Poprzedni wykład [*18.12.2018*]:

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

Struktury

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

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

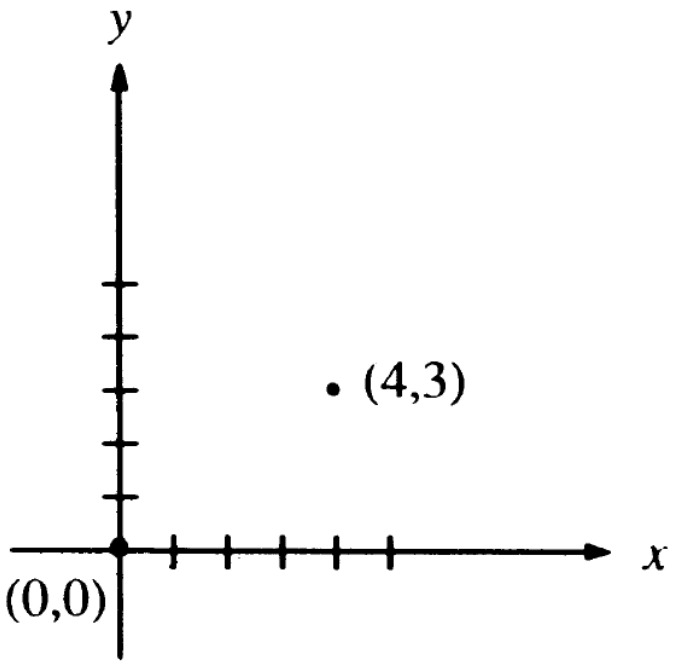
Inaczej niż w przypadku tablic, struktury mogą być ***przypisywane i kopiowane*** (*w całości!*), ***przekazywane do funkcji***, jak również ***zwracane przez funkcje***.

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 strktury 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 poźniej 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:

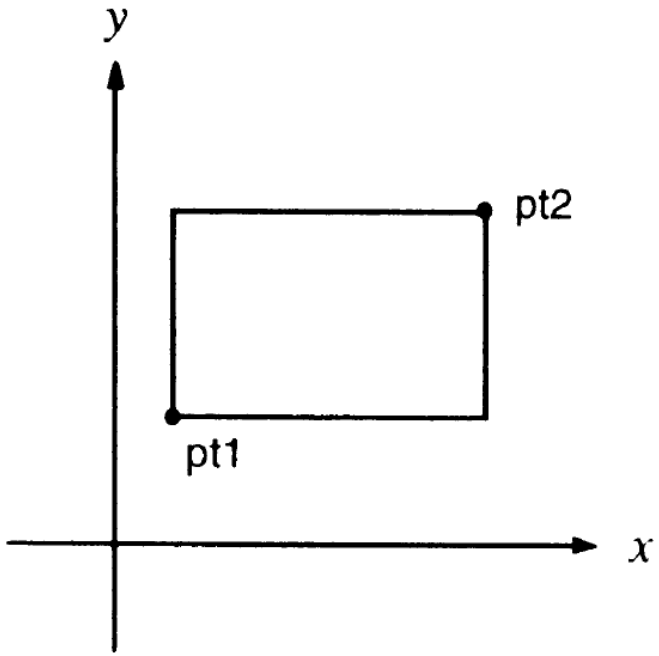
nazwa-struktury.nazwa-składowej

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*)
- skopiowanie 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 p1), 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 przypisanie, 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 zwraca 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 funkcje 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)?"%lf ":"%lf\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 zdążyliśmi 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 WSKAZNIKOWA      */
/*                    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 wydaje się ***nieco lepszy***, gdyż odwołuje się wyłącznie do jednego identyfikatora (*nazwy tablicy*), a zatem nie będzie wymagał zmiany jeśli — modyfikując nasz program — decydujemy, 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. ośmiu 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 = binsearch(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;  /* ŹLE! */
  ```
  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 przesnięcia wskaźnika (`p++` oraz `keytab+NKEYS`) będzie 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 cudzysłowiach" */
    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` przyjeliśmy 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 programi *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*** nieporządanego 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. populana 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 BUFFSIZE 200  /* pojemność bufora */
char buff[BUFFSIZE];
int bufftop = 0;

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

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

Przykładowo, zliczanie słów kluczowych w programie do porządkowanie napisów (por. wyklad08)

```
./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
```

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

Struktury rekurencyjne

Problem wyszukiwania słów kluczowych był szczególnie prosty, ponieważ lista 32 takich słów jest ***zamknięta***; w programie można było zatem jawnie wpisać wszystkie te słowa, dodatkowo porządku alfabetycznym, co umożliwiło efektywne *wyszukiwanie binarne*.

Na ogół jest inaczej: przykładowo, jeśli zliczamy słowa występujące w jakimś ***długim*** tekście wejściowym, *napisanym w języku naturalnym* — lista słów nie jest znana wcześniej, pojawiają się też one w losowej kolejności.

W takich sytuacjach — zastosowania znajdują bardziej zaawansowane struktury danych: ***drzewa binarne*** jak również ***jednokierunkowe łańcuchy odsyłaczy*** wykorzystywane np. tablicach mieszających (potocznie *„haszmapach”*).

[*Zagadnienia te będą rozwijane na następnym wykładzie!*]

TUTAJ pokażemy przykładowo, jak może wyglądać implementacja *jednokierunkowego łańcucha odsyłaczy* w języku C:

```
struct nlist {  /* jedno ogniwo łańcucha */
   struct nlist *next;
   char *word;
}
```

Pierwsze pole to wskaźnik do „potomka” (dla ostatniego elementu jest równy NULL), drugie — adresuje przechowywane słowo.

Struktury ***odwołujące się do samych siebie*** niezwykle upraszczają implementację wielu algorytmów, bywają jednak są mniej wydajne — gdyż kolejne *rekordy* zajmują często odległe miejsca w pamięci.

[*A zatem — jeśli to możliwe, używamy prostszych konstrukcji …*]