



ارتباط دوطرفه سیستم‌های انتقال توان بی‌سیم و اینترنت اشیا

زهرا شریف‌خطیبی^{۱*}، بهنام درستکار^۲

دانشکده علوم و فناوری‌های نوین، دانشگاه الزهرا، تهران^۱

دانشکده برق، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران^۲

چکیده

با توجه به پیشرفت‌های اخیر در زمینه الکترونیک و افزایش روزافزون استفاده از تجهیزات الکترونیکی به واسطه شبکه‌های نسل پنجم (5G)، امکان شارژ این تجهیزات بدون اتصالات مکانیکی نظیر سیم، توجه بسیاری را به سمت خود جلب نموده است. سیستم‌های انتقال توان بی‌سیم (WPT) به‌عنوان یک راه کار مناسب در این زمینه پیشنهاد شده است و می‌تواند در حوزه‌های مختلف پزشکی، مخابراتی و نظامی مورد استفاده قرار گیرد. اینترنت اشیا (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 اشیا، مروری بر جدیدترین تحقیقات در حوزه استفاده از تجهیزات WPT با زیرساخت اینترنت اشیا و همچنین شارژ دستگاه‌های IoT با سیستم WPT انجام گردد. همچنین، اخیراً انتقال همزمان اطلاعات و توان بی‌سیم برای شبکه‌های حسگر اینترنت اشیا، مورد توجه بسیاری از مهندسان قرار گرفته است.

کلمات کلیدی: انتقال توان بی‌سیم، انتقال همزمان اطلاعات و توان بی‌سیم، اینترنت اشیا



تاریخچه مقاله:

تاریخ ارسال: ۹۷/۱۲/۲۰

تاریخ اصلاحات: ۹۸/۳/۲۰

تاریخ پذیرش: ۹۸/۴/۲۵

تاریخ انتشار: ۹۸/۵/۱۵

Keywords:

Wireless power transfer
Internet of things

Two Way Communication of Wireless Power Transmission Systems and Internet of Things

Zahra Sharif-Khatibi^{*1}, Behnam Dorostkar²

¹Alzahra University, Tehran, Iran

²University of Science and Technology, Tehran, Iran

Abstract

Regarding the recent developments in electronics and increasing use of electronic equipment by fifth generation (5G) networks, the possibility of charging these equipment without mechanical connections such as wire, has attracted much attention. Wireless Power Transmission (WPT) Systems are proposed as a proper way in this regard and can be used in various medical, telecommunication and military fields. The internet of things (IoT), as one of the transformational services in these fields, requires the use of WPT technology to reduce the number of cables, reduce environmental pollution and increase user satisfaction. In this paper, it is attempting to introduce a wireless power transfer system and Internet of Things, and review the latest research on the use of WPT equipment with Internet of Things infrastructure, as well as the charging of IoT devices with the WPT system. Recently, the Simultaneous Wireless Information and Power Transfer (SWIPT) for internet of things sensor networks, have been considered by many engineers.



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 قابل شارژ 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. از طرف دیگر، 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 اشیا، 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.

در این مقاله در قسمت دوم، سیستم انتقال‌دهنده توان بی‌سیم معرفی می‌گردد، اینترنت اشیا 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

انتقال توان بی‌سیم^۱، 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 از طریق یک موج الکترومغناطیسی به دلیل قابلیت انتقال توان میدان‌دور^۲ 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).

² Far-field

¹ Wireless Power Transfer



۳- اینترنت اشیا

اینترنت اشیا^۳، مجموعه‌ای از فن‌آوری‌های مختلف است که به صورت شبکه با یکدیگر در ارتباط هستند. در واقع، IoT یک شبکه جهانی گسترده از اشیا و انسان‌هاست که از طریق آدرس منحصر به فرد خود، قادر به تعامل و همکاری با یکدیگر برای رسیدن به هدفی مشترک هستند. به طور کلی 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 شده است. اولین لایه، لایه فیزیکی است که شامل برچسب‌های شناسایی فرکانس رادیویی^۴ (RFID)، حسگرها و محرک‌هاست. لایه فیزیکی دستگاه IoT، داده‌ها را به وسیله 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^۵ امکان‌پذیر می‌سازند. میان‌افزار، به‌عنوان یک پل نرم‌افزاری میان اشیا و برنامه‌ها عمل می‌کند. به عبارت دیگر، میان‌افزار یک رابط برنامه کاربردی^۶ (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^۷ (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 اشیا با سیستم WPT

امروزه، سیستم‌های WPT با توجه به مزایای فراوان‌شان، توجه بسیاری را در کاربردهای صنعتی، پزشکی و نظامی مختلف به سمت 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). در واقع، دستگاه‌های هوشمند IoT می‌توانند ارتباط دوطرفه‌ای را بین سیستم‌های WPT و مرکز کنترل برقرار کنند.

در پژوهشی (۷)، یک زیرساخت ارتباطی مبتنی بر IoT برای سنجش، اجرا و نظارت بر برنامه‌های سیستم WPT پیشنهاد شده است. در این پژوهش، سیستم WPT که شامل مدارهای الکتریکی متعددی است، با یک معادله خطی حالت-فضا^۸ نشان داده شده است، که برای ارزیابی متغیرهای حالت WPT و طراحی کنترل‌کننده مفید است. الگوریتم‌های متعددی برای برآورد و تثبیت حالت سیستم WPT وجود دارد. در

⁶ Application Programming Interface

⁷ Local area network

⁸ State-space model

³ Internet of Things

⁴ Radio Frequency Identification

⁵ Middle wares



این پژوهش یک الگوریتم فیلتر کالمن توسعه‌یافته^۹ برای برآورد حالت سیستم WPT پیشنهاد شده است. برای طراحی چارچوب ارتباطی هوشمند مبتنی بر IoT، کوانتیزر^{۱۰} یکنواخت و تکنیک‌های کلیدی انتقال فاز دوگانه^{۱۱} استفاده شده است. 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^{۱۲} طراحی شده است. نتایج شبیه‌سازی انجام شده در این پژوهش نشان داده است که این مدل توانایی برآورد حالت سیستم و تثبیت آن را داراست (۷).

این پژوهش یک الگوریتم فیلتر کالمن توسعه‌یافته^۹ برای برآورد حالت سیستم WPT پیشنهاد شده است. برای طراحی چارچوب ارتباطی هوشمند مبتنی بر IoT، کوانتیزر^{۱۰} یکنواخت و تکنیک‌های کلیدی انتقال فاز دوگانه^{۱۱} استفاده شده است. 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^{۱۲} طراحی شده است. نتایج شبیه‌سازی انجام شده در این پژوهش نشان داده است که این مدل توانایی برآورد حالت سیستم و تثبیت آن را داراست (۷).

سیستم انتقال توان بی‌سیم توزیع‌شده به عنوان وسیله‌ای برای غلبه بر مسئله کارایی انتقال توان پائین امواج الکترومغناطیسی پیشنهاد شده و در این زمینه، طرح‌های مختلف شکل‌دهی پرتو^{۱۳} شامل شکل‌دهی پرتو بهینه^{۱۴}، ایستا^{۱۵} و تصادفی^{۱۶} مطرح شده است. شکل‌دهی پرتو به صورت بهینه توزیع‌شده برای به حداکثر رساندن کارایی انتقال توان بسیار مهم است. در واقع، شکل‌دهی پرتو به صورت 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 به صورت بهینه توزیع‌شده، هماهنگ‌سازی فرکانس و فاز است.

از طرف دیگر، امروزه IoT به یک الگوی ارتباطی در حال ظهور تبدیل شده است، که اتصال بین اشیاء را از طریق اینترنت امکان‌پذیر می‌سازد. از این رو در برنامه‌های کاربردی جدید از اتوماسیون خانگی گرفته تا محیط هوشمند و مراقبت از راه دور مطرح شده است. یکی از مسائل کاربردی مهم در ارتباط با دستگاه‌های

از طرف دیگر، امروزه IoT به یک الگوی ارتباطی در حال ظهور تبدیل شده است، که اتصال بین اشیاء را از طریق اینترنت امکان‌پذیر می‌سازد. از این رو در برنامه‌های کاربردی جدید از اتوماسیون خانگی گرفته تا محیط هوشمند و مراقبت از راه دور مطرح شده است. یکی از مسائل کاربردی مهم در ارتباط با دستگاه‌های

¹³ Beam forming

¹⁴ Optimal

¹⁵ Static

¹⁶ Random

⁹ Extended Kalman filter algorithm

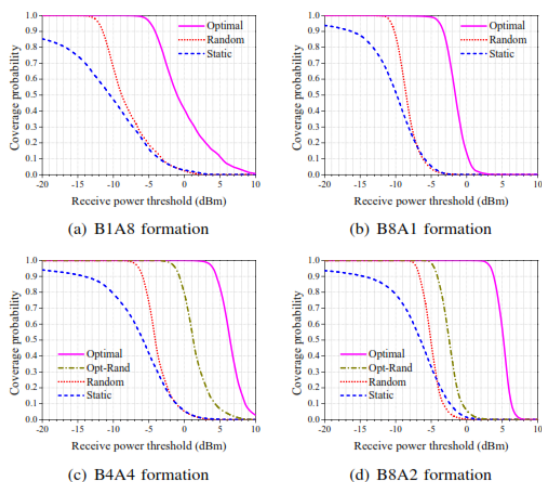
¹⁰ Quantizer

¹¹ Binary phase shift keying techniques

¹² Optimal feedback controller



پرتو بهینه در این تشکلهای 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 توزیع شده

همانطور که قبلاً نیز اشاره شد، یکی از مسائل کاربردی مهم در ارتباط با IoT، عرضه توان کامل و مستمر به این دستگاه‌ها می‌باشد. اخیراً، 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. علاوه بر این، با استفاده از تکنیک شکل‌دهی پرتو می‌توان تابش RF را از یک منبع به هر گیرنده‌ای و در هر جهتی انتقال داد (۹، ۱۰).

بیکن توان چندآنتنه، یک صفحه آرایه آنتنی فازی با ۱۶ مسیر انتقال طراحی و ساخته شده است 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 شده است. این دستگاه IoT کم‌توان، شامل یکسوکننده، ذخیره‌کننده انرژی، تنظیم‌کننده ولتاژ، واحد میکروکنترلر^{۱۷} (MCU) و فرستنده RF^{۱۸} است. در این پژوهش، آزمایش‌های گسترده‌ای برای نشان دادن توان دریافتی^{۱۹} در سراسر فضای بستر آزمایشی و احتمالات پوشش^{۲۰} انجام شده است.

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 دور شدن دستگاه IoT از بیکن‌توان به شدت کاهش می‌یابد. بنابراین، استفاده از بیکن‌های تک‌آنتنه، توان موردنظر را در کل منطقه هدف، تأمین نمی‌کند. در حالت دیگر، 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^{۲۱} خاصی شامل چندین بیکن با آنتن‌های متعدد (تشکل‌های B8A2 و B4A4) استفاده شده است و نتایج بررسی نشان داده است که شکل‌دهی

²⁰ Coverage probability

²¹ Formation

¹⁷ Microcontroller unit

¹⁸ Radio frequency

¹⁹ Receive power



که مسئله بهینه‌سازی را پیچیده می‌کند. در این پژوهش، طرح SWIPT دومارحله‌ای قابل‌ردیابی جدید پیشنهاد شده است که ابتدا پیکربندی پیام^{۲۴} 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 شده است 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. علاوه بر این، 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^{۲۵}، توجه زیادی را برای شارژ دستگاه‌های IoT باتری‌دار به سمت خود جلب کرده است. انتقال توان بی‌سیم براساس فرکانس رادیویی (RF) با شارژر متحرک (MC) در مرجع (۱۳) بررسی شده است، 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 با توجه به محدودیت‌های باتری و کارایی شارژ چندگانه (۱۴، ۱۵)، برنامه‌ریزی کنند. با این حال، در تمام این طرح‌ها، نقاط شارژ از پیش تعیین شده مورد استفاده قرار می‌گیرند. بنابراین، شارژرهای متحرک، مسیر بهینه را براساس این نقاط از

از طرف دیگر، با توجه به قابلیت‌های امواج RF، انتقال همزمان اطلاعات و توان بی‌سیم^{۲۲} بوسیله این امواج برای شبکه‌های مختلف، به طور گسترده‌ای مورد مطالعه قرار گرفته است (۱۱).

انتقال همزمان اطلاعات و توان بی‌سیم (SWIPT) برای شبکه‌های حسگر IoT در مرجع (۱۲) بررسی شده است. در این طرح، سیستم SWIPT برای شبکه‌های حسگر IoT، شامل جفت فرستنده و گیرنده K ارائه شده است. این سیستم شامل کانال تداخل K-user و تقسیم‌کننده توان است. این گیرنده‌ها طوری طراحی شده‌اند که ابتدا سیگنال دریافت شده را با استفاده از تقسیم‌کننده 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^{۲۳}، مجوز رمزگشایی پیام سایر کاربران، به گیرنده‌ها داده شده است.

علاوه بر این، شکل‌دهی پرتو ترکیبی در فرستنده‌های سیستم SWIPT طراحی شده است. 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

²⁴ Message configuration

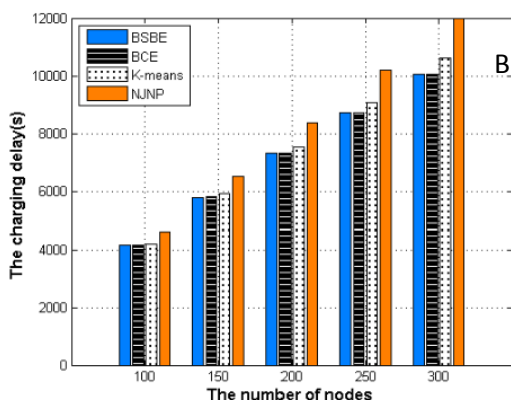
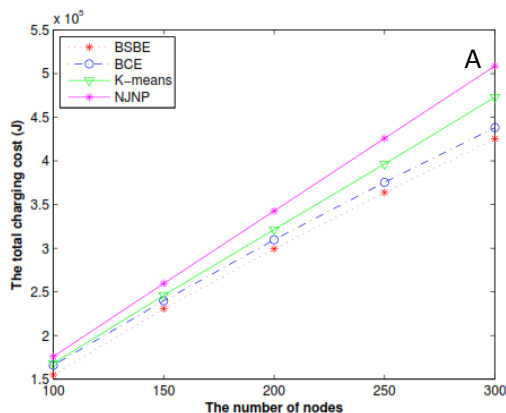
²⁵ Mobile charging

²² Simultaneous wireless information and power transfer

²³ Efficient interference management



شکل‌دهی پرتو ترکیبی، با افزایش تعداد عناصر آنتن، می‌تواند سبب افزایش عملکرد این سیستم‌ها شود.



(شکل-۳): مقایسه هزینه شارژ (A) و تأخیر شارژ (B) الگوریتم‌های پیشنهادی BSBE و BCE با الگوریتم‌های K-means و NJNP در شبکه‌های IoT

بنابراین تکنیک شکل‌دهی پرتو، مسئله‌ی مهمی در توزیع توان جهت شارژ دستگاه‌های IoT است. در واقع، شکل‌دهی پرتو به صورت بهینه توزیع شده، گام مؤثری در توزیع کارآمد توان در این زمینه می‌باشد. به تازگی نیز، فناوری انتقال توان بی‌سیم متحرک یا موبایل، توجه زیادی را برای شارژ دستگاه‌های IoT باتری‌دار به سمت خود جلب کرده است. علاوه بر این، در تمام این مطالعات بحث اصلی بر روی آنتن‌های فرستنده می‌باشد. بنابراین،

پیش‌تعیین‌شده، مشخص می‌نمایند. برای غلبه بر این مسئله، و از آنجاکه مشخص کردن نقاط شارژ در پیشروی کار ساده‌ای نیست، طرحی ارائه شد، بدین صورت که نقطه شارژ از پیش‌تعیین‌شده وجود ندارد. در عوض، خوشه‌بندی برای انتخاب یک نقطه شارژ کارآمد، برای هر دستگاه IoT، با استفاده از الگوریتم Welzl انجام شده است. یک شبیه‌ساز شارژ متحرک به نام MCSim در این مقاله اجرا شده است. همچنین، دو الگوریتم طراحی مسیر حرکت چند شارژی BCE^{۲۶} و BSBE^{۲۷} پیشنهاد شده است. نتایج ارزیابی الگوریتم‌های پیشنهادی این پژوهش (BCE و BSBE) با دیگر الگوریتم‌های موجود (K-means و NJNP) نشان داده است که، الگوریتم‌های پیشنهادی از هزینه شارژ^{۲۸} و تأخیر شارژ^{۲۹} کمتری برخوردار هستند که در شکل ۲ قابل مشاهده است (۱۳).

۵- نتیجه‌گیری و پژوهش‌های آتی

باتوجه به کاربرد روزافزون دستگاه‌های IoT در زمینه‌های مختلف، انتقال مؤثر توان جهت شارژ این تجهیزات، مسئله‌ی بسیار مهمی است. به نظر می‌رسد که انتقال توان بی‌سیم راه‌حل مناسبی در این زمینه باشد. مطالعات انجام‌شده نشان داده‌اند که سیستم انتقال توان 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 شده است که

²⁸ Charging cost

²⁹ Charging delay

²⁶ Best Charging Efficiency

²⁷ Branching Second Best Efficiency



- [8] Choi, Kae Won, Arif Abdul Aziz, Dedi Setiawan, Nguyen Minh Tran, Lorenz Ginting, and Dong In Kim. "Distributed wireless power transfer system for Internet of Things devices." *IEEE Internet of Things Journal* 5, no. 4 (2018): 2657-2671.
- [9] Vullers, R. J. M., Rob van Schaijk, Inge Doms, Chris Van Hoof, and R. Mertens. "Micropower energy harvesting." *Solid-State Electronics* 53, no. 7 (2009): 684-693.
- [10] Le, Triet, Karti Mayaram, and Terri Fiez. "Efficient far-field radio frequency energy harvesting for passively powered sensor networks." *IEEE Journal of solid-state circuits* 43, no. 5 (2008): 1287-1302.
- [11] Varshney, Lav R. "Transporting information and energy simultaneously." In *2008 IEEE International Symposium on Information Theory*, pp. 1612-1616. IEEE, 2008.
- [12] Chae, Sung Ho, Cheol Jeong, and Sung Hoon Lim. "Simultaneous wireless information and power transfer for Internet of Things sensor networks." *IEEE Internet of Things Journal* 5, no. 4 (2018): 2829-2843.
- [13] Na, Woongsoo, 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* 5, no. 1 (2017): 79-92.
- [14] Xie, Liguang, Yi Shi, Y. Thomas Hou, Wenjing Lou, Hanif D. Sherali, Huaibei Zhou, and Scott F. Midkiff. "A mobile platform for wireless charging and data collection in sensor networks." *IEEE Journal on Selected Areas in Communications* 33, no. 8 (2015): 1521-1533.
- [15] Fu, Lingkun, Peng Cheng, Yu Gu, Jiming Chen, and Tian He. "Optimal charging in wireless rechargeable sensor networks." *IEEE Transactions on*
- بررسی وجود چندین آنتن در سمت گیرنده و تأثیر آن بر کارایی انتقال توان موضوع قابل تأملی بنظر می‌رسد.

۶ - مراجع

- [1] Shinohara, Naoki. *Wireless power transfer via radiowaves*. ISTE-Wiley, 2014.
- [2] Zeng, Yong, Bruno Clerckx, and Rui Zhang. "Communications and signals design for wireless power transmission." *IEEE Transactions on Communications* 65, no. 5 (2017): 2264-2290.
- [3] Roselli, Luca, Nuno Borges Carvalho, Federico Alimenti, Paolo Mezzanotte, Giulia Orecchini, Marco Virili, Chiara Mariotti, Ricardo Goncalves, and Pedro Pinho. "Smart surfaces: Large area electronics systems for Internet of Things enabled by energy harvesting." *Proceedings of the IEEE* 102, no. 11 (2014): 1723-1746.
- [4] Vermesan, Ovidiu, Peter Friess, Patrick Guillemin, Sergio Gusmeroli, Harald Sundmaeker, Alessandro Bassi, Ignacio Soler Jubert et al. "Internet of things strategic research roadmap." *Internet of things-global technological and societal trends* 1, no. 2011 (2011): 9-52.
- [5] Atzori, Luigi, Antonio Iera, and Giacomo Morabito. "The internet of things: A survey." *Computer networks* 54, no. 15 (2010): 2787-2805.
- [6] Lin, Jie, Wei Yu, Nan Zhang, Xinyu Yang, Hanlin Zhang, and Wei Zhao. "A survey on internet of things: Architecture, enabling technologies, security and privacy, and applications." *IEEE Internet of Things Journal* 4, no. 5 (2017): 1125-1142.
- [7] Rana, Md M., Wei Xiang, Eric Wang, Xuehua Li, and Bong Jun Choi. "Internet of Things infrastructure for wireless power transfer systems." *IEEE Access* 6 (2018): 19295-19303.



*Vehicular Technology 65, no. 1 (2015):
278-291.*



زهرا شریف خطیبی در سال
۱۳۹۷ کارشناسی علوم
کامپیوتر از دانشگاه الزهرا را
اخذ و در حال حاضر دانشجوی
کارشناسی ارشد مهندسی
فناوری اطلاعات دانشگاه

الزهرا می‌باشد. علاقه ایشان سیستم‌های اینترنت اشیا
و فناوری‌های رایانش ابری، بلاک‌چین و کلان داده
می‌باشد.



بهنام درستکار در سال ۱۳۸۹
کارشناسی مهندسی برق از
دانشگاه صنعتی سجاد مشهد و
در سال ۱۳۹۱ کارشناسی
ارشد الکترونیک دانشگاه
صنعتی شیراز را اخذ و در حال

اخذ مدرک دکتری الکترونیک از دانشگاه علم و صنعت
ایران می‌باشد. علاقه ایشان طراحی مدارها و
سیستم‌های فرکانس بالا، سیستم انتقال توان بی‌سیم و
سیستم‌های دیجیتال مورد استفاده در کاربرد اینترنت
اشیا می‌باشد.