VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV POČÍTAČOVÝCH SYSTÉMŮ

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF COMPUTER SYSTEMS

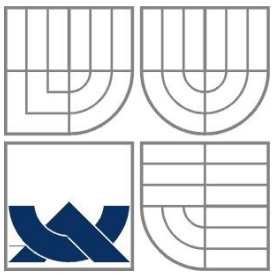
VISUAL BASIC DISASSEMBLER

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

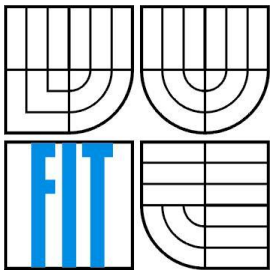
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

BC. JÁN ADAMICA

BRNO 2011



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV POČÍTAČOVÝCH SYSTÉMŮ

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF COMPUTER SYSTEMS

VISUAL BASIC DISASSEMBLER

VISUAL BASIC DISASSEMBLER

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER‘S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. JÁN ADAMICA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. RADOVAN JOŠTH

BRNO 2011

Zadání diplomové práce/12668/2010/xadami05

Vysoké učení technické v Brně - Fakulta informačních technologií

Ústav počítačové grafiky a multimédií Akademický rok 2010/2011

Zadání diplomové práce

Řešitel: **Adamica Ján, Bc.**
Obor: Počítačové systémy a sítě
Téma: **Visual Basic disassembler**
Visual Basic Disassembler
Kategorie: Překladače

Pokyny:

1. Analyzujte binární formát Visual Basic-u.
2. Prostudujte a zorientujte se v p-code a native-code.
3. Navrhnete způsob analýzy a disassembling-u souborů Visual Basic-u.
4. Implementujte navrhnutý disassembler.
5. Porovnejte dosažené výsledky a diskutujte možnosti budoucího vývoje.

Literatura:

- dle pokynů vedoucího

Při obhajobě semestrální části diplomového projektu je požadováno:

- Body 1 - 3.

Podrobné závazné pokyny pro vypracování diplomové práce naleznete na adrese http://www.fit.vutbr.cz/info/szz/

Technická zpráva diplomové práce musí obsahovat formulaci cíle, charakteristiku současného stavu, teoretická a odborná východiska řešených problémů a specifikaci etap, které byly vyřešeny v rámci ročníkového a semestrálního projektu (30 až 40% celkového rozsahu technické zprávy).

Student odevzdá v jednom výtisku technickou zprávu a v elektronické podobě zdrojový text technické zprávy, úplnou programovou dokumentaci a zdrojové texty programů. Informace v elektronické podobě budou uloženy na standardním nepřepisovatelném paměťovém médiu (CD-R, DVD-R, apod.), které bude vloženo do písemné zprávy tak, aby nemohlo dojít k jeho ztrátě při běžné manipulaci.

Vedoucí: **Jošth Radovan, Ing.**, UPGM FIT VUT
Datum zadání: 20. září 2010
Datum odevzdání: 25. května 2011

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
Fakulta informačních technologií
Ústav počítačové grafiky a multimédií
612 66 Brno, Božetěchova 2

L.S.

doc. Dr. Ing. Jan Černocký
vedoucí ústavu

Abstrakt

Cílem této diplomové práce je navrhnout a implementovat disassembler binárních .exe souborů programovacího jazyka Visual Basic 6. Je zde popsán formát spustitelných přenositelných souborů, popsaná funkce disassembleru, jakož i funkce Windows API volání. Visual Basic disassembler by měl uživateli poskytnout co nejvíce dostupných informací o souboru Visual Basic 6. V této práci je podrobně popsána struktura binárních souborů Visual Basic 6.

Abstract

Main goal of this thesis is to create disassembler for Visual Basic 6 binary .exe files. There is description of Portable Executable files, description of disassembler, as well as functions of Windows API calls. Visual Basic disassembler should provide as much information about Visual Basic 6 file as possible. There is detailed structure specification of Visual Basic 6 binary files.

Kľúčové slová

Disassembler, Visual Basic, VB6, PE, Windows API, native kód, p-kód

Keywords

Disassembler, Visual Basic, VB6, PE, Windows API, native code, p-code

Citácia

Adamica Ján: Visual Basic disassembler, diplomová práca, Brno, FIT VUT v Brne, 2011

Visual Basic disassembler

Prehlásenie

Čestne prehlasujem, že som túto diplomovú prácu vypracoval samostatne pod vedením pána Ing. Radovana Joštha.
Ďalšie informácie mi poskytol pán Pavel Krčma.
Uviedol som všetky literárne pramene a publikácie, z ktorých som čerpal.

.....
Ján Adamica
25.mája 2011

Obsah

1 Úvod

Cieľom tejto diplomovej práce je navrhnúť a implementovať disassembler binárnych .exe súborov programovacieho jazyka Visual Basic 6. Je tu opísaný formát spustiteľných prenositeľných súborov, popísaná funkcia disassemblera, ako aj funkcia Windows API volaní. Visual Basic disassembler by mal užívateľovi poskytnúť, čo najviac dostupných informácií o súbore Visual Basic 6.

V tejto diplomovej práci je predstavený formát prenosných spustiteľných (*Portable Executable*) súborov. Je tu opísaná štruktúra týchto súborov, ich hlavičky (*headers*), sekcie (*sections*), tabuľky adries (*import address table*) a rôzne iné informácie o prenosných spustiteľných súboroch.

Ďalej je tu predstavená funkcia disassembleru. Vysvetlenie najbežnejších inštrukcií používaných v jazyku symbolických inštrukcií (*assembly language*). Sú tu vysvetlené volania Windows API funkcií a použitie v aplikáciách pre Microsoft Windows. Je načrtnuté správanie najbežnejších typov škodlivých súborov (*malware*).

Je tu opísaný binárny formát programovacieho jazyka Visual Basic 6. Detailnejšie popísané verzie jeho výstupných binárnych súborov: native kód a p-kód.

Sú predstavené programy, ktoré slúžia na analýzu prenosných spustiteľných súborov: IDA (Interactive Disassembler), OllyDbg, NuMeGa SmartCheck a iné.

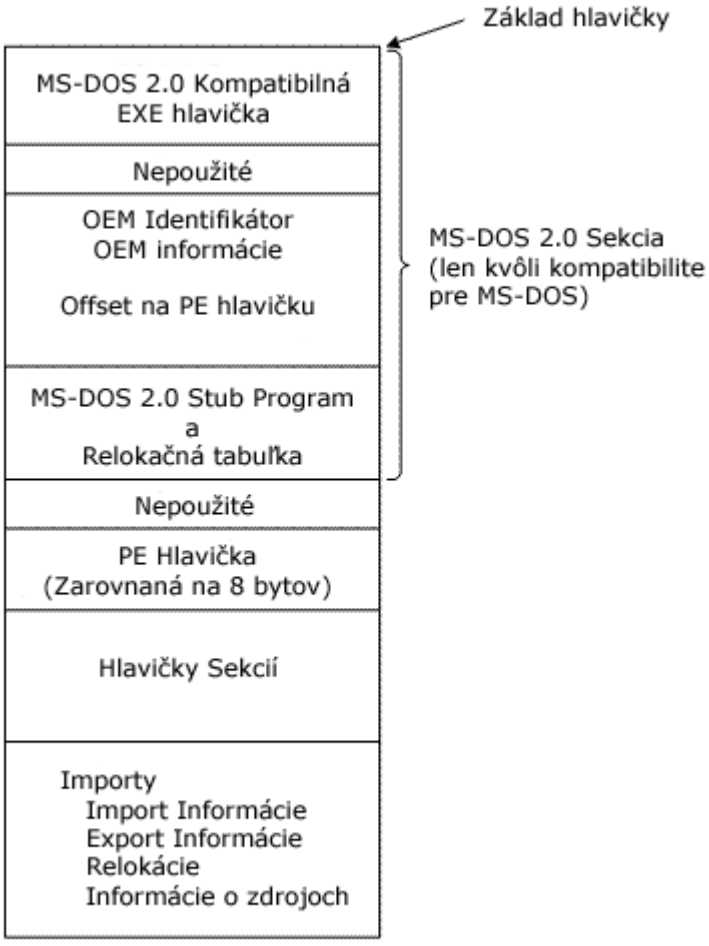
Návrh disassembleru ako aj spôsob jeho implementácie popisuje siedma kapitola.

V ďalšej kapitole je dopodrobna popísaný postup pri analýze štruktúr binárneho súboru Visual Basic 6. Je to popísaný výpočet vstupného bodu programu, získanie importov z DLL knižníc. Nasleduje podrobný popis a analýza štruktúr binárnych súborov Visual Basic 6. Táto kapitola je zakončená prehľadným grafom závislosti a prepojenie jednotlivých štruktúr binárnych súborov Visual Basic 6.

Ďalšia kapitola sa zaoberá popisom implementácie Disassembleru Visual Basic v programovacom jazyku C# vo vývojovom prostredí Microsoft Visual Studio 2010. Nasleduje popis hotového programu a vysvetlenie jednotlivých funkcií a prvkov programu.

2 Formát prenositeľných spustiteľných súborov

Príchodom OS Windows 3.1 Microsoft uviedol nový formát spustiteľných súborov, ktoré sa nazývajú prenositeľné spustiteľné súbory (*Portable Executable files*). Názov prenositeľné spustiteľné popisuje fakt, že formát týchto súborov nie je určený pre špecifickú architektúru. Na obrázku 2.1 je schéma typického prenositeľného spustiteľného súboru. [2]



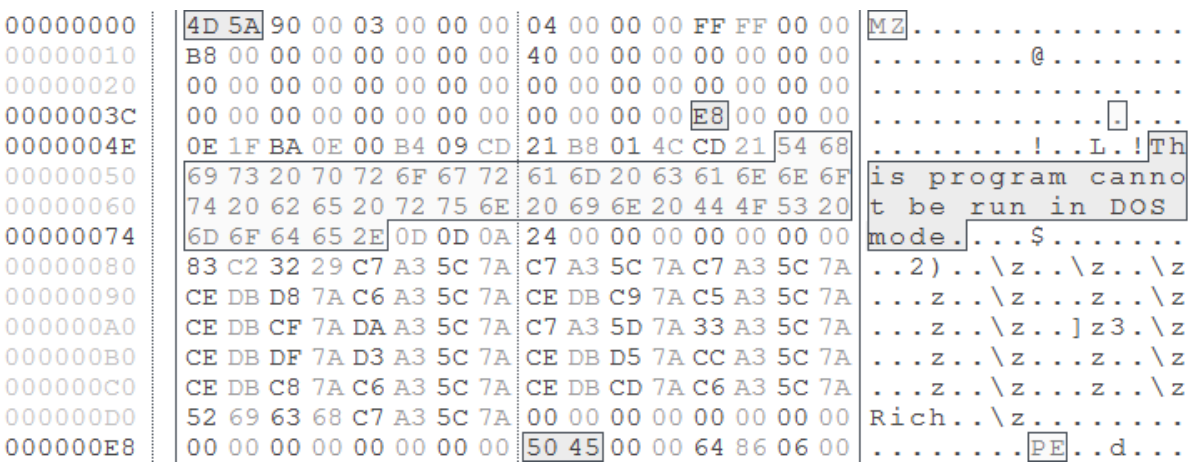
Obr. 2.1 Schéma typického prenositeľného EXE súboru [1]

2.1 MS-DOS Hlavička

Ako vidíme na obrázku 2.1 prvá časť prenositeľného spustiteľného (PE) súboru je tvorená MS-DOS hlavičkou. MS-DOS hlavička nie je v PE súbore žiadna novinka. Táto hlavička je rovnaká od čias

operačného systému MS-DOS 2.0. Dôvod prečo sa táto hlavička stále vyskytuje v PE súboroch je ten, že keď daný súbor spustíme v operačnom systéme Windows 3.1 alebo predchádzajúcich verziách až po MS-DOS 2.0, operačný systém môže súbor prečítať a zhodnotiť či je kompatibilný. Keď sa pokúsime spustiť súbor určený pre Windows NT pod operačným systémom MS-DOS, dostaneme správu o nekompatibilite. Ak by MS-DOS hlavička nebola na prvom mieste v PE súbore operačný systém by tento súbor jednoducho nebol schopný spustiť. MS-DOS hlavička zaberá prvých 64 bytov PE súboru. Jej štruktúra je znázornená tu:

```
typedef struct _IMAGE_DOS_HEADER {  // DOS .EXE hlavička
    USHORT e_magic;         // Magické číslo
    USHORT e_cblp;          // Byty na poslednej stránke súboru
    USHORT e_cp;            // Stránok v súbore
    USHORT e_crlc;          // Relokácie
    USHORT e_cparhdr;       // Veľkosť hlavičky v odsekoch
    USHORT e_minalloc;      // Minimum potrebných extra odsekov
    USHORT e_maxalloc;      // Maximum potrebných extra odsekov
    USHORT e_ss;            // Počiatočná (relatívna) SS hodnota
    USHORT e_sp;            // Počiatočná SP hodnota
    USHORT e_csum;          // Kontrolná suma
    USHORT e_ip;            // Počiatočná IP hodnota
    USHORT e_cs;            // Počiatočná (relatívna) CS hodnota
    USHORT e_lfarlc;        // Adresa relokačnej tabuľky
    USHORT e_ovno;          // Číslo prekrývania
    USHORT e_res[4];        // Rezervované slová
    USHORT e_oemid;         // OEM identifikátor (pre e_oeminfo)
    USHORT e_oeminfo;       // OEM informácie; e_oemid špecifické
    USHORT e_res2[10];      // Rezervované slová
    LONG   e_lfanew;        // Adresa novej EXE hlavičky
} IMAGE_DOS_HEADER, *PIMAGE_DOS_HEADER;
```
[2]



Obr. 2.2 HEX kód PE súboru notepad.exe

Na obrázku 2.2 vidíme hneď na začiatku na adrese 0x00 magické číslo DOS .EXE hlavičky. Na adrese 0x3C vidíme adresu novej hlavičky PE súboru, ktorá sa nachádza na adrese 0xE8. Toto sú najdôležitejšie údaje z MS-DOS hlavičky a len tieto sú v nej povinné. [3]

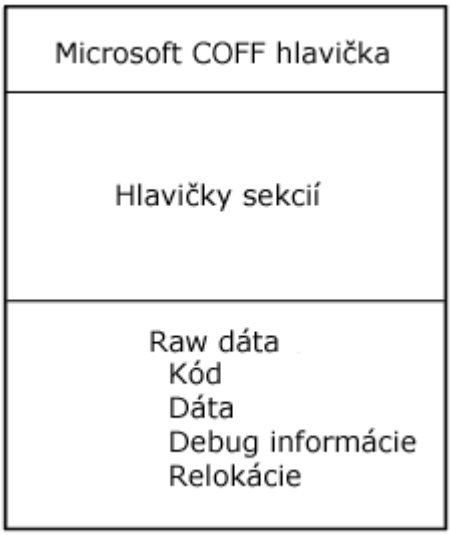
2.2 MS-DOS Stub

Je aplikácia, ktorá je schopná bežať pod operačným systémom MS-DOS. Je umiestnená na začiatku EXE súboru. Prekladač tu umiestňuje predvolený stub, ktorý, ak je spustený pod operačným systémom MS-DOS, vypíše na obrazovku správu: „This program cannot be run in DOS mode“ viď obrázok 2.2. Túto správu môže programátor v niektorých prekladačoch zmeniť na ľubovoľnú. Na adrese 0x3C má stub zapísaný ofset na PE signatúru. Táto informácia umožňuje systému Microsoft Windows spustiť tento súbor aj napriek MS-DOS stub. [1]

2.3 PE hlavička

PE hlavička pozostáva z PE signatúry, COFF (*Common Object File Format*) objektu, ktorý pozostáva z hlavičky a nepovinnej hlavičky. Za týmito hlavičkami nasledujú hlavičky sekcií.

PE signatúra je 4 bajtová signatúra Pozostávajúca z písmen „P“ a „E“ nasledovaných dvoma nulovými bajtmi. [1]



Obr. 2.3 Schéma typického COFF objektu

Zoznam signatúr PE súborov:

```
#define IMAGE_DOS_SIGNATURE             0x5A4D      // MZ
#define IMAGE_OS2_SIGNATURE             0x454E      // NE
#define IMAGE_OS2_SIGNATURE_LE          0x454C      // LE
```

```
#define IMAGE_NT_SIGNATURE              0x00004550  // PE00 [2]
```

Hneď po signatúre nasleduje štandardná COFF hlavička viď tabuľka 2.1.

Ofset	Veľkosť	Pole	Popis
0	2	Machine	Číslo identifikujúce cieľovú architektúru 0x14c pre Intel 386 kompatibilné procesory 0x8664 pre 64 bitové procesory
2	2	NumberOfSections	Počet sekcií. Indikuje aj veľkosť tabuľky sekcií, ktorá nasleduje ihneď po hlavičkách.
4	4	TimeDateStamp	Spodných 32 bitov počtu sekúnd od 00:00 1. januára, 1970 (v C prostredí je to time_t konštanta), toto nám indikuje kedy bol súbor vytvorený.
8	4	PointerToSymbolTable	Ofset na COFF tabuľku symbolov, alebo nula ak tabuľka neexistuje. Zvyčajne je táto hodnota nula.
12	4	NumberOfSymbols	Počet záznamov v COFF tabuľke symbolov. Zvyčajne nula.
16	2	SizeOfOptionalHeader	Veľkosť nepovinnej hlavičky, ktorá je potrebná pre spustiteľné súbory.
18	2	Characteristics	Príznaky, ktoré indikujú vlastnosti súboru.

Tabuľka 2.1 Formát štandardnej COFF hlavičky [1]

Dalších 224 bajtov (240 bajtov pri 64 bitovom programe) tvorí nepovinná hlavička, ktorá aj napriek svojmu názvu je pri spustiteľných súboroch povinná. Táto nepovinná hlavička obsahuje najdôležitejšie informácie o spustiteľnom súbore ako napríklad počiatočná veľkosť zásobníka, vstupný bod programu (*entry point*), preferovanú základnú adresu (*base address*), verziu operačného systému, informácie o zarovnaní sekcií, verzia kompilátora, veľkosť spustiteľného kódu a iné. [1][2]

Štruktúra nepovinnej hlavičky je znázornená tu:

```
typedef struct _IMAGE_OPTIONAL_HEADER {
    //
    // Standard fields.
    //
    USHORT  Magic;
    UCHAR   MajorLinkerVersion;
    UCHAR   MinorLinkerVersion;
    ULONG   SizeOfCode;
    ULONG   SizeOfInitializedData;
    ULONG   SizeOfUninitializedData;
```

```
        ULONG   AddressOfEntryPoint;
        ULONG   BaseOfCode;
        ULONG   BaseOfData;
        //
        // NT additional fields.
        //
        ULONG   ImageBase;
        ULONG   SectionAlignment;
        ULONG   FileAlignment;
        USHORT  MajorOperatingSystemVersion;
        USHORT  MinorOperatingSystemVersion;
        USHORT  MajorImageVersion;
        USHORT  MinorImageVersion;
        USHORT  MajorSubsystemVersion;
        USHORT  MinorSubsystemVersion;
        ULONG   Reserved1;
        ULONG   SizeOfImage;
        ULONG   SizeOfHeaders;
        ULONG   CheckSum;
        USHORT  Subsystem;
        USHORT  DllCharacteristics;
        ULONG   SizeOfStackReserve;
        ULONG   SizeOfStackCommit;
        ULONG   SizeOfHeapReserve;
        ULONG   SizeOfHeapCommit;
        ULONG   LoaderFlags;
        ULONG   NumberOfRvaAndSizes;
        IMAGE_DATA_DIRECTORY
DataDirectory[IMAGE_NUMBEROF_DIRECTORY_ENTRIES];
    } IMAGE_OPTIONAL_HEADER, *PIMAGE_OPTIONAL_HEADER; [2]
```

DataDirectory je pole štruktúr IMAGE_DATA_DIRECTORY. Celkovo má 16 členov. DataDirectory obsahuje ofsety a veľkosti dôležitých dátových štruktúr PE súborov. Každý jeho člen obsahuje informácie o dôležitej dátovej štruktúre. [24] Nie všetky tieto dátové štruktúry sú v PE súbore povinné.

Štruktúra IMAGE_DATA_DIRECTORY je znázornená tu:

```
typedef struct _IMAGE_DATA_DIRECTORY {
  DWORD VirtualAddress;
  DWORD Size;
} IMAGE_DATA_DIRECTORY, *PIMAGE_DATA_DIRECTORY;
```

Člen	Ofset (PE/PE32+)	Popis
0	96/112	Tabuľka Exportov, adresa a veľkosť
1	104/120	Tabuľka Importov, adresa a veľkosť
2	112/128	Tabuľka Resource, adresa a veľkosť
3	120/136	Tabuľka výnimiek, adresa a veľkosť
4	128/144	Certifikačná tabuľka, adresa a veľkosť
5	136/152	Tabuľka Relokácií, adresa a veľkosť
6	144/160	Debug informácie, adresa a veľkosť
7	152/168	Dáta špecifikácie architektúry, adresa a veľkosť
8	160/176	Globálny register, ukazateľ, adresa a veľkosť
9	168/184	Tabuľka Thread local storage (TLS), adresa a veľkosť
10	176/192	Tabuľka počiatočnej konfigurácie, adresa a veľkosť
11	184/200	Tabuľka bound importov, adresa a veľkosť
12	192/208	Tabuľka import adries, adresa a veľkosť
13	200/216	Deskriptor oneskorených importov, adresa a veľkosť
14	208/224	CLR hlavička, adresa a veľkosť
15	216/232	Rezervované

Tabuľka 2.2 Dátové adresáre PE súboru [25]

2.4 Tabuľka a hlavičky sekcií

V sekciách sa nachádza vlastný obsah súboru, vrátane kódu, dát, prostriedkov (*resources*) a spustiteľných informácií. Každá sekcia má hlavičku a telo, ktoré obsahuje dáta. Sekcie môžu byť organizované akokoľvek ich kompilátor preloží, pokiaľ ich hlavička obsahuje dostatok informácii na ich spracovanie.

Každý riadok tabuľky sekcií je v skutočnosti hlavička sekcie. Táto tabuľka nasleduje ihneď po nepovinnej hlavičke. Toto umiestnenie je dôležité, pretože hlavička súboru neobsahuje žiadne informácie o umiestnení tabuľky sekcií. Počet sekcií v tabuľke je určený poľom NumberOfSections v COFF hlavičke. Sekcie sú číslované od jednotky. Poradie kódovej a dátovo pamäťovej sekcie určuje kompilátor. Každá hlavička sekcií má nasledovný formát, 40 bajtov, viď tabuľka 2.2. [1][2][23]

Ofset	Veľkosť	Pole	Popis
0	8	Name	8 bajtový UTF-8 reťazec dorovnaný nulami.
8	4	VirtualSize	Celková veľkosť sekcie v pamäti. Ak je hodnota väčšia ako hodnota SizeOfRawData, sekcia je dorovnaná nulami.
12	4	VirtualAddress	Adresa prvého bajtu sekcie vzhľadom k ImageBase v nepovinnej tabuľke, keď je sekcia načítaná v pamäti.
16	4	SizeOfRawData	Veľkosť dát na disku. Musí byť násobkom FileAlignment z nepovinnej hlavičky.
20	4	PointerToRawData	Ukazateľ na prvú stránku sekcií v COFF súbore. Musí byť násobkom FileAlignment z nepovinnej hlavičky.
24	4	PointerToRelocations	Ukazateľ na začiatok relokácií pre sekciu. V PE súbore 0.
28	4	PointerToLinenumbers	Ukazateľ na začiatok line-number položku. V PE súbore 0.
32	2	NumberOfRelocations	Počet relokácii v sekcii. V PE súbore 0.
34	2	NumberOfLinenumbers	Počet riadkov v sekcii. V PE súbore 0.
36	4	Characteristics	Príznaky, ktoré indikujú vlastnosti sekcie.

Tabuľka 2.2 Formát hlavičky sekcie [1]

2.5 Sekcie

Aplikácia pre Windows NT má zvyčajne 9 preddefinovaných sekcií pomenovaných .text, .bss, .rdata, .data, .rsrc, .edata, .idata, .pdata, a .debug. Niektoré aplikácie nepotrebujú všetky tieto sekcie a niektoré si definujú aj ďalšie sekcie, ktoré potrebujú.

Spustiteľná sekcia s kódom, .text

Sekcia .text obsahuje vstupný bod programu. Tabuľka adries importov sa nachádza tiež v sekcii .text hneď za vstupným bodom (je to výhodné z toho dôvodu, že táto tabuľka obsahuje skokové inštrukcie). Keď sú Windows procesy načítané v adresovom priestore procesu, tabuľka adries importov sa upraví tak aby obsahovala fyzickú adresu každej importovanej funkcie.

Dátové sekcie, .bss, .rdata, .data

Sekcie obsahujúce rôzne dáta a premenné programu.

Sekcia so zdrojmi, .rsrc

.rsrc sekcia obsahuje informácie o zdrojoch daného súboru. Začína adresárom zdrojov ako aj ostatné sekcie, ale tie sú ďalej štruktúrované do stromu zdrojov.

Dátová sekcia s exportmi, .edata

Tabuľka adries exportov (*Export Address Table*)

Tabuľka adries exportov obsahuje adresy exportovaných vstupných bodov programu a exportovaných dát. Poradové číslo sa používa ako index tejto tabuľky. Každý záznam v tabuľke adries exportov je pole, ktoré používa dva formáty. Keď sa špecifikovaná adresa nenachádza v export sekcii (ktorá je definovaná adresou a dĺžkou v nepovinnej hlavičke), tak je to export RVA, čo je aktuálna adresa v kóde alebo dátach. Inak toto pole obsahuje RVA, ktoré označuje symbol alebo meno v inom DLL.

Tabuľka ukazateľov mien exportov (*Export Name Pointer Table*)

Tabuľka ukazateľov mien exportov je pole adries RVA ktoré ukazujú na tabuľku mien exportov.

Tabuľka poradia exportov (*Export Ordinal Table*)

Tabuľka poradia exportov je pole 16 bitových indexov na tabuľku adries exportov.

Tabuľka mien exportov (*Export Name Table*)

Tabuľka mien exportov obsahuje reťazce, ktoré ukazujú na tabuľku ukazateľov mien exportov. Reťazce v tejto tabuľke sú verejné a iné programy ich môžu použiť na importovanie symbolov. Každý exportovaný symbol má poradové číslo, ktoré je aj indexom tabuľky adries exportov. Mená exportov môžu mať len niektoré, žiadne alebo všetky exportované symboly. Exportované symboly, ktoré majú mená exportov používajú tabuľku poradia exportov a tabuľku ukazateľov mien exportov na priradenie poradia.

Dátová sekcia s importmi, .idata

Táto sekcia obsahuje importované dáta, zahŕňa aj adresár importov a tabuľku adries mien importov. [1][2][21]

2.6 Problémy PE formátu

V kapitole 2. Sme si popísali formát PE súborov, ich hlavičiek a sekcií, dátových štruktúr. Väčšina bežných kompilátorov tieto štandardy dodržuje, avšak hlavne pri súboroch malware môže byť veľká časť údajov v hlavičkách, sekciách a dátových štruktúrach poškodená alebo zámerne upravená. Týmito poškodeniami a úpravami sa PE súbor javí ako nefunkčný a prakticky znemožňuje akúkoľvek

statickú analýzu týchto PE súborov, pretože mnohé nástroje na statickú analýzu nie sú na chybné informácie pripravené a vyhlásia súbor za chybný a nefunkčný. Tieto problémy sa veľmi často vyskytujú aj pri súboroch zabalených pomocou rôznych PE packerov a protektorov. Tieto nástroje veľmi často zámerne upravujú údaje v hlavičkách a sekciách, tak aby neobsahovali štandardné informácie a tým znemožnili analýzu týchto súborov pomocou statickej analýzy. [24]

Formát PE súborov má teda svoje špecifikácie, ale tieto sú veľmi často nedodržované a porušované. Napriek tomu však Windows Loader mnohé tieto chyby ignoruje a aj poškodený PE súbor spustí. Je teda na šikovnosti autora konkrétnych PE súborov, aké dobré má vedomosti o tom, ktoré položky hlavičiek a sekcií môžu obsahovať chybné informácie a PE súbor bude aj napriek tomu v OS Windows úspešne spustený.

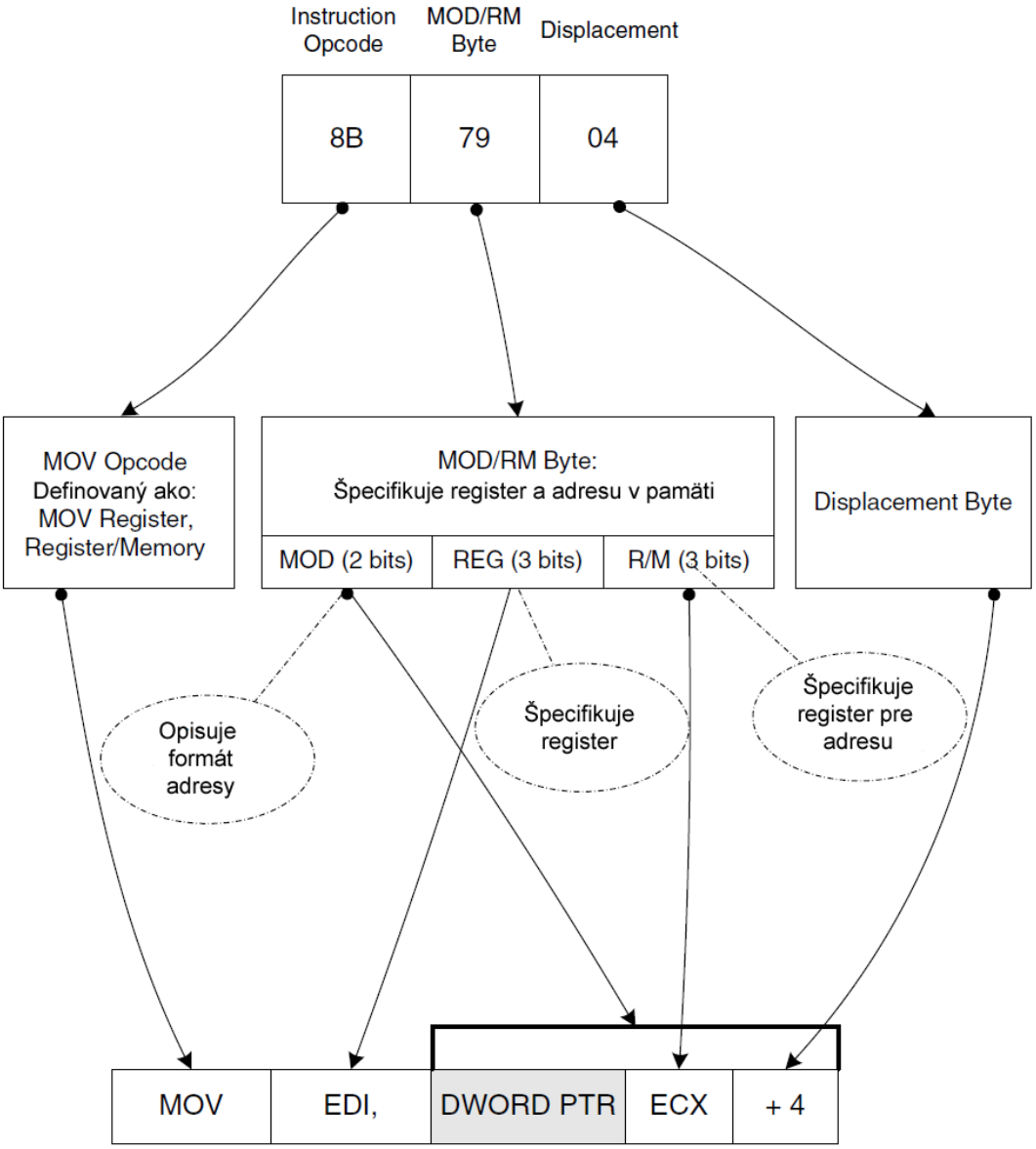
3 Disassembler

Sú prípady, keď potrebujeme zdrojový kód počítačového program ale ten nie je k dispozícii. Napríklad potrebujeme upraviť nejaký starší firemný program od ktorého nemáme zdrojový kód. Alebo chceme aplikáciu prerobiť pre iný operačný systém. Alebo ak sme napadnutí útokom nejakého neznámeho počítačového vírusu alebo trojanu, tak chceme zistiť aké škody nám spôsobil. Výhodným nástrojom pre vyššie spomenuté úkony môže byť práve disassembler.

Disassembler je program, ktorého vstupom je binárny spustiteľný súbor programu a výstupom text obsahujúci kód jazyka symbolických inštrukcií celého programu alebo jeho častí. Toto je relatívne jednoduchý proces, ak berieme do úvahy, že jazyk symbolických inštrukcií je len binárny kód prevedený do textovej podoby. Disassembling je proces špecifický pre každý typ procesora, avšak existujú disassemblery, ktoré podporujú viacero CPU architektúr. Kvalitný disassembler je kľúčový komponent v nástrojoch reverzného inžiniera. [5][8]

Najznámejšie disassemblery sú IDA Pro (Interactive Disassembler Pro), OllyDbg, ILDASM a Texe. Prvé dva sú bližšie popísané v 6. kapitole, Použité programy.

Obrázok 3.1 ukazuje, ako disassembler prevádza postupnosť IA-32 postupností bajtov do človeku čitateľného jazyka symbolických inštrukcií. Tento proces typicky začína tak, že disassembler porovná postupnosti bajtov z tabuľkou, ktorá obsahuje zoznam všetkých inštrukcií a ich názvov (v tomto prípade kód 8B označuje inštrukciu MOV) spolu s ich formátmi. IA-32 inštrukcie sú ako funkcie, čo znamená, že každá inštrukcia má inú sadu "parametrov“ (zvyčajne nazývaných operandy). Disassembler ďalej analyzuje, ktoré operandy sú použité v tejto osobitnej inštrukcii. [5][9]



Obr. 3.1 Preklad IA-32 inštrukcie z binárného kódu do človeku zrozumiteľného jazyka symbolických inštrukcií [5]

4 Rozhranie pre programovanie aplikácií

Rozhranie pre programovanie aplikácií, alebo často používaná skratka API. Tento termín je používaný v programovaní. Ide o zbierku funkcií a tried (ale aj iných programov), ktoré určujú akým spôsobom sa majú funkcie knižníc volať zo zdrojového kódu programu. API funkcie sú programové celky, ktoré programátor volá namiesto vlastného naprogramovania.[11] Slúži ako rozhranie medzi rozličnými softvérovými programami a uľahčuje ich interakcie, podobne ako užívateľské rozhranie zjednodušuje interakciu medzi ľuďmi a počítačmi.

4.1 Windows API

Rozhranie pre programovanie aplikácií (API) operačného systému Windows umožňuje aplikáciám naplno využívať potenciál operačného systému Windows. Pomocou tohto API je možné vyvíjať aplikácie, ktoré bežia bez problémov na všetkých verziách Windows, zatiaľ čo využívajú výhody a možnosti, ktoré sú unikátne pre každú verziu operačného systému Microsoft Windows. (Toto programovacie rozhranie bolo pôvodne nazývané Win32 API, ale názvom Windows API presnejšie odráža jeho korene v 16-bitových verziách Windows a jeho podporu na 64-bitových verziách Windows.) [6][10]

Rozdiely v implementácii programovacích prvkov závisia na schopnostiach operačného systému. Tieto rozdiely sú uvedené v dokumentácii týchto programovacích prvkov.

Windows API sa skladá z nasledujúcich funkčných kategórií:

- Správa a riadenie
- Diagnostika
- Grafika a multimédiá
- Sieť
- Zabezpečenie
- Systémové služby
- Používateľské rozhranie systému Windows [11]

4.2 Windows API, ktoré využíva väčšina malware

Väčšina škodlivých súborov robí po spustení stále tie isté úkony. Samozrejme, že tieto úkony sa dajú vykonávať v rôznom poradí a rôznymi postupmi, ale v podstate ide stále o tie isté veci (skrývanie sa

pred užívateľom, spustenie sa po štarte operačného systému), ktoré môžeme kategorizovať podľa správania: [13]

1. Zápis do registrov systému Windows do položiek, ktoré sú spustené po štarte systému

   Zvyčajne použité API funkcie:

   - `RegSetValue`
   - `RegSetValueEx`
   - `RegSetKeyValue`

   Položky registrov do ktorých sa zapisuje:

   - `HKLM\SOFTWARE\Microsoft\Windows\CurrentVersion\Run`
   - `HKLM\SOFTWARE\Microsoft\Windows NT\CurrentVersion\Winlogon\Userinit`
   - `HKLM\SOFTWARE\Microsoft\Windows NT\CurrentVersion\Winlogon\Shell`
   - `HKLM\SOFTWARE\Wow6432Node\Microsoft\Windows\CurrentVersion\Run`
   - `HKCU\Software\Microsoft\Windows\CurrentVersion\Run`
   - `HKLM\System\CurrentControlSet\Services`
   - `HKLM\System\CurrentControlSet\Control\Session Manager\BootExecute`
   - `HKLM\SOFTWARE\Microsoft\Windows NT\CurrentVersion\Image File Execution Options`
   - `HKLM\Software\Microsoft\Windows\CurrentVersion\Policies\Explorer\Run`
   - `HKCU\Software\Microsoft\Windows\CurrentVersion\Policies\Explorer\Run`

   Použitie: obecné

2. Kopírovanie súborov na miesta, kde ich bežný užívateľ nehľadá (Predpokladáme, že systém je nainštalovaný do C:\WINDOWS)

   API funkcie:

   - `CopyFile`
   - `CopyFileEx`
   - kombinácia `ReadFile/ReadFileEx` a `WriteFile/WriteFileEx`

   Miesta na disku:

   - `C:\`
   - `C:\WINDOWS\*`
   - `C:\WINDOWS\SYSTEM32\*`
   - `C:\RECYCLER`
   - `C:\System Volume Information`
   - `C:\Documents and settings\USERNAME\Local Settings\Temp`
   - `C:\Documents and settings\Administrator\Local Settings\Temp`
   - `C:\Documents and settings\USERNAME\\Application Data`
   - `C:\Documents and settings\Administrator\Local Settings\Application Data`
   - `C:\Program Files\Microsoft`
   - `C:\Program Files\Windows NT`

   A mnoho ďalších iných...

   Použitie: worm, dropper

3. Kopírovanie súborov na miesta, odkiaľ ich systém Windows spúšťa automaticky

   API funkcie:

   - `CopyFile`
   - `CopyFileEx`
   - kombinácia `ReadFile/ReadFileEx` a `WriteFile/WriteFileEx`

   Miesto na disku:

- `C:\ Documents and settings\All Users\Microsoft\Windows\Start Menu\`
- `C:\ Documents and settings\%USER%\Microsoft\Windows\Start Menu\`

Použitie: obecné

4. Zmena atribútov súborov na skryté, systémové

   Api funkcie:

   - `SetFileAttributes`
   - `SetFileAttributesTransacted`
   - `SetFileInformationByHandle`

   Použitie: obecné, primitívne rootkit techniky
5. Pripájanie sa na rôzne serveri a následné sťahovanie ďalších škodlivých súborov
   Použitie: downloader
6. Otvorenie lokálneho portu, na ktorom škodlivý súbor počúva a čaká na pripojenia
   Použitie: backdoor
7. Krádež prihlasovacích údajov pomocou predstierania prihlásenia do aplikácie
   Použitie: banker, password stealer, keylogger, obecné programy na monitorovanie užívateľov

4.3 Problémy spojené s Windows API

Takmer každý štandardný program na svoju funkcionalitu využíva Windows API funkcie. Avšak ich použitie môže byť nie vždy tak jasné a viditeľné. Existuje mnoho techník ako používané API funkcie zamaskovať, tak aby nebolo zrejme aké Windows API funkcie konkrétny program využíva. Tieto techniky sú veľmi rozšírene pri tvorbe malware súborov. Existujú dve najviac využívané techniky skrývania Windows API funkcií:

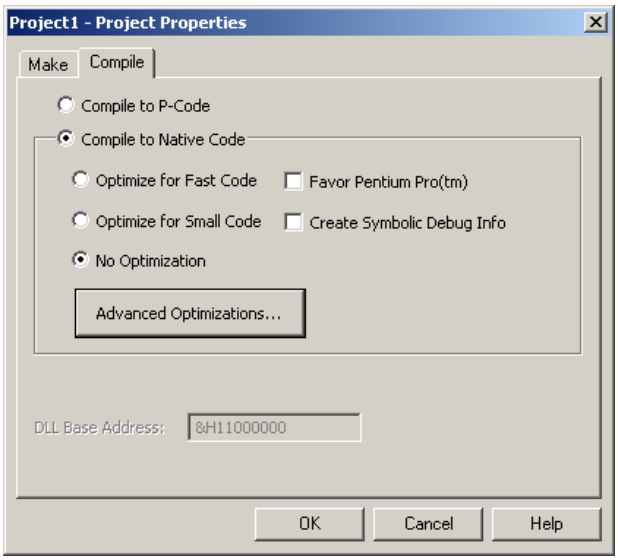
1. V tabuľke importov sa vyskytuje DLL knižnica, ktorej API funkcie sú používané avšak importovaná je len jedna funkcia, ktorá nie vždy musí byť podstatná. Windows Loader túto knižnicu načíta a pri behu programu potom načítavame ďalšie API funkcie konkrétnych DLL knižníc, ktoré potrebujeme.
2. Nenačítavame žiadne DLL knižnice a všetko hľadáme pomocou funkcie LoadLibrary pomocou konkrétnych adries a ofsetov funkcii v pamäti Operačného systému.

Tieto metódy sú široko využívané aj rôznymi nástrojmi na zbalenie a obfuskovanie PE súborov. Vstupom týchto nástrojov je štandardne skompilovaný binárny súbor, ktorý je prebalený do „obálky“, ktorá sa stará o načítanie týchto API funkcií, využívaných v programe. [13]

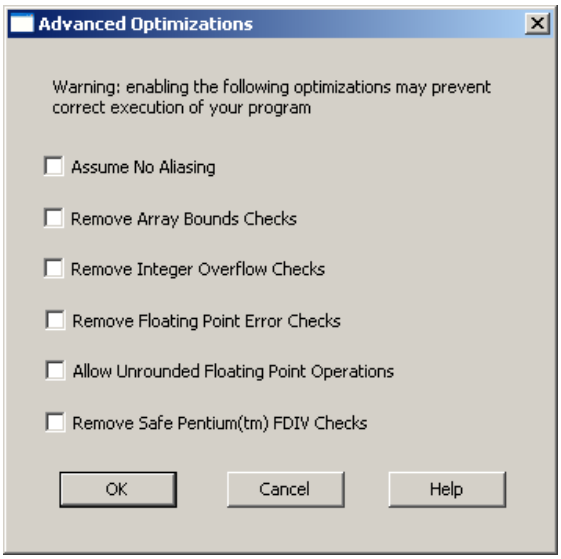
V tejto práci sa zaoberáme len štandardnými súbormi v rozbalenom referenčnom tvare.

5 Binárny formát Visual Basic 6

Pri kompilácii programov v prostredí Microsoft Visual Basic 6 máme na výber viacero možnosti kompilácie. Jedná sa o možnosti kompilácie do p-kódu alebo native kódu bez optimalizácii alebo s optimalizáciami pre rýchlosť, poprípade veľkosť, obrázok 5.1. Pri kompilácii do native kódu môžeme zvoliť ešte ďalšie možnosti pre optimalizáciu, avšak tu Microsoft varuje, že pri aktivácií niektorých z nich už spustiteľný súbor nemusí fungovať, obrázok 5.2. [4]



Obr. 5.1 Možnosti kompilácie VB6



Obr. 5.2 Možnosti optimalizácie pre native kód

5.1 Native kód

Kompilácia projektu do native kódu znamená, že kód, ktorý píšeme bude plne skompilovaný do natívnych inštrukcií procesora, namiesto toho, aby bol skompilovaný do p-kódu. Tým sa výrazne urýchlia slučky a matematické výpočty, a môžu sa taktiež trochu urýchliť volania na služby poskytované MSVBVM60.DLL. Avšak, ani kompilácia do native kódu neodstraňuje potrebu tohto DLL súboru.

5.2 P-kód

P-kód, alebo pseudo kód, je medzistupeň medzi inštrukciami vysokej úrovni vo Visual Basic programe a nízkej úrovni natívneho kódu, ktorý spracováva procesor počítača. Priamo za behu Visual Basic prekladá každú inštrukciu p-kódu do natívného kódu. Tieto p-kód inštrukcie sú menšie ako ekvivalentné inštrukcie natívneho kódu, čo veľmi výrazne znižuje veľkosť spustiteľného súboru. Ale pri spustení musí systém načítať do pamäte okrem programu aj interpreter p-kódu, a ten musí

dekódovať každú inštrukciu. Tým, že program skompilujeme priamo do native kódu, odstrániť tento medzi krok, kedy sa pri behu programu musí p-kód prekladať do native kódu. [14] [16]

5.3 Problémy binárneho formát Visual Basic 6

Nakoľko existujú rozličné metódy obfuskovania binárnych súborov Visual Basic 6, v tejto práci sa budeme zaoberať iba štandardnými súbormi, ktoré po výstupe z kompilátora nie sú nijako upravované. Týchto metód obfuskovania existuje nespočetné množstvo.

Najpoužívanejšou je metóda obfuskace na úrovni zdrojového kódu. Jedná sa o pregenerovanie zdrojového kódu do podoby, v ktorej nikdy nebol napísaný. Tento kód býva veľmi často doplnený rôznymi cyklami, funkciami, konštantami a reťazcami, ktoré v tomto kóde nemajú žiadnu funkcionalitu a slúžia len na zmetenie človeka, ktorý daný kód analyzuje.

Ďalšia metóda je, že na štandardne skompilovaný binárny súbor Visual Basic 6 sa pridá „obálka“, ktorá slúži na vytváranie autoreplikačných polymorfných .exe binárnych súborov. Pri tejto metóde sú textové reťazce nahradzované náhodne generovanými reťazcami. Tieto reťazce sa v binárnom súbore budú vyskytovať vždy na rovnakom mieste avšak budú sa líšiť.

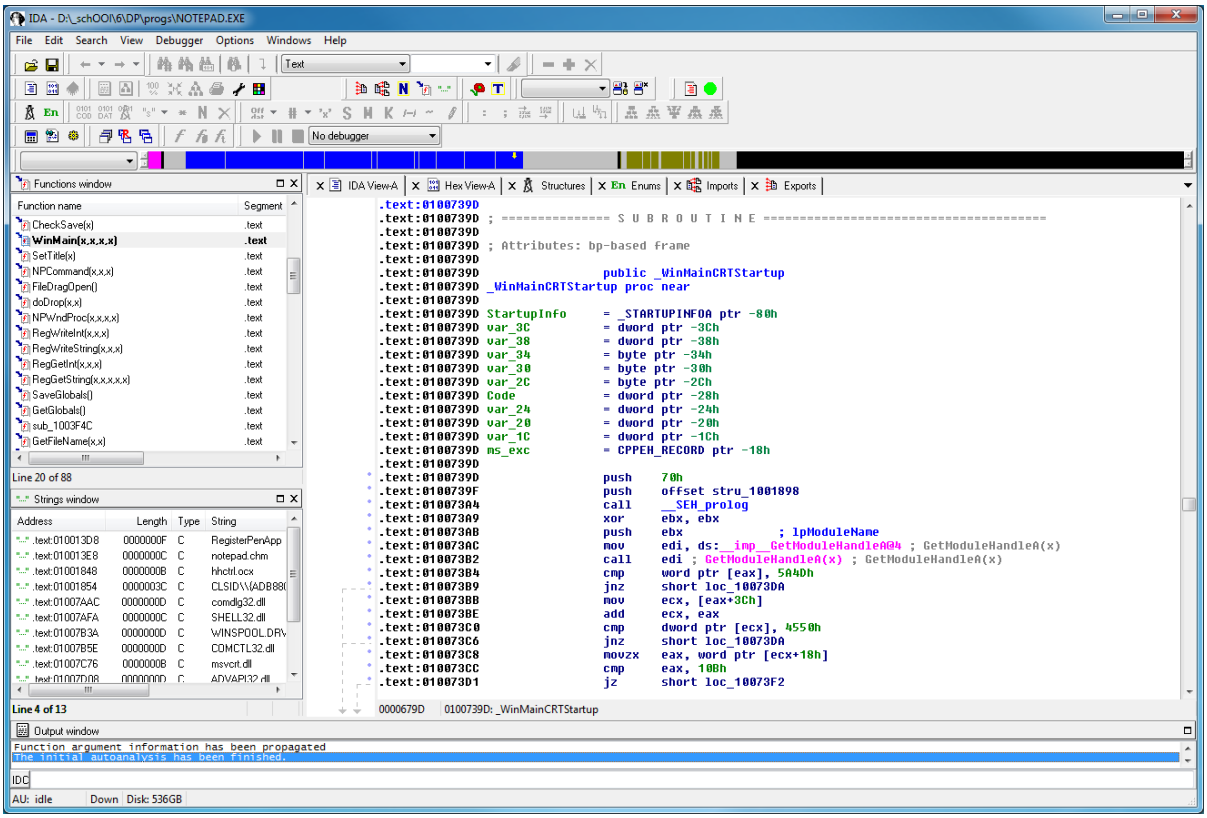
6 Použité programy

V nasledujúcom texte sú popísané niektoré dôležité programy použité pri analýze spustiteľných súborov skompilovaných v prostredí Visual Basic 6.

6.1 IDA Pro (Interactive disassembler Pro)

Interaktívny disassembler, viac známy ako IDA, je disassembler používaný pre reverzné inžinierstvo. Podporuje rôzne formáty spustiteľných súborov pre rôzne procesory a operačné systémy. Tiež môže byť použitý ako debugger pre prostredie Windows, Mac OS X Mach-O, a Linux ELF spustiteľné súbory.

IDA vykonáva oveľa automatickej analýzy kódu pomocou krížových odkazov medzi kódovými sekciami, znalosti parametrov API volaní a ďalších informácií. Avšak charakter disassemblingu je taký, že vyžaduje veľké množstvo ľudského zásahu. IDA má interaktívne funkcie, ktorými napomáha užívateľovi dokonale disassemblovať daný súbor. Typický IDA užívateľ začne s automaticky generovaným disassemblovaným kódom a potom prevádza rozličné sekcie kódu na dáta a naopak, pomenováva niektoré časti, komentuje, a inak doplňuje informácie do zoznamu, až pokiaľ mu nie je jasné, čo daný program robí. [7]



Obr. 6.1 Typická obrazovka IDA Pro, ukazuje disassemblovaný kód, zoznam funkcií a zoznam reťazcov

6.2 OllyDbg

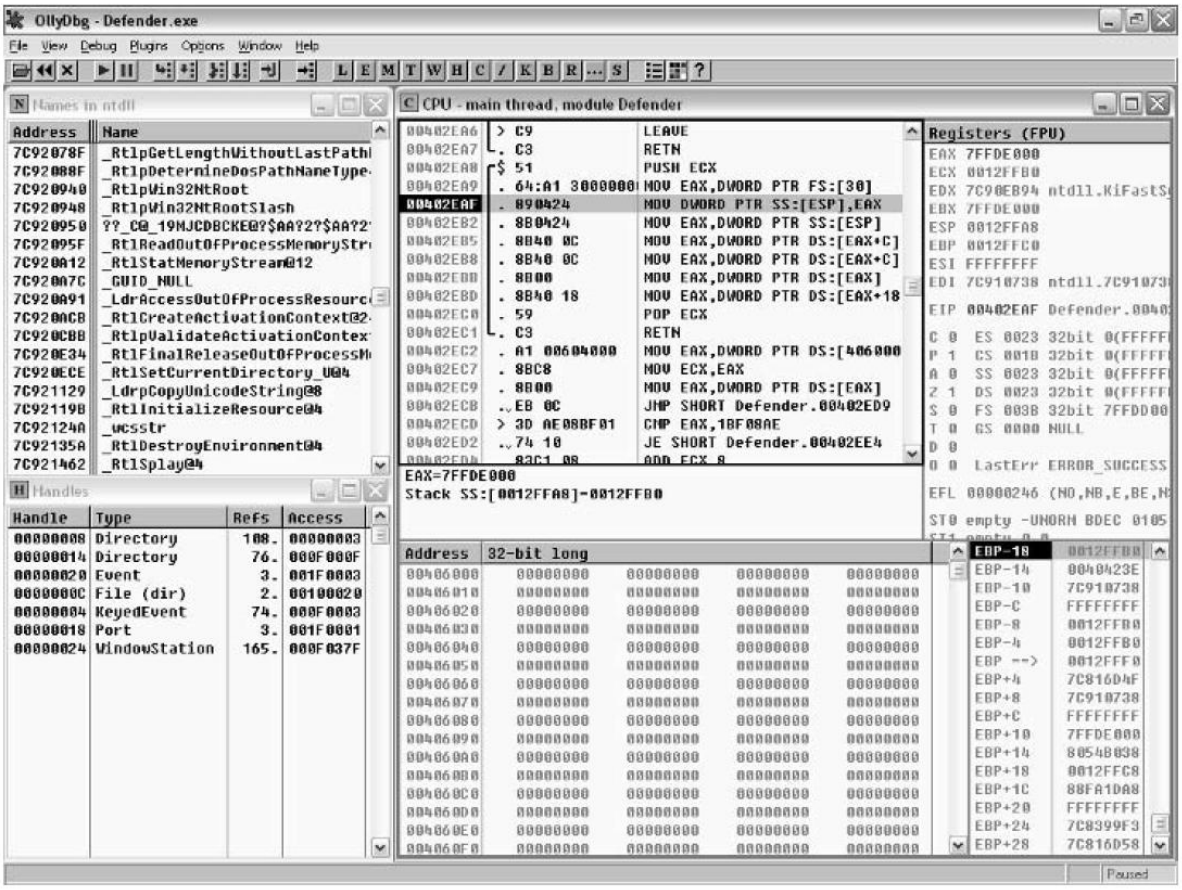
Ollydbg je x86 debugger, na analýzu binárneho kódu, čo je užitočné, keď zdrojový kód nie je k dispozícii. Ollydbg sleduje registre, rozoznáva procedúry, API volania, prepínače, tabuľky, konštanty a reťazce, rovnako ako lokalizuje rutiny z objektových súborov a knižníc. Verzia 1.10 je posledná verzia 1.x. Verzia 2.0 bola uvoľnená len nedávno, a v tejto verzii bol OllyDbg prepísaný od základu.

OllyDbg, napísaný Olehom Yuschukom, je pravdepodobne najlepší debugger pre reverzných inžinierov (aj keď výber v tejto oblasti je pomerne malý).

Krása OllyDbg je v tom, že od základu bol navrhnutý ako nástroj pre reverzných inžinierov, a ako taký má veľmi dobrý vstavaný disassembler. Pomerne veľa začiatočníkov v reverznom inžinierstve začína s komplexnými nástrojmi, ako sú Numega SoftICE. Faktom je, že ak nepotrebujeme analyzovať kernel kód, alebo pozorovať systém globálne v rámci viacerých procesov, zvyčajne je pre nás OllyDbg viac než postačujúci.

Najväčšia sila OllyDbg je v jeho disassembleri, ktorý poskytuje veľmi výkonné prostriedky na analýzu kódu. OllyDbg analyzátor kódu umožňuje identifikovať slučky, bloky prepínačov, a ďalšie kľúčové štruktúry kódu. Ukazuje názvy parametrov pre všetky známe funkcie a rozhrania API, podporuje hľadanie krížových odkazov v kóde a dátach vo všetkých možných smeroch. V skutočnosti

by bolo spravodlivé povedať, že má OllyDbg má najlepšie disassemblovacie schopnosti zo všetkých dostupných debuggerov (okrem IDA Pro debugger).



Obr. 6.2 Typická obrazovka OllyDbg [5]

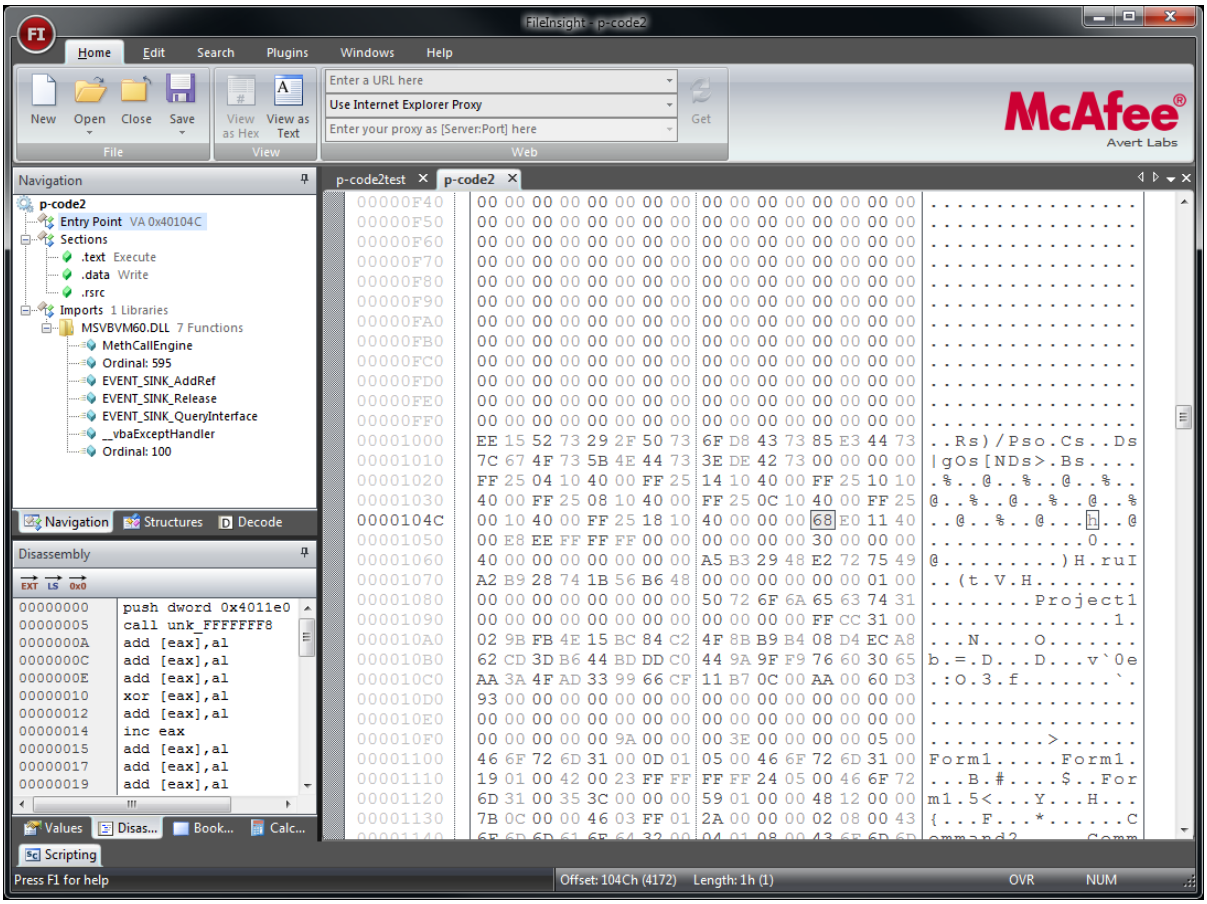
Okrem výkonnej funkcie disassemblingu, Ollydbg podporuje širokú škálu možnosti zobrazenia, vrátane zoznamu importov a exportov v moduloch, zobrazujúci zoznam okien a ďalších objektov, ukazujúci aktuálne reťazce výnimiek, pomocou importovaných knižníc (. lib súbory) pre pomenovanie funkcií, ktoré vznikli v týchto knižniciach, a iných.

OllyDbg tiež obsahuje vstavaný nástroj pre assembling a editáciu kódu, ktorý ho robí pre crackerov ešte obľúbenejším nástrojom. Je možné editovať kód assembleru na hocijakom mieste v programe a potom zmeny uložiť späť do spustiteľného súboru. Tiež je možné ukladať zoznam opráv pre konkrétny program a použiť niektoré alebo všetky z týchto opráv, zatiaľ čo tento program ladíme.

Obrázok 6.2 ukazuje typické OllyDbg obrazovky. Všimnite si zoznam mien NTDLL na ľavej strane. OllyDbg neukazuje len Importy a Exporty, ale aj interné názvy (ak sú k dispozícii symboly). Vľavo dole sa nachádza zoznam aktuálne otvorených deskriptorov v procese. [5]

6.3 McAfee FileInsight

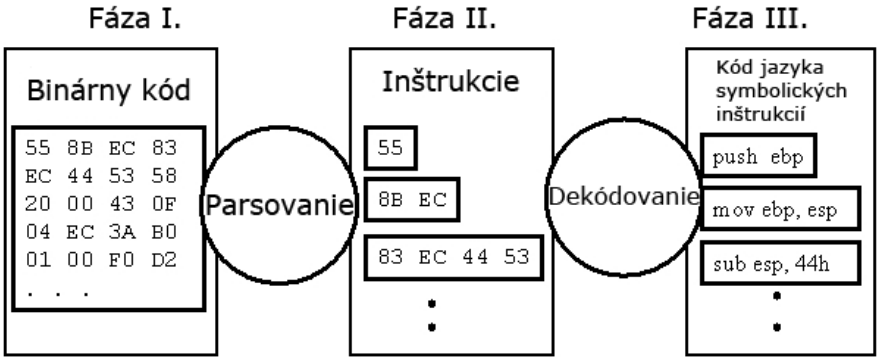
McAfee FileInsight, vyvíjaný McAfee Labs je prostredie pre analýzu súborov a web stránok. Poskytuje veľké množstvo zásuvných modulov a pomôcok pri analýze súborov, ktoré je možné veľmi jednoducho rozšíriť pomocou zásuvných modulov písaných v skriptovacom jazyku Python. Je to taktiež veľmi dobre navrhnutý HEX editor, ktorý umožňuje kvalitnú analýzu binárnych súborov. Z PE súborov dokáže zobraziť veľké množstvo užitočných informácií ako sú vstupný bod programu, informácie o sekciách, importy. Rovnako dokáže disassemblovať binárny kód na inštrukcie assembleru. Tento nástroj bol veľmi užitočný pri analýze PE súborov a veľkou mierou mi pomohol pri pochopení ich štruktúry.



Obr. 6.3 Typická obrazovka McAfee FileInsight

7 Návrh disassembleru

Disassembling binárneho kódu do jazyka symbolických inštrukcií môže znieť veľmi zložito. Ak sa pozrieme do manuálu pre inštrukcie od Intelu zistíme, že to aj zložité je. Pri návrhu disassemblera nám pomôžu rôzne existujúce nástroje, ako je napríklad „dumpbin.exe“, čo je nástroj obsiahnutý v Microsoft Visual C++ nástrojoch, ale aj už spomenuté disassemblery IDA Pro a OllyDbg. Disassembling môžeme rozdeliť do troch hlavných fáz: [18]



Obr. 7.1 Fázy disassemblingu [18]

Toto by platilo ak by išlo o spustiteľný súbor C++. Avšak pri súboroch Visual Basic je situácia iná a tento spôsob sa dá využiť len sčasti. Spustiteľné súbory kompilované Visual Basicom hneď na začiatku začínajú používať funkcie obsiahnuté v DLL súbore MSVBVM60.DLL, konkrétne funkcia ThunRTMain, viď obrázok 7.2. Tento súbor preberá beh celého programu a pristupuje do spustiteľného súboru, kde sa pozerá aké ďalšie funkcie majú nasledovať.

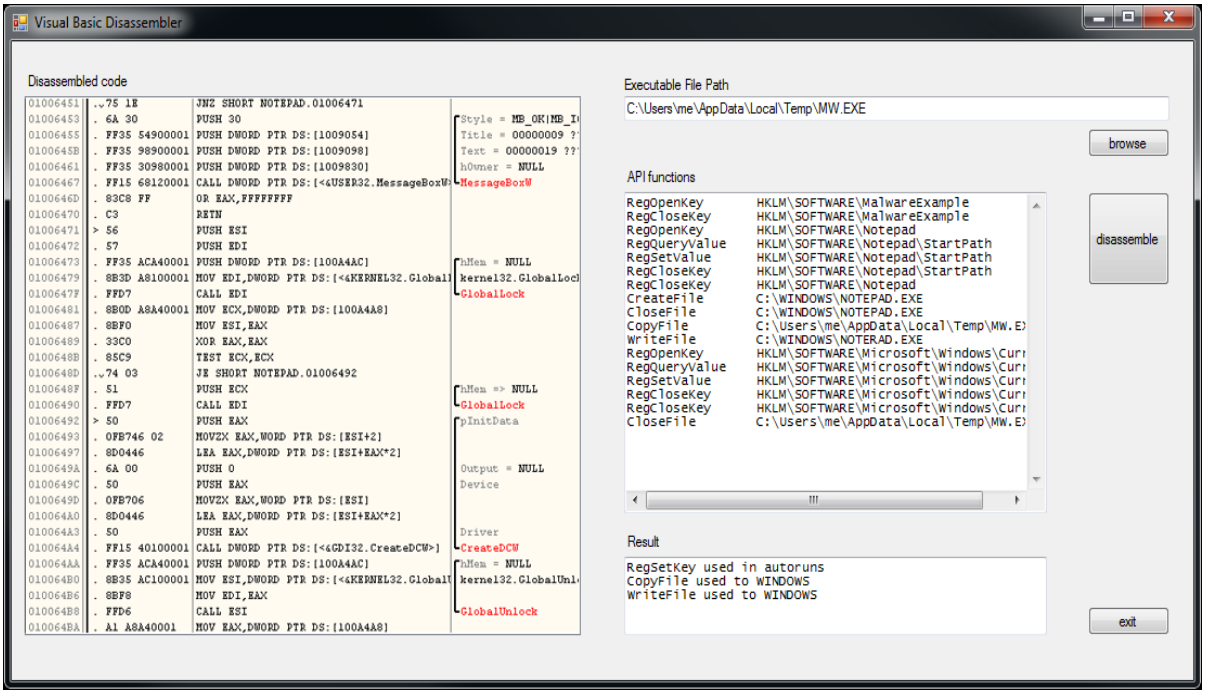
```
.text:0040114C
.text:0040114C                  public start
.text:0040114C start:
.text:0040114C                  push    offset dword_4012B4
.text:00401151                  call    ThunRTMain
```

Obr. 7.2 Začiatočný bod spustiteľného súboru Visual Basic

Z tohto dôvodu bude implementácia disassembleru pomerne zložitá. Vyžaduje si dôkladnú analýzu hlavného Visual Basic DLL súboru MSVBVM60.DLL. Túto analýzu plánujem vykonávať pomocou disassemblerov IDA Pro a OllyDbg. V prostredí Microsoft Visual Basic 6.0 si budem vytvárať postupne rôzne programy, ktoré budú využívať rozličné funkcie tohto jazyka a budem ich kompilovať s rôznymi možnosťami, ktoré kompilátor Visual Basic ponúka. Tieto spustiteľné súbory budem postupne analyzovať spolu s funkciami, ktoré poskytuje DLL súbor MSVBVM60.DLL. Táto

úloha sa môže zdať pomerne jednoduchá a jasná, ale opak je pravdou, pretože takýchto funkcií je veľmi veľa a k binárnym kódom Visual Basic 6.0 a nižšie neexistuje žiadna dokumentácia, ktorá by tieto dáta obsahovala. Čiže neostáva žiadna iná možnosť ako urobiť databázu všetkých používaných funkcií spolu s ich kódmi v binárnych súboroch Visual Basic. Po úspešnom dokončení tohto kroku, využijem tieto informácie pri následnej implementácii Disassembleru.

Disassembler plánujem implementovať v prostredí Microsoft Visual Studio 2010 v programovacom jazyku C#. Ukážku návrhu grafického rozhrania vidíme na obrázku 7.3. Hotová aplikácia by mala obsahovať okno s kódom v jazyku symbolických inštrukcií, okno so všetkými programom použitými Windows API funkciami a okno so štatistikou použitia Windows API funkcií, ktoré sú štandardne využívané hlavne užívateľovi škodlivými súbormi.



Obr. 7.3 Návrh grafického rozhrania Disassembleru Visual Basic

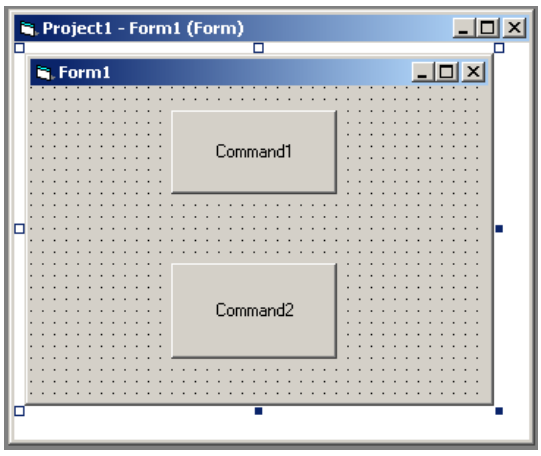
8 Analýza a implementácia

Najdôležitejšou časťou tejto diplomovej práce bola dôkladná analýza binárneho formátu .exe súborov Visual Basic 6 a následne schematické načrtnutie zloženia týchto súborov. Táto časť by bola veľmi jednoduchá, avšak opak je pravdou. Vývojári vo firme Microsoft po sebe nezanechali žiadne dokumenty ohľadom zloženia binárnych súborov Visual Basic 6. Respektíve ak nejaké zanechali, tak tieto dokumenty nie sú verejnosti prístupné a ani po dlhom pátraní sa k žiadnym dokumentom ohľadom zloženia binárnych súborov Visual Basic 6 nepodarilo dopátrať. Moja analýza teda spočívala v dlhodobom pozorovaní binárnych súborov Visual Basic 6 v hex editoroch, disassembleroch, nástrojoch na analýzu prístupu v súboroch a následnom premýšľaní, čo môžu jednotlivé položky, tabuľky, ofsety, pointre znamenať. Na tieto účely boli použité mnou vytvorené jednoduché aj zložitejšie programy skompilované v prostredí Visual Basic 6. Pri ich kompilovaní boli volené rozdielne nastavenia kompilátora:

- Compile to P-Code
- Compile to Native Code
  - Optimize for Fast Code
  - Optimize for Small Code
  - No Optimization

Po dlhšej dobe boli nájdené informácie, ktoré pomohli približne načrtnúť štruktúry binárnych súborov Visual Basic 6.

V nasledujúcom texte je presne popísaný postup prístupu k jednotlivým položkám binárnych súborov Visual Basic 6. Ako príklad je uvedený jednoduchý binárny súbor hello.exe skompilovaný pod Visual Basic 6 s nastavením kompilátora Compile to P-Code. Tento súbor obsahuje 1 formulár a 2 tlačidla, ktoré po stlačení vypisujú text „Hello, World!“ a „Ahoj Svet!“. Na obrázku 8.1 vidíme ako tento program vyzerá v dizajnéri Visual Basic.



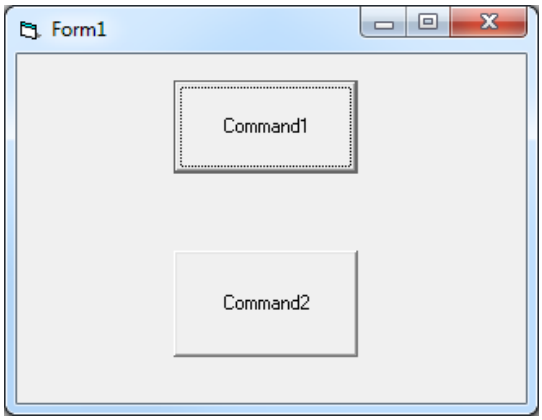
Obr. 8.1 Program hello.exe v dizajnéri Visual Basic

Jeho zdrojový kód vyzerá nasledovne:

```
1. Private Sub Command1_Click()
2.  MsgBox "Hello, World!"
3. End Sub
4.
5. Private Sub Command2_Click()
6.  MsgBox "Ahoj Svet!"
7. End Sub
```

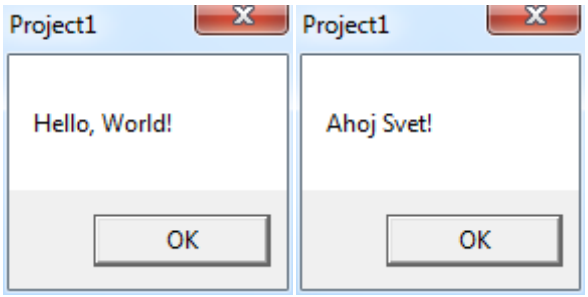
Zdrojový kód nášho referenčného Visual Basic programu

Ako vyzerá tento program po spustení skompilovaného .exe súboru vidíme na obrázku 8.2.



Obr. 8.2 Program hello.exe po spustení

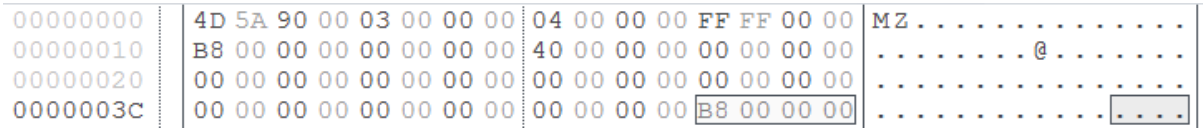
Po stlačení jednotlivých tlačidiel sú zobrazené MsgBoxy zobrazené na obrázku 8.3.



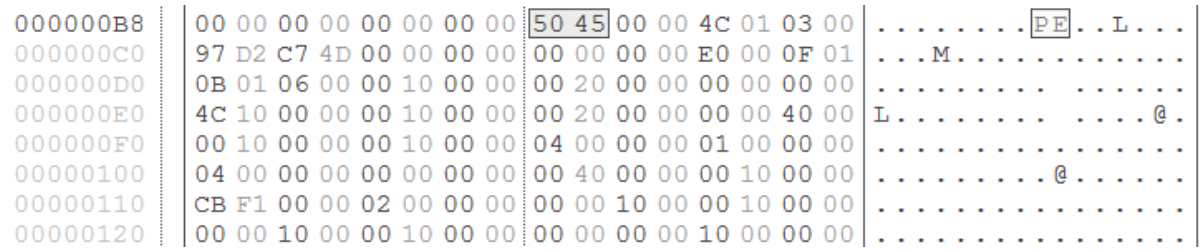
Obr 8.3 MsgBoxy, zobrazené po kliknutí na tlačidlá v hello.exe

8.1 Získanie adresy Entry Point a iných základných informácií o PE súbore

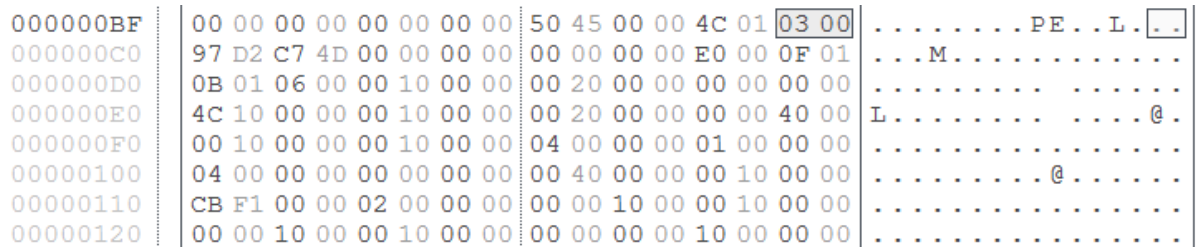
Ako sme si vysvetlili v kapitole 2. Každý binárny súbor spustiteľný pod Operačným systémom Windows obsahuje MS-DOS hlavičku identifikovanú reťazcom MZ na adrese 00000000, na konci ktorej na adrese 0000003C sa nachádza adresa PE hlavičky. Adresa PE hlavičky je teda vždy 60 bajtov (0x3C) od začiatku MS-DOS hlavičky.



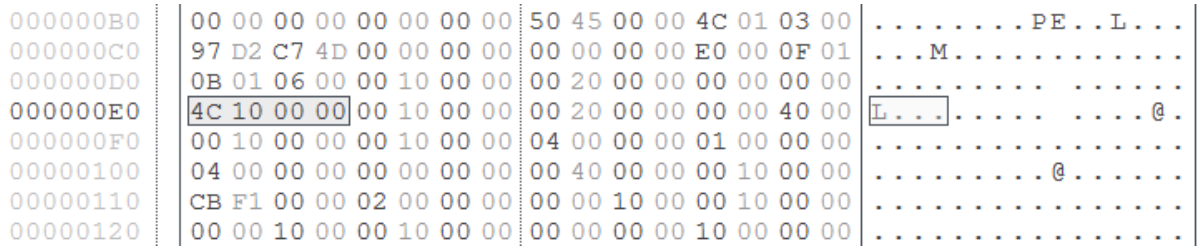
Obr. 8.4 Adresa PE hlavičky = 0x000000B8



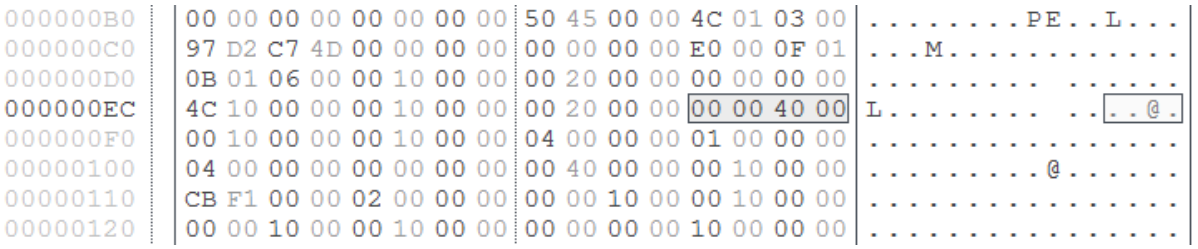
Obr. 8.5 Začiatok PE hlavičky na adrese 0x000000B8



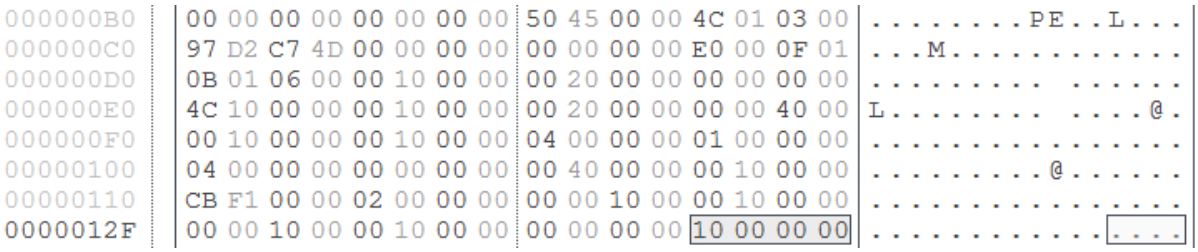
Obr. 8.6 Počet sekcií = 0x0003 = 3



Obr. 8.7 Adresa Entry Point = 0x0000104C



Obr. 8.8 ImageBase = 0x00400000



Obr. 8.9 NumberOfRvaAndSizes = 0x00000010 = 16

Avšak adresa Entry Point, ktorá sa tu nachádza je relatívna adresa platná po zavedení súboru do pamäte. Ak chceme poznať skutočnú adresu Entry Point v binárnom súbore potrebujeme poznať veľkosť ImageBase a počet NumberOfRvaAndSizes.

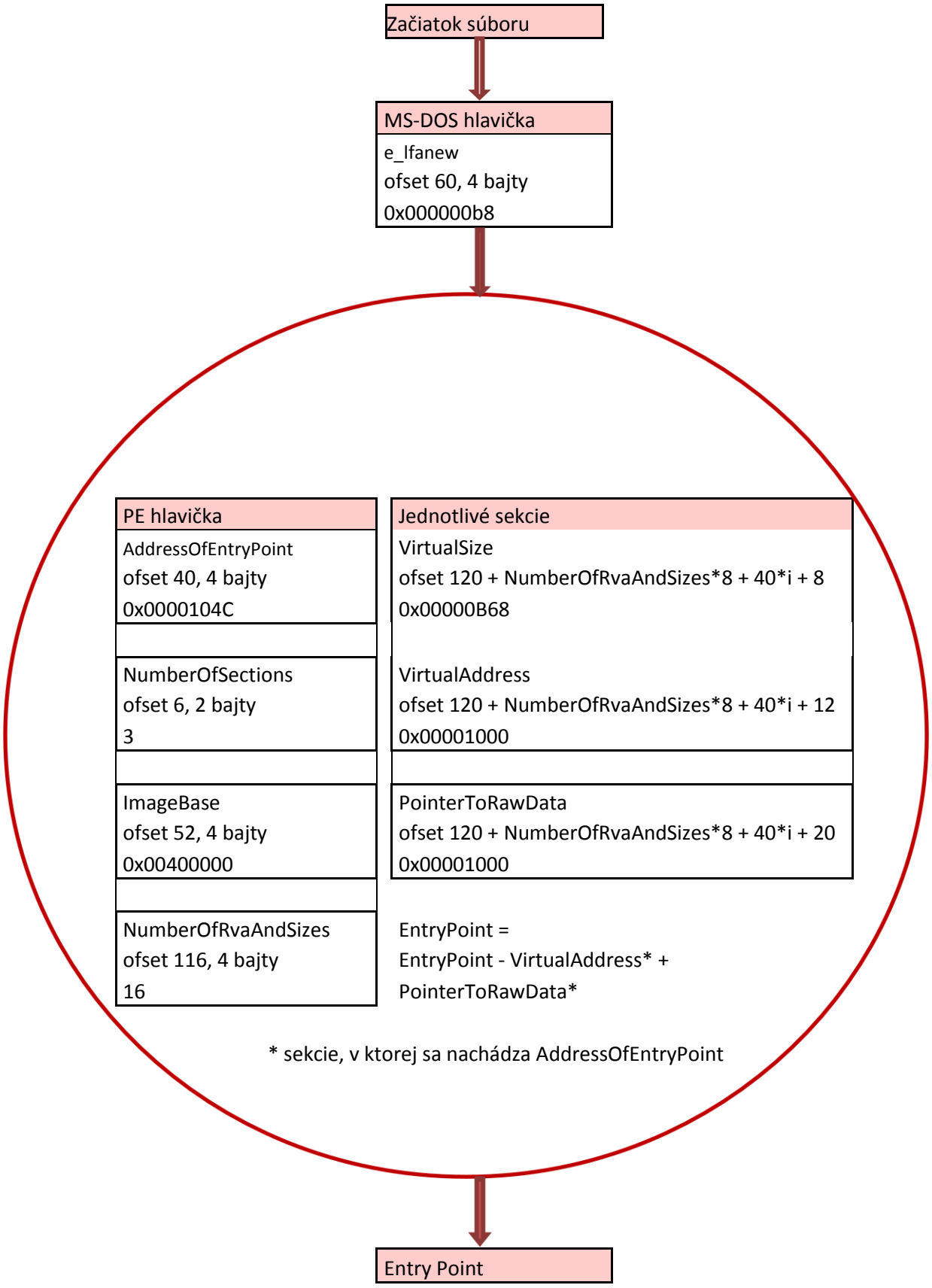
Skutočnú adresu Entry Point zistime následovne:

1. Zistíme Adresu Entry point = 0x0000104C
2. O každej sekcii si zistíme VirtualSize, VirtualAddress a PointerToRawData
    a. To zistíme tak, že od začiatku PE hlavičky preskočíme 120 bajtov (to je veľkosť PE hlavičky + veľkosť nepovinnej hlavičky)
    b. Ďalej potrebujeme preskočit dátové štruktúry. Ich počet je udaný hodnotou NumberOfRvaAndSizes a každá dátová štruktúra má veľkosť 8 bajtov.
    c. V tomto okamihu sme na začiatku informácií o prvej sekcii. Prvých 8 bajtov je názov sekcie. Tie preskočíme a dostaneme sa na informáciu VirtualSize sekcie, ktorá má 4 bajty.
    d. Ďalšie 4 bajty obsahujú informáciu o VirtualAddress sekcie.
    e. Preskočíme ďalšie 4 bajty (tie obsahujú informáciu o SizeOfRawData, ktorá je pre nás v tomto prípade nepodstatná).
    f. Ďalšie 4 bajty obsahujú informáciu o PointerToRawData.
    g. Veľkosť informácii o jednej sekcii je 40 bajtov. Ak sa teda chceme dostať k informáciám o 2. sekcii potrebujeme preskočiť od PE hlavičky: 120 + NumberOfRvaAndSizes * 8 + 40 bajtov. Informácie o 2. sekcii dostaneme ak budeme pokračovať bodom c)
    h. Toto opakujeme podľa počtu sekcií, počet sekcií poznáme z PE hlavičky
3. Potrebujeme zistiť, v ktorej sekcii sa Entry Point nachádza. To zistíme tak, že Adresa Entry Point je menšia ako VirtualAddress + VirtualSize sekcie a zároveň väčšia ako VirtualAddress sekcie.

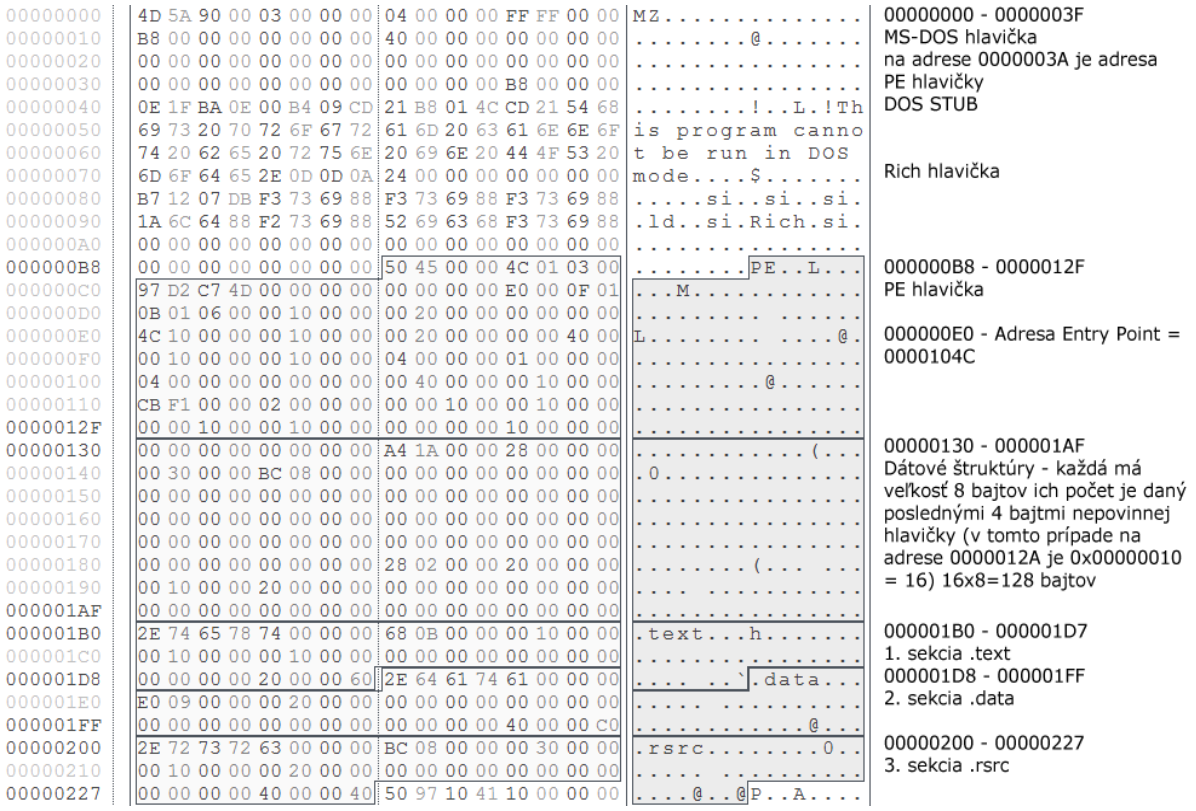
4. Ak vieme, v ktorej sekcii sa Entry Point nachádza, vypočítame ho jednoducho:
   `EntryPoint = EntryPoint – VirtualAddress sekcie + PointerToRawData sekcie`

Názov štruktúry
Názov položky danej štruktúry
Ofset položky v štruktúre , dĺžka položky
Konkrétna adresa odkazovanej štruktúry v súbore "p-code2.exe"

Tabuľka 8.1 Formát uvedených informácii na obrázku 8.11



Obr. 8.11 Získanie Entry Point



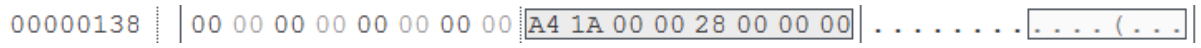
Obr. 8.12 Prehľad informácií o PE súbore

Môže sa zdať, že Adresa Entry Point sa nezmenila, avšak to len preto, že v tomto konkrétnom prípade sa VirtualAddress sekcie a PointerToRawData sekcie rovnajú. Toto nemusí byť pravidlom a v mnohých prípadoch sa tieto hodnoty líšia. [32]

8.2 Získanie Importov

Najskôr by sme si mali ozrejmiť, čo to vlastne importy sú. Funkcia Import je funkcia, ktorá nie je obsiahnutá vo volajúcom module, ale je týmto modulom volaná, odtiaľ pochádza názov „Import“. Importy sa obyčajne nachádzajú v jednej alebo aj viacerých DLL knižniciach. Vo volajúcom module je obsiahnutá iba informácia o funkciách. Tieto informácie obsahujú názvy funkcií a názvy DLL knižníc, v ktorých sa jednotlivé funkcie nachádzajú. [15]

1. Od adresy PE hlavičky preskočíme 120 bajtov (PE hlavička a nepovinná hlavička)
2. Teraz sa nachádzame na adrese, kde sú definované informácie o dátových štruktúrach.
3. Preskočíme ďalších 8 bajtov, tie definujú Exporty.
4. Prvé 4 bajty definujú ImportVirtualAddress, ďalšie 4 definujú veľkosť importov, viď obrázok 8.12. [25]



Obr. 8.13 Import Directory

5. 00001AA4 je adresa, kde sa nachádza tabuľka importov viď obrázok 8.12.

Tabuľka importov je vlastne pole IMAGE_IMPORT_DESCRIPTOR štruktúr, ktoré sú definované nasledovne:

```
IMAGE_IMPORT_DESCRIPTOR STRUCT
   union
     Characteristics dd ?
     OriginalFirstThunk dd ?
   ends
   TimeDateStamp dd ?
   ForwarderChain dd ?
   Name1 dd ?
   FirstThunk dd ?
 IMAGE_IMPORT_DESCRIPTOR ENDS
```

Prvá položka je zjednotenie OriginalFirstThunk, čo môžeme považovať za charakteristiku. Tento člen obsahuje adresu polí IMAGE_THUNK_DATA štruktúr.

IMAGE_THUNK_DATA je ukazateľ na štruktúru IMAGE_IMPORT_BY_NAME, nie je to samotná štruktúra IMAGE_IMPORT_BY_NAME.

Môžeme sa na to pozrieť takto: Existuje viacero štruktúr IMAGE_IMPORT_BY_NAME. Získame adresy všetkých týchto štruktúr a uložíme ich do poľa IMAGE_THUNK_DATA ukončeného 0. Adresu poľa IMAGE_THUNK_DATA uložíme ako OriginalFirstThunk.

Štruktúra IMAGE_IMPORT_BY_NAME obsahuje informácie o importovanej funkcii. Je definovaná nasledovne:

```
IMAGE_IMPORT_BY_NAME STRUCT
   Hint dw ?
   Name2 db ?
 IMAGE_IMPORT_BY_NAME ENDS
```

Premenná Hint obsahuje index do tabuľky exportov DLL knižnice, kde sa funkcia nachádza. Býva využívaný PE zavádzačom, aby mohol urýchlene nájsť funkciu v tabuľke exportov DLL knižnice. Táto hodnota nie je povinná a často býva nastavená na 0.
Premenná Name2 obsahuje názov importovanej funkcie. Je zložený z ASCII reťazca variabilnej dĺžky.

Premenná Name1 obsahuje adresu názvu DLL knižnice, v skratke je to pointer na názov DLL knižnice. Tento názov je ASCII reťazec variabilnej dĺžky.
FirstThunk je veľmi podobný OriginalFirstThunk, obsahuje adresu polí IMAGE_THUNK_DATA štruktúr (je to však odlišné pole ako je definované položkou OriginalFirstThunk).

Pozrime sa na to takto: Existuje viacero štruktúr IMAGE_IMPORT_BY_NAME. Vytvoríme dva polia a uložíme do nich adresy štruktúr IMAGE_IMPORT_BY_NAME. Čiže obidva polia obsahujú rovnaké adresy, tzv. duplikáty. Adresu prvého poľa uložíme ako OriginalFirstThunk a adresu druhého poľa uložíme ako FirstThunk.

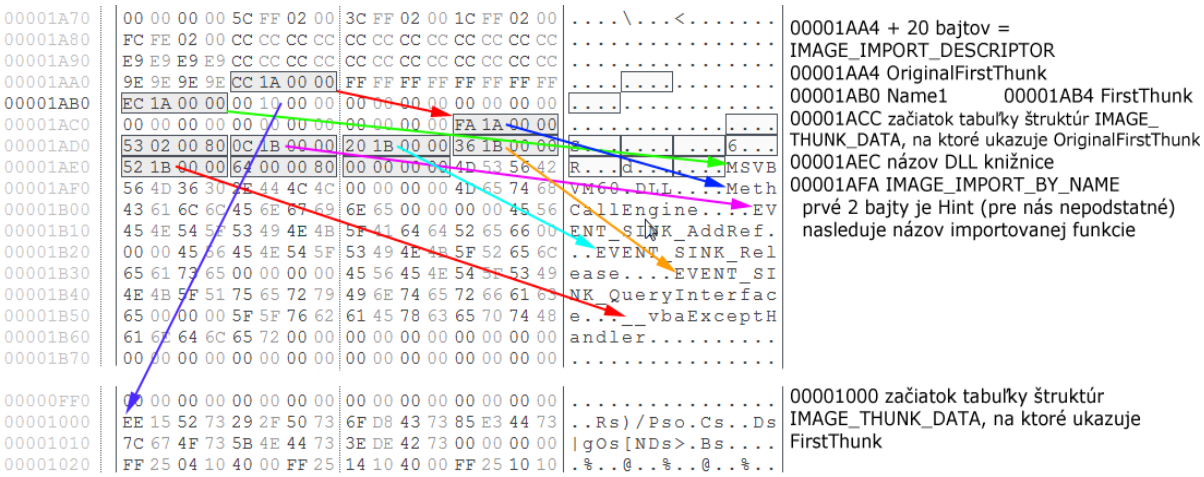
OriginalFirstThunk		**IMAGE_IMPORT_BY_NAME**		**FirstThunk**
|				|
IMAGE_THUNK_DATA	→	**Funkcia 1**	←	IMAGE_THUNK_DATA
IMAGE_THUNK_DATA	→	**Funkcia 2**	←	IMAGE_THUNK_DATA
IMAGE_THUNK_DATA	→	**Funkcia 3**	←	IMAGE_THUNK_DATA
IMAGE_THUNK_DATA	→	**Funkcia 4**	←	IMAGE_THUNK_DATA
…	→	…	←	…
IMAGE_THUNK_DATA	→	**Funkcia n**	←	IMAGE_THUNK_DATA

Počet položiek v poli na ktoré ukazuje OriginalFirstThunk a FirstThunk závisí na funkciách, ktoré PE súbor importuje z DLL knižnice. Napríklad: ak PE súbor importuje 10 funkcie z kernel32.dll, Name1 v štruktúre IMAGE_IMPORT_DESCRIPTOR obsahuje adresu reťazca „kernel32.dll“ a OriginalFirstThunk a FirstThunk ukazuje na polia s 10 položkami.

Ďalšia otázka môže byť: prečo potrebujeme dva úplne rovnaké polia? Aby sme túto otázku zodpovedali potrebujeme vedieť, že keď je PE súbor zavedený do pamäte, PE zavádzač sa pozrie na IMAGE_THUNK_DATA a IMAGE_IMPORT_BY_NAME a zistí adresy importovaných funkcií. Potom prepíše IMAGE_THUNK_DATA v poli, na ktoré ukazuje FirstThunk skutočnými adresami týchto funkcií. [16] Čiže, keď je PE súbor pripravený PE zavádzačom na spustenie, štruktúra sa zmení na:

OriginalFirstThunk		IMAGE_IMPORT_BY_NAME		FirstThunk
|				|
IMAGE_THUNK_DATA	→	**Funkcia 1**	←	Adresa Funkcie 1
IMAGE_THUNK_DATA	→	**Funkcia 2**	←	Adresa Funkcie 2
IMAGE_THUNK_DATA	→	**Funkcia 3**	←	Adresa Funkcie 3
IMAGE_THUNK_DATA	→	**Funkcia 4**	←	Adresa Funkcie 4
…	→	…	←	…
IMAGE_THUNK_DATA	→	**Funkcia n**	←	Adresa Funkcie n

Na obrázku 8.14 vidíme štruktúru importov znázornenú priamo v binárnom súbore Visual Basic 6.



Obr. 8.14 Štruktúra importov v binárnom súbore VB6

```
Imports:
dll[0]    MSVBVM60.DLL
function[0]    MethCallEngine
function[1]    80000253
function[2]    EVENT_SINK_AddRef
function[3]    EVENT_SINK_Release
function[4]    EVENT_SINK_QueryInterface
function[5]    __vbaExceptHandler
function[6]    80000064
```

V tabuľke importov môže byť väčší počet štruktúr IMAGE_IMPORT_DESCRIPTOR, počet týchto štruktúr závisí na počte DLL knižníc, z ktorých importujeme jednotlivé funkcie. Počet IMAGE_IMPORT_DESCRIPTOR štruktúr vieme zistiť jednoducho z dátovej štruktúry Imports, kde je definovaná ich veľkosť v bajtoch. V našom prípade je táto veľkosť 0x00000028 = 40 bajtov. Každá

štruktúra IMAGE_IMPORT_DESCRIPTOR má 20 bajtov a v celkovej veľkosti je zahrnutá aj ukončovacia štruktúra IMAGE_IMPORT_DESCRIPTOR so samými nulami. Čiže počet IMAGE_IMPORT_DESCRIPTOR štruktúr = (veľkosť import tabuľky – 20) / 20, čo je v našom prípade 1. [19][20]

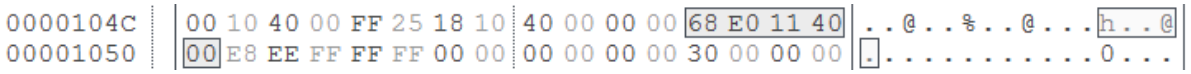
8.3 Informácie o súbore Visual Basic 6

Informácie o súbore skompilovanom vo Visual Basic 6 sa nachádzajú v rôznych štruktúrach, hlavičkách a tabuľkách. K jednotlivým informáciám je možné sa dostať z hlavičky Visual Basic súboru.

8.3.1 Visual Basic hlavička

K hlavičke Visual Basic sa dostaneme nasledovne:

1. Z predchádzajúcich informácií vieme adresu Entry Point, ktorá je v našom prípade 0000104C
2. Na adrese Entry Point sa nachádza inštrukcia push Virtuálna Adresa Visual Basic hlavičky (68 E0 11 40 00). Virtuálna Adresa Visual Basic hlavičky je v našom prípade 004011E0. Skutočnú adresu získame ak od tejto hodnoty odpočítame ImageBase.
   004011E0 – 00400000 = 11E0



Obr. 8.15 Adresa Visual Basic hlavičky pri Entry Pointe

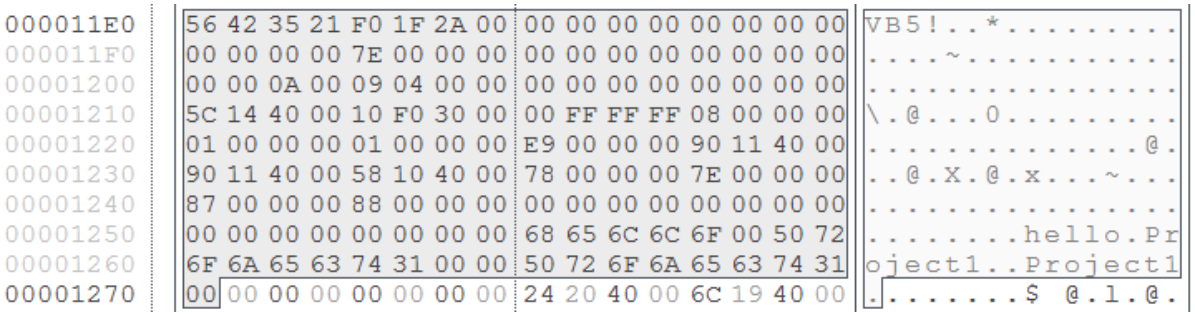
Visual Basic hlavička je hlavný deskriptor ľubovoľného súboru skompilovaného pod Visual Basic. Táto štruktúra obsahuje ofsety, ukazatele a väzby na ostatné dôležité štruktúry v súbore. Taktiež poskytuje dôležité informácie o programe a o použitom jazyku.

Visual Basic hlavička je štruktúra o veľkosti 0x68 = 108 bajtov. V tabuľke 8.2 je znázornená jej štruktúra.

Ofset	Názov	Popis
0x0	szVbMagic	"VB5!" reťazec
0x4	wRuntimeBuild	verzia VB6 Runtime
0x6	szLangDll	jazyková DLL knižnica
0x14	szSecLangDll	druhá jazyková DLL knižnica
0x22	wRuntimeRevision	interná revízia Runtime
0x24	dwLCID	LCID jazykovej DLL knižnice
0x28	dwSecLCID	LCID druhej jazykovej DLL knižnice
0x2C	lpSubMain	ukazateľ na sub hlavný kód
0x30	lpProjectData	ukazateľ na sub Project Data
0x34	fMdlIntCtls	VB príznaky pre ID < 32
0x38	fMdlIntCtls2	VB príznaky pre ID > 32
0x3C	dwThreadFlags	mód vlákien
0x40	dwThreadCount	počet podporovaných vlákien
0x44	wFormCount	počet foriem
0x46	wExternalCount	počet externých prvkov
0x48	dwThunkCount	počet thunk na vytvorenie
0x4C	lpGuiTable	ukazateľ na GUI tabuľku
0x50	lpExternalTable	ukazateľ na externú tabuľku
0x54	lpComRegisterData	ukazateľ na COM informácie
0x58	bSZProjectDescription	ofset na popis projektu
0x5C	bSZProjectExeName	ofset na názov EXE súboru
0x60	bSZProjectHelpFile	ofset na help súbor
0x64	bSZProjectName	ofset na meno projektu

Tabuľka 8.2 Visual hlavička (Visual Basic Header)

Ofset na popis projektu, ofset na názov súboru, ofset na help súbor a ofset na meno projektu sú ofsety od začiatku Visual Basic hlavičky.



Obr. 8.16 Visual Basic hlavička

Visual basic hlavička z nášho súboru obsahuje tieto informácie:

```
VB header:
szVbMagic               VB5!
wRuntimeBuild           21351FF0
szLangDll               2A
szSecLangDll            7E
wRuntimeRevision        A
dwLCID                  409
dwSecLCID               0
lpSubMain               0
lpProjectData           40145C
fMdlIntCtls             30F010
fMdlIntCtls2            FFFFFF00
dwThreadFlags           8
dwThreadCount           1
wFormCount              1
wExternalCount          0
dwThunkCount            E9
lpGuiTable              401190
lpExternalTable         401190
lpComRegisterData       401058
bSZProjectDescription   78
bSZProjectExeName       7E
bSZProjectHelpFile      87
bSZProjectName          88

ProjectDescription      hello
ProjectExeName          Project1
ProjectHelpFile
ProjectName             Project1
```

Hodnota	Názov	Popis
0x1	ApartmentModel	špecifikuje multi-threading Použitiem apartment modelu
0x2	RequireLicense	špecifikuje validáciu licencie (len pre OCX)
0x4	Unattended	špecifikuje, že žiadne GUI prvky nemajú byť inicializované
0x8	SingleThreaded	špecifikuje single-threading
0x10	Retained	špecifikuje, že súbor má byť ponechný v pamäti

Tabuľka 8.3 Módy vlákien pre dwThreadFlags vo VB hlavičke

VB príznaky pre fMdlIntCtls vo VB hlavičke		
Control ID	Hodnota	Názov
0x0	0x1	PictureBox Object
0x1	0x2	Label Object
0x2	0x4	TextBox Object
0x3	0x8	Frame Object
0x4	0x10	CommandButton Object
0x5	0x20	CheckBox Object
0x6	0x40	OptionButton Object
0x7	0x80	ComboBox Object
0x8	0x100	ListBox Object
0x9	0x200	HScrollBar Object
0xA	0x400	VScrollBar Object
0xB	0x800	Timer Object
0xC	0x1000	Print Object
0xD	0x2000	Form Object
0xE	0x4000	Screen Object
0xF	0x8000	Clipboard Object
0x10	0x10000	Drive Object
0x11	0x20000	Dir Object
0x12	0x40000	FileListBox Object
0x13	0x80000	Menu Object
0x14	0x100000	MDIForm Object
0x15	0x200000	App Object
0x16	0x400000	Shape Object
0x17	0x800000	Line Object
0x18	0x1000000	Image Object
0x19	0x2000000	Nepodporované
0x1A	0x4000000	Nepodporované
0x1B	0x8000000	Nepodporované
0x1C	0x10000000	Nepodporované
0x1D	0x20000000	Nepodporované
0x1E	0x40000000	Nepodporované
0x1F	0x80000000	Nepodporované
	2nd Flag Zone	
0x20	0x1	Nepodporované
0x21	0x2	Nepodporované
0x22	0x4	Nepodporované
0x23	0x8	Nepodporované
0x24	0x10	Nepodporované
0x25	0x20	DataQuery Object
0x26	0x40	OLE Object
0x27	0x80	Nepodporované
0x28	0x100	UserControl Object
0x29	0x200	PropertyPage Object
0x2A	0x400	Document Object
0x2B	0x800	Nepodporované

Tabuľka 8.4 VB príznaky pre fMdlIntCtls vo VB hlavičke

8.3.2 Informácie o projekte

Štruktúra informácie o projekte obsahuje užívateľské informácie o projekte ako aj veľmi dôležité informácie (ako napríklad ukazateľ na Tabuľku objektov).

Na štruktúru Informácie o projekte ukazuje ukazateľ lpProjectData, ktorý sa nachádza vo Visual Basic hlavičke.

Informácie o projekte je štruktúra o veľkosti 0x23C = 572 bajtov. V tabuľke 8.5 je znázornená jej štruktúra.

Ofset	Názov	Popis
0x0	dwVersion	verzia 5.00 v hex (0x01F4)
0x4	lpObjectTable	ukazateľ na Tabuľku objektov
0x8	dwNull	nevyužité
0xC	lpCodeStart	ukazateľ na začiatok kódu
0x10	lpCodeEnd	ukazateľ na koniec kódu
0x14	dwDataSize	veľkosť objektových štruktúr Visual Basic
0x18	lpThreadSpace	ukazateľ na ukazateľ na objekt vlákien
0x1C	lpVbaSeh	ukazateľ na VBA Exception Handler
0x20	lpNativeCode	ukazateľ na .DATA sekciu
0x24	szPathInformation	cesta pri kompilácii
0x234	lpExternalTable	ukazateľ na Externú tabuľku
0x238	dwExternalCount	počet objektov v Externej tabuľke

Tabuľka 8.5 Informácie o projekte (The Project Information)

```
Project info:
dwVersion         1F4
lpObjectTable     401274
dwNull                  0
lpCodeStart       401A90
lpCodeEnd         401AA0
dwDataSize        9E0
lpThreadSpace     402000
lpVbaSeh          401026
lpNativeCode            0
szPathInformation c:\Program Files\Microsoft Visual Studio\VB98\Project1.vbp
lpExternalTable2  401190
dwExternalCount   0
```

8.3.3 Sekundárne informácie o projekte

Štruktúra Sekundárne informácie o projekte obsahuje hlavne informácie potrebné pri kompilovaní projektu. Pomocou tejto štruktúry sa tiež dostávame na zoznam Foriem využitých v projekte.

Na štruktúru Sekundárne informácie o projekte ukazuje ukazateľ lpProjectInfo2, ktorý sa nachádza v Tabuľke objektov.

Sekundárne informácie o projekte je štruktúra o veľkosti 0x28 = 40 bajtov. V tabuľke 8.6 je znázornená jej štruktúra.

Ofset	Názov	Popis
0x0	lpHeapLink	nevyužité, vždy 0
0x4	lpObjectTable	ukazateľ na Tabuľku objektov
0x8	dwReserved	nevyužité, vždy -1
0xC	dwUnused	nevyužité
0x10	lpObjectList	ukazateľ na ukazateľe na Objekt Descriptor
0x14	dwUnused2	nevyužité
0x18	szProjectDescription	ukazateľ na popis projektu
0x1C	szProjectHelpFile	ukazateľ na help súbor
0x20	dwReserved2	nevyužité, vždy -1
0x24	dwHelpContextId	Help Context ID nastavené v nastaveniach projektu

Tabuľka 8.6 Sekundárne informácie o projekte (The Secondary Project Information)

```
Project info 2:
lpHeapLink              0
lpObjectTable           401274
dwReserved              -1
dwUnused                0
lpObjectList            401920
dwUnused2               0
szProjectDescription    0
szProjectHelpFile       0
dwReserved2             -1
dwHelpContextId         0
```

8.3.4 Tabuľka objektov

Štruktúra Tabuľka objektov obsahuje ukazateľ na Pole objektov ako aj opakovane Dáta o projekte, pravdepodobne pre rýchlejší prístup k nim. Niektoré z týchto dát sa využívajú len keď je projekt spustený v pamäti (v IDE).

Na štruktúru Tabuľka objektov ukazuje ukazateľ lpObjectTable, ktorý sa nachádza v štruktúre Informácie o projekte.

Tabuľka objektov je štruktúra o veľkosti 0x54 = 84 bajtov. V tabuľke 8.7 je znázornená jej štruktúra.

Ofset	Názov	Popis
0x0	lpHeapLink	nevyužité, vždy 0
0x4	lpExecProj	ukazateľ na VB Project Exec COM Object
0x8	lpProjectInfo2	ukazateľ na Sekundárne Informácie o Projekte
0xC	dwReserved	nevyužité, vždy -1
0x10	dwNull	nevyužité
0x14	lpProjectObject	ukazateľ na Project Data v pamäti
0x18	uuidObject	GUID Objektovej Tabuľky
0x28	fCompileState	interný príznak používaný počas kompilácie
0x2A	dwTotalObjects	počet objektov v projekte
0x2C	dwCompiledObjects	po kompilovaní rovnaké ako dwTotalObjects
0x2E	dwObjectsInUse	po kompilovaní obyčajne rovnaké ako dwTotalObjects
0x30	lpObjectArray	ukazateľ na Public Object Descriptors
0x34	fIdeFlag	príznak použitý v IDE
0x38	lpIdeData	príznak použitý v IDE
0x3C	lpIdeData2	príznak použitý v IDE
0x40	lpszProjectName	ukazateľ na meno projektu
0x44	dwLcid	LCID projektu
0x48	dwLcid2	alternatívne LCID projektu
0x4C	lpIdeData3	príznak použitý v IDE
0x50	dwIdentifier	verzia predlohy štruktúry

Tabuľka 8.7 Tabuľka objektov (The Object Table)

```
Object table:
lpHeapLink        0
lpExecProj        402024
lpProjectInfo2    40196C
dwReserved        -1
dwNull2           0
lpProjectObject   402014
uuidObject        D6-A1-3E-B7-CA-55-1D-4E-83-6B-E4-21-9A-60-1C-B2
fCompileState     A
dwTotalObjects    1
dwCompiledObjects 1
dwObjectsInUse    1
lpObjectArray     4012C8
fIdeFlag          0
lpIdeData         0
lpIdeData2        0
```

```
lpszProjectName   401308
dwLcid            409
dwLcid2           409
lpIdeData3        0
dwIdentifier      2
```

8.3.5 Verejný deskriptor objektu

Štruktúra Verejný deskriptor objektu obsahuje ukazateľ na Pole objektov a opakovane aj Dáta o projekte, pravdepodobne pre rýchlejší prístup k nim. Niektoré z týchto dát sa využívajú len keď je projekt spustený v pamäti (v IDE).

Na štruktúru Verejný deskriptor objektu ukazuje ukazateľ lpObjectArray, ktorý sa nachádza v štruktúre Tabuľka objektov.

Verejný deskriptor objektu je štruktúra o veľkosti 0x54 = 84 bajtov. V tabuľke 8.8 je znázornená jej štruktúra.

Ofset	Názov	Popis
0x0	lpObjectInfo	ukazateľ na informácie o objekte pre tento objekt
0x4	dwReserved	po kompilácii vždy -1
0x8	lpPublicBytes	ukazateľ na Public Integers premennej veľkosti
0xC	lpStaticBytes	ukazateľ na Static Integers premennej veľkosti
0x10	lpModulePublic	ukazateľ na Public premenné v sekcii DATA
0x14	lpModuleStatic	ukazateľ na Static premenné v sekcii DATA
0x18	lpszObjectName	názov objektu
0x1C	dwMethodCount	počet metód v objekte
0x20	lpMethodNames	ukazateľ na pole názvov metód
0x24	bStaticVars	ofset, kde kopírovať Static premenné
0x28	fObjectType	príznaky definujúce typ objektu
0x2C	dwNull	nevyužité

Tabuľka 8.8 Verejný deskriptor objektu (The Public Object Descriptor)

```
Public Object Descriptor:
lpObjectInfo          401698
dwReserved3           -1
lpPublicBytes         401408
lpStaticBytes         0
lpModulePublic        0
lpModuleStatic        0
lpszObjectName        401300
dwMethodCount         2
lpMethodNames         4012F8
```

```
bStaticVars          FFFF
fObjectType          18083
dwNull3              0
```

8.3.6 Informácie o objekte

Štruktúra Informácie o objekte definuje objekty a obsahuje rozličné informácie o jeho metódach a konštantách (v P-kóde).

Na štruktúru Informácie o objekte ukazuje ukazateľ lpObjectInfo, ktorý sa nachádza v štruktúre Verejný deskriptor objektu.

Informácie o objekte je štruktúra o veľkosti 0x38 = 56 bajtov. V tabuľke 8.9 je znázornená jej štruktúra.

Ofset	Názov	Popis
0x0	wRefCount	po kompilácii vždy 1
0x2	wObjectIndex	index tohto objektu
0x4	lpObjectTable	ukazateľ na Tabuľku objektov
0x8	lpIdeData	po kompilácii 0, využité len v IDE
0xC	lpPrivateObject	ukazateľ na Privátny deskriptor objektu
0x10	dwReserved	po kompilácii vždy -1
0x14	dwNull	nevyužité
0x18	lpObject	ukazateľ na Verejný deskriptor objektu
0x1C	lpProjectData	ukazateľ na Projektový objekt v pamäti
0x20	wMethodCount	počet metód
0x22	wMethodCount2	po kompilácii 0, využité len v IDE
0x24	lpMethods	ukazateľ na pole metód
0x28	wConstants	počet konštant bloku konštant
0x2A	wMaxConstants	počet konštant na alokovanie v bloku konštant
0x2C	lpIdeData2	využité len v IDE
0x30	lpIdeData3	využité len v IDE
0x34	lpConstants	ukazateľ na blok konštant

Tabuľka 8.9 Informácie o objekte (The Object Info)

```
Object info:
wRefCount        1
wObjectIndex     0
lpObjectTable    401274
lpIdeData        0
lpPrivateObject  40192C
dwReserved       -1
dwNull           0
```

```
lpObject        4012C8
lpProjectData   40145C
wMethodCount    2
wMethodCount2   0
lpMethods       40171C
wConstants      3
wMaxConstants   20
lpIdeData2      0
lpIdeData3      1EA54C
lpConstants     401710

Methods offsets:
Method[0] offset    4019D8
Method[1] offset    401A44
```

V štruktúre Informácie o objekte sa nachádza ukazateľ `lpConstants`, ktorý ukazuje na pole ofsetov konštánt využívaných v danom objekte. Počet týchto ofsetov konštánt v poli ofsetov konštánt je daný číslom `wConstants`. Každá konštanta začína na ofsete daným v tomto poli a končí hodnotou unicode 00 00.

```
Constants offsets:
Constant[0] offset    401418
Constant[0]   Hello, World!
Constant[1] offset    401020
Constant[1]   □□@□□@□□@□□@□□@□□@□□@
Constant[2] offset    401444
Constant[2]   Ahoj svet!
```

8.3.7 Privátny deskriptor objektu

Štruktúra Privátny deskriptor objektu informácie o objektoch pre konkrétny objekt.

Na štruktúru Privátny deskriptor objektu ukazuje pole ukazateľov, na ktoré ukazuje ukazateľ lpObjectList, ktorý sa nachádza v štruktúre Sekundárne informácie o projekte. Celá táto štruktúra môže byť po kompilácii zmazaná.

Privátny deskriptor objektu je štruktúra o veľkosti 0x40 = 64 bajtov. V tabuľke 8.10 je znázornená jej štruktúra.

Ofset	Názov	Popis
0x0	lpHeapLink	nevyužité, po kompilácii vždy 0
0x4	lpObjectInfo	ukazateľ na informácie o objekte pre tento objekt
0x8	dwReserved	po kompilácii vždy -1
0xC	dwIdeData[3]	po kompilácii nevyužité
0x18	lpObjectList	ukazateľ na nadradenú štruktúru (pole)
0x1C	dwIdeData2	po kompilácii nevyužité
0x20	lpObjectList2[3]	ukazateľ na nadradenú štruktúru (pole)
0x2C	dwIdeData3[3]	po kompilácii nevyužité
0x38	dwObjectType	typ opisovaného objektu
0x3C	dwIdentifier	verzia predlohy štruktúry

Tabuľka 8.10 Privátny deskriptor objektu (The Private Object Descriptor)

8.3.8 COM Registračné dáta

COM Registračné dáta obsahujú informácie o tom, či daný súbor je ActiveX. Ďalej obsahuje dôležité COM Registračné dáta ako Typelib informácie, Designer dáta a CLSID rozhraní.

Na štruktúru COM Registračné dáta ukazuje ukazateľ lpComRegisterData, ktorý sa nachádza v štruktúre Visual Basic hlavička.

COM Registračné dáta je štruktúra o veľkosti 0x2A = 42 bajtov. V tabuľke 8.11 je znázornená jej štruktúra.

Ofset	Názov	Popis
0x0	bRegInfo	ofset na COM interfejs info
0x4	bSZProjectName	ofset na názov projektu
0x8	bSZHelpDirectory	ofset na Help adresár
0xC	bSZProjectDescription	ofset na popis projektu
0x10	uuidProjectClsId	CLSID projektu
0x20	dwTlbLcid	LCID typu knižnice
0x24	wUnknown	neznáme
0x26	wTlbVerMajor	verzia Typelib
0x28	wTlbVerMinor	subverzia Typelib

Tabuľka 8.11 COM Registračné dáta (The COM Registration Data)

```
COM Register Data:
bRegInfo               0
bSZProjectName         30
bSZHelpDirectory       40
bSZProjectDescription  0
```

```
uuidProjectClsId        A5-B3-29-48-E2-72-75-49-A2-B9-28-74-1B-56-B6-48
dwTlbLcid               0
wUnknown                0
wTlbVerMajor            1
wTlbVerMinor            0

ProjectName             Project1
HelpDirectory
```

8.3.9 COM Registračné informácie

Ak je objekt platný a potrebuje byť registrovaný tak štruktúra COM Registračné informácie obsahuje informácie o tomto objekte.

Na štruktúru COM Registračné informácie ukazuje ukazateľ bRegInfo, ktorý sa nachádza v štruktúre COM Registračné dáta. Ak je tento ukazateľ rovný 0, potom neexistuje žiadna štruktúra COM Registračné informácie. V opačnom prípade hodnota bRegInfo je ofset od začiatku štruktúry COM Registračné dáta.

COM Registračné informácie je štruktúra o veľkosti 0x44 = 68 bajtov. V tabuľke 8.12 je znázornená jej štruktúra.

Ofset	Názov	Popis
0x0	bNextObject	ofset na dalšie COM interfejs info
0x4	bObjectName	ofset na názov objektu
0x8	bObjectDescription	ofset na popis objektu
0xC	dwInstancing	Instancing mód
0x10	dwObjectId	aktuálne ID objektu v projekte
0x14	uuidObject	CLSID objektu
0x24	fIsInterface	špcifikuje, či ďalšie CLSID je valídne
0x28	bUuidObjectIFace	ofset na CLSID objektového interfejsu
0x2C	bUuidEventsIFace	ofset na CLSID udalostného interfejsu
0x30	fHasEvents	špcifikuje, či predchádzajúce CLSID je valídne
0x34	dwMiscStatus	OLEMISC príznaky
0x38	fClassType	typ triedy
0x39	fObjectType	príznaky identifikujúce typ objektu
0x3A	wToolboxBitmap32	ID kontrólnej bitmapy v Toolboxe
0x3C	wDefaultIcon	ikona pri minimalizovanom okne Control
0x3E	fIsDesigner	špecifikuje, či sa jedná o Designer
0x40	bDesignerData	ofset na Designer dáta

Tabuľka 8.12 COM Registračné informácie (The COM Registration Info)

```
There is no COM Registration Info present in this file.
```

Ofset	Názov	Popis
0x2	Designer	Visual Basic Designer pre Add-In
0x10	Class Module	Trieda Visual Basic
0x20	User Control	Visual Basic Active X User Control (OCX)
0x80	User Document	Visual Basic užívateľský dokument

Tabuľka 8.13 Príznaky identifikujúce typ objektu vo fObjectType

Môžu existovať aj iné príznaky identifikujúce Visual Basic Objekty, avšak tieto sa v danej štruktúre nevyskytujú.

8.3.10 COM Designer informácie

Ak je objekt typu Designer (používané pre Add-In) potom je štruktúra COM Registračné informácie nasledovaná štruktúrou COM Designer.

COM Designer informácie je štruktúra premenlivej veľkosti. V tabuľke 8.14 je znázornená jej štruktúra.

Ofset	Názov	Popis
0x0	uuidDesigner	Addin/Desginer CLSID
0x10	cbStructSize	celková veľkosť nasledujúcich polí
0x14	bstrAddinRegKey	registračný kľúč Addin
VAR	bstrAddinName	názov Addin
VAR	bstrAddinDescription	popis Addin
VAR	dwLoadBehaviour	CLSID objektu
VAR	bstrSatelliteDll	satelitné DLL, ak je špecifikované
VAR	bstrAdditionalRegKey	Extra registry kľúč, ak je špecifikovaný
VAR	dwCommandLineSafe	ak je 1, špecifikuje Addin bez GUI

Tabuľka 8.14 COM Designer informácie (The COM Designer Info)

Pri čítaní štruktúry COM Designer informácie jednoducho načítame hodnotu na ofsete 0x14, čo je dĺžka Add-In registračného kľúča. Túto hodnotu potom pripočítame ku súčasnému ofsetu a tak dostaneme ofset dĺžky názvu Add-In. Ak toto číslo znova pripočítame k nášmu novému ofsetu, dostaneme sa na popis Add-In. Nasledujúca hodnota je Load Behavior, dĺžky 4 bajty nasledovaná dĺžkou názvu setelitného DLL. Ak je táto hodnota rovná 0, tak sa jedná o Extra registry kľúč. Ak je aj táto hodnota rovná 0, jedná sa o hodnotu `dwCommandLineSafe`. [17][26][27][29][30][31]

8.3.11 Prehľad štruktúry binárneho súboru Visual Basic 6

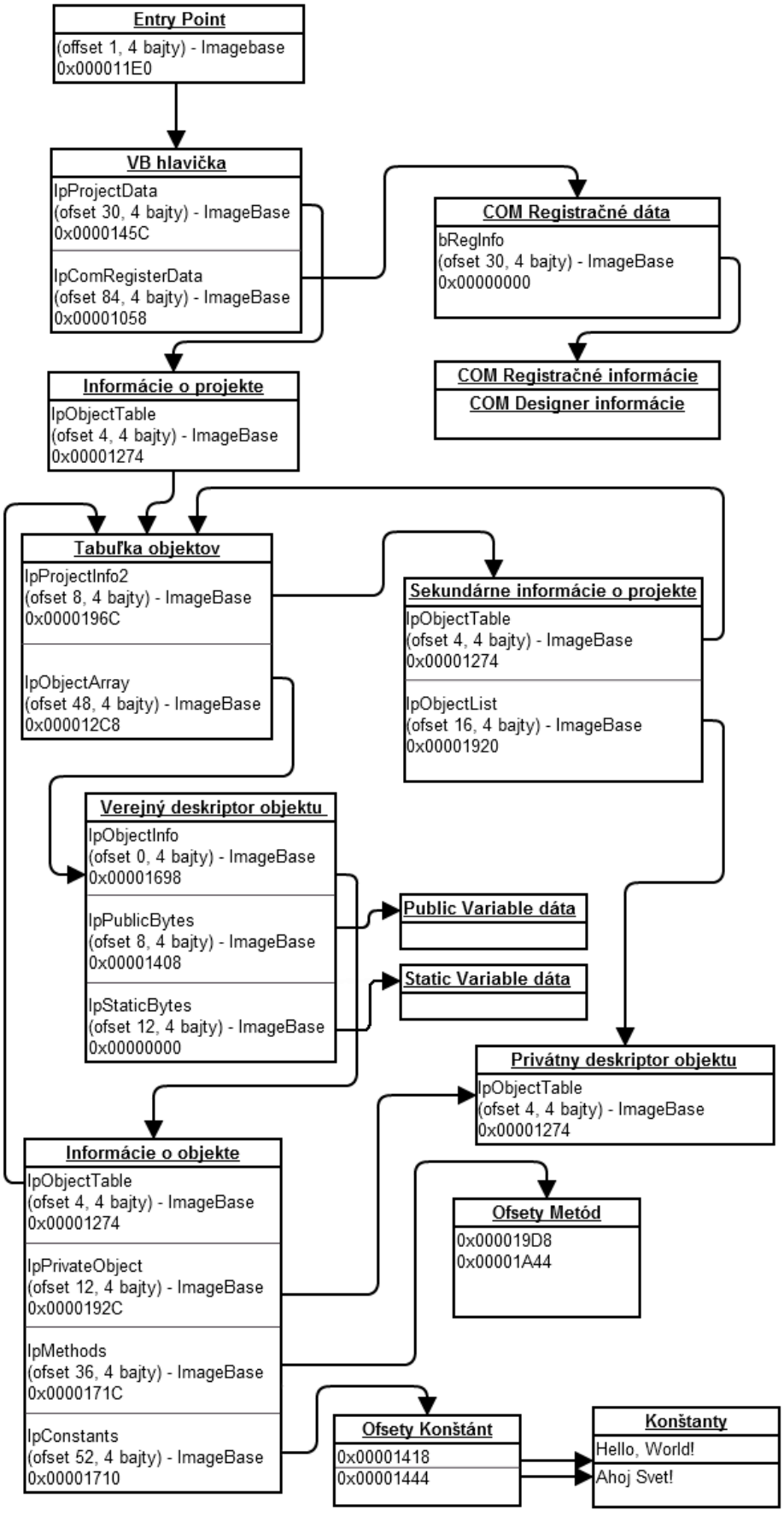
Pomocou predchádzajúcich informácii sme schopní načrtnúť štruktúru binárneho súboru Visual Basic 6, ktorú môžeme vidieť na obrázku 8.18.

Tento obrázok detailne popisuje prepojenie štruktúr Visual Basic 6. Sú v ňom uvedené konkrétne hodnoty ofsetov, na ktorých sa nachádzajú informácie o ďalších štruktúrach. Taktiež sú tu uvedené konkrétne hodnoty z referenčného súboru skompilovaného pod Visual Basic 6 „p-code2.exe“.

Informácie sú uvedené vo formáte uvedenom na obrázku 8.17.

Názov štruktúry
Názov položky v štruktúre (Ofset položky v štruktúre, dĺžka položky) – ak od tejto hodnoty odrátame ImageBase dostaneme adresu štruktúry, na ktorú ukazuje šípka v obrázku Konkrétna adresa odkazovanej štruktúry v súbore „p-code2.exe"

Obr. 8.17 Formát uvedených informácii na obrázku 8.18



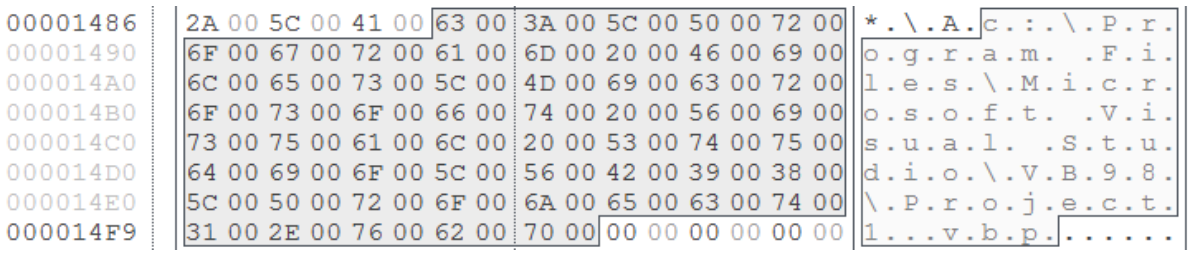
Obr. 8.18 Štruktúra binárneho súboru Visual Basic 6

8.4 Praktické riešenie

Program je implementovaný v jazyku C# vo vývojovom prostredí Microsoft Visual Studio 2010 pod operačným systémom Microsoft Windows 7 64bit.

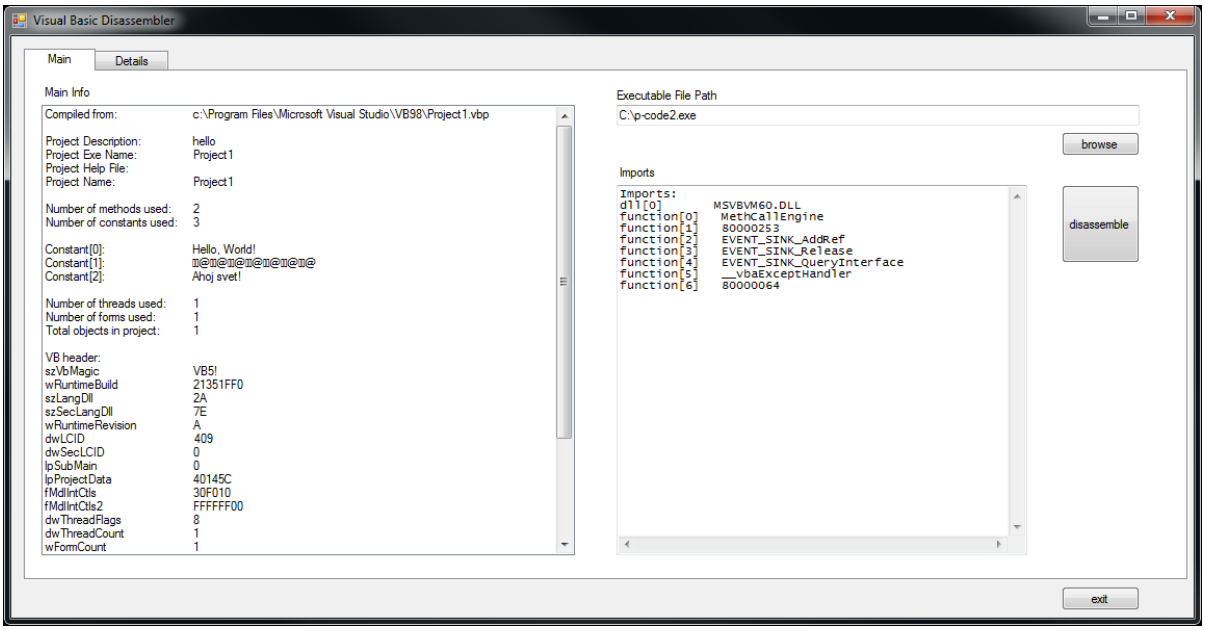
Pri jeho vývoji sa vyskytli mnohé problémy. V dobe vývoja tohto programu neexistoval žiaden prehľad o štruktúre binárnych súborov Visual Basic 6 a preto bol celý vývoj tohto programu spojený s poznávaním a analýzou štruktúr binárnych súborov Visual Basic 6.

Okrem tohto problému sa vyskytli mnohé menšie problémy ako bol napríklad problém načítavania UNICODE textového reťazca bez poznania jeho dĺžky. UNICODE textový reťazec je v binárnom súbore definovaný 2 bajtmi.



Obr. 8.19 Unicode textový reťazec v binárnom súbore

Okno programu sa skladá z dvoch záložiek, sú to záložka Main a záložka Details. V záložke Main po stlačení tlačidla browse sa nám otvorí dialógové okno pre výber súboru na analýzu. Po stlačení tlačidla disassemble program zanalyzuje všetky známe štruktúry binárnych súborov Visual Basic 6 a najdôležitejšie informácie ako aj hlavičku Visual Basic vypíše do okna Main info. V okne Imports sú vypísané dll knižnice a funkcie, ktoré program využiva pri svojom behu. Ukážku môžeme vidieť na obrázku 8.20.

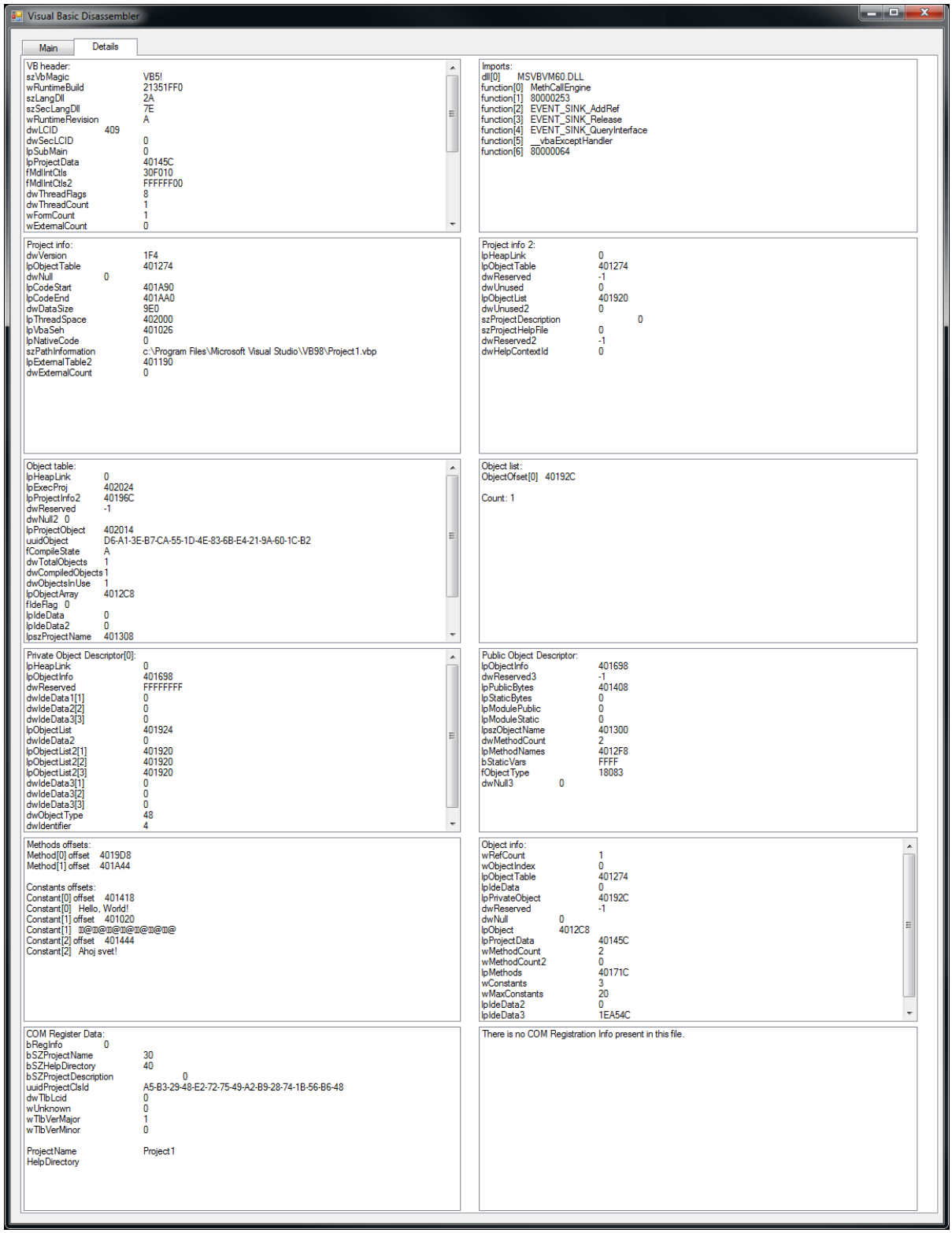


Obr. 8.20 Visual Basic disassembler záložka Main

Po kliknutí na záložku Details, môžeme vidieť podrobné informácie o jednotlivých štruktúrach binárnych súborov Visual Basic 6. Sú to štruktúry:

- Visual Basic hlavička (kapitola 8.4.1)
- Importy (kapitola 8.3)
- Informácie o projekte (kapitola 8.4.2)
- Sekundárne informácie o projekte (kapitola 8.4.3)
- Tabuľka objektov (kapitola 8.4.4)
- Zoznam objektov (kapitola 8.4.4)
- Privátny deskriptor objektu (kapitola 8.4.7)
- Verejný deskriptor objektu (kapitola 8.4.5)
- Metódy a konštanty (kapitola 8.4.6)
- Informácie o objekte (kapitola 8.4.6)
- COM Registračné dáta (kapitola 8.4.8)
- COM Registračné informácie (kapitola 8.4.9)

Ukážku výstupu programu zo záložky Details vidíme na obrázku 8.21.



Obr. 8.21 Visual Basic disassembler záložka Details

8.5 Praktické využitie

Pomocou tohto programu vieme získať textové reťazce, konštanty a ďalšie užitočné informácie používané v programoch kompilovaných pomocou Visual Basic 6.

Existujú funkčné algoritmické detekcie, ktoré na základe týchto informácii dokážu vyhodnotiť, či sa jedná o štandardný neškodný program alebo o užívateľovi škodlivý program malware. Toto je možné vyhodnocovať, na základe používania rovnakých prvkov, ktoré sú pri mnohých škodlivých programoch nutnosťou alebo aj lenivosťou programátorov malware. V mnohých prípadoch sa jedná o vývoj programov zo šablón, kde je možné s minimálnym úsilím program prispôsobiť svojim požiadavkám na funkčnosť. Poznanie štruktúry týchto šablón výrazne napomáha detekcií takto vytvorených súborov malware. Jedná sa napríklad o typické škodlivé súbory typu banker, ktoré sú veľmi rozšírené v Brazílii.

Taktiež do tejto kategórie spadajú aj škodlivé súbory typu „fakeanti“. Jedná sa o programy, ktoré vyzerajú ako známe Antivírusy alebo Anti Spam programy, avšak nimi zobrazené výsledky slúžia na zmätenie užívateľa. Tieto programy zobrazujú výstrahy napadnutia počítača, ktorý v skutočnosti napadnutý nie je. Po zakúpení licencie sľubujú odstránenie týchto napadnutí. Užívateľ v mnohých prípadoch týmto výstrahám uverí a daný „fakeanti“ program si zakúpi v domnení, že tak svojmu počítaču pomôže. Opak je však pravdou.

9 Záver

Cieľom tejto diplomovej práce bolo zanalyzovať binárny formát programovacieho jazyka Visual Basic, zorientovať sa v kódoch do akých vie kompilovať, navrhnúť spôsob analýzy a disassemblingu týchto súborov. Najväčším problémom bola nedostupnosť akýchkoľvek verejných dokumentov, ktoré by sa zaoberali štruktúrou týchto súborov. Firma Microsoft, ktorá tento formát navrhla a vyvíjala nezostavila žiadnu praktickú dokumentáciu. Nakoľko je tento formát zastaraný a v dnešnej dobe už pri bežnom programovaní takmer nepoužívaný, neexistuje takmer žiaden záujem o jeho spätnú špecifikáciu. Aj napriek tomu sa tento formát podarilo zanalyzovať a bol navrhnutý spôsob ďalšej analýzy binárnych súborov Visual Basic 6 pomocou existujúcich nástrojov. Na základe tejto analýzy bol podrobne popísaný binárny formát Visual Basic 6. Táto analýza obsahovala zhrnutie množstva poznatkov nadobudnutých čítaním mnohých fór, využívaním metód reverzného inžinierstva pri analýze samotných Visual Basic 6 súborov, ako aj analýze iných programov na analýzu týchto súborov. Rovnako si táto analýza vyžadovala neustále skúmanie viacerých binárnych súborov Visual Basic 6 a premýšľanie o tom, čo môžu jednotlivé položky, ofsety a adresy označovať.

Prínosom tejto práce je podrobný popis štruktúr, ktoré sa nachádzajú v binárnych súboroch skompilovaných pomocou Visual Basic 6. Bol vytvorený podrobný prehľad týchto štruktúr a taktiež popísaný presný postup ako sa ku konkrétnym informáciám, položkám a premenným dopracovať. Rovnako sú uvedené informácie, kde v spustiteľnom súbore sa tieto položky nachádzajú a ako ich spracovať.

Pomocou týchto informácií bol implementovaný nástroj, ktorý dokáže tieto štruktúry spracovať a získať dáta veľmi potrebné na analýzu binárnych súborov. Pomocou týchto dát na základe rôznych heuristických metód je možné s veľkou pravdepodobnosťou určiť, či sa jedná o bežný Visual Basic program alebo či sa jedná o užívateľovi škodlivý súbor malware. Funkčnosť tohto nástroja bola overená na rôznych súboroch skompilovaných v prostredí Visual Basic 6 ako aj rôznych užívateľovi škodlivých súborov malware.

Prínosom pre autora bolo zoznámenie sa so štruktúrou spustiteľných súborov, s ich analýzou a spracovaním štruktúr a informácií, ktoré tieto súbory obsahujú. Rovnako bolo prínosom aj pochopenie princípov spúšťania spustiteľných súborov pod operačným systémom Windows a princípy fungovania binárnych súborov Visual Basic 6 a mnoho iných informácii o spustiteľných súboroch, vrátane binárnych súborov VB 6.

V prípade pokračovania práce na tomto nástroji je možné skúmať štruktúry binárnych súborov Visual Basic do väčšej hĺbky a tým získať viac informácii o súboroch, na základe ktorých by bolo možné presnejšie určiť, čo konkrétny program robí bez toho aby bol spustený. Pomocou informácii uvedených v práci je možné pokračovať v ďalšej podrobnejšej analýze a získať informácie o ďalších štruktúrach, procedúrach, premenných a funkciách, ktoré sa v binárnom súbore Visual Basic 6 ešte môžu vyskytovať. Rovnako je možné pochopiť prepojenie a nadväznosť týchto štruktúr a vytvoriť komplexný pohľad na funkcionalitu analyzovaných súborov.

Vytvorený nástroj pomôže pri statickej analýze binárnych súborov Visual Basic 6 a znalosť štruktúr týchto binárnych súborov napomôže ďalšiemu vývoju nástrojov na automatickú heuristickú analýzu.

Literatúra

[1] Microsoft Portable Executable and Common Object File Format Specification [online]. 2010-09-21 [cit. 2011-01-01] Dostupné na URL: http://www.microsoft.com/whdc/system/platform/firmware/PECOFF.mspx

[2] The Portable Executable File Format [online]. [cit. 1.1.2011] Dostupný z WWW: http://www.csn.ul.ie/~caolan/publink/winresdump/winresdump/doc/pefile.html

[3] Tiny PE, Creating the smallest possible PE executable [online]. [cit. 1.1.2011] Dostupný z WWW: http://www.phreedom.org/solar/code/tinype/

[4] McKinney, Bruce, 1953: *Hardcore Visual Basic 2nd ed*. Redmond, Washington, Microsoft Press, 1997. ISBN 1-57231-422-2

[5] Eilam, Eldad: *Reversing: Secrets of Reverse Engineering*. Indianapolis, Wiley Publishing, Inc., 2005. ISBN-10: 0-7645-7481-7, ISBN-13: 978-0-7645-7481-8

[6] Vrátil, Zdeněk: *Assembler PC*. Sokolov, GETHON audio and computer, 1997, 442 s.

[7] Eagle, Chris: *The IDA Pro Book*. San Francisco, No Starch Press, Inc., 2008. ISBN-10: 1-59327-178-6, ISBN-13: 978-1-59327-178-7

[8] Schwarz, Benjamin; Debray, Saumya; Andrews, Gregory: *Disassembly of Executable Code Revisited*. 10 s.

[9] Sulaiman, A.; Ramamoorthy, K.; Mukkamala, S.; Sung, A.H.: *Disassembled Code Analyzer for Malware*. 6 s.

[10] Petzold, Charles: *Programming Windows Fifth Edition*. Redmond, Washington, Microsoft Press, 1998. ISBN 1-57231-995-X

[11] Overview of the Windows API [online]. [cit. 2011-01-07] Dostupný z WWW: http://msdn.microsoft.com/en-us/library/Aa383723

[12] Yason, Mark Vincent: The Art of unpacking. [online]. [cit. 2011-01-07] Dostupný z WWW: http://www.blackhat.com/presentations/bh-usa-07/Yason/Whitepaper/bh-usa-07-yason-WP.pdf

[13] Atkinson, Ian: The Microsoft Windows API, 2000. [online]. [cit. 2011-01-07] Dostupný z WWW: http://myweb.msoe.edu/~barnicks/courses/cs384/papers19992000/atkinsoi-atkinsoi_term_paper.pdf

[14] Visual Basic Concepts, Compiling Your Project to Native Code [online]. [cit. 2011-01-08] Dostupný z WWW: http://msdn.microsoft.com/en-us/library/aa240843.aspx

[15] Eriksson, David: Designing an object-oriented decompiler: Decompilation support for Interactive Disassembler Pro [online]. [cit. 2011-01-08] Dostupný z WWW: http://desquirr.sourceforge.net/desquirr/desquirr_master_thesis.pdf

[16] P-Code Versus Native Code [online]. [cit. 2011-01-08] Dostupný z WWW: http://vb.mvps.org/hardcore/html/p-codeversusnativecode.htm

[17] Karve, Sanchit: DISASSEMBLING VISUAL BASIC APPLICATIONS [online]. [cit. 2011-01-08] Dostupný z WWW: http://www.dreamincode.net/forums/index.php?app=core&module=attach&section=attach&attach_id=3198&s=4d1b6e454afa142c3d9156729e9fb751

[18] Watanabe, Tsuyoshi: How to write a disassembler [online]. 1999-01-XX [cit. 2011-01-09] Dostupný z WWW: http://www.spiralspace.com/Depot/Projects/Disassembler/Default.aspx

[19] Iczelion's Win32 Assembly Tutorial 6: Import Table [online]. [cit. 2011-04-05] Dostupný z WWW: http://win32assembly.online.fr/pe-tut6.html

[20] PE Files Import Table Rebuilding [online]. 1999-07-18 [cit. 2011-04-25] Dostupný z WWW: http://www.reverse-engineering.info/PE_Information/rebuild.txt

[21] THE PORTABLE EXECUTABLE FORMAT [online]. [cit. 2011-04-27] Dostupný z WWW: http://www.nikse.dk/petxt.html

[22] Albertini, Ange: the PE format [online]. [cit. 2011-04-29] Dostupný z WWW: http://corkami.googlecode.com/files/pe.pdf

[23] PE File Structure [online]. [cit. 2011-05-02] Dostupný z WWW: http://www.thehackademy.net/madchat/vxdevl/papers/winsys/pefile/pefile.htm

[24] Danehkar, Ashkbiz: Inject Your Code to a Portable Executable File [online]. [cit. 2011-05-04] Dostupný z WWW: http://www.codeguru.com/cpp/w-p/system/misc/article.php/c11393

[25] MSDN IMAGE_DATA_DIRECTORY Structure [online]. [cit. 2011-05-06] Dostupný z WWW: http://msdn.microsoft.com/en-us/library/ms680305(v=vs.85).aspx

[26] Ionescu, Alex: Visual Basic Image Internal Structure Format [online]. [cit. 2011-05-15] Dostupný z WWW: http://www.alex-ionescu.com/vb.pdf

[27] Decompiler-VB.net - VBReFormer USER MANUAL [online]. [cit. 2011-05-15] Dostupný z WWW: http://www.decompiler-vb.net/documentation%5CVBReFormer%20-%20Help.pdf

[28] Scambray, Joel; McClure, Stuart; Kurtz, George: *Hacking bez tajemství. 2. Aktualizované vydání*. Praha Computer Press, 2000. Xxv, 625 s. ISBN-80-7226-644-6

[29] Nikishin, Andy; Pavlyushchik, Mike: Generic Detection for Visual Basic Internet Worms [online]. [cit. 2011-05-16] Dostupný z WWW: http://www.virusbtn.com/pdf/magazine/2002/200201.pdf

[30] Marko, Richard, ESET Software, Slovakia: VB Wearing the Inside Out [online]. [cit. 2011-05-16] Dostupný z WWW: http://www.virusbtn.com/pdf/magazine/2002/200206.pdf

[31] Wong, Reginald: vb.idc (for Visual Basic 5/6) [online]. [cit. 2011-05-16] Dostupný z WWW: http://www.hex-rays.com/idapro/freefiles/vb.idc

[32] Choi, Yang-seo; Kim, Ik-kyun; Oh, Jin-tae; Ryou Jae-cheol: PE File Header Analysis-Based Packed PE File Detection Technique (PHAD) [online]. [cit. 2011-05-16] Dostupný z WWW: http://www.computer.org/portal/web/csdl/doi/10.1109/CSA.2008.28