



بیست و هشتمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و چهاردهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه شهید چمران اهواز،
خوزستان، ایران.
۱۴-۱۲ بهمن ۱۴۰۰



مدل سازی شبکه های Backhaul/Fronthaul نسل پنجم مخابرات سلولی مبتنی بر فناوری دسترسی غیرفعال نوری XGPON

محمد روستیان، علیرضا قلی پور

دانشکده مهندسی برق، دانشگاه شهید بهشتی، گروه مخابرات

m_raveshtian@sbu.ac.ir, a_gholipour@sbu.ac.ir

چکیده - تحقق سرعت داده و تاخیر پیش بینی شده در نسل پنجم مخابرات سیار (5G)، مستلزم افزایش ظرفیت در بخش Backhaul/Fronthaul شبکه است. همچنین با توجه به افزایش فرکانس و نرخ داده در استانداردهای 5G، (که منجر به افزایش تعداد ایستگاه های پایه و بروز مشکلات عمرانی و افزایش هزینه پیاده سازی شبکه خواهد شد) نیاز به هم گرایی مخابرات سیار و ثابت ضروری به نظر می رسد. در این مقاله، سازگاری دو فناوری دسترسی غیرفعال نوری (XGPON) و سیار (5G) از نقطه نظر به اشتراک گذاری بخش ODN در قسمت Backhaul/Fronthaul شبکه 5G، به کمک تحلیل های بودجه توان، تاخیر و CNR بررسی شده است.

کلید واژه- بستر شبکه نوری، شبکه های دسترسی غیرفعال نوری، نسل پنجم مخابرات سلولی

Modeling of Backhaul/Fronthaul Networks of 5G Cellular Telecommunication Based on XGPON Technology

Mohammad Raveshtian, Alireza Gholipour

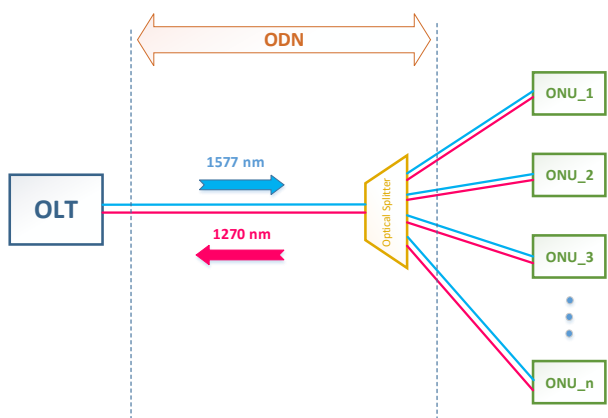
Faculty of Electrical Engineering, Shahid Beheshti University, Department of Telecommunications

m_raveshtian@sbu.ac.ir, a_gholipour@sbu.ac.ir

Abstract- Realizing the data speed and latency predicted in the fifth generation of mobile Telecommunication (5G) requires an increase in capacity in the Backhaul / Fronthaul network. Also, due to the increase in frequency and data rates in 5G standards, (which will lead to an increase in the number of base stations and development problems and increase the cost of network implementation), the need for convergence of mobile and fixed telecommunications is essential, It seems. In this paper, the compatibility of passive optical access (XGPON) and mobile (5G) technologies from the point of view of ODN segment sharing in the Backhaul / Fronthaul segment of 5G network is investigated using power, delay and CNR budget analyzes.

Keywords: Optical Distribution Network .Passive Optical Networks .Fifth Generation of Mobile Telecommunication

OLT به سمت ONU و US (انتقال از ONU به OLT) استفاده می‌شود (شکل ۱).



شکل ۱: نمایش اجزای اصلی یک شبکه غیرفعال نوری

معماری مشترک شبکه‌های PON و 5G

توسعه شبکه‌های نسل چهارم مخابرات سیار به معماری جدید انتقال رادیویی 5G با تغییر در عملکرد اصلی واحد باند پایه (BBU) مشخص می‌شود که مطابق (پیشنهاد ITU) شکل ۲ در عمل به سه بخش CU، DU و RU تقسیم‌بندی شده است [۲]. مطابق این تقسیم‌بندی، رابط میان NGC و CU به نام Backhaul، رابط میان CU و DU به نام Fronthaul-I و رابط میان DU و RU به نام Fronthaul-II نام‌گذاری شده‌اند. موسسه‌ی ITU، نحوه‌ی اشتراک‌گذاری شبکه XGPON مابین یکی یا تمام رابط‌های ذکر شده را بسته به کاربرد، به ۴ حالت تقسیم کرده است (شکل ۲). ساختارهای a، b و c به ترتیب برای کاربردهای با تاخیر پایین، Cloud و نقاط پر ازدحام شهری مفید هستند. ساختار d که به ساختار موازی نیز معروف است، تمام خواص سه ساختار دیگر را دارد و در این مقاله پیاده‌سازی شده است. لازم به ذکر است که سیگنال RF (با فرکانس ۲۰ GHz) در این ساختار مشترک، بر روی طول موج ۱۵۵۰ nm مدوله شده و پس از اعمال تکنیک WDM به همراه طول موج ۱۵۷۷ nm به صورت RoF (Radio over Fiber) در جهت DS ارسال می‌شود.

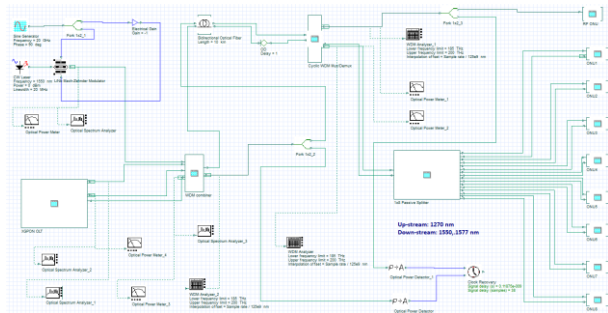
مقدمه

فیبرنوری به دلیل دارا بودن مزایایی مانند قابلیت پیاده‌سازی لینک‌های چندصد کیلومتری با ظرفیت چند ده تراهرتز، مصونیت در برابر تداخل و هم‌شنوایی، تلف انتقال پایین و قیمت ارزان، گزینه مناسبی برای به کارگیری در ارتباط میان سایت مرکزی (CO) و سایت‌های سلولی موبایل به شمار می‌رود [۱]. همچنین ادغام Backhaul شبکه 5G با بستر توزیع شبکه‌های غیرفعال نوری (ODN)، نه تنها میزان استفاده از فیبرنوری را به شدت کاهش می‌دهد بلکه موجب صرفه جویی ارزی و مدیریت یک پارچه شبکه مخابرات ثابت و سیار خواهد شد [۲]. در واقع نیاز به سیستمی که بتواند نیازمندی‌های مربوط به سرعت بالا و تاخیر پایین در شبکه 5G را برآورده سازد، هدف انجام شبیه‌سازی‌ها در این مقاله بوده و این مهم می‌تواند با استفاده از نسل جدید شبکه‌های دسترسی غیرفعال نوری یا XGPON به دلیل برخورداری از نرخ انتقال داده بالا (۱۰ Gbps) امکان پذیر شود.

نسل جدید شبکه‌های دسترسی غیرفعال نوری

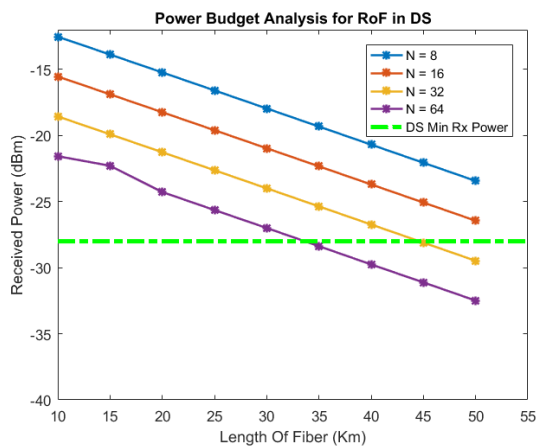
به طور کلی شبکه‌های غیرفعال نوری (PON) از سه بخش اصلی OLT، ODN و ONU ها تشکیل می‌شوند. OLT تجهیزاتی است که در مراکز مخابراتی قرار گرفته و ارتباط میان تامین کننده سرویس‌های اینترنتی و شبکه دسترسی را برقرار می‌کند. ODN شامل بخش‌های غیرفعال یک شبکه دسترسی نوری شامل فیبرنوری و Splitter ها بوده که مابین OLT و ONU ها قرار می‌گیرد. ONU ها نیز تجهیزاتی هستند که در سمت کاربران قرار گرفته و داده‌ها پس از عبور از بستر ODN با استفاده از ONU ها تحویل کاربران می‌شود. استاندارد XGPON جدیدترین فناوری معرفی شده توسط ITU است که با هدف انتقال اطلاعات در بستر شبکه‌های غیرفعال نوری مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای انتقال اطلاعات در این استاندارد، از طول موج های ۱۵۷۷ nm و ۱۲۷۰ nm، به ترتیب در جهت DS (انتقال از

همچنین سیستم کلی به صورت Thermal Noise Limited فرض شده است.



شکل ۳: نمایش شبکه RoF در نرم افزار Optisystem

نتایج مربوط به شبیه سازی (در حالت DS) در نمودار شکل ۴ نشان داده شده است. با توجه به نتایج شکل ۴، مقدار بیشینه طول فیبر مجاز در حالت $N = 64$ ، 33 Km است.

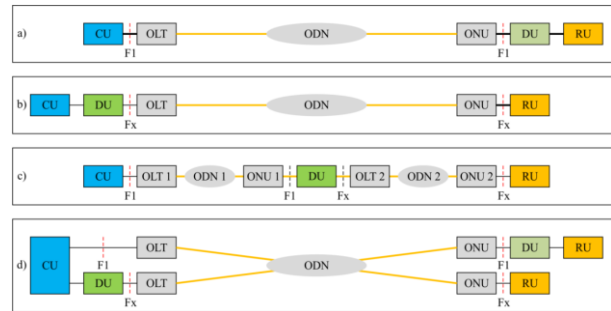


شکل ۴: نمایش نتایج تحلیلی بودجه توان در جهت DS برای مقادیر مختلف N

در قدم دوم به منظور محاسبه تاخیر ناشی از این معماری مشترک، تاخیر مسیر توسط نرم افزار Optisystem برابر ۴،۵ نانوثانیه محاسبه شد (حالت $N = 64$). با در نظر گرفتن طول موج 1550 nm برای انتقال سیگنال RoF، تاخیر گروه توسط رابطه ۱ محاسبه شده [۴] و تاخیر کلی سیگنال RoF مطابق رابطه ۲ برابر با 0.24 میلی ثانیه به دست می آید (مقدار پارامتر N_{ge} برای فیبر نوع SMF-28e و در طول موج 1550 نانومتر، برابر 1.4682 است).

$$\tau_g = \frac{N_{ge}}{c} \quad (1)$$

$$Total \text{ delay} = \tau_g + \tau_{Network} \quad (2)$$



شکل ۵: نگاشت CU/DU/RU بر معماری PON در بخش Fronthaul: a) (تقسیم لایه بالا)، b) (تقسیم لایه پایین)، c) (تقسیم آشناری)، d) (تقسیم موازی) [۲]

شبیه سازی در نرم افزار Optisystem

در این مقاله، معماری بخش d شکل ۵ شبیه سازی شده است. شبیه سازی ها در نرم افزار Optisystem و در ۴ حالت $N = 8, 16, 32, 64$ انجام شده است که پارامتر N تعداد ONU های متصل به شبکه XGPON است. ابتدا تحلیل بودجه توان به منظور اثبات برقراری الزامات استاندارد XGPON در نرم افزار Optisystem انجام شد. جدول ۱ استاندارد مرتبط با بودجه توان در فناوری XGPON را در دو جهت US و DS نمایش می دهد.

جدول ۱: کلاس Nominal2 از استاندارد G.987.2 فناوری XGPON

Direction	ONU	OLT
2.5 Gbps US	Min Tx Power = 2 dBm	Min Rx Power = -29.5 dBm
10 G DS op.1	Min Rx Power = -28 dBm (APD Receivers)	Min Tx Power = 4 dBm
10 G DS op.2	Min Rx Power = -21.5 dBm (Pin-Pd Receivers)	Min Tx Power = 10.5 dBm

با توجه به جدول ۱، توان لیزرهای فرستنده در جهات OLT و ONU را تنظیم می کنیم [۳]. نمای کلی شبکه برای حالت $N = 8$ در نرم افزار Optisystem در شکل ۳ آورده شده است. با توجه به مقادیر جدول ۱، توان ورودی از توان SRS (Stimulated Raman Scattering) پایین تر بوده و بنابراین اثر هم شنوایی تاثیر چندانی نداشته و همچنین انتظار متاثر شدن از محدودیت DR (Dynamic Range) را نیز نداریم.

طیف خروجی سیگنال RoF دریافتی در مقصد با فرکانس ۲۰GHz، حاکی از انتقال بدون نویز و تداخل و با توان مناسب در سیستم شبیه سازی شده است (شکل ۶).

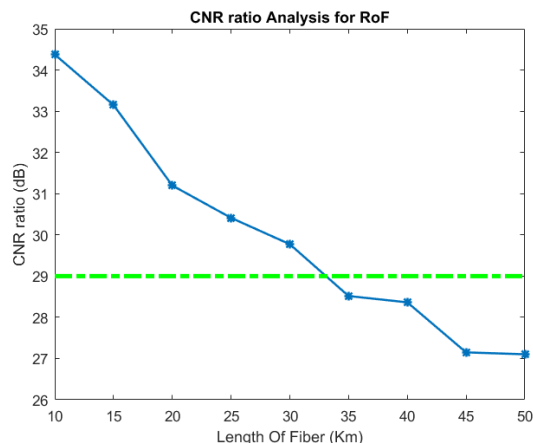
نتیجه گیری

در این مقاله به منظور تحقق هم گرایی شبکه های ثابت و سیار مخابراتی، معماری مشترک شبکه های XGPON و 5G پیشنهادی توسط ITU در نرم افزار Optisystem شبیه سازی گردید. باهدف تعیین بیشینه طول مجاز فیبرنوری قابل استفاده در این ساختار، سه تحلیل بودجه توان، تاخیر و محاسبه ی نسبت حامل به نویز انجام شد. بیشینه طول فیبر مجاز قابل به اشتراک گذاری که از نتایج دوتحلیل بودجه توان و تحلیل CNR به دست آمده است، کاملاً برهم منطبق بوده و بنابراین با اشتراک نتایج حاصله از دو تحلیل ذکر شده، طول مجاز فیبرنوری قابل استفاده در بستر ODN این ساختار مشترک برابر با ۳۳ کیلومتر به دست می آید. با توجه به اینکه حداکثر فاصله ی تفاضلی و همچنین فاصله منطقی مابین OLT و ONU در استاندارد XGPON به ترتیب برابر با ۲۰ Km و ۶۰ Km است، بنابراین می توان نتیجه گرفت که این ساختار پیشنهادی و شبیه سازی شده کاملاً منطبق بر استانداردها و الزامات دوفناوری XGPON و 5G بوده و از نقطه نظر عملی کاملاً قابل پیاده سازی می باشد.

مرجع ها

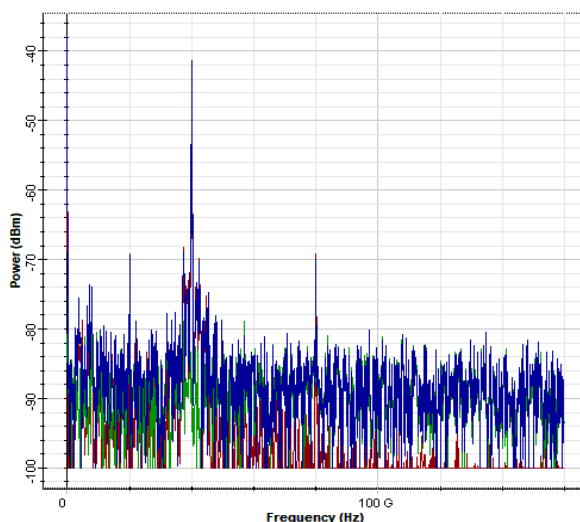
- [1] P. Chakrabarti, *Optical Fiber Communication*. McGraw-Hill Education, 2015.
- [2] *5G Wireless fronthaul requirements in a PON context*, ITU-T, 2019.
- [3] *G.987.2:10-Gigabit-capable passive optical networks (XG-PON)*, ITU, 2016.
- [4] J. M. Senior and M. Y. Jamro, *Optical fiber communications: principles and practice*. Pearson Education, 2009.
- [5] *5G Radio Access- Capabilities and Technologies*, W. Paper, 2016.

مقدار تاخیر محاسبه شده (۰,۲۴ ms) کمتر از بیشینه حد مجاز در استاندارد 5G یعنی ۱ میلی ثانیه بوده و بنابراین یکی از الزامات مهم فناوری 5G در این معماری مشترک برآورده شده است [۵].



شکل ۵: محاسبه نسبت CNR به منظور طول حداکثر فیبر مجاز

تحلیل سوم و آخر، محاسبه نسبت حامل به نویز یا CNR سیگنال RoF است که با استفاده از نرم افزار Optisystem و برای حالت $N = 64$ محاسبه شده است. باتوجه به نمودار شکل ۵، حداکثر طول فیبر مجاز در این ساختار برای یک CNR متناسب، تقریباً برابر ۳۳ Km است.



شکل ۶: طیف سیگنال RoF خروجی در فرکانس ۲۰GHz