# PE文件结构

## 可执行文件 (executable file)

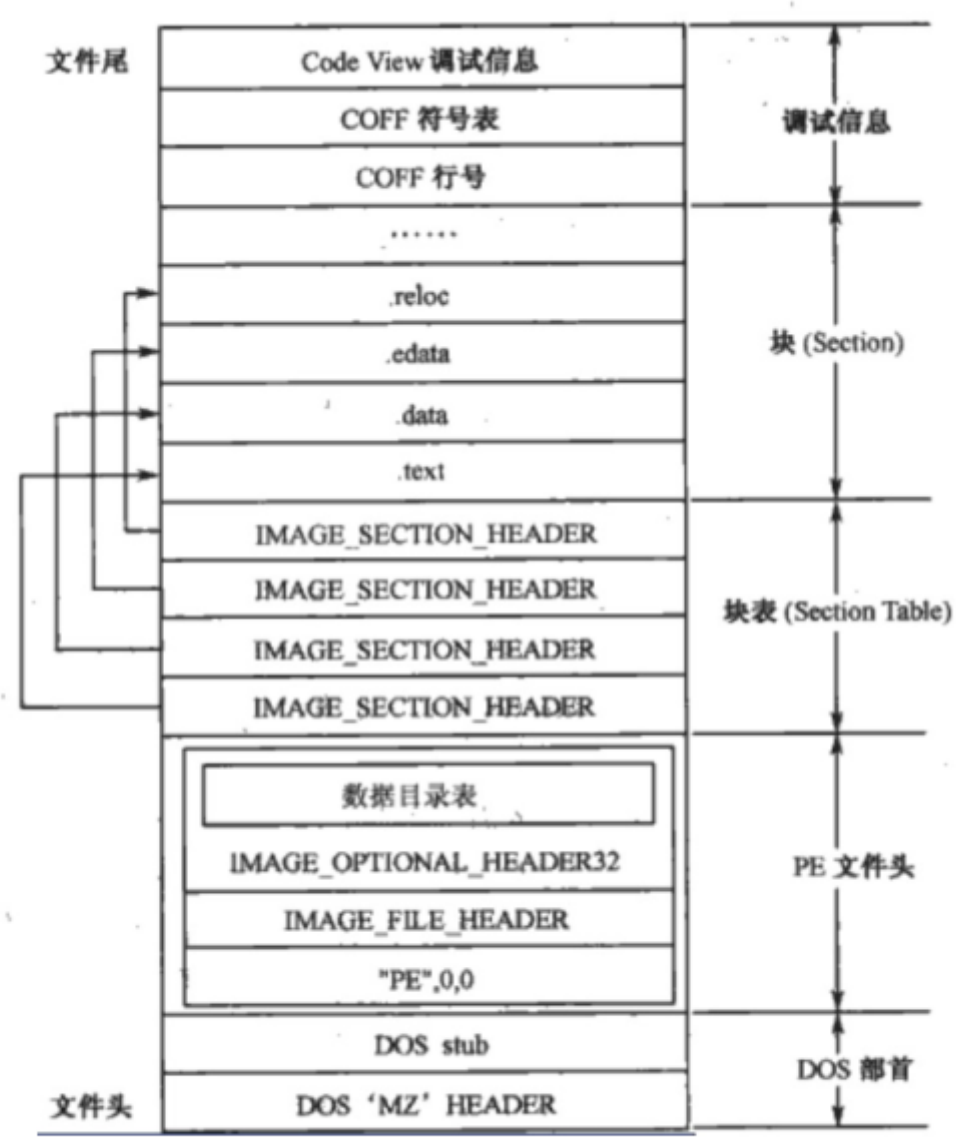
• 可以由操作系统进行加载、执行的文件
• 在不同的操作系统环境下，可执行文件的格式不一样
• 二进制文件，不同于txt、word、excel等文本文件

Windows系统可执行文件使用PE文件格式，Linux系统可执行文件使用ELF文件格式。
PE（Portable Executable File Format）可移植可执行文件结构。

在Windows操作系统下，可执行程序可以是.com文件、 .exe文件、 .sys文件、 .dll文件、.scr文件等类型文件。

- com文件在IBM PC早期出现，格式主要用于**命令行应用程序**、最大65,280字节，与MS-DOS操作系统的可执行文件兼容。
- .exe,.dll,.sys文件使用的是PE文件结构

## PE文件结构




PE 文件框架结构



PE文件使用的是一个平面地址空间，所有代码和数据都合并在一起，组成了一个很大的结构。 文件的内容被分割为不同的节(Section，也叫做块、区块等)。区块中包含代码或数据，各个区块按页边界对齐。

节：

- 代码节、数据节
- 各个节按**页边界对齐**
- 节是一个**连续结构**，没有大小限制
- 每个节都有自己的内存属性

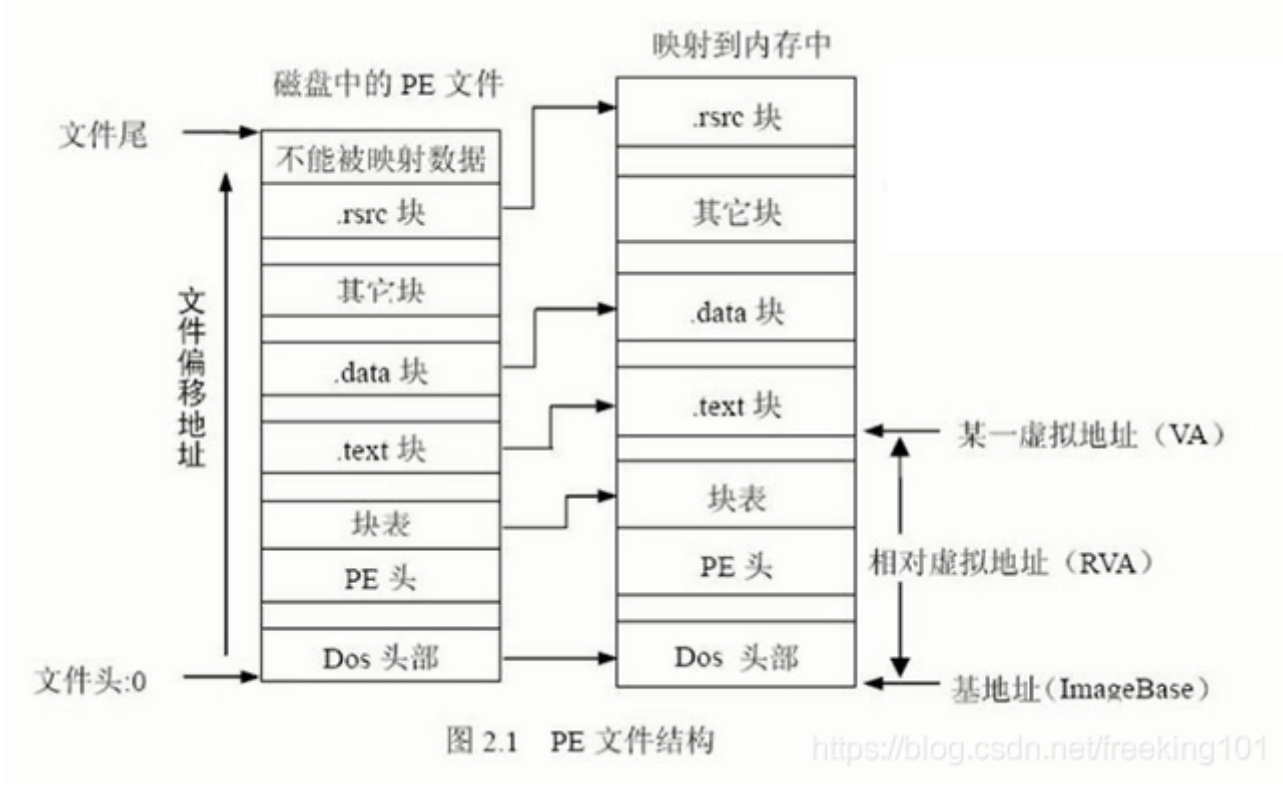


图 2.1　PE 文件结构



**扇区** - **硬盘的最小存储存储单位**（Sector）。一般每个**扇区储存**512字节（相当于0.5KB）。

# 模块

当PE文件通过Windows加载器载入内存后，内存中的版本称为**模块**(Module)。映射文件的**起始地址**称为**模块句柄**(hModule )，这个初始内存地址也称为**基地址**(ImageBase )。

内存中的**模块**代表进程将这个可执行文件所需要的代码、数据、资源、输入表、输出表及其它有用的数据结构都放在一个**连续的内存节**中。

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 00400000 | 00001000 | proc | | PE 文件头 |
| 00401000 | 00001000 | proc | .text | ā码 |
| 00402000 | 00001000 | proc | .rdata | □入表 |
| 00403000 | 00001000 | proc | .data | P据 |
| 00410000 | 000C5000 | | | |
| 004E0000 | 00006000 | | | |
| 006E0000 | 00005000 | | | |
| 75580000 | 00001000 | KERNEL32 | | PE 文件头 |
| 75590000 | 00064000 | KERNEL32 | .text | ā码 |
| 75600000 | 0002F000 | KERNEL32 | .rdata | □入表,输出表 |
| 75630000 | 00001000 | KERNEL32 | .data | P据 |
| 75640000 | 00001000 | KERNEL32 | .rsrc | D源 |
| 75650000 | 00005000 | KERNEL32 | .reloc | f定位 |
| 76830000 | 00001000 | KERNELBASE | | PE 文件头 |
| 76831000 | 001C3000 | KERNELBASE | .text | ā码,输出表 |
| 769F4000 | 00004000 | KERNELBASE | .data | P据 |
| 769F8000 | 00006000 | KERNELBASE | .idata | □入表 |
| 769FE000 | 00001000 | KERNELBASE | .didat | |
| 769FF000 | 00001000 | KERNELBASE | .rsrc | D源 |
| 76A00000 | 0002A000 | KERNELBASE | .reloc | f定位 |

模块句柄：Windows将Module的**基地址**作为Module的实例句柄。

- GetModuleHandle获得DLL句柄，通过句柄访问DLL Module的内容。

# 虚拟内存地址空间

每个程序都有自己的虚拟内存地址空间，虚拟空间的内存地址称为虚拟地址(Virtual Address，VA)。

- 在一台32位系统上，**虚拟地址空间为4GB**。
- 不同进程的虚拟地址空间是相互隔离的。
- 一个进程中的虚拟地址空间通常有多个PE文件结构，包括dll文件、操作系统内核文件等。

# 虚拟地址

PE文件被系统加载器映射到内存中，每个程序都有自己的虚拟空间，这个虚拟空间的内存地址成为虚拟地址。

## 相对虚拟地址

在可执行文件中，有许多地方需要内存地址。例如，引用全局变量时需要指定它的地址。

尽管PE文件有一个首选的载入地址(基地址)，但PE文件可以载入到进程空间任何地方相对虚拟地址，所以不能依赖PE的载入点，必须有一个方法指定地址。

为了避免绝对内存地址，引入了相对虚拟地址(RVA)的概念，RVA是**相对**于PE文件载入地址的偏移位置。假设一个EXE文件从400000h处**载入内存**，**代码节起始地址**为401000h，代码节起始地址的RVA计算方法如下：目标地址401000h - 载入地址400000h = RVA 1000h

将RVA转换成虚拟地址VA的过程，用实际的载入地址ImageBase加相对虚拟地址RVA。虚拟地址(VA)=基地址(ImageBase)+相对虚拟地址(RVA)。

## 文件偏移地址

PE文件储存在磁盘中，某个数据的位置相对于文件头的偏移量称为文件偏移地址(File Offset)或物理地址(RAW Offset)。

- 文件偏移地址从PE文件的第1个字节开始计数，起始值为0。

# PE文件结构

## PE 文件结构说明：

1. **DOS头** 是用来兼容 MS-DOS 操作系统的，目的是当这个文件在 MS-DOS 上运行时提示一段文字，大部分情况下是：This program cannot be run in DOS mode. 还有一个目的，就是指明 NT 头在文件中的位置。
2. **NT头** 包含 windows PE 文件的主要信息，其中包括一个 **'PE' 字样的签名**，**PE文件头（IMAGE_FILE_HEADER）**和 **PE可选头（IMAGE_OPTIONAL_HEADER32）。**
3. **节表**：是 PE 文件后续节的描述，windows 根据节表的描述加载每个节。
4. **节**：每个节实际上是一个容器，可以包含 代码、数据 等等，每个节可以有独立的内存权限，比如代码节默认有读/执行权限，节的名字和数量可以自己定义。

## DOS文件头

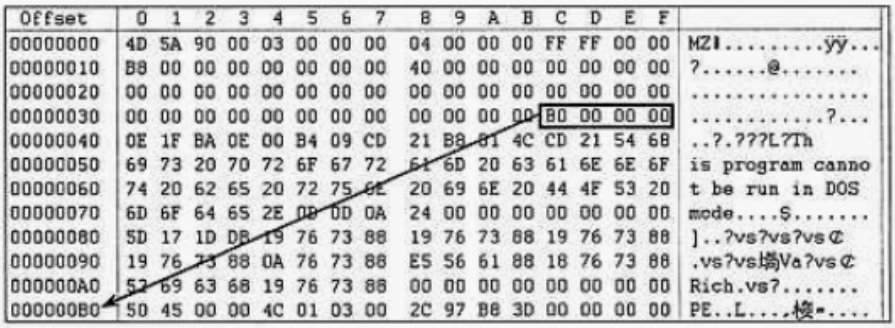
每个PE文件都是以一个16位的DOS程序开始的，有了它，程序一旦在DOS下执行，DOS就能识别出这是一个有效的执行体，然后运行紧随MZ header的DOS stub
DOS MZ头与DOS stub合称为DOS文件头

PE文件的第一个字节位于一个传统的MS-DOS头部，称作IMAGE_DOS_HEADER，其结构如下：

```
IMAGE_DOS_HEADER_STRUCT{
  +0h    e_magic      WORD  ?          ;DOS 可执行文件标记 "MZ"
  +2h    e_cblp       WORD  ?
  +4h    e_cp         WORD  ?
  +6h    e_crlc       WORD  ?
  +8h    e_cparhdr    WORD  ?
  +0ah   e_minalloc   WORD  ?
  +0ch   e_maxalloc   WORD  ?
  +0eh   e_ss         WORD  ?
  +10h   e_sp         WORD  ?
  +12h   e_csum       WORD  ?
  +14h   e_ip         WORD  ?          ;DOS 代码入口 IP
  +16h   e_cs         WORD  ?          ;DOS 代码入口 CS
  +18h   e_lfarlc     WORD  ?
  +1ah   e_ovno       WORD  ?
  +1ch   e_res        WORD  4 dup(?)
  +24h   e_oemid      WORD  ?
  +26h   e_oeminfo    WORD  ?
  +28h   e_res2       WORD 10 dup(?)
  +3ch   e_lfanew     DWORD ?          ;指向 PE 文件头"PE",0,0
} IMAGE_DOS_HEADER_ENDS
```

有两个字段比较重要，分别是e_magic和e_lfanew。e_magic的值需要被设置为5A4Dh。
e_lfanew字段是真正的PE文件头的相对偏移，指出真正PE头的文件偏移位置，占用4字节，位于从文件开始偏移3Ch字节处。

用十六进制编辑器（WinHex、Hex Workshop 等带偏移量显示功能的尤佳）打开随书文件中的示例程序 PE.exe，定位在文件起始位置，此处就是 MS-DOS 头部，如图 11.3 所示。文件的第 1 个字符“MZ”就是 e_magic 字段；偏移量 3Ch 就是 e_lfanew 的值，在这里显示为“B0 00 00 00”。因为 Intel CPU 属于 Little-Endian 类，字符储存时低位在前，高位在后，所以，将次序恢复后，e_lfanew 的值为 000000B0h，这个值就是真正的 PE 文件头偏移量。



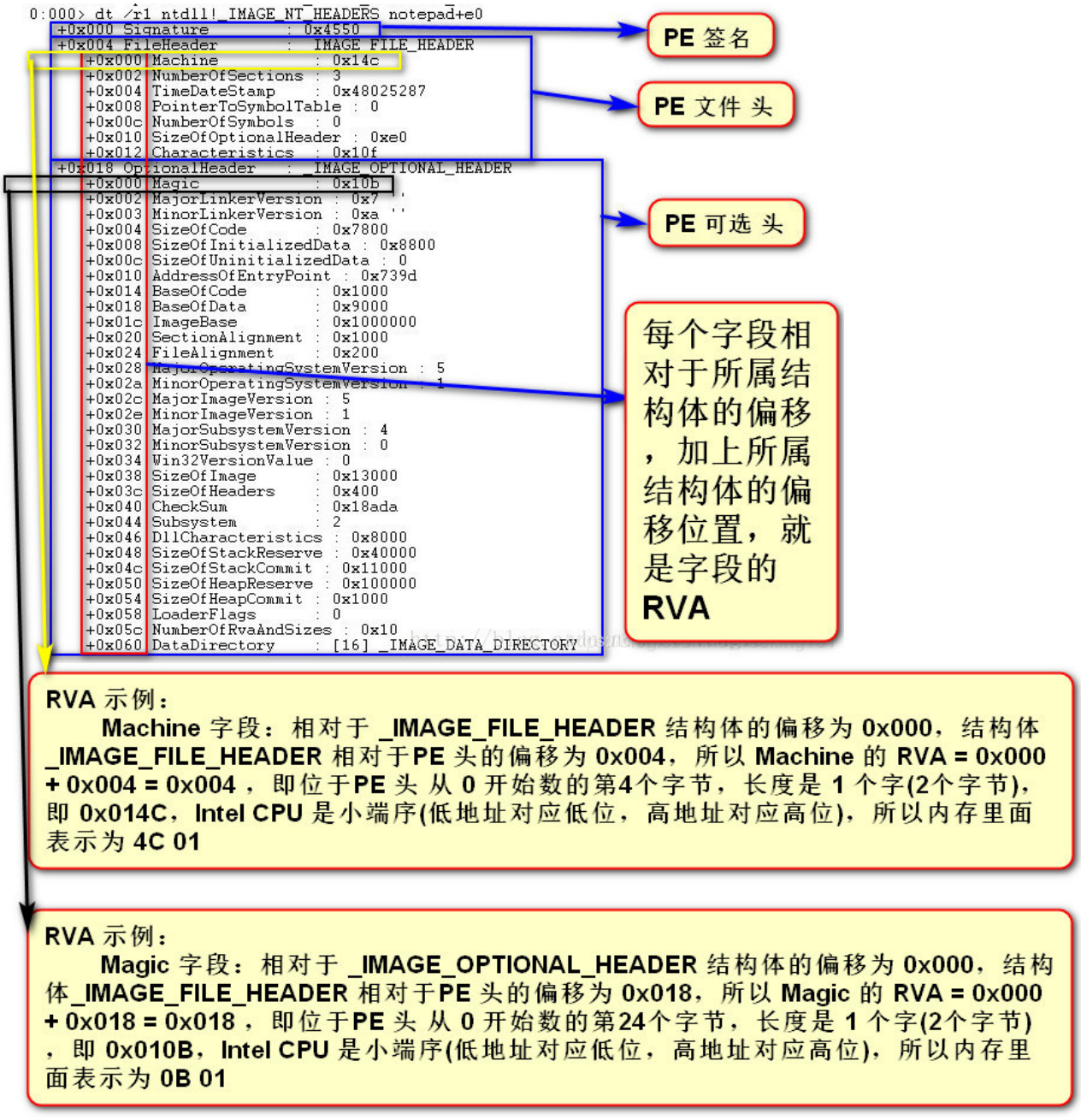
| Offset | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | A | B | C | D | E | F | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 00000000 | 4D | 5A | 90 | 00 | 03 | 00 | 00 | 00 | 04 | 00 | 00 | 00 | FF | FF | 00 | 00 | MZ♥.....ÿÿ... |
| 00000010 | B8 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 40 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | ?.....@..... |
| 00000020 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | ..... |
| 00000030 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | B0 | 00 | 00 | 00 | .....?... |
| 00000040 | 0E | 1F | BA | 0E | 00 | B4 | 09 | CD | 21 | B8 | 01 | 4C | CD | 21 | 54 | 68 | ..?.???L?Th |
| 00000050 | 69 | 73 | 20 | 70 | 72 | 6F | 67 | 72 | 61 | 6D | 20 | 63 | 61 | 6E | 6E | 6F | is program canno |
| 00000060 | 74 | 20 | 62 | 65 | 20 | 72 | 75 | 6E | 20 | 69 | 6E | 20 | 44 | 4F | 53 | 20 | t be run in DOS |
| 00000070 | 6D | 6F | 64 | 65 | 2E | 0D | 0D | 0A | 24 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | mode....$..... |
| 00000080 | 5D | 17 | 1D | DB | 19 | 76 | 73 | 88 | 19 | 76 | 73 | 88 | 19 | 76 | 73 | 88 | ]..?vs?vs?vs? |
| 00000090 | 19 | 76 | 73 | 88 | 0A | 76 | 73 | 88 | E5 | 56 | 61 | 88 | 18 | 76 | 73 | 88 | .vs?vs塢Va?vs? |
| 000000A0 | 52 | 69 | 63 | 68 | 19 | 76 | 73 | 88 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | Rich.vs?..... |
| 000000B0 | 50 | 45 | 00 | 00 | 4C | 01 | 03 | 00 | 2C | 97 | B8 | 3D | 00 | 00 | 00 | 00 | PE..L....榎=.... |

图 11.3　查看 PE 文件 MS-DOS 头部

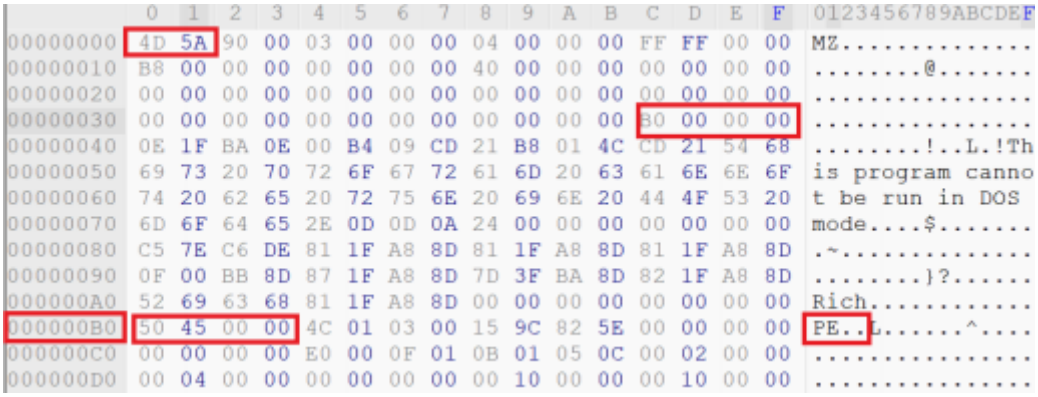
## PE文件头

PE文件头(PE Header)紧跟在DOS stub的后面。PE header是PE相关结构NT映像头（IMAGE_NT_HEADER）的简称，里面包含很多PE装载器能用到的重要字段。

```C++
typedef struct _IMAGE_NT_HEADERS {
  DWORD                   Signature;
  IMAGE_FILE_HEADER       FileHeader;
  IMAGE_OPTIONAL_HEADER32 OptionalHeader;
} IMAGE_NT_HEADERS32, *PIMAGE_NT_HEADERS32;
```




- 当执行体在支持PE文件结构的操作系统中执行时，PE装载器就从IMAGE_DOS_HEADER结构的e_lfanew字段找到PE Header的起始偏移量，加上基址，得到PE文件头的指针
- PNTHeader = ImageBase+DosHeader->e_lfanew




## Signature字段

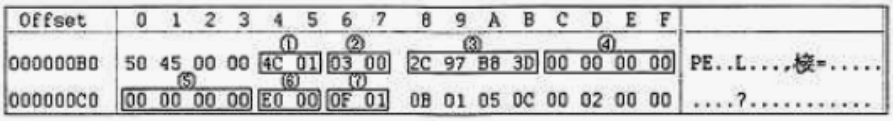
PE文件中的Signature字段被设置为0x00004550，ASCII码为PE00，是文件头的开始，e_lfanew正是指向它。

## IMAGE_FILE_HEADER字段

映像文件头结构包含PE文件的一些基本信息，并指出了IMAGE_OPTIONAL_HEADER的大小

```
IMAGE_FILE_HEADER STRUCT
  +04h Machine                 WORD    ?    ;运行平台
  +06h NumberOfSections        WORD    ?    ;文件的区块数
  +08h TimeDateStamp           DWORD   ?    ;文件创建日期和时间
  +0Ch PointerToSymbolTable    DWORD   ?    ;指向符号表（用于调试）
  +10h NumberOfSymbols         DWORD   ?    ;符号表中符号的个数（用于调试）
  +14h SizeOfOptionalHeader    WORD    ?    ;IMAGE_OPTIONAL_HEADER32 结构的大小
  +16h Characteristics         WORD    ?    ;文件属性
IMAGE_FILE_HEADER ENDS
```

用十六进制工具查看 IMAGE_FILE_HEADER 结构的情况，如图 11.4 所示，图中的标号对应于以下字段。




## Machine：可执行文件的目标CPU类型

PE文件可以在多种机器上使用，不同平台上指令的机器码不同。

## NumbersOfSections：节的数目

节表紧跟在IMAGE_NT_HEADER后定义

## TimeDateStamp：文件的创建时间

## Characteristics：文件属性

| 特征值 | 含义 |
| --- | --- |
| 0001h | 文件中不存在重定位信息 |
| 0002h | 文件可执行。如果为0，一般是链接时出问题了 |
| 0004h | 行号信息被移去 |
| 0008h | 符号信息被移去 |
| 0020h | 应用程序可以处理超过2GB的地址。该功能是从NT SP3开始被支持的。因为大部分数据库服务器需要很大的内存，而NT仅提供2GB给应用程序，所以从NT SP3开始，通过加载/3GB参数，可以使应用程序被分配2～3GB区域的地址，而该处原来属于系统内存区 |
| 0080h | 处理机的低位字节是相反的 |
| 0100h | 目标平台为32位机器 |
| 0200h | .DBG文件的调试信息被移去 |
| 0400h | 如果映像文件在可移动介质中，则先复制到交换文件中再运行 |
| 0800h | 如果映像文件在网络中，则复制到交换文件后才运行 |
| 1000h | 系统文件 |
| 2000h | 文件是DLL文件 |
| 4000h | 文件只能运行在单处理器上 |
| 8000h | 处理机的高位字节是相反的 |

判断都有哪些文件属性：按比特位进行与操作

## IMAGE_OPTIONAL_HEADER结构

可选映像头(IMAGE_ OPTIONAL_HEADER)结构中定义了更多的PE文件数据，IMAGE_FILE_HEADER和IMAGE_OPTIONAL_HEADER合在一起构成PE文件头。

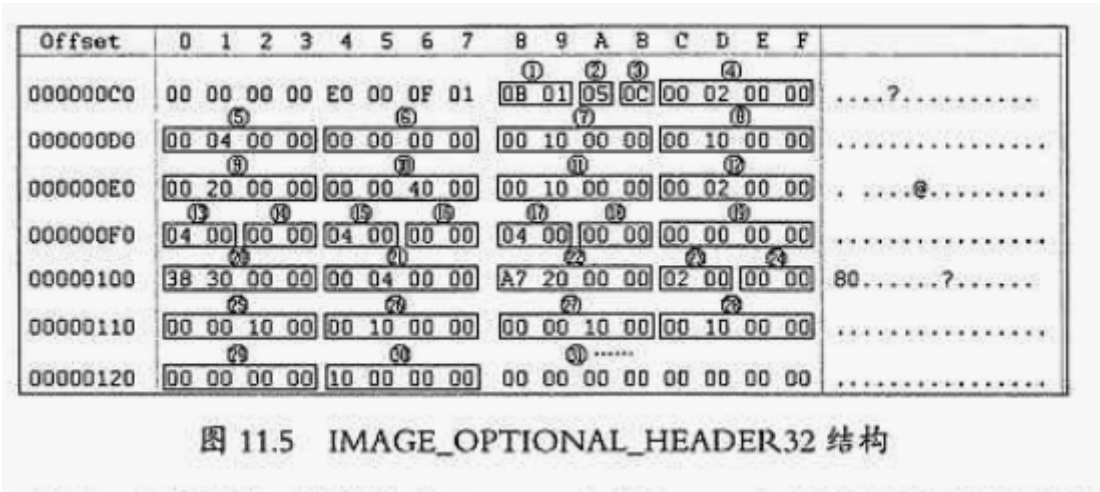



图 11.5 IMAGE_OPTIONAL_HEADER32 结构

1. Magic（WORD）：这是一个标记字，说明文件是ROM映像(0107h)还是普通可执行的映像(010Bh )
2. MajorLinkerVersion（BYTE）：链接程序的主版本号
3. MinorLinkerVersion(BYTE)：链接程序的次版本号
4. SizeOfCode(DWORD)：代码段的大小
5. SizeOfInitializedData(DWORD)： 已初始化数据块的大小：
6. SizeOfUninitializedData(DWORD)：未初始化数据块的大小：
7. **AddressOfEntryPoint**（DWORD）程序执行的入口RVA

8. BaseOfCode （DWORD）代码段的起始RVA
9. BaseOfData （DWORD）数据段的起始RVA
10. **ImageBase** （DWORD）文件在内存中的载入地址，除了imagebase，其他都是RVA
11. **SectionAlignment(DWORD)**：内存上区块间的对齐大小，默认的对齐尺寸是CPU的页尺寸 00001000h 4096字节
12. **FileAlignment(DWORD)**：硬盘上区块间的对齐大小 00000200h 512字节
13. MajorOperatingSystemVersion（WORD）PE文件执行所需要的Windows系统最低版本号的主版本号
14. MinorOperatingSystemVersion（WORD）PE文件执行所需要的Windows系统最低版本号的次版本号
15. MajorImageVersion(WORD)程序的主版本号， 由程序员自己定义
16. MinorImageVersion(WORD)程序的次版本号， 由程序员自己定义
17. MajorSubsystemVersion(WORD)PE文件所要求最低的子系统的版本号的主版本号
18. MinorSubsystemVersion(WORD)PE文件所要求最低的子系统的版本号的次版本号
19. Win32VersionValue(DWORD): 通常被设置为0IMAGE_OPTIONAL_HEADER
20. SizeOfImage（DWORD）: 映像载入内存后的总大小，是指载入文件从ImageBase到最后一个块的大小
21. SizeOfHeaders（DWORD）: MS-DOS头部、PE文件头、区块表的总尺寸
22. SizeOfStackReserve（DWORD）
23. SizeOfStackCommit （DWORD）
24. SizeOfHeapReserve （DWORD）
25. SizeOfHeapCommit （DWORD）栈、堆的设置信息
26. LoaderFlags （DWORD）:与调试有关
27. 数据目录表：定位PE文件的导入表、导出表、资源的时候，需要用到数据目录
    - VirtualAddress： 该目录的相对虚拟地址
    - Size：该目录的大小