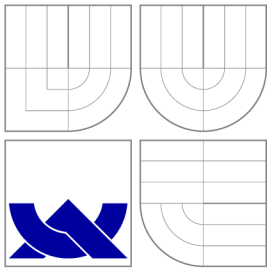
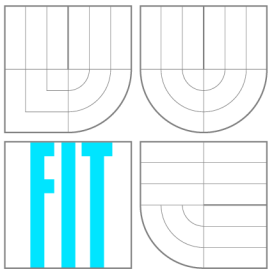


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV INFORMAČNÍCH SYSTÉMŮ
FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF INFORMATION SYSTEMS

OBNOVA HESEL ARCHIVŮ ZIP S VYUŽITÍM GPU

PASSWORD RECOVERY OF ZIP ARCHIVES USING GPU

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE — VOJTĚCH VEČEŘA
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — Ing. RADEK HRANICKÝ
SUPERVISOR

BRNO 2016

Zadání bakalářské práce/18211/2015/xvecer18

Vysoké učení technické v Brně - Fakulta informačních technologií

Ústav informačních systémů Akademický rok 2015/2016

Zadání bakalářské práce

Řešitel: **Večeřa Vojtěch**
Obor: Informační technologie
Téma: **Obnova hesel archivů ZIP s využitím GPU**
Password Recovery of ZIP Archives Using GPU
Kategorie: Bezpečnost

Pokyny:

1. Seznamte se s architekturou a implementací nástroje Wrathion.
2. Analyzujte techniky šifrování archivů ZIP a 7-ZIP.
3. Navrhněte rozšíření nástroje Wrathion o podporu dosud nepodporovaných metod šifrování archivu ZIP a modul pro archivy typu 7-ZIP.
4. Navržené rozšíření implementujte (včetně kódu pro akceleraci pomocí GPU).
5. Proveďte měření výkonu nástroje na nově přidaných formátech a výsledky porovnejte s konkurenčními nástroji.
6. Zhodnoťte dosažené výsledky.

Literatura:

- PHONG, Pham H. Password recovery for encrypted ZIP archives using GPUs. In: *SoICT'10. Proceedings of the 2010 Symposium on Information and Communication Technology*. New York: ACM 2010. s. 28-33. ISBN 978-1-4503-0105-3.
- MENEZES, Alfred J., VAN OORSCHOT, Paul C., VANSTONE, Scott A. Handbook of Applied Cryptography. Boca Raton (Florida): CRC Press 1999. 810 s. ISBN 978-8189836122.
- A další dle dohody s vedoucím.

Pro udělení zápočtu za první semestr je požadováno:

- Body 1 až 3.

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

Technická zpráva bakalářské práce musí obsahovat formulaci cíle, charakteristiku současného stavu, teoretická a odborná východiska řešených problémů a specifikaci etap (20 až 30% 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: **Hranický Radek, Ing.**, UIFS FIT VUT
Datum zadání: 1. listopadu 2015
Datum odevzdání: 18. května 2016

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
Fakulta informačních technologií
Ústav informačních systémů
612 66 Brno, Božetěchova 2

L.S.

doc. Dr. Ing. Dušan Kolář
vedoucí ústavu

Abstrakt

Cílem této práce bylo rozšířit nástroj Wrathion o dosud nepodporované metody šifrování formátu .ZIP a přidat podporu formátu .7z. Práce obsahuje popis použitých technologií a detailní analýzu zabezpečení těchto formátů, stejně tak jako popis návrhů a implementace rozšiřujících modulů. Funkcionalita byla experimentálně ověřena na reálných zařízení. Výsledky měření zahrnují měření doby obnovy hesel, výkonu a zrychlení. Součástí práce je také srovnání s jinými existujícími nástroji.

Abstract

The main goal of this thesis was to expand tool Wrathion by adding yet unsupported encryption methods of .ZIP format and by adding support for .7z format. This thesis contains the description of used technologies, detailed analysis of formats denoted above, as well as the description of module designs and implementations. All functionalities were tested on real devices. The measurement results contain information about time needed for password recovery, performance and acceleration of the password recovery. The thesis also covers comparison with other known tools.

Klíčová slova

ZIP, 7z, obnova hesel, archiv, GPU, OpenCL, šifrování

Keywords

ZIP, 7z, password recovery, archive, GPU, OpenCL, encrypting

Citace

VEČEŘA, Vojtěch. *Obnova hesel archivů ZIP s využitím GPU*. Brno, 2016. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta informačních technologií. Vedoucí práce Hranický Radek.

Obnova hesel archivů ZIP s využitím GPU

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto technickou zprávu vytvořenou v rámci semestálního projektu vypracoval samostatně pod vedením pana Ing. Radka Hranického. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

.....
Vojtěch Večeřa
16. května 2016

Poděkování

Chtěl bych poděkovat Ing. Radku Hranickému za odborné vedení, cenné rady, trpělivost, vstřícnost při konzultacích a řešení problémů, projevenou ochotu a pomoc při kompletování této práce.

Obsah

Kapitola 1

Úvod

Zajištění důvěrnosti informací je v dnešní době často se vyskytujícím tématem na poli informačních technologií. Ať už se bavíme o zabezpečení dat při přenosu po síti nebo o zabezpečení lokálně uložených dat. Často potřebujeme sdílet informace, ale chceme zajistit, že je budou schopny přečíst pouze osoby, které jsou k tomu pověřené.

Výše uvedeného lze dosáhnout šifrováním informací. V dnešní době existuje nespočet možností, jak informace šifrovat. Kvalitu zabezpečení dat značně ovlivňuje výběr použitého šifrovacího algoritmu a dostatečně silného hesla. Pokud použijeme slabou šifru a silné heslo, šance, že se k našim datům dostane neoprávněná osoba se obvykle výrazně sníží, než když to uděláme naopak.

Často chceme sdílet nebo zabezpečit více než jeden soubor s informacemi. Obecně se pro spojení více souborů různého typu do jednoho celku používají archivy. Jedněmi z nejrozšířenějších typů souborových archivů jsou formáty .ZIP a .7z.

Tato práce se převážně zabývá analýzou používaných metod zabezpečení a šifrovacích algoritmů u těchto formátů a následně získáváním hesel k takto zabezpečeným souborům. Výsledky analýz jsou použity pro návrh rozšiřujících modulů nástroje *Wrathion*. Práce se také zabývá přiblížením paralelismu a problémů s ním spojených. Jsou zde také popsány základní principy a struktury standardu a frameworku OpenCL. Tyto informace jsou použity při návrhu a implementaci rozšiřujících modulů.

V kapitole 2 se podíváme na šifrovací a hešovací metody používané formáty archivů. V kapitole 3 si přiblížíme technologii OpenCL, která je použita pro akceleraci pomocí grafické karty v nástroji *Wrathion*. Ten je popsán v kapitole 4. V kapitole 5 jsou zanalyzovány formáty .ZIP a .7z. Na základě poznatků z analýz jsou v kapitole 6 vytvořeny návrhy rozšiřujících modulů *Wrathionu*. V kapitole 7 se seznámíme s implementovanými třídami, OpenCL kernely a dalšími implementačními detaily. V závěrečné kapitole 8 nalezneme informace o výkonu nových modulů, jejich srovnání s konkurencí a demonstraci, proč používáme GPU akceleraci k obnově hesel.

Kapitola 2

Metody pro šifrování a hešování

Pojmy „šifrování“ a „hešování“ vyjadřují dva různé přístupy k zabezpečení informací. Oba pojmy vyjadřují použití algoritmů nebo funkcí navrhnutých na základě kryptografických pravidel.

2.1 Šifrování

Pokud potřebujeme zabezpečit data tak, aby během přenosu nebyla čtena neoprávněnou osobou, která by mohla data jakkoliv získat, bavíme se o šifrování. Pro šifrování potřebujeme heslo, které použijeme pro zamaskování informací tak, aby původní zpráva nebyla čitelná. V případě šifrování však potřebujeme umět data znovu odmaskovat a tím je udělat čitelnými [8]. Podle toho jak je prováděno maskování dat rozlišujeme metody na dva typy:

- Symetrické šifry – pro šifrování i dešifrování jsou použity stejné klíče (hesla). Nejznámější metodou je DES, která byla vytvořena v roce 1975 společností IBM. Posléze byla standardizována. V současnosti se již skoro nepoužívá, dala ovšem základ dalším používaným šifrovacím metodám. Mezi další známé symetrické šifry patří např.: 3DES, AES, RC4 a jiné.

- Asymetrické šifry – v tomto případě je pro šifrování a dešifrování použit jiný klíč. Tento mechanismus našel své uplatnění hlavně v elektronických podpisech. Ty používají tzv. veřejný klíč a klíč soukromý. Pokud chceme zamaskovat informace použijeme veřejný klíč pro šifrování a soukromý pro dešifrování. Opačná kombinace klíčů slouží k ověření dat a k šifrování.

2.1.1 Triple Data Encryption Algorithm (TDEA, 3DES)

Jedná se o rozšířenou verzi metody DES[1]. K vytvoření této metody došlo na základě nedostatečné bezpečnosti metody DES proti útokům hrubou silou. Jedním z požadavků na novou metodu byla zpětná kompatibilita s metodou DES tak, aby společnosti nemusely výrazněji upravovat své systémy.

TDEA je symetrická bloková šifra využívající kryptografické jádro DES k šifrování 64–bitového bloku dat. Metoda pracuje s 64–bitovým klíčem, ovšem pro šifrování je použito pouze 56 bitů, zbylé bity slouží k detekci chyb.

[1] Specifikace na http://csrc.nist.gov/publications/fips/fips46-3/fips46-3.pdf

Metoda používá tři 56–bitové klíče pro své operace. Jednotlivé klíče jsou použity v různých krocích zpracování vstupních dat. Mezi nejpoužívanější režim lze považovat 3DES–EDE. Zkratku EDE popisují následující kroky:

1. šifrování dat pomocí klíče K1,
2. dešifrování dat pomocí klíče K2,
3. šifrování dat pomocí klíče K3.

Metoda může být použita v režimech:

- Klíče jsou reprezentovány na 168 bitech a jsou definovány jako K1 $\neq$ K2, K2 $\neq$ K3 a K1 $\neq$ K3. Každý klíč je tedy unikátní.
- Klíče jsou reprezentovány na 112 bitech. Zde jsou definovány jako K1 = K3 a K1 $\neq$ K2.
- Posledním režimem je použití jednoho 56–bitového klíče, tedy K1 = K2 = K3.

První dva režimy jsou jedinými možnostmi schválenými standardem jako dostatečné bezpečné. Třetí režim je použit pouze pro kompatibilitu s DES. Pokud se totiž podíváme na prováděné kroky tak zjistíme, že pokud jsou všechny klíče identické je výstup TDEA identický s výstupem DES při použití stejného klíče [5].

2.1.2 Advanced Encryption Standard (AES)

Tento standard byl vytvořen kvůli nedostatkům šifrovací metody Triple DES v síle šifrování a v rychlosti šifrování dat. Původní název této šifrovací metody je Rijndael. Metoda Rijndael byla vybrána institutem National Institute of Standards and Technology jako nejlépe vyhovující metoda ze všech přihlášených. Standard byl publikován v roce 2001 [1].

Jedná se o symetrickou blokovou šifru používající 128–bitový datový blok s proměnnou délkou šifrovacího hesla. Délka hesla může být 128, 192 nebo 256 bitů. To je reflektováno v používaných zkratkách (AES–128, AES–192, AES–256). Metoda pracuje s daty po bajtech, které případně organizuje do polí nebo dvoudimenzionálních polí bajtů. V metodě AES je použito dvoudimenzionální pole skládající se ze čtyř řádků, z nichž každý obsahuje čtyři bajty. Toto dvou dimenzionální pole je nazýváno *State*.

Na začátku šifrování se nakopírují data ze vstupu do pole *State* a nastaví se počet kol pro generování klíče. Poté je, tato hodnota použita k provedení daného počtu iterací při generování AES šifrovacího klíče. Počet opakování funkce je 10–krát pro 128–bitový klíč, 12–krát pro 192–bitový klíč a 14–krát pro 256–bitový klíč. Funkce se skládá ze čtyř bajtově–orientovaných transformací:

1. nahrazení bajtů pomocí nahrazovací tabulky – nelineární nahrazení bajtů, které funguje nezávisle pro každý byte pole *State*,
2. posun řádků pole *State* o různou hodnotu (offset) – je použit cyklický posun (rotace) vlevo, kde velikost posunu je rovna indexu řádku pole, tedy 0 až 3,
3. smíchání dat v rámci každého sloupce pole *State* – každý sloupec je považován za samostatný polynom čtvrté úrovně, nad kterým jsou prováděny operace,
4. přidání klíče pro kolo (*Round Key*) k poli *State* – klíče pro kolo jsou přidávány pomocí bitové operace XOR provedené nad sloupci pole.

Pro dešifrování je použita inverzní funkce, a protože se jedná o symetrickou šifru, je pro dešifrování použito stejné heslo jako pro šifrování.

2.2 Hešování

Hešování se používá k jednosměrnému zabezpečení dat nelze je tedy zpětně dešifrovat. V tomto případě se nepoužívají klíče pro zabezpečení dat. Jde o kombinaci logických funkcí, bitových rotací, posunů a záměny posloupnosti bitů. Úkolem těchto metod je na vstupu přijmout zprávu o jakékoliv velikosti a na výstup produkovat zprávu o pevné délce. Výsledek takovéto funkce je nazýván heš (hash) nebo také otisk.

V případě optimální hešovací funkce nelze pro dvě různé vstupní zprávy obdržet identické zprávy výstupní. Toho lze využít pro bezpečné uložení informací, které není nutné někdy v budoucnosti převést do původního stavu. Těchto vlastností se využívá například při ukládání hesel nebo ověřování, zda nedošlo při přenosu k modifikaci dat. Do této skupiny patří funkce: MD4, MD5, SHA–1, SHA–2 a jiné [8].

2.2.1 SHA–1

Slouží pro hešování zpráv s maximální délkou $2^{64} - 1$ bitů. Jako výstup produkuje 160 bitovou heš. Ten je většinou uveden v hexa–decimální formě pro snížení nároků na uložení a vizuálního zkrácení výstupu [2].

Existují dvě možnosti, jak vytvořit výstupní hodnotu. Jedna vyžaduje více zdrojů, ale ve většině případů potřebuje kratší výpočetní čas. Druhá se spíše hodí pro systémy s omezenými zdroji, které nevyžadují co nejrychlejší zpracování.

2.2.2 SHA–256

Nástupce SHA–1, mající stejná omezení pro vstupní zprávu jako jeho předchůdce, se však liší v délce výstupní hodnoty, která má v tomto případě velikost 256–bitů. To poskytuje podstatně víc možných vypočtených hodnot a sníží se tedy procentuální pravděpodobnost, že dojde ke kolizi vypočtených hodnot pro různé vstupní zprávy, což se používá jako jeden z možných útoků na hešovací funkce [2].

Tato hešovací funkce má taktéž vyšší nároky na zdroje při výpočtu výsledku. Nemá takové paměťové nároky jako její předchůdce. Avšak výpočet je realizován pomocí šesti logických funkcí namísto původních čtyř. Tím se prodlužuje čas potřebný k získání výsledku.

Kapitola 3

Paralelní výpočty na GPU pomocí OpenCL

Dnešním trendem ve vývoji architektur pro výpočetní zařízení je umožnění paralelního provádění úloh. Paralelizace typicky vede ke znatelnému zvýšení výkonu u zařízení, které ji využívají. Dnes již považujeme za běžné, že jsou na trhu dostupné vícejádrové procesory (CPU), které podporují paralelní zpracování. Jedním z hlavních představitelů toho trendu jsou grafické výpočetní jednotky (GPU). Lze považovat za vysoce paralelní procesory určené pro specifické operace, např.: zpracování vektorů a matic. Existence těchto typů zařízení ústí v potřebu mít prostředky, jak s těmito zařízeními komunikovat a programovat je.

U paralelních aplikací je naší největší prioritou efektivnost využití zdrojů. Důvodem je vysoká pořizovací cena a často i vysoké provozní náklady. Dalším důvodem je také náročnost aplikací na nich běžících. Ty jsou ve většině případů výpočetně velmi náročné. Návrh i programování aplikace využívající paralelismů může být značně náročné. Je zde velký rozdíl v programovacích technikách. Programování paralelních aplikací pro CPU vychází ze zažitých standardů pro práci s pamětí, procesy nebo pro řízení běhu aplikace, používaných pro vývoj klasických aplikací. Oproti tomu programování GPU a jiných specializovanějších zařízení se od těchto standardů velmi liší. Například vytváření obecně použitelné aplikace určené pro běh na GPU je náročné hlavně z hlediska odlišného paměťovému modelu a jiné škály funkcí pro práci s ní. GPU ve značné míře využívá operace pro práci s vektory. Největším problémem spojeným s programováním těchto zařízení je škála různých používaných architektur. Faktem je, že všechny modely pro práci se zařízeními (paměťový model, model provádění atd.) se mohou měnit v závislosti na platformě, výrobci či použitím hardwaru.

Vývoj obecně použitelných aplikací by byl nereálný, protože bychom museli aplikaci vyvinout v desítkách ne–li stovkách verzí pro jednotlivá konkrétní zařízení, na kterých bychom chtěli aplikaci provozovat. Proto se vyskytla potřeba vytvořit univerzální rozhraní, jež by nad specifickými přístupy k programování jednotlivých zařízení vytvořilo univerzální programovací vrstvu, jejíž instrukce by následně byly interpretovány do instrukční sady specifického zařízení. Takovýmto rozhraním je např.: CUDA[1] nebo OpenCL [4].

3.1 OpenCL

Jedná se o otevřený nezpoplatněný standard sloužící ke zjednodušení a zefektivnění programování paralelních aplikací. OpenCL využívá rozhraní, které pracuje na velmi nízké úrovni,

[1] Platforma vyvinutá společností NVIDIA určená pro umožnění práce s GPU této společnosti [9].

tedy skoro na úrovni samotných fyzických součástek, čímž dosahuje vysoké efektivity. Nad tímto rozhraním následně vytváří vrstvu pro výpočty, jenž obsahuje pracovní prostředky nezávislé na platformě. Hlavní síla OpenCL je zkombinování paralelních výpočtů aplikace na GPU se zřetězeným renderováním grafických prvků [7]. Standard:

- Podporuje datově i úlohově založené paralelní programovací modely.
- Definuje konzistentní numerické požadavky vycházející z IEEE 754.
- Definuje konfigurační profil pro přenosná zařízení a vestavěné systémy.
- Zajišťuje efektivní součinnost s OpenGL, OpenGL SE a dalšími grafickými rozhraními.

Nejedná se pouze o standard pro psaní paralelních aplikací, ale i o stejnojmenný framework, který je na tomto standardu postaven. Framework OpenCL zahrnuje programovací jazyky, rozhraní pro programování aplikací (API), knihovny a systém pro běh programu (*runtime* systém).

3.1.1 Architektura OpenCL

Struktura OpenCL architektury lze popsat hierarchickým modelem následovně:

- model platformy,
- model provádění,
- model paměti,
- programovací model.

Model platformy

Tento model se skládá z hostitele a jednoho nebo více OpenCL zařízení, která jsou rozdělena na jednu nebo více výpočetních jednotek. Ty jsou dále děleny na jeden nebo více výpočetních prvků. Na jednotlivých prvcích se pak provádí výpočetní operace.

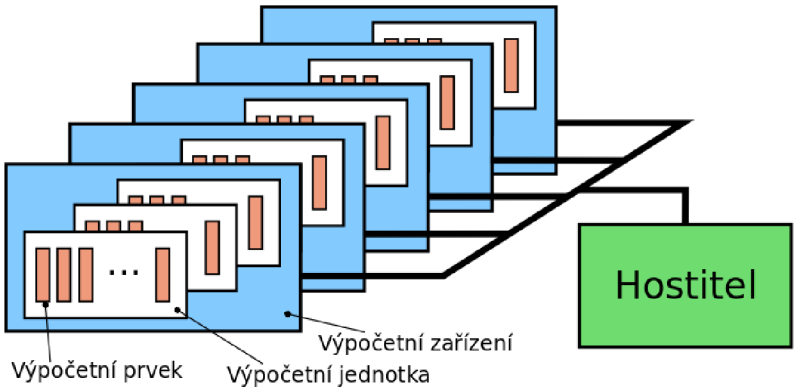
Rozdělení na hostitele a zařízení vyžaduje implementovat aplikaci pro obě části. Tedy vytvořit kód pro hostitele a kód pro GPU zařízení (*OpenCL kernel*). Vezmeme–li si jako příklad standardní počítač tak hostitel je CPU a zařízení je GPU, případně více GPU.

Model provádění

Jak již bylo zmíněno aplikace se dělí na dvě části: OpenCL kernel a hostitelskou aplikaci. Hostitelská aplikace provádí inicializaci a řízení chodu kernelu, zatímco kernel provádí samotný výpočet. Výpočty jsou prováděny na pracovních položkách (*work–item*) jenž můžeme sdružovat do pracovních skupin (*work–group*).

Hostitel má za úkol spravovat kontext aplikace a na jeho základě nastavit prostředí, ve kterém bude kernel provádět operace. V prostředí musíme specifikovat a nastavit tyto položky:

- Zařízení – jedno a více zařízení ovladatelných platformou OpenCL.
- Objekty kernelu – OpenCL funkce s přednastavenými argumenty podle vybraného zařízení.



Obrázek 3.1: Model OpenCL platformy. [7]

- Objekty programu – zdrojový kód a jeho spustitelná verze, které implementují kernely.
- Objekty paměti – proměnné, ke kterým může přistupovat hostitel i OpenCL zařízení. Instance kernelů během svého provádění operují s těmito objekty.

Hostitel se zařízením komunikuje pomocí front příkazů, do nichž se příkazy rozřadí podle typu operace. Jednotlivé příkazy ve frontě se provádí relativně k ostatním příkazům. Pořadí provádění může být definováno následujícími modely:

- *In-order* – příkazy se provádí a mají efekt tak, jak do fronty přišly.
- *Out-of-order* – pořadí provedení příkazů je omezeno pouze explicitně uvedenými synchronizačními body nebo explicitně definovanými závislostmi na událostech.

Model paměti

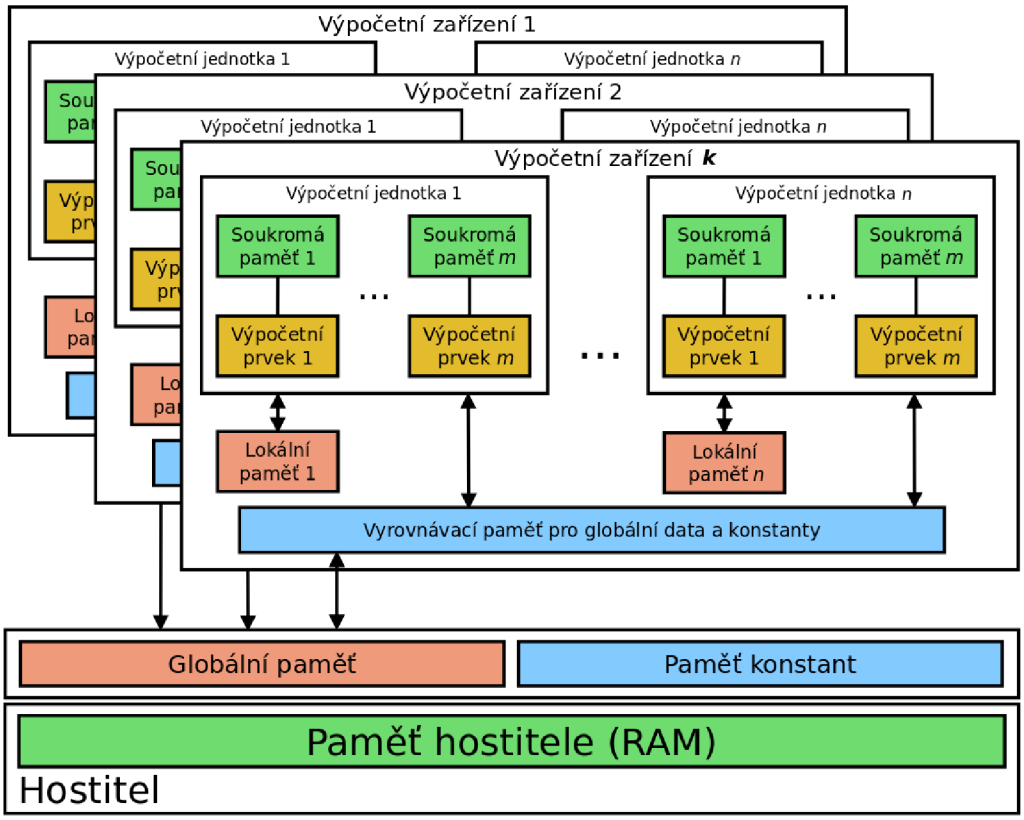
Práce s pamětí v OpenCL se značně liší od klasického přístupu, který známe ze standardních aplikací určených pro běh pouze na CPU. Paměťový model OpenCL popisuje obsah, strukturu a chování paměti používané v platformě vytvořené tímto frameworkem.

Pro každou aplikaci je třeba přesně definovat, jak přesně bude její paměť vypadat. Model dělíme na čtyři části:

- *Oblasti paměti* – definuje, se kterými oblastmi paměti hostitel a zařízení ve stejném kontextu mohou pracovat.
- *Objekty paměti* – jsou definované v OpenCL API, o správu se stará hostitel i zařízení.
- *Sdílenou virtuální paměť* – tvořící virtuální adresový prostor přístupný oběma částem aplikace.
- *Model konzistence* – definuje pravidla pro oblasti paměti, které jsou používané více jednotkami naráz a zaručuje, že je dodrženo pořadí operací s pamětí a že jsou data po celou dobu validní. Taktéž definuje synchronizaci nad těmito oblastmi.

Pro nás je nejdůležitější pochopit, jak je paměť strukturována a jak na sebe navazují jednotlivé oblasti. To je nejlépe patrné z obrázku 8.2. Paměť je rozdělena do následujících částí:

- paměť hostitele (RAM apod.),
- paměť zařízení,
  - *globální paměť* – oblast přístupná pro čtení i zápis všem jednotkám v kontextu nezávisle na zařízení,
  - *paměť konstant* – před zahájením výpočtu alokovaná a inicializována hostitelem a v průběhu výpočtu neměnná oblast,
  - *lokální paměť* – oblast přístupná všem pracovním položkám ve stejné pracovní skupině,
  - *soukromá paměť* – oblast přístupná pouze jedné pracovní položce.



Obrázek 3.2: Struktura paměti OpenCL. [7]

Programovací model

Tento model lze také nazvat jako OpenCL framework. Framework se skládá ze třech komponentů. Zde za zmínku stojí OpenCL kompilátor. Ten podporuje pokročilý jazyk SPIR–V a jazyk OpenCL C. Další jazyky mohou být podporovány některými implementacemi kompilátoru.

Kapitola 4

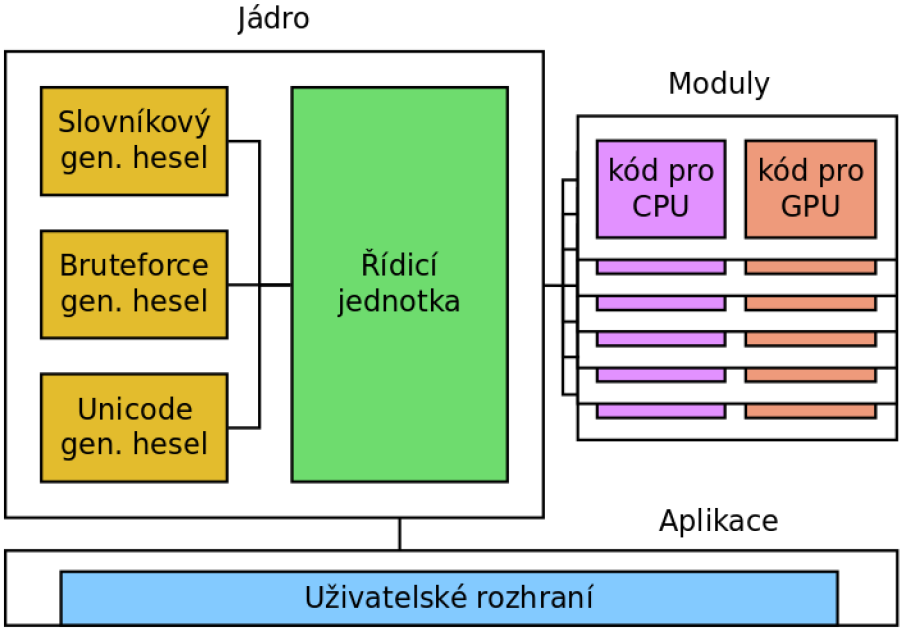
Nástroj Wrathion

Jedná se o nástroj vytvořený Janem Schmiedem v roce 2014 v rámci jeho diplomové práce [15]. Nástroj byl vytvořen pro použití v projektu *Moderní prostředky pro boj s kybernetickou kriminalitou na Internetu nové generace, MV, VG20102015022.*

4.1 Hlavní části Wrathionu

Nástroj slouží ke obnovování hesel pomocí brute–force útoků na tato hesla. Skládá se ze tří částí:

- jádra – zprostředkovávajícího funkcionalitu potřebnou pro obnovu hesel,
- modulů – skrze které je zajištěna podpora obnovy hesel různých formátů,
- aplikace – umožňující pracovat s frameworkem a moduly pomocí CLI rozhraní.



Obrázek 4.1: Schéma struktury nástroje *Wrathion.* [6]

4.1.1 Generátory hesel

První částí *Wrathionu* jsou generátory hesel pro útoky. Jedná se o esenciální funkcionalitu. Bez generátoru hesel není možné útoky provádět. V nástroji jsou momentálně implementovány tyto typy generátorů [6]:

- *Brute–force* – postupně generuje všechny možné permutace ze zadaných znaků.
- *Unicode* – jedná se o upravený brute–force generátor. V tomto případě je nastavena vstupní abeceda na všechny Unicode znaky a z nich jsou generovány možné permutace hesel.
- *Rule–based* – velmi podobný předchozím variantám ovšem umožňuje specifikovat různá podpůrná pravidla pro generování hesel. Například, že má být první písmeno velké, druhé má být 'a' a že poslední 2 znaky jsou číslice. Toto umožňuje zúžení počtu permutací a tedy snižuje čas potřebný k vygenerování všech jejich variant (tento typ generátoru je teprve ve vývoji).
- *Dictionary* – slovníkový generátor, který využívá externí soubory s často používanými hesly.

Nejčastěji používaným generátorem je brute–force, který je ovšem výpočetně náročný. Jedná se však o snadno paralelizovatelný generátor, proto je příhodně implementován i jako kernel běžící na GPU.

4.1.2 Crackery

Pojem *c*racker v kontextu *Wrathionu* vyjadřuje část programu provádějící kroky potřebné k ověření, zda vygenerované heslo je shodné s heslem, které bylo použito pro šifrování. Při použití akcelerace obnovy hesel na GPU je crackrem OpenCL kernel. Druhou částí jsou samotné crackery, které dělíme podle toho, kdo provádí generování hesel a kdo provádí porovnávání hesel:

CPU cracker

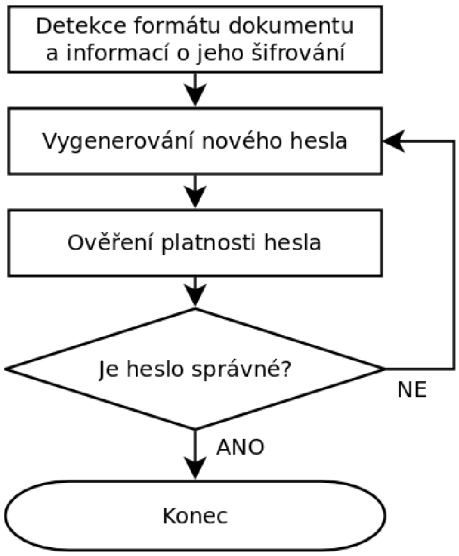
Zde se standardně spustí již předkompilovaný cracker napsaný v C++ (viz. Obrázek 4.2). Není zde žádný větší problém s generováním ani následným ověřováním hesel, ovšem výpočetní síla u paralelizovatelných algoritmů není na CPU ani zdaleka tak vysoká jako na GPU. Proto, pokud je to možné, volíme druhou variantu crackeru.

GPU cracker

Cracker může pracovat ve dvou režimech (viz. Příloha B). V prvním hesla generujeme na CPU a pak je posíláme do paměti GPU, kde jsou crackerem zpracována. To má ovšem velkou nevýhodu v tom, že musíme pořád posílat data z paměti hostitele (CPU) do privátní paměti výpočetního prvku (výpočetní jednotka na GPU).

Druhou a efektivnější možností je generovat hesla přímo na GPU do privátních pamětí čím minimalizujeme množství dat, která musí putovat od hostitele k zařízení. Tímto snížíme výslednou prodlevu výpočtů.

V obou případech je nutné před zahájením jakýchkoliv operací GPU inicializovat OpenCL systém. Tedy vytvořit kontext, fronty příkazů, zajistit načtení a přeložení požadovaného kernelu a až poté nahrát nebo vygenerovat data do/na GPU.



Obrázek 4.2: Proces generování a ověřování hesel na CPU. [15]

4.1.3 Moduly

Nástroj je navržen s velkým důrazem na modularitu. V současné době obsahuje pouze tři moduly. Další moduly pro *Wrathion* jsou ve fázi vývoje [6].

Modul ZIP

ZIP modul v původním návrhu obsahuje pouze šifrování obnovování hesel z archivů šifrovaných algoritmy PKZIP, AES–128, AES–192, AES–256, což zanechává prostor pro implementaci dalších, formátem *.ZIP*, podporovaných metod. Zajímavostí je, že tento modul byl schopný v době svého vzniku obnovit heslo šifrovaných *.DOCX* souborů, avšak tento nedostatek u zabezpečení formátu *.DOCX* byl později odstraněn a tento modul již tedy není schopen obnovit heslo u souborů vytvořených po zmíněné aktualizaci.

Modul DOC

Další modul pracuje s formátem *.DOC*, který byl pokládán za základní formát aplikace MS Word z balíku MS Office. Tento formát byl s příchodem MS Office 2007 nahrazen formátem *.DOCX*. Nástroj ve své původní podobě obsahuje pouze podporu pro *.DOC* formát. Tvorba modulů pro novější formát *.DOCX* spolu s formáty používanými v jiných aplikacích balíku MS Office je ve fázi vývoje.

Modul PDF

Prozatím poslední vytvořený modul pracuje s formátem *.PDF*. Zde jsou již implementovány bezpečnostní revize 1–5. Nástroj počítá i s implementací revize 6. Vývoj této funkcionality může být započat až po zveřejnění specifikace této revize.

Kapitola 5

Analýza formátů .ZIP a .7z

5.1 Formát .ZIP

Jedná se o jeden z prvních formátů souborových archivů, který podporoval kompresi dat. V roce 1989 vytvořil Phil Katz program PKZIP v rámci něhož byl představen nový formát .ZIP. Specifikace formátu .ZIP byla publikována pod veřejnou doménou. Tímto krokem pomohl formátu stát se celosvětovým otevřeným standardem [14]. V roce 2015 byl formát, ve své specifikaci 6.3.3 z roku 2012, přijat Mezinárodní organizací pro normalizaci (ISO) a Mezinárodní elektrotechnickou komisí (IEC) jakožto standard definovaný dokumentem ISO/IEC 21320-1:2015 [3].

Formát podporuje velké množství různých komprimačních algoritmů: Store (bez komprese), UnShrinking, Expanding, Imploding, Tokenizing, Deflating, Enhanced Deflating, BZIP2, LZMA, WavPack a PPMd [13].

Obdobně je to i s podporou různých šifrovacích algoritmů:

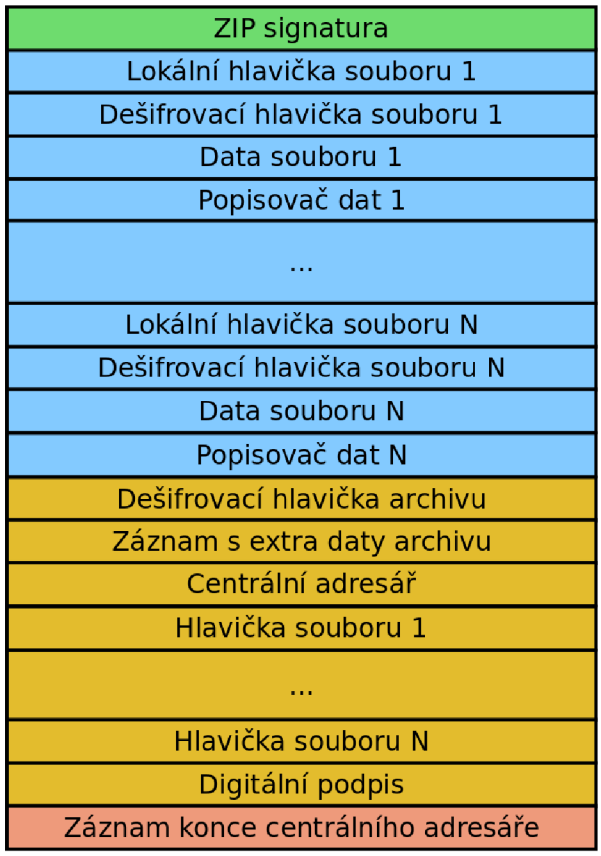
- *PKWARE šifrování* – prvotní šifrování,
- *DES, 3DES(112–bit a 168–bit)* – podporováno od verze 5.0 z roku 2002,
- *RC2 (40–bit, 64–bit a 168–bit)* – podporováno od verze 5.0 z roku 2002,
- *RC4 (40–bit, 64–bit a 168–bit)* – podporováno od verze 5.0 z roku 2002,
- *AES (128–bit, 192–bit a 256–bit)* – podporováno od verze 5.2 z roku 2003.

V současnosti žádný z volně dostupných, ani komerčních nástrojů neumožňuje vytvoření archivů se šifrováním DES, RC2 a RC4. Z toho tedy plyne, že pravděpodobnost výskytu archivů šifrovaných těmito metodami je minimální, a proto se jimi tato práce nebude dále zabývat.

5.1.1 Struktura souboru

Archivy jsou soubory obsahující další soubory. Je možné je tedy považovat za „schránky“, do nichž lze vkládat, ale i vybírat, určité soubory různých typů. U formátu .ZIP lze do archivů navíc ukládat i adresáře a tak ukládat celé struktury tvořené z adresářů a souborů (viz. Obrázek 5.1).

Obsah souboru archivu lze pro lepší orientaci rozdělit na část obsahující definice a data uložených souborů a na část reprezentující organizaci adresářů a souborů.



Obrázek 5.1: Struktura .ZIP souboru. [13]

- První část obsahuje záznamy, jenž se opakují pro každý uložený soubor. Jeden takovýto záznam musí obsahovat alespoň lokální hlavičku souboru a data souboru. Pokud je nastaven třetí bit položky *General purpose bit flag* v lokální hlavičce souboru, musíme ještě počítat s tím, že za data byla přidána sekce *Data description* o velikosti 12 bajtů.

- Druhá část se skládá ze struktury hlaviček centrálního adresáře (Central Directory Header). Počet těchto hlaviček odpovídá počtu adresářů a souborů obsažených v tomto archivu. Hlavička centrálního adresáře začíná signaturou [0x50, 0x4b, 0x01, 0x02], podle které je v souboru identifikovatelný začátek hlavičky. Za ní následují metadata souboru, např.: datum a čas poslední úpravy obsaženého souboru, velikost před a po kompresi atd. Tato struktura hlaviček je ukončena položkou *Záznam konce centrálního adresáře*. Ten začíná signaturou [0x50, 0x4b, 0x05, 0x06] a obsahuje informace o tom na kterém disku je soubor uložen, na kterém disku začíná struktura centrálního adresáře a další.

Od verze formátu 6.2 jsou před hlavičkou centrálního adresáře další položky, a to hlavička pro dešifrování archivu a záznam o extra datech archivu. Tyto položky byly přidány v souvislosti s novou funkcí pro šifrování obsahu hlaviček centrálního adresáře.

Řídící struktury definující šifrování

Dosud byla popisována pouze základní struktura archivu. Nás ale především zajímají struktury archivů, jež obsahují soubory v zašifrované podobě. Zda je soubor šifrován, lze zjistit z jeho lokální hlavičky nebo z jeho hlavičky centrálního adresáře, konkrétně z prvního a sedmého bitu položky *General Purpose Bit Flag*. Nastavení prvního bitu indikuje, že je soubor šifrován.

- Pokud platí, že není zároveň nastaven i sedmý bit, je za lokální hlavičku souboru přidána hlavička šifrování. Hlavička šifrování se váže pouze k šifrování pomocí tradiční metody od společnosti PKWARE.
- Pokud je nastaven i sedmý bit indikující použití takzvaného „silného šifrování“, hlavička šifrování se negeneruje, ale přidávají se informace o šifrování do hlavičky centrálního adresáře a generuje se záznam s hlavičkou pro dešifrování, jehož část se tváří jako součást dat souboru a nachází se na samém počátku šifrovaných dat souboru.

Informace o metodě šifrování, délce klíče atd., jsou z důvodů vyšší bezpečnosti uvedeny v druhé části souboru v položce *Extra Fields* v hlavičce centrálního adresáře příslušící souboru. Položku *Extra Fields* poznáme podle signatury [0x00, 0x17]. Další položky obsahují informace o použitém šifrovacím algoritmu, délce klíče pro šifrování a pole příznaků *Flags* definující, zda je archiv šifrovaný, jaká je použita kompresní metoda, co je vyžadováno pro dešifrování. Tedy zda je možná provést dešifrování pouze pomocí hesla nebo certifikátu anebo je–li možné použít oboje. Další možnosti závisí na použitém certifikátu.

Záznam pro dešifrování obsahuje inicializační vektor (IV), identifikátor algoritmu pro dešifrování, bitovou délku šifrovacího klíče, zašifrovaný vzorek náhodných dat (Erddata), a hlavně o informace pro validaci hesla (VData) a kontrolní součet CRC–32 (VCRC32)[1] těchto validačních dat.

5.2 Formát .7z

Vznik tohoto formátu se datuje do roku 1999 a jeho autorem je Igor Pavlov. Stejně jako aplikace 7–Zip a nástrojů spojených s tímto formátem (7–Max, 7–Benchamark). Formát taktéž slouží k vytvoření souborových archivů podobně jako .ZIP. Formát se proslavil hlavně svojí otevřeností a modulární strukturou. Ta umožňuje skládání libovolných kompresních, konverzních a šifrovacích metod [12].

Mezi podporované kompresní metody se řadí LZMA, LZMA2, PPMD, BCJ, BCJ2, BZip2 a Deflate. Jako výchozí metoda je brána LZMA. Hlavní výhody této metody jsou:

- vysoký kompresní koeficient,
- proměnná velikost slovníku,
- malé nároky na paměť při dekompresi,
- podpora zpracování pomocí multi–threading a hyper–threading.

[1] *Cyclic Redundancy Code* – speciální hešovací funkce sloužící pro detekci chyb / změn dat oproti původní hodnotě

Další výhodou formátu je podpora komprese velkých souborů, názvy souborů v Unicode kódování, možnost spojení více souborů do jednoho toku, který je pak teprve komprimován, komprese a šifrování hlaviček archivů a další.

Standardně použitou šifrovací metodou je AES–256 vyžadující 256–bitové šifrovací heslo. Takovéto heslo se vytváří pomocí hešovací funkce SHA–256 z uživatelem zadaného hesla. Pro ještě vyšší zabezpečení je provedeno 2^{19} iterací při každém vytváření hesla. To může mít na slabších zařízeních za následek znatelnou prodlevu, než začne komprese souborů a šifrování.

5.2.1 Struktura souboru

Neprázdný soubor tohoto formátu má čtyři části, které v něm musí být obsaženy (viz. Obrázek 5.2). Jedná se o položky:

- Na začátku souboru se nachází hlavička. Jedná se o hlavičku *7zSignature* se signaturou ['7', 'z', 0xBC, 0xAF, 0x27, 0x1C] definující začátek souboru daného typu. Za ní v rámci stejné hlavičky jsou informace o verzi archivu, CRC hlavičky a položky specifikující pozici následující hlavičky. Najdeme zde relativní adresu (uvedena jako vzdálenost od konce úvodní hlavičky), následuje pak délka další hlavičky a CRC pro tyto dvě položky.

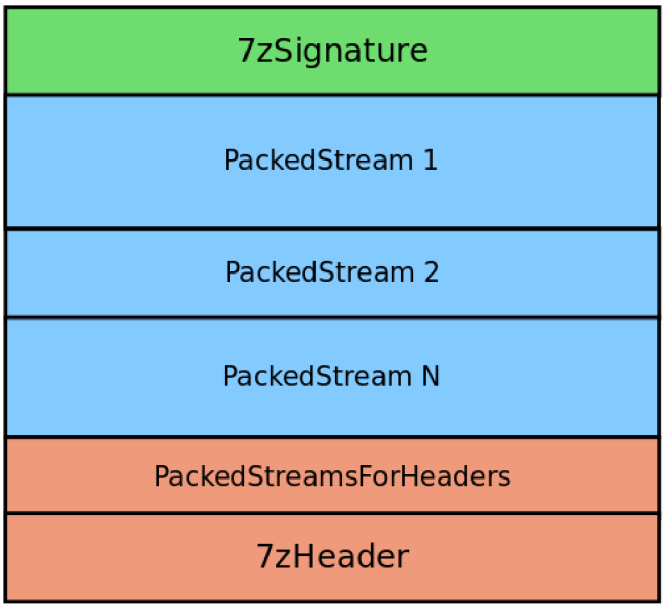
- Druhá část obsahuje zpracovaná data vytvořených proudů, tedy data samostatných nebo případně i spojených souborů po kompresi, šifrování apod.

- Třetí část obsahuje zpracované informace sloužící jako podpůrná data pro hlavičku a její položky.

- Poslední čtvrtou částí je 7z hlavička (*7zHeader*), jejíž začátek je definován v úvodní hlavičce. Tato hlavička má proměnnou délku a strukturu. Je ji tedy potřeba procházet postupně a zjišťovat, které položky jsou přítomny a které ne. K identifikaci jednotlivých položek slouží jednobajtový identifikátor. Identifikátory jsou v rozmezí 0x00 až 0x19. Máme tedy k dispozici 25 položek s různou velikostí, strukturou a položkami. Jedinými povinnými údaji v hlavičce jsou položky značící začátek hlavičky (0x01) a konec hlavičky (0x00). Všechny ostatní položky jsou případně umístěny mezi ně a začínají příslušným identifikátorem [10].

Pro účely této práce nás především zajímá hlavička *7zHeader* a v ní obsahy položek nesoucích informace o proudech dat (0x03 nebo 0x04). V nich konkrétně položka informace o kodérech (0x07), ve které se musíme propracovat k poli bajtů *CodecInfo*. Hodnoty tohoto pole musíme otestovat a zjistit, zda se shodují s identifikátorem standardní šifrovací metody AES–256 + SHA–256 [0x06, 0xF1, 0x07, 0x01] [11]. Zde je třeba také nalézt data o použité kompresi. Kompresní metoda LZMA má identifikátor [0x03, 0x01, 0x01]. Další důležitou položkou pro ověření hesla je CRC šifrovaného souboru.

Tento typ archivu bohužel neobsahuje žádnou jinou metodu ověření hesla než pomocí spočítání a porovnání CRC hodnot. K tomu je nutné nejprve celý soubor dešifrovat a dekomprimovat, což přidává na náročnosti celého ověřovacího procesu.



Obrázek 5.2: Struktura .7z souboru. [11]

5.3 Srovnání

Pokud budeme srovnávat formáty z pohledu komprese, zjistíme, že .7z je dle měření[2] efektivnější než .ZIP. Z pohledu této práce nás spíše zajímají vlastnosti týkající se zabezpečení.

Šifrování formátu .ZIP metodou PKZIP nemá smysl ani porovnávat s ostatními, neboť se jedná o metodu, která již nevyhovuje dnešním bezpečnostním standardům [13].

Pokud se však podíváme na silnější metody zabezpečení, zjistíme, že formáty jsou z hlediska bezpečnosti vyrovnané. Oba dva podporují AES–256 s využitím nějaké hešovací metody pro zabezpečení hesla. Oba formáty také podporují šifrování hlaviček obsahujících informace o metodách, které jsou používány a jaké soubory obsahují.

Formát .ZIP překonává .7z možností použití elektronických podpisů (certifikát typu X.509v3) k šifrování souborů namísto hesel. 7z tuto funkcionalitu vůbec neobsahuje.

[2] http://www.howtogeek.com/200698/benchmarked-whats-the-best-file-compression-format/

Kapitola 6

Návrh modulů

Tato kapitola vysvětluje, jak lze z výše popsaných algoritmů, technologií a strukturálních analýz archivů vytvořit rozšiřující moduly pro nástroj *Wrathion*. Cílem je obecně popsat průchod souboru jednotlivých formátů. Tedy jaká data je z nich je potřeba získat, jaké operace je potřeba provést nad vygenerovanými hesly a jaké kroky je nutné provést při ověřování shody hesel.

6.1 Modul ZIP

Protože nástroj *Wrathion* modul ZIP již obsahuje, nemusíme zde řešit návrh celého modulu, ale pouze rozšíření jeho funkcionality o zatím nepodporované metody zabezpečení.

Momentální verze ZIP modulu podporuje pouze staré šifrování PKWARE a šifrování WinZip AES. Podpora šifrování AES je tedy neúplná. Modul momentálně podporuje pouze speciální verzi AES, jež si vytvořili vývojáři nástroje WinZip. Tato verze uvažuje vlastní ořezanou AES hlavičku a vytvoření nové metody zapsané do příznaků souboru. Existují ovšem nástroje jako SecureZIP od firmy PKWARE umožňující také zašifrování obsahu archivů pomocí šifrovací metody AES, kterou současný modul, i přes podporu zjištění hesla při použití šifrování AES, nepodporuje.

6.1.1 Zjištění informací z archivu

Z archivu musíme získat informace nutné pro rozhodnutí, zda se jedná o ZIP soubor, zda je soubor šifrován, jakou metodou je šifrován, jaké jsou inicializační hodnoty použité při šifrování apod. To vše je potřeba pro rozšíření funkcionality modulu. Postup získání informací se nesoustředí na získání informací nutných pro ověření hesla u již implementovaných metod, ale pouze informací důležitých pro rozšíření funkcionality modulu (detailní popis hlaviček a hodnot v nich je v sekci 5.1.1):

1. Zjištění signatury – podíváme se na první 4 bajty a porovnáme je se signaturou [0x50, 0x4B, 0x03, 0x04]. Tím ověříme, zda se jedná o ZIP soubor.

2. Přečtení *General purpose bit flag* – hodnotu příznaků získáme z lokální hlavičky prvního souboru.

3. Analýza příznaků – zjišťujeme zda jsou nastaveny první a sedmý bit příznaků na hodnotu 1. Pokud nalezneme šifrování u jednoho souboru předpokládáme, že všechny ostatní soubory jsou taktéž šifrované a že byla použita stejná šifrovací metoda. Pokud

je nastaven i 13. bit musíme provést čtení dešifrovací hlavičky archivu a pomocí ní dešifrovat celou strukturu centrálního adresáře. Postup dešifrování je identický s dešifrováním souborů.

4. Přečtení *Compression method* – z některé z hlaviček souboru. Tato položka nás zajímá, pouze pokud byly bity jedna a sedm příznaků nastaveny na hodnotu 1. Číslo uvedené v této položce nám dovoluje zjistit, zda byla použita šifrovací metoda WinZip AES (hodnota 99). Použití jiné hodnoty indikuje použití některé z dalších šifrovacích metod definovaných ve specifikaci formátu .ZIP [13].

5. Přečtení *Extra fields* – potřebujeme najít hlavičku s daty o šifrování, která se může vyskytnout pouze za hlavičkou souboru v centrálním adresáři. V tomto kroku zjistíme informace o použité šifrovací metodě, délce klíče atd.

6. Získání hodnot hlavičky pro dešifrování – nachází se před uloženými daty souboru. Potřebujeme získat použitá inicializační data potřebná pro šifrovací s dešifrovací funkce. A také data pro ověření hesla včetně jejich kontrolního součtu (CRC32).

6.1.2 Obnova hesel

Jakmile takto získáme všechna potřebná data, přesuneme se k hledání použitého hesla. Tento proces bude možné realizovat za využití CPU nebo GPU. Pro obě tato zařízení je nutné vytvořit samostatný kód. Kód pro CPU čistě v jazyce C++ s možností využití některých již implementovaných funkcí a generátorů obsažených v nástroji *Wrathion*. Pro GPU je třeba vytvořit kód v C++, který poběží na CPU, bude inicializovat GPU a rozdělovat práci pracovním jednotkám na ní umístěných a poté kernel v OpenCL pro implementování kernelu, který poběží na pracovních jednotkách. Avšak v obou případech půjde o totožný Algoritmus 1.

Algoritmus 1: Princip ověření hesla u ZIP archivu

```
vstup  : Data získaná z hlavičky pro dešifrování (IV, Erd, Dlen, Data)
výstup: Poslední vygenerované heslo
repeat
    heslo = generujHeslo()
    odvozene_heslo = odvodHeslo (SHA1(heslo))
    rd = desifruj (Erd, odvozene_heslo, IV) /* Random hodnota pro šifrování */
    odvozene_heslo = odvodHeslo (SHA1(rd + IV))
    desifrovana_data = desifruj (Data, odvozene_heslo, IV)
    CRC = *(uint32*)(&Data[Dlen-4])          /* Poslední 4 bajty jsou CRC */
until (CRC ≠ spocitejCRC32(Data, Dlen − 4))
return heslo
```

6.2 Modul SevenZ

V tomto případě se jedná o úplně nový modul. Bude tedy potřeba nadefinovat všechny struktury potřebné k provozu modulu v rámci nástroje *Wrathion* a implementovat metody šifrování, hešování, odvozování hesel a jiné používané formátem .7z.

6.2.1 Zjištění informací z archivu

Archiv formátu .7z v sobě, stejně tak jako .ZIP archiv, nese informace nutné pro umožnění dešifrování souboru. V tomto případě je však o něco složitější je získat. Struktura 7z archivu je hodně komplexní a proměnlivá. Struktura hlaviček do značné míry připomíná databázi. Pro detailní porozumění struktury řídících dat formátu je třeba nahlédnout do souboru 7zFormat.txt [10]. Potřebné informace lze získat následujícím teoretickým postupem:

1. Ověříme signaturu – prvních 6 bajtů souboru se musí rovnat hodnotě ze sekce 5.2.1.
2. Přejdeme na pozici 6 bajtů za signaturou, kde prvních 8 bajtů obsahuje pozici hlavičky. Na dalších 8 bajtech je délka hlavičky.
3. Přejdeme na začátek hlavičky.
4. Přejdeme na záznam se signaturou 0x06 nesoucí pozici dat, k níž přičteme 32.
5. Přejdeme na záznam se signaturou 0x09 nesoucí délku proudu dat.
6. Přejdeme na záznam se signaturou 0x0B, ve které hledáme hodnoty [0x06, 0xF1, 0x07, 0x01] a [0x03, 0x01, 0x01] značící 7zAES a LZMA. Zde hledáme inicializační vektor, počet iterací použití SHA2–56 (implicitně 19) pro 7zAES a inicializační data slovníků pro LZMA.
7. Přejdeme na záznam se signaturou 0x0A, ze kterého získáme CRC dat souboru.

6.2.2 Obnova hesel

Jakmile tato data získáme, můžeme se přesunout k hledání hesla. Tento proces, popsaný Algoritmem 2, lze plně realizovat pouze na CPU. Formát 7z totiž může obsahovat soubory o velké velikosti, které by se nemusely vejít do paměti GPU. Musíme zde vzít totiž v potaz, že potřebujeme mít v paměti prostor o velikosti souboru pro každou výpočetní jednotku GPU, na které poběží kernel. Řešení tohoto problému je popsáno v sekci 7.2.2.

Algoritmus 2: Princip ověření hesla archivu 7z

vstup : Data získaná z hlaviček (IV, iteraci, lzma_data)
výstup: Poslední vygenerované heslo
repeat
    heslo = generujHeslo()
    klic = derivuj_heslo(heslo, iteraci)
    desif_data = desifruj_data(klic, IV, sif_data)
    data = dekomprimuj(desif_data, lzma_data)
until $(CRC \neq spocitejCRC32(data))$
return heslo

Kapitola 7

Implementace

Tato kapitola se věnuje popisu implementace přidané funkcionality modulu ZIP a nového modulu pro 7z do nástroje *Wrathion*. Jsou v ní také zmíněny použité knihovny implementující dešifrovací a dekomprimační metody společně s jejich verzemi. Kapitola je rozdělena do dvou částí, každá reprezentuje jeden z formátů, jimiž se tato práce zabývá.

7.1 Implementace modulu ZIP

Jak již bylo zmíněno, tento modul bylo třeba pouze doplnit o další funkcionality týkající se především podpory metod šifrování. Konkrétně se jednalo o metody šifrování souborů AES a DES a také o metodu umožňující šifrování *C*entral Directory záznamu. Tyto metody jsou definované ve standardu formátu ZIP vydaném firmou PKWARE v rámci APPNOTE.txt a používány v nástrojích z rodiny SecureZIP od PKWARE.

7.1.1 ZIPFormat

Tato třída slouží ke čtení potřebných informací z archívu na vstupu. Získává tedy informace o tom jaká šifrovací metoda byla použita na základě čehož pak hledá další pro nás důležitá data ve struktuře souboru. Data jsou ukládána do struktury $ZIPInitData$, která je použita pro inicializaci nových instancí tříd crackerů.

Třída byla upravena tak, aby byla schopna detekovat výše zmíněné metody a uložit data potřebná pro následné ověřování hesel.

7.1.2 ZIPStAESCrackerCPU

Jedná se o třídu s implementací pro ověření hesla metodou AES čistě na CPU. Třída obsahuje funkci pro ověření hesla $checkPassword()$ a funkce $derive()$, $derive\_key()$ a $sha1()$ pro vytvoření šifrovacích klíčů.

Třída využívá implementace šifrovací funkce AES použité v nástroji UnRAR[1], kde je implementována jako třída Rijndael pod licencí Public Domain. Datové typy použité v převzaté třídě byly pozměněny tak, aby odpovídaly typům používaným v našem nástroji.

Obě derivační funkce vytvářejí blok, který odpovídá funkci $CryptDeriveKey()$ z MS CryptoAPI[2]. Funkce $sha1()$ je převzata z dříve implementovaných částí modulu ZIP.

[1] http://www.rarlab.com/rar_add.htm

[2] https://msdn.microsoft.com/en-us/library/windows/desktop/aa379916(v=vs.85).aspx

Funkce *checkPassword*() implementuje algoritmus 1 jenž slouží k ověření hesla získaného z generátoru. Algoritmus je odvozen algoritmu uvedeného v APPNOTE.txt začínajícího na řádku 2720.

7.1.3 ZIPStAESCrackerGPU

Tato třída obsahuje implementaci pro ověření hesla metodou AES na GPU. Tato třída slouží pouze k vytvoření, inicializování a předání paměťových objektů (zásobníků) OpenCL kernelu *zip_staes_kernel*. To je realizováno ve funkcí *initData*().

Ověření hesla je realizováno GPU kernelem. Na CPU se po zjištění nálezu provede pouze kontrola voláním funkce $verifyPassword()$. Tato funkce využívá objektu s typem třídy $ZIPStAESCrackerCPU$ a volání jeho funkce *checkPassword*, která je volá s kernelem označeným heslem na vstupu.

zip_staes_kernel

Kernel je napsán v jazyce OpenCL C jeho funkcionalita odpovídá funkci *checkPassword*() ze třídy $ZIPStAESCrackerCPU$. Implementačně je zde jeden znatelný rozdíl. Dynamické vytváření Sbox tabulek pro AES je nahrazeno konstantními tabulkami.

7.2 Implementace modulu SevenZ

V tomto případě bylo třeba vytvořit úplně nový modul. K tomu bylo třeba vytvořit soubory *S*evenZModule.cpp, SevenZFormat.cpp a soubory pro CPU a GPU cracker. Soubory v sobě nesou stejnojmenné třídy implementující funkce vyžadované pro správnou komunikaci s naším nástrojem.

7.2.1 SevenZFormat

Podobně jako třída $ZIPFormat$ i tato slouží k získání a zpracování informací uložených v archivu. Pro uložení byla vytvořena struktura $SevenZInitData$ skládající se z položek základních datových typů, ale také z dalších vytvořených struktur. Mezi ně jmenovitě patří $SevenZCoder$, $SevenZFolder$ a $SevenZPackInfoHdr$, které reflektují položky obsažené ve struktuře hlavičky souboru. Tento přístup k uložení dat byl zvolen na základě již zmíněného problému, jímž je, že struktura hlavičky u formátu .7z je značně komplikovaná a proměnná. Čtení struktury ulehčují odpovídající funkce v této třídě.

Třída mimo jiné obsahuje funkci $SevenZUINT64()$ implementující dekodér 64–bitových bezznaménkových čísel. Tohoto kódování velkých čísel je ve formátu .7z použito k redukování paměťového prostoru potřebného k uložení takového čísla. Ve zkratce to funguje tak, že počet jedniček v nepřerušené řadě začínající na nejvyšších pozicích v prvním bajtu určuje kolik následujících bajtů se ještě váže k tomuto číslu. Zbytek prvního bajtu za prvním výskytem nuly je použit k uložení hodnoty nejvýznamnějšího bajtu [10].

7.2.2 SevenZCrackerCPU

Tato třída obsahuje implementaci funkcí potřebných pro ověření hesla na CPU. Stejně tak jako všechny ekvivalentní třídy v ostatních modulech, i tato obsahuje funkci *checkPassword*(), dále pak funkce pro vytvoření klíče pro dešifrování a funkci implementující dešifrování a dekompresi dat.

Funkce pro dešifrování a dekompresi byly převzaty z nástroje 7–zip vytvořeného autorem formátu .7z Igorem Pavlovem, který je zveřejnil pod licencí Public Domain. Díky tomu, že nástroj 7–zip je napsán v C / C++, nebylo třeba do funkcí respektive tříd nijak zasahovat. Funkce *hash*() vytvářející klíč pro dešifrování byla také inspirována zdrojovými kódy 7–zip–u.

Ve funkci *checkPassword*() je použita rychlostní optimalizace sloužící k redukci času potřebného k určení zda se může jedna o správné heslo. Optimalizace funguje následujícím způsobem:

1. Zjistíme, jestli jsou data pro dešifrování velká alespoň 32 bajtů. Pokud jsou menší, tak se optimalizace nepoužije.
2. Vezmeme prvních 16 bajtů dat.
3. Provedeme nad nimi operaci dešifrování.
4. Ověříme hodnoty na začátku dešifrovaných dat. Pokud je první bajt roven 0x00 (pevná první hodnota dat dekomprimovatelných metodou LZMA) nebo pokud se první tři bajty rovnají 0x0104006 (posloupnost signatur v hlavičce archivu typu .7z) tak pokračujeme podle Algoritmu 2 pro celá data souboru. Jinak pokračujeme od bodu 1 s novým heslem.

7.2.3 SevenZCrackerGPU

Jak již název naznačuje, jedná se o třídu s implementací funkce pro inicializaci dat na GPU a s funkcí pro ověření hesla získaného z GPU. Ačkoliv to vypadá velmi podobně je zde jeden velký rozdíl v tom, kdy a jak dostaneme správné heslo. S jistou nadsázkou se dá říct, že se jedná o třídu provádějící obnovení hesla na CPU s jistou formou heuristiky.

Formou heuristiky jsou kroky 1–4 optimalizace popsány v předchozí podkapitole. Rozdíl oproti CPU implementaci je ten, že filtrování hesel obstarává GPU a nemusíme jej tedy provádět na CPU. Teoreticky je tímto způsobem filtrování možné snížit počet hesel zhruba 255–krát. To nastává v případě, že šifrovaná data jsou i komprimovaná. V případě, že se bavíme archivech .7z, které obsahují pouze jeden soubor, a jejichž hlavička před šifrováním komprimovaná není, pak můžeme dosáhnout větší efektivity filtrování. Toho je dosaženo ověřováním tří bajtů namísto jednoho.

sevenz_aes_kernel

Kernel obsahuje přepis tříd převzatých z nástroje 7–zip. Jediné modifikace těchto tříd představují nahrazení funkcí pro generování AES a SHA–256 tabulek za konstantní tabulky. Kernel jako takový provádí pouze filtraci hesel pro CPU.

Důvod, proč neprovádíme všechny kroky na GPU, je poměrně jednoduchý. S současné době se velikosti pamětí u GPU pohybují v rozpětí 1–4GB a pouze pár vybraných karet z nejvyšší výkonnostní kategorie disponuje většími paměťovými moduly. GPU tedy nemá dostatek paměti na to, aby mohla obsahovat několik instancí dat k dešifrování, které by byly potřeba v případě, že chceme provádět celý proces na GPU a plně využít její výkonnostní potenciál. V archivu mohou být obsaženy soubory o velikosti několika gigabajtů a není tedy možné takto velký shluk dat do GPU paměti umístit. Pokusy o umístění několika instancí takto velkých jsou tedy v současné době naprosto nereálné.

Kapitola 8

Měření a srovnání

Pro měření jsem vytvořil sadu archivů patřičných formátů. Archivy obsahují soubory s náhodně vygenerovanými daty. K vytvoření archivů pro měření výkonu rozšířeních modulu ZIP jsem použil nástroj PKWARE SecureZIP. K vytvoření archivů formátu .7z jsem použil nástroj 7–zip.

Za znakovou abecedu jsem si zvolil všechna malá písmena ze znakové sady ASCII, tedy 26 znaků. Hesla byla volena tak, aby se jednalo o nejhorší možný případ pro danou znakovou abecedu z pohledu jednoduchého brute–force generátoru. To znamená, že při délce hesla tři a abecedě a–z je podoba hesla "zzz".

Naměřené hodnoty jsem převzal z informací poskytnutých jednotlivými nástroji. Nijak jsem neověřoval jakým způsobem nástroje tyto informace získávají. Všechny časy byly zaokrouhleny na celé sekundy. Pro jednotlivá měření jsem zvolil maximální dobu pokoušení se o prolomení hesla na 10 minut. Pokud se do té doby nepodařilo získat správné heslo, tak byla do tabulky zanesena hodnota vypočtená z rychlosti a velikosti stavového prostoru hesel. Takováto hodnota je označena kurzívou. Časy pro *Wrathion* zahrnují i čas potřebný pro inicializaci dat na GPU a zavedení kernelu. V případě rychlosti byla do tabulek zanesena průměrná naměřená rychlost testovaných hesel za jednu sekundu.

Pro všechna měření na CPU bylo namísto 12 použito 6 výpočetních vláken, která níže uvedený procesor díky technologii hyper–threading poskytuje. Nižší počet vláken byl zvolen z důvodu bezpečnějšího a méně problémového průběhu měření, protože během měření dochází k vysokému zatížení procesoru. Stroj by se při použití dostupných vláken mohl značně zpomalit a měření by mohlo být zkresleno. Procesor musí dát výpočetní čas i dalším procesům starajícím se o synchronizaci řízení vláken nebo případně dalšími aplikacím a službám operačního systému běžícím na pozadí.

8.1 Testovací sestava

CPU: Intel Core i7-5930K @ 3.50GHz
RAM: 32GB
GPU: 4x AMD Radeon R9 Fury X (Catalyst Omega 15.7, AMD APP SDK v3.0)
OS: Ubuntu 14.04 x64

8.2 ZIP archivy

V rámci tohoto měření jsem se zaměřil na archivy se šifrovanými daty souborů pomocí funkce AES pro různě dlouhé klíče. Účelem těchto měření bylo zjistit jak rychlé rozšíření modulu ZIP je a jak dlouhý časový úsek je třeba očekávat pro úspěšné nalezení hesla o dané znakové délce.

Tabulka 8.1 ukazuje rozdíly v rychlostech při použití různé bitové délky šifrovacího klíče. Značný rozdíl v rychlostech je zapříčiněn návrhem šifrovací funkce AES (viz. Kapitola 2.1.2). Ta pro různě dlouhé klíče provádí různý počet iterací nad klíčem což ovlivňuje rychlost dešifrování dat.

128–bit	Délka hesla	3	4	5	6	7	8
CPU	Čas	1s	1s	12s	4m 53s	*2h 5m 26s*	*2d 6h 21m 27s*
	Rychlost	-	-	1084236	1109832	1109832	1109832
GPU	Čas	1s	1s	3s	1m 6s	*28m 12s*	*12d 13m 20s*
	Rychlost	-	-	4290537	4935903	4935903	4935903
3xGPU	Čas	1s	1s	2s	23s	6m 7s	*4h 5m 17s*
	Rychlost	-	-	5667036	14459538	14756838	14756838
192–bit	Délka hesla	3	4	5	6	7	8
CPU	Čas	1s	1s	13s	5m 24s	*2h 1m 27s*	*2d 11h 59m 54s*
	Rychlost	-	-	1010808	1005492	1005492	1005492
GPU	Čas	1s	1s	4s	1m 13s	*31m 19s*	*13h 34m 2s*
	Rychlost	-	-	4112426	4446565	4446565	4446565
3xGPU	Čas	1s	1s	2s	25s	*10m 36s*	*4h 35m 27s*
	Rychlost	-	-	5666898	13141320	13141320	13141320
256–bit	Délka hesla	3	4	5	6	7	8
CPU	Čas	1s	1s	15s	6m 2s	*2h 34m 47s*	*2d 19h 4m 24s*
	Rychlost	-	-	855018	899430	899430	899430
GPU	Čas	1s	1s	4s	1m 13s	*31m 34s*	*13h 40m 48s*
	Rychlost	-	-	4050470	4410039	4410039	4410039
3xGPU	Čas	1s	1s	2s	27s	*11m 33s*	*5h 0m 4s*
	Rychlost	-	-	6767892	12063207	12063207	12063207

Tabulka 8.1: Obnova hesla archivů ZIP s šifrováním AES.

Rychlosti chybějící v tabulce se nástroji nepovedlo změřit. To bylo zapříčiněno vysokou rychlostí nově implementovaného rozšíření. Heslo bylo nalezeno tak rychle, že se nepovedlo provést ani jednu synchronizaci crackeru s řídícím procesem. Nástroj tedy díky svému návrhu nebyl schopen určit, jaké rychlosti jsme dosáhli.

Srovnání s dalšími nástroji bohužel nebylo možné provést. Ani jeden z nástrojů z vyhlášených nástrojů (*Hashcat / oclHashcat*, *John the Ripper*, *Elcomsoft Advanced Archive Password Recovery*) totiž tento typ šifrování archivů ZIP, o který byl *Wrathion* v rámci této práce rozšířen, nepodporuje.

Srovnáním rychlostí dosažených při využití akceleraci GPU a zrychlení kernelů je zasvěcena sekce 8.4.

8.3 7–zip archivy

Měření pro 7–zip je velmi podobné tomu pro ZIP. Jediným větším rozdílem je potřebná sada souborů, které je třeba použít. U archivů 7–zip musíme brát v potaz i fakt, že pro ověření hesla se provádí dekomprimace dat a počet vyzkoušených hesel za jednu sekundu se tedy může s rostoucí velikostí zmenšovat (viz. Tabulka 8.4). S tím částečně souvisí i nutnost provádět měření pro soubory se šifrovanou hlavičkou (viz. Tabulka 8.2). Pro všechna měření tohoto formátu jsem zvolil, pro běh na GPU, Global Work Size (GWS) 32378 což byla jedna z nejvyšších hodnot, při které kernel korektně. Naměřené výsledky se zdají být touto hodnotou omezeny leč bohužel při použití vyšších hodnot byl nástroj nestabilní.

U archivů se šifrovanou hlavičkou můžeme dosáhnout toho, že nebudeme muset provádět dekompresi dat. Respektive, že data před šifrováním nebyla nijak komprimována. Do archivů byl uložen jeden soubor o velikosti 1kB. V tomto případě hlavička komprimovaná nebyla, protože archiv obsahoval pouze jeden soubor. Toho u dat souboru dosáhnout nelze, neboť jsou komprimována vždy.

Samotná hlavička také dosahuje značně menší velikosti, než samotná data což urychluje výpočet CRC hodnoty, kterou používáme k ověření správnosti použitého hesla.

Rychlosti GPU uvedené v následujících tabulkách jsem dopočítával ručně na základě času a velikosti stavového prostoru hesel, který bylo potřeba projít. Činil jsem tak, protože nástroj v pravidelných intervalech nevracel validní data. Měření tohoto modulu na 3x GPU se z neznámých důvodů nepovedlo naměřit avšak očekávaná rychlost je alespoň 2,8-krát rychlost na jedné GPU.

	Délka hesla	3	4	5	6
CPU	Čas	1m 33s	*40m*	*17h 20m 7s*	*18d 18h 43m 8s*
	Rychlost	198	198	198	198
GPU	Čas	25s	*2m 52s*	*1h 16m 10s*	*1d 9h 14s*
	Rychlost	731	2658	2704	2704

Tabulka 8.2: Obnova hesla archivů 7–zip se šifrovanou hlavičkou.

	Délka hesla	3	4	5	6
CPU	Čas	1m 33s	*40m*	*17h 20m 7s*	*18d 18h 43m 8s*
	Rychlost	192	196	198	198
GPU	Čas	25s	2m 52s	*1h 16m 10s*	*1d 9h 14s*
	Rychlost	731	2658	2704	2704

Tabulka 8.3: Obnova hesla archivů 7–zip bez šifrované hlavičky.

8.3.1 Pro různou velikost uloženého souboru

Na základě předchozího měření bylo heslo zvoleno tak, abychom se, v dříve stanoveném limitu deseti minut, dostali k správnému výsledku. Proto soubory, na kterých bylo provedeno měření jsou šifrovány klíčem odvozeným ze tří znakového hesla.

	Velikost souboru	1kB	512kB	1MB	10MB	100MB	500MB
CPU	Čas	1m 33s	1m 33s	1m 34s	3m 23s	1m 35s	1m 38s
	Rychlost	198	198	198	126	198	192

Tabulka 8.4: Obnova hesla archivů 7–zip pro různě velké archivy.

Z výsledků můžeme vidět, že dekomprese má minimální vliv na výkon obnovy hesel. Hodnotu naměřenou pro soubor o velikosti 10M považuji za anomálii při měření. Nevidím totiž důvod, proč by obnova hesla u tohoto souboru měla být o tolik pomalejší i oproti větším souborům.

8.3.2 Srovnání s konkurencí

V tomto případě na rozdíl od ZIPu je možné najít jiné nástroje, které tento formát podporují. Ne všechny však podporují všechny režimy, které podporuje *Wrathion*.

Dalším problémem jsou generátory, které nástroje používají. Žádný z nich totiž nepoužívá „hloupý“ brute–force generátor jako původní verze *Wrathionu*. Jak *oclHashcat* tak *John the Ripper* mají pouze nějakou imitaci tohoto typu generátoru. Ve skutečnosti však používají generátor založený na Markovských procesech. Ty nejdou lineárně znak po znaku jako brute–force, ale používají jakési tabulky s definovanými pravděpodobnostmi výskytů jednotlivých znaků a případně s posloupností znaků. Z toho vyplývá, že časy uvedené v následujících tabulkách jsou pro tyto nástroje pouze orientační na rozdíl od časů u *Wrathionu*, jenž reprezentují maximální čas potřebný k projití celého stavového prostoru do dané délky hesla. U ostatních nástrojů bylo nutné, abych ručně nastavil maximální délku hesla. Tím jsem dosáhl funkcionality co možná nejpodobnější brute–force generátoru.

CPU	Délka hesla	3	4	5	6
CPU	Čas	1m 33s	*40m*	*17h 20m 7s*	*18d 18h 43m 8s*
	Rychlost	198	198	198	198
John the Ripper	Čas	1m 58s	*53m 31s*	*23h 11m 31s*	*25d 2h 59m 20s*
	Rychlost	159	148	148	148
1xGPU	Délka hesla	3	4	5	6
GPU	Čas	25s	2m 52s	*1h 16m 10s*	*1d 9h 14s*
	Rychlost	686	2657	2704	2704
oclHashcat	Čas	43s	1m 7s	4m 57s	*9h 34m 31s*
	Rychlost	288	5146	10071	9320
John the Ripper	Čas	10s	1m 19s	*1h 22m 23s*	*1d 11h 41m 49s*
	Rychlost	1600	2000	2500	2500

Tabulka 8.5: Srovnání času a rychlosti obnovy různě dlouhých hesel archivů 7–zip pomocí různých nástrojů.

Jak můžeme vidět ve srovnání CPU implementací tak *Wrathion* je o 33% rychlejší než *John the Ripper*. CPU verze *Hashcatu* bohužel 7–zip nepodporuje a *Elcomsoft* také ne.

Při použití GPU akcelerace se nám již objevuje další nástroj *oclHashcat*, jehož chování je podivné. Při kratších heslech totiž nedosahuje takového výkonu, jak lze z tabulky vyčíst, jako u hesel delších. Avšak vezmeme–li maximální průměrnou hodnotu tak značně

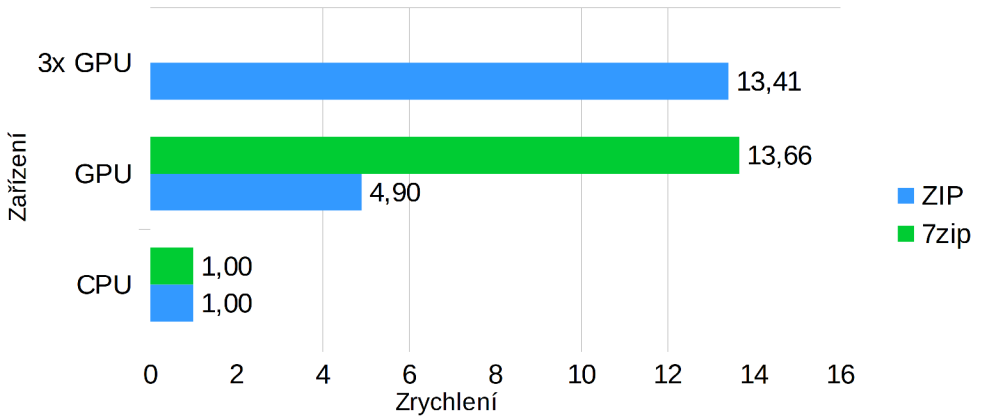
převyšuje svým výkonem nástroje *John the Ripper* i náš *Wrathion*. Není mi však známo jakou GWS používá a tudíž jestli kdyby běžel na stejné jako *John the Ripper* a *Wrathion*, by výsledky nebyly více vyrovnané (oba 32378). Každopádně jako pozitivum lze brát, že *Wrathion* neskončil poslední a alespoň jeden nástroj převyšuje.

V posledním možném případě, kterým je akcelerace obnovy hesel na více GPU, máme zase pouze dva nástroje. *John the Ripper* nemá v dostupné verzi podporu pro běh na více GPU naráz, proto byl vynechán.

Velmi zajímavá věc u *oclHashcatu* je, že pro krátká hesla má opět nižší výkon než pro delší. Za zajímavé také shledávám jeho využití jednotlivých GPU. Podle poskytnutých informací totiž pro krátká hesla, mimo nižší rychlost, používá také jednu GPU i když jsem mu explicitně určil ať použije tři GPU.

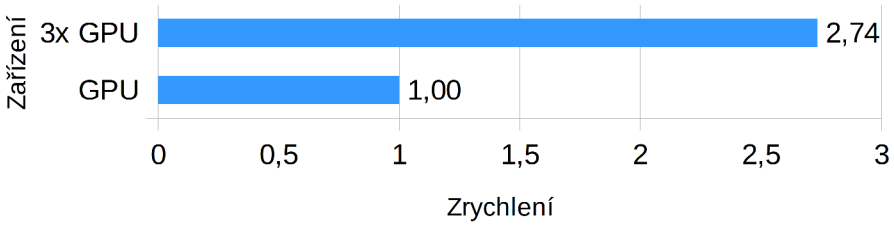
8.4 Zrychlení a vliv akcelerace výpočtů na GPU

Akcelerace na GPU nám přináší značné navýšení výkonu pro obnovu hesel. Je to způsobeno více výpočetními jednotkami na GPU oproti CPU. Vliv akcelerace na nárůst výkonu není konstantní a liší se formát od formátu. Očekával jsem, že přidání dalších GPU zvýší celkový



Obrázek 8.1: Zrychlení obnovy hesel při použití GPU na místo CPU.

výkon alespoň o 80% což se pro modul ZIP povedlo překonat. Z hodnot v grafu jsem odvodil zrychlení o 174% v okamžiku, kdy jsem přidal další 2 GPU.



Obrázek 8.2: Zrychlení obnovy hesel archivu ZIP při přidání dalších GPU.

Kapitola 9

Závěr

Obsáhnout všechny možnosti a nastavení analyzovaných formátů je prakticky nemožné z důvodu nízkého počtu nástrojů schopných tyto hodnoty nastavit, což platí zejména pro formát ZIP.

Struktury jednotlivých formátů byly popsány tak, aby bylo možné chybějící nebo nejasné informace dohledat ve specifikacích formátu. Jak již bylo zmíněno, struktura 7z souboru je poměrně komplexní a proměnná, přičemž dokumentace tohoto formátu je značně nedostačující. Je tedy nutné strávit dostatek času studiem struktury formátu, zdrojových kódů a fóra vývojáře pro získání dalších a detailnějších informací.

Výsledky měření prokázaly konkurenceschopnost nově přidaných funkcionalit. Z důvodu nedostatečných zkušeností s paralelními aplikacemi a OpenCL nebyly provedeny větší optimalizace kernelů a zůstává zde tedy prostor pro zvýšení jejich výkonu.

Měření také ukazují, jak silná jednotlivá zabezpečení jsou. Srovnání bezpečnosti šifrovací metody WinZip AES a metody AES, o jejíž podporu byl *Wrathion* rozšířen, nám říká, co bylo pravděpodobně hlavním důvodem vytvoření metody WinZip AES. Metoda AES totiž používá funkce pro generování šifrovacího klíče, jež nevyžadují žádné iterace hešovacích funkcí. Tím se toto zabezpečení stává velmi náchylné k útokům hrubou silou.

Protějškem k zabezpečení ZIP pomocí AES je zabezpečení formátu 7–zip. Kombinace AES256 a velkého počtu iterací hešovací funkce SHA–256 při generování šifrovacího klíče vede k zabezpečení dat, které dobře odolává útokům hrubou silou. Pokud použijeme heslo, které se řídí doporučeními pro vytváření bezpečného hesla, pak lze prohlásit tuto metodu zabezpečení, za předpokladu, že nemáme k dispozici vysoce výkonný superpočítač, za v podstatě neprolomitelnou v reálném čase.

Během práce na nástroji jsem objevil následující možnosti, které by v budoucnu mohly potenciálně zvýšit výkon modulu 7z v nástroji *Wrathion*:

1. Rozšíření *Wrathionu* o možnost zasílání klíčů pro dešifrování z GPU na CPU. Momentální stav je takový, že se klíče generují dvakrát, čímž se díky značnému počtu iterací hešovací funkce ztrácí hodně času, při opakovaném generování klíče na CPU.

2. Další pomůckou pro modul 7z by bylo využití více vláken při ověřování hesel na CPU. Při současném návrhu modulu GPU slouží pouze jako filtr a CPU ji brzdí, protože musí provádět dešifrování a dekompresi dat, aby byl schopen ověřit heslo. GPU je ale schopna naráz označit více hesel jako potenciálně správných. Distribuování ověřování do více výpočetních vláken by zrychlilo procházení označených hesel.

Literatura

[1] Specification for the Advanced Encryption Standard (AES). Federal Information Processing Standards Publication 197, 2001.
URL http://csrc.nist.gov/publications/fips/fips197/fips-197.pdf

[2] Secured Hash Standard (SHS). Federal Information Processing Standards Publication 180-4, 2015.
URL http://csrc.nist.gov/publications/fips/fips180-4/fips-180-4.pdf

[3] ISO/IEC 21320-1:2015 - Information technology – Document Container File – Part 1: Core. 2015 [cit. 2015-11-17].
URL https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:60101:en

[4] AMD Staff: OpenCL and the AMD APP SDK v2.4. 2011-06-04 [cit. 2015-11-26].
URL http://developer.amd.com/resources/documentation-articles/articles-whitepapers/opencl-and-the-amd-app-sdk-v2-4/

[5] Barker, W. C.; Barker, E.: Recommendation forthe Triple Data Encryption Algorithm (TDEA) Block Cipher. National Institute of Standards and Technlogy Special Publication 800-67, 2012, revision 1.
URL http://csrc.nist.gov/publications/nistpubs/800-67-Rev1/SP-800-67-Rev1.pdf

[6] Hranický, R.; Matoušek, P.; Ryšavý, O.; aj.: Experimental Evaluation of Password Recovery in Encrypted Documents. In *Proceedings of ICISSP 2016*, SciTePress - Science and Technology Publications, 2016, ISBN 978-989-758-167-0, s. 299–306.
URL http://www.fit.vutbr.cz/research/view_pub.php?id=11052

[7] Khronos OpenCL Working Group: The OpenCL Specification v2.1 rev.23. 2015-11-11 [cit. 2015-11-26].
URL https://www.khronos.org/registry/cl/specs/opencl-2.1.pdf

[8] Mezenes, A. J.; van Oorschot, P. C.; Vanstone, S. A.: *Handbook of Applied Cryptography*. Boca Raton (Florida): CRC Press, páté vydání, říjen 1996, ISBN 0-8493-8523-7, 816 s.

[9] Nvidia Corporation: CUDA Parallel Computing Platform. 2015 [cit. 2015-12-09].
URL http://www.nvidia.com/object/cuda_home_new.html

[10] Pavlov, I.: 7z Format description (4.59). 2010-09-16 [cit. 2015-11-29].
URL http://cpansearch.perl.org/src/BJOERN/Compress-Deflate7-1.0/7zip/DOC/7zFormat.txt

[11] Pavlov, I.: 7-Zip method IDs for 7z and xz archives. 2015-08-04 [cit. 2015-11-29].
URL http://cpansearch.perl.org/src/BJOERN/Compress-Deflate7-1.0/7zip/DOC/Methods.txt

[12] Pavlov, I.: 7z Format. 2015 [cit. 2015-11-29].
URL http://www.7-zip.org/7z.html

[13] PKWARE, Inc.: APPNOTE.TXT - .ZIP File Format Specification. 2014-10-1 [cit. 2015-11-17].
URL https://pkware.cachefly.net/webdocs/casestudies/APPNOTE.TXT

[14] PKWARE, Inc.: Our Founder - Phil Katz. [cit. 2015-11-17].
URL https://www.pkware.com/about-us/phil-katz

[15] Schmied, J.: *GPU akcelerované prolamování šifer*. diplomová práce, FIT VUT v Brně, 2014.

Přílohy

Seznam příloh

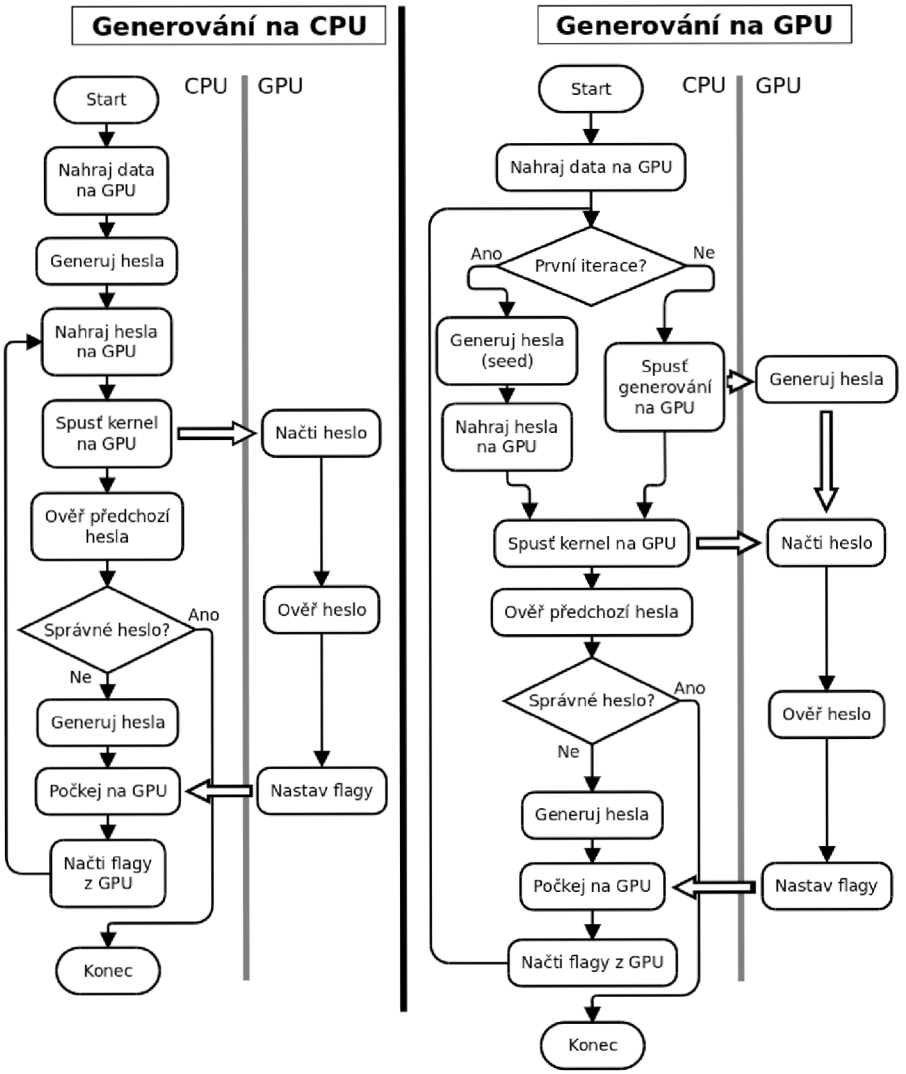
Příloha A

Obsah CD

- doc/ – složka s dokumentací (vygenerováno nástrojem Doxygen).
- src/ – složka se zdrojovými kódy.
  - core/ – složka se zdrojovými kódy jádra knihovny.
  - include/ – složka s hlavičkovými soubory jádra.
  - modules/ – složka se zdrojovými kódy modulů.
  - README – manuál k zprovoznění a spuštění nástroje.
- text/ – složka se zdrojovými kódy technické zprávy.
- Doxygen – soubor s konfigurací doxygenu.
- estimate_time.py – slouží k výpočtu času potřebného k prolomení uvedeného hesla při uvedené rychlosti.
- LICENSE – text licence MIT.
- README – základní info s obsahem CD a seznamem změn oproti původní verzi.
- obnova_hesel_archivu_zip_s_vyuzitim_GPU.pdf – elektronická verze této technické zprávy.

Příloha B

Typy GPU generátorů



Obrázek B.1: Proces generování hesel na CPU a ověřování na GPU vlevo. Generování a ověřování na GPU vpravo. [15]