دومین کنفرانس ملی توسعه پژوهش های نوین در مهندسی برق و کامپیوتر
۸ و ۹ اسفند ۹۷
موسسه آموزش عالی وحدت، تربت جام، ایران
2nd National Conference of Innovative Research Developmentsin
Electrical and Computer Engineering
27 & 28 February 2019
Vahdat Higher Education Institute, Torbat-e Jam, Iran

ارتباط دوطرفه سیستم‌های انتقال توان بی‌سیم و اینترنت اشیاء

زهرا شریف‌خطیبی[۱]، بهنام درستکار[۲]
[۱]دانشگاه الزهرا، تهران، ایران ، zahra.shkh.75@gmail.com
[۲]دانشگاه علم و صنعت ، تهران، ایران، Behnamdorostkar@gmail.com

چکیده - با توجه به پیشرفت‌های اخیر در زمینه الکترونیک و افزایش روزافزون استفاده از تجهیزات الکترونیکی بواسطه شبکه های نسل پنجم(*5G*)، امکان شارژ این تجهیزات بدون اتصالات مکانیکی نظیر سیم، توجه بسیاری را به‌سمت خود جلب نموده‌است. سیستم‌های انتقال توان بی‌سیم (*Wireless Power Transfer (WPT*) به‌عنوان یک راه کار مناسب در این زمینه پیشنهاد شده‌است و می‌تواند در حوزه‌های مختلف پزشکی، مخابراتی و نظامی مورد استفاده قرار گیرد. اینترنت اشیاء (*Internet of Things (IoT*) به‌عنوان یکی از سرویس‌های تحول‌آفرین در این حوزه‌ها، نیازمند به استفاده از تکنولوژی *WPT*، به‌منظور کاهش تعداد کابل‌ها، کاهش آلودگی محیطی و افزایش میزان رضایت کاربران، می‌باشد. در این مقاله سعی بر آن است تا ضمن معرفی سیستم انتقال توان بی‌سیم و اینترنت اشیاء، مروری بر جدیدترین تحقیقات در حوزه استفاده از تجهیزات *WPT* با بستر اینترنت اشیاء و همچنین شارژ دستگاه‌های *IoT* با سیستم *WPT* انجام گردد. همچنین، اخیرا انتقال همزمان اطلاعات و توان بی‌سیم برای شبکه‌های حسگر اینترنت اشیاء، مورد توجه بسیاری از مهندسان قرار گرفته‌است.

کلید واژه- انتقال توان بی‌سیم، انتقال همزمان اطلاعات و توان بی‌سیم، اینترنت اشیاء

۱- مقدمه

با توجه به پیشرفت‌های اخیر در زمینه الکترونیک و افزایش روزافزون استفاده از تجهیزات الکترونیکی، اتصال سیمی این تجهیزات به منبع جهت تأمین توان مورد نیازشان مشکلات متعدد و فراوانی را دربردارد. از آنجا که، اکثر این وسایل الکترونیکی دارای باتری قابل‌شارژ هستند. شارژ این تجهیزات، راه‌حل مناسبی برای غلبه بر این مشکلات، به‌نظر می‌رسد. ولی در بسیاری از موارد از جمله سیستم‌های الکترونیکی غیر قابل دسترس، امکان شارژ به صورت ارتباط مکانیکی وجود ندارد. بنابراین شارژ این تجهیزات بدون استفاده از سیم، مسئله مهمی است که توجه بسیاری از محققان را به خود جلب نموده‌است. ازطرف‌دیگر، این روش انتقال توان بی‌سیم برای شارژ دستگاه‌های الکترونیکی می‌تواند به میزان قابل‌توجهی آلودگی آب‌های زیرزمینی، به‌واسطه باتری‌های مصرف‌شده، را کاهش دهد. استفاده دیگر از این سیستم، در حمل‌ونقل عمومی است که توان مشخصی را در عرض یک جاده برای شارژ باتری وسایل نقلیه الکترونیکی نظیر اتوبوس‌های الکترونیکی خودکار، قطارها و غیره عرضه می‌نماید. با پیدایش نسل چهارم و پنجم شبکه‌های مخابرات سلولی و به دنبال آن اینترنت اشیاء، نیاز است تا تجهیزات مدرن الکترونیکی مانند موبایل، ساعت، وسایل پوششی و غیره علاوه بر مداومت در کار با یکدیگر ارتباط داشته و از توان مستمر و کافی برخوردار باشند. در این راستا برای حذف کابل، سیستم انتقال توان بی‌سیم به شدت توصیه می‌گردد و در دهه آینده یکی از تجهیزات مورد استفاده تمامی کاربران خواهد شد.

دراین مقاله در قسمت دوم، سیستم انتقال‌دهنده توان بی‌سیم معرفی می‌گردد، اینترنت اشیاء به صورت خلاصه در قسمت سوم و همچنین مروری بر کارهای انجام شده در این حوزه‌ها در قسمت چهارم مورد بحث قرار می‌گیرد. نتیجه‌گیری در قسمت پنجم ارائه می‌گردد.

۲- انتقال توان بی‌سیم (Wireless Power Transfer)

WPT، انتقال انرژی الکتریکی از یک منبع برق با استفاده از میدان‌های الکترومغناطیسی، به یک جزء الکتریکی یا بخشی از یک مدار بدون استفاده از اتصالات سیمی است. سیستم WPT، شامل فرستنده، آنتن و گیرنده است. در فرستنده برای انتقال توان با راندمان بالا از تقویت‌کننده کلاس E استفاده می‌گردد. در گیرنده نیز از یکسوساز و رگولاتور استفاده می‌گردد. در قسمت آنتن، چندین تکنولوژی رایج برای انتقال توان بی‌سیم شامل تزویج القایی، تزویج القایی رزنانس، اتصال خازنی، امواج صوتی و امواج الکترومغناطیس وجود دارد[۱]. در این میان، انتقال توان بی‌سیم

Archive of SID
www.SID.ir

از طریق یک موج الکترومغناطیسی به دلیل قابلیت انتقال توان میدان‌دور (Far-field) آن، توجه زیادی را به خود جلب کرده است [۲]. امروزه، سیستم‌های WPT با توجه به ویژگی‌هایی نظیر اتصال گسترده‌تر، کارایی بالاتر، ایمنی بیشتر و انرژی پاک‌تر در کاربردهای متعددی نظیر پزشکی، مخابراتی و نظامی مطرح شده‌است [۳].

۳- اینترنت اشیاء (Internet of Things)

اینترنت اشیاء، مجموعه‌ای از فن‌آوری‌های مختلف است که به صورت شبکه با یکدیگر در ارتباط هستند. در واقع، IoT یک شبکه جهانی گسترده از اشیاء و انسان‌هاست که از طریق آدرس منحصربه‌فرد خود، قادر به تعامل و همکاری با یکدیگر برای رسیدن به هدفی مشترک هستند. به طورکلی می‌توان گفت IoT، شبکه‌ای از قطعات الکترونیکی، حسگرها و نرم‌افزارهایی است که با ردوبدل کردن داده با کاربر یا دستگاه‌های دیگر، قادر به ارائه خدمات هستند [۴].

در اصل، IoT از سه لایه تشکیل شده‌است. اولین لایه، لایه‌ی فیزیکی است که شامل برچسب‌های شناسایی فرکانس رادیویی (RFID) ، حسگرها و محرک‌هاست. لایه فیزیکی دستگاه IoT، داده‌ها را به‌وسیله‌ی حسگرها جمع‌آوری می‌کند. حسگرها تغییرات محیط را تشخیص می‌دهند و آن را به یک تکانه الکتریکی قابل تفسیر تبدیل می‌کنند[۵]. سیستم RFID و شبکه‌های حسگر بی‌سیم نیز، انتقال این اطلاعات را به دستگاه‌های دیگر و یا به ابر، از طریق راه‌اندازی میان‌افزارها (Middlewares) امکانپذیر می‌سازند. میان‌افزار، به‌عنوان یک پل نرم‌افزاری میان اشیاء و برنامه‌ها عمل می‌کند. به‌عبارت دیگر، میان‌افزار یک رابط برنامه کاربردی (API) را برای ارتباطات، مدیریت داده‌ها، محاسبات، امنیت و حریم خصوصی فراهم می‌کند. لایه دوم لایه شبکه است. این لایه، شامل شبکه‌های سلولی کوچک و شبکه‌های محلی (LAN) و همچنین شبکه ذخیره‌سازی محاسبات ابری عمیق‌تر است. لایه نهایی، لایه کاربردی است، که شامل برنامه‌ها یا فناوری ارتباطات دیجیتال است. این لایه در کنار لایه‌های دیگر، این دستگاه‌ها را قادر می‌سازد تا با محیط خود ارتباط برقرار کنند و با ماشین‌های دیگر و همچنین افراد صحبت کنند[۵].

۴- ارتباط اینترنت اشیاء با سیستم WPT

امروزه، سیستم‌های WPT با توجه به مزایای فراوان‌شان، توجه بسیاری را در کاربردهای صنعتی، پزشکی و نظامی مختلف به‌سمت خود جلب نموده‌اند. بنابراین، لازم است که کنترل‌کننده‌ای مناسب برای بررسی عملکرد و حفظ ثبات این سیستم‌ها طراحی شود. در این زمینه، IoT، زیرساخت بالقوه‌ای است که می‌تواند امکان اتصال گسترده، سنجش پیشرفته، پردازش اطلاعات و انعطاف‌پذیری را در این سیستم‌ها فراهم کند[۶]. درواقع، دستگاه‌های هوشمند IoT می‌توانند ارتباط دوطرفه‌ای را بین سیستم‌های WPT و مرکز کنترل برقرار کنند.

Rana و همکارانش، یک زیرساخت ارتباطی مبتنی بر IoT را برای سنجش، اجرا و نظارت بر برنامه‌های سیستم WPT پیشنهاد کرده‌اند[۷]. در این پژوهش، سیستم WPT که شامل مدارهای الکتریکی متعددی است، با یک معادله خطی حالت-فضا (State-space model) نشان داده شده‌است، که برای ارزیابی متغیرهای حالت WPT و طراحی کنترل‌کننده مفید است. الگوریتم‌های متعددی برای برآورد و تثبیت حالت سیستم WPT وجود دارد. در این پژوهش یک الگوریتم فیلتر کالمن توسعه‌یافته (Extended Kalman filter algorithm) برای برآورد حالت سیستم WPT پیشنهاد شده‌است.

برای طراحی چارچوب ارتباطی هوشمند مبتنی بر IoT، کوانتیزر (quantizer) یکنواخت و تکنیک‌های کلیدی انتقال فاز دوگانه (Binary phase shift keying techniques) استفاده شده‌است. در این سیستم، به‌منظور سنجش و نظارت بر سیستم‌های فیزیکی، عملگرهای سیستم یک مجموعه از حسگرها را برای اندازه‌گیری مستقر نموده‌اند. برای تسهیل این زیرساخت‌ها، اطلاعات حسی در ایستگاه پایه کوانتیزه می‌شوند تا اطلاعات کمی بدست آید. در مرحله بعد، اطلاعات کمی با استفاده از روش کدسازی با تغییر فاز دوتایی، برای بدست آوردن سیگنال تعدیل می‌شود. سیگنال تعدیل‌شده از طریق کانال انتقال داده می‌شود. سپس سیگنال دریافتی فرآیندهای پیاده‌سازی و دکوانتیزاسیون را دنبال می‌کند؛ در نهایت برای هدف تخمین حالت استفاده می‌شود. بر اساس این زیرساخت، در این پژوهش، برآورد حالت مبتنی بر KF و کنترل‌کننده بازخورد بهینه (Optimal feedback controller) طراحی شده‌است. نتایج شبیه‌سازی انجام شده در این پژوهش نشان داده است که این مدل توانایی برآورد حالت سیستم

Archive of SID
www.SID.ir

و تثبیت آن را داراست[۷].

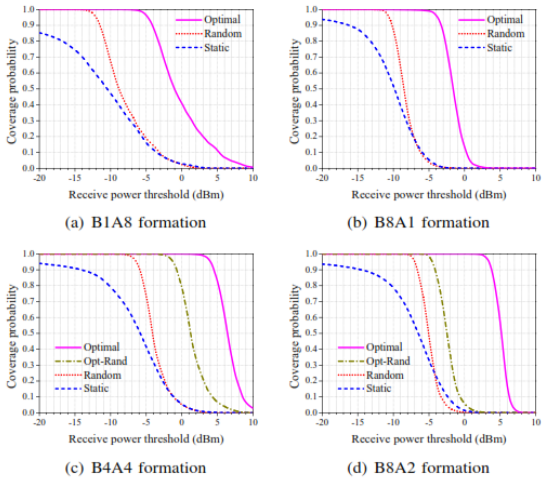
از طرف دیگر، امروزه IoT به یک الگوی ارتباطی درحال‌ظهور تبدیل شده‌است، که اتصال بین اشیاء را از طریق اینترنت امکان‌پذیر می‌سازد. ازاین‌رو در برنامه‌های کاربردی جدید از اتوماسیون خانگی گرفته تا محیط هوشمند و مراقبت از راه دور مطرح شده‌است. یکی از مسائل کاربردی مهم در ارتباط با دستگاه‌های IoT ، عرضه توان کامل و مستمر به این دستگاه‌ها است.

اخیرا، انتقال‌توان بی‌سیم از طریق یک موج الکترومغناطیسی (EM) ، به دلیل قابلیت انتقال‌توان میدان‌دور آن، توجه بسیاری را به خود جلب کرده‌است [۲]. با این حال، انتقال توان بی‌سیم از طریق موج الکترومغناطیسی EM از کارایی انتقال‌توان پائینی برخوردار است. یک راه حل مناسب برای غلبه بر این مشکل، استفاده از سیستم آنتن توزیع‌شده، است [۷].

سیستم انتقال توان بی‌سیم توزیع‌شده به عنوان وسیله‌ای برای غلبه بر مسئله کارایی انتقال‌توان پائین امواج الکترومغناطیسی پیشنهاد شده و در این زمینه، طرح‌های مختلف شکل‌دهی پرتو (Beam forming) شامل شکل‌دهی پرتو بهینه (Optimal) ، ایستا (Static) و تصادفی(Random) مطرح شده‌است. شکل‌دهی پرتو به‌صورت بهینه توزیع‌شده برای به حداکثر رساندن کارایی انتقال توان بسیار مهم است. درواقع، شکل‌دهی پرتو به‌صورت بهینه توزیع‌شده موجب می‌شود امواج الکترومغناطیسی صادره از همه‌ی آنتن‌ها به صورت سازنده در گیرنده ترکیب شوند، به طوری که قدرت دریافت حداکثر شود. ولی لازمه شکل‌دهی پرتو به‌صورت بهینه توزیع‌شده، هماهنگ‌سازی فرکانس و فاز است.

معماری بالقوه‌ای برای سیستم انتقال توان بی‌سیم توزیع‌شده در مرجع [۸] پیشنهاد شده‌است و همچنین مشکلات هماهنگ‌سازی فاز و فرکانس که ممکن است در این نوع معماری توزیع‌شده بوجود آید، بررسی شده‌است. یک بستر آزمایشی واقعی برای انتقال توان بی‌سیم توزیع‌شده ساخته‌شده‌است. برای پیاده‌سازی بیکن توان چندآنتنه، یک صفحه آرایه آنتنی فازی با ۱۶ مسیر انتقال طراحی و ساخته شده‌است که هر کدام شامل یک انتقال‌دهنده فاز، یک تضعیف‌کننده متغیر و یک تقویت‌کننده، هستند. در این مدل سیستم پیشنهادی، یک دستگاه IoT با یک آنتن واحد برای دریافت توان RF از بیکن‌های توان، مجهز شده‌است. این دستگاه IoT کم‌توان، شامل یکسوکننده، ذخیره‌کننده انرژی، تنظیم‌کننده ولتاژ، واحد میکروکنترلر (MCU) و فرستنده RF است. در این پژوهش، آزمایش‌های گسترده‌ای برای نشان دادن توان دریافتی (Receive power) در سراسر فضای بستر آزمایشی و احتمالات پوشش (Coverage probability) انجام شده‌است.

نتایج این پژوهش در شکل ۱ آمده است، استفاده از بیکن‌های متعدد تک‌آنتنه (تشکل B8A1) سبب می‌شود، که تنها دستگاه‌های IoT که در نزدیکی بیکن‌توان قرار دارند، از توان دریافت بالایی برخوردار باشند. درحالی‌که توان دریافت با دورشدن دستگاه IoT از بیکن توان به‌شدت کاهش می‌یابد. بنابراین، استفاده از بیکن‌های تک‌آنتنه، توان موردنظر را در کل منطقه هدف، تأمین نمی‌کند. در حالت‌دیگر، اگر از یک بیکن‌توان با آنتن‌های متعدد (تشکل B1A8) استفاده گردد، توان دریافتی به طور مساوی در کل مساحت مورد آزمایش توزیع می‌گردد. بنابراین انتظار می‌رود که این معماری سودمندتر از معماری قبل، از نقطه نظر احتمال پوشش، باشد. در نهایت در این پژوهش از تشکلات خاصی شامل چندین بیکن با آنتن‌های متعدد (تشکل‌های B4A4 و B8A2) استفاده شده‌است و نتایج بررسی نشان داده‌است که شکل‌دهی پرتو بهینه در این تشکل‌ها قادر است کل منطقه مورد نظر را با توان دریافت بسیار بالا پوشش دهد.



شکل ۱: نتایج تجربی احتمال پوشش تشکل‌های مختلف بیکن در طرح‌های مختلف شکل‌دهی پرتو (بهینه، ایستا و تصادفی) در سیستم انتقال توان بی‌سیم توزیع‌شده [۸]

Archive of SID
www.SID.ir

همانطور که قبلا نیز اشاره شد، یکی از مسائل کاربردی مهم در ارتباط با IoT، عرضه توان کامل و مستمر به این دستگاه‌ها می‌باشد. اخیرا، مصرف انرژی فرکانس رادیویی RF، الزام تعویض باتری در این دستگاه‌ها را مرتفع کرده و عمر مفید دستگاه‌های IoT را افزایش داده است. از طرف دیگر، برداشت انرژی از یک منبع RF مصنوعی (تولیدشده توسط انسان) در مقایسه با منابع انرژی دیگر مانند خورشید، باد، زمین گرمایی، و غیره، قابل کنترل‌تر و قابل اعتمادتر است. علاوه‌براین، با استفاده از تکنیک شکل‌دهی پرتو می‌توان تابش RF را از یک منبع به هر گیرنده‌ای و در هر جهتی انتقال داد [۹ و ۱۰].

از طرف دیگر، با توجه به قابلیت‌های امواج RF، انتقال همزمان اطلاعات و توان بی‌سیم بوسیله این امواج (Simultaneous wireless information and power transfer) برای شبکه‌های مختلف، به طور گسترده‌ای مورد مطالعه قرار گرفته‌است [۱۱].

انتقال همزمان اطلاعات و توان بی‌سیم (SWIPT) برای شبکه‌های حسگر IoT در مرجع [۱۲] بررسی شده است. در این طرح، سیستم SWIPT برای شبکه های حسگر IoT ، شامل جفت فرستنده و گیرنده K ارائه شده‌است. این سیستم شامل کانال تداخل K-user و تقسیم کننده توان است. این گیرنده‌ها طوری طراحی شده‌اندکه ابتدا سیگنال دریافت شده را با استفاده از تقسیم کننده توان به دو قسمت تقسیم می‌کنند و سپس یک قسمت برای انتقال اطلاعات و بخش دیگر برای برداشت انرژی استفاده می‌شود. از سوی دیگر، برای مدیریت تداخل کارآمد (Efficient interference management) ، مجوز رمزگشایی پیام سایرکاربران، به گیرنده‌ها داده شده‌است.

علاوه‌براین، شکل‌دهی پرتو ترکیبی در فرستنده‌های سیستم SWIPT طراحی شده‌است. فرستنده‌های شکل‌دهی پرتو ترکیبی با داشتن تعداد کمتری از زنجیرهای RF، باعث کاهش پیچیدگی و هزینه دستگاه برای پردازش باند پایه می‌شوند. بنابراین، شکل‌دهی پرتو ترکیبی یک رویکرد کاربردی برای پیاده‌سازی فرستنده‌های با آنتن‌های متعدد است که موجب افزایش میزان ارتباطات و انتقال توان می‌گردد. ولی مسئله قابل توجه این است که در شکل‌دهی پرتو ترکیبی، بهینه‌سازی بردارهای شکل‌دهی پرتو آنالوگ نیاز است که مسئله بهینه‌سازی را پیچیده می‌کند. در این پژوهش، طرح SWIPT دومرحله‌ای قابل‌ردیابی جدید پیشنهاد شده‌است که ابتدا پیکربندی پیام (Message configuration) را تعیین می‌کنند و سپس بردارهای شکل‌دهی پرتو را پیدا می‌کنند. به طور خاص، در این مقاله، الگوریتم‌هایی با پیچیدگی کمتر برای رمزگشایی تداخل، ارائه شده‌است که عملکرد کاملی را برای یافتن راه‌حل مناسب فراهم می‌کنند. نتایج این پژوهش [۱۲]، نشان داده است که شکل‌دهی پرتو ترکیبی، با افزایش تعداد عناصر آنتن، می‌تواند سبب افزایش عملکرد سیستم SWIPT شود. علاوه‌براین، بهره عملکرد نیز در صورتی که رمزگشایی تداخل و شکل‌دهی پرتو ترکیبی به طور مشترک اعمال شوند، افزایش می‌یابد.

به تازگی نیز، فناوری انتقال توان بی‌سیم متحرک یا موبایل (Mobile charging) ، توجه زیادی را برای شارژ دستگاه‌های IoT باتری‌دار به سمت خود جلب کرده‌است. انتقال توان بی‌سیم براساس فرکانس رادیویی (RF) با شارژر متحرک (MC) در مرجع[۱۳] بررسی شده‌است، شارژرهای متحرک بر روی شبکه‌های IoT به‌عنوان اهداف سیار عمل می‌کنند و انرژی را برای دستگاه‌های IoT باتری‌دار فراهم می‌نمایند.

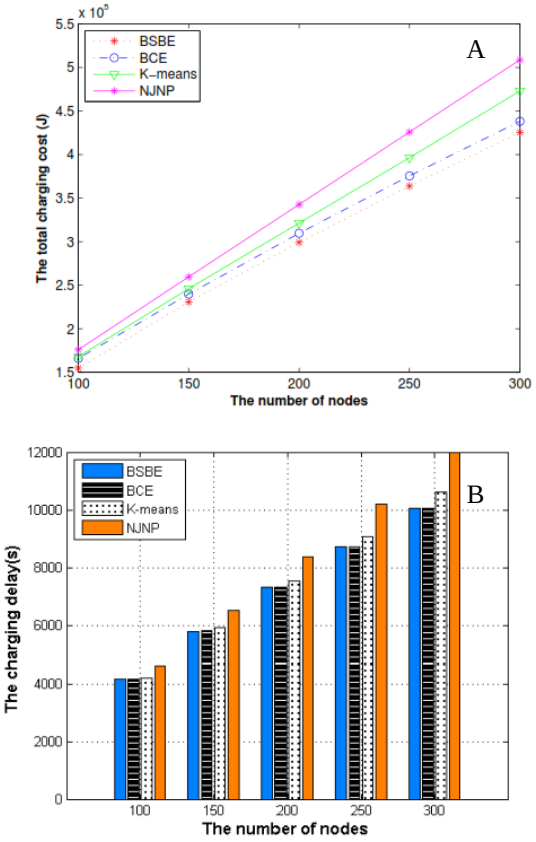
اخیرا مطالعات متعددی تلاش کرده‌اند که شارژرهای متحرک را باتوجه به محدودیت‌های باتری و کارایی شارژ چندگانه [۱۴ و۱۵]، برنامه‌ریزی کنند. بااین‌حال، در تمام این طرح‌ها، نقاط شارژ از پیش‌تعیین‌شده مورد استفاده قرار می‌گیرند. بنابراین، شارژرهای متحرک، مسیر بهینه را براساس این نقاط از پیش‌تعیین‌شده، مشخص می‌نمایند. برای غلبه بر این مسئله، و ازآنجاکه مشخص‌کردن نقاط شارژ در پیشروی کار ساده‌ای نیست، طرحی ارایه شد، بدین صورت که نقطه شارژ از پیش‌تعیین‌شده وجود ندارد. درعوض، خوشه‌بندی برای انتخاب یک نقطه شارژ کارآمد، برای هر دستگاه IoT، با استفاده از الگوریتم Welzl انجام شده‌است. یک شبیه‌ساز شارژر متحرک به نام MCSim در این مقاله اجرا شده‌است. همچنین، دو الگوریتم طراحی مسیر حرکت چندشارژی،(BCE) Best Charging Efficiency و (BSBE) Branching Second Best Efficiency پیشنهاد شده‌است. نتایج ارزیابی الگوریتم‌های پیشنهادی این پژوهش (BCE و BSBE) با دیگر الگوریتم‌های موجود (NJNP و K-means) نشان داده‌است که، الگوریتم‌های پیشنهادی از هزینه شارژ (Charging cost) و تأخیر شارژ (Charging delay) کمتری برخوردار هستند که در شکل ۲ قابل مشاهده است [۱۳].

Archive of SID
www.SID.ir

توزیع‌شده، گام مؤثری در توزیع کارآمد توان در این زمینه می‌باشد. به‌تازگی نیز، فناوری انتقال توان بی‌سیم متحرک یا موبایل، توجه زیادی را برای شارژ دستگاه‌های IoT باتری‌دار به سمت خود جلب کرده است. علاوه‌براین، در تمام این مطالعات بحث اصلی برروی آنتن‌های فرستنده می‌باشد. بنابراین، بررسی وجود چندین آنتن در سمت گیرنده و تأثیر آن بر کارایی انتقال توان موضوع قابل تأملی به‌نظر می‌رسد.

۶- مراجع

[1] N. Shinohara, Wireless Power Transfer via Radiowaves. Wiley, New Jersey, 2014.
[2] Y. Zeng, B. Clerckx, and R. Zhang, “Communications and signals design for wireless power transmission,” IEEE Trans. Commun. Vol. 65, No.5, pp. 2264–2290, 2017.
[3] L. Roselli, N. B. Carvalho, F. Alimenti, P. Mezzanotte, G. Orecchini, M. Virili, C. Mariotti, R. Goncalves, and P. Pinho, “Smart surfaces: Large area electronics systems for internet of things enabled by energy harvesting,” Proceedings of the IEEE. Vol. 102, No. 11, pp.1723–1746, 2014.
[4] O. Vermesan, P. Friess and P. Guillemin. “Internet of things strategic research roadmap in Internet of Things,” Global Technological and Societal Trends. Vol.1, pp. 9–52, 2011.
[5] L. Atzori, A. Iera and G. Morabito. “The Internet of Things: A survey,” Computer Networks, Vol. 54, pp. 2787-2805, 2010.
[6] J. Lin, W. Yu, N. Zhang, X. Yang, H. Zhang, and W. Zhao. “A survey on internet of things: Architecture, enabling technologies, security and privacy, and applications,” IEEE Internet of Things Journal, Vol. 4, No. 5, pp. 1125-1142, 2017.
[7] Md M. Rana, Wei Xiang, Eric Wang and Bong Jun Choi, “The Internet of Things Infrastructure for Wireless Power Transfer Systems,” IEEE Translations and content mining. Vol. 6, pp. 19295-19303, 2018.
[8] Kae Won Choi, Arif Abdul Aziz, Dedi Setiawan, Nguyen Minh Tran, Lorenz Ginting, Dong In Kim, “Distributed Wireless Power Transfer System for Internet of Things Devices,” IEEE Internet of Things Journal, Vol. 5, No. 4, pp. 2657-2671, 2018.
[9] R. J. M. Vullers, R. V. Schaijk, I. Doms, C. V. Hoof, and R. Merterns, “Micropower energy harvesting,”Solid-State Electron, Vol. 53, No. 7, pp. 684–693, 2009.
[10] T. Le, K. Mayaram, and T. Fiez, “Efficient far-field radio frequency energy harvesting for passively powered sensor networks,” IEEE J.Solid-State Circuits, Vol. 43, pp. 1287–1302, 2008.
[11] L. R. Varshney, “Transporting information and energy simultaneously,” Proc. IEEE Int. Symp. Inf. Theory (ISIT), Toronto, Canada, pp. 1612-1616, 2008.
[12] Sung Ho Chae, Cheol Jeong and Sung Hoon Lim, “Simultaneous Wireless Information and Power Transfer for Internet of Things Sensor Networks,” IEEE Internet of Things Journal, Vol. 5, No. 4, pp. 2829-2843, 2018.
[13] Woongsoo Na, Junho Park, Cheol Lee, Kyoungjun Park, Joongheon Kim, and Sungrae Cho “Energy-Efficient Mobile Charging for Wireless Power Transfer in Internet of Things Networks ,” IEEE Internet of Things Journal, Vol.5, pp. 79-92. 2017.
[14] L. Xie, Y. Shi, Y.T. Hou, W. Lou, H.D. Sherali, H. Zhou, and S.F. Midkiff, “A mobile platform for wireless charging and data collection in sensor networks,” IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 33, No. 8, pp. 1521-1533, 2015.
[15] L. Fu, P. Cheng, Y. Gu, J. Chen, and T. He, “Optimal charging in wireless rechargeable sensor networks,” IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 65, No.1, pp.278-291, 2016.



شکل۲: مقایسه هزینه شارژ (A) و تأخیر شارژ (B) الگوریتم‌های پیشنهادی (BCE و BSBE) با الگوریتم‌های K-means و NJNP در شبکه‌های IoT [13]

۵- نتیجه‌گیری

باتوجه‌به کاربرد روزافزون دستگاه‌های IoT در زمینه‌های مختلف، انتقال مؤثر توان جهت شارژ این تجهیزات، مسئله‌ی بسیار مهمی است. به‌نظر می‌رسد که انتقال توان بی‌سیم راه‌حل مناسبی در این زمینه باشد. مطالعات انجام‌شده نشان داده‌اند که سیستم انتقال‌توان بی‌سیم توزیع‌شده همراه با تکنیک شکل‌دهی پرتو، مدل مناسبی است که قادر به پوشش‌دهی کل منطقه مورد نظر با قدرت دریافت توان بسیار بالاست. همچنین در زمینه انتقال همزمان اطلاعات و توان بی‌سیم بوسیله امواج RF، مشاهده شده‌است که شکل‌دهی پرتو ترکیبی، با افزایش تعداد عناصر آنتن، می‌تواند سبب افزایش عملکرد این سیستم‌ها شود. بنابراین تکنیک شکل‌دهی پرتو، مسئله‌ی مهمی در توزیع توان جهت شارژ دستگاه‌های IoT است. درواقع، شکل‌دهی پرتو به‌صورت بهینه

www.SID.ir