted graph be a data structure, that contains array of integers
such as a[3i], a[3i+1], a[3i+2],... / 0-basing indexing in array /.
// So such array contains 3n number of elements. Every pair a[3i], a[3i+1] means
an edge between vertex a[3i] and a[3i+1] with weight a[3i+2] ("Edge list as one
String").
// This format don't identify the graph as directed or undirected (both cases may
be). If the graph is considered as directed, its edges should be considered as
a[3i] -> a[3i+1].
// Input file should be in edge list format, every edge in new line.
// Returns -1 and empty "Adjacency vector" A if any line contains number of
elements of any line that !=3.
```

```
int WGraphRead (std::ifstream & fin, std::pair< std::vector<int>,
std::vector<double>> & A)
// Модификация функции WGraphRead (см. выше) для случая нецелочисленных весов
ребер (double).
// Чтение проводится в пару векторов std::pair< std::vector<int>,
std::vector<double>> & A, где первый вектор является вектором смежности
считываемого графа без указания весов,
// а второй вектор содержит соответствующие веса. Соответственно для ребра
задаваемого парой вершин под индексами 2*i, 2*i+1 первого вектора вес будет равен
элементу под индексом i второго вектора.

// Modification of the function WGraphRead (see it above) for not-integer (double)
weights of edges of a graph.
// Graph is represented here as a pair of 2 vectors. The first one is an
"Adjacency vector" without weights. But weights are set in the second one.
// So an edge that is set by the pair of vertices indexed as 2*i, 2*i+1 in the
first vector has its weight set as i-th element in the second one.
```

```
int RangeVGraph (std::vector<int> & A, int & mx, int & mn, const bool weighted,
bool IgnoreWeighted = false)
// Finds max (i.e. mx) and min (i.e. mn) value of numbers that assigned to vertices
// Graph must be set as "Adjacency vector", bool "weighted" sets if the graph is
weighted or no.
// If (IgnoreWeighted = true) the function looks at every element in A without any
dataset checking
```

```

int RenumVGraph (std::vector <int> & A, const int d, const bool weighted, bool
IgnoreWeighted = false)
//Renummerates vertices adding d-parameter (d may be non-negative or negative) /
Перенумеровывает вершины графа: прибавляет величину d (может быть положительной
и отрицательной)
// Graph must be set as "Adjacency vector", bool "weighted" sets if the graph is
weighted or no.
// If (IgnoreWeighted = true) the function adds d to every element in A without
any dataset checking

```

```

int AdjVector2AdjMatrix (std::vector <int> & A, std::vector <std::vector <int>>
&B, const bool weighted, const bool directed)
// Converts "Adjacency vector" A to "Adjacency matrix" B.
// bool "weighted" sets if the graph is weighted or no. bool "directed" sets if
the graph is directed or no.
// In case of multiple edges for a weighted graph only the last edge will be
written to Adjacency matrix, others will be lost.
// Loops for undirected unweighted graph counts as 2 edges
// In this function zero-value of any item of Adjacency matrix means no edge both
for unweighted and weighted graph
// Returns 0 if success. Returns -1 and empty B if no.

```

```

int AdjVector2AdjMatrix (std::pair < std::vector<int>, std::vector<double>> & A,
std::vector <std::vector <double>> &B, const bool directed)
// Modification of the function AdjVector2AdjMatrix (see it above) for not-integer
(double) weights of edges of a graph.
// Graph is represented here as a pair of 2 vectors. The first one is an
"Adjacency vector" without weights. But weights are set in the second one.
// So an edge that is set by the pair of vertices indexed as 2*i, 2*i+1 in the
first vector has its weight set as i-th element in the second one.
// Note that undirected graph may have only zeros lower than the Main diagonal of
its Adjacency matrix here

```

```

int AdjMatrix2AdjVector (std::vector <int> & A, std::vector <std::vector <int>>
&B, const bool weighted, const bool directed)
// Converts "Adjacency matrix" B to "Adjacency vector" A.
// bool "weighted" sets if the graph is weighted or no. bool "directed" sets if
the graph is directed or no.
// For a weighted graph here are no multiple edges.
// Loops for an undirected unweighted graph counts as 2 edges (so if the Main
diagonal of the matrix B contain any odd number for such graph the function will
return -1)
// For an undirected graph the data that is lower than the Main diagonal of the
matrix B is ignored
// In this function zero-value of any item of Adjacency matrix means "no such
edge" both for unweighted and weighted graph
// Returns 0 if success. Returns -1 and empty A if no.

```

```

int AdjMatrix2AdjVector (std::pair < std::vector<int>, std::vector<double>> & A,
const std::vector <std::vector <double>> &B, const bool directed)
// Modification of the function AdjMatrix2AdjVector (see it above) for not-integer
(double) weights of edges of a graph.
// Graph is represented here as a pair of 2 vectors. The first one is an
"Adjacency vector" without weights. But weights are set in the second one.
// So an edge that is set by the pair of vertices indexed as 2*i, 2*i+1 in the
first vector has its weight set as i-th element in the second one.
// For an undirected graph the data that is lower than the Main diagonal of the
matrix B is ignored

```

```

int AdjVectorToAdjMap (const std::vector<int> &A, std::map<std::pair<int, int>
, int> &G2, const bool weighted)
// Converts Adjacency vector A to Adjacency map G2. Multiple edges will be joined
together.
// Parameter "weighted" sets if the graph A is weighted or no. Weights may be only
integers. If A is unweighted we consider that every edge have its weight = 1.
// Returns -1 if input data is not correct. Otherwise returns 0.
// Конвертирует Вектор смежности A в ассоциативный массив смежности G2.
Множественные ребра будут объединены с суммарным весом. Для невзвешенного графа
считаем вес всех ребер = 1.
// Возвращает -1 в случае некорректности исходных данных.
// Параметр weighted задает, является ли граф взвешенным (Истина) или нет.

```

```

int AdjVectorToAdjMap (const std::pair< std::vector<int>, std::vector<double>> &
A, std::map<std::pair<int, int>, double> &G2)
// Converts Adjacency vector A to Adjacency map G2. Multiple edges will be joined
together.
// Returns -1 if input data is not correct. Otherwise returns 0.
// Конвертирует Вектор смежности A в ассоциативный массив смежности G2.
Множественные ребра будут объединены с суммарным весом.
// Возвращает -1 в случае некорректности исходных данных.

```

```

int AdjMapToAdjVector (std::vector<int> &A, const std::map<std::pair<int, int>
, int> &G1)
// Converts Adjacency map G1 to Adjacency vector A. A is considered as weighted,
all weights are integers.
// Returns -1 if input data is not correct. Otherwise returns 0.
// Конвертирует Ассоциативный массив смежности G1 в вектор смежности A (только во
взвешенный, веса целочисленны).
// Возвращает -1 в случае некорректности исходных данных.

```

```

int AdjMapToAdjVector (std::pair< std::vector<int>, std::vector<double>> &A,
const std::map<std::pair<int, int>, double> &G1)
// Converts Adjacency map G1 to Adjacency vector A. A is considered as weighted,
all weights are double.
// Returns -1 if input data is not correct. Otherwise returns 0.
// Конвертирует Ассоциативный массив смежности G1 в вектор смежности A (только во
взвешенный, веса имеют тип double).
// Возвращает -1 в случае некорректности исходных данных.

```

```

int CheckUnvisit (vector<int> & Visited) // Вспомогательная функция для поиска
первой непометенной вершины в графе
// An auxiliary function that finds the first unmarked vertex in the graph (0
means unmarked)

```

```

void EcycleDGraph (int t, std::vector<int> & R, const int V, std::vector
<std::vector<int>> &B)
// Вспомогательная функция для поиска Эйлера цикла в ОРИЕНТИРОВАННОМ графе, где
он заведомо существует, нет изолированных вершин и нумерация вершин идет с 1.
// B - матрица смежности, содержащая кол-во ребер между вершинами, V -
максимальный номер вершины

```

```

// An auxiliary function that finds Eulerian cycle in the DIRECTED graph without
without checking of input data correctness
// (i.e. (1) the graph includes Eulerian cycle, (2) its vertices numbers start from
"1", (3) the graph doesn't contain any isolated vertices).
// B is the Adjacency matrix, containing the number of edges between the vertices.
V is the max number assigned to vertices.

```



```

int EPathDGraph (std::vector <int> & A, std::vector <int> & R, const bool
weighted, std::vector <int> & Isolated)
// Поиск Эйлера пути либо Эйлера цикла в ОРИЕНТИРОВАННОМ графе. Принимает на
вход вектор смежности графа с указанием, взвешенный ли граф, а также заготовку R
для найденного пути (цикла) и Isolated для изолированных вершин.
// При этом не считается изолированной вершина, имеющая лишь петли.
// Возвращает заполненные R и Isolated (если есть путь либо цикл, при этом
возвращаемые значения соответственно 2 и 1) и пустые вектора и -1, если их не
найденно.
// Эйлеров путь/ цикл ищется на всем графе, либо на единственной компоненте
связности, при условии что прочие вершины - изолированные.
// Может работать с ориентированными графами с дублирующими ребрами и с
множественными петлями. Нумерация вершин может осуществляться любыми целыми
числами, в т.ч. отрицательными. При этом считается, что граф содержит все вершины,
соответствующие всем числам от min (1, минимальный заданный номер вершины) по
максимальный заданный номер вершины включительно.
// В процессе работы граф приводится к виду, чтобы вершины нумеровались начиная с
1. По окончании работы исходная нумерация восстанавливается.

// Finding Eulerian Cycle or Path in directed graph (weighted or non-weighted)
that may contain multiple edges and multiple loops.
// Returns Path/ Cycle as R, isolated vertices as Isolated. Returns value "1" if
Eulerian cycle has been found or value "2" if Eulerian path has been found or "-1"
together with empty R and Isolates if no cycle/ path found.
// If any vertex has loops only, such a vertex is not considered as an isolated
one.
// Vertices may be numbered in different ways (they may be marked by both negative
and non-negative integers). In doing so, we set that the graph contains vertices
marked by all the integers from min (1, minimal number assigned to vertices) to
maximal number assigned to vertices inclusive.
// In order to implement the function vertices may be renumbered to get started
from "1"; after search is completed, the vertices will be assigned their original
numbers.

int EPathDGraph (std::pair < std::vector<int>, std::vector<double>> & A,
std::vector <int> & R, std::vector <int> & Isolated)
// Модификация функции EPathDGraph (см. выше) для случая нецелочисленных весов
ребер (double).
// Modification of the function EPathDGraph (see it above) for not-integer
(double) weights of edges of a graph.
// Graph is represented here as a pair of 2 vectors. The first one is an
"Adjacency vector" without weights. But weights are set in the second one.
// So an edge that is set by the pair of vertices indexed as 2*i, 2*i+1 in the
first vector has its weight set as i-th element in the second one.

int DistanceBFA (std::vector <long long int> &A, std::vector <int> & D, const int
b, std::vector <int> & Prev, const bool weighted, int V = INT_MIN)
// Рассчитывает расстояния от заданной вершины b до всех прочих в орграфе
(используется метод поиска в ширину).
// Возвращается 1 в случае успеха (вектор D содержит кратчайшие расстояния от
вершины b до вершины i, а вектор Prev - индекс вершин-предков в таком пути).
// По умолчанию вектор D содержит значения LLONG_MAX, а вектор Prev - "-1".
// Если в ходе работы обнаружен цикл негативного веса, то функция возвращает -1 и
пустые вектора D и Prev.
// На входе д.б. граф, заданный вектором смежности A (считается, что вершины
нумеруются с 0), номер исходной вершины b и флаг, является ли граф взвешенным
(const bool weighted). Для невзвешенных считается, что каждое ребро имеет вес = 1.
// Также на вход подается номер наибольшей вершины V (если не передан,
рассчитывается самостоятельно как номер наибольшей вершины в ребрах)

```



```

// Функция работает со взвешенными и с невзвешенными графами, причем они могут
// содержать петли и множественные ребра. Ребра могут иметь как неотрицательный (в
// т.ч. и нулевой), так и отрицательный вес.

// The function counts the shortest distances from the vertex b to all vertices in
// the graph (these distances are to be contained in vector D, i.e. D[i] means the
// shortest distance from b to i).
// By default vector D is filled with LLONG_MAX.
// Vector Prev is intended to contain the number of the previous vertex for every
// vertex in such shortest paths ("-1" value is set by default and means "this vertex
// doesn't included in any such path").
// The Breadth-first search method is used here.
// The input graph should be directed, both weighted or unweighted (in case of
// unweighted graph we consider every edge's weight as "1".) The graph may have loops
// and multiple edges.
// Input data: Adjacency vector A (it is supposed that vertices are numbered
// starting from 0) and the maximum vertex number V (V may be not set, in this case
// it will be the maximum vertex number of Adjacency vector A)
// The edges may have weight of 0, >0, <0.
// In case we found a negative weight cycle as well as input data is incorrect the
// function returns "-1" and empty D and Prev.

int DistanceBFA (std::pair < std::vector<int>, std::vector<double>> & A,
std::vector <long double> & D, const int b, std::vector <int> & Prev, int V =
INT_MIN)
// Модификация функции DistanceBFA (см. выше) для случая нецелочисленных весов
// ребер (double).
// Modification of the function DistanceBFA (see it above) for not-integer
// (double) weights of edges of a graph.
// Graph is represented here as a pair of 2 vectors. The first one is an
// "Adjacency vector" without weights. But weights are set in the second one.
// So an edge that is set by the pair of vertices indexed as 2*i, 2*i+1 in the
// first vector has its weight set as i-th element in the second one.

int DFSTS (const std::vector <int> & A, const int b, std::vector <int> & Visited,
std::vector <int> & order, const bool weighted)
// Вспомогательная функция для функции TSortHP. Проверки исходных данных не
// проводится, вершины в ориентированном орграфе, заданном вектором смежности A, д.б.
// нумерованы с 1.
// Граф может содержать петли (игнорируются).
// В процессе обхода раскрашиваем вершины в массиве Visited: 0 - непосещенная
// (белая), 1 - посещена, но не отработана (серая), 2 - отработана (черная).
// weighted - истина, если взвешенный граф, иначе - ложь.
// Если найден цикл - возвращает 1 и пустой order.

// An auxiliary function for the function TSortHP. Works without any checking of
// input data correctness. Vertices in the input directed graph (it is set by the
// Adjacency vector A) are to be numbered starting from 1.
// The graph may contain loops (they will be ignored).
// During building topological sorting we shall colour vertices (using vector
// Visited): 0 = unvisited (white), 1 = visited, but not still finished yet (grey), 2
// = finished (black).
// Bool "weighted" should be set as "true" for weighted graph, "false" for
// unweighted.
// If the graph contains cycle - returns 1 and empty "order".

int TSortHP (std::vector <int> & A, std::vector <int> & R, std::vector <int> &
order, std::vector <int> & Isolated, const bool weighted, const bool OnlyTS =
false)
// Функция для топологической сортировки в орграфе. Также в случае наличия
// топологической сортировки (и при условии OnlyTS = false) ищет Гамильтонов путь и

```

```

перечень изолированных вершин. При этом не считается изолированной вершина,
имеющая лишь петли.
// Функция НЕ является функцией поиска именно Гамильтонова пути, он ищется ТОЛЬКО
в случае наличия топологической сортировки.
// Принимает на вход вектор смежности графа A с указанием, взвешенный ли граф
(параметр weighted), а также заготовку R для Гамильтонова пути, order для
топологической сортировки, Isolated для перечня изолированных вершин.
// Может работать с ориентированными графами с дублирующими ребрами и с
множественными петлями (петли будут игнорироваться).
// Нумерация вершин может осуществляться любыми целыми числами, в т.ч.
отрицательными. При этом считается, что граф содержит все вершины, соответствующие
всем числам от min (1, минимальный заданный номер вершины) по максимальный
заданный номер вершины включительно.
// В процессе работы граф приводится к виду, чтобы вершины нумеровались начиная с
1. По окончании работы исходная нумерация восстанавливается.
// Если OnlyTS == false (нормальная работа функции):
// Возвращает 0, если найдены и топологическая сортировка, и Гамильтонов путь.
// Возвращает -1 и пустые R, order, Isolated, если в графе найден цикл.
// Возвращает 1 и пустой R, если есть топологическая сортировка, а Гамильтонова
пути нет.
// Если параметр OnlyTS == true, то ищется только топологическая сортировка
(данный режим предусмотрен для ускорения работы). Возвращает 0, если она найдена и
-1 если нет. Гамильтонов путь и изолированные вершины не возвращаются (R и
Isolated будут пусты в любом случае).

// The function finds topological sorting of directed graph (returned as vector
"order").
// ONLY IF topological sorting exists AND OnlyTS == false the function also checks
for Hamiltonian path (returned as vector R) and list of Isolated vertices
(returned as vector Isolated).
// The graph is set by Adjacency vector A, may be weighted or no (bool weighted).
// The graph may contain loops (they will be ignored).
// If any vertex has loops only, such a vertex is not considered as an isolated
one.
// The graph may contain multiple edges.
// Vertices may be numbered in different ways (they may be marked by both negative
and non-negative integers). In doing so, we set that the graph contains vertices
marked by all the integers from min (1, minimal number assigned to vertices) to
maximal number assigned to vertices inclusive.
// In order to implement the function vertices may be renumbered to get started
from "1"; after search is completed, the vertices will be assigned their original
numbers.
// So if OnlyTS == false:
// the function returns 0 if both topological sorting and Hamiltonian path found.
// the function returns -1 and empty Isolated, order, R if the graph contains
cycle.
// the function returns 1 if topological sorting found and, upon that, Hamiltonian
path doesn't exist.
// If OnlyTS == true, both R and Isolated will be returned empty (to make this
function faster). The function returns 0 if topological sorting is found and -1
otherwise.

int TSortHP (std::pair < std::vector<int>, std::vector<double>> & A, std::vector
<int> & R, std::vector <int> & order, std::vector <int> & Isolated, const bool
OnlyTS = false)
// Модификация функции TSortHP (см. выше) для случая нецелочисленных весов ребер
(double).
// Modification of the function TSortHP (see it above) for not-integer (double)
weights of edges of a graph.
// Graph is represented here as a pair of 2 vectors. The first one is an
"Adjacency vector" without weights. But weights are set in the second one.
// So an edge that is set by the pair of vertices indexed as 2*i, 2*i+1 in the
first vector has its weight set as i-th element in the second one.

```

```

long long int MaxFlowGraph (std::vector<int> A, const bool weighted, int b, int
e, std::vector<std::vector<int>> &Paths, std::vector<int> &Flows, std::vector<
std::pair<int, int>> &MinCut)
// Функция для поиска максимального потока в графе из вершины b в вершину e; граф
задается вектором смежности A;
// параметр weighted определяет, является ли граф взвешенным (если взвешенный -
"Истина", при этом веса ребер здесь могут быть лишь целыми положительными).
// Может работать с множественными ребрами (рассматриваются как одно
"объединенное" ребро с суммарным весом) и с множественными петлями (петли
игнорируются).
// Вершины графа должны быть неотрицательны, веса ребер - только положительны
// Возвращает: (1) величину максимального потока, (2) заполненный вектор путей
Paths, слагающих максимальный поток (один из возможных вариантов построения Paths,
если их может быть несколько),
// (3) соответствующие этим путям значения потоков в векторе Flows, (4) перечень
ребер минимального разреза графа в векторе MinCut (каждое ребро задано парой
вершин).
// В случае некорректных исходных данных или отсутствия пути из b в e возвращает
-1 и пустые Paths, Flows, MinCut.

// Finds maximal flow from vertex b to vertex e in the graph A (set by Adjacency
vector A).
// Parameter "weighted" sets if A is a weighted graph or no. All vertices of A
should have only non-negative marks.
// For a weighted graph edges should have only positive values.
// Graph A may have multiple edges (multiple edges will be considered as one
joined edge that have its weight = sum of the weights of all joined edges) and
multiple loops (loops will be ignored).
// Returns: maximal flow value and 3 vectors: vector Paths (contains all the
paths of the maximal flow network (one of the possible solutions if >1 solutions
exist))
// vector Flows (contains values of a flow for a index-relevant Path (i.e.
Flows[0] for Paths [0], etc)),
// vector MinCut (contains the max-flow min-cut as an array of edges: every edge
is set as a pair of its vertices).
// If input data is incorrect or there are no path from b to e returns -1 and
empty Paths and Flows.

long double MaxFlowGraph (std::pair< std::vector<int>, std::vector<double>> A,
int b, int e, std::vector<std::vector<int>> &Paths, std::vector<double> &Flows,
std::vector< std::pair<int, int>> &MinCut)
// Модификация функции MaxFlowGraph (см. выше) для случая нецелочисленных весов
ребер (double).
// Modification of the function MaxFlowGraph (see it above) for not-integer
(double) weights of edges of a graph.
// Graph is represented here as a pair of 2 vectors. The first one is an
"Adjacency vector" without weights. But weights are set in the second one.
// So an edge that is set by the pair of vertices indexed as 2*i, 2*i+1 in the
first vector has its weight set as i-th element in the second one.

int DistanceTS (std::vector<int> &A, std::vector<long long int> &D, const int
b, std::vector<int> &Prev, const bool weighted, int V = INT_MIN)
// Рассчитывает расстояния от заданной вершины b до всех прочих в орграфе. Метод
работает быстрее, чем DistanceBFA за счет предварительной топологической
сортировки орграфа.
// Однако метод неприменим для орграфов, содержащих любой цикл кроме петель, в
т.ч. - множественных (петли будут игнорироваться).
// Возвращается 1 в случае успеха (вектор D содержит кратчайшие расстояния от
вершины b до вершины i, а вектор Prev - индекс вершин-предков в таком пути).
// По умолчанию вектор D содержит значения LLONG_MAX, а вектор Prev - "-1".

```

```

// Если был обнаружен цикл - возвращается -1 и пустые вектора D и Prev.
// На входе д.б. граф, заданный вектором смежности A (считается, что вершины
нумеруются с 0), номер исходной вершины и флаг, является ли граф взвешенным.
// Для невзвешенных графов считается, что каждое ребро имеет вес = 1. Для
взвешенных - длины ребер должны быть строго меньше INT_MAX.
// Также на вход подается номер наибольшей вершины V (если не передан,
рассчитывается самостоятельно как номер наибольшей вершины в ребрах)
// Функция работает со взвешенными и с невзвешенными графами, причем они могут
содержать петли и множественные ребра.
// Ребра могут иметь как неотрицательный (в т.ч. и нулевой), так и отрицательный
вес.

// The function counts the shortest distances from the vertex b to all vertices in
the graph (these distances are to be contained in vector D, i.e. D[i] means the
shortest distance from b to i).
// By default vector D is filled with LLONG_MAX.
// In doing so, vector Prev is intended to contain the number of the previous
vertex for every vertex in such shortest paths ("-1" value is set by default and
means "this vertex doesn't included in any such path").
// This function seems to be faster than DistanceBFA, but DistanceTS works only
with graphs containing no cycles (except loops, multiple loops).
// The input graph should be directed, both weighted or unweighted (in this case
we consider every edge's weight as "1".) The graph may have loops and multiple
edges.
// Input data: Adjacency vector A (it is supposed that vertices are numbered
starting from 0) and the maximum vertex number V (V may be not set, in this case
it will be the maximum vertex number of Adjacency vector A)
// The edges of a weighted graph may have weight of 0, >0, <0, but only less than
INT_MAX (<INT_MAX).
// In case we found a cycle as well as input data is incorrect the function
returns "-1" and empty D and Prev.

int DistanceTS (std::pair < std::vector<int>, std::vector<double>> & A,
std::vector <long double> & D, const int b, std::vector <int> & Prev, int V =
INT_MIN)
// Модификация функции DistanceTS (см. выше) для случая нецелочисленных весов
ребер (double).
// Modification of the function DistanceTS (see it above) for not-integer (double)
weights of edges of a graph.
// Graph is represented here as a pair of 2 vectors. The first one is an
"Adjacency vector" without weights. But weights are set in the second one.
// So an edge that is set by the pair of vertices indexed as 2*i, 2*i+1 in the
first vector has its weight set as i-th element in the second one.

```

## Вспомогательные функции / Auxiliary functions

```
int MatrixSet (std::vector <std::vector <double>> & B, const int NLines, const int
NColumns, const double i)
// Создает матрицу NLines x NColumns и заполняет значением i (double). Возвращает
-1 если число строк или столбцов неположительно
// Sets (resets) matrix NLines x NColumns filled value "i" (double). Returns -1 if
NLines or NColumns <=0
```

```
int MatrixSet (std::vector <std::vector <long double>> & B, const int NLines,
const int NColumns, const long double i)
// Создает матрицу NLines x NColumns и заполняет значением i (long double).
Возвращает -1 если число строк или столбцов неположительно
// Sets (resets) matrix NLines x NColumns filled value "i" (long double). Returns
-1 if NLines or NColumns <=0
```

```
int MatrixSet (std::vector <std::vector <int>> & B, const int NLines, const int
NColumns, const int i)
// Создает матрицу NLines x NColumns и заполняет значением i (int). Возвращает -1
если число строк или столбцов неположительно
// Sets (resets) matrix NLines x NColumns filled value "i" (int). Returns -1 if
NLines or NColumns <=0
```

```
int MatrixSet (std::vector <std::vector <long long int>> & B, const int NLines,
const int NColumns, const long long int i)
// Создает матрицу NLines x NColumns и заполняет значением i (long long int).
Возвращает -1 если число строк или столбцов неположительно.
// Sets (resets) matrix NLines x NColumns filled value "i" (long long int).
Returns -1 if NLines or NColumns <=0
```

```
int FindIn (std::vector <int> &D, int a, int step = 1, int start = 0)
// Возвращает индекс первого найденного элемента (int), совпадающего с искомым
(a), поиск ведется с позиции start, шаг поиска = step, если не нашли такого
элемента - возвращаем -1. Если переданное значение step <1, то step присваивается
значение 1. Если переданное значение start <0, то start присваивается значение 1.
// Returns index in vector (int) of the first element = a. Search starts from
index "start" with step = "step". If step<1 step will be set as 1. If start<0
start will be set as 0. If no such element found the function returns 0.
```

```
int FindIn (std::vector <long long int> &D, long long int a, int step = 1, int
start = 0)
{
// Возвращает индекс первого найденного элемента (long long int), совпадающего с
искомым (a), поиск ведется с позиции start, шаг поиска = step, если не нашли
такого элемента - возвращаем -1. Если переданное значение step <1, то step
присваивается значение 1. Если переданное значение start <0, то start
присваивается значение 1.
// Returns index in vector (long long int) of the first element = a. Search starts
from index "start" with step = "step". If step<1 step will be set as 1. If start<0
start will be set as 0. If no such element found the function returns 0.
```

```
int FindIn (std::vector <double> &D, double a, int step = 1, int start = 0)
// Возвращает индекс первого найденного элемента (double), совпадающего с искомым
(a), поиск ведется с позиции start, шаг поиска = step, если не нашли такого
элемента - возвращаем -1. Если переданное значение step <1, то step присваивается
значение 1. Если переданное значение start <0, то start присваивается значение 1.
// Да, прямое сравнение чисел double не совсем корректно и это нужно принимать во
внимание, но в ряде случаев функция может быть полезна.
```

```
// Для сравнения с заданной точностью см. вариант функции ниже.
// Returns index in vector (double) of the first element = a. Search starts from
index "start" with step = "step". If step<1 step will be set as 1. If start<0
start will be set as 0. If no such element found the function returns 0.
// Yes, operation like (a==b) may be not correct for doubles. But this function
may be considered as an useful one in some cases.
// The following version of the function finds the first element, that differs
from "a" less than "d".
```

```
int FindIn (std::vector <double> &D, double a, double d, int step = 1, int start =
0)
// Возвращает индекс первого найденного элемента (double), совпадающего с искомым
(a) с точностью до d, поиск ведется с позиции start, шаг поиска = step, если не
нашли такого элемента - возвращает -1. Если переданное значение step <1, то step
присваивается значение 1. Если переданное значение start <0, то start
присваивается значение 1.
// Returns index in vector (double) of the first element, that differs from "a"
less than nonnegative double "d".
// Search starts from index "start" with step = "step". If step<1 step will be set
as 1. If start<0 start will be set as 0. If no such element found the function
returns 0.
```

```
int FindIn (std::vector <long double> &D, long double a, int step = 1, int start =
0)
// Возвращает индекс первого найденного элемента (long double), совпадающего с
искомым (a), поиск ведется с позиции start, шаг поиска = step, если не нашли
такого элемента - возвращает -1. Если переданное значение step <1, то step
присваивается значение 1. Если переданное значение start <0, то start
присваивается значение 1.
// Да, прямое сравнение чисел long double не совсем корректно и это нужно
принимать во внимание, но в ряде случаев функция может быть полезна. Для сравнения
с заданной точностью см. вариант функции ниже.
// Returns index in vector (long double) of the first element = a. Search starts
from index "start" with step = "step". If step<1 step will be set as 1. If start<0
start will be set as 0. If no such element found the function returns 0.
// Yes, operation like (a==b) may be not correct for doubles. But this function
may be considered as an useful one in some cases. The following version of the
function finds the first element, that differs from "a" less than "d".
```

```
int FindIn (std::vector <long double> &D, long double a, long double d, int step =
1, int start = 0)
// Возвращает индекс первого найденного элемента (long double), совпадающего с
искомым (a) с точностью до d, поиск ведется с позиции start, шаг поиска = step,
если не нашли такого элемента - возвращаем -1. Если переданное значение step <1,
то step присваивается значение 1. Если переданное значение start <0, то start
присваивается значение 1.
// Returns index in vector (long double) of the first element, that differs from
"a" less than nonnegative long double "d".
// Search starts from index "start" with step = "step". If no such element found
the function returns 0. If step<1 step will be set as 1. If start<0 start will be
set as 0.
```

```
int FindIn (std::vector <string> &D, std::string a, int step = 1, int start = 0)
// Возвращает индекс первого найденного элемента (string), совпадающего с искомым
(a), поиск ведется с позиции start, шаг поиска = step, если не нашли такого
элемента - возвращаем -1. Если переданное значение step <1, то step присваивается
значение 1. Если переданное значение start <0, то start присваивается значение 1.
// Returns index in vector (string) of the first element = a. Search starts from
index "start" with step = "step". If step<1 step will be set as 1. If start<0
start will be set as 0. If no such element found the function returns 0.
```

```

int SwapInVector (std::vector<int> & A1, unsigned int f, unsigned int l)
// swaps 2 elements in vector (int). Returns -1 if some index out of vector's
range or vector is empty
// Замена элементов в векторе (int), возвращает -1 если хоть один из запрашиваемых
индексов выходит за размер вектора либо если вектор пустой

int SwapInVector (std::vector<long long int> & A1, unsigned int f, unsigned int
l)
// swaps 2 elements in vector (long long int). Returns -1 if some index out of
vector's range or vector is empty
// Замена элементов в векторе (long long int), возвращает -1 если хоть один из
запрашиваемых индексов выходит за размер вектора либо если вектор пустой

int SwapInVector (std::vector<double> & A1, unsigned int f, unsigned int l)
// swaps 2 elements in vector (double). Returns -1 if some index out of vector's
range or vector is empty
// Замена элементов в векторе (double), возвращает -1 если хоть один из
запрашиваемых индексов выходит за размер вектора либо если вектор пустой

int SwapInVector (std::vector<long double> & A1, unsigned int f, unsigned int l)
// swaps 2 elements in vector (long double). Returns -1 if some index out of
vector's range or vector is empty
// Замена элементов в векторе (long double), возвращает -1 если хоть один из
запрашиваемых индексов выходит за размер вектора либо если вектор пустой

int SwapInVector (std::vector< std::string> & A1, unsigned int f, unsigned int l)
// swaps 2 elements in vector (string). Returns -1 if some index out of vector's
range or if the vector is empty
// Замена элементов в векторе (string), возвращает -1 если хоть один из
запрашиваемых индексов выходит за размер вектора либо если вектор пустой.

int PartitionOfNumber (std::vector<std::vector<int>> &B, int n)
// Генерирует разбиения числа на слагаемые для чисел больше 0 (иначе вернет -1).
Результат генерируется в векторе векторов B.
//Generates partitions of int n (i.e. representing n as a sum of positive
integers) in B. If n<=0 returns empty B and "-1"

int PartitionOfNumberL (std::vector< std::vector<int>> &B, int n, int l=-1)
// Генерирует разбиения числа на слагаемые для чисел больше 0 (иначе вернет -1).
Результат генерируется в векторе векторов B. Расширенная версия:
// можно задать длину разбиения l. Если l>0, то возвращаются только разбиения
длиной l. При этом более короткие разбиения "добиваются справа" нулями.
//Generates partitions of int n (i.e. representing n as a sum of positive
integers) in B. Extended version: one may set l>0 as a length of partitions (i.e.
number of summands).
// In this case "0" will be added to the end of the shorter partitions. If n<=0
returns empty B and "-1"

```