دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

تخصیص بهینه توان در شبکه‌های مخابرات مشارکتی: رویکردی مبتنی بر لایه‌های MAC و شبکه

رساله برای دریافت درجه دکتری در رشته مهندسی برق
گرایش مخابرات سیستم

زهرا مبینی

استاد راهنما

دکتر سعدان زکایی

شهریور ۱۳۹۲

بسم الله الرحمن الرحیم

تأییدیه‌ی هیأت داوران جلسه‌ی دفاع از رساله

نام دانشکده: دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

نام دانشجو: زهرا مبینی

عنوان رساله: تخصیص بهینه توان در شبکه‌های مخابرات مشارکتی: رویکردی مبتنی بر لایه‌های MAC و شبکه

تاریخ دفاع: شهریور ۱۳۹۲

رشته: مهندسی برق

گرایش: مخابرات سیستم

ردیف	سمت	نام و نام خانوادگی	مرتبه دانشگاهی	دانشگاه یا مؤسسه	امضـــــــا
۱	استاد راهنما	دکتر سعدان زکایی	دانشیار	دانشگاه خواجه‌نصیرالدین طوسی	
۳	استاد مدعو خارجی	دکتر بابک حسین خلج	استاد	دانشگاه صنعتی شریف	
۴	استاد مدعو خارجی	دکتر سید مصطفی صفوی	دانشیار	دانشگاه صنعتی امیرکبیر	
۵	استاد مدعو داخلی	دکتر کمال محامدپور	استاد	دانشگاه خواجه‌نصیرالدین طوسی	
۶	استاد مدعو داخلی	دکتر یوسف درمانی	استادیار	دانشگاه خواجه‌نصیرالدین طوسی	

تأییدیه‌ی صحت و اصالت نتایج

باسمه تعالی

اینجانب زهرا مبینی به شماره دانشجویی ۸۷۰۰۸۹۶ دانشجوی رشته مهندسی برق مقطع تحصیلی دکتری تأیید می‌نمایم که کلیه‌ی نتایج این رساله حاصل کار اینجانب و بدون هرگونه دخل و تصرف است و موارد نسخه‌برداری‌شده از آثار دیگران را با ذکر کامل مشخصات منبع ذکر کرده‌ام. درصورت اثبات خلاف مندرجات فوق، به تشخیص دانشگاه مطابق با ضوابط و مقررات حاکم (قانون حمایت از حقوق مؤلفان و مصنفان و قانون ترجمه و تکثیر کتب و نشریات و آثار صوتی، ضوابط و مقررات آموزشی، پژوهشی و انضباطی ...) با اینجانب رفتار خواهد شد و حق هرگونه اعتراض درخصوص احقاق حقوق مکتسب و تشخیص و تعیین تخلف و مجازات را از خویش سلب می‌نمایم. در ضمن، مسؤولیت هرگونه پاسخگویی به اشخاص اعم از حقیقی و حقوقی و مراجع ذی‌صلاح (اعم از اداری و قضایی) به عهده‌ی اینجانب خواهد بود و دانشگاه هیچ‌گونه مسؤولیتی در این خصوص نخواهد داشت.

نام و نام خانوادگی: زهرا مبینی

تاریخ و امضا:

مجوز بهره‌برداری از پایان‌نامه

بهره‌برداری از این پایان‌نامه در چهارچوب مقررات کتابخانه و با توجه به محدودیتی که توسط استاد راهنما به شرح زیر تعیین می‌شود، بلامانع است:

☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه برای همگان بلامانع است.

☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه با اخذ مجوز از استاد راهنما، بلامانع است.

☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه تا تاریخ ..... ممنوع است.

استاد راهنما: دکتر سعدان زکایی

تاریخ:

امضا:

تقدیم به:

فرشته کوچکم روشا

همسر عزیزم محمدعلی

و

پدر و مادر مهربانم

قدردانی

سپاس خداوندگار حکیم را که با لطف بی‌کران خود، آدمی را زیور عقل آراست.

پیش از همه، صمیمانه‌ترین تشکر و قدردانی را از استاد راهنمای گرامی‌ام جناب آقای دکتر سعدان زکایی دارم. پشتیبانی صبورانه، حمایت و تشویق ایشان همواره روشن‌گر راه من در دوران دکتری بوده است و بدون رهنمودهای گرانبهای ایشان، انجام این رساله برایم بسیار مشکل می بود. همچنین از استاد گرانقدر جناب آقای دکتر مجید خبازیان برای نظرات و راهنمایی های بسیار ارزنده شان که بی شک تاثیر زیادی در افزایش کیفیت این رساله داشت، کمال تشکر را دارم. از استاد فرهیخته، سرکار خانم دکتر پرستو صادقی که مسئولیت راهنمایی من را در دوره فرصت مطالعاتی بر عهده گرفتند و نظرات ثمربخشی در راستای ارتقاء رساله اینجانب ارایه نمودند، یسیار سپاسگزارم. قدردان مهمان‌نوازی گرم و صمیمیانه ایشان در طول دوره فرصت مطالعاتی‌ام در دانشگاه ANU هستم.

همراهی صبورانه همسرم و راهنمایی‌های دلگشایش در مراحل مختلف انجام این رساله آرامش‌بخش لحظات دشوار و گرمابخش دلم بوده است. خدایا مرا شایسته این همراهی قرار بده. در پایان، بوسه می‌زنم بر دستان خداوندگاران مهر و مهربانی، پدر و مادر عزیزم و بعد از خدا، ستایش می‌کنم وجود مقدس‌شان را و تشکر می‌کنم از خانواده عزیزم به پاس عاطفه سرشار و گرمای امیدبخش وجودشان، که بهترین پشتیبان من بودند.

زهرا مبینی

شهریور ۱۳۹۲

چکیده

مخابرات مشارکتی به عنوان یک جهش تکنولوژی بزرگ برای شبکه‌های بیسیم پهن باند نسل آینده محسوب می‌شود. برخلاف شبکه‌های مخابراتی رایج، در شبکه‌های مشارکتی هر کاربر نه تنها اطلاعات خودش را ارسال می‌کند بلکه به عنوان یک شریک عمل می‌کند و اطلاعات متعلق به کاربران دیگر را نیز ارسال می‌کند. بنابراین با ایجاد مسیرهای مختلف به مقصد و با تسهیم کردن منابع شبکه از قبیل توان و پهنای باند و ایجاد چندگانگی ارسال قابلیت اطمینان ارتباط زیاد می‌شود و نرخ ارسال بالا می‌رود. هدف اصلی این رساله افزایش بازدهی مصرف توان شبکه‌های مخابرات مشارکتی است. در این راستا به حل تعدادی مسئله پرداختیم. دست آوردهای اصلی این رساله به‌طور خلاصه عبارتند از:

مشارکت در لایه‌های بالای شبکه- ابتدا به تحلیل حداکثر بهره‌ای که از طریق مشارکت برای پخش داده‌ها در شبکه قابل حصول است می‌پردازیم. زمانی که هدف ما کاهش مصرف توان مجموع در شبکه باشد، نشان می‌دهیم که بهره ناشی از پخش مشارکتی نسبت به پخش غیر مشارکتی محدود است. در ادامه یک شبکه مشارکتی دو بعدی چند پرشی را در نظر می‌گیریم. برای این شبکه یک الگوریتم مسیریابی مشارکتی چند پرشی با توان بهینه پیشنهاد می‌دهیم و با فرض اینکه هر گره در مسیر، سیگنال ارسالی به وسیله دو گام قبلی را دریافت می‌کند، ارسال مشارکتی چند پرشی که از چندگانگی چندپرشی و مشارکتی استفاده می‌کند را معرفی می‌کنیم.

تخصیص توان رله و گروه‌بندی در شبکه‌های مخابرات مشارکتی با کدینگ شبکه- کدینگ شبکه یک تکنیک بسیار موثر در افزایش گذردهی و مقاومت شبکه‌های مشارکتی است. چالش اساسی موجود در این زمینه این است که بهره‌گیری از مزایای کدینگ شبکه لایه فیزیکی یا PNC در سناریوی چند-تک پخشی بدون هزینه نیست. در ادامه این رساله PNC را در یک سیستم بی‌سیم مشارکتی چند-تک پخشی (NC-CC) با یک گره رله مورد بررسی قرار می‌دهیم و روش‌های موثری بر اساس تکنیک‌های تخصیص توان و انتخاب گروه پیشنهاد می‌دهیم.

تخصیص توان ارسالی و انتخاب گره رله بهینه در شبکه‌های مخابرات مشارکتی با کدینگ شبکه - به دلیل پیچیدگی بالای تحلیل شبکه‌های NC-CC چند تک-پخشی، در مدل‌های موجود به بررسی تخصیص توان بهینه ارسال برای گره‌های فرستنده و رله پرداخته نشده است. در ادامه این رساله از تخصیص توان و انتخاب رله برای افزایش بازدهی شبکه مخابرات مشارکتی با کدینگ شبکه استفاده می‌کنیم و دو روش با هدف حداکثر کردن حداقل نرخ قابل حصول پیشنهاد می‌کنیم. اولین روش پیشنهادی تخصیص توان ارسالی بین گره های مبدا و یک گره رله با دو قید متفاوت بر روی محدودیت‌های توان به نام‌های محدودیت توان کلی و محدودیت توان انفرادی می‌باشد. همچنین با ترکیب مکانیزم‌های لایه فیزیکی و MAC یک روش انتخاب رله غیر متمرکز پیشنهاد می‌کنیم. روش دوم پیشنهادی تخصیص توان رله است که به‌سادگی نحوه ترکیب سیگنال‌ها در گره رله را تغییر می‌دهد. طرح‌های تخصیص توان پیشنهادی در این رساله به‌عنوان پایه‌هایی برای طراحی الگوریتم‌های تخصیص توان در شبکه‌های NC-CC محسوب می‌شوند.

واژگان کلیدی: پخش مشارکتی، تخصیص توان، تخصیص رله، تقویت و ارسال، کدینگ شبکه، مخابرات مشارکتی، مسیریابی

فهرست مطالب

فهرست تصاویر ز

فهرست جداول ص

فهرست الگوریتم‌ها ض

فهرست اختصارات ع

فصل ۱: مقدمه و چارچوب رساله ۱

۱-۱ مقدمه ۱

۱-۲ مروری بر مخابرات مشارکتی ۴

۱-۲-۱ چندگانگی ۴

۱-۲-۲ مفهوم مشارکت ۶

۱-۲-۳ مزایاي ناشي از مشارکت بین کاربران ۸

۱-۲-۴ معیارهای بررسی کارآیی طرح‌های مشارکت ۹

۱-۳ طرح های مخابرات مشارکتی ۱۰

۱-۳-۱ روش آشکار سازی و ارسال ۱۰

۱-۳-۲ تقویت و ارسال ۱۱

۱-۳-۳ طرح‌های رله افزایشی ۱۲

۱-۳-۴ مشارکت کد شده ۱۲

۱-۳-۵ فشرده‌سازی و ارسال ۱۳

۱-۴ بهبود عملکرد شبکه‌های مخابرات مشارکتی ۱۳

۱-۴-۱ مروری بر چالش‌ها و کارهای انجام شده در زمینه لایه MAC مشارکتی ۱۵
۱-۴-۲ مروری بر چالش‌ها و کارهای انجام شده در زمینه مسیریابی مشارکتی ۱۷
۱-۵ افزایش بازدهی شبکه‌های مخابراتی مشارکتی با بکارگیری کدینگ شبکه ۲۰
۱-۵-۱ مروری بر کدینگ شبکه در شبکه‌های مخابراتی بی‌سیم ۲۱
۱-۵-۲ مروری بر چالش‌ها و کارهای انجام شده در شبکه مخابرات مشارکتی با کدینگ شبکه ۲۶
۱-۶ چارچوب و مسایل مورد بررسی در رساله ۲۸

فصل ۲: همه پخشی مشارکتی ۳۲
۲-۱ مقدمه ۳۲
۲-۲ مروری بر مسئله ۳۲
۲-۲-۱ مدل مصرف انرژی ۳۵
۲-۳ مدل سیستم و تعاریف ۳۷
۲-۴ شبکه خطی تصادفی ۳۸
۲-۵ تحلیل بهره G_{tot} ۳۹
۲-۵-۱ تحلیل بهره G_{tot} با در نظر گرفتن توان مصرفی در مدارات ۴۷

فصل ۳: مسیریابی در شبکه‌های مشارکتی ۴۹
۳-۱ مقدمه و چارچوب ۴۹
۳-۲ بررسی بازدهی توان مسیریابی مشارکتی با استفاده از چند گانگی مشارکتی ۵۱
۳-۲-۱ مدل شبکه ۵۱
۳-۲-۲ مدل کانال ۵۱
۳-۲-۳ الگوریتم مسیریابی مشارکتی: الگوریتم PECR ۵۴
۳-۲-۴ ارسال مشارکتی چند پرشی و تخصیص توان ۵۵
۳-۲-۵ نتایج شبیه‌سازی ۵۸
۳-۳ مسیریابی مشارکتی توان بهینه بر اساس مسیریابی جغرافیایی ۶۰
۳-۳-۱ تحلیل لینک و مدل سیستم ۶۰

۳-۳-۲ تخصیص توان بهینه توزیع شده ۶۱
۳-۳-۳ الگوریتم مسیریابی پیشنهادی POCGR ۶۲
۳-۳-۴ نتایج شبیه‌سازی ۶۴
۳-۴ نتیجه‌گیری ۶۶

فصل ۴: تخصیص توان رله و گروه توأم در شبکه‌های مخابرات مشارکتی بی‌سیم با کدینگ شبکه ۶۸
۴-۱ مروری بر ادبیات و کارهای صورت گرفته قبلی ۶۸
۴-۲ مدل سیستم ۷۲
۴-۲-۱ سیستم NC-CC چند-تک پخشی یک گروهی ۷۳
۴-۲-۲ نرخ قابل حصول در سیستم NC-CC یک گروهی چند-تک پخشی ۷۷
۴-۲-۳ مخابرات مشارکتی تقویت و ارسال ۷۸
۴-۳ تخصیص توان رله در سیستم NC-CC چند گروهی چند-تک پخشی ۷۹
۴-۳-۱ بهینه کردن ضرایب تخصیص توان در یک سیستم NC-CC چند-تک پخشی . . ۷۹
۴-۳-۲ راه حل تحلیلی برای تخصیص توان بهینه در یک سیستم NC-CC دو-تک پخشی ۸۱
۴-۳-۳ نتایج شبیه‌سازی ۸۲
۴-۴ تخصیص گروه ۸۹
۴-۴-۱ مدل ارسال چند گروهی ۹۱
۴-۴-۲ نرخ قابل حصول در سیستم NC-CC چند گروهی ۹۲
۴-۵ تخصیص توان و گروه توأم ۹۲
۴-۵-۱ الگوریتم زیر بهینه تخصیص توان و گروه توأم در سیستم NC-CC ۹۶
۴-۵-۲ نتایج شبیه‌سازی ۹۸
۴-۶ نتیجه گیری ۱۰۳

فصل ۵: استراتژی‌های تخصیص توان و انتخاب رله در شبکه‌های چند-تک پخشی با کدینگ شبکه ۱۰۴
۵-۱ مقدمه ۱۰۴
۵-۲ مدل سیستم ۱۰۵
۵-۳ تخصیص توان ارسالی گره رله و مبدأ ۱۰۶

۵-۳-۱ محدودیت توان کلی ۱۰۶
۵-۳-۲ محدودیت توان انفرادی ۱۱۱
۵-۳-۳ انتخاب رله و تخصیص توان ارسالی توام ۱۱۳
۵-۴ تخصیص توان سیگنال رله ۱۱۵
۵-۴-۱ تخصیص توان سیگنال رله در سیستم چند-تک پخشی ۱۱۵
۵-۴-۲ روش تحلیلی برای سیستم دو-تک پخشی ۱۱۷
۵-۴-۳ رعایت انصاف ۱۲۰
۵-۵ نتایج عددی ۱۲۱
۵-۵-۱ انتخاب رله و تخصیص توان ارسالی توام ۱۲۱
۵-۵-۲ انتخاب رله و تخصیص توان سیگنال رله توام ۱۲۵
۵-۶ نتیجه‌گیری ۱۲۹

فصل ۶: نتیجه‌گیری و پیشنهادات **۱۳۱**
۶-۱ نتیجه‌گیری ۱۳۱
۶-۲ زمینه‌های تحقیقاتی آتی ۱۳۴

مراجع **۱۳۸**

پیوست آ: اثبات قضایا و لم‌ها **۱۴۶**
آ-۱ فصل دوم ۱۴۶
آ-۱-۱ اثبات لم ۲-۵-۲ . . . . . ۱۴۶
آ-۱-۲ اثبات لم ۲-۵-۳ . . . . . ۱۴۷
آ-۱-۳ اثبات لم ۲-۵-۴ . . . . . ۱۴۷
آ-۲ فصل سوم ۱۴۸
آ-۲-۱ اثبات قضیه ۳-۲-۱ . . . . . ۱۴۸
آ-۲-۲ اثبات لم ۳-۳-۱ . . . . . ۱۴۹
آ-۳ فصل چهارم ۱۵۱

آ-۳-۱ تعریف ثابت‌های استفاده شده در معادلات (۴-۱۷)و (۴-۱۸) ۱۵۱
آ-۳-۲ اثبات قضیه ۴-۵-۲ . . . . . ۱۵۱
آ-۴ فصل پنجم ۱۵۶
آ-۴-۱ تعریف ثابت ها در (۵-۳۲)و (۵-۳۵) ۱۵۶

واژه‌نامه انگلیسی به فارسی **۱۵۷**

فهرست تصاویر

۱-۱ مفهوم مشارکت در یک ساختار سه گره‌ای [۱] ۷

۱-۲ مسیریابی مشارکتی در راستای کوتاهترین مسیر [۲] ۱۸

۱-۳ ارسال دو جریان داده تک پخشی [۳] ۲۲

۱-۴ نواحی نرخ ارتباطی قابل حصول(a) مسیریابی تنها (b) کدینگ شبکه [۳] ۲۳

۱-۵ مبادله اطلاعات گره های A و C را از طریق گره B با و بدون کدینگ شبکه [۳] ۲۵

۱-۶ دو سناریوی مورد بررسی در مرجع [۴] ۲۸

۳-۱ مدل شبکه بی‌سیم چندگانگی چند پرشی با K گام و یک گره رله در هر گام. ۵۲

۳-۲ مدل شبکه در بازه‌های زمانی $(2k-1)$ و $2k$ ام ۵۴

۳-۳ توان ارسالی مجموع نسبت به احتمال قطع هدف برای شبکه با ۴۰ گره ۵۸

۳-۴ توان ارسالی مجموع نسبت به تعداد گره‌ها در شبکه ۵۹

۳-۵ توان ارسالی مجموع برای مسیریابی PECR با طرح‌های ارسال چند پرشی مشارکتی و سنتی نسبت به احتمال قطع برای شبکه با 40 گره. ۶۰

۳-۶ متوسط تعداد گام‌ها بر مسیر نسبت به قید BER برای چگالی گره 0.4 و $R_0 = 2\ b/s/Hz$ ۶۴

۳-۷ مجموع توان ارسالی نسبت به احتمال قطع مورد نیاز برای، $N_0 = -40dBm$، $R_0 = 2\ b/s/Hz$ و $\alpha = 4$. ۶۵

۳-۸ بازدهی توان POCGR نسبت به BER لینک برای چگالی گره 0.4 . . . . . ۶۶

۴-۱ سیستم چند-تک پخشی با K زوج گره مبدأ-مقصد ۶۹

۴-۲ توپولوژی شبکه دو-تک پخشی. p_1 و p_2 دو موقعیت مختلف را برای گره رله نشان می‌دهند. ۸۳

۳-۴ نرخ مجموع سیستم NC-CC بر حسب موقعیت قرار گیری رله. طرح‌های ارسال مختلف با $P_{s_1} = P_{s_2} = P_r = 0.4$ وات مقایسه شده‌اند. ۸۴

۴-۴ نرخ مجموع سیستم NC-CC بر حسب توان گره مبدأ. طرح‌های ارسال مختلف با $P_{s_1} = P_{s_2} = P_r$ مقایسه شده‌اند. ۸۶

۵-۴ ضرایب تخصیص توان محاسبه شده با کمک روش عددی پیشنهادی و راه حل تحلیلی (19) نسبت به موقعیت قرار گیری رله ۸۷

۶-۴ نرخ مجموع متوسط در یک سیستم NC-CC شش-چندپخشی نسبت به توان گره مبدأ . ۸۸

۷-۴ نسبت نرخ مجموع ارایه شده در طرح OPA SG-NC نسبت به نرخ مجموع ارایه شده در طرح AF-CC بر حسب تعداد نشست‌ها K برای سیستم‌های ideal NC-CC و NC-CC با در نظر گرفتن نویز کدینگ شبکه ۸۹

۸-۴ طرح ارسال گره مبدأ و گره رله: (آ) ارسال مستقیم و (ب) طرح NC-CC چند گروهی. ۹۱

۹-۴ نرخ مجموع سیستم NC-CC برحسب توان گره مبدأ شش-تک پخشی ۹۹

۱۰-۴ نرخ مجموع متوسط یک سیستم NC-CC بر حسب توان گره مبدأ. همچنین نتایج برای طرح‌های عملی و دقیق مقایسه شده‌اند. ۱۰۱

۱۱-۴ فاکتور کاهش نرخ مجموع f ناشی از محدود کردن اندازه گروه‌ها به یک عدد صحیح مثبت g_m تعریف شده در معادله(آ-۱۰)برای اندازه g_m متغیر ۱۰۲

۱-۵ تخصیص توان ارسالی گره‌های مبدأ و رله در یک سیستم NC-CC چند تک-پخشی: (آ) محدودیت توان انفرادی و (ب) محدودیت توان مجموع. ۱۰۷

۲-۵ تخصیص توان سیگنال رله در یک سیسم NC-CC چند تک-پخشی. ۱۱۶

۳-۵ حداکثر نرخ قابل حصول بر حسب حداکثر توان ارسالی مجاز. مقایسه TPA-RS با طرح‌های دیگر. ۱۲۲

۴-۵ بالاترین نرخ مجموع قابل حصول بر حسب حداکثر توان مجموع ارسالی مجاز. طرح TPA-RS با طرح بهینه (۵-۲۶)مقایسه شده است. ۱۲۳

۵-۵ مقادیر بهینه برای توان‌های ارسالی که با کمک طرح TPA-RS و طرح بهینه (۵-۲۶)محاسبه شده بر حسب حداکثر توان مجموع مجاز ارسالی ۱۲۴

۵-۶ بالاترین نرخ قابل حصول بر حسب مجموع توان ارسالی مصرفی به وسیله گره‌های مبدأ و رله۱۲۵
۵-۷ بالاترین نرخ قابل حصول بر حسب حداکثر توان مجموع مجاز ارسالی. طرح RPA-RS با طرح‌های دیگر مقایسه شده است. ۱۲۶
۵-۸ معیار رعایت انصاف بر حسب حداکثر توان مجموع مجاز ارسالی برای طرح‌های مختلف ۱۲۷
۵-۹ بالاترین نرخ قابل حصول نسبت به مجموع توان مصرفی به وسیله گره‌های مبدأ و رله، مقایسه بهینه‌سازی توان روی توان‌های ارسالی گره‌های مبدأ و رله و ضرایب تخصیص توان توام، Joint (TPA-RPA)-RS، با طرح‌های مختلف ۱۲۸
۵-۱۰ بالاترین نرخ مجموع قابل حصول بر حسب موقعیت قرار گیری رله در یک سیستم دو - تک پخشی NC-CC با حداکثر توان ارسالی مجاز 1 وات. ۱۲۹

فهرست جداول

۴-۱ تاثیر تعداد نشست‌ها بر بازدهی نرخ مجموع (درصد افزایش نرخ مجموع نسبت به طرح (EPA SG-NC ۱۰۰

فهرست الگوریتم‌ها

۴-۱ الگوریتم تخصیص توان و گروه توأم ۹۷

فهرست اختصارات

AF . . . . . Amplify-and-forward

ANC . . . . . Analog Network Coding

AWGN . . . . . Additive White Gaussian Noise

BER . . . . . Bit Error Rate

CC . . . . . Coded Cooperation

CF . . . . . Compressed-and-forward

CSI . . . . . Channel State Information

DF . . . . . Decode-and-forward

GR . . . . . Greedy Routing

MAC . . . . . Medium Access Control

MEDS . . . . . Method of Exact Doppler Spread

MH . . . . . Multi-hop

MIMO . . . . . Multiple-input Multiple-output

MRC . . . . . Maximal Ratio Combining

NC-CC . . . . . Network Coded Cooperative Communication

NP-Hard . . . . . Non-deterministic Polynomial-time hard

OFDM . . . . . Orthognal Frequency Division Multiple Access

PDF . . . . . Probability Density Function

PNC . . . . . Physical Layer Network Coding