دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

تأسیس ۱۳۰۷

دانشکده مهندسی برق

پایان نامه کارشناسی ارشد

محاسبه کران قابل حصول و کران بالای ظرفیت کانال رله مبتنی بر شناخت پاره ای با اطلاعات جانبی در رله

استاد راهنما:

دکتر محمدرضا عارف

دانشجو:

محمد کاظمی

مهندسی مخابرات - سیستم

اسفند ۱۳۸۸

به نام یزدان پاک

تقدیم و قدردانی

به رسم سپاس و قدردانی، این پایان نامه

تقدیم به جامعه علمی کشور،

به پدر و مادر و برادر و همسر گرامیم

و به روح برادر بزرگوارم، مهندس هومن کاظمی دهکردی.

اظهار نامه دانشجو

موضوع پایان نامه: محاسبه کران قابل حصول و کران بالای ظرفیت کانال رله مبتنی بر شناخت پاره‌ای با اطلاعات جانبی در رله

استاد راهنما: آقای دکتر محمدرضا عارف

نام دانشجو: محمد کاظمی

شماره دانشجوئی: ۸۶۰۰۵۳۴

اینجانب **محمد کاظمی** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد مهندسی **برق** گرایش **مخابرات سیستم** دانشکده **مهندسی برق** دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی گواهی می‌نمایم که تحقیقات ارائه شده در این پایان نامه توسط شخص اینجانب انجام شده و صحت و اصالت مطالب نگارش شده مورد تائید می‌باشد، و در موارد استفاده از کار دیگر محققان به مرجع مورد استفاده اشاره شده است. بعلاوه گواهی می‌نمایم که مطالب مندرج در پایان‌نامه تاکنون برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی توسط اینجانب یا فرد دیگری در هیچ جا ارائه نشده است و در تدوین متن پایان نامه چارچوب (فرمت) مصوب دانشگاه را بطور کامل رعایت کرده ام.

امضاء دانشجو:

تاریخ:

فرم حق طبع ونشر و مالکیت نتایج

۱- حق چاپ و تکثیر این پایان نامه متعلق به نویسنده آن می باشد .هرگونه کپی برداری بصورت کل پایان نامه یا بخشی از آن تنها با موافقت نویسنده یا کتابخانه دانشکده برق دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی مجاز می باشد.

ضمنا متن این صفحه نیز باید در نسخه تکثیر شده وجود داشته باشد.

۲- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی می باشد و بدون اجازه کتبی دانشگاه به شخص ثالث قابل واگذاری نیست.

همچنین استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

سپاس‌گذاری

از استاد بزرگوارم، جنلاب آقای دکتر محمد رضا عارف، که در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه مرا همراهی نمودند، نهایت سپاس را دارم. بدون راهنمایی‌های مدبرانه ایشان، چنین کاری امکان‌پذیر نبود.

از استاد ارجمندم، جناب آقای دکتر بابک سیف بابت راهنمایی‌های ایشان در ارائه این پایان‌نامه و همچنین تقبل زحمت داوری این پایان‌نامه، نهایت سپاس را دارم.

از استاد ارجمندم، جناب آقای دکتر محمود احمدیان که زحمت داوری این پایان‌نامه را تقبل فرمودند، نهایت سپاس را دارم.

چکیده:

در این پایان‌نامه، به بررسی اثر همکاری مبتنی بر رله بین گیرنده‌ها در کانالی شامل دو فرستنده و دو گیرنده می‌پردازیم. برای استفاده مناسب‌تر از پهنای باند فرکانسی در این کانال، یکی از فرستنده‌ها شناختی می‌باشد و برای جبران اثر مخرب تداخل ایجاد شده ناشی از ارسال هم‌زمان فرستنده‌ها، گیرنده‌ها برای فرستنده‌های غیر متناظر خود، نقش رله را ایفا می‌کنند. اگر یکی از گیرنده‌ها برای فرستنده غیر متناظر خود نقش رله را ایفا کند، کانال را با همکاری جزئی و در غیر اینصورت با همکاری کامل می‌نامیم. معیار سنجش در این پایان‌نامه، نرخ قابل حصول و ناحیه نرخ قابل حصول می‌باشد. کانال رادیوی شناختی با همکاری مبتنی بر رله را، در دو حالت گسسته زمان و گوسی مورد بررسی قرار می‌دهیم. برای هر یک از کانال‌های مذکور، یک ناحیه نرخ قابل حصول و یک کران بالای ظرفیت به‌دست می‌آوریم و در حالت نازل، ظرفیت این کانال‌ها را محاسبه می‌کنیم. نشان می‌دهیم که همکاری مبتنی بر رله بین گیرنده‌ها، افزایش نرخ قابل توجهی را برای هر دو کاربر کانال در پی دارد.

کلمات کلیدی

۱. کانال رله
۲. کانال رادیوی شناختی
۳. اطلاعات جانبی
۴. کدگذاری برهم‌نهی
۵. کد گذاری Gel’fand and Pinsker
۶. کدبرداری و گسیل
۷. کدگذاری منظم
۸. کدبرداری پنجره لغزان
۹. ناحیه نرخ قابل حصول
۱۰. کران بالای ظرفیت
۱۱. ظرفیت

فهرست مطالب

فصل ۱: مقدمه ۲

فصل ۲: مروری بر کانال رله و کانال رادیوی شناختی با همکاری مبتنی بر رله بین گیرنده‌ها ۷

۲-۱ مقدمه ۷

۲-۲ کانال گسسته با اطلاعات جانبی ۸

۲-۲-۱ مدل کانال گسسته بدون حافظه با اطلاعات جانبی ۸

۲-۲-۲ ظرفیت کانال گسسته بدون حافظه با اطلاعات جانبی ۱۰

۲-۲-۳ مقایسه اطلاعات جانبی علی با اطلاعات جانبی غیرعلی در فرستنده ۱۱

۲-۳ همکاری مبتنی بر رله ۱۲

۲-۳-۱ مدل کانال رله ۱۳

۲-۳-۲ روش های کدگذاری و نرخ های قابل حصول ۱۴

۲-۳-۳ کران بالای ظرفیت ۱۷

۲-۴ کانال رادیوی شناختی ۱۷

۲-۵ کانال رادیوی شناختی با همکاری مبتنی بر رله بین گیرنده ها ۱۹

۲-۵-۱ کانال رادیوی شناختی با همکاری جزئی مبتنی بر رله بین گیرنده ها ۲۰

۲-۵-۲ کانال رادیوی شناختی با همکاری کامل مبتنی بر رله بین گیرنده ها ۲۱

۲-۶ جمع بندی و نتیجه گیری ۲۲

فصل ۳: کانال رادیوی شناختی با همکاری جزئی مبتنی بر رله بین گیرنده‌ها ۲۳

۳- ۱ مقدمه ۲۳

۳-۲ مدل کانال گسسته‌ی بدون حافظه‌ی رادیوی شناختی، با همکاری جزئی مبتنی بر رله بین گیرنده‌ها ۲۴

۳-۳ ناحیه نرخ قابل حصول کانال گسسته‌ی بدون حافظه‌ی رادیوی شناختی، با همکاری جزئی مبتنی بر رله بین گیرنده‌ها ۲۶
۳-۴ کران بالای ظرفیت در کانال گسسته‌ی بدون حافظه‌ی رادیوی شناختی، با همکاری جزئی مبتنی بر رله بین گیرنده‌ها ۲۹
۳-۵ کانال رادیوی شناختی گوسی، با همکاری جزئی مبتنی بر رله بین گیرنده‌ها ۳۱
۳-۶ جمع‌بندی و نتیجه گیری ۳۵
فصل ۴: کانال رادیوی شناختی با همکاری کامل مبتنی بر رله بین گیرنده‌ها ۳۷
۴-۱ مقدمه ۳۷
۴-۲ مدل کانال گسسته‌ی بدون حافظه‌ی رادیوی شناختی، با همکاری کامل مبتنی بر رله بین گیرنده‌ها ۳۸
۴-۳ ناحیه نرخ قابل حصول کانال گسسته‌ی بدون حافظه‌ی رادیوی شناختی، با همکاری کامل مبتنی بر رله بین گیرنده‌ها ۴۰
۴-۴ کران بالای ظرفیت در کانال گسسته‌ی بدون حافظه‌ی رادیوی شناختی، با همکاری کامل مبتنی بر رله بین گیرنده‌ها ۴۳
۴-۵ کانال رادیوی شناختی گوسی، با همکاری کامل مبتنی بر رله بین گیرنده‌ها ۴۵
۴-۶ جمع‌بندی و نتیجه گیری ۴۸
فصل ۵: نتیجه‌گیری و پیشنهادها ۵۰
پیوست ۱. اثبات قضیه (۳-۱) ۵۴
پیوست ۲. اثبات قضیه (۳-۲) ۶۴
پیوست ۳. اثبات بخش معکوس قضیه (۳-۳) ۶۷
پیوست ۴. اثبات بخش معکوس قضیه (۳-۴) ۶۹
مراجع ۷۷

فهرست شکل‌ها

شکل ۲-۱: کانال رله ۱۳

شکل ۲-۲: کانال رادیوی شناختی ۱۸

شکل ۲-۳: کانال رادیوی شناختی با همکاری جزئی مبتنی بر رله بین گیرنده‌ها ۲۰

شکل ۲-۴: کانال رادیوی شناختی با همکاری کامل مبتنی بر رله بین گیرنده‌ها ۲۱

شکل ۳-۱: کانال رادیوی شناختی با همکاری جزئی مبتنی بر رله بین گیرندها. ۲۴

شکل ۳-۲: نواحی ظرفیت کانال رادیوی شناختی گوسی و کانال رادیوی شناختی گوسی نازل با همکاری جزئی مبتنی بر رله بین گیرنده‌ها. ۳۴

شکل ۴-۱: کانال رادیوی شناختی با همکاری کامل مبتنی بر رله بین گیرنده‌ها ۳۸

فصل ۱

مقدمه

نیاز روز افزون بشر برای استفاده بیشتر از منابع[۱] از یک سو، و محدودیت‌های موجود در منابع در دسترس از سوی دیگر، مدیریت منابع به منظور بهره‌وری مناسب‌تر از آن‌ها را در اولویت اهداف توسعه فناوری قرار داده است. یکی از مهمترین نیازهای بشر در هزاره سوم، ارسال اطلاعات با سرعت مطلوب است که محدودیت‌های مختلفی در منابع آن وجود دارد.

از اساسی‌ترین انواع منابع مخابراتی، می‌توان به پهنای باند فرکانسی و گره‌های رله[۲] اشاره نمود. رله[۳]، کاربر خاموش و یا نیمه خاموشی است که اطلاعاتی برای ارسال ندارد و یا علاوه بر اطلاعات خود می‌تواند به سایر کاربران در ارسال پیامشان کمک کند. تقاضای روز افزون کاربران برای ارسال اطلاعات با نرخ‌های بالاتر از یک سو و محدودیت‌های موجود در اساسی‌ترین منابع مورد استفاده برای ارسال اطلاعات از سوی دیگر، متخصصین مخابرات را همواره به سمت استفاده مناسب‌تر از منابع مخابراتی موجود به منظور فراهم آوردن شرایط هر چه مساعدتر برای کاربران سوق داده است.

تا قبل از سال ۱۹۴۸میلادی، متخصصین مخابرات بر این باور بودند که برای افزایش ضریب اطمینان در ارسال اطلاعات (کاهش خطای کد برداری در گیرنده)، می‌بایست نرخ ارسال اطلاعات را کاهش داد و بر این اساس، آنان معتقد بودند که با نرخ‌های مثبت، دست‌یابی به احتمال خطای نزدیک به صفر امکان پذیر نیست. اما، شانون در سال ۱۹۴۸ با نظریه خود [۱]، انقلابی در جهان مخابرات خلق کرد. شانون بیان داشت که در هر کانال مخابراتی، کران بالایی برای نرخ ارسال اطلاعات وجود دارد، که اگر اطلاعات با هر نرخی پایین‌تر از آن ارسال شود، کتاب کدی وجود دارد که با استفاده از آن، اطلاعات در گیرنده با احتمال

---

[۱] Recources

[۲] Relay Nodes

[۳] Relay

خطای به دلخواه کوچک کدبرداری شود. وی پایین‌ترین این کران را ظرفیت کانال[۱] مخابراتی نامید. توسعه نظریه او به شبکه‌های مخابراتی با بیان ناحیه ظرفیت[۲] برای شبکه‌ها کامل گردید.

بر این اساس، ارسال اطلاعات با نرخ‌های بالاتر، مشروط به در دست داشتن شبکه‌ای با ناحیه ظرفیت وسیع‌تر است و لذا، شناخت محدودیت‌های موجود بر سر راه افزایش نرخ‌های قابل حصول شبکه‌ها و همچنین شناسایی راه کارهای مناسب برای غلبه بر آن‌ها، بحث روز مراکز پژوهشی دنیا گردیده است.

کانال‌ها و یا شبکه‌های طراحی شده تا کنون، هر یک با بهره‌گیری از بخشی از منابع، سعی در افزایش نرخ‌های قابل حصول داشته‌اند. یکی از مهمترین منابع مخابراتی موجود، رله‌ها هستند. توانایی رله-ها در وسیع‌تر کردن ناحیه نرخ قابل حصول و یا کاهش توان مصرفی شبکه‌های مخابراتی از یک سو، و مشکل توان در شبکه‌های مطرح امروزی مانند شبکه حس‌گر[۳]ها و شبکه اقتضایی[۴] از سوی دیگر، باعث شده است تا محققان کانال و شبکه رله را به طور جدی مورد توجه قرار دهند. بر حسب تعریف، کانال رله[۵] [۲] کانالی است که شامل یک فرستنده، یک گیرنده و یک رله است. در این کانال، همکاری فرستنده با رله امکان دست‌یابی به نرخ‌های قابل حصول بالاتر را برای فرستنده فراهم می‌آورد و شبکه رله[۶] [۳] شبکه ای است که شامل یک فرستنده، یک گیرنده و بیش از یک رله می‌باشد.

یکی دیگر از مهمترین منابع مخابراتی موجود، پهنای باند فرکانسی است. آمار به‌دست آمده توسط سازمان FCC[۷] نشان داد که باندهای فرکانسی مجوز داده شده در اکثر موارد بدون استفاده می‌باشند. به عنوان نمونه NYC[۸] که باند فرکانسی $۳۰MHz - ۳,۰GHz$ را به خود اختصاص داده است، فقط در ۱۳,۱ درصد زمان از باند فرکانسی بیان شده استفاده می‌کند. فناوری مطرح شده برای استفاده از این موقعیت ایجاد شده، فرستنده‌های شناختی[۹] هستند. فرستنده‌های شناختی به طور مشخص سیستم های مخابراتی هستند که قابلیت شناخت محیط اطراف، کسب اطلاعات از آن و وفق دادن خود با تغییرات

---

[۱] Channel Capacity
[۲] Capacity Region
[۳] Sensor Network
[۴] Ad-Hoc Network
[۵] Relay Channel
[۶] Relay Network
[۷] Federal Communications Commission
[۸] New York City
[۹] Cognitive Radio

آماری محیط را دارند، تا با استفاده از این قابلیت‌ها و با توجه به حفره‌های فرکانسی موجود، به ارتباط مخابراتی مطمئن و بازدهی فرکانسی بالا، بدون ایجاد تداخل مخرب برای کاربران دارای مجوز، دست یابند.

بسته به شرایط متفاوت، روش‌های متنوعی برای اشتراک پهنای باند فرکانسی[۱] و استفاده مناسب‌تر از آن وجود دارد. برای اشتراک باند فرکانسی، تا کنون سه روش بیان شده است:

دسترسی انحصاری[۲]: در این روش، فقط کاربر مجاز اجازه استفاده از باند فرکانسی مربوط به خود را دارد و سایر کاربران نمی‌توانند از این باند بهره‌ای ببرند. روش مورد استفاده کنونی نیز همین روش است.

اشتراک افقی[۳]: کاربران برای استفاده از باند فرکانسی مشخص شده هیچ برتری نسبت به یکدیگر ندارند. به عنوان مثال، می‌توان به باند بدون مجوز $۹۰۰MHz$ که تلفن‌های بی‌سیم کنونی از آن بهره می‌گیرند و باند $۲,۴GHz$ بدون مجوز که مربوط به شبکه‌های محلی[۴] بی‌سیم و بلوتوث[۵] است، اشاره نمود.

اشتراک عمودی[۶]: در این روش، کاربران بدون مجوز به شرط عدم ایجاد تداخل مخرب و عدم حساسیت کاربران مجاز نسبت به حضور آن‌ها، می‌توانند از باند فرکانسی مجوز داده شده به کاربران مجاز بهره‌مند شوند.

برای تحلیل نظریه شبکه‌هایی که شامل گره‌های شناختی هستند، می‌بایست مطالب بیان شده را به زبان نظریه اطلاعات بیان داریم.

نظریه اطلاعات و شبکه رادیوی شناختی

اطلاعاتی که فرستنده شناختی از کانال و سایر کاربران به صورت علی و یا غیرعلی دارد، به صورت اطلاعات جانبی علی و یا غیرعلی در فرستنده مدل می‌شود. عدم ایجاد تداخل مخرب برای کاربران اولیه را می‌توان به صورت عدم کاهش نرخ قابل حصول برای کاربران اولیه در نظر گرفت. بر این اساس، و با استفاده از کدگذاری Gel’fand and Pinsker [۴] برای کدگذاری پیام در فرستنده شناختی، یک ناحیه

---

[۱] Spectrum Sharing
[۲] Exclusive Sharing
[۳] Horizontal Sharing
[۴] WLAN
[۵] Bluetooth
[۶] Vertical Sharing

نرخ قابل حصول برای کانال رادیوی شناختی در [۵] به‌دست آمد. کدگذاری مورد استفاده در فرستنده شناختی به گونه‌ای است که فرستنده علاوه بر همکاری با فرستنده اولیه در ارسال پیامش، تا حد امکان بر تداخل ایجاد شده در گیرنده متناظر با خویش غلبه کند. پس از آن، در [۶] یک کران بالای ظرفیت بر اساس کران بالای Nair-El Gamal [۷] و یک ناحیه نرخ قابل حصول با استفاده از کدگذاری مشابه با [۵] برای کانال رادیوی شناختی محاسبه گردید. در این راستا، در [۸] ظرفیت کانال گسسته بدون حافظه رادیوی شناختی در حالت تداخل ضعیف محاسبه گردید. در ادامه، در [۹] ناحیه ظرفیت امن کانال رادیوی شناختی، در حالتی که گیرنده متناظر با فرستنده شناختی، پیام ارسالی توسط فرستنده اولیه را نیز کدبرداری می‌کند، محاسبه شد. لم اساسی مورد استفاده برای اثبات ناحیه ظرفیت امن در این کانال، لم ۷ مرجع [۱۰] می‌باشد. در واقع، این لم، به صورت یک لم راه‌گشا در بررسی ظرفیت کانال رادیوی شناختی مورد توجه قرار گرفته است. به عنوان مثال، در [۱۱] ناحیه ظرفیت کانال رادیوی شناختی Z، در حالتی که یال[۱] بین فرستنده شناختی و گیرنده متناظرش معین (بدون نویز) است، محاسبه شد. کانال رادیوی شناختی Z، یک کانال رادیوی شناختی است که تنها یکی از فرستنده‌ها روی گیرنده غیرمتناظرش تداخل می‌کند. در [۱۲]، به منظور افزایش ناحیه نرخ قابل حصول کانال رادیوی شناختی نسبت به ناحیه نرخ محاسبه شده در [۵]، کانال رادیوی شناختی با کانال رله تجمیع گردید، که یک رله به صورت هم‌زمان با هر دو فرستنده‌ی کانال رادیوی شناختی در ارسال پیام مشترکشان همکاری می‌کند. کدگذاری مورد استفاده در این رله، کدبرداری جزیی، فشرده سازی و گسیل می‌باشد. تجمیع کانال رادیوی شناختی با کانال رله [۱۲]، بهبودی قابل ملاحظه‌ای را در نواحی نرخ قابل حصول در پی داشت.

در این پایان‌نامه، کانال رادیوی شناختی با همکاری مبتنی بر رله بین گیرنده‌ها، در دو حالت همکاری جزئی و همکاری کامل بین گیرنده‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد. در فصل ۲، علاوه بر بیان برخی مفاهیم اساسی و مقدمات لازم برای فصل‌های پس از آن، به تعریف کانال رادیوی شناختی با همکاری مبتنی بر رله بین گیرنده‌ها می‌پردازیم. در فصل ۳، کانال رادیوی شناختی با همکاری جزئی مبتنی بر رله بین گیرنده‌ها را مورد بررسی قرار می‌دهیم. در ابتدا به تبیین مدل کانال رادیوی شناختی با همکاری جزئی مبتنی بر رله بین گیرنده‌ها می‌پردازیم و در ادامه برای این کانال، یک ناحیه نرخ قابل حصول و یک کران بالای ظرفیت به‌دست می‌آوریم. پس از آن نشان می‌دهیم که کران بالای به‌دست آمده و ناحیه نرخ قابل حصول محاسبه شده، برای کانال نازل، بر یکدیگر منطبق شده و ناحیه ظرفیت را ارائه می‌کنند.

[۱] Link

سپس، ناحیه ظرفیت کانال گوسی متناظر را، با اثبات یک قضیه معکوس به دست می‌آوریم. در فصل ۴، نتایج به‌دست آمده در فصل ۳ را، به کانال رادیوی شناختی با همکاری کامل مبتنی بر رله بین گیرنده‌ها تعمیم می‌دهیم. قابل ذکر است که، ناحیه‌ی ظرفیت کانال رله پخش نازل [۱۳]، در هر دو حالت همکاری جزئی و همکاری کامل گیرنده‌ها، حالت خاص ناحیه ظرفیت به‌دست آمده در این پایان‌نامه برای کانال رادیوی شناختی با همکاری مبتنی بر رله بین گیرنده‌ها است. در نهایت، در فصل ۵ به نتیجه گیری و ارائه چند پیشنهاد برای کارهای آینده می‌پردازیم.

فصل ۲

مروری بر کانال رله و کانال رادیوی شناختی با همکاری مبتنی بر رله بین گیرنده‌ها

۲-۱ مقدمه:

مجهز نمودن فرستنده‌ها به کاربری شناخت، منجر به بهبود ناحیه نرخ قابل حصول و افزایش کارایی می‌گردد، چرا که کاربری شناخت این امکان را فراهم می‌آورد تا یک فرستنده شناختی، اطلاعات جانبی[۱] از سایر فرستنده‌ها بدست آورد. فرستنده شناختی با بهره‌گیری از این اطلاعات جانبی، پیام ارسالی را به گونه‌ای کدگذاری می‌کند که تا حد امکان بر تداخل موجود غلبه کرده و با سایر فرستنده‌ها نیز همکاری نماید. همکاری بین گره‌های رله موجود در شبکه با فرستنده‌ها، منجر به وسیع‌تر شدن ناحیه نرخ قابل حصول می‌گردد.

اطلاعات جانبی در کاربرها و تاثیر آن بر ظرفیت کانال، از مطالبی است که در این فصل به آن می-پردازیم. در ادامه، کانال رله و راهبردهای مختلف، برای ارتقاء عملکرد رله و کران بالای[۲] ظرفیت را در این کانال مورد بررسی قرار می‌دهیم. فرستنده‌های شناختی، کانال رادیوی شناختی با همکاری جزئی مبتنی بر رله بین گیرنده‌ها[۳] و کانال رادیوی شناختی با همکاری کامل مبتنی بر رله بین گیرنده‌ها[۴] در ادامه مطرح می‌گردد. در انتها به جمع‌بندی و نتیجه‌گیری این فصل می پردازیم.

---

[۱] Side Information

[۲] Upper Bound

[۳] Cognitive Radio Channel (CRC) With Relay Based Partially Cooperating Receivers

[۴] Cognitive Radio Channel (CRC) With Relay Based fully Cooperating Receivers

۲-۲ کانال گسسته با اطلاعات جانبی:

در برخی از سیستم‌های مخابراتی چند کاربره[۱]، اطلاعاتی از حالت کانال[۲] در اختیار بعضی از کاربرها قرار دارد، که کاربر می‌تواند با استفاده از این اطلاعات، پیام‌های ارسالی را کدگذاری و یا پیام‌های دریافتی را کدبرداری نماید. این اطلاعات را، اطلاعات جانبی می‌نامیم. اطلاعات جانبی، ممکن است به صورت علی[۳] و یا غیرعلی در اختیار کاربر قرار بگیرد، و بسته به این که کاربر فرستنده و یا گیرنده باشد، این اطلاعات را به ترتیب اطلاعات جانبی در فرستنده و یا گیرنده می‌نامیم.

در این بخش، پس از آن که مدل کانال گسسته و بدون حافظه[۴] با اطلاعات جانبی در فرستنده و گیرنده را ترسیم نمودیم، به بیان روابط ظرفیت برای حالت‌هایی که اطلاعات جانبی به صورت علی و یا غیرعلی در اختیار کاربرها قرار دارد، می‌پردازیم و نشان می‌دهیم که، اطلاعات جانبی غیرعلی نسبت به اطلاعات جانبی علی، منجر به بهبودی قابل ملاحظه‌تری در ناحیه نرخ قابل حصول کانال می‌گردد.

۲-۲-۱ مدل کانال گسسته بدون حافظه با اطلاعات جانبی:

در این زیربخش، کانال یک کاربره را در نظر می‌گیریم، و پس از بیان مدل این کانال، به نحوه کدگذاری و کدبرداری برای حالت‌هایی که اطلاعات جانبی به صورت علی و یا غیرعلی در اختیار فرستنده و یا گیرنده است، می‌پردازیم.

اطلاعات جانبی در فرستنده

اطلاعات جانبی در فرستنده را با S_T نشان می‌دهیم. s_{t_i} نشان دهنده حالت کانال در لحظه i است، که به صورت علی یا غیرعلی در اختیار فرستنده قرار می‌گیرد؛ به عبارت دیگر اگر فرستنده، کلمات کدی با طول n ارسال کند، اطلاعات جانبی فرستنده در حین ارسال هر کلمه کد را می‌توان به صورت $s_t^n = \left(s_{t_1}, s_{t_2}, \dots, s_{t_n}\right)$ که $s_{t_1}, s_{t_2}, \dots, s_{t_n} \in S$ ، نشان داد. S نشان‌دهنده‌ی حالات محدود کانال است.

---

[۱] Multi User

[۲] Channel State

[۳] Causal

[۴] Discrete Memoryless Channel

فرض کنید فرستنده، پیام خود را از الفبای $\mathcal{W} = \{1,2, \dots, M\}$، انتخاب می‌کند و الفبای ورودی و خروجی کانال، به ترتیب $\mathcal{X}$ و $\mathcal{Y}$ باشند. $f^n(m, s_n^t) = (f_1, f_2, \dots, f_n)$ را تابع کدگذار کانال:

$$f^n: \mathcal{W} \times S^n \to \mathcal{X}^n$$

و $g(y^n)$ را تابع کدبردار کانال:

$$g: \mathcal{Y}^n \to \mathcal{W}$$

در نظر می‌گیریم. فرض می‌کنیم، فرستنده پیام m را به منظور ارسال، از الفبای $\mathcal{W}$ انتخاب می‌کند.

حال اگر اطلاعات جانبی به صورت علی در اختیار فرستنده قرار گرفته باشد، کلمه کد ارسالی علاوه بر این که در هر لحظه تابعی از پیام ارسالی است، به اطلاعات جانبی تا آن لحظه نیز وابسته است. به بیان دیگر، فرستنده با داشتن اطلاعات جانبی علی، برای ارسال پیام m، کلمه کد $x^n(m, s^t)$ را ارسال می‌کند که $x_i = f_i(m, s_1, s_2, \dots, s_{i-1})$ انتخاب می‌گردد.

اگر اطلاعات جانبی به صورت غیرعلی در اختیار فرستنده قرار گرفته باشد، کلمه کد ارسالی علاوه بر این که در هر لحظه تابعی از پیام ارسالی است، به کل حالت کانال نیز وابسته است. در این صورت $x_i = f_i(m, s_t^n)$.

اطلاعات جانبی در گیرنده

اگر اطلاعات جانبی در گیرنده را با S_R نشان دهیم، s_{r_i} نشان دهنده حالت کانال در لحظه i است، که به صورت علی یا غیرعلی در اختیارگیرنده قرار می‌گیرد. به عبارت دیگر، اگر گیرنده کلمه کدی با طول n دریافت کند، اطلاعات جانبی فرستنده در حین دریافت هر کلمه کد را می‌توان به صورت $s_r^n = (s_{r_1}, s_{r_2}, \dots, s_{r_n})$ که $s_{r_1}, s_{r_2}, \dots, s_{r_n} \in S$ نشان داد.

در حالتی که اطلاعات جانبی به صورت علی در اختیار گیرنده قرار گیرد، گیرنده در حین دریافت y_i، حالت کانال تا لحظه iام را می‌داند و در صورتی که اطلاعات جانبی به صورت غیرعلی در اختیار گیرنده باشد، گیرنده در هر لحظه، تمام حالت کانال را می‌داند.