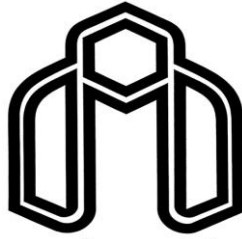


بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده مهندسی برق و رباتیک

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی مخابرات سیستم

طراحی شبکه های تطبیقی زیرآبی (UAN) با استفاده از تکنولوژی مخابرات نوری قابل مشاهده (VLC)

نگارنده: رضا فضلی قراقلو

استاد راهنما:

دکتر علی سلیمانی ایوری

استاد مشاور:

دکتر چنگیز قبادی

شهریور ۱۳۹۹

تقدیم بہ:

مادر

یگانہ عشقم روی زمین

مادری کہ تمام سحطات زندگی ام آکنده از عشق و علاقه بہ او بوده و ہست
بہ وجود پر مہرت و قلب مالالال از عشقت کہ انقبای زندگی و چگونہ زیستن را آموختی.
این تقدیم بی اجری است از ذرہ بہ خورشید.

پدر

الگوی راہم کہ وجودم برایش ہمہ رنج بود و رنج، و وجودش برایم ہمہ عشق
توانش رفت تا بہ توانایی برسم
با نگاہ پر فروغش، با عشق بہ زندگیش، بہ من درس زندگی آموخت.
این پیشکش بی قدری است از قطرہ بہ دریا.

تقدیر و سپاسگزاری:

در اینجا لازم میدانم از اساتید محترم جناب آقای دکتر علی سلیمانی و جناب آقای دکتر چکنیز قبادی جهت مساعدت های فراوان و لطف و عنایت بسیار ایشان و پشتیبانی های مداوم در جهت اجرای این تحقیق تشکر کنم. از دوست و برادر گرامی دکتر احسان مصطفی پور هم که در مدت اجرای این پایان نامه، همواره بنده را همراهی نموده اند تشکر و قدردانی می نمایم.

تعهد نامه :

اینجانب **رضا فضلی قراقلو** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی مخابرات سیستم دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده رساله (طراحی شبکه های تطبیقی زیرآبی (UAN) با استفاده از تکنولوژی مخابرات نوری قابل مشاهده (VLC)) تحت راهنمایی دکتر علی سلیمانی ایوری متعهد می شوم:

- تحقیقات در این رساله توسط اینجانب انجام شده و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در رساله تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است .
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد ومقالات مستخرج با نام "دانشگاه صنعتی شاهرود" و یا "shahrood university of technology" به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تاثیر گذار بوده اند در مقالات مستخرج از رساله رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجودزنده (یا بافت های آن ها) استفاده شده ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده) مرتب از نتایج مطالعات، آزمایشات و نوآوری ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه (رساله) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد. این مطالب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در رساله بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده:

در این پایان نامه به بررسی مزایا و مشکلات پیاده سازی شبکه‌های نفوذی در زیر آب با استفاده از تکنولوژی مخابرات نوری بی‌سیم پرداخته‌ایم. تکنولوژی مخابرات نور مرئی (VLC) که از جدیدترین روش‌های انتقال داده به شمار می‌رود از جمله روش‌هایی است که پیاده سازی شبکه نفوذی با استفاده از آن می‌تواند بسیار مفید باشد زیرا این تکنولوژی دارای مزایای بسیاری از جمله عدم مضر بودن برای سلامتی انسان و حیوانات، سرعت انتقال داده بالا و پهنای باند آزاد، مقاومت در مقابل تداخل و ... می‌باشد.

مخابرات نوری همواره دچار دو مشکل نویز و اغتشاشات کانال است که میزان تاثیر این دو فاکتور بر روی عملکرد شبکه‌های نفوذی باید مورد بررسی قرار گیرد. میزان فاصله بین نودها و مشخصات آبی که شبکه در آن پیاده سازی می‌شود مانند دما و میزان غلظت نمک در تعیین میزان اغتشاشات نوری موثر هستند. با توجه به آزمایشات به دست آمده در فواصل زیر ۲۰ متر و دمای بین ۱ تا ۲۰ درجه، ضرایب کانال VLC زیر آب از توزیع لگنرمال با مقادیر پارامترهای متفاوت پیروی می‌کند. بررسی عملکرد شبکه نفوذی به صورت تئوریک و شبیه سازی با توجه به این شرایط کانال می‌تواند گام مهمی در پیاده سازی این شبکه‌ها برای کاربردهای زیر آب باشد. به منظور بررسی عملکرد شبکه نفوذی در زیر آب با تکنولوژی VLC، یک شبکه نفوذی دارای ۲۰ گره و شرایط محیط زیر آب توسط نرم افزار متلب شبیه سازی شد و نتایج طی آزمایش های متعدد در شرایط مختلف کانال زیر آب بدست آمد. نتایج بدست آمده نشان داد که تاثیر میزان شوری و دمای آب بر عملکرد شبکه در شرایط عادی چندان محسوس نبوده و خطای تخمین در حدود ۰/۰۰۱ است ولی تاثیر فاصله بین گره های شبکه در شرایط زیر آب بر عملکرد آن بسیار چشمگیر بوده که نشان دهنده افزایش خطای تخمین تا ۰/۱ است.

کلمات کلیدی: شبکه های نفوذی، نویز نوری ، کانالهای نوری ، اغتشاشات شدید، کانال‌های نوری زیر آب، مخابرات نور مرئی (VLC).

لیست مقالات مستخرج از پایان نامه

1. Performance Analysis of Underwater VLC Diffusion Adaptive Networks (IKT 2019)
2. Complete Performance Analysis of Underwater VLC Diffusion Adaptive Networks (IJICTR Paper 2020)

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول: مقدمه	۱
۱-۱- مقدمه	۲
۲-۱- بیان مسئله	۲
۱-۲-۱- آشنایی با VLC (Visible Light Communication)	۲
۲-۲-۱- آشنایی با UVLC (Under Visible Light Communication)	۳
۳-۱- فیلترهای افقی :	۴
۱-۳-۱- کاربردهای اصلی فیلترهای افقی :	۴
۲-۳-۱- شبکه فیلترهای افقی :	۵
۳-۳-۱- برخی از کاربردهای شبکههای افقی در شبیه سازی سیستم های واقعی :	۸
۴-۱- اهمیت و ضرورت و اهداف تحقیق :	۸
۵-۱- پیشنهاد تحقیق :	۹
۶-۱- معیارهای عملکرد شبکههای افقی :	۱۰
۷-۱- سناریوی تحقیق	۱۱
۸-۱- نوآوریهای این پایان نامه:	۱۲
۹-۱- فصل بندی این پایان نامه:	۱۳
فصل دوم: مبانی نظری و سابقه کار	۱۵
۱-۲- مقدمه	۱۶
۲-۲- مقایسه VLC و امواج رادیویی	۱۶
۱-۲-۲- چالش هایی پیش روی VLC	۱۹
۲-۲-۲- کاربردهای VLC	۱۹
۳-۲- UVLC (Under Water Visible Light Communication)	۲۴
۴-۲- شبکه سنسور های بی سیم :	۳۵

۳۶.....	۲-۵- کاربردهای شبکه های سنسور بی سیم :
۳۷.....	۲-۶- بررسی عملکرد فیلتر تکی و فقی در شرایط ایده آل :
۳۹.....	۲-۸- نحوه همکاری بین گره ها در شبکه فیلتر های و فقی ایده آل :
۴۱.....	۲-۸-۱- روش همکاری متمرکز:
۴۱.....	۲-۸-۲- روش همکاری افزایشی:
۴۲.....	۲-۸-۳- روش همکاری نفوذی:
۴۴.....	۲-۹- توضیحاتی در مورد شدت پرتو یا اغتشاشات (Irradiance):
۴۴.....	۲-۹-۱- توزیع لگ نرمال
۴۷.....	فصل سوم: مبانی تئوری تحقیق
۴۸.....	۳-۱- مقدمه
۴۹.....	۳-۲- اثرات لینک های اغتشاش دار زیر آب بر عملکرد نظری و شبیه سازی شده شبکه های نفوذی و فقی
۵۰.....	۳-۳- بیان مشکل
۵۲.....	۳-۴- روش نفوذی ترکیب سپس انطباق (CTA) در شرایط لینک دارای اغتشاش
۵۲.....	۳-۵- روش نفوذی انطباق سپس ترکیب (ATC) در شرایط لینک دارای اغتشاش
۵۳.....	۳-۶- مدل های کانال VLC با سطح اغتشاش بسیار قوی
۵۳.....	۳-۷- تحلیل نظری
۶۰.....	۳-۸- نتایج عملکرد تئوری شبکه نفوذی در حضور کانال VLC
۶۳.....	فصل چهارم: شبیه سازی و نتایج
۶۴.....	۴-۱- مقدمه:
۶۵.....	۴-۲- پیش زمینه شبیه سازی و تعریف مساله
۶۶.....	۴-۳- ویژگی های لینک شبیه سازی
۶۹.....	۴-۴- نتایج عملکرد شبکه نفوذی در زیر آب با استفاده از تکنولوژی UVLC:
۶۹.....	۴-۴-۱- شرایط کانال و مشخصات شبکه نفوذی
۷۳.....	۴-۴-۲- تأثیر فاصله گره ها بر عملکرد شبکه های و فقی نفوذی UVLC در زیر آب
۷۴.....	۴-۴-۳- تأثیرات تغییر تعداد نودها بر عملکرد شبکه های و فقی نفوذی UVLC
۷۶.....	۴-۴-۴- مقایسه نتایج تئوریک فصل سوم و شبیه سازی فصل چهارم

فصل پنجم: نتیجه گیری.....	۷۹
۵-۱- مقدمه.....	۸۰
۵-۲- بحث تاثیر پارامترها و ساختار شبکه.....	۸۰
۵-۳- نتیجه گیری شبکه وفقی با لینک های UVLC.....	۸۱
۵-۴- نظرات و پیشنهادات برای کارهای آینده.....	۸۱
منابع و مراجع:.....	۸۲

فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل ۱-۱: شناسایی سیستم [۵۵]	۵
شکل ۲-۱: شناسایی سیستم [۵۵]	۵
شکل ۳-۱ الف) شبکه متمرکز ب) شبکه غیر متمرکز ج) شبکه توزیع شده	۶
شکل ۱-۲ : طیف فرکانسی VLC [۲۸]	۱۶
شکل ۲-۲ : ترافیک داده شبکه موبایل [۳۰]	۱۷
شکل ۳-۲ : شماتیک نمونه ارتباط LiFi [۳۱]	۲۰
شکل ۴-۲ : VLC برای شبکه خودروها [۴۳]	۲۱
شکل ۵-۲ : یک سیستم هوشمند حمل و نقل با استفاده از VLC [۳۴]	۲۲
شکل ۶-۲ : دیگرام شماتیک شبکه VLC [۳۲]	۲۴
شکل ۷-۲ : "پنجره شفاف" برای میرایی آب رقیق [۲۸]	۲۶
شکل ۸-۲: شبکه حسگر بی سیم زیر آب در ارتباطات فضائی و زمینی [۳۵]	۲۷
شکل ۹-۲ : پیکر بندی های UVLC [۳۷]	۲۸
شکل ۱۰-۲ : یک شبکه حسگر با گره های برآورد شده	۳۵
شکل ۱۱-۲ : شیوه های همکاری	۴۰
شکل ۱۲-۲ : پردازش داده بوسیله الگوریتم توزیعی LMS افزایشی [۵۴]	۴۲
شکل ۱۳-۲ : استراتژی نفوذی ATC [۵۵]	۴۳
شکل ۱۴-۲: همسایگی گره k ام [۵۵]	۴۳
شکل ۱۵-۲: استراتژی نفوذی CTA [۵۵]	۴۴
شکل ۱۶-۲: توابع چگالی احتمال توزیع لگنرمال با واریانسهای متفاوت	۴۶
شکل ۱-۳: شبکه نفوذی پیاده سازی شده با لینک های VLC	۵۰

شکل ۳-۲: شبکه نفوذی با لینک VLC دارای اختلال	۵۱
شکل ۳-۳: شبکه وفقی نفوذی در حال عملکرد در کانال نوری VLC	۵۴
شکل ۴-۱: فلوچارت شبکه پیشنهادی	۶۴
شکل ۴-۲: نمونه ای از شبکه های حسگر در زیر آب که با فناوری VLC پیاده سازی شده اند [۵۱]	۶۶
شکل ۴-۳: PDF ضرایب لینک زیر آب برای فواصل مختلف بین گره ها	۶۹
شکل ۴-۴: یک شبکه نفوذی در زیر آب با لینکهای VLC	۷۰
شکل ۴-۵: ساختار شبکه نفوذی استفاده شده در شبیه سازیهای زیر آب	۷۰
شکل ۴-۶: مقادیر پارامترهای ورودی و نویز برای شبیه سازی	۷۱
شکل ۴-۷: عملکرد شبکه نفوذی با دو الگوریتم ATC و CTA در شرایط کانال VLC زیر آب	۷۱
شکل ۴-۸: نتایج تاثیرات مقادیر دما و نمک آب مختلف بر عملکرد الگوریتم ATC با فاصله گرههای ۱ متر	۷۲
شکل ۴-۹: نتایج تاثیرات مقادیر دما و نمک آب مختلف بر عملکرد الگوریتم CTA با فاصله گرههای ۱ متر	۷۲
شکل ۴-۱۰: عملکرد الگوریتمهای CTA و ATC نفوذی در زیر آب با فاصله لینکهای VLC از ۱ تا ۲۰ متر	۷۴
شکل ۴-۱۱: تاثیرات تغییر تعداد گرههای شبکه در عملکرد همگرایی الگوریتم ATC	۷۵
شکل ۴-۱۲: تاثیرات تغییر تعداد گرههای شبکه در عملکرد همگرایی الگوریتم CTA	۷۵
شکل ۴-۱۳: مقایسه عملکرد تئوری و شبیه سازی شبکه نفوذی CTA زیر آب برای فاصله لینکهای VLC مختلف	۷۶
شکل ۴-۱۴: مقایسه عملکرد تئوری و شبیه سازی شبکه نفوذی CTA زیر آب برای دمای ۱ درجه و میزان نمک ۳۵	۷۷

فهرست جدول ها

عنوان	صفحه
جدول ۱-۲ : مقایسه امواج صوتی، رادیوئی و نوری در زیر آب.....	۳۴
جدول ۲-۲: پارامترهای آماری توزیع لگ نرمال	۴۵
جدول ۱-۴ : مقادیر آماری لینک لگ نرمال براساس دما و سطح شوری	۶۷
جدول ۲-۴ مقادیر آماری لینک لگ نرمال بر اساس فاصله گره ها	۶۸

فصل اول: مقدمه

۱-۱- مقدمه

افزایش روزمره تقاضا برای ارتباطات پهن باند و ارائه خدمات پر سرعت و با هزینه کمتر سبب می شود ، ارائه دهندگان خدمات شبکه درصدد استفاده از تکنولوژی های متنوع باشند. یک راه جدید استفاده از تکنولوژی مخابرات نور مرئی (VLC) می باشد، علاوه بر مزایای این روش ضعفها و مشکلاتی نیز در پیش رو موجود است . هم چنین برای دریافت دقیق تر و جامع تر اطلاعات محیطی و غیره استفاده از شبکه سنسورهای متعدد و پراکنده بسیار مفید خواهد بود. علاوه بر این مسئله بکار گیری شبکه فیلتر های افقی می تواند در تخمین مشکلات پیش آمده و جبران آنها سودمند باشد. هدف از این پایان نامه استفاده از شبکه فیلترهای افقی برای حل مشکل تکنولوژی مخابرات نور مرئی (VLC) می باشد.

۱-۲- بیان مسئله

۱-۲-۱- آشنایی با VLC (Visible Light Communication)

در دهه ۱۹۸۰، توسعه دیودهای تابشی (LED^۱) نور قرمز، نارنجی و زرد با راندمان بالا باعث ابداع ایده روشنایی حالت جامد گردید. این روند تا سال ۱۹۹۶ ادامه داشت که اولین ال ای دی سفید رنگ تجاری به بازار عرضه شد. چراغ های ال ای دی بسیار کارآمد، انتشار کربن آنها ناچیز، عاری از جیوه، با دوام و دارای کیفیت روشنایی خوبی هستند. چراغهای LED تا ۷۵٪ مصرف انرژی کمتری دارند. در دسترس بودن آسان لامپ های LED در منازل ، دفاتر و فضاهای عمومی ، این امکان را برای مقابله با کمبود طیف فرکانس رادیویی (RF) و همچنین تهیه یک سیستم ارتباطی با کارایی انرژی فراهم می کند. پیش بینی شده است که زیرساخت های روشنایی موجود باید امکان روشنایی و انتقال داده ها را بصورت همزمان فراهم بکنند. سیگنال اطلاعات بدون سوسو زدن به کاربر نهایی با نور LED منتقل خواهد شد. بنابراین ، در مقایسه با تهیه دو منبع جداگانه برای روشنایی و اتصال شبکه ارتباطی ، این روش پدیده ای "سبز" خواهد بود.

¹ Light Emitting Diode

ارتباط نور مرئی (VLC)^۱ فن آوری جدیدی است که می تواند آینده ارتباطات بی سیم را متحول کند. ارتباط نور مرئی (VLC) یک فن آوری در حال ظهور است که بر اساس مدولاسیون نور تولیدی که اغلب از طریق دیودهای نوری (LED) تولید می شوند، کار می کند. جایگزینی لامپ های فلورسنت توسط LED ها سبب افزایش استفاده از VLC خواهد بود. کارهای تحلیلی و تجربی پتانسیل VLC را برای انتقال داده ها با سرعت بالا نشان داده است. یک گیرنده معمولی VLC شامل مدار تقویت کننده، فیلتر نوری و متمرکزکننده نوری می باشد.

۱-۲-۲-آشنایی با UVLC (Under Visible Light Communication)

سه چهارم سطح زمین را آب پوشانده است. طی هزاران سال گذشته ، انسانها هرگز اکتشاف اقیانوسها را متوقف نکرده اند. در سالهای اخیر ، با افزایش تغییرات جهانی آب و هوا و کاهش منابع زمین ، علاقه زیادی به تحقیقات در مورد اکتشاف اقیانوسها به وجود آمده است. هم چنین بحث هایی نظیر تشخیص و شناسایی دقیق ترمحیط زیر آب، نظارت بر محیط زیست ، پیش بینی وقوع بلایای طبیعی و سوانح و امکان هشداردهی، اکتشافات دریایی و بهره برداری از نفت و گاز و سایر منابع زیر زمینی در زیرستر آب و کاربردهای نظامی مطرح است. فناوری ارتباط بی سیم زیر آب (UWC)^۲ امکان تحقق سیستم های اکتشاف اقیانوسی را فراهم می کند و بنابراین توجه بیشتری را به خود جلب می کند. با در نظر گرفتن پهنای باند محدود امواج RF^۳ و روش های صوتی و افزایش نیاز به انتقال داده ها با سرعت بالاتر در زیر آب، ارتباط نوری بی سیم زیر آب (UVLC)^۴ جذابیت یافته است.

^۱ Visible Light Communication

^۲ Under Water Communication

^۳ Radio Frequencies

^۴ Under Visible light Communication

۱-۳- فیلترهای وفقی :

فیلترهای وفقی سیستم های FIR^۱ و خطی هستند که به منظور تطبیق بهینه و همزمان یک سیستم یا یک فرآیند به کار برده می شوند. از آنجاییکه تطبیق بهینه در سیستم های IIR^۲ بسیار مشکل است، سیستم به صورت FIR تقریب زده می شود.

آنها می توانند در محیط های ناشناخته و متغیر با زمان بدون مداخله کاربر عملکرد رضایت بخشی داشته باشند. آنها عملکرد خود را در طول عملیات با یادگیری مشخصات آماری سیگنال موجود بهبود می بخشند .

۱-۳-۱- کاربردهای اصلی فیلتر های وفقی:

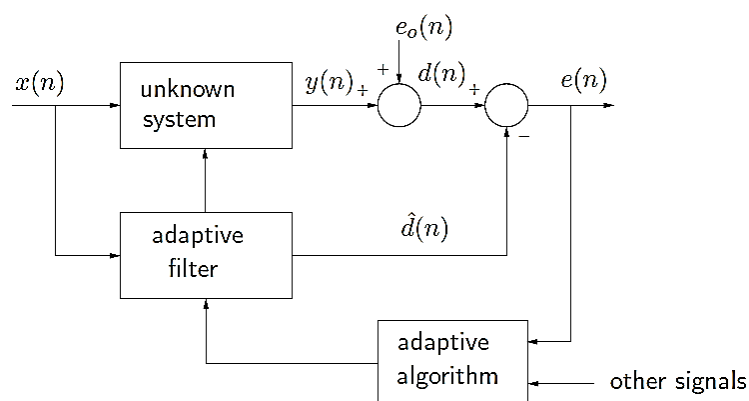
از فیلترهای وفقی برای تخمین و مدل سازی سیگنال ها و کانال ها، حذف اغتشاشات از جمله نویز و پژواک، پیش بینی مقادیر متغیر استفاده می شود. این کاربرد ها در دسته های اساسی زیر قرار می گیرند:

- (۱) تشخیص سیستم (System identification)
 - (۲) حذف نویز (Noise canceling)
 - (۳) پیش بینی سیگنال (Signal Prediction)
 - (۴) مدل سازی سیستم ها (Inverse System Modeling)
- چند نمونه از کاربردهای تشخیص یا شناسایی سیستم عبارت هستند از:

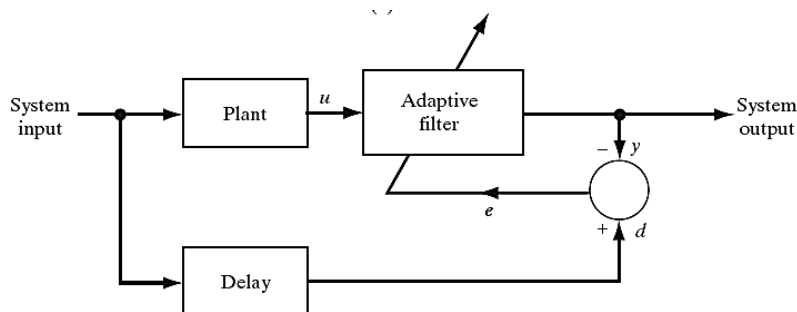
الف- تخمین کانال در سیستم های ارتباطی (طراحی جبران ساز کانال) که در شکل ۱-۱ و ۲-۱ نشان داده شده است.

^۱ Finite impulse response

^۲ Infinite impulse response



شکل ۱-۱: شناسایی سیستم [۵۵]



شکل ۲-۱: شناسایی سیستم [۵۵]

u : ورودی فیلتر فوقی y : خروجی فیلتر فوقی

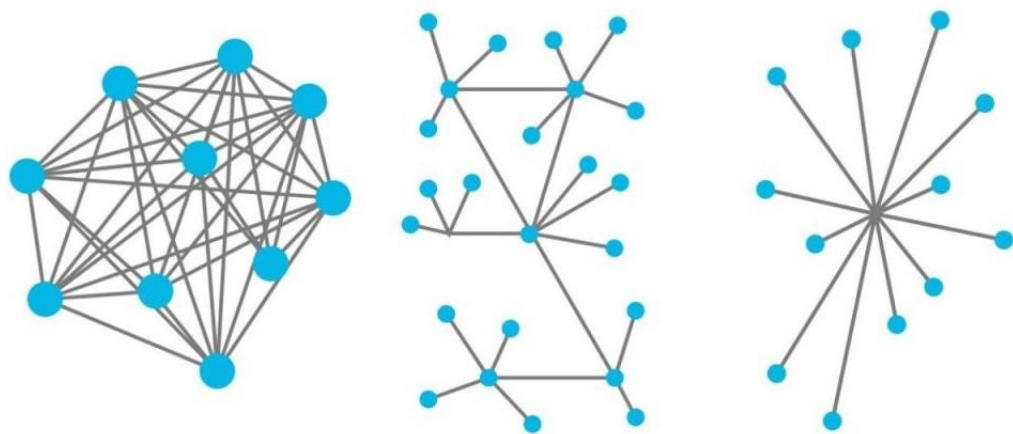
d : پاسخ مورد نظر $e = d - y$: خطای تخمینی

ب- شناسایی سیستم مجهول در مبحث کنترل (طراحی جبران ساز سیستم)

۱-۳-۲- شبکه فیلتر های فوقی :

به منظور جمع آوری اطلاعات محیطی می توان از شبکه های سنسوری به جای تک سنسور ها بهره گرفت. شبکه های بیسیم در کاربردهای مختلفی استفاده میشوند. این کاربرد ها میتوانند شامل اندازه گیریهای محیطی مانند دما، میزان آلودگی هوا و ... باشند. همچنین از شبکه های فوقی در تعیین مکان و جهت حرکت اجسام مختلف در محیطهای گوناگون نیز استفاده میشود. برای کسب اطلاعات دقیقتر می توان از روش های ریاضی و آماری استفاده کرد. یکی از این روش ها بکار گیری شبکه

فیلتر های افقی می باشد. از شبکه های افقی به دو صورت مرکز محور و توزیعی میتوان استفاده نمود. در حالت مرکز محور یک پردازنده مرکزی به عنوان مرکز ترکیب (FC) وجود دارد که بقیه سنسورها اطلاعات خود را به آن ارسال کرده و این پردازنده مرکزی با استفاده از این اطلاعات، تخمین لازم را برای نتیجه گیری بهتر و دقیق تر انجام میدهد. اما در این حالت FC باید دارای پردازنده قوی و دارای منبع انرژی با توان زیاد باشد. بنابراین برای حل این مشکل راه حل های توزیعی پیشنهاد میشوند که در آنها مرکز پردازش وجود نداشته و هر سنسور با انجام پردازشی مختصر، تخمین محلی مناسبی را انجام میدهد و با توزیع این تخمین در شبکه در نهایت تمامی گره ها به مقدار بهینه همگرا میشوند. شکل ۱-۳ نشان دهنده حالت های شبکه متمرکز و غیر متمرکز و توزیع شده است:



شکل ۱-۳ الف) شبکه متمرکز ب) شبکه غیر متمرکز ج) شبکه توزیع شده

از آنجایی که ممکن است پیاده سازی شبکه های افقی در محیط های گوناگون و با استفاده از امواج مختلف رادیویی (RF) و نوری صورت گیرد، لذا بایستی عملکرد آنها را در شرایط این محیط ها شبیه سازی و بررسی نمود تا قبل از پیاده سازی میزان قدرت و دقت این شبکه ها در عرصه عملیات مشخص شود. از آنجایی که قبلاً اکثر سیستم های مخابراتی بیسیم با فرکانسها و امواج رادیویی RF پیاده سازی میشدند، لذا مشکلات و خواص محیطی نیز بر اساس این امواج و فرکانسها اندازه گیری و مدل سازی شده اند. اما اخیراً با گسترده تر شدن استفاده از امواج نوری در محیط بیسیم این اندازه گیری ها برای

¹ Fusion center

محیطهای نوری انجام می شود و مدل های جدید برای کانال بیسیم نوری ارائه می شوند. لازم به ذکر است که کانالهای بیسیم نوری کاملاً با کانالهای فیبر نوری متفاوت می باشند، چرا که در بستر فیبر نوری، پرتو لیزر در درون فیبر که ماهیتی تقریباً یکنواخت دارد، حرکت می کند و از اکثر اعوجاجات و اغتشاشات مصون می ماند. اما در حالت انتشار نوری زیر ، پرتو لیزر ارسالی از فرستنده پس از عبور از محیط و زیر آب در آشکار سازهای نوری گیرنده دریافت شده و معمولاً تجربه شده است که با تغییرات فاز و دامنه شدید همراه شده است. قصد ما در این تحقیق بررسی عملکرد شبکه وفقی است که در چنین محیط بی سیمی با استفاده از گیرنده ها و فرستنده های نوری پیاده سازی شده باشد. برای این منظور گره های سنسوری را فرض میکنیم که به وسیله فرستنده های لیزری و گیرنده های آشکار ساز نوری با یکدیگر ارتباط برقرار میکنند. دلیل استفاده ما از این فرض بالا بردن سرعت ارسال اطلاعات و کاهش تاخیر اطلاعات دریافتی در گره های گیرنده است. می توان انتظار داشت که به دلیل افزایش سرعت انتقال اطلاعات، با سرعت بیشتری بتوان متغیرهای مطلوب را تخمین زد. باید خاطرنشان کرد که کانال بیسیم با دو خاصیت نویز و محو شوندگی تعریف میشود. بنابراین اگر برای هر کانال بتوانیم مدل نویز و محو شوندگی کانال را بدست آوریم، توانسته ایم کانال را به خوبی مدل سازی کنیم. نویز محیط بیسیم معمولاً از توزیع گوسی تبعیت میکند. این پدیده به دلیل وجود منابع بسیار تولید کننده نویز و قضیه حد مرکزی قابل دفاع است. اما در مورد محو شوندگی قضیه متفاوت است. در کانالهای رادیویی محو شوندگی به دلیل پدیده چند مسیری اتفاق می افتد و در نتیجه توزیع های ضرایب کانال بی سیم رادیویی از نوع رایلی و یا رایسی است. اما در کانالهای نوری زیر آب از پرتو های متمرکز و مستقیم بین گیرنده و فرستنده استفاده میشود و بنابراین پدیده چند مسیری عملاً اتفاق نمی افتد. در مقابل موضوع اغتشاشات اتمسفری در این سیستمها اثراتی مشابه محو شوندگی در سیگنال ایجاد میکند.

۱-۳-۳- برخی از کاربردهای شبکه‌های افقی در شبیه‌سازی سیستم‌های واقعی :

بسیاری از حرکت‌های جمعی حیوانات با استفاده از تئوری شبکه‌های فیلترهای افقی قابل شبیه‌سازی و مدل‌سازی هستند. برای مثال می‌توان به موارد زیر اشاره کرد. حرکت زنبورها، حرکت مورچه‌ها، حرکت ماهی‌ها، حرکت و مهاجرت پرندگان، همگام شدن کرم‌های شب‌تاب و غیره. برخی از رفتارهای انسانی نیز قابل مدل‌سازی با شبکه‌های فیلترهای افقی است. از قبیل حرکت رانندگان در بزرگراه‌ها و خیابان‌ها (به‌خصوص در مواقع بحرانی و ترافیک که فواصل دور قابل رویت نبوده و اتومبیل‌های در فاصله نزدیک فقط قابل مشاهده هستند).

۱-۴- اهمیت و ضرورت و اهداف تحقیق :

موضوع مدل‌سازی و تولید ضرایب کانال همبسته غیر گوسی دارای کاربردهای بسیاری از جمله در سیستم‌های راداری، مخابرات رادیویی RF و مخابرات نوری بیسیم [۵-۸] است. مخابرات نوری مرئی (VLC) موضوع تحقیق بسیار مهم و مورد علاقه‌ای است. این علاقه به دلیل سرعت بالای ارسال اطلاعات، تاخیر کم، مضرات فیزیکی کم و طیف تخصیص داده نشده است [۹-۱۱] در مخابرات VLC استفاده از روش‌های مدل‌کردن کانال، باعث کاهش چشمگیر آزمایشات مورد نیاز برای طراحی گیرنده‌ها و فرستنده‌ها می‌شود. فایده اصلی استفاده از مدل‌کردن کانال بدست آوردن مقادیر دقیق احتمال خطای سیستم‌های پیاده‌سازی شده در کانال‌های مختلف است.

تحقیقات نشان داده است که کانال مخابراتی VLC به دلیل اغتشاشات معمولاً باید با توزیع لگ نرمال مدل‌سازی شوند. اغتشاشات محیط نوری به صورت تغییرات شدید دامنه و فاز در انتشار پرتو لیزری در زیر آب ظاهر می‌شوند. عمده‌ترین دلیل ایجاد این اغتشاشات تغییرات تصادفی ضریب شکست نور در اتمسفر است که در اثر تغییرات تصادفی دمای محیط ایجاد می‌شود. از دلایل دیگر می‌توان به تغییر میزان رطوبت موجود در هوا (وجود یا عدم وجود مه و ابر)، وجود یا عدم وجود دود و گرد و غبار، وقوع بارندگی یا صاف بودن هوا اشاره کرد. بدیهی است با توجه به امکانات فراوان شبیه‌سازی در عصر

حاضر، نخست باید در جهان ریاضی و با الگوهای متعدد عملیات مدل سازی و شبیه سازی صورت گرفته و با توجه به نتایج حاصل، کار تحقق واقعی سیستم ها و پیاده سازی عملی آنها صورت پذیرد. امروزه دیگر نمی توان با سعی و خطا در صدد طرح سامانه های نوین بود. تحقیق حاضر در صدد پاسخگویی به برخی از مشکلات این سیستم نوین مخابراتی و چاره جویی برای آنها است.

۱-۵- پیشینه تحقیق :

شبکه های وفقی بهترین ابزار برای پردازش داده های توزیع شده در بسیاری از برنامه های کاربردی هستند. با این حال، در نظارت و کاربردهای بی سیم، شبکه نفوذی باید در شرایط غیر ایده آل کار کند و بنابراین باید وجود نویز و مقادیر ضرایب لینک مورد توجه قرار گیرند. عملکرد شبکه های نفوذی در لینک های نویزی در مراجع [۱۹-۲۰] مورد توجه قرار گرفته است اما در شرایط محیط طبیعی نویز تنها موضوع ایجاد کننده اشکال نیست. همچنین عملکرد آنها در شرایط محو شدگی (Fading) در [۴۵ و ۴۸] مورد بررسی قرار گرفته است که ضرایب لینک از توزیع ریلی پیروی می کنند. اما این بررسی شرایط برای حالت مخابرات رادیویی بود و حالت مخابرات بی سیم نوری مورد توجه قرار نگرفته بود. لازم به ذکر است که در مراجع [۴۵ و ۴۸] عملکرد شبکه های وفقی به گونه ای ارائه شده است که اگر توزیع دیگری به جز توزیع ریلی در محاسبات آن مورد استفاده قرار گیرد، محاسبات تغییری نکرده و جوابگوی حالت های مختلف کانال باشد. کاربردهای این محاسبات این است که میتوان در شرایط مختلف کانال از جمله مخابرات زیر آب و مخابرات نوری از آنها استفاده کرد به شرط اینکه ضرایب کانال در این حالتها ضرب شونده بوده و حالت محو شوندگی داشته باشند.

مراجع مختلفی تاکنون سعی در مدل سازی شرایط مختلف کانال نوری بی سیم کرده اند ولی از آنجاییکه در سناریوهای واقعی، پارامترهای بسیاری می توانند در این شرایط تاثیر گذار باشند، همچنان موارد تحقیق نشده بسیاری باقی می ماند. در اینجا به بررسی برخی از کارهای انجام شده تاکنون در این زمینه می پردازیم:

روش های آماری برای توصیف مدل های لینک های FSO و VLC بر روی مدل سازی شدتهای مختلف اغتشاش نوری تمرکز می کنند [۵۷]. به همین علت توزیع های مختلف پیشنهاد می شوند ، مانند توزیع لگنرمال [۵۹] برای اغتشاش ضعیف تا متوسط، توزیع گاما گاما^۱ [۶۰] برای مدل سازی اغتشاش ضعیف تا شدید و نمایی منفی و توزیع K [۴۴ و ۵۷] برای مدل سازی اغتشاش شدید. در این مراجع تنها مدل سازی حالت اما در کاربردهای زیر آب که معمولاً کانال با توزیع لگنرمال مدل سازی می شود، اغتشاشات شدید مورد بررسی قرار نمی گیرند [۶۲].

در حالت کلی در این تحقیق، شرایط مختلفی را برای مدل سازی ضرایب لینک VLC در زیر آب در نظر می گیریم. هم چنین از توزیع لگ نرمال برای مدل سازی ضرایب لینک UVLC استفاده می کنیم.

۱-۶- معیارهای عملکرد شبکه های وفقی:

انتخاب هر یک از این الگوریتم ها برای کار در شبکه سنسوری با استفاده از معیارهای فاصله از ضریب بهینه در شرایط حالت سکون^۲ انجام می گیرد. همچنین سرعت هم گرایی در برخی کاربردها برای کاربران مهم است. استفاده از شبکه های بی سیم وفقی در کاربردهای مختلف می تواند شرایطی برای سیستم تعریف کند که باعث شود روابط و عملکرد الگوریتم ها تغییر کند. به عنوان مثال اگر شرایط نویز محیط در این سیستم ها تغییر کند می توان انتظار داشت که میزان خطا نیز تغییر کند که باعث می شود در انتخاب الگوریتم خود بازبینی انجام دهیم.

اما نوآوری مهمی که اخیراً در مورد شبکه های سنسوری وفقی صورت گرفته بررسی عملکرد دنبال کردن^۳ الگوریتم LMS افزایشی و بدست آوردن روابط بسته مربوط به معیارهای عملکرد آن در شبکه های بی سیم سنسوری می باشد. روش استفاده شده در شبکه مورد نظر برای تخمین، روش افزایشی است که در آن هر گره سنسوری تنها با گره های مجاور خود ارتباط دارد. بررسی های انجام گرفته

¹ Gamma-Gamma

² Steady state

³ Tracking

برای حالت‌های گذرا^۱ و حالت سکون انجام گرفته و روابط مربوط به خطای میانگین مربعات (MSE)^۲، انحراف میانگین مربعات (MSD)^۳ و خطای میانگین مربعات اضافی (EMSE)^۴ استخراج شده است.

همچنین در این متن ما به مطالعه تاثیرات کانال VLC بین گره‌ها در عملکرد شبکه‌های افقی می‌پردازیم. شرایط لازم برای اطمینان از هم‌گرایی میانگین مربعات بررسی شده و نتایج از طریق شبیه‌سازی‌های کامپیوتری مورد آزمایش قرار می‌گیرند. نتایج شبیه‌سازی‌ها تایید کننده نتایج تئوری بدست آمده برای شرایط حالت سکون هستند.

۷-۱- سناریوی تحقیق

در این پایان‌نامه فرضیات زیر در تمام موارد طراحی الگوریتم‌ها و تحلیل‌های ارائه شده، لحاظ شده است:

- ۱- پارامترهای مجهولی که شبکه به دنبال تخمین آن پیاده‌سازی شده است، نسبت به زمان تغییر نمی‌کند.
- ۲- هیچ‌گونه محدودیت پهنای باندی در ارسال اطلاعات بین گره‌ها وجود ندارد.
- ۳- گراف شبکه یک گراف همبند می‌باشد.
- ۴- شرایط ارسال برای تمامی نودها به صورت یکسان فرض شده است.
- ۵- تعداد نودها بین ۵ تا ۲۰ در نظر گرفته شده است.
- ۶- نویز کانال به صورت گوسی جمع شونده در نظر گرفته شده است که فرض مناسبی است و تنها در موارد خاص نویز ضرب شونده پواسن در مخابرات نوری زیر آب مشاهده می‌شود.

¹ Transient

² Mean squared error

³ Mean squared deviation

⁴ Extra mean squared error

۱-۸- نوآوری‌های این پایان نامه:

موارد جدید ذکر شده در مورد موضوع این پایان نامه شامل موارد زیر هستند:

۱- هدف ما در این تحقیق بررسی شرایط استفاده از مخابرات بی‌سیم نوری در مورد شبکه‌های افقی در فضای باز و در زیر آب است. در استفاده از این نوع ارتباطات و کانال‌های نوری دو خاصیت مهم وجود دارد که یکی شامل نویز کانال و دیگری شامل اغتشاشات است. در این پایان نامه نویز کانال نوری با توجه به مقالات و تحقیقات ارائه شده در این زمینه از نوع گوسی جمع شونده در نظر گرفته می‌شود و اغتشاشات کانال نوری در فضای باز (به جهت شدید بودن) را نیز با توزیع نمایی منفی و k مدل سازی می‌کنیم. اغتشاشات کانال نوری در زیر آب را نیز با توزیع لگ نرمال مدل سازی می‌کنیم. براساس نتایج این تحقیق می‌توان حد بالای میزان اغتشاشات برای غیر همگرا شدن سیستم افقی و عدم کارکرد مناسب سیستم را یافت.

۲- تاکنون برای برقراری ارتباطات در زیر آب و بین بستر و سطح آب دریاها تنها ۲ روش امواج صوتی (آکوستیک) و امواج RF معمول بوده اند. این دو روش نیز مزایا و کاستی‌هایی را دارا هستند. امروزه با پیشرفت ادوات نوری و ادوات نیمه هادی مربوطه استفاده از نور (بویژه نور لیزر) جهت انتقال اطلاعات و برقراری ارتباط پیشنهاد می‌گردد. در این خصوص تحقیقات بسیاری در جهت شناختن و ارزیابی این روش و اندازه گیری و سنجش پارامترهای فیزیکی آب دریا انجام گرفته است. یکی از این محققین جناب آقای پروفسور مراد اویسال^۱ و از دانشجویان ایشان آقای محمد الاماسی می‌باشند. ایشان در این زمینه تحقیقات آزمایشگاهی و میدانی بسیاری را انجام داده اند. در این پایان نامه شبیه سازی‌ها برپایه این نتایج و گزارشات صورت گرفته است. در این پایان نامه اثر اغتشاشات نوری در زیر آب بر شبکه‌های افقی افزایشی و بر پایه توزیع لگ نرمال مورد بررسی و شبیه سازی قرار گرفته است.

¹ Professor and Department Head at Department of Electrical and Electronics Engineering, Ozyegin University, Istanbul, Turkey,

تاکنون موضوع استفاده از ادوات نوری در زیر آب در مورد شبکه‌های وفقی مورد بررسی قرار نگرفته است. شبکه‌های سنسوری، چه از نوع وفقی و چه از نوع غیر وفقی قابلیت پیاده سازی با تمامی روش‌های انتقال بی‌سیم را دارا می‌باشند. از آنجاییکه تکنولوژی مخابرات بی‌سیم نوری اخیراً ارائه شده است، پیشنهاد استفاده از این تکنولوژی در پیاده سازی شبکه‌های وفقی می‌تواند نوآوری و بهبود بسیار زیادی را در این زمینه ایجاد کند. هدف اصلی ما در این پایان نامه تشخیص میزان دقیق خطای تخمین شبکه وفقی در این حالت‌های کانال نوری است.

۱-۹- فصل بندی این پایان نامه:

ادامه این پایان نامه به صورت زیر فصل بندی شده است: در فصل ۲ بحث منابع نظری تحقیق مطرح می‌شود. در این فصل بررسی کامل مخابرات نوری در زیر آب و مخابرات نوری در فضاهای بسته (مانند ساختمان‌ها) و نیز مخابرات نوری در زیر آب دریاها پرداخته می‌شود. در فصل ۳، به بررسی اثرات لینک‌های اغتشاش دار زیر آب مدل سازی شده با توزیع لگ‌نرمال بر عملکرد تئوریک شبکه‌های نفوذی توزیع شده پرداخته می‌شود. فصل چهارم نیز به بررسی و تجزیه و تحلیل شبیه عملکرد شبکه وفقی افزایشی زیر آب بر اساس فن آوری UVLC و نیز تأثیر فاصله گره‌ها بر عملکرد شبکه‌های وفقی افزایشی VLC در زیر آب براساس توزیع لگ نرمال می‌پردازد. در فصل ۵ به بررسی و نتیجه‌گیری مطالب ارائه شده در فصل ۴ پرداخته و پیشنهاداتی نیز در آن برای کارهای آینده ارائه شده است.

فصل دوم: مبانی نظری و سابقه کار

۲-۱- مقدمه

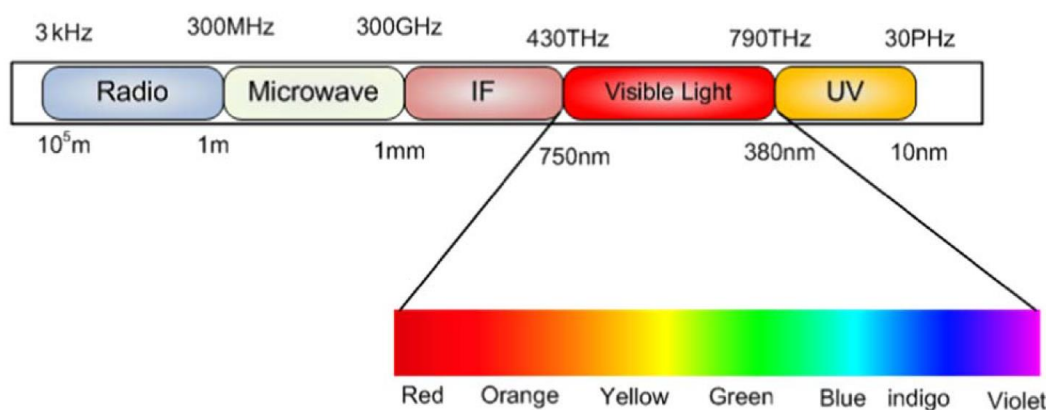
در این فصل به معرفی تکنولوژی مخابرات VLC می‌پردازیم. تفاوت‌های این تکنولوژی را با بقیه تکنولوژی‌های مخابراتی نوری معین می‌کنیم و مزایا و معایب آن را مشخص می‌نماییم. همچنین به معرفی مختصری از ویژگی‌های کانال VLC در زیر آب می‌پردازیم.

۲-۲- مقایسه VLC و امواج رادیویی

در این قسمت مقایسه‌ای ما بین مخابرات رادیویی و VLC انجام می‌دهیم:

الف - مقایسه پهنای باند و ظرفیت

سیستم‌های نورمیری (VLC) از محدوده طول موج ۳۸۰ تا ۷۵۰ نانومتر مربوط به طیف فرکانس 430THz تا 790THz (پهنای باند در حدود 360THz) برای ارتباطات استفاده می‌کنند که در شکل ۱-۲ نشان داده شده است. که در مقایسه با فرکانس‌های امواج متداول رادیویی، ۱۰,۰۰۰ برابر پهنای باند بیشتری را دارد [۲۸].

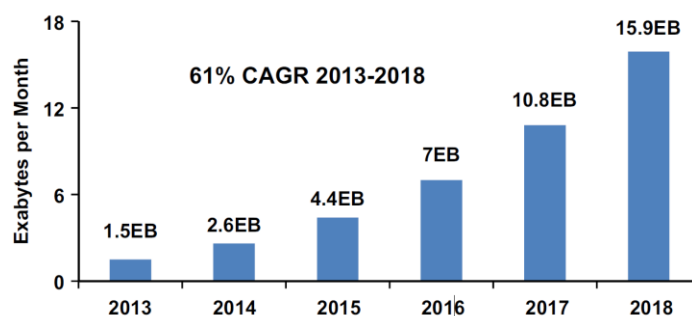


شکل ۱-۲: طیف فرکانسی VLC [۲۸]

اگرچه VLC دارای پهنای باند ارتباطی بالقوه بزرگی است، اما سرعت انتقال داده سیستم VLC محدود به پهنای باند LED است. روشهای زیادی برای پشتیبانی از VLC با سرعت بالا از قبیل

افزایش مرتبه مدولاسیون، فناوری متعادل سازی و مالتی پلکسینگ تقسیم طول موج (WDM) پیشنهاد شده است [۳۰]. محققان سیستم VLC، با سرعت 2.325 Gb / s را با استفاده از QAM و DMT یک LED ارائه کرده اند. [۳۱].

در مقابل محدودیت طیف فرکانس رادیویی، افزایش تقاضا برای داشتن ارتباطات بهتر و ظرفیت بالاتر را دچار مشکل می سازد. بر طبق آمارموسسه CISCO، ترافیک داده تلفن همراه در سال ۲۰۱۸ در مقایسه با سال ۲۰۱۳ افزایش ۱۱ برابری را شاهد است، همانطور که در شکل ۲-۲ نشان داده شده است [۳۰]. افزایش تعداد دستگاه هایی که به شبکه های تلفن همراه دسترسی دارند، دلیل اصلی افزایش شدید ترافیک داده های تلفن همراه است. توسعه خدمات اجتماعی آنلاین (مانند فیس بوک و توییتر) نیز ترافیک داده تلفنهای همراه را افزایش داده است.



شکل ۲-۲ : ترافیک داده شبکه موبایل [۳۰]

ب - تداخل امواج

با توجه به گزارشات اداره فدرال هوایی (FAA)^۱، استفاده از تلفن های همراه در هواپیما، باعث تداخل با سیستم های ارتباطی و ناوبری می شود. تلفن های همراه در هواپیما همچنین باعث اختلال در

¹ Federal Aviation Administration

ارتباط با برج های زمینی می شود که توسط کمیسیون ارتباطات فدرال (FCC)¹ مورد بحث قرار گرفته است.

ج - تاخیر

در یک سیستم ارتباطی بی سیم که نیازمند زمان تاخیر بسیار کم می باشد (مانند ارتباطات وسیله نقلیه و بحث سیستم ایمنی) استفاده از فرکانس رادیویی به دلیل محدودیت پهنای باند و سرعت کم انتقال اطلاعات در آن مناسب نخواهد بود.

د - امنیت و حفظ حریم خصوصی

امواج RF به راحتی از دیوارها عبور می کنند، لذا از جهت مسائل امنیتی و شنود و هک شدن همواره مشکل وجود خواهد داشت. گیرنده VLC تنها سیگنال فرستنده ای را دریافت می کند که با آن در یک اتاق حاضر باشد، لذا گیرنده های خارج از اتاق منبع VLC قادر به دریافت سیگنال نبوده و بنابراین به جهت مسائل امنیتی VLC اولویت دارد.

ه - سلامتی

افزایش توان انتقالی امواج RF ، بیش از حدود معین باعث بروز خطراتی برای سلامتی انسانها می شود، که این مشکل در مورد نور بسیار کمتر است.

و - توان مصرفی

ارتباطات RF از ناکارآمدی و عدم بهره وری توان رنج می برند، زیرا ما نیاز به یک راه اندازی جداگانه برای ارتباط امواج RF داریم. منبع نوری می تواند هم برای روشنایی و هم ارتباطات مورد استفاده قرار گیرد، بنابراین، توان اضافی مورد نیاز در ارتباطات RF صرفه جویی خواهد شد.

¹ Federal Communication Commission

ز - عدم نیاز به اخذ مجوز از رگولاتوری ها

۲-۲-۱ - چالش هایی پیش روی VLC

الف) دخالت با منابع نور محیط

ب) تداخل بین دستگاه های VLC

ج) ادغام VLC با فن آوری های موجود، مانند^۱ WiFi

د) شرایط زیر آب در کاربردهای زیر دریایی

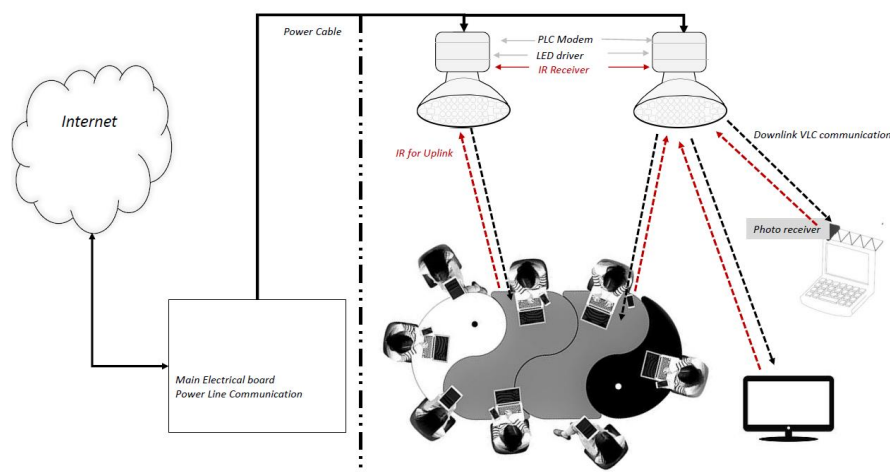
۲-۲-۲ - کاربردهای VLC

برخی از کاربرد های مختلف VLC به شرح زیر هستند:

الف - لای فای

در سال ۲۰۱۱، هارالد هاوس اولین کسی بود که اصطلاح Light Fidelity (LiFi) را به کار برده بود. LiFi یک سیستم ارتباطی بی سیم با قابلیت ارتباط دو سویه با نور مرئی است و نقطه مقابل WiFi می باشد، که از فرکانس رادیویی برای ارتباطات استفاده می کند. سیگنال های Wi-Fi مشکل تداخل با سایر سیگنال های رادیویی مانند سیگنال های تجهیزات ناو بری در هواپیما ها را دارند. بنابراین، همانند شکل ۲-۳ در مناطقی که به اشعه الکترومغناطیسی حساسیت هست (مانند هواپیما ها) LiFi می تواند یک راه حل بهتر باشد. با استفاده از LiFi به سرعت ۱۰ گیگابیت در ثانیه دست پیدا می کنیم که ۲۵۰ برابر بیشتر از سرعت پهنای باند فوق سریع است.

¹ Wireless Fidelity

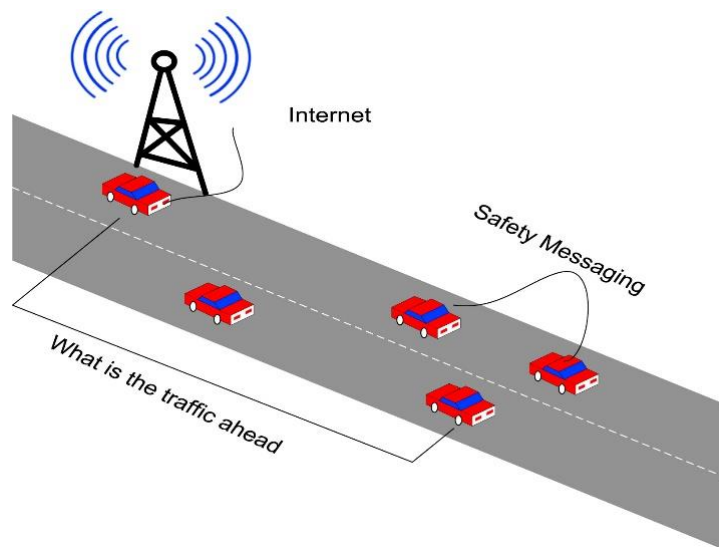


شکل ۲-۳ : شماتیک نمونه ارتباط LiFi [۳۱]

ب- ارتباط خودرو با سایر وسایل نقلیه

VLC می تواند برای ارتباطات وسایل نقلیه به دلیل حضور چراغ های خودرو و زیرساخت های کنترل ترافیکی نوری موجود مورد استفاده قرار گیرد. برنامه های کاربردی اولویت دار برای ایمنی بیشتر خودرو از طریق پروژه های ارتباطی عبارتند از: هشدار برخورد پیش رو، جلوگیری از تصادف، چراغ ترمز الکترونیکی اضطراری، هشدار تغییر خط، دستیار نشانه توقف حرکت، دستیار چرخش به چپ، هشدار نقض قوانین ترافیکی و هشدار منحنی سرعت. تمام برنامه های کاربردی اولویت دار نیاز به قابلیت دسترسی بالا و قابلیت اعتماد با تاخیر بسیار کم را دارند. با توجه به تاخیر مجاز بسیار کم در ارتباطات ایمنی خودرو، یک سیستم ارتباطی نوری مانند لای فای می تواند مورد استفاده قرار گیرد، همانطور که در شکل ۲-۴ نشان داده شده است. در [۴۳] یک سیستم VLC در فضای باز با استفاده از شبکه کنترل کننده (CAN^۱) و استفاده از چراغ عقب و چراغهای جلو برای ارتباطات پیشنهاد شده است.

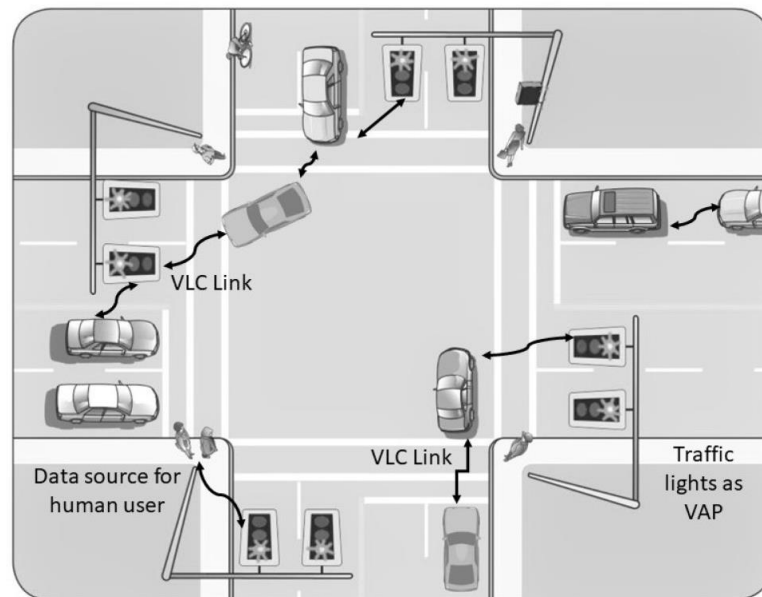
^۱ Controller Area Network



شکل ۲-۴ : VLC برای شبکه خودروها [۴۳]

ج- سیستم حمل و نقل هوشمند

هر سال تقریباً ۱,۲ میلیون نفر در یک حادثه مرتبط با ترافیک جان خود را از دست می دهند و تخمین زده می شود که ۵۰ میلیون نفر نیز مجروح می شوند [۳۳]. محققان نشان داده اند که بیشترین حوادث ناشی از واکنش کند و عدم توانایی رانندگان خودرو در انجام اقدامات مناسب در زمان مناسب است [۳۴]. کلیه وسایل نقلیه مجهز به چراغ های جلو و عقب هستند که می توانند از آنها برای انتقال اطلاعات استفاده کنند. چراغ های راهنمایی یا تابلوهای تبلیغاتی همچنین می تواند برای به اشتراک گذاشتن اطلاعات مفید در مورد جاده، ترافیک و شرایط آب و هوایی استفاده شود. در نتیجه آمار تصادفات و سوانح کاهش یابد. شکل ۲-۵ یک شکل شماتیک در این خصوص است.



شکل ۲-۵ : یک سیستم هوشمند حمل و نقل با استفاده از VLC [۳۴]

د- ارتباطات در زیر آب

امواج رادیویی در آب دریا به دلیل هدایت الکتریکی بالای آن به خوبی انتقال پیدا نمی کنند. بنابراین، ارتباطات VLC می توانند در زیر آب برای شبکه های ارتباطی (زیر دریایی ها، کشتی ها، شبکه سنسور ها، تجهیزات شرکت های نفتی و غیره) استفاده شوند.

ه- بیمارستان ها

در بیمارستان ها، ارتباطات در مناطق حساس به امواج الکترومغناطیسی مانند اطراف اسکنرهای (MRI) بهتر است که به VLC مجهز شوند، زیرا با امواج رادیویی دیگر دستگاه ها تداخل نخواهد کرد. در این خصوص یک ربات به نام HOSPI پیشنهاد شده است که برای حمل و نقل در بیمارستان ها می تواند مورد استفاده قرار بگیرد. پیشرفت های سیستم کنترل در HOSPI با استفاده از VLC نصب شده در یک ساختمان و سنسورهای ناوبری ربات امکان پذیر شده است [۲۸].

و- اطلاعات تابلوهای نمایش (بیلبرد)

تابلوهای نمایش اغلب آرایه ای از LED ها هستند که برای نمایش اطلاعات در فرودگاه ها، ایستگاه های اتوبوس و دیگر مکان هایی که پخش داده ها ضروری است، استفاده می شوند. این نوع تابلوها می تواند برای نمایش در مکان های مختلف مانند فرودگاه ها، موزه ها و بیمارستان ها استفاده شوند.

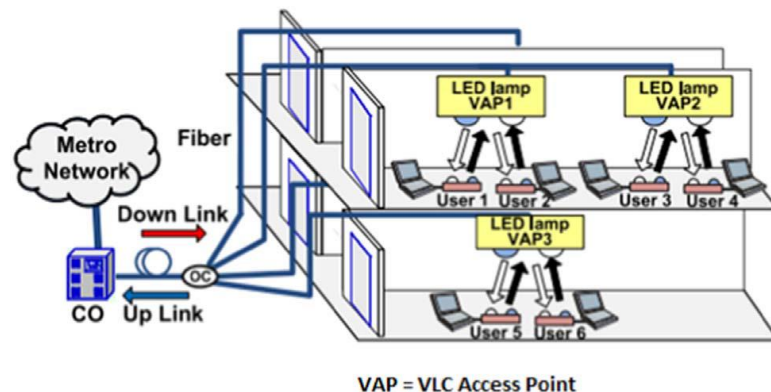
ز- سیستم شناسایی نور مریی

نور مریی می تواند به عنوان یک سیستم شناسایی در مکان های مختلف مانند ساختمان ها و مترو استفاده شود. به عنوان مثال، اگر در یک ساختمان خاص در اتاق ۱۲ ایستاده ایم، برای شناسایی شماره اتاق و ساختمان آن می توان از یک سیستم شناسایی نور مرئی استفاده کرد. به طور مشابه، یک سیستم شناسایی نور مرئی می تواند در مترو، بیمارستان و فرودگاه استفاده شود.

ح- شبکه های بی سیم محلی (WLAN) ها

ارتباطات نور مرئی LED را می توان در راه اندازی شبکه های LAN استفاده کرد. در مرجع [۳۲]، شبکه مبتنی بر معماری توپولوژی ستاره با استفاده از نور LED و ارتباط دوطرفه با سرعت بسیار بالا ارائه شده است که هدف ارائه سرعت های بیشتر از 10 Gb/s بوده و برای کاربران عمده آزمایش شده است. نمودار سیگنال LAN با سرعت بالا در شکل ۲-۶ نشان داده شده است [۳۲]. دلیل طراحی شبکه با استفاده از توپولوژی ستاره، پشتیبانی از کاربران کلان است. از فیبر در ارتباط با هر لامپ به طور مستقیم استفاده می شود، همانطور که در شکل ۲-۶ نشان داده شده است. پروتکل های دسترسی ترکیبی در شبکه پیشنهادی مانند Time Division Multiplexing (TDM) برای انتقال دو طرفه VLC و مالتی پلکس Division Frequency Division (FDM) برای انتقال رو به بالا و رو به پایین استفاده می شود. نتایج حاصل از LAN پیشنهادی قدرت بالقوه آن برای دستیابی به سرعت بالا برای کاربران کلان را نشان داد. یک سیستم LAN بی سیم VLC با سرعت 10 Mbps با استفاده از LED

های سفید پیشنهاد شده است. از سیستم روشنایی برای ارتباط رو به پایین و نور مادون قرمز برای ارتباط رو به بالا استفاده شده است.



شکل ۲-۶ : دیاگرام شماتیک شبکه VLC [۳۲]

VLC در شکل اصلی خود مانند هر سیستم ارتباطی دیگری در حالت رو به پایین از یک LED به عنوان فرستنده، یک کانال ارتباطی نوری زیر آب و یک فتودکتور یا یک سنسور تصویری به عنوان گیرنده تشکیل شده است. این لینک می تواند فرستنده WiFi یا فرستنده IR یا فرستنده VLC مبتنی بر LED باشد. بخش عمده ای از کار بر روی انتقال رو به پایین متمرکز است تا سرعت انتقال داده ها را تحت شرایط محیطی مختلف مانند تشکیل سایه، سناریوی دید غیر مستقیم و حرکت، افزایش داده و بهبود بخشد. با این حال، انتقال رو به بالا برای یکپارچه سازی بی سیم VLC در زیرساخت های ICT موجود نیز به همان اندازه ضروری است.

۲-۳ - UVLC (Under Water Visible Light Communication)

الف - بررسی اجمالی ارتباط نوری بی سیم زیر آب

دو سوم سطح زمین را آب پوشانده است. طی هزاران سال گذشته، انسانها هرگز اکتشاف اقیانوسها را متوقف نکرده اند. در سالهای اخیر، با افزایش تغییرات جهانی آب و هوا و کاهش منابع زمین، علاقه زیادی به تحقیقات در مورد اکتشاف اقیانوسها به وجود آمده است. هم چنین بحث هایی نظیر تشخیص و شناسایی دقیق ترمحیط زیر آب، نظارت بر محیط زیست، پیش بینی وقوع بلایای طبیعی

و سوانح و امکان هشداردهی، اکتشافات دریایی و بهره برداری از نفت و گاز و سایر منابع زیر زمینی در زیربستر آب و کاربردهای نظامی مطرح است. فناوریهای ارتباطی بی سیم در زیر آب (UWC)^۱ امکان تحقق سیستم های اکتشاف اقیانوسی را فراهم می کند و بنابراین توجه بیشتری را به خود جلب می کند. با در نظر گرفتن پهنای باند محدود امواج RF^۲ و روش های صوتی و افزایش نیاز به انتقال داده ها با سرعت بالا تر در زیر آب، ارتباط نوری بی سیم زیر آب (UVLC) جذابیت یافته است. در حقیقت هزاران سال از نور به اشکال مختلف به عنوان روشی برای ارتباط بی سیم استفاده شده است [۲۶]. به عنوان مثال ، چینی های باستان از برج های دیدبانی برای ارائه اطلاعات نظامی در حدود ۱۰۰۰ سال قبل از میلاد مسیح ، و ارتشهای یونان و روم باستان از سپرهای صیقلی و انعکاس نور خورشید برای اطلاع رسانی در حدود ۸۰۰ سال قبل از میلاد استفاده کرده اند. در سال ۱۸۸۰ ، الکساندر گراهام بل سیستم جدید تلفن بی سیم را توسعه داد که از نور خورشید به عنوان وسیله انتقال استفاده می کرد. این سیستم به عنوان اولین سیستم ارتباطی نوری الکترونیکی در جهان شناخته می شود . اختراع لیزر به عنوان منبع نوری در دهه ۱۹۶۰ آینده ارتباطات بی سیم نوری را تغییر داد [3] (OWC^۳). از آن زمان به بعد ، تلاش های فراوانی در زمینه کاربردهای زمینی OWC آشکار شد. اما به دلیل تضعیف شدید نور مرئی در آب دریا و آگاهی محدود از اپتیک در آب ، توسعه اولیه UVLC بسیار عقب تر از ارتباطات زمینی نوری در فضای آزاد (FSO^۴) بود.

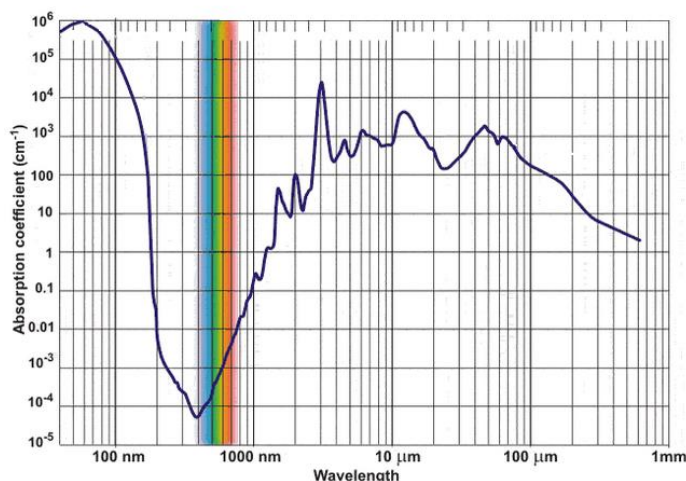
براساس تقریباً ۲۰ سال مطالعه تجربی و نظری انتشار نور در دریا ، در سال ۱۹۶۳، دانتلی ادعا کرد که آب دریا کمترین تلفات را در نور با طول موج از ۴۵۰ nm تا ۵۵۰ nm نشان می دهد که مربوط به طیف آبی و سبز است (شکل ۲-۷). سپس این یافته توسط تجربیات گیلبرت و همکاران او نیز تأیید شد. وجود "پنجره" انتقال نور آبی-سبز در آب، پایه و اساس توسعه UVLC در آینده است.

¹ Under Water Communication

² Radio Frequencies

³ Optic Wireless Communication

⁴ Free Space Optics

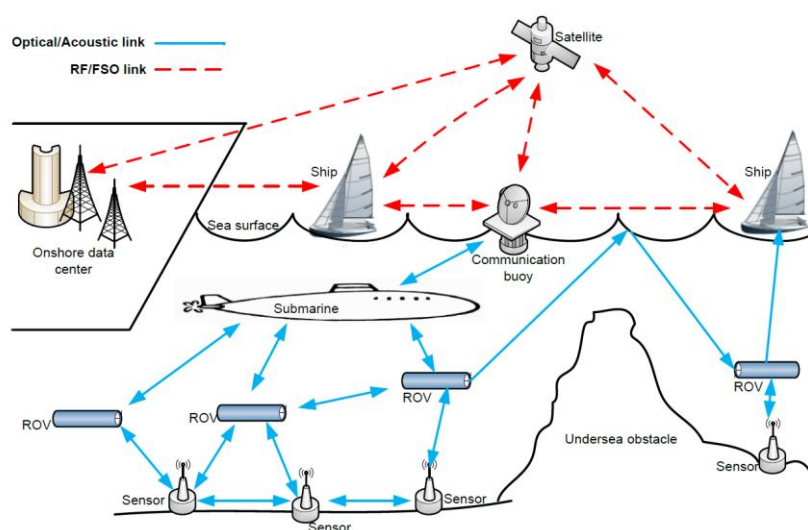


شکل ۲-۷ : "پنجره شفاف" برای میرایی آب رقیق [۲۸]

کاربردهای اولیه UVLC عمدتاً برای اهداف نظامی، به ویژه در ارتباطات زیر دریایی ها است. در سال ۱۹۷۶، کارپ امکان سنجی ارتباطات نوری بی سیم بین پایانه های زیر آب و بالای آب (ماهواره) را ارزیابی کرد. در سال ۱۹۷۷، محققان آزمایشگاه لارنس لیورمور از دانشگاه کالیفرنیا یک سیستم ارتباطات نوری یک طرفه را از ساحل تا زیر دریایی پیشنهاد دادند. فرستنده سیستم UVLC از منبع لیزر آبی-سبز برای تولید پالسهای نوری استفاده می کند. انعطاف پذیری و معماری کم حجم فرستنده سبب می شود که بتواند توسط وسیله نقلیه زمینی یا هواپیما حمل شود. فرستنده همچنین می تواند پرتو نور خروجی خود را به سمت ماهواره در نقش رله ارسال کند، که سپس ماهواره پرتو را به زیر دریایی منعکس بکند. آزمایش های دیگر UVLC مانند وضعیت هواپیما به زیر دریایی نیز در اوایل دهه ۱۹۹۰ توسط نیروی دریایی ایالات متحده انجام گرفت.

بعد از ده ها سال، هنوز هم علاقه به UVLC محدود به برنامه های نظامی است. ترویج گسترده بازار UVLC تاکنون حاصل نشده است. فقط چند محصول محدود UVLC در اوایل سالهای ۲۰۱۰ به بازار عرضه شد، مانند سیستم BlueComm UVLC که می تواند با سرعت ۲۰ مگابیت بر ثانیه داده های زیر آب را از فاصله ۲۰۰ متری [۳۵] انتقال دهد و سیستم Ambalux UVLC که می تواند با سرعت ۱۰ مگابیت بر ثانیه در فاصله ۴۰ متر داده ها را انتقال دهد [۳۵]. به منظور برآوردن تقاضای فزاینده

برای اکتشاف اقیانوس با انتقال داده های باند پهن ، محققان مفهوم شبکه های حسگر بی سیم زیر آب (^۱UWSN) را پیشنهاد کرده اند. پیشنهاد UWSN توسعه UVLC را بسیار تسهیل کرده است. UWSN های اساسی شامل بسیاری از گره های توزیع شده مانند سنسورهای بستر دریا ، رله های شناور، وسایل نقلیه زیر آب مستقل (^۲AUVs) و وسایل نقلیه زیر آب کنترل از راه دور (^۳ROVs) است. این گره ها قابلیت های انجام وظایف سنجشی ، پردازشی و ارتباطی را دارند که نظارت مشارکتی را در محیط زیر آب امکان پذیر می کنند. در شکل ۲-۸، سنسورهای واقع در انتهای بستر دریا داده ها را جمع آوری کرده و از طریق لینکهای صوتی یا نوری به AUV و ROV ها منتقل می کنند. سپس ، AUV و ROV سیگنال ها را به کشتی ها ، زیردریایی ها ، شناورهای ارتباطی و سایر وسایل نقلیه زیر آب منتقل می کنند. در بالای سطح دریا ، مرکز داده های ساحلی داده ها را پردازش کرده و از طریق لینکهای RF یا VLC با ماهواره و کشتی ها ارتباط برقرار می کند.



شکل ۲-۸: شبکه حسگر بی سیم زیر آب در ارتباطات فضائی و زمینی [۳۵]

¹ Under Water Sensor Network

² Autonomous Underwater Vehicles

³ Remotely Operated Underwater Vehicles

ب- انواع پیکر بندی در UVLC

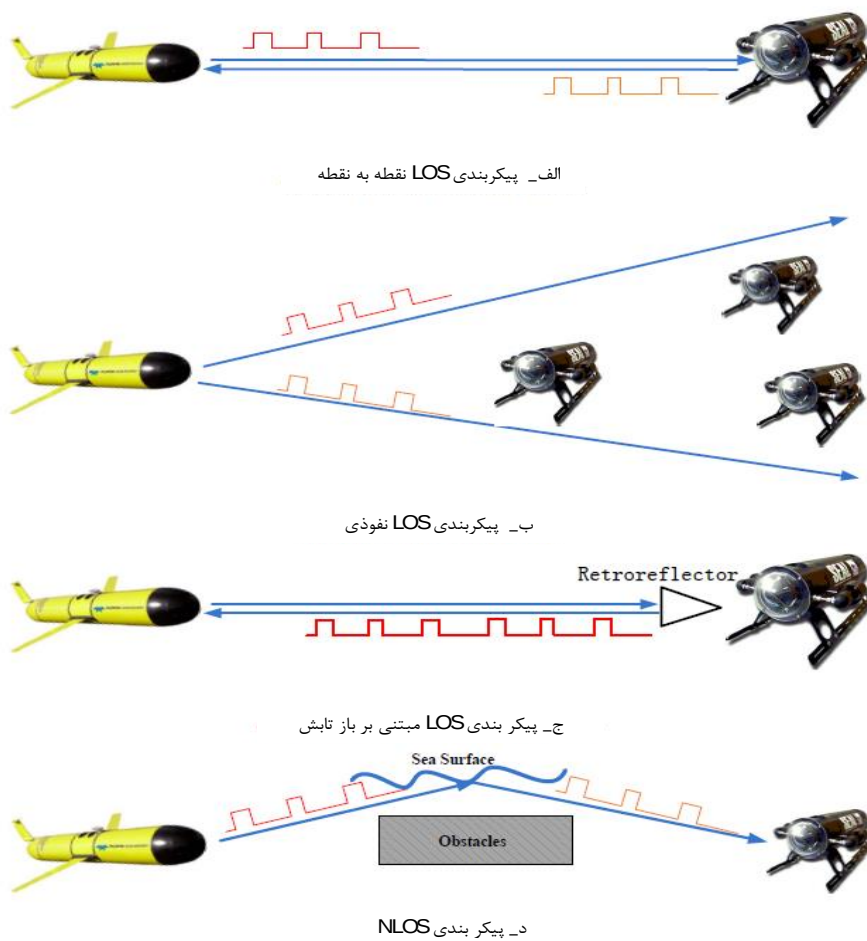
براساس تنظیمات لینک بین گره های UWSN، UVLC ها را می توان به چهار دسته تقسیم کرد
(شکل ۲-۹) [۳۷]:

(۱) پیکربندی خط دید مستقیم LOS،

(۲) پیکربندی LOS نفوذی،

(۳) پیکربندی LOS مبتنی بر بازتابش

(۴) پیکربندی خط دید غیر مستقیم NLOS.



شکل ۲-۹ : پیکر بندی های UVLC [۳۷]

۱- پیکربندی LOS نقطه به نقطه (شکل ۲_۹_الف) رایج ترین پیکربندی لینک در UVLC است. در پیکربندی LOS نقطه به نقطه، گیرنده جهت پرتو نور دریافتی فرستنده را تشخیص می دهد. از آنجا که سیستم UVLC، نقطه به نقطه معمولاً از منابع نوری با زاویه واگرایی باریک مانند لیزر استفاده می کند، نیاز به نشانه گیری دقیق بین فرستنده و گیرنده دارد. این نیاز باعث می شود عملکرد سیستم های UVLC در محیط های آب کدر یا آب پر تلاطم مختل شود و هنگامی که فرستنده و گیرنده، گره های غیرایستاد مانند AUV و ROV هستند، مشکل جدی پیش آید.

۲- پیکربندی LOS نفوذی از منابع نوری پراکنده با زاویه واگرایی بزرگ مانند دیوهای (LED) با توان بالا برای پخش UVLC از یک گره به گره های مختلف استفاده می کند (شکل ۲_۱۲_ب). روش نفوذی (پخشی) می تواند نیاز به نشانه گیری دقیق را تسهیل کند. با این حال، در مقایسه با پیکربندی LOS نقطه به نقطه، لینک مبتنی بر نور پراکنده از تلفات آب ناشی از منطقه تعامل بزرگ با آب رنج می برد. از نقطه نظر ارتباطی دو محدودیت عمده این پیکربندی عبارت هستند از برد نسبتاً کوتاه و نرخ انتقال داده کمتر.

۳- پیکربندی LOS مبتنی بر بازتابش، همانطور که در شکل (۲_۹_ج) نشان داده شده است، می تواند به عنوان یک اجرای ویژه از پیکربندی LOS نقطه به نقطه در نظر گرفته شود. این تنظیمات برای سیستم های UVLC دو سوپه با توان و وزن محدود، مانند گره سنسور زیر آب مناسب باشد. در این پیکربندی، نورارسال شده توسط فرستنده از یک بازتابنده بازتابش می کند. در طی این فرآیند، اطلاعاتی که بازتابنده به فرستنده انتقال می دهد بر روی نور منعکس شده کدگذاری می شود. از آنجا که هیچ لیزر یا منابع نوری دیگری در انتهای بازگردانی وجود ندارد، میزان مصرف انرژی، حجم و وزن آن به طرز چشمگیری کاهش خواهد یافت. یکی از محدودیت های این پیکربندی این است که پراکندگی سیگنال نوری ارسالی ممکن است سیگنال منعکس شده را مختل کند، بنابراین نسبت

سیگنال به نویز (SNR) سیستم کاهش و میزان خطای بیت (BER^1) افزایش یابد. علاوه بر این، از آنجا که سیگنال های نوری دو بار از طریق کانال زیر آب عبور می کنند، سیگنال دریافت شده می تواند تضعیف بیشتری را تجربه کند.

۴- پیکربندی NLOS شکل (۲_۹_د) بر محدودیت نشانه گیری LOS غلبه می کند. در این پیکربندی، فرستنده پرتوی نور را به سطح دریا با زاویه بیشتر از زاویه شکست می تاباند، به طوری که پرتو نور یک بازتاب داخلی کلی را تجربه می کند. گیرنده باید از سطح دریا در جهتی استفاده کند که تقریباً موازی با نور بازتاب باشد تا از دریافت سیگنال مناسب اطمینان حاصل شود. چالش مهم لینکهای NLOS شیب های تصادفی سطح دریا ناشی از باد یا سایر منابع تلاطم است. این پدیده های نامطلوب نور را به فرستنده بازتاب می دهند و باعث پراکندگی شدید سیگنال می شوند.

ج- مزایا و چالش های UVLC

سیستم های UVLC برای ارتباطات با سرعت بالا در زیر آب بین چندین گره ثابت یا متحرک استفاده می شوند. آنها از پتانسیل بالایی برای کاربردهای مختلف در UWSN برخوردار هستند. به طور معمول، سه انتخاب UWC برای اجرای UWSN وجود دارد: آکوستیک، RF و نور [۲۰]. به منظور تأکید بر مزیت ها و خصوصیات منحصر به فرد UVLC، UVLC را با روش های RF و آکوستیک در زیر این بخش مقایسه خواهیم کرد.

روش آکوستیک پرکاربردترین فناوری در UWC است. این روش تاریخ کاربرد طولانی دارد که می تواند به اواخر دهه ۱۸۰۰ میلادی برسد. پس از گسترش کاربردهای نظامی در طول دو جنگ جهانی، سیستم ارتباطات صوتی زیر آب به یک فناوری اثبات شده رایج تبدیل شده است که تقریباً در همه جنبه های UWSN کاربرد دارد. با توجه به پهنای بسیار اقیانوس ها و تأثیر تضعیف آب دریا نسبت به سایر منابع انتقال مانند موج نوری و موج RF این روش بسیار متداول بوده است. جذابترین مزیت

¹ Bit Error Rate

ارتباط صوتی زیر آب این است که می تواند یک لینک طولانی تا چند ده کیلومتر را ممکن بسازد. اگرچه روش صوتی محبوب ترین روش برای دستیابی به UWC است، اما دارای محدودیت های فنی ذاتی نیز است. در مرحله اول، از آنجا که فرکانس های معمولی مرتبط با آکوستیک زیر آب بین ۱۰ هرتز و ۱ مگاهرتز است، سرعت داده انتقال لینک صوتی نسبتاً کم است (به طور معمول چندین kbps [۱۴]). ثانیاً، به دلیل سرعت آهسته انتشار موج صوت در آب (تقریباً ۱۵۰۰ متر بر ثانیه برای آب خالص با دمای ۲۰ درجه سانتیگراد)، لینک صوتی از تأخیر ارتباطی شدید (به طور معمول در چند ثانیه) رنج می برد. بنابراین نمی تواند از برنامه هایی که نیاز به تبادل داده با حجم زیاد در زمان واقعی دارند پشتیبانی کند. ثالثاً، گیرنده های آکوستیک معمولاً حجیم، پرهزینه و مصرف انرژی زیادی دارند. آنها برای UWSN های کلان اقتصادی نیستند. علاوه بر این، فناوری آکوستیک همچنین می تواند بر زندگی موجودات دریایی تأثیر بگذارد که از امواج صوتی برای برقراری ارتباط با یکدیگر و پیمایش استفاده می کنند. (مانند نهنگ ها)

ارتباطات الکترومغناطیسی (RF (EM در زیر آب می تواند به عنوان یک گسترش ارتباطات زمینی RF-EM دیده شود. ارتباط RF در زیر آب دو مزیت عمده دارد. ابتدا، در مقایسه با موج صوتی و موج نوری، موج RF می تواند یک انتقال نسبتاً صاف از طریق رابط هوا / آب انجام دهد. این مزیت را می توان برای دستیابی به ارتباطات مرزی که ترکیبی از سیستم ارتباطی RF زمینی و سیستم ارتباطی RF-EM زیر آب است با هم استفاده کرد. مزیت دوم آن که، روش RF-EM نسبت به روشهای نوری و آکوستیک نسبت به تلاطم آب و کدورت آب مقاومت بیشتری دارد. محدودیت کلیدی که مانع توسعه روش RF-EM در زیر آب می شود، محدودیت طول لینک آن است. از آنجا که آب دریا حاوی مقدار زیادی نمک بوده که آن نیز یک محیط رسانای انتقال را تشکیل می دهد، امواج RF فقط می توانند چند متر را در فرکانس های بسیار کم (۳۰-۳۰۰ هرتز) طی بکنند. علاوه بر این، سیستم های RF-EM در زیر آب نیز به آنتن های عظیم و گران قیمت و گیرنده های پر مصرف انرژی نیاز دارند.

در مقایسه با رویکرد آکوستیک و رویکرد RF-EM ، UVLC دارای بالاترین میزان سرعت انتقال داده ، کمترین تاخیر در لینک و کمترین هزینه اجرا است. UVLC می تواند در مرتبه Gbps در مسافت های متوسط تا ده ها متر ، داده ها را منتقل کند. این مزیت سرعت بالا تحقق بسیاری از برنامه های بلندرانگ مانند انتقال فیلم زیر آب را تضمین می کند. از آنجا که سرعت انتقال نور در آب بسیار بیشتر از موج صوتی است ، لینک های UVLC از تأخیر در لینک مصون هستند. UVLC همچنین از امنیت ارتباطی بالاتری نسبت به روش های صوتی و RF برخوردار است. بیشتر سیستم های UVLC به جای سناریوی حالت پخشی مانند آکوستیک و موج RF در پیکربندی LOS پیاده سازی می شوند. استراق سمع سخت تر خواهد بود. علاوه بر این ، UVLC از جهت مصرف انرژی و هزینه بسیار مقرون به صرفه تر از همتای آکوستیک و RF آن است. به جای استفاده از فرستنده های آکوستیک و RF بزرگ و گران قیمت که بسیار مصرف کننده انرژی دارند ، فرستنده های نوری زیر آب نسبتاً کوچک و کم هزینه بوده (مانند دیودهای لیزری و دیودهای عکس برداری) و در سیستمهای UVLC قابل اجرا هستند. این مزیت می تواند سبب بهبود تجارت در مقیاس بزرگ UVLC و سرعت بخشیدن به پیاده سازی UWSN ها باشد.

اگرچه UVLC نسبت به روش های آکوستیک و RF از مزایای بسیاری برخوردار است ، دستیابی به UVLC به عنوان یک پروژه چالش برانگیز باقی مانده است. چالش های اصلی UVLC به شرح زیر ذکر شده است.

۱- سیگنال نوری از جذب و پراکندگی شدید رنج می برد. اگرچه طول موج نور انتقالی به دقت در طیف آبی و سبز انتخاب می شود تا اثر تلفات انتقال را به حداقل برساند ، اما به دلیل تداخلات فوتونی اجتناب ناپذیر با مولکول های آب و سایر ذرات موجود در آب ، جذب و پراکندگی شدت سیگنال نور انتقالی را کاهش داده و باعث ایجاد پدیده محو شدن چند مسیری می شود. با توجه به اثر جذب و پراکندگی ، UVLC از عملکرد ضعیف BER در فاصله چند صد متری لینک در محیط آبهای کدر

رنج می برد. در محیط زیر آب مواردی مانند کلروفیل قادر به جذب نورهای آبی و قرمز هستند. این مواد و سایر مواد آلی محلول رنگی (¹CDOM) می توانند باعث افزایش کدورت آب شوند و به این ترتیب فاصله انتشار نور کاهش می یابد. علاوه بر این، غلظت CDOM با تغییر عمق اقیانوس نیز تغییر کرده و بنابراین ضرایب تضعیف نور تغییر می کند. این تأثیرات نامطلوب، پیچیدگی سیستم UVLC را افزایش می دهد.

۲- لینک های نوری زیر آب به دلیل تراز نبودن (روبرو نبودن) و تنظیم نامناسب مکانی به طور موقت از هم جدا می شوند. گیرنده ها در سیستم های UVLC، لیزرهای آبی و سبز یا LED بوده و به دلیل ویژگی واگرایی باریک به عنوان منبع نور به کار گرفته خواهند شد. با این حال شرایط دقیق تراز بودن لازم است. از آنجا که محیط زیر آب در اعماق کم متلاطم است، بد نشانه گیری لینک خصوصاً در کاربردهای عمودی UVLC نظیر ارتباط شناورهای عمودی با اعماق آب به طور مکرر صورت خواهد گرفت. حرکات تصادفی سطح دریا نیز می تواند سبب مشکلات جدی اتصال گردد.

۳- اجرای سیستم های UVLC به دستگاههای قابل اطمینان در زیر آب نیاز دارد. زیر آب محیطی پیچیده است جریان، فشار، دما و شوری آب دریا به شدت بر عملکرد و طول عمر دستگاههای UVLC تأثیر خواهد گذاشت. با توجه به اینکه این زیرساخت نمی تواند از انرژی خورشیدی بهره برداری کند لذا مدت زمان کار دستگاه های UVLC، قابلیت اطمینان باتری های دستگاه و راندمان مصرف برق دستگاه بسیار مهم خواهد بود.

فلچر و همکاران نشان دادند که سیستم ارتباطی نور مرئی می تواند بیش از ۱۰۰ متر را با سرعتی در رنج گیگابیت در ثانیه در آبهای شفاف منتقل کند [۳۸]. نیمه هادی معمول منابع نوری مری دیودهای لیزر (²LDs) و دیودهای ساطع کننده نور (LED) هستند. LD دارای چگالی توان بالاتر، فاصله انتقال طولانی تر و سرعت انتقال بالاتر است. اما در عملکرد واقعی، گیرنده و فرستنده نیاز به

¹ Colored dissolved organic matter

² Laser diode

تراز بودن دقیق با یکدیگر را دارند. درمقابل ، نور LED ماهیت واگرا داشته و امکان استفاده گسترده تری را می دهد و نیز امکان انتقال بیشتری را نیز فراهم می آورد [۳۹]. دیود LED از مقاومت حرارتی بسیار پایینی برخوردار بوده و بنابراین می تواند قدرت نوری بسیار بالاتری را منتشر کند [۴۰،۴۱]. مهمتر از همه، LED ها بسیار ارزان تر از دیودهای لیزری هستند. وای ژائو و همکاران. ارتباط VLC زیر آب با نرخ انتقال ۱,۷۲۵ گیگابیت بر ثانیه را با استفاده از یک LED سبز رنگ ارائه کرده اند [۴۲].

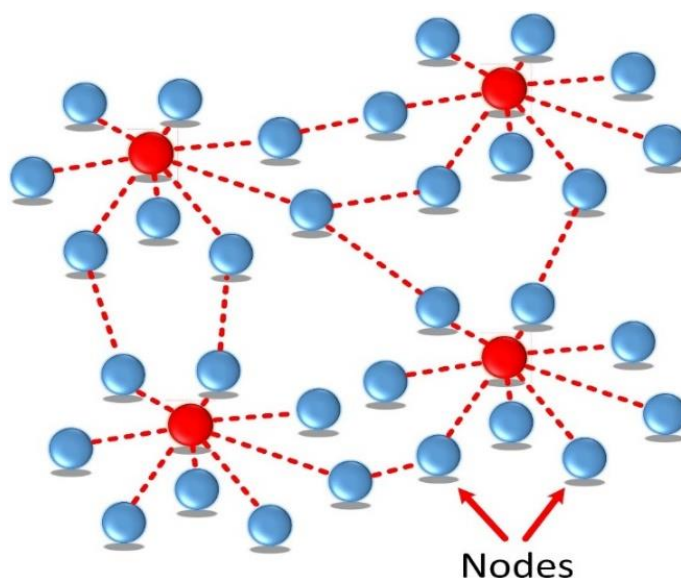
جدول ۲-۱: مقایسه امواج صوتی، رادیویی و نوری در زیر آب

محدودیت ها	مزایا	فن آوری های UWC
نرخ کم انتقال داده (در مرتبه kbps) تأخیر ارتباطی زیاد (در مرتبه ثانیه) گیرنده های حجیم، پر هزینه و پرمصرف (انرژی) مضر برای چندین گونه حیات دریایی	رایج ترین فن آوری UWC برد ارتباطی طولانی تا ۲۰ کیلومتر	آکوستیک
برد کوتاه لینک گیرنده های حجیم، پر هزینه و پرمصرف (انرژی)	عبور نسبتاً صاف از مرزهای هوا / آب تحمل بیشتر نسبت به تلاطم و کدورت آب عدم نیاز به نشانه گیری بسیار دقیق سرعت انتقال داده متوسط با نرخ (حداکثر ۱۰۰ مگابیت بر ثانیه) در فاصله نزدیک	رادیویی
عدم امکان عبور راحت از مرز آب و هوا ازجذب شدید و پراکندگی رنج می برد دامنه لینک متوسط (تا دهها متر)	نرخ انتقال داده فوق العاده بالا تا Gbps ایمن در مقابل تاخیر انتقال گیرنده کم هزینه و کم حجم	نوری

۲-۴- شبکه سنسور های بی سیم :

متشکل از صدها یا هزاران سنسور (گره) که با یکدیگر ارتباط برقرار کرده و داده ها را از طریق همدیگر عبور می دهند. تحقیقات انجام شده در این زمینه بیشتر بر روی محاسبات بقاء انرژی و محاسبات توزیع شده تمرکز دارد.

سنسورها (گره ها) در یک ناحیه جغرافیایی توزیع می شوند. هر سنسور دستگاه الکتریکی با قابلیت ارتباط بی سیم ، پردازش سیگنال ، منبع توان ، حافظه محدود ، فرستنده و گیرنده رادیویی و امکان اندازه گیری پارامترهایی مثل حرارت ، سرعت ، نور ، ارتعاش ، فشار ، رطوبت و سیستم مکان یابی جهانی می باشد. سنسور می تواند یک کشتی یا بالون یا غیره باشد. در حالت خاص هر سنسور می تواند همراه با یک فیلتر وفقی باشد تا بتواند برخی پارامترهای مورد نظرا تخمین بزند. (می توان بجای فیلتر وفقی از شبکه عصبی بهره برداری کرد). مانند شکل (۲-۱۰)



شکل ۲-۱۰ : یک شبکه حسگر با گره های برآورد شده

۲-۵- کاربردهای شبکه های سنسور بی سیم :

می توان به برخی از کاربردهای شبکه های سنسور بی سیم به اختصار اشاره کرد.

الف- برای کشف و بررسی تغییرات محیطی در دشتهای جنگلی و اقیانوسها (نظارت بر محیط زیست)

برای مثال برآورد و تخمین دما و تغییرات آن، تشخیص وقوع آتش سوزی، تشخیص زمین لرزه،

تخمین وقوع سیلاب، تخمین وقوع طوفان

ب- نظارت ها و کاربردهای نظامی از قبیل کشف و شناسایی حملات بیولوژیکی، هسته ای و

شیمیایی و حرکات احتمالی دشمن، ردیابی تانکها و دیگر تجهیزات نظامی

ج- ردیابی موجودی انبارها یا فروشگاهها

د- نظارت های پزشکی

ه- فضاها و ساختمان های هوشمند

و- نظارت و مدیریت در فرآیند تولید

ز- سیستم های ارتباطی جدید، سیستم های موبایل نسل ۵.

ح- بررسی وضعیت ترافیک در اتوبانها و محلات پر ترافیک.

ط- مدیریت پارکینگها

پس از معرفی مشخصات کانال نوری VLC و UVLC، اکنون باید به ارائه نحوه بررسی عملکرد فیلتر

تکی وفقی پردازیم. سپس به بررسی عملکرد شبکه های وفقی در شرایط ایده آل و بعد از آن در حالت

غیر ایده آل می پردازیم .

۲-۶- بررسی عملکرد فیلتر تکی وفقی در شرایط ایده آل :

برای شروع تحلیل‌های خود ابتدا مدل خطی زیر را برای معرفی الگوریتم LMS استفاده شده در گره-های شبکه وفقی در نظر می‌گیریم:

$$\mathbf{d}(i) = \mathbf{u}_i w^0 + v(i) \quad (2-1)$$

در این رابطه $\mathbf{d}$ یک مقدار عددی متغیر با میانگین صفر ($E\mathbf{d} = 0$) و واریانس $\sigma_d^2 = E|\mathbf{d}|^2$ است. همچنین $\mathbf{u}$ یک بردار $1 \times M$ متغیر با میانگین صفر و ماتریس خود همبستگی مثبت مشخص (positive definite) با ابعاد $M \times M$ به صورت $R_u = E\mathbf{u}^*\mathbf{u}$ است.

بنابراین بردار $M \times 1$ همبستگی متقابل دو متغیر $\mathbf{d}$ و $\mathbf{u}$ به صورت زیر خواهد بود:

$$R_{du} \triangleq E\mathbf{d}\mathbf{u}^* \quad (2-2)$$

تخمین بهینه خطی $\mathbf{d}$ با در دست د

که در آن w یک بردار $M \times 1$ به نام بردار وزن‌ها است. دقت شود که در این حالت نماد w به جای نماد k قرار گرفته است و نام آن از ضریب به وزن تغییر پیدا کرده است زیرا مقدار $\mathbf{u}w$ ترکیب وزن دهی شده مقادیر u می‌باشد. پاسخ این مساله همانطور که قبلاً داشتیم با نماد گذاری جدید به صورت زیر خواهد بود:

$$w^0 = R_u^{-1}R_{du} \quad (2-4)$$

که در آن w^0 بردار وزن بهینه است. در این حالت مقدار کمینه تابع هزینه MSE از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$m.m.s.e = \sigma_d^2 - R_{ud}R_u^{-1}R_{du} \quad (2-5)$$

همانطور که گفته شد از آنجایی که بدست آوردن w^0 به صورت قطعی همیشه ممکن نیست به فکر اعمال روش پرشیب‌ترین نزول و روش تدریجی برای بدست آوردن آن خواهیم بود. در این روش یک مقدار اولیه برای w حدس زده می‌شود و در هر تکرار با استفاده از یک مقدار تصحیح، حدس خود را بهبود می‌دهیم، داریم:

$$w_i = w_{i-1} + \mu p \quad (2-6)$$

که در آن w_{i-1} حدسی از w^0 در تکرار $i - 1$ ام و w_i حدس به روز رسانی شده در تکرار i ام است. P بردار جهت به روز رسانی است که باید مقدار آن را تعیین کنیم و μ میزان گام است که باید کوچک انتخاب شود تا به مقدار بهینه همگرا شویم اما اگر اندازه آن بسیار کوچک انتخاب شود باعث افت سرعت همگرایی خواهد شد.

مقدار بهینه P برای کاهش تابع هزینه در هر تکرار، به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$p = -[\nabla_w J(w_{i-1})]^* = R_{du} - R_u w_{i-1} \quad (2-7)$$

با جاگذاری P در رابطه (2-6) داریم:

$$w_i = w_{i-1} + \mu [R_{du} - R_u w_{i-1}], \quad i \geq 0, \quad w_{-1} = \text{initial guess} \quad (2-8)$$

مقدار بهینه μ با این شرایط از رابطه زیر بدست می‌آید البته این در شرایطی است که میزان گام را ثابت در نظر بگیریم. حالت‌های وجود دارد که در آنها این مقدار ثابت نیست:

$$0 < \mu < 2/\lambda_{\max} \quad (2-9)$$

که در آن $\lambda_{\max}$ بزرگترین مقدار ویژه ماتریس R_u است. منحنی آموزش روش پرشیب‌ترین نزول در این حالت به صورت زیر تعریف می‌شود و به آن منحنی MSE نیز می‌گویند:

$$J(i) = E|e(i)|^2 \quad (2-10)$$

که در آن $e(i)$ خطا در تکرار i ام بوده و داریم:

$$e(i) = d - uw_{i-1} \quad (2-11)$$

۲-۷- الگوریتم LMS (least mean square) :

تا اینجا روش پرشیب ترین نزول را بر مساله تخمین خود اعمال کردیم. اما مساله اینجاست که بدست آوردن پارامترهای حیاتی این روش یعنی R_{du} و R_u در مسائل تخمین وفقی تقریباً غیر ممکن است و این به دلیل ماهیت تغییرات تصادفی سیگنال‌های دریافتی خواهد بود. بنابراین به فکر روشی می‌افتیم که نیازمند محاسبه دقیق این مقادیر نباشد و با توجه به تغییرات تصادفی متغیرها خود را با آنها وفق دهد.

در روش LMS این مقادیر را با تخمین‌های در لحظه جایگذاری می‌کنیم. در این صورت خواهیم داشت:

$$\hat{R}_{du} = d(i)u_i^* \quad \text{و} \quad \hat{R}_u = u_i^* u_i \quad (2-12)$$

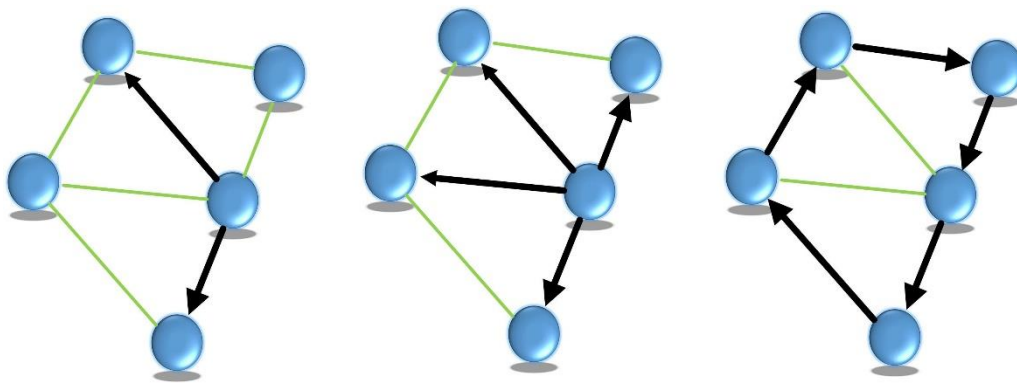
بنابراین فرمول روش پرشیب‌ترین نزول به صورت زیر در می‌آید:

$$w_i = w_{i-1} + \mu u_i^* [d(i) - u_i w_{i-1}] \quad \text{و} \quad w_{-1} = \text{initial guess} \quad (2-13)$$

این رابطه فرمول اساسی روش LMS را نشان می‌دهد.

۲-۸- نحوه همکاری بین گره‌ها در شبکه فیلترهای وفقی ایده آل :

در مورد نحوه همکاری و ارتباط بین فیلترهای وفقی در شبکه تاکنون روشهای زیادی ارائه شده است که در میان آنها دو روش افزایشی (Incremental) و ترکیبی (Diffusion) محبوبیت بیشتری دارند. در شکل ۲-۱۱ نحوه همکاری در این روش‌ها دیده می‌شود.



(ج) نفوذی احتمالی

(ب) نفوذی

(الف) افزایشی

شکل ۲-۱۱ : شیوه های همکاری

در شیوه همکاری افزایشی (Incremental) اطلاعات به صورت ترتیبی از یک گره به گره مجاورش انتقال پیدا می کند. این شیوه عملکرد نیازمند یک نوع همکاری پربودیک یا تناوبی مابین گره ها بوده و کمترین میزان انتقال انرژی و اطلاعات را میطلبد. در صورتی که در شیوه نفوذی (Diffusion) هر گره با کلیه همسایگان براساس ساختار شبکه ارتباط دارد. میزان انتقال اطلاعات در این حالت بیشتر از روش افزایشی است، با این همه گره ها دسترسی بیشتری به اطلاعات همسایگان خود دارند. میزان انتقال اطلاعات را در روش نفوذی میتوان با محدود کردن ارتباط هر گره با تعداد کمتری از همسایگان خود، کاهش داد. این که هر گره با کدام دسته از همسایگان خود ارتباط داشته باشد میتواند نسبت به کاربرد متفاوت باشد. اکنون هر یک از الگوریتمهای همکاری را به اختصار توضیح میدهیم. ابتدا رابطه خطی زیر را برای تعریف مساله تخمین در شبکه های افقی در نظر میگیریم:

$$d_k(i) = w^0 u_{k,i} + v_k(i) \quad (2-14)$$

هدف ما به دست آوردن وزن های w^0 از روی ورودی های $u_{k,i}$ و خروجی های مطلوب $d_k(i)$ است. $v_k(i)$ نویز اندازه گیری است. این هم گرایی به صورت تدریجی با یکی از روش های زیر انجام می شود.

۲-۸-۱- روش همکاری متمرکز^۱:

با وزن فرضی اولیه $\{w_{-1} = 0\}$ کار را شروع می‌کنیم. برای هر تکرار $i \geq 0$ مراحل زیر داریم:

(۱) داده‌های $\{d_k(i), u_{k,i}\}$ را از تمام گره‌ها دریافت می‌کنیم.

(۲) در پردازنده مرکزی وزن‌ها به صورت زیر به روز رسانی می‌شوند:

$$w_i = w_{i-1} + \mu_k \sum_{k=1}^N u_{k,i}^* (d_k(i) - u_{k,i} w_{i-1}) \quad (2-15)$$

(۳) ارسال وزن تطبیق شده $\{w_i\}$ به تمام گره‌ها و ادامه چرخه تا کوچکتر شدن مقدار خطا از یک حد مشخص.

۲-۸-۲- روش همکاری افزایشی:

مانند شکل ۲-۱۲ با وزن اولیه محلی $\{\psi_{N,-1} = 0\}$ کار را شروع می‌کنیم. برای هر تکرار $i \geq 0$ مراحل زیر داریم:

(۱) برای گره‌های $k = 1$ تا $N - 1$ داریم:

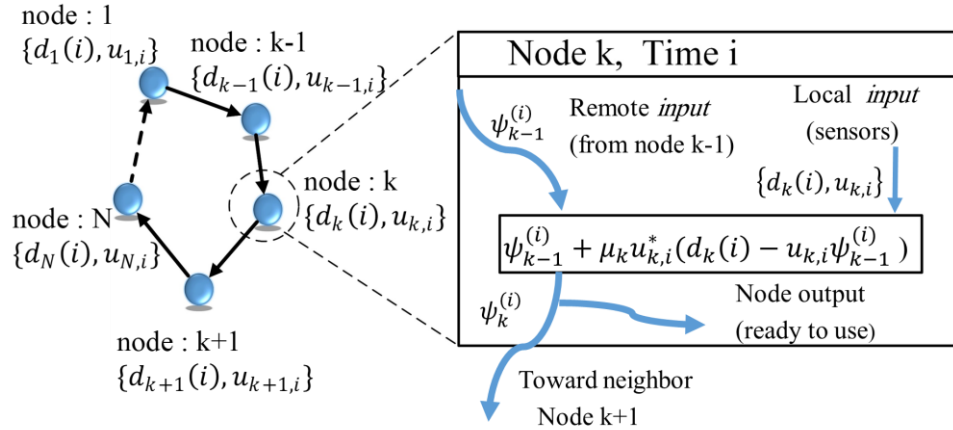
$$\psi_{k,i} = \psi_{k-1,i} + \mu_k u_{k,i}^* (d_k(i) - u_{k,i} \psi_{k-1,i}) \quad (2-16)$$

(۲) در گره N داریم:

$$w_i = \psi_{N,i} \quad (2-17)$$

در فصل ۳ از روش همکاری افزایشی و نیز نفوذی از الگوریتم LMS برای تخمین توزیع شده در کانال‌های VLC استفاده می‌کنیم.

¹ Centralized



شکل ۲-۱۲ : پردازش داده بوسیله الگوریتم توزیعی LMS افزایشی [۵۴]

۲-۸-۳- روش همکاری نفوذی:

در روش همکاری نفوذی هر گره می‌تواند با چندین گره دیگر ارتباط داشته باشد و با ترکیب نتایج تخمین‌های محلی آنها، تخمین اولیه خود را از وزن‌های مورد نظر ایجاد کند. بنابراین در هر گره ۲ مرحله کار داریم که یکی شامل ترکیب و دیگری شامل هم‌گرایی است. براساس اولویت هر یک از این مراحل، ۲ نوع الگوریتم نفوذی ایجاد می‌شود که یکی شامل الگوریتم هم‌گرایی بعد ترکیب (ATC) و دیگری شامل ترکیب بعد هم‌گرایی (CTA) می‌شود.

در ادامه هر یک از این الگوریتم‌ها را توضیح می‌دهیم:

در الگوریتم ATC با وزن اولیه محلی $\{\psi_{l,-1} = 0\}$ کار را شروع می‌کنیم. برای هر تکرار $i \geq 0$ و هر گره k مراحل زیر داریم:

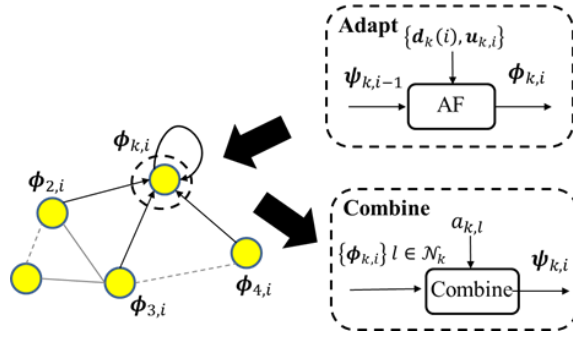
(۱) هم‌گرایی وزن محلی را به صورت زیر انجام می‌دهیم:

$$\phi_{k,i} = \psi_{k,i-1} + \mu_k u_{k,i}^* (d_k(i) - u_{k,i} \psi_{k,i-1}) \quad (2-18)$$

(۲) وزن‌های محلی را با هم ترکیب می‌کنیم:

$$\psi_{k,i} = \sum_{l \in \mathcal{N}_k} a_{k,l} \phi_{l,i} \quad (2-19)$$

در شکل ۲-۱۳ مراحل روش نفوذی ATC دیده می‌شود:



شکل ۲-۱۳: استراتژی نفوذی ATC [۵۵]

در الگوریتم CTA با وزن اولیه محلی $\{\psi_{l,-1} = 0\}$ کار را شروع می‌کنیم. برای هر تکرار $i \geq 0$ و هر

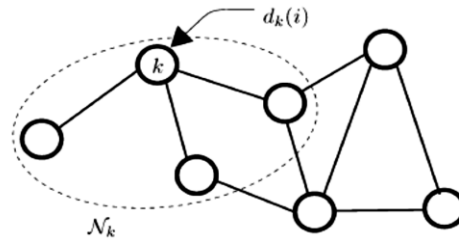
گره k مراحل زیر داریم:

(۱) هم‌گرایی وزن محلی را به صورت زیر انجام می‌دهیم:

$$\phi_{k,i-1} = \sum_{l \in \mathcal{N}_k} a_{k,l} \psi_{l,i-1} \quad (2-20)$$

در این روابط $\mathcal{N}_k$ نشان دهنده تعداد گره‌هایی است که گره k با آنها همسایه بوده و با آنها ارتباط

دارد (شکل ۲-۱۴):

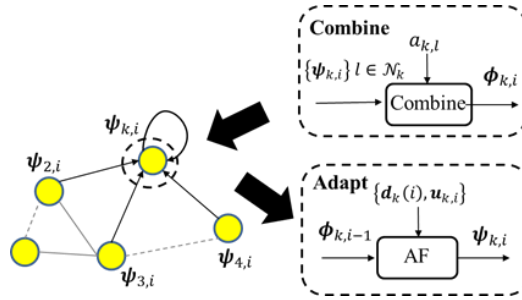


شکل ۲-۱۴: همسایگی گره k ام [۵۵]

(۲) وزن‌های محلی را با هم ترکیب می‌کنیم:

$$\psi_{k,i} = \phi_{k,i-1} - \mu_k u_{k,i}^* (d_k(i) - u_{k,i} \phi_{k,i-1}) \quad (2-21)$$

در شکل ۲-۱۵ مراحل این استراتژی نشان داده شده است:



شکل ۲-۱۵: استراتژی نفوذی CTA [۵۵]

۲-۹- توضیحاتی در مورد شدت پرتو یا اغتشاشات (Irradiance):

پرتوی نوری کانال دارای اغتشاش را با میدان الکتریکی متناظر آن $E(r)$ و میدان کانال بدون اغتشاش را با $E_0(r)$ نشان می دهیم. در این حالت داریم:

$$E(r) = A(r) \exp(i\phi(r)) \quad (۲-۲۲)$$

$$E_0(r) = A_0(r) \exp(i\phi_0(r)) \quad (۲-۲۳)$$

که در این روابط $A(r)$ و $\phi(r)$ و $A_0(r)$ و $\phi_0(r)$ نشان دهنده دامنه و فاز میدان با اغتشاش و بدون اغتشاش هستند.

۲) شدت پرتو (Irradiance) در حالت با اغتشاش $I = |A(r)|^2$ بوده و در حالت بدون اغتشاش $I_0 = |A_0(r)|^2$ است. در این حالت شدت لگاریتمی برابر است با:

$$l = \ln \left| \frac{A(r)}{A_0(r)} \right|^2 \quad (۲-۲۴)$$

بنابراین

$$I = I_0 \exp(l) \quad (۲-۲۵)$$

که واریانس شدت لگاریتمی برابر است با $\sigma_l^2 = 1.23 C_n^2 k^{7/6} L_p^{11/6}$. توزیع پارامتر I نشان دهنده تاثیرات کانال و اغتشاشات آن بر روی سیگنال ارسالی نوری بوده و در واقع نشان دهنده ضرایب کانال نوری خواهد بود. در ادامه به توضیح توزیع لگنرمال ارائه شده در این پایان نامه می پردازیم.

۲-۹-۱- توزیع لگ نرمال

توزیعی که در این پایان نامه برای مدل سازی ضرایب کانال UVLC مورد استفاده قرار می گیرد توزیع لگ نرمال است. یکی از متداول ترین توزیع های مورد استفاده در مدل سازی ضرایب کانال نوری دارای

اغتشاش، توزیع لگنرمال است. این توزیع بر مبنای تعداد زیادی آزمایشات میدانی ارائه شده است. تابع چگالی احتمال (PDF) این توزیع به صورت زیر است:

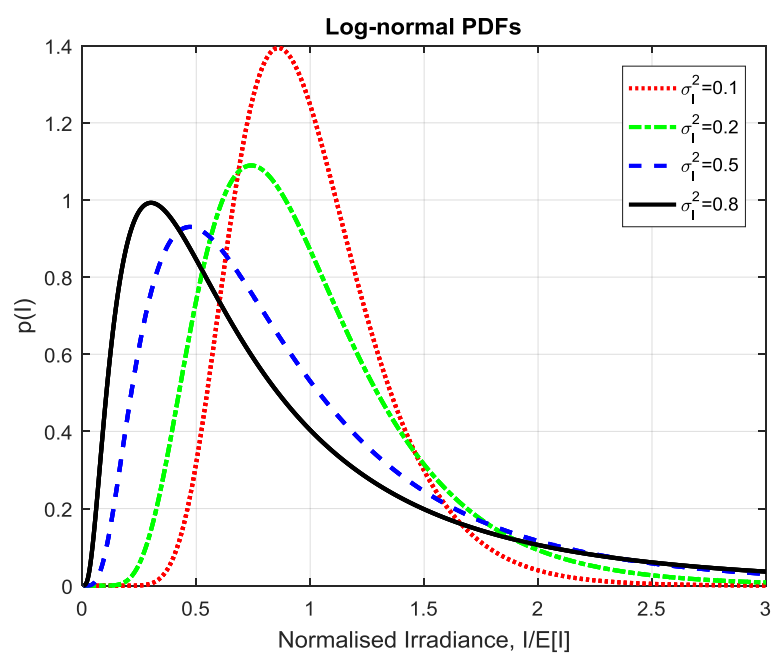
$$p(I) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_l^2}} \frac{1}{I} \exp\left\{-\frac{(\ln(I/I_0) - E[l])^2}{2\sigma_l^2}\right\} \quad I \geq 0 \quad (2-26)$$

که در آن $\sigma_l^2 = 1.23 C_n^2 k^{7/6} L_p^{11/6}$ واریانس لگاریتمی ایرادیانس برای یک موج مسطح است و آزمایشات مقادیر آن را برای توزیع لگنرمال برابر 0.1، 0.2، 0.5 و 0.8 مشخص کرده‌اند. مشخصات آماری این توزیع پارامترهایی هستند که در عملکرد شبکه و فقی تاثیر دارند. این پارامترها عبارتند: میانگین و ممان مرتبه دوم توزیع که در جدول ۲-۲ این مقادیر برای مقادیر مختلف σ_l^2 آورده شده‌اند:

جدول ۲-۲: پارامترهای آماری توزیع لگ نرمال

For Log-normal model			
σ_l^2	μ	$\mathbb{E}[I] = m_k$	$\mathbb{E}[I^2] = s_k$
0.1	-0.005	1	1.01
0.2	-0.02	1	1.04
0.5	-0.125	1	1.284
0.8	-0.32	1	1.896

در شکل ۲-۱۶، PDF های توزیع لگ نرمال برای مقادیر مختلف σ_l^2 نشان داده شده است.



شکل ۲-۱۶: توابع چگالی احتمال توزیع لگنرمال با واریانس‌های متفاوت.

افزایش مقدار σ_I^2 باعث تغییرات شدیدتر ضرایب اغتشاش کانال نوری VLC می‌شود و این تغییرات در عملکرد شبکه وفقی تاثیر منفی خواهد داشت. برای ضرایب اغتشاش کانال نوری زیر آب UVLC جداول دیگری مورد نیاز است که آنها در فصل چهارم پایان نامه ارائه خواهند شد.

فصل سوم: مبانی تئوری تحقیق

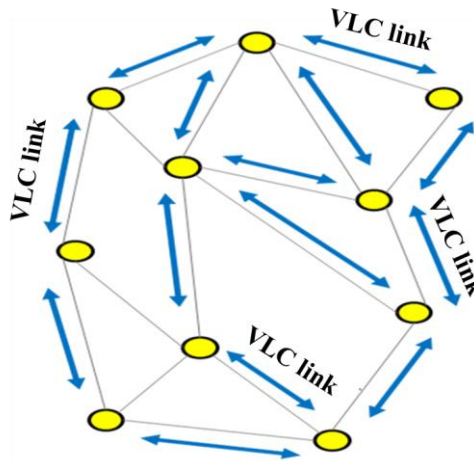
۳-۱- مقدمه

به منظور بررسی عملکرد شبکه‌های نفوذی در زیر آب و با تکنولوژی VLC به صورت تئوریک، به تئوری تاثیر ضرایب محوشدگی بر این شبکه‌ها متصل می‌شویم. در این مباحث تئوریک، تاثیر نویز جمع شونده و پارامترهای کانال ضرب شونده بر عملکرد شبکه نفوذی بررسی شده است. در این فصل با تغییر ضرایب محوشدگی به ضرایب کانال VLC این نتایج تئوریک را به مبحث عملکرد شبکه نفوذی در زیر آب تبدیل می‌کنیم. نویز محیط را همانند قبل نویزی در نظر می‌گیریم. ادغام شبکه های افقی با فناوری ارتباطات نوری VLC زمینه تحقیقاتی بسیار جالبی است، زیرا با افزودن مزایای این فناوری، شبکه های افقی کارآمدتر، ارزان و ایمن تر می شوند. فیلترهای افقی و شبکه های افقی قابلیت استفاده در مواردی را دارند که پارامتری غیر قابل دسترسی مستقیم را خواهیم تخمین بزنیم. یکی از این سیستم ها که در معرض تداخل و حساسیت بالا است، شبکه های حسگرهای بی سیم می باشند. اجرای شبکه های افقی با فناوری VLC بسیار مطلوب است چرا که کاربرد این سیستم ها می تواند در نظارت بر محیط اطراف و ردیابی اهداف باشد که عمده‌تاً کاربردهای نظامی دارند. این در شرایطی است که ارتباطات VLC از پهنای باند نوری ثبت نشده به جای طیف رادیویی بسیار پرکاربرد و شلوغ استفاده می کنند. آنها دارای پهنای باند وسیع و گسترده ای با فرکانسهای ثبت نشده هستند، نیازی به حفاری ندارند و تجهیزات آنها نیز ارزانتر، سبک تر و دقیق تر از سیستم های رادیویی (RF) بوده و با آن سیستم ها نیز تداخلی ندارند. اما، با وجود تمام مزایای ارتباطات VLC، این فناوری از نویز نوری و اغتشاش کانال رنج می برد. اغتشاش نوری ناشی از تغییر ضریب شکست نور محیطی بین فرستنده نوری و گیرنده است که در اثر تداخلات محیطی مانند باران، مه و آلودگی وغیره ایجاد می شود. از آنجا که میزان این اغتشاش متغیر بوده و در کل پدیده هائی تصادفی هستند، توزیع های آماری متعددی برای مدل سازی رفتار آنها وجود دارد. (توضیحات مفصل تر در فصل ۲ آمده است).

اگر بخواهیم از یک سیستم ارتباطی RF به فناوری VLC مهاجرت کنیم ، ابتدا باید مطمئن باشیم که این تغییر ارزشمند بوده و سیستم با مشکلات غیرقابل حل روبرو نخواهد شد. در این بخش، هدف ما این است که ببینیم لینکهای VLC در زیر آنچه تاثیری بر عملکرد شبکه های افقی می گذارند. شبکه های افقی عمدتاً به دو روش اصلی تقسیم می شوند. (۱) استراتژی افزایشی و (۲) استراتژی نفوذی. در این پایان نامه ما تنها به بررسی عملکرد استراتژی نفوذی می پردازیم. موضوع اصلی در این فصل عبارت است از اثرات لینک های اغتشاش دار زیر آب بر عملکرد نظری و شبیه سازی شده شبکه های نفوذی افقی. حال نظر به اهمیت بسیار مباحث تئوریک در شبکه های نفوذی افقی ابتدا مبحث مربوط به آن را شروع می کنیم.

۳-۲- اثرات لینک های اغتشاش دار زیر آب بر عملکرد نظری و شبیه سازی شده شبکه های نفوذی افقی

یکی از سیستم هایی که می تواند به فناوری VLC منتقل شود ، شبکه افقی نفوذی است. اما ، از آنجا که هدف اصلی استفاده از شبکه های افقی ، پایش و تخمین پارامترهای محیطی است ، دقت در انجام وظایف آنها بسیار مهم است. وقتی کانال VLC دارای اغتشاش کمی باشد ، می توان انتظار داشت که شبکه نفوذی که با این فناوری اجرا شده ، به درستی کار کند. اما در مواردی که اغتشاش بسیار شدید است ، دیگر نمی توان این هدف را انتظار داشت. ارزیابی دقیق اثرات کانال VLC در شبکه های نفوذی افقی می تواند یک روش مهم در تصمیم گیری برای اجرا یا عدم اجرای آنها با فناوری VLC باشد. شبکه های افقی نفوذی بهترین ابزار برای پردازش داده های توزیع شده در بسیاری از کاربردها هستند. با این حال ، در نظارت و کاربردهای بی سیم ، شبکه نفوذی باید در شرایط غیر ایده آل کار کند و بنابراین، نویز لینک و ضرایب آن بایستی مورد توجه قرار بگیرند. شکل ۳_۱ یک شبکه نفوذی را نشان می دهد که با فناوری ارتباطی VLC پیاده سازی شده است.



شکل ۳-۱: شبکه نفوذی پیاده سازی شده با لینک های VLC

در این فصل، ما توزیع لگنرمال را برای مدل سازی ضرایب لینک VLC در نظر می گیریم. در مرجع [۴۵]، تأثیر ضرایب کانال رادیویی بر عملکرد شبکه های افقی نفوذی در نظر گرفته شده است و ما در این جا از یافته های نظری آن مقاله استفاده کرده و آنها را در شرایط لینک VLC به کار می بریم.

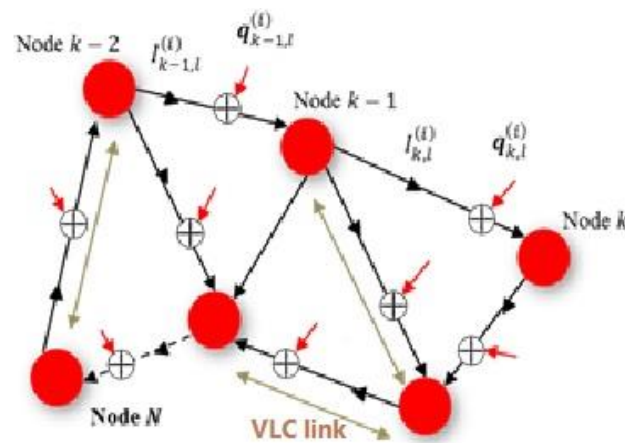
تحقیق اول ما در این فصل آن است که برای اولین بار، توضیحی مفصل و کامل برای تولید ضرایب لینک VLC در شرایط اغتشاش شدید، پارامترها و PDF آنها ارائه بدهیم. کار دوم در این فصل، بررسی عملکرد شبکه های افقی نفوذی با لینکهای VLC در حضور اغتشاش شدید با توزیع نمایی منفی و توزیع K است.

۳-۳- بیان مشکل

به منظور بررسی عملکرد شبکه های نفوذی افقی با شرایط لینک VLC، ما یک شبکه حاوی N گره طراحی می کنیم که بردار وزن $\mathbf{w}^0$ با اندازه $(M \times 1)$ را دنبال می کند. هر گره در این شبکه به متغیرهای $\mathbf{u}_{k,i}$ و $d_k(i)$ در هر تکرار دسترسی دارد که این متغیرها به ترتیب بردار رگرسیون ورودی و خروجی اسکالر مطلوب هستند. رابطه خطی بین این دو متغیر در هر مرحله به شرح زیر است:

$$d_k(i) = \mathbf{u}_{k,i} \mathbf{w}^0 + v_k(i) \quad (۱-۳)$$

از شبکه خواسته می شود با حضور نویز اندازه گیری $v_k(i)$ ، به صورت تکراری به بردار w^0 همگرا شود. وفقی نفوذی می تواند با دو استراتژی اجرا شود: تطبیق و سپس ترکیب (ATC) و یا ترکیب سپس تطبیق (CTA). این دو الگوریتم در لینکهای VLC با شرایط غیر ایده آل کارکرد متفاوتی دارند و بنابراین ، فرمول آنها باید حاوی ضرایب لینک و نویز لینک باشد. شکل ۲-۳ شبکه وفقی نفوذی با لینکهای VLC غیر ایده آل را نشان می دهد:



شکل ۲-۳: شبکه نفوذی با لینک VLC دارای اختلال

که در آن $I_{k,l}^{(i)}$ ، ضریب لینک VLC (یا ضریب تابش مانند [۳]) مابین گره k و l می باشد. همچنین $q_{k,l}^{(i)}$ برای نشان دادن بردار نویز لینک بین همان گره ها استفاده می شود. در شرایط لینک VLC ، متغیرهای $q_{k,l}^{(i)}$ معمولاً از توزیع عادی پیروی می کنند و متغیرهای $I_{k,l}^{(i)}$ از مدل های اغتشاش نوری پیروی می کنند که در بخش III توضیح داده شده اند. در اینجا ما دو استراتژی نفوذی را در شرایط لینک VLC شرح می دهیم:

۳-۴- روش نفوذی ترکیب سپس انطباق (CTA) در شرایط لینک دارای اغتشاش

استراتژی CTA با ترکیب تخمین وزن دریافتی از گره های همجوار شروع می شود [۲۲]. با این حال ، در شرایط اغتشاش اتصال VLC و در مرحله تکرار i ، این تخمینهای دریافتی در ضریب لینک $I_{k,l}^{(i)}$ ضرب شده و با بردار نویز کانال $(q_{k,l}^{(i)})$ بین گره های k و l جمع می شوند. نتیجه در گره k حاصل از گره l برابر است با $t_{k,l}^{(i)}$:

$$t_{k,l}^{(i)} = I_{k,l}^{(i)} \psi_k^{(i)} + q_{k,l}^{(i)}, \quad l \in \mathcal{N}_k \quad (۲-۳)$$

در این رابطه $\mathcal{N}_k$ تعداد گره های همسایه گره k را نشان می دهد. ذکر این نکته ضروری است که ما در شبیه سازی های خود $\mathcal{N}_k = 7$ را انتخاب می کنیم. معادله ترکیبی برای این CTA می شود [۶۲] :

$$\phi_k^{(i-1)} = \sum_{l \in \mathcal{N}_k} a_{k,l} t_{k,l}^{(i-1)} \quad (۳-۳)$$

گره k پس از جمع آوری تخمین های محلی همه گره های همسایه ، آنها را با ضرایب $a_{k,l}$ ترکیب می کند که به صورت یکنواخت مانند [۲۲] تولید می شوند:

$$a_{l,k} = \begin{cases} \frac{1}{n_k}, & l \in \mathcal{N}_k \\ 0, & otherwise \end{cases} \quad (۴-۳)$$

در مرحله آخر استراتژی CTA ، گره k تخمین خود را با استفاده از داده های دریافت شده و الگوریتم حداقل میانگین مربعات (LMS) با اندازه گام μ_k بروز رسانی می کند و داریم:

$$\psi_k^{(i)} = \phi_k^{(i-1)} + \mu_k \mathbf{u}_{k,i}^* (d_k(i) - \mathbf{u}_{k,i} \phi_k^{(i-1)}) \quad (۵-۳)$$

۳-۵- روش نفوذی سپس ترکیب (ATC) در شرایط لینک دارای اغتشاش

در این روش همکاری ابتدا تخمین محلی گره k را با استفاده از داده های دریافت شده به روز می کنیم:

$$\phi_k^{(i)} = \psi_k^{(i-1)} + \mu_k \mathbf{u}_{k,i}^* (d_k(i) - \mathbf{u}_{k,i} \psi_k^{(i-1)}) \quad (6-3)$$

در مرحله بعد ، ما تخمین های محلی گره های همسایه را که از طریق لینکهای VLC دریافت می شوند جمع می کنیم و آنها را به صورت [۲۲] نشان می دهیم:

$$\mathbf{r}_{k,l}^{(i)} = I_{k,l}^{(i)} \phi_k^{(i)} + \mathbf{q}_{k,l}^{(i)}, \quad l \in \mathcal{N}_k \quad (7-3)$$

سرانجام ، آنها را با ضرایب یکنواخت ترکیب می کنیم:

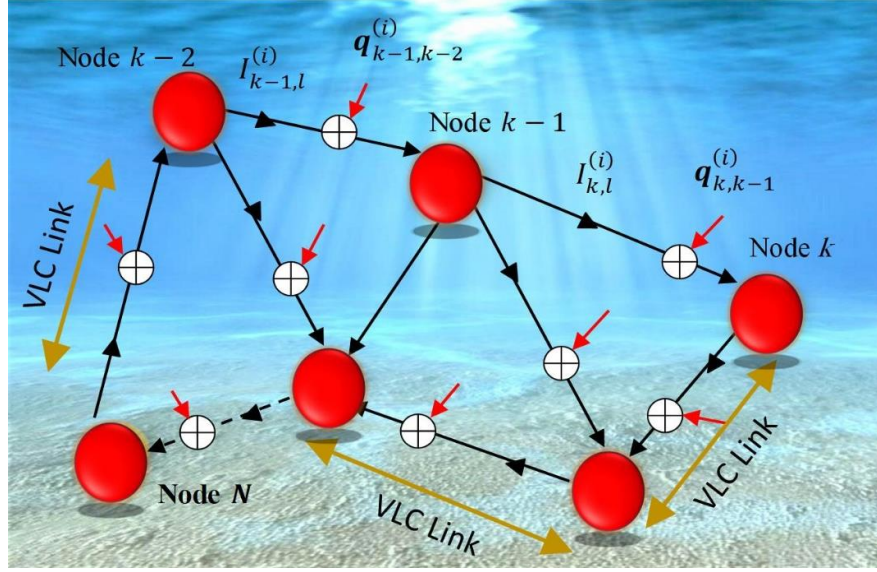
$$\psi_k^{(i)} = \sum_{l \in \mathcal{N}_k} a_{k,l} \mathbf{r}_{k,l}^{(i)} \quad (8-3)$$

۳-۶- مدل های کانال VLC با سطح اغتشاش بسیار قوی

هدف این بخش نشان دادن اثر اغتشاش نوری بر عملکرد تخمینی شبکه های نفوذی وفقی است. با استفاده از روشهای حذف نویز، بخشی از نویزهای لینک را می توان تا حدودی برطرف کرد، اما اثرات ضرایب لینک اغتشاش نوری فقط با روش تخمین کانال و روشهای متعادل سازی کاهش می یابند. کانال های سیستم ارتباطی VLC بیشتر توسط توزیع های لگ نرمال (برای شرایط اغتشاش ضعیف و متوسط) مدل سازی می شوند.

۳-۷- تحلیل نظری

شکل ۳-۳ نشان دهنده یک شبکه نفوذی در حال عملکرد با لینکهای VLC است:



شکل ۳-۳: شبکه وقفی نفوذی در حال عملکرد در کانال نوری VLC

به منظور بررسی عملکرد شبکه نفوذی در کانال VLC معیارهای خطای زیر را در نظر می‌گیریم:

$$MSD_k \triangleq \lim_{i \rightarrow \infty} E \left[\left\| \tilde{\psi}_{k-1}^{(i)} \right\|_I^2 \right] \quad (۱-۳)$$

$$EMSE_k \triangleq \lim_{i \rightarrow \infty} E \left[\left\| \tilde{\psi}_{k-1}^{(i)} \right\|_{R_{u,k}}^2 \right] \quad (۲-۳)$$

که در آن $\tilde{\psi}_k^{(i)} = \mathbf{w}^o - \psi_k^{(i)}$ بردار خطای وزن در گره k است. به منظور نوشتن روابط بقای انرژی که لازمه تحلیل تئوریک عملکرد هستند، مقادیر زیر را تعریف می‌کنیم:

$$\mathbf{U}_i \triangleq \text{diag}\{\mathbf{u}_{1,i}, \dots, \mathbf{u}_{N,i}\}$$

$$\boldsymbol{\psi}^i \triangleq \text{col}\{\boldsymbol{\psi}_1^{(i)}, \dots, \boldsymbol{\psi}_N^{(i)}\}$$

$$\mathbf{d}_i \triangleq \text{col}\{d_1(i), \dots, d_N(i)\}$$

$$\boldsymbol{\phi}^i \triangleq \text{col}\{\boldsymbol{\phi}_1^{(i)}, \dots, \boldsymbol{\phi}_N^{(i)}\}$$

$$\mathbf{w}^{(o)} \triangleq \text{col}\{\mathbf{w}^o, \dots, \mathbf{w}^o\}$$

$$\mathbf{v}_i \triangleq \text{col}\{v_1(i), \dots, v_N(i)\}$$

$$\mathbf{q}^i \triangleq \text{col}\{\mathbf{q}_1^{(i)}, \dots, \mathbf{q}_N^{(i)}\}$$

$$\mathbf{D} \triangleq \text{diag}\{\mu_1 \mathbf{I}_M, \dots, \mu_N \mathbf{I}_M\} \quad (۳-۳)$$

از آنجاییکه کلیه $\mathbf{q}_{k,l}^{(i)}$ مستقل از یکدیگرند داریم:

$$\mathbf{Q} \triangleq E[\mathbf{q}^i(\mathbf{q}^i)^*] = \text{diag}\{\mathbf{Q}_1, \dots, \mathbf{Q}_N\} \quad (4-3)$$

با استفاده از رابطه خطی بین ورودی‌ها و خروجی‌های گره به صورت $d_k(i) = \mathbf{u}_{k,i}\mathbf{w}^o + v_k(i)$ داریم:

$$\mathbf{d}_i = \mathbf{U}_i\mathbf{w}^{(o)} + \mathbf{v}_i \quad (5-3)$$

و به همین صورت:

$$\begin{aligned} \boldsymbol{\phi}^{i-1} &= \mathbf{G}_i\boldsymbol{\psi}^{i-1} + \mathbf{q}^{i-1} \\ \boldsymbol{\psi}^i &= \boldsymbol{\phi}^{i-1} + \mathbf{D}\mathbf{U}_i^*(\mathbf{d}_i - \mathbf{U}_i\boldsymbol{\phi}^{i-1}) \end{aligned} \quad (6-3)$$

که در آن $\mathbf{G}_i$ ماتریس اغتشاشات (ایرادپانس) کانال است:

$$\mathbf{G}_i = \begin{bmatrix} c_{11} & I_{12}(i)c_{12} & \dots & I_{1N}c_{1N} \\ \vdots & c_{22} & \dots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ I_{N1}(i)c_{N1} & \dots & \dots & c_{NN} \end{bmatrix} \quad (7-3)$$

با اعمال مقادیر اغتشاشات کانال به محاسبات داریم:

$$\boldsymbol{\psi}^i = \mathbf{G}_i\boldsymbol{\psi}^{i-1} + \mathbf{q}^{i-1} + \mathbf{D}\mathbf{U}_i^*(\mathbf{d}_i - \mathbf{U}_i\mathbf{G}_i\boldsymbol{\psi}^{i-1} - \mathbf{U}_i\mathbf{q}^{i-1}) \quad (8-3)$$

اکنون با در نظر گرفتن $\mathbf{w}^{(o)}$ داریم:

$$\begin{aligned} \tilde{\boldsymbol{\psi}}^i &= \mathbf{G}_i\tilde{\boldsymbol{\psi}}^{i-1} + (\mathbf{I} - \mathbf{G}_i)\mathbf{w}^{(o)} - \mathbf{q}^{i-1} \\ &\quad - \mathbf{D}\mathbf{U}_i^*(\mathbf{U}_i\mathbf{w}^{(o)} + \mathbf{v}_i - \mathbf{U}_i\mathbf{G}_i\tilde{\boldsymbol{\psi}}^{i-1} - \mathbf{U}_i\mathbf{q}^{i-1}) \\ &= \mathbf{D}\mathbf{U}_i^*(\mathbf{d}_i - \mathbf{U}_i\mathbf{G}_i\boldsymbol{\psi}^{i-1} - \mathbf{U}_i\mathbf{q}^{i-1}) \end{aligned} \quad (9-3)$$

$$- \mathbf{D}\mathbf{U}_i^*\mathbf{U}_i(\mathbf{I} - \mathbf{G}_i)\mathbf{w}^{(o)} - \mathbf{q}^{i-1} + \mathbf{D}\mathbf{U}_i^*\mathbf{U}_i\mathbf{q}^{i-1}$$

با اعمال نرم وزن دهی شده و عملگر میانگین گیری از این رابطه داریم:

$$E[\|\tilde{\boldsymbol{\psi}}^i\|_{\Sigma}^2] = E[\|\tilde{\boldsymbol{\psi}}^{i-1}\|_{\Sigma'}^2] + E[\mathbf{v}_i^*\mathbf{U}_i\mathbf{D}\Sigma\mathbf{D}\mathbf{U}_i^*\mathbf{v}_i] + E[\|\mathbf{q}^{i-1}\|_{\mathbf{H}}^2] + \|\mathbf{w}^{(o)}\|_{\mathbf{K}+\mathbf{L}}^2 \quad (10-3)$$

که در آن $E[\tilde{\psi}^{i-1}] = \mathfrak{B}w^{(o)}$ و $\mathfrak{B}$ یک ماتریس است:

$$H = \Sigma - E[U_i^* U_i] D \Sigma - \Sigma D E[U_i^* U_i] + E[U_i^* U_i D \Sigma D U_i^* U_i]$$

$$\Sigma' = E[G_i^* H G_i]$$

$$K = E[(I - G_i)^* H (I - G_i)]$$

$$L = E[\mathfrak{B}^* G_i^* H (I - G_i)] + E[(I - G_i) H G_i \mathfrak{B}] \quad (۱۱-۳)$$

به منظور محاسبه مقادیر EMSE و MSD فرض می‌کنیم که بردار ورودی بازگشتی از یک توزیع گوسی با میانگین صفر پیروی می‌کند و ماتریس کواریانس آن $R_u = E[U_i^* U_i] = T \Lambda T^*$ است که در آن داریم $\Lambda = \text{diag}\{\Lambda_1, \dots, \Lambda_N\}$ که یک ماتریس قطری شامل مقادیر ویژه ماتریس کواریانس هر نود به صورت $R_{u,k} = T_k \Lambda_k T_k^*$ است. در این رابطه $T = \text{diag}\{T_1, \dots, T_N\}$ بوده و $TT^* = T^*T = I$ است. با استفاده از این فرضیات، مقادیر زیر را تعریف می‌کنیم:

$$\bar{\Sigma} = T^* \Sigma T \quad \bar{U}_i = U_i T, \quad \bar{\psi}^i = T^* \tilde{\psi}^i,$$

$$\bar{q}^{i-1} = T^* q^{i-1} \quad \bar{G}_i = T^* G_i T, \quad \bar{H} = T^* H T,$$

$$\bar{D} = T^* D T = D \quad \bar{K} = T^* K T, \quad \bar{Q} = T^* Q T,$$

$$\bar{\mathfrak{B}} = T^* \mathfrak{B} T = \mathfrak{B}_i \quad \bar{w}^{(o)} = T^* w^{(o)}, \quad \bar{L} = T^* L T, \quad (۱۲-۳)$$

با استفاده از این تعاریف رابطه (۱۰-۳) و (۱۱-۳) به صورت زیر در می‌آیند:

$$E[\|\bar{\psi}^i\|_{\bar{\Sigma}}^2] = E[\|\bar{\psi}^{i-1}\|_{\bar{\Sigma}'}^2] + E[v_i^* \bar{U}_i D \bar{\Sigma} D \bar{U}_i^* v_i] + E[\|\bar{q}^{i-1}\|_{\bar{H}}^2] + \|\bar{w}^{(o)}\|_{\bar{K}+\bar{L}}^2 \quad (۱۳-۳)$$

و خواهیم داشت:

$$\bar{H} = \bar{\Sigma} - E[\bar{U}_i^* \bar{U}_i] D \bar{\Sigma} - \bar{\Sigma} D E[\bar{U}_i^* \bar{U}_i] + E[\bar{U}_i^* \bar{U}_i D \bar{\Sigma} D \bar{U}_i^* \bar{U}_i]$$

$$\bar{\Sigma}' = E[\bar{G}_i^* \bar{H} \bar{G}_i]$$

$$\bar{K} = E[(I - \bar{G}_i)^* \bar{H} (I - \bar{G}_i)]$$

$$\bar{L} = E[\mathfrak{B}^* \bar{G}_i^* \bar{H} (I - \bar{G}_i)] + E[(I - \bar{G}_i) \bar{H} \bar{G}_i \mathfrak{B}] \quad (۱۴-۳)$$

از آنجائیکه ممان‌های روابط (۱۳-۳) و (۱۴-۳) دارای ساختارهای بلوکی و قطری هستند ما باید از عملگر $bvec\{\cdot\}$ و ضرب کرونکر برای تحلیل آنها استفاده کنیم. همچنین ویژگی‌های زیر برای تحلیل حالت سکون مناسب هستند:

برای هر ماتریس $\mathbf{A}$ ، $\mathbf{\Sigma}$ و $\mathbf{B}$ با ابعاد مناسب داریم:

$$bvec\{\mathbf{A}\mathbf{\Sigma}\mathbf{B}\} = (\mathbf{B}^T \odot \mathbf{A})bvec\{\mathbf{\Sigma}\} \quad (۱۵-۳)$$

$$Tr(\mathbf{A}\mathbf{\Sigma}) = bvec\{\mathbf{A}^T\}bvec\{\mathbf{\Sigma}\} \quad (۱۶-۳)$$

با استفاده از $\bar{\sigma} = bvec\{\bar{\Sigma}\}$ ، $E[\bar{\mathbf{U}}_i^* \bar{\mathbf{U}}_i] = \mathbf{\Lambda}$ و $E[\bar{\mathbf{G}}_i] = \bar{\mathbf{G}}$ داریم:

$$bvec\{\bar{\mathbf{G}}^* \bar{\Sigma} \bar{\mathbf{G}}\} = (\bar{\mathbf{G}}^T \odot \bar{\mathbf{G}}^*) \bar{\sigma} \quad (۱۷-۳)$$

$$bvec\{\bar{\mathbf{G}}^* \bar{\Sigma} \mathbf{D} \mathbf{\Lambda} \bar{\mathbf{G}}\} = (\bar{\mathbf{G}}^T \odot \bar{\mathbf{G}}^*) bvec\{\mathbf{I}_{NM} \bar{\Sigma} \mathbf{D} \mathbf{\Lambda}\} = (\bar{\mathbf{G}}^T \odot \bar{\mathbf{G}}^*) (\mathbf{\Lambda} \mathbf{D} \odot \mathbf{I}_{NM}) \bar{\sigma} \quad (۱۸-۳)$$

$$bvec\{\bar{\mathbf{G}}^* \mathbf{\Lambda} \mathbf{D} \bar{\Sigma} \bar{\mathbf{G}}\} = (\bar{\mathbf{G}}^T \odot \bar{\mathbf{G}}^*) (\mathbf{I}_{NM} \odot \mathbf{\Lambda} \mathbf{D}) \bar{\sigma} \quad (۱۹-۳)$$

$$bvec\{\bar{\mathbf{G}}^* \bar{\mathbf{U}}_i^* \bar{\mathbf{U}}_i \mathbf{D} \bar{\Sigma} \mathbf{D} \bar{\mathbf{U}}_i^* \bar{\mathbf{U}}_i \bar{\mathbf{G}}\} = (\bar{\mathbf{G}}^T \odot \bar{\mathbf{G}}^*) (\mathbf{D} \odot \mathbf{D}) bvec\{\mathbf{A}\} \quad (۲۰-۳)$$

در رابطه (۲۰-۳) داریم $\mathbf{A} \triangleq E[\bar{\mathbf{U}}_i^* \bar{\mathbf{U}}_i \bar{\Sigma} \bar{\mathbf{U}}_i^* \bar{\mathbf{U}}_i]$ و $\mathbf{A} = [\mathbf{A}_{kl}]$ یک ماتریس بلوکی است. به منظور

محاسبه $bvec\{\mathbf{A}\}$ کل بلوک‌های این ماتریس باید محاسبه شود. برای بلوک kl ام این ماتریس داریم:

$$\mathbf{A}_{kl} = E[\bar{\mathbf{U}}_{k,i}^* \bar{\mathbf{U}}_{k,i} \bar{\Sigma}_{kl} \bar{\mathbf{U}}_{l,i}^* \bar{\mathbf{U}}_{l,i}] = \begin{cases} \mathbf{\Lambda}_k Tr(\mathbf{\Lambda}_k \bar{\Sigma}_{kk}) + \gamma \mathbf{\Lambda}_k \bar{\Sigma}_{kk} \mathbf{\Lambda}_k & k = l \\ \mathbf{\Lambda}_k \bar{\Sigma}_{kl} \mathbf{\Lambda}_l & k \neq l \end{cases} \quad (۲۱-۳)$$

و برای $vec\{\mathbf{A}_{kl}\}$ داریم:

$$\mathbf{a}_{kl} = vec\{\mathbf{A}_{kl}\} = \begin{cases} (\mathbf{\Lambda}_k \mathbf{\Lambda}_k^T + \gamma \mathbf{\Lambda}_k \otimes \mathbf{\Lambda}_k) \bar{\sigma}_{kk} & k = l \\ (\mathbf{\Lambda}_k \otimes \mathbf{\Lambda}_l) \bar{\sigma}_{kl} & k \neq l \end{cases} \quad (۲۲-۳)$$

سپس ما تمامی مقادیر $\mathbf{a}_{kl}$ را در یک بردار به صورت زیر جمع می‌کنیم:

$$\mathbf{a}_l = [\mathbf{a}_{1l}, \mathbf{a}_{2l}, \dots, \mathbf{a}_{kl}, \dots, \mathbf{a}_{Nl}]^T \triangleq \mathcal{A}_l \bar{\boldsymbol{\sigma}}_l \quad (23-3)$$

که در آن داریم:

$$\mathcal{A}_l = \text{diag}\{\boldsymbol{\Lambda}_1 \otimes \boldsymbol{\Lambda}_l, \dots, +\lambda_l \lambda_l^T + \gamma \boldsymbol{\Lambda}_l \otimes \boldsymbol{\Lambda}_l, \dots, \boldsymbol{\Lambda}_N \otimes \boldsymbol{\Lambda}_l\} \quad (24-3)$$

با استفاده از رابطه بالا:

$$\text{bvec}\{\mathbf{A}\} = \text{col}\{\mathcal{A}_1 \bar{\boldsymbol{\sigma}}_1, \mathcal{A}_2 \bar{\boldsymbol{\sigma}}_2, \dots, \mathcal{A}_N \bar{\boldsymbol{\sigma}}_N\} = \mathcal{A} \bar{\boldsymbol{\sigma}} \quad (25-3)$$

که در آن $\mathcal{A} = \text{diag}\{\mathcal{A}_1, \mathcal{A}_2, \dots, \mathcal{A}_N\}$ است. برای بقیه ممان‌های باقی مانده داریم:

$$E[\mathbf{v}_i^* \bar{\mathbf{U}}_i \mathbf{D} \bar{\boldsymbol{\Sigma}} \mathbf{D} \bar{\mathbf{U}}_i^* \mathbf{v}_i] = \text{Tr}(\boldsymbol{\Lambda}_v E[\bar{\mathbf{U}}_i \mathbf{D} \bar{\boldsymbol{\Sigma}} \mathbf{D} \bar{\mathbf{U}}_i^*]) = \mathbf{b}^T \bar{\boldsymbol{\sigma}} \quad (26-3)$$

در این رابطه $\mathbf{b} = \text{bvec}\{\mathbf{R}_v \mathbf{D}^2 \boldsymbol{\Lambda}\}$ و $\boldsymbol{\Lambda}_v = \text{diag}\{\sigma_{v,1}^2, \sigma_{v,2}^2, \dots, \sigma_{v,N}^2\}$ و $\mathbf{R}_v = \boldsymbol{\Lambda}_v \odot \mathbf{I}_M$ است.

ممان‌های مربوط به لینک‌های نویزی به صورت زیر هستند:

$$E[(\bar{\mathbf{q}}^{i-1})^* \bar{\boldsymbol{\Sigma}} \bar{\mathbf{q}}^{i-1}] = \text{Tr}(E[\bar{\mathbf{q}}^{i-1} (\bar{\mathbf{q}}^{i-1})^*] \bar{\boldsymbol{\Sigma}}) = \text{Tr}(\bar{\mathbf{Q}} \bar{\boldsymbol{\Sigma}}) = \text{bvec}\{\bar{\mathbf{Q}}^T\}^T \bar{\boldsymbol{\sigma}} \quad (27-3)$$

$$E[(\bar{\mathbf{q}}^{i-1})^* \bar{\mathbf{U}}_i^* \bar{\mathbf{U}}_i \mathbf{D} \bar{\boldsymbol{\Sigma}} \bar{\mathbf{q}}^{i-1}] = \text{Tr}(E[\bar{\mathbf{q}}^{i-1} (\bar{\mathbf{q}}^{i-1})^*] E[\bar{\mathbf{U}}_i^* \bar{\mathbf{U}}_i] \mathbf{D} \bar{\boldsymbol{\Sigma}}) = \text{Tr}(\bar{\mathbf{Q}} \boldsymbol{\Lambda} \mathbf{D} \bar{\boldsymbol{\Sigma}}) = \quad (28-3)$$

$$\text{bvec}\{\bar{\mathbf{Q}}^T\}^T (\mathbf{I}_{NM} \odot \boldsymbol{\Lambda} \mathbf{D}) \bar{\boldsymbol{\sigma}}$$

$$E[(\bar{\mathbf{q}}^{i-1})^* \bar{\boldsymbol{\Sigma}} \mathbf{D} \bar{\mathbf{U}}_i^* \bar{\mathbf{U}}_i \bar{\mathbf{q}}^{i-1}] = \text{bvec}\{\bar{\mathbf{Q}}^T\}^T (\boldsymbol{\Lambda} \mathbf{D} \odot \mathbf{I}_{NM}) \bar{\boldsymbol{\sigma}} \quad (29-3)$$

$$(30-3)$$

$$E[(\bar{\mathbf{q}}^{i-1})^* \bar{\mathbf{U}}_i^* \bar{\mathbf{U}}_i \mathbf{D} \bar{\boldsymbol{\Sigma}} \mathbf{D} \bar{\mathbf{U}}_i^* \bar{\mathbf{U}}_i \bar{\mathbf{q}}^{i-1}] = \text{Tr}(\bar{\mathbf{Q}} E[\bar{\mathbf{U}}_i^* \bar{\mathbf{U}}_i \mathbf{D} \bar{\boldsymbol{\Sigma}} \mathbf{D} \bar{\mathbf{U}}_i^* \bar{\mathbf{U}}_i]) =$$

$$\text{bvec}\{\bar{\mathbf{Q}}^T\}^T (\mathbf{D} \odot \mathbf{D}) \mathcal{A} \bar{\boldsymbol{\sigma}}$$

با قرار دادن این ممان‌ها در روابط (23-3) و (24-3) و با تعریف ماتریس

$$\mathbf{w} = \bar{\mathbf{w}}^{(o)} (\bar{\mathbf{w}}^{(o)})^* \quad \text{داریم: } \mathbf{w}^{(o)} (\mathbf{w}^{(o)})^*$$

$$E[\|\bar{\boldsymbol{\psi}}^i\|_{\bar{\boldsymbol{\sigma}}}^2] = E[\|\bar{\boldsymbol{\psi}}^{i-1}\|_{F\bar{\boldsymbol{\sigma}}}^2] + \mathbf{b}^T \bar{\boldsymbol{\sigma}} + \text{bvec}\{\bar{\mathbf{Q}}^T\}^T \mathbf{S} \bar{\boldsymbol{\sigma}} + \text{Tr}\{\mathbf{W}(\bar{\mathbf{K}} + \bar{\mathbf{L}})\} \quad (31-3)$$

همچنین:

$$\bar{\mathbf{F}} = (\bar{\mathcal{G}}^T \odot \bar{\mathcal{G}}^*) [\mathbf{I}_{N^2 M^2} - (\mathbf{I}_{NM} \odot \Lambda \mathbf{D}) - (\Lambda \mathbf{D} \odot \mathbf{I}_{NM}) + (\mathbf{D} \odot \mathbf{D}) \mathcal{A}] \quad (32-3)$$

با استفاده از روابط زیر:

$$bvec\{\bar{\mathbf{K}}\} = (\mathbf{I} - \bar{\mathcal{G}})^T \odot (\mathbf{I} - \bar{\mathcal{G}})^* \mathbf{S} \bar{\sigma} \quad (33-3)$$

$$bvec\{\bar{\mathbf{L}}\} = [(\mathbf{I} - \bar{\mathcal{G}})^T \odot (\bar{\mathcal{G}} \mathbf{B})^* + (\bar{\mathcal{G}} \mathbf{B})^T \odot (\mathbf{I} - \bar{\mathcal{G}})^*] \mathbf{S} \bar{\sigma} \quad (34-3)$$

خواهیم داشت:

$$E \left[\|\bar{\boldsymbol{\psi}}^i\|_{\bar{\sigma}}^2 \right] = E \left[\|\bar{\boldsymbol{\psi}}^{i-1}\|_{F\bar{\sigma}}^2 \right] + g \bar{\sigma} \quad (35-3)$$

$$\bar{\mathbf{F}} = (\bar{\mathcal{G}}^T \odot \bar{\mathcal{G}}^*) \mathbf{S} \quad (36-3)$$

که در آن $\mathbf{S}$ و g برابرند با:

$$\mathbf{S} = [\mathbf{I}_{N^2 M^2} - (\mathbf{I}_{NM} \odot \Lambda \mathbf{D}) - (\Lambda \mathbf{D} \odot \mathbf{I}_{NM}) + (\mathbf{D} \odot \mathbf{D}) \mathcal{A}] \quad (37-3)$$

$$\mathbf{g} = \mathbf{b}^T + bvec\{\bar{\mathbf{Q}}^T\}^T \mathbf{S} + bvec\{\mathbf{W}^T\}^T [(\mathbf{I} - \bar{\mathcal{G}})^T \odot (\mathbf{I} - \bar{\mathcal{G}})^* + \quad (38-3)$$

$$(\mathbf{I} - \bar{\mathcal{G}})^T \odot (\bar{\mathcal{G}} \mathbf{B})^* + (\bar{\mathcal{G}} \mathbf{B})^T \odot (\mathbf{I} - \bar{\mathcal{G}})^*] \mathbf{S}$$

ما از روابط (31-3) و (32-3) برای بررسی حالت سکون الگوریتم LMS در شبکه نفوذی استفاده

می‌کنیم:

$$MSD = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \eta_k = \frac{1}{N} \lim_{i \rightarrow \infty} E \left[\|\bar{\boldsymbol{\psi}}^i\|_I^2 \right] \quad (39-3)$$

$$EMSE = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \zeta_k = \frac{1}{N} \lim_{i \rightarrow \infty} E \left[\|\bar{\boldsymbol{\psi}}^i\|_{\Lambda}^2 \right] \quad (40-3)$$

در حالت سکون داریم $E \left[\|\bar{\boldsymbol{\psi}}^i\|^2 \right] = E \left[\|\bar{\boldsymbol{\psi}}^{i-1}\|^2 \right]$ بنابراین (35-3) را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$E \left[\|\bar{\boldsymbol{\psi}}^\infty\|_{(\mathbf{I}-\bar{\mathbf{F}})\bar{\sigma}}^2 \right] = g \bar{\sigma} \quad i \rightarrow \infty \quad (41-3)$$

۳-۸- نتایج عملکرد تئوری شبکه نفوذی در حضور کانال VLC

در این قسمت به ارائه روابط بسته عملکرد شبکه نفوذی در حالت کانال نوری خواهیم پرداخت. به منظور بدست آوری این روابط با انتخاب مقادیر مناسب برای $\bar{\sigma}$ در رابطه (۳-۴۱) می‌توانیم به مقادیر MSD، EMSE و MSE برسیم. به عنوان مثال با انتخاب به صورتی که داشته باشیم $(I - \bar{F})\bar{\sigma} = \mathbf{r}$ به مقدار MSD می‌رسیم:

$$MSD = \frac{1}{N} \mathbf{g}(I - \bar{F})^{-1} \mathbf{r} \quad (۳-۴۲)$$

که در آن $\mathbf{r} = \text{bvec}\{\mathbf{I}_{NM}\}$ است. همچنین با انتخاب $\bar{\sigma}$ به صورتی که $(I - \bar{F})\bar{\sigma} = \lambda$ باشد، EMSE را به صورت زیر بدست می‌آوریم:

$$EMSE = \frac{1}{N} \mathbf{g}(I - \bar{F})^{-1} \lambda \quad (۳-۴۳)$$

که در آن $\lambda = \text{bvec}\{\Lambda\}$ است. برای هر نود در شرایط سکون داریم:

$$MSD_k = \mathbf{g}(I - \bar{F})^{-1} \text{bvec}\{\mathbf{J}_{r,k}\} \quad (۳-۴۴)$$

$$EMSE_k = \mathbf{g}(I - \bar{F})^{-1} \text{bvec}\{\mathbf{J}_{\lambda,k}\} \quad (۳-۴۵)$$

که در آن‌ها داریم:

$$\mathbf{J}_{r,k} = \text{diag}\{\mathbf{0}_{(k-1)M}, \mathbf{I}_M, \mathbf{0}_{(N-k)M}\} \quad (۳-۴۶)$$

$$\mathbf{J}_{\lambda,k} = \text{diag}\{\mathbf{0}_{(k-1)M}, \Lambda_k, \mathbf{0}_{(N-k)M}\} \quad (۳-۴۷)$$

همگرایی میانگین:

به منظور بررسی شرایط همگرایی ما به دو طرف رابطه (۳-۹) عملگر میانگین گیری را اعمال می‌کنیم:

$$E[\tilde{\psi}^i] = \mathcal{G}E[\tilde{\psi}^{i-1}] - DE[U_i^* U_i] \mathcal{G}E[\tilde{\psi}^{i-1}] + (I - \mathcal{G})\mathbf{w}^{(o)} - DE[U_i^* U_i](I - \mathcal{G})\mathbf{w}^{(o)}$$

$$= \mathcal{G}E[\tilde{\Psi}^{i-1}] - \mathbf{D}\mathbf{R}_u\mathcal{G}E[\tilde{\Psi}^{i-1}] + (\mathbf{I} - \mathcal{G})\mathbf{w}^{(o)} - \mathbf{D}\mathbf{R}_u(\mathbf{I} - \mathcal{G})\mathbf{w}^{(o)} \quad (48-3)$$

$$= (\mathbf{I} - \mathbf{D}\mathbf{R}_u)\mathcal{G}E[\tilde{\Psi}^{i-1}] + (\mathbf{I} - \mathbf{D}\mathbf{R}_u)(\mathbf{I} - \mathcal{G})\mathbf{w}^o$$

به منظور همگرایی این رابطه، ماتریس ضرایب $(\mathbf{I} - \mathbf{D}\mathbf{R}_u)\mathcal{G}$ باید پایدار باشد. به بیان دیگر باید داشته باشیم $\rho\{(\mathbf{I} - \mathbf{D}\mathbf{R}_u)\mathcal{G}\} < 1$. با استفاده از این قاعده که برای هر ماتریس X داریم $\rho(X) < \|X\|$ می توان نوشت:

$$\rho\{(\mathbf{I} - \mathbf{D}\mathbf{R}_u)\mathcal{G}\} \leq \|(\mathbf{I} - \mathbf{D}\mathbf{R}_u)\mathcal{G}\| \leq \|(\mathbf{I} - \mathbf{D}\mathbf{R}_u)\| \|\mathcal{G}\| = \rho(\mathbf{I} - \mathbf{D}\mathbf{R}_u)\rho\mathcal{G} \quad (49-3)$$

دوباره تعریف می کنیم:

$$\mathcal{G} \triangleq [m_{k,l}]_{N \times N} = \begin{cases} c_{k,k} & k = l \\ c_{k,l}E[I_{k,l}(i)] & k \neq l \end{cases} \quad (50-3)$$

به منظور اطمینان از شرط $\rho\{(\mathbf{I} - \mathbf{D}\mathbf{R}_u)\mathcal{G}\} < 1$ کافی است که $\rho\{(1 - \mu_k \mathbf{R}_{u,k})m_{k,l}\} < 1$ باشد. با استفاده از مقادیر ویژه ماتریس $\mathbf{R}_{u,k}$ ، این شرط به صورت زیر در می آید:

$$\rho\{(1 - \mu_k \lambda\{\mathbf{R}_{u,k}\})m_{k,l}\} < 1 \quad (51-3)$$

بنابراین اگر ما پارامتر اندازه گام μ_k که در دست ماست را به صورت زیر انتخاب کنیم:

$$\max\left\{0, \frac{m_{k,l}-1}{m_{k,l}\lambda_{\min}\{\mathbf{R}_{u,k}\}}\right\} < \mu_k < \frac{m_{k,l}+1}{m_{k,l}\lambda_{\max}\{\mathbf{R}_{u,k}\}} \quad (52-3)$$

در اینصورت همگرایی میانگین شبکه نفوذی در کانال های نوری تضمین می شود. این شرط نشان می - دهد که همگرایی شبکه نفوذی به صورت مستقیم به مقادیر تصادفی کانال نوری ارتباط دارد.

در پایان لازم به ذکر است که مقادیر ارائه شده در روابط (3-44) و (3-45) عملکرد نهایی شبکه نفوذی را در حضور کانال های VLC نشان می دهند. از این روابط در فصل 5 برای مقایسه نتایج تئوری و شبیه سازی شبکه نفوذی استفاده خواهیم کرد.

فصل چهارم: شبیه سازی و نتایج

۴-۱- مقدمه:

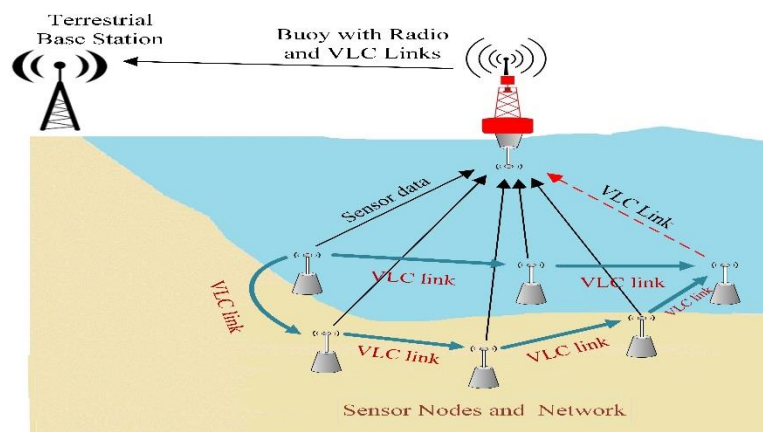
بحث کلی در این فصل ارائه نتایج شبیه سازی‌های کامپیوتری و مقایسه آنها با نتایج تئوریک ارائه شده در فصل گذشته است. ابتدا شرایط پیاده سازی شبیه سازی‌های کامپیوتری و پارامترهای زیر آب را برای کانال‌های VLC مشخص می‌کنیم سپس مشخصات شبکه نفوذی مورد استفاده را مورد بحث قرار می‌دهیم. در انتها با ارائه نتایج، تاثیرات این پارامترها را بر شبیه سازی‌ها، عملکرد تئوریک شبکه می‌سنجیم. شکل ۴-۱ فلوچارت شبکه پیشنهادی به منظور انجام شبیه سازی و بررسی تاثیرات لینک در شکل زیر آورده شده است:



شکل ۴-۱: فلوچارت شبکه پیشنهادی

۴-۲- پیش زمینه شبیه سازی و تعریف مساله

بیشتر سطح زمین از دریاها و اقیانوس ها پوشیده شده است و برای نظارت و کنترل دقیق تر بر این سطح وسیع نیاز به سیستم های ارتباطی کارآمدتر هست. [۴۹-۵۱]. شبکه حسگر ها با ارتباطات نزدیک به هم در زیر آب و به صورت شبکه های وفقی از بهترین ابزارهای نظارتی و ردیابی هستند که ما می توانیم به جهت ارتباطی کار کرد آنها را بهبود بخشیم. به نظر می رسد شبکه های حسگر همکار در زیر آب گزینه مناسبی هستند زیرا اثرات منفی کمتری بر محیط دارند. بیشتر ارتباطات زیر آب براساس امواج صوتی انجام می شود [۵۲ ، ۵۱]. با این حال ، اخیراً نور مرئی در زیر آب (UVLC) [۵۳] برای غلبه بر ضعف های ارتباطات صوتی مانند سرعت پایین انتقال داده و تاخیر زیاد آنها ارائه شده است [۵۹ و ۶۱]. نمونه ای از شبکه های حسگر زیر آب [۵۱] که از طریق فناوری UVLC پیاده سازی شده است در شکل ۴-۲ نشان داده شده است. در این شکل گره ها از طریق لینک های UVLC به یکدیگر متصل شده و داده های جمع آوری شده خود را به شناور ارسال می کنند که آن نیز با ایستگاه پایه زمینی در ارتباط است. شبکه های وفقی توزیع شده ابزارهای عملی برای تخمین توزیع شده و نظارت بر محیط زیست هستند ، با این حال، کمبودهای لینک های غیر ایده آل باعث تضعیف کارکرد آنها می شوند [۵۶]. این شبکه ها متناسب با تعداد اتصالات بین گره های تخمین گر توسط دو استراتژی اصلی اجرا می شوند: استراتژی نفوذی و استراتژی افزایشی. شبکه های وفقی افزایشی مبتنی بر اجماع هستند و هر گره در این شبکه قادر به پردازش داده های جمع آوری شده خود است و تنها تخمین خود را با گره بعدی در توپولوژی حلقه به اشتراک می گذارد [۵۵ و ۴۸]. با این حال ، در استراتژی نفوذی، هر گره می تواند بر اساس منابع ارتباطی موجود و منابع قدرت سنسورها با چندین گره ارتباط برقرار کند [۵۹ ، ۵۵ و ۴۴].



شکل ۴-۲: نمونه ای از شبکه های حسگر در زیر آب که با فناوری VLC پیاده سازی شده اند [۵۱]

آب دریا محیط ایده آلی برای انتقال امواج نور نیست. دمای آب، چگالی، سطح شوری و از همه مهمتر، فاصله بین گره های فرستنده و گیرنده به طور مستقیم بر کیفیت امواج نور منتقل شده تأثیر می گذارند. VLC در زیر آب بسیار تحت تأثیر اعوجاج نوری قرار دارد. با این حال، مدل های مختلفی برای توصیف چنین تأثیراتی بر اساس تغییر در جزر و مد و خواص آب وجود دارد [۵۷ و ۵۹]. در مرجع [۴۹] لینک VLC زیر آب از جهت دمای دریا و میزان شوری آن با توزیع آماری لگ نرمال مدل سازی شده است. در این مقاله، ما لینک VLC را بر اساس توزیع لگ نرمال طول های لینکهای مختلف زیرآبی مدل سازی می کنیم و تأثیر آن را بر عملکرد شبکه افزایشی بررسی می کنیم. در مرجع [۵۹] شرایط لینک نوری زیر آب (VLC) در شبکه های افزایشی با مدل لگ نرمال و در [۶۰] به ترتیب با مدل گاما-گاما مورد بررسی قرار گرفته است. با این حال، لینک های VLC زیر آب ممکن است در نتیجه تغییر پارامترها، از ویژگیهای تصادفی بسیار متفاوتی برخوردار باشند.

۴-۳- ویژگی های لینک شبیه سازی

خصوصیات لینک VLC زیر آب به پارامترهای زیادی بستگی دارد که برای مدل لگ نرمال در [۴۹ و ۵۰] در نظر گرفته شده است. سطح شوری، دما و طول لینک ارتباطی مهمترین عامل در تعیین خصوصیات تصادفی توزیع لگ نرمال (pdf) در این مورد است. در اینجا، ما pdf توزیع لگ نرمال لینک VLC زیر آب را توضیح می دهیم:

$$f_I(I) = \frac{1}{I\sqrt{2\pi(4\sigma_x^2)}} \exp\left(-\frac{(\ln(I)-2\mu_x)^2}{2(4\sigma_x^2)}\right) \quad (4-1)$$

که در آن، $\mu_x = -\frac{\sigma_x^2}{2}$ و واریانس لگاریتم دامنه را از قرار زیر داریم :

$$\sigma_x^2 = 0.25\ln(1 + \sigma_I^2) \quad (4-2)$$

در حالی که I شدت تابش موج نوری را نشان می دهد و به عنوان ضریب لینک UVLC نیز تعبیر می شود. با افزایش فاصله فرستنده و گیرنده ، واریانسهای این ضرایب افزایش می یابند و با ضرب شدن این ضرایب در محتوای داده ها، مقادیر آنها را تغییر داده و موجب اعوجاج می شوند. واریانسهای استخراج شده تجربی برای لینک VLC با توزیع لگ نرمال زیر آب در جدول ۴-۱ ارائه شده است^۱

جدول ۴-۱: مقادیر آماری لینک لگ نرمال براساس دما و سطح شوری

$T (^{\circ}C)$	$S (PPT)$	σ_x^2	μ	$E[I]$ $= m_k$	$E[I^2]$ $= s_k$
1	35	8.04×10^{-5}	-0.0402×10^{-3}	1	1.0001
28	35	1.57×10^{-3}	-0.785×10^{-3}	1	1.0016
20	33	1.04×10^{-3}	-0.52×10^{-3}	1	1.0010
20	36.5	1.09×10^{-3}	-0.545×10^{-3}	1	1.0011

جدول ۴-۲ واریانس اغتشاش را بر اساس فاصله بین گره های شبکه افزایشی نشان می دهد. افزایش مسافت باعث افزایش سطح اغتشاش لینک می گردد.

^۱ برای تعیین مقدار شوری میزان جرم کل املاح را در ۱ کیلوگرم آب محاسبه میکنند که برای آب شور با ppt (یک قسمت در هزار part per thousand) و برای آب شیرین با ppm (یک قسمت در میلیون part per milion) نشان میدهند.

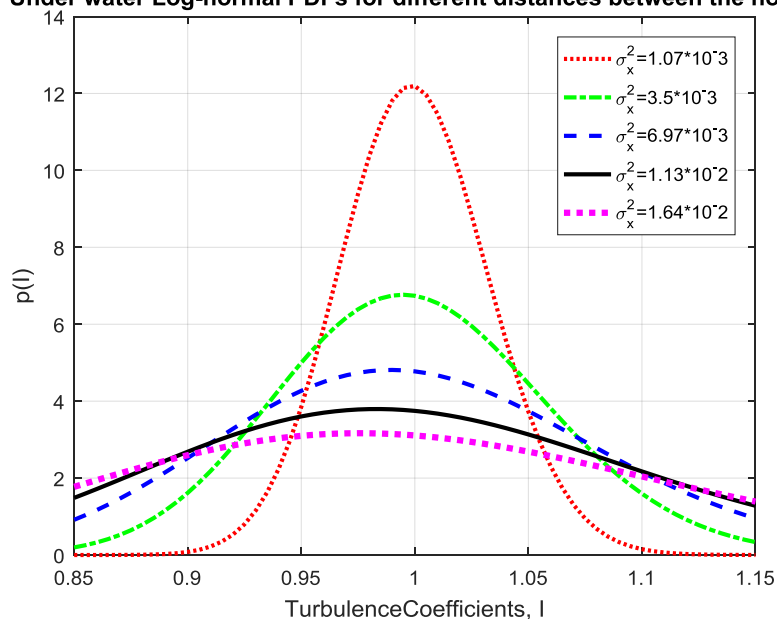
جدول ۴-۲ مقادیر آماری لینک لگ نرمال بر اساس فاصله گره ها

Distance (m)	Log-amplitude variances
1	1.07×10^{-3}
2	3.5×10^{-3}
3	6.97×10^{-3}
4	1.13×10^{-2}
5	1.64×10^{-2}
6	2.22×10^{-2}
7	2.85×10^{-2}
8	3.54×10^{-2}
9	4.27×10^{-2}
10	5.04×10^{-2}
11	5.84×10^{-2}
12	6.67×10^{-2}
13	7.52×10^{-2}
14	8.39×10^{-2}
15	9.28×10^{-2}
16	1.02×10^{-1}
17	1.11×10^{-1}
18	1.2×10^{-1}
19	1.29×10^{-1}
20	1.38×10^{-1}

در این تحقیق، ما فقط عملکرد شبکه افزایشی برای پنج مقدار اول فاصله این جدول را در نظر می

گیریم که pdf های آنها در شکل ۴-۳ نشان داده شده است:

Under water Log-normal PDFs for different distances between the nodes



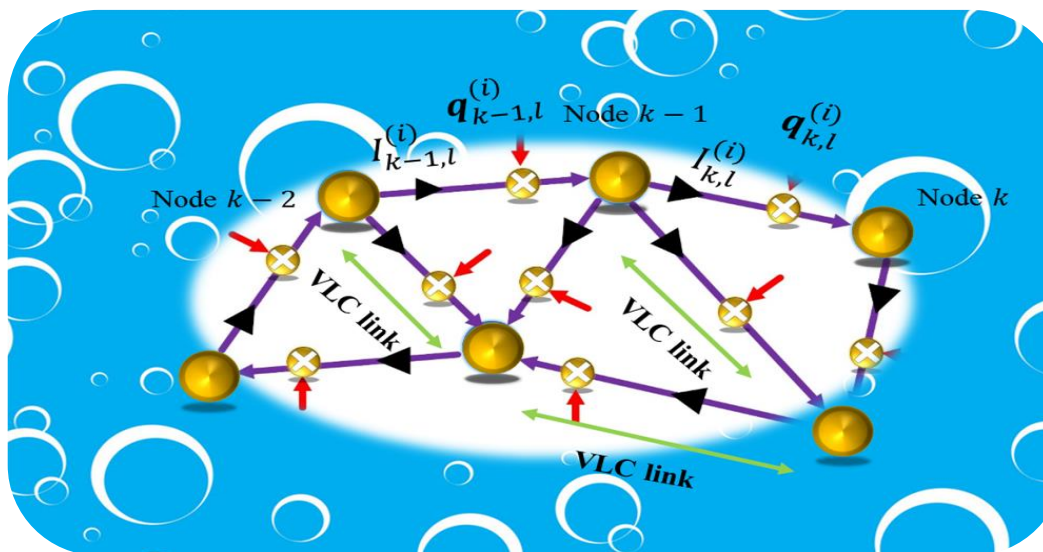
شکل ۴-۳: PDF ضرایب لینک زیر آب برای فواصل مختلف بین گره ها

۴-۴- نتایج عملکرد شبکه نفوذی در زیر آب با استفاده از تکنولوژی

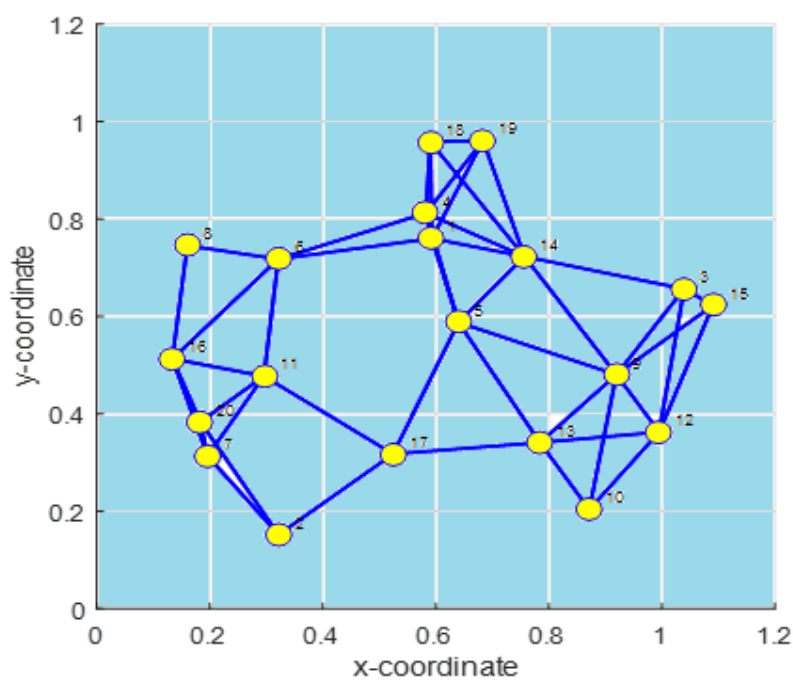
:UVLC

۴-۴-۱- شرایط کانال و مشخصات شبکه نفوذی

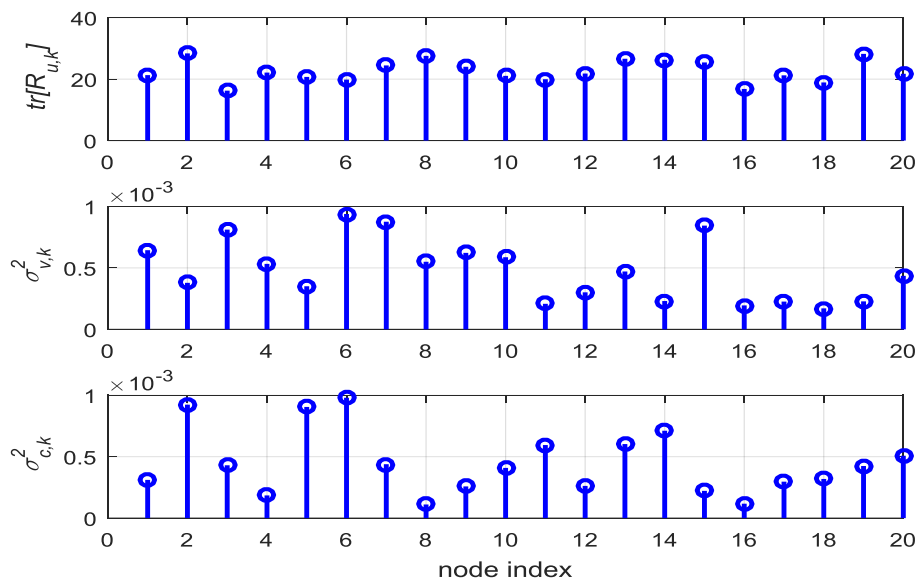
کانال مخابراتی نوری زیر آب با توجه به دو مشخصه میزان نمک حل شده و در آب و فاصله گیرنده و فرستنده می تواند مشخصات متفاوتی را از خود ارائه دهد. این شرایط به صورت مستقیم بر عملکرد شبکه تاثیر می گذارد. در شبیه سازی نخست ما به بررسی و مقایسه عملکرد دو الگوریتم نفوذی ATC و CTA در شرایط نمک حل شده ۱ ppm و ۲۰ درجه می چردازیم. هدف از این مقایسه نشان دادن عملکرد الگوریتم CTA در شرایط محیط Turbulent است.



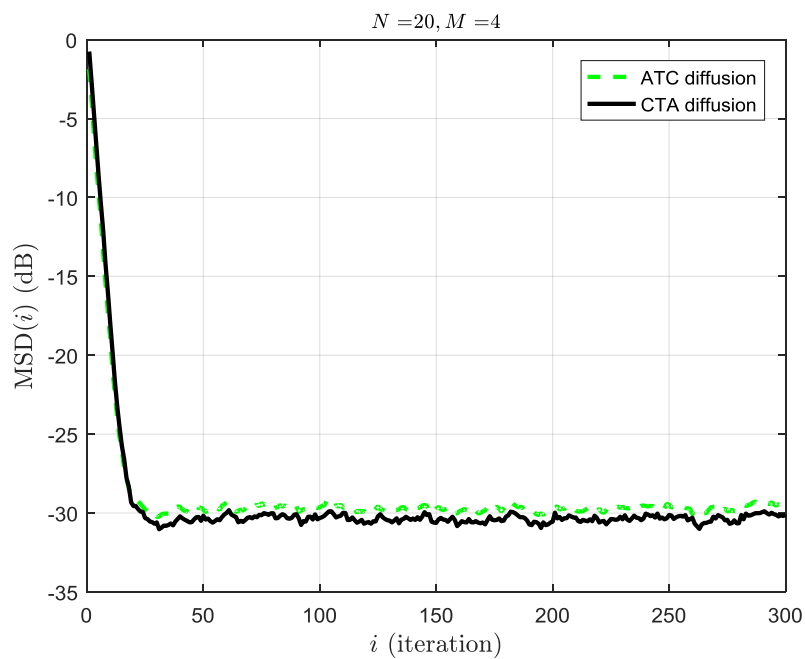
شکل ۴-۴: یک شبکه نفوذی در زیر آب با لینک های VLC.



شکل ۴-۵: ساختار شبکه نفوذی استفاده شده در شبیه سازی های زیر آب.



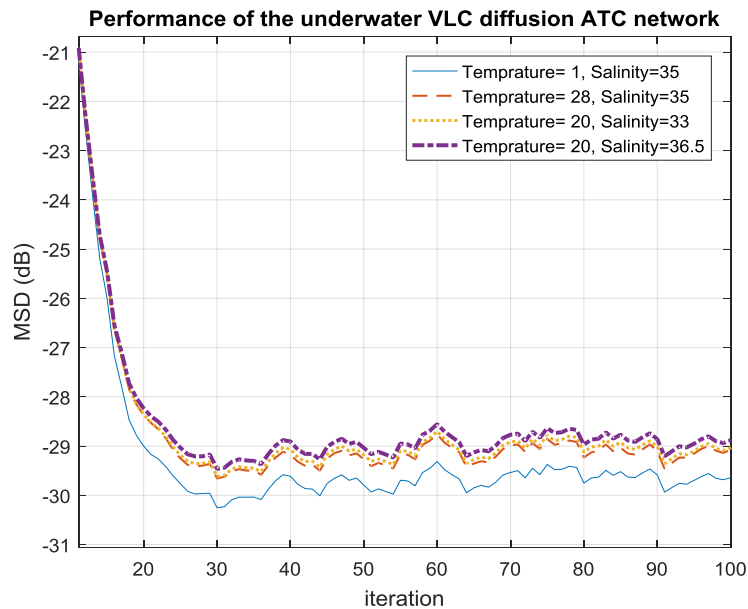
شکل ۴-۶: مقادیر پارامترهای ورودی و نویز برای شبیه سازی.



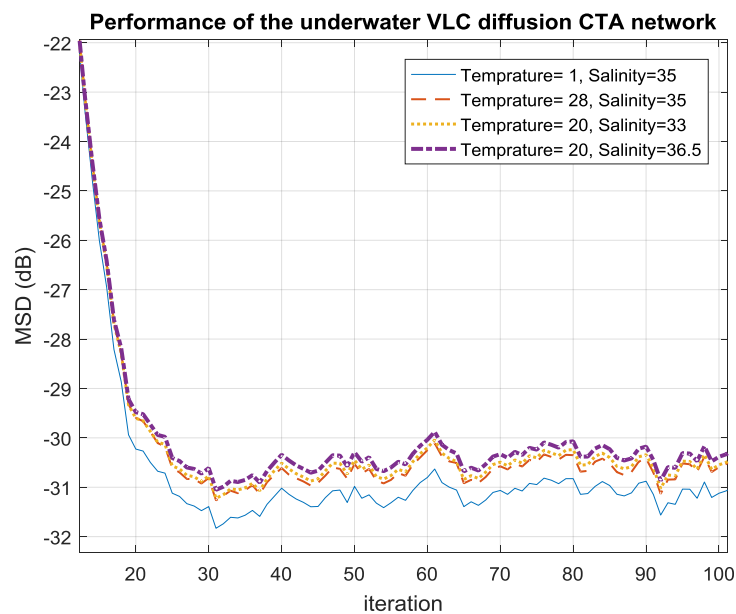
شکل ۴-۷: عملکرد شبکه نفوذی با دو الگوریتم ATC و CTA در شرایط کانال VLC زیر آب.

همانطور که دیده می شود در شرایط دما، غلظت نمک و فاصله این شبیه سازی، عملکرد شبکه نفوذی قابل قبول است و عملکرد الگوریتم CTA کمی بهتر از ATC است. این موضوع در شبیه سازی های

بعدی هم صدق می‌کند. در نتایج بعدی تاثیرات دماها و غلظت نمک آب متفاوت بر عملکرد شبکه نفوذی برای دو الگوریتم CTA و ATC به صورت جداگانه ارائه می‌شوند.



شکل ۴-۸: نتایج تاثیرات مقادیر دما و نمک آب مختلف بر عملکرد الگوریتم ATC با فاصله گره‌های ۱ متر.

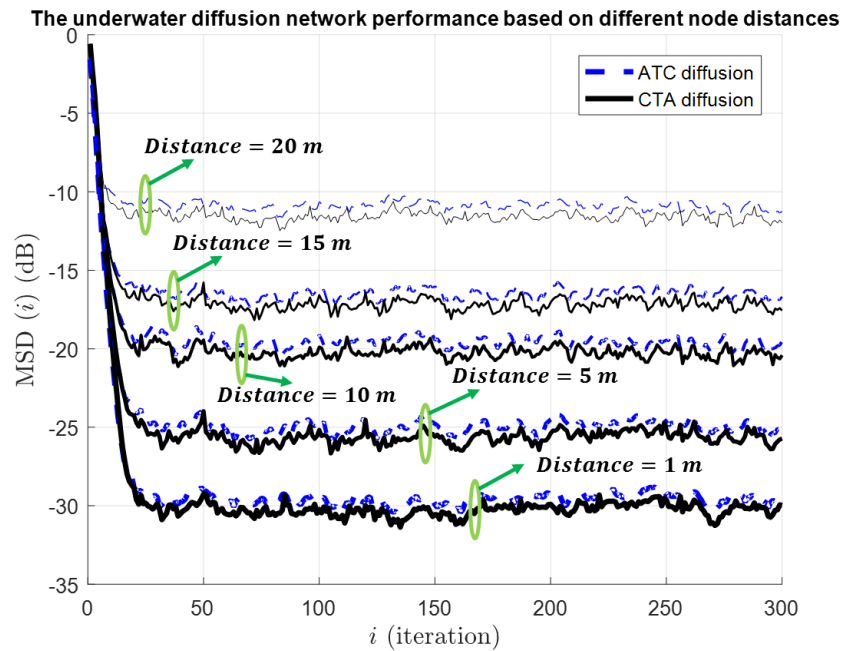


شکل ۴-۹: نتایج تاثیرات مقادیر دما و نمک آب مختلف بر عملکرد الگوریتم CTA با فاصله گره‌های ۱ متر.

همانطور که دیده می‌شود در شرایط فاصله ثابت بین گره‌های شبکه، میزان غلظت نمک و دمای آب می‌تواند با توجه به ایجاد واریانس‌های متفاوت برای ضرایب کانال، منجر به نتایج متفاوتی در عملکرد شبکه باشد. اما این تاثیرات عملکرد آنقدر نیست که عملکرد شبکه را غیر قابل قبول کند.

۴-۴-۲- تأثیر فاصله گره ها بر عملکرد شبکه های افقی نفوذی UVLC در زیر آب

در این قسمت، پیاده سازی شبکه های نفوذی در زیر آب بر اساس فناوری ارتباط نور مرئی (UVLC) ارائه شده است. فاصله بین گره های فرستنده و گیرنده و میزان شوری و دمای آب مورد نظر، خصوصیات تصادفی لینک مدل سازی شده با توزیع لگ نرمال را، تعیین می کنند. عملکرد شبکه نفوذی را می توان با مقادیر خطای میانگین مربعات افزوده (EMSE) و انحراف مربع میانگین (MSD) بیان کرد. یافته های ما نشان داد که فاصله بین گره ها نباید بیش از ۲۰ متر باشد، در غیر این صورت شبکه نفوذی از هدف تخمینی خود منحرف خواهد شد. عملکرد شبکه به اِزاء طول های مختلف لینک تجزیه و تحلیل شده و نتایج با چند روش شبیه سازی ارزیابی می شود. در شبیه سازی بعد، تاثیر فواصل مختلف بین گره‌های شبکه نفوذی در زیر آب را بررسی می‌کنیم. شکل زیر نشان دهنده عملکرد MSD شبکه نفوذی در ۵ فاصله مختلف با الگوریتم‌های CTA و ATC است.



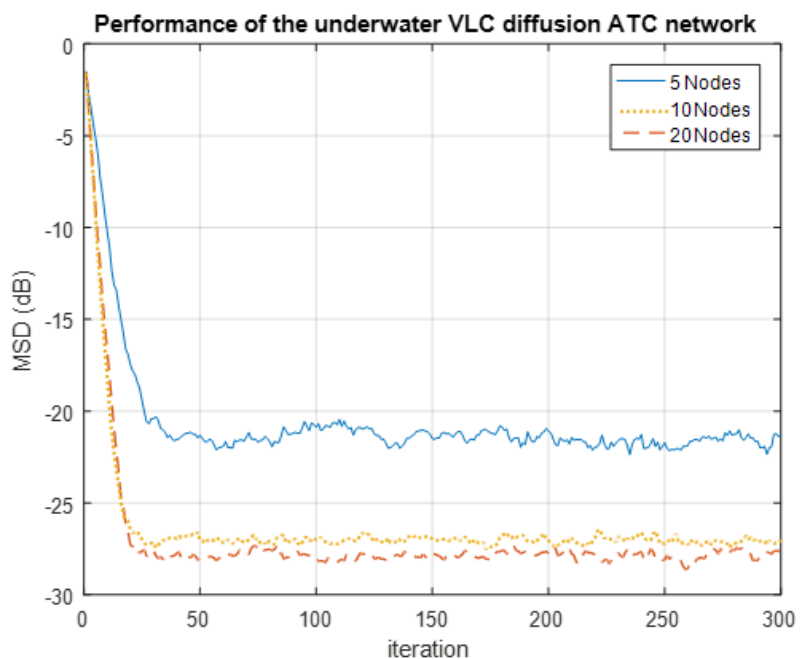
شکل ۴-۱۰: عملکرد الگوریتم‌های CTA و ATC نفوذی در زیر آب با فاصله لینک‌های VLC از ۱ تا ۲۰ متر.

همانطور که دیده می‌شود تاثیر تغییرات فاصله بین گره‌ها بسیار مشهودتر از تغییرات دما و میزان غلظت نمک آب است. برای شرایطی که فاصله گره‌ها به ۲۰ متر می‌رسد، عملکرد خطای شبکه نفوذی به حدود ۱۰- dB افزایش می‌یابد و چندان قابل قبول نیست.

۴-۴-۳- تاثیرات تغییر تعداد نودها بر عملکرد شبکه های افقی نفوذی UVLC

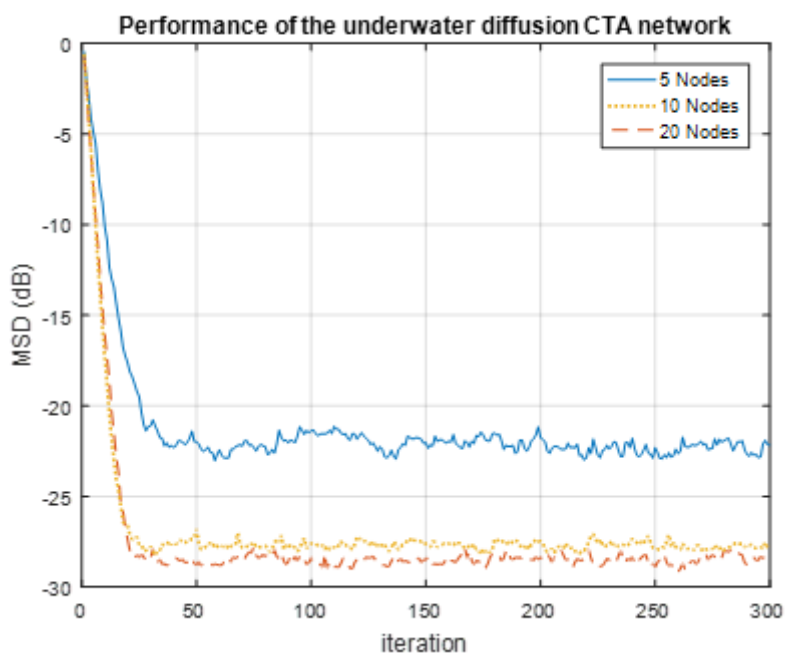
در حالت کلی افزایش تعداد گره‌ها باعث افزایش سرعت همگرایی و کاهش خطای آن می‌شود ولی این بهبودها تا یک حد مشخص صورت می‌پذیرد و بعد از آن ادامه پیدا نمی‌کند.

برای الگوریتم ATC داریم:



شکل ۴-۱۱: تاثیرات تغییر تعداد گره‌های شبکه در عملکرد همگرایی الگوریتم ATC

برای الگوریتم CTA داریم:

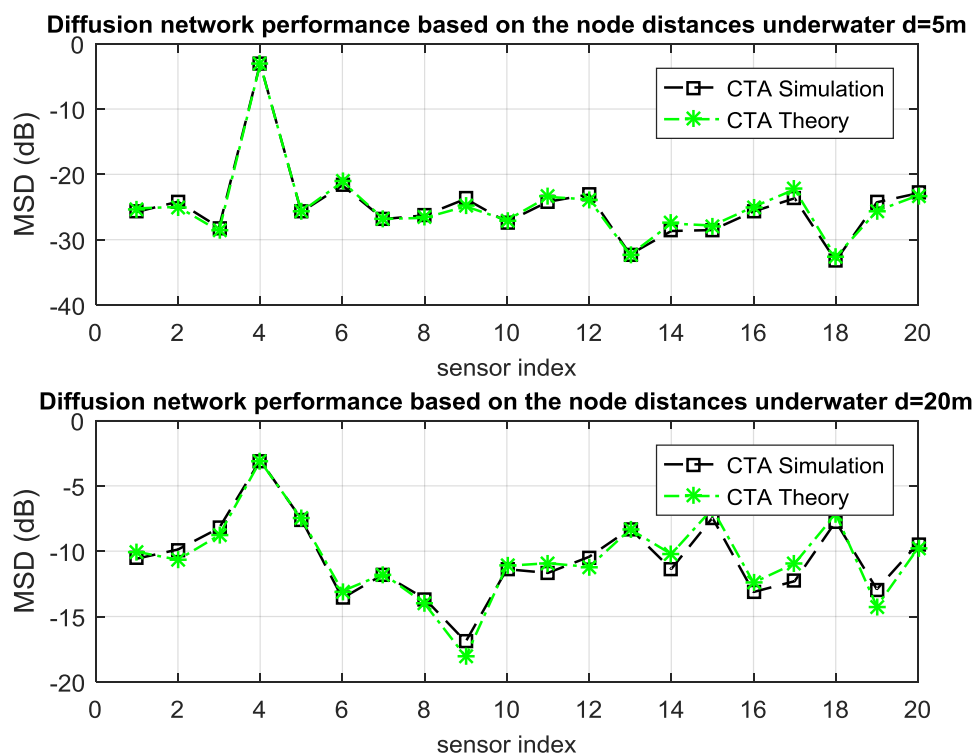


شکل ۴-۱۲: تاثیرات تغییر تعداد گره‌های شبکه در عملکرد همگرایی الگوریتم CTA

همانطور که دیده می‌شود تاثیر تغییر تعداد نودها نیز همانند تغییرات فاصله بین گره‌ها بسیار مشهودتر از تغییرات دما و میزان غلظت نمک آب است. برای شرایطی که تعداد نودها به ۵ عدد می‌رسد، عملکرد خطای شبکه نفودی به حدود ۸- dB افزایش می‌یابد و چندان قابل قبول نیست.

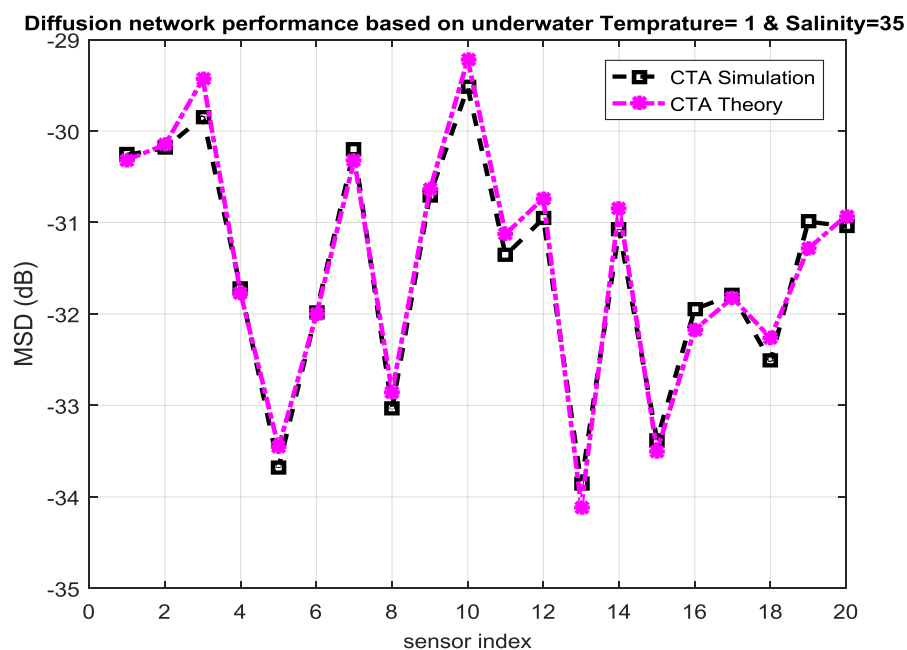
۴-۴-۴- مقایسه نتایج تئوریک فصل سوم و شبیه سازی فصل چهارم

اکنون زمان آن رسیده است که نتایج تئوری و شبیه سازی خود را با یکدیگر مقایسه کنیم. در شکل زیر عملکرد الگوریتم CTA با توجه به نتایج تئوریک ارائه شده در فصل قبل با نتایج شبیه سازی مقایسه شده است. ۲ حالت مجزا برای فواصل مختلف میان گره‌ها در نظر گرفته شده است.



شکل ۴-۱۳: مقایسه عملکرد تئوری و شبیه سازی شبکه نفودی CTA زیر آب برای فاصله لینک‌های VLC مختلف.

در شبیه سازی بعدی تاثیر دما و غلظت نمک را بر روی عملکرد تئوری و شبیه سازی شبکه نفودی بایکدیگر مقایسه می‌کنیم. تطابق نتایج تئوری و شبیه سازی در این شرایط نشان دهنده درست بودن نتایج در هر دو حالت و معیاری برای میزان عملکرد شبکه نفودی است.



شکل ۴-۱۴: مقایسه عملکرد تئوری و شبیه سازی شبکه نفوذی CTA زیر آب برای دمای ۱ درجه و میزان نمک ۳۵

نتایج به صورت خطای هر گره (۲۰ گره) ارائه شده‌اند. متأسفانه تاکنون، محاسبات تئوریک عملکرد شبکه ATC ارائه نشده است اما می‌توان انتظار داشت که عملکرد شبکه نفوذی با الگوریتم ATC کمی ضعیف‌تر از عملکرد CTA در این شرایط باشد. در فصل بعد به جمع بندی این نتایج می‌پردازیم.

فصل پنجم: نتیجه گیری

۵-۱- مقدمه

ابتدا شبکه‌های نفودی در حالت ایده آل ارائه شدند. سپس کانال نویزی و دارای اغتشاش بر آنها اعمال شد. سپس محوشوندگی بعلاوه نویز در این شبکه‌ها بررسی شد. بعد از پیشنهاد پیاده سازی شبکه‌های نفودی با استفاده از مخابرات نوری معلوم شده که شرایط کانال نوری هم شامل نویز و هم ضرایب اغتشاشی است که مانند ضرایب محو شوندگی به ضرایب تخمینی مبادله شده بین گره‌ها ضرب می‌شوند. بنابراین بررسی عملکرد شبکه نفودی با استفاده از آگاهی بر کانال نوری در مرحله بعد از حالت محو شوندگی بعلاوه نویز قرار می‌گیرد. در این پایان نامه، عملکرد شبکه نفودی بررسی شد و نتایج حدالامکان به واقعیات شرایط زیر آب منطبق گردید.

شبکه نفودی دارای ۲۰ گره سنسوری است که فرض شده در زیر آب و با تکنولوژی VLC پیاده سازی شده است. این فرض در شرایط کانال خود را نشان می‌دهد و مقادیر نویز و ضرایب کانال با فرض استفاده از تکنولوژی VLC در زیر آب تولید می‌شوند. توزیع ضرایب کانال لگنرمال است که با توجه به شرایط آب واریانس‌های مختلفی می‌تواند داشته باشد.

۵-۲- بحث تاثیر پارامترها و ساختار شبکه

در پیاده سازی شبکه نفودی در زیر آب چندیدن نکته می‌تواند حائز اهمیت باشد. اولاً تعداد گره‌های شبکه است که ممکن است سرعت همگرایی را بالا یا پایین ببرد. دوماً ساختار شبکه است که ممکن است باعث شود فاصله گره‌ها به گونه‌ای قرار گیرد که عملکرد شبکه را مختل کند. سوماً اندازه گام شبکه و متحرک بودن یا نبودن سنسورهاست.

در تحقیقات آینده موضوع تاثیر استفاده از الگوریتم‌های بهینه ساز در بهبود عملکرد شبکه نفودی با استفاده از انتخاب ساختار بهینه شبکه در زیر آب می‌پردازیم.

۵-۳- نتیجه گیری شبکه وفقی با لینک های UVLC

فاصله لینک زیر آب و میزان شوری آب و درجه حرارت از پارامترهای مهمی در تعیین خصوصیات تصادفی مدل توزیع لگ نرمال هستند که به لینک UVLC نسبت داده می شوند. به همین دلیل ، خواص پارامترهای چندین لینک UVLC زیر آب در نظر گرفته شده و عملکرد شبکه افزایشی وفقی از طریق این لینک ها مورد تجزیه و تحلیل قرار می گیرد. نتایج نشان داد که با افزایش واریانس اغتشاش به دلیل طولانی شدن مسافت ، عملکرد شبکه افزایشی ضعیف تر می شود. همین مسئله را می توان برای مواقعی که فاصله ثابت بوده و فقط دما و میزان سطح شوری آب تغییر می کند بیان کرد. همچنین مشاهده شد که برای فواصل بین گره های بالای ۱۰ متر، شبکه ناهمگرا می شود.

۵-۴- نظرات و پیشنهادات برای کارهای آینده

به منظور افزایش دقت بررسی عملکرد شبکه های وفقی با استفاده از تکنولوژی های مخابرات نوری VLC و UVLC همواره باید به دنبال پیدا کردن مدل های دقیق تر نویز و ضرایب کانال باشیم. در این مورد، بررسی عملکرد شبکه های وفقی با توجه به مدل های جدید نویز نوری می تواند بسیار مهم باشد. زیرا تاثیر نوع و میزان نویز بر عملکرد شبکه وفقی بسیار مهم است. از انواع مدل های نویز نوری که می توان تاثیر آنها را در شبکه های وفقی بررسی کرد، نویز شات، لاگوئره، و ... هستند. همچنین مساله تخمین کانال به منظور بهبود شرایط ارتباط مابین گره ها در کارهای آینده می تواند بیشتر مورد بررسی قرار گیرد.

منابع و مراجع:

- [1] J. Li, S.Y.Tu and A.H. Sayed, "Honeybee swarming behavior using diffusion adaptation," in IEEE Digital Signal Processing and Signal Processing Education Meeting (DSP/SPE), Sedona, AZ, USA, 4-7 Jan. 2011.
- [2] S.Y.Tu and A.H. Sayed, "Foraging Behavior of Fish Schools via Diffusion Adaptation," in IEEE Conference, International Workshop on Cognitive Information processing, Elba, Italy, 14 Oct 2010.
- [3] F.S.Cattivelli and A.H.Sayed, "Modeling Bird Flight Formations Using Diffusion Adaptation," IEEE Transactions on Signal Processing, vol. 59, issue. 5, pp 2038-2051, May 2011.
- [4] J.Chen, X.Zhao and A.H. Sayed, "Bacterial Motility via Diffusion Adaptation," in IEEE Conference, Record of the Forty Fourth Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers, Pacific Grove, CA, USA, 7-10 Nov 2010.
- [5] B. Epple, "Simplified channel model for simulation of free-space optical communications," IEEE/OSA Journal of Optical Communications and Networking, vol. 2, no. 5, pp. 293–304, 2010.
- [6] F. Davidson, C. Juan, and A. Hammons, "Channel fade modeling for free-space optical links," in Military Communication Conference (MILCOM), pp. 802–807, Oct 2010.
- [7] A. Jurado-Navas, J. Maria, M. Castillo-Vazquez, and A. Puerta-Notario, Numerical Simulations of Physical and Engineering Processes, ch. 7, A Computationally Efficient Numerical Simulation for Generating Atmospheric Optical Scintillations, pp. 157–180. InTech, Sep 2011.
- [8] D. Bykhovsky, "Free-space optical channel simulator for weak turbulence conditions," Applied Optics, vol. 54, pp. 9055–9059, Oct. 2015.
- [9] D. Bykhovsky, D. Elmakayes, and S. Arnon, "Experimental evaluation of free space links in the presence of turbulence for server backplane," Journal of Lightwave Technology, vol. 33, pp. 2923–2929, Jul. 2015.
- [10] M. Kashani, M. Uysal, and M. Kavehrad, "A novel statistical channel model for turbulence-induced fading in free-space optical systems," Journal of Lightwave Technology, vol. 33, pp. 2303–2312, June 2015.
- [11] S. Rajbhandari, Z. Ghassemlooy, P. Haigh, T. Kanesan, and X. Tang, "Experimental error performance of modulation schemes under a controlled laboratory turbulence VLC channel," Journal of Lightwave Technology, vol. 33, pp. 244–250, Jan 2015.

- [12] X. Zhu and J. M. Kahn, "Performance bounds for coded free-space optical communications through atmospheric turbulence channels," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 51, no. 8, pp. 1233–1239, Aug 2003.
- [13] G. R. Osche, *Optical Detection Theory for Laser Applications*. Hoboken, NJ: Wiley, 2002.
- [14] W. Huang, J. Takayanagi, T. Sakanaka, and M. Nakagawa, "Atmospheric optical communication system using subcarrier PSK modulation," in *Proc. IEEE ICC*, vol. 3, pp. 1597–1601, May 1993.
- [15] M. Uysal, L. Jing, and Y. Meng, "Error rate performance analysis of coded free-space optical links over gamma-gamma atmospheric turbulence channels," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 5, no. 6, pp. 1229–1233, Jun. 2006.
- [16] M. A. Al-Habash, L. C. Andrews, and R. L. Phillips, "Mathematical model for the irradiance probability density function of a laser beam propagating through turbulent media," *Opt. Eng.*, vol. 40, pp. 1554–1562, 2001.
- [17] L. C. Andrews, R. L. Phillips, and C. Y. Hopen, *Laser Beam Scintillation With Applications*. Bellingham, WA: SPIE, 2001.
- [18] L. C. Andrews and R. L. Phillips, *Laser Beam Propagation through Random Media*. SPIE, 2nd ed., 2005.
- [19] A. Rastegarnia, M. A. Tinati, and A. Khalili, "Steady-state analysis of incremental LMS adaptive networks with noisy links," *IEEE Trans Signal Process*, vol. 59, no. 5, pp. 2416–2421, 2011.
- [20] A. Khalili, M.A. Tinati, A. Rastegarnia, and J.A. Chambers, "Steady state analysis of diffusion LMS adaptive networks with noisy links," *IEEE Trans. Signal Process.* vol. 60, pp. 974–979, 2012.
- [21] C. G. Lopes, A. H. Sayed, "Incremental adaptive strategies over distributed networks," *IEEE trans. on signal processing*, vol. 55, pp. 4064–4077, 2007.
- [22] A. Aminfar, Ch. Ghobadi, M. Chehel Amirani, "Diffusion adaptation through free space optical (VLC) wireless communication channels," *IEEE 4th International Conference on Knowledge-Based Engineering and Innovation (KBEI-2017) Dec. 22th*, Tehran, Iran, 2017.
- [23] E. Mostafapour, Ch. Ghobadi, J. Nourinia, M. Chehel Amirani, "Tracking performance of incremental LMS algorithm over adaptive distributed sensor network," *Journal of communication engineering*, vol. 4, no. 1, pp. 55-66, 2015.
- [24] E. Mostafapour, Ch.Ghobadi, M.C. Amirani, "Non-stationary channel estimation with diffusion adaptation strategies over distributed networks," *Wireless Personal Communication*, vol. 99, no. 3, pp. 1377-1390, 2018.

- [25] I. K. Son, S. Mao, "A survey of free space optical networks," *Digital Communications and Networks journal*, vol 3, issue 2, pp. 67-77, May 2017
- [26] Z.Zeng, S. Fu, H. Zhang, Y. Dong, J. Cheng, "A survey of underwater wireless optical communication," *IEEE Communication Systems & Tutorials*, vol 19, issue 1, pp. 204 - 238, Firstquarter 2017.
- [27] S. U. Rehman, S. Ullah, P. H. J. Chong, S. Yongchareon and D. Komosny, "Visible Light Communication: A System Perspective Overview and Challenges" *MDPI/Sensors journal*, Dec 10 2019.
- [28] Latif Ullah Khan "Visible light communication: applications, architecture, standardization and research challenges", *Digital Communication and Networks journal* , Vol 3, Issue 2, Pages 78-88, May 2017.
- [29] Cho, J.; Park, J.H.; Kim, J.K.; Schubert, E.F. White light-emitting diodes: History, progress, and future. *Laser Photonics Rev.*, 11, 1600147, Oct 2017.
- [30] Cisco, Cisco Visual Networking Index: Forecast and Methodology, 2013–2018, June 10, 2014.
- [31] Anurag Sarkar, Shalabh Agarwal, Asoke Nath, Li-Fi technology: data transmission through visible light, *Int. J. Adv. Res. Comput. Sci. Manag. Stud.* 3 (6) ,2015.
- [32] Y. Wang, N. Chi, Y. Wang, L. Tao, J. Shi, Network architecture of a high-speed visible light communication local area network, *IEEE Photonics Technol. Lett.* 27 (2) 197–200 , 2015.
- [33] Laych, K. Global Status Report on Road Safety. Available online: https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/doc/2018/SafeFITS/S3_laych.pdf accessed on 10, Oct 2018.
- [34] Abualhoul, M. Visible Light and Radio Communication for Cooperative Autonomous Driving: Applied to Vehicle Convoy. Ph.D. Thesis, MINES ParisTech, Paris, France, 2016.
- [35] M.-A. Khalighi, C. Gabriel, T. Hamza, S. Bourennane, P. Leon, and V. Rigaud, "Underwater wireless optical communication; recent advances and remaining challenges," in *Proc. International Conference on Transparent Optical Networks (ICTON)*, pp. 1–4, Jul. 2014.
- [36] S. Fasham and S. Dunn, "Developments in subsea wireless communications," in *Proc. IEEE Underwater Technology (UT)*, Chennai, India, pp. 1–5, Feb 2015.
- [37] L. J. Johnson, F. Jasman, R. J. Green, and M. S. Leeson, "Recent advances in underwater optical wireless communications," *Underwater Technol.*, vol. 32, pp. 167–175, Nov. 2014.

- [38] A.S. Fletcher, S.A. Hamilton, J.D. Moores, "Undersea laser communication with narrow beams", *IEEE Communications Magazine* 53 (11) 49–55, 2015.
- [39] G. Cossu, R. Corsini, A.M. Khalid, et al., "Experimental demonstration of high speed underwater visible light communications", in: *International Workshop on Optical Wireless Communications*, IEEE, pp. 11–15, 2014.
- [40] Y.G. Wang, X.X. Huang, L. Tao, N. Chi, "1.8-Gb/s WDM visible light communication over 50-meter outdoor free space transmission employing CAP modulation and receiver diversity technology". *Proc. Opt. Fiber Commun. Conf. Exhib.*, pp.1–4, 2015.
- [41] M.L. Zhang, P. Zhao, Y.J. Jia, "A 5.7 Km visible light communications experiment Demonstration" . *Pro. 7th Int. Conf. Ubiquitous Future Netw.* pp. 1–3, 2015.
- [42] Y. Zhao, C. Wang, F. Wang, Y. Liu, N. Chi, "1.725Gb/s underwater visible light communication system based on a silicon substrate green LED and equal gain combination receiver, in": *ICEVLC2018*, IEEE, Yokohama, Japan, 2018.
- [43] D. R. Kim, S. H. Yang, H. S Kim, Y. H Son, S. K Han, "Outdoor visible light communication for inter-vehicle communication using controller area network": in: *Proceddings of Fourth International Conference on the Communications and Electronics (ICCE)*, pp.31-34, 2012.
- [44] S. Tannaz, C. Ghobadi, J. Nourinia, E. Mostafapor, "The effects of negative exponential and k-distribution modeled VLC links on the performance of diffusion adaptive networks," *9th International Symposium on Telecommunications (IST)*, Tehran, Iran. 2018.
- [45] A. Khalili, A. Rastegarnia, V. Vahidpour, TY. Rezaii "On the Effects of Flat Fading Channels on the Steady-State Performance of Diffusion Adaptive Networks," *Journal of advanced signal processing*, vol. 1, no. 1, pp. 27-34, 2016.
- [46] N. Mishra, D. Sriram Kumar, "Outage analysis of relay-assisted VLC systems over K- distribution turbulence channel," *International Conference on Electrical, Electronics, and Optimization Techniques (ICE OT)*, 3-5 March 2016.
- [47] H. E. Nistazakisa, V. D. Assimakopoulosb, G.S. Tombrasa, "Performance estimation of free

space optical links over negative exponential atmospheric turbulence channels,” *Optik*, 122, pp.

2191–2194, 2011.

[48] A. Khalili, A. Rastegarnia and S. Sanei, ‘Performance analysis of incremental LMS over flat fading channels’, *IEEE Trans. on control of network systems*, vol. 99: 1-11, 2016.

[49] M. Elamassie, M. Uysal, “performance characterization of vertical underwater VLC links in the presence of turbulence,” *11th international symposium on communication systems, networks and digital signal processing (CSNDSP)*, Hungary, July 2018.

[50] M. Elamassie, S. M. Sait, Murat Uysal, “Underwater visible light communications in cascaded Gamma-Gamma Turbulence,” *IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps)*, United Arab Emirates, December 2018.

[51] N. Morozs, P. Mitchell, Y. Zakharov, “Unsynchronized dual-hop scheduling for practical data gathering in underwater sensor networks,” *IEEE Forth underwater communications and networking conference (UComms)*, Italy, Aug 2018.

[52] J. Heidemann, M. Stojanovic, and M. Zorzi, “Underwater sensor networks: applications, advances, and challenges,” *Philosophical Transactions of the Royal Society of London A: Mathematical, physical and engineering sciences*, vol. 370, no. 1958, pp. 158–175, 2011.

[53] X. Ma, F. Yang, S. Liu, and J. Song, “Novel Compressive Sensing Based Channel Estimation for Wideband Underwater Visible Light Communication” *IEEE International Conference on Communications(ICC)*, USA, May. 2018.

[54] C. G. Lopes, A. H. Sayed, "Incremental adaptive strategies over distributed networks,” *IEEE Trans. on signal processing*, vol. 55, pp. 4064-4077, 2007.

[55] A. H. Sayed and F. Cattivelli, “Distributed adaptive learning mechanisms,” in *Handb. Array Process. Sens. Networks*, S. Haykin and K. J. Ray Liu, Eds. Wiley, pp. 693–722, 2009.

[56] A. Rastegarnia, M. A. Tinati, and A. Khalili, “Steady-state analysis of incremental LMS adaptive networks with noisy links,” *IEEE Trans. on Signal Process*; 59(5):2416–21, 2011.

[57] Z. Ghassemlooy, W. Popoola, S. Rajbhandari, “*Optical wireless communications system and channel modeling with MATLAB*,” CRC Press, NY, 2013.

[58] Z. Ghassemlooy, W. Popoola, S. Rajbhandari, “Visible light communications theory and applications,” CRC Press, NY, 2017.

- [59] H. Abdi, et. al, "Incremental adaptive networks working through FSO Log-normal turbulence channels," *The first west Asian colloquium on optical wireless communications*, Isfahan, Iran, April 2018.
- [60] A. Aminfar, M. Chehel Amirani, Ch. Ghobadi, "Incremental adaptive networks implemented by free space optical (FSO) communication," *Journal of communication engineering*, vol. 7, No. 2, pp. 12-28, 2018.
- [61] M. Jamali, A. Mirani, A. Parsay, B. Abolhassani, P. Nabavi, A. Chizari, P. Khorramshahi, S. Abdollahramezani, and J. Salehi, "Statistical studies of fading in underwater wireless optical channels in the presence of air bubble, temperature, and salinity random variations," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 66, no. 10, pp. 4706-4723, Oct. 2018.
- [62] S. Tannaz, Ch. Ghobadi, J. Nourinia and E. mostafapour, "The node distance effects on the performance of the underwater VLC incremental adaptive networks," *J. of modern optics*, vol. 66, no, 21, pp. 2093-2098, November 2019.

Abstract

In this dissertation, we examine the benefits and problems of implementing underwater adaptive networks using the Visible Light Communication (VLC) technology. The VLC technology, which is one of the newest methods of data transmission, is one of the methods that can be very useful in implementing an adaptive network and by considering the wide range of applications, because this technology has many advantages, including Lack of harm to human and animal health, high data transfer speed and free bandwidth, resistance to interference, etc.

Optical telecommunications is always plagued by noise and channel disturbances, and the impact of these two factors on the performance of broadcast networks should be considered. The distance between the nodes and the water specifications in which the network is implemented, such as temperature and salt concentration, are effective in determining the amount of light disturbances. According to experiments obtained at distances below 20 m and temperatures between 1 and 20 °C, the coefficients of the underwater VLC channel follow the Log-normal distribution with values of different parameters. Examining the performance of the network and the theory theoretically and simulating according to these channel conditions can be an important step in the implementation of these networks for underwater applications. In order to evaluate the performance of underwater diffusion network with VLC technology, a diffusion network with 20 nodes and underwater environment conditions was simulated by MATLAB software and the results were obtained during several experiments in different underwater channel conditions. The results showed that the effect of salinity and water temperature on network performance under normal conditions is not very noticeable and which indicates an estimation error of about 0.001 but the effect of distance between network nodes in underwater conditions on its performance is very significant that indicates an increase in the estimation error to 0.1.

Keywords: *Adaptive networks, Optical noise, optical links, turbulence, underwater optical links, Visible light communication (VLC).*



Shahrood University of Technology
Faculty of Electrical and Robotics Engineering
M.Sc. Thesis in Communication Systems Engineering

**Designing Visible Light Communication (VLC) based
Underwater Adaptive Networks (UAN)**

By: Reza Fazli GHaraboghloo

Supervisor:
Dr. Ali Soleimani

Thesis Advisor:
Dr. Changiz Ghobadi

September 2020