

**课 程 实 验 报 告**

**课程名称： 计算机系统基础**

**实验名称： 数据的表示**

**院 系 ： 计算机科学与技术**

**专业班级 ： 图灵2301\_\_\_\_\_\_\_**

**学 号 ： U202311239 \_\_\_\_\_\_\_**

**姓 名 ： 刘星佳 \_\_\_\_\_\_\_**

**指导教师 ： 王多强\_\_\_\_\_\_\_**

**2024 年 9 月 24 日**

**一、实验目的与要求**

⑴ 熟练掌握程序开发的基本方法，包括程序的编译、链接和调试；

⑵ 熟悉地址的计算方法、地址的内存转换；

⑶ 熟悉数据的表示形式。

**二、实验内容**

**任务1 数据存放的压缩与解压编程**

定义了 结构 student ，以及结构数组变量old\_s[N], new\_s[N]; (N=5)

struct student {

char name[8];

short age;

float score;

char remark[200]; // 备注信息

};

编写程序，输入N个学生的信息到结构数组old\_s中。将 old\_s[N] 中的所有信息依次紧凑(压缩)存放到一个字符数组message中，然后从 message 解压缩到结构数组 new\_s[N]中。打印压缩前(old\_s)、解压后(new\_s)的结果，以及压缩前、压缩后存放数据的长度。

要求：

1. 输入的第0个人姓名(name)为自己的名字，分数为学号的最后两位；
2. 编写指定接口的函数完成数据压缩

压缩函数有两个： int pack\_student\_bytebybyte(student\* s, int sno, char \*buf);

int pack\_student\_whole(student\* s, int sno, char \*buf);

s为待压缩数组的起始地址； sno 为压缩人数； buf 为压缩存储区的首地址；两个函数的返回均是调用函数压缩后的字节数。pack\_student\_bytebybyte要求一个字节一个字节的向buf中写数据；pack\_student\_whole要求对short、float字段都只能用一条语句整体写入，用strcpy实现串的写入。

1. 使用指定方式调用压缩函数

old\_s数组的前N1（N1=2）个记录压缩调用pack\_student\_bytebybyte 完成；后N2（N2==3）个记录压缩调用pack\_student\_whole，两种压缩函数都只调用1次。

（4） 使用指定的函数完成数据的解压

解压函数的格式：int restore\_student(char \*buf, int len, student\* s);

buf 为压缩区域存储区的首地址；len为buf中存放数据的长度；s为存放解压数据的结构数组的起始地址； 返回解压的人数。解压时不允许使用函数接口之外的信息（即不允许定义其他全局变量）

（5）仿照调试时看到的内存数据，以十六进制的形式，输出message的前20个字节的内容，并与调试时在内存窗口观察到的message的前20个字节比较是否一致。

（6）对于第0个学生的score，根据浮点数的编码规则指出其个部分的编码，并与观察到的内存表示比较，验证是否一致。  
 (7) 指出结构数组中个元素的存放规律，指出字符串数组、short类型的数、float型的数的存放规律。

**任务2 编写位运算程序**

按照要求完成给定的功能，并**自动判断程序**的运行结果是否正确。（从逻辑电路与门、或门、非门等等角度，实现CPU的常见功能。所谓自动判断，即用简单的方式实现指定功能，并判断两个函数的输出是否相同。）

1. int absVal(int x); 返回 x 的绝对值

仅使用 !、 ~、 &、 ^、 |、 +、 <<、 >>， 运算次数不超过 10次

判断函数： int absVal\_standard(int x) { return (x < 0) ? -x : x;}

1. int negate(int x); 不使用负号，实现 -x

判断函数： int netgate\_standard(int x) { return -x;}

1. int bitAnd(int x, int y); 仅使用 ~ 和 |，实现 &

判断函数： int bitAnd\_standard(int x, int y) { return x & y;}

1. int bitOr(int x, int y); 仅使用 ~ 和 &，实现 |
2. int bitXor(int x, int y); 仅使用 ~ 和 &，实现 ^
3. int isTmax(int x); 判断x是否为最大的正整数（7FFFFFFF），

只能使用 !、 ~、 &、 ^、 |、 +

1. int bitCount(int x); 统计x的二进制表示中 1 的个数

只能使用，! ~ & ^ | + << >> ，运算次数不超过 40次

1. int bitMask(int highbit, int lowbit); 产生从lowbit 到 highbit 全为1，其他位为0的数。例如bitMask(5,3) = 0x38 ；要求只使用 ! ~ & ^ | + << >> ；运算次数不超过 16次。
2. int addOK(int x, int y); 当x+y 会产生溢出时返回1，否则返回 0

仅使用 !、 ~、 &、 ^、 |、 +、 <<、 >>， 运算次数不超过 20次

1. int byteSwap(int x, int n, int m); 将x的第n个字节与第m个字节交换，返回交换后的结果。 n、m的取值在 0~3之间。  
   例：byteSwap(0x12345678, 1, 3) = 0x56341278

byteSwap(0xDEADBEEF, 0, 2) = 0xDEEFBEAD

仅使用 !、 ~、 &、 ^、 |、 +、 <<、 >>， 运算次数不超过 25次

**三、实验记录及问题回答**

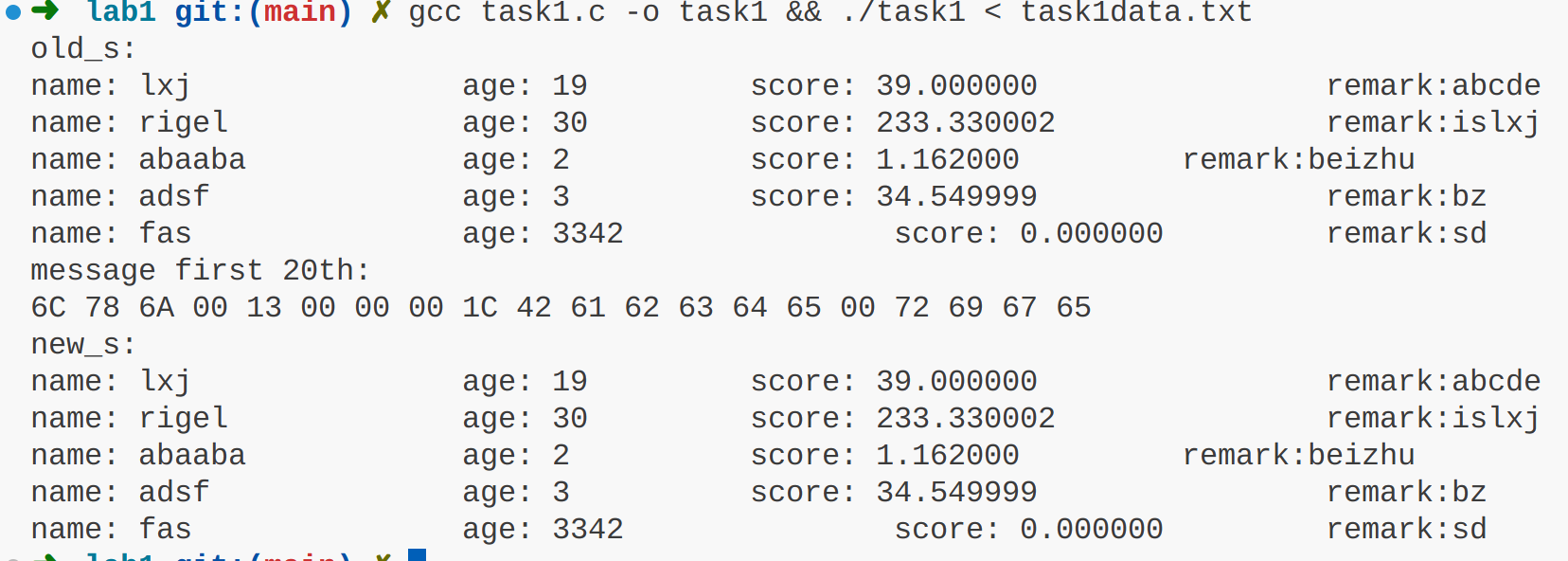
**（1）任务 1 的算法思想、运行结果等记录**

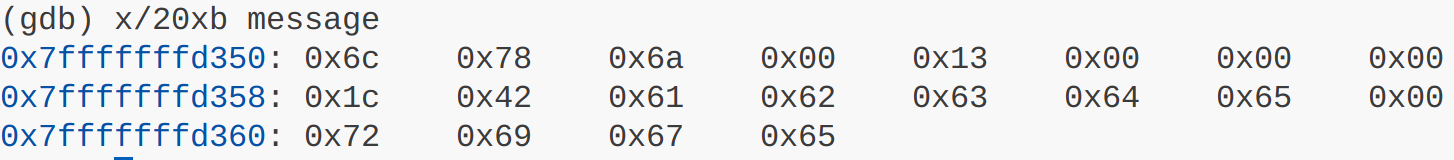
pack\_student\_bytebybyte 函数中，对于name和remark这样的字符串，就直接遍历整个字符串并将字符逐一加到buf指针之后。而对于short/float 型变量（以short型变量age为例），我们首先取得当前待压缩student结构体中age的首地址，并将其转换为char \*类型（这样就可以逐字节获取该short变量存储的内容），将该指针右移sizeof(short)-1次就可以获取age变量每字节的内容并将其拷贝到buf指针后面。float型变量score同理。

pack\_student\_whole函数中，对于字符串变量直接使用strcpy拷贝到buf之后，对于short/float型变量则使用memcpy函数，同样获取变量首地址并转换称char \*类型，将之后的sizeof(short)/sizeof(float)字节直接用memcpy拷贝到buf指针之后即可。

在restore\_student函数中，其实就是类似于pack\_student\_bytebybyte的逆向操作，先定位每个结构体变量展开成字节存储之后在buf中的首地址，然后获得对应结构体变量的首地址，将buf中向后sizeof(变量)长度的字节依次拷贝到结构体中，即可复原student结构体。

输出的message前20个字节内容如下：

调试时观察到的前20个字节：

 两种方式展示的message前20字节是一致的。

第0个学生的score是39，以float形式存储时的编码应当为0|10000100|00111000000000000000000。由图可知内存中存储的score字节分别为0x00,0x00,0x1c,0x42，转换成大端序为0x42,0x1c,0x00,0x00，与上述编码完全符合。

student结构体中，首先存储占8个字节的name字符串，紧接着存储占2个字节的short类型，接下来有2个字节是空字节，然后才是占4个字节的float类型，最后紧接着char[]类型字符串。

**（2）任务 2 的算法思想、运行结果等记录**

absVal首先检查x的第31位（符号位），如果该位为1，则x为负数，通过(~x)+1的方式将x变为相反数，否则x不变。

negate将正数变成负数其实就是将原码变为负数补码，即(~x)+1。而这一操作可逆，所以可以同样用于负数变成正数。

bitAnd先考虑单独的一位要怎么实现即可（位运算中每位独立，扩展到整个数一定是对的），要想让只有两个数都是1时返回1，考虑到或运算只有两个数都是0时返回0具有对称性，就可以先将两个数取反再或运算，这时候如果两个数都是1就会返回0，取反一下即可，也就是~((~x) | (~y))。

bitOr与bitAnd同理，返回~((~x) & (~y))。

bitXor可以借助之前已经实现好的bitAnd和bitOr，同样只考虑一位，只要(~x)&y和x&(~y)有一个是1,就说明x≠y，需要返回1，因此最后使用or运算即可，即bitOr(bitAnd(~x, y), bitAnd(x, ~y))。

isTmax 可以发现最大的正数为01111...111，取反后与原数+1相等。但这只是必要条件并不充分，因为-1也满足上述条件。所以在此基础上判断x+1不等于0即可。

bitCount采用类似于倍增的方法，首先截取x中的奇数位（可以通过x&0x55555555获得），然后与剩下的偶数位右移一位对齐并相加。得到的数x’满足x的第2k+1位和第2k位组成的二进制数中1的个数恰好是x’的第2k+1位和第2k位表示的二进制数；以此类推，截取x中模4余0、1的位（可以通过x&0x33333333获得），然后与剩下的位右移两位对齐后相加，得到的x’’满足x的第4k+3位到4k位组成的二进制数中1的个数恰好是x’’的第4k+3位到第4k位表示的二进制数。进行5次以上操作后，x’’’’’表示的数即为所求的bitCount。这一做法正确性的基础建立在对于任意一个二进制数x，其1的个数的二进制数表示不会超过x所用的二进制位的表示极限。运算次数为20次。

bitMask先构造一个从highbit到最低位全位1的二进制数，然后通过右移lowbit位再左移lowbit位将其低lowbit位全置为0。运算次数为7次。

addOK先考虑除了x和y向最高位的进位数ad(ad=0,1)，设x,y的最高位分别为xh,yh，那么根据有符号数的表示性质，当且仅当xh=yh=1且ad=0（向下溢出）和xh=yh=0且ad=1（向上溢出）时会发生溢出，运算次数16次。

byteSwap考虑先获取x的第n和m个字节表示的数（如(x>>(n<<3))&255），然后将x的第n和m个字节都置为0（用异或操作），再把这两个字节分别装在第m和n个字节上（用异或和或都可）。运算次数14次。

程序中还写出了每个函数的最简易实现方式，并与每个正常实现的函数通过单元测试进行assert比较，证明了代码中的函数实现正确性。

**四、体会**

在完成数据压缩与解压的编程任务中，我深刻体会到结构体和内存管理的重要性。压缩和解压过程让我认识到不同的字节序和数据存储方式对程序运行的影响。同时，通过 GDB 调试，我能够直观地观察内存数据，验证程序的正确性。这一过程不仅提升了我的编程能力，还加深了我对数据处理和计算机系统底层机制的理解，为今后的学习打下了坚实的基础。

在编写位运算程序的任务中，我对有符号和无符号整数以及IEEE标准浮点数在计算机中的表示方法有了更深入的理解，能够清晰地理解原码补码移码的概念，并且这些实验有的题目难度很大（如bitCount）激发了我长时间的思考，在思考中我的思维得到了锻炼，也收获了更深层的知识。

**五、源码**

实验任务 1、2 的源程序（单倍行距，5号宋体字）

**// task1.c**

**# include <stdio.h>**

**# include <string.h>**

**typedef struct student{**

**char name[8];**

**short age;**

**float score;**

**char remark[200];**

**}student;**

**int pack\_student\_bytebybyte(student \*s, int sno, char \*buf);**

**int pack\_student\_whole(student \*s, int sno, char \*buf);**

**int restore\_student(char \*buf, int len, student \*s);**

**# define N 5**

**student old\_s[N], new\_s[N];**

**int pack\_student\_bytebybyte(student \*s, int sno, char \*buf) {**

**char \*bufptr = buf;**

**for(int i = 0; i < sno; i++) {**

**for(int j = 0; s[i].name[j] != '\0'; j++) {**

**\*bufptr = s[i].name[j];**

**bufptr++;**

**}**

**\*bufptr = '\0'; bufptr++;**

**char \*temptr = (char \*)&s[i].age;**

**for(int j = 0; j < sizeof(s[i].age); j++) {**

**\*bufptr = \*temptr;**

**bufptr++; temptr++;**

**}**

**temptr = (char \*)&s[i].score;**

**for(int j = 0; j < sizeof(s[i].score); j++) {**

**\*bufptr = \*temptr;**

**bufptr++; temptr++;**

**}**

**for(int j = 0; s[i].remark[j] != '\0'; j++) {**

**\*bufptr = s[i].remark[j];**

**bufptr++;**

**}**

**\*bufptr = '\0'; bufptr++;**

**}**

**return bufptr - buf;**

**}**

**int pack\_student\_whole(student \*s, int sno, char \*buf) {**

**char \*bufptr = buf;**

**for(int i = 0; i < sno; i++) {**

**strcpy(bufptr, s[i].name);**

**bufptr += strlen(s[i].name);**

**\*bufptr = '\0'; bufptr++;**

**memcpy(bufptr, (char \*)&s[i].age, sizeof(s[i].age));**

**bufptr += sizeof(s[i].age);**

**memcpy(bufptr, (char \*)&s[i].score, sizeof(s[i].score));**

**bufptr += sizeof(s[i].score);**

**strcpy(bufptr, s[i].remark);**

**bufptr += strlen(s[i].remark);**

**\*bufptr = '\0'; bufptr++;**

**}**

**return bufptr - buf;**

**}**

**int restore\_student(char \*buf, int len, student \*s) {**

**char \*bufptr = buf;**

**student \*stuptr = s;**

**while(bufptr - buf < len) {**

**char \*temptr = stuptr->name;**

**while(\*bufptr != '\0') {**

**\*temptr = \*bufptr;**

**temptr++; bufptr++;**

**}**

**\*temptr = \*bufptr; bufptr++;**

**temptr = (char \*)&stuptr->age;**

**for(int i = 0; i < sizeof(short); i++) {**

**\*temptr = \*bufptr;**

**temptr++; bufptr++;**

**}**

**temptr = (char \*)&stuptr->score;**

**for(int i = 0; i < sizeof(float); i++) {**

**\*temptr = \*bufptr;**

**temptr++; bufptr++;**

**}**

**temptr = stuptr->remark;**

**while(\*bufptr != '\0') {**

**\*temptr = \*bufptr;**

**temptr++; bufptr++;**

**}**

**\*temptr = \*bufptr; bufptr++;**

**stuptr++;**

**}**

**return stuptr - s;**

**}**

**int main() {**

**char buf[1000];**

**for(int i = 0; i < N; i++) {**

**scanf("%s%hd%f%s", old\_s[i].name, &old\_s[i].age, &old\_s[i].score, old\_s[i].remark);**

**}**

**printf("old\_s:\n");**

**for(int i = 0; i < N; i++) {**

**printf("name: %s\t\tage: %hd\t\tscore: %f\t\tremark:%s\n", old\_s[i].name, old\_s[i].age, old\_s[i].score, old\_s[i].remark);**

**}**

**int buflen1 = pack\_student\_bytebybyte(old\_s, 2, buf);**

**int buflen2 = pack\_student\_whole(old\_s + 2, 3, buf + buflen1);**

**int stunum = restore\_student(buf, buflen1 + buflen2, new\_s);**

**printf("new\_s:\n");**

**for(int i = 0; i < stunum; i++) {**

**printf("name: %s\t\tage: %hd\t\tscore: %f\t\tremark:%s\n", new\_s[i].name, new\_s[i].age, new\_s[i].score, new\_s[i].remark);**

**}**

**return 0;**

**}**

**//task2.c**

**# include <stdio.h>**

**# include <stdlib.h>**

**# include <time.h>**

**# include <assert.h>**

**int absVal(int x) {**

**if(x >> 31) {**

**return (~x) + 1;**

**} else {**

**return x;**

**}**

**}**

**int negate(int x) {**

**return (~x) + 1;**

**}**

**int bitAnd(int x, int y) {**

**return ~((~x) | (~y));**

**}**

**int bitOr(int x, int y) {**

**return ~((~x) & (~y));**

**}**

**int bitXor(int x, int y) {**

**int v1 = bitAnd(~x, y), v2 = bitAnd(x, ~y);**

**return bitOr(v1, v2);**

**}**

**int isTmax(int x) {**

**return bitAnd(!((x + 1) ^ (~x)), !!(x + 1));**

**}**

**int bitCount(int xx) {**

**unsigned int x = xx;**

**unsigned int t1 = x & 0x55555555, t2 = x ^ t1;**

**x = t1 + (t2 >> 1);**

**t1 = x & 0x33333333; t2 = x ^ t1;**

**x = t1 + (t2 >> 2);**

**t1 = x & 0x0f0f0f0f; t2 = x ^ t1;**

**x = t1 + (t2 >> 4);**

**t1 = x & 0x00ff00ff; t2 = x ^ t1;**

**x = t1 + (t2 >> 8);**

**t1 = x & 0x0000ffff; t2 = x ^ t1;**

**x = t1 + (t2 >> 16);**

**return x;**

**}**

**int bitMask(int highbit, int lowbit) {**

**if(!(highbit ^ 31)) {**

**return 0xffffffff >> lowbit << lowbit;**

**} else {**

**return ((1u << highbit + 1) + 0xffffffff) >> lowbit << lowbit;**

**}**

**}**

**int addOK(int x, int y) {**

**int xh = (x >> 31) & 1, yh = (y >> 31) & 1, xo = x & 0x7fffffff, yo = y & 0x7fffffff, ad = ((xo + yo) >> 31) & 1;**

**if(xh & yh & (!ad) | (!xh) & (!yh) & ad) return 1;**

**else return 0;**

**}**

**int byteSwap(int x, int n, int m) {**

**int u = n << 3, v = m << 3;**

**int x1 = (x >> u) & 255, x2 = (x >> v) & 255;**

**return x ^ (x1 << u) ^ (x2 << v) ^ (x1 << v) ^ (x2 << u);**

**}**

**int absVal\_standard(int x) { return (x < 0) ? -x : x;}**

**int netgate\_standard(int x) { return -x;}**

**int bitAnd\_standard(int x, int y) {return x & y;}**

**int bitOr\_standard(int x, int y) {return x | y;}**

**int bitXor\_standard(int x, int y) {return x ^ y;}**

**int isTmax\_standard(int x) {return x == 0x7fffffff;}**

**int bitCount\_standard(int x) {**

**int ans = 0;**

**for(int i = 0; i < 32; i++) ans += (x & 1), x >>= 1;**

**return ans;**

**}**

**int bitMask\_standard(int highbit, int lowbit) {**

**unsigned int ans = 0;**

**for(int i = lowbit; i <= highbit; i++) ans |= 1u << i;**

**return ans;**

**}**

**int addOK\_standard(int x, int y) {**

**long long xl = x, yl = y, sum = xl + yl;**

**if(sum > \_\_INT\_MAX\_\_ || sum < (int)0x80000000) return 1;**

**else return 0;**

**}**

**int byteSwap\_standard(int x, int n, int m) {**

**int tmp = x;**

**char \*p = (char \*)&tmp;**

**int a = \*(p + n);**

**int b = \*(p + m);**

**\*(p + n) = b;**

**\*(p + m) = a;**

**return tmp;**

**}**

**int myrand() {**

**int x = rand();**

**if(rand() % 2) x = -x;**

**return x;**

**}**

**int main() {**

**srand(time(0));**

**puts("abs\_test...");**

**for(int i = 0; i < 10; i++) {**

**int x = myrand();**

**assert(absVal(x) == absVal\_standard(x));**

**printf(" %d-th passed\n", i);**

**}**

**puts("abs\_test passed");**

**puts("negate\_test...");**

**for(int i = 0; i < 10; i++) {**

**int x = myrand();**

**assert(negate(x) == netgate\_standard(x));**

**printf(" %d-th passed\n", i);**

**}**

**puts("negate\_test passed");**

**puts("and\_test...");**

**for(int i = 0; i < 10; i++) {**

**int x = myrand(), y = myrand();**

**assert(bitAnd(x, y) == bitAnd\_standard(x, y));**

**printf(" %d-th passed\n", i);**

**}**

**puts("and\_test passed");**

**puts("or\_test...");**

**for(int i = 0; i < 10; i++) {**

**int x = myrand(), y = myrand();**

**assert(bitOr(x, y) == bitOr\_standard(x, y));**

**printf(" %d-th passed\n", i);**

**}**

**puts("or\_test passed");**

**puts("xor\_test...");**

**for(int i = 0; i < 10; i++) {**

**int x = myrand(), y = myrand();**

**assert(bitXor(x, y) == bitXor\_standard(x, y));**

**printf(" %d-th passed\n", i);**

**}**

**puts("xor\_test passed");**

**puts("tmax\_test...");**

**for(int i = 0; i < 10; i++) {**

**int x;**

**if(i == 0) x = 0x7fffffff;**

**else if(i == 1) x = -1;**

**else x = myrand();**

**assert(isTmax(x) == isTmax\_standard(x));**

**printf(" %d-th passed\n", i);**

**}**

**puts("tmax\_test passed");**

**puts("bitcount\_test...");**

**for(int i = 0; i < 10; i++) {**

**int x = myrand();**

**assert(bitCount(x) == bitCount\_standard(x));**

**printf(" %d-th passed\n", i);**

**}**

**puts("bitcount\_test passed");**

**puts("bitmask\_test...");**

**for(int i = 0; i < 10; i++) {**

**int x = rand() % 32, y = rand() % 32;**

**if(x < y) {**

**int t;**

**t = x; x = y; y = t;**

**}**

**if(i < 3) x = 31;**

**assert(bitMask(x, y) == bitMask\_standard(x, y));**

**printf(" %d-th passed\n", i);**

**}**

**puts("bitmask\_test passed");**

**puts("addok\_test...");**

**for(int i = 0; i < 10; i++) {**

**int x = myrand(), y = myrand();**

**assert(addOK(x, y) == addOK\_standard(x, y));**

**printf(" %d-th passed\n", i);**

**}**

**puts("addok\_test passed");**

**puts("byteswap\_test...");**

**for(int i = 0; i < 10; i++) {**

**int x = myrand(), n = rand() % 4, m = rand() % 4;**

**assert(byteSwap(x, n, m) == byteSwap\_standard(x, n, m));**

**printf(" %d-th passed\n", i);**

**}**

**puts("byteswap\_test passed");**

**return 0;**

**}**