

## ოპტიკური სატრანსპორტო ქსელის აგების ზოგიერთი ასპექტი

კახა ხოშტარია, იური მოდებაძე, ლევან კახელი  
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

### რეზიუმე

ტელეკომუნიკაციის განვითარების თანამედროვე ეტაპი ხასიათდება პაკეტურ კომუტაციაზე დაფუძნებული, ახალი ტიპის, ე.წ., NGN ქსელის კონცეფციის შექმნით, რომელშიც ტრანსპორტირებისა და სერვისის მიწოდების ფუნქციები განცალკევებულია ერთმანეთისაგან. სტატიაში ასეთი ტიპის ქსელებისათვის გათვალისწინებული მულტისერვისული სატრანსპორტო პლატფორმის განხილვისა და საქართველოს ტელეკომუნიკაციის სივრცეში გავრცელებული სატრანსპორტო ტექნოლოგიების გათვალისწინებით, ნაჩვენებია, რომ გარდამავალ ეტაპზე, პაკეტური და TDM ტექნოლოგიების თანაარსებობის პირობებში მიზანშეწონილია, სატრანსპორტო მოდელის (Ethernet/SDH/OTN) გამოყენება, თუ Ethernet ტრაფიკის სიჩქარე არ აღემატება 1 გბტ/წმ; ხოლო თუ სიჩქარე არის 10 გბტ/წმ, ან მეტი, მაშინ – (Ethernet/OTN). რაც განპირობებულია იმით, რომ გამოყენებული სინქრონული სატრანსპორტო მოდელის მაქსიმალური ტევადობა არის STM-64, (10გბტ/წმ), ხოლო ერთი გბტ/წმ სიჩქარის Ethernet ნაკადის განთავსებისათვის საჭიროა VCTn სტრუქტურა, რომელშიც უნდა გაერთიანდეს 7VC4.

**საკვანძო სიტყვები:** ტელეკომუნიკაცია; ოპტიკური, სატრანსპორტო ქსელები, SDH, DWDM, Ethernet ტექნოლოგიები.

### 1. შესავალი

ოცდამეერთე საუკუნის პირველი ათწლეული ხასიათდება ტელეკომუნიკაციის სისტემების განვითარების არნახული ტემპებით, რამაც გამოიწვია ახალი ტიპის, პაკეტურ კომუტაციაზე დაფუძნებული, ე.წ., NGN (Next Generation Network) ქსელის კონცეფციის ჩამოყალიბება, სადაც ტრანსპორტირებისა და სერვისის მიწოდების ფუნქციები განცალკევებულია ერთმანეთისაგან [1].

ამის გამო, საჭირო გახდა მოქნილი, საიმედო, მულტისერვისული სატრანსპორტო პლატფორმის შექმნა სხვადასხვა სატრანსპორტო ტექნოლოგიის (SDH, ATM, OTN, Ethernet (EoT), T-MPLS, და ა.შ.) ერთი საერთო ბაზისის საფუძველზე გასაერთიანებლად. მართლაც, NGN კონცეფცია, გარკვეულწილად, გულისხმობს მრავალდონიანი სატრანსპორტო ქსელების დონეების შემცირებას ორ ძირითად დონედ: IP over DWDM (dense wavelength division multiplexing). სწორედ მას თვლიან ოპტიკური ქსელების პერსპექტიულ ტექნოლოგიად. ერთი შეხედვით, ინტერნეტ ტრაფიკის ინტენსიური ზრდა პირდაპირ მიუთითებს IP ტექნოლოგიის განსაკუთრებულ როლზე, რის გამოც სწორედ ამისთვისაა საჭირო ქსელური ინფრასტრუქტურის ოპტიმიზება. ამისათვის კი საჭიროა სერვისისა და სატრანსპორტო დონეების გამაერთიანებელი ტექნოლოგია (უჯრედი) და სრულად ოპტიკური მარშრუტიზატორის შექმნა, რაც ჯერ ვერ ხერხდება. აქ აღნიშნული უჯრედის როლში მოიაზრება MPLS (Multiprotocol Label Switching), უფრო სწორად, მისი სატრანსპორტო ნაირსახეობები (T – MPLS და GMPLS).

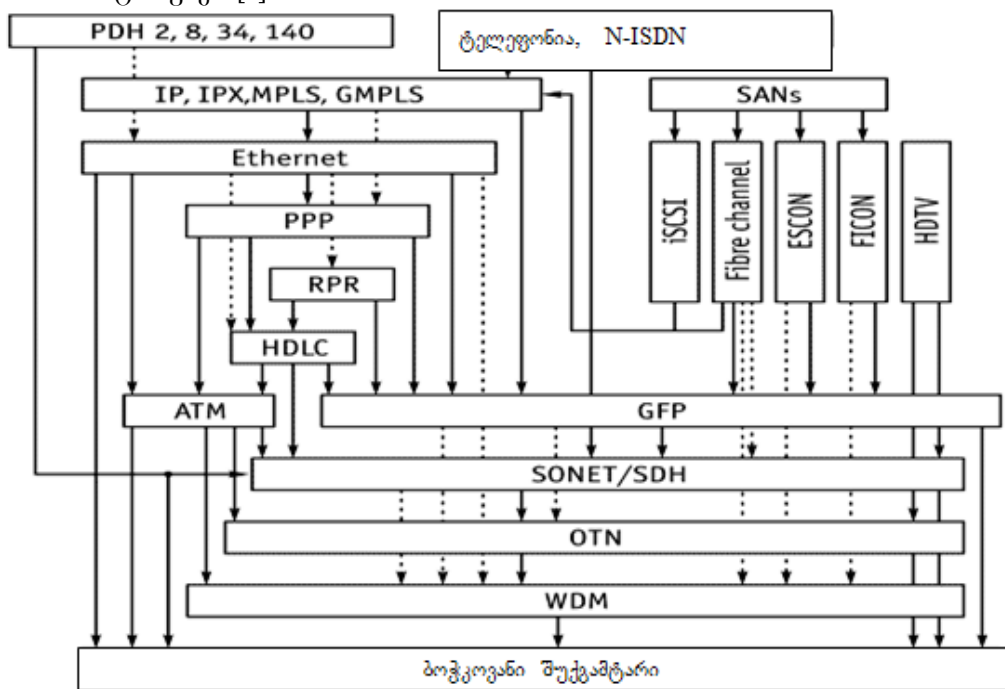
მთლიანად პაკეტურ ქსელებზე გადასვლამდე, გამოიყენება როგორც პაკეტური, ისე TDM ტექნოლოგიები და ამიტომ მიზანშეწონილად მიგვაჩნია, მათი საერთო სატრანსპორტო ბაზისის განხილვა. მითუმეტეს, რომ საქართველოში ძალზე გავრცელებულია SDH ქსელები, რომლებიც ჯერჯერობით, წარმოადგენენ, ძირითად სატრანსპორტო საშუალებას.

### 2. ძირითადი ნაწილი

SDH ტექნოლოგიის ფართოდ გავრცელება გამოწვეულია მისი მაღალი საიმედოობით, მართვის დახვეწილი საშუალებებით, სხვადასხვა ტიპის ტრაფიკის გადაცემის შესაძლებლობებით, რომელიც დღეისათვის უზრუნველყოფს 40 გბტ/წმ (STM-256) გადაცემის მაქსიმალურ სიჩქარეს. საქართველოში ძირითადად გამოყენებულია STM-4 (622 მგბტ/წმ) და STM-16 (2,5 გბტ/წმ) სისტემები. ინფორმაციულ ნაკადებზე მზარდი მოთხოვნების დასაკმაყოფილებლად საჭირო გახდა DWDM სისტემების დანერგვა, რომელიც მკვეთრად ზრდის გამოყენებული ოპტიკური ბოჭკოს გამტარუნარიანობას. ზემოთ ჩამოთვლილი სატრანსპორტო ქსელებიდან უნდა გამოვყოთ OTN, რომლის შექმნამაც შესაძლებელი გახდა SDH ტექნოლოგიის მოქნილობისა და საიმედოობის შესამება DWDM სისტემებთან. მისი ძირითადი დანიშნულებაა პაკეტური მონაცემებისა და სისტემური ტრაფიკის შეთავსება თითოეული ოპტიკური არხის მონიტორინგსა და მართვასთან. OTN ქსელის სტრუქტურა აღწერილია ITU-T G-709 რეკომენდაციაში; G.709 - Network Node Interface for the Optical Transport Network (OTN). ასევე, იგი ეყრდნობა რეკომენდაციებს: G.798, G.872, G.873.1, G.959.1; G.798–Characteristics of Optical Transport Network Hierarchy Equipment Functional Blocks; G.872–Architecture of Optical Transport Networks (OTN); G.873.1–Optical Transport Network(OTN): Linear protection; G.959.1–Optical parameter values for pre-OTN single channel and multichannel inter-domain

interfaces (OTN physical interfaces). აღნიშნულმა სტანდარტებმა აღჭურვა DWDM ტექნოლოგია ოპერირების, ადმინისტრირებისა და მომსახურების ისეთივე შესაძლებლობებით, როგორც აქვს SDH ტექნოლოგიას. ამან განაპირობა DWDM-ის განსაკუთრებული ადგილი სატრანსპორტო ტექნოლოგიებში, რადგან მას შეუძლია უზრუნველყოს პრაქტიკულად შეუზღუდავი გატარუნარიანობა და იქნეს გამოყენებული ფიზიკურ დონედ ნებისმიერი სახის ტრაფიკის მაღალი ხარისხით გადაცემისათვის. აღნიშნული ტექნოლოგიით შექმნილი კავშირის ხაზის მნიშვნელოვანი თვისებაა, გამჭვირვალება მის მიერ გადატანილი სხვადასხვა ნაკადების მიმართ. ოპტიკური გამჭვირვალება მიიღწევა DWDM-ის ნებისმიერი არხით საწყისი კვანძიდან დამბოლოებელ კვანძამდე სიგნალის გარდასაქმნელად ოპტოელექტრონული (ან პირიქით), მოწყობილობების გამოყენების გარეშე. ასეთი ტიპის ქსელებს დაერქვათ სრულად ოპტიკური მრავალტალღიანი სატრანსპორტო ქსელი AON (All Optical Networks), დაფუძნებული DWDM-ზე, რომელიც წარმოადგენს ოპტიკურ სატრანსპორტო დონეს NGN ქსელებისათვის.

სატრანსპორტო ქსელის დაპროექტებისას, პირველ რიგში, უნდა განისაზღვროს გადასაცემი სერვისის სახეობები. 1-ელ ნახაზზე მოცემულია მულტისერვისული სატრანსპორტო პლატფორმის არქიტექტურა. მოყვანილი სერვისებიდან, ზრდის ტენდენციის მიხედვით, მაგ. საქართველოსთვის, უნდა გამოიყოს Ethernet ტრაფიკი [2].

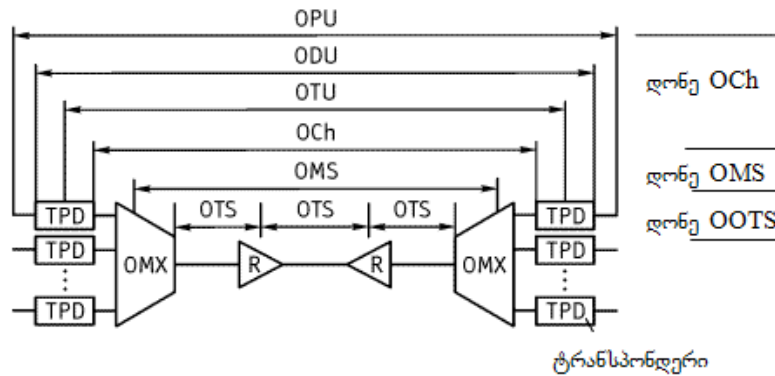


ნახ.1 ოპტიკური მულტისერვისული სატრანსპორტო არქიტექტურა

მულტისერვისული სატრანსპორტო ქსელების დატვირთვის მოდელირებითა და გაანგარიშებით შეიძლება განისაზღვროს ციფრული ტრაქტების ტევადობები, ტალღური არხების, ვირტუალური არხებისა და ტრაქტების რაოდენობა [3]. სატრანსპორტო ქსელები აიგება ITU-T-ს რეკომენდაციებში შემოთავაზებული მოდელების მიხედვით, რომელთაგან ჩვენს შემთხვევაში უმთავრესია მოდელი OTN-OTH (G.872). რადგან სწორედ ის მოიაზრება მულტისერვისული ტრანსპორტირების მთავარ ბაზისად. სატრანსპორტო ქსელი OTN-OTH წარმოდგენილია ორგანიზაციულად დამოუკიდებელი ორი დონით: OTN ქსელის დონე და მომხმარებლის დონე. OTN – ის შექმნამ შესაძლებელი გახადა SDH ტექნოლოგიის საიმედოობისა და მოქნილობის შეთავსება DWDM სისტემების უზარმაზარ გამტარუნარიანობასთან [4].

OTN ქსელის დონე შედგება ფიზიკურად და ლოგიკურად დაკავშირებული სამი ქვედონისაგან (ნახ.2): გარემო, რომლითაც გადაიცემა სიგნალები ტალღის სივრცის მიხედვით განცალკევებით OTS (Optical Transmission Section); OMS (Optical Multiplex Section); OCh (Optical Channel). OTN ქსელის სტრუქტურა აღწერილია ITU-T-ს რეკომენდაციაში G.709, Network Node.

Interface for Optical Transport Network. OTN წარმოადგენს მულტისერვისულ ბაზის თანამედროვე სატელეკომუნიკაციო ქსელებისათვის. მის დადებითი მხარეებია: ქსელის გამჭვირვალება, რომელიც მიიღწევა DWDM ნებისმიერი არხით საწყისი კვანძიდან დანიშნულების კვანძამდე სიგნალის ოპტო-ელექტრონული გარდაქმნის გარეშე; იგი თავსებადია არსებულ ტექნოლოგიებთან; გააჩნია შეცდომების კორექციის (FAC-Forward error correction) მექანიზმი: 3R რეგენერაციის მეთოდი, რაც მნიშვნელოვნად ამცირებს ქსელის ელემენტის ღირებულებას.



ნახ.2 შეერთებები OTN სატრანსპორტო ქსელში

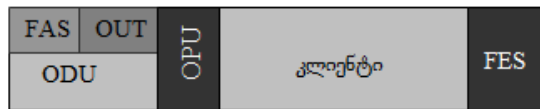
OCh - ოპტიკური არხის შრე უზრუნველყოფს სიგნალის გამჭვირვალე გადაცემას მიუხედავად ამ უკანასკნელის ფორმატისა. OMS ასრულებს სხვადასხვა ტალღის სიგრძის მქონე ოპტიკური სიგნალების მულტიპლექსირებას და გადაცემას ერთი საერთო არხით. OTS პასუხისმგებელია სხვადასხვა ფორმატის სიგნალების იდენტიფიცირებასა და ტრანსპორტირებაზე.

კლიენტის სიგნალის გადაცემა ხდება საფეხურების მიხედვით:

1. პირველ საფეხურზე კლიენტის სიგნალს ემატება თავსართი (OH), რის შემდეგაც იქმნება საკუთარ თავსართიანი ბლოკი—Optical channel payload unit (OPU). იგი უზრუნველყოფს სხვადასხვა ფორმატის ასინქრონულ და სინქრონულ სიგნალების განთავსებას OTN ქსელში.

2. მეორე საფეხურზე ხდება Optical channel data unit (ODU)-ს ფორმირება. მისი თავსართი შედგება მართვის ბაიტებისაგან. იგი პასუხისმგებელია ოპტიკური არხის მონიტორინგზე და შესაბამისი საავარიო სიგნალების გენერირებაზე.

3. მესამე საფეხურზე ODU-ზე შემდგომი თავსართისა და FEC – ის დამატებით მიიღება ოპტიკური არხის სატრანსპორტო ერთეული - OTU (Optical channel Transport Unit). (ნახ.3).



ნახ.3 ოპტიკური არხის სატრანსპორტო ერთეული

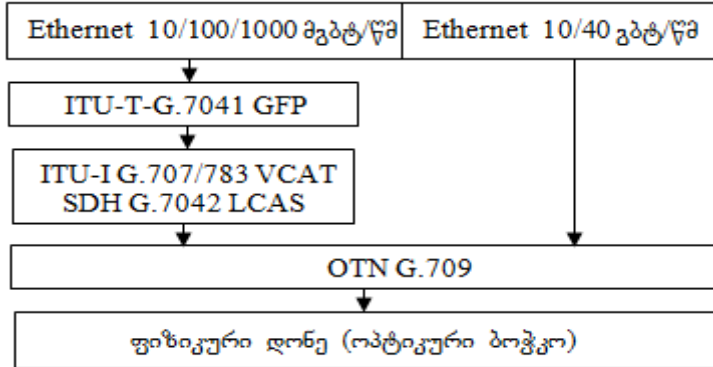
თავსართის შემდგომი დამატება ქმნის „მასკირებულ“ ოპტიკურ არხს (Och)-ს, რომელიც გადაიტანება განსაზღვრული „ფერის“ გადამტანით. სხვადასხვა ოპტიკურ არხებზე თავსართების დამატებით ყალიბდება მულტიპლექსირების (OMS) და გადაცემის (OTS) სექციები, რომლითაც შესაძლებელი ხდება „გაფერადებული“ არხების მართვა სატრანსპორტო ქსელის ფარგლებში. საბოლოოდ ჩამოყალიბებული OCh-ს (ნახ.3) თავსართი, რომელიც უზრუნველყოფს OTN – ის მართვასა და კონტროლს, შედგება ოთხი ქვესტრუქტურისაგან: OPU, ODU, FAS 0 Frame Alignment Signal. ე.ი. წარმოადგენს მარკერს, რომელიც მიუთითებს კადრისადმი მიკუთვნებას. კლიენტი შეიძლება იყოს ნებისმიერი არსებული პროტოკოლი: Sonet, SDH, Ethernet... სტანდარტი G.709 უზრუნველყოფს როგორც სინქრონული, ასევე ასინქრონული „მარკირები“-ს რეჟიმს.

FEC – ის დამატებით ხდება შეცდომების წინმსწრები კორექცია. იგი საშუალებას იძლევა, აღმოვაჩინოთ და გავასწოროთ გადაცემის გარემოს პარამეტრების ფიზიკური გაუარესების გამო გამოწვეული ბიტური შეცდომები, რომლებიც შეიძლება დაიყოს წრფივ (მილევა, ზმაური, დისპერსია) და არაწრფივ (ოთხტალღიანი შერევა, ჯვარედინი ფაზური მოდულაცია) დამახინჯებად. მისი გამოყენება საშუალებას გვაძლევს კავშირის დაგვეკარგავად მივიღოთ შედარებით დაბალი ხარისხის სიგნალი. ამის გამო OTN – ს აქვს სიმძლავრის 5 დბ-იანი მარაგი და სარეგენერაციო უბნის 20 კმ-თი გაზრდის შესაძლებლობა.

ტელეკომუნიკაციის სატრანსპორტო ქსელების განვითარება ხდება სატრანსპორტო ტექნოლოგიებისა და მოდელების ფუნქციური შესაძლებლობების ინტეგრაციის გზით [4]. ამის შედეგად, შეიქმნა უნივერსალური მულტისერვისული პლატფორმა ელექტრონული და ოპტიკური ინტერფეისებით, არხებისა და პაკეტების ელექტრონული და ოპტიკური კომუტაციით.

3. დასკვნა

იმის გათვალისწინებით, რომ IP ტრაფიკის ძირითად გადამტანს პაკეტურ სატრანსპორტო ინფრასტრუქტურაში წარმოადგენს Ethernet-ი, ხოლო საქართველოში ყველაზე გავრცელებულია SDH ქსელები, DWDM სისტემების დანერგვისას, ყველაზე მოსახერხებელ სატრანსპორტო პლატფორმად გვესახება მე-4 ნახაზზე ნაჩვენები მოდელი.



ნახ.4. სატრანსპორტო პლატფორმა

ამრიგად, საქართველოს მასშტაბებით ქსელის შექმნისას, მოსახერხებელია გიგაბიტისანი Ethernet-ის გამოყენება შემდეგი საფეხურებით: Ethernet/SDH/OTN და 10 გბტ-იანი Ethernet – ისათვის, გადასაცემად ოპტიმალურია E o OTN-OTH.

ლიტერატურა:

1. სოშტარია კ., ბურდული ნ., სამუშია დ. ახალი თაობის ქსელების (NGN) სატრანსპორტო პლატფორმის განვითარების ტენდენციები. „მეცნიერება და ტექნოლოგია“, №7-9, 2009.
2. Ethernet Revija 19/2006/2.
3. . . . . - . . . . , 2008.
4. ITU-T Recommendation G.709/Y.1331 (2003), Interfaces for the optical transport network (OTN).

SOME ASPECTS OF THE CONSTRUCTION OF OPTICAL TRANSPORT NETWORKS

Khoshtaria K., Modebadze I., Kaxeli L.  
Georgian Technical University

Summary

The current stage of development of telecommunications is characterized by the creation of a concept based on packet switching network of a new type, NGN, in which the functions of transport and services are separated from each other. In the article, based on the examination, intended for such networks, multiservice platform, and taking into account the spread in Georgia's telecom transport technologies, it is shown that the transition, when coexist packet and TDM technologies, an appropriate use of transport models are-(Ethernet/SDH/OTN) If the speed Ethernet traffic flow does not exceed 1 Gbt/s, and - (Ethernet/OTN), if this rate is equal to or greater than 10 Gbt/s. That is because the maximum use of capacity Synchronous Transport Module –STM 64 (10 Gbt/s), and Ethernet flow rate of 1 G/s is needed VCTN structure consisting of 7 VC4.

NGN, (Ethernet/SDH/OTN), TDM Ethernet 1 / , - (Ethernet/OTN), 10 / . - STM 64 (10 / ), Ethernet 1 / VCTN , 7 VC4