Politechnika Warszawska

Tytuł	Test algorytmu qsort.c
Autor	Monika Musielik
Sprawdzający	dr inż. Piotr Witkowski
Data	8 listopada 2025

Spis treści

1 Cel projektu

Celem projektu było odnalezienie i naprawa błędów w algorytmach sortowania przez wstawianie oraz szybkiego sortowania, a następnie udkokumentowanie tego procesu w sprawozdaniu.

2 Sortowanie przez wstawianie

W pliku `insort.c` została napisana błędna funkcja algorytmu sortownia przez wstawianie, po niewielkim sprzątaniu prezentuje się ta funkcja w sposób następujący:

```
3  void insort(double v[], int n) {
4    int i, j;
5    for (i = 1; i < n; i++) {
6      double tmp = v[j];
7      for (j = i-1; v[j] > tmp, j--)
8        v[j+1] = v[j];
9      v[j+1] = tnp;
10   }
11 }
```

Plik niestety się nie kompiluje ze względu na błąd składni w liniach 7 i 9. W linii 7 został zamieniony średnik z przecinkiem, a w linii 9 litera `n` została zamieniona z literą `m`.

Po szybkich naprawach i uruchomieniu programu, można zauważyć, że nie działa on tak jak powinien i nie sortuje tablicy zgodnie z zasadami matematyki, a czasem występuje błąd segmentacji.

Od razu można było zauważyć błąd w linii 6, używanie zmiennej `j`, zanim została jej przypisana jakakolwiek wartość. Jest to kolejna literówka, ponieważ do tej zmiennej powinna być przypisywana wartość `v[i]`, zamiast `v[j]`.

Program teraz o wiele częściej zwraca poprawnie posortowany wektor, natomiast nadal występują błędy segmentacji, co sugeruje naruszanie ochrony pamięci, czyli brak warunku w którejś z pętl. Pętla `for` w linii 5 nie powinna *mazać tam, gdzie nie powinna*, ponieważ ma jasno określony zakres operacji. Natomist pętla w linii 7 już nie ma i może zejść poniżej `j = 0`, dlatego należy dodać warunek który to uniemożliwia.

```
3  void insort(double v[], int n) {
4    int i, j;
5    for (i = 1; i < n; i++) {
6      double tmp = v[i];
7      for (j = i-1; j >= 0 && v[j] > tmp; j--)
8        v[j+1] = v[j];
9      v[j+1] = tmp;
10   }
11 }
```

Po powyższyczh poprawkach funkcja działa zgodnie z założeniami i zwraca poprawne wyniki. Błędy były proste do zlokalizownia i naprawienia głównie przez prostote algorytmu sortowania przez wstawianie.

3 Szybkie sortowanie

W pliku `q_sort.c` znajdują się 3 funkcje: `q_sort`, `qsort_rec`, `divide`. Pierwsze 2 funkcje nie mają błędów, można to łatwo zbadać przez ich prostotę:

```
33 void qsort_rec( double v[], int first, int last ) {
34   if( first < last ) {
35     int m = divide( v, first, last );
36     qsort_rec( v, first, m-1 );
37     qsort_rec( v, m+1, last );
38   }
39 }
40
41 void q_sort( double v[], int n ) {
42   qsort_rec( v, 0, n-1 );
43 }
```

Funkcja `q_sort` opakowuje funkcje `qsort_rec` ze zmniejszoną wartością n o 1. Natomist główna funkcja `qsort_rec`, jest rekurencyjna i wywołuje funkcje `divide` która dzieli tablicę.

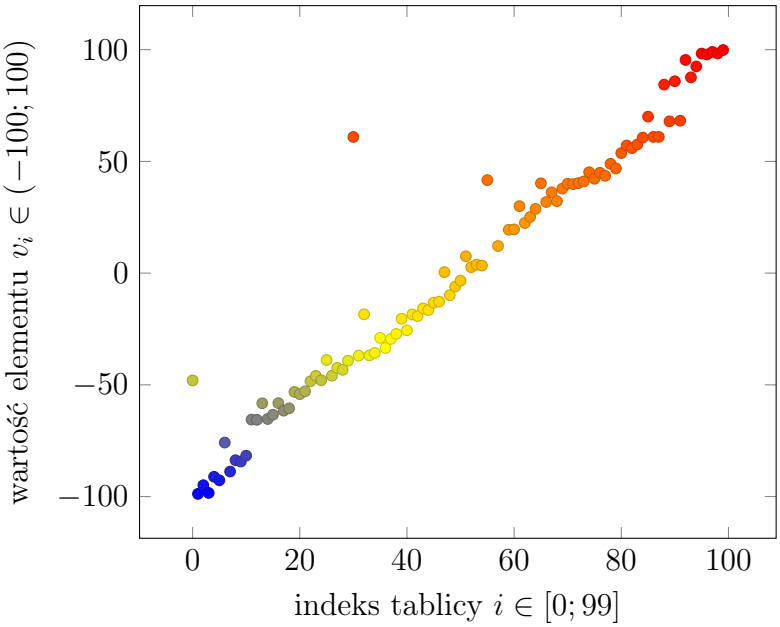
Program kompiluje się bez zmian, jednak zachodzą w nim błędy przy porównywaniu liczb. Dzięki temu można dojść do wniosku, że błąd pojawia się w funkcji `divide`. Dla skrócenia funckji dodam prostą funkcje `swap` zamieniająca między sobą 2 elementy.

```
3  void swap(double *a, double *b) {
4    double tmp;
5    tmp = *a;
6    *a = *b;
7    *b = tmp;
8  }
```

Dzięki tej prostej zmianie funkcja dzielenia tablic znacząco poprawiła swoją czytelność i jest prosta w analizowaniu błędu, który nadal się nie zmienił:

```
10 int divide( double v[], int f, int l ) {
11   int s = f;
12   f++;
13
14   while( f < l ) {
15     while( f < l && v[f] < v[s] ) f++;
16     while( f < l && v[l] > v[s] ) l--;
17     if( f < l ) swap(&v[f], &v[l]);
18   }
19
20   swap(&v[s], &v[f]);
21   return f;
22 }
```

Po uruchomieniu programu można zauważyć ciekawą rzecz, wektor po przejściu przez tą funkcje nie jest posortowany, jednak po wyświetleniu przykładowej tablicy złożonej z liczb pseudolosowych o $n = 100$ z $v_n \in (-100; 100)$ przeprowadzoną przez funkcję `q_sort` można zobaczyć specifyczny kształt danych na wykresie punktowym:



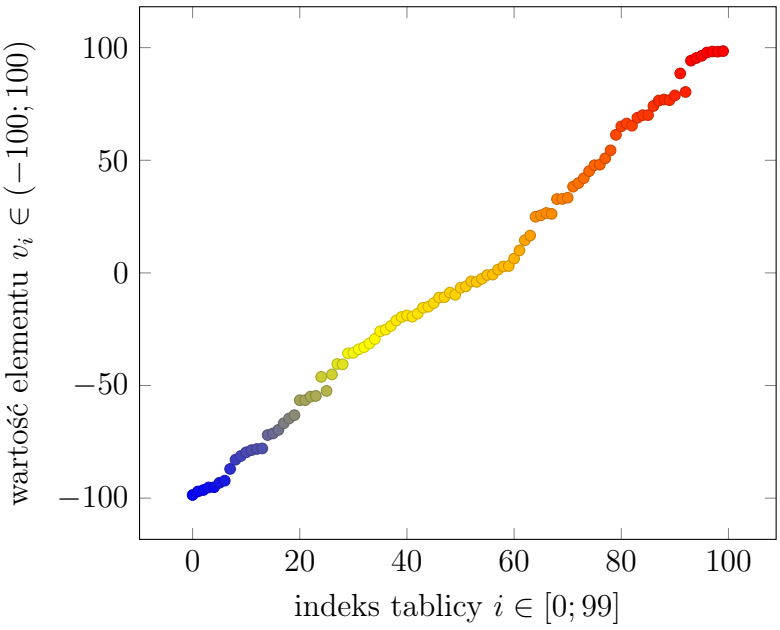
Jak widać tablica jest *prawie* posortowana. Postanowiłam usunąć z wykresu 2 elementy: $v_{56} = 21094$, $v_{58} = 44531$, ponieważ ich wartości sięgają dziesiątki tysięcy, oraz nie posiadają części ułamkowej, co sugeruje naruszanie ochrony pamięci.

Innym prostym błędem jest błędna końcowa zamiana elementu startowego v_f z elementem piwotu v_s. Zgodnie z algorytmem szybkiego sortownia element piwotu powinien być zamieniony z *ostatnim elementem wektora*, tak wygląda poprawiona wersja:

```
20 swap(&v[s], &v[l]);
21 return l;
```

Można zauważyć na wykresie wyżej inny problem, pojedyńcze wartości są bardzo odchylone od siebie. Jest to spowodowane błędami warunków w liniach 15 i 16. Można je poprawić zamieniając operator `<` na `<=`

```
15  while( f <= l && v[f] < v[s] ) f++;
16  while( f <= l && v[l] > v[s] ) l--;
```



Jak widać ta zmiana bardzo poprawiła algorytm sortowania, który jest coraz bardziej zgodny z założeniami. Nie występują już pojedyńcze punkty które są po przeciwnych stronach sekcji. Jednak algorytm ciągle ma błędy.

Kolejnym błędem jest błędny warunek zakończenia głównej pętli `while`, ponownie jak w błędzie wyżej należy zamienić operator `<` na `<=`.

```
14  while( f <= l ) {
```

Po tej zmianie wydawałoby się, że algorytm już działa poprawnie, ale jeśli w pliku `test.c` wymuszę aby 2 elementy miały dokładnie taką samą wartość, np. $v_5 = 10$, $v_6 = 10$ to program wejdzie w nieskończoną pętle.

Aby naprawić ten błąd należy rozszczerzyć kod w instrukcji warunkowej, tak aby przesuwał wskaźniki f i l oraz kończył w odpowiednim momencie pętle:

```
17  if( f < l ) {
18    swap(&v[f], &v[l]);
19    f++;
20    l--;
21  } else break;
```

Po wszystkich poprawkach algorytm sortowania działa zgodnie z założeniami i zwraca poprawnie wyniki. W porównaniu do sortowania przez wstawianie, naprawa tego algorytmu była znacznie trudniejsza ze względu na większą złożoność kodu który po wszystkich naprawach wygląda w sposób następujący:

```
3  void swap(double *a, double *b) {
4    double tmp;
5    tmp = *a;
6    *a = *b;
7    *b = tmp;
8  }
9
10 int divide( double v[], int f, int l ) {
11   int s = f;
12   f++;
13
14   while( f <= l ) {
15     while( f <= l && v[f] < v[s] ) f++;
16     while( f <= l && v[l] > v[s] ) l--;
17     if( f < l ) {
18       swap(&v[f], &v[l]);
19       f++;
20       l--;
21     } else break;
22   }
23
24   swap(&v[s], &v[l]);
25   return l;
26 }
27
28 void qsort_rec( double v[], int first, int last ) {
29   if( first < last ) {
30     int m = divide( v, first, last );
31     qsort_rec( v, first, m-1 );
32     qsort_rec( v, m+1, last );
33   }
34 }
35
36 void q_sort( double v[], int n ) {
37   qsort_rec( v, 0, n-1 );
38 }
```