Electronic and Cyber Defens 2025/ Vol. 13/ No. 2/ 103-110

Electronic and Cyber Defens

ISSN: 2322-4347 , E-ISSN: 2980-8979

Routing and Spectrum Allocation and Optical Tree Formation in Elastic Optical Networks

Yaghoub Khorasani[1], Ebrahim Shafiee[2*], Alireza Shamsi[3]

[1] Researcher, Shahid Sattari University of Aviation Sciences and Technology, Tehran, Iran (yaghoubkhorasani@ssau.ac.ir)

[2] Assistant Professor, Shahid Sattari University of Aviation Sciences and Technology, Tehran, Iran([*]Correspondence: *shafiee@ssau.ac.ir*)

[3] Assistant Professor, Shahid Sattari University of Aviation Sciences and Technology, Tehran, Iran(*alirezashamsi@ssau.ac.ir*)

ARTICLE INFO

Article history:

Article Type: Research paper

Received: 22 March 2025

Revised: *27 April 2025*

Accepted: 16 June 2025

Available online: 11 July 2025

Keywords:

Optical Network

Optical Tree

Routing and Spectrum Allocation

Multicast Traffic

ABSTRACT

In optical networks supporting multicast traffic, an optical tree is established for each request. The structure and efficiency of this tree significantly impact resource utilization. To date, researchers have introduced two types of trees, SPT-RSA and STA-RSA, both of which have certain limitations.This paper investigates routing and spectrum allocation (RSA) strategies in flexible optical networks (EON) for multicast traffic demands. A light tree is constructed for each incoming request, and the SMART-FIT allocation policy is employed to allocate the necessary spectrum efficiently.The proposed algorithm is evaluated against SPT-RSA and STA-RSA in terms of request blocking probability and bandwidth blocking probability. The results demonstrate that the proposed approach outperforms the existing algorithms in both metrics.

Cite this article: Khorasani, Yaghoub©, Shafiee, Ebrahim©, Shamsi, Alireza (2025). Routing and Spectrum Allocation and Optical Tree Formation in Elastic Optical Networks. Journal of Electronic and Cyber Defens. 2025; 13l(2):103-110.

DOR: *https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23224347.1404.13.2.9.6*

© Author(s) retain the copyright and full publishing rights

Publisher: Imam Hossein University

پدافند الکترونیک و سایبری/ سال ۱۴۰۴/ دوره ۱۳/ شماره ۲/ صفحه ۱۱۰-۱۰۳

پدافند الکترونیک و سایبری

شاپا الکترونیکی: ۴۳۴۷- ۲۳۲۲۲ شاپا چاپی: ۸۹۷۹-۲۹۸۰

مسیریابی و تشکیل درخت نوری در شبکه‌های نوری منعطف

یعقوب خراسانی[۱]، ابراهیم شفیعی[۲*]، علیرضا شمسی[۳]

[۱] پژوهشگر، دانشگاه علوم و فنون هوایی شهید ستاری، تهران، ایران (yaghoubkhorasani@ssau.ac.ir)

[۲] استادیار، دانشگاه علوم و فنون هوایی شهید ستاری، تهران، ایران (نویسنده مسئول:Shafiee@ssau.ac.ir)

[۳] استادیار، دانشگاه علوم و فنون هوایی شهید ستاری، تهران، ایران (alirezashamsi@ssau.ac.ir)

چکیده (استایل عنوان چکیده)

در ترافیک‌های چندپخشی در شبکه‌های نوری، برای هر درخواستی که به شبکه وارد می‌شود درخت نوری ساخته می‌شود. نحوه ساخت درخت و کارآمد بودن درخت، می‌تواند در هدر رفت منابع تأثیرگذار باشد. تاکنون محققان دو نوع درخت SPT-RSA و STA-RSA پیشنهاد داده‌اند که هرکدام دارای معایبی است. در این مقاله، رویکردهای مسیریابی و تخصیص طیف(RSA2) در شبکه‌های نوری منعطف (EON1) برای تقاضاهای ترافیک چندپخشی بررسی می‌شود. در ترافیک چندپخشی، برای هر تقاضای ورودی، یک درخت نور پیشنهاد می‌شود و با استفاده از سیاست تخصیص SMART-FIT، طیف لازم به این درخت نور اختصاص می‌یابد. الگوریتم پیشنهادی با دو الگوریتم SPT-RAS و STA-RSA ازنظر احتمال مسدودی درخواست و احتمال مسدودی پهنای باند مقایسه شده است و نتایج نشان می‌دهد که الگوریتم پیشنهادی عملکرد بهتری نسبت به الگوریتم‌های ذکرشده دارد.

مشخصات مقاله

تاریخچه مقاله:

نوع مقاله: علمی پژوهشی

دریافت: ۱۴۰۴/۰۱/۰۲

بازنگری: ۱۴۰۴/۰۲/۰۷

پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۲۶

ارائه آنلاین: ۱۴۰۴/۰۴/۲۰

کلید واژه‌ها:

شبکه‌های نوری

درخت نوری

مسیریابی

ترافیک چندپخشی

استناد: خراسانی، یعقوب، شفیعی، ابراهیم، شمسی، علیرضا. مسیریابی و تشکیل درخت نوری در شبکه‌های نوری منعطف. پدافند الکترونیک و سایبری. (۱۴۰۴)؛ ۱۳ (۲): ۱۱۰-۱۰۳.

DOR:https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23224347.1404.13.2.9.6

© نویسنده(گان) حق نشر و حقوق کامل انتشار را برای خود محفوظ می‌دارند.

OPEN ACCESS

ناشر: دانشگاه جامع امام حسین(ع).

۱- مقدمه

شبکه‌های نوری منعطف به‌عنوان یک راه‌حل برای مواجهه با افزایش روزافزون مقدار پهنای باند موردنیاز، مطرح گردید. امروزه رایج شدن اپلیکیشن‌های مختلف همچون اینترنت اشیا، ویدئوکنفرانس و... باعث افزایش نیاز عمومی به پهنای باند شده است [۱]که این موضوع اهمیت شبکه‌های نوری را افزایش داد و باعث شد که محققان بسیاری EON را از جنبه‌های مختلف موردبررسی قرار دهند.

یکی از موضوعات مهم در EON، مسیریابی و تخصیص طیف (RSA) است[۲, ۳].RSA را می‌توان در دو گام معرفی کرد ۱) مسیریابی و انتخاب مسیر مناسب بر اساس ساختار شبکه مورداستفاده ۲) تخصیص طیف به درخواست ورودی با در نظر گرفتن محدودیت‌های موجود در EON .

به‌عنوان‌مثال درصورتی‌که هدف کاهش مقدار تکه‌تکه شدن طیف باشد، RSA باید بهترین مسیر و بهترین روش تخصیص برای کاهش مقدار تکه‌تکه شدن طیف را مشخص کند[۴]. در مورد همشنوایی و کاهش مصرف انرژی نیز RSA باید کارایی مشابه ای داشته باشد[۵-۸].

در اغلب موارد به کاربردنRSA در شبکه‌های نقطه-به نقطه ساده است اما امروزه شبکه‌های چندپخشی به علت کاربرد آن‌ها در بسیاری از ارتباطات دارای محبوبیت زیادی است و به‌ناچار باید موضوع RSA در شبکه‌های نقطه-به -چند نقطه نیز بررسی گردد[۹-۱۱].

معمولاً مسیر تخصیص در شبکه‌های نوری به‌صورت یک درخت نوری تعیین می‌شود به این صورت که مبادا به‌عنوان ریشه و مقصدها شاخ‌وبرگ درخت هستند. دو راهکار مطرح برای تشکیل درخت نوری در شبکه‌های چندپخشی، SPT-RSA و STA-RSA هستند[۱۲, ۱۳].

درروش SPT-RSA هر جفت مبدأ و مقصد به‌عنوان یک مسیر مستقل فرض می‌شود و کوچک‌ترین مسیر برای تخصیص آن انتخاب می‌شود. هرچند استفاده از این روش ساده است؛ اما به علت استقلال مسیرها از همدیگر، درخت نهایی دارای شاخه‌های بیشتر و مسیر طولانی‌تری است.

STA-RSA راهکاری است که برای برطرف کردن نواقص SPT-RSA مطرح شد. در STA-RSA ابتدا یک مسیر بین مبدأ و مقصدها مشخص می‌شود بعدازآن کوتاه‌ترین مسیر بین مقصدهای دیگر و مسیر مشخص‌شده در گام نخست، به مسیر قبل اضافه می‌شود.

نوآوری ما در این مقاله ارائه یک الگوریتم جدید برای تشکیل درخت نوری در شبکه‌های نوری منعطف در ترافیک چندپخشی است. در این الگوریتم ابتدا تمام درخت‌های ممکن ساخته می‌شوند و در مراحل بعدی درخت بهینه انتخاب و جهت تخصیص طیف به درخواست‌ها از سیاست Smart-Fit استفاده می‌شود.

سازمان‌دهی این مقاله به این شرح است که در بخش ۲ کارهای مرتبط معرفی می‌شوند. الگوریتم پیشنهادی موضوعی است که در بخش ۳ موردبررسی قرار می‌گیرد. در بخش ۴ فرضیات شبکه و نتایج شبیه‌سازی مطرح می‌شود و درنهایت در بخش ۵ ، نتیجه‌گیری ارائه می‌گردد.

۲- کارهای مرتبط

ترافیک چندبخشی نوعی رایج از ترافیک است که امروزه محبوبیت زیادی پیداکرده است. مسیریابی و تخصیص طیف مهم‌ترین چالش ترافیک چندپخشی است. در شبکه‌های نوری منعطف با ترافیک نوری چندپخشی، مسیر بین مبدأ و مقصد به‌صورت درخت نوری مشخص می‌شود. درختی که دارای یال کمتری باشد بهینه است؛ زیرا تعداد کمتر یال باعث کاهش مصرف انرژی و جلوگیری از هدر رفت منابع می‌شود. اولین الگوریتم مطرح برای ساخت درخت نوری، الگوریتم SPT-RSA است. استقلال مبدأ و مقصدها در الگوریتم SPT-RSA از معایب این روش است؛ زیرا استقلال مسیرها باعث افزایش تعداد یال درخت می‌شود. الگوریتم دیگری که برای ساخت درخت نوری ارائه شد الگوریتم STA-RSA است. کارایی این الگوریتم نسبت به الگوریتم SPT-RSA بیشتر است. نتایج شبیه‌سازی الگوریتم STA-RSA نیز نشان داد عملکرد الگوریتم STA-RSA نسبت به SPT-RSA بهتر است.

موضوع مهم دیگر در مسیریابی و تخصیص طیف، نحوه تخصیص طیف به درخواست‌های ورودی است. سیاست‌های متفاوتی برای تخصیص طیف ارائه‌شده است که هرکدام دارای مزایا و معایب مخصوص به خود است. به‌عنوان‌مثال سیاست First-Fit دارای پیچیدگی کم است؛ اما باعث تکه‌تکه‌شدن طیف می‌شود.

سیاست Random -Fit سیاستی است که پیچیدگی آن از First-Fit بیشتر است و همچنین میزان تکه‌تکه شدن آن‌هم نسبت به First-Fit بیشتر است[۱۴] . سیاست Smart -Fit در سال ۲۰۲۳ ارائه شد و نشان داد که این سیاست کارایی بیشتری نسبت به سیاست‌های دیگر دارد[۲].

۳- روش پیشنهادی

در این بخش روش پیشنهادی جهت ساخت درخت نوری ارائه می‌شود. در الگوریتم ۱، روش پیشنهادی به‌صورت شبه کد نشان داده‌شده است. جهت شفافیت بهتر علاوه بر توضیح خطوط این شبه کد، مثال‌های متنوعی نیز ارائه می‌گردد.

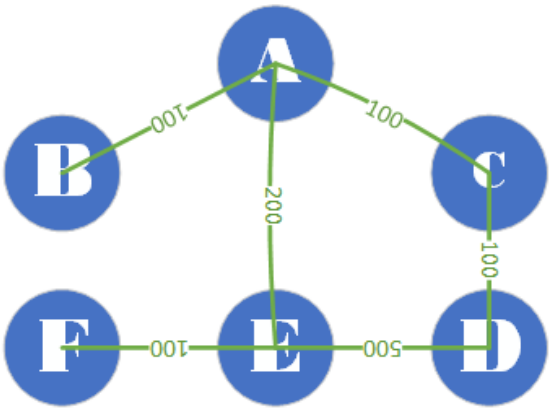
ورودی شبه کد، درخواستی است که به شبکه وارد می‌شود .این درخواست به‌صورت R(s,d',b) نشان داده‌شده است. s گره مبدأ است. d' مجموعه‌ای است که مقصدها را نشان می‌دهد و b پهنای باند درخواستی است. در خط یک، اولین مقصد انتخاب می‌شود. در خط دو مسیرهای ممکن بین مبدأ و این مقصد مشخص و هر

مسیر در یک آرایه قرار داده می‌شود. ممکن است بین مبدأ و مقصد چند مسیر متفاوت وجود داشته باشد در این صورت تعداد آرایه‌هایی که باید تشکیل شود، برابر با تعداد مسیرهای مختلفی است که وجود دارد. در خط چهارم به‌وسیله یک حلقه For مقصدهای دیگر بررسی می‌شوند. باتوجه‌به اینکه اولین مقصد در خطوط ۱ الی ۳ موردبررسی قرار گرفت، شمارنده حلقه For از ۲ شروع می‌شود. پس از انتخاب مقصد دوم مسیرهای بین این مقصد و مبدأ مشخص می‌شود. تعداد مسیرها در یک متغیر به نام n قرار می‌گیرد. درصورتی‌که n بزرگ‌تر از ۱ باشد، n-1 مرتبه آرایه‌های خط ۳ تکرار می‌شود. در خط ۸ مسیرهای مشخص‌شده بین مقصد دوم و مبدأ را طوری به آرایه‌ها اضافه می‌کنیم که هیچ آرایه‌ای شبیه به آرایهٔ دیگر نشود. یک راهکار مناسب استفاده از جای‌گشت مسیرها در آرایه‌های موجود است. در خط ۱۰ عناصر تکراری در هر آرایه حذف می‌شود هریک از آرایه‌های به‌دست‌آمده یک درخت نوری برای درخواست R است؛ اما درختی در اولویت است که تعداد اعضای آن کمتر باشد و درنهایت جهت تخصیص طیف به درخواست ورودی از سیاست Smart-Fit استفاده می‌شود.

Input: *R(s,d',b)*
Output: Optical tree

1- *consider* first destination as d_1
2- Compute all routes between source and d_1
3- Each route is stored in an array
4- **For** i=2 to size of d'
5- Specify all routes between source and d_i
6- n= number of route between source and d_i
7- Repeate the arrays created in line 3, (n-1) time
8- Add paths to all arrays based permutation
9- End For
10- Remove duplicate elements
11- Allocate spectrum slots based on Smart-Fit

الگوریتم (۱): روش پیشنهادی به‌صورت شبه کد



تصویر (۱): شبکه فرضی برای توضیح روش پیشنهادی

به‌عنوان‌مثال، شبکه فرضی نشان داده‌شده در تصویر ۱ را در نظر بگیرید این شبکه دارای ۶ گره و ۶ لینک دوطرفه است. فرض کنید درخواستی با مشخصات R(A,[11],2) به شبکه وارد شود بر اساس روش پیشنهادی ابتدا گره C به‌عنوان اولین مقصد در نظر گرفته می‌شود تمام‌مسیرهای بین گره A و C مشخص می‌شود. در این شبکه مسیرهای ممکن از A و C دو مسیر است که آرایه tree1 و tree2 قرار می‌گیرند.

Tree1={A-C}
Tree2={A-E-D-C}

باتوجه‌به اینکه تعداد مقصدها در این مثال ۲ است، حلقه For یک‌بار اجرا می‌گردد و در این اجرا مقصد D در نظر گرفته می‌شود. بین A و D نیز دو مسیر وجود دارد که در متغیر Path1 و Path2 قرار داده‌شده است، لذا عدد دو در متغیر n قرار می‌گیرد.

Path1: A-E-D
Path2: A-C-D

طبق خط ۸ شبه‌کد، (۱-۲) مرتبه آرایه های tree1 و tree2 تکرار می‌شوند لذا دو آرایه ی دیگر به نام tree3 و tree4 ساخته می‌شود به‌طوری‌که tree1 برابر با tree3 و tree2 برابر با tree4 است. حال مسیرهای بین A و D را به‌صورت جایگشت به آرایه‌ها اضافه می کنیم.

Tree1: {A-C-A-E-D}
Tree2: {A-E-D-C-A-C-D}
Tree3: {A-C-A-C-D}
Tree4: {A-E-D-C-A-E-D}

حال عناصر تکراری هر آرایه را حذف می‌شود که حاصل پس از حذف عناصر تکراری، به‌صورت زیر است.

Tree1: {A-C-E-D}
Tree3: {A-C-D}
Tree4: {A-E-D-C}

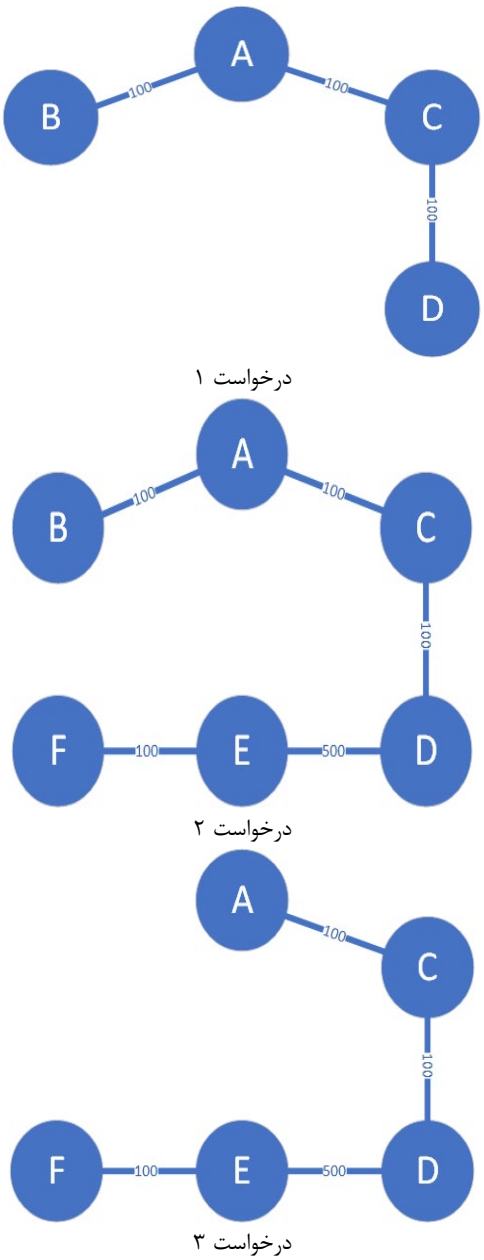
آرایه‌های tree1-4 درخت‌های ممکن بین مبدأ و مقصد هستند که درخت ۲ و ۴ کاملاً شبیه به هم هستند؛ لذا بین گره A و مقصدهای C، D، ۳ درخت نوری وجود دارد که درخت tree3 به علت تعداد یال کمتر، ازنظر مصرف انرژی و همچنین ازنظر صرفه‌جویی در منابع طیف، بهینه است.

در ادامه برای درک مقایسه بهتر، درخت‌های ساخته‌شده بر اساس روش پیشنهادی، STA-RSA و SPT-RSA برای درخواست‌های مشخص‌شده در جدول ۱ بر اساس شبکه فرضی تصویر۱ تشریح می‌شود.

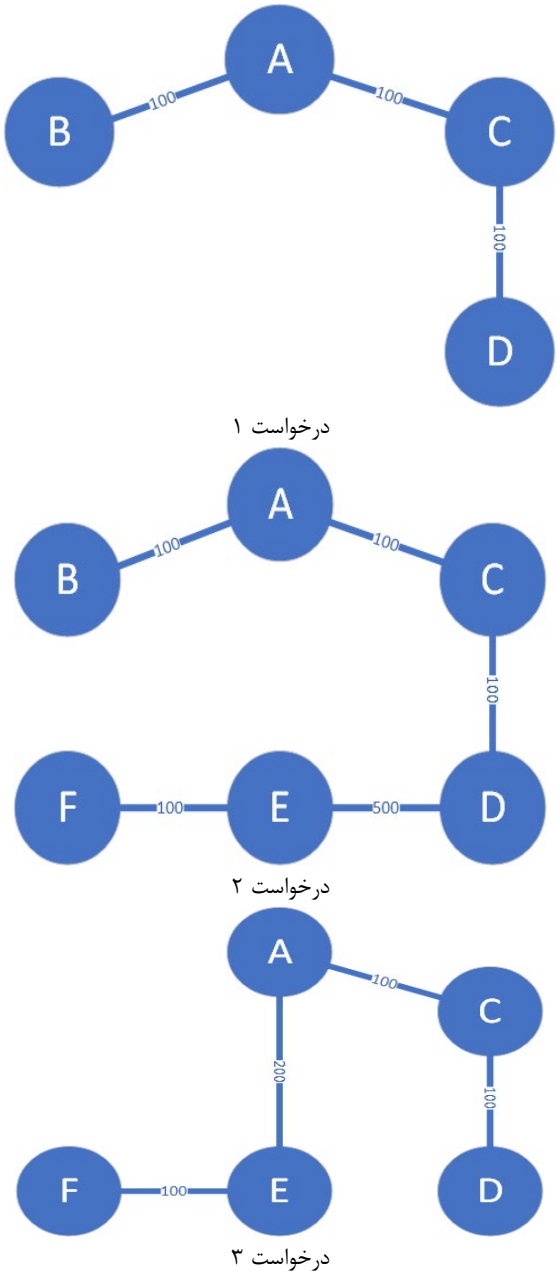
جدول (۱): مشخصات درخواست‌های ورودی به شبکه فرضی

شماره درخواست	مبدأ	مقصد
۱	*B*	*C,D*
۲	*D*	*F,B*
۳	*D*	*A,F*

تصویرهای ۲،۳ و ۴ درخت شکل‌گرفته به این درخواست‌ها را بر اساس روش‌های SPT-RSA و STA-RSA و روش پیشنهادی نشان داده‌شده است. درخت ساخته‌شده برای درخواست ۳، تفاوت این روش‌ها را به‌صورت واضح نشان می‌دهد. درخت ساخته‌شده توسط روش پیشنهادی دارای لینک کمتری است که این موضوع باعث کاهش فرستنده و گیرنده موردنیاز و درنتیجه کاهش مصرف انرژی می‌شود همچنین کاهش لینک‌ها باعث جلوگیری از هدر رفت منابع طیف می‌شود.



تصویر (۲): درخت‌های ساخته‌شده توسط SPT-RSA

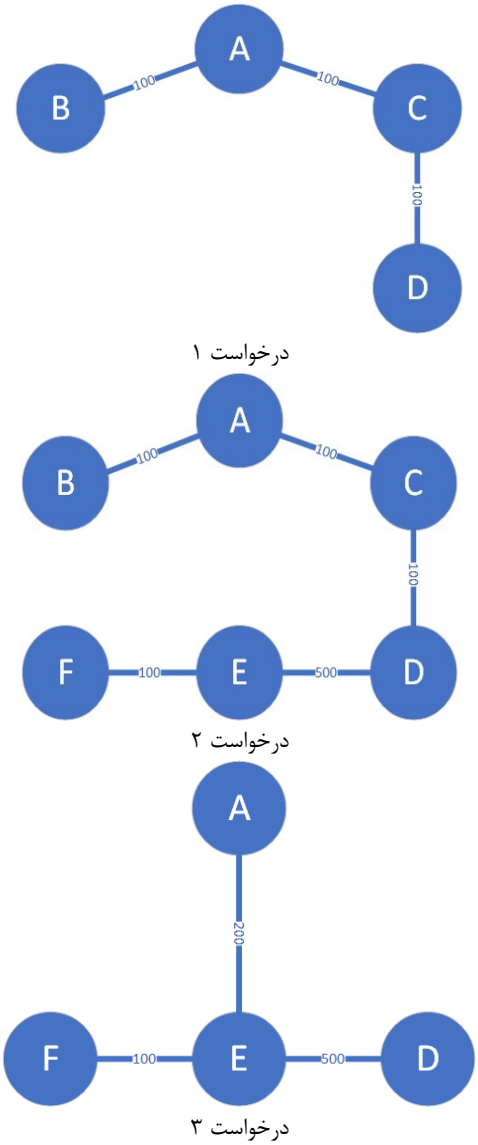


تصویر (۳): درخت‌های ساخته‌شده توسط STA-RSA

۱-۳- محاسبه پیچیدگی محاسباتی

در این قسمت پیچیدگی محاسباتی الگوریتم ۱، بررسی می‌شود. در خط ۲، برای به دست آوردن همه مسیرهای بین مبدأ و d_1 در بدترین حالت نیاز به اسکن قطر شبکه است لذا پیچیدگی این خط برابر با قطر شبکه (D) است.

پیچیدگی حلقه FOR برابر با تعداد اجرای حلقه است. با فرض این که تعداد مقصدها برابر N باشد، پیچیدگی حلقه FOR برابر است با N-2 که این مقدار در حاصل‌جمع پیچیدگی خطوط ۵، ۷ و ۸ ضرب می‌شود.



تصویر(۴): درخت‌های ساخته‌شده توسط الگوریتم پیشنهادی

پیچیدگی خط ۵ برابر با D و پیچیدگی خط ۷ برابر 2D است، پیچیدگی خط ۸ با توجه به وجود جایگشت و همچنین با توجه به این که C تعداد آرایه ها را نشان می‌دهد برابر است با C!

لذا پیچیدگی خط ۴ الی ۹ برابر است با

$O(n-2)(D+2D+C!)$

که پس از ساده‌سازی برابر است با

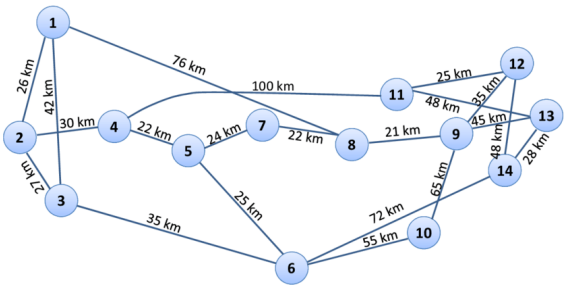
$O(n-2)(D+C!)$

پیچیدگی خط آخر در مرجع [2] محاسبه شده است که برابر است با $O(D\times m^2)$ که m تعداد اسلات‌های لینک است لذا پیچیدگی کل الگوریتم برابر است با

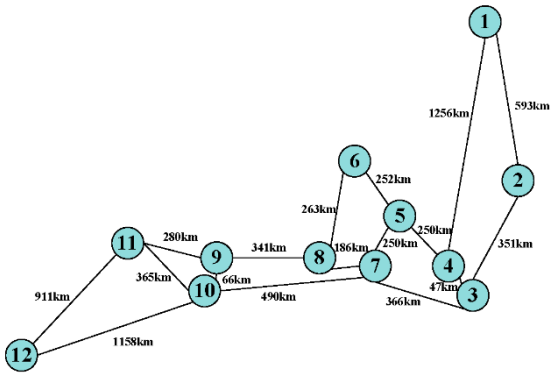
$O(D+ [(n-2)(D+2D+C!)] + (D\times m2))$

۴- نتایج شبیه‌سازی

در این قسمت از مقاله، روش پیشنهادی با SPA-RSA و STA-RSA بر اساس دو ساختار رایج NSFNET (تصویر ۵)و JPN-12(تصویر ۶) مقایسه می‌شود. شبیه‌سازی هر سه روش در نرم‌افزار OPNET برای یک‌میلیون درخواست انجام‌شده است. درخواست‌های ورودی بر اساس توزیع نمایی به شبکه وارد می‌شوند که مقدار پهنای باند درخواستی آن‌ها بر اساس توزیع یکنواخت [3-8] اسلات (هر اسلات ۱۲,۵ مگاهرتز) فرض شده است. باند محافظ در این شبیه‌سازی ۱ اسلات و تعداد تکرار شبیه‌سازی برای هر ترافیک ۱۰ تکرار است. مقدار خطای مجاز ۰٫۵٪ و زمان اعتبار هر درخواست بر اساس توزیع پواسن و با متوسط ۲۵ ثانیه در نظر گرفته‌شده است. همه گره‌های ساختار قابلیت چندپخشی رادارند و تعداد مقصدها بر اساس توزیع یکنواخت [1-3] فرض شده است. محدوده ترافیکی ۱۰۰- ۹۰۰ در شبیه‌سازی مورداستفاده قرارگرفته است.



تصویر(۵): ساختار NSFNET



تصویر(۶): ساختار JPN-12

پارامتر مورد ارزیابی نرخ مسدودی پهنای باند (Eq.2) و نرخ مسدودی درخواست‌های ورودی (Eq.1) است. نرخ مسدودی کمتر در هر شبکه بیانگر کارآمدی بیشتر آن شبکه است زیرا شبکه‌ای که منابع آن به‌صورت کارآمدی تخصیص داده نشود، دارای نرخ مسدودی بالایی است.

$$BBP = \frac{Number\ of\ blocked\ bandwidth}{Number\ of\ requested\ bandwidth} \times 100 \quad (۱)$$

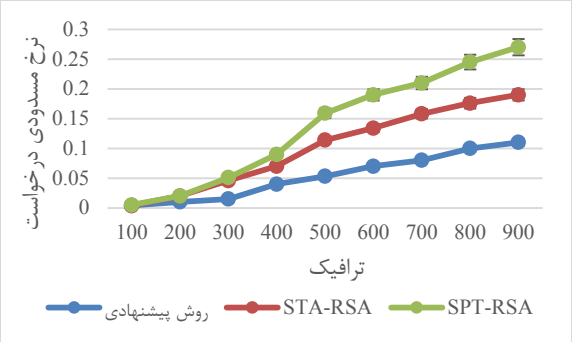
$$DBP = \frac{Number\ of\ blocked\ \text{demand}}{Number\ of\ requested\ \text{demand}} \times 100 \quad (۲)$$

تصویر ۷ و ۸ هر سه روش را بر اساس مسدودی درخواست‌ها در ساختارهای JPN-12 , NSFNET نشان می‌دهد.

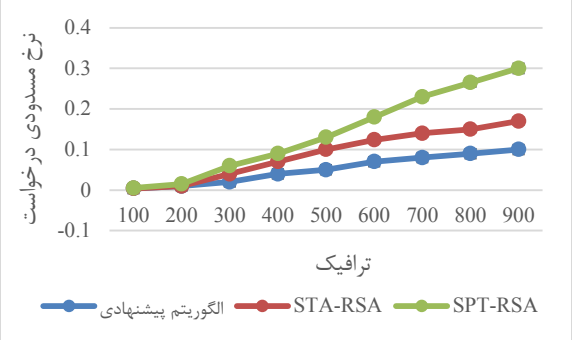
نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که روش پیشنهادی درخواست‌های بیشتری را برقرار می‌کند و نرخ مسدودی کمتری

دارد. دلیل این بهبود استفاده بهتر از منابع و جلوگیری از اتلاف منابع طیف است.

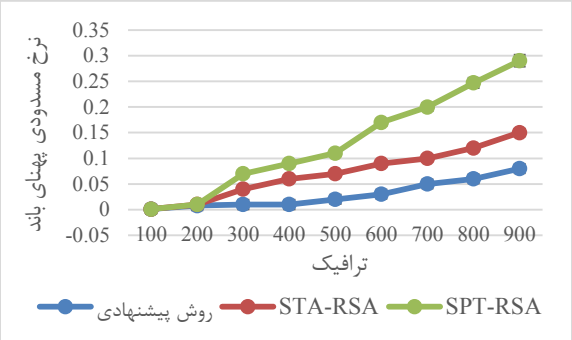
تصاویر ۹ و ۱۰ به مقایسه روش‌های ذکرشده بر اساس نرخ مسدودی پهنای باند پرداخته است.



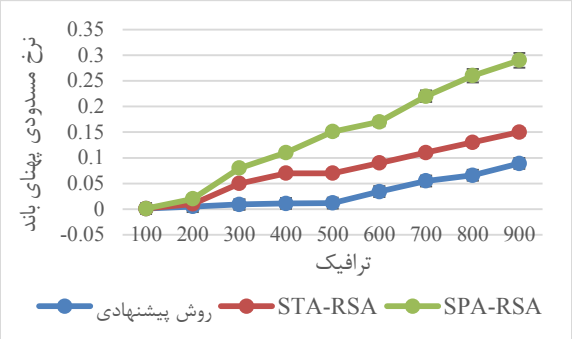
تصویر (۷): نرخ مسدودی درخواست‌ها در JPN-12



تصویر (۸): نرخ مسدودی درخواست‌ها در NSFNET



تصویر (۹): نرخ مسدودی پهنای باند در JPN-12



تصویر (۱۰): نرخ مسدودی پهنای باند در NSFNET

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله شبکه‌های نوری منعطف با ترافیک چندپخشی موردبررسی قرار گرفت. دو نوع درخت در این شبکه موردمطالعه قرار گرفت. به‌عنوان نوآوری، روش جدیدی برای ساخت درخت نوری ارائه شد که بر اساس نتایج شبیه‌سازی درخت حاصل از این روش، نسبت به روش‌های دیگر دارای یال کمتری است که باعث صرفه‌جویی در مصرف انرژی و جلوگیری از هدر رفت منابع در شبکه‌های نوری منعطف می‌شود.

۶- مراجع

[1] Casellas, R. Martinez, R, Vilalta, R " A research and experimentation overview on future optical network control plane in the ADRENALINE testbed", 16th IEEE International Conference on Optical Network Design and Modelling (ONDM) 2012.

[2] Y. Khorasani, A. Ghaffarpour Rahbar, and M. Jafari-Beyrami, "Fragmentation management to reduce bandwidth wastage in SDM-EON networks".Photonic Network Communications,vol 46 pp 51-67, 202. https://doi.org/10.1007/s11107-023-01002-3

[3] F.S Abkenar, A.G. Rahbar, "Study and analysis of routing and spectrum allocation (RSA) and routing, modulation and spectrum allocation (RMSA) algorithms in elastic optical networks (EONs)", Optical Switching and Networking, vol **23** pp. 5-39, 2017. https://doi.org/10.1016/j.osn.2016.08.003

[4] Y. Khorasani, A.G. Rahbar, and M. Jafari-Beyrami, "A novel two-dimensional metric for fragmentation evaluation in elastic optical networks". Computer Networks, vol 216 pp.71. 2022. https://doi.org/10.1016/j.comnet.2022.109275

[5] M. Jafari-Beyrami, A.G. Rahbar, and S. Hosseini, "On-demand fragmentation-aware spectrum allocation in space division multiplexed elastic optical networks with minimized crosstalk and multipath routing", Computer Networks, vol 181 pp 150, 2020. https://doi.org/10.1016/j.comnet.2020.107531

[6] Y. Zhao, L. Zhu ," Crosstalk-aware spectrum defragmentation by re-provisioning advance reservation requests in space division multiplexing enabled elastic optical networks with multi-core fiber". Optics express, vol 27 pp5014-5032, 2019. https://doi.org/10.1364/OE.27.005014

[7] A.P. Bianzino, C. Chaudet, D.Rossi, JL Rougier, "A survey of green networking research" IEEE Communications Surveys & Tutorials,vol 14 pp 3-20, 2010. DOI: 10.1109/SURV.2011.113010.00106

[8] A. Cai, Y. Li, J Chen, J. Shen, " Coordinating multiple light-trails in multicast elastic optical networks with adaptive modulation". IEEE Photonics Journal, vol 15 pp 1-15, 2023. DOI:10.1109/JPHOT.2022.3233304

[9] S. Li, W Lu, X Liu, Z. Zhu, " Fragmentation-aware service provisioning for advance reservation multicast

in SD-EONs". Optics express, vol 15 pp 25804-25813, 2015. https://doi.org/10.1364/OE.23.025804

[10] A.J. Christian, N. N'Takpe, D. Fabrice, B. Michel, "Dynamic (Re) allocation For Multicast Connexion in Elastic Optical Networks". International Journal of Innovation and Applied Studies, vol 41 pp 1221-1232, 2024.

[11] Y. Ma, X. Yang, Q. Sun, Y. Zhao," Dynamic resource allocation for multicast in SDM-EON: time-decoupled dynamic path cross talk and joint weight" Journal of Optical Communications and Networking, vol 15 pp 687-699, 2023. https://doi.org/10.1364/JOCN.496417

[12] S. Zhou, H. Wang, S. Yi, F. Zho,"Cost-efficient and scalable multicast tree in software defined networking. in Algorithms and Architectures for Parallel Processing", 15th International Conference, ICA3PP 2015.

[13] P.D. Choudhury, PVR Reddy, B.C. Chatterjee, E. Oki, " Performance of routing and spectrum allocation approaches for multicast traffic in elastic optical networks", Optical Fiber Technology, vol 58 ,2020. https://doi.org/10.1016/j.yofte.2020.102247

[14] Chatterjee, B.C., S. Ba, E. Oki, "Fragmentation problems and management approaches in elastic optical networks", A survey. IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol 20 pp 183-210, 2017. DOI: 10.1109/COMST.2017.2769102