

بررسی بکارگیری مخابرات ماهواره‌ای در کاربردهای اینترنت اشیا

علیرضا آقاباقرلو^{۱*}، محمود محصل فقهی^۲

^۱ دانشجوی مقطع کارشناسی، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه تبریز، ایران، alibagerlo@gmail.com

^۲ استادیار، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه تبریز، ایران، mohasselfegghi@tabrizu.ac.ir

چکیده: با توجه به گسترش روزافزون کاربردهای اینترنت اشیا و همچنین اشکالاتی که اینترنت اشیا در پوشش مناطق دورافتاده دارد، استفاده از ماهواره در کاربردهای اینترنت اشیا ضروری به نظر می‌رسد. در این مقاله با بررسی ماهواره‌های مختلف، ماهواره مناسب برای کاربردهای اینترنت اشیا معرفی می‌گردد. سپس تعداد ماهواره‌های مدار ارتفاع پایین برای پوشش سراسری زمین با تأمین حداقل زاویه فراز برای ارتفاع‌های مختلف بدست می‌آید. نتایج بدست آمده تعداد ماهواره‌های مورد استفاده در صورت فلکی روزت را تأیید می‌کند. در نهایت لایه‌های مختلف شبکه‌های مخابرات ماهواره‌ای مورد بررسی قرار گرفته و تصحیح لازم در مورد آن‌ها انجام می‌گیرد.

واژگان کلیدی: اینترنت اشیا، صورت فلکی روزت، نانو ماهواره، کنترل دسترسی به شبکه، کاربردهای حساس به تأخیر.

A Study on Satellite Communications for Internet of Things Applications

Abstract: Due to the great increasing in the applications of internet of things (IoT) and the difficulties with the terrestrial internet of things, especially in remote areas, the use of satellite communications for the internet of things applications is mandatory. In this paper, we propose suitable satellites for IoT applications by exploring different satellites. Then, the total number of LEO satellites for global coverage with a minimum elevation angle for different heights are calculated, which verifies the number of satellites in the Rosette constellation. Finally, different layers in satellite communication networks are explored and the necessary corrections are made.

Keywords: Internet of things, Rosette constellations, nano-satellite, Medium access control, delay sensitive application.

جدول ۱. مدل‌های مختلف ارتباطی برای استفاده‌های مختلف.

مدل ارتباطی	وسیله	زمینه
سلولی، مخابرات کوتاه برد	وسایل پایش سلامتی	سلامت الکتریکی
سلولی	خانه با اسباب الکتریکی هوشمند	خودکارسازی اشیاء خانه
مخابرات کوتاه برد	وسایل کنترل و خودکارسازی	صنعتی
LPWAN	حسگرهای حیات وحش	پایش اطلاعات محیط اطراف

گرفتن کانال، کنترل خطا، کنترل جریان و ... هستند. همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود مدل‌های ارتباطی استفاده شده

۱- مقدمه

اینترنت اشیا به دنبال یکپارچه کردن سیستم‌های ارتباطی مختلف است. حسگرهای پایش، اسباب الکتریکی مختلف و متحرک به وسیله اینترنت اشیا به هم متصل شده‌اند و سرویس‌های مختلف برای مصرف‌کنندگان خصوصی، تجاری و دولتی را (که به دنبال ارتباط امن و سریع هستند) ارائه می‌دهند. رفته رفته نیاز بشر به این سرویس‌ها بیشتر شده و پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۲۵ حدود ۲۷ میلیارد وسیله ارتباطی به وجود آیند [۱]. جدول ۱ به برخی از کاربردهای اینترنت اشیا اشاره می‌کند که همه آن‌ها نیازمند اینترنت اشیا برای بدست

مزیت ماهواره LEO در کاربردهای اینترنت اشیا را بیان داشته است، اما به نانوماهواره و مزیت‌هایی که این ماهواره با توجه به ارزانی دارد و نیز عدم پوشش مناطق قطبی توسط ماهواره GEO، اشاره‌ای نکرده است. همچنین مرجع بعدی در این مورد مرجع [۴] است که این مقاله هم اشاره واضحی به زیر لایه MAC و شبکه و مقایسه این زیرلایه‌ها در اینترنت زمینی و اینترنت ماهواره‌ای نکرده است.

۳- انتخاب ماهواره مناسب برای کاربردهای اینترنت اشیا

در کاربرد ماهواره در اینترنت اشیا معمولاً از ماهواره GEO استفاده نمی‌شود [۱] و استفاده از ماهواره LEO (و همچنین نانو ماهواره) ترجیح داده می‌شود که علت این امر در ادامه ذکر می‌شود [۱]، [۲] و [۴]:

(۱) تاخیر انتشار و زمان چرخش در ماهواره GEO زیاد است و برای کاربرد اینترنت اشیا که نیاز به ارتباط با کمترین تاخیر ممکن دارد، مناسب نیست.

(۲) با توجه به نزدیکی ماهواره LEO و نانو ماهواره به زمین، اتلاف کمتر بوده و در نتیجه به انرژی کمتری احتیاج است و با توجه به این که در کاربردهای اینترنت اشیا استفاده از انرژی کمتر و منبع تغذیه کوچکتر بسیار مهم است، استفاده از ماهواره و مخصوصاً نانوماهواره در این کاربردها ترجیح داده می‌شود.

(۳) به علت نزدیکی ماهواره LEO به زمین و اتلاف کمتر، اندازه آنتن گیرنده-فرستنده زمینی کوچکتر می‌تواند باشد و در کاربردهای اینترنت اشیا کوچکی و مصرف توان کمتر اهمیت فراوانی دارد.

(۴) در صورتی که وسیله ارتباطی در دید مستقیم ماهواره GEO قرار نداشته باشد، این ماهواره با آن وسیله نمی‌تواند ارتباط برقرار کند و ماهواره LEO برای این منظور مناسب‌تر است.

(۵) در کاربردهای اینترنت اشیا یکی از الزامات موجود پوشش سراسری است، اما ماهواره GEO مناطق قطبی را مورد پوشش قرار نمی‌دهد.

(۶) به علت عدم امکان شناسایی مکان ماهواره LEO امکان انهدام و ردیابی ماهواره LEO وجود ندارد. این امر سبب امنیت بیشتر بخصوص در کاربردهای نظامی می‌شود.

برای کاربردهای مخابراتی یک اشکال بزرگ دارند و آن نامناسب بودن آن‌ها برای مناطق دورافتاده است. حتی استفاده از شبکه ناحیه وسیع کم‌توان (LPWAN) برای مناطقی مانند بیابان، دریا و جنگل مناسب نیست [۱] و در نتیجه استفاده از ماهواره در کاربرد های اینترنت اشیا ضروری به نظر می‌رسد [۱]، [۲] و [۳]. با توجه به این که پروتکل‌های اینترنت اشیا برای سیستم‌های ارتباطی زمینی تهیه شده‌اند و در اینترنت اشیا زمینی پروتکل‌های مربوط به مخابرات ماهواره‌ای در نظر گرفته نشده است، بررسی پروتکل‌های اینترنت اشیا در مخابرات ماهواره‌ای می‌تواند یک زمینه تحقیقاتی خوبی باشد. در ادامه به چند مورد از ویژگی‌هایی که استفاده از مخابرات ماهواره‌ای را در اینترنت اشیا اجتناب‌ناپذیر می‌سازد، اشاره می‌شود [۱]، [۳]:

(۱) پوشش مناطق دورافتاده و وسیع توسط ماهواره
(۲) هزینه مناسب برای ارتباطات جهانی: در صورتی که فاصله دو نقطه بیشتر از اندازه قاره اروپا باشد ارتباط با ماهواره به‌صرفه‌تر است [۲].

(۳) تعداد زیاد ایستگاه‌های زمینی و آسیب‌پذیری آن‌ها در برابر بلایای طبیعی و امکان ارتباط با مناطق درگیر با بلایای طبیعی که امکان ارتباط با آن مناطق به علت از بین رفتن زیر ساخت‌های ارتباطی از بین رفته است.

لذا با توجه به مزایای فوق، در این مقاله استفاده از مخابرات ماهواره‌ای در کاربردهای اینترنت اشیا مورد بررسی قرار می‌گیرد. ابتدا به دلایل عدم استفاده از ماهواره های زمین ایستگاه (GEO) در اینترنت اشیا ماهواره‌ای اشاره می‌شود. سپس دلایل استفاده از نانوماهواره‌ها در مدارات LEO در اینترنت اشیا مورد بررسی قرار خواهد گرفت. در ادامه به طراحی صورت فلکی ماهواره‌های موجود در مدار LEO خواهیم پرداخت و تعداد ماهواره‌های مورد نیاز برای پوشش کامل کره زمین محاسبه خواهد شد. در نهایت به بررسی و تصحیح لایه‌ها و زیرلایه‌های مدل مرجع استفاده شده در مخابرات ماهواره‌ای می‌پردازیم.

۲- پژوهش‌های مشابه انجام شده

از پژوهش‌های مشابه انجام شده در این زمینه می‌توان به مرجع [۱] اشاره کرد. این مقاله در زیرلایه MAC به مشکل وجود ایستگاه پنهان و سخت‌گیر اشاره‌ای نداشته است. همچنین این مقاله با این که تفاوت‌های ماهواره LEO و ماهواره GEO و

برایای طبیعی ضروری به نظر می‌رسد. استفاده از ماهواره می‌تواند در مناطقی که سیستم‌های مخابرات زمینی نمی‌توانند آن مناطق را تحت پوشش قرار دهند (مانند تالاب و اقیانوس) جایگزین مناسبی برای سیستم‌های مخابراتی زمینی شود [۱]. اما اکنون استفاده از اطلاعات ماهواره دارای مشکلاتی از جمله هزینه زیاد و نتیجه غیرمستقیم است. برای حل این مشکلات می‌توان به جای استفاده صرف از ماهواره، از اینترنت اشیا ماهواره‌ای استفاده کرد. اینترنت اشیا ماهواره‌ای می‌تواند با استفاده از انواع مختلف حس‌گرها اطلاعات مختلفی را جمع‌آوری کند، هزینه‌ها را کاهش دهد و نسبت به ماهواره تنها اطلاعات مکرری از وضعیت تهیه کند که به پیش‌بینی دقیق‌تر وضعیت کمک می‌کند [۱].

۲. حساس به تاخیر (DSA): این کاربردها نسبت به کاربردهای DTA دارای پروتکل‌های سخت‌گیرانه‌تر هستند که دارای کاربردهایی همچون کاربردهای نظامی است. به علت اهمیت کاربردهای DSA استفاده از این ماهواره‌ها مستلزم پرداخت هزینه بیشتری است. برای مثال در مورد اهمیت یکی از کاربردهای آن (اینترنت اشیا رزمی) می‌توان گفت که جنگ عصر حاضر عمدتاً جنگ اطلاعاتی است و نیروهای ایالات متحده مفهوم جنگ شبکه مرکزی (NCW) را پیشنهاد کرده‌اند [۱]. در طول جنگ که وسایل ارتباط زمینی از بین می‌روند، ارتباط ماهواره‌ای یک راه‌کار بسیار مناسب می‌تواند باشد. در ابتدای مقاله به برتری‌های ماهواره LEO و نانوماهواره‌ها در کاربردهای اینترنت اشیا مبتنی بر مخابرات ماهواره‌ای اشاره شد. در اینجا به برتری دیگری از این نوع ماهواره‌ها و توانایی بیشتر این ماهواره‌ها برای حفظ سلامت کاربردهای اینترنت اشیا رزمی اشاره می‌کنیم و آن اینکه این ماهواره‌ها نسبت به زمین ایستا نبوده و قابل ردگیری و انهدام نمی‌باشند. در حالیکه به علت پوشش وسیع ماهواره GEO ردیابی ماهواره GEO راحت‌تر است [۱].

پس از شناخت کاربرد های حساس به تاخیر و مدارا با تاخیر به طراحی صورت فلکی ماهواره های DTA و DSA می‌پردازیم. صورت فلکی این دو نوع ماهواره متفاوت از هم است. DTA ها با توجه به اینکه برای مسیریابی از ایستگاه مرکزی استفاده نمی‌کنند، ماهواره ها برای یافتن کوتاه‌ترین مسیر و کمترین تاخیر و فرستاده شدن اطلاعات از کوتاهترین مسیر نیاز به ارتباط بین ماهواره ای دارند. از جمله مواردی که باید در طراحی

حال که به برتری‌های ماهواره نانو و ماهواره LEO نسبت به ماهواره GEO در کاربردهای اینترنت اشیا اشاره شد، ذکر این نکته هم ضروری به نظر می‌رسد که دارا بودن هزینه کمتر، برتری نانو ماهواره نسبت به ماهواره LEO است.

۴- چالش‌های استفاده از نانو ماهواره در اینترنت اشیا و راه حل آن‌ها

یکی از مشکلات استفاده از ماهواره هزینه زیاد ساخت و پرتاب آن است. برای حل این مشکل می‌توان از نانو ماهواره‌ها استفاده و آن‌ها را برای ارتباط با مناطق دور و روستایی شبکه کرد. برای مثال نانوماهواره مکعبی پرتاب شده در باند ارتفاع پایین فقط یک درصد هزینه یک ماهواره LEO را شامل می‌شود [۴]. البته در نانوماهواره‌ها این مشکل نیز وجود دارد که به علت کوچکی و برد کمتر ماهواره‌ها به تعداد بیشتری ماهواره نیاز است که این خود باعث بیشتر شدن مشکلات حاصل از شبکه‌کردن این نوع ماهواره‌ها می‌شود.

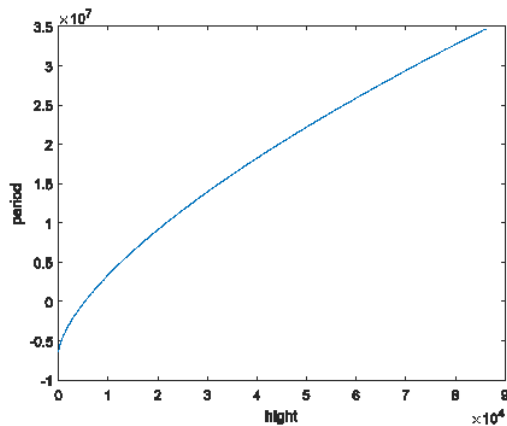
شبکه‌کردن نانوماهواره‌ها باعث به وجود آمدن مسیرهای مختلف و در نتیجه تاخیرهای مختلف می‌شود. برای یافتن مسیر با کمترین تاخیر ممکن طبق مقاله [۴] دو راه‌کار وجود دارد: یک راه‌کار استفاده از مسیریابی ایستا است که در این صورت انتخاب مسیر با کمترین تاخیر ممکن تضمین نمی‌شود. راه‌کار دیگر استفاده از مسیریابی پویا است. در مسیریابی پویا اطلاعات بصورت بسته از نزدیک‌ترین مسیر ارسال و دریافت می‌شوند. در مقاله [۴] یکی از راهکارهای پیشنهاد شده وجود یک ایستگاه مرکزی برای محاسبه کمترین تاخیر است که این کار باعث ترافیک در کنترل‌کننده و تاخیر می‌شود. راه‌حل کلی این مشکل در بخش آخر این مقاله در لایه شبکه بررسی خواهد شد.

۵- طراحی صورت فلکی نانوماهواره و ماهواره LEO برای بکارگیری در اینترنت اشیا

کاربردهای اینترنت اشیا در مخابرات ماهواره‌ای در حالت کلی به دو دسته تقسیم می‌شود [۱]:

۱. مدارا با تاخیر (DTA): برای کاربردهایی که ما به قطع‌های موقتی و تاخیر حساس نیستیم اشاره دارد؛ مانند نمایش اطلاعات آب که به منظور حفاظت از کیفیت آب و ایمنی انسان در برابر

مناسب و تعداد ماهواره مناسب برای کاربرد مدنظر را یافت.



شکل ۱. رابطه بین ارتفاع و دوره تناوب ماهواره.

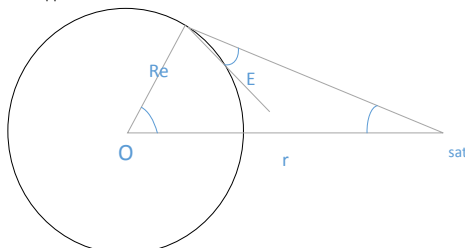
مقاله [۱] برای این کاربرد k/n را برابر $1/14$ در نظر گرفته و در نتیجه دوره تناوب برابر 6155 و ارتفاع برابر با 887 بدست آمده است. برای تحقق پوشش جهانی از صورت فلکی روزت (Rosette) استفاده شده است [۵]. معمولاً علامت اختصاری بصورت (p, N, m) و با نام واکر برای صورت فلکی روست استفاده می شود که N تعداد کل ماهواره ها، p مکان مدار و m عامل هارمونیک است. محاسبات با توجه به منابع [۲] و [۵] برای بدست آوردن تعداد ماهواره مورد نیاز برای پوشش سراسری ماهواره به صورت زیر است:

$$N = PQ \quad (3)$$

$$m = \frac{(0 \text{ to } N - 1)}{Q} \quad (4)$$

که در آن Q برابر با تعداد ماهواره در هر یک از p مکان و m عددی بین 0 تا $N-1$ است. همچنین با نوشتن روابط مثلثاتی بر اساس شکل ۲ داریم:

$$Q = \frac{360}{W}, p = 5 \quad (5)$$



شکل ۲. شکل مورد استفاده برای محاسبه تعداد ماهواره ها.

صورت فلکی ماهواره LEO مورد توجه واقع شوند پوشش جهانی ماهواره است که می توان با استفاده از روابط ۳ تا ۷ تعداد ماهواره های مورد نیاز برای پوشش سراسری برای ارتفاع های مختلف ماهواره LEO و زاویه فرازهای مختلف مورد نیاز را پیدا کرد. مورد دیگر دارای اهمیت در طراحی صورت فلکی ماهواره ها هزینه ماهواره تکی و کل ماهواره هاست.

با توجه به موارد گفته شده طراحی به دو دسته تقسیم می شود: (۱) بدون ارتباطات بین ماهواره ای (ISL): که به علت هزینه کم برای DTA مناسب است.

(۲) با وجود ارتباطات بین ماهواره ای (ISL): که پیچیدگی مدار بیشتر می شود. این ارتباطات برای مدارات DSA لازم است.

برای طراحی صورت فلکی ماهواره ابتدا باید مدار، زاویه و ارتفاع در نظر گرفته شود به عنوان پارامتر مهم مداری فاصله از مرکز زمین بر روی محدوده پوشش ماهواره تاثیر خواهد گذاشت. وقتی ماهواره ای در محل بالاتری قرار داده شود پوشش منطقه ای و زمانی گسترده تری خواهد داشت [۱]، [۵] (البته در روابط ۳ تا ۷ دقت شود که به علت تامین حداقل زاویه فراز با بیشتر شدن فاصله از سطح زمین تعداد ماهواره مورد نیاز برای پوشش سراسری بیشتر می شود). از طرف دیگر فاصله زیاد از زمین هم باعث اتلاف بیشتر و در نتیجه هزینه بیشتری خواهد بود. در طراحی صورت فلکی زمان دوره تناوب ماهواره را T_s در نظر می گیریم که این پارامتر با رابطه ۱ محاسبه می شود.

$$\frac{T_s}{T_e} = \frac{k}{n} \quad (1)$$

این رابطه نشان می دهد که مدار ماهواره به صورت شبه بازگشتی است. T_e زمان یک روز و به عبارتی 86164 ثانیه است. n و k اعداد صحیحی هستند که نشان دهنده نسبت زمان گردش در یک دور ماهواره نسبت به زمان یک روز است. رابطه ۲ بیانگر قانون سوم کپلر است:

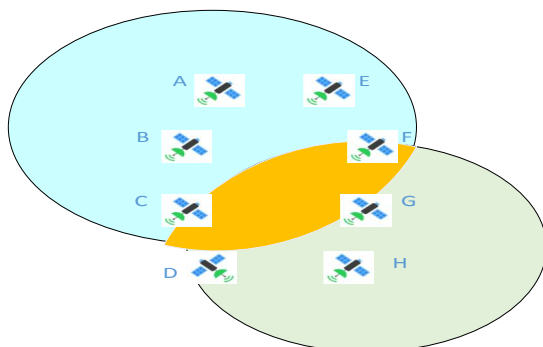
$$h = \frac{Ts^{2/3} m^{1/3}}{(2p)^{2/3}} - R \quad (2)$$

که در آن h ارتفاع مدار، R شعاع زمین و برابر با $10^3 \times 71$ و نیز $m = G' M$ و برابر با $10^{14} \times 3/686$ است.

در شکل ۱ که به وسیله نرم افزار MATLAB محاسبه شده است رابطه بین T_s و ارتفاع های مختلف آورده شده است. در واقع می توان با استفاده از شکل ۱ و روابط ۱ تا ۷ و مقایسه آنها ارتفاع

ماهواره‌ای (DSTN) به خاطر ارتباط بین ماهواره‌ای پیچیدگی بیشتر می‌شود. همان‌گونه که قبلاً اشاره شد در [۱] فقط به ارتباط بین دو ماهواره به صورت افقی اشاره شده است در صورتی که برای شبکه‌کردن ماهواره‌ها به ارتباط کل ماهواره‌ها با هم‌دیگر توجه شود، دو مشکل پیش می‌آید: (۱) مشکل ایستگاه پنهان (۲) مشکل ایستگاه سختگیر.

به شکل ۳ توجه کنید: فرض کنید ماهواره B می‌خواهد اطلاعاتی را به ماهواره F بفرستد، همچنین در همین لحظه ماهواره G نیز می‌خواهد اطلاعاتی را به F بفرستد. با توجه به اینکه این ماهواره در معرض B قرار ندارد و برعکس، هر دو به کانال گوش می‌دهند و هیچ‌گونه تداخلی را احساس نمی‌کنند و اطلاعات را به F ارسال می‌کنند. اما در F دو موج هم‌فرکانس با هم تداخل می‌کنند. دوایر حول B و H مناطق تحت پوشش توسط هر یک از ماهواره‌ها را نشان می‌دهد و قسمت نارنجی بیانگر تداخل است.



شکل ۳. مشکل وجود ایستگاه پنهان.

حال به شکل ۴ توجه کنید. A می‌خواهد اطلاعاتی را به E و همزمان B می‌خواهد اطلاعاتی را به C ارسال کند.



شکل ۴. مشکل وجود ایستگاه سختگیر.

$$W = \sin \left(\frac{\pi}{2} \cos(E) \right) \frac{\dot{\theta}}{r} \quad (6)$$

$$N = \frac{360}{W}, \quad p = \frac{1800}{W} \quad (7)$$

با توجه به این روابط ماهواره‌های مورد نیاز برای پوشش جهانی (برای $p=5$) برای ارتفاع و زاویه میل‌های مختلف قابل محاسبه است. مرجع [۱] کد واکر (۳۵،۷،۱) را با توجه به هزینه کل و تامین حداقل زاویه فراز و پوشش سراسری و ... پیشنهاد داده است. همچنین به منظور پوشش قطب ۲ ماهواره نیز اضافه شده است. اما در شرایطی که ارتباط بین ماهواره ای وجود دارد، مقاله [۱] ۴۰ ماهواره با ۵ محل مداری که هر ماهواره با دو ماهواره کنار دستی ارتباط دارد را مورد بررسی قرار داده است. در این مقاله فقط به ارتباط یک ماهواره با ۲ ماهواره به صورت طولی اشاره شده است. در حالیکه برای اینکه مقدار فاصله و پردازش‌ها دقیق‌تر شود به ارتباط همه ماهواره‌ها نیاز است که در این مورد در بخش بعدی و زیرلایه MAC اشاره خواهد شد.

۶- ارتباط بین اینترنت اشیا زمینی و LEO

جنبه سازگاری شامل موضوعاتی چون معماری شبکه، الگوهای خدمات و پروتکل‌های MAC، است. پروتکل‌های MAC بیشتر روی RA تاکید دارند مثلاً در مقاله [۶] یک راه تقسیم و تسخیر برای یافتن قسمت زمانی بر حسب تقاضا در ماهواره GEO استفاده شده است. اما در ماهواره LEO یک مشکل نیز وجود دارد و آن پویایی سیستم این نوع ماهواره است [۱]. اینترنت اشیا ماهواره‌ای به دو صورت: (۱) ارتباط ماهواره‌ای به مرکزیت ایستگاه زمینی و (۲) توپولوژی شبکه پویای ماهواره‌ای تقسیم می‌شود. مورد اول برای ماهواره مدارا به تاخیر و بدون ارتباط بین ماهواره‌ای مناسب است و مورد دوم برای DSA مناسب است. در مورد اول با توجه به اینکه ماهواره‌ها همیشه در رؤیت پایانه‌های ارتباطی نیستند و همچنین ترافیک بالا برای پردازش اطلاعات مناسب نیست، در صورتی که بخواهیم برای کاربردهای بدون ارتباط بین ماهواره‌ای استفاده کنیم باید برای حل مشکل همیشه در رؤیت نبودن یک مرکز ذخیره اطلاعات در ایستگاه مرکزی هم درست کنیم تا با پردازش آن‌ها به نتیجه مطلوب دست پیدا کنیم. همچنین در مخابرات ماهواره‌ای به علت امنیت بالا از مدل TCP/IP استفاده می‌کنیم. در توپولوژی شبکه پویای

است و ماهواره ها می توانند با توجه به این جداول و الگوریتم های موجود بهترین مسیر را تشخیص داده و اطلاعات را از آن مسیر ارسال کنند.

۷- نتیجه گیری

این مقاله یک دید کلی در مورد دلایل و لزوم استفاده از ماهواره در اینترنت اشیا فراهم نمود و به مقایسه اجمالی انواع ماهواره های مختلف مناسب برای اینترنت اشیا ماهواره ای پرداخت. همچنین صورت فلکی مناسب برای ماهواره LEO طراحی گردید. روابط لازم برای طراحی صورت فلکی محاسبه گردید و در قسمت پایانی نیز بررسی لایه های مدل مرجع استفاده شده انجام شد و ایده تغییر در زیر لایه MAC در اینترنت ماهواره ای ارائه گردید.

مراجع

- [1] Z. Qu, G. Zhang, H. Cao, and J. Xie "LEO satellite constellation for internet of things" *IEEE Access*, vol. 5, pp. 18391-18401, 2017.
- [2] G. Maral and M. Bousquet, *Satellite Communications Systems: Systems, Techniques and Technology*, Wiley, 5th ed., 2010.
- [3] M. D. Sanctis, E. Cianca, G. Araniti, I. Bisio and R. Prasad, "Satellite communications supporting internet of remote things", *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 3, no. 1, pp. 113-123, 2016.
- [4] M. Cello, M. Marchese, and F. Patrone, "Research challenges in nanosatellite-DTN networks" *PSATS*, pp. 89-93, 2016.
- [5] A. H. Ballard, "Rosette constellations of earth satellites," *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, vol. 16, no. 5, pp. 656-673, 1980.
- [6] Y. Kawamoto, H. Nishiyama, Z. M. Fadlullah and N. Kato, "Effective data collection via satellite-routed sensor system (SRSS) to realize global-scaled internet of things," *IEEE Sensors Journal*, vol. 13, pp. 3645-3654, 2013.
- [7] A. S. Tanenbaum and D. J. Wetherall, *Computer Networks*, Prentice-Hall, 5th ed., 2010.

Application	
Transport	
Network	
Datalink	LLC MAC
Physical	

شکل ۵. لایه بندی مدل TCP/IP [۷].

فرض کنید A شروع به ارسال اطلاعات کرده باشد و B به کانال گوش می دهد و کانال را اشغال می بیند. حال آن که در صورتی که B شروع به ارسال اطلاعات می کرد هیچ تداخلی پیش نمی آمد و با توجه به فاصله زیاد A و C تداخلی برای E ایجاد نمی شد و C می توانست اطلاعات را به راحتی دریافت کند. برای حل این مشکل نیز بهتر است برای بدست گرفتن کانال به جای پروتکل های زیر لایه MAC از پروتکل های زیر لایه MACA استفاده شود.

اکنون شکل ۵ را در نظر بگیرید. در اینترنت اشیا ماهواره ای لایه فیزیکی همان ماهواره است. در لایه لینک داده استفاده از MACA به جای MAC پیشنهاد شد و کانال را در دست گرفتیم. پس از کنترل خطا، جریان و ابتدا و انتهای فریم در زیر لایه LLC به لایه شبکه می رسیم. در این لایه که وظیفه محلیابی جریان را بر عهده دارد، طراحی باید طوری باشد که (۱) از روترهایی استفاده شود که موجب کمترین تعداد ارتباط بین ماهواره ای می شود، (۲) تعداد استفاده از روترها کمتر باشد و (۳) کیفیت سرویس بیشترین مقدار ممکن باشد و اطلاعات کمترین فاصله ممکن را طی کنند تا کمترین تاخیر و اتلاف را داشته باشیم. در مرجع [۱] استراتژی های الگوریتم کمترین فاصله (MDA) و الگوریتم کمترین تعداد پرش (MHA) پیشنهاد شده است. در هر یک از ماهواره ها جدول هایی را می توان قرار داد که فاصله از بقیه ماهواره ها، ترافیک بین ماهواره ها و ... در آن ها موجود باشد. از طرف دیگر، فاصله ماهواره ها از هم و نیز ترافیک ماهواره ها دائماً در حال تغییر است. با توجه به این که در این مقاله ارتباط تمام ماهواره ها با هم در نظر گرفته شد، ماهواره ها می توانند به کمک این ارتباطات، اطلاعات جدید را به هم اطلاع دهند. برای مثال اگر ترافیک یک ماهواره زیاد شود آن ماهواره می تواند به ماهواره های اطراف اطلاع دهد که ترافیک زیاد شده