2nd. International Conference on
Information Technology, Communications and Telecommunications (irICT2016)
1-2 March 2016 - Iran, Tehran

Archive of SID

Improving Energy Efficiency of MPTCP in LTE Network

Mohammad Kia , Zohreh Bateni

University of Science and Culture, E-mail: mohammdkia1988@gmail.com
University of Science and Culture, E-mail: zbateni@hotmail.com

Abstract. Mobile networks are not limited to communications Contacts Well-designed the TCP protocol has a key role to play in the LTE communication. Multi Path TCP is a New Transportation Protocol in The Network Which Enables System to Improve the Power Consumption in Some Paths with the Help of WIFI or LTE Interfaces. This Protocol Is Most Suitable For Mobile Devices. These Devices Have Limited Power Capacity Therefore By Using Interfaces Properly, Operations Can Be Improved In This Paper By Describing Cellular Network Architectures Based On The Latest MPTCP Standards We Study Methods To Optimize Energy Consumption In Order To Improve The Throughput Of LTE Networks And performance in different scenarios using the TCP protocol interfaces are compared.

Keywords: LTE ,Network , MPTCP , EMPTCP , 4G

بهینه سازی مصرف انرژی TCP چند مسیره در شبکه های LTE

[۱]محمد کیا ، [۲] زهره باطنی

[۱] دانشگاه علم و فرهنگ ، mohammadkia1988@gmail.com
[۲] عضو هیئت علمی دانشگاه علم و فرهنگ ، zbateni@hotmail.com

چکیده

شبکه های موبایل محدود به ارتباطات مخابراتی نمی باشند طراحی خوب پروتکل TCP باعث شده نقشی اساسی در ارتباطات LTE ایفا نماید. پروتکل TCP چند مسیره یک پروتکل جدید حمل و نقل در شبکه است که سیستم را قادر می سازد تا با کمک از رابط های LTE و WIFI توان مصرفی در چند مسیر را افزایش دهد و یک راه حل امیدوار کننده برای تحویل همزمان چند پاکت در چند مسیر است. که بیشتر مناسب دستگاه های موبایل می باشد این دستگاه دارای ظرفیت توانی محدودی است در نتیجه باید با استفاده صحیح از رابط ها این عملکرد را تا حد امکان بهبود بخشید در این مقاله با شرحی از معماری شبکه های سلولی نسل چهارم موبایل بنا بر آخرین استانداردهای موجود پروتکل MPTCP به بررسی روش های بهینه سازی مصرف انرژی برای افزایش توان شبکه های LTE پرداخته شده است و عملکرد پروتکل TCP در حالات مختلف استفاده از رابط ها مقایسه شده است.

واژه های کلیدی: شبکه های LTE ، MPTCP ، EMPTCP ، نسل چهارم موبایل (4G)

۱- مقدمه

با گسترش برنامه های کاربردی تلفن همراه و توسعه صنعت تجهیزات تلفن همراه، اپراتورهای تلفن همراه همیشه به دنبال افزایش بهره وری منابع به منظور ایجاد حداکثر استفاده از طیف فرکانس در دسترس بوده اند . پروتکل LTE استانداردی برای سیتم های سلولی در سرتاسر دنیا است که از نسل Gsm ها تا کنون به نسل چهارم و پنجم ارتباطات پرسرعت بدون سیم موبایل گسترش یافته است. از نسل چهارم شبکه ها به بعد به دلیل استفاده از پروتکل TCP/IP ، شبکه های موبایل محدود به ارتباطات مخابراتی نبوده اند در نتیجه کلیه سرویس های مبتنی بر TCP از جمله IPsec بر روی آنها قابل اجرا بوده است.[1]

طراحی خوب پروتکل TCP باعث شده تا بسیار قابل اعتماد باشد و برنامه های کاربردی بزرگ در سراسر دنیا از آن استفاده نمایند ، در نتیجه این پروتکل نقشی اساسی در ارتباطات اینترنت ایفا می کند. همچنین مباحثی از جمله توان مصرفی ، حفظ عدالت و جریان های داده در دیتاست های بزرگ مطرح می شود اما بحثی که در این مقاله به آن پرداخته شده است به بررسی روش بهینه سازی مصرف انرژی در پروتکل TCP چند مسیره و مقایسه آن با روش های قدیمی پرداخته است .

www.SID.ir

Archive of SID

مباحثی که در فصـول بعدی به آن پرداخته می شـود بدین شـرح اسـت : فصـل دوم این مقاله به شـرح معماری نسـل چهارم شبکه های سـلولی موبایل ، فصل سوم مبحث استفاده از چند مسیر برای TCP ها مطرح می شود. در فصل چهارم بهینه سازی مصرف انرژی برای TCP چند مسـیره و مقایسه آن با روش های قدیمی را مورد بررسی قرار می دهد.

۲- نسل چهارم شبکه های سلولی موبایل

در این فصـل با معرفی استاندارد LTE در نسل چهارم شبکه های سـلولی موبایل ، نحوه معماری آن و دلایل اسـتفاده و گسترش آن مورد بررسی قرار گرفته است .

۲-۱ استاندارد LTE

LTE استانداری برای سیستم های سلولی در سرتاسر دنیا است که از نسل Gsm ها تا کنون به نسل چهارم و پنجم ارتباطات پرسرعت بدون سیم موبایل گسترش یافته است. از نسل چهارم شبکه ها به بعد بدلیل استفاده از پروتکل TCP-IP شبکه های موبایل ، محدود به ارتباطات مخابراتی نبوده اند در نتیجه کلیه سرویس های مبتنی بر TCP از جمله IPsec بر روی آنها قابل اجرا است.

مزایا استفاده شبکه LTE ازدید اپراتور موبایل :

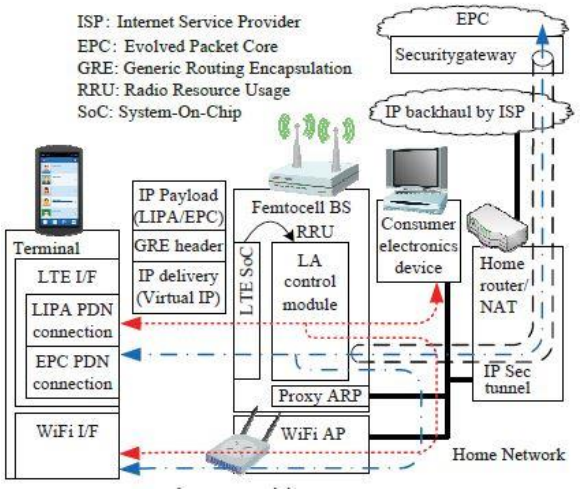
- در زمان تداخل فرکانس ها با هم مدیریت بهتری دارد.
- با افزایش تعداد کاربران سرعت کاهش پیدا نمی کند و برای مکالمات ویدیویی مناسب است .
- مدیریت کردن فرکانس های استفاده نشده ، که باعث بهینه سازی استفاده از توان می شود. بدیهی است که هر چه پهنای باند بیشتری موجود باشد ظرفیت بیشتری در اختیار است .

مزیت استفاده شبکه LTE از دید کاربر یا مصرف کننده :

- تنها چالش مهم مصرف کنندگان سرعت دانلود و آپلود بالاست که در این شبکه ها نسبت به شبکه های Wifi افزایش یافته است. بهترین مثال برای استفاده از شبکه های LTE پروژه لون گوگل است.[2] پروژه لون ، بالون هایی بی سرنشین که با هدف دسترسی به اینترنت پر سرعت (حدود 10mbs) با قیمتی ارزان جهت دسترسی در کلیه جهان حتی مناطق محروم در حدود ۱۵ تا ۲۵ کیلومتری سطح زمین قرار گرفته و بر روی هر بالون مودم های LTE که با یکدیگر در ارتباط بوده قرار گرفته است و همچنین با ایستگاههایی بروی زمین مرتبط است. این پروژ در سال ۲۰۱۳ فقط می توانست برای هر بالن مقیاس ۸۰ کیلومتر خدمات ارائه دهد. اما امروزه ۴۰۰ تا حتی ۸۰۰ کیلومتر خدمات ارائه می دهد.

۲-۲ ایستگاه پایه سلولی فمتوسل:

یک ایستگاه پایگاه سلولی است که معمولا برای محیط های داخلی (خانه و یا دفاتر اداری) مورد استفاده قرار می گیرد [1]. ظرفیت پوشش دهی محیط ها را افزایش می دهد و به دلیل اینکه کنترل کامل بر روی رفتار کاربران دارد، به سرعت قابل پیاده سازی است. هزینه آن مقرون به صرفه است تا یک اپراتور با استفاده از این مزایا امکانات مناسبی برای مدیریت شبکه داشته باشد. در شکل شماره ۱ یک معماری از شمای کلی شبکه های LTE نشان داده شده است. شرح کار بدین شکل است که ایستگاه فمتوسل توسط یک روتر خانگی و یک اکسس پوینت WiFi شبکه های LTE و WiFi را با یکدیگر ادغام می نماید . دسترسی محلی ip (lipa) با ایجاد بسته های داده شبکه (PDN) ، ترمینال (گوشی های هوشمند) را قادر می سازد تا هم به شبکه های خانگی یا دستگاه های الکترونیک و هم با اپراتور های موبایل (EPC) ارتباط برقرار کنند .



شکل ۱ – معماری شبکه های LTE خانگی[1]

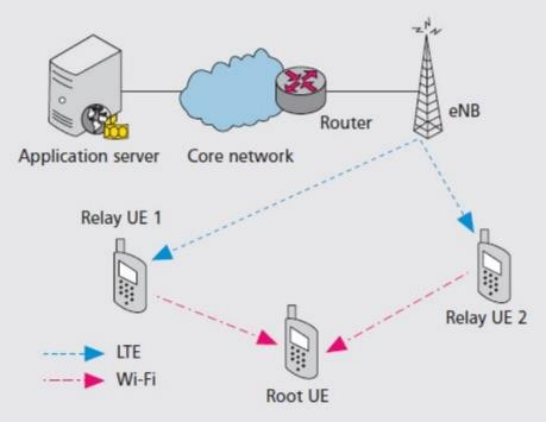
۳ – TCP های چند مسیره (MPTCP):

در سالهای گذشته بحث همکاری جزء مباحث مطرح در آکادمی ها و صنعت بوده است. با توجه به محدودیت های موجود عملکرد متنوعی داشته است. شکل شماره ۲ مدل همکاری در شبکه های LTE را نشان می دهد . رله (User Equipment) بسته را توسط LTE دریافت می نماید و توسط WIFI به Root ارسال می نماید . [3]چنین همکاری یک راه حل خوب برای رابط های رادیویی مختلف است، حتی زمانی که دسترسی چند گانه پوشش داده نمی شود. برای فعال سازی چند مسیر در لایه انتقال TCP باید چند زیر جریان را به طور همزمان گسترش داد .

www.SID.ir

Archive of SID

استاندارد RFC6182 توسط مهندسان اینترنت در سال ۲۰۱۱ به منظور توسعه پروتکل های TCP مطرح شد که پروتکل MPTCP را پشتیبانی می نمود.



شکل ۲ – مدل همکاری در شبکه های LTE [3]

مزایا استفاده از TCP چند مسیره :[4]

- قابل اعتماد : با اضافه و یا حذف مسیرها در آن مشکلی بوجود نمی آید .
- افزایش توان : با توجه به تعداد مسیرها توان سیستم بیشتر می شود.
- شفافیت با لایه برنامه : ارتباط بین لایه کاربرد و TCP همانند قبل است و پیچیدگی های تقسیم مسیر مشکلی ایجاد نمی کند.

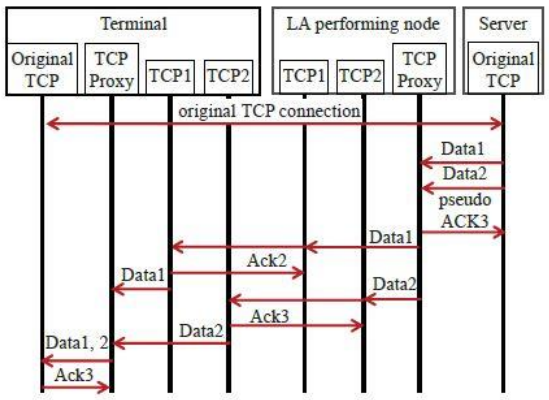
معایب استفاده از TCP های چند مسیره :

- فقط از توپولوژی Client-Server استفاده می نماید .
- تنظیمات آن برای هدر هر شبکه (Nat, Ips, Firewall) متفاوت است و باعث دشواری کار می شود.
- برای استفاده از MPTCP بایست پشته TCP/IP را اصلاح کرد.
- برای بهبود توان TCP می توان آن را به چند زیر جریان TCP تقسیم کرد. وقتی TCP تقسیم می شود مشکل پهنای باند بر روی مسیر ها رخ می دهد. دو روش برای حل آن وجود دارد:

روش اول کنترل نرخ ازدحام است که در شکل شماره ۳ نشان داده شده است بدین شکل است که سرور از طریق ارجینال TCP ، داده را به پروکسی TCP نود میانی یا همان نود ادغام دو رابط می دهد تا بین TCP ها تفسیم نماید و سپس یک پیغام ACK مبنی بر دریافت اطلاعات یازگردانده می شود و بعد از آن اطلاعات به نود ترمینال می رسد و پس از نمایش داده در ترمینال ، ACK به معنی اینکه اطلاعات را دریافت نموده به سرور ارسال می نماید .[5]

www.SID.ir

در روش دوم برای هر مسیر یک پهنای باند جداگانه در نظر گرفته تا باعث ازدحام در یک مسیر نشود. دشواری کار در این است که نمی توان به دقت مشخص کردکه چه مقدار پهنای باند نیاز دارد. در نتیجه از این روش کمتر استفاده می شود. اگرچه فمتوسل ها می تواند به دقت منابع رادیویی ، مدلاسیون ، کد گذاری و منابع فیزیکی را در LTE اندازه گیری نمایند .



شکل ۳ – کنترل نرخ ازدحام[5]

همکاری کاربران استفاده کننده از تلفن های همراه نزدیک به هم می تواند به عنوان یک رله صورت گیرد و قابلیت انتقال چند مسیره را فعال نماید حتی اگر در محدوده دسترسی MPTCP نباشد .

تفاوت اصلی بین TCP های معمول و زیر جریان ها در این است که کنترل ازدحام در هر مسیر به لایه زیری MPTCP واگذار می شود اگرچه هر زیر مجموعه یک پنجره کنترل ازدحام جداگانه دارد .در الگوریتم کنترل ازدحام باید اطمینان حاصل کرد که حداقل یک جریان در بهترین مسیر ممکن باشد .

MPTCP یک راه حل امیدوار کننده برای تحویل همزمان چند پاکت در چند مسیر است. یکی از اجزاء کلیدی MPTCP الگوریتم کنترل ازدحام است که هدف آن جمع پهنای باند در دسترس مسیر های چند گانه است که از رفتار پرخاشگرانه در TCP های تک مسیره برای به اشتراک گذاری مسیرها اجتناب می کند با این حال انتقال جریان به زیر مجموعه ها از رله ها امکان دارد توان ترافیکی به خطر بیاندازد که باعث شده انگیزه برای انجام همکاری از بین برود . ترافیک محلی در رله ها می تواند بوسیله پروتکل افزایش جمعی – کاهش ضربی(AIMD) کنترل شود.

با استقاده از این روش و آنچه که نتایج نشان داده است با اضافه کردن زیر جریان ها به MPTCP عملکرد و توان بهتری نسبت به قبل ایجاد شده است.

در گذشته گوگل برای گسترش پروتکل ها شبکه SPDY را معرفی نمود که نتایج جستجو را در کوتاه ترین زمان ممکن ارائه می داد.[6] اکنون شرکت اپل کاری مشابه انجام داده است که با

Archive of SID

استفاده از MPTCP به نرم افزار Siri اجازه دهد تا بین LTE و WIFI بدون نوسان سوئیچ کند.

۴- استفاده آگاهانه انرژی در MPTCP

این بخش به بررسی روش EMPTCP برای بهبود بخشیدن و بهینه سازی مصرف انرژی در MPTCP بروی شبکه های WIFI و LTE و مقایسه آن با سایر روش های قدیمی تمرکز دارد .

۴-۱ دلایل استفاده

بر اساس مدل انرژی EMPTCP انرژی کارآمدتری با توجه به حجم فایل نسبت به MPTCP و یا TCP به وجود می آید .[7]

برای مثال مصرف انرژی تخمین زده شده MPTCP را می توان بر اساس ظرفیت حجمی ، پهنای باند ، تاخیر و تحرک پذیری توسط الگو های مصرف انرژی استاندارد نمود. همچنین می توان سیستم را بررسی نمود تا بروی بهترین رابط های بهینه برای مصرف انرژی که دارای توان عملیاتی تعیین شده در رابط های نرمال شده است قرار بگیرد.

مقدار توان MPTCP برای بهینه سازی مصرف را توسط نسبت TCP از طریق WIFI به TCP از طریق LTE نشان می دهد .

زمانی که کارایی سیستم افزایش می یابد مصرف انرژی کاهش می یابد ، به این دلیل است که با انجام مدیریت هایی سعی بر این است تا سیستم بیشترین کارایی را داشته باشد .

هنگامی که ظرفیت فایل کوچکتر از 1mb باشد کارائی MPTCP نسبت به TCP استاندارد فقط در نقاط قابل توجه ای محدودی بیشتر است و TCP از طریق WIFI بهتر از MPTCP است حتی وقتی که توان قابل دسترسی WIFI بسیار کم است.

با توجه به بخش ۴-۲ یک مکانیزم تاخیر در زیر جریان ها به MPTCP اجازه می دهد با توجه به سربار ثابت موجود ، انرژی غیرضروری مصرف شده برای یک فایل کوچک را کاهش دهد.

همچنین میزان کارایی انرژی بنا بر توان مصرفی در دسترس در طول انتقال بسته ها در هر دو رابط LTE و WIFI مورد بررسی قرار گرفته است . مصرف انرژی برای دانلود کردن بروی WIFIو LTE نرمال شده که بدنبال استفاده از بهترین تک رابط است ،همچنین می توان از دو رابط با هم برای مصرف کمتر انرژی استفاده کرد . این نشان دهنده این است که می توان ترکیب مناسبی از رابط ها را برای صرفه جویی در مصرف انرژی انتخاب نمود برای این کار از الگوریتم های مدیریت مصرف زیر جریان ها که در بخش ۴-۳ توضیح داده شده است استفاده می شود.

۴-۲ تاخیر در ایجاد زیر جریان های LTE

تاخیر برای ایجاد زیر جریان های LTE توسط الگوریتم تنها زمانی که EMPTCP یک ارتباط جدید را آغاز می کند اجرا می شود. فرض بر این است که دستگاه از رابط WIFI بعنوان رابط اولیه شبکه استفاده می کند .در این حالت دستگاه سعی می کند یک زیر جریان LTE فقط بعضی وقت ها بعد از ایجاد یک زیر جریان WIFI راه اندازی شود . [7]

هنگامی که فایل دانلود شده کوچک باشد ، بایست از هزینه های غیر ضروری بر ایجاد ارتباطات زیر جریان LTE جلوگیری نمود. برای جلوگیری از ایجاد زیر جریان های LTE غیر ضروری ، EMPTCP یک تاخیر بین WIFI و زیر جریان های LTE ایجاد می کند، EMPTCP شروع به کار نمی کند تا زمانیکه زیر جریان LTE ، k بایت از رابط WIFI دریافت نماید . برای ترویج و دنباله روی استیت های رابط LTE وقتی یک دستگاه یک فایل کوچکتر از k بایت دانلود می نماید انرژی مصرف نمی نماید .

اگر توان WIFI در دسترس خیلی کوچک باشد زیر جریان فقط WIFI تا آستانه k متحمل مصرف انرژی بیشتری نسبت به استفاده از هر دو رابط شود .

برای مثال اگر پهنای باند WIFI کوچکتر از 3mb و پهنای باند LTE بزرگتر از 10mb باشد وقتی یک فایل 8mb دانلود می کنیم بهتر است از هر دو رابط استفاده نمود. بنابراین برای جلوگیری از زیر جریان های آهسته WIFI ، EMPTCP از یک تایمر برای دنبال کردن زیر جریان های ایجاد شده توسط LTE استفاده می نماید تا زمان بعد از T ثانیه منقضی شود .

EMPTCP یک زیر جریان LTE را از طریق میزان دانلود شده از طریق WIFIای که دسترسی به آستانه k ندارد ایجاد می کند.

۴-۳ مدیریت طریقه استفاده از زیر جریان ها

بعد از ایجاد ارتباط MPTCP، EMPTCP از الگوریتم مدیریت زیر جریان ها استفاده می نماییم تا تصمیم بگیریم که بر اساس تخمین میزان توان مصرفی ، رابط فقط WIFI برای انتقال داده ها استفاده و یا هر دو رابط را می توان برای افزایش کارایی سیستم استفاده نمود . نکته اینجاست که EMPTCP نمی تواند به فقط LTE سوییچ نماید زیرا انتظار میرود افزایش توان خیلی بیشتر از استفاده از هر دو رابط نباشد .

توان EMPTCP نشان داده می شود تا تصمیم بگیرد بین هر دو رابط و یا فقط WIFI سوییچ نماید . به منظور تخمین توان در دسترس رابط ها هر δ ثانیه نمونه EMPTCP را دانلود می نماید .که تغییرات پهنای باند را می توان با استفاده از الگوریتم سری های زمانی Holt Winter پیش بینی کند که نتیجه دقیق تری

www.SID.ir

Archive of SID

نسبت به پیش بینی بر اساس فرمول است که تابع ، برای شناختن ویژگی های اساسی یک مسیر است .

وقتی یک دستگاه تصمیم می گیرد تا از رابط فقط WIFI سوییچ کند احتیاج دارد تا با سمت فرستنده ارتباط برقرار نماید .برای اطلاع از تغییرات استیت سمت فرستنده از امکان MP_PRIO استفاده می شود و روش کار آن بدین صورت است که اولویت زیرجریان ها را در LTE به بسته بعدی که بایست منتقل شود تغییر می دهد .

وقتی فرستنده احتیاج دارد تا از فقط WIFI به هر دو رابط سوییچ کند EMPTCP در فرستنده نیاز دارد تا به سرعت از زیر جریان های LTE استفاده کند بدین منظور TCP های چند مسیره، Cwndreset را بعد از یک وقفه طولانی نسبت به پایان زمان ارسال مجدد در RFC2861 را غیر فعال می کند .

برای اطمینان از اینکه زیرجریان های LTE از شروع آهسته غیر ضروری پرهیز کنند وقتی EMPTCP دوباره شروع به استفاده از زیرجریان های LTE می کند مجموعه های EMPTCP اندازه RTT (تفاوت بین زمان ارسال یک پاکت از سرور تا زمان دریافت ACK می باشد) زیرجریان ها را که دارای اولویت کمتری است منتشر می نماید . این کار یک زیر جریان LTE را قادر می سازد تا به سرعت بتواند توسط زمانبند زیرجریان ها جستجو نماید و یک زیر جریان با کمترین مقدار RTT رابرای انتقال بسته ها انتخاب نماید .

۴-۴ مقایسه پروتکل ها

برای مقایسه بین پروتکل ها ، یک ارتباط بین ۲ رله u1 و u6 توسط حالت های مختلف برقرار شده است . فاصله بین u6 با ایستگاه فمتوسل و Wifi هردو ۶۰ متر می باشد . میزان باطری اولیه ۳۰۰ ژول و نرخ جریان داده ها ۱۱ مگابایت با زمان شبیه سازی ۱۵۰ ثانیه که در ۳ پروتکل مختلف (TCP , MPTCP , EMPTCP) توسط دو رابط LTE و Wifi استفاده شده است . که به طور کلی چهار حالت را مطابق با حالت های ذیل استفاده شده است : [8]

- استفاده از رابط Wifi توسط پروتکل TCP
- استفاده از رابط LTE توسط پروتکل TCP
- استفاده از هر دو رابط توسط پروتکل MPTCP
- استفاده از هر دو رابط توسط پروتکل EMPTCP

بنا بر نتایج بدست آمده در مراجع [7]،[8] ، توان استفاده در TCP های چند مسیره بیشتر از توان استفاده TCP تک مسیره می باشد . که نشان دهنده این است که استفاده از چند مسیر تا چه اندازه می تواند بازدهی را افزایش دهد . همچنین توان MPTCP از EMPTCP بیشتر می باشد و دلیل این امر عدم وجود الگوریتم های کنترلی برای مصرف انرژی می باشد بنابراین مقدار میانگین مصرف انرژی MPTCP بالاتر می باشد و نسبت به روش EMPTCP مناسب نمی باشد اما توان بالاتری دارد و بسته به نیاز سیستم می توان از هر دو روش استفاده نمود اما بایست توجه نمود مصرف انرژی در سیستم های بزرگ بروی هزینه ها بسیار تاثیر گذار است و بایست تا حدی که ممکن است از هزینه های بیهوده جلوگیری نمود.

۵- نتیجه گیری

با گسترش برنامه های کاربردی تلفن همراه و با توجه به اینکه پروتکل TCP به منظور ایجاد حداکثر استفاده از طیف فرکانس در دسترس بسیار کاربردی بوده است با توسعه این پروتکل ها ، از TCP های چند مسیره استفاده شده است .تفاوت اصلی بین TCP های معمول و زیر جریان ها در این است که کنترل ازدحام در هر مسیر به لایه زیری MPTCP واگذار می شود همچنین در TCP های چند مسیره تحمل پذیری خطا بیشتر می باشد و توان سیستم افزایش یافته است اما مصرف انرژی در آنها بهینه نمی باشد و هزینه ها افزایش یافته است بدین منظور راه حل هایی برای کنترل مصرف انرژی در پروتکل های چند مسیره مطرح شد که میزان کارایی انرژی بنا بر توان مصرفی فعال در طول انتقال بسته ها در هر دو رابط LTE و WIFI مورد بررسی قرار می دهد و با اعمال الگوریتم های الگو مصرف مانند ایجاد تاخیر در زیر جریان های LTE جریان های کوچک را کنترل می نماید تا متحمل مصرف بیشتر انرژی نشود و یا مدیریت استفاده از رابط ها برای کنترل جریان داده ها به منظور استفاده مفید از هر دو رابط WIFI و LTE می باشد که می تواند تا حدود زیادی توان سیستم را بالا برده تا باعث کاهش مصرف انرژی در شبکه های LTE شود . با توجه به اینکه در پروژه های بزرگ مانند پروژه لون و یا برنامه SIRI اپل علاوه بر کارایی بالا سیستم ، نیاز است تا کنترلی بر روی مصرف انرژی صورت پذیرد. پس نیاز به الگوریتم های کنترلی بیشتری جهت بهینه سازی جریان های موازی و همزمان بوجود می آید تا در آینده بتوان به توسعه آنها جهت افزایش توان و کاهش انرژی پرداخت.

۶- مراجع

[1] Y. Kojima and J. Suga, “LTE-WiFi Link Aggregation at Femtocell Base Station,” Proc. World Telecommun. Congr. 2014, pp. 1–6, 2014.
[2] Google, “HOW LOON CONNECTS,” 2015. [Online]. Available: https://www.google.com/loon/how/.
[3] D. Zhou, S. Member, and W. Song, “Multipath TCP for User Cooperation in LTE Networks,” IEEE Netw., no. February, pp. 1–21, 2014.
[4] O. Vondrous, P. Macejko, and Z. Kocur, “Multipath TCP in LTE Networks,” pp. 294–300, 2014.
[5] Y. Chen, Y. Lim, R. J. Gibbens, E. M. Nahum, R. Khalili, and D. Towsley, “A measurement-based study of MultiPath TCP performance over wireless networks,” Proc. 2013 Conf. Internet Meas. Conf. - IMC ’13, pp. 455–468, 2013.

www.SID.ir

Archive of SID

[6] I. van Beijnum, “Multipath TCP lets Siri seamlessly switch between Wi-Fi and 3G/LTE,” 2013. [Online]. Available: http://arstechnica.com/apple/2013/09/multipath-tcp-lets-siri-seamlessly-switch-between-wi-fi-and-3glte/

[7] Y. Lim, Y.-C. Chen, E. M. Nahum, D. Towsley, and R. J. Gibbens, “Improving Energy Efficiency of MPTCP for Mobile Devices,” ACM Conex., 2014.

[8] S. Chen, Z. Yuan, and G.-M. Muntean,"An Energy-aware Multipath -TCP-based Content Delivery Scheme in Heterogeneous Wireless Networks", IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), Shanghai, China, Apr. 2013, pp.1291-1296

www.SID.ir