

Slovenská technická univerzita v Bratislave
Fakulta informatiky a informačných technológií

Volne šíriteľné nástroje na obnovu zmazaných súborov

PRINCÍPY INFORMAČNEJ BEZPEČNOSTI

Marek Čederle

`xcederlem@stuba.sk`

29. apríla 2024

Obsah

1	Špecifikácia projektu	2
1.1	Progress report č.1	2
1.2	Progress report č.2	3
1.3	Ciele projektu	3
2	Súborové systémy	3
2.1	FAT - File Allocation Table	3
2.1.1	FAT32	3
2.1.2	Štruktúra FAT a FAT32	4
2.1.3	exFAT - Extensible File Allocation Table	5
2.1.4	Štruktúra exFAT	5
2.1.5	Výhody a nevýhody FAT32 a exFAT	7
2.2	NTFS - New Technology File System	7
2.2.1	Štruktúra NTFS	8
2.2.2	Bezpečnosť NTFS	9
2.2.3	Výhody a nevýhody NTFS	9
2.3	ext - Extended File System	9
2.3.1	ext4	10
2.3.2	Štruktúra ext4	10
2.3.3	Výhody a nevýhody ext4	12
3	Nástroje na obnovu údajov	12
3.1	Testdisk	13
4	Experimentovanie s nástrojom testdisk	13
4.1	Zmazanie a obnova súborov	13
4.2	Zmazanie a obnova partície	14
5	Výsledky experimentov	14
6	Správne zmazanie dát a formátovanie disku	14
7	Záver	14

1 Špecifikácia projektu

V mojom projekte sa budem venovať analýze súborových systémov pre operačné systémy Windows a GNU+Linux. Bude sa jednať o súborové systémy typu NTFS a ext ale spomeniem aj dodnes veľmi používané FAT32 a exFAT ktoré sa používajú na prenosných médiách. Každý súborový systém by som chcel opísať s tým, že uvediem jeho výhody a nevýhody prípadné porovnanie s ďalšími spomenutými súborovými systémami.

Budem sa zaoberať aj tým, ako správne naformátovať disk (prepísať ho náhodnými dátami alebo samými nulami) aby pri jeho predaji sa z bezpečnostných dôvodov nedalo zistiť čo sa na ňom pred tým nachádzalo. Je to z dôvodu že pri mazaní dát z disku sa vlastne tieto dáta reálne nemažú. Dáta na disku zostanú, len sa z tabuľky záznamov zahodí záznam kde sa súbor nachádza a potom keď sa zapisuje na disk tak operačný systém vie, že môže na toto miesto zapisovať.

Taktiež sa budem zaoberať analýzou nástroja na obnovu zmazaných súborov s názvom testdisk. Vysvetlím, prečo som si vybral práve tento nástroj. S týmto nástrojom budem následne experimentovať. Experimenty budú spočívať v tom, že si naformátujem disk a vytvorím na ňom nejaké partície podľa typu daného súborového systému. Následne naň uloží rôzne typy súborov. Budú sa tam nachádzať fotky, textové súbory, archívy, atď. Potom vymažem nejaké z týchto súborov, ale na disk ďalej nič nezapišem, aby sa nezačali prepisovať dané miesta na disku inými súbormi. Následne vyskúšam nástroj na obnovu zmazaných súborov (testdisk) či zvládne tieto súbory obnoviť. Tento experiment zopakujem s tým, že po zmazaní ďalších súborov zapíšem na disk zase nové súbory a vyskúšam použiť nástroj na obnovu či dokáže aj po takejto akcii obnoviť súbory. Ďalší experiment bude spočívať v zmazaní celej partície a jej následnej obnove týmto nástrojom. V neposlednom rade ukážem, že po správnom formátovaní disku sa nebudú dať dáta obnoviť. Na záver budem prezentovať výsledky experimentov.

1.1 Progress report č.1

V prvom progress reporte vypracujem teoretickú časť, ktorú som na začiatku uviedol. To znamená popísanie rôznych typov súborových systémov a nástrojov na obnovu súborov. V neposlednom rade uvediem ako z bezpečnostného hľadiska správne “zmazať” súbory na disku respektíve ako ho naformátovať tak, aby sa z neho minulé dáta nedali prečítať.

1.2 Progress report č.2

V tomto progress reporte sa budem zameriavať na praktickú/experimentálnu časť. To znamená, že sa pokúsim vykonať všetky vyššie spomenuté experimenty. Na záver budem pracovať na celkovej úprave finálneho dokumentu.

1.3 Ciele projektu

Cieľom tohto projektu je získať informácie z oblasti súborových systémov a vykonať rôzne experimenty s nástrojmi na obnovu údajov. Keďže sa jedná o predmet Princípy informačnej bezpečnosti, tak cieľom je poukázať na dopady neformátovania respektíve neefektívneho “ničenia” súborov na bezpečnosť.

2 Súborové systémy

Súborový systém je metóda a dátová štruktúra, ktorú operačný systém používa na riadenie spôsobu ukladania a načítavania dát. Bez súborového systému by dáta umiestnené na pamäťovom médiu boli jedným veľkým zväzkom dát bez možnosti určiť, kde končí jeden súbor a začína ďalší, alebo kde sa nachádza, keď je potrebné ho načítať. Rozdelením dát na časti a pomenovaním každej časti sa dáta ľahko izolujú a identifikujú. Každá skupina dát sa nazýva súbor.

2.1 FAT - File Allocation Table

FAT je súborový systém vyvinutý pre osobné počítače. Pôvodne vyvinutý v roku 1977 na použitie na disketách, neskôr bol prispôsobený na použitie na pevných diskoch a iných zariadeniach. Často je z dôvodov kompatibility podporovaný súčasnými operačnými systémami pre osobné počítače a mnohými mobilnými zariadeniami a “embed” systémami. FAT ako taký je už v dnešnej dobe nepoužívaný, ale jeho odnože (FAT32, exFAT) sa doteraz používajú napríklad v prenosných médiách ako USB kľúče, SD karty a podobne.

2.1.1 FAT32

Najpokročilejšia verzia súborového systému FAT je FAT32. S FAT32 sa Microsoft snažil prekonať obmedzenia FAT16 a prispôbiť sa väčším možným partíciám. Existuje už od Windowsu 95 a naďalej zostáva populárny, pretože je vysoko kompatibilný s väčšinou operačných systémov (GNU+Linux, MAC) a prenosných zariadení. FAT32 podporuje súbory do 4 GB a partície s

maximálnou veľkosťou 2 TB. Používa sa prevažne pre EFI partície a prenosné médiá s kapacitou do 32GB.

2.1.2 Štruktúra FAT a FAT32

Novo naformátovaný disk s FAT vyzerá nasledovne:



FAT File System Structure



FAT32 File System Structure

EaseUS[®]
Make your life easy!

Obr. 1: Štruktúra súborového systému FAT a FAT32
Zdroj: <https://www.easeus.com/diskmanager/file-system.html>

- Reserved Area
 - Obsahuje boot sector, BPB (BIOS Parameter Block) a celkovo informácie potrebné pre bootovanie a súborový systém.
- 1st FAT Area
 - FAT tabuľka obsahujúca informácie o súboroch a ich umiestnení na disku.
- 2nd FAT Area
 - Obsahuje kópiu FAT tabuľky.
- Boot Directory

- Niekedy sa nazýva aj Root Directory. Používa sa iba v derivátoch FAT12 a FAT16. Obsahuje informácie o súboroch, ktoré sa nachádzajú priamo v koreňovom adresári.
- Data Area
 - Obsahuje samotné dáta súborov.

2.1.3 exFAT - Extensible File Allocation Table

exFAT je súborový systém predstavený spoločnosťou Microsoft v roku 2006 a optimalizovaný pre flash pamäte, ako sú USB flash disky a SD karty. exFAT bol proprietárny do 28. augusta 2019, kedy Microsoft zverejnil jeho špecifikáciu. Microsoft však stále vlastní patenty na niekoľko častí svojho dizajnu. To spôsobilo rozšírenie jeho podpory medzi rôzne operačné systémy.

exFAT možno použiť tam, kde NTFS nie je vhodným riešením (kvôli vysokej rézii¹), ale kde je potrebná podpora súborov väčších ako 4 GB. Podporuje rádovo väčšiu veľkosť súborov ako FAT32 (ExaByty).

exFAT bol prijatý SD Association ako predvolený súborový systém pre karty SDXC väčšie ako 32 GB.

Windows 8 a novšie verzie natívne podporujú bootovanie z exFAT.

2.1.4 Štruktúra exFAT

Novo naformátovaný disk s exFAT vyzerá nasledovne:

¹angl. overhead



exFAT File System Structure

EaseUS[®]
Make your life easy!

Obr. 2: Štruktúra súborového systému exFAT

Zdroj: <https://www.easeus.com/diskmanager/file-system.html>

- Boot Region
 - Main Boot Region
 - * Informácie potrebné pre bootovanie.
 - Backup Boot Region
 - * Záloha Main Boot Region.
- FAT Region
 - FAT Alignment
 - * FAT offset a veľkosť.
 - 1st FAT
 - * FAT tabuľka obsahujúca informácie o súboroch a ich umiestnení na disku.
 - 2nd FAT
 - * Záloha FAT tabuľky.
- Data Region
 - Cluster Heap Alignment
 - * Cluster heap offset a veľkosť.
 - Cluster Heap
 - * Obsahuje samotné dáta súborov.
 - Excess Space
 - * Zvyšok priestoru na disku.

2.1.5 Výhody a nevýhody FAT32 a exFAT

FAT32	
Výhody	Nevýhody
Vysoko kompatibilný s rôznymi operačnými systémami.	Nedokáže uložiť súbor, ktorý je väčší ako 4GB.
Je kompatibilný s väčšinou prenosných úložných zariadení.	Nemá natívne šifrovanie súborov a chýbajú mu prístupové povolenia prítomné v moderných súborových systémoch.
	FAT32 je pomalší na čítanie a zápis dát v porovnaní s modernými súborovými systémami.

Tabuľka 1: Výhody a nevýhody súborového systému FAT32

Zdroj: <https://superops.com/ntfs-vs-fat32>

exFAT	
Výhody	Nevýhody
Podporuje súbory väčšie ako 4GB.	Absencia žurnálovania a kompresie dát.
Je predvoleným systémom na SD kartách s vysokou kapacitou	Nemá podporu pre staršie operačné systémy bez špeciálnych ovladačov.
Veľkosť partície je v podstate neobmedzená.	Nemá natívnu podporu pre šifrovanie dát.
Efektívnejší ako FAT32.	Nie je efektívnejší ako NTFS alebo ext.
Podpora všetkých majoritných operačných systémov.	Nie je vhodný pre viac-používateľské aplikácie z dôvodu vyššej fragmentácie.

Tabuľka 2: Výhody a nevýhody súborového systému exFAT

Zdroj: <https://www.profolus.com/topics/exfat-advantages-disadvantages-extensible-fat/>

2.2 NTFS - New Technology File System

NTFS je proprietárny súborový systém vytvorený spoločnosťou Microsoft. Bol uvedený s vtedy novým operačným systémom Windows NT² v roku 1993. Vtedy nahradil dovtedy veľmi používaný súborový systém FAT. NTFS je predovšetkým určený pre pevné disky HDD³ a neskôr aj pre SSD⁴. Je však možné ho použiť aj na prenosové média typu USB kľúč a podobne.

Súborový systém NTFS prináša kombináciu vyššej rýchlosti, väčšej spoľahlivosti a kompatibility oproti súborovému systému FAT, ktorý bol jeho predchodcom v ére operačného systému MS DOS. Natívne podporuje šifrovanie a kompresiu súborov. Podporuje aj veľmi veľké súbory a partície.

Ide o žurnálový súborový systém, čo znamená, že všetky zmeny na disku sú zaznamenané v tzv. žurnáli. V prípade výpadku napájania alebo zlyhania systému je možné rýchlo obnoviť

²New Technology

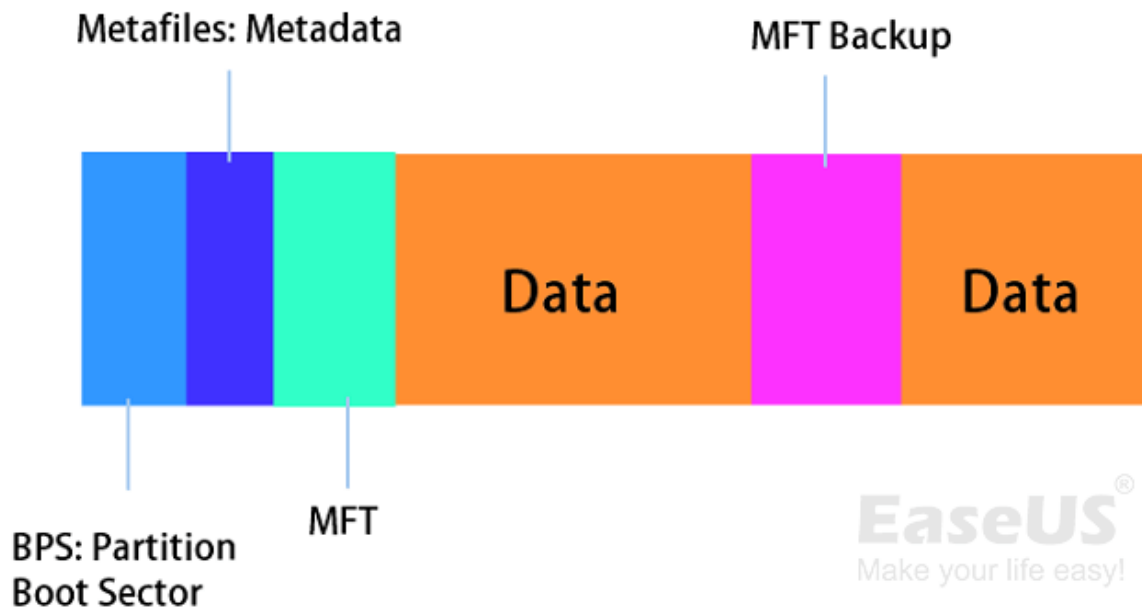
³Hard Disk Drive

⁴Solid State Drive

dáta na disku.

2.2.1 Štruktúra NTFS

Novo naformátovaný disk s NTFS vyzerá nasledovne:



Obr. 3: Štruktúra súborového systému NTFS
Zdroj: <https://www.easeus.com/diskmanager/file-system.html>

- Partition Boot Sector
 - Obsahuje informácie potrebné pre bootovanie. Primárne sa jedná o BootStrap čo je vlastne malý program, ktorý ma za úlohu načítať operačný systém do pamäte.
- Metadata
 - Pomáhajú definovať a organizovať súborový systém, zálohovať kritické údaje súborového systému.
- Master File Table (MFT)
 - Obsahuje záznamy o všetkých súboroch a adresároch na disku. Je to v podstate ekvivalent FAT tabuľky.
- Data
 - Obsahuje samotné dáta súborov.
- MFT Backup
 - Obsahuje zálohu MFT tabuľky.

2.2.2 Bezpečnosť NTFS

Ako som vyššie spomenul tak NTFS natívne podporuje šifrovanie súborov, priečinkov ale aj celých partícií. Súborový systém NTFS umožňuje nastaviť povolenia na prístup k niektorým lokálnym súborom a priečinkom. Inými slovami, dôverný súbor môžete nastaviť tak, aby bol pre niektorých iných používateľov nedostupný. Táto metóda sa nazýva riadenie úrovne prístupu (ACL).

2.2.3 Výhody a nevýhody NTFS

Výhody	Nevýhody
Podporuje veľmi veľké súbory a nemá takmer žiadne reálne obmedzenie veľkosti oddielu.	Má uzatvorený zdrojový kód.
Poskytuje vylepšené zabezpečenie údajov pomocou funkcií riadenia úrovne prístupu a natívneho šifrovania.	Mac OS dokáže čítať jednotky naformátované v systéme NTFS, ale na systém NTFS je možné zapisovať iba prostredníctvom softvéru tretej strany.
Podporuje automatickú kompresiu súborov, čo umožňuje rýchlejší prenos súborov a väčší úložný priestor na disku.	Prenosné zariadenia, ako sú smartfóny so systémom Android a digitálne fotoaparáty, ho nepodporujú.
Umožňuje diskové kvóty, ktoré firmám poskytujú väčšiu kontrolu nad úložným priestorom.	Kompatibilita so systémami založenými na GNU+Linux síce existuje ale iba kvôli vôli softvérových inžinierov urobiť ovladače vďaka reverznému inžinierstvu.
Umožňuje používateľom sledovať pridané, upravené alebo odstránené súbory na disku.	
Zameriava na konzistenciu súborového systému, takže v prípade výpadku napájania alebo zlyhania systému môžete rýchlo obnoviť svoje údaje.	

Tabuľka 3: Výhody a nevýhody súborového systému NTFS

Zdroj: <https://superops.com/ntfs-vs-fat32>

2.3 ext - Extended File System

ext bol implementovaný v apríli 1992 ako prvý súborový systém vytvorený špeciálne pre jadro Linuxu. Má štruktúru metadát inšpirovanú tradičnými princípmi súborového systému Unix a navrhol ho Rémy Card, aby prekonal určité obmedzenia súborového systému MINIX. Bola to prvá implementácia, ktorá využívala virtuálny súborový systém (VFS⁵), ktorého podpora bola pridaná do jadra Linuxu vo verzii 0.96c, a dokázala spracovať súborové systémy s veľkosťou až 2 GB.

⁵Virtual File System

ext bol prvým z radu rozšírených súborových systémov. V roku 1993 ho nahradili systémy ext2 a Xiafs, ktoré si istý čas konkurovali, ale ext2 zvíťazil vďaka svojej dlhodobej životaschopnosti: ext2 odstránil problémy ext, ako napríklad nemennosť inódov a fragmentáciu.

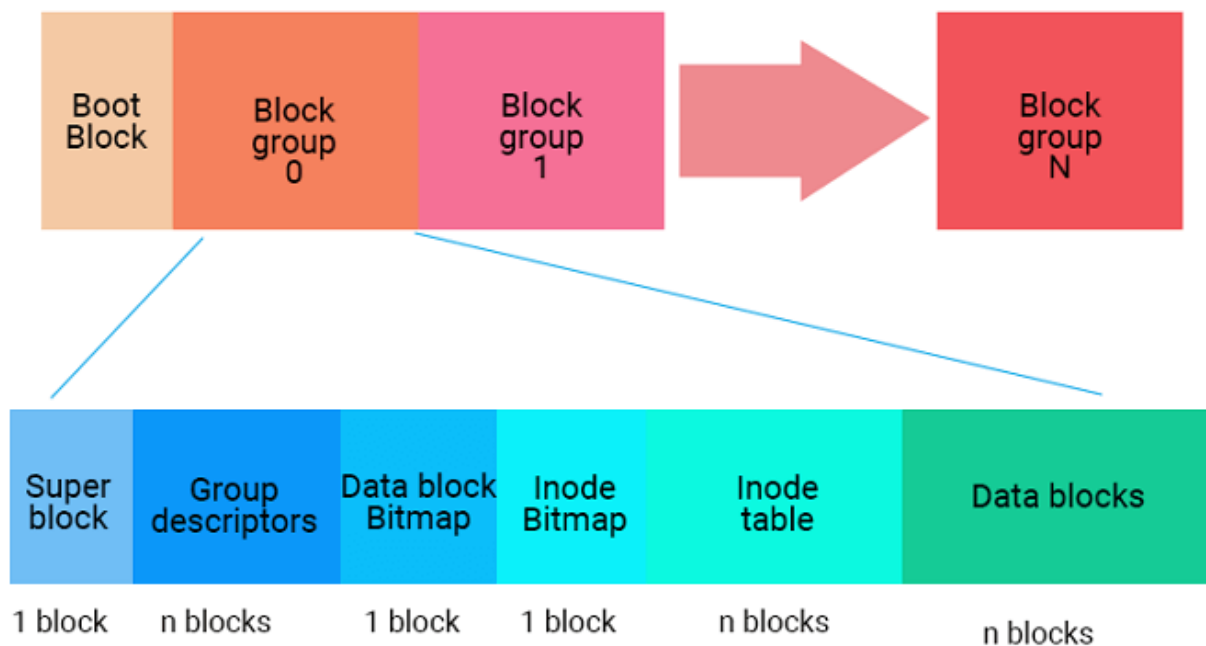
Ďalej sa tento súborový systém rozširoval a aktualizoval. Z tohto vznikli novšie verzie ext3 a ext4.

2.3.1 ext4

Podobne ako pri NTFS aj ext4 je tzv. žurnálový súborový systém. Je veľmi abstraktný čo je výhodou pre software pretože sa software developery nemusia zaoberať priveľa súborovým systémom a ich program by mal fungovať na každom rovnako. Abstrakcia znamená že všetok hardware (disky, a pod.) sú v ext4 reprezentované ako súbor. Má až takú úroveň abstrakcia že vlastne všetko je v podstate súbor. Používa sa ako predvolený súborový systém pre disky na distribúciách založených na Debian a Ubuntu. Taktiež je spätne kompatibilný s ext3.

2.3.2 Štruktúra ext4

Novo naformátovaný disk s ext4 vyzerá nasledovne:



EXT File System Structure

EaseUS
Make your life easy!

Obr. 4: Štruktúra súborového systému ext4

Zdroj: <https://www.easeus.com/diskmanager/file-system.html>

- Boot Block
 - Informácie o bootovaní
- Block group
 - Super block
 - * Superblok sa nachádza na začiatku súborového systému a obsahuje metadáta o súborovom systéme vrátane jeho veľkosti, veľkosti bloku, počtu inódov a ďalších parametrov. Slúži ako hlavný riadiaci blok pre súborový systém
 - Group descriptors
 - * Skupinové deskriptory obsahujú metadáta pre danú skupinu
 - Data block Bitmap
 - * Sleduje status blokov pre danú skupinu
 - Inode Bitmap
 - * Sleduje status inodov pre danú skupinu
 - Inode Table
 - * Obsahujú metadáta a atribúty, čo sa týka oprávnení a ďalších informácií pre každý súbor a adresár v danej skupine
 - Data blocks
 - * Obsahujú dané dáta

2.3.3 Výhody a nevýhody ext4

Výhody	Nevýhody
Podporuje najväčšiu individuálnu veľkosť súboru a veľkosť zväzku súborového systému.	Neposkytuje zabezpečenie dát.
Podporuje všetky znaky okrem NULL a './.'	Ťažké vytvoriť snapshot na inom zväzku.
Môžete previesť súborový systém Ext3 na Ext4.	Využíva viacej miesta na disku.
Zahŕňa pokročilé funkcie ako rozšírenie, indexovanie adresárov, oneskorenú alokáciu a defragmentáciu.	
Podporuje neobmedzený počet podadresárov.	
Používa timestamp v nanosekundách.	
Podporuje predalokácia pre rozsiahle súbory.	
Podporuje viacnásobnú alokáciu blokov.	

Tabuľka 4: Výhody a nevýhody súborového systému Ext4

Zdroj: <https://www.easeus.com/partition-master/ext2-ext3-ext4-file-system-format-and-difference.html>

3 Nástroje na obnovu údajov

Existuje mnoho nástrojov na obnovu údajov. Či už ide o špecializované nástroje pre obnovu fotiek alebo multimediálnych súborov, alebo o univerzálne nástroje, ktoré dokážu obnoviť akékoľvek súbory. V tejto kapitole sa pozrieme na niektoré z nich.

- Recuva
 - Široko používaný a ľahko ovládateľný nástroj s pokročilými možnosťami skenovania pre rôzne typy súborov. Dostupný pre platformu Windows.
- PhotoRec
 - Špecializovaný na obnovenie stratených obrázkov a multimediálnych súborov z rôznych úložných zariadení. Dostupný pre Windows, MacOS, Linux a ďalšie.
- Testdisk
 - Je od rovnakého vývojára ako PhotoRec. Dokáže obnoviť rôzne druhy súborov. Je univerzálny. Nielen obnovuje vymazané súbory, ale tiež pomáha opraviť tabuľku oddielov a boot sektory. Dostupný pre Windows, MacOS, Linux a ďalšie.
- Disk Drill
 - Veľmi podobný nástroj ako Recuva. Narozdiel od Recuvy, ktorá sa zaoberá skorej funkcionalitou, Disk Drill sa zameriava na používateľský zážitok (UX⁶). Dostupný pre Windows, MacOS.

⁶User Experience



Obr. 5:
Recuva



Obr. 6:
PhotoRec



Obr. 7:
Testdisk



Obr. 8: Disk
Drill

3.1 Testdisk

Prečo som si vybral práve testdisk? Pretože je univerzálny, dokáže obnoviť rôzne druhy súborov. Taktiež vie opraviť tabuľku oddielov a boot sektory. Je crossplatform⁷ a zároveň je FOSS⁸. Podporuje viacero typov partition table (MBR⁹, GPT¹⁰). Zároveň podporuje viacero súborových systémov či už ide o FAT32, exFAT ale aj NTFS a ext. Má jednoduché rozhranie a nie je náročný na systém.

4 Experimentovanie s nástrojom testdisk

Najskôr bolo potrebné si pripraviť testovacie prostredie. Uvažoval som aj nad testovaním na fyzickom disku ale keďže na mojom počítači mám operačný systém Windows a ten nedokáže pracovať s diskami, ktoré sú naformátované na ext, tak som sa rozhodol, že budem pracovať na virtuálnom stroji (VM¹¹). Použil som program VirtualBox, ktorý je zadarmo. Na VM som nainštaloval Ubuntu vtedy najnovšiu verziu distribúcie Arch. Najprv som si nastavil prostredie aby sa mi lepšie pracovalo. Následne som si stiahol potrebné nástroje a dependencies. Potom som vytvoril virtuálne disky, ktorý som najskôr naformátoval a neskôr pripojil (mountol) do systému. Po tomto sa mohlo začať s experimentovaním.

4.1 Zmazanie a obnova súborov

podarilo úplne v pohode pri fat32 a exfat, pri ntfs bol problém asi to že to bezalo na linuxe ale podarilo sa to obnoviť cez inodes ale bolo treba premenovať súbor aj s koncovkou a nastaviť ownership nad ním, z ext4 sa nepodarilo z nejakého dôvodu, pri SSD diskoch je treba mať vypnutú funkciu TRIM, ktorá je zodpovedná za rovnomerné opotrebovávanie disku a preto

⁷Podporuje viacero operačných systémov

⁸Free & Open Source Software — zadarmo s voľne šíriteľným zdrojovým kódom

⁹Master Boot Record

¹⁰GUID Partition Table

¹¹Virtual Machine

neukladá dáta sekvenčne ako HDD aby bolo rýchlejšie ale ukladá náhodne na rôzne bunky.

4.2 Zmazanie a obnova partície

zvladol všetky obnoviť, dokonca aj keď bolo viacero partícií na jednom disku a každá mala iný filesystem.

5 Výsledky experimentov

sem napísať výsledky a nakoniec napísať toto: ak správne naformátujeme disk tak že ho pomocou nejakého nástroja prepíšeme čí viacero krát náhodnými dátami tak je možné ho predať bez obavy že sa z neho dajú obnoviť dáta ktoré tam boli pred tým, je to preto lebo pri vymazávaní sa v "mazu" v podstate iba zaznamenajú o dátach súboroch reperfektívne sa označia že tam je teraz voľné miesto a môže sa tam zapisovať

6 Správne zmazanie dát a formátovanie disku

Príkaz `shred`, funguje však iba na HDD lebo SSD používajú TRIM (da sa asi vypnúť ?) ktorý vlastne robí wear and tear mechanizmus aby sa disk opotrebovával rovnomerne a preto sa dáta ukladajú náhodne na rôzne bunky a nie sekvenčne ako na HDD aby to bolo rýchlejšie lebo pri SSD na tom nezáleží

7 Záver

ak sa nám stalo že sme omylom vymazali partíciu alebo súbory ktoré sme nechceli tak treba hneď prestať zapisovať na disk a je veľká šanca že dáta vieme zachrániť avšak ak začneme robiť zmeny na disku a následne naň zapisovať tak je v podstate jedno aký súborový systém používame v každom prípade prepíšeme dáta ktoré tam boli

Literatúra

- [1] Christophe GRENIER. Testdisk - cgsecurity, 2016 - 2023. URL https://www.cgsecurity.org/testdisk_doc/. [Online; accessed 28-February-2024].

- [2] Richard Russon, Yuval Fledel. NTFS Documentation - Linux Reverse Engineered, 2000. URL <https://dubeyko.com/development/FileSystems/NTFS/ntfsdoc.pdf>. [Online; accessed 28-February-2024].
- [3] NTFS Documentation. URL <https://www.ntfs.com/>. [Online; accessed 12-March-2024].
- [4] Tracy King. What Is NTFS File System and Do I Need It? URL <https://www.easeus.com/partition-manager-software/ntfs-file-system.html>. [Online; accessed 13-March-2024].
- [5] Microsoft Corporation. FAT: General Overview of On-Disk Format, 2000. URL <https://dubeyko.com/development/FileSystems/FAT/FAT%20Specs%201.03.pdf>. [Online; accessed 28-February-2024].
- [6] The kernel development community. ext4 Filesystem. URL <https://www.kernel.org/doc/html/v4.19/filesystems/ext4/index.html>. [Online; accessed 28-February-2024].
- [7] Wikipedia contributors. Extended file system — Wikipedia, the free encyclopedia, 2024. URL https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Extended_file_system&oldid=1214102216. [Online; accessed April-2024].
- [8] Tracy King. File System Comparison: NTFS, FAT32, exFAT, and EXT, Which File System Should I Use, 2023. URL <https://www.easeus.com/diskmanager/file-system.html>. [Online; accessed March-2024].
- [9] Wikipedia contributors. File system — Wikipedia, the free encyclopedia, 2024. URL https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=File_system&oldid=1220996793. [Online; accessed April-2024].
- [10] Comparing NTFS and FAT32 File Systems: Features, Pros and Cons. URL <https://superops.com/ntfs-vs-fat32>. [Online; accessed March-2024].
- [11] Kristoffer Bonheur. exFAT: Advantages and Disadvantages of Extensible FAT, 2023. URL <https://www.profolus.com/topics/exfat-advantages-disadvantages-extensible-fat/>. [Online; accessed April-2024].
- [12] Wikipedia contributors. Exfat — Wikipedia, the free encyclopedia, 2024. URL <https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=ExFAT&oldid=1214486967>. [Online; accessed April-2024].

- [13] Gabriel Ramuglia. Using shred — The Linux Command for Secure File Deletion, 2023. URL <https://ioflood.com/blog/shred-linux-command/>. [Online; accessed April-2024].
- [14] Free Software Foundation, Inc. GNU Coreutils, 1994-2024. URL <https://www.gnu.org/software/coreutils/manual/coreutils.html>. [Online; accessed April-2024].