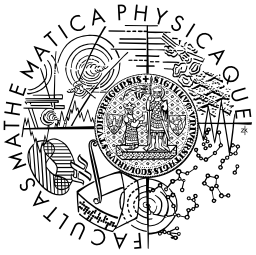


MATEMATICKO-FYZIKÁLNÍ
FAKULTA
Univerzita Karlova

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Peter Lakatoš

Analyzátor USB paketů

Katedra distribuovaných a spolehlivých systémů

Vedoucí bakalářské práce: Mgr. Pavel Ježek, Ph.D.
Studijní program: Informatika
Studijní obor: Programování a softwarové systémy

Praha 2021

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval(a) samostatně a výhradně s použitím citovaných pramenů, literatury a dalších odborných zdrojů. Tato práce nebyla využita k získání jiného nebo stejného titulu.

Beru na vědomí, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorského zákona v platném znění, zejména skutečnost, že Univerzita Karlova má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle §60 odst. 1 autorského zákona.

V ..... dne ....

Podpis autora

Poděkování.

Název práce: Analyzátor USB paketů

Autor: Peter Lakatoš

Katedra: Katedra distribuovaných a spolehlivých systémů

Vedoucí bakalářské práce: Mgr. Pavel Ježek, Ph.D., Katedra distribuovaných a spolehlivých systémů

Abstrakt: USB zbernica je dnes jedným z najrozšírenejších spôsobov pripojenia periférií k počítaču. Cieľom práce bolo vytvoriť software, ktorý analyzuje zachytenú komunikáciu medzi zariadnením pripojeným na danú zbernicu a počítačom.

Aplikácia následne rozumným spôsobom vizuálne zobrazuje zanalyzované dáta. Počiatočná verzia sa špecificky zameriava na HID triedu zariadení a ponúka aj sémantický význam jej úzkej podmnožiny do ktorej patria myš, klávesnica a joystick. Pri vizuálnej reprezentácii dát sa práca inšpiruje rôznymi dostupnými softwarmi, pričom rozlične kombinuje resp. dopĺňa ich vlastnosti a implementuje z nich tie, ktoré vníma ako najlepšie riešenie v danej situácii.

Ďalšie vlastnosti aplikácie sú napríklad parsovanie HID Report Descriptoru vďaka ktorému je jednoduchšie pridať sémantickú analýzu rôznym ďalším HID zariadeniam. Celkový návrh aplikácie by mal ponúknuť možnosť budúcej implementácie ďalších USB tried pre prípadné rozšírenie.

Klíčová slova: USB HID

Title: USB Packet Analyzer

Author: Peter Lakatoš

Department: Department of Distributed and Dependable Systems

Supervisor: Mgr. Pavel Ježek, Ph.D., Department of Distributed and Dependable Systems

Abstract: Abstract.

Keywords: key words

Obsah

1. Úvod

USB je najrozšírenejšia zbernica na pripojenie rôznych periférií k počítaču. Vznikla v druhej polovici 90. rokov 20. storočia, kedy boli rôzne zariadenia a ich porty veľmi úzko mapované. Na pripojenie základných zariadení ako myš alebo klávesnica slúžil napríklad sériový port PS/2 [1]. K pripojeniu tlačiarne sa často používal paralelný port Centronics [2]. Ešte pred PS/2 portom sa myš pripájala cez veľmi známy sériový port RS-232 [3]. Všetky tieto porty boli typu *point-to-point* – na jeden port je možné pripojiť len jedno zariadenie. Toto sa paralelným portom dalo čiastočné obísť tým, že niektoré zariadenia podporovali tzv. *daisy chain* – do pripojeného zariadenia sa pripojí ďalšie zariadenie, do toho sa pripojí ďalšie, atď. (napríklad typická tlačiareň toto nepodporovala, takže musela byť pripojená na konci *daisy chainu*). Existovala takisto paralelná *SCSI* zbernica [4], ktorej návrh bol prispôsobený aby podporoval *daisy chain*. Tá fungovala dobre na zariadeniach ako externé HDD a skenery, ale bola nepraktická pre zariadenia ako myš a klávesnica.

USB vzniklo za účelom nahradiť a zjednotiť tieto spôsoby pripojenia bežných periférií k počítaču. Návrh zbernice je založený na hviezdicovej topológii, ktorá umožňuje cez jeden port pripojiť až 127 zariadení súčasne. Z toho vyplýva, že USB interface v sebe zahŕňa obrovskú množinu protokolov, ktoré sú hierarchicky usporiadané. K analýze paketov ktoré sa pohybujú na danej zbernici nám slúžia tzv. USB paket analyzátory. Tie môžu mať podobu hardwarového zariadenia, alebo softwarovej aplikácie. Môžu slúžiť napríklad ako učebná pomôcka pre účel lepšieho pochopenia jednotlivých protokolov. Takisto sa často využívajú pri implementácii vlastného USB zariadenia na ladenie komunikácie medzi daným zariadením a driverom. Využitie ale majú aj v opačnom prípade, keď implementujeme vlastný driver a potrebujeme sledovať jeho komunikáciu s konkrétnym zariadením. Cieľom tejto práce bude naprogramovať funkčný USB analyzátor, ktorý by mal presnejšie slúžiť práve ako učebná pomôcka pre lepšie pochopenie určitej množiny protokolov.

1.1 Základné pojmy

V tejto sekcii si vysvetlíme niektoré základné pojmy ktoré budeme neskôr v texte používať.

Ako sme už vyššie spomínali a ako ilustruje obrázok 1.1, USB zbernica je založená na vrstevnatej hviezdicovej topológii. Na vrchu všetkého sa nachádza **USB Host** [6] čo je systém do ktorého sa pripájajú ostatné USB zariadenia (v našom prípade je *USB Host* počítač). **USB zariadenie** [7] je buď:

- **Hub** [8] – poskytuje dodatočné pripojenia k USB zbernici.
- **Funkcia** [9] – poskytuje novú funkcionalitu systému (napríklad joystick, repráky, myš a pod.)

V každom USB systéme sa nachádza práve jeden *USB Host*. Ten má integrovaný tzv. **RootHub** [6], ktorý poskytuje možné body pripojenia pre ďalšie zariadenia. Interface medzi hostom a USB sa nazýva **Host Controller** [6]. Vzhľadom

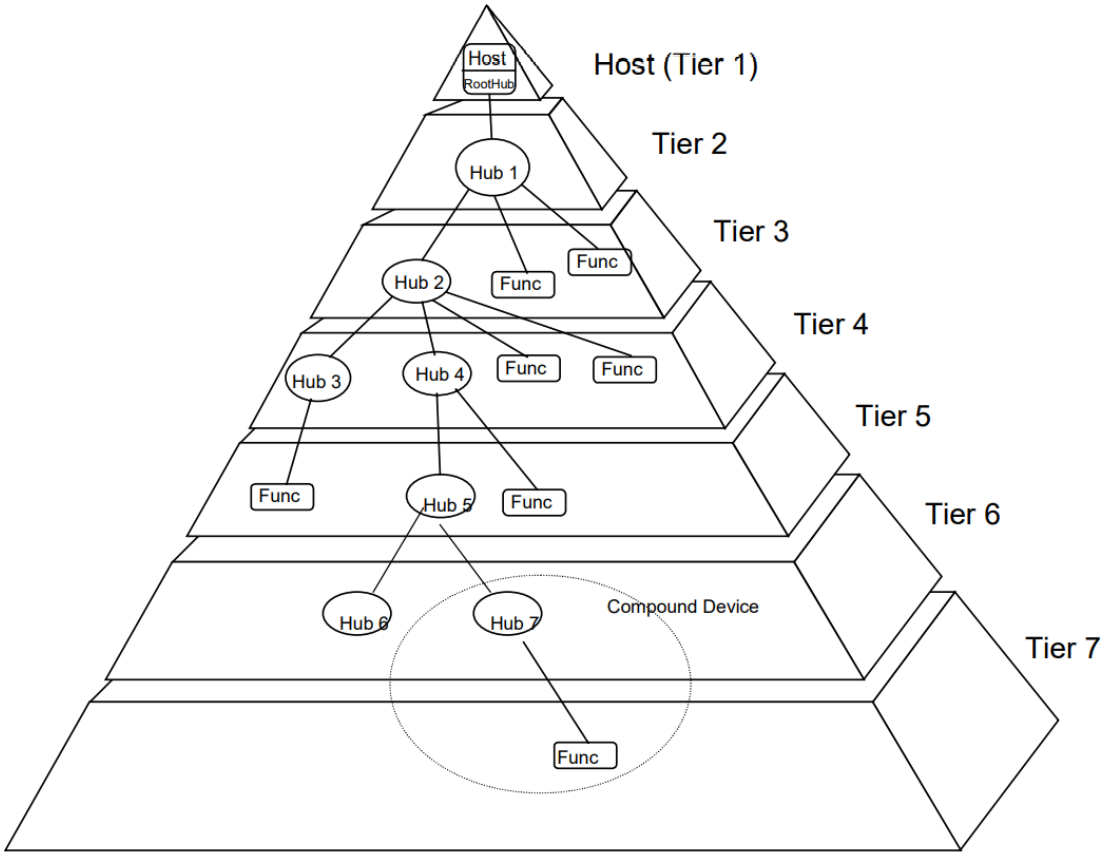


Figure 4-1. Bus Topology

Obr. 1.1: USB topológia vyobrazená v špecifikácii USB 2.0 [5].

na niektoré časové obmedzenia USB je maximálny počet vrstiev 7 (vrátane *USB Host* vrstvy). Každý káblový segment je *point-to-point* [10] spojenie medzi:

- *host* <—> *hub/funkcia*
- *hub* <—> *hub/funkcia*

USB zariadenia sa delia na rôzne triedy [11]:

- **Display** (monitor)
- **Audio** (repráky)
- **Mass storage** (harddisk)
- **Human interface** (myš)
- atď.

Podľa dodatku k USB špecifikácii [12] je **HID** (z anglického „Human Interface Device“) USB trieda pozostávajúca prevažne zo zariadení, ktoré sú využívané človekom na riadenie určitých systémovových aplikácií. Medzi najpoužívanejšie príklady patrí myš, klávesnica alebo joystick.

USB zariadenia využívajú tzv. **descriptory** na predávanie informácií o sebe samých. **Descriptor** [13] je dátová štruktúra s predom definovaným formátom.

Existuje viacero typov *USB descriptorov* (device, endpoint, interface atď.), ktorých význam si vysvetlíme neskôr.

Paket [14] je súbor dát zoskupený na prenos po zbernici. Typicky sa skladá z troch častí:

- základné informácie o danom pakete (napríklad zdroj, cieľ, dĺžka) – takisto nazývané hlavička paketu
- samotné dáta
- detekcia chýb, opravné bity

Komunikácia na zbernici medzi *USB hostom* a *zariadením* prebieha práve pomocou prenosu *USB paketov*. Existujú 4 typy takýchto prenosov [15]:

- **Control Transfer** – používa sa na nakonfigurovanie USB zariadenia v momente keď je prvýkrát pripojené na zbernicu.
- **Bulk Data Transfer** – typicky pozostáva z väčšieho množstva dát ktoré sú posielané nárazovo (využívajú ho najmä tlačiarne alebo skener). Vďaka detekcii chýb na hardwarovej úrovni je zaistená správnosť prenesených dát.
- **Interrupt Data Transfer** – spoľahlivý prenos ktorý sa využíva hlavne na odovzdávanie aktuálnych informácií (ako napríklad pohyb myšou). Tieto informácie musia byť doručené USB zbernicou za čas kratší ako má špecifikované dané zariadenie.
- **Isochronous Data Transfer** – takisto nazývaný ako streaming v reálnom čase. Typický príklad je prenos zvuku.

Našu aplikáciu by sme chceli zamerať na Windows a tak si vysvetlíme ešte zopár špecifických pojmov, ktoré sa viažu na túto kokrétnu platformu.

Podľa MSDN dokumentácie [16] je **USB client driver** software nainštalovaný na počítači, ktorý komunikuje s USB zariadením aby spojazdnil jeho funkcionalitu. Žiaden *USB client driver* ale nemôže priamo komunikovať so svojím zariadením. Namiesto toho vytvorí požiadavku, súčasťou ktorej je dátová štruktúra nazývaná **URB** [17] (USB Request Block). Tá opisuje detaily požiadavku, takisto ako aj status o jeho vykonaní.

Na záver si ešte zadefinujeme rozdiel medzi *USB paket analyzátorom* a *USB paket snifferom*. Pod pojmom **USB paket sniffer** budeme rozumieť aplikáciu, ktorá monitoruje dianie na USB zbernici a je schopná ho rozumným spôsobom ukladať v predom definovanom formáte. Ako **USB paket analyzátor** budeme brať aplikáciu ktorá je schopná rozanalyzovať USB pakety (istým spôsobom ich vyobraziť alebo ukázať ich sémantický význam) uložené v predom definovanom formáte. Bežne sa tieto pojmy označujú za jednu a tú istú vec, aj keď ich funkcionalita spolu nijako priamočiaro nesúvisí a existujú nástroje, ktoré vedia len jedno alebo druhé. Preto dáva zmysel ich od seba explicitne oddeliť.

1.2 Existujúce aplikácie

Našu aplikáciu zameriavame výukovým smerom pre programátorov, ktorí chcú lepšie pochopiť komunikáciu na USB zbernici. Z toho dôvodu by sme v nej určite chceli zahrnúť analýzu základných USB deskriptorov, ktoré sú bližšie definované v špecifikácii USB 2.0 [18] v kapitole 9.6. Keďže chceme bližšie priblížiť komunikáciu na danej zbernici, potrebujeme konkrétne zariadenia, s ktorými ju budeme analyzovať. Dáva dobrý zmysel si zvoliť zariadenia, ktoré každý z nás dobre pozná, má ich k dispozícii a bežne ich využíva. Zároveň by ale mali mať dostatočne jednoduchý komunikačný protokol. Práve preto sa s našou aplikáciou zameriame na užšiu podmnožinu HID zariadení, konkrétne myš, klávesnica a joystick. Vzhľadom na zameranie našej aplikácie výukovým smerom prikladáme najväčšiu prioritu samotnej analýze dát. Z dôvodu celkovej univerzality USB je z didaktického hľadiska ťažké nasimulovať jednotný príklad u každého študenta zvlášť. Už len obyčajná myš, aj keď je to jedno zariadenie, má od rôznych výrobcov inak nadefinované správanie a posiela dáta v rozličných formátoch. Preto je pre nás dôležité vedieť analyzovať pakety, ktoré si učiteľ predpripraví, skontroluje ich didaktickú správnosť a uloží do súboru. Podpora živého zachytávania paketov a ich analýzy je tak v našom programe najmenej dôležitá.

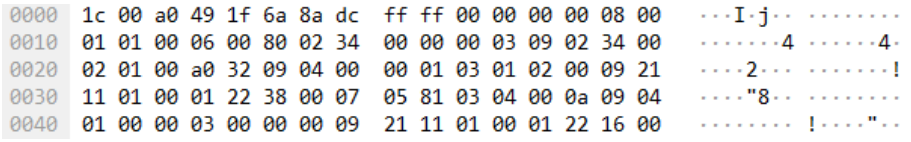
Momentálne existuje niekoľko známych aplikácií ktoré slúžia na analýzu USB paketov. Ich predbežným skúmaním a používaním sme ale zistili, že úplne nevyhovujú našim konkrétnym požiadavkám. Avšak mnohé ich funkcie nám prídu užitočné a môžu poslúžiť ako inšpirácia v implementovaní našej aplikácie. V tejto kapitole si ukážeme výhody a nevýhody zopár aplikácií, ktoré sme si zvolili ako príklady v oblasti paket analyzátorov. Ich výber spočíval v tom, že sú veľmi rozšírené medzi verejnosťou a sú najbližšie k tomu čo by sme chceli od našej aplikácie.

Je nutné upozorniť, že väčšina dnešných analyzátorov sú platené aplikácie, prípadne majú odomknuté len základné vlastnosti s možnosťou dokúpenia si plnej verzie. Práve preto sme nemali možnosť si pri všetkých vyskúšať ich celú funkcionalitu a na niektoré platené funkcie máme tak len ilustračný pohľad.

Wireshark

Aplikácia, ktorá na prvý pohľad nesúvisí s USB zbernicou. Wireshark je pravdepodobne najznámejší analyzátor a sniffer sieťových paketov. Jeho funkcionalita je veľmi rozsiahla, a vzhľadom na to, že sa jedná o open-source projekt, neustále rastie. Vďaka jeho obecnému návrhu podporuje spoluprácu s rôznymi inými sniffermi (LANalyzer, NetXRay a pod.). Jeden z takýchto snifferov je *USBPcap*, ktorý zachytáva USB komunikáciu a tým pádom je Wireshark schopný analyzovať pakety aj nad touto zbernicou.

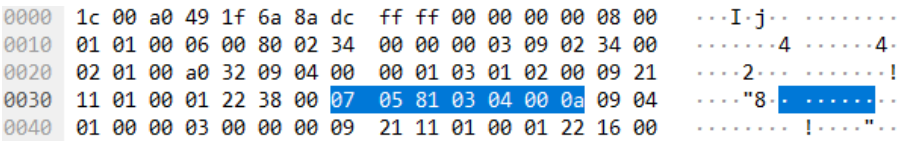
Pre priblíženie niektorých funkcií Wiresharku si ukážeme analýzu komunikácie s USB myšou (Genius DX-120 [19]). Medzi tie úplne základné funkcie určite patrí hexdump dát nad ktorými prebieha analýza, ktorý je vyobrazený na obrázku 1.2.



Obr. 1.2: Ukážka hexdumpu vo Wiresharku.

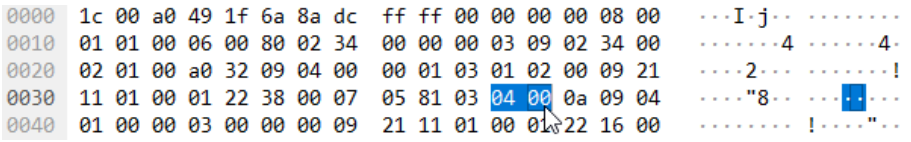
Tento hexdump je tvorený dátami z jedného control prenosu, kde zariadenie posiela informácie o sebe samom v podobe rôznych deskriptorov.

V hexdumpe si takisto vieme pomocou kliknutia a ťahania myšou označiť ľubovoľné dáta, ktoré chceme. Zvýraznené byty na obrázku 1.3 reprezentujú jeden *endpoint deskriptor*.



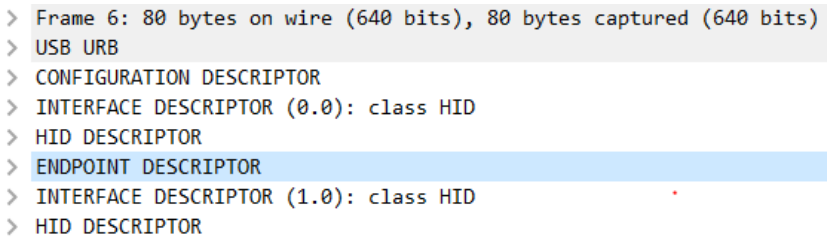
Obr. 1.3: Ukážka hexdumpu so zvýrazneným endpoint deskriptorom.

Pri pohybe myšou nad daným hexdumpom ponúka Wireshark interaktívnu odozvu, pričom farebne oddeľuje jednotlivé byty podľa ich významu. Na obrázku 1.4 vidíme konkrétny príklad – ak podržíme myš nad hexa časťou bytu 00, automaticky nám to označí aj byte 04 pred ním, pretože spoločne reprezentujú jednotnú informáciu – položku *wMaxPacketSize* v *endpoint descriptore*.



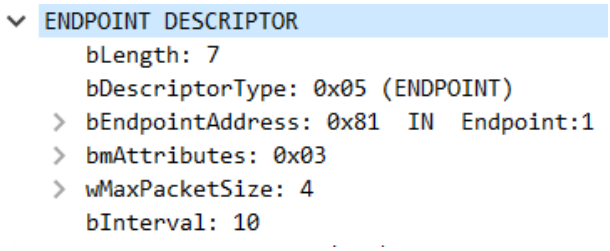
Obr. 1.4: Ukážka hexdumpu s farebným oddelením na základe významu.

Ďalšia užitočná vlastnosť je, že pri označení hexa znakov v hexdumpe, sa samé označia aj im odpovedajúce tlačiteľné znaky (obdobne to funguje aj opačným smerom). To, že vyššie označených 7 bytov na obrázku 1.3 reprezentujú *endpoint deskriptor* sme zistili vďaka špecifikácii jednotlivých descriptorov a vlastnou analýzou bytov v hexdumpe. Práve preto Wireshark ponúka rozličné zobrazenie tých istých dát, napríklad pomocou stromovej štruktúry, ktorá už jednotlivým bytom pridáva ich sémantický význam v slovnom tvare ako je ukázané na obrázku 1.5 nižšie.



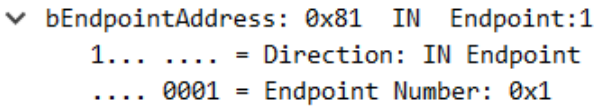
Obr. 1.5: Ukážka reprezentácie dát pomocou stromovej štruktúry.

Jednotlivé položky si môžeme bližšie rozbaliť. Napríklad vyššie zvýraznených 7 bytov reprezentujú konkrétny *endpoint deskriptor*, ktorý je ukázaný na obrázku 1.6.



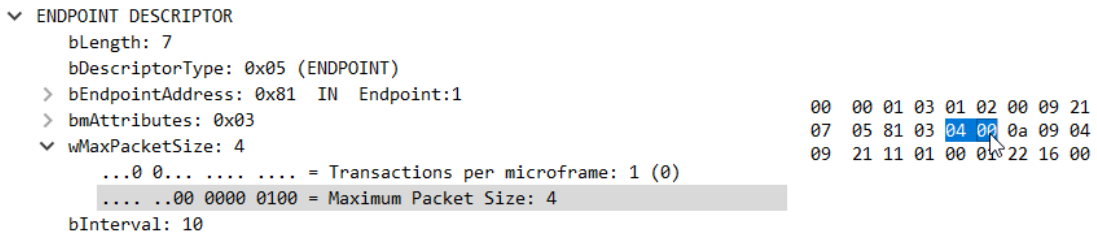
Obr. 1.6: Endpoint deskriptor reprezentovaný dátami zvýraznenými na obrázku 1.2 vyššie.

Medzi viac špecifické funkcie patrí detailnejšie vyobrazenie jednotlivých bytov a ich význam, ako je možné vidieť nižšie na obrázku 1.7. Túto vlastnosť aj napriek jej využitiu mnohé konkurenčné aplikácie postrádajú.



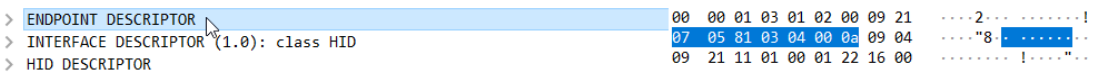
Obr. 1.7: Ukážka vyobrazenia jednotlivých bytov.

Wireshark ponúka interaktívne užívateľské rozhranie. V prípade kliknutia na konkrétny byte v hexdumpe sa nám označí jemu odpovedajúca položka v stromovej štruktúre. Príklad je ukázaný na obrázku 1.8.



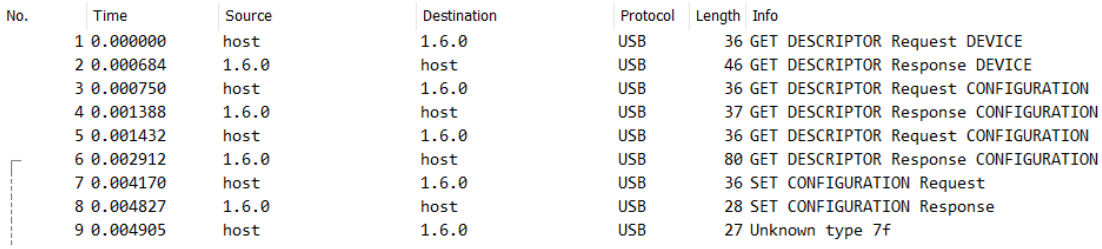
Obr. 1.8: Ukážka kliknutia na položku v hexdumpe.

Podobne to funguje aj opačne, takže ak klikneme na položku v stromovej štruktúre, označí sa jej odpovedajúca časť v hexdumpe. Príklad kliknutia na *endpoint deskriptor* v stromovej štruktúre a označenia jemu odpovedajúcej časti hexumpu je vidieť na obrázku 1.9.



Obr. 1.9: Ukážka kliknutia na položku *endpoint deskriptoru* v stromovej štruktúre.

Obecné vyobrazenie pohybu paketov na zbernici bez hlbšej analýzy je ukázané na obrázku 1.10 nižšie.

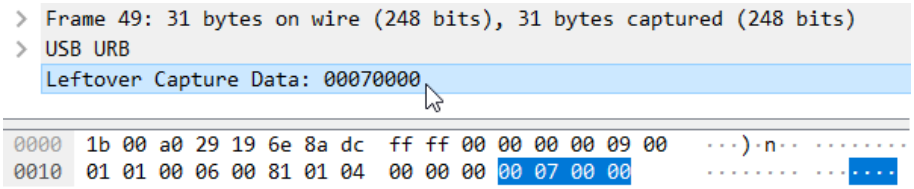


No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
1	0.000000	host	1.6.0	USB	36	GET DESCRIPTOR Request DEVICE
2	0.000684	1.6.0	host	USB	46	GET DESCRIPTOR Response DEVICE
3	0.000750	host	1.6.0	USB	36	GET DESCRIPTOR Request CONFIGURATION
4	0.001388	1.6.0	host	USB	37	GET DESCRIPTOR Response CONFIGURATION
5	0.001432	host	1.6.0	USB	36	GET DESCRIPTOR Request CONFIGURATION
6	0.002912	1.6.0	host	USB	80	GET DESCRIPTOR Response CONFIGURATION
7	0.004170	host	1.6.0	USB	36	SET CONFIGURATION Request
8	0.004827	1.6.0	host	USB	28	SET CONFIGURATION Response
9	0.004905	host	1.6.0	USB	27	Unknown type 7f

Obr. 1.10: Príklad obecného vyobrazenia jednotlivých paketov vo Wiresharku.

Výhoda Wiresharku je hlavne v tom, že podporuje širokú škálu deskriptorov a plná verzia programu je dostupná úplne zadarmo. Z pohľadu užívateľa je až prekvapivé, že aj napriek rozsiahlosti programu je aplikácia veľmi user-friendly orientovaná a dopĺňa ju intuitívne užívateľské rozhranie.

Naopak, jeho nevýhodou je sčasti neprehľadný hexdump. Ako môžeme vidieť na obrázku 1.2, jedná sa o obyčajný hexdump, ktorý nijakým spôsobom neoddeľuje význam dát bez interakcie užívateľa. Preto v momente ak by sme nemali stromovú štruktúru k odpovedajúcemu hexdumpu, museli by sme sa riadiť špecifikáciou a vlastnou analýzou. V prípade rozsiahlejšieho hexdumpu môže byť veľmi obtiažné sa v ňom potom zorientovať. Ďalšia vec ktorá nám nevyhovuje, je chýbajúca sémantická analýza inputu rôznych zariadení. Ten je vyobrazený len pomocou hexdumpu a popisu „Leftover Capture Data“ ako je ukázané na obrázku 1.11. Vôbec teda netušíme, čo jednotlivé dáta znamenajú.



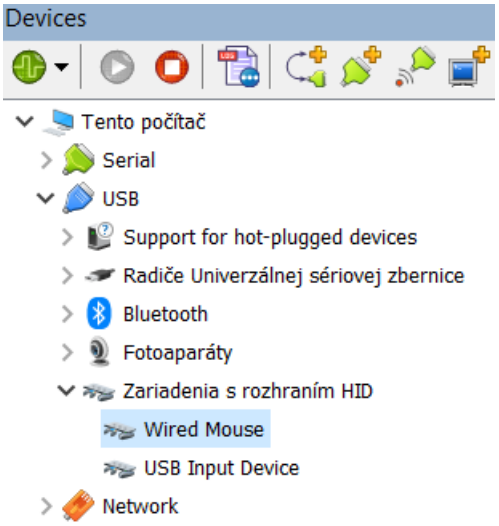
Obr. 1.11: Príklad inputu myši vo Wiresharku.

Device Monitoring Studio

Aplikácia ponúka analýzu sieťových a USB paketov, tak ako aj analýzu komunikácie prebiehajúcej cez sériový port. Zároveň slúži aj ako sniffer na všetkých týchto portoch.

Ako prvé na aplikácii zaujme spôsob zvolenia si zariadenia s ktorým bude sledovaná komunikácia. Je implementovaný štýlom stromovej štruktúry ako je ukázané na obrázku 1.12 nižšie, kde máme konkrétne označenú rovnakú myš s ktorou komunikáciu sme sledovali predchádzajúcim programom.

Základná verzia programu ponúka vizuálne zobrazenie *URB*, tak ako aj analýzu jednotlivých paketov. Pod analýzou si tu môžeme predstaviť ale len obyčajný hexdump, ktorý neposkytuje žiadne významové oddelenie dát a tým pádom je obtiažnejšie sa v ňom zorientovať. Príklad môžeme vidieť na obrázku 1.13.



Obr. 1.12: Ukážka stromovej štruktúry na zvolenie si zariadenia, s ktorým bude zachytávaná komunikácia.

```
05 01 09 02 A1 01 09 01 A1 00 05 09 19 01 29 03  ....¨...¨.....).
15 00 25 01 75 01 95 03 81 02 75 05 95 01 81 01  ..%.u.•. .u.•. .
05 01 09 30 09 31 15 81 25 7F 75 08 95 02 81 06  ...0.1. %u.•. .
09 38 95 01 81 06 C0 C0                          .8•. .Ŕ
```

Obr. 1.13: Príklad hexdumpu v Device Monitoring Studio.

Takisto tu nemáme kompletné sémantické vysvetlenie čo dané dáta znamenajú (napríklad pomocou stromovej štruktúry ako to rieši konkurencia). K dispozícii máme len veľmi obmedzený popis jednotlivých paketov (číslo paketu, device request, a pod.), pričom ani nie je veľmi jasné odkiaľ sa tieto informácie vzali. Príklad takéhoto popisu aj s hexdumpom je ukázaný na obrázku 1.14 nižšie.

```
000081: Get Descriptor Request (UP), 2021-04-13 10:17:37,4763790 +0,0000026. (1. Device: Wired Mouse) Status: 0x00000000
Descriptor Type: Device
Descriptor Index: 0x0
Transfer Buffer Size: 0x12 bytes

12 01 10 01 00 00 00 08 58 04 86 01 58 24 04 28  ........X.†.X$.(
00 01                                            ..
```

Obr. 1.14: Príklad analýzy paketov.

Vyobrazenie *URB* (obrázok 1.15) tak ponúka súhrn týchto popisov jednotlivých paketov, ktoré sú postupne zachytené počas komunikácie na zbernici.

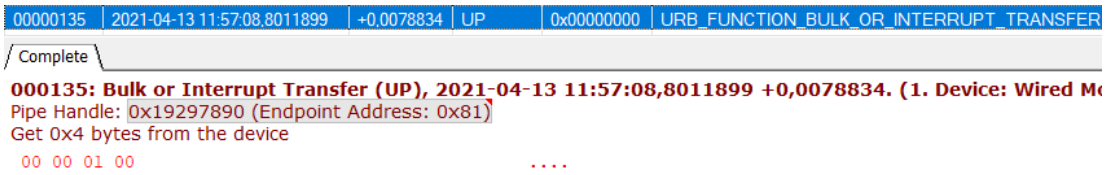
```
000222: Control Transfer (UP), 2021-04-05 14:52:08,3172528 +0,0003705. (1. Device: ) Status: 0x00000000
Pipe Handle: Control Pipe
 18 03                                           ..
Setup Packet

000223: Bulk or Interrupt Transfer (UP), 2021-04-05 14:52:10,2584548 +1,9412020. (1. Device: ) Status: 0x00000000
Pipe Handle: 0xbaed3cb0 (Endpoint Address: 0x81)
Get 0x4 bytes from the device

000224: Bulk or Interrupt Transfer (DOWN), 2021-04-05 14:52:10,2584690 +0,0000142 (1. Device: )
Pipe Handle: 0xbaed3cb0 (Endpoint Address: 0x81)
Get 0x4 bytes from the device
```

Obr. 1.15: Ukážka vyobrazenia URB.

Pričom pri dvojkliku na šedé časti textu (napríklad *Setup Packet* alebo *End-*

point Address) sa užívateľovi rozbalí okno s detailnejším popisom.

Analýza inputu myši, ktorú môžeme vidieť na obrázku 1.16, je riešená podobným spôsobom ako pri analýze descriptorov.



Obr. 1.16: Príklad inputu myši v Device Monitoring Studio.

Obecné vyobrazenie jednotlivých paketov bez bližšej analýzy je riešené podobne ako vo Wiresharku, pričom pakety sú farebne oddelené podľa ich smeru pohybu na zbernici (posielané smerom host –> zariadenie/smerom zariadenie –> host). Príklad je ukázaný na obrázku 1.17.

00000073	2021-04-13 10:17:35,1931283	+25,9758328	UP	0xc0000011	URB_FUNCTION_BULK_OR_INTERRUPT_TRANSFER
00000074	2021-04-13 10:17:35,1932268	+0,0000985	UP	0xc0010000	URB_FUNCTION_BULK_OR_INTERRUPT_TRANSFER
00000075	2021-04-13 10:17:35,2130691	+0,0198423	UP		PnP: Device Surprise Removal
00000076	2021-04-13 10:17:35,2249868	+0,0119177	DOWN	0xffffd184	URB_FUNCTION_ABORT_PIPE
00000077	2021-04-13 10:17:35,2250067	+0,0000199	UP	0x80000300	URB_FUNCTION_ABORT_PIPE
00000078	2021-04-13 10:17:35,2250219	+0,0000152	UP		PnP: Device Disconnected
00000079	2021-04-13 10:17:37,4763688	+2,2513469	UP		PnP: Device Connected
00000080	2021-04-13 10:17:37,4763764	+0,0000076	DOWN	0x00000000	URB_FUNCTION_GET_DESCRIPTOR_FROM_DEVICE
00000081	2021-04-13 10:17:37,4763790	+0,0000026	UP	0x00000000	URB_FUNCTION_GET_DESCRIPTOR_FROM_DEVICE
00000082	2021-04-13 10:17:37,4763850	+0,0000060	DOWN	0x00000000	URB_FUNCTION_GET_DESCRIPTOR_FROM_DEVICE
00000083	2021-04-13 10:17:37,4763874	+0,0000024	UP	0x00000000	URB_FUNCTION_GET_DESCRIPTOR_FROM_DEVICE

Obr. 1.17: Príklad obecného vyobrazenia jednotlivých paketov v Device Monitoring Studio.

Zaujímavá funkcionalita, ktorú ale program ponúka len v platenej verzii, je umožnenie užívateľovi priamo komunikovať so zvoleným zariadením. Môžeme mu tak posielať rôzne požiadavky (niektoré z nich sú spomenuté v USB 2.0 špecfikácii[18] v kapitole 9.4) ako napríklad *GET_REPORT* kde špecifikujeme *Report ID* a prípadné ďalšie parametre, a zariadenie nám patrične odpovie.

Užívateľské rozhranie vyobrazené nižšie pomocou obrázku 1.18 ,pozostáva z pomerne veľa ikoniek a celkovo sa javí ako trochu neprehľadné. Pri prvotnej interakcii s programom chvíľu trvá, kým človek nájde čo i len základné informácie ako napríklad hlavičky ku jednotlivým paketom. Nepoteší ani fakt, že verzia zadarmo nedovoľuje monitorovanie dlhšie ako 10 minút a maximálny počet monitorovaní za jeden deň je taktiež 10.

Obr. 1.18: Užívateľské rozhranie Device Monitoring Studio.

1.3 Požadované funkcie

Ako prvé by sme si mali zadefinovať platformu na ktorú budeme cieliť s našou aplikáciou:

P1 Cieľová platforma našej aplikácie by mala byť Windows.

Keďže má naša aplikácia mať výukový charakter, tak sa pozrieme na typický výukový scénár jej používania. Učiteľ si dopredu do súboru zachytí komunikáciu s určitým zariadením na ktorej overí, že je didakticky dobrá a ilustruje to čo má. Následne daný súbor posunie študentom aby si mohli zobraziť analýzu konkrétnych paketov. Užitočná je ale aj analýza priamej interakcie užívateľa s jeho konkrétnym zariadením, preto by sme zároveň chceli podporovať aby si študenti mohli pripojiť vlastné zariadenie a skúmať s ním komunikáciu v reálnom čase. Z toho nám vyplývajú naledujúce požiadavky:

P2 Mala by byť schopná analyzovať USB pakety zachytené do súboru v rozumnom formáte pomocou predom definovaného snifferu.

P3 Mala by byť schopná analýzy paketov v reálnom čase. To znamená, že bude podporovať čítanie súboru súvisle s tým ako do neho bude zapisovať iný software (za predpokladu, že to daný software povoľuje).

Ako sme mohli vidieť aj na predchádzajúcich príkladoch, hexdump je jednou zo základných funkcií na analýzu paketov. Zároveň sa nám ale nepáčilo, že väčšina hexdumpov je neprehľadná a ťažko sa v nich orientuje. Preto si zadefinujeme nasledujúce požiadavky:

P4 Mala by pomocou hexdumpu vedieť zobraziť dáta, ktoré daný sniffer zachytí a uloží.

P5 Mala by mať prehľadnejší hexdump a užívateľovi uľahčiť orientáciu v ňom. Jednotlivé znaky by mali byť farebne označené na základe ich významu (hlavička paketu, rôzne typy deskriptorov a pod.).

K sémantickej analýze sa nám môže hodiť vedieť zobraziť dáta a ich význam pomocou stromovej štruktúry. Pretože sa s našou aplikáciou budeme snažiť vysvetliť základy komunikácie na USB zbernici, mali by sme podporovať sémantickú analýzu všetkých základných USB descriptorov a takisto inputu určitej podmnožiny HID zariadení. Ako posledné by sa nám zišlo vedieť pomocou stromovej štruktúry vyobraziť hlavičku jednotlivých paketov. Z toho celého dostávame nasledovné:

P6 Mala by podporovať sémantickú analýzu (vyobrazenie pomocou stromovej štruktúry) pre všetky základné USB deskriptory spomenuté v USB 2.0 špecifikácii[18] v kapitole 9.6 (ako napríklad *Device descriptor*, *Interface descriptor*, *Endpoint descriptor*, atď.).

P7 Mala by byť schopná pomocou stromovej štruktúry zobraziť sémantický význam dát posielaných danou podmnožinou HID zariadení, do ktorej patrí myš, klávesnica a joystick.

P8 Mala by byť schopná pomocou stromovej štruktúry zobraziť sémantický význam jednotlivých hlavičiek paketov.

Vyššie v texte sme označili funkciu Wiresharku vyobraziť sémantický význam dát na bitovej úrovni (obrázok 1.7) za zaujímavú. Preto by sme ju chceli implementovať aj v našej aplikácii, z čoho vyplýva:

P9 V miestach kde to dáva zmysel, by aplikácia mala byť schopná zobrazovať význam dát až na úrovni jednotlivých bitov.

Nechceme užívateľov hneď zaplaviť všetkými detailnými informáciami o paketoch. Preto by sme mali vedieť zobraziť zopár obecných vecí ku každému paketu a vyobraziť tak pohyb na zbernici, a až v prípade interakcie užívateľa s aplikáciou zobraziť podrobný popis jednotlivých paketov. Z toho dostávame nasledujúce požiadavky:

P10 Mala by na prvý pohľad jasne zobraziť základné informácie o každom analyzovanom pakete (ako napr. dĺžka paketu, typ prenosu a pod.) a pri bližšom skúmaní jednotlivých paketov detailnejšie zobraziť celú jeho hlavičku.

P11 Detailnejšie informácie o pakete budú zobrazované na základe interakcie užívateľa s aplikáciou.

Aby sme boli schopní sémantickej analýzy dát myšky, klávesnice alebo joysticku podľa osobného výberu užívateľa, musíme si získať informácie o ich inpute z *HID Report Descriptoru*, takže naša ďalšia požiadavka je:

P12 Mala by byť schopná rozparsovať *HID Report Descriptor* takým štýlom, aby bolo neskôr možné sématnicky reprezentovať input nami zvolených HID zariadení – myš, klávesnica a joystick.

1.4 Ciele práce

Celkové ciele tejto práce sú následovné :

C1 Naprogramovať funkčný analyzátor, ktorý spĺňa všetky požadované funkcie **P1**-**P12**

C2 Návrh programu musí byť dostatočne obecný aby splňoval nasledujúce:

- Jednoduché rozšírenie o analýzu ďalších typov USB prenosov.
- Jednoduché pridanie sémantickej analýzy pre ďalšie HID zariadenia.

2. USB a Windows

vysvetlenie zakladnych pojmov spojenych USB: historia, usb port/conector, plug and play(https://docs.microsoft.com/en-us/windows-hardware/drivers/kernel/introductio to-plug-and-play), low/full/high speed zariadenia

2.1 USB zbernica

Plug and Play device tree(sposob akym si windows udrziava strom zariadeni na zbernici)(https://docs.microsoft.com/sk-sk/windows-hardware/drivers/gettingstarted/devic nodes-and-device-stacks)

2.2 Device object a device stack

PDO,FDO, Device object(https://docs.microsoft.com/en-us/windows-hardware/drivers/ker to-device-objects) https://docs.microsoft.com/en-us/windows-hardware/drivers/kernel/creatin a-device-object

2.2.1 Drivery

Opisat ako teda bezne analyzatory/sniffery funguju windows driver model(WDM) : https://docs.microsoft.com/en-us/windows-hardware/drivers/kernel/types-of-wdm- drivers bus driver(https://docs.microsoft.com/en-us/windows-hardware/drivers/kernel/bus- drivers), function driver(https://docs.microsoft.com/en-us/windows-hardware/drivers/kernel/f drivers) a filter driver(https://docs.microsoft.com/en-us/windows-hardware/drivers/kernel/filte drivers)

2.3 Komunikacia s USB zariadenim

sposob komunikacie operacneho systemu so zariadenim pripojenym na USB zbernicu : IRP(https://docs.microsoft.com/en-us/windows-hardware/drivers/gettingstarted/i- o-request-packets) , URB (https://docs.microsoft.com/en-us/windows-hardware/drivers/usbco with-a-usb-device) a pod. https://docs.microsoft.com/en-us/windows-hardware/drivers/kernel/ irps

2.4 USB descriptory

opis zakladnych USB descriporov, hlavne tych ktore neskor aj vyuzivam v program(Device, Interface, Endpoint, Configuration, String, Setup) : https://docs.microsoft.com us/windows-hardware/drivers/usbcon/usb-descriptors https://docs.microsoft.com/en- us/windows-hardware/drivers/usbcon/usb-control-transfer

2.4.1 Rozlozenie USB zariadenia z hladiska descriptorov

https://docs.microsoft.com/en-us/windows-hardware/drivers/usbcon/usb-device- layout

2.5 HID zariadenia

hid zariadenie obecne, priklady https://docs.microsoft.com/en-us/windows-hardware/drivers/hid/

2.5.1 Reporty

Input/Output/Feature reporty.

2.5.2 Report Descriptor

Opis report descriptoru, k comu sluzi, pripadne ako z neho vycitat zaujimave data (neskor vyuzite v programe pri parsovani HID Report Descriptoru na naslednu semanticku analyzu dat ktore posiela zariadenie)

3. Analýza

3.1 Získanie USB packetov

Na získavanie USB paketov nám bude obecne slúžiť paket sniffer. Väčšina paket analyzátorov má implementované vlastné sniffery a preto sme sa o to pokúsili tiež. Narazili sme ale na niekoľko zásadných problémov, ktoré sa úzko viažu s platformou na ktorú cielime s našou aplikáciou – Windows.

Microsoft dokumentácia podrobnejšie opisuje komunikáciu medzi HID zariadením a kernel/user-mode aplikáciou [20]. Keďže naša aplikácia beží v user-mode, prejdeme si tento spôsob:

1. Aplikácia nájde a identifikuje HID zariadenie.
2. Aplikácia pomocou metódy *CreateFile* otvorí spojenie s HID zariadením.
3. Aplikácia pomocou *HID API* [21] metód *HidD_Xxx* získa *Preparsed Data* a informácie ohľadom HID zariadenia.
4. **Aplikácia použije metódu *ReadFile* resp. *WriteFile* na získanie inputu zariadenia resp. poslanie reportu zariadeniu.**
5. Aplikácia pomocou *HID API* [21] metód *HidP_Xxx* interpretuje HID reporty.

3.1.1 Windows exclusive mód

Windows má definovaný tzv. *Access Mode*, ktorý určuje restrikciu prístupu *HID Clienta* k HID zariadeniu. Ten môže byť buď *Shared* alebo *Exclusive*. *Exclusive Mode* zabraňuje ostatným *HID Clientom* v zachytávaní alebo získavaní inputu HID zariadenia, pokiaľ nie sú hlavným príjemcom daného inputu. Preto z bezpečnostných dôvodov otvára *RIM (Raw Input Manager)* niektoré zariadenia v *Exclusive Mode*.

Ak je zariadenie otvorené v *Exclusive Mode*, aplikácia má stále prístup k niektorým jeho údajom pomocou *HID API* [21] metód *HidD_**Get**Xxx*. Tieto metódy nám obecne umožnia získať niektoré descriptory zariadenia, tak ako aj jeho *Preparsed Data*. Nie je nám ale umožnené volať metódu *ReadFile*, takže nemáme akým spôsobom zachytávať komunikáciu HID zariadenia s clientom.

Tabuľka zariadení [22] (obrázok 3.1), ktoré *RIM* otvára v *Exclusive Mode* obsahuje aj tie, ktoré sme si v úvode zvolili ako podmnožinu HID zariadení na analýzu – myš a klávesnica.

Windows supports the following top-level collections:

Usage Page	Usage	Windows 7	Windows 8	Windows 10	Notes	Access Mode
0x0001	0x0001 - 0x0002	Yes	Yes	Yes	Mouse class driver and mapper driver	Exclusive
0x0001	0x0004 - 0x0005	Yes	Yes	Yes	Game Controllers	Shared
0x0001	0x0006 - 0x0007	Yes	Yes	Yes	Keyboard / Keypad class driver and mapper driver	Exclusive

Obr. 3.1: Tabuľka zariadenía ich *Access Mode*. Zariadenia postupne po riadkoch – myš, joystick a klávesnica

3.1.2 Známe knižnice

opisat zakladne kniznice na sledovanie USB zbernice a preco som ich nemohol pouzit : libUSB, hidAPI

3.1.3 Driver

TU povedat riesenie - pouzitie driveru na komunikaciu so zariadenim. Existujuce windows drivery – moufiltr, Kbdfiltr - nefunguju pre USB

TU spomenut posledne mozne riesenie - napisanie vlastneho filter driveru.

3.1.4 Third-party aplikácie

opisat odkial nakoniec ziskavam packety - USBPcap a Wireshark

3.2 Spracovávanie pcap súborov

moznosti ako citat pcap subory : bud pouzit uz existujucu kniznicu : na linuxe Libpcap, windows NPcap(deprecated WinPcap), alebo citat subory manualne : std::istream alebo QFile

3.3 Sémantická reprezentácia dát

ako si z dat vytiahnut udaje ktore su potom pouzite na semanticku analyzu implementovanych HID zariadeni : HID Report parser, InputValues a Endpoint-Device struct. Nasledne sparovanie - ako vybrat spravny report pre konkretny input

3.4 Voľba frameworku

obecne co by som od toho GUI priblizne chcel, potom opisat preco som si vybral prave Qt a v nasledujucich kapitolach opisat rozhodnutia uz v Qt dovod preco som si zvolil qt namiesto inych c++ GUI frameworkov(napriklad sfml)

3.5 Zobrazenie základných informácií

ako zobrazovat zakladne info o packete : pouzit QListWidget alebo QTable-Widget (pripadne nieco ine ako nejaky abstract viewmodel), narok na zakladne funkcionality : lahka rozsiritenlnost o dalsie ”stlpceky” , moznost jednoduchej interakcie(doubleClick na polozku). Mat vsetky info na jednom okne / mat pop-up okna.

3.6 Zobrazenie sémantického významu dát

ako vyzobrazit semanticky vyznam roznych dat - descriptory, usb header, vyznam input dat roznych HID zariadeni

3.7 Hexdump

ako v qt urobit hexdump - do coho zobrazovat data(vytvorit si vlastny viewer dedeny od QAbstractScrollArea, pripadne niecoho ineho) vs najst nieco co uz v qt je a upravit to aby to sedelo poziadavkam. Vziat do uvahy bezne funkcie hexdumpu : selection mody(oznacit naraz hexa a im odpovedajuce printable), logicke oddelenie dat(napriklad farbami)

4. Vývojová dokumentácia

4.1 Architekrúra aplikácie

4.2 Jadro aplikácie

4.2.1 USB_Packet_Analyzer

riadi celkovy beh programu, reaguje na input od uzivatela

4.2.2 Item Manager

spracovanie samostatneho packetu a ulozenie dat o nom

4.2.3 DataViewer

trieda ktora ma na starosti vyskakovacie okno po dvojkliku a item a nasledne reaguje na input od uzivatela v okne

4.2.4 TreeItem

reprezentuje jednotlive nody v stromovej strukture ktora sa potom vyuziva na zobrazenie dat v QTreeView

4.3 Modely

4.3.1 AdditionaldataModel

model na spravovanie zvysnych dat(data ktore nie su sucastou hlavicky packetu)

4.3.2 ColorMapModel

vyobrazenie pomocnej mapy na lepsie sa zorientovanie v zvyraznemom hexdumpe

4.3.3 DataViewerModel

model na hexdump - prenasa hex/printable a zaroven o co vlastne ide(konkretny descriptor, interrupt data, ...)

4.3.4 TreeItemBaseModel

model na QTreeView ktorz vyuziva TreeItem

4.3.5 USBPcapHeaderModel

model na QTreeView ale specialne pre USBPcap hlavicku packetu

4.4 Interpretery

4.4.1 BaseInterpreter

abstractna trieda od ktorej dedia vsetkz interpretery

4.4.2 Interpreter factory

facory trieda na pridelenie konkretneho interpreteru za runtimu kvoli jednoduchosti na lepsie rozsirenie programu do buducnosti

4.4.3 Interpretery descriptorov

Config,Device,Setup,String,...

4.4.4 Interrupt transfer interpretery

obecne interrupt transfer interpreter - sluzi skor ako factory na rozne doteraz implementovane HID zariadenia

Joystick interpreter

Mouse interpreter

Keyboard interpreter

4.5 Delegáti

DataViewerDelegate

Qt delegat - stara sa o highlight hexdumpu

4.6 HID

4.6.1 HIDDevices

staticka trieda, drzi vsetky rozpoznane HID zariadenia a obsahuje funkcie specificke nich - parsovanie HID Report descriptoru

4.7 Práca so súbormi

4.7.1 FileReader

praca zo suborom a predavanie precitanych dat, offline/online capture, QFile vs std::istream

4.8 Globálne dáta

4.8.1 ConstDataHolder

staticka trieda na drzanie si konstant ktore su potrebne napriec celym programom. Mapovanie z enumu do jeho stringovej reprezentacie

4.8.2 PacketExternStructs

obsahuje definiciu vsetkych dolezitych USBPcap structov, pcap structov, enumov a vsetkych structov ktore pouzivam v aplikacii

5. Možnosti rozšírenia

Rozobrať čo všetko sa dá urobiť s tými dátami, ktoré už mám uložené v pamati, ale momentálne sa s nimi nič nedeje

5.1 Ukladanie výstupu do súboru

výstup analýzy do súboru(textového)

5.2 Iná vizuálna reprezentácia dát

Momentálne vyzobrazujem dáta prevažne v QTreeView alebo QTableView, ale vdaka tomu ako ich mám uložené + to že nad nimi operuje nejaký model ktorý vie vrátiť dáta na základe indexu, by nemuselo byť taká zložité pridať inú vizualizáciu dát(napríklad obrázkovú ako tu : https://www.usbmadesimple.co.uk/ums_5.htm)

5.3 Pridávanie nových interpreterov pre descriptory

pridanie nových druhov descriptorov - pridať nový interpreter do factory

5.4 Pridanie intepreteru na interrupt tranfser

pridanie analyzy interrupt transferu aj pre ine ako hid zariadenia

5.4.1 Pridanie nových HID zariední

nove HID zariadenie - pridanie do interrupt "factory"

5.5 Pridanie analýzy pre isochronous a bulk transfer

semanticka analyza aj inych ako interrupt alebo control transferov - momentalne su rozpoznavane len v hexdumpe

5.6 ?Možnosť rozšírenia na iné platformy?

uprava aplikacie aby bola prenositelna aj na ine platformy, co vsetko by tam bolo treba upravit(pravdepodobne nie vela, kedze qt je prenosne, a prakticky jedine co pouzivam spojene s windowsom su jeho structy na rozne descriptory)

6. Užívateľská dokumentácia

6.1 Inštalácia

nastavenie celkovej aplikácie, ale aj nainstalovanie USBPcap + wireshark a ich kombinácia pre live capture

6.2 Orientácia v GUI aplikácie

popis k jednotlivým tlačidlám gui

6.3 Používanie aplikácie

ako spustit live/offline capture, a celkovo ako pracovať s aplikáciou(popis funkcií - doubleClick na item => zobrazi sa pop-up okno s bližšou analýzou)

7. Záver

7.1 Zhrnutie

celkove zhrnutie prace, ?praca s Qt?

7.2 Budúce plány

Seznam použité literatury

[1] PS/2 port. https://en.wikipedia.org/wiki/PS/2_port.

[2] Paralelný port. https://en.wikipedia.org/wiki/Parallel_port.

[3] RS-232 port. https://en.wikipedia.org/wiki/RS-232.

[4] Paralelná SCSI zbernica. https://en.wikipedia.org/wiki/Parallel_SCSI.

[5] USB 2.0 Specification. https://www.usb.org/document-library/usb-20-specification. [súbor usb_20.pdf, Figure 4-1].

[6] USB 2.0 Specification – definícia USB Host a s ním súvisiace pojmy . https://www.usb.org/document-library/usb-20-specification. [súbor usb_20.pdf, kap. 4.1.1.1].

[7] USB 2.0 Specification – USB zariadenie definícia. https://www.usb.org/document-library/usb-20-specification. [súbor usb_20.pdf, kap. 4.1.1.2].

[8] USB 2.0 Specification – USB Hub definícia. https://www.usb.org/document-library/usb-20-specification. [súbor usb_20.pdf, str. 6].

[9] USB 2.0 Specification – USB Function definícia. https://www.usb.org/document-library/usb-20-specification. [súbor usb_20.pdf, str. 6].

[10] USB 2.0 Specification – USB topológia zbernice. https://www.usb.org/document-library/usb-20-specification. [súbor usb_20.pdf, kap. 4.1.1].

[11] Zoznam definovaných USB tried. https://www.usb.org/defined-class-codes.

[12] USB Human Interface Device Class. https://www.usb.org/document-library/device-class-definition-hid-111. [str. 9].

[13] USB 2.0 Specification – USB descriptor definícia. https://www.usb.org/document-library/usb-20-specification. [súbor usb_20.pdf, kap. 9.5].

[14] USB 2.0 Specification – USB paket definícia. https://www.usb.org/document-library/usb-20-specification. [súbor usb_20.pdf, str. 7].

[15] USB 2.0 Specification – USB typy prenosov definícia. https://www.usb.org/document-library/usb-20-specification. [súbor usb_20.pdf, kap. 4.7].

[16] USB Client Driver. https://docs.microsoft.com/en-us/windows-hardware/drivers/usbcon/usb-driver-development-guide. [sekcia „Where applicable“].

[17] USB Request Block. https://docs.microsoft.com/en-us/windows-hardware/drivers/usbcon/communicating-with-a-usb-device.

[18] USB 2.0 Specification. https://www.usb.org/document-library/usb-20-specification. [súbor usb_20.pdf].

[19] Genius myš použitá v úvode pri porovnaní existujúcich analyzátorov. https://us.geniusnet.com/product/dx-120/.

[20] Komunikácia HID Clienta s HID Class driverom. https://docs.microsoft.com/en-us/windows-hardware/drivers/hid/opening-hid-collections.

[21] HID Application Programming Interface (API). https://docs.microsoft.com/en-us/windows-hardware/drivers/hid/introduction-to-hid-concepts.

[22] Tabuľka HID zariadení a ich Access Mode. https://docs.microsoft.com/en-us/windows-hardware/drivers/hid/hid-architecture. [sekcia „HID Clients Supported in Windows“].

Zoznam obrázkov

Zoznam tabuliek

Seznam použitých zkratek

Přílohy

.1 První příloha