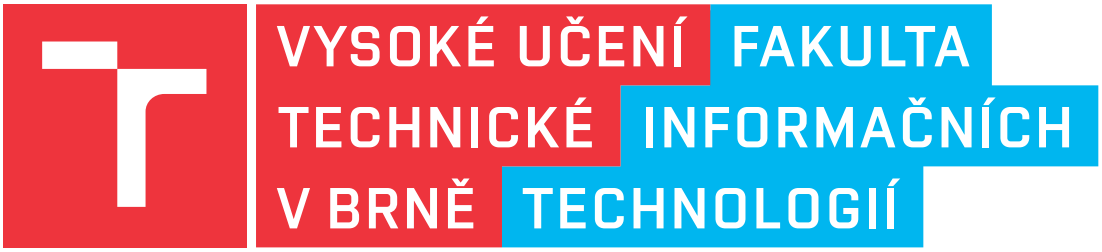


Síťové aplikace a správa sítí

TFTPv2 klient

David Mihola (xmihol00)

Brno, 30. října 2021

Obsah

1 Shrnutí protokolu TFTP

Tento dokument popisuje Trivial File Transfer Protocol (TFTP) [1], jednoduchý protokol pro přenos souborů, i s jeho zpětně kompatibilním rozšířením umožnující specifikaci podmínek přenosu [2]. Rozšiřující podmínky zahrnují možnost specifikovat velikost přenášeného bloku dat [3], časový limit pro znovu odeslání datagramu [4], možnost získat velikost přenášeného souboru před začátkem přenosu jeho obsahu [4] a možnost provádět přenos současně na více zařízení s využitím multicast [5][6]. Zmíněné podmínky, ale i jiné podporující obě protistrany, mohou být smluveny na vyžádaní klienta a potvrzení serverem na začátku přenosu.

Protokol slouží pouze pro přenos souborů mezi klientem a serverem. Klienti mohou ze serveru číst (stahovat) a zapisovat (nahrávat) soubory. Protokol není moc rozšířený, zejména kvůli chybějícímu zabezpečení a autentizace. Tato skutečnost prakticky vylučuje jeho použití ve veřejném internetu. Na zabezpečených lokálních sítích je jeho využití nejčastěji spojeno se zaváděním softwaru na jednoduchá zařízení bez pevného disku. Pro tento účel je vhodný zejména díky své jednoduchosti.

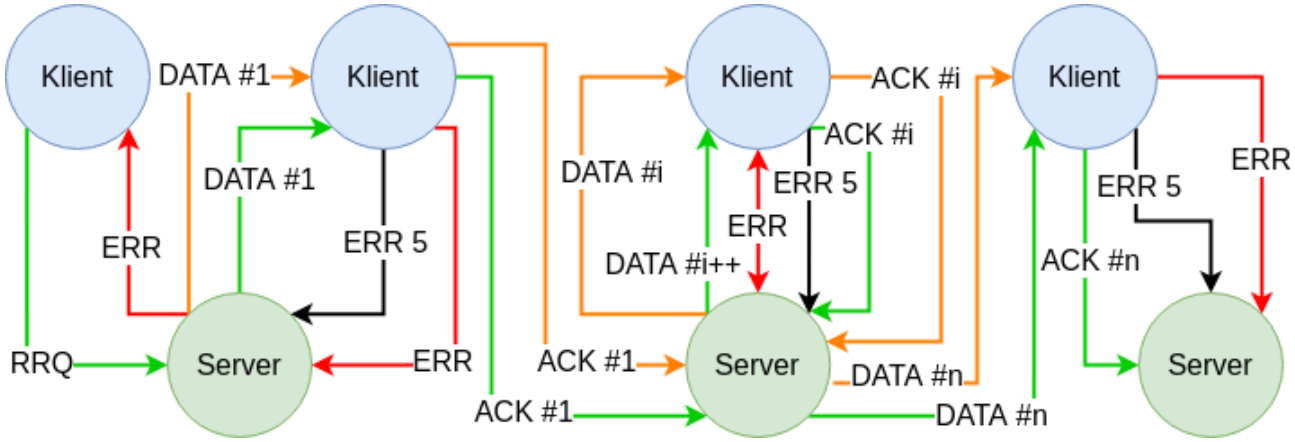
TFTP je protokol aplikační vrstvy a jako transportní vrstvu využívá Internet User Datagram Protokol (UDP) [7]. Protokol je bezztrátový, bezztrátovost zajišťuje na aplikační vrstvě podobně jako Transmission Control Protocol (TCP) [8] na vrstvě transportní, a to pomocí zpráv potvrzující doručení datagramů a jejich případného znovu odeslání, pokud není potvrzení obdrženo.

TFTP definuje pět typů hlaviček paketů, respektive šest ve své rozšířené verzi. Každá hlavička obsahuje svůj operační kód a případně další informace, jako např. číslo bloku, druh chyby či kódování dat (binární nebo ascii), viz [1]. Datové pakety navíc obsahují data o základní velikosti 512 B. Velikost přenesených dat v jednom paketu může ale být sjednána vyžádáním klienta a potvrzením serveru na jinou hodnotu. V obou případech platí, že přenos končí po odeslání paketu s objemem dat menším než specifikovaná velikost a potvrzením jeho přijetí. Při velikosti souboru rovné násobku přenášených dat v jednom paketu, je ukončení přenosu souboru signalizováno datovým paketem, který nenese žádná data.

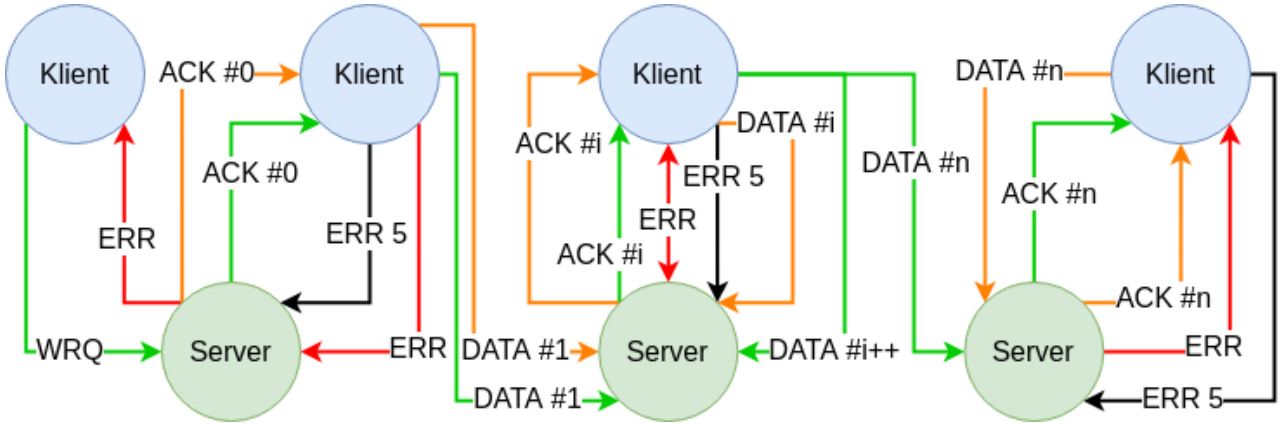
Následující sekce popisují pomocí diagramů komunikaci serveru a klienta. Diagramy neznázorňují situaci, kdy je přenesen pouze jeden datagram s daty. Pro porozumění použitým zkratkám je nutné být obeznámen s [1]. Barvy šipek interpretujte následovně:

- **zelená** – normální provoz,
- **oranžová** – znovu odeslání datagramu po vypršení časového limitu,
- **černá** – chyba nevedoucí na ukončení přenosu,
- **červená** – chyba vedoucí na ukončení přenosu.

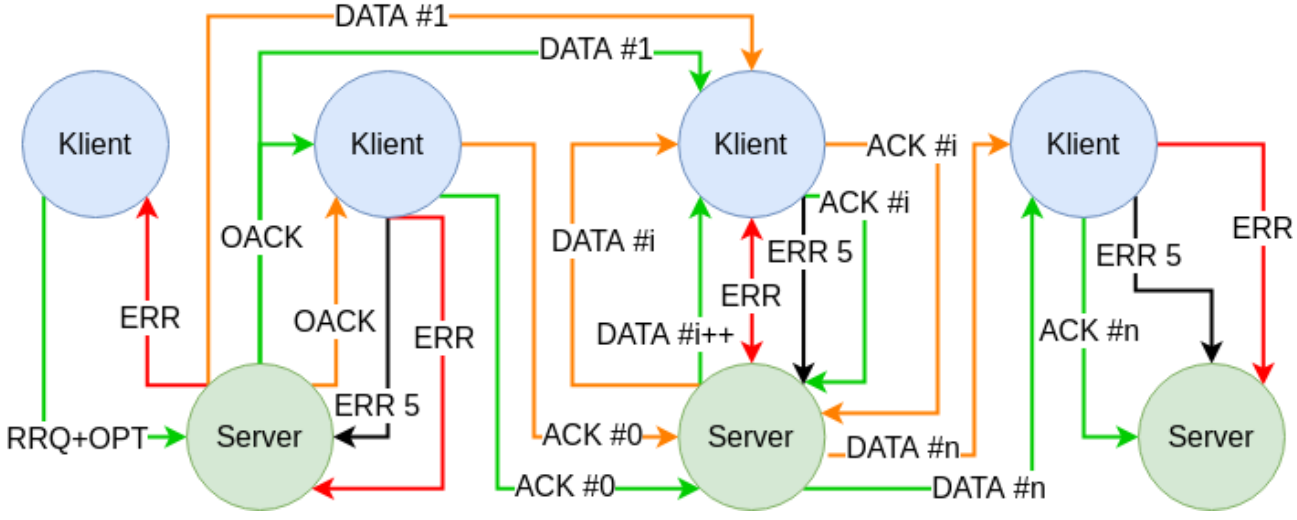
1.1 Diagram čtení souboru



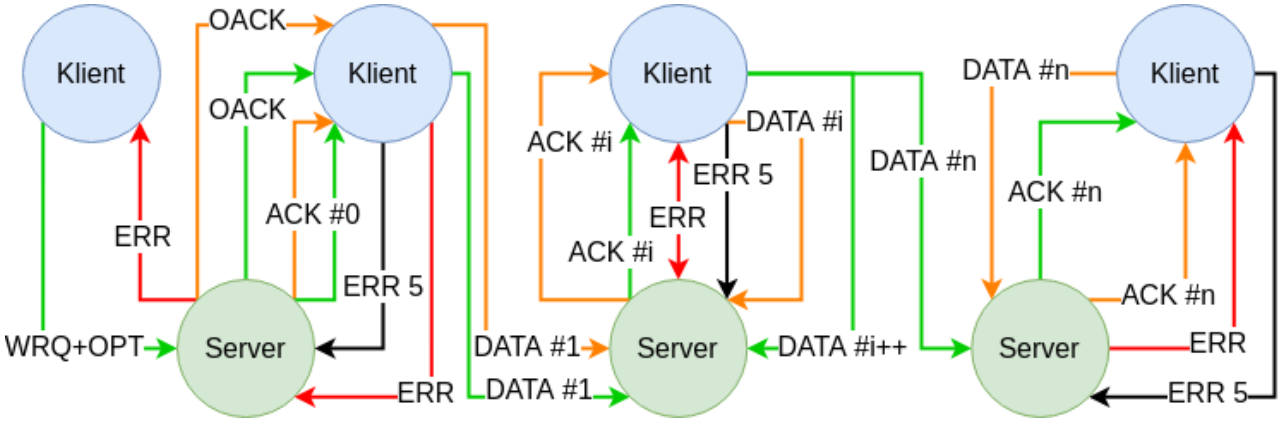
1.2 Diagram zápisu souboru



1.3 Diagram čtení souboru se specifikací podmínek přenosu



1.4 Diagram zápisu souboru se specifikací podmínek přenosu



2 Implementace TFTPv2 klienta

Implementace TFTPv2 klienta je rozdělena do následujících souborů:

- `client.{cpp,h}` – obsahují deklarace a definice funkcí pro přenos souborů. Jedná se o stěžejní soubory projektu, důležitá je funkce `transfer()`, která konfiguruje spojení se serverem, a zejména funkce `read()` a `write()`, které provádí čtení souboru ze serveru, respektive jeho zápis na server.
- `in_out.{cpp,h}` – obsahují deklarace a definice funkcí pro zpracování vstupu uživatele: `parse_line()`; výpis standardního výstupu programu: `print_summary()` a `help_msg()`; konverzi souborů do kódovaní *netascii*: `fread_to_netascii()` a `fwrite_from_netascii()`; aj.
- `main.{cpp,h}` – obsahují hlavní smyčku programu.
- `TFTP.{cpp,h}` – obsahují definice a deklarace funkcí pro tvorbu a zpracování TFTP paketů. Pro tvorbu paketů jsou použity funkce `RQ_header()`, `ACK_header()` a `ERR_packet()`. Pro získávání informací z přijatých paketů pak funkce `parse_OACK()` a `err_code_value()`.

Podrobnější informace o použitých funkcích lze nalézt přímo ve zmíněných souborech.

2.1 Časový limit – parametr -t

V případě, že uživatel časový limit nespecifikuje, je na straně klienta nastaven na 1 s. Pokud jej uživatel specifikuje a server nepodporuje sjednávaní podmínek přenosu nebo tuto podmínku neimplementuje, zůstává časový limit na specifikované hodnotě uživatelem. Tímto způsobem může uživatel u serverů nepodporujících sjednávání podmínek přenosu ovlivnit předčasné ukončení přenosu v případech extrémně pomalého připojení, viz následující text. Pokud server na podmínku odpoví s jinou hodnotou, než specifikoval klient, pak je použita tato hodnota, i když to dle RFC 2349 [4] není možné. V obou případech je o této skutečnosti uživatel informován výpisem. Ve všech případech je odesláno maximálně 5 stejných datagramů, pokud na žádný z nich není přijata relevantní odpověď, je usouzeno, že došlo k fatální chybě a přenos je přerušen.

2.2 Velikost přenášeného bloku dat – parametr -s

Pokud server nepodporuje sjednávaní podmínek přenosu nebo tuto podmínku neimplementuje, je velikost přenášeného bloku dat nastavena na základní velikost (512 B) a uživatel je o této skutečnosti informován výpisem. Pokud server odpoví s menší hodnotou, než specifikoval klient, je použita tato hodnota. Pokud server odpoví s větší hodnotou, než specifikoval klient, což není dle RFC 2348 [3] možné, je odeslána chyba a přenos je ukončen.

2.3 Velikost přenášeného souboru

Tuto podmínku nespecifikuje uživatel. Klient ji zasílá u všech žádostí o přenos, které probíhají binární formou. U kódování ascii není možné před začátkem přenosu jednoduše zjistit velikost přenášeného souboru, proto zde podmínka není specifikována.

2.4 Multicast – parametr -m

Aplikace implementuje IPv4 i IPv6 multicast [5]. Při unicastovém provozu je použit stejný soket pro příjem i odesílání datagramů. V případě multicastu je pro příjem otevřen nový soket se získanou multicastovou adresou od serveru. Klient, v případě, že je master klientem, pak nadále nahlíží na komunikaci, jako by se jednalo o unicast, jinak přenos ukončuje s chybou. Uživatel může specifikovat multicast jen v případě čtení souboru, jinak je tento parametr ignorován.

3 Testování

Výsledný program byl důkladně testován za použití referenční implementace TFTP klienta [9] a TFTP serverů [10][11]. Dále byly pro testování použity nástroje Valgrind [13], Wireshark [14], diff [12] aj. Pro simulaci neobvyklých situací byly použity soubory a skripty v adresáři `tests`. Výsledky vybraných testů jsou zobrazeny v následujících sekcích.

V sekci 3.2 a 3.3 si lze navíc všimnout, že implementace řešení tzv. Sorcerer's Apprentice Syndrome, který identifikuje a opravuje RFC 1350 [1]. Datagramy jsou odeslány znovu jen v případě vypršení časového limitu.

Výpisy programu v následujících sekcích z důvodu irelevantnosti neobsahují časová razítka.

3.1 Test IPv4, IPv6 a správy paměti

3.1.1 Výpis programu

```
==42878== Memcheck, a memory error detector
==42878== Copyright (C) 2002-2017, and GNU GPL'd, by Julian Seward et al.
==42878== Using Valgrind-3.15.0 and LibVEX; rerun with -h for copyright info
==42878== Command: ./mytftpclient
==42878==
> -W -d file1 -a 192.168.1.147,69
Writing file 'file1' to 192.168.1.147 ...

Writing file 'file1' succeeded.
Transfer summary:
```

```
   - 34 ms elapsed during the transfer,
   - 737 B of data were sent in 2 datagrams of a maximum data size 512 B.

> -W -d file2 -a 2001:db8:1:1:204:76ff:fe47:c,69
Writing file 'file2' to 2001:db8:1:1:204:76ff:fe47:c ...

Writing file 'file2' succeeded.
Transfer summary:
   - 2 ms elapsed during the transfer,
   - 873 B of data were sent in 2 datagrams of a maximum data size 512 B.

> -R -d file2 -a 192.168.1.147,69
Reading file 'file2' from 192.168.1.147 ...

Reading file 'file2' succeeded.
Transfer summary:
   - 10 ms elapsed during the transfer,
   - 873 B of data were recieved in 2 datagrams of a maximum data size 512 B.

> -R -d file1 -a 2001:db8:1:1:204:76ff:fe47:c,69
Reading file 'file1' from 2001:db8:1:1:204:76ff:fe47:c ...

Reading file 'file1' succeeded.
Transfer summary:
   - 1 ms elapsed during the transfer,
   - 737 B of data were recieved in 2 datagrams of a maximum data size 512 B.

> q
==42878==
==42878== HEAP SUMMARY:
==42878==     in use at exit: 0 bytes in 0 blocks
==42878==   total heap usage: 27 allocs, 27 frees, 95,530 bytes allocated
==42878==
==42878== All heap blocks were freed -- no leaks are possible
==42878==
==42878== For lists of detected and suppressed errors, rerun with: -s
==42878== ERROR SUMMARY: 0 errors from 0 contexts (suppressed: 0 from 0)
```

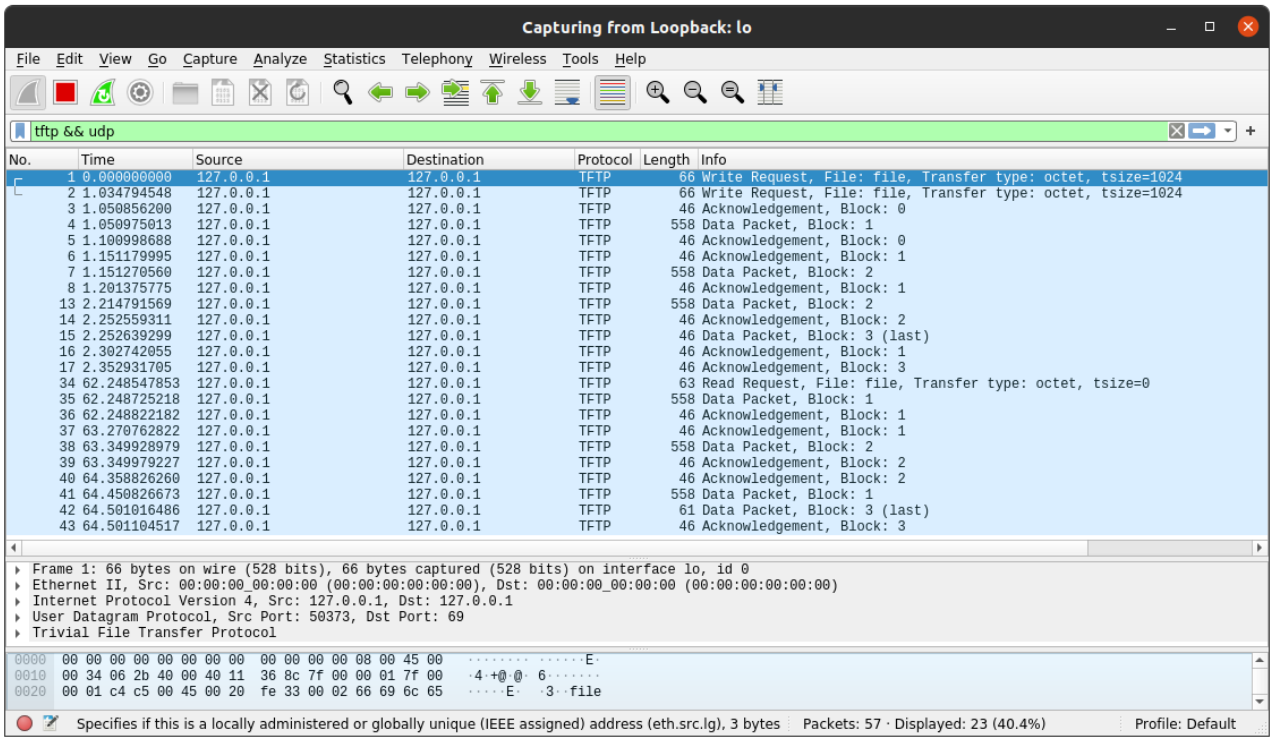
3.2 Test časové prodlevy a opožděného příchodu datagramu

3.2.1 Výpis programu

```
> -d file -W
Writing file 'file' to 127.0.0.1 ...
Warning: Server does not support Option Negotiation.

Writing file 'file' succeeded.
```

```
Transfer summary:
   - 2353 ms elapsed during the transfer,
   - 1536 B of data were sent in 4 datagrams of a maximum data size 512 B,
     of which 1 datagram carrying data may have been lost of overall data
     size 512 B.

> -R -d file
Reading file 'file' from 127.0.0.1 ...
Warning: Server does not support Option Negotiation.

Reading file 'file' succeeded.
Transfer summary:
   - 2252 ms elapsed during the transfer,
   - 1039 B of data were recieved in 3 datagrams of a maximum data size 512 B,
     additional 2 datagrams carrying data may have been lost, which compounds
     up to 1024 B.
```

3.2.2 Analýza síťového provozu



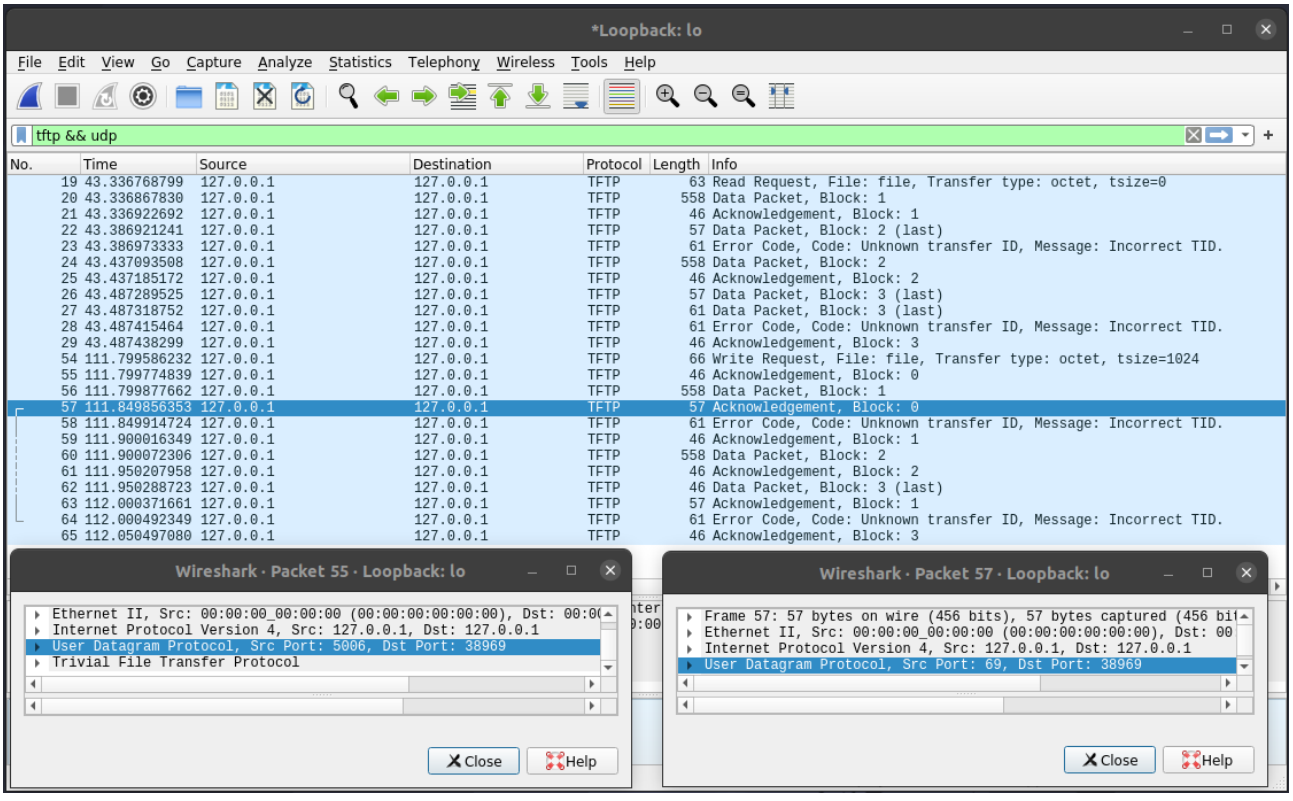
3.3 Test obdržení nesprávného TID

3.3.1 Výpis programu

```
> -R -d file
Reading file 'file' from 127.0.0.1 ...
Warning: Server does not support Option Negotiation.
Warning: Recieved TID does not match the estabhlished one, server informed
```

```
         and transfer continues.
Warning: Recieved TID does not match the estabhlished one, server informed
         and transfer continues.

Reading file 'file' succeeded.
Transfer summary:
   - 151 ms elapsed during the transfer,
   - 1039 B of data were recieved in 3 datagrams of a maximum data size 512 B.

> -d file -W
Writing file 'file' to 127.0.0.1 ...
Warning: Server does not support Option Negotiation.
Warning: Recieved TID does not match the estabhlished one, server informed
         and transfer continues.
Warning: Recieved TID does not match the estabhlished one, server informed
         and transfer continues.

Writing file 'file' succeeded.
Transfer summary:
   - 251 ms elapsed during the transfer,
   - 1024 B of data were sent in 3 datagrams of a maximum data size 512 B.
```

3.3.2 Analýza síťového provozu

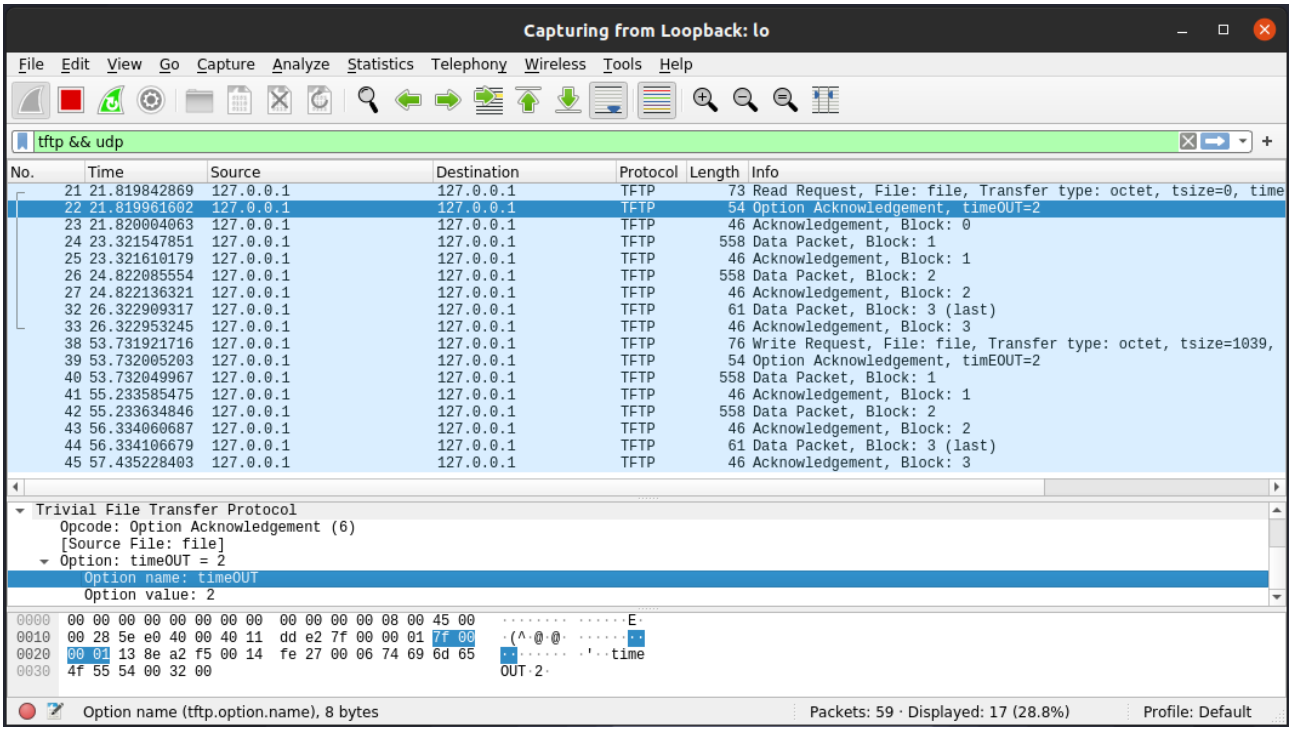


3.4 Test sjednání časového limitu pro znovu odeslání datagramu

3.4.1 Výpis programu

```
> -R -d file -t 2
Reading file 'file' from 127.0.0.1 ...
Warning: Server did not recognize transfer size option. Transfer continues.

Reading file 'file' succeeded.
Transfer summary:
   - 4503 ms elapsed during the transfer,
   - 1039 B of data were recieved in 3 datagrams of a maximum data size 512 B.

> -W -d file -t 4
Writing file 'file' to 127.0.0.1 ...
Warning: Server did not accept specified timeout of 4 s. Timeout specified
         by server of 2 s is used instead.
Warning: Server did not recognize transfer size option. Transfer continues.

Writing file 'file' succeeded.
Transfer summary:
   - 3703 ms elapsed during the transfer,
   - 1039 B of data were sent in 3 datagrams of a maximum data size 512 B.
```

3.4.2 Analýza síťového provozu

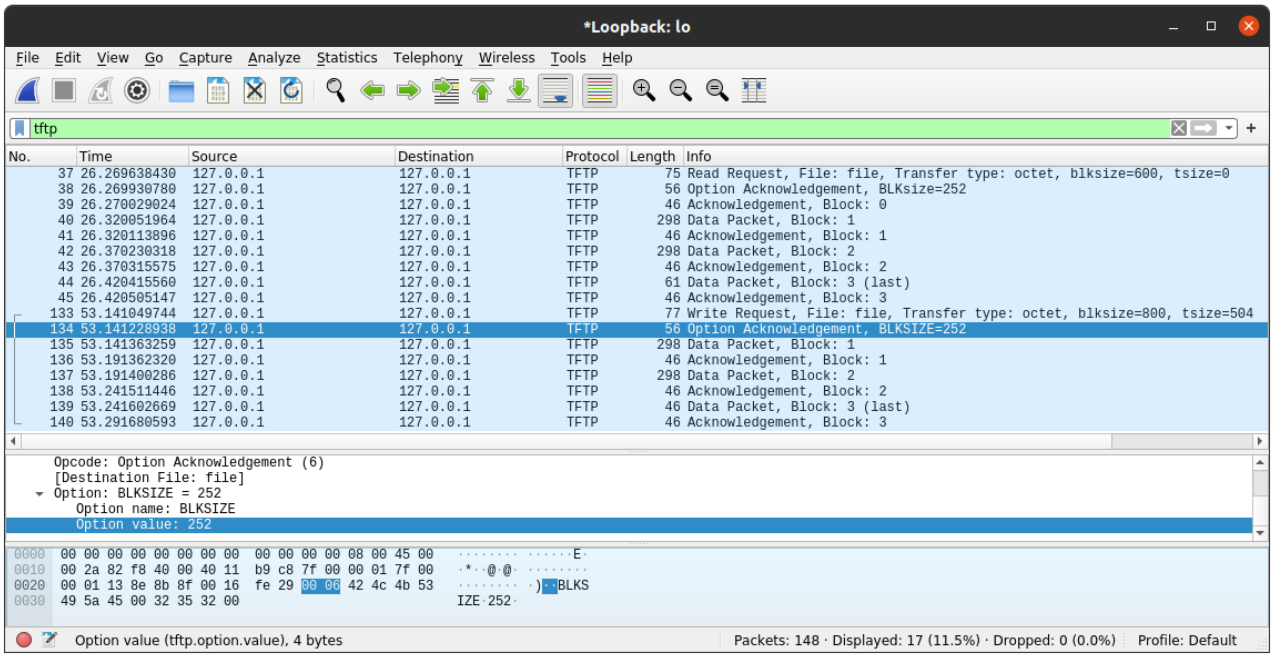


3.5 Test menší velikosti přenášeného bloku dat

3.5.1 Výpis programu

```
> -R -d file -s 600
Reading file 'file' from 127.0.0.1 ...
Warning: Server did not recognize transfer size option. Transfer continues.

Reading file 'file' succeeded.
Transfer summary:
   - 151 ms elapsed during the transfer,
   - 519 B of data were recieved in 3 datagrams of a maximum data size 252 B.

> -s 800 -d file -W
Writing file 'file' to 127.0.0.1 ...
Warning: Server did not recognize transfer size option. Transfer continues.

Writing file 'file' succeeded.
Transfer summary:
   - 151 ms elapsed during the transfer,
   - 504 B of data were sent in 3 datagrams of a maximum data size 252 B.
```

3.5.2 Analýza síťového provozu



3.6 Test kódovaní do netascii (zahrnuje znak na konci bloku dat)

3.6.1 Výpis programu

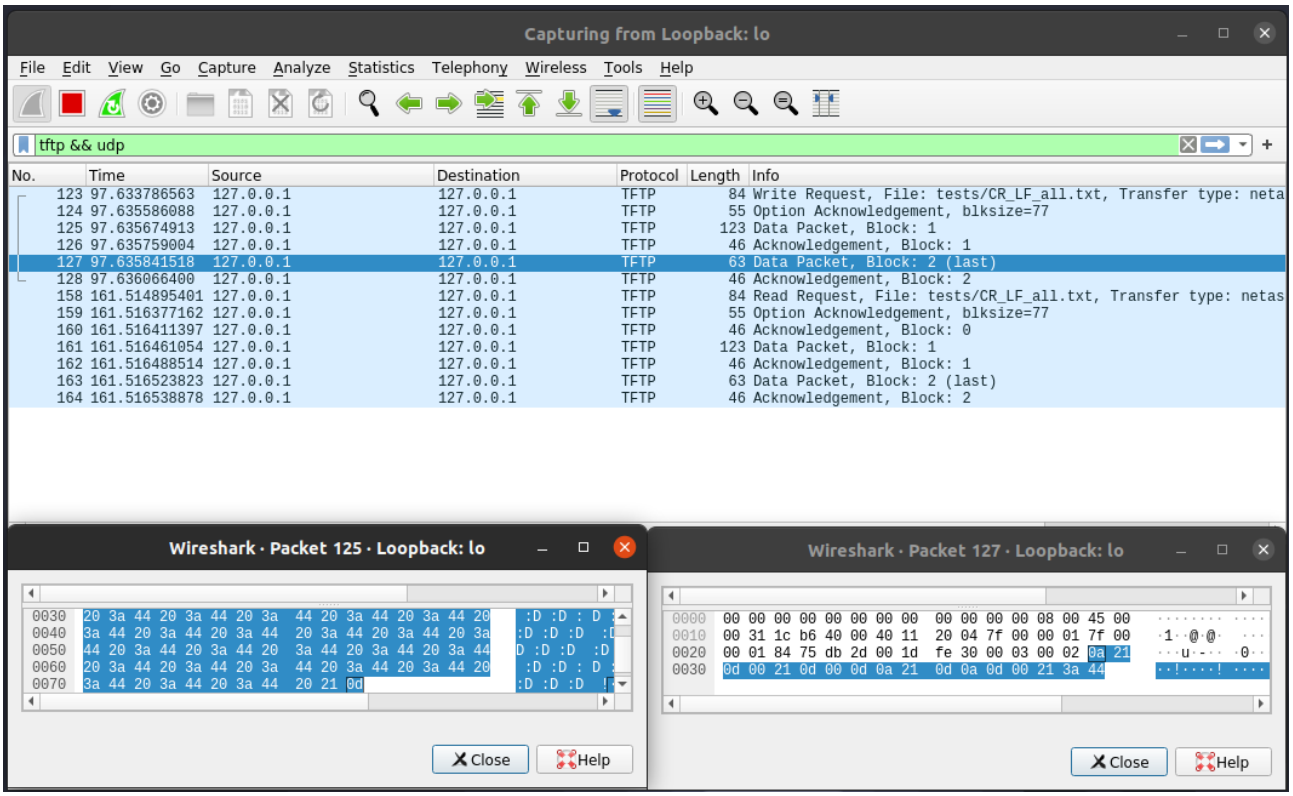
```
> -W -d tests/CR_LF_all.txt -s 77 -c ascii
Writing file 'CR_LF_all.txt' to 127.0.0.1 ...
```

```
Writing file 'CR_LF_all.txt' succeeded.
Transfer summary:
   - 2 ms elapsed during the transfer,
   - 94 B of data were sent in 2 datagrams of a maximum data size 77 B.

> -R -d tests/CR_LF_all.txt -s 77 -c netascii
Reading file 'CR_LF_all.txt' from 127.0.0.1 ...

Reading file 'CR_LF_all.txt' succeeded.
Transfer summary:
   - 2 ms elapsed during the transfer,
   - 94 B of data were recieved in 2 datagrams of a maximum data size 77 B.
```

3.6.2 Kontrola obsahu souboru programem diff

```
Files tests/CR_LF_all.txt and CR_LF_all.txt are identical
```

3.6.3 Analýza síťového provozu



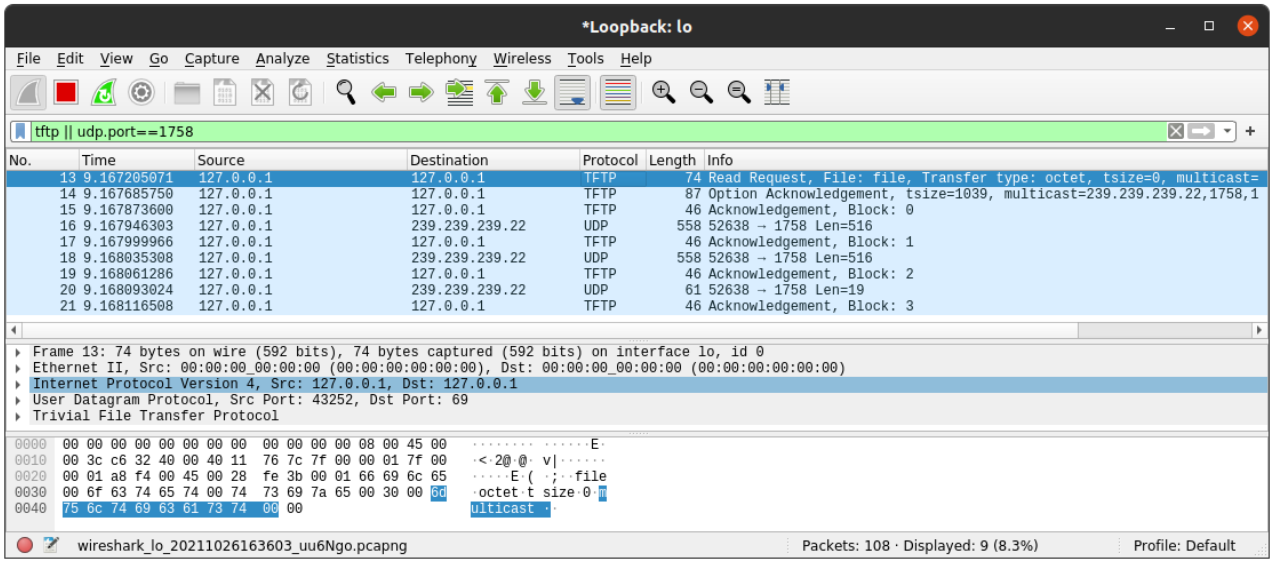
3.7 Test IPv4 multicast

3.7.1 Výpis programu

```
> -R -d file -m
Reading file 'file' from 127.0.0.1 ...
```

```
Reading file 'file' succeeded.
Transfer summary:
   - 1 ms elapsed during the transfer,
   - 1039 B of data were recieved in 3 datagrams of a maximum data size 512 B.
```

3.7.2 Analýza síťového provozu



4 Návod k použití

Program je navrhnut pro použití v příkazové řádce. Výpisy programu v následujících sekcích z důvodu irelevantnosti neobsahují časová razítka.

4.1 Sestavení a spuštění

- sestavení – zadaním přkazu `make`,
- sestavení a spuštění – zadaním příkazu `make run`,
- spuštění – zadaním příkazu `./mytftpclient`.

Všechny příkazy je nutné zadávat v kořenovém adresáři projektu.

4.2 Příklady použití

4.2.1 Nápověda

```
> ?
Command prompt usage:
   -R                              : Compulsory, cannot be combined with '-W'
                                     option. Specifies reading a file from server.
   -W                              : Compulsory, cannot be combined with '-R'
```

```
                                    option. Specifies writing a file to server.
   -d <filepath/filename>           : Compulsory. Specifies the path to a read
                                      or written file and its name.
   -t <0-255 inclusive>             : Optional. Specifies the used timeout in
                                      seconds before potentionaly lost datagram
                                      is resend. The default value is 1 s.
   -s <1-2147483647 inclusive>      : Optional. Specifies the used block size of
                                      transported data in one datagram. Larger
                                      values may be replaced with the MTU of the
                                      system.
   -m                               : Optional. Specifies the use of multicast for
                                      reading a file from server. When '-W' option
                                      is specified, the value is ignored.
   -c <netascii|ascii|binary|octet> : Optional. Specifies the used encoding of
                                      transfered data. Default value is 'binary'.
   -a <IP address,port>             : Optional. Specifies the IPv4 or IPv6 address
                                      and port, on which the server is listening.
                                      Default values are '127.0.0.1,69'.
   <q|exit>                         : Safely termiantes the application.
   <?|h>                            : Prints this help message.
```

4.2.2 Čtení souboru

```
> -R -d file.txt
Reading file 'file.txt' from 127.0.0.1 ...

Reading file 'file.txt' succeeded.
Transfer summary:
   - 1 ms elapsed during the transfer,
   - 1039 B of data were recieved in 3 datagrams of a maximum data size 512 B.
```

4.2.3 Zápis souboru

```
> -W -d file.txt
Writing file 'file.txt' to 127.0.0.1 ...

Writing file 'file.txt' succeeded.
Transfer summary:
   - 1 ms elapsed during the transfer,
   - 1039 B of data were sent in 3 datagrams of a maximum data size 512 B.
```

Reference

[1] Sollins, K. *THE TFTP PROTOCOL (REVISION 2)* [online], červenec 1992, [cit. 30. 10. 2021]. Dostupné z: https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc1350.txt

[2] Malkin, G. *TFTP Option Extension* [online], květen 1998, [cit. 30. 10. 2021]. Dostupné z: https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc2347.txt

[3] Malkin G. *TFTP Blocksize Option* [online], květen 1998, [cit. 30. 10. 2021]. Dostupné z: https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc2348.txt

[4] Malkin G. *TFTP Timeout Interval and Transfer Size Options* [online], květen 1998, [cit. 30. 10. 2021]. Dostupné z: https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc2349.txt

[5] Deering S. *Host Extensions for IP Multicasting* [online], srpen 1989, [cit. 30. 10. 2021]. Dostupné z: https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc1112.txt

[6] Emberson A. *TFTP Multicast Option* [online], únor 1997, [cit. 30. 10. 2021]. Dostupné z: https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc2090.txt

[7] Postel, J. *User Datagram Protocol* [online], srpen 1980, [cit. 30. 10. 2021]. Dostupné z: https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc768.txt

[8] *TRANSMISSION CONTROL PROTOCOL* [online], září 1981, [cit. 30. 10. 2021]. Dostupné z: https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc793.txt

[9] die.net. *tftp(1) - Linux man page* [online], [cit. 30. 10. 2021]. Dostupné z: https://linux.die.net/man/1/tftp

[10] die.net. *tftpd(8) - Linux man page* [online], [cit. 30. 10. 2021]. Dostupné z: https://linux.die.net/man/8/tftpd

[11] die.net. *atftpd(8) - Linux man page* [online], [cit. 30. 10. 2021]. Dostupné z: https://linux.die.net/man/8/atftpd

[12] die.net. *diff(1) - Linux man page* [online], [cit. 30. 10. 2021]. Dostupné z: https://linux.die.net/man/1/diff

[13] Valgrind™ Developers. *Valgrind* [online], [cit. 30. 10. 2021]. Dostupné z: https://valgrind.org

[14] *Wireshark* [online], [cit. 30. 10. 2021]. Dostupné z: https://www.wireshark.org