Politechnika Wrocławska

Wydział Elektroniki,
Fotoniki i Mikrosystemów

Laboratorium informatyki

Ćwiczenie nr 6. Wstęp do arytmetyki wskaźników. Tablice

Zagadnienia do opracowania:

- wskaźniki i ich arytmetyka
- operator dereferencji i operator adresu
- tablice jedno- i wielowymiarowe
- tablice a wskaźniki
- łańcuchy znakowe
- przekazywanie argumentów do funkcji *main()*

Spis treści

1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie z podstawowymi zagadnieniami z zakresu arytmetyki wskaźników oraz ich zastosowaniem w prostych aplikacjach konsolowych w języku *C* i *C++*.

2. Wprowadzenie

2.1. Wskaźniki

Adresem pamięci nazywa się unikalny identyfikator, umożliwiający jednoznaczne rozpoznanie lokalizacji danego zasobu w pamięci komputera. Każda zmienna, stała czy funkcja posiada swój adres, pod którym została zainicjalizowana. Długość adresu jest zależna od **architektury komputera**, np. systemy 32-bitowe cechują się adresami o długości 4 B (32 b), natomiast systemy 64-bitowe – adresami o długości 8 B (64 b). Aby pobrać adres zmiennej należy posłużyć się operatorem adresu – ***operatorem*** &. Przykład przedstawiono na listingu 1.

```
1 int number = 123;
2 // Wyswietl wartosc zmiennej
3 printf("%d\n", number);
4 // Wyswietl adres zmiennej
5 printf("%p\n", &number);
```

Listing 1. Zastosowanie operatora adresu

Wskaźnikiem (*ang. pointer*) nazywamy specjalny typ zmiennych, przechowujący jako wartość ***adres pamięci***. Innymi słowy, ***wskaźnik*** zawiera informację o miejscu alokacji innego zasobu w pamięci komputera. Poza tym, wskaźnik, tak jak każda inna zmienna, posiada również swój adres, pod którym został zainicjalizowany. **Rozmiar zmiennej wskaźnikowej jest rów-**

ny długości adresu w danej architekturze komputera. Zatem operator ***sizeof*** wywołany na **dowolnej** zmiennej wskaźnikowej w systemie 32-bitowym zwróci wartość 4 (bajty), a w systemie 64-bitowym – 8 (bajtów). **Zmienne wskaźnikowe deklaruje się z wykorzystaniem symbolu** $*$. **Zastosowanie wskaźników w kodzie *C/C++* umożliwia:**

- pracę na oryginałach zmiennych;
- dynamiczną alokację pamięci (na ***stercie***) (*ang. heap*);
- optymalizację czasu wykonania programu.

Na listingu 2. przedstawiono zmienne *x, y, z*, kolejno typów: *char, int* oraz *unsigned short*. Zmienne te posiadają różne rozmiary w pamięci komputera (przykładowo: char – 1 B, int – 4 B, unsigned short – 2 B; patrz: tabela 1 [Ćw. 2]). Zmienna ***ptr*** jest ***zmienną wskaźnikową***. Definiując zmienną ***ptr*** przypisano jej, jako wartość, adres zmiennej ***y*** (za pomocą operatora adresu &).

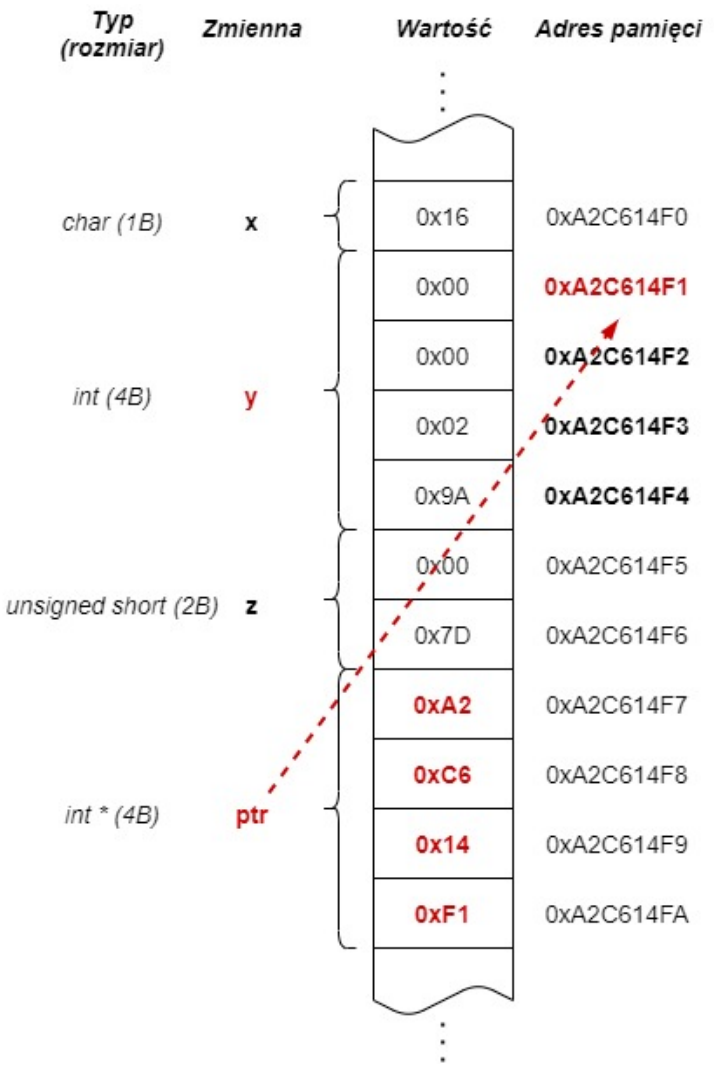
```
1 char x = 0x16; // 22 w systemie dziesietnym
2 int y = 0x29A; // 666 w systemie dziesietnym
3 unsigned short = 0x7D; // 125 w systemie dziesietnym
4 int * ptr = &y; // adres zmiennej y
```

Listing 2. Deklaracja zmiennej wskaźnikowej

Należy zwrócić uwagę, że **typ zmiennej wskaźnikowej jest zgodny z typem wskazywanej zmiennej** (tu: ***int*** $*$ i ***int***). Analogicznie, definiując **wskaźnik na zmienną x** należałoby określić jego typ jako **char** $*$. Deklarację i definicję zmiennej wskaźnikowej można rozdzielić:

```
int * ptr; // deklaracja zmiennej
ptr = &y; // definicja zmiennej
```

Na rys. 2.1. przedstawiono fragment pamięci komputera (np. **stosu**) w 32-bitowym systemie operacyjnym. Każda komórka pamięci o rozmiarze 1 B posiada swój unikalny adres. Wartość zmiennej ***y*** jest rozdzielona między cztery komórki pamięci (ponieważ typ ***int*** w tym przypadku ma rozmiar 4 B). Analogicznie, zmienne x i y zajmują odpowiednio jedną i dwie komórki pamięci. Zarówno adresy, jak i wartości zmiennych, w pamięci komputera wyrażone są za pomocą liczb w systemie heksadecymalnym (szesnastkowym). Jest to najczęściej stosowana reprezentacja. Zmienna wskaźnikowa ***ptr*** o rozmiarze 4 B zajmuje cztery komórki pamięci, w których **przechowywany jest adres pierwszej komórki pamięci zmiennej *y***. Widoczne jest teraz, że typ zmiennej wskaźnikowej jest bardzo istotny. Sam wskaźnik przechowuje adres pierwszej z komórek pamięci, na których została zaalokowana zmienna, natomiast jego typ (tu: ***int*** $*$) niesie informację, na ilu komórkach pamięci zapisana jest wartość zmiennej (tu: 4), tzn. ile bajtów należy pobrać w celu odczytania pełnej wartości zmiennej.



Rys. 2.1. Wizualizacja wskaźnika w pamięci komputera (z listingu 2)

Wykorzystując wskaźniki można odczytywać, jak i przypisywać wartości wskazywanym zmiennym. Służy do tego ***operator dereferencji***, zwany również ***operatorem wyłuskania*** – ***operator***$*$. Przykład wykorzystania operatora dereferencji przedstawiono na listingu 3. Na podstawie tego przykładu widać, że pary wyrażeń: {***variable***, $*$***ptr***} oraz {&***variable***, ***ptr***} mają tę samą wartość.

```
1  int variable = 4;
2  // ptr wskazuje na zmienna o wartosci 4
3  int * ptr = &variable;
4  std::cout << variable << std::endl;
5  std::cout << *ptr << std::endl;
6
7  // ptr wskazuje na zmienna o wartosci 2
8  // Wartosc 4 zostala nadpisana w pamieci przez
      wartosc 2
9  *ptr = 2;
10 std::cout << variable << std::endl;
11 std::cout << *ptr << std::endl;
12
13 // Wyswietl adres zmiennej variable
14 std::cout << &variable << std::endl;
15 std::cout << ptr << std::endl;
16
17 // Wyswietl adres wskaznika ptr
18 std::cout << &ptr << std::endl;
```

Listing 3. Odczytanie i nadpisanie wartości zmiennej z użyciem wskaźnika

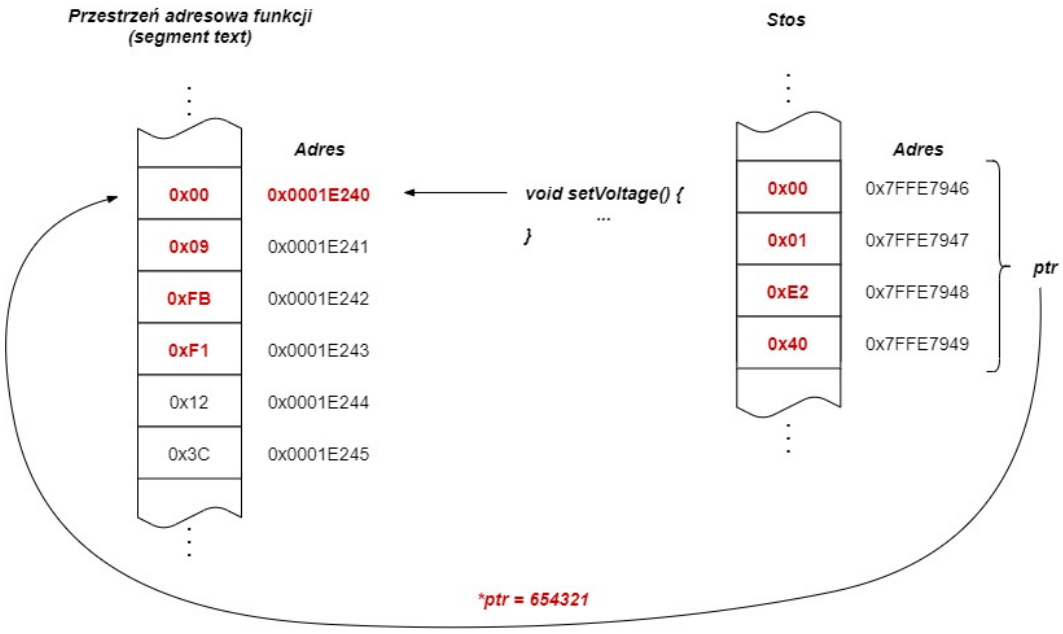
Zarówno język *C*, jak i *C++*, dają programiście dużą swobodę w wykonywaniu operacji na pamięci komputera. Ma to swoje wady i zalety. Z jednej strony umożliwia to tworzenie szybkich, pamięciowo-wydajnych programów, ale równocześnie nie zapewnia ochrony przed przeprowadzeniem niewłaściwych operacji na pamięci. **Wskaźniki stanowią jeden z najważniejszych mechanizmów języka *C/C++*, którego zrozumienie jest niezbędne do wykorzystania pełni możliwości i pojęcia „filozofii" programowania w języku *C/C++***. Dlatego też rozwaga i świadomość wykonywanych operacji są wymagane przy posługiwaniu się zmiennymi wskaźnikowymi. Jedna z podstawowych zasad, o których musi pamiętać każdy programista,

mówi: **nie wolno wykonywać dereferencji na niezainicjalizowanym wskaźniku!** Przykład przedstawiono na listingu 4., gdzie za pomocą operatora $*$ zapisuje się wartość 654321 do pamięci wskazywanej przez lokalną zmienną wskaźnikową ***ptr***.

```
1 {
2     int * ptr;
3     *ptr = 654321; // 0x9FBF1
4 }
```

Listing 4. Dereferencja na niezainicjalizowanym wskaźniku

Niezainicjalizowany wskaźnik (tak jak inne niezainicjalizowane zmienne lokalne) przechowuje losową wartość. Jest to wartość, która znajdowała się w obszarze stosu, na którym został odłożony wskaźnik. Zatem **wskaźnik przechowuje losowy adres!** Operacja $*ptr = 654321$ wpisuje wartość do komórki pamięci określonej przez losowy adres. Rys. 2.2. przedstawia sytuację, wyolbrzymioną (małe prawdopodobieństwo takiego ułożenia adresów), do jakiej może doprowadzić przypisanie wartości do niezainicjalizowanego wskaźnika. W segmencie ***text*** (*code*), pod adresem **0x0001E240**, leży funkcja ***setVoltage()***, ustalająca napięcie zasilania pewnego układu elektronicznego. Kolejne komórki pamięci (0x0001E240, 0x0001E241, 0x0001E242, ...) zawierają instrukcje zawarte w ciele funkcji ***setVoltage()*** (w postaci kodu maszynowego). Niezainicjalizowany wskaźnik ***ptr*** przechowuje (losową) wartość **0x0001E240 – adres funkcji setVoltage()!** Wpisując wartość 654321 do kolejnych komórek pamięci, zajmowanych przez funkcję ***setVoltage()***, zmienia się jej działanie. W wyniku tego, ustawiona zostanie nieprawidłowa wartość napięcia zasilającego układ, co w skrajnym przypadku doprowadzi do jego uszkodzenia.



Rys. 2.2. Dereferencja na niezainicjalizowanym wskaźniku

Możliwe jest zapobieganie modyfikacji danych leżących pod adresem wskazywanym przez zmienną wskaźnikową przez zastosowanie specyfikatora ***const***:

```
1 float variable = 2.0;
2 const float * ptr = &variable;
3 *ptr = 5.5; // Blad kompilacji - modyfikacja stalej
```

Zabieg taki można zastosować np. w celu optymalizacji kodu (zapobiegnięciu kopiowania zmiennej; w szczególności zmiennej o znacznym rozmiarze), przy jednoczesnym zabezpieczeniu przed nieintencjonalną modyfikacją zmiennej. Jest to szczególnie istotne w kontekście programowania mikrokontrolerów o niewielkim rozmiarze pamięci. Należy jednak mieć na uwadze, że zabieg ten jest zabezpieczeniem modyfikacji zmiennej **jedynie przed próbą zmiany jej wartości przez modyfikację wskaźnika zdeklarowanego z użyciem słowa kluczowego *const***. Kilka wskaźników zdeklarowanych zarówno bez, jak i przy użyciu specyfikatora ***const***, może jednocześnie prze-

chowywać adres tej samej zmiennej:

```
float variable = 2.0;
const float * ptr = &variable;
float * ptr_2 = &variable;
*ptr_2 = 5.5; // Poprawna modyfikacja zmiennej
   variable
```

Możliwe jest również ustalenie stałego adresu przechowywanego przez wskaźnik. Warto zwrócić uwagę na położenie słowa kluczowego ***const*** w obu przypadkach:

```
short variable = 125;
short * const ptr = &variable;
short anotherVariable = 121;
ptr = &anotherVariable; // Blad kompilacji - zmiana
   adresu
```

Mając na uwadze odwoływanie się do wskaźników, które wskazują na niewłaściwą (losową) lokalizację w pamięci, koniecznym stało się wprowadzenie sposobu weryfikacji adresu przypisanego do zmiennej wskaźnikowej. W tym celu wprowadzono wartość ***NULL***. Jest to makro (zdefiniowane za pomocą dyrektywy preprocesora #define) określające, że wskaźnik nie wskazuje na adres żadnego zasobu w pamięci komputera (jego wartość wynosi 0). Należy mieć jednak na uwadze, że kompilator nie inicjalizuje wskaźników automatycznie za pomocą wartości ***NULL***. Obowiązek ten ciąży na programiście. **Dereferencja wskaźnika o wartości *NULL* skutkuje *niezdefiniowanym zachowaniem*!**

```
    int * ptr = NULL;
    std::cout << *ptr; // niezdefiniowane zachowanie
```

Język *C++* (od standardu *C++*11) wprowadził ***literał wskaźnikowy nullptr***. Jest to słowo kluczowe, pod którym zdefiniowana jest wartość wskaźnika niewskazującego na żaden adres zasobu w pamięci. Różnica między ***NULL*** a ***nullptr*** polega na tym, że ***NULL***, jako dyrektywa preprocesora, interpretowany jest jako zmienna całkowita (*int*), a ***nullptr*** jako zmienna wskaźnikowa (*nullptr_t*). Z tego względu pisząc kod w języku *C++* (od standardu *C++*11) należy używać ***nullptr*** zamiast ***NULL***. **Należy mieć na uwadze, że dereferencja wskaźnika o wartości *nullptr* również skutkuje niezdefiniowanym zachowaniem!**

2.2. Tablice

Często potrzebne jest przechowywanie wielu zmiennych jednego typu, np. pobierając od użytkownika kilkanaście liczb, jedna po drugiej. W takim przypadku pomocne okazują się ***tablice***. ***Tablice*** stanowią ciąg zmiennych, **ułożonych w sposób liniowy w pamięci komputera** (jedna po drugiej), posiadających wspólny identyfikator (nazwę). ***Tablice*** mogą być jedno- lub wielowymiarowe i mogą być alokowane w różnych obszarach pamięci (tablice statyczne/dynamiczne). ***Tablice*** deklarowane są z wykorzystaniem nawiasów kwadratowych: [ ], a odwołanie do określonego elementu w ciągu przeprowadzane jest za pomocą ***operatora indeksu*** (*operator[]*). Przykład deklaracji jednowymiarowej tablicy przedstawiono na listingu 5. Warto zwrócić uwagę na sposób ***indeksowania tablicy***. ***Indeksowanie*** **tablic w języku *C/C++* rozpoczyna się od 0**. Dlatego pętla inicjalizująca odwołuje się do elementów o numerach od 0 do 4 ($i < 5$). Wywołanie na tablicy operatora indeksu (*operator[]*) z wartością 5 oznacza odwołanie do pierwszej komórki pamięci leżącej za zaalokowaną tablicą (szósty element), co skutkuje **niezdefiniowanym zachowaniem**.

```
// Deklaracja tablicy liczb calkowitych o rozmiarze
   5
int tab[5];
// Inicjalizacja elementow tablicy liczbami z
   zakresu 0...4
for (unsigned int i = 0; i < 5; ++i)
    // Przypisanie do i-tego elementu wartosci i
    tab[i] = i;
// Wypisanie wartosci elementu o indeksie 2
std::cout << tab[2] << std::endl;
// Wypisanie wartosci elementu spoza tablicy -
   niezdefiniowane zachowanie!
std::cout << tab[5] << std::endl;
```

Listing 5. Deklaracja tablicy i odwołanie do jej elementów

W definicji tablicy można jednocześnie zawrzeć inicjalizację kolejnych elementów:

```
int numbers[4] = {1, 3, 4, 8};
// Rownowaznie - automatyczna dedukcja rozmiaru (4)
int tab[] = {1, 3, 4, 8};
```

Inicjalizując tablicę, możemy podać tylko część wartości poszczególnych elementów, pozostałe zostaną domyślnie zainicjalizowane zerami:

```
// Inicjalizacja {1, 2, 0, 0, 0, 0}
int tab[6] = {1, 2};
```

Wykorzystując operator indeksu można modyfikować wartość elementów na określonej pozycji:

```
float numbers[] = {2.0, 3.0, 4.0};
// Wyswietla 3.0
printf("%f\n", numbers[1]);

numbers[1] = 5.0;
// Wyswietla 5.0
printf("%f\n", numbers[1]);
```

Deklarowany rozmiar tablicy musi być liczbą całkowitą, a ponadto w przypadku tablic statycznych, musi być znany na etapie kompilacji programu. Jeżeli odwołujemy się do rozmiaru tej samej tablicy w wielu miejscach kodu, warto do wyrażenia rozmiaru posłużyć się stałą (lub makrem). Ewentualna zmiana rozmiaru tablicy będzie wymagała modyfikacji programu w jednym miejscu, bez konieczności przeszukiwania kodu pod kątem wszystkich przypadków użycia zmiennej. Przykład przedstawiono na listingu 6:

```
// Lub za pomoca makra #define tabSize 5
const unsigned int tabSize = 5;

int tab[tabSize] = {2, 7, -3};

for (unsigned int i = 0; i < tabSize; ++i)
    std::cout << tab[i] << std::endl;
```

Listing 6. Deklaracja rozmiaru tablicy z użyciem stałej

Rozmiar tablicy otrzymamy również posługując się operatorem ***sizeof***. Wywołanie operatora *sizeof* na tablicy zwróci całkowity rozmiar pamięci zaalokowany na tablicę (w bajtach). Dzieląc całkowity rozmiar tablicy przez rozmiar pojedynczego elementu otrzymujemy liczbę elementów:

```
int tab[] = {-2, 3, 20, 11, 8};
// Wyswietla rozmiar tablicy (5)
std::cout << sizeof(tab) / sizeof(int) << std::endl;
```

W językach *C/C++* możliwe jest definiowanie ***tablic wielowymiarowych***, rozumianych jako *tablice tablic*. Inicjalizacja odbywa się z wykorzystaniem wielokrotnego układu nawiasów klamrowych:

```
const unsigned int tabSize = 3;

double matrix[tabSize][tabSize] = {
    { 3.38, -7.11, 2.1 },
    { -4.5, 9.25, -3.3 },
    { 0.0, -0.5, 3.34 }
};

for (unsigned int i = 0; i < tabSize; ++i)
    for (unsigned int j = 0; j < tabSize; ++j)
        std::cout << matrix[i][j] << std::endl;
```

Analogicznie, jak w przypadku tablic jednowymiarowych, można zastosować automatyczną dedukcję rozmiaru, jednakże tylko dla pierwszego wymiaru:

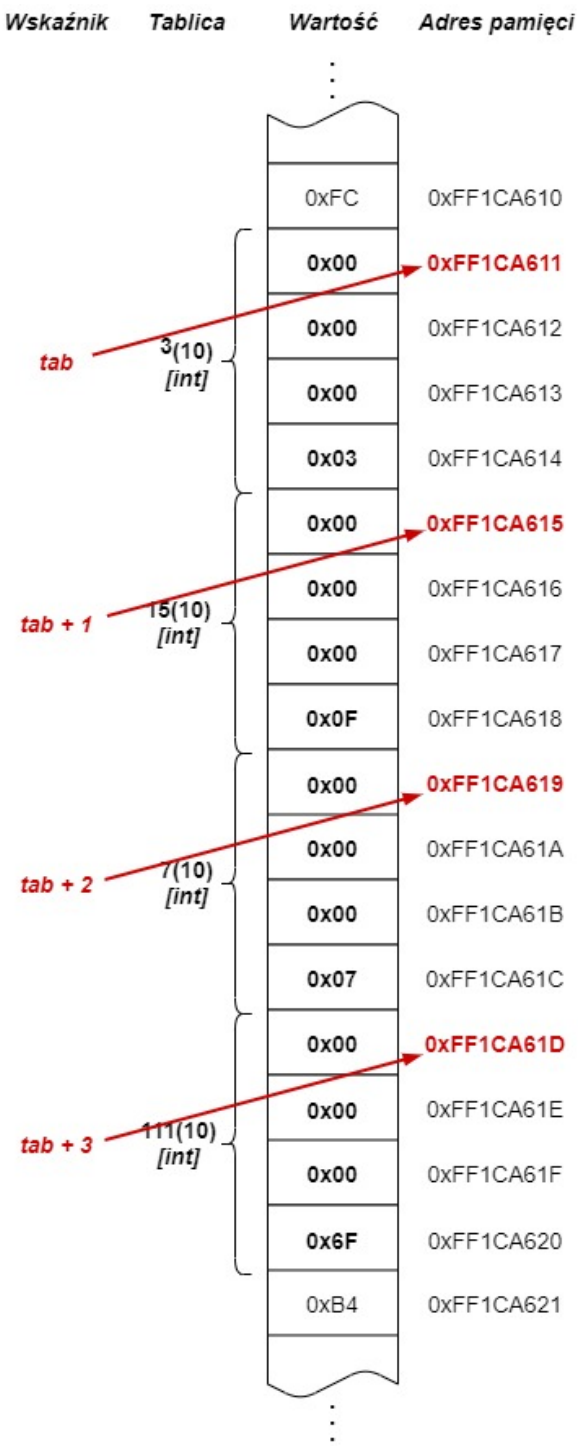
```
// Macierz 4x4
unsigned short matrix[][4] = {
    { 1, 2, 3, 4 },  // pierwszy wiersz
    { 5, 6, 7, 8 },  // drugi wiersz
    { 9, 10, 11, 12 }, // trzeci wiersz
    { 13, 14, 15, 16} // czwarty wiersz
};

// Przestrzen 3x3x3
int space[][3][3] = {
    {
        { -3, 1, 4 },
        { 7, 0, -11 },
        { 2, 4, -5 }
    },
    {
        { 1, 2, 4 },
        { -5, 9, 0 },
        { 1, 1, 2 }
    },
    {
        { 0, -8, -15 },
        { -2, 4, -6 },
        { 3, 7, 13 }
    }
};
```

2.3. Arytmetyka wskaźników

W językach *C/C++* nazwa tablicy interpretowana jest jako **wskaźnik na pierwszy element tablicy**, czyli adres jej pierwszego elementu. Dlatego też odwołanie do elementu tablicy o konkretnym indeksie może być równoważnie zapisane z wykorzystaniem wskaźników:

```
1 int tab[] = {3, 15, 7, 111};
2 // Rownowazne zapisy
3 std::cout << tab[2] << std::endl;
4 std::cout << *(tab + 2) << std::endl;
```

W przedstawionym przykładzie wskaźnik (***tab***) na pierwszy element tablicy jest przesuwany o wartość 2. Zgodnie z **arytmetyką wskaźników, dozwolone są operacje dodawania i odejmowania wskaźników z liczbami całkowitymi** (zatem poprawna jest także operacja inkremencji/dekrementacji). Jednakże zapis $tab + 2$ **nie oznacza przesunięcia wskaźnika *tab* o 2 bajty, ale o** $2 * sizeof(int)$**!** Jest to kolejny przykład obrazujący istotność zastosowania poprawnego typu wskaźnika - **typ zmiennej przechowywanej przez wskaźnik określa rozmiar pamięci, o jaki przesuwany jest wskaźnik podczas operacji dodawania i odejmowania**. Reguła ta została schematycznie zobrazowana na rys. 2.3.



Rys. 2.3. Arytmetyka wskaźników

2.4. Wskaźnik w nagłówku funkcji

Domyślnie w języku *C*, jak i *C++*, wszystkie argumenty przekazywane do funkcji i z niej zwracane są kopiami zmiennych. Wywołując funkcję z argumentami, ich kopie odkładane są na stosie:

```
// Kopie x, y sa odkladane na stosie
void func(int x, double y) {
    ...
}

int main() {
    func(1, 2.0);
    return 0;
}
```

Jeżeli argumentem funkcji będzie wskaźnik – zostanie odłożona kopia wskaźnika (wskazująca na ten sam adres), zatem funkcja będzie w stanie pracować na oryginale zmiennej. Przykład przedstawiono na listingu 7.

```
#include <iostream>

// Praca na kopii zmiennej
void increment(short val) {
    ++val;
}

// Praca na oryginale zmiennej
void increment(short * val) {
    ++(*val);
}

```

```
13 int main() {
14     short val = 2;
15     increment(val);
16     // Wyswietla 2
17     std::cout << val << std::endl;
18
19     increment(&val);
20     // Wyswietla 3
21     std::cout << val << std::endl;
22     return 0;
23 }
```

Listing 7. Praca na kopii i oryginale zmiennej

Analogicznie odbywa się zwracanie wartości z funkcji. Należy jednak pamiętać, aby **nie zwracać wskaźników do zmiennych lokalnych!** Zmienna lokalna zostanie usunięta po wyjściu z funkcji, a zwrócony wskaźnik będzie wskazywał na zwolniony obszar pamięci. Jest to tak zwany ***„dyndający wskaźnik”*** (*ang. dangling pointer*), a wszelkie operacje na takim wskaźniku skutkują ***niezdefiniowanym zachowaniem***:

```
1  #include <iostream>
2
3  int * getOriginal() {
4      int val = 5;
5      // W tym miejscu usuwana jest zmienna val
6      return &val;
7  }
8
9  int main() {
10     // "Dyndajacy wskaznik" ptr
11     int * ptr = getOriginal();
```

```
12
13      // Niezdefiniowane zachowanie!
14      std::cout << *ptr;
15      return 0;
16  }
```

Wskaźnik może zostać również wykorzystany do przekazania tablicy do funkcji. Należy pamiętać, że **nazwa tablicy stanowi wskaźnik na jej pierwszy element**. Jako dodatkowy parametr należy przekazać rozmiar tablicy (aby skorzystać z arytmetyki wskaźników). Zapis *tab[]* w nagłówku funkcji jest równoważny *tab **:

```
1  #include <iostream>
2
3  // Rownowaznie void printTab(const float tab[],
       unsigned int size)
4  void printTab(const float * tab, unsigned int size)
       {
5      for (unsigned int i = 0; i < size; ++i)
6          std::cout << tab[i] << std::endl;
7  }
8
9  int main() {
10     float tab[] = {7.3, 6.1, 9.25, 0.33};
11     printTab(tab, sizeof(tab) / sizeof(float));
12     return 0;
13 }
```

Należy pamiętać, że operator *sizeof* wywołany na tablicy zwróci jej rozmiar w bajtach (rozmiar pojedynczego elementu pomnożony przez liczbę elementów), natomiast wywołany na wskaźniku do tablicy zwróci rozmiar zmiennej wskaźnikowej (równy długości adresu w danej architekturze kom-

putera). Przykład przedstawiono na listingu 8.

```
#include <iostream>

void printTabPtrSize(const float * tab) {
    // Wyswietli sizeof(float *), np. 8 (B) w
   architekturze 64-bitowej
    std::cout << sizeof(tab) << std::endl;
}

int main() {
    float tab[] = {7.3, 6.1, 9.25, 0.33};
    // Wyswietli 4 * sizeof(float), typ. 16 (B)
    std::cout << sizeof(tab) << std::endl;
    printTabPtrSize(tab);
    return 0;
}
```

Listing 8. Wywołanie operatora *sizeof* na tablicy i na wskaźniku do tablicy

2.5. Łańcuchy znakowe

ASCII (*ang. American Standard Code for Information Interchange*) to system kodowania znaków powszechnie stosowany w programach pisanych w języku *C* i *C++*. W swojej podstawowej wersji wykorzystuje kodowanie 7-bitowe (128 znaków), a w rozszerzonej 8-bitowe (256 znaków). Kody od 0 do 31 to tzw. ***znaki sterujące*** takie, jak *NUL* (0), *LF* (*ang. Line Feed* – 10) czy *ESC* (*ang. Escape* – 27). Pozostałe to tzw. ***znaki drukowalne***. ***Tablicę ASCII*** w wersji 7-bitowej przedstawiono na rys. 2.4.

Dec	Hex	Char	Dec	Hex	Char	Dec	Hex	Char	Dec	Hex	Char
0	00	Null	32	20	Space	64	40	@	96	60	`
1	01	Start of heading	33	21	!	65	41	A	97	61	a
2	02	Start of text	34	22	"	66	42	B	98	62	b
3	03	End of text	35	23	#	67	43	C	99	63	c
4	04	End of transmit	36	24	$	68	44	D	100	64	d
5	05	Enquiry	37	25	%	69	45	E	101	65	e
6	06	Acknowledge	38	26	&	70	46	F	102	66	f
7	07	Audible bell	39	27	'	71	47	G	103	67	g
8	08	Backspace	40	28	(	72	48	H	104	68	h
9	09	Horizontal tab	41	29	)	73	49	I	105	69	i
10	0A	Line feed	42	2A	*	74	4A	J	106	6A	j
11	0B	Vertical tab	43	2B	+	75	4B	K	107	6B	k
12	0C	Form feed	44	2C	,	76	4C	L	108	6C	l
13	0D	Carriage return	45	2D	-	77	4D	M	109	6D	m
14	0E	Shift out	46	2E	.	78	4E	N	110	6E	n
15	0F	Shift in	47	2F	/	79	4F	O	111	6F	o
16	10	Data link escape	48	30	0	80	50	P	112	70	p
17	11	Device control 1	49	31	1	81	51	Q	113	71	q
18	12	Device control 2	50	32	2	82	52	R	114	72	r
19	13	Device control 3	51	33	3	83	53	S	115	73	s
20	14	Device control 4	52	34	4	84	54	T	116	74	t
21	15	Neg. acknowledge	53	35	5	85	55	U	117	75	u
22	16	Synchronous idle	54	36	6	86	56	V	118	76	v
23	17	End trans. block	55	37	7	87	57	W	119	77	w
24	18	Cancel	56	38	8	88	58	X	120	78	x
25	19	End of medium	57	39	9	89	59	Y	121	79	y
26	1A	Substitution	58	3A	:	90	5A	Z	122	7A	z
27	1B	Escape	59	3B	;	91	5B	[	123	7B	{
28	1C	File separator	60	3C	<	92	5C	\	124	7C	|
29	1D	Group separator	61	3D	=	93	5D	]	125	7D	}
30	1E	Record separator	62	3E	>	94	5E	^	126	7E	~
31	1F	Unit separator	63	3F	?	95	5F	_	127	7F	□

Rys. 2.4. 7-bitowa tablica ASCII [1]

W językach *C* i *C++* typem zmiennej przechowującej znaki zakodowane w standardzie ***ASCII*** jest ***char***. Jest to typ 8-bitowy (1 B), który zakłada bezpośrednią konwersję znaku na jego reprezentację dziesiętną w kodzie ASCII, np. 'A' i 65:

```
char sign = 'A';
char signByNum = 65;
// Wyswietla AA
printf("%c%c\n", sign, signByNum);
```

Warto zwrócić uwagę, że litery małe są przesunięte o wartość +32 względem liter wielkich oraz, że w przeciwieństwie do napisów, znaki ASCII umieszczane są w pojedynczych cudzysłowach:

```
// Wyswietla 32
printf("%d\n", 'b' - 'B');
printf("%d\n", 'w' - 'W');
```

Wykorzystując tę wiedzę można przypisać łańcuch znakowy (literał łańcuchowy, napis) do tablicy zmiennych typu *char* i przekazać ją do funkcji wejścia:

```
char text[] = "Ala ma kota";
printf("%s\n", text);
```

Po uruchomieniu programu zawierającego powyższy kod, na ekranie komputera zostanie wyświetlony napis **"Ala ma kota"**. Wiadomym jest, że przekazanie zmiennej tablicowej ***text*** do funkcji jest równoznaczne z przekazaniem **wskaźnika na pierwszy element tablicy**, zatem wskaźnika typu ***char ** ** na znak 'A'. Nie jest przekazywana jednak nigdzie informacja o rozmiarze tablicy. Skąd zatem funkcja *printf()* „wie", w którym miejscu kończy się napis? Pewną sugestią może być następujący kod:

```
char text[] = "Ala ma kota";
// Wyswietla 12
printf("%lu\n", sizeof(text));
// Wyswietla 11
printf("%lu\n", strlen(text));
```

Operator ***sizeof*** zwraca całkowity rozmiar pamięci zajmowanej przez tablicę (w bajtach). Funkcja ***strlen()***, zdeklarowana w nagłówku ***string.h*** (*cstring*), oblicza długość łańcucha znakowego. Licząc znaki występujące w napisie "Ala ma kota" otrzymamy wynik 11 (włączając znaki spacji). Czyli dokładnie tyle, ile zwróciła funkcja ***strlen()***. Różnica jednego bajta pomiędzy wynikiem operatora ***sizeof*** i funkcji ***strlen()*** sugeruje, że na końcu łańcucha znajduje się dodatkowy, niewyświetlany, automatycznie umieszczany przez kompilator znak. I tak jest w rzeczywistości. **Każdy literał łańcuchowy w języku *C/C++* jest zakończony symbolem '\0'**. Zarówno funkcja ***printf()***, jak i ***strlen()***, iterują po kolejnych elementach tablicy (wykorzystując zasady arytmetyki wskaźników), aż do napotkania (na ostatniej pozycji tablicy) symbolu ***\0***, o kodzie ASCII równym 0 (natomiast cyfra 0 ma kod 48). Jeżeli ręcznie podmienimy (**operacja przeprowadzona tylko na potrzebę tego przykładu!**) znak ***\0*** na inny znak z tablicy ASCII, to funkcja *printf()* będzie wypisywać znaki kodowane przez (najczęściej losowe) liczby znajdujące się w kolejnych komórkach pamięci leżących za tablicą, aż do natrafienia na następny symbol ***\0***:

```
#include <cstring>
#include <iostream>

int main() {
    // Tablica zawiera 12 znakow na pozycjach 0...11
    char text[] = "Ala ma kota";
    // Podmienienie symbolu \0 na 11 pozycji tablicy
    text[11] = '!';
    // Wyswietla np. "Ala ma kota!?.@"
    printf("%s\n", text);
    return 0;
    }
```

Domyślnym typem zmiennych przechowujących łańcuchy znaków w języku *C* jest *char **, a w języku *C++ const char *. Wydaje się to logiczne, mając na uwadze, że wskaźnik na typ *char* w przypadku tablic znaków jest wskaźnikiem na konkretny element tej tablicy. Napisy przechowywane są w segmencie pamięci ***text***. Kompilator mając na uwadze, że segment ***text*** stanowi **pamięć tylko do odczytu**, może, w celu optymalizacji kodu, wykorzystywać ten sam napis w różnych miejscach programu. Z tego względu **nie powinno się modyfikować wartości łańcuchów znakowych!** Może to doprowadzić do niezdefiniowanego zachowania programu w niespodziewanych fragmentach kodu. Aby temu zapobiec należy posługiwać się wskaźnikami o **niemodyfikowalnej wartości wskazywanej zmiennej** – czyli stosować specyfikator ***const***. W języku *C++* takie wskaźniki z definicji reprezentują łańcuchy znakowe:

```
const char * text = "Hello, world!";
std::cout << text << std::endl;
```

Ponieważ typem zmiennej przechowującej napis w językach *C* i *C++* jest zmienna wskaźnikowa, nie można porównywać dwóch napisów za pomocą operatora==:

```
// Porownanie adresow dwoch wskaznikow -
   niezdefiniowane zachowanie
if ("Ala ma kota" == "Ala ma kota")
```

Aby poprawnie porównać dwa napisy, należy posłużyć się funkcją ***strncmp()***, zdeklarowaną w nagłówku ***string.h*** (w *C++* ***std::strncmp()***, zdeklarowaną w nagłówku ***cstring***). Funkcja ta przyjmuje jako argumenty dwa łańcuchy znakowe oraz maksymalną liczbę następujących po sobie znaków, które mają zostać porównane. Funkcja zwraca **0**, jeśli napisy są sobie równe, **liczbę dodatnią** – jeżeli znaki pierwszego napisu występują alfabetycznie po znakach napisu drugiego, albo **liczbę ujemną** – w przeciwnym wypadku. Przykład zastosowania funkcji ***std::strncmp()*** do poprawnego porównania literałów łańcuchowych przedstawiono na listingu 9.

```
#include <cstring>
#include <iostream>

int main() {
    const char * text = "Ala ma kota";
    if (std::strncmp(text, "Ala ma kota", strlen(
   text)) == 0)
        std::cout << "Texts are equal";
    return 0;
}
```

Listing 9. Poprawne porównanie napisów z wykorzystaniem funkcji *std::strncmp()*

Znając naturę łańcuchów znakowych w językach *C* i *C++*, warto poświęcić uwagę kwestii tzw. ***sekwencji ucieczki*** (*ang. escape sequences*). Są to sekwencje znaków, wykorzystywane do wyświetlania znaków specjalnych lub znaków, które w innych warunkach, mają odmienne zastosowanie. Omówione zostały już sekwencje takie, jak \r, \n, \0. Innymi, często wykorzystywanymi sekwencjami są:

- \' – pojedynczy cudzysłów
- \" – podwójny cudzysłów
- \\ – ukośnik
- \t – poziomy znak tabulacji
- \v – pionowy znak tabulacji

2.6. Przekazywanie argumentów do funkcji *main()*

Typowy nagłówek funkcji *main()* wymaga, żeby funkcja nie przyjmowała żadnych argumentów. Istnieje jednakże inna sygnatura funkcji, umożliwiająca wywołanie funkcji *main()* z argumentami przekazanymi podczas uruchamiania programu:

```
1 int main(int argc, char ** argv);
```

Argument ***argv*** stanowi ***wskaźnik na wskaźnik na typ char*** i może być równoważnie rozumiany jako tablica łańcuchów znakowych:

```
1 int main(int argc, char * argv[]);
```

Argument ***argc*** określa ile elementów zawiera tablica ***argv***. Pierwszym elementem tablicy (*argv[0]*) **jest zawsze nazwa aplikacji**. Pozostałe elementy to argumenty, z którymi został wywołany program. Wyrażenie (*argv[argc]*)

ma wartość ***NULL***. Przykład obsługi parametrów wywołania programu przedstawiono na listingu 10. Program **myApp.exe** wywołano z poziomu konsoli systemowej w następujący sposób:

myApp.exe "Hello, world!" "Goodbye, cruel world!"

```
#include <iostream>

int main(int argc, char ** argv) {
  // Sprawdz, czy do programu przekazano argumenty
  if (argc > 1) {
    // Wyswietl nazwe programu (myApp)
    std::cout << "First arg: " << argv[0] << std::
   endl;

    // Wyswietl pozostale argumenty (Hello, world!
   Goodbye, cruel world!)
    for (int i = 1; i < argc; ++i)
      std::cout << "Next arg: " << argv[i] << std::
   endl;
  }
    return 0;
}
```

Listing 10. Obsługa parametrów wywołania programu

3. Program ćwiczenia

Zadanie 1. W pliku nagłówkowym ***tabUtils.h*** zawarto deklaracje dwóch funkcji:

- ***void printTab(const int * const tab, unsigned int size)*** – przesyłającej na standardowe wyjście wartości wszystkich elementów tablicy ***tab*** o rozmiarze ***size***
- ***void reverseTab(int * const tab, unsigned int size)*** – odwracającej (modyfikującej) kolejność elementów (pierwszy $\longleftrightarrow$ ostatni, drugi $\longleftrightarrow$ przedostatni, ...) w tablicy ***tab*** o rozmiarze ***size***

W ramach zadania:

1. korzystając z dowolnej pętli, napisz definicje funkcji ***printTab()*** oraz ***reverseTab()***; definicje umieść w pliku źródłowym ***tabUtlis.cpp***
2. wewnątrz funkcji ***main()*** (plik ***main.cpp***) utwórz (lokalnie) tablicę kilkunastu liczb całkowitych, a następnie zainicjalizuj ją losowymi wartościami, wykorzystując funkcję *rand()* [patrz: Ćw. 2]
3. wykorzystując funkcję ***reverseTab()*** odwróć kolejność utworzonej tablicy
4. wykorzystując funkcję ***printTab()*** wyświetl zawartość tablicy przed i po odwróceniu kolejności elementów

Uwaga: funkcje ***printTab()*** *oraz* ***reverseTab()*** *powinny obsługiwać tablice o dowolnym rozmiarze. Funkcja* ***reverseTab()*** *modyfikuje oryginał tablicy.*

Zadanie 2. W pliku nagłówkowym ***convertCase.h*** zawarto deklarację funkcji ***void convertCase(char text[])***. Funkcja ta przyjmuje tablicę znaków, a następnie, dla każdej kolejnej wczytanej litery, zmienia jej wielkość ('a' $\longrightarrow$ 'A', 'F' $\longrightarrow$ 'f', itp.). W ramach zadania:

1. napisz definicję funkcji ***convertCase()*** i umieść ją w pliku źródłowym ***convertCase.cpp***. *Uwaga: funkcja zmienia wielkość liter, ale ignoruje pozostałe znaki, jakie mogą znajdować się w tablicy, np. '?'* $\longrightarrow$ *'?'*

2. wewnątrz funkcji ***main()*** (plik ***main.cpp***) pobierz z klawiatury kilkanaście różnych znaków ASCII (w tym różnej wielkości litery oraz znaki niealfanumeryczne) i zainicjalizuj nimi lokalną tablicę zmiennych typu *char*

3. wywołaj funkcję ***convertCase()***, jako argument przekaż zainicjalizowaną tablicę

4. wyświetl zawartość zmodyfikowanej tablicy na ekranie

Uwaga: funkcja ***convertCase()*** *powinna obsługiwać tablice o dowolnym rozmiarze.*

Zadanie 3. W pliku nagłówkowym ***calculator.h*** zawarto deklaracje pięciu funkcji:

- ***float add(float x, float y)*** – wykonującej dodawanie dwóch liczb zmiennoprzecinkowych ***x, y***
- ***float subtract(float x, float y)*** – wykonującej odejmowanie dwóch liczb zmiennoprzecinkowych ***x, y***
- ***float multiply(float x, float y)*** – wykonującej mnożenie dwóch liczb zmiennoprzecinkowych ***x, y***
- ***float divide(float x, float y)*** – wykonującej dzielenie dwóch liczb zmiennoprzecinkowych ***x, y***
- ***float calculate(float x, float y, char * operations[], unsigned int size)*** – wykonującej podstawowe operacje arytmetyczne na dwóch liczbach zmiennoprzecinkowych ***x, y***, zgodnie z kolejnością operacji określonych w tablicy ***operations*** o rozmiarze ***size***

W ramach zadania:

1. napisz definicje funkcji ***add()***, ***subtract()***, ***multiply()*** oraz ***divide()*** i umieść je w pliku źródłowym ***calculator.cpp***

2. napisz definicję funkcji ***calculate()*** i umieść ją w pliku źródłowym ***calculator.cpp***. Funkcja sprawdza kolejne elementy tablicy ***operations*** i, w zależności od ich wartości, wykonuje odpowiednie działanie na liczbach ***x, y*** (wywołując odpowiednio funkcję ***add()***, ***subtract()***, ***multiply()*** albo ***divide()***):

   - "add" – $x + y$
   - "sub" – $x - y$
   - "mul" – $x * y$
   - "div" – x/y
   - w każdym innym przypadku ignoruje polecenie

   Wartość zwracana przez funkcję ***calculate()*** stanowi sumę wyników wszystkich operacji pośrednich

3. wewnątrz funkcji ***int main(int arc, char ** argv)*** (plik ***main.cpp***) wywołaj funkcję ***calculate()***, jako argumenty przekaż parametry, z którymi została uruchomiona aplikacja oraz dwie liczby zmiennoprzecinkowe pobrane z klawiatury

4. wyświetl wynik funkcji ***calculate()*** na ekranie komputera

Przykładowy rezultat uruchomienia aplikacji (z klawiatury pobrano liczby 2.0 i 10.0:

calculator.exe "add" "add" "mul" "sub" "div"

36.2 = (2.0 + 10.0) + (2.0 + 10.0) + (2.0 * 10.0) + (2.0 - 10.0) + (2.0 / 10.0)

4. Dodatek

4.1. Modyfikacja „stałej” z wykorzystaniem wskaźnika

Stałe w języku *C*, w przeciwieństwie do języka *C++*, to zmienne (zdeklarowane z użyciem słowa kluczowego ***const***), dla których kompilator pilnuje, aby nie doszło do zmiany wartości. Możliwa jest jednak modyfikacja stałych w języku *C* przez bezpośrednie odniesienie do adresu pamięci. Realizowane jest to z wykorzystaniem wskaźnika. Przykład modyfikacji wartości stałej w języku *C* przedstawiono na listingu 11. W języku *C++* stałe to wyrażenia, których wartość nie może zostać zmodyfikowana. Poniższy kod, skompilowany kompilatorem **g++**, poskutkuje wyświetleniem wartości 2.0.

```
1 const double x = 2.0;
2 // Rzutowanie (const double *) na (double *)
3 double * ptr = (double *)&x;
4 *ptr = 5.5;
5 // Wyswietla 5.5
6 printf("%f\n", x);
```

Listing 11. Modyfikacja wartości stałej w języku *C*, z wykorzystaniem wskaźnika

Literatura

[1] *W świecie komputerowego tekstu.* URL: `https://www.dobreprogramy.pl/Ryan/W-swiecie-komputerowego-tekstu,20883.html`.