

Poprzedni wykład [9.12.2025] :

- Argumenty wiersza poleceń
- Podstawy obsługi błędów: `stderr`, `exit`, `ferror`, `assert`
- Parametry ***opcjonalne*** wywołania programu
- **Wskaźniki do funkcji:** deklaracje, tablice
- Użycie wskaźników do funkcji jako **argumentów funkcji**
(zagadnienie *redundancja kodu źródłowego*)

Parametry funkcji `main()`: *Uzupełnienie*

⇒ Czy funkcja `main()` może wywoływać sama siebie?

⇒ Czy inne funkcje mogą wywoływać `main()` ?

Według standardu ANSI, w języku C: TAK

(*Zaś w języku C++: NIE!*)

<https://stackoverflow.com/questions/4238179/calling-main-in-main-in-c/>

Przykład 1. — Echo argumentów bez pętli:

```
#include <stdio.h>

int main(int argc, char *argv[])
{
    if (argc>1 && !main(argc-1, argv))
        printf((argv[argc]) ? "%s " : "%s\n",
                argv[argc-1]);

    /* tutaj można dodać obsługę błędów stdout ... */

    return 0;
}
```

Jeśli program został wywołany z *jakimiś* argumentami, mamy `argc > 1`, a zatem drugi składnik koniunkcji logicznej, tj.:

`!main(argc-1, argv)` — będzie obliczany.

Oznacza to, że funkcja `main` zostanie wywołana ponownie, z *pierwszym argumentem zmniejszonym o 1*.

Powyższe działanie zostanie wykonane (łącznie) `argc-1` razy, po czym warunek (`argc > 1`) stanie się fałszywy, *ostatnia* funkcja `main` zwróci zero i sterowanie wróci poziom wyżej.

Dalej, funkcje `printf(...)` z kolejnych poziomów `main()` będą wykonywane, wypisując `argv[1] argv[2] ... argv[argc-1]`

[*Powyżej — odwołujemy się do `argc` z „pierwszego `main`” !*]

Użyty w 1. argumencie `printf`, warunek `(argv[argc]) [!= NULL]` sprawdza, czy wartość `argc` została zmodyfikowana.

Jak w przypadku każdej funkcji, użycie:

`return wyrażenie`

wewnątrz main spowoduje powrót poziom wyżej.

[*PRZYPOMNIENIE* — wywołanie funkcji `exit(wyrażenie)` spowoduje zakończenie działania programu (poprzedzone zamknięciem plików i opróżnieniem buforów).]

Program realizujący ***echo argumentów bez pętli*** przepisujemy teraz w wersji z przesuwaniem wskaźnika `argv`, tak aby wypisywanie argumentu odbywało się *najpierw*, a następnie funkcja `main()` była wywoływana z pierwszym argumentem zmniejszonym o jeden, a drugim przesuniętym z pozycji `&argv[0]` do `&argv[1]`.

Przykład 2. — Echo argumentów bez pętli (wersja z przesuwaniem wskaźnika **argv**):

```
#include <stdio.h>

int main(int argc, char *argv[])
{
    if (--argc) {
        printf((argc>1) ? "%s " : "%s", *++argv);
        return main(argc, argv);
    }
    printf("\n");
    return 0;
}
```

Podobnie jak poprzednio, warunek `(--argc)` jest prawdziwy jeśli *(przed zmniejszeniem!)* mamy `argc>1`

Wówczas, wywołanie `printf(...)` spowoduje wypisanie `argv[1]`, a jeśli `argc>1` *(po zmniejszeniu)* dodatkowo zostanie wypisana spacja.

Następnie, wywołana zostanie funkcja `main(...)` kolejnego poziomu (argumenty już zostały zmodyfikowane tak, aby funkcja „zobaczyła” kolejny argument jako pierwszy).

Ponieważ — *tym razem* — użyliśmy instrukcji `return main(...)` po powrocie, funkcja `main` wyższego poziomu od razu zakończy działanie.

Ostatnia instrukcja `[ printf("\n"); ]` zostanie zatem wykonana jedynie przy ostatnim wywołaniu `main`, gdy `argc==1`.

Czy można napisać program bez *main()*?

Jest jasne, że po uruchomieniu skompilowanego programu z poziomu systemu operacyjnego, nasza funkcja `main()` **nie może być wywoływana jako pierwsza**.

COŚ musi zebrać argumenty wywołania i przekazać je do `main()`.

W systemach, które obsługują standard **ELF** (ang. *Executable and Linkable Format*) tym „czymś” jest funkcja `_start()` której standardowa wersja jest ładowana na etapie łączenia programu.

Możemy zatem napisać własną funkcję `_start()`, która wywoła coś *innego* niż `main()`, a następnie zmusić kompilator, aby nie ładował wersji standardowej.

<https://www.geeksforgeeks.org/executing-main-in-c-behind-the-scene/>

Opisane ćwiczenie zostało wykonane pod systemem Scientific Linux release 6.9 (Carbon) z kompilatorem gcc 4.4.7 i narzędziem objdump.

Na początek, napiszemy *b.mały* program:

```
main() {} /* Koniec! */
```

i skompilujemy go poleceniem: `gcc -ansi`

(*Powstały plik a.out ma rozmiar 6263 bajty*)

Każdy **plik ELF** ma pole `e_entry` zawierające adres w pamięci, od którego zaczyna się wykonanie programu.

Sprawdzimy teraz, na co pokazuje nasze pole `e_entry`:



Polecenie: **objdump -f a.out** generuje wynik:

```
a.out:      file format elf64-x86-64
architecture: i386:x86-64, flags 0x00000112:
EXEC_P, HAS_SYMS, D_PAGED
start address 0x00000000000400390
```

Dalej, aby sprawdzić, co dokładnie znajduje się pod adresem **0x00000000000400390** piszemy:

objdump --disassemble a.out

Tym razem wynik jest bardzo długi, można jednak znaleźć sekcję:

```

0000000000400390 <_start>:
 400390: 31 ed                xor     %ebp,%ebp
 400392: 49 89 d1             mov     %rdx,%r9
 400395: 5e                  pop     %rsi
 400396: 48 89 e2             mov     %rsp,%rdx
 400399: 48 83 e4 f0          and     $0xfffffffffffffffff0,%rsp
 40039d: 50                  push    %rax
 40039e: 54                  push    %rsp
 40039f: 49 c7 c0 80 04 40 00 mov     $0x400480,%r8
 4003a6: 48 c7 c1 90 04 40 00 mov     $0x400490,%rcx
 4003ad: 48 c7 c7 74 04 40 00 mov     $0x400474,%rdi
 4003b4: e8 c7 ff ff ff      callq   400380 <__libc_start_main@plt>
 4003b9: f4                  hlt
 4003ba: 90                  nop
 4003bb: 90                  nop

```

Widzimy zatem, że adres podany wcześniej przez **objdump -f** faktycznie wskazuje na funkcję **_start()**

Rolą funkcji **_start()** jest przygotowanie argumentów dla innej funkcji, **_libc_start_main()**, której prototyp wygląda tak:

```
int __libc_start_main(int (*main)(int, char **, char **),  
                      /* main is a pointer to the main function */  
int argc, /* number of command line args*/  
char ** ubp_av, /* command line arg array*/  
void (*init)(void), /* pointer to init*/  
void (*fini)(void), /* pointer to fini*/  
void (*rtld_fini)(void), /* pointer to dynamic linker fini */  
void (*stack_end) /* end of the stack address*/  
);
```

Funkcja ta przygotowuje zmienne środowiskowe dla programu, wywołuje funkcję **_init()**, która przygotowuje argumenty dla **main()**, oraz (po kilku innych krokach ...) wywołuje **main()**.

Prosty program ***bez funkcji main*** może wyglądać tak:

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

int my_fun() /* nasza funkcja "main" */
{
    printf("Znam ELF-y i nie mam main-a!\n");
    return 0;
}

void _start()
{
    int x = my_fun(); /* wywołanie naszej "main" */
    exit(x);
}
```

Kompilator **gcc** udostępnia opcję **-nostartfiles** która sprawia, że program nie będzie korzystał ze standardowej funkcji **_start()** lecz załaduje naszą.

Pisząc zatem:

```
gcc -nostartfiles nomain.c -o nomain
```

otrzymamy program wynikowy (**nomain**) który po uruchomieniu wypisze na standardowe wyjście:

```
Znam ELF-y i nie mam main-a!
```

Struktury

W języku C **struktura** to jedna lub kilka zmiennych, które mogą być różnych typów, połączonych w tak, aby możliwe były odwołania za pomocą **wspólnego identyfikatora (=nazwy)**.

Naturalnym zastosowaniem struktur są wszelkie bazy danych; pojedynczy **rekord** może być np. strukturą zawierającą *imię, nazwisko, adres, i numer telefonu* danej osoby.

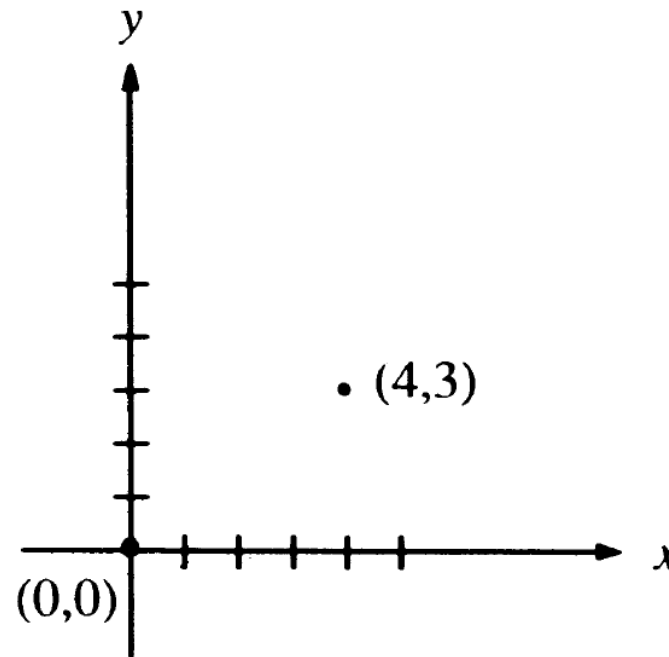
Inaczej niż w przypadku tablic, struktury mogą być **przypisywane i kopiowane** (w całości!), **przekazywane do funkcji**, jak również **zwracane przez funkcje**.

Strukturom (*podobnie jak tablicom ...*) można również **nadawać wartości początkowe** (=> *inicjowanie struktur*).

Rozważymy teraz przykładowe struktury, często pojawiające się w programach z *grafiką dwuwymiarową*.

Pierwszą strukturą będzie ***punkt***, rozumiany jako para współrzędnych całkowitych x i y :

```
struct point {  
    int x;  
    int y;  
};
```



Deklarację rozpoczyna kluczowe słowo kluczowe `struct`, po którym pojawia się (opcjonalna) etykieta struktury (tutaj: `point`).

[*Fraza: `struct point` może być używana zupełnie jak nazwa typu.*]

Zmienne występujące wewnątrz nawiasów { ... } to tzw. *składowe* (lub: *pola*) *struktury*.

Po klamrze zamykającej definicję struktury może pojawić się lista zmiennych:

```
struct { ... } x, y, z;
```

co >>składniowo<< pozostaje w analogii do deklaracji:

```
int x, y, z;
```

Jeśli po ***deklaracji struktury*** nie pojawi lista zmiennych, sama deklaracja nie rezerwuje żadnej pamięci; może posłużyć jedynie do zdefiniowania etykiety, której później użyjemy definiując konkretne wcielenia struktury, jak np.:

```
struct point pt;
```

Struktury można **inicjować** podając listę wartości początkowych poszczególnych składowych. W takim przypadku, poszczególne wartości początkowe muszą być *stałymi* lub wyrażeniami stałymi:

```
struct point maxpt = { 640, 480 };
```

Innym sposobem, dostępnym dla **zmiennych automatycznych** (będących strukturami) jest przypisanie innej struktury, lub wywołanie funkcji, która zwraca strukturę właściwego typu.

Dostęp do pól struktury w dowolnym wyrażeniu umożliwia konstrukcja:

nazwa-struktury.nazwa-składowej

Przykładowo, współrzędne punktu możemy wypisać instrukcją:

```
printf("%d, %d\n", pt.x, pt.y);
```

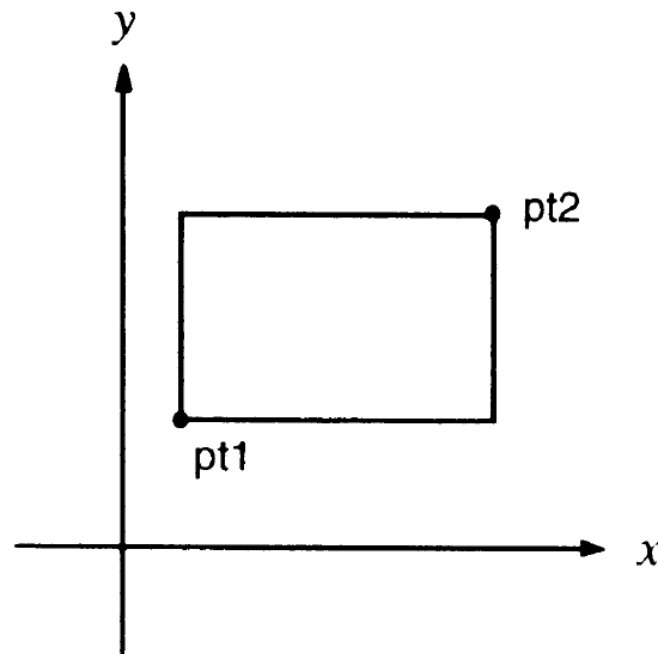
Struktury można zagnieżdżać. Przykładowo, prostokąt (o bokach równoległych do osi) na płaszczyźnie często reprezentuje para przeciwległych wierzchołków:

```
struct rect {  
    struct point pt1;  
    struct point pt2;  
};
```

Jeśli zadeklarujemy zmienną:

```
struct rect screen;
```

to wyrażenie `screen.pt1.x` odwołuje się do współrzędnej `x` punktu `pt1`, który jest składową zmiennej `screen`.



Struktury i funkcje

Dozwolone operacje dla struktury w języku C:

- przypisanie innej struktury (w całości)
- kopiowanie do innej struktury (j.w.)
- pobranie adresu operatorem &
- przekazanie struktury jako argumentu (przez wartość!) do funkcji
- zwrócenie struktury jako wartości przez funkcje

Podobnie jak w przypadku tablic, **niedozwolone** są operacje *porównania* dla całych struktur.

Funkcje operujące na strukturach, w zależności od sytuacji, piszemy zwykle na jeden z trzech sposobów:

- przekazując **składowe** oddzielnie (*pole po polu*)
- przekazując **całą strukturę**
- przekazując **wskaźnik do struktury**

Funkcja `makepoint` tworzy punkt korzystając z podanych x i y:

```
struct point makepoint(int x, int y) {  
    struct point tmp;  
    tmp.x = x;  
    tmp.y = y;  
    return tmp;  
}
```

Każde wywołanie funkcji `makepoint` **przydzieli dynamicznie** pamięć dla nowej zmiennej typu `struct point` (por. zmienna *automatyczna* `tmp`) może zatem służyć do inicjowania dowolnych zmiennych tego typu, w tym także *zagnieżdżonych w innych strukturach*:

```
struct rect screen;
```

```
screen.pt1 = makepoint(0, 0);
```

```
screen.pt2 = makepoint(XMAX, YMAX );
```

[*Powyższy przykład obrazuje istotną przewagę struktury nad tablicą w sytuacji, gdy liczba składowych jest niewielka i ustalona.*]

Kolejna funkcja — **dodaje współrzędne** dwóch punktów:

```
struct point
addpoint(struct point p1, struct point p2)
{
    p1.x += p2.x;
    p1.y += p2.y;
    return p1;
}
```

Korzystamy tutaj z faktu, że funkcja w języku C **operuje zawsze na kopiach** swoich argumentów, a zatem np. instrukcja:

```
p3 = addpoint(p1,p2);  /* ==> nie zmienia pól p1 */
```

Jeśli zachodzi potrzeba sprowadzenie prostokąta do ***postaci kanonicznej*** (tj. takiej, że współrzędne p1 są *nie większe* niż współrzędne p2), możemy zdefiniować funkcję:

```
#define min(a, b) ((a) < (b) ? (a) : (b))  
#define max(a, b) ((a) > (b) ? (a) : (b))
```

```
struct rect canonrect(struct rect r)  
{  
    struct rect tmp;  
    tmp.pt1.x = min(r.pt1.x, r.pt2.x);  
    tmp.pt1.y = min(r.pt1.y, r.pt2.y);  
    tmp.pt2.x = max(r.pt1.x, r.pt2.x);  
    tmp.pt2.y = max(r.pt1.y, r.pt2.y);  
    return tmp;  
}
```

A następnie wywołać ją podając tę samą strukturę jako argument funkcji i lewy argument operatora przypisania, np.

```
screen = cannonrect(screen);
```

Jeśli chcemy przekazać do funkcji **dużą strukturę**, zwykle bardziej efektywne od jej kopiowania w całości będzie przekazanie wskaźnika.

Przekazywanie wskaźników może być szczególnie użyteczne w sytuacji gdy chcemy, aby funkcja zmodyfikowała tylko wybrane pola struktury, podczas gdy „klasyczna” konstrukcja postaci:

```
nazwa-struktury = funkcja(nazwa-struktury);
```

wykonuje **dwukrotne kopiowanie** całej struktury.

Z drugiej strony, mechanizm *kopiowania struktur* pozwala stosunkowo łatwo obejść ograniczenie języka C polegające na tym, że funkcje nie mogą zwracać tablic (a jedynie wskaźniki).

Jeśli zakładamy, że nasz program będzie wykonywał operacje np. na bardzo wielu **macierzach 3 x 3** (a nie chcemy kłopotać się przydziałem pamięci za każdym razem, kiedy zachodzi taka potrzeba) możemy zdefiniować strukturę:

```
struct tab3x3 { double tab[3][3]; };
```

która — **w odróżnieniu od samej tablicy dwuwymiarowej!** — będzie mogła zostać zwrócona przez funkcję i przypisana innej zmiennej typu `struct tab3x3`.

W uproszczeniu, 9 elementów: `tab[0][0] ... tab[2][2]` zachowuje się zupełnie jak osobne pola struktury.

Przykładowo, funkcja poniżej **tworzy macierz jednostkową**:

```
struct tab3x3 makeItab3x3()  
{  
    int i,j;  
    struct tab3x3 tmp;  
    for (i=0; i<3; i++)  
        for (j=0; j<3; j++)  
            tmp.tab[i][j] = (i==j) ? 1.0 : 0.0;  
    return tmp;  
}
```

Funkcja ***main*** — kopiuje macierz jednostkową 3 x 3 do zmiennej `t` i wypisuje jej zawartość na wyjście:

```
int main()  
{  
    struct tab3x3 t;  
    int i,j;  
  
    t = makeItab3x3();  
    for (i=0; i<3; i++)  
        for (j=0; j<3; j++)  
            printf((j<2)?"%1f " : "%1f\n", t.tab[i][j]);  
    return 0;  
}
```

Wskaźniki do struktur deklarujemy podobnie jak dla zwykłych (<=> *skalarnych*) zmiennych:

```
struct point *ppt;
```

oznacza zatem, że `ppt` jest wskaźnikiem do zmiennej typu `struct point`.

Wyrażenie `(*ppt)` może wystąpić wszędzie tam, gdzie nazwa zmiennej typu `struct point`. Przykładowo, możemy napisać:

```
struct point origin, *ppt;
```

```
ppt = &origin;
```

```
printf("origin == (%d,%d)\n", (*ppt).x, (*ppt).y);
```

Warto podkreślić, że nawiasy w wyrażeniu `(*ppt).x` są niezbędne, ponieważ operator składowej struktury `.` wiąże silniej niż operator dereferencji `*`.

Wyrażenie `*ppt.x` znaczyłoby zatem tyle samo co `*(ppt.x)` — *wyłuskanie wartości ze wskaźnika `ppt.x`* — co w rozważanym przypadku byłoby **błędne**, ponieważ pole `x` nie jest wskaźnikiem, *(a dodatkowo `ppt` nie jest strukturą ...)*.

Wskaźniki do struktur używane są na tyle często, że w języku C występuje **dodatkowy operator** umożliwiający skrócony zapis:

`nazwa-wskaźnika->nazwa-składowej`

co oznacza odwołanie do konkretnego pola wskazywanej struktury.

Dla naszego wskaźnika `ppt` do struktury typu `struct point` możemy zatem napisać:

```
printf("origin == (%d,%d)\n", ppt->x, ppt->y);
```

[*Wyrażenia `ppt->x` oraz `ppt->y` są w pełni **równoważne** wcześniej użytym formom `(*ppt).x` oraz `(*ppt).y`]*

Operatory `.` oraz `->` są **łączne lewostronnie**, zatem po definicji:

```
struct rect r, *rp = &r;
```

następujące cztery (*równoważne!*) wyrażenia oznaczać będą odwołanie do współrzędnej `x` punktu `pt1`:

```
r.pt1.x      rp->pt1.x      (r.pt1).x      (rp->pt1).x
```

Operatory działające na strukturach: `.` oraz `->` znajdują się na szczycie ***hierarchii operatorów*** języka C (tzn. **najsilniej wiążą swoje argumenty**), *ex aequo* z nawiasami okrągłymi `( )` wywołania funkcji oraz kwadratowymi `[ ]` indeksowania tablicy.

Przykładowo, po deklaracji:

```
struct { int len; char *str; } *p;
```

wyrażenie

```
++p->len
```

jest równoważne `++(p->len)` a zatem zwiększy zmienną `len` a nie wskaźnik `p` (!)

Jeśli chcemy zwiększyć `p` **przed** odwołaniem do `len` musimy napisać: `(++p)->len`

Dla odmiany, jeśli chcemy zwiększyć `p` *po* odwołaniu do `len` można napisać po prostu: `p++->len` (*łączność lewostronna!*).
[*Chociaż zapewne zapis `(p++)->len` jest bardziej zrozumiały ...*]

Podobnie, wyrażenie `*p->str` jest równoważne `*(p->str)` a zatem udostępni *znak* wskazywany przez `str`.

Dalej, wyrażenie `*p->str++` zwiększy `str` po *wcześniejszym* udostępnieniu wskazywanego znaku (*znana konstrukcja: `*s++`*).

Wyrażenie `(*p->str)++` powiększy *znak* wskazywany [*`(*s)++`*].

Wyrażenie `*p++->str` [*jest równoważne `*((p++)->str)`*]
— zwiększy `p` po *wcześniejszym* udostępnieniu znaku wskazywanego przez `str`.

Tablice struktur

Aby zilustrować użyteczność **grupowania struktur w tablice** (i stosowania *arytmetyki wskaźników* dla wskaźników na struktury) przedstawimy teraz program zliczający słowa kluczowe języka C.

Jedną z możliwości jest stworzenie dwóch równoległych tablic, z których pierwsza przechowuje same słowa a druga *liczniki ich wystąpień*:

```
char *keyword[NKEYS]; /* słowa kluczowe */  
int keycount[NKEYS];  /* liczniki */
```

Widać jednak, że każdy z liczników jest wyraźnie **powiązany logicznie** z odpowiadającym mu słowem, ale za to nie ma większego związku z innymi licznikami (!).

*[W szczególności, kiedy zajdzie potrzeba **przeczytania następnego słowa** z tablicy `keyword` — a zdążyliśmy już polubić arytmetykę wskaźników — trzeba będzie każdorazowo zwiększać jednocześnie `keyword` oraz `keycount` aby się nie zgubić ...]*

Z tych powodów, wygodne będzie zadeklarowanie struktury:

```
struct key {  
    char *word;  
    int count;  
};
```

oraz tablicy takich struktur, np.: `struct key keytab[NKEYS];`

Początek programu będzie wyglądał tak:

```

/*  Zlicza slowa kluczowe C - wersja WSKAŹNIKOWA      */
/*                                          wg Kernighan-Ritchie + zmiany AR  */

#include <stdio.h>
#include <ctype.h>
#include <string.h>

struct key {
    char *word;
    int count;
} keytab[] = {
    "auto", 0,  "break", 0,  "case", 0,  "char", 0,
    /*  ...  */
    "void", 0,  "volatile", 0,  "while", 0
};  /*  c.d.n  ...  */

```

Zasadniczo, *inicjując tablicę* `keytab` powinniśmy pisać:

```
{ {"auto", 0}, {"break", 0}, {"case", 0}, ... }
```

tzn. każda para słowo-licznik (umowny „*wiersz tablicy*”) powinna mieć swoją parę nawiasów klamrowych.

Jednakże, wartościami początkowymi są **stałe** i **napisy stałe**, jak również **podajemy wszystkie wartości** — a w takim przypadku wewnętrzne nawiasy można pominąć.

Nie podaliśmy także rozmiaru (`NKEYS`) tablicy `keytab` — kompilator sam go oblicza, a dostęp do wyniku możemy łatwo osiągnąć za pomocą operatora `sizeof`, co najmniej na **dwa sposoby** [*liczenie „ręczne” — pomijamy ...*]:

- Sposób 1: `sizeof keytab / sizeof(struct key)`
- Sposób 2: `sizeof keytab / sizeof keytab[0]`

Drugi ze sposobów jest się **nieco lepszy**, gdyż odwołuje się wyłącznie do jednego identyfikatora (*nazwy tablicy*), a zatem nie będzie wymagał zmiany jeśli — modyfikując nasz program — zdecydujemy, że **keytab** ma być jakąś inną tablicą.

Warto podkreślić, że *dodanie rozmiarów* poszczególnych elementów struktury byłoby **nieprawidłowe**.

[**Rozmiar struktury na ogół nie jest równy sumie rozmiarów jej elementów!** Nawet struktura złożona ze znaku i liczby całkowitej może, zamiast pięciu, zajmować np. osiem bajtów.]

Dalsza część **bloku deklaracji** programu wygląda tak:

```
#define NKEYS (sizeof keytab / sizeof keytab[0])  
#define MAXWORDLEN 100
```

```
int getword(char * word, int lim);
```

```
struct key *  
binsearch(char * word, struct key * tab, int n);
```

Funkcja `getword` wczytuje kolejne słowo [*słowa kluczowe często występują w sąsiedztwie nawiasów: () {}, lub *, scanf nie zadziała ...*]
zaś funkcja `binsearch` sprawdza, czy `word` występuje w tablicy.

```
int main()  
{  
    char word[MAXWORDLEN+1];  
    struct key *p;  
  
    while (EOF != getword(word, MAXWORDLEN+1))  
        if (isalpha(word[0]))  
            if (NULL != (p = bsearch(word, keytab, NKEYS)))  
                p->count++;  
    for (p = keytab; p < keytab + NKEYS; p++)  
        if (p->count)  
            printf("%s: %d\n", p->word, p->count);  
    return 0;  
}
```

```

struct key *
binsearch(char * word, struct key * tab, int n)
{
    int comp;
    struct key *low = &tab[0];
    struct key *high = &tab[n];  /* elem. poza tab! */
    struct key *mid;

    while (low < high) {
        mid = low + (high-low)/2;
        if ((comp = strcmp(word, mid->word)) < 0)
            high = mid;  /* ==> word 'mniejsze' od mid */
        else if (comp > 0) low = mid + 1;
        else return mid;
    }
    return NULL;
}

```

Funkcja `binsearch` zwraca wskaźnik do struktury w tablicy, zawierającej szukane słowo (*zamiast numeru tej struktury!*).

Jeśli słowa `word` nie ma w tablicy — funkcja zwraca `NULL`.

Ponieważ do elementów tablicy — konsekwentnie — odwołujemy się **za pomocą wskaźników**, warto zwrócić uwagę na kilka spraw:

- reguły arytmetyki wskaźników pozwalają *odejmować* wskaźniki odwołujące się do elementów tej samej tablicy, ale **wskaźników nie można dodawać**. Dlatego, wyrażenie:

```
mid = (low+high) / 2;    /* ŹŁE! */
```

należy zastąpić: `mid = low + (high-low)/2;`

- Algorytm został zaprojektowany tak, aby nie generował odwołań poza tablicę. (*&tab[-1] jest zawsze błędne; &tab[n] może się pojawić, ale nie wolno go użyć do odwołań pośrednich*)

W funkcji main pojawia się pętla:

```
for (p = keytab; p < keytab + NKEYS; p++)
```

Ponieważ `p` jest wskaźnikiem do struktury, odpowiednie przesunięcie wskaźnika (`p++` oraz `keytab+NKEYS`) zostanie wykonane w taki sposób, aby adres *trafił* w kolejny element.

[*Kompilator zna **prawdziwy** rozmiar struktury ...*]

Pozostaje do omówienia funkcja `getword`, którą należy napisać specjalnie dla naszego programu z uwagi na możliwość *sklejania* słów kluczowych z niektórymi znakami.

```

/* getword: wprowadza nastepne slowo */
int getword(char * word, int lim)
{
    int c, getch(void);
    void ungetch(int);
    char *w = word;

    while (isspace(c = getch()))
        ; /* pomijamy białe znaki */
    if (c != EOF) { /* EOF nie jest "char"! */
        if (c == '\\')
            while (EOF != (c=getchar()) && c != '\\')
                ; /* pomijamy napisy "w cudzysłowach" */
        else
            *w++ = c; /* <=> *(w++) = c; */
    }
}

```

```

if ( !isalpha(c) ) {
    *w = '\0';
    return c;  /* Jesli c to nie litera ==> koniec! */
}
/* Kończymy, gdy wczytamy o jeden znak za duzo ... */
for ( ; --lim > 0; w++)
    if ( !isalnum(*w = getch()) ) {
        /* oddajemy znak, otrzyma go kolejny getch() */
        ungetch(*w);
        break;
    }

*w = '\0';  /* koniec napisu! */
return word[0];
}

```

W funkcji `getword` przyjęliśmy założenie, że czytane słowa mogą — *poza pierwszym znakiem* — zawierać także cyfry (wywołanie `isalnum` zamiast `isalpha`).

Chociaż wśród słów kluczowych nie mamy takiego przypadku, takie rozszerzenie niczego nie psuje, a może ułatwi dalszą rozbudowę programu aby np. zliczał użyte w programie identyfikatory
[=> **Ćwiczenie do drzew binarnych!**]

Dalej, w funkcji `getword`, mamy do czynienia z częstą sytuacją przy wczytywaniu znaków ze *strumienia* (tutaj `stdin`):

aby dowiedzieć się, że czytanie należy zakończyć, musimy wczytać o jeden znak za dużo ...

W takiej sytuacji, przydatna jest możliwość **oddawania** niepożądanego znaku do bufora/stosu (`ungetch`) w taki sposób, aby następne wywołania funkcji wczytującej (`getch`) zebrało znaki z bufora jako pierwsze.

Implementacje takich funkcji zawiera np. popularna biblioteka `<curses.h>` dla Linux/UNIX:

<http://man7.org/linux/man-pages/man3/ncurses.3x.html>

<https://www.gnu.org/software/ncurses/ncurses.html>

TUTAJ (*korzystając wyłącznie z biblioteki standardowej*) stos do buforowania znaków oraz parę obsługujących go funkcji `getch` i `ungetch` zaimplementowano następująco:

```
#define BUFSIZE 200  /* pojemność bufora */
char buff[BUFSIZE];
int bufftop = 0;

/* getch: pobiera znak; >>najpierw<< oddany */
int getch(void)
{ return (bufftop > 0) ? buff[--bufftop] : getchar(); }

/* ungetch: oddaje znak >>z powrotem na wejście<< */
void ungetch(int c)
{
    if (bufftop >= BUFSIZE)
        fprintf(stderr, "ungetch: too many characters\n");
    else
        buff[bufftop++] = c;
}
```

Przykładowo, zliczanie słów kluczowych w programie do porządkowanie napisów (por. [wyklad08](#), plik: [napisy2.c](#))

```
./a.out < napisy2.c
```

daje następujące wyniki:

```
char: 13
else: 1
for: 1
if: 4
int: 18
return: 5
sizeof: 1
void: 6
while: 2
```

[UWAGA: Zliczane będą także słowa kluczowe w komentarzach — w przykładach były jednak zawsze ujmowane w cudzysłowy.]