НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЯДЕРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИФИ»
Кафедра информатики и процессов управления (№17)

Дисциплина «Информатика» (углубленный уровень), 1-й курс, 1-й семестр.

Методические указания

Тематическое занятие 3

Работа с циклическими конструкциями. Полный перебор. Оптимизация алгоритмов.

Версия 2.1

Содержание

Вложенный цикл

Вложенность

В теле любого оператора цикла (*внешнего*) могут находиться другие операторы цикла (*внутренние*). Все операторы внутреннего цикла должны полностью располагаться в теле внешнего цикла.

Пример вложенного цикла `for`:

```
for (ВыражИниц1; ВыражУсл1; ВыражИзмен1) {
   Оператор
   Оператор
   for (ВыражИниц2; ВыражУсл2; ВыражИзмен2) {
      Оператор
      Оператор
      Оператор
   }
   Оператор
   Оператор
}
```

Внутренний цикл выполняется полностью на каждой итерации внешнего цикла.

Пример. Вывод на экран таблицы умножения:

```
#include <stdio.h>
int main(void) {
   int i, j;   /* счетчики */
   for (i=1; i<=9; i++) {   /* внешний цикл */
      for (j=1; j<=9; j++)   /* внутренний цикл */
         printf("%d*%d=%2d  ", i, j, i*j);
      printf("\n");
      }
   return 0;
}
```

Задачи на перебор всех вариантов

Старинная задача о покупке скота. Сколько можно купить быков, коров и телят (бык стоит 10 рублей, корова – 5 рублей, теленок – 0,5 рубля), если на 100 рублей надо купить 100 голов скота.

Обозначим: b – количество быков, k – количество коров, t– количество телят. Тогда условие задачи можно записать в виде системы из двух уравнений: 10b+5k+0,5t=100 и b+k+t=100. Преобразуем первое: 20b+10k+t=200.

Запишем ограничения. На 100 рублей можно купить:

- не более 10 быков, $0 \le b \le 10$;
- не более 20 коров, $0 \le k \le 20$;
- не более 200 телят, $0 \le t \le 200$.

```
#include <stdio.h>
int main(void) {
   int b, k, t;
   for (b=0; b<=10; b++)
      for (k=0; k<=20; k++)
         for (t=1; t<=200; t++)
            if ((20*b+10*k+t==200)&&( b+k+t==100))
               printf("быков %d, коров %d, телят %d\n ",b,k,t);
   return 0;
}
```

В данной программе значение переменной `b` изменяется 11 раз, `k` – 21 раз, `t` – 201 раз. Таким образом, условие в операторе `if` проверяется 11×21×201=46431 раз. Но если известно количество быков и коров, то количество телят можно вычислить по формуле t=100–(b+k). Цикл по переменной `t` исключается:

```
#include <stdio.h>
int main(void) {
   int b, k, t;
   for (b=0; b<=10; b++)
      for (k=0; k<=20; k++) {
         t=100-(b+k);
         if (20*b+10*k+t==200)
            printf("быков %d, коров %d, телят %d\n",b,k,t);
         }
   return 0;
}
```

При этом решении условие проверяется 11×21=231 раз, уменьшается процессорное время, необходимое на обработку программы. В данной задаче количество проверок можно еще уменьшить.

Оптимизация программы

При вычислениях часто используются циклы, содержащие одинаковые операции для каждого слагаемого. Например, общий множитель:

```
sum=0;
for (i=1; i<=1000; i++)
   sum+=a*i;
```

Другая форма записи этого цикла содержит всего одно умножение, вместо 1000, поэтому более экономна:

```
sum=0;
for (i=1; i<=1000; i++)
   sum+=i;
sum*=a;
```

Внутри цикла могут встречаться выражения, фрагменты которых никак не зависят от переменной-счетчика этого цикла.

```
for (i=1; i<=m; i++)
  for (j=1; j<=n; j++)
    for (k=1; k<=p; k++)
       x=a*i*j+k;
```

Здесь слагаемое `a*i*j` в выражении для вычисления `x` не зависит от переменной `k`, поэтому для уменьшения количества вычислений можно использовать вспомогательную переменную `y`.

```
for (i=1; i<=m; i++)
  for (j=1; j<=n; j++) {
     y=a*i*j;
     for (k=1; k<=p; k++)
        x=y+k;
     }
```

Иногда ***производительность программы целиком зависит от того, как запрограммирован цикл***.

На практике, однако, чтобы не внести новые ошибки, для устранения которых потребуется время, ***к оптимизации уже существующей и отлаженной программы следует прибегать, только если в этом есть реальная необходимость***.

Операторы перехода

Оператор `break`

Оператор `break` осуществляет принудительный выход из циклов `for`, `while` и `do-while`, аналогично выходу из оператора `switch`.

Когда внутри цикла встречается оператор `break`, выполнение цикла немедленно прекращается (без проверки каких-либо условий) и управление передается оператору, следующему за ним. Например:

```
int i;
for (i=1; i<10; i++) {
   if (i==5)
      break;
   printf("%d ",i);
}
printf("\nПоследнее значение i=%d\n",i);
```

Здесь на пятой итерации цикла `for` выполнение цикла прерывается. На экран будет выведено:

```
1 2 3 4
Последнее значение i=5
```

Если оператор `break` находится внутри вложенного цикла, то прекращается выполнение только этого внутреннего цикла.

Оператор `continue`

Оператор `continue` прерывает текущую итерацию цикла и осуществляет переход к следующей итерации. При этом все операторы до конца тела цикла пропускаются.

В цикле `for` оператор `continue` вызывает выполнение операторов приращения и проверки условия цикла. В циклах `while` и `do-while` – передает управление операторам проверки условий цикла.

В предыдущем примере для цикла `for` заменим `break` на `continue`.

```
int i;
for (i=1; i<10; i++) {
   if (i==5)
      continue;
   printf("%d ",i);
   }
printf("\nПоследнее значение i=%d\n",i);
```

Тогда на пятой итерации значение переменной `i=5` не будет распечатано:

```
1 2 3 4 6 7 8 9
Последнее значение i=10
```

Если `continue` находится внутри вложенного цикла, то прекращается выполнение итерации только этого внутреннего цикла.

! Замечание: *Операторы* **`break`** *и* **`continue`** *нарушают нормы структурного программирования, результаты их работы могут быть достигнуты другими средствами. Поэтому избегать их использования считается хорошим стилем программирования. С другой стороны, принудительное прерывание работы циклов может приводить к ускорению работы программы. Таким образом, операторы* **`break`** *и* **`continue`** *нужно применять только там, где это действительно необходимо.*

Оператор `goto`

Оператор `goto` осуществляет безусловный переход к метке. При этом в программе должен присутствовать оператор с присвоенной ему меткой:

```
goto Метка;
...
Метка: Оператор
```

Правила именования меток те же, что и для любых идентификаторов.

! Замечание: *Использование оператора* **`goto`** *следует* ***избегать****, поскольку оно нарушает нормы структурного программирования.*

Пожалуй, единственный случай, когда *использование* `goto` ***опытным программистом (!)*** *может быть оправдано – это* ***принудительный выход из вложенного набора циклов при возникновении ошибки***. Например:

```
while (...) {
   for (...) {
      for (...) {
         Операторы
         if (Ошибка)
            goto label;   /* переход к метке */
      }
      Операторы
   }
   Операторы
}
Операторы
label: УстранениеОшибки;
```

Переполнение и системно-зависимые константы

Границы целочисленных типов

Поскольку в языке С размер памяти, которую занимает каждый из типов данных, зависит от реализации компилятора, библиотек и аппаратной части, то и границы диапазонов допустимых значений могут быть разными.

В заголовочном файле `<limits.h>` определены константы, описывающие размеры **целочисленных** типов данных независимо от конкретной реализации. Вот некоторые из них:

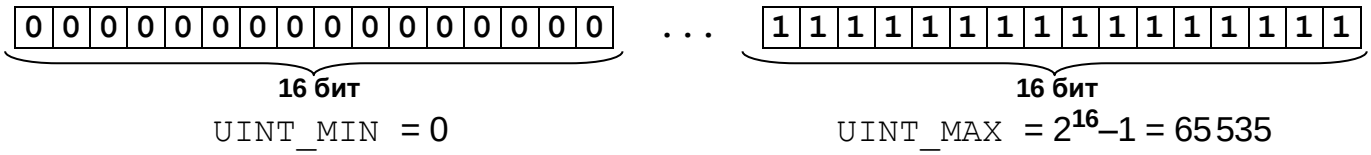
Константа	***Описание***
`INT_MAX`	максимальное значение `int`
`INT_MIN`	минимальное значение `int`
`LONG_MAX`	максимальное значение `long int`
`LONG_MIN`	минимальное значение `long int`
`UINT_MAX`	максимальное значение `unsigned int`
`ULONG_MAX`	максимальное значение `unsigned long int`

Данные константы удобно использовать в программах для отслеживания возможного ***переполнения***.

Переполнение

Рассмотрим упрощенную схему хранения переменной в памяти компьютера.

Если для хранения переменных типа `unsigned int` используется 2 байта, тогда говорят, что тип `int` является ***16-битным*** (в каждом байте – по 8 бит: 8×2=16). Значит, всего с его помощью можно закодировать $\mathbf{2^{16}}$ различных значений. Для данного типа это – целые числа из диапазона $[0; 2^{16}-1] = [0; 65\,535]$, которые имеют двоичные коды:



`UINT_MIN` = 0 `UINT_MAX` = $2^{16}-1$ = 65 535

В общем случае, если для переменной типа `unsigned int` используется n байт (т.е. тип ***8×n***-битный), всего можно закодировать $\mathbf{2^{8n}}$ различных значений из диапазона $[0; 2^{8n}-1]$, тогда: `UINT_MIN` = 0, `UINT_MAX` = $2^{8n}-1$.

Пусть в программе объявлена переменная `a` описанного 16-битного типа, значение которой задает пользователь. Допустим, значение этой переменной требуется увеличить на 10 000:

```
unsigned int a;
printf("Введите число a: ");
scanf("%d", &a);
a += 10000;
```

Если пользователь введет значение `a` больше, чем 55 535, то корректно выполнить операцию «сложение с присваиванием» (`+=`) будет невозможно – для хранения нового значения переменной 16 бит уже недостаточно.

При попытке выполнить сложение произойдет ***переполнение*** памяти, выделенной для хранения переменной `a`. В ней будет содержаться некорректное значение.

Отслеживание переполнения

Чтобы избежать переполнения в описанном примере перед выполнением операции `+=` необходимо провести проверку, не выйдет ли результат за границы диапазона возможных значений. Переполнения не произойдет, если выполняется неравенство:

$$a+10\,000 \le 65\,535,$$

где 65 535=`UINT_MAX`

Казалось бы, в программе достаточно выполнить проверку:

```
if (a+10000 <= UINT_MAX)   a += 10000;    /* НЕВЕРНО! */
```

но здесь переполнение все равно произойдет при проверке условного выражения оператора `if` в операции сложения `a+10000`. Затем полученное некорректное значение будет сравниваться с константой `UINT_MAX`. Такая проверка была бы бессмысленна.

Поэтому, обычно ***для проверки возможного переполнения при выполнении арифметической операции используют операцию, обратную к ней***. Проверочное неравенство можно представить так:

$$a \le 65\,535 - 10\,000,$$

тогда код:

```
if (a <= UINT_MAX-10000)  a += 10000;
```

не приведет к переполнению при проверке условного выражения.

Другой пример. Пусть для переменной типа `int`, значение которой введено пользователем, необходимо проверить, приведет ли к переполнению умножение этой переменной на `2`:

```
#include <stdio.h>
#include <limits.h>
int main(void) {
   int n;
   printf("Макс.значение типа int = %d\n", INT_MAX);
   printf("Введите число n: ");
   scanf("%d", &n);
   if (n >= INT_MAX/2 + 1)
      printf("Увеличение числа n более, чем в 2 раза
              приведет к переполнению типа int.\n");
   return 0;
}
```

Упражнения

Упражнение 3.1

Составить программу, которая находит все простые числа в диапазоне от 1 до 1000. Простым называется натуральное число, которое делится только на 1 и на само себя.

Упражнение 3.2

Составить программу, которая запрашивает у пользователя число *n*, и выводит на экран *n* строк в следующем виде:

```
1
2 2
3 3 3
4 4 4 4
5 5 5 5 5
. . .
```

Упражнение 3.3

Составить программу, которая запрашивает у пользователя два числа типа `int` (в том числе отрицательные) и вычисляет их сумму (произведение) с предотвращением возможного переполнения.