

## MPLS ქსელში მონაცემთა ნაკადის ავტომატური მართვის მოდელი

ვახტანგი აბულაძე, ჯანიკო ხუნწარია, ირაკლი ჯორჯაძე, გიორგი გიორგაძე  
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

### რეზიუმე

განხილულია მრავალპროტოკოლიანი ნიშნულების მიხედვით კომპუტირებადი (MPLS-Multiprotocol Label Switching) ქსელის არქიტექტურა, მონაცემთა მართვის ინჟინერიის (Traffic Engineering) და ვირტუალური მარშრუტიზაცია-გადამისამართების (VRF-Virtual-Routing/Forwarding) საკითხები. ქსელის უწყვეტი და ხარისხიანი მუშაობისთვის საჭიროა ქსელის მონიტორინგი და ინციდენტების დროს კონფიგურაციის მისიერი შეცვლა, რათა თავიდან იქნეს აცილებული ის შედეგები, რაც შეიძლება მოყვეს ქსელში დაფიქსირებულ პრობლემებს. ამისათვის გაჩნდა ისეთი სისტემის დანერგვის აუცილებლობა, რომელიც საჭირო დროს ქსელში შეასრულებს გარკვეულ მანიპულაციებს და ქსელურ მოწყობილობებზე საჭიროებისამებრ შეცვლის კონფიგურაციებს. შედეგად ქსელში წარმოქმნილი პრობლემა უმოკლეს ვადებში აღმოიფხვრება ავტომატურად. წარმოდგენილია დამუშავებული მოდელის ამსახველი სტრუქტურული და ლოგიკური სქემები და ნაჩვენებია მათი განხორციელების ტექნიკა.

**საკვანძო სიტყვები:** MPLS. მონაცემთა ნაკადის ინჟინერია. VRF. ავტომატიზაცია.

### 1. შესავალი

ინტერნეტმა თანამედროვე კომუნიკაციების ეპოქაში საოცარი ცვლილებები მოიტანა. მულტიმედიური აპლიკაციების მოთხოვნამ გაზარდა მონაცემთა გადაცემის სიხშირე და მოთხოვნები სიჩქარისადმი. აპლიკაციებისთვის საუკეთესო ხარისხის სერვისის მიწოდება მრავალ პრობლემასთან აღმოჩნდა დაკავშირებული. მრავალპროტოკოლიანი კომუტაცია ნიშნულების მიხედვით (MPLS-Multiprotocol Label Switching) მოქნილი ტექნოლოგიაა, რომელიც უზრუნველყოფს უსაფრთხოებას, პაკეტების დაგვიანების მინიმიზაციასა და მონაცემთა გადაცემას მაღალი სიჩქარით.

MPLS ქსელები სტანდარტული მარშრუტიზაციის ნაცვლად იყენებენ კომუტაციის მეთოდს. MPLS არ ცვლის არსებულ IP ქსელებს, მაგრამ გვთავაზობს მომსახურების უკეთეს ხარისხს და შესაფერის გარემოს ნაკადის მართვისთვის. MPLS-ის ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი ფუნქცია ნაკადების ინჟინერინგია (TE - Traffic Engineering). ეს ფუნქცია ქსელური დატვირთვის მინიმიზაციისთვის, რესურსების რეზერვაციისათვის, ბალანსისა და მართვისთვის მნიშვნელოვან როლს ასრულებს. ქსელის მუშაობის ეფექტურობის შეფასება ხდება ქსელის გარკვეული პარამეტრების გათვალისწინებით, რომელთაგან ძირითადია დაყოვნება, პაკეტებს შორის დაყოვნების ცვალებადობა (Jitter) და პაკეტების კარგვის სიხშირე (Packet Loss). MPLS-TE ქსელთან მომსახურების ხარისხის (QoS-Quality of Service) ინტეგრაციით შესაძლებელია ქსელის ეფექტურობის გაუმჯობესება.

MPLS-TE-ს საშუალებით განისაზღვრება მონაცემების უსაფრთხო და ხარისხიანი მარშრუტიზაცია. ქსელში ტრაფიკის დიდი მოცულობა და ისეთი მოულოდნელი ინციდენტები, როგორებიცაა ფიზიკური შეერთების გათიშვა, ქსელური შეტევები და

განაწილებული შეტევა მომსახურების დაბლოკვის მიზნით (DdoS-distributed denial-of-service attack) იწვევს მონაცემთა გადაცემის არხებში ტრაფიკის კრიტიკულ დონემდე მატებას და ხშირად არხის გამტარუნარიანობის ლიმიტის შევსებას. გარდა ამისა, მარშრუტიზატორის, კომუტატორის ან ცალკეული აპარატურული პრობლემის დროს ქსელში საჭიროა მონაცემთა ნაკადის მართვა.

ასეთ დროს უნდა მოხდეს მარშრუტიზაციის კონფიგურაციის მყისიერი ცვლილება. ქსელის სპეციალისტის ჩართულობის შემთხვევაში ეს პროცესი მოითხოვს დიდ დროს, გარდა ამისა, იზრდება მექანიკური შეცდომების ალბათობა. MPLS-TE-ს არ აქვს საშუალება დინამიურად აირჩიოს სასურველი პრიორიტეტული მონაცემებისთვის უსაფრთხო (დაუტვირთავი) მარშრუტები. ამისათვის საჭიროა MPLS-TE-ს ავტომატიზაციის სისტემა, რომელიც პრობლემის შემთხვევაში მოწყობილობების კონფიგურაციის ცვლილებას მოახდენს ავტომატურად რეალურ დროში და ქსელში პრობლემის აღმოფხვრის შემდგომ მას საწყის მდგომარეობაში დააბრუნებს.

MPLS-ტექნოლოგიით შესაძლებელია ისეთი პრობლემების გადალახვა, როგორცაა დიდი დაყოვნებები და პაკეტების კარგვა, რაც ხშირია ტრადიციულ IP ქსელებში. MPLS ტექნოლოგიაა, რომელიც ძირითადად გამოიყენება სერვის-პროვაიდერების მიერ რეალურ დროში გადაცემული ხმოვანი და ვიდეო სერვისების გაუმჯობესებული ხარისხით მისაწოდებლად და იგი შეიძლება ჩაითვალოს როგორც ხმის და ვიდეო კომუნიკაციის იდეალური საშუალება.

კომუნიკაციასთან დაკავშირებული პრობლემური საკითხების გადაწყვეტა შესაძლებელია მონაცემთა მართვის ინჟინერინგის (TE-Traffic Engineering) ტექნოლოგიით, რომელიც ინსტრუმენტების კომპლექტი და ტექნიკაა ქსელური მონაცემების სრულყოფილად სამართავად [1].

## 2. MPLS-ის არქიტექტურა

ტრადიციულ IP ტექნოლოგიაში გადაწყვეტილება მარშრუტიზატორის გადამისამართების შესახებ ეფუძნება პაკეტის სათაურის შესწავლას და მარშრუტიზაციის ალგორითმის მუშაობის პრინციპს. ჩვეულებრივ შემთხვევაში, როდესაც მარშრუტიზატორში შედის პაკეტი, მაშინ მან უნდა განსაზღვროს პაკეტის მიმართულება. MPLS-ქსელში პაკეტებს ენიჭება გადამისამართების ექვივალენტობის კლასი (FEC) ნიშნულის სახით, რომელიც გამოიყენება ყველა კვანძზე გადამისამართებისთვის IP თავსართის გადამოწმების გარეშე. ყველა მარშრუტიზატორს აქვს FEC ცხრილი. MPLS მოქმედებს OSI მოდელის მონაცემთა და ქსელის დონეებს შორის. ამიტომ მას 2.5 დონის ოქმს უწოდებენ.

MPLS მრავალპროტოკოლიანი მაღალი წარმადობის WAN ტექნოლოგიაა, რომელიც აგზავნის მონაცემებს ერთი მარშრუტიზატორიდან მეორეში მოკლე გზის ნიშნულების საფუძველზე და არა IP ქსელის მისამართებით. MPLS-ს აქვს რამდენიმე განმსაზღვრელი მახასიათებელი. ის მრავალპროტოკოლიანია, რაც იმას ნიშნავს, რომ მას აქვს ნებისმიერი „ტვირთის“ გადატანის უნარი IPv4, IPv6, Ethernet, ATM, DSL, და Frame Relay ტრაფიკის ჩათვლით. მონაცემთა გადაცემის დროს გამოიყენება ნიშნულები, რისი საშუალებითაც მარშრუტიზატორი იღებს გადამისამართების გადაწყვეტილებას. ნიშნულებით კომუტაცია ნიშნავს იმას, რომ ქსელში გადაცემული პაკეტები აღარაა არც IPv4, არც IPv6 პაკეტები და

არც მეორე შრის კადრი, არამედ ისინი მონიშნული პაკეტებით გადაცემის ტექნოლოგიაა. ერთი MPLS ნიშნული 32-ბიტის ველია კონკრეტული სტრუქტურით.

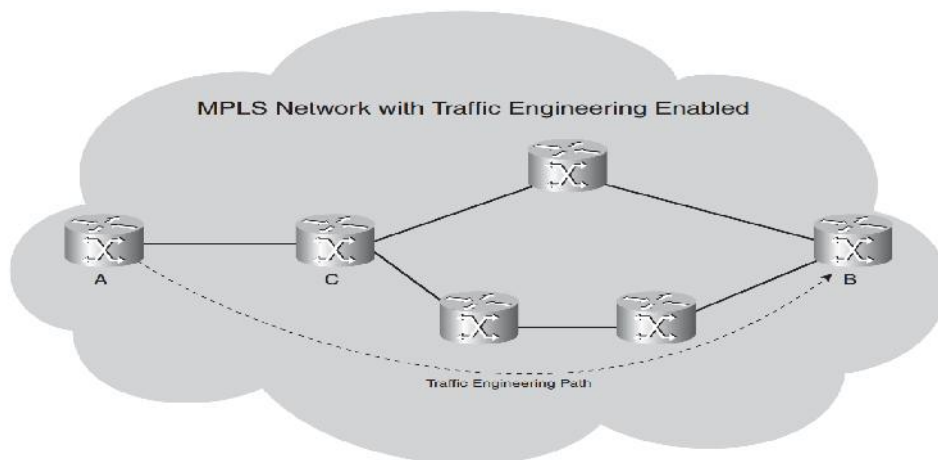
MPLS მარშრუტიზატორებს შესაძლებელია დასჭირდეთ ერთზე მეტი ნიშნული, რაც მიიღწევა ნიშნულების შეფუთვით დასტაში. დასტაში პირველ ნიშნულს ეწოდება ზედა (top label), ხოლო უკანასკნელს - ქვედა ნიშნული (bottom label). მათ შორის შესაძლებელია ნებისმიერი რაოდენობის ნიშნულების არსებობა.

MPLS არაა OSI მოდელის მეორე შრის პროტოკოლი (Layer 2), რადგან მეორე შრის ენკაპსულაცია წარმოდგენილია მარკირებულ პაკეტთან ერთად. MPLS ასევე არაა მესამე შრის (Layer 3) პროტოკოლი, ვინაიდან ეს უკანასკნელი წარმოდგენილია პაკეტში ნიშნულებთან ერთად. ყველაზე მარტივია MPLS-ის განხილვა 2.5 შრის პროტოკოლის სახით. ქსელში MPLS-ის დანერგვის უპირატესობებია: ერთიანი ქსელის ინფრასტრუქტურის გამოყენება; ქსელის ბირთვის მუშაობა BGP პროტოკოლის გამოყენების გარეშე; MPLS VPN-ტექნოლოგიის ერთრანგიანი მოდელი არსებობა; ტრაფიკის ოპტიმალური გადაადგილების შესაძლებლობა [2].

### 2.1. ტრაფიკის ინჟინერია (TE)

ტრაფიკის ინჟინერიის ძირითადი იდეაა ქსელის ინფრასტრუქტურის ოპტიმალურად გამოყენება მონაცემთა გადაცემის სრულად დაუტვირთავი არხების ჩათვლით. ეს იმას ნიშნავს, რომ ტრაფიკის ინჟინერია ქსელში ტრაფიკის ისეთი მარშრუტით მოძრაობის შესაძლებლობას იძლევა, რომელიც IP მარშრუტიზაციის მიხედვით ყველაზე ნაკლებად ღირებულია, ანუ იმ მარშრუტით, რომელიც დინამიკური შიგა მარშრუტიზაციის პროტოკოლის გამოთვლების მიხედვით ყველაზე ნაკლებადაა პრიორიტეტული.

MPLS ქსელში ტრაფიკის ინჟინერია იძლევა A წერტილიდან B წერტილამდე ტრაფიკის სასურველი გზით მოძრაობის საშუალებას, ანუ გარკვეულმა ტრაფიკმა შეიძლება იმოძრაოს ნაკლებად დატვირთული ან საერთოდ დაუტვირთავი მაგისტრალით, რაც ქსელის ადმინისტრატორს აძლევს ქსელის არსებული რესურსების ოპტიმალურად გამოყენების შესაძლებლობას. 1-ელ ნახაზზე მოცემულია მარშრუტი A - დან B მარშრუტიზატორამდე.



ნახ.1. MPLS ქსელი გამართული ტრაფიკის ინჟინერით

აღნიშნული ქსელი მხოლოდ IP ქსელი რომ იყოს, მაშინ A მარშრუტიზატორზე განხორციელებული ვერანაირი ცვლილებით ვერ ვაძულებთ C მარშრუტიზატორს განახორციელოს 1-ელ ნახაზზე მოცემული მარშრუტით ტრაფიკის გაგზავნა, რადგან C მარშრუტიზატორი მხოლოდ თავად წყვეტს, თუ რომელი გზა აირჩიოს. MPLS-TE-ს შემთხვევაში კი იქმნება იმის შესაძლებლობა, რომ A მარშრუტიზატორმა B მარშრუტიზატორის მიმართულებით აირჩიოს სურათზე ნაჩვენები გზა.

MPLS-TE აძულებს C მარშრუტიზატორს, რომ A და B მარშრუტიზატორებს შორის ტრაფიკი ატაროს ქვედა, ნაკლებად პრიორიტეტული გზით. ეს სრულდება MPLS ნიშნულებით გადამისამართების მექანიზმის მეშვეობით. ტრაფიკის ინჟინერიის გზის საწყისი მარშრუტიზატორი (მოცემულ შემთხვევაში A) არის მარშრუტიზატორი, რომელიც უთითებს სრულ გზას, რა გზითაც ტრაფიკმა უნდა იაროს MPLS ქსელში.

ხშირად ტრაფიკის ინჟინერიას ასევე მოიხსენიებენ როგორც Source-based Routing-ს, რადგანაც საწყისი მარშრუტიზატორი განსაზღვრავს სრულ გზას. მონიშვნა, რომელიც პაკეტს უკეთდება საწყისი მარშრუტიზატორის მიერ, განსაზღვრავს სრულ გზას დანიშნულების მისამართამდე და ვერცერთი შუამავალი მარშრუტიზატორი ვერ შეძლებს რომელიმე სხვა გზით ტრაფიკის გაგზავნას [3].

## 2.2. MPLS-VPN სერვისი

MPLS-VPN სერვისით მომხმარებლის მარშრუტიზატორი, რომელსაც მომხმარებლის მოსაზღვრე მარშრუტიზატორსაც (Customer edge – CE) უწოდებენ, IP შრეზე ამყარებს კავშირს სერვის პროვაიდერის მინიმუმ ერთ მარშრუტიზატორთან, რომელსაც პროვაიდერის მოსაზღვრე მარშრუტიზატორს (Provider edge – PE) უწოდებენ.

MPLS-VPN ქსელში მონაცემების კონფიდენციალურობა მიიღწევა ვირტუალური მარშრუტიზაციის, გადამისამართებისა (VRF-Virtual Routing/Forwarding) და ქსელში მონაცემების გადაცემით მონიშნული პაკეტების სახით.

VRF უზრუნველყოფს სხვადასხვა კლიენტების მარშრუტიზაციის შესახებ ინფორმაციის განცალკევებას, ხოლო MPLS - ქსელში პაკეტების გადაცემას ნიშნულებით და არა IP თავსართში არსებული ინფორმაციით. მომხმარებლის დამატების შემთხვევაში საკმარისია PE მარშრუტიზატორზე მხოლოდ CE მარშრუტიზატორთან კავშირის დამატება, რაც მარტივი და მოსახერხებელია.

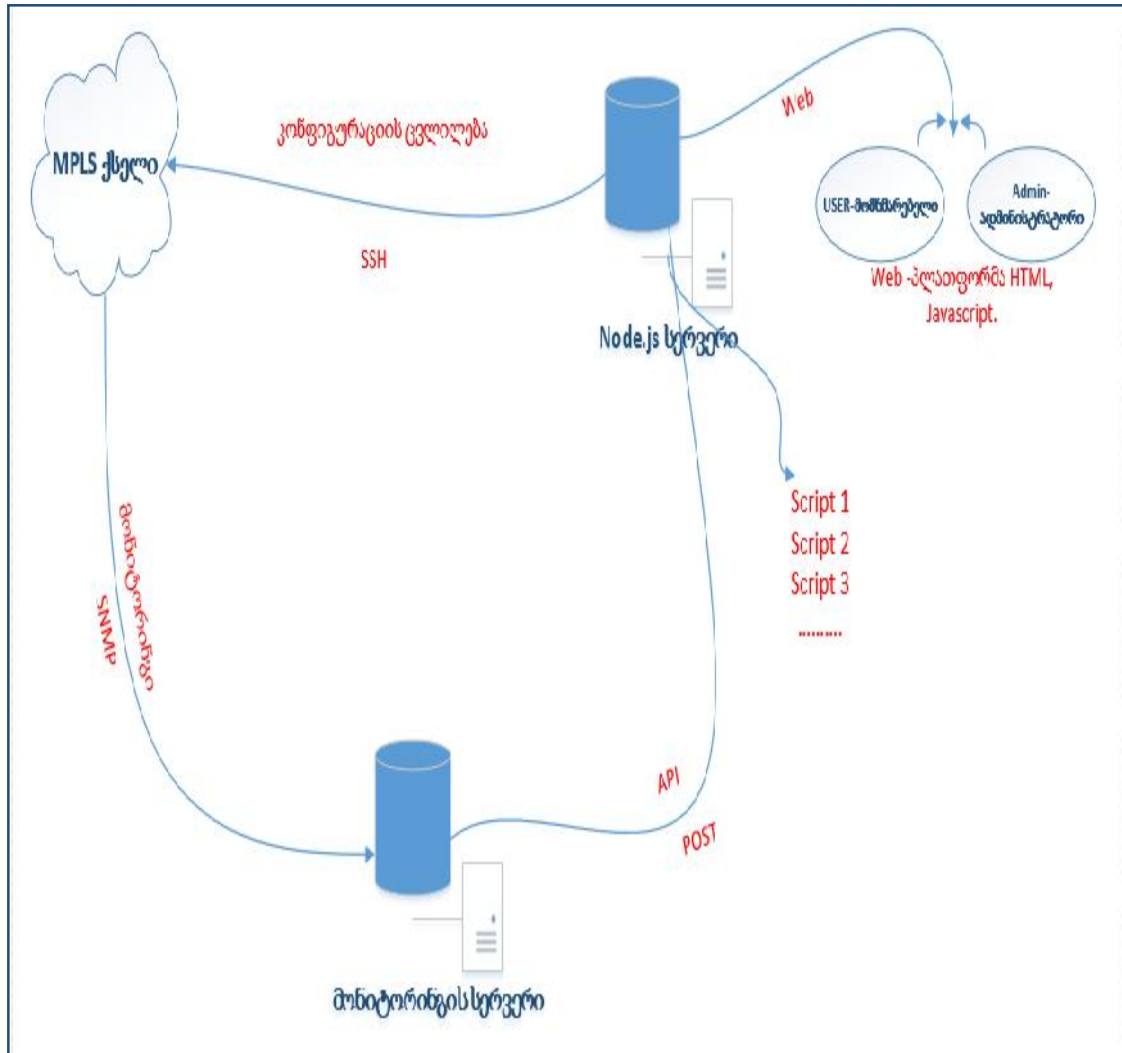
იმის გამო, რომ ATM-ისა ან Frame Relay-ის კომპუტატორები სრულიად მეორე შრის (Layer 2) მოწყობილობებია, ამიტომ ამ პროტოკოლებით ერთმანეთთან დაკავშირებულ მარშრუტიზატორებთან კავშირისთვის საჭიროა ვირტუალური წრედები (Virtual Circuits). მარშრუტიზატორებისთვის ერთმანეთთან პირდაპირ ტრაფიკის გაგზავნის დროს საჭიროა ცალკე ვირტუალური წრის შექმნა მხოლოდ მათ შორის. ყველა სამომხმარებლო მოწყობილობის ერთმანეთთან პირდაპირი კავშირის საჭიროების შემთხვევაში აუცილებელი ხდება ე. წ. full mesh ტოპოლოგიის შექმნა ვირტუალური წრეებით, რაც მოუხერხებელი და ძვირია. MPLS-VPN-ის შემთხვევაში კი ტრაფიკი შესაბამის CE მარშრუტიზატორებს შორის იმოდრავებს ოპტიმალურად პირდაპირ [4].

### 3. MPLS ქსელის მონიტორინგისა და ავტომატიზაციის სტრუქტურის ლოგიკური სქემა

როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, ქსელის უწყვეტი და ხარისხიანი მუშაობისთვის საჭიროა ქსელის მონიტორინგი და გარკვეული ინციდენტების დროს კონფიგურაციის ცვლილება დაუფონებლივ, რათა თავიდან იქნეს არიდებული ქსელში დაფიქსირებული ხარვეზებით გამოწვეული შედეგები.

ამისათვის გაჩნდა ქსელში პროგრამული უზრუნველყოფის დანერგვის აუცილებლობა, რომელიც საჭირო დროს შეასრულებს შესაბამის მანიპულაციებს.

მე-2 ნახაზზე მოცემულია ინციდენტების მონიტორინგის პროგრამის ლოგიკური სქემა, რომელიც ურთიერთქმედებაშია ქსელთან და მონიტორინგის სისტემასთან. სისტემას ვუწოდოთ MPLS ქსელის ავტომატური კონფიგურაციის სისტემა (MPLS Network Auto Configuration System), შემოკლებით MPNAS.



ნახ.2. ინციდენტების მონიტორინგის პროგრამის ლოგიკური სქემა

მონიტორინგის სისტემა ქსელში მომხდარი ინციდენტის (უტილიზაცია, პროცესორის მაღალი დატვირთვა, ქსელური მოწყობილობის გათიშვა და სხვა) დაფიქსირების შემდგომ node.js პლატფორმაზე გამართულ MPNAS-ს უგზავნის HTTP-POST/GET შეტყობინებას. შეტყობინების შინაარსიდან გამომდინარე, MPNAS პროგრამა SSH პროტოკოლის საშუალებით მოახდენს მარშრუტიზატორის კონფიგურაციის გადამოწმებას და კონფიგურაციის საჭირო ცვლილებას. ბოლო ეტაპზე ცვლილების ისტორია შეინახება Mysql მონაცემთა ბაზაში შემდგომი ანალიზებისთვის. MPNAS სერვერს ექნება web-ზე დაფუძნებული მომხმარებლისა და ადმინისტრატორის გარემო.

მომხმარებლის User-გარემოში შესაძლებელი იქნება მონაცემთა ბაზაში დაფიქსირებული კონფიგურაციის ცვლილებებისა და შესრულებული ქმედებების შემოწმება და სტატისტიკების მოძიება. ადმინისტრატორის გარემოდან შესაძლებელი უნდა იყოს ქსელის ელემენტების საჭირო კონფიგურაციის სცენარებისა და პარამეტრების ცვლილების განხორციელება. მაგალითად, მარშრუტიზატორის დამატება ან მარშრუტიზატორის IP-ის ცვლილება, ან ექსპლოატაციიდან ამოღება, ან მონაცემთა გადაცემის არხის დამატება / მოხსნა, ან გვირაბის შექმნა და წაშლის ოპერაციები.

პროგრამის ლოგიკური კავშირები შესაძლოა დავეოთ შემდეგნაირად:

- 1) მონიტორინგის სერვერიდან [GET-POST]-მეთოდით შეტყობინებების მიღება node.js-ზე. შედეგი: Web სერვერი იღებს შეტყობინებას ქსელურ ინციდენტებზე;
- 2) node.js-დან SSH პროტოკოლის საშუალებით მარშრუტიზატორების მართვა და ცვლილებების ისტორიის ბაზაში დაფიქსირება, რა დროსაც SSH -კლიენტი აგზავნის შეტყობინებებს და აბრუნებს შედეგებს. MySQL-მონაცემთა ბაზაში ინახება ისტორიები;
- 3) node.js-ზე web სერვერის გამართვა და მომხმარებლის და ადმინისტრატორის პანელების შექმნა;
- 4) მომხმარებლის გარემო WEB: JavaScript; HTML, რაც იძლევა შესრულებული ქმედებებისა და სტატისტიკის შემოწმების საშუალებას;
- 5) ადმინისტრატორის გარემო WEB: JavaScript; HTML, რაც იძლევა კონფიგურაციის სცენარებისა და ქსელის კომპონენტების პარამეტრების ცვლილების საშუალებას.

#### 4. დასკვნა

თანამედროვე სატელეკომუნიკაციო პროვაიდერების ქსელები კომპლექსურია და მომხმარებლებს მრავალფეროვან სერვისებს სთავაზობს, რომელთა უზრუნველსაყოფად პროვაიდერის ქსელში გამოყენებულია სხვადასხვა ტექნოლოგიები და პროტოკოლები.

გამოცდილება გვიჩვენებს, რომ სერვის-პროვაიდერის ქსელში ტრაფიკის ოპტიმალური მარშრუტიზაცია მრავალ პრობლემასთანაა დაკავშირებული, რადგან პროვაიდერებს მაღალი გამტარობის მონაცემთა გადაცემის არხები აქვთ და ამ არხების ტევადობის გაზრდა ან მათი რაოდენობის დამატება დიდ ფინანსებთანაა დაკავშირებული. ამიტომ პროვაიდერები იძულებულნი არიან მაქსიმალურად გამოიყენონ თავიანთ ქსელში არსებული რესურსები, რაც ვერ ხერხდება სტანდარტული შიდა მარშრუტიზაციის პროტოკოლების გამოყენებით. სწორედ ამ დროს სპეციალისტები

მიმართავენ ტრაფიკის ინჟინერიას (MPLS-TE), რის გარეშეც თითქმის გამორიცხულია სერვის-პროვაიდერის ინტერნეტ-ქსელის ფუნქციონირება.

თუმცა MPLS-TE-ს გამოყენების შემთხვევაში ქსელი არ არის დაზღვეული გარკვეული სახის პრობლემებისგან (კონკრეტულ კვანძებს შორის მონაცემთა გადაცემის არხის ტრაფიკის გადატვირთვა და კონკრეტული კვანძის აპარატურული პრობლემები). ამიტომ საჭიროა მყისიერი ცვლილებები კონფიგურაციაში, რაც მოითხოვს სპეციალისტის ჩართულობას. ნაშრომში წარმოდგენილია IP-MPLS ქსელში ინციდენტების მონიტორინგის პროგრამის ლოგიკური სქემა.

#### **ლიტერატურა - References – Литература:**

1. Sturt R., Scarpati J. (2018). Multiprotocol Label Switching (MPLS). <https://searchnetworking.techtarget.com/definition/Multiprotocol-Label-Switching-MPLS>
2. Smith St. (2003). Introduction to MPLS. Technical Symposium. Cisco Systems. [https://www.cisco.com/c/dam/global/fr\\_ca/training-events/pdfs/Intro\\_to\\_mpls.pdf](https://www.cisco.com/c/dam/global/fr_ca/training-events/pdfs/Intro_to_mpls.pdf)
3. Awduche D.O. (1990). MPLS and traffic engineering in IP networks. Communications Magazine, IEEE, vol. 37, no.12, pp.42-47
4. Harrell R. (2019). Configuring MPLS and VRF -- Cisco CCIP MPLS certification: Lesson 6. <https://searchnetworking.techtarget.com/tip/Configuring-MPLS-and-VRF-Cisco-CCIP-MPLS-certification-Lesson-6>

## **AUTOMATION MODEL OF DATA FLOW MANAGEMENT IN MPLS NETWORK**

Abuladze Vakhtang, Khuntsaria Janiko, Jorjadze Irakli, Giorgadze Giorgi

### **Summary**

The article discusses Multiprotocol Label Switching network architecture, Traffic Engineering and Virtual Routing / Forwarding. Network monitoring is necessary for its continuity and high performance. during the network incident the Instant Configuration changes is critical to avoid the consequences that can be caused by the network's problems. Therefore it is necessary to develop the system that will handle the manipulation in the network at the time necessary to change the configurations on the network devices, and the problem will automatically be corrected in the network in the shortest possible time. The structural and logical scheme of the model is presented, also the technique of its implementation.

## **МОДЕЛЬ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПОТОКОМ ДАНЫХ В СЕТИ MPLS**

Абуладзе В., Хунцария Дж., Джорджадзе И., Гиоргадзе Г.

### **Резюме**

Обсуждается архитектура сети с многопротокольной коммутацией по меткам, проектированием трафика и виртуальной маршрутизацией / пересылкой. Сетевой мониторинг необходим для его непрерывности и высокой производительности. Во время сетевого инцидента мгновенные изменения конфигурации имеют решающее значение, чтобы избежать последствий, которые могут быть вызваны сетевыми проблемами. Следовательно, необходимо разработать систему, которая будет обрабатывать сетевые манипуляции во время, необходимое для изменения конфигурации сетевых устройств, и проблема в короткое время автоматически будет устранена в сети. Представлена структурно-логическая схема модели, а также метод ее реализации.