دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده برق و کامپیوتر

چگونگی عملکرد اپراتورهای مجازی در شبکه‌های مخابرات سیار

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی برق- مخابرات (شبکه)

علی سرهنگ‌پور

استاد راهنما

دکتر فرامرز هندسی

۱۳۹۰

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده برق و کامپیوتر

پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی برق – مخابرات آقای علی سرهنگ‌پور

تحت عنوان

چگونگی عملکرد اپراتورهای مجازی در شبکه‌های مخابرات سیار

در تاریخ ۹۰/۵/۱۶ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱- استاد راهنمای پایان‌نامه	دکتر فرامرز هندسی
۲- استاد مشاور پایان‌نامه	دکتر پژمان خدیوی
۳- استاد داور	دکتر مهدی مهدوی
۴- استاد داور	دکتر علی فانیان
سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده	دکتر امیر برجی

تشکر و قدردانی:

بر خود لازم می‌دانم کـه از حمایـت و راهنمـایی‌هـای اسـتادان ارجمنـد دکتر فرامرز هندسی و دکتر پژمان خدیوی قـدردانی نمـایم. از دوسـتان گران‌قدر، رضا خدابنده سامانی، بابک سـیابی، سـید علـی شمسـی‌زاده، حسین فیض رسان، محمد محمدی و ماشاءالله نظرپـور بابـت همراهـی و همدلی ایشان در طول تحصیل در مقطـع کارشناسـی ارشـد، و همچنـین سرکار خانم نکویی مسئول محتـرم دفتـر تحصـیلات تکمیلـی دانشـکده برق و کامپیوتر، سپاسگزارم.

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است. این پایان‌نامه با حمایت مادی و معنوی مرکز تحقیقات مخابرات ایران به انجام رسیده است.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست مطالب.....هفت
چکیده.....۱

فصل یکم: مقدمه

۱-۱ تاریخچه، طرح موضوع و تبیین اهمیت آن.....۲
۱-۲ استفاده بهینه از فضای فرکانس.....۳
۱-۲-۱ ایده‌های همکاری میان اپراتورهای تلفن همراه.....۴
۱-۲-۲ اپراتورهای مجازی.....۵

فصل دوم: شبکه UMTS

۲-۱ تاریخچه.....۸
۲-۲ معرفی معماری ساختار یک شبکه نسل سوم.....۱۰
۲-۳ کیفیت خدمات در UMTS.....۱۲
۲-۴ بایستگی‌های کیفیت خدمات در شبکه UMTS.....۱۳
۲-۴-۱ الزامات مربوط به مشترک در راستای برقراری کیفیت خدمات.....۱۳
۲-۴-۲ الزامات کلی در راستای برقرای کیفیت خدمات.....۱۳
۲-۴-۳ الزامات فنی در راستای برقراری کیفیت خدمات.....۱۳
۲-۵ رده‌های مختلف کیفیت خدمات در UMTS.....۱۴
۲-۶ شبکه رادیویی در UMTS.....۱۵
۲-۶-۱ فرکانس‌های رادیویی UMTS.....۱۵
۲-۶-۲ کنترل توان در UMTS.....۱۶
۲-۷ فناوری WCDMA در UMTS.....۱۷
۲-۷-۱ ساختار CDMA در UMTS.....۱۸
۲-۷-۲ ظرفیت سلول‌ها در WCDMA.....۱۹

فصل سوم: نظریه حراج و کاربرد آن در شبکه‌های مخابراتی

۳-۱ انواع استاندارد حراج.....۲۲
۳-۲ مدل‌های پایه حراج.....۲۴
۳-۳ قیمت‌گذاری در حراج‌های استاندارد.....۲۴
۳-۴ دسته‌بندی نحوه رفتار شرکت‌کنندگان در حراج.....۲۵
۳-۵ کاربرد نظریه حراج در معاملات پهنای باند.....۲۶

فصل چهارم: ایده‌های همکاری میان اپراتورها

۴-۱ معرفی شبکه‌های همکار ۲۸
۴-۲ ایده‌های ارائه شده برای یکپارچه سازی شبکه‌ها ۲۹
۴-۳ اشتراک فضای فرکانس میان اپراتورها ۳۰

فصل پنجم: اپراتورهای مجازی

۵-۱ معرفی اپراتورهای مجازی ۳۴
۵-۲ تعامل اپراتورهای مجازی با اپراتور اصلی به منظور تامین طیف فرکانس ۳۵
۵-۳ جنبه‌های اقتصادی و نحوه تصمیم‌گیری برای سرمایه گذاری اپراتورهای مجازی ۳۷

فصل ششم: روش‌های مجتمع سازی پهنای باند

۶-۱ مسئله تخصیص پهنای باند و راهکارهای قابل ارائه برای آن ۴۸
۶-۱-۱ روش تجمیع پهنای باند مبتنی بر پروتکل SCTP ۴۹
۶-۱-۲ کدهای بدون نرخ و کاربرد آن‌ها در تجمیع پهنای باند ۵۱

فصل هفتم: طرح پیشنهادی

۷-۱ چارچوب کلی اپراتور مجازی ۵۶
۷-۲ فرض‌های اولیه در طراحی اپراتور مجازی ۵۷
۷-۳ تخصیص بهینه فضای فرکانسی با استفاده از کدهای بدون نرخ ۵۸
۷-۴ مبانی نظری طرح اپراتور مجازی ۵۹
۷-۵ به دست آوردن پهنای باند به روش حراج ۶۱
۷-۶ تعیین ضرایب نمونه در توابع کاربستگی، شبیه سازی و بررسی نتایج حاصل از آن ۶۲
۷-۷ اصلاح طرح حراج ۷۰
۷-۷-۱ بازی‌های ائتلافی و مقدار شاپلی ۷۰

فصل هشتم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها

مراجع ۷۶

چکیده

راه‌اندازی سرویس‌های نسل سوم مخابرات سیار در سال‌های آغازین قرن بیست و یکم، زمینه را برای ارائه انواع خدمات با نیاز به پهنای باند بالا فراهم نموده است. محدودیت در فضای فرکانسی قابل تخصیص به اپراتورهای نسل سوم، به طور بالقوه باعث انحصاری شدن بازار خدمات ارتباطی و همچنین استفاده غیر بهینه از این فضا می‌گردد. ایده اپراتورهای مجازی، امکان حضور اپراتورهایی را که فاقد زیرساخت رادیوی لازم برای ارائه خدمات هستند، فراهم می‌نماید. این اپراتورها، منابع مورد نیاز خود را از محل منابع در اختیار اپراتورهای اصلی تامین می‌نمایند. حضور اپراتورهای مجازی در کنار اپراتورهای اصلی، منجر به تنوع بخشیدن به خدمات قابل ارائه به مشتریان می‌گردد. همچنین این اپراتورها، زمینه رقابت در بازار تلفن همراه نسل سوم را فراهم می‌نمایند. استفاده بهینه‌تر از فضای فرکانسی از دیگر مزایای حضور اپراتورهای مجازی است.

یکی از انواع اپراتورهای مجازی مورد توجه، اپراتورهایی هستند که به ارائه خدمات ارتباطی، با قیمت کمتر و کیفیت قابل قبول به مشترکان می‌پردازند. این اپراتورها، با تکیه به روش‌هایی از جمله خرید به صورت عمده و همچنین تکیه بر این واقعیت که اپراتور اصلی در ساعات غیر از اوج ترافیک، تمایل به فروش منابع استفاده نشده خود و کسب درآمد از آن دارد، تلاش می‌کنند که منابع مورد نیاز خود را با قیمت نازلی تامین نمایند.

طراحی سازوکارهای لازم به منظور تبیین جنبه‌های اقتصادی و فنی تعامل اپراتورهای اصلی و مجازی، موضوع تحقیقات بسیاری بوده‌است. تحقیقات نشان می‌دهد که عمده هزینه‌های اپراتورهای مجازی را هزینه اجاره نمودن منابع، به خصوص فضای فرکانسی تشکیل می‌دهد. در نتیجه، پرداختن به نحوه انجام معامله بر سر تقسیم فضای فرکانسی میان اپراتورهای اصلی و مجازی، مورد توجه است.

یکی از ایده‌های جالب توجهی که در این زمینه مطرح شده، ایده استفاده از نظریه بازی‌ها و به ویژه بازی حراج است. ساز و کار حراج، به شرطی که به شکل مناسبی طراحی گردد، امکان معامله‌ای با قیمت عادلانه، به شکلی که منافع اپراتور اصلی و مجازی را حفظ نماید فراهم خواهد کرد. در این پایان نامه، به یکی از روش‌های حراج پرداخته و با کمک شبیه‌سازی کارآمدی آن را بررسی می‌نماییم. به علاوه، در راستای اصلاح طرح حراج و افزودن به کارآمدی آن، پیشنهادی ارائه شده که کارآمدی این پیشنهاد نیز مورد بررسی قرار گرفته است.

کلمات کلیدی: اپراتور مجازی، حراج، نظریه بازی‌ها، نسل سوم، UMTS، SCTP، کدهای بدون نرخ، کد LT

فصل یکم
مقدمه

در این فصل، ابتدا به طور مختصر به معرفی موضوع پایان نامه و تبیین اهمیت آن خواهیم پرداخت. در ادامه، به کارهای انجام شده در زمینه همکاری میان اپراتورها و همچنین اپراتورهای مجازی، عمدتا با تکیه بر استفاده بهینه از فضای فرکانس می‌پردازیم. در ادامه، ایده مورد بررسی در این پایان‌نامه را معرفی خواهیم نمود. در پایان نگاهی داریم بر محتوای دیگر فصل‌های پیش رو.

۱-۱ تاریخچه، طرح موضوع و تبیین اهمیت آن

با معرفی نسل سوم شبکه‌های مخابرات سیار در حوالی سال ۲۰۰۰ میلادی، مشترکان این شبکه‌ها امکان بهره‌مندی از طیف گسترده‌ای از خدمات نوین را یافته‌اند. نسل سوم، امکان بهره‌مندی از نرخ انتقال اطلاعات، تا حدود ۷ مگابیت بر ثانیه را فراهم می‌آورد [۱،۲۱]. روشن است که بهره‌مندی از چنین نرخی، خود به‌خود زمینه را به خصوص برای کاربردهایی که نیاز به پهنای باند بالا دارند، نظیر صوت و تصویر با کیفیت بالا، ایجاد می‌نماید.

وجود محدودیت در فضای فرکانسی تخصیص یافته به نسل سوم، در عمل امکان صدور پروانه استفاده از فضای فرکانسی را محدود می‌نماید. در نتیجه این محدودیت، تعداد اپراتورهایی که در هرمنطقه امکان ارائه خدمات می‌یابند، اندک خواهد بود [۲،۳]. این امر به طور بالقوه می‌تواند باعث ایجاد بازاری انحصاری و در نتیجه، تهدید منافع مشترکان نسل سوم گردد. به علاوه، تخصیص فرکانس به اپراتورها به شکل ایستا، موجب کاهش بهره‌وری استفاده از این فضا خواهد شد. چرا که یک اپراتور قادر نیست ظرفیتی را که در اختیار گرفته در همه ساعات و همه مناطق به طور بهینه مورد بهره‌برداری قرار دهد.

در راستای غلبه بر محدودیت‌های ذکر شده در بالا، ایده اپراتورهای مجازی مطرح شده‌است. اپراتورهای مجازی، در زیربنای مخابراتی مورد نیاز سرمایه‌گذاری نکرده و این زیربنا را از محل منابع اپراتورهای اصلی تامین می‌نمایند [۶،۷،۸]. در نتیجه، این اپراتورها قادرخواهند بود که خدمات نسل سوم را به قیمت پایین‌تری به مشترکان ارائه نمایند. حضور اپراتورهای مجازی در کنار اپراتورهای اصلی، علاوه بر افزایش رقابت در بازار، امکان استفاده بهینه‌تر از فضای فرکانسی را نیز فراهم خواهد نمود، چراکه اپراتورهای اصلی قادرند ظرفیت معطل مانده خود را به این اپراتورها واگذار نموده و ضمن افزایش درآمد خود، میزان استفاده از فضای فرکانسی را افزایش دهند [۱۳].

یکی از مسائل بسیار مهم در زمینه مباحث مربوط به اپراتورهای مجازی، نحوه تعامل این اپراتورها با اپراتور اصلی، به منظور تامین منابع است. چرا که، قیمتی که اپراتور مجازی برای خدمات خود تعیین می‌نماید، کاملا وابسته به هزینه پرداختی اپراتور مجازی در راستای تامین منابع است [۱۵]. یکی از ایده‌های کارامد معرفی شده در این زمینه، قیمت‌گذاری با استفاده از نظریه بازی‌ها و به طور ویژه، بازی حراج است [۱۷]. تمرکز عمده این پایان نامه نیز در فصل طرح پیشنهادی، بررسی یک سازوکار حراج با کمک شبیه‌سازی و همچنین بهینه سازی آن خواهد بود. همچنین، در راستای بیشتر پروراندن ایده اپراتورهای مجازی، در فصل های دیگر این پایان‌نامه، ایده‌های مربوط به ابعاد دیگر فعالیت اپراتور مجازی، از جمله نحوه تجمیع پهنای باند کسب شده و استفاده بهینه از آن را بررسی خواهیم نمود.

۱-۲ استفاده بهینه از فضای فرکانس

باندهای فرکانسی تخصیص یافته به نسل سوم مخابرات سیار، در نواحی مختلف جهان متفاوت است. این باندها به طور کلی در حوالی فرکانس‌های ۹۰۰-۸۰۰ مگاهرتز ، ۱۷۰۰ و ۱۸۰۰-۱۹۰۰ مگاهرتز برای ارتباط بالارو[1] و ۸۰۰-۹۰۰ و ۱۸۰۰-۱۹۰۰ و همچنین ۲۱۰۰ مگاهرتز برای ارتباط پایین‌رو[2] قرار گرفته‌اند[۱]. محدودیت فضای فرکانسی باعث محدودیت در تعداد مجوزهای استفاده از فرکانس قابل صدور گردیده و در نتیجه به بروز نوعی انحصار در میان اپراتورهای نسل سوم می‌انجامد. به علاوه، با افزایش تعداد کاربران متقاضی استفاده از خدمات تلفن همراه نسل سوم، مسئله استفاده بهینه از فضای فرکانسیِ محدود به منظور بهره‌مندی از حداکثر بازدهی اهمیت بیشتری خواهد یافت[۲،۳].

با توجه به این محدودیت‌ها، به منظور استفاده بهینه از فضای فرکانس، ایده‌های گوناگونی مطرح شده است. از جمله این ایده‌ها، می‌توان به افزودن قابلیت‌های شناختگری[3] به موجودیت‌های حاضر در شبکه [۵،۴] ، همکاری میان اپراتورهای تلفن همراه و استفاده اشتراکی از منابع[۳،۲] و در نهایت اپراتورهای مجازی[4] [۸،۷،۶] اشاره نمود. در

---

[1] Uplink
[2] Downlink
[3] Cognition
[4] Mobile Virtual Network Operator (MVNO)

بخش‌های بعدی ابتدا کارهای انجام شده در زمینه همکاری میان اپراتورها و سپس ایده اپراتورهای مجازی را بررسی خواهیم نمود.

۱-۲-۱ ایده‌های همکاری میان اپراتورهای تلفن همراه

در [۹]هزینه‌های برپاسازی و نگه‌داری یک شبکه تلفن همراه نسل سوم نمونه و تعدادی از روش‌های همکاری و اشتراک گذاری میان اپراتورها مورد مقایسه قرار گرفته است. روش‌های مورد اشاره شامل اشتراک مکان سایت‌های مخابراتی، اشتراک زیر ساخت رادیویی، اشتراک شبکه مرکزی و همچنین جابه‌جایی میان شبکه‌های داخل کشور[1] و ایده اپراتور مجازی است.

مقاله [۹] که در سال‌های اولیه راه‌اندازی نسل سوم نوشته شده، پیش بینی نموده است که ایده اپراتور مجازیِ فاقد زیربنای مستقل، پس از گذشت چند سال، توجیه اقتصادی خود را از دست خواهد داد. چرا که با افزایش تعداد مشترکان اپراتور اصلی، هزینه‌هایی که اپراتور اصلی به منظور ایجاد زیرساخت شبکه پرداخته مستهلک خواهد شد و در نتیجه، مزیت عمده اپراتور مجازی در عدم سرمایه‌گذاری زیربنایی کم‌رنگ می‌گردد. عبارت دیگر نویسنده مقاله معتقد است که گرچه اپراتور مجازی سودآوری خود را حفظ خواهد نمود، ولی سودآوری آن در مقایسه با اپراتوری که مالک تمام زیر بنای مورد نیاز خود باشد، بسیار کمتر خواهد بود.

در [۲]، ایده همکاری میان اپراتورها به منظور تقسیم بار ترافیکی در زمان اوج ترافیک و در نتیجه کاهش هزینه‌های مربوط به تخصیص فضای فرکانسی (به دلیل نیاز به فراهم آوردن فضای فرکانس کمتر با توجه به استفاده از درهم‌آمیزی آماری[2] ترافیک ورودی به شبکه) و به علاوه، افزایش کیفیت خدمات ارائه شده به مشترکان مورد بررسی قرار داده‌است. نتیجه بررسی‌ها حاکی از آن است که حتی در شرایطی که ترافیک ورودی دو اپراتور همبستگی کامل داشته باشند، همکاری میان اپراتورها میزان کاربستگی[3] اپراتورها را افزایش خواهد داد. به منظور تحقق امکان همکاری میان اپراتورها، در این مقاله فرض شده که دستگاه‌های تلفن همراه مشترک قابلیت شناختگری اولیه‌ای داشته باشند.

یکی دیگر از ایده‌های مورد بررسی گسترده در مقالات مربوطه، ایده همکاری میان شبکه‌های ناهمگون[4] است. از جمله در [۱۰] همکاری میان شبکه‌های نسل سوم، WLAN و WIMAX مورد بررسی قرار گرفته است. در این مقاله مزایای اشتراک گذاری منابع میان شبکه‌های مذکور بررسی شده‌است. شبیه‌سازی‌ها حاکی از آن است که حتی در مواقعی که مقدار بیشینه ترافیک ورودی مربوط به مشترکان یک شبکه، از پهنای باند در اختیار آن شبکه بیشتر باشد، همکاری میان اپراتورها و تقسیم بار میان آن‌ها باعث حفظ کیفیت خدمات[5] در اغلب اوقات می‌گردد.

---

[1] National Roaming
[2] Statistical Multiplexing
[3] Utilization
[4] Heterogeneous Networks
[5] Quality of Service (QoS)

در [۱۰] تلاش شده شاخصی که قادر به نشان دادن میزان تغییر در رضایتمندی اپراتورهای ناهمگون و همچنین مشتریان آن‌ها از همکاری باشد، تعریف شود. به منظور تعریف این شاخص برای مشتری، دو متغیر هزینه پرداختی و پهنای باند دریافتی در نظر گرفته‌شده، به این ترتیب که پرداخت هزینه پایین و دریافت پهنای باند بالا بیشترین رضایتمندی و پرداخت هزینه بالا و به دست آوردن پهنای باند پایین کمترین رضایتمندی را در پی دارد. با توجه به این مطلب، فضای فیزیکی مورد بررسی طوری تعریف شده که در برخی نواحی یک، در برخی دو و در برخی دیگر سه اپراتور پوشش دهی دارند. با توجه به این که هزینه پرداختی برای دریافت پهنای باند از هر اپراتور متفاوت است، برای هر یک ضرایبی تعریف شده و شاخص رضایتمندی مشتری از ترکیب این متغیرها حاصل شده‌است. شاخص رضایتمندی اپراتور نیز با توجه به وضعیت درآمد-هزینه آن و همچنین وضعیت شاخص رضایت مشتریان تعریف شده‌است. با توجه به آن‌چه گفته شد، همکاری میان اپراتورها عمدتا با هدف استفاده بهینه از منابع و افزایش کاربستگی آنها و هم‌چنین توزیع بار ترافیکی میان اپراتورها و در نتیجه حفظ کیفیت خدمات در ساعات پرترافیک مورد توجه قرار گرفته است.

۱-۲-۲ اپراتورهای مجازی

محدودیت فضای فرکانسی قابل واگذاری به اپراتورها، همچنین هزینه‌های بسیار بالای دریافت مجوز استفاده از فضای فرکانس، باعث ایجاد نوعی انحصار در بازار تلفن همراه نسل سوم و هم‌چنین عدم استفاده بهینه از ظرفیت فرکانسی موجود می‌گردد[۱۲]. یکی از راهکارهای غلبه بر این ناکارآمدی‌ها، اعطای مجوز ورود به بازار به اپراتورهایی است که فاقد زیر ساخت رادیویی مستقل می‌باشند [۱۳]. بررسی‌ها نشان داده، این گونه اپراتورها، که اصطلاحا اپراتورهای مجازی نامیده شده‌اند، به طور بالقوه قابلیت تبدیل شدن به تجارتی سودآور را دارند [۱۴].

همکاری اپراتورهای اصلی با اپراتورهای مجازی می‌تواند برای هر دو طرف سودمند باشد. از جمله این سودمندی‌ها می‌توان به جذب مشترکان بیشتر و در نتیجه بهره‌وری بالاتر در استفاده از ظرفیت‌های موجود اپراتور اصلی اشاره کرد [۷]. زمینه فعالیت برخی اپراتورهای مجازی اساسا ماهیتی غیر مخابراتی و تخصصی دارد. این گونه اپراتورها قادر خواهند بود که با ارائه خدمات تخصصی به جذب مشترکان جدید بپردازند.

در زمینه تحقیق در مورد اپراتورهای مجازی مقالات متعددی ارائه شده است. در [۷] تلاش شده تا یک طبقه بندی جامع از انواع مختلف اپراتورهای مجازی ارائه گردد. در این مقاله اپراتورهای مجازی به طور کلی به شش دسته تقسیم بندی شده‌اند. مبنای این تقسیم بندی، میزان استقلال اپراتور مجازی در زمینه زیرساخت‌ها و همچنین زمینه تمرکز فعالیت آن‌هاست. از جمله زمینه‌های تخصصی می‌توان به ارائه خدمات به گروه‌های قومی و زبانی خاص، انتشار اخبار تخصصی، یا ارائه خدمات به مشترکان با نیازهای خاص تجاری اشاره نمود.

در [۱۵] به تحلیل جنبه‌های اقتصادی فعالیت اپراتورهای مجازی پرداخته شده است. در این مقاله اشاره شده که یکی از انواع موفق اپراتور مجازی، نوعی است که مشابه اپراتورهای اصلی به ارائه خدمات ارتباطی با قیمت و

کیفیت قابل مقایسه با اپراتورهای اصلی می‌پردازد. این مقاله به ایده کارگزار اپراتور مجازی[1] می‌پردازد. در این ایده، مشترک اپراتور مجازی در واقع خدمات خود را از محل چندین اپراتور اصلی تامین می‌نماید ولی از دید مشترک، تنها یک فراهم کننده که امور مربوط به اشتراک را سامان می‌دهد وجود خواهد داشت. هدف از معرفی چنین کارگزاری، فراهم کردن امکان ارائه خدمات با قیمت کمتر به مشترکان اپراتور مجازی است. در [۱۶] در زمینه ساختار و ماهیت هزینه‌های اپراتورهای اصلی و مجازی بررسی‌هایی صورت پذیرفته است. هدف از این مقاله، یافتن متغیرهای موثر بر قیمت‌گذاری خدمات ارائه شده به مشترکان و یافتن مقادیر بهینه این متغیرهاست. هم‌چنین روشی برای سنجش میزان حساسیت هزینه‌های اپراتورها به هر یک از متغیرهای موثر در قیمت گذاری ارائه شده است.

از جمله مسائل اساسی در زمینه تحقیق بر روی فعالیت اپراتورهای مجازی تلفن همراه، نحوه تعامل این اپراتورها با اپراتورهای اصلی و تامین منابع مورد نیاز از محل آن‌هاست. یکی از ایده‌های جذاب در این زمینه، تعریف موجودیتی به نام کارگزار پهنای باند[2] و یا کارگزار طیف[3] است [۱۷]. کارگزار وظیفه دارد که از سویی درخواست اپراتور مجازی به فضای فرکانس را دریافت نموده و از سوی دیگر با مذاکره با اپراتور اصلی، تلاش نماید به شکلی که برای هر دو طرف معامله سودمند باشد، قیمت بهینه‌ای برای فضای فرکانس به دست آورد. یکی از روش‌هایی که به نظر می‌رسد کارآمدی مناسبی دارد، ایده دخیل نمودن نظریه بازی‌ها و استفاده از سازوکار حراج برای تامین فضای فرکانسی است[۱۸،۱۷،۲۰،۱۹] .

در این پایان نامه، دسته‌ای از اپراتورهای مجازی که مزیت رقابتی آن‌ها، ارائه خدمات با قیمت پایین‌تر نسبت به اپراتورهای اصلی است، مورد توجه قرار گرفته‌اند. فرض اصلی بر آن است که، به خصوص در منطقه‌ای که چند اپراتور اصلی موجود باشند، اپراتور مجازی قادر خواهد بود منابع مورد نیاز خود را به شکل بهینه و با قیمتی مناسب از محل این اپراتورها تامین نماید. به منظور انجام معامله بر سر تصاحب پهنای باند، نوعی از سازوکار حراج مورد توجه قرار گرفته است. با کمک شبیه سازی و در حالت بدترین شرایط، نشان داده می‌شود که سازوکار حراج مورد استفاده قادر است به شکل بهینه ای منابع مورد نیاز اپراتور مجازی را تامین نماید. مقصود از بهینه در این‌جا، رسیدن به قیمتی عادلانه، و در عین حال، تامین حداقل پهنای باند قابل قبول برای اپراتور مجازی است. در این روند، منافع اپراتورهای اصلی نیز حفظ می‌شود.

به منظور کارامدتر کردن سازوکار حراج مورد استفاده، با کمک نظریه بازی‌ها، امکان تمایز قائل شدن میان کیفیت پهنای باند ارائه شده توسط اپراتورهای گوناگون نیز، به این سازوکار افزوده شده است. نتایج شبیه سازی حاکی از موثر بودن این تغییرات، در راستای تامین هدف مورد نظر است. علاوه بر فصل طرح پیشنهادی، در دیگر فصل‌ها، ایده‌های مختلف مطرح شده در راستای استفاده بهینه از فضای فرکانسی، و همچنین راهکارهای مربوط به تجمیع پهنای باند و استفاده بهینه از آن، گردآوری و بررسی شده‌اند.

---

[1] MVNO Broker (MVNOB)
[2] Bandwidth Broker
[3] Spectrum Broker

در پایان، ذکر این نکته لازم به نظر می‌رسد که گرچه اپراتور مجازی معرفی شده در این پایان نامه، در حوزه مخابرات سیار نسل سوم فعالیت می‌نماید، سازوکار حراج مورد بررسی محدود به این حوزه نبوده و در دیگر حوزه‌های مخابراتی نیز برای معامله بر سر تخصیص پهنای باند، قابل استفاده خواهد بود.

در ادامه پایان نامه، مطالب به این ترتیب ارائه خواهند شد:

فصل دوم به معرفی مختصری از نسل سوم تلفن همراه اختصاص دارد.

در فصل سوم، نظریه حراج و انواع استاندارد حراج را معرفی خواهیم نمود. همچنین نگاهی داریم بر کاربرد این نظریه در حوزه شبکه و ارتباطات.

فصل چهارم به مبحث همکاری میان اپراتورهای تلفن همراه خواهد پرداخت و در آن، مزایای این همکاری بررسی می‌گردد.

در فصل پنجم به مبحث اپراتورهای مجازی پرداخته شده است.

در فصل ششم با فرض این که اپراتور مجازی فضای فرکانسی مورد نیاز خود را از منابع مختلفی به دست آورده، روش‌های استفاده بهینه از این فضا برای انتقال داده‌ها بررسی می‌گردند.

فصل هفتم به طرح پیشنهادی و بررسی و شبیه‌سازی ایده مطرح شده در آن اختصاص یافته‌است.

سرانجام، در فصل هشتم، نتایج و پیشنهادها ارائه خواهند شد.

فصل دوم
شبکه UMTS

در این فصل به معرفی شبکه‌های مخابراتی سیار نسل سوم می پردازیم. در میان شبکه‌های نسل سوم، سیستم UMTS[1] به شکل گسترده‌تری پیاده‌سازی شده‌است. از این رو، تمرکز این فصل نیز بر معرفی سیستم UMTS خواهد بود. در این پایان نامه، عبارت‌های "نسل سوم" و "UMTS"، معادل با هم فرض می‌شوند.

در ادامه، ابتدا تاریخچه‌ای از روند شکل گیری نسل‌های مختلف شبکه مخابرات سیار تا نسل سوم را ارائه خواهیم کرد. سپس، نمای کلی یک مدل از شبکه UMTS را بررسی می کنیم و پس از آن به ساختار بخش‌های مختلف شبکه، بخش شبکه مرکزی و بخش شبکه ایستگاه‌های رادیویی خواهیم پرداخت.

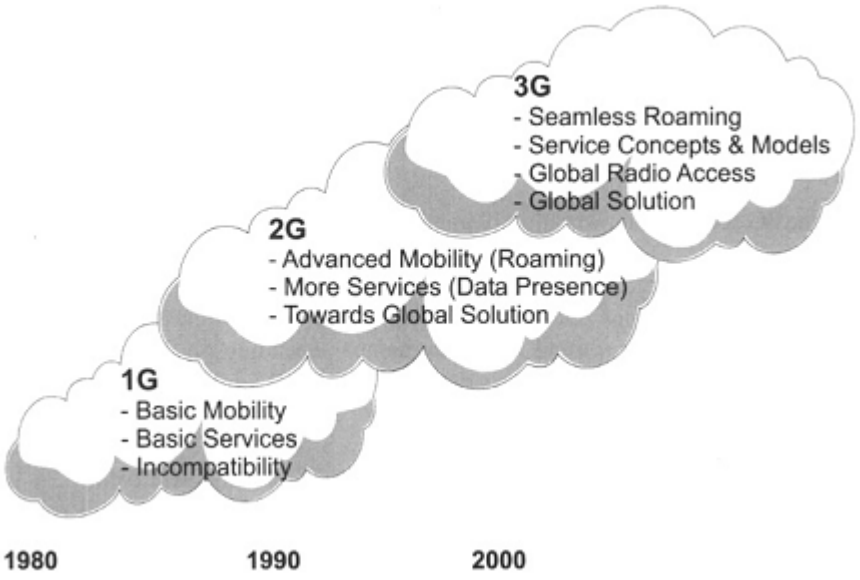
۲-۱ تاریخچه

نسل اول شبکه های مخابرات سیار، از ساختاری آنالوگ یا نیمه آنالوگ (ار تباط رادیویی آنالوگ، سوییچینگ دیجیتال) بهره می برند [۱] . این نسل از شبکه، در میانه دهه ۸۰ میلادی شکل گرفت. به عنوان نمونه، می توان به شبکه های NMT[2] در اسکاندیناوی و AMPS[3] در آمریکای شمالی اشاره کرد. تمرکز این نسل از شبکه‌ها، ارائه خدمات مبتنی بر ارتباط صوتی بود. طراحی این شبکه ها به گونه ای بود که امکان همکاری میان شبکه

[1] Universal Mobile Telecommunications System
[2] Nordic Mobile Telephony
[3] Advanced Mobile Phone System

های مربوط به کشورهای مختلف وجود نداشت و هدف نهایی این شبکه ها، تنها ارائه خدماتی فراتر از سرویس معمول تلفن ثابت و به مشتریان خاص متقاضی ارتباط سیار بوده است.

افزایش تقاضا برای ارتباط تلفنی سیار و همچنین به موازات آن افزایش نیاز به برقراری یک شبکه مخابرات سیار با فراگیری جهانی، سازمان‌های استاندارد بین المللی را بر آن داشت که به تدوین مشخصات شبکه ای جهانی بپردازند که نسل دوم شبکه های مخابرات سیار به حساب می آید. هدف اصلی در این نسل، طراحی شبکه ای با قابلیت سازگاری میان شبکه های کشورهای مختلف در یک ناحیه متشکل از چند از کشور بود، به گونه ای که، یک مشترک قادر باشد در هر نقطه ای از آن ناحیه، از خدمات ارائه شده بهره‌مند شود. به علاوه، مشترکان علاوه بر برقراری تماس صوتی، قادر بودند از خدماتی مانند انتقال داده و متن نیز بهره‌مند گردند. نگاه منطقه ای در طراحی این نسل از شبکه‌ها، باعث شد که ایده شبکه جهانی به طور کامل تحقق نیابد و از این رو، در مناطق مختلف جهان انواع مختلفی از شبکه های منطقه ای نسل دوم ارائه شد. در این میان، شبکه GSM[1] توانست موفقیتی بسیار فراتر از حد انتظار بیابد.



شکل ۲-۱- نسل‌های مختلف تلفن همراه [۱].

در راستای طراحی شبکه‌ای که پیاده‌سازی‌های گوناگون آن در نقاط مختلف جهان با یک‌دیگر سازگاری داشته باشد، ایده شبکه‌های نسل سوم شکل گرفت. به منظور پیاده سازی این نسل، تلاش شده که زیرساخت شبکه‌های GSM، که قبلا برپا شده‌اند، تا حد امکان مورد استفاده مجدد قرار گیرد. به این دلیل که اولا شبکه GSM در بسیاری از کشورهای جهان پیاده سازی شده و در نتیجه می‌توان از آن برای ایجاد شبکه‌ای نوین نیز بهره جست. در ثانی، سرمایه‌گذاری‌های کلانی برای ایجاد زیر ساخت GSM صورت گرفته و در نتیجه استفاده مجدد از آن به منظور راه‌اندازی شبکه‌ای جدید از دید اقتصادی اهمیت بسیاری دارد.

[1] Global System for Mobile Communications

ویژگی‌های مورد انتظار از شبکه نسل سومی که در طراحی مد نظر بوده را می توان بدین صورت برشمرد:

- اجزای مختلف سیستم نسل سوم باید همانند GSM به طور کامل طراحی و تشریح شوند. این طراحی بایستی در سراسر جهان معتبر باشد.
- سیستم جدید باید به شکل مشهودی نسبت به GSM قابلیت‌های بیشتری داشته و حداقل در ابتدای راه‌اندازی، قابلیت سازگاری با نسل قبلی به ویژه GSM را دارا باشد.
- ارتباط چندرسانه‌ای به تمامی اشکال آن در سیستم قابل پیاده سازی باشد.
- فضای رادیویی فراهم شده برای نسل سوم باید به قدری وسیع باشد که بتوان سرویس های پهن باند مورد نظر را فراهم نمود.
- سرویس‌های ارائه شده به مشترکان باید مستقل از زیر ساخت فنی شبکه باشد. به بیان دیگر، تعریف ویژگی‌های سرویس فراهم شده و تعریف مشخصات فنی شبکه باید کاملا مستقل از هم باشد.

همگام با تعریف ویژگی های شبکه نسل سوم، ساختار ارتباطات نیز به سمت ارتباط داده‌ای مبتنی بر شبکه های IP به پیش می‌رفت. از این رو، یکی از ویژگی های پیش بینی شده برای نسل سوم، پیاده سازی یک شبکه کاملا مبتنی بر IP است.

به علاوه، در ادامه روند توسعه شبکه‌های نسل سوم، ایده شبکه های نسل چهارم نیز با فاصله کمی پس از شبکه های نسل سوم ارائه شد. در نسل چهارم مخابرات سیار، سازگاری و همکاری شیوه‌های مختلف ارتباط بی‌سیم، امکاناتی فراتر از نسل سوم را به مشترکان ارائه خواهند کرد.

۲-۲ معرفی معماری ساختار یک شبکه نسل سوم

در UMTS، ساختار GSM حضور بسیار پررنگی دارد. در واقع در طراحی UMTS قصد بر این بوده که تا حد امکان، هر آن چه از GSM به کار می‌آید، مورد استفاده قرار گیرد[۱].

در نام گذاری UMTS، دستگاه‌های با قابلیت ارتباط نسل سوم با نام UE[1] شناخته می‌شوند. UE از دو بخش ME[2] و USIM[3] تشکیل شده است. ME بخشی از دستگاه است که وظیفه برقراری ارتباط رادیویی را بر عهده دارد و USIM دربرگیرنده اطلاعات و سازوکارهای لازم برای شناسایی مشترک است.

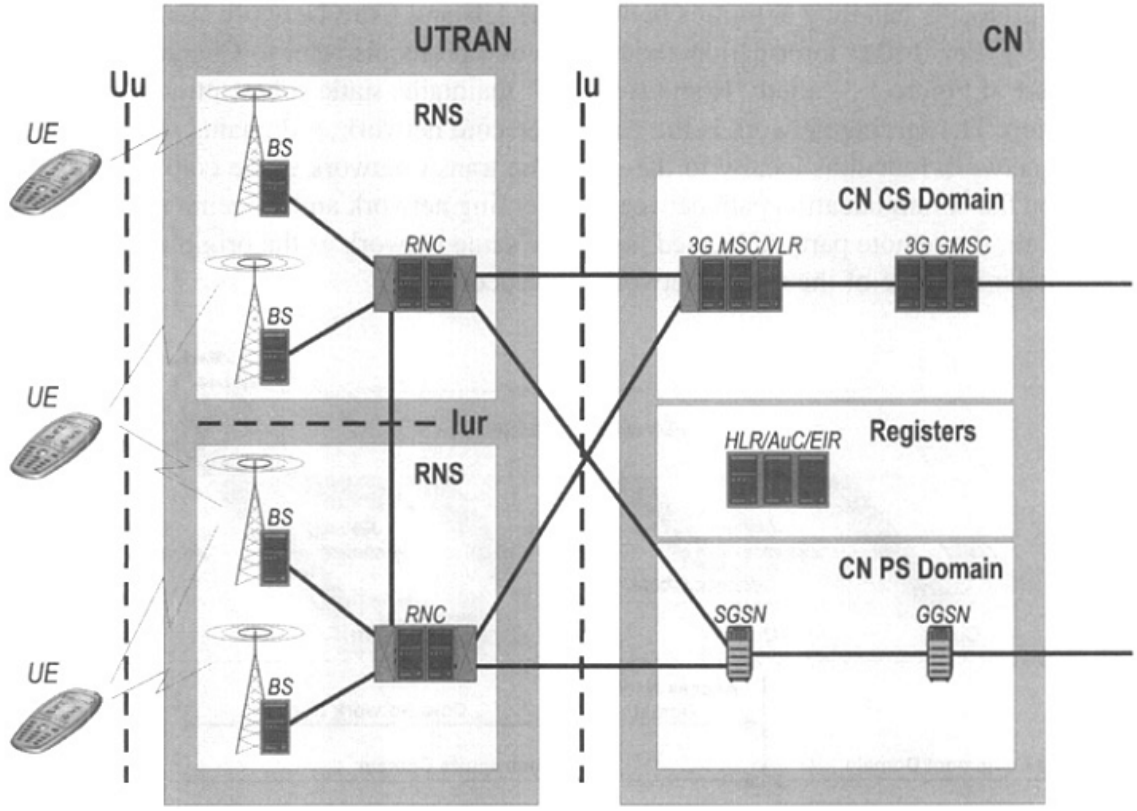
بخشی از سیستم اصلی که وظیفه برقراری ارتباط رادیویی پهن باند را بر عهده دارد، بسته به فناوری ارتباطی به کار رفته، با نام‌های مختلفی شناخته می‌شود. نام عمومی به کار رفته برای این بخش، شبکه ارتباط رادیویی، یا RAN[4] است. چنانچه این بخش به طور مشخص قابلیت ارتباط رادیویی WCDMA[1] را داشته باشد، آن را با نام

---

[1] User Equipment
[2] Mobile Equipment
[3] Universal Subscriber Identity Module
[4] Radio Access Network

UTRA[2] یا UTRAN[3] می‌شناسند. نوع دیگری از RAN که به نام GERAN[4] خوانده شده، به انواع دیگری از ارتباط رادیویی اشاره دارد، به GERAN در ویرایش نخست نسل سوم اشاره نشده و از مباحث مربوط به ویرایش‌های بعدی نسل سوم است.

UTRAN به زیربخش‌هایی به نام RNS[5] تقسیم شده‌است. هر RNS شامل تجهیزات رادیویی (که با نام Node-B شناخته می‌شوند و در واقع ایستگاه‌های زمینی هستند) و سازوکارهای مربوط به کنترل آن‌ها (کنترل کننده شبکه رادیویی) است. RNS ها در سیستم با رابط‌هایی به نام Iur به یک‌دیگر متصل شده‌اند.



شکل ۲-۲- معماری شبکه UMTS، اجزای سیستم و ارتباط آن‌ها [۱].

تمامی بخش‌های سیستم که وظیفه سوییچینگ ترافیک و کنترل مشترکان را بر عهده دارند در زیربخش شبکه مرکزی یا CN[6] متمرکز شده‌اند. در پیاده‌سازی‌های نخستین نسل سوم، این بخش‌ها مستقیما از GSM تقلید

[1] Wideband Code Division Multiple Access
[2] Universal Terrestrial Radio Access
[3] Universal Terrestrial Radio Access Network
[4] GSM/EDGE Radio Access Network
[5] Radio Network Subsystem
[6] Core Network

شده‌اند و برای استفاده در نسل سوم تغییراتی یافته‌اند. به تدریج و با توسعه نسل سوم، این بخش‌ها تغییرات عمده‌ای خواهند یافت. شبکه مرکزی مدیریت داده‌های سوییچینگ مداری[۱] و سوییچینگ بسته‌ای[۲] را برعهده دارد.

در شکل ۲-۲، بخش‌هایی با نام رجیستر نام‌گذاری شده‌اند. این بخش‌ها وظیفه ثبت اطلاعات مربوط به مشترکان و اطلاعات امنیتی را بر عهده دارند.

در حوزه داده‌های سوییچینگ مداری، بخش MSC/VLR[۳] وظیفه مدیریت جابه‌جایی مشترک و مدیریت RNCها را برعهده دارد. GMSC[۴] ارتباط میان یک شبکه نسل سوم و شبکه های سیار و ثابت با انواع تکنولوژی‌ها را برقرار می‌نماید.

در حوزه داده‌های سوییچینگ بسته‌ای، بخش SGSN[۵] عملکردی مشابه MSC/VLR را بر عهده دارد و مشترکان شبکه سوییچینگ بسته‌ای را شناسایی و مدیریت می نماید. بخش GGSN[۶] نیز ارتباط شبکه را با شبکه‌های داده‌ای خارجی از جمله اینترنت برقرار می‌نماید.

۲-۳ کیفیت خدمات در UMTS

نسل سوم شبکه‌های تلفن سیار خدمات جدیدی مبتنی بر پروتکل اینترنت[۷] را به مشترکان عرضه می‌نمایند. برخی از این خدمات (مانند پخش ویدیویی) برای عملکرد درست، نیاز به سطحی از کیفیت تضمین شده از جانب شبکه دارند.

در شبکه‌های معمول مبتنی بر پروتکل اینترنت، کیفیت خدمات از طریق افزایش پهنای باند تضمین می گردد. در شبکه‌های سیار، به دلیل محدودیت در منابع رادیویی، چنین رویکردی مناسب به نظر نمی‌رسد. در نتیجه با معرفی رده‌های مختلف کیفیت خدمات (رده‌های ترافیکی)، به شکل بهینه‌تری می توان از منابع شبکه رادیویی استفاده نمود.

چیزی که برای مشترکان اهمیت دارد، کیفیت خدمات دریافتی در دو سوی یک ارتباط است. اما از آنجایی که مسیر یک ارتباط از میان شبکه‌های مختلفی عبور می نماید، به ناچار بایستی بتوان پارامترهای مربوط به کیفیت خدمات در شبکه UMTS را به پارامترهای معادل در سایر شبکه‌ها تبدیل نمود.

---

[1] Circuit Switching
[2] Packet Switching
[3] Mobile Switching Centre/Visitor Location Register
[4] Gateway Mobile Switching Centre
[5] Serving GPRS Support Node
[6] Gateway GPRS Support Node
[7] IP