ການສຶກສາການຈຳລອງ ຜົນກະທົບຂອງ ການສູນເສຍແພັກເກັດ ແລະ ຄວາມລ່າຊ້າ ຕໍ່ປະສິດທິພາບ FTTH 35 Mbps ໃນຊ່ວງເວລາທີ່ແຕກຕ່າງກັນ

*ສິດທິເດດ ບຸນມາຈັນ**

ຄະນະວິສະວະກຳສາດ, ພາກວິຊາວິສະວະກຳຄອມພິວເຕີ ແລະ ເຕັກໂນໂລຊີຂໍ້ມູນຂ່າວສານ, ມະຫາວິທະຍາໄລແຫ່ງຊາດ

ບົດຄັດຫຍໍ້

ການສຶກສາຄັ້ງນີ້ມີຈຸດປະສົງເພື່ອກວດສອບຜົນກະທົບຂອງຂໍ້ບົກພ່ອງຂອງເຄືອຂ່າຍກ່ຽວກັບການສູນເສຍແພັກເກັດ (Packet Loss) ແລະ ຄວາມລ່າຊ້າ (Latency) ຕໍ່ປະສິດທິພາບການເຊື່ອມຕໍ່ແບບ Fiber to the Home (FTTH). ການທົດລອງໄດ້ນຳໃຊ້ອິນເຕີເນັດ FTTH ຂອງບໍລິສັດສະຕາໂທລະຄົມ ແລະ ດຳເນີນໃນສະພາບແວດລ້ອມທີ່ຄວບຄຸມ, ໂດຍນຳໃຊ້ເຄື່ອງມື Iperf3, Ping ເພື່ອວັດແທກ ແລະ NetEm ເພື່ອຈຳລອງຂໍ້ບົກພ່ອງຂອງເຄືອຂ່າຍ. ຂໍ້ມູນໄດ້ຖືກເກັບກຳໃນສອງຊ່ວງເວລາຄື: ກາງເວັນ ແລະ ກາງຄືນ ເພື່ອປຽບທຽບຄ່າທີ່ໄດ້ຮັບພາຍໃຕ້ສະພາບການໃຊ້ງານເຄືອຂ່າຍທີ່ແຕກຕ່າງກັນ. ຜົນໄດ້ຮັບສະແດງໃຫ້ເຫັນວ່າ ການມີ Packet Loss ແລະ Latency ສົ່ງຜົນກະທົບຕໍ່ໂປຣໂຕຄໍ Transmission Control Protocol (TCP) ຢ່າງຫຼວງຫຼາຍ, ໂດຍສະເພາະ Packet Loss 1% ກໍ່ສາມາດເຮັດໃຫ້ອັດຕາ Throughput TCP ຫຼຸດລົງຫຼາຍກວ່າ 80% ແລະ ໃນຂະນະທີ່ Latency 100ms ກໍເຮັດໃຫ້ Throughput ຂອງ TCP ຫຼຸດລົງຫຼາຍກວ່າ 50%. ໃນທາງກົງກັນຂ້າມ, ອັດຕາ Throughput ຂອງໂປຣໂຕຄໍ User Datagram Protocol (UDP) ບໍ່ໄດ້ຮັບຜົນກະທົບຕໍ່ຈາກຂໍ້ບົກພ່ອງດັ່ງກ່າວ, ແຕ່ Packet Loss ສົ່ງຜົນໂດຍກົງຕໍ່ຄຸນນະພາບຂອງການບໍລິການແບບ Real-time ທີ່ອີງໃສ່ໂປຣໂຕຄໍ UDP, ສ່ວນ Latency ກໍເຮັດໃຫ້ເກີດມີຄວາມລ່າຊ້າທີ່ສັງເກດເຫັນໄດ້ຊັດເຈນໃນການນຳໃຊ້. ດັ່ງນັ້ນ, ຜົນການຄົ້ນຄວ້າຈຶ່ງຊີ້ໃຫ້ເຫັນວ່າ Packet Loss ແລະ Latency ສົ່ງຜົນກະທົບຕໍ່ປະສົບການຜູ້ໃຊ້ແຕ່ຜ່ານກົນໄກທີ່ແຕກຕ່າງກັນ, ເຊິ່ງເປັນປັດໄຈຊ່ວຍຊີ້ໃຫ້ເຫັນຄວາມສຳຄັນຂອງການປັບປຸງຄຸນນະພາບເຄືອຂ່າຍ.

ຄຳສັບສຳຄັນ: *ການສູນເສຍແພັກເກັດ, ຄວາມລ່າຊ້າ, ອັດຕາໂອນຍ້າຍຂໍ້ມູນ, ໂປໂຕຄໍຣ TCP, ໂປໂຕຄໍຣ UDP, ອິນເຕີເນັດສາຍໃຍແກ້ວນຳແສງເຖິງເຮືອນ.*

**ຕິດຕໍ່ພົວພັນ: ສິດທິເດດ ບຸນມາຈັນ, ໂທ: 020 22232103; ອີເມວ: sitthideth.bounmachanh@gmail.com*

A Simulation Study on the Impact of Packet Loss and Latency on FTTH 35 Mbps Performance Across Different Time Periods

*Sitthideth Bounmachanh**
faculty of Engineering, Department of Computer Engineering and Information Technology
National University of Laos

Abstract

This study aims to investigate the impact of Packet Loss and Latency on the performance of a 35 Mbps Fiber to the Home (FTTH) connection. Experiments were conducted in a controlled environment using iPerf3, Ping to measure and NetEm to simulate network imperfections. Data was collected during two distinct periods, daytime and nighttime, to compare the effects under different network traffic conditions. The results revealed that the Transmission Control Protocol (TCP) is highly susceptible to both Packet Loss and Latency, with as little as 1% Packet Loss causing a more than 80% drop in TCP Throughput and an increase of 100ms in Latency resulting in a more than 50% Throughput reduction. In contrast, the User Datagram Protocol (UDP) Throughput remained largely unaffected by these impairments, with data transfer speeds consistently close to 35 Mbps. However, Packet Loss directly impacts the quality of UDP-based real-time services, while increased Latency introduces noticeable delays that degrade the user experience. The findings indicate that both Packet Loss and Latency significantly affect user experience, albeit through different mechanisms, highlighting the critical need for improving network quality.

Key words: *Packet Loss, Latency, Throughput, Transmission Control Protocol (TCP), User Datagram Protocol (UDP), Fiber to The Home (FTTH)*

**Correspondence: Sitthideth Bounmachanh; Tel: 020 22232103; Email: Sitthideth.bounmachanh@gmail.com*

1. ພາກສະເໜີ

1.1 ຄວາມເປັນມາ ແລະ ຄວາມສຳຄັນຂອງບັນຫາ

ໃນຍຸກດິຈິຕອນປັດຈຸບັນ, ການເຊື່ອມຕໍ່ອິນເຕີເນັດທີ່ມີຄວາມໄວສູງ ແລະ ມີຄຸນນະພາບດີແມ່ນປັດໄຈພື້ນຖານທີ່ຂາດບໍ່ໄດ້ສຳລັບທັງການດຳລົງຊີວິດປະຈຳວັນ ແລະ ການດຳເນີນທຸລະກິດ. ເຕັກໂນໂລຊີ Fiber-to-the-Home (FTTH) ໄດ້ກາຍເປັນມາດຕະຖານໃໝ່ສຳລັບການເຊື່ອມຕໍ່ອິນເຕີເນັດທີ່ມີປະສິດທິພາບສູງ, ເຊິ່ງມີຄວາມໄວໃນການຮັບສົ່ງຂໍ້ມູນສູງກວ່າການເຊື່ອມຕໍ່ແບບດັ້ງເດີມ. ການໃຫ້ບໍລິການອິນເຕີເນັດ Fiber-to-the-Home (FTTH) ໃນປັດຈຸບັນ, ເຖິງແມ່ນວ່າຜູ້ໃຫ້ບໍລິການຈະໂຄສະນາຄວາມໄວໃນຫຼາຍແພັກເກັດກໍຕາມ, ແຕ່ປະສົບການການນຳໃຊ້ຕົວຈິງຂອງຜູ້ຊົມໃຊ້ໂດຍສະເພາະໃນຕົວເມືອງໃຫຍ່ຂອງ ສປປ ລາວ ກໍຍັງປະສົບບັນຫາຢ່າງຕໍ່ເນື່ອງທີ່ບໍ່ໄດ້ຮັບຄວາມໄວຄືຕາມທີ່ໂຄສະນາ ຫຼື ອາດຈະສະແດງຄ່າຄວາມໄວຄືໂຄສະນາກໍຕາມແຕ່ຜູ້ໃຊ້ຍັງຮູ້ສຶກວ່າມີຄວາມລ່າຊ້າ ຫຼື ກະຕຸກໃນລະຫວ່າງການນຳໃຊ້ອິນເຕີເນັດ. ບັນຫາທີ່ພົບຈະມີລັກສະນະແຕກຕ່າງກັນຕາມແຕ່ລະຊ່ວງເວລາໂດຍສະເພາະຊ່ວງເວລາທີ່ມີຜູ້ໃຊ້ຈຳນວນຫຼາຍ ເຊັ່ນ: ຊ່ວງເວລາກາງຄືນທີ່ຜູ້ໃຊ້ສ່ວນໃຫຍ່ເຂົ້າເຖິງອິນເຕີເນັດພ້ອມກັນ, ສ່ວນຫຼາຍລາຍງານວ່າການໂຫຼດໜ້າເວັບໃຊ້ເວລາດົນກວ່າປົກກະຕິ, ການເບິ່ງວິດີໂອອອນລາຍ ເຊັ່ນ: YouTube ຫຼື Netflix ກໍຈະຕິດຂັດ, ແລະ ເກີດຄວາມຊັກຊ້າໃນການຫຼິ້ນເກມອອນລາຍ. ບັນຫານີ້, ສະແດງໃຫ້ເຫັນວ່າປະສິດທິພາບທີ່ແທ້ຈິງຂອງເຄືອຂ່າຍບໍ່ໄດ້ຂຶ້ນຢູ່ກັບ Bandwidth ທີ່ໂຄສະນາພຽງຢ່າງດຽວ.

TCP ເປັນໂປຣໂຕຄໍທີ່ເຊື່ອຖືໄດ້ ແລະ ມີການເຊື່ອມຕໍ່ທີ່ຕ້ອງການຢືນຢັນ (connection-oriented) ເພື່ອຮັບປະກັນວ່າຂໍ້ມູນທີ່ຖືກສົ່ງໄປຈະໄປຮອດຢ່າງຄົບຖ້ວນຖືກຕ້ອງ, ແລະ ຮຽງຕາມລຳດັບ. ໂປຣໂຕຄໍນີ້ຈະມີຂະບວນການກວດສອບ ແລະ ຢືນຢັນການຮັບຂໍ້ມູນ. ຫາກມີຂໍ້ຜິດພາດເກີດຂຶ້ນ ມັນຈະສົ່ງຂໍ້ມູນນັ້ນຄືນໃໝ່. ດ້ວຍເຫດຜົນນີ້, TCP ຈຶ່ງເໝາະສຳລັບການນຳໃຊ້ທີ່ຄວາມສົມບູນຂອງຂໍ້ມູນມີຄວາມສຳຄັນເຊັ່ນ: ການທ່ອງເວັບ (HTTP/HTTPS), ການສົ່ງອີເມວ (SMTP, POP3, IMAP), ແລະ ການໂອນຍ້າຍໄຟລ໌ ເຊັ່ນ: ການດາວໂຫຼດເອກະສານ ຫຼື ວິດີໂອ.

ສ່ວນ UDP ເປັນໂປຣໂຕຄໍທີ່ເນັ້ນຄວາມໄວ ແລະ ບໍ່ມີການເຊື່ອມຕໍ່ແບບຢືນຢັນ (connectionless). ມັນຈະສົ່ງຂໍ້ມູນອອກໄປໂດຍບໍ່ໄດ້ກວດສອບວ່າຂໍ້ມູນນັ້ນໄປຮອດປາຍທາງຫຼືບໍ່, ເຊິ່ງອາດເຮັດໃຫ້ບາງສ່ວນຂອງຂໍ້ມູນສູນເສຍໄປໄດ້. ເຖິງຢ່າງນັ້ນ, UDP ກໍເໝາະສຳລັບການນຳໃຊ້ທີ່ຕ້ອງການຄວາມໄວສູງ ແລະ ສາມາດຍອມຮັບການສູນເສຍຂໍ້ມູນພຽງເລັກນ້ອຍໄດ້ ເຊັ່ນ: ການຫຼິ້ນເກມອອນລາຍ, ການຖ່າຍທອດສົດວິດີໂອ ແລະ ສຽງ (Streaming) ແລະ ການໂທຜ່ານອິນເຕີເນັດ (VoIP).

Bandwidth ຄືຄວາມໄວສູງສຸດໃນການຮັບ-ສົ່ງຂໍ້ມູນ, ຄືກັບຄວາມກວ້າງຂອງທໍ່ນ້ຳ, ເຖິງແມ່ນທໍ່ຈະກວ້າງ (Bandwidth ສູງ) ແຕ່ຄຸນນະພາບຂອງການເຊື່ອມຕໍ່ທີ່ໄດ້ຮັບຍັງຂຶ້ນກັບປັດໄຈສຳຄັນອື່ນໆ ເຊັ່ນ: ການສູນເສຍແພັກເກັດ (Packet Loss) ແລະ ຄວາມລ່າຊ້າ (Latency) ໂດຍມັກຈະຖືກລະເລີຍໃນການໂຄສະນາຂອງຜູ້ໃຫ້ບໍລິການອິນເຕີເນັດ.

Packet Loss ຫຼື ການສູນເສຍແພັກເກັດ ຄືຂໍ້ມູນທີ່ຖືກແບ່ງອອກເປັນຊຸດນ້ອຍໆ (ແພັກເກັດ) ສູນຫາຍໄປໃນລະຫວ່າງການສົ່ງຜ່ານເຄືອຂ່າຍ ຄືກັບການສົ່ງຈົດໝາຍທີ່ຫາຍໄປໃນລະຫວ່າງທາງ, ສາເຫດຫຼັກແມ່ນຄວາມແອອັດຂອງເຄືອຂ່າຍ ຫຼື ບັນຫາອຸປະກອນໃນການເຊື່ອມຕໍ່ເຮັດໃຫ້ແພັກເກັດຕົກຫຼົ່ນ. ໂປຣໂຕຄໍ TCP ມີກົນໄກການຄວບຄຸມຄວາມຜິດພາດຂອງການຮັບສົ່ງຂໍ້ມູນ ໃນກໍລະນີມີ Packet Loss ຈະເຮັດໃຫ້ TCP ຄິດວ່າເຄືອຂ່າຍມີຄວາມແອອັດ ແລ້ວມັນມີການຫຼຸດຄວາມໄວໃນການສົ່ງຂໍ້ມູນລົງຢ່າງວ່ອງໄວ (TCP Congestion Control) ເພື່ອຫຼີກລ່ຽງການແອອັດຕື່ມອີກ. ໃນທາງກົງກັນຂ້າມ, ໂປຣໂຕຄໍ UDP ບໍ່ມີກົນໄກດັ່ງກ່າວ, ດັ່ງນັ້ນ Packet Loss ຈຶ່ງບໍ່ສົ່ງຜົນຕໍ່ອັດຕາ Throughput ແຕ່ຈະເຮັດໃຫ້ຂໍ້ມູນທີ່ສຳຄັນສຳລັບການບໍລິການແບບ Real-time (ເຊັ່ນ: ການໂທວິດີໂອ ຫຼື ການຫຼິ້ນເກມ) ສູນຫາຍໄປ ສົ່ງຜົນໃຫ້ເກີດສຽງຂາດ, ພາບກະຕຸກ ຫຼື ພາບບໍ່ຄົມຊັດ.

ສ່ວນ Latency ຫຼື ຄວາມລ່າຊ້າ, ຄືເວລາທີ່ແພັກເກັດຂໍ້ມູນໃຊ້ໃນການເດີນທາງຈາກຕົ້ນທາງໄປຫາປາຍທາງ ແລະ ຕອບກັບ ຖ້າມີຄ່າສູງຈະເຮັດໃຫ້ການເຊື່ອມຕໍ່ຮູ້ສຶກຊັກຊ້າ ແລະ ບໍ່ຕອບສະໜອງໄດ້ທັນທີ. ຖ້າມີ Latency ສູງ ໂປຣໂຕຄໍ TCP ຈະເພີ່ມ Round-Trip Time (RTT) ໃຫ້ຍາວຂຶ້ນ, ເຊິ່ງຂະເຮັດໃຫ້ TCP ຕ້ອງລໍຖ້າການຢືນຢັນ (ACK) ຈາກຜູ້ຮັບດົນຂຶ້ນ, ດັ່ງນັ້ນ Throughput ຈຶ່ງຫຼຸດລົງຢ່າງຊັດເຈນ. ສ່ວນໃນໂປຣໂຕຄໍ UDP, Latency ຈະສົ່ງຜົນໂດຍກົງຕໍ່ປະສົບການຂອງຜູ້ໃຊ້ ເພາະມັນເປັນສາເຫດຫຼັກທີ່ເຮັດໃຫ້ເກີດ "Lag" ຫຼື ຄວາມຊັກຊ້າທີ່ຮູ້ສຶກໄດ້ຊັດເຈນໃນການຫຼິ້ນເກມອອນລາຍ ແລະ ການໂທວິດີໂອ.

ຍ້ອນປັດໃຈເຫຼົ່ານີ້ມັກປະສົບພົບພໍ້ເລື້ອຍໆໃນການໃນການຊົມໃຊ້ອິນເຕີເນັດປະຈຸບັນ ຜູ້ຄົ້ນຄ້ວາຈຶ່ງສຶກສາຜົນກະທົບທີ່ຊັດເຈນໃນສະພາບແວດລ້ອມການນຳໃຊ້ອິນເຕີເນັດ FTTH ຕົວຈິງໃນທ້ອງຖິ່ນຄືໃນນະຄອນຫຼວງວຽງຈັນ, ສປປ ລາວ ແລະ ພ້ອມທັງວິເຄາະສາເຫດທີ່ຜູ້ໃຊ້ນຳໃຊ້ອິນເຕີເນັດພົບພໍ້ໃນຊ່ວງເວລາທີ່ແຕກຕ່າງກັນ. ການວິເຄາະຜົນກະທົບຂອງຂໍ້ບົກພ່ອງເຫຼົ່ານີ້ຢ່າງລະອຽດຕື່ມຈຶ່ງມີຄວາມສຳຄັນຢ່າງຍິ່ງ ເພື່ອຊ່ວຍໃຫ້ເຫັນພາບທີ່ຊັດເຈນກ່ຽວກັບພຶດຕິກຳຂອງໂປຣໂຕຄໍຕ່າງໆ ພາຍໃຕ້ສະພາບເຄືອຂ່າຍທີ່ບໍ່ສົມບູນແບບ. ຄວາມເຂົ້າໃຈດັ່ງກ່າວຈະເປັນປະໂຫຍດບໍ່ພຽງແຕ່ສຳລັບຜູ້ໃຊ້ໃນການເລືອກການໃຊ້ບໍລິການ, ແຕ່ຍັງເປັນຂໍ້ມູນສຳຄັນສຳລັບຜູ້ໃຫ້ບໍລິການອິນເຕີເນັດ (ISP) ໃນການປັບປຸງຄຸນນະພາບຂອງເຄືອຂ່າຍ ແລະ ການບໍລິການໃຫ້ດີຂຶ້ນ.

1.2. ຄຳຖາມຂອງການຄົ້ນຄ້ວາ

1. ປະສິດທິພາບ Throughput ຂອງ TCP ແລະ UDP ທີ່ແທ້ຈິງຂອງການເຊື່ອມຕໍ່ FTTH 35 Mbps ຈະເປັນແນວໃດພາຍໃຕ້ສະພາບເຄືອຂ່າຍປົກກະຕິ (Baseline) ໃນຊ່ວງເວລາທີ່ແຕກຕ່າງກັນ (ກາງເວັນ ແລະ ກາງຄືນ)?

2. ລະດັບ Packet Loss ທີ່ແຕກຕ່າງກັນ (1%, 2%, 5%) ສົ່ງຜົນກະທົບແນວໃດຕໍ່ປະສິດທິພາບການສົ່ງ ແລະ ຮັບຂໍ້ມູນແບບ TCP ແລະ UDP ເມື່ອທຽບກັບເຄືອຂ່າຍປົກກະຕິ (Baseline) ແລະ ຜົນກະທົບເຫຼົ່ານີ້ມີຄວາມແຕກຕ່າງກັນໃນແຕ່ລະຊ່ວງເວລາແນວໃດ?

3. ລະດັບ Latency ທີ່ແຕກຕ່າງກັນ (100ms, 150ms, 300ms) ສົ່ງຜົນກະທົບແນວໃດຕໍ່ປະສິດທິພາບການສົ່ງ ແລະ ຮັບຂໍ້ມູນແບບ TCP ແລະ UDP ເມື່ອທຽບກັບເຄືອຂ່າຍປົກກະຕິ (Baseline) ແລະ ຜົນກະທົບເຫຼົ່ານີ້ມີຄວາມແຕກຕ່າງກັນໃນແຕ່ລະຊ່ວງເວລາແນວໃດ?

1.3. ຈຸດປະສົງຂອງການຄົ້ນຄ້ວາ

1. ເພື່ອວັດແທກປະສິດທິພາບການ ສົ່ງ/ຮັບ ຂໍ້ມູນແບບ TCP ແລະ UDP ຂອງ FTTH 35 Mbps ພາຍໃຕ້ສະພາບເຄືອຂ່າຍປົກກະຕິ (Baseline) ໂດຍບໍ່ມີການຈຳລອງຂໍ້ບົກພ່ອງ ແລະ ປຽບທຽບການປ່ຽນແປງຂອງຄ່າວັດແທກເຫຼົ່ານີ້ ໃນຊ່ວງເວລາທີ່ແຕກຕ່າງກັນ.

2. ເພື່ອສຶກສາ ຜົນກະທົບຂອງລະດັບການສູນເສຍແພັກເກັດ (Packet Loss) ທີ່ແຕກຕ່າງກັນ ຕໍ່ປະສິດທິພາບການ ສົ່ງ/ຮັບ ຂໍ້ມູນແບບ TCP ແລະ UDP ຂອງ FTTH 35 Mbps ແລະ ປຽບທຽບການປ່ຽນແປງຂອງຄ່າວັດແທກເຫຼົ່ານີ້ກັບ ຄ່າ Baseline ທີ່ໄດ້ວັດແທກໄວ້ ພ້ອມທັງປຽບທຽບການປ່ຽນແປງຂອງຜົນກະທົບໃນຊ່ວງເວລາທີ່ແຕກຕ່າງກັນ.

3. ເພື່ອສຶກສາ ຜົນກະທົບຂອງລະດັບຄວາມລ່າຊ້າ (Latency) ທີ່ແຕກຕ່າງກັນ ຕໍ່ປະສິດທິພາບ ການ ສົ່ງ/ຮັບ ຂໍ້ມູນ ແບບ TCP ແລະ UDP ຂອງ FTTH 35 Mbps ແລະ ປຽບທຽບ ການປ່ຽນແປງຂອງຄ່າວັດແທກເຫຼົ່ານີ້ກັບ ຄ່າ Baseline ທີ່ໄດ້ວັດແທກໄວ້ ພ້ອມທັງປຽບທຽບການປ່ຽນແປງຂອງຜົນກະທົບໃນຊ່ວງເວລາທີ່ແຕກຕ່າງກັນ.

2. ບົດຄົ້ນຄ້ວາທີ່ກ່ຽວຂ້ອງ

ການສຶກສາຄົ້ນຄວ້າຄັ້ງນີ້ກໍ່ໄດ້ອີງໃສ່ພື້ນຖານຄວາມຮູ້ຈາກຜົນງານວິໄຈທີ່ຜ່ານມາ ເຊິ່ງໄດ້ສຳຫຼວດທັງດ້ານເຕັກນິກຂອງເຄືອຂ່າຍ ແລະ ຜົນກະທົບຕໍ່ປະສິດທິພາບການນຳໃຊ້. ໃນນັ້ນ ປະກອບມີບົດວິໄຈຂອງ (Dulik., 2012) ທີ່ໄດ້ສຶກສາຢ່າງເຈາະຈົງເຖິງຜົນກະທົບຂອງຄວາມລ່າຊ້າ (Latency) ແລະ ອັດຕາການຜິດພາດຂອງຂໍ້ມູນຕໍ່ການເຮັດວຽກຂອງໂປຣໂຕຄໍ TCP ແລະ UDP. AL-Dhief et al. (2018) ແລະ Gaoyang (2025) ໄດ້ວິເຄາະ ແລະ ປຽບທຽບປະສິດທິພາບຂອງສອງໂປຣໂຕຄໍ ໂດຍໃຊ້ການຈຳລອງ ແລະ ເນັ້ນເຖິງພຶດຕິກຳຂອງແຕ່ລະໂປຣໂຕຄໍ ເມື່ອມີ Packet Loss ແລະ Packet Delay. ບົດຄົ້ນຄ້ວາ Cech (2020) ໄດ້ມີການສຶກສາທີ່ສັບຊ້ອນຂຶ້ນ ໂດຍເນັ້ນໃສ່ ການວິເຄາະ ການຈັດການແພັກເກັດໃນລະດັບໂປຣໂຕຄໍ MultiPath TCP (MPTCP) ໂດຍສະເພາະການຈັດການ packet schedulers ໃນລະບົບ Linux ຊ່ວຍໃຫ້ເຂົ້າໃຈວິທີການປັບປຸງປະສິດທິພາບເຄືອຂ່າຍໃນສະພາບແວດລ້ອມທີ່ສັບຊ້ອນ. (Pradip G. Vanparia., n.d.) ໄດ້ນຳໃຊ້ໂປຣແກຣມ NS-2 ເພື່ອປຽບທຽບ Packet Loss ແລະ Packet Delay ຂອງໂປຣໂຕຄໍ TCP ແລະ SCTP ເຊິ່ງໄດ້ເຮັດໃຫ້ມີຄວາມເຂົ້າໃຈ ກ່ຽວ

ກັບວິທີການວັດແທກ ແລະ ວິເຄາະບັນຫາເຄືອຂ່າຍໂດຍໃຊ້ເຄື່ອງມືຈຳລອງ.

ນອກຈາກການສຶກສາດ້ານໂປຣໂຕຄໍ, ຍັງມີການຄົ້ນຄວ້າທີ່ກ່ຽວຂ້ອງກັບເຕັກໂນໂລຢີແລະປັດໄຈທາງກາຍະພາບຂອງເຄືອຂ່າຍ. Ali et al. (2021) ແລະ Mohamad et al. (2025) ໄດ້ໃຫ້ຄວາມຮູ້ພື້ນຖານກ່ຽວກັບ ເຕັກໂນໂລຢີ FTTH (Fiber to the Home) ແລະ Passive Optical Networks (PON) ເຊິ່ງເປັນເຄືອຂ່າຍຫຼັກທີ່ໃຊ້ໃນການສຶກສາຄັ້ງນີ້ຂອງຜູ້ຄົ້ນຄ້ວາ ເຊິ່ງຊ່ວຍໃຫ້ເຂົ້າໃຈ ແລະ ສະໜອງຄວາມຮູ້ພື້ນຖານທາງກາຍະພາບຂອງເຄືອຂ່າຍໃຍແກ້ວນຳແສງ. ການສຶກສາຂອງ Ardita & Affandi (2023) ແລະ Sheth et al. (2007) ໄດ້ສຳຫຼວດ ແລະ ສະໜອງວິທີການ ຫຼຸດຜ່ອນ Packet Loss ໃນເຄືອຂ່າຍປະເພດອື່ນໆ ເຊັ່ນ: ເຄືອຂ່າຍໄຮ້ສາຍ (Wireless) ແລະ ເຄືອຂ່າຍໄລຍະໄກ (Long-distance networks) ເຊິ່ງໃຫ້ແນວຄິດ ແລະ ວິທີການທີ່ເປັນປະໂຫຍດທີ່ສາມາດນຳມາປັບໃຊ້ໃນບົດຄົ້ນຄ້ວາຂອງຜູ້ຄົ້ນຄ້ວາ. ບົດຄົ້ນຄວ້າຂອງ (Olimov et al., 2024) ໄດ້ ປຽບທຽບເຄື່ອງມືສ້າງ Network Traffic ຕ່າງໆ ແລະ ຊີ້ໃຫ້ເຫັນວ່າເຄື່ອງມືເຊັ່ນ iPerf ແມ່ນມີປະສິດທິພາບສູງໃນການວັດແທກ Throughput ຊ່ວຍຢືນຢັນການເລືອກໃຊ້ເຄື່ອງມືທີ່ເໝາະສົມໃນບົດຄົ້ນຄວ້າຂອງຜູ້ຄົ້ນຄ້ວາ ແລະ (Johan Garcia., n.d.) ໄດ້ສຶກສາຜົນກະທົບຂອງ Packet Loss ຕໍ່ເວລາຕອບສະໜອງຂອງບໍລິການເວັບ, ເຊິ່ງເປັນການເຊື່ອມໂຍງລະຫວ່າງບັນຫາທາງດ້ານເທັກນິກກັບປະສົບການຂອງຜູ້ໃຊ້. ສຸດທ້າຍຍັງມີບົດລາຍງານ "Digital Connectivity in Lao PDR: Lagging Behind Peers" ຂອງທະນາຄານໂລກ (P T Sonjaya., 2025) ກ່ຽວກັບການນຳໃຊ້ລະບົບການເຊື່ອມການຕໍ່ດິຈິຕອນໃນ ສປປ ລາວ.

ບົດຄົ້ນຄວ້າທັງໝົດເຫຼົ່ານີ້, ໄດ້ປະກອບກັນເປັນພື້ນຖານຄວາມຮູ້ທີ່ສຳຄັນໃຫ້ກັບການສຶກສາຂອງຂ້າພະເຈົ້າ ຊ່ວຍອະທິບາຍແລ້ວກ່ຽວກັບພຶດຕິກຳຂອງໂປຣໂຕຄໍ TCP ແລະ UDP ພາຍໃຕ້ສະພາບທີ່ມີ Packet Loss ແລະ Latency. ແຕ່ແນວໃດກໍຕາມ, ຍັງມີຊ່ອງຫວ່າງໃນການນຳຄວາມຮູ້ເຫຼົ່ານີ້ມາວິເຄາະໃນສະພາບແວດລ້ອມ FTTH ຕົວຈິງໃນນະຄອນຫຼວງວຽງຈັນ ກໍຄືການໃຫ້ບໍລິການການອິນເຕີເນັດ FTTH ໃນ ສປປ ລາວ ເຊິ່ງການສຶກສາຂອງຂ້າພະເຈົ້າຈະນຳໃຊ້ແນວຄິດ ແລະ ວິທີການທີ່ໄດ້ຮຽນຮູ້ຈາກບົດວິໄຈເຫຼົ່ານີ້ ເພື່ອຈຳລອງ ແລະ ວິເຄາະຜົນກະທົບຂອງ Packet Loss ແລະ Latency ຕໍ່ປະສິດທິພາບ FTTH 35 Mbps ໃນຊ່ວງເວລາທີ່ແຕກຕ່າງກັນ. ໂດຍການເຊື່ອມໂຍງຄວາມຮູ້ດ້ານໂປຣໂຕຄໍ, ເຕັກໂນໂລຢີເຄືອຂ່າຍ, ແລະ ສະພາບຄວາມເປັນຈິງໃນທ້ອງຖິ່ນ ຈະສາມາດອະທິບາຍໄດ້ຢ່າງຊັດເຈນວ່າເປັນຫຍັງຜູ້ໃຊ້ຈຶ່ງຮູ້ສຶກວ່າການເຊື່ອມຕໍ່ຊ້າ ຫຼື ກະຕຸກ ເຖິງແມ່ນວ່າຄວາມໄວ Bandwidth ຈະສູງກໍຕາມ, ເຊິ່ງຈະເປັນຂໍ້ມູນທີ່ມີຄຸນຄ່າສຳລັບທັງຜູ້ໃຊ້ ແລະ ຜູ້ໃຫ້ບໍລິການອິນເຕີເນັດໃນການປັບປຸງຄຸນນະພາບການບໍລິການໃຫ້ດີຂຶ້ນ.

3. ວິທີດຳເນີນການຄົ້ນຄ້ວາ

ການຄົ້ນຄວ້ານີ້ໄດ້ນຳໃຊ້ການອອກແບບການທົດລອງແບບຄວບຄຸມ (Controlled Experimental Design) ເພື່ອສຶກສາຜົນກະທົບຂອງການສູນເສຍແພັກເກັດ (Packet Loss) ແລະ ຄວາມລ່າຊ້າ (Latency) ຕໍ່ປະສິດທິພາບເຄືອຂ່າຍ FTTH 35 Mbps. ໝາຍຄວາມວ່າການທົດລອງຈະມີການສ້າງສະພາບແວດລ້ອມທີ່ແທ້ຈິງ ແລ້ວນຳໃຊ້ເຄື່ອງມື NetEm ເພື່ອຈຳລອງຂໍ້ບົກພ່ອງຂອງເຄືອຂ່າຍຢ່າງເປັນລະບົບກໍ່ຄືມີການຈຳລອງໃຫ້ເຄືອຂ່າຍເກີດມີ Packet Loss ແລະ Latency, ເຊິ່ງຊ່ວຍໃຫ້ຜູ້ຄົ້ນຄວ້າສາມາດແຍກເຫັນຜົນກະທົບຂອງແຕ່ລະປັດໃຈໄດ້ຢ່າງຊັດເຈນ. ຈະມີການ Scripts ທີ່ລວມເອົາຄຳສັ່ງ NetEm, Iperf3 ແລະ Ping ຂອງລະບົບປະຕິບັດການ Ubuntu ມາໃຊ້ພ້ອມກັນ ເພື່ອຮັບປະກັນໃຫ້ການທົດລອງມີຄວາມຖືກຕ້ອງ ແລະ ຄວາມສອດຄ່ອງໃນການທົດສອບແຕ່ລະຄັ້ງ ໂດຍຈະຄອບຄຸມທັງໃນການສົ່ງ ແລະ ຮັບຂໍ້ມູນສຳລັບໂປຣໂຕຄໍ TCP ແລະ UDP. ການທົດສອບເພື່ອເກັບເອົາຜົນໄດ້ຮັບຈະດຳເນີນໃນ 2 ຊ່ວງເວລາ ເພື່ອສັງເກດຜົນກະທົບທີ່ອາດເກີດຂຶ້ນຈາກການປ່ຽນແປງຂອງສະພາບເຄືອຂ່າຍ.

3.1 ການອອກແບບການທົດລອງ

ການສຶກສາຈະຖືກແບ່ງອອກເປັນ 3 ສະຖານະການຫຼັກ ຄື: ການວັດແທກປະສິດທິພາບພື້ນຖານຂອງ FTTH 35 Mbps ໂດຍບໍ່ມີການຈຳລອງຂໍ້ບົກພ່ອງ (Baseline), ການວັດແທກປະສິດທິພາບພາຍໃຕ້ການຈຳລອງການສູນເສຍແພັກເກັດ (Packet Loss) ແລະ ການວັດແທກປະສິດທິພາບພາຍໃຕ້ການຈຳລອງລະດັບຄວາມລ່າຊ້າ (Latency). ຕົວແປຕ່າງໆທີ່ນຳໃຊ້ໃນການສຶກສາ ມີດັ່ງນີ້:

- ຕົວແປເອກະລາດ (Independent Variables): ປັດໃຈທີ່ຖືກຄວບຄຸມໂດຍຜູ້ຄົ້ນຄ້ວາ, ປະກອບມີ: ລະດັບການຈຳລອງຂໍ້ບົກພ່ອງ Baseline, Packet Loss (1%, 2%, 5%) ແລະ Latency (100 ms, 150 ms, 300 ms), ປະເພດການຈະລາຈອນມີໂປຣໂຕຄໍ (TCP, UDP), ທິດທາງການການທົດສອບ (Upload, Download) ແລະ ຊ່ວງເວລາການທົດສອບ (8:00 – 16:00 ແລະ 18:00 – 23:00).
- ຕົວແປຂຶ້ນກ່ອມ (Dependent Variables): ແມ່ນຜົນໄດ້ຮັບຈາກການທົດລອງ, ປະກອບມີ Throughput (TCP, UDP), Packet Loss (UDP) ແລະ Latency (TCP).
- ຕົວແປຄວບຄຸມ (Control Variables): ແມ່ນປັດໄຈທີ່ຈະບໍ່ມີການປ່ຽນແປງຕະຫຼອດການທົດລອງຄື: ອິນເຕີເນັດ FTTH 35 Mbps ຂອງບໍລິສັດສະຕາຣໂທລະຄົມ, ອຸປະກອນ Client (Notebook MSI ເຄື່ອງດຽວກັນ), Public Iperf3 Server (IP: 89.187.162.1) ທີ່ຕັ້ງຢູ່ປະເທດສິງກາໂປ ແລະ ໄລຍະເວລາການທົດສອບແຕ່ລະຄັ້ງ (30 ວິນາທີ).

3.2 ເຄື່ອງມືທີ່ໃຊ້ໃນການເກັບກຳຂໍ້ມູນ

ການສຶກສາຄັ້ງນີ້ໄດ້ນຳໃຊ້ວິທີການເກັບກຳຂໍ້ມູນແບບເປັນລະບົບ ໂດຍອີງໃສ່ການຕິດຕາມ, ການສັງເກດ ແລະ ການບັນທຶກຜົນໃນແຕ່ລະໄລຍະຂອງການທົດລອງ. ຂໍ້ມູນໄດ້ຖືກບັນທຶກໄວ້ຢ່າງລະອຽດ ຕະຫຼອດຂະບວນການທົດສອບເພື່ອຮັບປະກັນຄວາມຖືກຕ້ອງ ແລະ ຄວາມໜ້າເຊື່ອຖືຂອງຜົນໄດ້ຮັບ. ເຄື່ອງມືຕ່າງໆທີ່ໃຊ້ເພື່ອອຳນວຍຄວາມສະດວກໃນການເກັບກຳຂໍ້ມູນປະກອບມີ:

1) Hardware:
- ຄອມພິວເຕີໂນດບຸກທີ່ມີໜ່ວຍປະມວນຜົນ Intel Core i7, Ram 32 GB, SSD HHD 1T, ລະບົບປະຕິບັດການ: Windows 10 Pro.
- Wi-Fi Adapter Intel(R) Dual Band Wireless-AC 3168, Protocol: Wi-Fi 4 (802.11n), Network Band: 2.4 GHz, Link speed (receive/Transmit): 65/65 (Mbps).
- ການຕັ້ງຄ່າທາງກາຍະພາບ: ເຄື່ອງໂນດບຸກຖືກເຊື່ອມຕໍ່ກັບ Router FTTH (GPON ONT router) ຜ່ານ Wi-Fi ໂດຍວາງຕຳແໜ່ງໃຫ້ຢູ່ໃກ້ທີ່ສຸດ ແລະ ຮັບປະກັນວ່າບໍ່ມີອຸປະກອນອື່ນເຊື່ອມຕໍ່ກັບ Router.

2) Software:
- VMware® Workstation 17 Pro ທີ່ຕິດຕັ້ງໃນລະບົບປະຕິບັດການ Window 10 Pro.
- ລະບົບປະຕິບັດການ Ubuntu 22.04.6 LTS ທີ່ຕິດຕັ້ງໃນ VMware® Workstation 17 Pro.
  - ເຊື່ອມຕໍ່ກັບ Router FTTH ເພື່ອຮັບໝາຍເລກໄອພີ ວົງດຽວກັບເຄື່ອງໂນດບຸກການຍະພາບຜ່ານຮູບແບບ Bridge ໃນ VMware® Workstation 17 Pro.
- ເຄື່ອງມືເກັບກຳຂໍ້ມູນທີ່ສຳຄັນປະກອບມີ:
  - Iperf3: ຖືກໃຊ້ເພື່ອສົ່ງຮັບຂໍ້ມູນ ຂອງການຈະລາຈອນໂປໂຕຄໍຣ TCP ແລະ UDP ແລະ ຕິດຕາມບັນທຶກຜົນໄດ້ຮັບອັດຕາ Throughput TCP, Throughput UDP ແລະ Packet Loss UDP.
  - NetEm: ໃຊ້ເພື່ອ ຈຳລອງ ສະພາບຂໍ້ບົກຜ່ອງຂອງເຄືອຂ່າຍ (Packet Loss ແລະ Latency) ໃນແຕ່ລະກໍລະນີເພື່ອໃຫ້ສາມາດ ສັງເກດ ຜົນກະທົບຕໍ່ການຈະລາຈອນໄດ້ຢ່າງຊັດເຈນ.
  - Ping: ໃຊ້ເພື່ອ ຕິດຕາມ ແລະ ບັນທຶກ ຄ່າຄວາມລ່າຊ້າ Latency TCP ຢ່າງຕໍ່ເນື່ອງໃນຂະນະທີ່ການທົດສອບດຳເນີນໄປ.
  - SSH (Putty): ຖືກໃຊ້ເພື່ອຄວບຄຸມ ແລະ ດຳເນີນການທົດສອບຈາກລະບົບປະຕິບັດການ Window 10 ເຂົ້າລະບົບປະຕິບັດການ Ubuntu ໃນ VMware® Workstation.
  - Excel: ໃຊ້ເພື່ອຈັດການ ແລະ ວິເຄາະຂໍ້ມູນຫາຄ່າສະເລ່ຍທີ່ໄດ້ບັນທຶກໄວ້.

3) Public Iperf3 Server: ການຄົ້ນຄວ້ານີ້ໄດ້ເລືອກໃຊ້ Public Iperf3 Server ທີ່ຕັ້ງຢູ່ສິງກະໂປ (IP: 89.187.162.1) ເປັນ Server ປາຍທາງ ເພື່ອຈຳລອງສະພາບການເຊື່ອມຕໍ່ແບບສາທົ່ນທີ່ຜູ້ໃຊ້ FTTH ໃນ ສປປ ລາວ. ການນຳໃຊ້ Server ທີ່ແມ່ນອນນີ້ໄດ້ຊ່ວຍຄວບຄຸມຕົວແປຈາກສະຖານທີ່ປາຍທາງ ເພື່ອໃຫ້ຜົນການສຶກສາມີຄວາມສອດຄ່ອງ.

4) ການທົດລອງນີ້ໄດ້ດຳເນີນການໂດຍໃຊ້ຄອມພິວເຕີໂນດບຸກຂອງຜູ້ຄົ້ນຄວ້າເປັນ ອຸປະກອນ Client ແລະ ໄດ້ເຊື່ອມຕໍ່ກັບ Public Iperf3 Server ທີ່ຕັ້ງຢູ່ປະເທດສິງກະໂປ (IP: 89.187.162.1) ເພື່ອເປັນຈຸດປາຍທາງໃນການວັດແທກ.
   - ການອັບໂຫຼດ (Upload): ໝາຍເຖິງການສົ່ງຂໍ້ມູນຈາກ Client (ຄອມພິວເຕີໂນດບຸກ) ໄປຫາ Server.
   - ການດາວໂຫຼດ (Download): ໝາຍເຖິງການສົ່ງຂໍ້ມູນຈາກ Server ມາຫາ Client (ຄອມພິວເຕີໂນດບຸກ).

3.3 ວິທີເກັບກຳຂໍ້ມູນ

ການເກັບກຳຂໍ້ມູນໄດ້ເນັ້ນໃສ່ການຕິດຕາມ, ການສັງເກດ ແລະ ການບັນທຶກຜົນຈາກການທົດລອງແຕ່ລະຄັ້ງ. ຜູ້ສຶກສາໄດ້ດຳເນີນການທົດລອງແຕ່ລະສະພາບການຊ້ຳກັນ 10 ເທື່ອ ທັ້ງສອງຊ່ວງເວລາ ເພື່ອຮັບປະກັນຄວາມໜ້າເຊື່ອຖືຂອງຂໍ້ມູນ. ຜົນໄດ້ຮັບຂອງແຕ່ລະຄັ້ງໄດ້ຖືກບັນທຶກໄວ້ຢ່າງລະອຽດ, ເຊິ່ງປະກອບດ້ວຍ:

1) ການບັນທຶກຜົນຈາກ iPerf3: ສຳລັບແຕ່ລະການທົດສອບ (ທັ້ງ TCP ແລະ UDP, ສົ່ງ ແລະ ຮັບ), ໄດ້ມີການຕິດຕາມຜົນຢ່າງຕໍ່ເນື່ອງໃນໄລຍະ 30 ວິນາທີ ແລະ ບັນທຶກຄ່າ Throughput ທີ່ໄດ້ຮັບ, ລວມເຖິງ Packet Loss ສຳລັບໂປຣໂຕຄໍ UDP. ຄຳສັ່ງທີ່ນຳໃຊ້ມີລັກສະນະດັ່ງນີ້:
   - ການທົດສອບ TCP: iperf3 -c 89.187.162.1 -t 30 -f m ສຳລັບການສົ່ງຂໍ້ມູນ ແລະ iperf3 -c 89.187.162.1 -t 30 -f m -R ສຳລັບການຮັບຂໍ້ມູນ.
   - ການທົດສອບ UDP: iperf3 -c 89.187.162.1 -u -b 35M -t 30 -f m ສຳລັບການສົ່ງຂໍ້ມູນ ແລະ iperf3 -c 89.187.162.1 -u -b 35M -t 30 -f m -R ສຳລັບການຮັບຂໍ້ມູນ.
2) ການບັນທຶກຜົນຈາກ Ping: ໃນແຕ່ລະຄັ້ງຂອງການທົດສອບ iPerf3, ຜູ້ສຶກສາໄດ້ໃຊ້ຄຳສັ່ງ Ping ເພື່ອຕິດຕາມ ແລະ ບັນທຶກຄ່າ Latency (Round-Trip Time) ຈາກການສົ່ງແພັກເກັດ ICMP ໄປຫາ Public Iperf3 Server. ຜົນໄດ້ຮັບຈາກການທົດສອບນີ້ຖືກນຳໃຊ້ເພື່ອຢືນຢັນຄ່າ Latency ພາຍໃຕ້ສະພາບການທົດລອງ. ດ້ວຍຄຳສັ່ງ: ping -i 1 -c 30 89.187.162.1.
3) ການຄວບຄຸມສະພາບການຈຳລອງດ້ວຍ NetEm: Scripts ໄດ້ຖືກໃຊ້ເພື່ອດຳເນີນຄຳສັ່ງ tc qdisc add dev [Interface ລະບົບປະຕິບັດການ Ubuntu] root netem ກ່ອນການທົດສອບແຕ່ລະຄັ້ງ. ສິ່ງນີ້ຊ່ວຍໃຫ້ສາມາດສັງເກດເຫັນຜົນກະທົບຂອງສະພາບເຄືອຂ່າຍທີ່ປ່ຽນແປງໄປໄດ້ຢ່າງຊັດເຈນ. ໄດ້ມີການຈຳລອງທັງໝົດ 6 ສະພາບການຄື: Packet Loss

(1%, 2%, 5%) ແລະ Latency (100ms, 150ms, 300ms).

ຜົນໄດ້ຮັບຈາກແຕ່ລະການທົດສອບ, ທັງຈາກ iPerf3 ແລະ Ping, ໄດ້ຖືກບັນທຶກໄວ້ໃນຮູບແບບໄຟລ໌ .txt ໂດຍອັດຕະໂນມັດ. ການບັນທຶກແບບອັດຕະໂນມັດນີ້ຊ່ວຍໃຫ້ການເກັບກຳຂໍ້ມູນມີຄວາມສອດຄ່ອງ ແລະ ຖືກຕ້ອງ, ເຊິ່ງເປັນຂໍ້ມູນສຳຄັນສຳລັບການວິເຄາະສະຖິຕິໃນພາຍຫຼັງ.

3.4 ການວິເຄາະຂໍ້ມູນ

ພາຍຫຼັງການເກັບກຳຂໍ້ມູນສຳເລັດ, ຂໍ້ມູນທີ່ໄດ້ຈະຖືກນຳມາຄິດໄລ່ຄ່າສະເລ່ຍຂອງ Throughput TCP, Throughput UDP, Packet Loss UDP ແລະ Latency TCP ໂດຍໃຊ້ໂປຣແກຣມ Microsoft Excel. ການວິເຄາະຈະເນັ້ນໜັກໃສ່ການປຽບທຽບຜົນການທົດລອງທີ່ໄດ້ຈາກສະພາບຈຳລອງກັບຄ່າພື້ນຖານ (Baseline). ເພື່ອວິເຄາະຄວາມແຕກຕ່າງທາງດ້ານສະຖິຕິຂອງຄ່າສະເລ່ຍຜົນໄດ້ຮັບຈາກແຕ່ລະກໍລະນີການຈຳລອງ, ຜົນການວິເຄາະໄດ້ຖືກພິຈາລະນາໂດຍການອ້າງອີງໃສ່ຄ່າ p-value ເພື່ອກຳນົດຄວາມສຳຄັນທາງສະຖິຕິຂອງແຕ່ລະຜົນໄດ້ຮັບ. ເກນຄວາມສຳຄັນທາງສະຖິຕິໄດ້ຖືກກຳນົດຄື: $p \leq 0.05$, $p \leq 0.01$ ແລະ $p \leq 0.001$. ຄ່າ p-value ເຫຼົ່ານີ້ສະແດງເຖິງໂອກາດທີ່ຜົນການທົດລອງທີ່ສັງເກດເຫັນຈະເກີດຂຶ້ນໂດຍບັງເອີນ. ຕົວຢ່າງ, ຖ້າຄ່າ p-value ຕ່ຳກວ່າ 0.05 ($p \leq 0.05$), ມັນໝາຍຄວາມວ່າໂອກາດທີ່ຜົນແຕກຕ່າງກັນຈະເກີດຂຶ້ນໂດຍບັງເອີນແມ່ນຕ່ຳກວ່າ 5%, ດັ່ງນັ້ນ, ຄວາມແຕກຕ່າງທີ່ພົບເຫັນຈຶ່ງຖືກພິຈາລະນາວ່າມີ ຄວາມສຳຄັນທາງສະຖິຕິ. ຍິ່ງຄ່າ p-value ຕ່ຳລົງເທົ່າໃດ, ຄວາມແຕກຕ່າງກໍຍິ່ງມີຄວາມສຳຄັນຫຼາຍຂຶ້ນເທົ່ານັ້ນ, ເຊັ່ນ: $p \leq 0.01$ ໝາຍເຖິງໂອກາດພຽງ 1% ແລະ $p \leq 0.001$ ໝາຍເຖິງໂອກາດພຽງ 0.1% ທີ່ຈະເກີດຂຶ້ນໂດຍບັງເອີນ. ການກຳນົດເກນເຫຼົ່ານີ້ຈະຊ່ວຍຢືນຢັນໄດ້ວ່າຜົນກະທົບຂອງ Packet Loss ແລະ Latency ທີ່ສັງເກດເຫັນໃນການສຶກສາແມ່ນເປັນຜົນມາຈາກການຈຳລອງຕົວແປເອກະລາດແທ້ໆ, ບໍ່ແມ່ນຄວາມຜິດພາດ ຫຼື ການປ່ຽນແປງແບບສຸ່ມ.

4. ຜົນການຄົ້ນຄ້ວາ

ຜົນການທົດລອງສະແດງໃຫ້ເຫັນຢ່າງຊັດເຈນວ່າ Packet Loss ແລະ Latency ມີຜົນກະທົບທີ່ແຕກຕ່າງກັນຕໍ່ປະສິດທິພາບຂອງໂປຣໂຕຄໍ TCP ແລະ UDP. ໃນສະພາບ Baseline, ອັດຕາ Throughput UDP ມີຄ່າຄົງທີ່ ແລະ ໃກ້ຄຽງກັບຄວາມໄວທີ່ໂຄສະນາຄື 35 Mbps. ໃນທາງກົງກັນຂ້າມ, ອັດຕາ Throughput TCP ມີຄວາມຜັນຜວນສູງລະຫວ່າງຊ່ວງເວລາທາງເວັນ ແລະ ທາງຄືນ, ໂດຍສະເພາະການສົ່ງຂໍ້ມູນມີຄ່າ Throughput ສູງໃນຊ່ວງເວລາທາງເວັນ ແຕ່ກົງກັນຂ້າມມີຄ່າ Throughput ສູງໃນການຮັບຂໍ້ມູນ ໃນຊ່ວງເວລາທາງຄືນ.

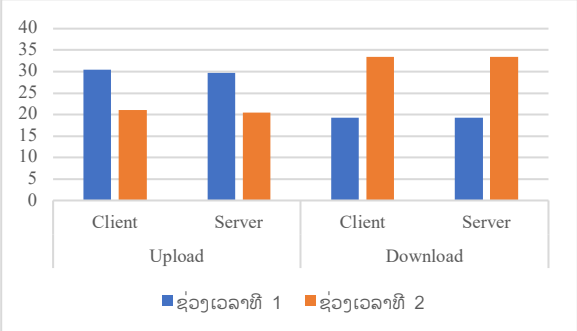
ເມື່ອມີການຈຳລອງ Packet Loss, ອັດຕາ Throughput TCP ມີອັດຕາການຫຼຸດລົງຫຼາຍທັງໃນທິດທາງການສົ່ງ ແລະ ການຮັບຂໍ້ມູນ, ໂດຍສະເພາະການສົ່ງຂໍ້ມູນທີ່ຫຼຸດລົງ 84,58% ໃນກໍລະນີ Packet Loss ພຽງ 1% (ດັ່ງທີ່ສະແດງໃນຕາຕະລາງ 4.5) ໄດ້ຢືນຢັນເຖິງການປ່ຽນແປງທີ່ມີຄວາມສຳຄັນຢ່າງຍິ່ງ ($p<0.001$) ລະຫວ່າງຄ່າພື້ນຖານ (Baseline) ແລະ ທຸກລະດັບການຈຳລອງ ເຊິ່ງຜົນກະທົບນີ້ບໍ່ໄດ້ຂຶ້ນກັບຊ່ວງເວລາທົດລອງ. ຢ່າງໃດກໍຕາມ, Throughput UDP ພັດຍັງຄົງຢູ່ໃນລະດັບໃກ້ຄຽງກັບ 35 Mbps, ການຈຳລອງ Latency ກໍ່ເຊັ່ນກັນ ເພາະສົ່ງຜົນກະທົບທີ່ຮຸນແຮງຕໍ່ອັດຕາ Throughput TCP, ໂດຍສະເພາະການຮັບຂໍ້ມູນທີ່ມີຄ່າຫຼຸດລົງຫຼາຍກວ່າ 50%, ເຊິ່ງຜົນກະທົບນີ້ໄດ້ສັງເກດເຫັນໃນທັງສອງຊ່ວງເວລາທົດລອງ. ໃນຂະນະດຽວກັນ, Throughput UDP ຍັງຄົງຢູ່ໃນລະດັບສູງ ແລະ ບໍ່ໄດ້ຮັບຜົນກະທົບໂດຍກົງ ຈຶ່ງສາມາດຢືນຢັນໄດ້ວ່າ Latency TCP ທີ່ວັດແທກໄດ້ເພີ່ມຂຶ້ນຢ່າງຊັດເຈນ ແລະ ສອດຄ່ອງກັບລະດັບ Latency ທີ່ຖືກຈຳລອງ. ໃນຂະນະທີ່ Packet Loss ຂອງ UDP ຍັງຢູ່ໃນລະດັບຕ່ຳ ແຕ່ມີແນວໂນ້ມເພີ່ມຂຶ້ນເລັກນ້ອຍເມື່ອມີການຈຳລອງ Latency ໃນລະດັບສູງສຸດ.

4. 1 ຜົນການວັດແທກປະສິດທິພາບເຄືອຂ່າຍພື້ນຖານ (Baseline)

ການວັດແທກປະສິດທິພາບເຄືອຂ່າຍພື້ນຖານໄດ້ດຳເນີນການໂດຍບໍ່ມີການຈຳລອງຂໍ້ບົກພ່ອງ. ຜົນໄດ້ຮັບຖືກນຳສະ ເໜີແຍກຕາມຊ່ວງເວລາທົດສອບ (ຊ່ວງເວລາທີ 1: ກາງເວັນ, ແລະ ຊ່ວງເວລາທີ 2: ກາງຄືນ) .

ຕາຕະລາງ 4.1 ຄ່າສະເລ່ຍ Throughput TCP ທີ່ໄດ້ຮັບຊ່ວງເວລາທີ 1 ແລະ ຊ່ວງເວລາທີ 2 ສະພາບເຄືອຂ່າຍພື້ນຖານ.

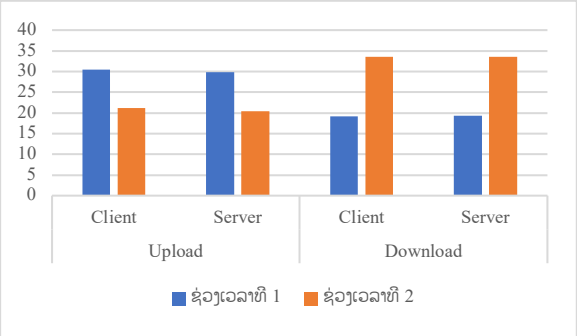
ລດ	ຂໍ້ມູນ (Mbps)	ຄ່າສະເລ່ຍ (ຊ່ວງເວລາ 1)	ຄ່າສະເລ່ຍ (ຊ່ວງເວລາ 2)	% ການປ່ຽນແປງ (%)	P-value (Sig)
1	TCP ອັບໂຫຼດ (Client)	30.45	21.12	-30.63%	0.000031
2	TCP ອັບໂຫຼດ (Server)	29.77	20.42	-31.40%	0.000041
3	TCP ດາວໂຫຼດ (Client)	19.24	33.5	74.01%	0
4	TCP ດາວໂຫຼດ (Server)	19.32	33.5	73.48%	0



ຮູບທີ 4.1 ກຣາຟປຽບທຽບຄ່າສະເລ່ຍ Throughput TCP ສະພາບເຄືອຂ່າຍພື້ນຖານ

ຕາຕະລາງ 4.2 ຄ່າສະເລ່ຍອັດຕາໂອນຍ້າຍຂໍ້ມູນ UDP ທີ່ໄດ້ຮັບຊ່ວງເວລາທີ 1 ແລະ ຊ່ວງເວລາທີ 2 ສະພາບເຄືອຂ່າຍພື້ນຖານ.

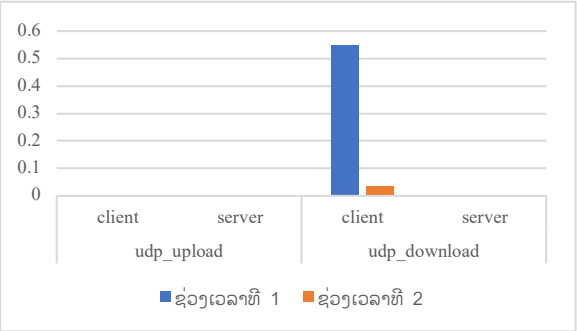
ລດ	ຂໍ້ມູນ (Mbps)	ຄ່າສະເລ່ຍ (ຊ່ວງເວລາ 1)	ຄ່າສະເລ່ຍ (ຊ່ວງເວລາ 2)	% ການ ປ່ຽນແປງ (%)	P-value (Sig)
1	UDP ອັບໂຫຼດ (Client)	35	35	0.00%	N/A
2	UDP ອັບໂຫຼດ (Server)	33.03	34.9	5.66%	0.022095
3	UDP ດາວໂຫຼດ (Client)	34.62	35.01	1.13%	0.117943
4	UDP ດາວໂຫຼດ (Server)	35	35	0.00%	N/A



ຮູບທີ 4.2 ກຣາບປຽບທຽບຄ່າສະເລ່ຍ Throughput UDP ສະພາບເຄືອຂ່າຍພື້ນຖານ

ຕາຕະລາງ 4.3 ຄ່າສະເລ່ຍອັດຕາການສູນເສຍຂໍ້ມູນ UDP ທີ່ໄດ້ຮັບຊ່ວງເວລາທີ 1 ແລະ ຊ່ວງເວລາທີ 2 ສະພາບເຄືອຂ່າຍພື້ນຖານ.

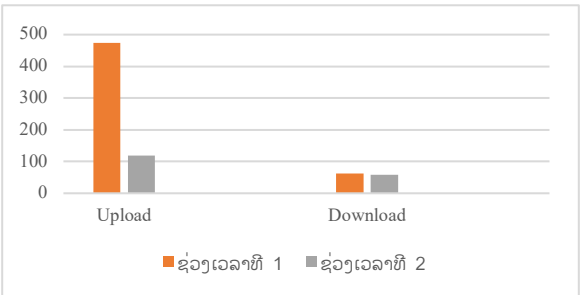
ລດ	ຂໍ້ມູນ (Mbps)	ຄ່າສະເລ່ຍ (ຊ່ວງເວລາ 1)	ຄ່າສະເລ່ຍ (ຊ່ວງເວລາ 2)	% ການ ປ່ຽນແປງ (%)	P-value (Sig)
1	UDP ອັບໂຫຼດ (Client)	0	0	0.00%	N/A
2	UDP ອັບໂຫຼດ (Server)	0	0	-100.00%	0.167851
3	UDP ດາວໂຫຼດ (Client)	1.12	0.04	-96.20%	0.137497
4	UDP ດາວໂຫຼດ (Server)	0	0	0.00%	N/A



ຮູບທີ 4.3 ກຣາບປຽບທຽບຄ່າສະເລ່ຍ Packet Loss UDP ສະພາບເຄືອຂ່າຍພື້ນຖານ

ຕາຕະລາງ 4.4 ຄ່າສະເລ່ຍອັດຕາຄວາມລ່າຊ້າ TCP ທີ່ໄດ້ຮັບຊ່ວງເວລາທີ 1 ແລະ ຊ່ວງເວລາທີ 2.

ລດ	ຂໍ້ມູນ (Mbps)	ຄ່າສະເລ່ຍ (ຊ່ວງເວລາ 1)	ຄ່າສະເລ່ຍ (ຊ່ວງເວລາ 2)	% ການ ປ່ຽນແປງ (%)	P-value (Sig)
1	TCP ອັບໂຫຼດ	474.91	119.46	-74.85%	0.000006
2	TCP ດາວໂຫຼດ	61.48	58.49	-4.85%	0.6476



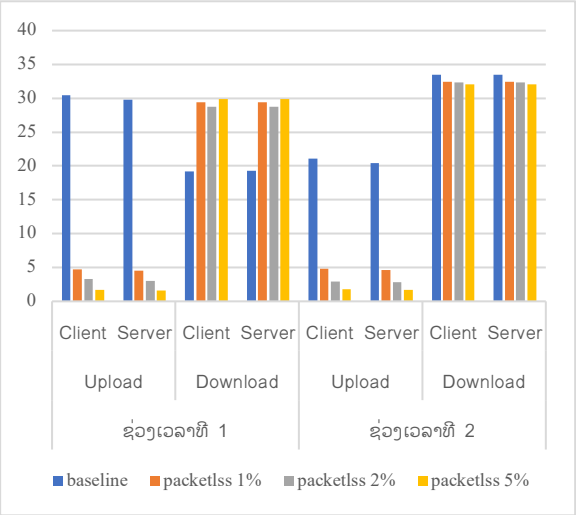
ຮູບທີ 4.4 ກຣາບປຽບທຽບຄ່າສະເລ່ຍ Latency TCP ສະພາບເຄືອຂ່າຍພື້ນຖານ

4.2 ຜົນກະທົບຂອງການສູນເສຍແພັກເກັດ (Packet Loss)

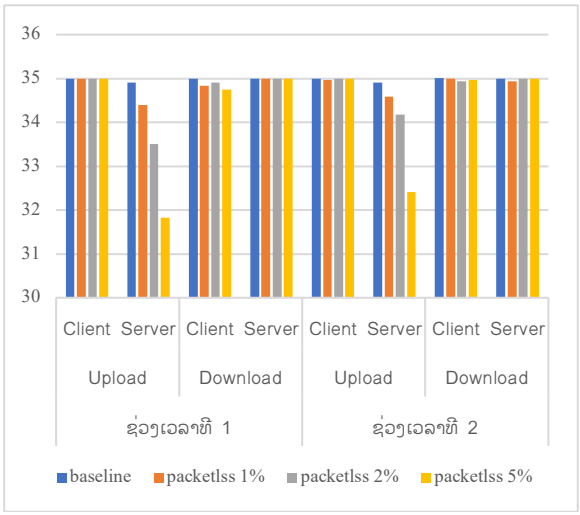
ຜົນການທົດລອງຈາກການຈຳລອງ Packet Loss ໃນລະດັບ 1%, 2%, ແລະ 5%

ຕາຕະລາງ 4.5 ຄ່າສະເລ່ຍ Throughput TCP ທີ່ໄດ້ຮັບຜົນກະທົບຈາກ Packet Loss ຊ່ວງເວລາທີ 1 ແລະ ຊ່ວງເວລາທີ 2.

ລດ	ຂໍ້ມູນ (Mbps)	Packet Loss	Time slot	ຄ່າ ສະເລ່ຍ	ການ ປ່ຽນແປງ, Baseline (%)	P-value, Baseline (Sig)
1	TCP ອັບໂຫຼດ (Client)	(Baseline)	1	30.45		
			2	21.12		
		(1%)	1	4.69	-84.58%	0
			2	4.86	-76.98%	0.000001
		(2%)	1	3.32	-89.09%	0
			2	2.95	-86.05%	0
		(5%)	1	1.69	-94.45%	0
			2	1.81	-91.43%	0
2	TCP ດາວໂຫຼດ (Server)	(Baseline)	1	29.77		
			2	20.42		
		(1%)	1	4.5	-84.89%	0
			2	4.59	-77.53%	0.000001
		(2%)	1	3.01	-89.88%	0
			2	2.82	-86.19%	0
		(5%)	1	1.57	-94.74%	0
			2	1.66	-91.85%	0
3	TCP ດາວໂຫຼດ (Client)	(Baseline)	1	19.24		
			2	33.5		
		(1%)	1	29.43	52.99%	0.01483
			2	32.47	-3.07%	0.034516
		(2%)	1	28.71	49.25%	0.019215
			2	32.39	-3.31%	0.198366
		(5%)	1	29.89	55.39%	0.00924
			2	32.1	-4.18%	0.016037
4	TCP ດາວໂຫຼດ (Server)	(Baseline)	1	19.32		
			2	33.5		
		(1%)	1	29.45	52.41%	0.0147
			2	32.47	-3.07%	0.035533
		(2%)	1	28.72	48.63%	0.019145
			2	32.39	-3.31%	0.193815
		(5%)	1	29.91	54.79%	0.009035
			2	32.09	-4.21%	0.014865



ຮູບທີ 4.5 ກຣາຟປຽບທຽບອັດຕາ Throughput TCP ທີ່ໄດ້ຮັບຜົນກະທົບຈາກ Packet Loss



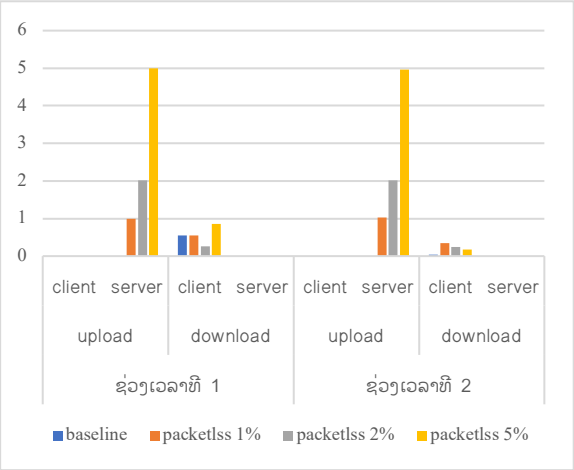
ຮູບທີ 4.6 ກຣາຟປຽບທຽບອັດຕາ Throughput UDP ໄດ້ຮັບຜົນກະທົບຈາກ Packet Loss.

ຕາຕະລາງ 4.6 ຄ່າສະເລ່ຍ Throughput UDP ທີ່ໄດ້ຮັບຜົນກະທົບຈາກ Packet Loss ຊ່ວງເວລາທີ 1 ແລະ ຊ່ວງເວລາທີ 2.

ລດ	ຂໍ້ມູນ (Mbps)	Packet Loss	Time slot	ຄ່າ ສະເລ່ຍ	ການ ປ່ຽນແປງ, Baseline (%)	P-value, Baseline (Sig)
1	UDP ອັບ ໂຫຼດ (Client)	(Baseline)	1	35		
			2	35		
		(1%)	1	35	0.00%	N/A
			2	34.96	-0.11%	0.343436
		(2%)	1	35	0.00%	N/A
			2	35	0.00%	N/A
		(5%)	1	35	0.00%	N/A
			2	35	0.00%	N/A
2	UDP ອັບ ໂຫຼດ (Server)	(Baseline)	1	33.03		
			2	34.9		
		(1%)	1	34.39	4.12%	0.076789
			2	34.58	-0.92%	0.000107
		(2%)	1	33.51	1.45%	0.553829
			2	34.18	-2.06%	0
		(5%)	1	31.82	-3.66%	0.21427
			2	32.41	-7.13%	0.000779
3	UDP ດາວ ໂຫຼດ (Client)	(Baseline)	1	34.62		
			2	35.01		
		(1%)	1	34.84	0.64%	0.421468
			2	35	-0.03%	0.343436
		(2%)	1	34.9	0.81%	0.27777
			2	34.94	-0.20%	0.12004
		(5%)	1	34.75	0.38%	0.703968
			2	34.96	-0.14%	0.2528
4	UDP ດາວ ໂຫຼດ (Server)	(Baseline)	1	35		
			2	35		
		(1%)	1	35	0.00%	N/A
			2	34.93	-0.20%	0.343436
		(2%)	1	35	0.00%	N/A
			2	35	0.00%	N/A
		(5%)	1	35	0.00%	N/A
			2	35	0.00%	N/A

ຕາຕະລາງ 4.7 ຄ່າສະເລ່ຍ Packet Loss UDP ທີ່ໄດ້ຮັບຜົນກະທົບຈາກ Packet Loss ຊ່ວງເວລາທີ 1 ແລະ ຊ່ວງເວລາທີ 2.

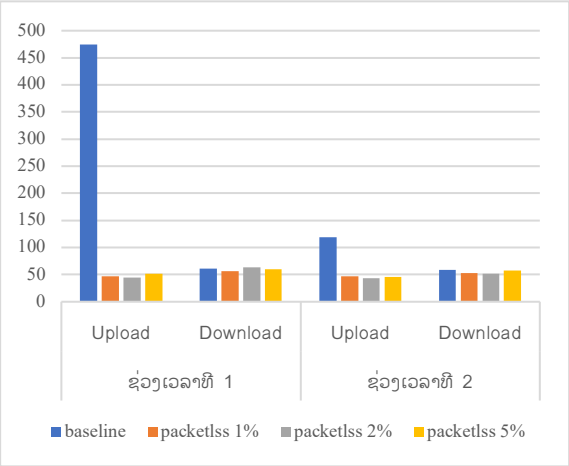
ລດ	ຂໍ້ມູນ (Mbps)	Packet Loss	Time slot	ຄ່າ ສະເລ່ຍ	ການປ່ຽນແປງ, Baseline (%)	P-value, Baseline (Sig)
1	UDP ອັບໂຫຼດ (Client)	(Baseline)	1	0		
			2	0		
		(1%)	1	0	0.00%	N/A
			2	0	0.00%	N/A
		(2%)	1	0	0.00%	N/A
			2	0	0.00%	N/A
		(5%)	1	0	0.00%	N/A
			2	0	0.00%	N/A
2	UDP ອັບໂຫຼດ (Server)	(Baseline)	1	0		
			2	0		
		(1%)	1	0.99	56377.27%	0
			2	1.02	0.00%	0
		(2%)	1	2.02	114672.73%	0
			2	2.01	0.00%	0
		(5%)	1	4.99	283422.73%	0
			2	4.97	0.00%	0
	UDP ດາວໂຫຼດ (Client)	(Baseline)	1	1.12		
			2	0.04		
		(1%)	1	0.55	-50.46%	0.477451
			2	0.35	703.12%	0.195723
		(2%)	1	0.26	-76.72%	0.240913
			2	0.24	456.02%	0.161737
		(5%)	1	0.85	-23.40%	0.792102
			2	0.18	309.81%	0.266678
	UDP ດາວໂຫຼດ (Server)	(Baseline)	1	0		
			2	0		
		(1%)	1	0	0.00%	N/A
			2	0	0.00%	N/A
		(2%)	1	0	0.00%	N/A
			2	0	0.00%	N/A
		(5%)	1	0	0.00%	N/A
			2	0	0.00%	N/A



ຮູບທີ 4.7 ກຣາບປຽບທຽບຄ່າສະເລ່ຍ Packet Loss UDP ທີ່ໄດ້ຮັບຜົນກະທົບຈາກ Packet Loss

ຕາຕະລາງ 4.8 ຄ່າສະເລ່ຍ Latency TCP ທີ່ໄດ້ຮັບຜົນກະທົບຈາກ Packet Loss ຊ່ວງເວລາທີ 1 ແລະ ຊ່ວງເວລາທີ 2.

ລດ	ຂໍ້ມູນ (Mbps)	Packet Loss	Time slot	ຄ່າ ສະເລ່ຍ	ການ ປ່ຽນແປງ, Baseline (%)	P-value, Baseline (Sig)
1	TCP ອັບ ໂຫຼດ	(Baseline)	1	474.91		
			2	119.46		
		(1%)	1	47.04	-90.10%	0.000002
			2	46.98	-60.68%	0.000002
		(2%)	1	44.23	-90.69%	0.000002
			2	43.11	-63.91%	0.000003
		(5%)	1	51.4	-89.18%	0.000002
			2	46.29	-61.25%	0.000001
2	TCP ດາວ ໂຫຼດ	(Baseline)	1	61.48		
			2	58.49		
		(1%)	1	55.95	-8.99%	0.374492
			2	52.88	-9.59%	0.137549
		(2%)	1	63.69	3.61%	0.7691
			2	51.44	-12.06%	0.068361
		(5%)	1	59.95	-2.47%	0.820348
			2	57.58	-1.56%	0.820118



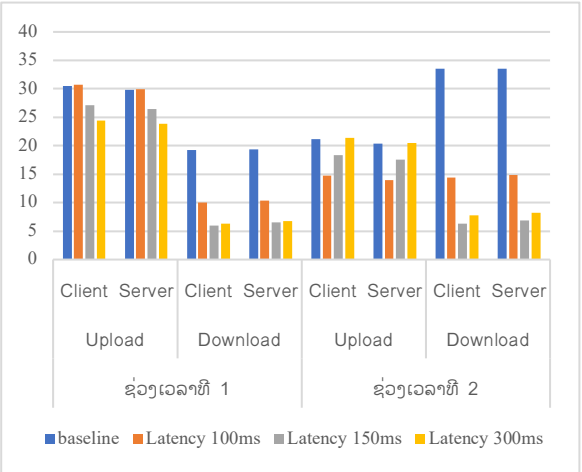
ຮູບທີ 4.8 ກຣາບປຽບທຽບຄ່າສະເລ່ຍ Latency TCP ທີ່ໄດ້ຮັບຜົນກະທົບຈາກ Packet Loss

4.3 ຜົນກະທົບຂອງຄວາມລ່າຊ້າ (Latency)

ຜົນການທົດລອງຈາກການຈຳລອງ Latency ໃນ ລະດັບ 100 ms, 150 ms, ແລະ 300 ms.

ຕາຕະລາງ 4.9 ຄ່າສະເລ່ຍ Throughput TCP ທີ່ໄດ້ຮັບຜົນກະທົບຈາກ Latency ຊ່ວງເວລາທີ 1 ແລະ ຊ່ວງເວລາທີ 2.

ລດ	ຂໍ້ມູນ (Mbps)	Latency	Time slot	ຄ່າ ສະເລ່ຍ	ການ ປ່ຽນແປງ, Baseline (%)	P-value, Baseline (Sig)
1	TCP ອັບໂຫຼດ (Client)	(Baseline)	1	30.45		
			2	21.12		
		(100ms)	1	30.72	0.89%	0.91564
			2	14.77	-30.07%	0.00225
		(150ms)	1	27.15	-10.84%	0.208498
			2	18.36	-13.07%	0.17768
		(300ms)	1	24.41	-19.84%	0.007918
			2	21.39	1.28%	0.897831
2	TCP ດາວໂຫຼດ (Server)	(Baseline)	1	29.77		
			2	20.42		
		(100ms)	1	29.94	0.57%	0.947125
			2	13.99	-31.50%	0.002028
		(150ms)	1	26.49	-11.02%	0.201546
			2	17.51	-14.26%	0.156903
		(300ms)	1	23.86	-19.85%	0.008931
			2	20.48	0.28%	0.978527
3	TCP ດາວໂຫຼດ (Client)	(Baseline)	1	19.24		
			2	33.5		
		(100ms)	1	9.97	-48.18%	0.037633
			2	14.43	-56.93%	0.000097
		(150ms)	1	5.99	-68.88%	0.002518
			2	6.34	-81.08%	0
		(300ms)	1	6.28	-67.35%	0.002796
			2	7.77	-76.80%	0
4	TCP ດາວໂຫຼດ (Server)	(Baseline)	1	19.32		
			2	33.5		
		(100ms)	1	10.35	-46.43%	0.043278
			2	14.82	-55.76%	0.00011
		(150ms)	1	6.48	-66.44%	0.002996
			2	6.91	-79.38%	0
		(300ms)	1	6.79	-64.89%	0.003246
			2	8.24	-75.39%	0

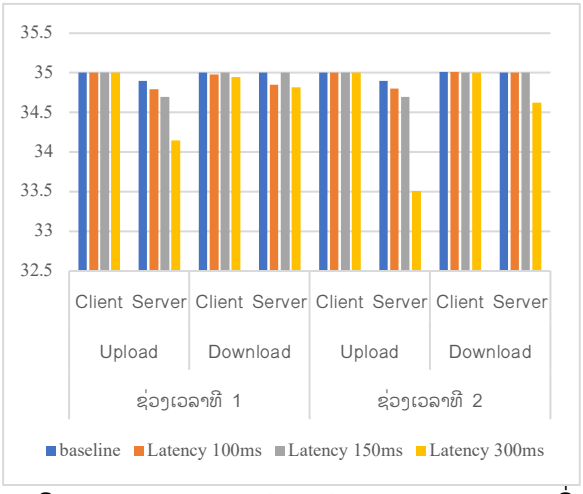


ຮູບທີ 4.9 ກຣາບປຽບທຽບຄ່າສະເລ່ຍ Throughput TCP ທີ່ໄດ້ຮັບຜົນກະທົບຈາກ Latency

ຕາຕະລາງ 4.10 ຄ່າສະເລ່ຍ Throughput UDP ທີ່ໄດ້ຮັບຜົນກະທົບຈາກ Latency ຊ່ວງເວລາທີ 1 ແລະ ຊ່ວງເວລາທີ 2.

ລດ	ຂໍ້ມູນ (Mbps)	Latency	Time slot	ຄ່າ ສະເລ່ຍ	ການ ປ່ຽນແປງ, Baseline (%)	P-value, Baseline (Sig)
1	UDP ອັບ ໂຫຼດ (Client)	(Baseline)	1	35		
			2	35		
		(100ms)	1	35	0.00%	N/A
			2	35	0.00%	N/A
		(150ms)	1	35	0.00%	N/A
			2	35	0.00%	N/A
		(300ms)	1	35	0.00%	N/A
			2	35	0.00%	N/A
2		(Baseline)	1	33.03		
			2	34.9		

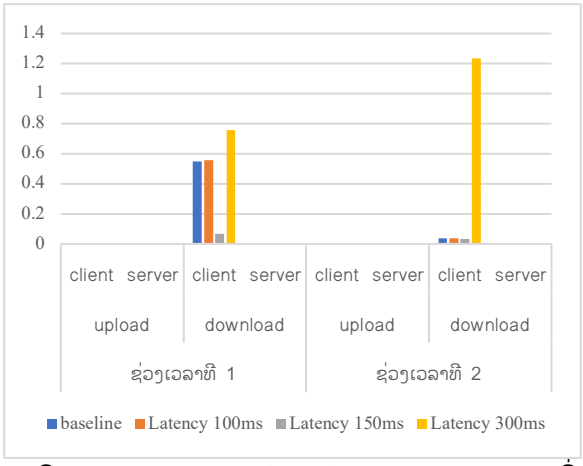
	UDP ອັບໂຫຼດ (Server)	(100ms)	1	34.79	5.33%	0.028832
			2	34.8	-0.29%	0
		(150ms)	1	34.7	5.06%	0.03585
			2	34.7	-0.57%	0
		(300ms)	1	34.15	3.39%	0.145641
			2	33.51	-3.98%	0.216463
3	UDP ດາວໂຫຼດ (Client)	(Baseline)	1	34.62		
			2	35.01		
		(100ms)	1	34.98	1.04%	0.145708
			2	35.01	0.00%	1
		(150ms)	1	35	1.10%	0.126224
			2	35	-0.03%	0.343436
		(300ms)	1	34.95	0.95%	0.183898
			2	35	-0.03%	0.343436
4	UDP ດາວໂຫຼດ (Server)	(Baseline)	1	35		
			2	35		
		(100ms)	1	34.85	-0.43%	0.343436
			2	35	0.00%	N/A
		(150ms)	1	35	0.00%	N/A
			2	35	0.00%	N/A
		(300ms)	1	34.82	-0.51%	0.343436
			2	34.62	-1.09%	0.356788



ຮູບທີ 4.10 ກຣາຟປຽບທຽບຄ່າສະເລ່ຍ Throughput UDP ທີ່ໄດ້ຮັບຜົນກະທົບຈາກ Latency

ຕາຕະລາງ 4.11 ຄ່າສະເລ່ຍ Packet Loss UDP ທີ່ໄດ້ຮັບຜົນກະທົບຈາກ Latency ຊ່ວງເວລາທີ 1 ແລະ ຊ່ວງເວລາທີ 2.

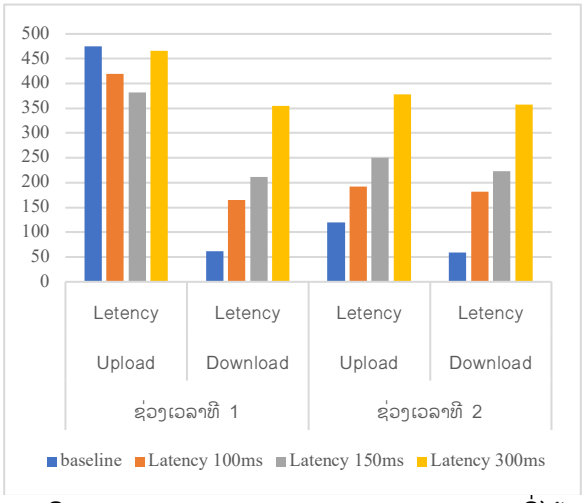
ລດ	ຂໍ້ມູນ (Mbps)	Latency	Time slot	ຄ່າສະເລ່ຍ	ການປ່ຽນແປງ, Baseline (%)	P-value, Baseline (Sig)
1	UDP ອັບໂຫຼດ (Client)	(Baseline)	1	0		
			2	0		
		(100ms)	1	0	0.00%	N/A
			2	0	0.00%	N/A
		(150ms)	1	0	0.00%	N/A
			2	0	0.00%	N/A
		(300ms)	1	0	0.00%	N/A
			2	0	0.00%	N/A
2	UDP ອັບໂຫຼດ (Server)	(Baseline)	1	0		
			2	0		
		(100ms)	1	0	-100.00%	0.167851
			2	0	0.00%	N/A
		(150ms)	1	0	-100.00%	0.167851
			2	0	0.00%	N/A
		(300ms)	1	0	-100.00%	0.167851
			2	0	0.00%	N/A
3	UDP ດາວໂຫຼດ (Client)	(Baseline)	1	1.12		
			2	0.04		
		(100ms)	1	0.56	-49.91%	0.492424
			2	0.04	-12.22%	0.591644
		(150ms)	1	0.07	-94.06%	0.145435
			2	0.03	-20.93%	0.335579
		(300ms)	1	0.76	-32.10%	0.677013
			2	1.23	2729.45%	0.345487
4	UDP ດາວໂຫຼດ (Server)	(Baseline)	1	0		
			2	0		
		(100ms)	1	0	0.00%	N/A
			2	0	0.00%	N/A
			1	0	0.00%	N/A
		(150ms)	2	0	0.00%	N/A
		(300ms)	1	0	0.00%	N/A
			2	0	0.00%	N/A



ຮູບທີ 4.11 ກຣາຟປຽບທຽບຄ່າສະເລ່ຍ Packet Loss UDP ທີ່ໄດ້ຮັບຜົນກະທົບຈາກ Latency

ຕາຕະລາງ 4.12 ຄ່າສະເລ່ຍ Latency TCP ທີ່ໄດ້ຮັບຜົນກະທົບຈາກ Latency ຊ່ວງເວລາທີ 1 ແລະ ຊ່ວງເວລາທີ 2.

ລດ	ຂໍ້ມູນ (Mbps)	Latency	Time slot	ຄ່າສະເລ່ຍ	ການປ່ຽນແປງ, Baseline (%)	P-value, Baseline (Sig)
1	TCP ອັບໂຫຼດ	(Baseline)	1	474.91		
			2	119.46		
		(100ms)	1	420.05	-11.55%	0.269088
			2	191.96	60.69%	0.000002
		(150ms)	1	382.29	-19.50%	0.064812
			2	250.36	109.58%	0
		(300ms)	1	466.37	-1.80%	0.846731
			2	377.8	216.26%	0
2	TCP ດາວໂຫຼດ	(Baseline)	1	61.48		
			2	58.49		
		(100ms)	1	164.45	167.51%	0
			2	181.22	209.83%	0
		(150ms)	1	211.3	243.72%	0
			2	223.4	281.94%	0
		(300ms)	1	355	477.47%	0
			2	357.51	511.23%	0



ຮູບທີ 4.12 ກຣາຟປຽບທຽບຄ່າສະເລ່ຍ Latency TCP ທີ່ໄດ້ຮັບຜົນກະທົບຈາກ Latency

5. ການອະພິປາຍຜົນ

ບົດວິໄຈນີ້ໄດ້ນຳສະເໜີຜົນການວັດແທກປະສິດທິພາບເຄືອຂ່າຍ FTTH ຕົວຈິງ ແລະ ວິເຄາະຜົນກະທົບຂອງການຈຳລອງ Packet Loss ແລະ Latency ຕໍ່ໂປຣໂຕຄໍ TCP ແລະ UDP. ຜົນໄດ້ຮັບຈາກການສຶກສາຄັ້ງນີ້ມີຄວາມສອດຄ່ອງກັບຜົນການຄົ້ນຄວ້າທີ່ຜ່ານມາ, ແຕ່ກໍຍັງມີບາງຈຸດທີ່ແຕກຕ່າງກັນຍ້ອນການນຳໃຊ້ຂໍ້ມູນຈາກສະພາບເຄືອຂ່າຍຕົວຈິງ. ການວິພາກຜົນນີ້ຈະປຽບທຽບຜົນການຄົ້ນຄວ້າຂອງຜູ້ຄົ້ນຄ້ວາກັບບົດວິໄຈທີ່ກ່ຽວຂ້ອງ ທີ່ໄດ້ກ່າວມາໃນພາກສ່ວນການນຳສະເໜີ.

5.1 ການວິເຄາະຜົນກະທົບຂອງ Packet Loss ແລະ Latency

ຜົນການສຶກສາໄດ້ຢືນຢັນວ່າ Packet Loss ແລະ Latency ສົ່ງຜົນກະທົບຢ່າງແຕກຕ່າງກັນຕໍ່ໂປຣໂຕຄໍ TCP ແລະ UDP, ເຊິ່ງເປັນໄປຕາມທິດສະດີເຄືອຂ່າຍ. ການວິເຄາະສະແດງໃຫ້ເຫັນເຖິງຄວາມສຳພັນທີ່ຊັດເຈນລະຫວ່າງຂໍ້ບົກຜ່ອງຂອງເຄືອຂ່າຍ ແລະ ປະສິດທິພາບຂອງໂປຣໂຕຄໍ, ໂດຍມີລາຍລະອຽດດັ່ງນີ້:

ຜົນກະທົບຕໍ່ Throughput TCP: ຜົນການສຶກສາສະແດງໃຫ້ເຫັນວ່າ Packet Loss ສົ່ງຜົນກະທົບຢ່າງຮຸນແຮງຕໍ່ Throughput TCP. ຜົນການວິເຄາະທາງສະຖິຕິໄດ້ຢືນຢັນວ່າ ທຸກໆລະດັບການຈຳລອງ Packet Loss ຕັ້ງແຕ່ 1%, 2% ແລະ 5% ສົ່ງຜົນໃຫ້ Throughput TCP ຫຼຸດລົງຢ່າງມີຄວາມສຳຄັນທາງສະຖິຕິ ($p < 0.001$), ໂດຍບໍ່ຂຶ້ນກັບຊ່ວງເວລາທົດລອງ. ຄ່າ p-value ທີ່ນ້ອຍກວ່ານີ້ຊີ້ໃຫ້ເຫັນວ່າຄວາມແຕກຕ່າງລະຫວ່າງຄ່າພື້ນຖານ (Baseline) ແລະ ຄ່າທີ່ໄດ້ຈາກການຈຳລອງ Packet Loss ແມ່ນມີຄວາມສຳຄັນຫຼາຍ ແລະ ບໍ່ໄດ້ເກີດຂຶ້ນໂດຍບັງເອີນ. ການຫຼຸດລົງນີ້ແມ່ນເກີດຈາກກົນໄກ TCP Congestion Control ທີ່ຫຼຸດອັດຕາການສົ່ງຂໍ້ມູນລົງຢ່າງວ່ອງໄວ ເພື່ອຕອບສະໜອງຕໍ່ການສູນເສຍແພັກເກັດ. ດັ່ງທີ່ສະແດງໃນ ຕາຕະລາງ 4.5, ການສົ່ງຂໍ້ມູນ (Upload) ຫຼຸດລົງເຖິງ 84.58% ໃນກໍລະນີ Packet Loss ພຽງແຕ່ 1%.

ຜົນກະທົບຕໍ່ Throughput UDP: ໃນທາງກົງກັນຂ້າມ, UDP ບໍ່ມີກົນໄກການຄວບຄຸມຄວາມຜິດພາດດັ່ງກ່າວ, ດັ່ງນັ້ນ Throughput ຂອງມັນຈຶ່ງບໍ່ຫຼຸດລົງເຖິງວ່າ Packet Loss ຈະເພີ່ມຂຶ້ນ. Throughput ຂອງ UDP ຍັງຄົງຢູ່ໃນລະດັບສູງ ແລະ ໃກ້ຄຽງກັບຄວາມໄວທີ່ໂຄສະນາ (ປະມານ 35 Mbps) (ດັ່ງທີ່ເຫັນໃນ ຮູບທີ 4.6), ເຖິງແມ່ນ Packet Loss ຈະເພີ່ມຂຶ້ນ. ນີ້ສະທ້ອນໃຫ້ເຫັນເຖິງລັກສະນະຂອງໂປຣໂຕຄໍທີ່ສົ່ງແພັກເກັດຢ່າງຕໍ່ເນື່ອງ ໂດຍບໍ່ມີການຢືນຢັນການສົ່ງຂໍ້ມູນ. ດ້ວຍເຫດຜົນນີ້, ການບໍລິການແບບ Real-time ຈຶ່ງເລືອກໃຊ້ໂປຣໂຕຄໍນີ້. ເຖິງຢ່າງໃດກໍຕາມ, ເຖິງແມ່ນວ່າ Throughput ຈະບໍ່ໄດ້ຮັບຜົນກະທົບ, ແຕ່ການສູນເສຍແພັກເກັດ (Packet Loss) ຈະສົ່ງຜົນໂດຍກົງຕໍ່ຄຸນນະພາບຂອງການບໍລິການເຫຼົ່ານັ້ນ, ໂດຍກໍ່ໃຫ້ເກີດບັນຫາທີ່ສາມາດສັງເກດເຫັນໄດ້ຢ່າງຊັດເຈນ, ເຊັ່ນ: ສຽງຂາດຫາຍ, ພາບກະຕຸກ ຫຼື ພາບພິລຶກໃນລະຫວ່າງການໂທວິດີໂອ ຫຼື ການສາຍວິດີໂອແບບອອນລາຍ.

ຜົນກະທົບຂອງ Latency: ຜົນການທົດລອງຢືນຢັນວ່າ Latency ສົ່ງຜົນກະທົບຢ່າງມີນັຍສຳຄັນທາງສະຖິຕິຕໍ່ Throughput TCP ($p<0.001$). ເມື່ອ Latency ເພີ່ມຂຶ້ນ, Round-Trip Time (RTT) ກໍເພີ່ມຂຶ້ນເຊັ່ນກັນ, ເຮັດໃຫ້ TCP ຕ້ອງໃຊ້ເວລາດົນຂຶ້ນໃນການລໍຖ້າການຢືນຢັນ (ACK) ຈາກຜູ້ຮັບ. ຂະບວນການນີ້ສົ່ງຜົນໃຫ້ Throughput ຫຼຸດລົງຢ່າງຊັດເຈນ, ໂດຍສະເພາະການຮັບຂໍ້ມູນ (Download) ທີ່ຫຼຸດລົງຫຼາຍກວ່າ 50% ໃນການຈຳລອງ Latency 100ms (ເບິ່ງ ຕາຕະລາງ 4.9). ສຳລັບ UDP, ຍ້ອນລັກສະນະທີ່ເປັນ Connectionless, Latency ຈຶ່ງບໍ່ໄດ້ສົ່ງຜົນກະທົບໂດຍກົງຕໍ່ Throughput. ແຕ່ Latency ສູງສຸດກໍ່ສາມາດເພີ່ມອັດຕາ Packet Loss ໄດ້ເລັກນ້ອຍ, ແລະຜົນກະທົບຫຼັກຂອງ Latency ຕໍ່ການນຳໃຊ້ເຄືອຂ່າຍທີ່ອີງໃສ່ໂປຣໂຕຄໍ UDP ແມ່ນການເພີ່ມຄວາມລ່າຊ້າຂອງການເດີນທາງຂອງຂໍ້ມູນ, ເຊິ່ງເປັນສາເຫດທີ່ກໍ່ໃຫ້ເກີດ "Lag" ໃນເກມອອນລາຍ.

5.2 ການປຽບທຽບຜົນການຄົ້ນຄວ້າກັບວັນນະກຳທີ່ກ່ຽວຂ້ອງ

ບົດວິໄຈນີ້ໄດ້ນຳສະເໜີຜົນການວັດແທກປະສິດທິພາບເຄືອຂ່າຍ FTTH ຕົວຈິງ ແລະ ວິເຄາະຜົນກະທົບຂອງການຈຳລອງ Packet Loss ແລະ Latency ຕໍ່ໂປຣໂຕຄໍ TCP ແລະ UDP. ຜົນໄດ້ຮັບຈາກການສຶກສາຄັ້ງນີ້ມີຄວາມສອດຄ່ອງກັບຜົນການຄົ້ນຄວ້າທີ່ຜ່ານມາ, ແຕ່ກໍຍັງມີຈຸດທີ່ແຕກຕ່າງກັນທີ່ສຳຄັນ ເຊິ່ງເປັນຜົນມາຈາກການນຳໃຊ້ຂໍ້ມູນຈາກສະພາບເຄືອຂ່າຍຕົວຈິງ. ການວິພາກຜົນນີ້ຈະປຽບທຽບຜົນການຄົ້ນຄວ້າຂອງຜູ້ຄົ້ນຄ້ວາກັບບົດວິໄຈທີ່ກ່ຽວຂ້ອງທີ່ໄດ້ກ່າວມາໃນພາກສ່ວນການທົບທວນວັນນະກຳ.

ຄວາມສອດຄ່ອງ (Similarities): ຜົນການທົດລອງຂອງຜູ້ຄົ້ນຄ້ວາຢືນຢັນຢ່າງຊັດເຈນວ່າໂປຣໂຕຄໍ TCP ມີຄວາມອ່ອນໄຫວຢ່າງຍິ່ງຕໍ່ທັງ Packet Loss ແລະ Latency. ດັ່ງທີ່ (Dulik., 2012) ໄດ້ຄົ້ນພົບ, ຜົນຂອງຜູ້ຄົ້ນຄ້ວາສະແດງໃຫ້ເຫັນວ່າ Throughput ຂອງ TCP ຫຼຸດລົງຢ່າງຮຸນແຮງເມື່ອມີການສູນເສຍແພັກເກັດ (Packet Loss). ການຫຼຸດລົງນີ້ແມ່ນຍ້ອນກົນໄກການຄວບຄຸມຄວາມແອອັດ (Congestion Control) ຂອງ TCP ທີ່ຫຼຸດຄວາມໄວລົງເພື່ອຕອບສະໜອງຕໍ່ການສູນເສຍຂໍ້ມູນ. ນອກຈາກນີ້, ຜົນການຄົ້ນຄວ້າກໍຍັງສອດຄ່ອງກັບຜົນຂອງ (AL-Dhief et al., 2018), (Rossen Dimitrov., n.d.) ແລະ (Gaoyang., 2025) ທີ່ພົບວ່າ TCP ມີຄວາມອ່ອນໄຫວຕໍ່ Latency ເຊັ່ນກັນ, ໂດຍ Throughput TCP ຫຼຸດລົງຢ່າງຊັດເຈນເມື່ອຄ່າ Latency ເພີ່ມຂຶ້ນ. ໃນທາງກົງກັນຂ້າມ, ຜົນ ຍັງສອດຄ່ອງກັບ (Dulik., 2012) ທີ່ສະແດງໃຫ້ເຫັນວ່າໂປຣໂຕຄໍ UDP ມີຄວາມທົນທານຕໍ່ການເກີດ Latency ເພາະຄ່າ Throughput ຍັງຄົງຢູ່ໃນລະດັບສູງເຖິງວ່າຈະມີອັດຕາ Latency ເພີ່ມຂຶ້ນ.

ຄວາມແຕກຕ່າງ (Differences): ຄວາມແຕກຕ່າງທີ່ໜ້າສົນໃຈແມ່ນຜົນກະທົບຂອງ Packet Loss ຕໍ່ UDP. ໃນຂະນະທີ່

(AL-Dhief et al., 2018) ພົບການສູນເສຍແພັກເກັດ (Packet Loss) ທີ່ສູງຫຼາຍເຖິງ 95.96% ໃນສະພາບການຈຳລອງຂອງພວກເຂົາ, ແຕ່ຜົນການສຶກສາຂອງຜູ້ຄົ້ນຄ້ວາພາຍໃຕ້ການຈຳລອງ Packet Loss 5% ພັດມີການສູນເສຍພຽງແຕ່ປະມານ 5% ເທົ່ານັ້ນ. ຄວາມແຕກຕ່າງນີ້ອາດເກີດຈາກການໃຊ້ເຄື່ອງມືຈຳລອງທີ່ແຕກຕ່າງກັນ (NS2 ທຽບກັບ NetEm) ແລະ ສະພາບແວດລ້ອມການທົດລອງທີ່ແຕກຕ່າງກັນ (ການຈຳລອງທຽບກັບເຄືອຂ່າຍຕົວຈິງ). ເຖິງຢ່າງໃດກໍຕາມ, ຜົນການຄົ້ນຄ້ວາຂອງຜູ້ຄົ້ນຄ້ວາກໍໄດ້ຢືນຢັນຂໍ້ຈຳກັດຂອງໂປຣໂຕຄໍ UDP ທີ່ (Ardita & Affandi, 2023) ໄດ້ຊີ້ໃຫ້ເຫັນວ່າ UDP ທີ່ບໍ່ມີການເພີ່ມຄຸນສົມບັດພິເສດແມ່ນຍັງຂາດຄວາມໜ້າເຊື່ອຖື.

5.3 ການປຽບທຽບກັບວິທີການ ແລະ ເຄື່ອງມືຄົ້ນຄ້ວາ

ການເລືອກໃຊ້ເຄື່ອງມືໃນການຄົ້ນຄ້ວາຂອງຜູ້ຄົ້ນຄ້ວາກໍສອດຄ່ອງກັບແນວທາງມາດຕະຖານທີ່ນັກຄົ້ນຄ້ວາອື່ນໆໃຊ້ແມ່ນມີຄວາມສອດຄ່ອງ ເນື່ອງຈາກ ຜູ້ຄົ້ນຄ້ວາໄດ້ນຳໃຊ້ NetEm ຂອງ Linux Traffic Control (tc) ເພື່ອຈຳລອງສະພາບເຄືອຂ່າຍ, ເຊິ່ງເປັນວິທີການດຽວກັນກັບການສຶກສາຂອງ (Cech., 2020) ກ່ຽວກັບ MPTCP packet schedulers. ການນຳໃຊ້ເຄື່ອງມືທີ່ໄດ້ຮັບການຍອມຮັບໃນວົງການວິຊາການນີ້ເຮັດໃຫ້ຜົນການທົດລອງຂອງຜູ້ຄົ້ນຄ້ວາມີຄວາມໜ້າເຊື່ອຖື. ນອກຈາກນີ້, ການນຳໃຊ້ iPerf3 ໃນການວັດແທກ Throughput ກໍສອດຄ່ອງກັບການຄົ້ນພົບຂອງ (Olimov et al., 2024) ທີ່ຊີ້ໃຫ້ເຫັນວ່າ iPerf ແມ່ນໜຶ່ງໃນເຄື່ອງມືທີ່ດີທີ່ສຸດໃນການວັດແທກຄ່າ Throughput ສູງສຸດ.

5.4 ການປຽບທຽບກັບສະພາບແວດລ້ອມ ແລະ ພາກພື້ນ

ການສຶກສາຄັ້ງນີ້ມີຄວາມໂດດເດັ່ນທີ່ໄດ້ດຳເນີນໃນສະພາບແວດລ້ອມເຄືອຂ່າຍຕົວຈິງໃນປະເທດລາວ, ເຊິ່ງເປັນຈຸດທີ່ແຕກຕ່າງຈາກການຄົ້ນຄ້ວາສ່ວນໃຫຍ່. ຄວາມແຕກຕ່າງຂອງຜົນການຄົ້ນຄ້ວາຂອງຜູ້ຄົ້ນຄ້ວາສະທ້ອນໃຫ້ເຫັນພາບລວມຂອງຄຸນນະພາບການເຊື່ອມຕໍ່ອິນເຕີເນັດໃນ ສປປ ລາວ, ໂດຍສະເພາະຄວາມບໍ່ສະໝ່ຳສະເໝີຂອງຄ່າ Baseline ທີ່ບໍ່ສາມາດບັນລຸຄວາມໄວທີ່ໂຄສະນາໄດ້ເຕັມທີ່ໃນບາງກໍລະນີ. ສິ່ງນີ້ສາມາດຢືນຢັນຂໍ້ຄົ້ນພົບຂອງບົດລາຍງານທະນາຄານໂລກ (P T Sonjaya., 2025) ທີ່ລະບຸວ່າອິນເຕີເນັດໃນລາວຍັງມີຄຸນນະພາບຕ່ຳ. ຍິ່ງໄປກວ່ານັ້ນ, ການສຶກສາຂອງຜູ້ຄົ້ນຄ້ວາເປັນການສຶກສາທຳອິດທີ່ວິເຄາະຜົນກະທົບຂອງຊ່ວງເວລາ (ກາງເວັນ vs. ກາງຄືນ) ຕໍ່ປະສິດທິພາບເຄືອຂ່າຍ, ເຊິ່ງໄດ້ເປີດເຜີຍຄວາມແຕກຕ່າງຂອງການຈະລາຈອນ TCP ທີ່ກ່ຽວຂ້ອງກັບຮູບແບບການນຳໃຊ້ຂອງຜູ້ຊົມໃຊ້ໃນທ້ອງຖິ່ນ.

ໂດຍສະຫຼຸບ, ຜົນການຄົ້ນຄ້ວາຂອງຜູ້ຄົ້ນຄ້ວາບໍ່ພຽງແຕ່ຢືນຢັນຄວາມຮູ້ທາງທິດສະດີກ່ຽວກັບພຶດຕິກຳຂອງໂປຣໂຕຄໍເຄືອຂ່າຍ ແລະ ຄວາມຖືກຕ້ອງຂອງເຄື່ອງມືທີ່ໃຊ້ໃນການທົດລອງເທົ່ານັ້ນ, ແຕ່ຍັງໄດ້ສະໜອງຂໍ້ມູນຕົວຈິງຈາກພາກສະໜາມທີ່ສະທ້ອນໃຫ້ເຫັນເຖິງສິ່ງທ້າທາຍຂອງການເຊື່ອມຕໍ່ອິນເຕີເນັດໃນ ສປປ ລາວ. ຂໍ້ມູນເຫຼົ່ານີ້ເປັນມູນຄ່າເພີ່ມທີ່ການຄົ້ນຄ້ວາແບບຈຳລອງບໍ່ສາມາດສະໜອງໄດ້.

6. ສະຫຼຸບຜົນ

ການສຶກສາຄັ້ງນີ້ໄດ້ບັນລຸຈຸດປະສົງທີ່ຕັ້ງໄວ້ຢ່າງຄົບຖ້ວນໂດຍການຕອບຄຳຖາມການຄົ້ນຄ້ວາທີ່ໄດ້ກຳນົດໄວ້ໃນເບື້ອງຕົ້ນ. ຜົນການຄົ້ນຄ້ວາໄດ້ຢືນຢັນເຖິງຂໍ້ຄົ້ນພົບທີ່ສຳຄັນ 3 ຢ່າງ ຕາມຈຸດປະສົງຂອງການຄົ້ນຄ້ວາຄື: ປະສິດທິພາບພື້ນຖານ: ເພື່ອຕອບຄຳຖາມຂໍ້ທີ 1, ການວັດແທກປະສິດທິພາບພື້ນຖານຂອງ FTTH 35 Mbps ພາຍໃຕ້ສະພາບປົກກະຕິໃນຊ່ວງເວລາກາງເວັນ ແລະ ກາງຄືນໄດ້ສຳເລັດ. ຜົນໄດ້ຮັບສະແດງໃຫ້ເຫັນວ່າ Throughput ຂອງ TCP ມີຄວາມຜັນຜວນສູງໃນການສົ່ງຂໍ້ມູນ (Upload) ລະຫວ່າງສອງຊ່ວງເວລາ, ເຊິ່ງອາດຈະກ່ຽວຂ້ອງກັບການປ່ຽນແປງຂອງການຈັດສັນຊັບພະຍາກອນເຄືອຂ່າຍ. ການວິເຄາະຜົນກະທົບຂອງການສູນເສຍແພັກເກັດ (Packet Loss) ໄດ້ຢືນຢັນວ່າ Packet Loss ສົ່ງຜົນກະທົບຢ່າງຮຸນແຮງຕໍ່ Throughput ຂອງ TCP. ໂດຍສະເພາະການສູນເສຍພຽງແຕ່ 1% ສາມາດເຮັດໃຫ້ Throughput ຫຼຸດລົງຫຼາຍກວ່າ 80% ຢ່າງມີຄວາມສຳຄັນທາງສະຖິຕິ ($p < 0.001$). ໃນທາງກົງກັນຂ້າມ, Throughput ຂອງ UDP ບໍ່ໄດ້ຮັບຜົນກະທົບໂດຍກົງ, ແຕ່ຄຸນນະພາບການບໍລິການເຊັ່ນ: ການໂທວິດີໂອ ຫຼື ການຫຼິ້ນເກມອອນລາຍແມ່ນໄດ້ຮັບຜົນກະທົບຢ່າງຊັດເຈນ. ການວິເຄາະຜົນກະທົບຂອງຄວາມລ່າຊ້າ (Latency) ໄດ້ສະແດງໃຫ້ເຫັນວ່າ Latency ໄດ້ຫຼຸດ Throughput TCP ລົງຢ່າງຫຼວງຫຼາຍເຊັ່ນກັນ, ໂດຍສະເພາະໃນການຮັບຂໍ້ມູນ (Download) ທີ່ຫຼຸດລົງຫຼາຍກວ່າ 50% ເມື່ອ Latency ເພີ່ມຂຶ້ນເຖິງ 100ms. ສ່ວນ Throughput UDP ຍັງຄົງຄົງທີ່, ແຕ່ Latency ທີ່ເພີ່ມຂຶ້ນກໍ່ໃຫ້ເກີດ "Lag" ທີ່ສັງເກດເຫັນໄດ້ຊັດເຈນ.

ໂດຍລວມແລ້ວ, ຜົນການຄົ້ນຄ້ວາໄດ້ຢືນຢັນວ່າມີຄວາມສຳຄັນທາງສະຖິຕິ ທັງ Packet Loss ແລະ Latency ລ້ວນແຕ່ສົ່ງຜົນກະທົບທາງລົບຕໍ່ປະສົບການການນຳໃຊ້ງານຂອງຜູ້ໃຊ້, ແຕ່ຜ່ານກົນໄກທີ່ແຕກຕ່າງກັນ, ເຊິ່ງເນັ້ນໃຫ້ເຫັນຄວາມສຳຄັນຂອງການປັບປຸງຄຸນນະພາບເຄືອຂ່າຍໃຫ້ດີຂຶ້ນ.

7. ຂໍ້ສະເໜີແນະ

ຈາກຜົນການຄົ້ນຄ້ວາ ແລະ ຂໍ້ຈຳກັດທີ່ພົບເຫັນ, ຂໍ້ສະເໜີແນະຕໍ່ໄປນີ້ສາມາດຖືກສະເໜີເພື່ອການຄົ້ນຄ້ວາໃນອະນາຄົດ ແລະ ການປັບປຸງປະສິດທິພາບເຄືອຂ່າຍ:

1) ສຳລັບການຄົ້ນຄ້ວາໃນອະນາຄົດ: ຄວນຂະຫຍາຍຊ່ວງເວລາການທົດສອບ, ນຳໃຊ້ Server ທີ່ຢູ່ໃກ້ກວ່າ ຫຼື ພາຍໃນປະເທດ, ສຶກສາຜົນກະທົບຂອງ Jitter ແລະ ທົດສອບກັບແອັບພລິເຄຊັນຕົວຈິງ.

2) ສຳລັບຜູ້ໃຫ້ບໍລິການອິນເຕີເນັດ (ISP): ຄວນສືບຕໍ່ຕິດຕາມ ກວດກາ ແລະ ປັບປຸງການຈັດການເຄືອຂ່າຍໃນຊ່ວງເວລາທີ່ ມີການນຳໃຊ້ສູງສຸດ, ພ້ອມທັງໃຫ້ຂໍ້ມູນທີ່ຊັດເຈນແກ່ຜູ້ໃຊ້ ກ່ຽວກັບຄວາມສາມາດເຄືອຂ່າຍທີ່ແທ້ຈິງ.
3) ສຳລັບຜູ້ໃຊ້: ຄວນເຂົ້າໃຈວ່າຄວາມໄວທີ່ໂຄສະນາອາດຈະບໍ່ ສາມາດບັນລຸໄດ້ຕະຫຼອດເວລາ ແລະ ຮັບຮູ້ວ່າແອັບພລິເຄ ຊັນທີ່ແຕກຕ່າງກັນ (TCP vs. UDP) ຈະໄດ້ຮັບຜົນກະທົບ ຈາກຂໍ້ບົກພ່ອງຂອງເຄືອຂ່າຍໃນຮູບແບບທີ່ແຕກຕ່າງກັນ.

8. ຂໍ້ຈຳກັດຂອງການຄົ້ນຄ້ວາ

ເຖິງວ່າການຄົ້ນຄວ້ານີ້ຈະຖືກອອກແບບມາຢ່າງຮອບ ຄອບ, ແຕ່ກໍຍັງມີຂໍ້ຈຳກັດບາງປະການທີ່ຄວນພິຈາລະນາຄື:

1) ສະພາບແວດລ້ອມການທົດລອງ: ການທົດລອງໃນ VMware ອາດຈະບໍ່ສະທ້ອນເຖິງສະພາບການນຳໃຊ້ເຄືອ ຂ່າຍຕົວຈິງໃນທຸກດ້ານຢ່າງສົມບູນ.
2) Server ທົດສອບ: ການນຳໃຊ້ Public Iperf3 Server ທີ່ ສິງກາໂປ ໝາຍເຖິງຜົນໄດ້ຮັບຈະຖືກກຳນົດໂດຍສະພາບ ເຄືອຂ່າຍລະຫວ່າງປະເທດ ແລະ ການນຳໃຊ້ Server ຕ່າງປະເທດອາດຈະມີຄວາມຜັນຜວນທີ່ເກີດຈາກເຄືອຂ່າຍ ທີ່ບໍ່ໄດ້ຄວບຄຸມ ເຊິ່ງສາມາດມີຜົນກະທົບຕໍ່ຜົນໄດ້ຮັບ.
3) ຊ່ວງເວລາການທົດສອບ: ການທົດສອບພຽງແຕ່ 2 ຊ່ວງ ເວລາອາດຈະບໍ່ຄອບຄຸມຮູບແບບການນຳໃຊ້ເຄືອຂ່າຍ ຕະຫຼອດ 24 ຊົ່ວໂມງ.
4) ລະດັບການຈຳລອງ: ລະດັບ Packet Loss (1%, 2%, 5%) ແລະ Latency (100ms, 150ms, 300ms) ທີ່ຖືກ ກຳນົດໄວ້ອາດຈະບໍ່ຄອບຄຸມທຸກຂໍ້ບົກພ່ອງທີ່ສາມາດເກີດ ຂຶ້ນໄດ້.
5) ການຈຳລອງ: ເຄື່ອງມື NetEm ບໍ່ສາມາດຈຳລອງພຶດຕິກຳ ຂອງເຄືອຂ່າຍຕົວຈິງທີ່ມີຄວາມຊັບຊ້ອນໄດ້ຢ່າງສົມບູນ.

9. ເອກະສານອ້າງອີງ

AL-Dhief, F. T., Sabri, N., Latiff, N. A., Malik, N., Abbas, M., Albader, A., Mohammed, M. A., AL-Haddad, R. N., Salman, Y. D., & Khanapi, M. (2018). Performance comparison between TCP and UDP protocols in different simulation scenarios. *International Journal of Engineering & Technology*, *7*(4.36), 172–176.

Ali, M. H., ALkargole, H. M., & Hassan, T. A. (2021). A Review of immigration obstacles to PON-FTTH and its evolution around the world. *ᵀᴱᴸKOMNIKA (Telecommunication Computing Electronics and Control)*, *19*(2), 645–663.

Ardita, M., & Affandi, A. (2023). Performance Improvement of Packet Delay in Advanced Public Transportation System Using Multi Path UDP on Cellular Environment. *Przegląd Elektrotechniczny*, *99*(6). https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&profile=ehost&scope=site&authtype=crawler&jrnl=00332097&AN=164567720&h=50ErSZkHaxH0%2Fw4C7356057LssqtVKzoii31hxBwyzJcpczZ0yXTa44iNIcvTWSo8LCmj%2BfQQ8fX62h0u5NCsw%3D%3D&crl=c

Cech, H. (2020). *Analyzing and realizing multipath TCP schedulers in linux*. Technical Report, Technical University of Munich. https://www.nitindermohan.com/documents/student-thesis/HendrikCechGR.pdf

Dulik, M. (2012). TCP and UDP deployment in environment with high delay and high bit error rate. *2012 4th IEEE International Symposium on Logistics and Industrial Informatics*, 131–134. https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6319475/

Gaoyang, G. (2025). A Comparative Study of TCP and UDP Performance Using NS-3 Simulation. *Asia-Pacific Journal of Information Technology and Multimedia*, *14*(1), 1–19. https://doi.org/10.17576/apjitm-2025-1401-01

Johan Garcia. (n.d.). (PDF) The effect of packet loss on the response times of web services. *ResearchGate*. Retrieved August 31, 2025, from https://www.researchgate.net/publication/228938288_The_effect_of_packet_loss_on_the_response_times_of_web_services

Mohamad, R., Idrus, S. M., Abuajwa, O., Yusoff, Z., Yaakob, S., & Ja'afar, P. N. (2025). Real-World quality of service (QoS) performance in Radio over Fiber (RoF) Networks: Experimental testbed. *Optical Fiber Technology*, *93*, 104223.

Olimov, O., Artikova, G., & Xatamova, M. (2024). Iperf to Determine Network Speed and Functionality. *Web of Technology: Multidimensional Research Journal*, *2*(3), 94–101.

P T Sonjaya, S. R. V. (2025). (PDF) Comparative Analysis of Digital Economy in Lao PDR and Malaysia: An Overview. *ResearchGate*. https://doi.org/10.34010/icobest.v4i.451

Pradip G. Vanparia. (n.d.). *(PDF) Comparison of Packets Loss and Packets Delay of TCP and SCTP Using NS2 over Linux Platform*. ResearchGate. Retrieved August 31, 2025, from https://www.researchgate.net/publication/263855627_Comparison_of_Packets_Loss_and_Packets_Delay_of_TCP_and_SCTP_Using_NS2_over_Linux_Platform

Sheth, A., Nedevschi, S., Patra, R., Surana, S., Brewer, E., & Subramanian, L. (2007). Packet loss characterization in WiFi-based long distance networks. *IEEE INFOCOM 2007-26th IEEE International Conference on Computer Communications*, 312–320. https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/4215626/