

Poprzedni wykład [18.11.2025] :

- Funkcje i struktura programu
- Zasady podziału programu na pliki (*nagłówki, pliki źródłowe, kody pośrednie, plik wykonywalny*)
- Polecenie make i pliki Makefile
- Preprocesor języka C

Co dzieje się z gotowym programem?

1. ***Preprocesor:*** dopisuje za nas fragmenty kodu źródłowego
2. ***Kompilator:*** tłumaczy program na język maszynowy (tworzy *kody pośrednie* - „*object files*”)
3. ***Linker:*** łączy kody pośrednie (i biblioteki) w plik wykonywalny („*executable file*”)
4. ***System operacyjny (+powłoka):*** uruchamia i kontroluje działanie programu; zapewnia komunikację z pamięcią masową, peryferiami, itp.

Preprocesor języka C (*przypomnienie*)

Preprocesor to narzędzie uruchamiane bezpośrednio przed tłumaczeniem programu na kod maszynowy; umożliwia mechaniczne generowanie pewnych fragmentów kodu źródłowego.

Przykładowo, dyrektywy:

```
#include <nazwa1>      lub      #include "nazwa2"
```

powodują **wstawienie zawartości pliku** o podanej nazwie.

Z kolei dyrektywa:

```
#define nazwa tekst-zastępujący
```

to tzw. **makrodefinicja** (lub *makro*): powoduje, że każde pojawienie się słowa *nazwa* zostanie zastąpione przez *tekst-zastępujący*.

Makra z parametrami (*przypomnienie*)

Makra takie jak:

```
#define max(A,B) ( (A)>(B) ? (A) : (B) )
```

wywołuje się podobnie jak funkcje: `x=max(p+q, r+s);`

Makra jednak ***nie są funkcjami*** — argumenty aktualne nie są obliczane lecz *mechanicznie podstawiane* w miejscach, gdzie w definicji makra (po prawej stronie) występują parametry formalne.

[=> ***W definicji makra nie może zabraknąć nawiasów!***]

Rozwijanie argumentów „wewnątrz” napisów:

```
#define xprint(A) printf("Wartość " #A " = %g\n", A)
```

Wywołanie: `xprintf(x/y);` jest równoważne instrukcji:

```
printf("Wartość x/y = %g\n",x/y);
```

Wskaźniki i tablice

Wskaźnik = zmienna, która przechowuje adres
innej zmiennej w pamięci komputera

Ponieważ tablice w C są **niskopoziomowe** (tablica = ciągły zbiór komórek pamięci) związek ze wskaźnikami jest b. silny:

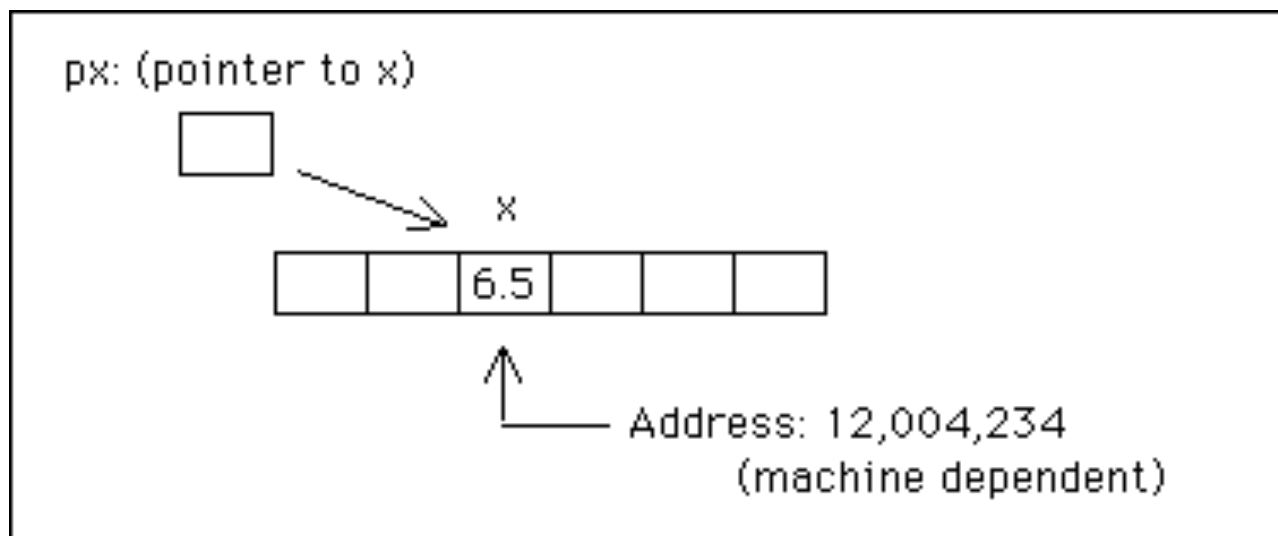
=> ***nazwa tablicy*** jest zarazem adresem jej *pierwszego elementu*

[Pewne operacje z zakresu tzw. **arytmetyki wskaźników** są jednak niedozwolone dla tablic.]

Jednoargumentowy **operator adresu** (*referencji*) pozwala uzyskać adres zmiennej, która jest jego argumentem.

Jeśli np. `x==6.5` jest typu `double`, zaś `px` to wskaźnik na double, wówczas instrukcja: `px = &x;` — przypisuje `px` adres `x`.

Odwrotnie działa **operator dereferencji** (*wyłuskania*): `(*px)` będzie liczbą typu `double` „wydobytą” spod adresu `px`.



[**Źródło:** https://www.physics.drexel.edu/~valliere/General/C_basics/c_tutorial.html]

Przykładowo, po zestawie deklaracji:

```
int x=1, y=2, z[10];    /* 2 zmienne + tablica */  
int *ip;    /* ip to >>wskaźnik do int<< */
```

poprawne będą *instrukcje*:

```
ip = &x;    /* teraz ip >wskazuje< x*/  
y = *ip;    /* y ma wartość 1 */  
*ip = 0;    /* x ma wartość 0 */  
ip = &z[0]; /* ip wskazuje z[0] */
```

Ogólnie, deklaracja wskaźnika, np. `double *px;`
ma formę tzw. ***mnemonika*** — informuje, że *wynikiem dereferencji*
(`*px`) będzie liczba typu `double`. [Inna forma: **`double* px;`**]

Podobnie, *prototyp funkcji*: `double atof(char*);`
informuje, że argument to wskaźnik na char.

Zasadniczo, *wskaźnik* zawsze *wskazuje* określony rodzaj obiektu; jest zatem powiązany z konkretnym *typem danych*.

Niekiedy wygodnie będzie użyć — np. jako parametru funkcji — „***wskaźnika do void***” który pozwala przechować dowolny rodzaj wskaźnika (*dereferencja* jest wówczas ***niemożliwa!***).

[Można jednak wykonać rzutowanie na inny typ wskazywany.]

Jeśli (przykładowo!) *ip* jest wskaźnikiem na *x* typu *int* wyrażenie **ip* może wystąpić *wszędzie tam*, gdzie samo *x*:

```
*ip = *ip + 10;    /* zwiększa *ip o 10 */
y = *ip + 1;      /* pobiera *ip, dodaje 1, ... */
*ip += 1;         /* zwiększa *ip o 1 */
```

Zwiększenie *wartości wskazywanej* o 1 następuje także w wyrażeniach: `++*p` oraz `(*p)++` [*UWAGA na nawiasy!*]

Dla odmiany, wyrażenie: `*p++` spowoduje zwiększenie wskaźnika, zamiast wartości wskazywanej (*po takiej operacji, `p` będzie wskazywać na **następną** komórkę pamięci komputera*).

[=> *Operatory jednoargumentowe `*` i `++` wiążą od prawej do lewej.*]

Wskaźniki to także zmienne; jeśli `iq` oraz `ip` są wskaźnikami na `int`, instrukcja przypisania:

```
iq = ip;
```

skopiuje adres zapisany w `ip` do zmiennej `iq`.

Wskaźniki jako argumenty funkcji

Przypomnienie: W języku C argumenty są przekazywane przez wartość — funkcja *de facto* otrzymuje ich kopie.

Próbujemy napisać funkcję `swap` zamieniającą miejscami dwie liczby całkowite:

```
void swap(int x, int y)    /* ŹŁE !!! */
{
    int temp;
    temp = x;
    x = y;
    y = temp;
}
```

Poprawiona wersja — operuje na **wskaźnikach** do x i y:

```
void swap(int *px, int *py)    /* DOBRCZE! */  
{  
    int temp;  
    temp = *px;  
    *px = *py;  
    *py = temp;  
}
```

Dostęp do zmiennych jest realizowany **pośrednio** (poprzez adresy), dlatego zamiana wyłuskanych wartości dokona się naprawdę.

Wywołanie funkcji dla a i b — zmiennych całkowitych:

```
swap(&a, &b);    /* podajemy >>adresy<< ! */
```

Podobny mechanizm stosuje się w licznych sytuacjach, gdy funkcja musi zmodyfikować wartość jakiejś zmiennej, a proste zwrócenie wartości (instrukcją `return`) nie jest możliwe.

Przykładowo, funkcja biblioteczna `scanf` zwraca liczbę wczytanych elementów (lub kod błędu), zaś samo wczytanie elementu dokonuje się za pośrednictwem adresu.

Przykład — Wczytywanie liczb „do końca pliku”:

```
int n, tab[NMAX];  
for (n=0; n<NMAX && EOF!=scanf("%d",&tab[n]); n++)  
    ;
```

Wczytana liczba może być „równa EOF” (to pewna stała całkowita), a zatem nie może zostać zwrócona przez funkcję wczytującą.

Związek wskaźników z tablicami

W języku C **wskaźniki** są silnie powiązane z **tablicami** — *każda operacja na tablicy może być wykonana z użyciem wskaźnika.*

Instrukcja:

```
int a[10];
```

definiuje tablicę 10 liczb typu *int*; elementy tablicy mają nazwy:

```
a[0], a[1], ..., a[9]
```

i są umieszczone w pamięci **kolejno jeden po drugim**.

Ogólnie: *a[i]* oznacza *i*-ty element tablicy; jeśli tablica zawiera *n* elementów — poprawne są wartości *i* to: *0, 1, ..., n-1*.

UWAGA: Standard języka C gwarantuje, że odwołanie do elementu bezpośrednio **za tablicą** (tutaj: *a[10]*) formalnie nie jest błędem (!)

W języku C nazwa tablicy jest *synonimem adresu pierwszego elementu*; jeśli zadeklarujemy:

```
int *pa;
```

poprawne (*i równoważne!*) będą przypisania:

```
pa = &a[0];  oraz  pa = a;
```

a później — odwołania do wartości i-tego elementu to:

```
a[i]      *(pa+i)  *(a+i)  pa[i]
```

[*Różne „typy wskaźników” — potrzebne aby wykonać przesunięcie!*]

Różnica pomiędzy tablicą a wskaźnikiem: **Wskaźnik to zmienna**,

poprawne zatem będą wyrażenia: `pa=a` `pa++`

[**Natomiast: `a=pa` oraz `a++` są niepoprawne!**]

Kiedy nazwa tablicy jest **przekazywana do funkcji** — funkcja *de facto* otrzymuje adres pierwszego elementu.

Wewnątrz funkcji — wspomniany adres kopiowany jest do *zmiennej lokalnej*, która działa już jak **zwyczajny wskaźnik**.

Dopuszczalne są zatem operacje *zwiększania i zmniejszania*, które nie mają żadnych konsekwencji *na zewnątrz* funkcji.

Przykład — F-cja obliczająca długość napisu: [*Kernighan&Ritchie*]

```
int strlen(char s[]) /* <=> int strlen(char *s) */
{
    int n;
    for (n=0; *s != '\0'; s++) n++;
    return n;
}
```

W funkcji `strlen` deklaracje parametru `(char s[])` oraz `(char *s)` są absolutnie równoważne; w obu wypadkach funkcja otrzymuje **wskaźnik** zainicjowany kopią adresu `&s[0]` i operacja zwiększania (`s++`) jest dozwolona.

Wszystkie poniższe wywołania funkcji **są poprawne**:

```
strlen("Witaj!");    /* dla stałej napisowej */
strlen(array);       /* np. dla: char array[100]; */
strlen(ptr);         /* dla: char *ptr; */
```

Poprawne (***i bardzo pożyteczne!***) są także odwołania do części tablicy, np: `strlen(&a[2]);` — wówczas 2 pierwsze elementy tablicy zostaną pominięte. [*Wewnątrz f-cji poprawne będzie: `a[-7]`*]

Komentarz: Zasada przekazywania *de facto* kopii adresu w przypadku, gdy parametrem jest tablica, pozwala zrozumieć działanie funkcji `swap` w wersji z *poprzednich wykładów*:

```
void swap(int v[], int i, int j)
{
    int temp;
    temp = v[i];
    v[i] = v[j];
    v[j] = temp;
}
```

=> Zmienna lokalna `v` działa jak wskaźnik, a zatem przypisania, (np. `v[i]=...`) mają realne konsekwencje dla zawartości elementów zewnętrznej tablicy podanej jako *pierwszy argument* wywołania.

[*Inaczej będzie np. w przypadku **struktury** zawierającej 2 elementy!*]

Arytmetyka adresów

Wyrażenia takie jak:

`p++` (zwiększenie wskaźnika t., aby wskazywał następny element),

`p--` (zmniejszenie wskaźnika t., aby wskazywał poprzedni element)

stanowią przykłady tzw. **arytmetyki wskaźników**.

Wskaźniki w języku C to jednak nie liczby całkowite — a zatem nie wszystkie operacje arytmetyczne są dozwolone.

Do wskaźnika można **dodać** (lub od niego **odjąć**) *liczbę całkowitą*:
wyrażenie `p+n` (`p-n`) oznacza adres n-tego elementu za (przed)
elementem wskazywanym przez p. (*Zależnie od typu wskaźnika,
liczba typu **int** zostanie odpowiednio przeskalowana.*)

[***Nie można jednak dodać dwóch wskaźników!***]

Jeśli p i q wskazują na **elementy tej samej tablicy**, poprawne będą wyrażenia *porównania*:

$p == q$ $p != q$ $p < q$ $p >= q$ itp.

W sytuacji *j.w.*, poprawne jest także **odejmowanie wskaźników**:

Jeśli $p \leq q$ (oraz p i q nadal wskazują na *elementy tej samej tablicy*) wyrażenie: $q - p + 1$ jest **liczbą elementów** od wskazywanego przez p do wskazywanego przez q (włącznie).

Przykładowo, po przypisaniach: $p = \&a[i];$ $q = \&a[j];$
element pośrodku możemy znaleźć jako wartość wyrażenia :

$*(p + (q - p) / 2)$ /* inaczej: $a[(i + j) / 2]$ */
[„prostsza” operacja $*((p + q) / 2)$ byłaby **niepoprawna!**]

Zaawansowana wersja funkcji `strlen` może wyglądać tak:

```
int strlen(char *s)
{
    char *p=s;      /* <=> char *p; p=s; */
    while (*p != '\0') /* LUB: while(*p) */
        p++;
    return p-s;
}
```

Po definicji, `p` wskazuje na pierwszy znak napisu `s`.

W każdym obiegu pętli, `p` jest przesuwane do następnego znaku i sprawdza się, czy tym znakiem nie jest `'\0'`.

Wartość `p-s` to długość napisu (*nie licząc znaku* `'\0'`).

[**Inna (poprawna) forma definicji wskaźnika p:** `char* p=s;`]

Operacje arytmetyki adresów: *Podsumowanie*

Lista poprawnych operacji na wskaźnikach

- przypisanie wskaźników **tego samego typu** (lub `void*`)
- dodawanie/odejmowanie wskaźnika i **liczby całkowitej**
- odejmowanie i porównywanie wskaźników wyłącznie w **obrębie tej samej tablicy**
- przypisanie zera i porównania z nim (zwykle zastępujemy: `NULL`)

Inne operacje są niedozwolone! W szczególności, wskaźników nie możemy dodawać, dzielić ani mnożyć; jak również dodawać do nich (lub przypisywać im...) liczb zmiennopozycyjnych.

Funkcje operujące na *wskaźnikach znakowych*

Każda ***stała napisowa***, np. `"Jestem napisem!"`

jest reprezentowana w pamięci komputera jako tablica znakowa, uzupełniona znakiem `'\0'` na końcu. [*Ten dodatek pozwala różnym funkcjom użytkowym łatwo znajdować koniec napisu.*]

Pierwszy element takiej tablicy ma swój adres, który może być przekazany do funkcji (lub: przypisany zmiennej typu `char *`).

Poprawne będzie zatem wywołanie funkcji:

```
strlen("Ja też jestem napisem")
```

jak również deklaracja:

```
char *ptext = "Lorem ipsum dolor sit amet";
```

Istnieje jednak ***pewna różnica*** pomiędzy definicjami:

```
char atext[] = "Lorem ipsum"; /* tablica */  
char *ptext = "dolor sit amet"; /* wskaźnik */
```

W pierwszym przypadku, tworzona jest ***tablica znakowa***, o długości dopasowanej do inicjującej *stałej napisowej* (11 znaków); wszystkie znaki w tablicy `atext` mogą być później zmieniane.

W drugim przypadku, `ptext` jest ***wskaźnikiem*** wskazującym na *stałą napisową*; o ile sam wskaźnik może być modyfikowany, standard języka nie określa co się stanie, jeśli spróbujemy modyfikować znaki tworzące napis.

[*W jęz. C nie istnieją żadne operatory przetwarzające **całe napisy**.*]

Przykład: Funkcja kopiująca `t` do `s`; wersja tablicowa
[*wg Kernighan & Ritchie*]

```
void strcpy(char *s, char *t)
{
    int i;

    i = 0;
    while ((s[i] = t[i]) != '\0')
        i++;
}
```

[*Poprawnie zainicjowana tablica znakowa zawiera przynajmniej `'\0'` !*]

UWAGA: W tej wersji, po osiągnięciu końca napisu (`t[i] == '\0'`) indeks `i` nie zostanie już zwiększony.

Taka sama funkcja; wersja wskaźnikowa

```
void strcpy(char *s, char *t)
{
    while ((*s = *t) != '\0') {
        s++;
        t++;
    }
}
```

=> Argumenty `t` i `s` są przekazywane przez wartość, a zatem operacje: `s++` i `t++` dotyczą w istocie *ich kopii* (!)

Kopiowanie napisów: Wersja wskaźnikowa—zaawansowana

```
void strcpy(char *s, char *t)
{
    while ((*s++ = *t++) != '\0')
        ;
}
```

Objaśnienie: Operatory zwiększania (++) w wersji **przyrostkowej** działają **po** zakończeniu wszystkich obliczeń, zatem przypisanie i porównanie zostaną wykonane *przed* modyfikacją wskaźników.

[**Uwaga:** Tym razem, po wystąpieniu ' \0 ' oba wskaźniki zostaną *jeszcze raz* zwiększone, zatem pokażą na *znak poza napisem*.]

Jeszcze krótsza wersja funkcji kopiującej napisy:

```
void strcpy(char *s, char *t)
    { while (*s++ = *t++); }
```

=> Tutaj korzystamy z *idiomu*: znak pusty ' \0 ' to zawsze zero, zatem jawne porównanie nie jest potrzebne.

[*Podobnie, NULL to zawsze zero, ale już np. EOF to zwykle -1.*]

Funkcja `strcpy` jest zdefiniowana w **bibliotece standardowej** (nagłówek: `<string.h>`); jej *prototyp* wygląda tak:

```
char *
strcpy(char * dst, const char * src);
```

Funkcja zwraca wskaźnik to tekstu docelowego (`dst`), deklaracja drugiego parametru jako `const char *` daje pewność, że napis źródłowy (`src`) nie będzie zmieniony.

Inna (*prosta*) funkcja pozwala na **porównanie napisów**:

```
int strcmp(char *s, char *t)  /* z tablicami */
{
    int i;
    for (i = 0; s[i] == t[i]; i++)
        if (s[i] == '\0')
            return 0;
    return s[i] - t[i];
}
```

Funkcja zwraca **zero**, jeśli napisy wskazywane przez `s` i `t` są identyczne, **wartość dodatnią**, jeśli `s` jest leksykalnie większe od `t`, lub **wartość ujemną** — w przeciwnym przypadku.

Wersja wskaźnikowa funkcji porównującej napisy:

```
int strcmp(char *s, char *t)  /* bez tablic */
{
    for ( ; *s == *t; s++, t++)
        if (*s == '\0')
            return 0;
    return *s - *t;
}
```

[*Warunek w pętli można jeszcze zastąpić przez: if (!*s)*
— *będzie to jednak raczej mało czytelne ...*]

Wskaźnik `FILE*` i funkcja `fopen`

Operacje na plikach (innych niż *standardowe wejście* lub *wyjście*) realizujemy za pomocą wskaźników plikowych. Potrzebne deklaracje i prototypy funkcji zawiera nagłówek `<stdio.h>`.

Przykładowo, po deklaracji: `FILE *fp;`

instrukcja: `fp = fopen("mojplik.txt", "w");`

otworzy plik ("`mojplik.txt`") w **trybie zapisu** ("`w`") i powiąże go z `fp`. W takim przypadku, *plik nieistniejący* zostanie utworzony, *istniejący* — zamazany. [Oba parametry **fopen** są typu: **char ***]

Inne **tryby otwarcia** to: "`r`" — odczyt oraz "`a`" — dopisywanie.

[*Istnieją są także tryby: "`r+`" "`w+`" oraz "`a+`" pozwalające na czytanie i pisanie po tym samym pliku.*]

Większość systemów rozróżnia **pliki tekstowe** i **binarne**; domyślne są tekstowe, otwarcie pliku binarnego wymaga dodania litery `b` w napisie oznaczającym tryb otwarcia (`"wb"` `"rb"` `"r+b"` itp).

W każdym przypadku, aby zmiany zostały zachowane, konieczne jest zamknięcie pliku, np.:

```
fclose(fp);
```

— wywołanie `fclose` zarazem **zwalnia wskaźnik** (`fp`), który można następnie *powiązać* z innym plikiem wywołując `fopen`.

Inne funkcje, użyteczne (zwłaszcza w trybach „z *plusem*”), to np.

```
rewind(fp) — powraca do początku pliku
```

```
fflush(fp) — opróżnia bufor (dla strumienia wyjściowego)
```

Ponadto, instrukcja: `fp = tmpfile();` tworzy plik tymczasowy (w trybie `"wb+"`), który będzie usunięty po zamknięciu.

W przypadku **plików tekstowych**, często używamy funkcji: formatowanego wejścia/wyjścia (z nagłówka `<stdio.h>`):

```
int fprintf(FILE * stream, const char * format, ...);  
int fscanf(FILE * stream, const char * format, ...);
```

Są one bardzo podobne do `printf` i `scanf` z tym, że pierwszym argumentem jest zawsze *wskaźnik plikowy*.

Dla **plików binarnych**, elementarz stanowią funkcje (*makra!*):

```
int getc(FILE *fp) oraz int putc(int c, FILE *fp)
```

które wywołane tak: `getc(stdin)` lub `putc(c, stdout)` zadziałają identycznie jak `getchar()` i `putchar(c)`.

stdin i **stdout** to także wskaźniki typu `FILE *`, **są to jednak stałe** — trwale powiązane ze standardowym wejściem i wyjściem.

Przykład — funkcja kopiująca plik `ifp` do `ofp`:
[*wg Kernighan & Ritchie*]

```
void filecopy(FILE *ifp, FILE *ofp)
{
    int c;

    while (EOF != (c = getc(ifp)))
        putc(c, ofp);
}
```

[*Inaczej niż przy kopiowaniu napisów - tym razem **nie przepisujemy znacznika końca pliku** — EOF zostanie wstawiony przez system operacyjny podczas zamykania pliku lub po prawidłowym zakończeniu działania programu.*]

W poniższym programie, funkcja `filecopy` jest użyta do ***kopiowania danych*** ze standardowego wejścia na wyjście:

```
#include <stdio.h>
int main()
{
    void filecopy(FILE *, FILE *);
    filecopy(stdin, stdout);
}
```

=> *Ćwiczenie: Łatwo przekonać się, że mechanizm potoków unixowych pozwala na kopiowanie **dowolnych** plików, także binarnych:*

./a.out < plik1 > plik2

Możemy też wykorzystać `filecopy` do **wyświetlenia dowolnego pliku** na standardowe wyjście:

```
#include <stdio.h>
#define MAXNAM 100
int main()
{
    char fnam[MAXNAM];
    FILE *fp;
    void filecopy(FILE *, FILE *);
    printf("==> Podaj nazwę pliku: ");
    scanf("%s",fnam);
    if (NULL == (fp=fopen(fnam,"rb")) ) {
        printf("Nie znaleziono pliku: %s\n",fnam);
        return -1;
    }
    filecopy(fp, stdout);
    fclose(fp);
}
```

Funkcje o zmiennej liczbie argumentów

Język C umożliwia definiowanie funkcji, które mogą być wywołane z większą liczbą **argumentów**, niż wynosi liczba **parametrów** podanych w definicji funkcji.

Jest to możliwe, jeśli lista parametrów kończy się *wielokropkiem trzema kropkami* (`...`); nadliczbowe argumenty obsługiwane są za pomocą makra `va_arg` zdefiniowanego w nagłówku standardowym `<stdarg.h>`

Mechanizm działania makra `va_arg` zilustrujemy teraz na przykładzie prostej funkcji obliczającej średnią arytmetyczną swoich argumentów.

```
#include <stdio.h>      /* Zob.: tutorialspoint.com */
#include <stdarg.h>     /* "Variable Arguments in C" */

double average(int nargs, ...)
{
    va_list list;
    double sum = 0.0;
    int i;

    va_start(list, nargs); /* tworzy listę argumentów */

    for (i = 0; i < nargs; i++)
        sum += va_arg(list, double); /* zdejmuję argument */

    va_end(list); /* kasuje listę argumentów */

    return sum/nargs;
}

/* ==> c.d.n */
```

```
int main()
{
    printf("Average of 2, 3, 4, 5 = %lf \n",
        average( 4, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0 ));

    printf("Average of 5, 10, 15 = %lf \n",
        average( 3, 5.0, 10.0, 15.0 ));

    return 0;
}
```

Uwaga: Aby mechanizm działał, argumenty obowiązkowe muszą zawierać informacje o liczbie pozostałych. Tutaj — mamy `narg`; w przypadku `printf` / `scanf` — mamy do policzenia znaki `'%'` w napisie będącym pierwszym argumentem; zaś dla `fprintf` / `fscanf` — informacja ta zawarta jest w **drugim** argumentcie.