第2章-函数栈帧的创建和销毁

本章主题：

- 什么是函数栈帧？
- 理解函数栈帧能解决什么问题？
- 函数栈帧的创建和销毁解析

正文开始

1. 什么是函数栈帧

我们在写C语言代码的时候，经常会把一个独立的功能抽象为函数，所以C程序是以函数为基本单位的。那函数是如何调用的？函数的返回值又是如何待会的？函数参数是如何传递的？这些问题都和函数栈帧有关系。

函数栈帧（stack frame）就是函数调用过程中在程序的调用栈（call stack）所开辟的空间，这些空间是用来存放：

- 函数参数和函数返回值
- 临时变量（包括函数的非静态的局部变量以及编译器自动生产的其他临时变量）
- 保存上下文信息（包括在函数调用前后需要保持不变的寄存器）。

2. 理解函数栈帧能解决什么问题呢？

理解函数栈帧有什么用呢？

只要理解了函数栈帧的创建和销毁，以下问题就能够很好的额理解了：

- 局部变量是如何创建的？
- 为什么局部变量不初始化内容是随机的？
- 函数调用时参数时如何传递的？传参的顺序是怎样的？
- 函数的形参和实参分别是怎样实例化的？
- 函数的返回值是如何带会的？

让我们一起走进函数栈帧的创建和销毁的过程中。

3. 函数栈帧的创建和销毁解析

3.1 什么是栈？

栈（stack）是现代计算机程序里最为重要的概念之一，几乎每一个程序都使用了栈，没有栈就没有函数，没有局部变量，也就没有我们如今看到的所有的计算机语言。

在经典的计算机科学中，栈被定义为一种特殊的容器，用户可以将数据压入栈中（入栈，push），也可以将已经压入栈中的数据弹出（出栈，pop），但是栈这个容器必须遵守一条规则：先入栈的数据后出栈（First In Last Out， FIFO）。就像叠成一叠的术，先叠上去的书在最下面，因此要最后才能取出。

在计算机系统中，栈则是一个具有以上属性的动态内存区域。程序可以将数据压入栈中，也可以将数据从栈顶弹出。压栈操作使得栈增大，而弹出操作使得栈减小。

在经典的操作系统中，栈总是向下增长（由高地址向低地址）的。

在我们常见的i386或者x86-64下，栈顶由成为`esp`的寄存器进行定位的。

3.2 认识相关寄存器和汇编指令

相关寄存器

```
eax：通用寄存器，保留临时数据，常用于返回值
ebx：通用寄存器，保留临时数据
ebp：栈底寄存器
esp：栈顶寄存器
eip：指令寄存器，保存当前指令的下一条指令的地址
```

相关汇编命令

```
mov：数据转移指令
push：数据入栈，同时esp栈顶寄存器也要发生改变
pop：数据弹出至指定位置，同时esp栈顶寄存器也要发生改变
sub：减法命令
add：加法命令
call：函数调用，1. 压入返回地址 2. 转入目标函数
jump：通过修改eip，转入目标函数，进行调用
ret：恢复返回地址，压入eip，类似pop eip命令
```

####

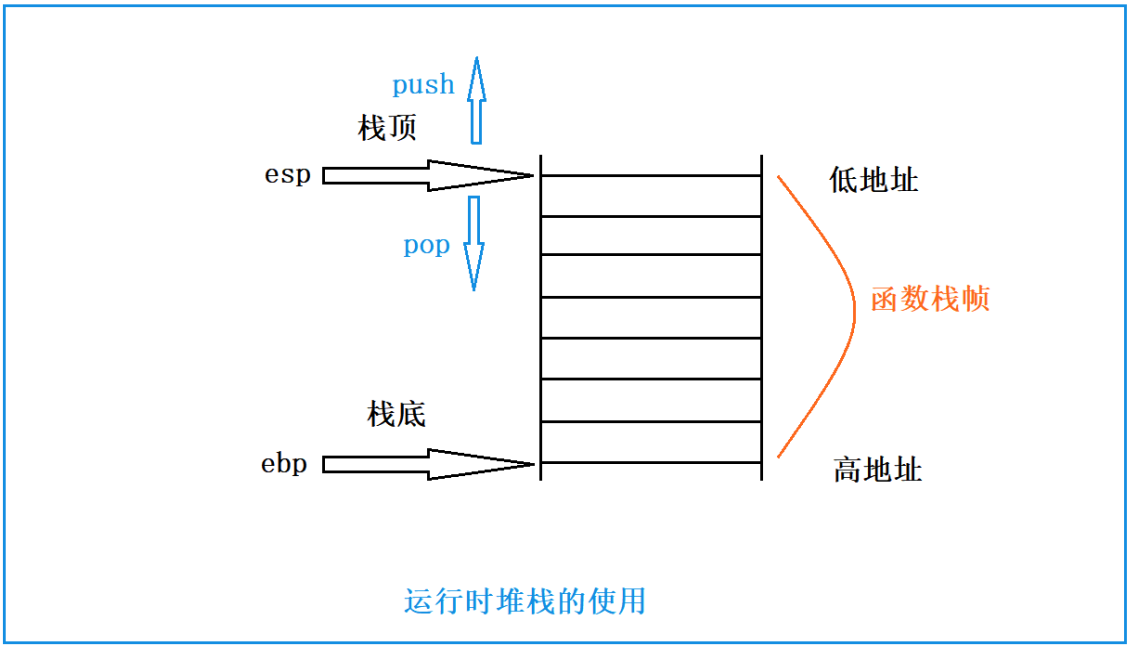
3.3 解析函数栈帧的创建和销毁

3.3.1 预备知识

首先我们达成一些预备知识才能有效的帮助我们理解，函数栈帧的创建和销毁。

1. 每一次函数调用，都要为本次函数调用开辟空间，就是函数栈帧的空间。
2. 这块空间的维护是使用了2个寄存器：`esp`和`ebp`，`ebp`记录的是栈底的地址，`esp`记录的是栈顶的地址。

如图所示：



3. 函数栈帧的创建和销毁过程，在不同的编译器上实现的方法大同小异，本次演示以VS2019为例。

3.3.2 函数的调用堆栈

演示代码：

```c
#include <stdio.h>

int Add(int x, int y)
{
    int z = 0;
    z = x + y;
    return z;
}

int main()
{
    int a = 3;
    int b = 5;
    int ret = 0;
    ret = Add(a, b);
    printf("%d\n", ret);
    return 0;
}
```

这段代码，如果我们在VS2019编译器上调试，调试进入Add函数后，我们就可以观察到函数的调用堆栈（右击勾选【显示外部代码】），如下图：

函数调用堆栈是反馈函数调用逻辑的，那我们可以清晰的观察到，`main`函数调用之前，是由`invoke_main`函数来调用main函数。

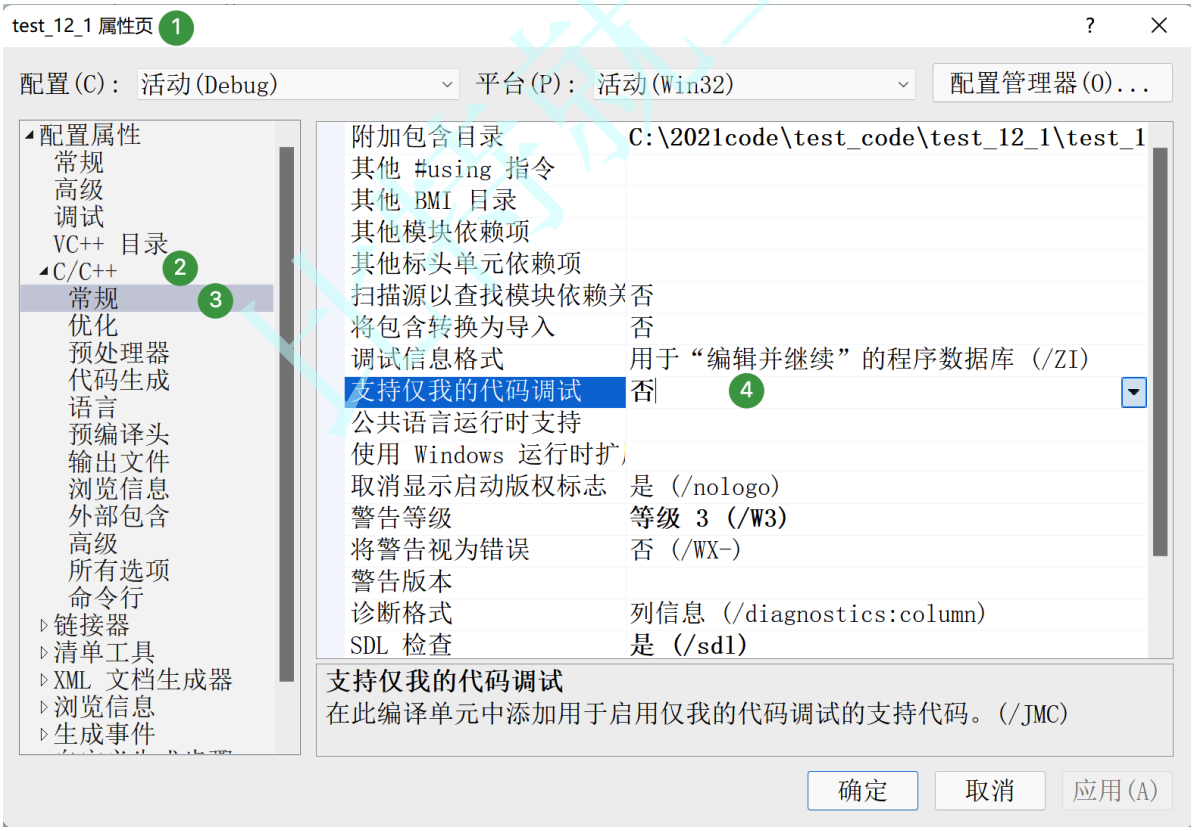
在`invoke_main`函数之前的函数调用我们就暂时不考虑了。

那我们可以确定，`invoke_main`函数应该会有自己的栈帧，`main`函数和`Add`函数也会维护自己的栈帧，每个函数栈帧都有自己的`ebp`和`esp`来维护栈帧空间。

那接下来我们从main函数的栈帧创建开始讲解：

3.3.4 准备环境

为了让我们研究函数栈帧的过程足够清晰，不要太多干扰，我们可以关闭下面的选项，让汇编代码中排除一些编译器附加的代码：



3.3.5 转到反汇编

调试到main函数开始执行的第一行，右击鼠标转到反汇编。

注：VS编译器每次调试都会为程序重新分配内存，课件中的反汇编代码是一次调试代码过程中数据，每次调试略有差异。

```
int main()
{
//函数栈帧的创建
00BE1820  push        ebp
00BE1821  mov         ebp,esp
00BE1823  sub         esp,0E4h
00BE1829  push        ebx
00BE182A  push        esi
00BE182B  push        edi
00BE182C  lea         edi,[ebp-24h]
00BE182F  mov         ecx,9
00BE1834  mov         eax,0CCCCCCCCh
00BE1839  rep stos    dword ptr es:[edi]
//main函数中的核心代码
    int a = 3;
00BE183B  mov         dword ptr [ebp-8],3
    int b = 5;
00BE1842  mov         dword ptr [ebp-14h],5
    int ret = 0;
00BE1849  mov         dword ptr [ebp-20h],0
    ret = Add(a, b);
00BE1850  mov         eax,dword ptr [ebp-14h]
00BE1853  push        eax
00BE1854  mov         ecx,dword ptr [ebp-8]
00BE1857  push        ecx
00BE1858  call        00BE10B4
00BE185D  add         esp,8
00BE1860  mov         dword ptr [ebp-20h],eax
    printf("%d\n", ret);
00BE1863  mov         eax,dword ptr [ebp-20h]
00BE1866  push        eax
00BE1867  push        0BE7B30h
00BE186C  call        00BE10D2
00BE1871  add         esp,8
    return 0;
00BE1874  xor         eax,eax
}
```

3.3.6 函数栈帧的创建

这里我看到`main`函数转化来的汇编代码如上所示。

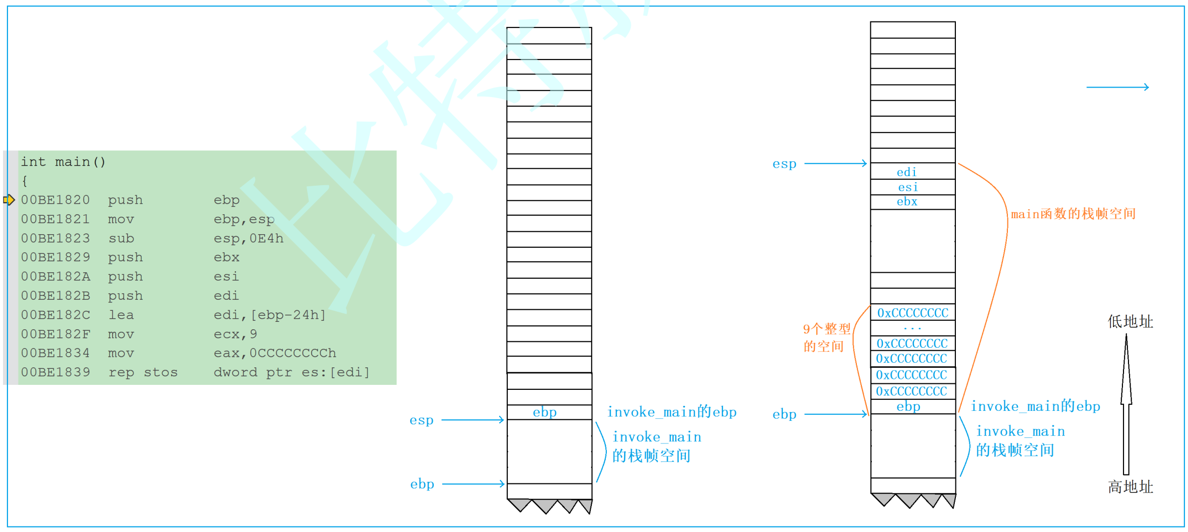
接下来我们就一行行拆解汇编代码

```
00BE1820  push        ebp     //把ebp寄存器中的值进行压栈，此时的ebp中存放的是
invoke_main函数栈帧的ebp，esp-4
00BE1821  mov         ebp,esp  //move指令会把esp的值存放到ebp中，相当于产生了main函数的
ebp，这个值就是invoke_main函数栈帧的esp
```

```
00BE1823  sub        esp,0E4h  //sub会让esp中的地址减去一个16进制数字0xe4，产生新的
esp，此时的esp是main函数栈帧的esp，此时结合上一条指令的ebp和当前的esp，ebp和esp之间维护了一
个块栈空间，这块栈空间就是为main函数开辟的，就是main函数的栈帧空间，这一段空间中将存储main函数
中的局部变量，临时数据已经调试信息等。
00BE1829  push       ebx  //将寄存器ebx的值压栈，esp-4
00BE182A  push       esi  //将寄存器esi的值压栈，esp-4
00BE182B  push       edi  //将寄存器edi的值压栈，esp-4
//上面3条指令保存了3个寄存器的值在栈区，这3个寄存器的在函数随后执行中可能会被修改，所以先保存寄
存器原来的值，以便在退出函数时恢复。

//下面的代码是在初始化main函数的栈帧空间。
//1. 先把ebp-24h的地址，放在edi中
//2. 把9放在ecx中
//3. 把0xCCCCCCCC放在eax中
//4. 将从edp-0x2h到ebp这一段的内存的每个字节都初始化为0xCC
00BE182C  lea        edi,[ebp-24h]
00BE182F  mov        ecx,9
00BE1834  mov        eax,0CCCCCCCCh
00BE1839  rep stos   dword ptr es:[edi]
```

上面的这段代码最后4句，等价于下面的伪代码：

```
edi = ebp-0x24;
ecx = 9;
eax = 0xCCCCCCCC;
for(; ecx = 0; --ecx,edi+=4)
{
    *(int*)edi = eax;
}
```

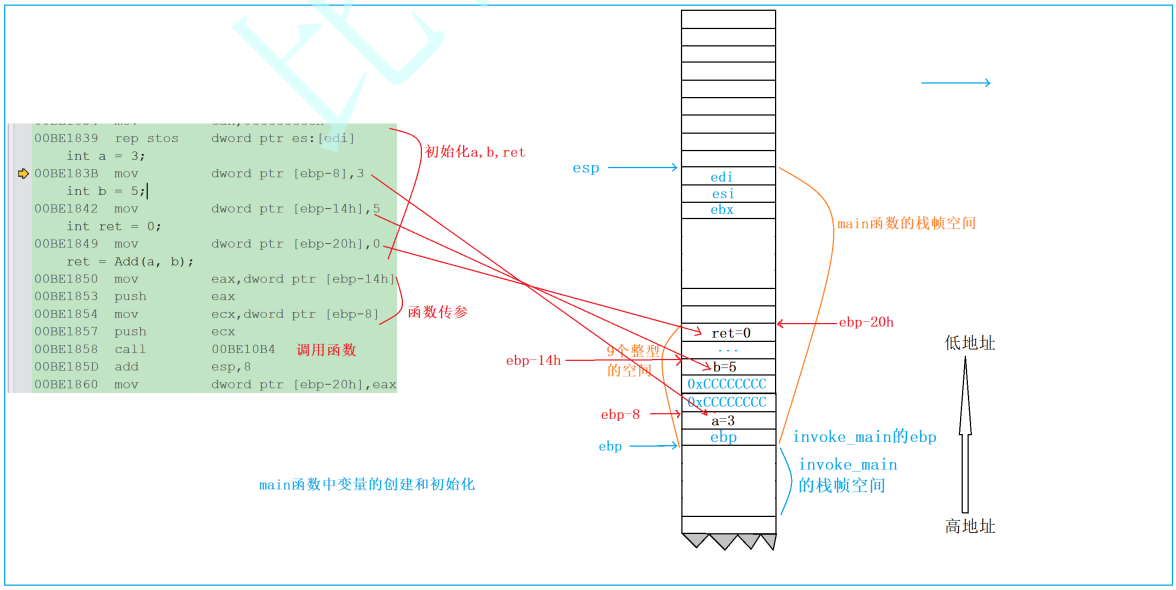


小知识：烫烫烫~

之所以上面的程序输出“烫”这么一个奇怪的字，是因为main函数调用时，在栈区开辟的空间的其中每一个字节都被初始化为0xCC，而arr数组是一个未初始化的数组，恰好在这块空间上创建的，0xCCCC（两个连续排列的0xCC）的汉字编码就是“烫”，所以0xCCCC被当作文本就是“烫”。

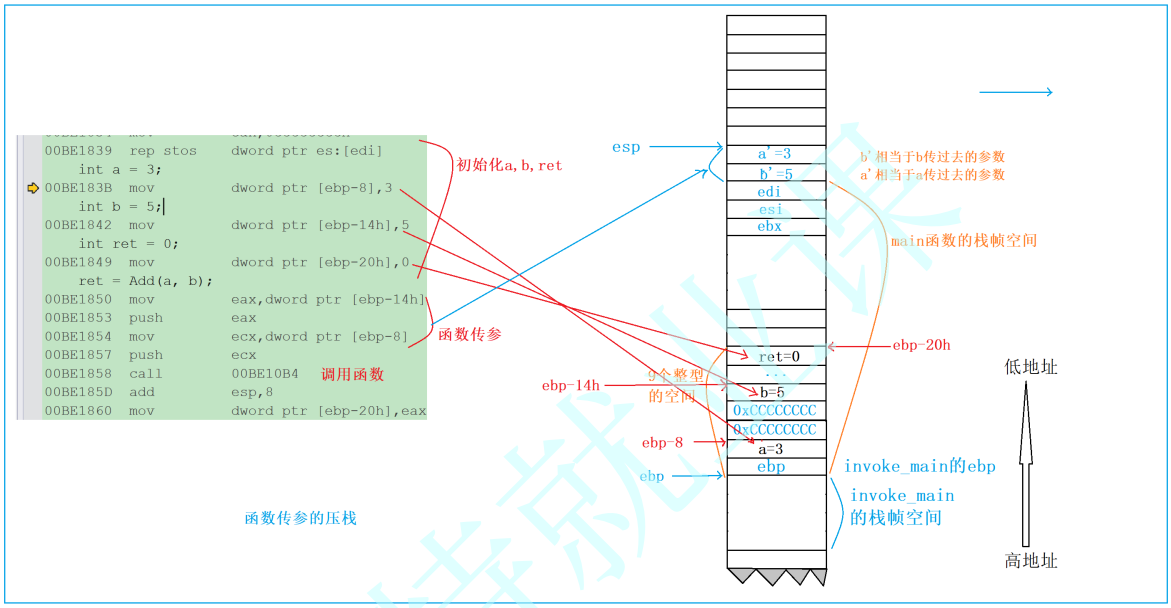
接下来我们再分析main函数中的核心代码：

```
    int a = 3;
00BE183B  mov         dword ptr [ebp-8],3  //将3存储到ebp-8的地址处，ebp-8的位置其实就是a变量
    int b = 5;
00BE1842  mov         dword ptr [ebp-14h],5 //将5存储到ebp-14h的地址处，ebp-14h的位置其实是b变量
    int ret = 0;
00BE1849  mov         dword ptr [ebp-20h],0  //将0存储到ebp-20h的地址处，ebp-20h的位置其实是ret变量
//以上汇编代码表示的变量a,b,ret的创建和初始化，这就是局部的变量的创建和初始化
//其实是局部变量的创建时在局部变量所在函数的栈帧空间中创建的

//调用Add函数
    ret = Add(a, b);
//调用Add函数时的传参
//其实传参就是把参数push到栈帧空间中
00BE1850  mov         eax,dword ptr [ebp-14h]  //传递b，将ebp-14h处放的5放在eax寄存器中
00BE1853  push        eax                      //将eax的值压栈，esp-4
00BE1854  mov         ecx,dword ptr [ebp-8]    //传递a，将ebp-8处放的3放在ecx寄存器中
00BE1857  push        ecx                      //将ecx的值压栈，esp-4

//跳转调用函数
00BE1858  call        00BE10B4
00BE185D  add         esp,8
00BE1860  mov         dword ptr [ebp-20h],eax
```



Add函数的传参

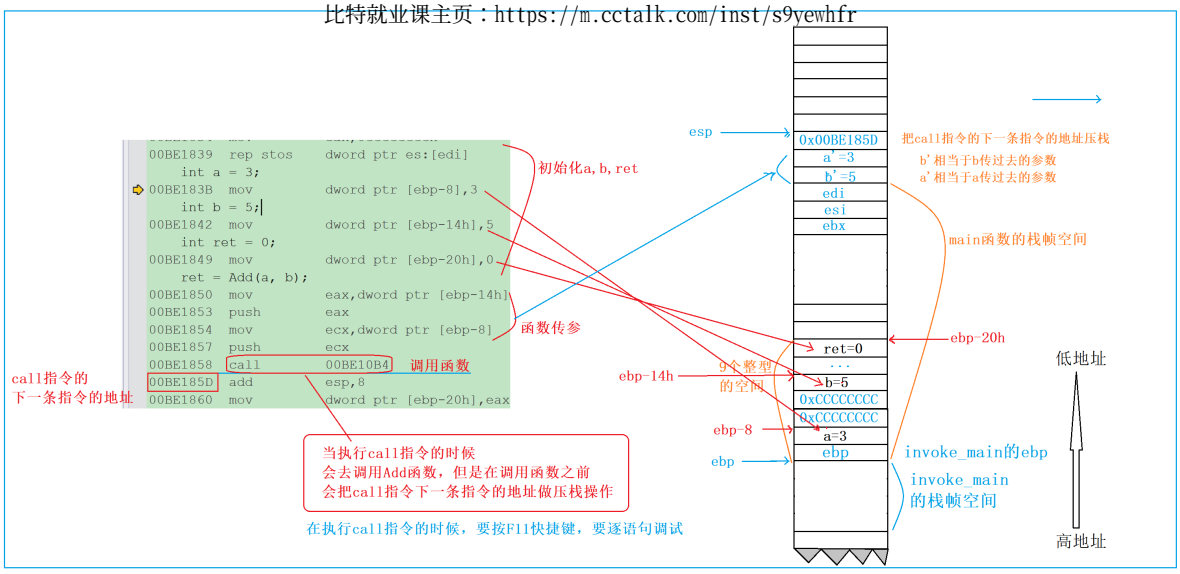
```
//调用Add函数
    ret = Add(a, b);
//调用Add函数时的传参
//其实传参就是把参数push到栈帧空间中，这里就是函数传参
00BE1850  mov         eax,dword ptr [ebp-14h]  //传递b，将ebp-14h处放的5放在eax寄存器中
00BE1853  push        eax                      //将eax的值压栈，esp-4
00BE1854  mov         ecx,dword ptr [ebp-8]    //传递a，将ebp-8处放的3放在ecx寄存器中
00BE1857  push        ecx                      //将ecx的值压栈，esp-4

//跳转调用函数
00BE1858  call        00BE10B4
00BE185D  add         esp,8
00BE1860  mov         dword ptr [ebp-20h],eax
```



函数调用过程

```
//跳转调用函数
00BE1858  call        00BE10B4
00BE185D  add         esp,8
00BE1860  mov         dword ptr [ebp-20h],eax
```

`call` 指令是要执行函数调用逻辑的，在执行call指令之前先会把call指令的下一条指令的地址进行压栈操作，这个操作是为了解决当函数调用结束后要回到call指令的下一条指令的地方，继续往后执行。



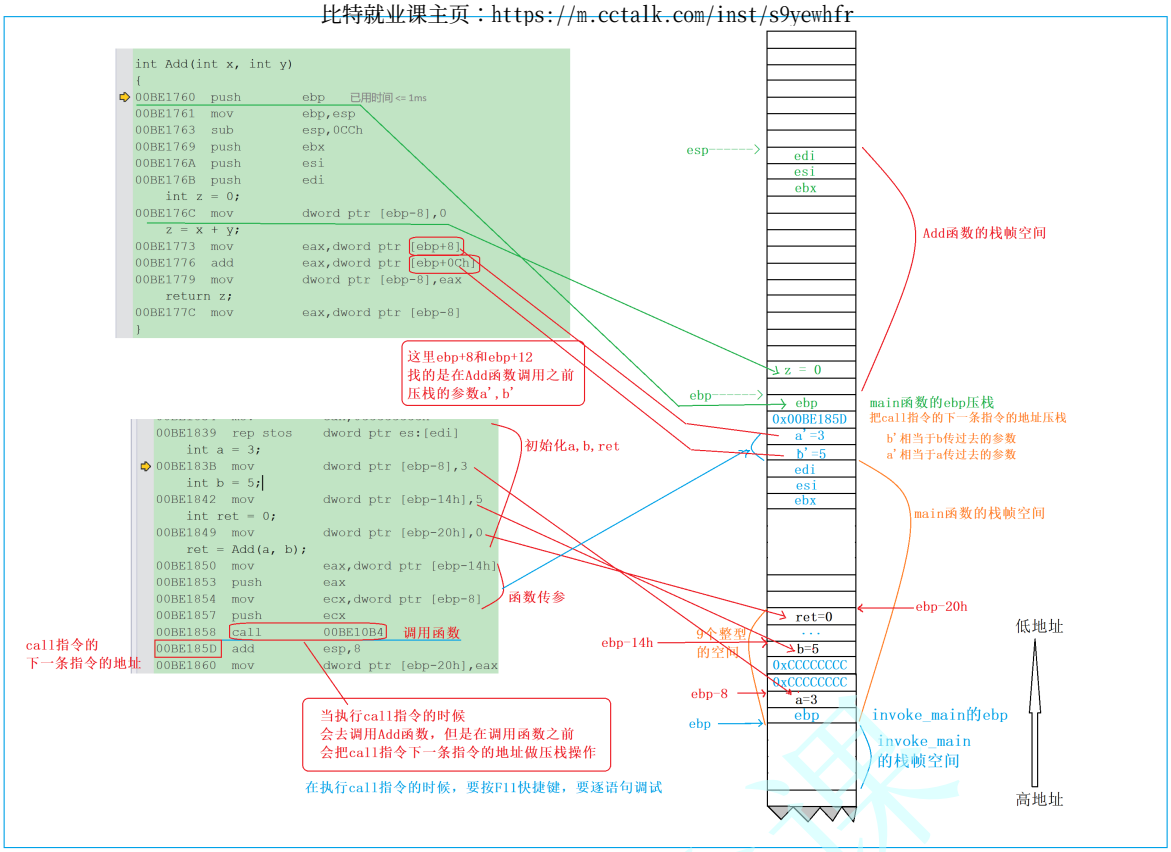
当我们跳转到Add函数，就要开始观察Add函数的反汇编代码了。

```
int Add(int x, int y)
{
00BE1760  push        ebp  //将main函数栈帧的ebp保存,esp-4
00BE1761  mov         ebp,esp   //将main函数的esp赋值给新的ebp，ebp现在是Add函数的ebp
00BE1763  sub         esp,0CCh  //给esp-0xCC，求出Add函数的esp
00BE1769  push        ebx       //将ebx的值压栈,esp-4
00BE176A  push        esi       //将esi的值压栈,esp-4
00BE176B  push        edi       //将edi的值压栈,esp-4
    int z = 0;
00BE176C  mov         dword ptr [ebp-8],0  //将0放在ebp-8的地址处，其实就是创建z
    z = x + y;
    //接下来计算的是x+y，结果保存到z中
00BE1773  mov         eax,dword ptr [ebp+8]   //将ebp+8地址处的数字存储到eax中
00BE1776  add         eax,dword ptr [ebp+0Ch]  //将ebp+12地址处的数字加到eax寄存中
00BE1779  mov         dword ptr [ebp-8],eax    //将eax的结果保存到ebp-8的地址处，其实
就是放到z中
    return z;
00BE177C  mov         eax,dword ptr [ebp-8]    //将ebp-8地址处的值放在eax中，其实就是
把z的值存储到eax寄存器中，这里是想通过eax寄存器带回计算的结果，做函数的返回值。
}
00BE177F  pop         edi
00BE1780  pop         esi
00BE1781  pop         ebx
00BE1782  mov         esp,ebp
00BE1784  pop         ebp
00BE1785  ret
```

代码执行到Add函数的时候，就要开始创建Add函数的栈帧空间了。

在Add函数中创建栈帧的方法和在main函数中是相似的，在栈帧空间的大小上略有差异而已。

1. 将main函数的`ebp`压栈
2. 计算新的`ebp`和`esp`
3. 将`ebx`，`esi`，`edi`寄存器的值保存
4. 计算求和，在计算求和的时候，我们是通过`ebp`中的地址进行偏移访问到了函数调用前压栈进去的参数，这就是形参访问。
5. 将求出的和放在`eax`寄存器尊准备带回



图片中的`a'`和`b'`其实就是`Add`函数的形参`x`,`y`。这里的分析很好的说明了函数的传参过程，以及函数在进行值传递调用的时候，形参其实是实参的一份拷贝。对形参的修改不会影响实参。

3.3.7 函数栈帧的销毁

当函数调用要结束返回的时候，前面创建的函数栈帧也开始销毁。

那具体是怎么销毁的呢？我们看一下反汇编代码。

```
00BE177F  pop         edi   //在栈顶弹出一个值，存放到edi中，esp+4
00BE1780  pop         esi   //在栈顶弹出一个值，存放到esi中，esp+4
00BE1781  pop         ebx   //在栈顶弹出一个值，存放到ebx中，esp+4
00BE1782  mov         esp,ebp   //再将Add函数的ebp的值赋值给esp，相当于回收了Add函数的栈帧空间
00BE1784  pop         ebp   //弹出栈顶的值存放到ebp，栈顶此时的值恰好就是main函数的ebp，esp+4，此时恢复了main函数的栈帧维护，esp指向main函数栈帧的栈顶，ebp指向了main函数栈帧的栈底。
00BE1785  ret               //ret指令的执行，首先是从栈顶弹出一个值，此时栈顶的值就是call指令下一条指令的地址，此时esp+4，然后直接跳转到call指令下一条指令的地址处，继续往下执行。
```

回到了call指令的下一条指令的地方：

```
反汇编 - test.c
地址(A): main(...)
查看选项
00BE185D  add         esp,8     已用时间 <= 1ms
00BE1860  mov         dword ptr [ebp-20h],eax
    printf("%d\n", ret);
00BE1863  mov         eax,dword ptr [ebp-20h]
00BE1866  push        eax
00BE1867  push        0BE7B30h
00BE186C  call        00BE10D2
00BE1871  add         esp,8
```

但调用完Add函数，回到main函数的时候，继续往下执行，可以看到：

```
00BE185D  add         esp,8                  //esp直接+8，相当于跳过了main函数中压栈的a'和b'
00BE1860  mov         dword ptr [ebp-20h],eax  //将eax中值，存档到ebp-0x20的地址处，其实就是存储到main函数中ret变量中，而此时eax中就是Add函数中计算的x和y的和，可以看出来，本次函数的返回值是由eax寄存器带回来的。程序是在函数调用返回之后，在eax中去读取返回值的。
```

拓展了解：

其实返回对象时内置类型时，一般都是通过寄存器来带回返回值的，返回对象如果时较大的对象时，一般会在主调函数的栈帧中开辟一块空间，然后把这块空间的地址，隐式传递给被调函数，在被调函数中通过地址找到主调函数中预留的空间，将返回值直接保存到主调函数的。具体可以参考《程序员的自我修养》一书的第10章。

到这里我们给大家完整的演示了main函数栈帧的创建，Add函数站真的额创建和销毁的过程，相信大家已经能够基本理解函数的调用过程，函数传参的方式，也能够回答课件开始处的问题了。

完