ISSN: 2821-1553 htpps://www.jasd.khadu

فصلنامه علمی ((دفاع هوافضایی))
دوره ۱، شماره ۱، خرداد ۱۴۰۱

مقاله پژوهشی

بهره‌وری انرژی در سیستم‌های چند ورودی چند خروجی بزرگ چند کاربره

سارا پریسایی[۱]، منصور نجاتی جهرمی[۲]

۱. کارشناسی ارشد مهندسی برق- مخابرات، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب، تهران.
۲. استادیار گروه مخابرات دانشکده برق، دانشگاه علوم و فنون هوائی شهید ستاری، تهران، ایران.

اطلاعات مقاله

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰ /۱۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۸/۱۲

کلمات کلیدی:

الگوریتم انتخاب دورترین آنتن، بهره‌وری انرژی، سیستم‌های چند ورودی چند خروجی بزرگ چندکاربره، مدل انتخاب توان.

نویسنده مسئول:
منصور نجاتی جهرمی
ایمیل:
m_nejati@azad.ac.ir

چکیده

استفاده از سیستم‌های مخابراتی با بهره‌وری انرژی و نرخ داده‌ی بالا همراه باکیفیت خدمات مطلوب، زیرساخت یک سامانه‌ی فرماندهی و کنترل (**C4I**) است که در شرایط بحران باید با بهترین کیفیت مخابره، مورداستفاده قرار گیرد. به‌کارگیری چنین ساختاری در سامانه‌های پدافندی نوین جایگاه ویژه‌ای دارند. لذا، طراحی این‌گونه سیستم‌ها، به چالش اصلی و زمینه‌ی تحقیقاتی بسیار مهم در زمینه‌ی مخابرات تبدیل‌شده است. رشد روزافزون مخابرات بی‌سیم و سرعت‌بالای ترافیک داده‌ی چندرسانه‌ای و حضور چند کاربر، با مصرف انرژی همراه است که بهره‌وری انرژی و استفاده‌ی بهینه از انرژی و توان را در مخابرات موردتوجه قرار داده است. به‌گونه‌ای که بهره‌وری انرژی به دلیل مسائل زیست‌محیطی و اقتصادی به‌عنوان یکی از اهداف عمده‌ی طراحی سیستم‌های مخابراتی بی‌سیم به شمار می‌رود. سیستم‌های چند ورودی چند خروجی چندکاربره یکی از شیوه‌های نوین مخابرات بوده در این سیستم‌ها استفاده از صدها آنتن در ایستگاه پایه باعث بهبود بهره‌وری انرژی می‌شود. افزایش تعداد آنتن‌های سیستم باعث افزایش نرخ تبادل اطلاعات، مصرف انرژی و سخت‌افزار می‌گردد. ارائه‌ی مدل انتخاب توان در سیستم‌های چند ورودی چند خروجی بزرگ چندکاربره باعث بهره‌وری انرژی می‌شود. از عوامل مهم تأثیرگذار بر بهره‌وری انرژی، توان ارسال واقعی و توان مصرفی در مدارهای فرستنده و گیرنده، تعداد آنتن‌ها، تعداد کاربران و همبستگی فضایی بین آنتن‌ها است. در این مقاله الگوریتم انتخاب دورترین آنتن، پیشنهادشده است (عدم همبستگی آنتن‌ها)، که منجر به بهبود بهره‌وری انرژی به میزان قابل معناداری نسبت به حالت متداول می‌شود.

استناد به مقاله: سارا پریسایی، منصور نجاتی جهرمی، بهره‌وری انرژی در سیستم‌های چند ورودی چند خروجی بزرگ چند کاربره ، مجله علمی دفاع هوافضایی دوره ۱، شماره ۱، خرداد ۱۴۰۱.

ISSN:2821-1588 htpps://www.jasd.khadu

Journal of Aerospace Defense
Vol. 1, No, 1, 1401

Research Paper

Energy Efficiency in massive multi-user Multiple-Input Multiple-Output

Sara Parisaie[1], Mansor Nejati Jahromi[2]

1. Department of Physics, Azad University, Tehran, Iran.
2. Master of Science in Shahid Satari University, Tehran, Iran

Article Information

Accepted: 1400/10/12

Recceived:1400/08/12

eywords:

Farthest antenna selection algorithm, Energy efficiency, Multi-input, Multi-output, Multi-user systems, Power selection model

Corresponding anuthor:
Mansor Nejati Jahromi
Email:
m_nejati@azad.ac.ir

Abstract

The use of telecommunication systems with high energy efficiency and high data rates along with the desired quality of services is the infrastructure of a command and control system (C4I) that should be used with the best quality of communication in times of crisis. The use of such a structure has a special place in modern defense systems. Therefore, the design of such systems has become a major challenge and a very important research field in the field of telecommunications. The increasing growth of wireless telecommunications and the high speed of multimedia data traffic and the presence of multiple users are associated with energy consumption, which has focused on energy efficiency and the optimal use of energy and power in telecommunications. Energy efficiency is considered as one of the major goals of wireless telecommunication systems design due to environmental and economic issues. . Multi-user multi-input multi-output systems are one of the new methods of telecommunications. In these systems, the use of hundreds of antennas in the base station improves energy efficiency. Increasing the number of system antennas increases the rate of information exchange, energy consumption and hardware, the introduction of a power selection model in multi-input multi-output multi-user systems increases energy efficiency. Important factors affecting energy efficiency are actual transmission power and power consumption in transmitter and receiver circuits, number of antennas, number of users and spatial correlation between antennas. In this paper, the algorithm for selecting the farthest antenna is proposed (antenna correlation), which leads to a significant improvement in energy efficiency compared to the conventional state.

HOW TO CITE: Sara Parisaie, Mansor Nejati Jahromi, Energy Efficiency in massive multi-user Multiple-Input Multiple-Output M, Journal of Aerospace Defense, Vol. 1, No, 1, 1401.

۱. مقدمه

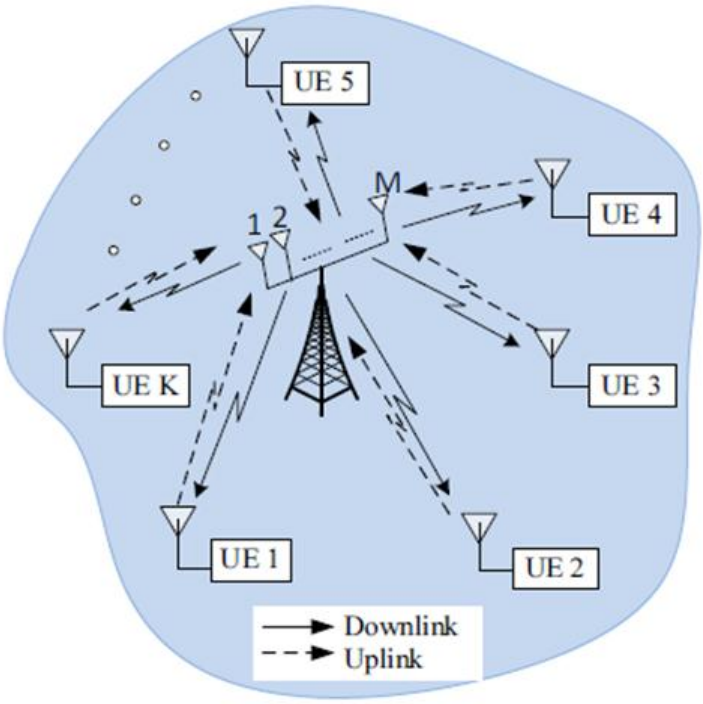
سیستم‌های چند ورودی چند خروجی چند کاربره[۱] سیستم‌های مخابرات سلولی بی‌سیم هستند که در آن‌ها یک ایستگاه پایه[۲] به‌عنوان فرستنده به‌صورت هم‌زمان و هم فرکانس اطلاعات را به همه‌ی کاربران ارسال می‌نماید و تمام امکانات هم‌زمان در دسترس کاربران قرار می‌گیرد. در سیستم بزرگ MIMO، تعداد بسیار زیادی آنتن در ایستگاه پایه با چینش خطی، مستطیلی و استوانه‌ای وجود دارد که با استفاده از پیش‌کدگذار[۳] و آشکارساز ساده‌ای، منجر به حصول حداکثر نرخ داده می‌شود. در سیستم بزرگ MIMO، یک کانال غیر تصادفی داریم که تخمین کانال و آشکارسازی سیگنال در کاربران را ساده می‌کند، حالت‌های فراسو و فروسو[۴] یک سیستم مخابراتی تک‌سلولی شامل K کاربر تک آنتنی و یک ایستگاه پایه در مرکز آن، M آنتن که از F آنتن برای برقراری ارتباط با کاربران استفاده می‌شود را در نظر گرفته می‌شود که در شکل ۱ نشان داده‌شده است [۱].

در سیستم‌های MIMO بزرگ در هر ایستگاه پایه، تعداد زیادی آنتن، صدها و یا حتی هزاران آنتن مورداستفاده قرار می‌گیرد که نتیجه‌ی این امر، افزایش بازده‌ی طیفی و همچنین بهره‌وری انرژی در مقایسه با سیستم‌های MIMO معمولی است [۷]. در این سیستم‌ها بهره‌وری انرژی افزایش و تداخل در سیستم‌های چند کاربره کاهش می‌یابد و بهره‌وری بالای انرژی و طیفی به‌طور هم‌زمان امکان‌پذیر است. با افزایش تعداد آنتن‌ها، در شرایط مناسب، پردازش‌های خطی بهینه می‌شوند و نیاز به ساختار خاصی برای سیگنال ارسالی نیست. با افزایش کافی تعداد آنتن‌ها، مبتنی بر آشکارساز و پیش کدگذار همدوس، کانال دسترسی چندگانه به کانال تک کاربره و بدون محوشدگی تبدیل می‌شود [۸].

سیستم‌های چند ورودی چند خروجی چندکاربره یکی از شیوه‌های نوین مخابرات بوده و به‌منظور ایجاد ارتباط هم‌زمان تعداد زیادی از مشترکین با استفاده از منبع زمان– فرکانس یکسان مورداستفاده قرار می‌گیرد. در این سیستم‌ها استفاده از صدها آنتن در ایستگاه پایه باعث بهبود بهره‌وری انرژی می‌شود. با توجه به بررسی پارامترهای مهم، با استفاده از طرح‌های پیش کدگذاری خطی مختلف، طرح پیش کدگذاری خطی مناسب برای بهینه‌سازی بهره‌وری انرژی انتخاب‌شده و با انتخاب مناسب تعداد آنتن‌ها و تعداد مشترکین فعال و توان انتقال، بهره‌وری انرژی سیستم بهبود می‌یابد. نتیجه حاصل‌شده نشان می‌دهد که سیستم چند ورودی چند خروجی چندکاربره با انتخاب ۱۰۰ الی ۲۰۰ آنتن در ایستگاه پایه با بهره‌گیری از پیش کدگذاری خطی صفر اجباری[۵] انتخاب مناسبی برای بهینه‌سازی بهره‌وری انرژی در سیستم‌های مخابرات می‌باشد [۶].

---

۱ Multi-User Multiple-Input Multiple-Output
۲ Base Station
۳ Precoding
۴ Uplink and Downlink
۵ Zero Forcing



شکل ۱: سیستم مخابرات تک‌سلولی [۴].

۲. بهره‌وری انرژی

بهره‌وری انرژی، میزان استفاده‌ی هر چه‌بهتر سیستم از انرژی در دسترس خود را نشان می‌دهد. در سیستم‌های MIMO بزرگ در ساختار مخابرات سلولی ، اگر نرخ تبادل اطلاعات در سیستم برای کاربر k-ام از K کاربر موجود در یک سلول $\boldsymbol{R_k}$ و کل توان مصرفی برای به دست آوردن این نرخ (شامل انرژی مصرفی برای ارسال و دریافت و پردازش و خنک‌کنندگی و غیره در واحد زمان) برابر با $\boldsymbol{P_{total}}$ باشد، بهره‌وری انرژی عبارت است از:

$$EE = \frac{\sum_{k=1}^{K} R_k}{P_{total}} \left(\frac{bit(s)}{Joule}\right) \qquad (۱)$$

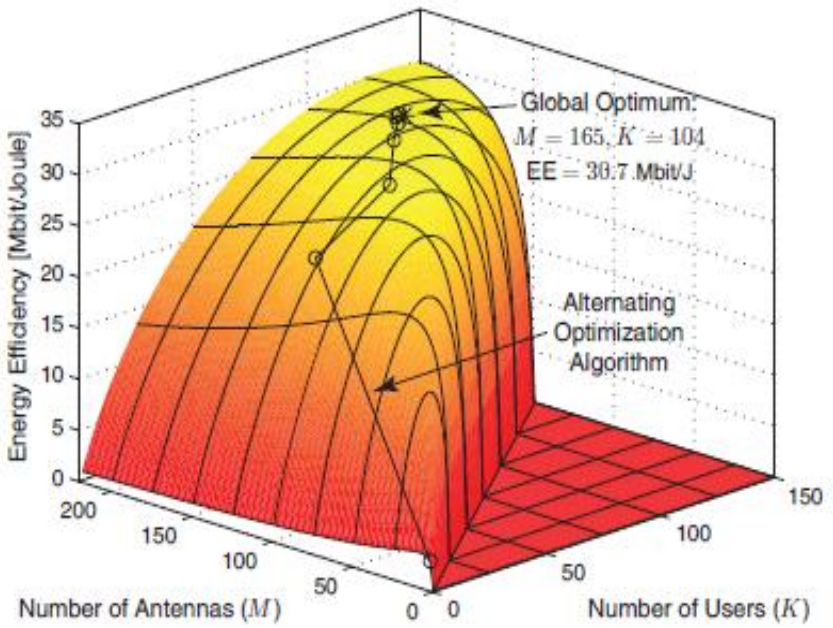
کاهش توان ارسالی به ازای نرخ داده‌ی مشخص، همواره در سیستم‌های مخابراتی مهم است. در تحلیل بهره‌وری انرژی سیستم، علاوه بر توان ارسالی فرستنده، کل توان پردازش و ارسال در فرستنده و پردازش در گیرنده و سایر موارد نیز در نظر گرفته می‌شود.

توان‌های مصرفی سیستم ازجمله توان مصرفی ارسال و دریافت، توان مصرفی کدگذاری و کدبرداری، توان مصرفی مربوط به محاسبه و اعمال ماتریس پیش کدگذاری و ترکیب‌کننده و توان مصرفی تخمین

کانال، توان مصرفی در مدارات RF ارسال و دریافت و توان همگام‌سازی مداراها، توان‌بخش خنک‌کنندگی، در صورت استفاده از پیش کدگذاری ZF ، بررسی می‌شود [۲].

به‌جز توان ارسالی در سیستم، توان‌های مصرفی سیستم نیز به‌منظور آماده‌سازی ارسال و دریافت و پردازش‌های مربوطه، وابسته به پارامترهای سیستم ازجمله تعداد کاربران K یا تعداد آنتن‌های M و یا هر دو هستند. با استفاده از این مدل مناسب ، معادله‌ی بهره‌وری انرژی تابعی شبه مقعر نسبت به M و K و توان نرمالیزه‌ی ارسالی هر کاربر شده و دارای نقطه‌ی بهینه‌ای نسبت به این سه متغیر می‌گردد که برای هر یک از پارامترها نقطه‌ی بهینه به‌صورت جداگانه به دست می‌آید.

در شکل ۲ بهره‌وری انرژی به ازای K و M های مختلف رسم شده است. در این شکل برای هر نقطه، مقدار $\overline{\boldsymbol{R}}$ بهینه برای M و K متناظر، از طریق جستجوی جامع محاسبه شده است، به‌گونه‌ای که هر نقطه دارای بهترین بهره‌وری انرژی ممکن است.



شکل ۲: رفتار پارامتر بهره‌وری انرژی با پیش کدگذار ZF در راستای تعداد آنتن‌ها و کاربران[1].

بهره‌وری انرژی در نواحی $\boldsymbol{M \to \infty}$, $\boldsymbol{M \leq K}$ برابر صفر است. به ازای هر K بهره‌وری انرژی برحسب تعداد آنتن‌ها ابتدا صعود و پس از رسیدن به نقطه‌ی بهینه نزول می‌کند. نقطه‌ی بهینه‌ی سرا سری به ازای $\boldsymbol{K = 104}$ و $\boldsymbol{M = 165}$ به‌دست‌آمده است. افزایش تعداد آنتن‌ها باعث بهبود عملکرد سیستم، نرخ تبادل اطلاعات، درجه‌ی آزادی بالا به‌منظور طراحی می‌شود. بنابراین مصالحه‌ای بین میزان انرژی مصرفی و نرخ تبادل اطلاعات می‌شود که قابل‌بیان در پارامتر بهره‌وری انرژی است.

بهره‌وری انرژی پارامتری برای میزان بهره‌وری انرژی مصرف‌شده برای به دست آوردن نرخ مطلوب تبادل اطلاعات است و نیز میزان بهینه بودن سیستم ازنظر مصرف انرژی را بیان می‌کند. افزایش تعداد آنتن‌ها می‌تواند موجب افزایش توان مصرفی قطعات جانبی در سیستم‌های مخابراتی شود که در سیستم‌های MIMO نقطه‌به‌نقطه از آن‌ها صرف‌نظر شده است. پارامتر بهره‌وری انرژی تابعی همواره صعودی از تعداد آنتن‌هاست. این نوع مصرف انرژی در سیستم‌های MIMO بزرگ قابل‌چشم‌پوشی نبوده و یک مسئله‌ی بهینه‌سازی نسبت به تعداد آنتن‌های عملیاتی سیستم و پارامترهایی ازجمله نرخ تبادل داده و تعداد کاربران ایجاد می‌شود [۲].

۳. انتخاب آنتن

افزایش تعداد آنتن‌ها در یک سیستم MIMO ازنظر دایورسیتی و نرخ ارسال داده مفید است و نیز هزینه‌ای را نیز شامل می‌شود. ازاین‌رو مصالحه‌ای در مورد تعداد آنتن‌های عملیاتی ایجاد می‌شود. در صورت استفاده از پیش کدگذاری و ترکیب‌کننده‌ی ZF، هنگامی‌که تعداد آنتن‌های ایستگاه پایه با تعداد کاربران برابر باشد M=K توان ارسالی بی‌نهایت شده و بهره‌وری انرژی صفر می‌گردد. مقدار بهینه‌ی بهره‌وری انرژی در نقطه‌ای با مشخصه‌ی $\infty>K<F\leq M$ قابل‌بیان است. بهره‌وری انرژی با احتساب توان‌های مصرفی جانبی، تابعی شبه مقعر خواهد بود.

اگر بهره‌وری انرژی نسبت به تعداد آنتن‌های ایستگاه پایه، M، بهینه‌سازی شود، این شبیه‌سازی صرفاً برای طراحی یک ایستگاه پایه مناسب است نه در حین بهره‌برداری. در دنیای واقعی بعد از ساخت ایستگاه پایه امکان تغییر تعداد آنتن‌های نصب‌شده وجود ندارد. بنابراین با انتخاب تعدادی از آنتن‌ها برای بهره‌وری انرژی، می‌توان سایر آنتن‌ها را خاموش کرد. در سیستم‌های MIMO بزرگ به دلیل وجود تعداد بسیار زیاد آنتن، کانال‌های متفاوتی با میزان قدرت‌های متفاوت وجود دارد. بنابراین آنتن‌هایی که با ورودشان به مجموعه‌ی آنتن‌های عملیاتی بهره‌وری کل سیستم را کاهش می‌دهند را می‌توان کنار گذاشت [۵].

در سیستم‌های MIMO بزرگ، جستجوی جامع تمام حالت‌های ممکن، هزینه‌ی محاسباتی و زمان بالایی دارد. پس جستجو برای پیدا کردن قوی‌ترین آنتن‌ها به‌صورت مجزا انجام می‌شود. این روش هزینه‌ی محاسباتی اندک و عملکرد بسیار نزدیک به حالت بهینه دارد. به‌منظور انتخاب آنتن الگوریتم انتخاب توان در شکل ۳ ارائه‌شده است [۵].

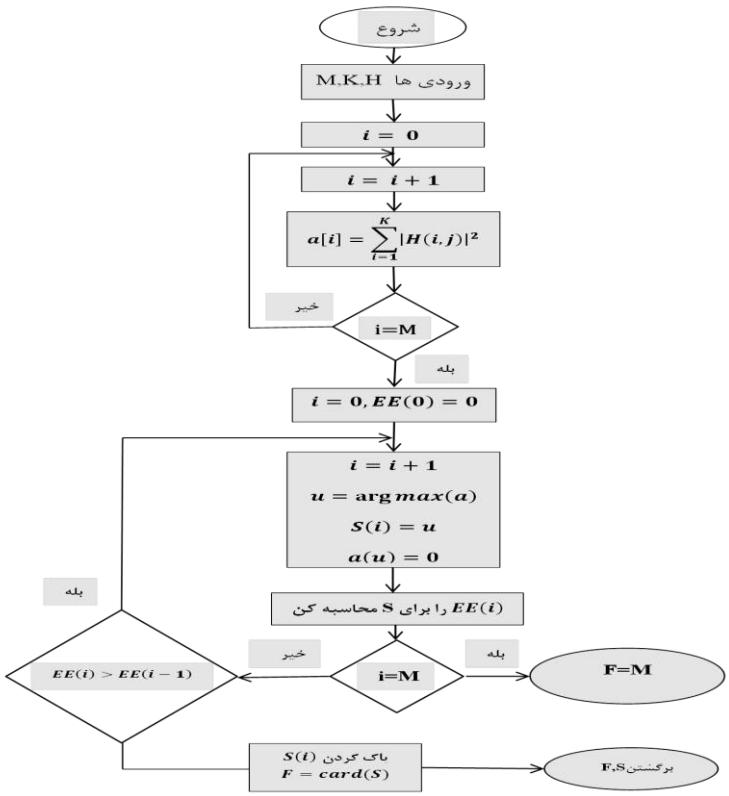
۴. الگوریتم انتخاب دورترین آنتن

کانال همبستگی فضایی با استفاده از مدل کرونکر مدل‌سازی شده است، وجود همبستگی فضایی باعث کاهش بهره‌وری انرژی می‌شود. با توجه به ثابت بودن تعداد آنتن‌ها، همبستگی بین آنتن‌های ارسال باعث کاهش ظرفیت سیستم و نیز بهره‌وری انرژی می‌شود [۳]. بنابراین اگر همبستگی بین آنتن‌ها را کاهش یابد، بهره‌وری انرژی افزایش می‌یابد.

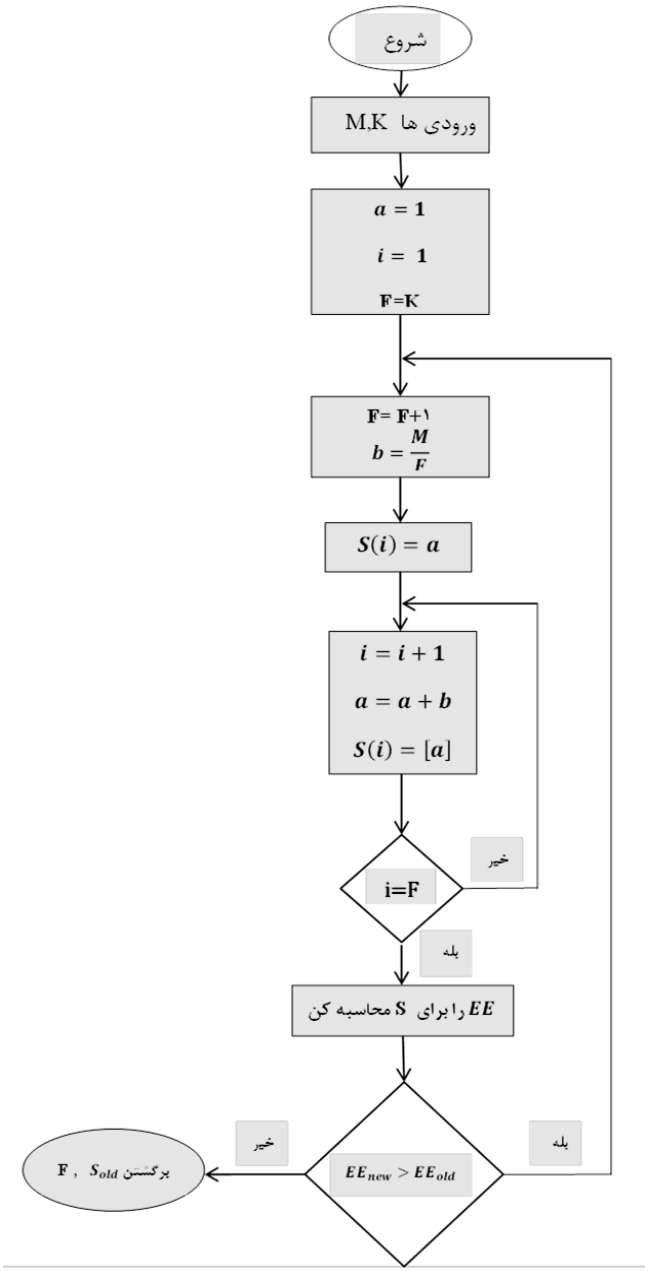
با توجه به حساسیت پیش کدگذار ZF به همبستگی بین آنتن‌ها، سعی بر انتخاب دورترین آنتن‌ها نسبت به یکدیگر است. به‌عبارت‌دیگر، با توجه به این‌که با افزایش فاصله‌ی بین آنتن‌ها، همبستگی بین آن‌ها کاهش می‌یابد، مجموعه‌ای از آنتن‌ها انتخاب می‌شوند که تا حد امکان از هم دور باشند.

الگوریتم موردنظر فقط از محل نصب آنتن‌ها (و یا ترتیب چینش آن‌ها) برای انتخاب استفاده می‌کند و نیازی به وضعیت کانال ندارد. در این حالت علاوه بر کاهش چشمگیر هزینه‌های محاسباتی و اجرای سریع‌تر الگوریتم، تنها به تعداد آنتن‌های مورداستفاده به زنجیره‌های RF نیاز است.

این مسئله به‌ویژه در مواردی که سیستم برای بیشترین تعداد کاربران هم از تمامی آنتن‌های موجود استفاده نمی‌کند، حائز اهمیت است و باعث کاهش هزینه‌های کلی می‌شود. الگوریتم انتخاب دورترین آنتن (رفع همبستگی) در شکل ۴ نشان داده‌شده است.



شکل ۳: الگوریتم انتخاب توان [۲].



شکل ۴: الگوریتم انتخاب دورترین آنتن

۵. نتایج عددی

در این بخش با استفاده از شبیه‌سازی به مطالعه‌ی اثر انتخاب آنتن‌ها در عملکرد سیستم می‌پردازیم. مقادیر اختصاص داده‌شده به برخی از پارامترها در جدول۱ آورده شده است.

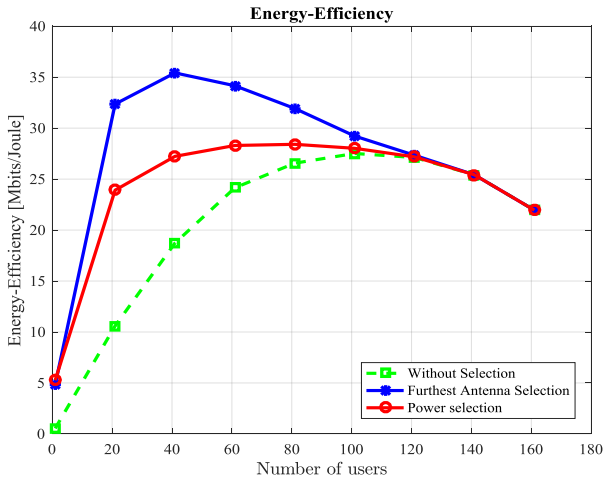
جدول ۱: مقدار پارامترهای سیستم در شبیه‌سازی

پارامتر	مقدار
حداقل فاصله‌ی کاربر: d_{min}	**۳۵** m
محوشدگی در فاصله‌ی: $r(d)$	$\frac{10^{-3/53}}{r^{3/76}}$
پهنای باند همدوسی: BW	180 KHz
زمان همدوسی: T	**۳۲**ms
واریانس نویز: σ_n^2	$10^{-20} J/_{c.u.}$
واریانس ضرایب کانال: $2\sigma^2$	**۱**
بهره‌وری محاسباتی: L	$10^9/_{Joule}$
حداکثر فاصله‌ی کاربر: d_{max}	250 m
توان	**۴** W

کدگذاری: P_{cod}	
توان کدگشایی: P_{dec}	۰/۵ W
توان زنجیره‌ی RF در TX: P_{tx}	۱ W
توان زنجیره‌ی RF در RX: P_{rx}	۰/۳ W
توان ثابت مصرفی: P_{fix}	۱۸ W

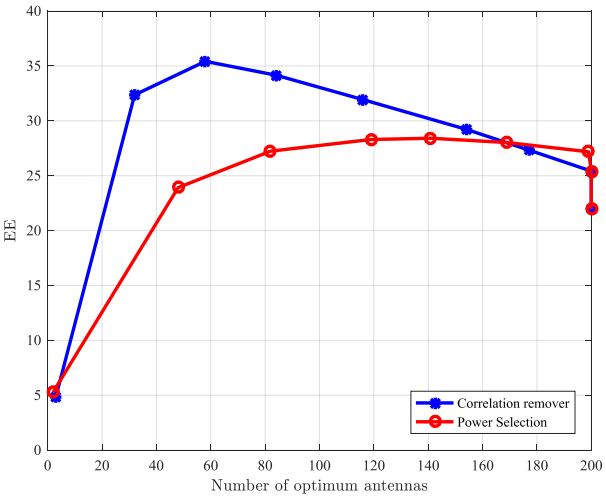
شکل۵ بهترین مقادیر ممکن برای بهره‌وری انرژی در حالت‌های عدم انتخاب، الگوریتم انتخاب قوی‌ترین آنتن (انتخاب توانی) و الگوریتم پیشنهادی انتخاب دورترین آنتن را به ازای تعداد کاربران مختلف نشان می‌دهد که در هر حالت، برای هر تعداد کاربر بهینه‌سازی هم‌زمان نسبت به $\overline{\boldsymbol{R}}, \boldsymbol{F}$ انجام‌شده است. با توجه به شکل اختلاف قابل‌توجهی بین بهره‌وری انرژی در حالت انتخاب توانی آنتن‌ها و حالت انتخاب دورترین آنتن و حالت بدون انتخاب آنتن وجود دارد. این اختلاف هنگامی‌که تعداد کاربران بسیار کمتر از تعداد آنتن‌ها است، بیشتر مشخص می‌گردد.

به‌عنوان نمونه برای $\boldsymbol{K = 40}$، بهره‌وری انرژی رشد۵۰٪ در حالت انتخاب آنتن (انتخاب دورترین آنتن) نسبت به حالت بدون انتخاب (استفاده از تمام آنتن‌های موجود) دارد. افزایش تعداد کاربران، منجر به نزدیکی بهره‌وری انرژی در حالت‌های انتخاب و عدم انتخاب آنتن‌ها می‌گردد که ناشی از به اشباع رسیدن تعداد بهینه‌ی آنتن‌ها است، به‌بیان‌دیگر هنگامی‌که سیستم از تمام آنتن‌ها استفاده کند و $\boldsymbol{F > M}$ شود، بهره‌وری انرژی در حالت انتخاب و عدم انتخاب یکسان می‌گردد. ملاحظه می‌شود که با استفاده از الگوریتم پیشنهادی انتخاب دورترین آنتن، بهبودی بهره‌وری انرژی به میزان قابل‌توجهی حاصل‌شده است که به علت عدم همبستگی آنتن‌ها می‌باشد.



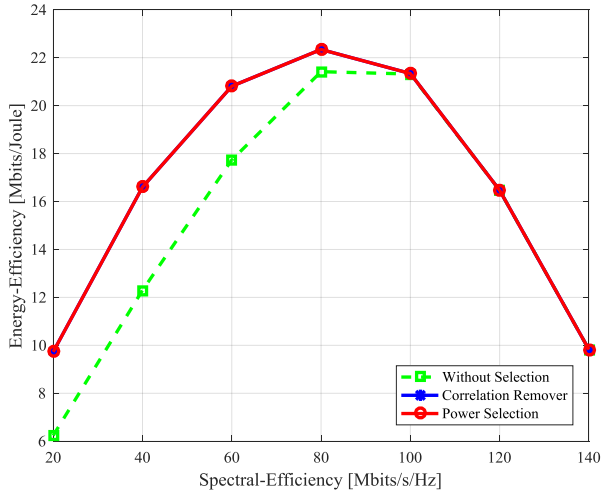
شکل ۵: مقایسه‌ی بهره‌وری انرژی در حالت انتخاب توان و انتخاب دورترین آنتن و حالت بدون آنتن

نمودار بهره‌وری انرژی برحسب تعداد آنتن‌های بهینه برای الگوریتم انتخاب توانی و الگوریتم پیشنهادی انتخاب دورترین آنتن در شکل ۶ نشان داده‌شده است که در آن بهره‌وری انرژی با افزایش تعداد آنتن‌های بهینه ابتدا افزایش و سپس کاهش می‌یابد. الگوریتم پیشنهادی بهره‌وری انرژی را نسبت به الگوریتم توان بهبود می‌دهد.



شکل ۶ : مقایسه‌ی بهره‌وری انرژی در حالت انتخاب توان و دورترین آنتن نسبت به تعداد آنتن‌های بهینه

بهره‌وری انرژی در حالت‌های انتخاب توان و انتخاب دورترین آنتن و بدون انتخاب به ازای بهره‌وری طیفی در شکل ۷ نشان داده‌شده است که در آن حالت‌های انتخاب آنتن بر هم منطبق‌اند و باحالت بدون انتخاب فاصله‌دارند که با افزایش بهره‌ی طیفی این اختلاف کاهش می‌یابد. در $\boldsymbol{SE}$ های پایین، بهره‌وری انرژی با انتخاب آنتن افزایش می‌یابد. از $\boldsymbol{SE = 100}$ به بعد هر سه منحنی بر هم منطبق می‌شوند.



شکل ۷ : مقایسه‌ی بهره‌وری انرژی در حالت انتخاب توان و بدون انتخاب آنتن نسبت به بهره‌وری طیفی

۶.تشکر و قدردانی

از تمامی دانشجویان تحصیلات تکمیلی دانشگاه پدافند هوایی خاتم الانبیاء(ص) که در این پژوهش به عنوان نمونه پژوهش حضورداشتند، تشکر و قدردانی می‌نماییم

۷. نتیجه‌گیری

از عوامل مهم تأثیرگذار بر بهره‌وری انرژی، توان ارسال واقعی و توان مصرفی در مدارهای فرستنده و گیرنده ، تعداد آنتن‌ها، تعداد کاربران و همبستگی فضایی بین آنتن‌ها است. افزایش تعداد آنتن‌های سیستم باعث افزایش نرخ تبادل اطلاعات، مصرف انرژی و سخت‌افزار می‌گردد، ارائه‌ی مدل انتخاب توان در سیستم‌های چند ورودی چند خروجی بزرگ چندکاربره باعث بهره‌وری انرژی می‌شود. با استفاده از الگوریتم پیشنهادی انتخاب دورترین آنتن (عدم همبستگی آنتن‌ها) ، بهبودی بهره‌وری انرژی به میزان قابل‌توجهی حاصل‌شده است. به‌گونه‌ای که الگوریتم انتخاب دورترین آنتن بهره‌وری انرژی را نسبت به الگوریتم انتخاب توان بهبود می‌دهد. با توجه به الگوریتم دورترین آنتن، با افزایش فاصله‌ی بین آنتن‌ها، همبستگی بین آن‌ها کاهش می‌یابد و مجموعه‌ای از آنتن‌ها را انتخاب می‌کنیم که تا حد امکان از هم دور باشند.

۷. منابع

[1] E, Bjornson.L, Sanguinetti. J, Hoydis.” Optimal Design of Energy-Efficient Multi-User MIMO Systems: Is Massive MIMO the Answer? “ IEEE , 2014.

[2] Arash M, Yazdian E, Fazel MS, Brante G, Imran MA."Employing antenna selection to improve energy efficiency in massive MIMO systems".Trans Emerging Tel Tech. 2017.

[3] R, Couillet. S, Wagner. “Asymptotic Analysis of Linear Precoding Techniques in Correlated Multi-Antenna Broadcast Channels”, IEEE, 2009.

[4] B.Tech." Massive MIMO for 5G Wireless Networks: An Energy Effi ciency", The (Electrical and Computer Engineering) THE Faculty of Graduate and Postdocotoral Studies .UNIVERSITY OF BRITISH COLUMBIA, 2016

[۵] آرش، مسعود. بررسی و بهبود کارایی انرژی در سیستم‌های چند آنتنی انبوه چند کاربره، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده‌ی برق و کامپیوتر، ۱۳۹۵.

[۶] گل سا، اطمینان. بهبود بازدهی انرژی در مسیر فروسو برای سیستم‌های چند ورودی چند خروجی چند کاربره با تعداد آنتن‌های زیاد با استفاده از پیش کد کننده‌ی خطی صفر اجباری، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شیراز، دانشکده‌ی برق و کامپیوتر، ۱۳۹۵.

[۷] علی، افضلی ده‌زیاری. تحلیل پدیده آلودگی پایلوت و کاهش آن در سیستم‌های Massive MIMO، مقاله، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۱۳۹۴.

[۸] مهدی، فوزی. تخمین کانال در سیستم‌های چند ورودی چند خروجی عظیم در شبکه‌های سلولی مدرن، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شریف، ۱۳۹۳.