FOKS-TROT 开发文档

引言：

本项目是个实验性项目，且作者对于文件系统等的理解难免会存在偏差，因此可能会产生误导，望读者辩证的学习，并且请读者遵循相关的开源协议。

因为之前写过一个 minifilter 的透明加密解密驱动,但当时水平确实有限，有很多的问题，没有找到原因，只是进行了规避，导致在错误的基础上又产生了错误，所以在之前项目开发经验的基础上，写了这个项目。

这个项目也打算作为毕设，如有雷同，纯属雷同 s(-__-)b

简介：

本项目是一个使用 minifilter 框架的透明加密解密过滤驱动，当进程有写入特定的文件扩展名（比如 txt，docx）文件的倾向时自动加密。授权进程想要读取密文文件时自动解密，非授权进程不解密，显示密文，且不允许修改密文，这里的加密或解密只针对 NonCachedIo。桌面端也可以发送特权加密和特权解密命令，实现单独加密或解密。

1. 本项目使用双缓冲，授权进程和非授权进程分别使用明文缓冲和密文缓冲；
2. 使用 StreamContext 存放驱动运行时的文件信息，使用文件标识尾的方式，在文件的尾部 4KB 储存文件所需的解密信息；
3. 使用 AES 128-ECB 模式，并且使用密文挪用（Ciphertext stealing）的方法，避免明文必须分块对齐(padding)的问题；
4. Write 和 Read 使用 SwapBuffers 的方式进行透明加密解密；
5. 特权加密和特权解密使用重入（Reentry）的方式，使驱动加密解密文件；
6. 解决 FileRenameInformationEx 和 FileRenameInformation 问题，因此可以自动加密解密 docx，doc，pptx，ppt，xlsx，xls 等使用 tmp 文件重命名方式读写的文件；

编译及使用方法：

1. 安装 CNG 库：
   https://www.microsoft.com/en-us/download/details.aspx?id=30688
   需要在微软官网下载 Cryptographic Provider Development Kit,
   项目->属性的 VC++目录的包含目录，库目录设置相应的位置
   链接器的常规->附加库目录 C:\Windows Kits\10\Cryptographic Provider Development Kit\Lib\x64
   输入->附加依赖项一定要设置为 ksecdd.lib
2. 在 Utils.c-> PocBypassIrrelevantFileExtension 设置要过滤的文件扩展名，->PocIsUnauthorizedProcess 设置非授权进程
3. 使用 Visual Studio 2019 编译 Debug x64 驱动，编译 User 和 UserDll
4. 建议在 Windows 10 x64，NTFS 环境运行（这里主要是 FltFlushBuffers2 只支持 NTFS），

目录

设计部分：

1. 双缓冲部分的设计：

这一部分，看起来很难，实际上只有不到一百行的代码，重点是对于 Cache Manager、Memory Manager 和 File System Driver 同步的理解。而实际上，我们把私有的缓冲作为密文缓冲，而密文缓冲不被允许下发 NonCachedIo 写请求，所以只剩下 NonCachedIo 的不解密的读请求，以及一点和明文缓冲的同步处理。

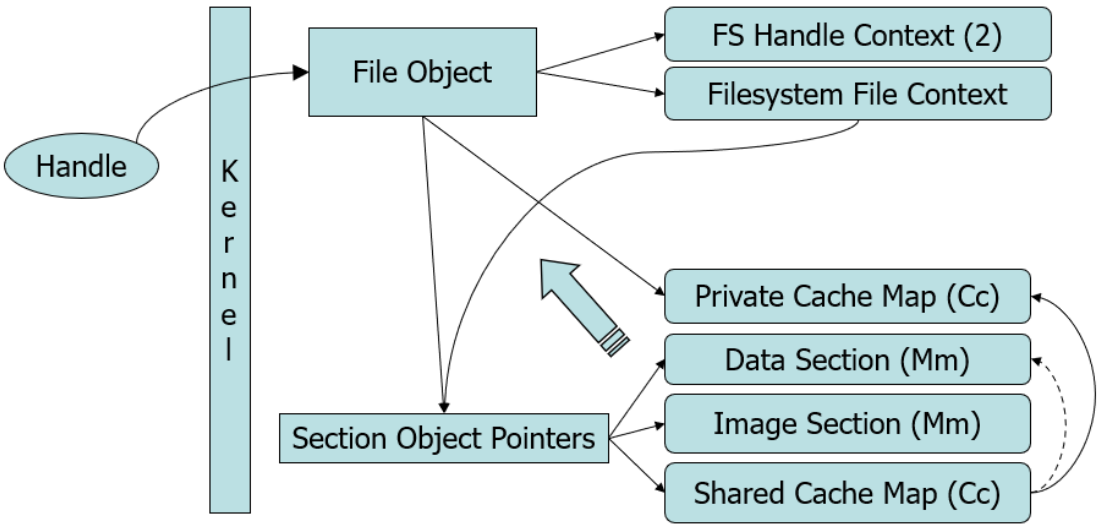
1） 密文缓冲的初始化：

FileObject.c->PocInitShadowSectionObjectPointers

```
1.      PFILE_OBJECT FileObject = FltObjects->FileObject; //非授权进程的 FO
2.
3.    // ShadowSectionObjectPointers 是在 StreamContext 分配的 NonPagedPool 内存
4.      if (NULL == StreamContext->ShadowSectionObjectPointers)
5.      {
6.          DbgPrint("PocInitShadowSectionObjectPointers->ShadowSectionObjectPointer
    s is NULL\n");
7.          Status = STATUS_INVALID_PARAMETER;
8.          goto EXIT;
9.      }
10.
11.     ExEnterCriticalRegionAndAcquireResourceExclusive(StreamContext->Resource);
12.   //在 StreamContext 中记录原始的 FCB 中 SOP 指针位置
13.     StreamContext->OriginSectionObjectPointers = FileObject->SectionObjectPointe
    r;
14.
15.     ExReleaseResourceAndLeaveCriticalRegion(StreamContext->Resource);
16.   //把 FO 的 SOP 指向我们 StreamContext 的 Shadow SOP
17.     FileObject->SectionObjectPointer = StreamContext->ShadowSectionObjectPointer
    s;
18.   //这里直接从上层调接口初始化该 FO 的 Shadow SOP，而不需要自己调用 Cc 函数
19.     Status = FltReadFileEx(FltObjects->Instance, FileObject, &ByteOffset,
20.         sizeof(Buffer), &Buffer, 0, NULL, NULL, NULL, NULL, NULL);
21.
22.     if (!NT_SUCCESS(Status) && STATUS_END_OF_FILE != Status)
23.     {
24.         DbgPrint("PocInitShadowSectionObjectPointers->FltReadFileEx init ciphert
    ext cache failed. Status = 0x%x\n", Status);
25.         goto EXIT;
26.     }
27.   //判断一下缓冲建立好了没有
28.     if (!CcIsFileCached(FileObject))
29.     {
```

```
30.         DbgPrint("PocInitShadowSectionObjectPointers->after FltReadFileEx file d
    oesn't have cache.\n");
31.         Status = STATUS_UNSUCCESSFUL;
32.         goto EXIT;
33.     }
```

如果读者看过 FastFat 的源码，就会发现，缓冲并不是在 Create 中建立的，而是在 Read 或者 Write 有 CachedIo 的需求下建立的，



FO->PrivateCacheMap 和 FO->SOP 是 FO 中和 Cache 相关的部分。

```
1.  FileObject->SectionObjectPointer = &Fcb->NonPaged->SectionObjectPointers;
```

FO->SOP 是指向 Fcd 中一块旁视链表分配的 NonPagedPool 内存的指针，这块内存是所有 FO 共享的，也意味着同一个文件的所有 FO 都使用一个缓冲。SOP 的 DataSectionObject 和 SharedCacheMap 是文件缓冲使用的两个指针，DataSectionObject 即 ControlArea，是 Memory Manager 管理缓冲的部分，SharedCacheMap 是 Cache Manager 管理缓冲的部分，ImageSectionObject 是进程用的，这里和文件没有关系。

FO->PrivateCacheMap 是每个 FO 私有的，存放着该 FO 读操作的历史记录，给预读（Read Ahead）算法提供预读位置和预读长度，它不存放实际的缓冲。基本上，我们不需要考虑它，因为它本身指向的内存或者是 FO->SOP->SharedCacheMap 中一块提前预备的内存，或者是 Cache Manager 新分配的内存，然后插入到对应 SharedCacheMap 的 PrivateList 链表中，就是说 PrivateCacheMap 和 SharedCacheMap 有着多对一的对应关系。因为我们是在 PostCreate 中开始处理 FO，所以此时 PrivateCacheMap 并没有建立，只要我们在缓冲还没有建好就替换 SOP，那么 PrivateCacheMap 就是与我们之后建立的 Shadow SOP 相对应。

而我们把 FO->SOP 指向了 StreamContext 中分配的 NonPagedPool，然后调用 FltReadFileEx，使用 CachedIo 向 FSD（File System Driver）下发读请求，FSD 会帮我们调用 CcInitializeCacheMap 建立缓冲，然后它会调用 CcCopyReadEx 尝试从缓冲中读数据。（这里提一个验证缓冲是否建立成功的测试方法：可以在 PreRead 中对使用我们 Shadow SOP 的 FO 进行阻塞（FLT_PREOP_COM

PLETE），并返回 STATUS_SUCCESS，此时应用程序里就会显示缓冲中原有的脏数据而不是文本内容）

如此一来，密文缓冲就建立好了，存放在 StreamContext->SOP 中，当非授权进程的其他 FO 也想要读写密文缓冲时，我们就把该 FO->SOP 指向已经建立好的密文缓冲。通过密文缓冲读写的 FO，Cache Manager 都会使用 SharedCacheMap->FileObject 进行读写，即缓冲建立时的原始 FO，并增加该 FO 的引用数，保证该 FO 不会被提前 Close。密文缓冲的销毁是在 Cleanup 中调用 CcUninitializeCacheMap 实现的，当 SharedCacheMap->OpenCount==0 等条件满足时就会被删除。

2） 密文缓冲和明文缓冲的同步问题：

FileFuncs,c->PocFlushOriginalCache

```
3)      RtlInitUnicodeString(&uFileName, FileName);
4)
5)      InitializeObjectAttributes(&ObjectAttributes, &uFileName, OBJ_KERNEL_HANDLE
     | OBJ_CASE_INSENSITIVE, NULL, NULL);
6)     //创建一个带有原始缓冲（明文缓冲）的 FO
7)      Status = FltCreateFileEx(
8)          gFilterHandle,
9)          FltObjects->Instance,
10)         &hFile,
11)         &FileObject,
12)         0,  //DesiredAccess 为 0，避免 SharedAccess 冲突
13)         &ObjectAttributes,
14)         &IoStatusBlock,
15)         NULL,
16)         FILE_ATTRIBUTE_NORMAL,
17)         FILE_SHARE_READ | FILE_SHARE_WRITE,
18)         FILE_OPEN,
19)         FILE_NON_DIRECTORY_FILE,
20)         NULL,
21)         0,
22)         IO_IGNORE_SHARE_ACCESS_CHECK);  //告诉 FSD 不检查 SharedAccess
23)
24)     if (STATUS_SUCCESS != Status)
25)     {
26)         DbgPrint("PocFlushOriginalCache->FltCreateFileEx failed. Status = 0x%x\
    n", Status);
27)         goto EXIT;
28)     }
29)
30)     if (CcIsFileCached(FileObject))
31)     {  //从上层调用刷新缓存的接口，刷新明文缓存
32)         Status = FltFlushBuffers(FltObjects->Instance, FileObject);
```

```
33)
34)         if (STATUS_SUCCESS != Status)
35)         {
36)             DbgPrint("PocFlushOriginalCache->FltFlushBuffers failed. Status = 0
    x%x\n", Status);
37)             goto EXIT;
38)         }
39)     }
```

当非授权进程打开的 FO 有读的倾向时，我们使明文缓存（如果有的话）尽快下刷到磁盘中，这样等到密文缓冲建立时，从磁盘中读到的数据是最新的。刷新缓存尽量要从上层去调接口，让 FSD 去判断条件，取相关的锁，然后刷新，尽可能地避免自己调用 CcFlushCache。

2. StreamContext 和文件标识尾

1) StreamContext：

StreamContext 是我们的 minifilter 驱动为每个文件维护的一块数据，这方面它类似于 Fcb 一样，不过 Fcb 是 FSD 维护的，我们可以在其中定义需要记录的数据，minifilter 卸载时它就被释放了。当然也可以为文件维护一张链表，但是，面对大量的文件时 StreamContext 比链表快，至少它省去了每次遍历查找链表的时间。

```
1.  typedef struct _POC_STREAM_CONTEXT
2.  {
3.
4.      ULONG Flag;
5.      PWCHAR FileName;  //记录着文件名，文件名在 Create 或 Rename 时记录
6.      /*
7.      * FileSize 中存着明文==密文大小，因为写进去的尾是 NonCachedIo，所以有扇区对齐，不
    是紧接着密文写的
8.      * FileSize 主要是用于隐藏尾部，在 PostQueryInformation 和 PreRead，PostRead 中使
    用
9.      * FileSize 会在 PostWrite 中更新，并在 PostClose 中写进尾部，以便驱动启动后第一次打
    开文件时，从尾部中取出
10.     */
11.     ULONG FileSize;
12.   //双缓冲时使用，上文提过
13.     PSECTION_OBJECT_POINTERS OriginSectionObjectPointers;
14.     PSECTION_OBJECT_POINTERS ShadowSectionObjectPointers;
15.
16.     BOOLEAN IsCipherText;  //记录文件是明文还是密文，在加密以后置 1，并写进尾部
17.   //Write 中暂存的一块内存，为了处理 Ciphertext Stealing 的一种特殊情况
18.     POC_PAGE_TEMP_BUFFER PageNextToLastForWrite;
```

```
19.   //读写锁，保证多线程下 StreamContext 数据的安全
20.     PERESOURCE Resource;
21.
22. } POC_STREAM_CONTEXT, * PPOC_STREAM_CONTEXT;
```

2） 文件标识尾：

之前的 minifilter 项目使用的是加密标识头，下面简单的列举标识头和标识尾的优缺点。

加密标识头优点是，只要写入标识头文件就是密文，而且头部不会被修改、覆盖；缺点在于既要在读和写时加上偏移跳过头，而且还要修改 FileSize，ValidDataLength 等去隐藏头，对于 FSD 来说，各方面的影响比较多一点。

加密标识尾则不需要在读写修改偏移，但是，写操作以后，需要重新添加标识尾，因为原始的标识尾被破坏了，所以，不能根据是否有尾去判断文件是否被加密，所以使用了标识 IsCipherText，而且也需要修改 FileSize 去隐藏标识尾。

```
1.  typedef struct _POC_ENCRYPTION_TAILER
2.  {
3.      CHAR Flag[32];
4.      WCHAR FileName[POC_MAX_NAME_LENGTH];
5.      ULONG FileSize;
6.      BOOLEAN IsCipherText;
7.      CHAR EncryptionAlgorithmType[32];  //记录使用的加密算法
8.      CHAR KeyAndCiphertextHash[32];     //密钥和一块密文的哈希，用来以后判断密钥是否
    解密成功
9.
10. }POC_ENCRYPTION_TAILER, * PPOC_ENCRYPTION_TAILER;
```

加密标识头和标识尾主要是为了适配 FAT32，而在 NTFS 下有着更多的可操作空间，具体留给读者去研究。

3） 文件标识尾读取和写入的时机：

标识尾是在 PostCreate 中读取并判断的，可以看 FileFuncs.c->PocCreateFileForEncTailer，因为是 NonCachedIo，所以读偏移和读的大小需要和扇区对齐，然后从标识尾中读取数据，写入 StreamContext 中。

```
1.  /*
2.  * 驱动加载后，文件如果有缓冲或者被内存映射读写过，清一下缓冲，防止出现密文
3.  * 但对于非授权进程不需要，因为它不使用该缓冲
4.  * IsCipherText == 0，说明是在驱动加载以后，第一次被打开
5.  */
6.  Status = PocIsUnauthorizedProcess(ProcessName);
7.
8.  if (0 == StreamContext->IsCipherText &&
9.      POC_IS_AUTHORIZED_PROCESS == Status)
10. {
```

```
11.     if (FltObjects->FileObject->SectionObjectPointer->DataSectionObject != NULL)

12.     {  //这里通过自己构造 IRP，实现 FltFlushBuffers2 功能，刷新并清除之前的缓冲
13.         Status = PocNtfsFlushAndPurgeCache(FltObjects->Instance, FltObjects->Fil
    eObject);
14.          //这个函数的清除缓冲部分只有 ntfs 有实现，fastfat 不行
15.         if (STATUS_SUCCESS != Status)
16.         {
17.             DbgPrint("PocCreateFileForEncTailer->PocNtfsFlushAndPurgeCache faile
    d. Status = 0x%x\n", Status);
18.         }
19.         else
20.         {
21.             DbgPrint("PocCreateFileForEncTailer->File has been opened. Flush and
     purge cache.\n");
22.         }
23.     }
24. }
```

在 NonCachedIo 的 Write 加密以后，我们设置 StreamContext->Flag 为 POC_TO_APPEND_ENCRYPTION_TAILER，PostClose 时，如果 Flag 有相应的标识，就写入标识尾（FileFuncs.c-> PocAppendEncTailerToFile）。

在 PostClose 写入，是因为无论如何，最后一个 FileObject 的 PostClose 都不会有 SharedAccess 冲突的情况，这样就能保证尾部一定能被写入。而在其他位置，则有可能此时有其他的 FO 以写独占的方式抢占了文件，导致尾部无法写入。

4) 文件标识尾以何种方式写入：

最好以 NonCachedIo 写入，在文件 EOF 以扇区大小对齐以后的偏移位置写入。如果以 CachedIo 写入，有重入的风险（详见下文的 5.1）.a)）。而且如果其他 ReadFile(NonCachedIo)以扇区对齐偏移和大小读，有可能把标识尾读出一部分，除非 minifilter 把超过 EOF 的部分清零。

5) 文件标识尾的隐藏：

在 PostQueryInformation 把和 EOF 相关的值都修改成原始大小(notepad.exe)

```
1.  case FileEndOfFileInformation:
2.  {
3.  PFILE_END_OF_FILE_INFORMATION Info = (PFILE_END_OF_FILE_INFORMATION)InfoBuffer;
4.  Info->EndOfFile.LowPart = StreamContext->FileSize;
5.  break;
6.  }
```

然后在 PostRead 中修改读取成功的结果值：（wordpad.exe notepad++.exe）

```
1.  if (STATUS_SUCCESS == Data->IoStatus.Status)
```

```
2. {
3.     if (StartingVbo + Data->IoStatus.Information > FileSize)
4.     {
5.         Data->IoStatus.Information = FileSize - StartingVbo;
6.     }
7. }
8. else if (!NT_SUCCESS(Data->IoStatus.Status) || (Data->IoStatus.Information == 0)
9. {
10.     Status = FLT_POSTOP_FINISHED_PROCESSING;
11.     goto EXIT;
12. }
```

这里是因为 wordpad.exe notepad++.exe 每次会读固定的大小，例如 EEF 等，直到 EOF，然后根据 Read 返回的结果值分配内存。下面再 PreRead 中设置返回 EOF。

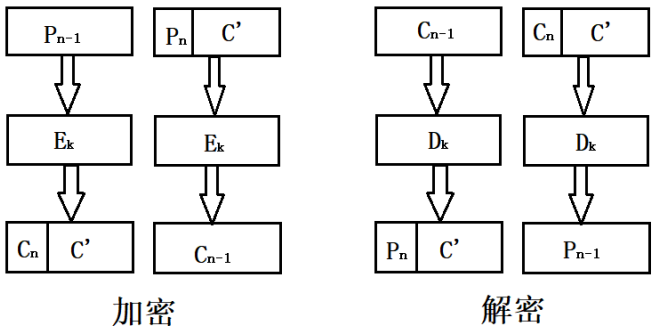
```
1. if (StartingVbo >= StreamContext->FileSize)
2. {
3.     DbgPrint("PocPreReadOperation->%s read end of file.\n", ProcessName);
4.     Data->IoStatus.Status = STATUS_END_OF_FILE;
5.     Data->IoStatus.Information = 0;
6.
7.     Status = FLT_PREOP_COMPLETE;
8.     goto ERROR;
9. }
```

3. Ciphertext Stealing

对于分块的加密算法，如何在 PagingIo 下扩展文件大小是做透明加密比较突出的问题。对于文件大小本身就和块大小对齐的文件，我们直接加密解密。对于不对齐的文件，这里我们采用密文挪用的方式，这个方式有两个问题需要解决：文件大小小于一个块，不能用这种方式加密；NonCachedIo 以扇区为单位读写数据，如果最后一次读或写操作的实际数据小于一个块，首先整个文件是需要做密文挪用加密解密的，其次需要倒数第二个块，才能正确加密或解密最后一个块。

密文挪用理论上可以用在其他块加密的算法中，这里使用的是 AES-ECB 模式，AES-CBC 模式同样可以。

1）密文挪用的原理：



Pn_1，Pn 是明文，前者是块对齐的，后者是需要 padding 的
Cn，Cn_1 是密文，C’是 padding 大小的密文，
Pn_1 经过加密后的密文分为两部分，一部分**后移**成为 Cn，另一部分和 Pn 补齐，加密后成为密文 Cn_1，Cn_1 **前移**
最后成为 Cn_1Cn 的一块数据，由以上可知，这块数据的长度与原始明文长度一致。
解密流程与加密一致，最终可以解出原始明文。

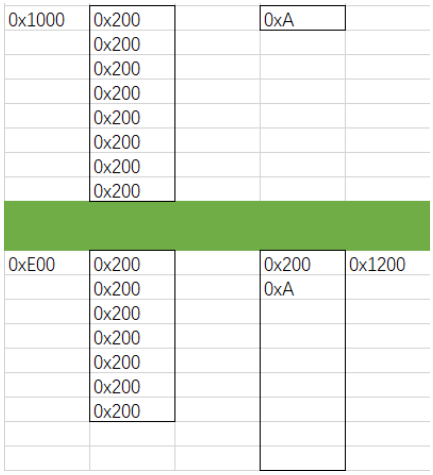
以上源码在 Cipher.c-> PocAesECBEncrypt_CiphertextStealing 和 PocAesECBDecrypt_CiphertextStealing

2）特殊情况的解决方法：
　　由于密文挪用的加密解密都是需要倒数第二个块和最后一个块一起处理的，所以，对于整体文件小于一个块的文件，不适合，这里选择使用其他流式加密算法；

a） NonCachedIo PagingIo Write：
　　因为 Cache Manager 的 Lazy Writer 刷脏数据时，是用 PagingIo 的，而 PagingIo 是不允许拓展 FileSize 即 EOF 的，EOF 是由应用程序 CachedIo 写操作时扩展的。大致就是先由 CachedIo 修改 EOF，之后某个时间点 Lazy Writer 一块一块的刷下缓冲。

```
1.  //LengthReturned 是本次 Write 真正需要写的数据
2.  if (!PagingIo || FileSize >= StartingVbo + ByteCount)
3.  {
4.      LengthReturned = ByteCount;
5.  }
6.  else
7.  {
8.      LengthReturned = FileSize - StartingVbo;
9.  }
```

　　设想一种特殊情况，如果 Lazy Writer 把一个和块大小不对齐的文件分两次刷下，一次是 0x1000，另一次是 LengthReturned==0xA（实际写入的大小是 0xA，但 Lazy Writer 还是按照 ByteCount==0x1000 刷的），那么这种情况，最后两个块不在一起，就没办法使用密文挪用了。



这里的解决方法是，0x1000 这一次，只刷 0x1000-0x200（扇区大小）= 0xE00 的大小，然后在 StreamContext-> PageNextToLastForWrite 这块之前分配好的内存中，写入最后一个扇区的明文（之所以要按扇区是因为 NonCachedIo 无论偏移还是大小都要和扇区对齐）；然后在 0xA 这一次，取出 0x200 的明文，把 0x200+0xA=0x20A 大小的明文，密文挪用加密后，修改这次写操作的偏移（减一个扇区）和大小，把这 0x200+0x1000=0x1200（实际上的大小）整体下发到 FSD。

注意在每次的 PostWrite 把实际写入的大小改回它应该写入的大小。

b) NonCachedIo Read：

相比 Write 而言，Read 就简单一点了，情况是一样的，只是 Read 是读操作。Read 不需要修改两次下发到 FSD 的偏移和大小，在 0x1000 这一次，单独以 NonCachedIo 或者非重入的方式，读出最后一个块的密文，把 0x1000+0xA 一起解密，把解密后的 0x1000 写到 OriginalBuffer 中；0xA 同理。

以上源码分别在 Write.c 和 Read.c 中

3) 特殊情况的测试方法：

Write 的测试需要先用 Nt 或 FltSetInformationFile 设置 EOF，这一步就是模仿上文提到的 CachedIo 扩展 EOF，然后以**重入**且是 **PagingIo**（PagingIo 不修改 EOF，但单独的 NonCachedIo 会扩展 EOF）的方式分别写入 0x1000，0xA（实际上是 0x200，但真正的数据只有 0xA）。

Read 的测试则分别以 NonCachedIo 且重入的方式读取 0x1000，0xA。

4. SwapBufferrs

1) Write：

在 Write 从 I/O Manager 把 IRP 发到我们的 minifilter 时，即 PreWrite，我们重新分配一块内存 NewBuffer，把原始内存 OrifBuffer 的数据加密后写入 NewBuffer，把 IRP 的 Buffer 等指针重新指向我们新分配的 NewBuffer，这样发下去的就是密文。然后再 PostWrite 时，把新分配的内存 NewBuffer 释放

掉，并且更新 StreamContext->FileSize。具体并不复杂，读者可以看微软的 swapBuffers sample。

```
1.  if (FltObjects->FileObject->SectionObjectPointer == StreamContext->ShadowSection
    ObjectPointers && NonCachedIo)
2.  {
3.      DbgPrint("PocPreWriteOperation->Block StartingVbo = %d ProcessName = %s File
     = %ws.\n",
4.          Data->Iopb->Parameters.Write.ByteOffset.LowPart, ProcessName, StreamCont
    ext->FileName);
5.
6.      Data->IoStatus.Status = STATUS_SUCCESS;
7.      Data->IoStatus.Information = Data->Iopb->Parameters.Write.Length;
8.
9.      Status = FLT_PREOP_COMPLETE;
10.     goto ERROR;
11. }
```

按照之前的设计，密文缓冲是不允许下发的，这里直接结束 IRP，返回成功。

2）Read：

与 Write 稍有不同的是，Read 是在 PostRead 做的 SwapBuffers，因为 PostRead 时，数据才从 FSD 读出，我们也是在 PreRead 分配内存，替换 IRP 指针，然后在 PostRead 中解密密文。

```
1.  if (FltObjects->FileObject->SectionObjectPointer
2.      == StreamContext->ShadowSectionObjectPointers)
3.  {
4.      SwapBufferContext->StreamContext = StreamContext;
5.      *CompletionContext = SwapBufferContext;
6.      Status = FLT_PREOP_SUCCESS_WITH_CALLBACK;
7.      goto EXIT;
8.  }
```

非授权进程的密文缓冲在 PostRead 中不使用 NewBuffer 替换 OrigBuffer。

```
1.  if (FltObjects->FileObject->SectionObjectPointer
2.   == StreamContext->ShadowSectionObjectPointers)
3.  {
4.      DbgPrint("PocPostReadOperation->Don't decrypt ciphertext cache map.\n");
5.      Status = FLT_POSTOP_FINISHED_PROCESSING;
6.      goto EXIT;
7.  }
```

非授权进程的密文缓冲在 PostRead 中不解密。

5. 重入（Reentry）和特权加密、特权解密

1） 重入与非重入

关于 minifilter Create，Read，Write 的重入与非重入，读者可以去看下面这篇文章：

Issuing IO in minifilters: Part 2 - Flt vs. Zw

这里简单的解释一下：

a） FltCreateFile 创建的 FO，之后无论是 Flt 还是 Zw 读写操作，都会是非重入的方式。这是因为 I/O Manager 会调用 IoGetRelatedDeviceObject，解析出 FO 相关的设备对象，然后把 IRP 发给 Filter Manager，由 Filter Manager 决定下发的卷实例。

b） 使用 ZwCreateFile 的 FO，必须使用 FltRead/WriteFile 才能非重入。

c） 当然也可以使用 FltPerformSynchronousIo 直接下发 IRP，不经过 I/O Manager 来非重入。

d） 除了文章中的情况以外，如果在写之前已经有别的进程创建了缓冲，那么该缓冲下发时使用的 FO 是该进程创建的 FO，而不是我们写操作的非重入 FO，这样的写操作是重入的。也就是说，即便用了 FltWriteFile/Ex，如果是 CachedIo，还是有可能是重入的，或者是其他最终调用 MmFlushCache 的函数，比如 FltSetInformationFile->EOF，也会导致重入的写操作。

因为此时 minifilter 的 Create，Read，Write 相关操作都已建立，所以特权加密，特权解密直接使读写操作重入，minifilter 调用自己来实现加密或解密。

2） 特权加密

FileFuncs.c->PocReentryToEncrypt

```
3)  Status = PocReentryToGetStreamContext(     //调用 ZwCreateFile 重入到 Create 中
4)          Instance,                          //判断是否有标识尾
5)          FileName,                          //并且建立 StreamContext
6)          &StreamContext);
7)
8)  ......
9)
10)     if (TRUE == StreamContext->IsCipherText)  //判断 StreamContext 中的标识
11)     {                                          //判断是否已经是密文了
12)         Status = POC_FILE_IS_CIPHERTEXT;
13)         DbgPrint("PocDirectEncrypt->%ws is ciphertext. Encrypt failed.\n", File
    Name);
14)         goto EXIT;
15)     }
16)
17)
18)     RtlInitUnicodeString(&uFileName, FileName);
19)
20)     InitializeObjectAttributes(
```

```
21)         &ObjectAttributes,
22)         &uFileName,
23)         OBJ_KERNEL_HANDLE | OBJ_CASE_INSENSITIVE,
24)         NULL,
25)         NULL);
26)
27)     Status = FltCreateFileEx(
28)         gFilterHandle,
29)         Instance,
30)         &hFile,
31)         &FileObject,
32)         GENERIC_READ,
33)         &ObjectAttributes,
34)         &IoStatusBlock,
35)         NULL,
36)         FILE_ATTRIBUTE_NORMAL,
37)         FILE_SHARE_READ | FILE_SHARE_WRITE,
38)         FILE_OPEN,
39)         FILE_NON_DIRECTORY_FILE |
40)         FILE_SYNCHRONOUS_IO_NONALERT,
41)         NULL,
42)         0,
43)         0);
44)
45)     if (STATUS_SUCCESS != Status)
46)     {
47)         DbgPrint("PocDirectEncrypt->FltCreateFileEx failed. Status = 0x%x\n", S
    tatus);
48)         goto EXIT;
49)     }
50)
51)     FileSize = PocQueryEndOfFileInfo(Instance, FileObject);
52)
53) ......
54)
55)     Status = PocReadFileFromCache(     //读出原文，此时是明文
56)         Instance,
57)         FileObject,
58)         ByteOffset,
59)         ReadBuffer,
60)         FileSize);
61)
62)     if (NULL != hFile)
63)     {
```

```
64)         FltClose(hFile);
65)         hFile = NULL;
66)     }
67)
68)     if (NULL != FileObject)
69)     {
70)         ObDereferenceObject(FileObject);
71)         FileObject = NULL;
72)     }
73)
74)
75)
76)
77)     RtlZeroMemory(&ObjectAttributes, sizeof(ObjectAttributes));
78)
79)     InitializeObjectAttributes(
80)         &ObjectAttributes,
81)         &uFileName,
82)         OBJ_KERNEL_HANDLE | OBJ_CASE_INSENSITIVE,
83)         NULL,
84)         NULL);
85)
86)
87)     Status = ZwCreateFile(              //以重入的方式写入，使 minifilter 加密明文
88)         &hFile,
89)         GENERIC_WRITE,
90)         &ObjectAttributes,
91)         &IoStatusBlock,
92)         NULL,
93)         FILE_ATTRIBUTE_NORMAL,
94)         FILE_SHARE_READ,
95)         FILE_OPEN,
96)         FILE_NON_DIRECTORY_FILE |
97)         FILE_SYNCHRONOUS_IO_NONALERT |
98)         FILE_WRITE_THROUGH,
99)         NULL,
100)        0);
101)
102).....
103)
104)    Status = PocWriteFileIntoCache(
105)        Instance,
106)        FileObject,
107)        ByteOffset,
```

```
108)        ReadBuffer,
109)        FileSize);
110)
111)    DbgPrint("\nPocDirectEncrypt->success. FileName = %ws FileSize = %d.\n",
112)        FileName,
113)    ((PFSRTL_ADVANCED_FCB_HEADER)(FileObject->FsContext))->FileSize.LowPart);
```

代码并不复杂，特权解密也是一样的，只是特权解密最后的明文需要用 NonCachedIo 非重入写入（原因见 d）。

6. FileRenameInformation/Ex：

有时用户会有重命名文件的需求，有时还会修改扩展名；像 WPS 这种软件，处理 docx，doc 等文件时，是通过两次重命名实现的：将原来的 docx 文件，重命名为 tmp 扩展文件，将另一个打开过程真正写入数据的 tmp 文件重命名为 docx 文件，这样就实现了替换。

而且还会有已加密文件重命名后，加密标识尾中的 FileName 需要更新的问题。

所以，作者为 Rename 制定了几条实现的规则：

a）已加密、未加密目标扩展名文件 Rename to 非目标扩展名文件：

删除 StreamContext

b）已加密目标扩展名文件 Rename to 目标扩展名文件：

删除 StreamContext，之后下一次的 Create 时，会发现实际 FileName 与标识尾的 FileName 不同，设置 StreamContext->Flag，然后 PostClose 会重新写入标识尾。

c）未加密目标扩展名文件 Rename to 目标扩展名文件：

删除 StreamContext

d）非目标扩展名文件且不是由加密文件重命名的 Renameto 目标扩展名文件：

在 PostSetInformation 中重入 Create 中判断是否有标识尾，没有则设置 StreamContext->Flag，在 PostClose 中用重入的方式加密文件。

e） 非目标扩展名文件且本身是密文 Renameto 目标扩展名文件：

参考 b)

删除 StreamContext 就意味着，除非还是改成了目标扩展名文件，否则就不会再进入 PostCreate 中了，我们的 minifilter 就不会再处理该文件了。

关于 d）还有一点需要补充，在 PostSetInformation 我们捕捉到重命名，并重入 PostCreate 判断文件并不是密文、建立 StreamContext，返回 PostSetInformation 设置 StreamContext->Flag 之后，到 PostClose 真正加密，这之间有一段时间，有可能 WPS 会写入数据，我们的 Write 不会对这部分数据加密，会直接放过。

之前 d）这种情况，是不单独重入加密的，因为 WPS 会在重命名以后，再写入数据，就会自动进入 Write 中进行加密。但是因为 WPS 对 docx，doc，pptx，ppt 文件的处理方式不同，有一些会在重命名后再写下数据，有一些则在重命名之前就写入了数据（这种情况就没法加密了），有一些甚至重命名后会加一段偏移以后，写下数据（损坏）。所以，为了统一，按照 d）规则处理。

```
if (POC_RENAME_TO_ENCRYPT == StreamContext->Flag)   //Write 中放过这一段时间的写入
{
    DbgPrint("PocPreWriteOperation->leave PostClose will encrypt the file. StartingVbo = %d ProcessName = %s File = %ws.\n",
        Data->Iopb->Parameters.Write.ByteOffset.LowPart,
        ProcessName,
        StreamContext->FileName);
    Status = FLT_PREOP_SUCCESS_NO_CALLBACK;
    goto ERROR;
}
```

源码在 FileInfo.c 中，相信经过上述规则的解释，读者应该能看懂。

测试部分：

目前测试过 WPS 下的 docx，doc，pptx，ppt，xlsx，xls
Windows 截图工具下的 PNG，JPG
Notepad，Wordpad，Notepad++下的 txt

未修复的 bug:

1) SearchUI.exe 会导致 FltAllocateContext IRQL_NOT_LESS_OR_EQUAL
2) 使用 Shadow SOP 的 FltSetInformationFile->EOF 返回 STATUS_TRANSACTION_NOT_ACTIVE ((NTSTATUS)0xC0190003L)
3) TiWorker.exe 会导致 ppt 编辑时，导致 PostCreate 栈溢出

1)，3)我使用 Utils.c 中的 PocBypassIrrelevantProcess 函数 Bypass 了

结束：

项目中肯定还有 bug，而且因为测试的不充分，有可能之前的功能被后添加的功能破坏（尽管我努力的测试过）。欢迎读者在 github 上提 issue，如果能修复，也欢迎提 PR，如果你发现并修复了一个 bug，意味着我们的应用又少了一个缺陷。