C/C++内存对齐

1. 什么是内存对齐?

还是用一个例子带出这个问题。看下面的小程序，理论上，32bit系统，int占用4 byte， char占用1 byte。
那么，将他们放到一个结构体中应该占4+1 = 5 byte。实际上，通过运行程序得到的结果是8byte，这就是内存对齐导致的。

```
//32位系统
#include<stdio.h>
struct{
    int x;
    char y;
}s;

int main()
{
    printf("%d\n",sizeof(s);  // 输出8
    return 0;
}
```

现代计算机内存空间都是按照byte来划分的，从理论上讲似乎对任何类型的变量访问可以从任何地址开始，但是实际的计算机系统对基本类型数据在内存中存放的位置有限制，它们会要求这些数据的首地址的值是某个数K（通常是4或8），这就是所谓的内存对齐。

2. 为什么要内存对齐?

尽管内存是以字节为单位，但是大部分处理器并不是按照字节块来存取内存的，它一般会以双字节，四字节，8字节，16字节甚至是32字节为单位来存取内存，我们将上述这些单位称为内存存取粒度。
现在考虑4字节存取粒度的处理器取int类型变量（32位系统），该处理器只能从地址为4的倍数的内存开始读取数据。
假设没有内存对齐机制，数据可以任意存放，现在一个int变量存放在从地址1开始的连续四个字节的地址中，该处理器去取数据时，首先要从0地址开始
读取第一个4字节块，剔除不想要的字节（0地址），然后从地址4开始读取下一个4字节块，同样剔除不要的数据（5，6，7地址），最后留下的两块
数据合并放入寄存器。这需要做很多工作。

现在有了内存对齐，int类型数据只能存放在按照对齐规则的内存中，比如说0地址开始的内存。那么现在处理器在取数据时一次性就能将数据读取出来了。而且不需要做额外的操作，提高了效率。

3. 内存对齐规则

每个编译平台上的编译器都有自己的默认“对齐系数”。GCC中默认#pragma pack(4)，可以通过预编译指令#pragma pack(n)，n = 1,2,4,8,16来改变这一个系数。

有效对齐值：是给定值#pragam pack(n)和结构体中最长数据类型长度中较小的那个。有效值也叫做对其单位。

了解了上面的概念后，我们现在可以来看看内存对齐需要遵循哪些规则：

（1）结构体第一个成员的**偏移量（offset）**为 0 ，以后每个成员相对于结构体首地址的offset都是**该成员大小与有效对齐值中较小那个**的整数倍，如有需要编译器会在成员之间加上填充字节。
（2）**结构体的总大小**为有效对齐值的**整数倍**，如有需要编译器会在最末一个成员之后加上填充字节。

下面举例说明：

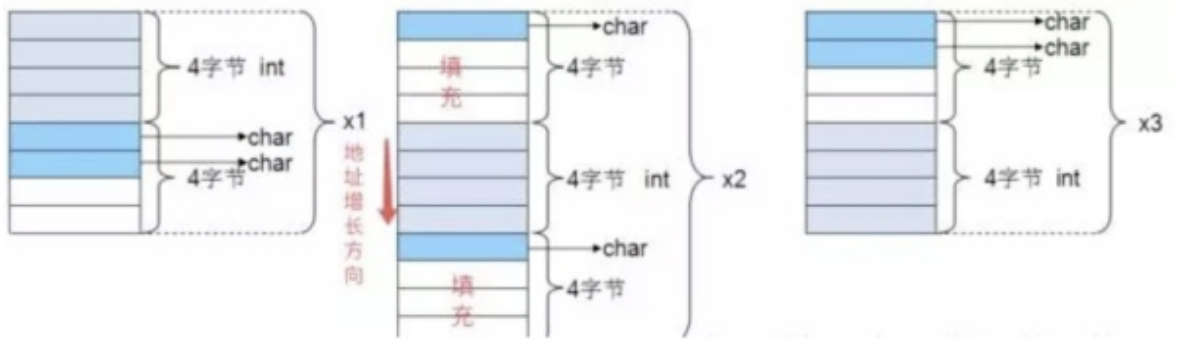
```
//32位系统
#include<stdio.h>
struct{
    int i;
    char c1;
    char c2;
}x1;
struct{
    char c1;
    int i;
    char c2;
}x2;
struct{
    char c1;
    char c2;
    int i;
}x3;
```

```
int main()
{
    printf("%d\n",sizeof(x1));   // 输出8
    printf("%d\n",sizeof(x2));   // 输出12
    printf("%d\n",sizeof(x3));   // 输出8
    return 0;
}
```

以上测试都是在Linux环境下进行的，linux下默认#pragma pack(4)，并且结构体中最长的数据类型为4个字节，所以有效对齐单位为4字节，下面根据上面所说的规则以s2来分析内存布局。
首先，使用规则1，对成员变量进行对齐：
sizeof(c1) = 1 <= 4（有效对齐位），按照1字节对齐，占用第0单元；
sizeof(i) = 4 <= 4(有效对齐位)，相对于结构体首地址的偏移要为4的倍数，占用第4，5，6，7单元；
sizeof(c2) = 1 <= 4（有效对齐位），相对于结构体首地址的偏移要为1的倍数，占用第8单元；
然后使用规则2，对结构体整体进行对齐：

s2中变量i占用内存最大占4字节，而有效对齐单位也为4字节，两者较小值就是4字节。因此整体也是按照4字节对齐。由规则1得到s2占9个字节，此处再按照规则2进行整体的4字节对齐，所以整个结构体占用12个字节。

根据上面的分析，不难得出上面例子三个结构体的内存布局如下：

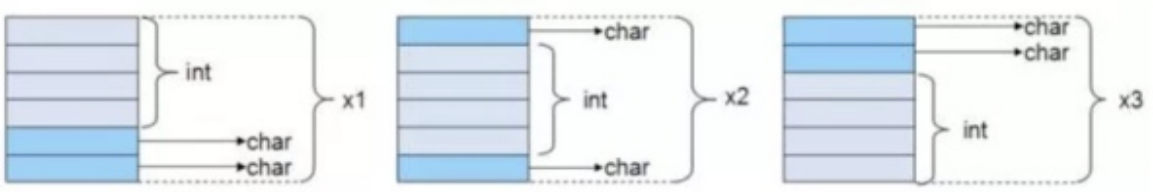


#pragma pack(n)

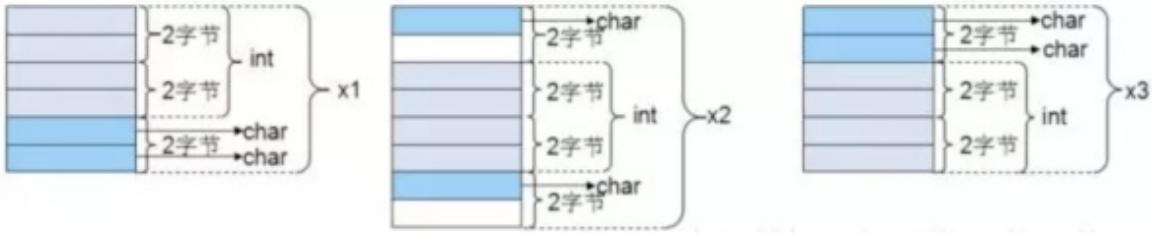
不同平台上编译器的 pragma pack 默认值不同。而我们可以通过预编译命令#pragma pack(n), n= 1,2,4,8,16来改变对齐系数。

例如，对于上个例子的三个结构体，如果前面加上#pragma pack(1)，那么此时有效对

齐值为1字节，此时根据对齐规则，不难看出成员是连续存放的，三个结构体的大小都是6字节。



如果前面加上#pragma pack(2)，有效对齐值为2字节，此时根据对齐规则，三个结构体的大小应为6,8,6。内存分布图如下：



在以后的编码中定义结构体时需要考虑成员变量定义的先后顺序了。