



برنام خدا

وزارت ارتباطات و فناوری اطلاعات

اداره کل ارتباطات و فناوری اطلاعات استان اصفهان

دفتر مطالعات فناوری

مخابرات سبز

اسفند ماه ۱۳۹۴

«هرگونه استفاده و نشر مطالب این گزارش، با ذکر منبع بلامانع است»

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۱ مقدمه.....	۲
۱-۱ بهره‌وری در انرژی چیست؟.....	۲
۲ بهره‌وری انرژی در مخابرات.....	۳
۱-۲ جای پای کربن در آینده ICT.....	۴
۲-۲ فرصت‌های پیش رو برای شبکه‌های بی سیم سبز.....	۵
۱-۲-۲ پیاده‌سازی.....	۵
۲-۲-۲ مدیریت شبکه.....	۵
۳-۲-۲ روش‌های چند آنتنی.....	۶
۴-۲-۲ مدیریت منابع رادیویی.....	۷
۳-۲ پروژه‌های مرتبط.....	۸
۱-۳-۲ پروژه‌ی رادیوی سبز.....	۸
۲-۳-۲ سیستم‌های آنتنی بزرگ.....	۱۰
۳-۳-۲ تکنولوژی‌های شبکه و رادیوی آگاه به انرژی.....	۱۱
۴-۳-۲ ماورای نسل سبز سلولی.....	۱۱
۴-۲ تکنیک‌های جدید برای کاهش مصرف انرژی.....	۱۳
مراجع.....	۱۴

۱ مقدمه

در دنیای پرسرعت و شلوغ امروز، نسل بشر به عنوان سردمدار و به تعبیری حاکم زمین، در جهت نیل به سوی برآوردن نیازهای خود، استفاده از منابع موجود در زمین را که در واقع برای تأمین نیاز اساسی انسان به انرژی بوده، لازم و ضروری دیده است. در واقع دنیای پرسرعت اطراف ما اگر چه پدیدار شدن خود را وامدار پیشرفت علم و تکنولوژی است، ولی برای بقا، بی هیچ شکی به انرژی نیاز دارد. در نخستین روزهای پیدایش صنعت که اولین جرقه‌های آن با وقوع انقلاب صنعتی در اواسط قرن هجدهم در اروپای غربی رگم خورد، مسئله تأمین انرژی کم اهمیت‌تر از امروز به نظر می‌رسید، چرا که در آن زمان، دولت‌های اروپایی انرژی مورد نیاز خود را با صرف کمترین هزینه و از طریق کشورهای تحت استعمار خود تأمین می‌کردند و چنین می‌پنداشتند که با منابعی بی‌پایان از سوخت‌های فسیلی روبه‌رو هستند. اما امروزه دیگر نه استعمار به شیوه و قوت گذشته پابرجاست و نه پندار غلطِ دریای بی‌پایان سوخت‌های فسیلی.

همین موضوعات و بسیاری دلایل دیگر از جمله افزایش گازهای گلخانه‌ای و آلودگی محیط زیست سبب شد تا فکر جایگزینی منابع تأمین انرژی فسیلی با دیگر منابع تأمین انرژی و از همه مهمتر بهره‌وری در مصرف انرژی در میان جوامع ریشه بیافکند. در واقع در دنیای امروز، مسئله بهره‌وری انرژی آنقدر از اهمیت برخوردار است که دانشمندان بسیاری از سراسر دنیا و حتی شرکت‌های بزرگ صنعتی را بر آن داشته تا زمان و منابع مالی بسیاری را برای تحقق آن صرف نمایند، که البته پیشرفت‌های چشم‌گیری نیز در این زمینه حاصل شده است. اگرچه اقدامات بسیاری در این زمینه انجام شده و اقدامات بسیاری نیز در دست انجام است ولی همچنان وجود کمبودهای بسیاری در این زمینه به چشم می‌خورد که نیاز به فعالیت‌های بیشتر و صرف زمان و بودجه‌های مالی بیشتر را می‌طلبد، چرا که بحران اساسی آینده بشر بحران انرژی خواهد بود.

۱-۱ بهره‌وری در انرژی چیست؟

استفاده از انرژی به صورت کارآمد، که اغلب اوقات برای سادگی بهره‌وری انرژی نامیده می‌شود، تلاشی است به منظور کاهش مقدار انرژی مورد نیاز برای ارائه محصولات و خدمات. به بیان دقیق‌تر باید گفت که

تعاریف بسیاری برای بهره‌وری در انرژی وجود دارد، اما بهترین و کاربردی‌ترین تعریف برای بهره‌وری انرژی به صورت زیر است:

"بهره‌وری انرژی عبارتست از مصرف انرژی کمتر همگام با ارائه همان خدمات و محصولات پیشین و یا حتی محصولات و خدمات با کیفیت بالاتر"

مسئله قابل توجه این است که تمرکز صرف بر روی پیاده‌سازی هر چه بیشتر تکنولوژی‌های جدید به منظور دستیابی به بهره‌وری بیشتر نمی‌تواند به تنهایی باعث افزایش بهره‌وری گردد. به بیان دیگر، رسیدن به بهره‌وری انرژی بیشتر صرفاً با استفاده از تغییر تجهیزات و بدون توجه به شیوه‌های مدیریت انرژی مانند نظارت و نگهداری پیوسته، کاری اشتباه است. از آنجا که مدیریت انرژی کمتر سرمایه‌بر بوده و بیشتر به دانش و توجه و آگاهی نیاز دارد، در نتیجه شرکت‌ها می‌توانند با افزایش دانش خود نسبت به اینکه انرژی کجا استفاده می‌شود و چطور می‌توان آن را ذخیره کرد، با هزینه کمتر به بهره‌وری انرژی مناسبی دست پیدا کنند.

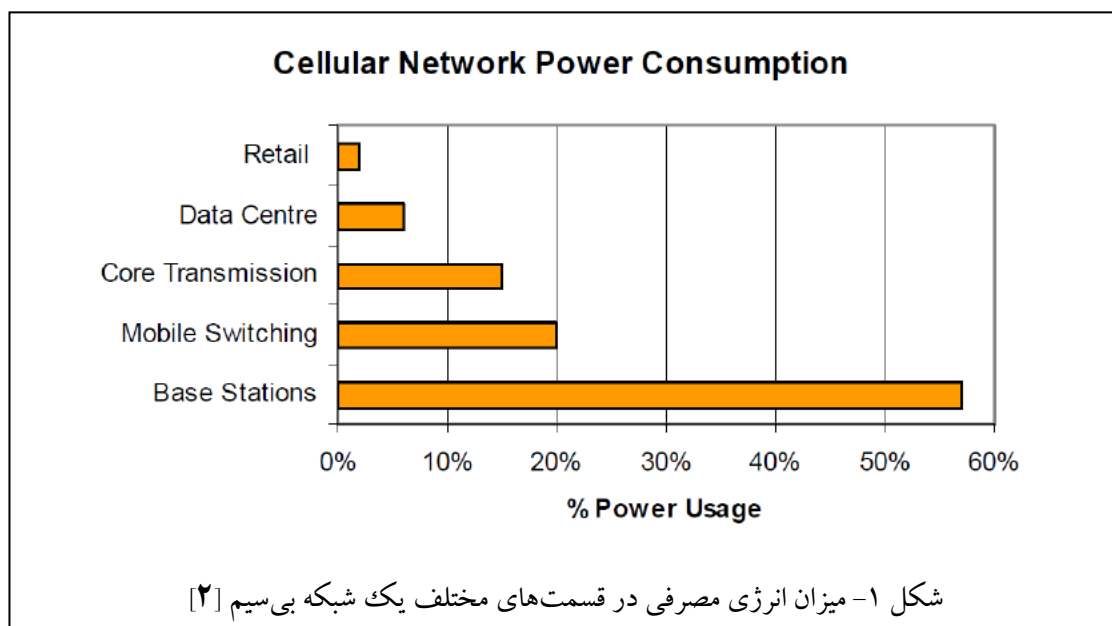
۲ بهره‌وری انرژی در مخابرات

امروزه بیش از چهار میلیارد نفر در دنیا از تلفن همراه استفاده می‌کنند. با توجه به رشد انفجاری برنامه‌های کاربردی و نیاز به نرخ ارسال بالا در سیستم‌های مخابراتی برای افزایش کیفیت سرویس، مصرف انرژی در این حوزه روز به روز بیشتر می‌شود. به علاوه، میلیاردها نفر هنوز از شبکه بی‌سیم و اینترنت باند وسیع بی‌بهره‌اند و پوشش این افراد نیز به افزایش بیشتر مصرف انرژی می‌انجامد. امروزه حدود ۵ میلیون برج مخابراتی در دنیا وجود دارد که ۱۷/۵ گیگاوات انرژی مصرف کرده و ۷۸ میلیون تن دی‌اکسید کربن تولید می‌کنند. این رقم معادل سوخت ۱۵ میلیون خودرو در طول یک سال است. البته این مقدار بدون در نظر گرفتن انرژی مصرف شده توسط گوشی‌های کاربران و دیگر بخش‌های شبکه است. از این رو مسئله بهره‌وری انرژی در ارتباطات، بسیار مورد توجه قرار گرفته است. از دیدگاه یک اپراتور، کاهش مصرف انرژی باعث کاهش هزینه‌های عملیاتی خواهد شد. کاهش گازهای گلخانه‌ای و کاهش هزینه‌های عملیاتی دو دلیل مهم برای توسعه برنامه مخابرات سبز می‌باشد.

۱-۲ جای پای کربن در آینده ICT

در سال ۲۰۰۷، جای پای کربن مرتبط با ICT، حدود ۸۲۰ میلیون تن دی اکسید کربن معادل ۲٪ بوده است که قابل مقایسه با آلودگی صنعتی جهانی است. به علاوه، انتظار می‌رود که این مقدار تا سال ۲۰۲۰ به حدود ۴٪ برسد. اما از طرفی فناوری ارتباطات و اطلاعات، این امکان را دارد که به عنوان مثال با کاهش رفت و آمدهای شهری، تأثیر قابل توجهی بر ۹۸٪ باقیمانده اعمال کند. به این ترتیب پیش‌بینی می‌شود که در سال ۲۰۲۰، تولید دی اکسید کربن ۰/۹ گیگا تن در حوزه ICT و حدود ۷/۸ گیگا تن در حوزه‌های متأثر از آن در سایر صنایع کاهش یابد.

اما مسئله به همین جا ختم نمی‌شود. در حالیکه ظرفیت شبکه‌های بی‌سیم هر ۱۸ ماه دو برابر می‌شود، بهره‌وری انرژی تنها ۱۰-۱۵٪ در سال بهبود می‌یابد و این شکاف فزاینده‌ای در حوزه بهره‌وری انرژی ایجاد می‌کند. بنابراین با این رشد، باید بازده انرژی شبکه که با واحد b/s/w اندازه‌گیری می‌شود، تا سال ۲۰۲۰، ۱۰۰۰ برابر افزایش یابد [۱].

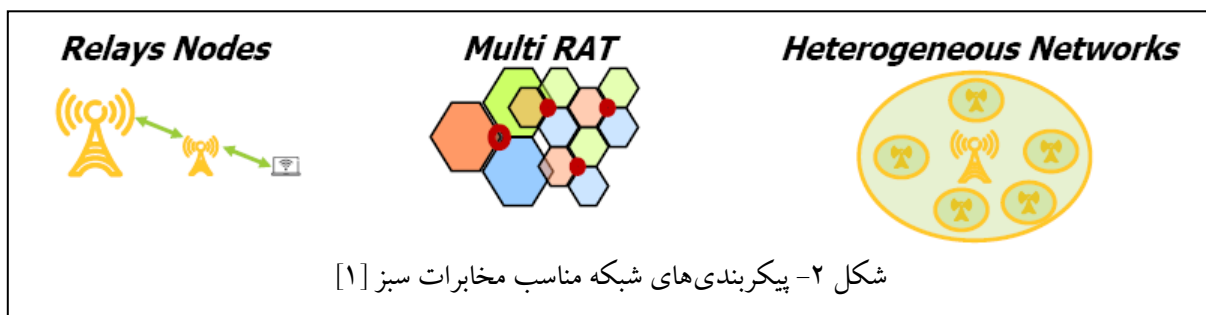


۲-۲ فرصت‌های پیش رو برای شبکه‌های بی سیم سبز

۱-۲-۲ پیاده‌سازی

شکل ۱ میزان مصرف برق در عناصر مختلف یک شبکه بی سیم فعلی را نشان می‌دهد. این نتایج به وضوح نشان می‌دهد که کاهش مصرف انرژی در ایستگاه‌های پایه، تأثیر بسیار مهمی بر مصرف انرژی کل شبکه دارد و می‌تواند عامل تأثیر گذار برای تحقق اهداف مخابرات سبز باشد.

در حوزه پیاده‌سازی و معماری شبکه، پیشنهاد کلی مخابرات سبز فراهم آوردن امکان دسترسی به نزدیکترین نود (نقطه دسترسی، ایستگاه پایه، ...)، به منظور کاهش توان ارسالی در هر دو نقطه فرستنده و گیرنده و افزایش طول عمر باتری دستگاه است. برای مثال می‌توان به شبکه‌های ناهمگن^۱ (با به کارگیری میکروسول‌ها و فمتوسول‌ها)، استفاده از نودهای رله^۲ و تکنولوژی دسترسی رادیویی چندگانه^۳ اشاره کرد.



۲-۲-۲ مدیریت شبکه

راهکارهای مخابرات سبز در این حوزه، با توجه به میزان بالای مصرف انرژی در ایستگاه‌های پایه، بیشتر به جنبه‌های شبکه‌ای در به کارگیری هر کدام از این ایستگاه‌ها در زمان مقتضی می‌پردازد. راهکارهایی همچون همکاری ایستگاه‌های پایه^۴ و تنظیم وفقی پرتو^۵. به این ترتیب که با کاهش بار شبکه، بعضی ایستگاه‌های پایه

¹ Heterogeneous Networks

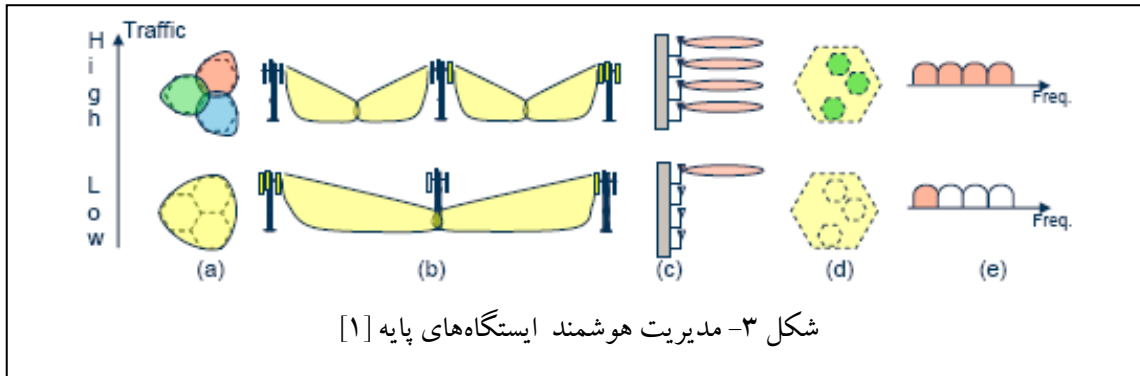
² Relay nodes

³ Multi-Radio Access Technology (RAT)

⁴ BS Cooperation

⁵ Adaptive NW Configuration

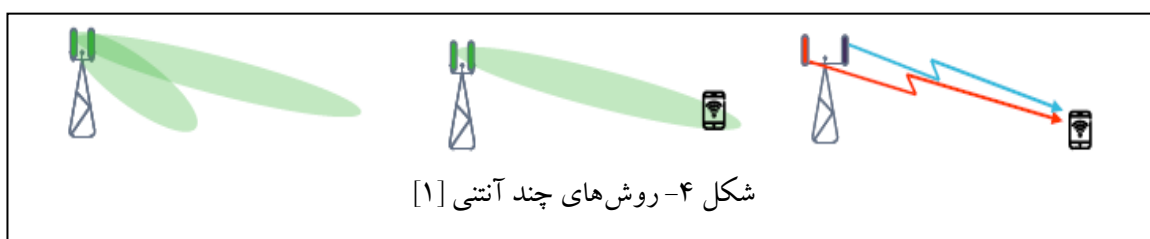
خاموش می شود و یا ارسال آن در برخی باندها انجام نشده و تنها در باندهای فرکانسی محدودی صورت می گیرد.



۲-۲-۳ روش‌های چند آنتنی

در این روش‌ها، تمرکز مخابرات سبز بر روش‌هایی است که با انعطاف پرتو آنتن، سیگنال به اندازه و تا حد امکان بهینه و تنها در جهت مناسب ارسال شود. به این ترتیب، از اتلاف انرژی در جهت‌های ناخواسته جلوگیری می‌شود.

در واقع می‌توان گفت کنترل تداخل امواج کلید بهره‌وری انرژی می‌باشد. توان عملیاتی در ارتباطات به معنی نسبت سیگنال مورد نظر به سطح تداخل در گیرنده است. اگر تداخل کاهش یابد، سیگنال را می‌توان با توان کمتری انتقال داد بدون آنکه از کیفیت ارتباط کاسته شود. از جمله این روش‌ها می‌توان به آنتن‌های قابل بازتنظیم^۱، شکل‌دهی پرتو آنتن^۲ و مالتیپلکس فضایی^۳ اشاره کرد.



¹ Reconfigurable Antennas

² Beamforming

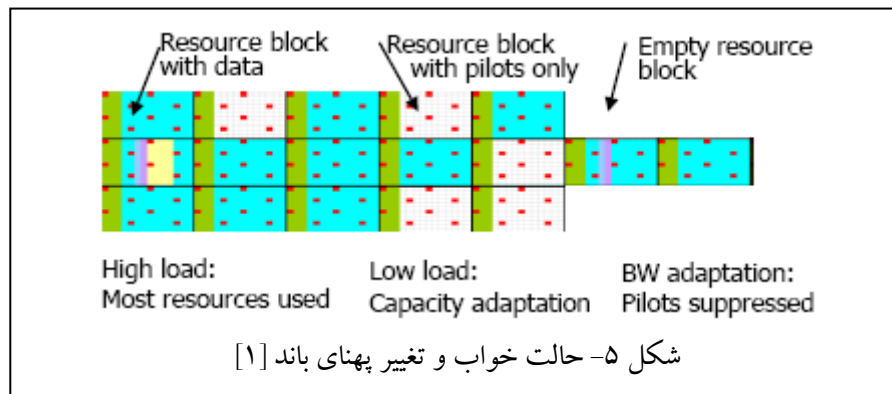
³ Spatial Multiplexing

۴-۲-۲ مدیریت منابع رادیویی

در این حوزه نیز مخابرات سبز با تکیه بر مدیریت منابع رادیویی در لایه‌های بالاتر شبکه، به ارائه راهکارهای بهره‌وری انرژی می‌پردازد. مسیریابی بهره‌ور انرژی^۱، حالت خواب^۲ و تطبیق پهنای باند^۳ از جمله این روش‌هاست. برای مثال در مورد لینک‌های ابتدایی و انتهایی، آمارها نشان می‌دهد که استفاده از تجهیزات ICT، چه تجهیزات مربوط به شبکه و چه تجهیزات شبکه شده، بسیار پایین است. اما در مورد کامپیوترها، بیشتر انرژی زمانی مصرف می‌شود که کسی از آن استفاده نمی‌کند؛ زمان‌هایی که می‌توان دستگاه را در حالت خواب قرار داد.

همچنین تجزیه و تحلیل ترافیک داده‌ها نشان داده است که بار ترافیکی در سراسر شبکه بسیار غیر یکنواخت می‌باشد به طوری که در یک تحقیق روی ۲۰۰ سلول، مشخص شده است که ۹۰٪ ترافیک تنها از طریق ۴۰٪ سلول‌ها انجام شده است. بنابراین با روش‌های مناسب برای تخصیص منابع به آنها، می‌توان تأثیر زیادی در افزایش توان عملیاتی و در نتیجه کاهش انرژی مصرفی داشت.

در مورد ارسال داده نیز در حالت خواب فقط سیگنال راهنما ارسال می‌شود و در صورت پایین بودن بار شبکه، پهنای باند ارسال نیز کاهش یافته و سیگنال راهنما نیز تنها در همان محدوده ارسال می‌شود.



¹ Energy Efficient Scheduling

² Sleep Mode

³ Bandwidth Adaptation

۳-۲ پروژه‌های مرتبط

۱-۳-۲ پروژه‌ی رادیوی سبز^۱

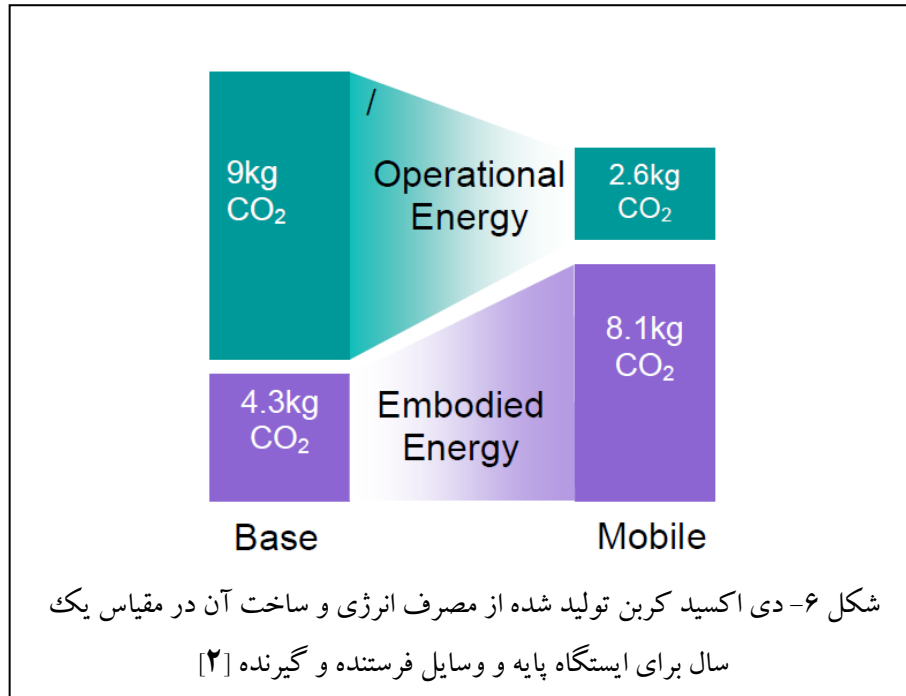
چندین پروژه تحقیقاتی بین‌المللی در زمینه بهره‌وری انرژی به وجود آمده است که از جمله آنها پروژه رادیوی سبز می‌باشد. هدف جاه طلبانه‌ی پروژه رادیوی سبز، کاهش ۱۰۰ برابری مصرف انرژی در شبکه‌های ارتباطی بی‌سیم می‌باشد [۲]. این هدف باید بدون به خطر انداختن کیفیت سرویس برای کاربران و بدون اثرات منفی در هزینه‌های اپراتورها و تولیدکنندگان تجهیزات، محقق شود. پروژه رادیوی سبز به دنبال کاهش مصرف انرژی از دو دیدگاه متفاوت است؛ دیدگاه اول به بررسی گزینه‌های جایگزین برای معماری شبکه تلفن همراه موجود می‌پردازد و سعی می‌کند نوعی معماری ارائه کند که مصرف انرژی را کاهش دهد. دیدگاه دوم به مطالعه تکنیک‌های جدیدی می‌پردازد که می‌تواند در ایستگاه‌های پایه و یا گوشی‌ها مورد استفاده قرار گیرد و انرژی مصرفی را کاهش دهد.

کاهش مصرف انرژی در شبکه‌های بی‌سیم

همانطور که گفته شد پروژه رادیوی سبز در پی بررسی و ایجاد روش‌های نوین برای کاهش انرژی مورد نیاز برای فعالیت یک شبکه و شناسایی معماری مناسب برای این منظور است. تحقیقات نشان داده است که مصرف انرژی در تلفن‌های همراه بسیار پایین‌تر از مصرف انرژی ایستگاه‌های پایه در طول یک سال است (شکل ۶)؛ از این رو، پروژه رادیوی سبز عمدتاً به مسائل مربوط به طراحی ایستگاه پایه تمرکز می‌کند. همچنین شکل ۶ نشان می‌دهد انرژی مصرفی برای تولید و ساخت تلفن‌های همراه خیلی بیشتر از ایستگاه‌های پایه است. دلیل آن متوسط عمر بیشتر ایستگاه پایه (بین ۱۰ تا ۱۵ سال) در مقایسه با متوسط عمر یک دستگاه فرستنده-گیرنده (۲ سال) می‌باشد. همچنین هزینه انرژی تولید ایستگاه پایه بین همه مشترکان به اشتراک گذاشته می‌شود که باعث عدم تعادل در انرژی ساخت می‌شود. بنابراین از نقطه نظر گوشی‌های تلفن همراه، تلاش‌ها باید در جهت کاهش مصرف انرژی در هنگام تولید و افزایش طول عمر دستگاه باشد.

¹ Green Radio

لازم به ذکر است که شبکه‌ای که تحقیقات و اندازه‌گیری‌ها بر روی آن انجام شده است، شبکه تلفن همراه بر اساس استاندارد¹ LTE بوده است.

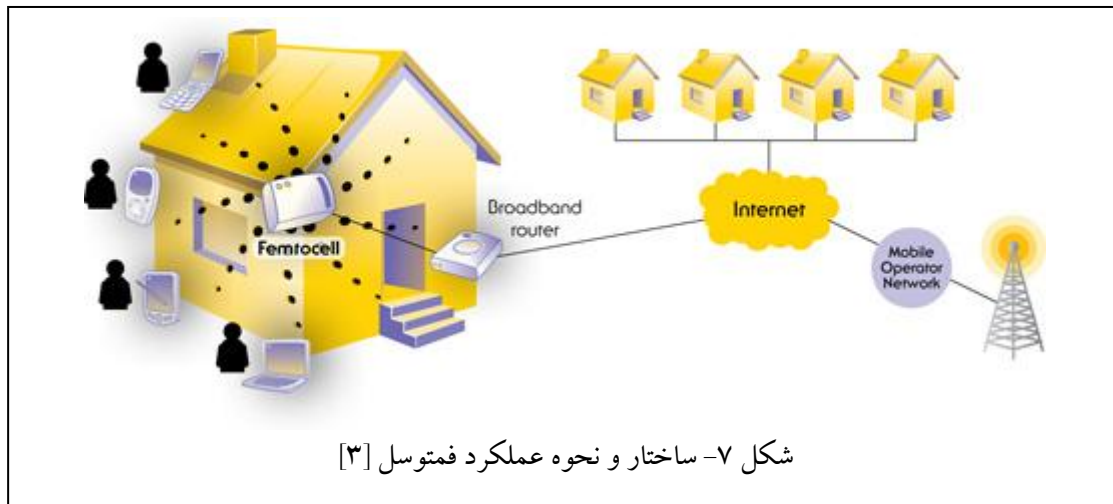


جنبه‌ی معماری در پروژه رادیو سبز

معماری ارائه شده در پروژه رادیو سبز در حال حرکت به سمتی است که دسترسی به شبکه را از نزدیکترین مکان ممکن فراهم آورد. این کار باعث می‌شود انرژی لازم برای برقراری ارتباط بسیار کاهش یابد و دستگاه‌های فرستنده و گیرنده با صرف انرژی کمتری بتوانند با یکدیگر ارتباط برقرار کنند. مسئله مهم در این راه، کاهش اندازه ایستگاه‌های فرستنده و گیرنده پایه می‌باشد. به عنوان مثال، استفاده از فمتوسل می‌تواند یک روش مناسب برای این منظور باشد.

فمتوسل یک ایستگاه پایه کوچک با توان کم می‌باشد که معمولاً برای استفاده در خانه و یا محیط‌های کوچک مورد استفاده قرار می‌گیرد. فمتوسل از طریق یک واسط باند وسیع مانند DSL یا کابل به شبکه فراهم کننده سرویس متصل می‌شود و گوشی‌هایی که در محدوده‌ی آن قرار داشته باشند، به جای اتصال مستقیم به آنتن BTS، از طریق فمتوسل به شبکه متصل می‌شوند (شکل ۷).

¹ Long Term Evolution



مزیت استفاده از فمتوسل برای اپراتورها، بهبود پوشش و افزایش ظرفیت شبکه می‌باشد و از دید کاربران نیز علاوه بر افزایش کیفیت سرویس، باعث کاهش مصرف انرژی و در نتیجه افزایش عمر باتری دستگاه‌ها می‌شود. چرا که این دستگاه‌ها نباید مستقیماً با دکل BTS ارتباط برقرار کنند و توان کمتری مصرف می‌کنند. از اپراتورهای معروفی که امروزه از فمتوسل استفاده می‌کنند می‌توان به Sprint ، AT&T ، Vodafone ، Verizon و Orange اشاره کرد.

۲-۳-۲ سیستم‌های آنتنی بزرگ^۱

در این پروژه، شکل‌دهی پرتو آنتن به منظور افزایش بازده انرژی و نه افزایش ظرفیت مورد بررسی قرار می‌گیرد و نشان داده می‌شود که انرژی ارسالی نسبت معکوس با تعداد آنتن‌ها دارد. دو سناریوی کاربردی عبارتند از [۴]:

Massive MIMO: مجموعه بزرگی از آنتن‌های فشرده در کنار هم

سیستم‌های آنتن توزیع شده^۲: مجموعه آنتن‌های توزیع شده فضایی

¹ Large Scale Antenna Systems

² Distributed Antenna Systems (DAS)

۳-۳-۲ تکنولوژی‌های شبکه و رادیوی آگاه به انرژی^۱

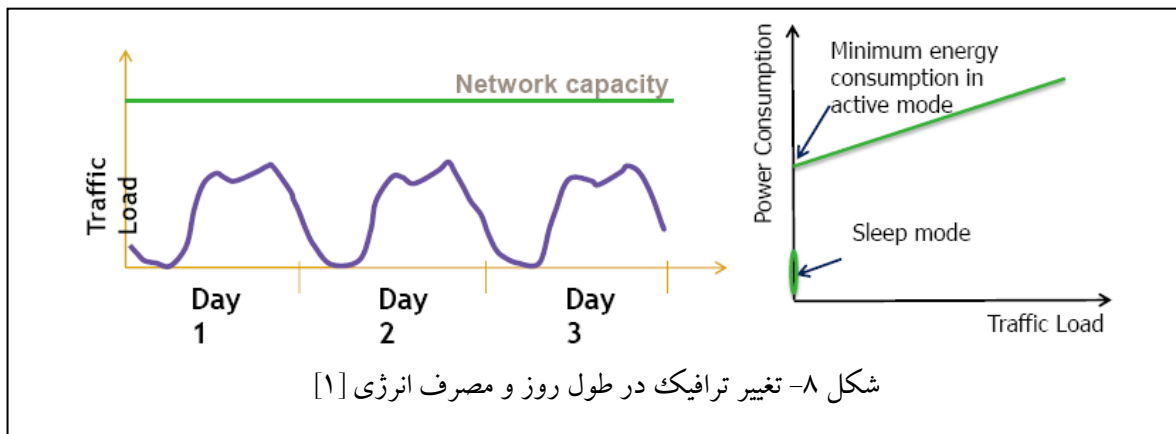
با هدف کاهش ۵۰ درصدی مصرف انرژی در شبکه‌های مبتنی بر LTE، در سه حوزه پیاده‌سازی (شبکه‌های ناهمگن و سلول‌های کوچک)، مدیریت شبکه (حالت خواب و تغییر پهنای باند) و اجزا (تقویت‌کننده‌ها، دستگاه‌های فرستنده-گیرنده و سخت‌افزار قابل تغییر با بار).

نشان داده شده است که به کارگیری سلول‌های کوچک، تنها در صورتی به کاهش مصرف انرژی کل سیستم کمک می‌کند که ظرفیت بیشتری از ظرفیت موجود مورد نظر باشد [۵].

۴-۳-۲ ماورای نسل سبز سلولی^۲

مدیریت شبکه سبز و مصرف هوشمند

از آنجا که شبکه‌های بی‌سیم بر مبنای تقاضای تخمینی ماکزیمم طراحی می‌شوند، مصرف انرژی ناشی از سیگنالینگ حدوداً ثابت است. اما ترافیک در طول روز به شدت تغییر می‌کند و این مسئله موجب هدر رفتن انرژی می‌شود.

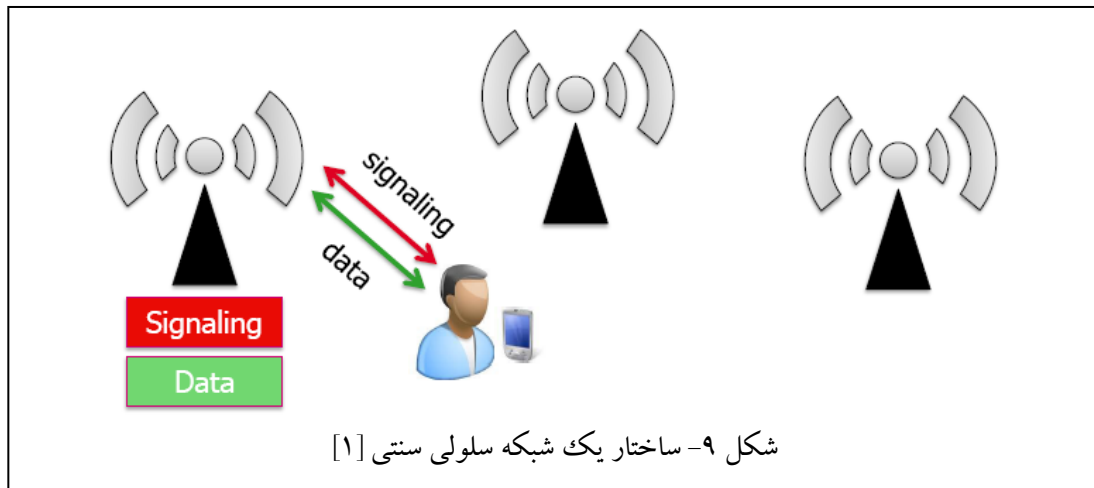


پیکربندی مستقل شبکه برای داده و سیگنال

محدودیت‌های معماری سلولی سنتی: پوشش کامل و پیوسته برای دسترسی به داده، انعطاف پذیری ناچیز برای مدیریت انرژی و مصرف بالای انرژی حتی در زمان ترافیک پایین.

¹ Energy Aware Radio and network Technologies (EARTH)

² Beyond Cellular Green Generation (BCG²)



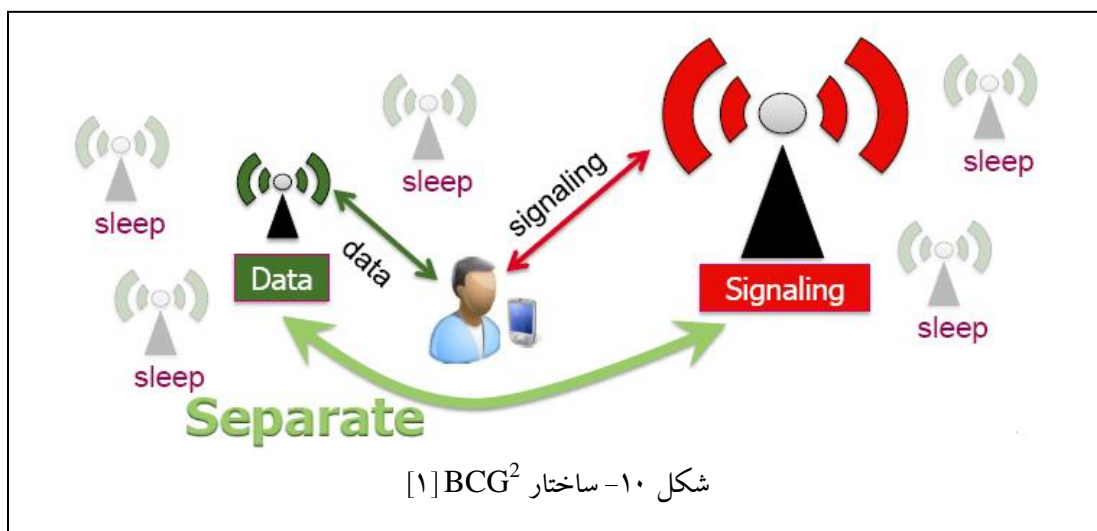
ساختار BCG² با پوشش فراتر از سلولی و ظرفیت داده مبتنی بر تقاضا [۱]

مزایا: طراحی سیستم برای بازده بیشتر انرژی با جداسازی مقوله‌های پوشش و ظرفیت و بهینه‌سازی ارسال

سیگنال، هماهنگی با تعداد بسیار زیاد از خدمات با ریت پایین.

چالش‌ها: نیاز به معماری سیستم جدید، بازتعریف مدیریت تحرک، شبکه‌های حافظه دار، مدیریت سریع،

آگاه به محتوا، سخت افزار مناسب برای تغییر پیکربندی سریع.



۴-۲ تکنیک‌های جدید برای کاهش مصرف انرژی

راه حل دیگر پروژه رادیو سبز برای کاهش مصرف انرژی، استفاده از تکنیک‌های جدید برای مدیریت مؤثر منابع و کاهش مصرف انرژی و در عین افزایش کیفیت سرویس می‌باشد. به عنوان مثال استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر و پاک مثل انرژی خورشید یا باد، به خصوص برای تأمین برق مورد نیاز ایستگاه‌های پایه یکی از راه‌های کاهش گازهای گلخانه‌ای می‌باشد.

مراجع

1. Gee Rittenhouse, Green Wireless Networks, IEEE Wireless Communication and Networking Conference, April, 2012.
2. Congzheng, H., Harrold, T., Armour, S. and Krikidis, I., Green radio: radio techniques to enable energy-efficient wireless networks, IEEE Communications Magazine, June 2011, Vol. 49, Pages 46–54.
3. FemtoForum. (2008, December) Interference management in UMTS femtocells. White paper. [Online]. Available: <http://www.smallcellforum.org/resources-white-papers>.
4. Marzetta, T. L., Noncooperative Cellular Wireless with Unlimited Numbers of Base Station Antennas, IEEE Trans Wireless Communications, Nov. 2010.
5. O. Blume, F. Richter in sec. 2.1 of EARTH D3.1 “Most Promising Tracks of Green Network Technologies”.
https://bscw.ictearth.eu/pub/bscw.cgi/d31509/EARTH_WP3_D3.1.pdf.