

დროითი და ტალღური მულტიპლექსირების სისტემების (TDM, WDM) შედარება ენერგეტიკული პოტენციალის მიხედვით

მამუკა ჩხაიძე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

რეზიუმე

ნაშრომში წარმოდგენილია თანამედროვე გადაცემის ციფრული ბოჭკოვან-ოპტიკური დროითი მულტიპლექსირების TDM (Time Division Multiplexing) და ტალღური მულტიპლექსირების WDM (Wavelength Division Multiplexing) ტექნოლოგიების შედარებით ანალიზი ენერგეტიკული პოტენციალის (ბიუჯეტის) მიხედვით. ბიუჯეტის თვალსაზრისით ტალღური მულტიპლექსირების სისტემას დროითთან შედარებით უპირატესობა გააჩნია მხოლოდ შედარებით დაბალ სიჩქარეებზე (STM-1, STM-4, შესაბამისად – 0.155, 0.622 გბტ/წმ სიჩქარის საზღვრებში), რაც აისხნება ტალღური მულტიპლექსირების სისტემებში გამოყენებული დამაბოლოებელი და შეყვანა-გამოყვანის მულტიპლექსორ/დემულტიპლექსორების მიერ შეტანილი დამატებითი მილეჯით.

საკვანძო სიტყვები: გადაცემის ციფრული ბოჭკოვან-ოპტიკური სისტემა. ოპტიკური კაბელი. მულტიპლექსორი. დემულტიპლექსორი. დროითი და ტალღური მულტიპლექსირება. ფოტოდიოდი. ენერგეტიკული პოტენციალი.

1. შესავალი

განახორციელოთ თანამედროვე გადაცემის ციფრული ბოჭკოვან-ოპტიკური დროითი მულტიპლექსირების TDM (Time Division Multiplexing) და ტალღური მულტიპლექსირების WDM (Wavelength Division Multiplexing) სისტემების შედარება სისტემის ენერგეტიკული პოტენციალის (ბიუჯეტის) მიხედვით. შედარება მოვახდინოთ [1,2] გამოყენებული მიდგომის შესაბამისად.

p-i-n ფოტოდიოდის მგრძობიარობა (დეტექტირებადი ოპტიკური სიმძლავრის მინიმალური დონე) იანგარიშება ფორმულით [3]:

$$\bar{P}_{p-i-n} = \frac{A_\lambda}{\eta_M} \cdot \sqrt{i^2_{p-i-n}} \quad (1)$$

სადაც, i^2_{p-i-n} - ხმაურის დენის საშუალო კვადრატული მნიშვნელობაა, რომელიც გამოითვლება ფორმულით [4]:

$$i^2_{p-i-n} = 4kT(2\pi C_\Sigma)B^2 \left[\frac{\ln_2}{2K} + \frac{\ln_3(2\pi C_\Sigma)BF_n}{S_m} \right] \quad (2)$$

მაშინ, p-i-n ფოტოდიოდის მგრძობიარობა იქნება:

$$\bar{P}_{p-i-n} = \frac{A_\lambda}{\eta_M} \cdot \sqrt{4kT(2\pi C_\Sigma)B^2 \left[\frac{\ln_2}{2K} + \frac{\ln_3(2\pi C_\Sigma)BF_n}{S_m} \right]} \quad (3)$$

ზეავისეზური ფოტოდიოდის (ზფდ) შემთხვევაში დეტექტირებადი ოპტიკური სიმძლავრის მინიმალური დონე იანგარიშება ფორმულით [3]:

$$\bar{P}_{ზფდ} = \frac{A_\lambda}{\eta_M} \cdot \left[\frac{\sqrt{i^2_{p-i-n}}}{M} + e \cdot Q_{შეც.} \cdot F \cdot \ln_1 \cdot B \right] \quad (4)$$

სადაც, i^2_{p-i-n} (3) ფორმულით არის განსაზღვრული.

გამოვთვალოთ \bar{P}_{p-i-n} და $\bar{P}_{ზფდ}$ მგრძობიარობის მნიშვნელობები შემდეგი მონაცემებით: სინათლის სიჩქარე $c = 299792$ მ/წმ, პლანკის მუდმივა $h = 6.624 \cdot 10^{-34}$ ჯოული/ჰც, ელექტრონის მუხტი $e = 1.602 \cdot 10^{-19}$ კულონი, შეცდომათა ალბათობის პარამეტრი $Q_{შეც.}$, რომელიც დამოკიდებულია შეცდომათა ალბათობის მნიშვნელობაზე გადაცემის ციფრულ ბოჭკოვან-ოპტიკურ სისტემებში (გცბოს) (როცა $P_{შეც.} = 10^{-9}$, $Q_{შეც.} = 6$), ტალღის სიგრძე TDM სისტემისათვის $\lambda = 1.3$ მკმ-ს და $\lambda = 1.55$ მკმ-ს, ხოლო WDM სისტემისათვის (WDM სისტემის მოდიფიკაციაში გამოყენებული სიხშირეების შესაბამისად)

$\lambda = 1528.77 - 1559.19$ ნმ, კოეფიციენტი, რომელიც ფოტოდეტექტორზე დაცემული ფოტონის ენერჯის პროპორციულია $A_\lambda = Q_{\text{ფოტ}} \cdot \left(\frac{h \cdot c}{e \cdot \lambda} \right)$ ვტ/ა, ბოლცმანის მუდმივა $k = 1.38 \cdot 10^{-23}$ ჯოული/კულ, ტემპერატურა $T = 273.15$, ფოტოდოდის წინასწარი გამამდიერებლის და მონტაჟის ჯამური ტევადობა $\Sigma = 0.5$ პფ, ველის ტრანზისტორის ხმაურ-ფაქტორი $F_n = 1.5$, ფოტოდეტექტორის კვანტური ეფექტურობა $\eta_m = 0.8$, პერსონიკის ინტეგრალები $\ln_1 = 0.5$, $\ln_2 = 0.55$, $\ln_3 = 0.085$, ველის ტრანზისტორის დახრილობა $S_m = 40 \cdot 10^{-3}$ სმ, კოეფიციენტი, რომელიც ახასიათებს ფოტომიმდების შესასვლელი წრედის ინტეგრაციის სიღრმეს $K = 20$, ზეავისებური ფოტოდოდის გამრავლების კოეფიციენტი $M = 10$.

2. ძირითადი ნაწილი

დროითი მულტიპლექსირების შემთხვევაში დამაბოლოებელ და სახაზო ტრაქტის საშუალო ტრაქტებში არხების შეყვანა-გამოყვანა (მულტიპლექსირება/დემულტიპლექსირება) ხორციელდება ელექტრონული სახით, რომელთაც მიღება სახაზო ტრაქტში არ შეაქვთ. ტალღური მულტიპლექსირების დამაბოლოებელ მულტიპლექსერებს (MUX - Multiplexer) და დემულტიპლექსერებს (DEMUX - Demultiplexer), აგრეთვე საშუალო ოპტიკურ შეყვანა-გამოყვანის მულტიპლექსერებს (ოშგმ) (OADM - Optical Add-Drop Multiplexer) სახაზო ტრაქტში შეაქვთ დამატებითი მიღება [6], რაც უარყოფითად მოქმედებს სისტემის ენერგეტიკულ პოტენციალზე.

$$\text{სისტემის ენერგეტიკული პოტენციალი: } \Pi = P_{\text{გად.}} - P_{\text{მიდ.}} \quad (5)$$

ანგარიშის დროს მხედველობაში ვიღებთ, რომ მულტიპლექსირების ორივე სისტემის შემთხვევაში ოპტიკური კაბელი სტანდარტიზებულია ITU-T-ს რეკომენდაციების შესაბამისად, ხოლო ტალღური მულტიპლექსირების სისტემა წარმოადგენს WDM მულტიპლექსირების სისტემის ერთ-ერთ სახეობას, მაგალითად CWDM ტალღური მულტიპლექსირების სისტემას.

$$\Pi = P_{\text{გად.}} - P_{\text{მიდ.}} - \alpha_{\text{მულტ/დემულტ.ოშგმ}} \quad (6)$$

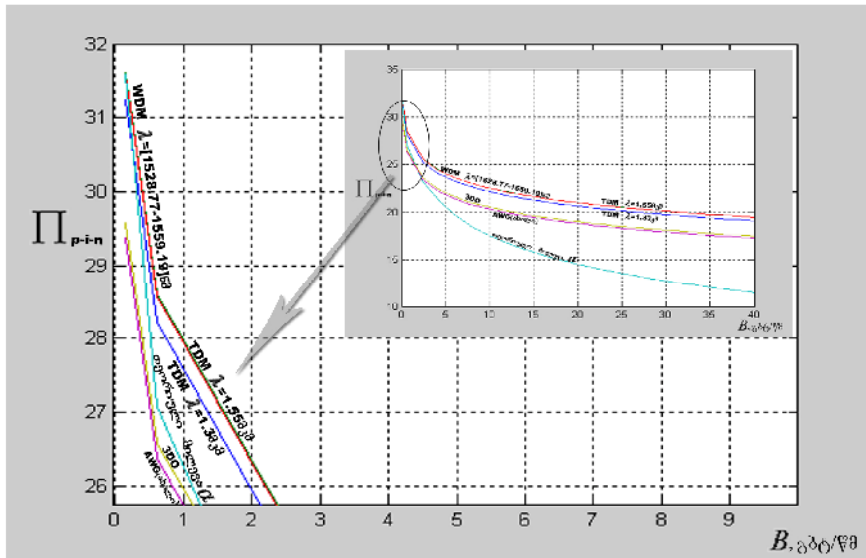
სადაც, $\alpha_{\text{მულტ/დემულტ.ოშგმ}}$ - სახაზო ტრაქტში დამაბოლოებელი მულტიპლექსორ/დემულტიპლექსორების (სახაზო ტრაქტის ორივე მხარეზე) და შეყვანა/გამოყვანის მულტიპლექსორების მიერ შეტანილი დამატებითი მიღებაა. დამაბოლოებელი მულტიპლექსორების მიღების მნიშვნელობა დამოკიდებულია მულტიპლექსორის ტიპზე და გამოყოფილი არხების რაოდენობაზე. სხვადასხვა ტექნოლოგიების მულტიპლექსორების ტიპები და მათ მიერ სახაზო ტრაქტში შეტანილი შესაბამისი მიღებები მოყვანილია 1-ელ ცხრილში [5-10].

სხვადასხვა ტექნოლოგიების მულტიპლექსორების ტიპები და შესაბამისი მიღებები ცხრ.1

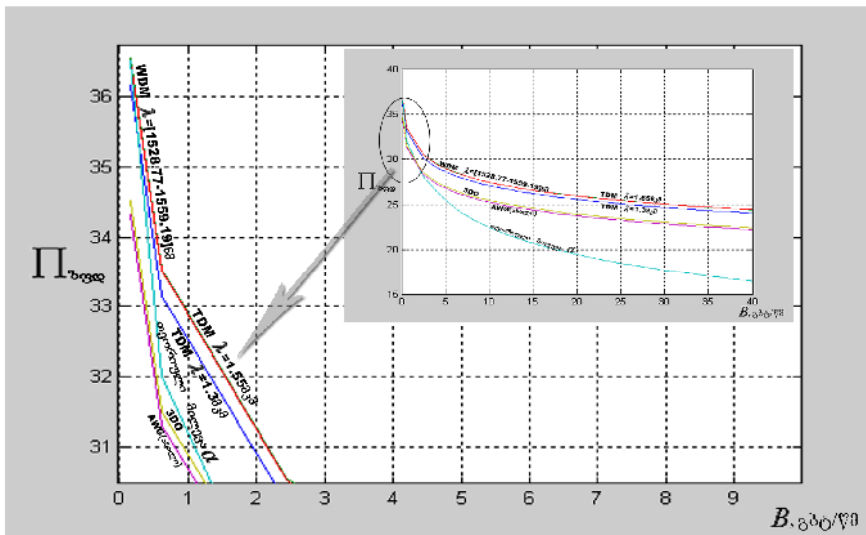
| ტიქნოლოგია | არხების მაქსიმალური რაოდენობა | არხებს შორის ღრმობა, ნმ | ღანაპარბები, ღმ | გადასასვლელი მიღება, ღმ | მბრძობელი -ბა კოლარი-ზაციზა, % | თქმპრატურული კოეფიციენტი, ნმ/ °ჩ |
|------------|-------------------------------|-------------------------|-----------------|-------------------------|--------------------------------|----------------------------------|
| AWG(ძველი) | 32-64 | 0.8-15 | 6-8 | -5 - -29 | 2 | 0.01 |
| AWG(ახალი) | 102-400 | 0.2-0.8 | 2.2-6.4 | -20 - -33 | 0.3 | არაა მოცემული |
| CG | 78 | 1-4 | 10-16 | -7 - -30 | 2-50 | არაა მოცემული |
| 3-DO | 262 | 0.4-250 | 2-6 | -30 - -55 | 0 | არაა მოცემული |

სისტემების პოტენციალი გაანგარიშებულ იქნა გადაცემის ფართო დიაპაზონში (40-100 გტ/წმ). ეს სიჩქარეები თანამედროვე გცბოს-ში ამ ეტაპზე მიღწეულია (STM-64, 40 გტ/წმ; STM-256; 160 გტ/წმ-ექსპერიმენტალური ვარიანტი). წინამდებარე ნაშრომში წარმოდგენილია ანგარიშის შედეგები 10 გტ/წმ ფარგლებში. 1-ელ ნახაზზე მოყვანილია მულტიპლექსირების TDM და WDM სისტემების ენერგეტიკული პოტენციალის (ბიუჯეტის) დამოკიდებულება გადაცემის სიჩქარეზე, p-i-n ფოტოდოდის შემთხვევაში (ანგარიშის დროს შეყვანა/გამოყვანის მულტიპლექსორების მიღება მხედველობაში მიღებული არ არის).

მულტიპლექსირების TDM და WDM სისტემების ენერგეტიკული პოტენციალის (ბიუჯეტის) დამოკიდებულება გადაცემის სიჩქარეზე, ზვავისებური ფოტოდიოდის შემთხვევაში მოყვანილია მე-2 ნახაზზე.



ნახ.1. მულტიპლექსირების TDM და WDM სისტემების ენერგეტიკული პოტენციალის (ბიუჯეტის) დამოკიდებულება გადაცემის სიჩქარეზე p-i-n ფოტოდიოდის შემთხვევაში



ნახ.2. მულტიპლექსირების TDM და WDM სისტემების ენერგეტიკული პოტენციალის (ბიუჯეტის) დამოკიდებულება გადაცემის სიჩქარეზე ზვავისებური ფოტოდიოდის შემთხვევაში

3. დასკვნა

ამრიგად, სისტემების ბიუჯეტის თვალსაზრისით ტალღური მულტიპლექსირების სისტემას დროითად შედარებით უპირატესობა გააჩნია მხოლოდ შედარებით დაბალ სიჩქარეებზე (STM-1, STM-4, შესაბამისად – 0.155, 0.622 გბტ/წმ სიჩქარის საზღვრებში), რაც აიხსნება ტალღური მულტიპლექსირების სისტემებში გამოყენებული დამაბოლოებელი და შეყვანა-გამოყვანის მულტიპლექსორ/დემულტიპლექსორების მიერ შეტანილი დამატებითი მილევიით. აქვე უნდა აღინიშნოს შემდეგი გარემოებები: ტალღური მულტიპლექსირების სისტემების ტექნოლოგიები დღენიდავ ვითარდება და იხვეწება, ამიტომ დროითი სისტემების მითითებული უპირატესობაც უახლოეს მომავალში მინიმუმამდე იქნება დაყვანილი. მეორეს მხრივ, დროითი მულტიპლექსირების სისტემები იარსებებენ და განვითარდებიან ტალღური მულტიპლექსირების სისტემებთან ერთად და ნებისმიერი პროგრესი, რომელიც შეიძლება მოხდეს დროითი

მულტიპლექსირების განვითარების კუთხით, მაგალითად, სიჩქარის გაზრდის მიმართულებით, იმავდროულად აისახება ტალღური მულტიპლექსირების სისტემებში, ვინაიდან ამ ორ სისტემას ერთი ბაზა და აქედან გამომდინარე, მრავალი საერთო გააჩნიათ.

ლიტერატურა:

1. , 2006. .48-54.
2. i , 2006, 4, .3, .5-7.
3.c ., ., 1988
4., 2003.
5. TDM vs WDM. www.teralink.ru
6. Jean-Pierre Laude, Kevin Liddane, Steve Slatter. High-Density WDMs Provide More Bandwidth for Telecommunications. In "The Photonics Design and Applications Handbook". 44 Intern. Ed., Laurin Publishing Co. Inc., 1998.- p. H-222-224.
7. Ding-wei Huang, Tsung-hsuan Chiu, Yinchich Lai. Arrayed waveguide grating DWDM interleaver.- OFC-2001, Anaheim, Paper WDD80-1.
8. Yoshinori Hibino. High contrast waveguide devices.- OFC-2001, Anaheim, Paper WB1-1.
9. M. Oguma. Flat-top and low-loss WDM filter composed of lattice-form interleave filter and arrayed-waveguide gratings on one chip.- OFC-2001, Anaheim, Paper WB3-1.
10. Y. Hida et al. 400-channel 25-GHz spacing arrayed-waveguide grating covering a full range of C- and L-bands.- OFC-2001, Anaheim, Paper WB2-1.

COMPARISION OF TIME DIVISION MULTIPLEXING (TDM) WITH WAVELENGTH DIVISION MULTIPLEXING (WDM) ACCORDING TO THE ENERGETIC POTENTIAL (BUDJET) OF THE SYSTEM

Chkhaidze Mamuka
Georgian Technical University

Summary

The article deals with the comparative analysis of modern fiber-optics transmission TDM and WDM technologies according to the energetic potential (budget). From the budget standpoint, the WDM system has an advantage over the TDM one only at relatively low transmission rates (STM-1 and STM-4 at the rate of 0.155 Gbt/s and 0.622 Gbt/s, respectively). This can be explained by additional damping caused by terminal and input/output multiplexors (MUX)/demultiplexors (DEMUX) used in the WDM system.

| | | | |
|------------|--|-----------------------|----------------------------------|
| TDM | WDM | () | |
| | | | TDM (Time Division Multiplexing) |
| | WDM (Wavelength Division Multiplexing) | | |
| | () . | | |
| | WDM | TDM | |
| | (STM-1, STM-4, | 0.155 / , 0.622 /) . | |
| | | WDM | |
| | | | |