F-Lab / F-Tester / E-Shaper
Testování datových sítí efektivně, spolehlivě a cíleně

FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ
Katedra telekomunikační techniky

Metodický návod
Návrh testovacích scénářů s využitím emulace reálné datové komunikace

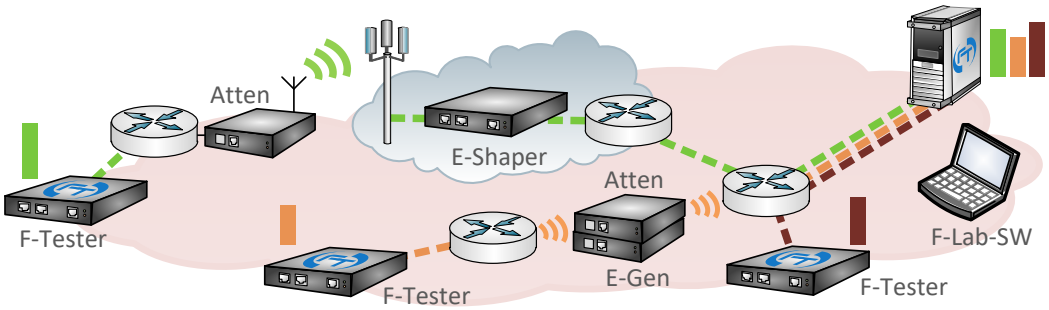
Souhrn technických parametrů a testovacích možností

Testovací a emulační systém ověřuje vlastnosti a schopnosti **komunikačních technologií i koncových ICT systémů** za různých podmínek. Je možné emulovat následující události:

- Analogové prostředí komunikačních kanálů – zhoršení podmínek, interference, rušení
- Vlastnosti komplexní TCP/IP sítě
- Souběžné datové toky, konkurenční provoz, různé typy síťových útoků

Jednotlivé testy sestavovat do scénářů a celý systém vzdáleně ovládat. Systém je sestaven z centrálního řídicího serveru **F-Lab-SW** (orchestrátor testů) a dalších komponent podle konkrétního typu testů. Lze využít následující komponenty:

- **F-Tester** – měření parametrů komunikačních zařízení založených na rodině protokolu TCP/IP. Pro měření lze definovat měřicí scénáře s libovolným datovým profilem (časovou sousledností) generovaných dat.
- **E-Shaper** – emulace komunikační sítě s definovanými parametry (propustnost, ztrátovost paketů, zpoždění, duplikace paketů, doručení paketů mimo pořadí) včetně jejich změn v čase. Lze definovat šablony pro různorodé komunikační sítě a technologie, jakými jsou různé generace mobilních sítí, xDSL či Wi-Fi zařízení.
- **F-Cap** – zařízení k zachytávání a analýze datového provozu.
- **Atten** – řízený útlumový článek pro nastavení definovaných vlastností komunikačního kanálu ve variantách pro bezdrátové, mobilní i pevné sítě (PLC/BPL, xDSL) s možností injekce rušení.
- **E-Gen** – konvertor pro řízení generátoru rušení pro doplnění definované úrovně šumu či interferencí do komunikačního kanálu, který přizpůsobuje použitý typ generátoru řídicímu systému.



Modelové schéma komplexního testovacího systému F-Lab

Dále jsou součástí sestavy vazební a přizpůsobovací prvky podle konkrétních podmínek testování, stejně jako řídicí datová síť realizující propojení a řízení jednotlivých komponent (LAN Ethernet).

Příklady testovacích možností:

- Krátkodobá měření – verifikace zařízení – např. výstupní kontrola při výrobě
  - přehledové ověření funkčnosti
  - ověření mezních parametrů, odolnosti proti rušení a případným útokům
- Dlouhodobá měření – zátěžové testy – např. testy při vývoji a výzkumu
  - detailní měření v horizontu hodin, dnů, týdnů
  - testování stability komunikace a ověření odolnosti proti zhoršeným podmínkám, provozním špičkám, výpadkům apod.
- Posloupnosti testů
  - konfigurovatelné parametry pro ruční spouštění
  - konfigurovatelné posloupnosti testů pro automatické běhy
  - vyhodnocení parametrů v čase
  - vyhodnocení splnění definovaných kritérií
  - generování protokolů o měření

Příklady testů:

- Testování koncových aplikací (SW aplikace se síťovou komunikací, cloudové služby, webové služby apod.) a analýza jejich chování typicky při:
  - zhoršení podmínek na fyzické vrstvě (pokles úrovně signálu, nárůst interferencí),
  - zvýšeném zatížení komunikační sítě,
  - poklesu výkonnosti síťového prvku, datového spoje či celé sítě (poruchové stavy, rekonfigurace parametrů),
  - výpadcích a neočekávaných stavech,
  - kybernetickém útoku.
- Testování výkonnosti síťového prvku, datového spoje či celé sítě při výše uvedených stavech.
- Testování systémů dohledu sítě a nástrojů automatické rekonfigurace a obnovy při výše uvedených stavech.

Výstupy analýzy:

- časové průběhy (kombinace více typů výstupů do jednoho grafu)
- histogramy (četnosti rozložení měřených parametrů)
- statistiky a graf box-plot (střední hodnota, směrodatná odchylka, medián, min./max.)
- detekce překročení limitů, poruchových stavů, ztráty výkonnosti, nesplnění SLA

Ke konfiguraci testů a přístup k výsledkům měření se využívá webové rozhraní (webový prohlížeč spuštěný na klientském zařízení), nebo API.

Další aspekty testování

- Testy bez uživatelského provozu (nezatížená síť) – Out of service mode
- Testy za přítomnosti uživatelského provozu (ověření ovlivnění datových toků) – In-service mode

Příprava testovacích scénářů

Cílem uvedeného postupu je zjednodušit, zefektivnit a učinit opakovatelné podmínky, za kterých se ověřuje funkčnost nějakého ICT systému, tj. zejména podrobení klientské strany mezním situacím, se kterými se musí vyrovnat a oproti nim musí být ošetřena. A také dosáhnout zkrácení testovacích sekvencí a zajistit, pokud možno jejich automatický běh a vyhodnocení.

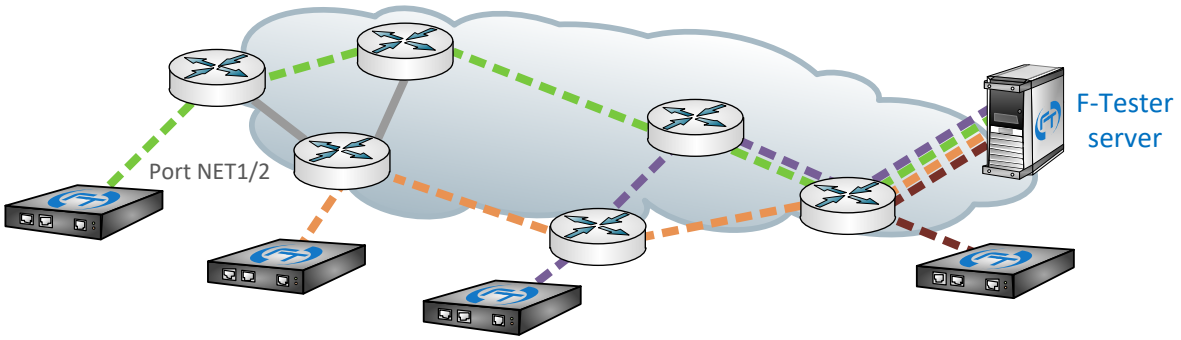
Než je možné přistoupit k vlastnímu ověřování aplikací, typicky SW a kombinace SW/HW provozovaného v internetu a obecně v distribuovaném prostředí sítí LAN/MAN/WAN, je třeba analyzovat testovací podmínky, vymezit mezní situace a stanovit testovací scénáře. K tomu se využijí následující dva kroky.

Analýza parametrů datových spojů

Pokud chceme přiblížit testy na aplikační vrstvě **reálným podmínkám**, je nutno provést sadu testů konektivity pro zjištění chování datových spojů použitých pro připojení klientských zařízení či vzájemném propojení komponent distribuovaného ICT systému. K tomu lze využít zařízení F-Tester, či jiný datový generátor a analyzátor.

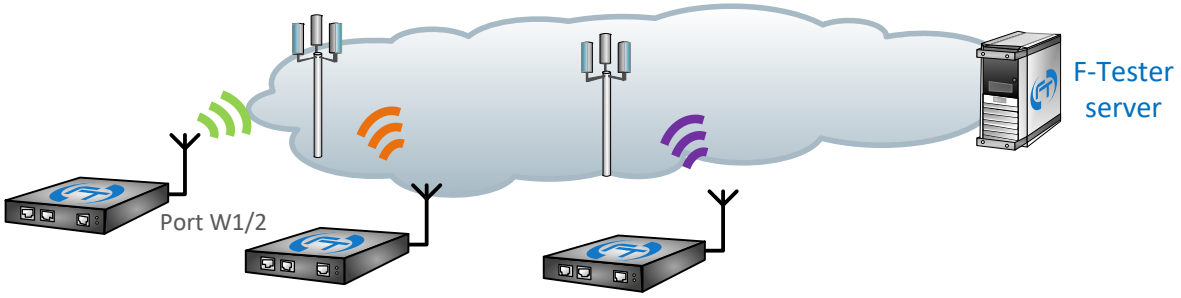
Testování fixního připojení oproti serveru v cloudu

Na serveru v internetu (vhodné místo, které svou kapacitou připojení nebude ovlivňovat měření konektivity koncových stanic), či v centrální části privátní sítě, je umístěna testovací aplikace, vůči které probíhají testy klientských jednotek, připojených přes rozhraní Ethernet. Toto uspořádání je typické pro využití internetových NGA a VHCN přípojek.



Testování bezdrátové sítě (typicky mobilních sítí)

Jedná se o variantu obecného testu oproti serveru v internetu, kdy jsou klientské jednotky vybaveny interním modemem a využívá se antény pro přímé bezdrátové připojení k síti Wi-Fi nebo k mobilní síti (či jinému typu sítě podle vlastností použitého modemu).

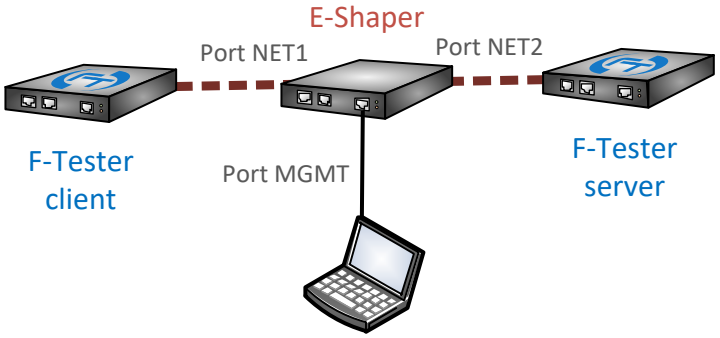


Konfigurace emulátoru

Z naměřených dat lze automatizovaně generovat a nahrát předpis pro emulátor sítě pro následné testy aplikací.

Mimo popsaného postupu a vlastního měření lze samozřejmě použít předpřipravené scénáře sestavené na základě znalosti vlastností typických komunikačních technologií a síťových uspořádání, které nakonfigurujeme či nahrajeme do síťového emulátoru **E-Shaper**.

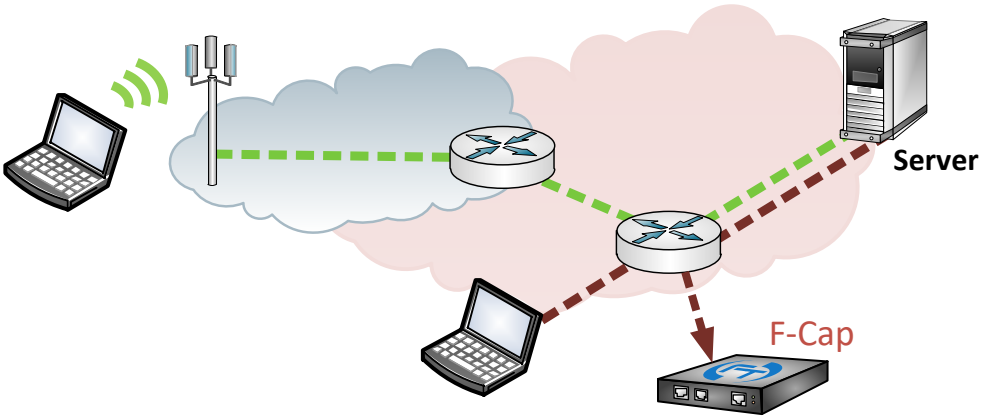
Následující schéma je **referenční konfigurací**, která se dá využít pro ověření nastaveného profilu v E-Shaperu pomocí dvou datových analyzátorů F-Tester. Uvedené uspořádání je též vhodné pro **demonstrační a výukové účely**, kdy bez nutnosti mít k dispozici reálnou technologii lze ukázat typické chování na uložených scénářích libovolného druhu a časového sledu.



Analýza konkurenčního provozu

Pro zjištění časového průběhu zájmového toku využijeme zařízení pro **záchyt datového provozu F-Cap** (Flow-Capture), a to tak, že buď využijeme zrcadlení portu na síťovém prvku, nebo zařízení F-Cap se dvěma porty v režimu síťový most, skrze které prochází zachytávaný provoz.

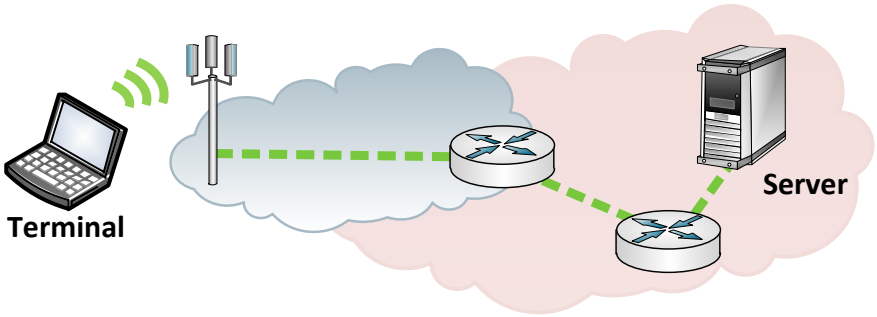
Dle zachyceného provozu lze sestavit předpis pro generátor konkurenčního provozu **F-Tester**, který následně použijeme při emulaci podmínek v **zatížených sítích**.



Testování SW aplikací a koncových zařízení

Testy s reálným přenosovým kanálem

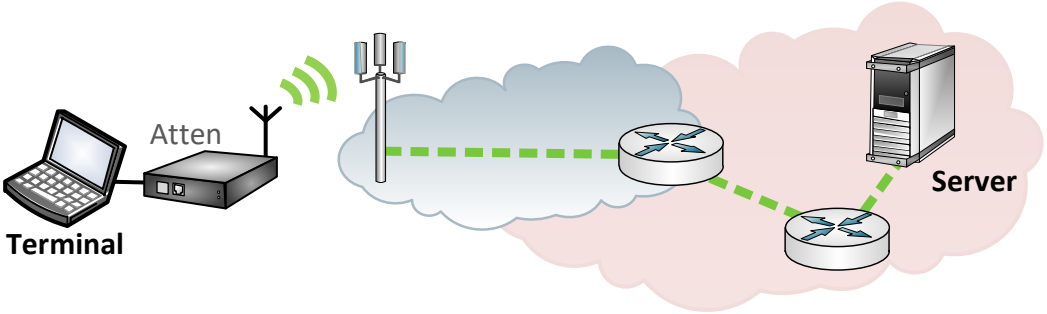
Pokud ověřujeme odezvy a chování nejrůznějších aplikací v provozu, využijeme referenční konfiguraci HW a SW klienta (terminálu) a serveru. Dále pak typické síťové uspořádání, zahrnující např. bezdrátovou část sítě (mobilní síť, nebo lokální Wi-Fi) a fixní část sítě.



Ověření s reálným přenosovým kanálem v mezních situacích

Předchozí elementární scénář testu s reálným přenosovým kanálem můžeme rozšířit o zkoumání chování v mezních situacích, které bychom jinak museli prověřovat při přemísťování klientského terminálu tak, abychom docílili zhoršení příjmových podmínek radiové sítě (na mezi dosahu – pokrytí signálem), či jiným vhodným způsobem v různých lokalitách.

Přiblížení této situaci dosáhneme při stabilní pozicí terminálu v dobrých (obvyklých) příjmových podmínkách s doplněním **programově ovládaného útlumového článku (Atten)**, který je vložen mezi RF konektor terminálu a anténu (typicky modem mobilní sítě 4G/5G, adaptér Wi-Fi). Zvyšováním útlumu se po krocích zhoršují podmínky přenosu (snižující se přenosová rychlost, zvyšující se ztrátovost paketů, výpadky spojení) až po mez, kdy dojde ke ztrátě datové komunikace. Tak lze efektivně pokrýt velkou škálu případů a ověřit **chování aplikací i v mezních stavech**.

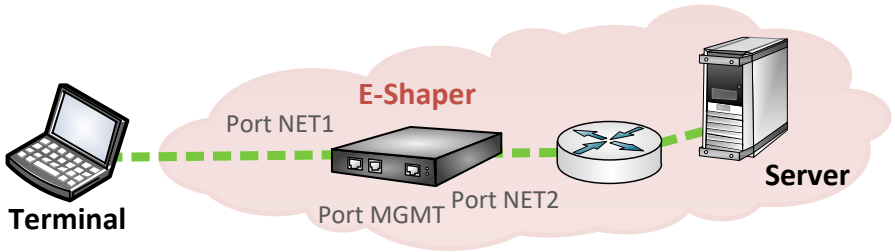


Obdobný postup lze uplatnit i pro jiná přenosová média a typy komunikace, např. pro komunikaci po silových vedeních **PLC/BPL**, nebo po metalických párech s modemy **xDSL** či **G.fast**. Je též možné skrze speciálně vyčleněné vstupy útlumového článku do komunikačního kanálu **injektovat šum, impulsní rušení, interference** z vhodného generátoru.

Testy s emulovaným datovým spojem

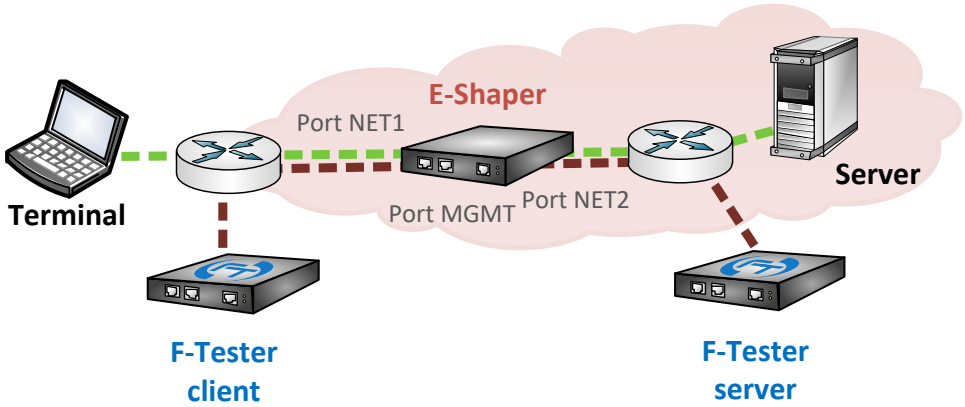
Testovaný komunikační kanál včetně všech segmentů sítě a předpokládaných negativních vlivů lze plně nahradit **emulátorem E-Shaper**, který provádí nezávisle pro každý směr přenosu omezování přenosové rychlosti (počet paketů za jednotku času), vkládání zpoždění, zahazování paketů s definovanou hodnotou ztrátovosti, a to s možností změn v průběhu času. Také je možno emulovat duplikaci paketů a změnu jejich pořadí. Změna parametrů je možná skrze port MGMT. Testovací

scénář definovaný v E-Shaperu v tomto případě zohledňuje vlastnosti sítě, které se projevují vůči individuálnímu datovému toku generovanému mezi terminálem a serverem testovanou aplikací.



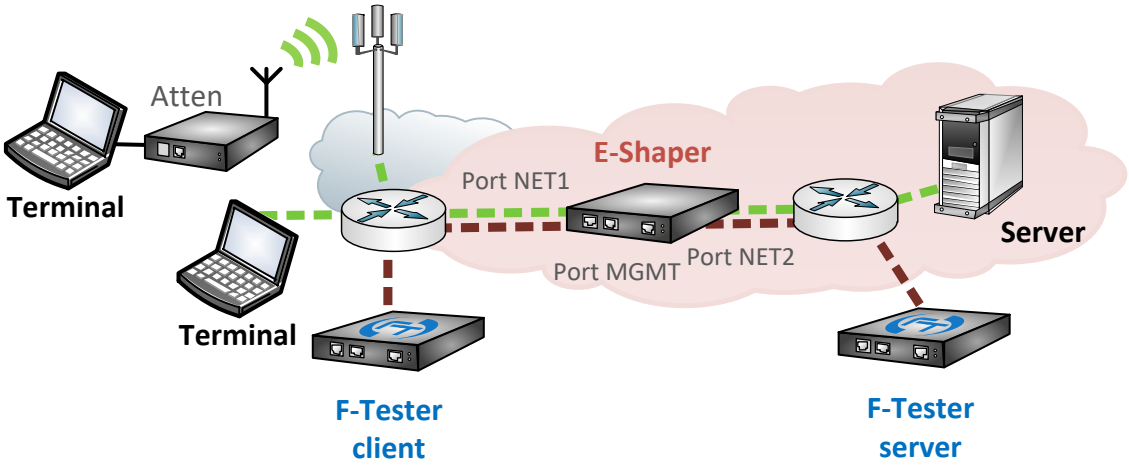
Testy s emulovaným konkurenčním provozem

Vyšší dynamiku a rozšíření o emulaci **víceuživatelského provozu** lze dosáhnout přidáním konkurenčních toků definované skladby a časového průběhu za pomoci dvojice F-Testerů, jejichž provoz soupeří o kapacitu poskytovanou sítí emulovanou E-Shaperem. Testovací scénář definovaný v E-Shaperu v tomto případě zohledňuje vlastnosti sítě, které se projevují vůči sumě všech uvažovaných souběžných datových toků. V tomto uspořádání lze emulovat i zahlcení sítě a **kybernetické útoky** typu DoS/ DDoS (Denial of Service).



Kombinované scénáře

Všechny uvedené prvky, tedy reálné části komunikačních kanálu, případně dovedené do mezních stavů vloženým útlumem či interferencemi, emulovaná úzká hrdla pomocí zařízení E-Shaper, emulovaný konkurenční provoz pomocí zařízení F-Tester lze kombinovat. Rovněž je možné testovat komunikaci z různých bodů přenosového řetězce a z většího počtu terminálů zároveň.



Parametry emulátoru sítě E-Shaper

Možnosti testů

Nezávislé nastavitelní parametrů oba směry přenosu.

Konfigurace pomocí webového rozhraní s definicí jednotlivých kroků a jejich seskupování do scénářů (orchestrace testů). Možnost načtení uložených a před-konfigurovaných scénářů ze souboru.

Průběh parametrů v čase:

- Permanentní nastavení
- Parametry v čase měněné po definovaných krocích
- Náhodně generované hodnoty dle definovaného předpisu – distribuční funkce

Rozsahy parametrů

Zpracování scénáře a rozlišení času jednotlivých záznamů:

- Od 1 µs do hodin a dnů (není omezeno), min. krok 1 µs
- Limit počtu záznamů – není omezen
- Oba kanály (směry přenosu - porty TX / RX) jsou řízeny nezávisle
- Pokud se konkrétní parametr nemění, udržuje se na poslední požadované hodnotě

Omezení propustnosti:

- Od 1 kbit/s do rychlosti rozhraní (v základní verzi 1GE), min. krok 1 kbit/s
- Možnost definovat pozvolný (lineární) nárůst / pokles propustnosti

Zpoždění při přenosu:

- Od 1 µs do zaplnění definovaného bufferu (typicky až jednotky s; výchozí velikost bufferu je nastavena na 262144 paketů pro každý směr komunikace), min. krok 1µs
- Je nutné připočítat procesní zpoždění, které se pohybuje typicky v rozsahu 50-150 µs (platí pro HW platformu APU2)

Ztrátovost paketů:

- Od 0 % do 100%, min. krok ~ $2{,}3 \cdot 10^{-8}$ (32 bit rozlišení)

Výskyt duplicitních paketů:

- Od 0 % do 100%, min. krok ~ $2{,}3 \cdot 10^{-8}$ (32 bit rozlišení)

Výskyt paketů mimo pořadí:

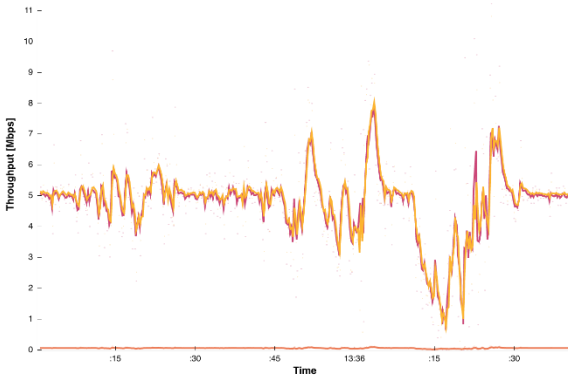
- Od 0 % do 100%, min. krok ~ $2{,}3 \cdot 10^{-8}$ (32 bit rozlišení)
- Velikost shluku paketů mimo pořadí od 1 do N (maximální velikost N se definuje ve společné části scénáře, výchozí hodnota je nastavena na 64 paketů.)

Výstupy testů

Příklad náměru mobilní sítě s generováním předpisu pro emulátor s následným ověřením vlastností.

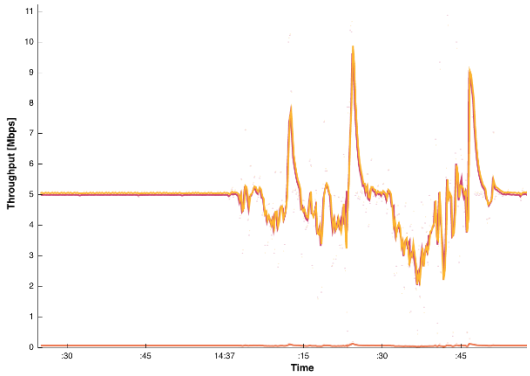
Náměr z reálné sítě:

Propustnost ve směru downstream:

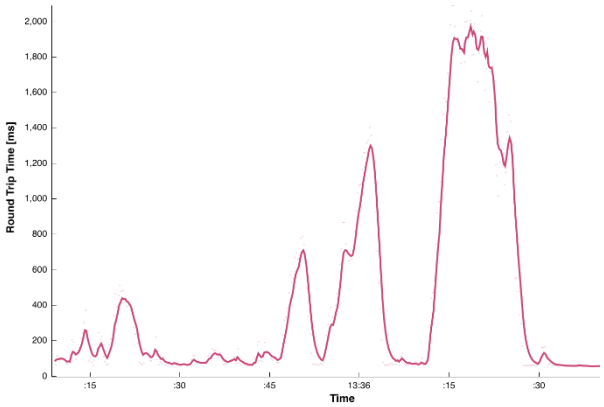


Náměr z emulované sítě pomocí E-Shaper:

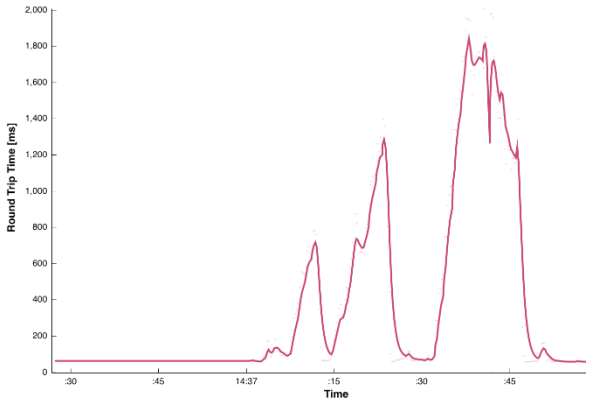
Propustnost ve směru downstream:



Zpoždění ve smyčce (RTT) při měření ve směru downstream:



Zpoždění ve smyčce (RTT) při měření ve směru downstream:



Ukázka části profilu – definičního souboru – emulované sítě na zařízení E-Shaper:

```
{
  "general": {
    "version": 1,
    "burst_tx_drain_us": 100,
    "burst_rx_frames": 32,
    "buffer_rx_size_frames": 262144,
    "buffer_tx_size_frames": 262144,
    "tbf_time_slots_per_second": 25000,
    "tbf_max_credits": 65636
  },
  "setup": {
    "rx": [
      {
        "buffer_timeout_us": 4000000,
        "ts_usec": 0,
        "drop_alg": "simple",
        "delay_alg": "simple",
        "police_alg": "simple",
        "rate_kbps": 50000,
```

```
      "loss_pct": 0.0,
      "rate_burst_bytes": 8192,
      "delay_us": 63000
    },
    {
      "ts_usec": 300000000,
      "delay_us": 63360,
      "loss_pct":  0
    },
    {
      "ts_usec": 300250000,
      "delay_us": 71075,
      "loss_pct":  0
    },
...

    {
      "ts_usec": 337750000,
      "delay_us": 1675885,
      "loss_pct":  0
    },
    {
      "ts_usec": 338000000,
      "delay_us": 2003161,
      "loss_pct":  0
    },
    {
      "ts_usec": 338250000,
      "delay_us": 1835894,
      "loss_pct":  44.2006
    },
    {
      "ts_usec": 338500000,
      "delay_us": 1673626,
      "loss_pct":  4.7871999999999995
    },
    {
      "ts_usec": 338750000,
      "delay_us": 1644344,
      "loss_pct":  62.313399999999994
    },
}
```


Odkazy a kontakty

T A Č R

Zařízení **E-Shaper** vzniklo s podporou **Technologické agentury ČR** v rámci dílčího projektu „Softwarově definovaný emulátor datových sítí pro komplexní testovací systém F-Lab“ – program GAMA – reg. č. projektu TP01010066

ČVUT v Praze, fakulta elektrotechnická, katedra telekomunikační techniky
Technická 2, 166 27 Praha 6
web: https://f-tester.fel.cvut.cz/
e-mail: f-tester@fel.cvut.cz