



Load Balancing in 3D Wireless Networks with UAV

Akbar Asgharzadeh Bonab^{1✉} | Hashem Kalbkhani²

1. Corresponding Author, Assistant Professor, Department of Science and Technology Studies, AJA Command and Staff University, Tehran, Iran. E-mail: akbar.asgharzadegh@casu.ac.ir

2. Faculty of Electrical Engineering, Urmia University of Technology, Urmia, Iran. E-mail: h.kalbkhani@uut.ac.ir

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received

31 May 2023

Received in revised form

21 August 2023

Accepted

19 October 2023

Published online

11 Desember 2023

Keywords:

Handover, Load balancing, Sojourn time, UAV.

ABSTRACT

Objective: Wireless networks with unmanned aerial vehicles (UAVs) as airborne base stations have become a promising technology to increase the coverage area of users. When users move at high speed in the coverage area of a UAV network, an efficient handover algorithm is required to maintain the users' quality of service. On the other hand, the network load should be fairly distributed to avoid crowded stations and stations without service.

Methodology: This paper presents an efficient algorithm for selecting the target base station in the handover process for mobile users in UAV-based wireless networks. The proposed algorithm satisfies the quality of service required by the users in the coverage of the new base station while reducing the number of unnecessary handovers between the base stations and distributing the load among them fairly.

Findings: The simulation results show that the proposed method enhances the Jain's fairness index and spectral efficiency and also, reduces the ping-pong rate.

Originality: Due to the increasing demand for developing UAVs in next-generation wireless networks, the proposed method can be used for handover in these networks

Cite this article: Asgharzadeh-Bonab, A., & Kalbkhani, H. (2023). Load Balancing in 3D Wireless Networks with UAV. *Military Science and Tactics*, 19(65), 53-66. doi: 10.22034/qjmst.2023.1971317.1796



© The Author(s)

Publisher: AJA Command and Staff University

DOI: 10.22034/qjmst.2023.1971317.1796



تبادل بار در شبکه‌های بی‌سیم سه بعدی مبتنی بر پهپاد

اکبر اصغرزاده بناب^۱ | هاشم کلب‌خانی^۲۱. گروه مطالعات علم و فناوری، دانشگاه فرماندهی و ستاد آجا، تهران، ایران. رایانامه: Akbar.asgharzadeh@casu.ac.ir۲. گروه مهندسی برق، دانشگاه صنعتی ارومیه، ارومیه، ایران. رایانامه: h.kalbkhani@uut.ac.ir

چکیده

اطلاعات مقاله

هدف: شبکه‌های بی‌سیم با وسایل نقلیه هوایی بدون سرنشین (UAV)، به عنوان ایستگاه پایه هواپرد، به یک فناوری امیدوارکننده برای افزایش ناحیه پوشش کاربران تبدیل شده‌اند. هنگامی که کاربران با سرعت بالا در ناحیه پوشش شبکه پهپادی حرکت می‌کنند، یک الگوریتم انتقال کارآمد برای حفظ کیفیت خدمات کاربران مورد نیاز است. از طرف دیگر، بار شبکه باید به طور منصفانه توزیع شود تا از ایستگاه‌های پردازنده و هم‌چنین ایستگاه‌های فاقد سرویس جلوگیری شود.

روش پژوهش: در این مقاله، یک الگوریتم کارآمد برای انتخاب ایستگاه پایه هدف در فرآیند دست به دست‌شدگی برای کاربران متحرک در شبکه‌های بی‌سیم مبتنی بر پهپاد ارائه می‌شود. الگوریتم پیشنهادی کیفیت سرویس مورد نیاز کاربران را در پوشش ایستگاه پایه جدید برآورده می‌کند در حالی که تعداد جابجایی‌های غیرضروری بین ایستگاه‌های پایه را کاهش داده و بار را در بین آن‌ها به صورت منصفانه توزیع می‌کند.

نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت:

۱۴۰۲/۰۳/۱۰

تاریخ بازنگری:

۱۴۰۲/۰۵/۳۰

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۲/۰۷/۲۷

تاریخ انتشار:

۱۴۰۲/۰۹/۲۰

کلیدواژه‌ها:

دست به دست‌شدگی،

تبادل بار، زمان اقامت، پهپاد

یافته‌ها: نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد. روش پیشنهادی شاخص انصاف Jain و بهره‌وری طیفی را بهبود می‌دهد و هم‌چنین نرخ پینگ‌پونگ را کاهش می‌دهد. **نتیجه‌گیری:** با توجه به نیاز روزافزون برای توسعه استقرار پهپادها در شبکه‌های بی‌سیم نسل جدید، روش پیشنهادی می‌تواند برای دست به دست‌شدگی در این نوع شبکه‌ها استفاده شود.

استناد: اصغرزاده بناب، اکبر؛ کلب‌خانی، هاشم. (۱۴۰۲). تبادل بار در شبکه‌های بی‌سیم نظامی مبتنی بر پهپاد. علوم و فنون نظامی.

۱۹ (۶۵): ۶۹-۸۵

ناشر: دانشگاه فرماندهی و ستاد ارتش جمهوری اسلامی ایران

© نویسندگان.



DOI: 10.22034/qjmst.2023.1971317.1796

مقدمه

با رشد سریع تقاضای ترافیک داده تلفن همراه در سال‌های اخیر، نیاز به شبکه‌های بی‌سیم با ظرفیت گسترده و سرعت بالا بیش از گذشته در حال افزایش است. برای مقابله با این چالش، وسایل نقلیه هوایی بدون سرنشین (UAV^۱) می‌توانند به عنوان یکی از بخش‌های مهم شبکه‌های بی‌سیم نسل آینده مورد استفاده قرار گیرند (حبیبی ۱۳۹۶، شجاعیان ۱۳۹۷، شکوهی ۱۳۸۹، محمدی و همکاران ۱۴۰۱). این روزها پهپادها به دلیل تحرک، امنیت، تأخیر کم و سرعت انتقال زیاد مورد توجه قرار گرفته‌اند (Zhang et al. 2018). آن‌ها را می‌توان در کنترل ترافیک، نظارت بر بلایای طبیعی، تحویل محموله و سایر کاربردهای مرتبط استفاده کرد (Valavanis et al. 2015, Yanmaz et al. 2018).

استفاده از پهپاد به عنوان ایستگاه پایه هوابرد (ABS^۲) یکی از سناریوهای پیشنهادی در یکپارچه‌سازی شبکه‌های سلولی و پهپادها است. در این حالت، پهپادها می‌توانند پوشش بی‌سیم را برای کاربران زمینی فراهم کنند (Hu et al. 2019, Zeng et al. 2016). از طرف دیگر، مدل انتشار سیگنال به دلیل ویژگی سه بعدی (3D) پهپادها با مدل مورد استفاده در ساختارهای زمینی متفاوت است. مدل انتشار تشکیل شده از مسیر با دید مستقیم (LOS^۳) و فاقد دید مستقیم (NLOS^۴)، در کاربردهای بسیاری مورد توجه قرار گرفته است (Al-Hourani et al. 2014). تنظیم ارتفاع و مکان پهپادها و همچنین برنامه‌ریزی مسیر پرواز از چالش‌های اصلی در استفاده از پهپاد به عنوان ABS است.

در پژوهش‌های قبلی روشی برای یافتن ارتفاع بهینه پهپادها به منظور دستیابی به حداکثر پوشش بر اساس مدل انتقال سیگنال پیشنهاد شده است (Al-Hourani et al. 2014). هم‌چنین ارتفاع پهپاد به منظور بیشینه‌کردن مساحت منطقه پوشش با در نظر گرفتن محوشوندگی Rician بهینه شده است (Azari et al. 2016). نتایج نشان داده است که عامل محوشوندگی و زاویه ارتفاع دارای همبستگی نمایی هستند. هم‌چنین نشان داده شده است که رویکرد استقرار کارآمد بر اساس تئوری بسته دایره‌ای می‌تواند حداکثر پوشش را به دست آورد، در حالی که پهپادها می‌توانند از کمترین توان ارسالی استفاده کنند (Mozaffari et al. 2016). در این پژوهش‌ها، توزیع منصفانه بار بین ایستگاه‌های پایه لحاظ نشده است.

^۱ Unmanned aerial vehicle (UAV)

^۲ Airborne base station (ABS)

^۳ Line-of-sight (LOS)

^۴ Non-LOS (NLOS)

در مورد کاربران تلفن همراه، چالش اصلی انتقال مطمئن با کمترین خطای ممکن برای ارائه پوشش کارآمد است. الگوریتم دست به دست‌شدگی در فضای سه بعدی با استفاده از یک شبکه عصبی بازگشتی (RNN^۱) استاندارد می‌تواند مسیر حرکت کاربر را پیش‌بینی کند (Yang et al. 2017). نشان داده شده است که این روش نرخ موفقیت دست به دست‌شدگی را افزایش می‌دهد. اخیراً واحد بازگشتی دروازه‌ای (GRU^۲) برای پیش‌بینی مسیر حرکت کاربران پیشنهاد شده است (Hu et al. 2019). همچنین، مفهوم ادغام اجتماعی برای به مدلسازی روابط موقعیتی بین کاربران پیشنهاد شده است که میزان موفقیت این الگوریتم بیشتر از روش‌های مرسوم است. احتمال موفقیت دست به دست‌شدگی و همچنین شروع نادرست آن برای ارزیابی پوشش در شبکه‌های پهپادی در نظر گرفته شده است که یک طرح امیدوارکننده برای شبکه‌های هوایی است (Park et al. 2015). الگوریتم دست به دست‌شدگی در شبکه‌های هوایی می‌تواند ارتفاع پهپادها و فاصله بین آنها را تنظیم کند (Park et al. 2016). همچنین برای یافتن پوشش همپوشانی بهینه، از شروع دست به دست‌شدگی کاذب و احتمال موفقیت یکپارچه استفاده می‌شود که از دست به دست‌شدگی مکرر جلوگیری می‌کند و باعث صرفه‌جویی در مصرف باتری پهپاد می‌شود. روش‌های ذکر شده عدم تعادل بار بین ایستگاه‌های پایه را در نظر نگرفته‌اند که باعث عدم استفاده مطلوب از منابع موجود در شبکه می‌شود.

برای تعادل بار بین ایستگاه‌های پایه هواپرد، مفهوم همکاری آنها در خوشه‌ها مورد بررسی قرار گرفته است و نشان داده شده است که باعث کاهش سربار در ارسال اطلاعات می‌شود (Aissa et al. 2022). با توجه به محدودیت‌های محاسباتی پهپاد، از مفهوم محاسبات لبه موبایل (MEC^۳) بهره گرفته شده و تلاش شده است که بار محاسباتی به صورت منصفانه بین پهپادها توزیع شود (Yang et al. 2020, Guo et al. 2022). برخی پژوهش‌ها نیز تلاش کرده‌اند با تخصیص مناسب کاربران، تعادل بار بین ایستگاه‌های پایه در کاربردهای مختلف UAV را ایجاد نمایند (He et al. 2020, Jiang et al. 2022). پژوهش‌های ذکر شده گرچه تعادل بار و توزیع منصفانه بار محاسباتی بین ایستگاه‌های پایه را در نظر گرفته بودند، ولی بحث تخمین زمان اقامت کاربران برای جلوگیری از دست به دست‌شدگی‌های غیرضروری مغفول مانده است.

هدف این مقاله ارائه یک الگوریتم دست به دست‌شدگی برای شبکه‌های پهپاد است که ABS هدف را به گونه‌ای انتخاب می‌کند که تعادل بار حاصل شده و همچنین با تخمین زمان اقامت

^۱ Recurrent neural network (RNN)

^۲ Gated recurrent unit (GRU)

^۳ Mobile edge computing (MEC)

کاربر در ناحیه پوششی جدید از دست به دست‌شدگی‌های غیرضروری جلوگیری کند. شاخص انصاف Jain به عنوان معیاری برای تعادل بار در نظر گرفته می‌شود. از این رو، ایستگاه پایه انتخاب شده باید این شاخص را بیشینه کند. برای این منظور، ابتدا لیست همسایگان کاربران بر اساس توان دریافتی سیگنال مرجع ($RSRP^1$) ساخته شده و سپس زمان اقامت بر اساس RSRP پیش-بینی شده تخمین زده می‌شود. پس از حذف ایستگاه‌ها با زمان اقامت کم، ایستگاه پایه هدف بر اساس تابع سودمندی انتخاب می‌شود که تابعی از زمان اقامت کاربر و شاخص انصاف Jain است. نتایج نشان می‌دهد که روش پیشنهادی به کیفیت خدمات (QoS^2) بهتر دست می‌یابد و تعداد دست به دست‌شدگی‌های غیرضروری را در مقایسه با روش سنتی مبتنی بر RSRP کاهش می‌دهد.

ادامه این مقاله به شرح زیر سازماندهی شده است. مدل سیستم در بخش بعدی توضیح داده شده است. در ادامه، روش دست به دست‌شدگی پیشنهادی را به تفصیل شرح داده خواهد شد. نتایج شبیه‌سازی و در نهایت، نتیجه‌گیری در بخش پایانی مقاله ارائه شده است.

مدل سیستم

در این قسمت به معرفی ساختار شبکه بی‌سیم مبتنی بر پهپاد و سپس مدل کانال پرداخته می‌شود. فرض می‌شود که ایستگاه‌های پایه هواپرد با مکان ثابت به صورت تصادفی در منطقه سرویس‌دهی مستقر شده و ارتفاع آن‌ها به صورت تصادفی در محدوده (h_{min}, h_{max}) انتخاب شده تا یک شعاع پوشش تصادفی فراهم کنند. مجموعه ABS با N عضو شامل $B = \{B_1, B_2, \dots, B_N\}$ و مکان ایستگاه پایه B_i در فضای سه بعدی با (x_i^b, y_i^b, h_i^b) نشان داده می‌شود. هر ایستگاه پایه هواپرد به طور تصادفی به تعداد n_{rb} بلوک منبع را از مجموعه بلوک منبع‌های موجود انتخاب می‌کند. هم‌چنین مجموعه $u = \{u_1, u_2, \dots, u_M\}$ بیانگر M کاربر زمینی و محل کاربر u_j در فضای دوبعدی با (x_j^u, y_j^u) نمایش داده می‌شود.

فرض می‌شود که کاربران بر اساس مدل مکان توقف تصادفی (RWP^3) در منطقه سرویس‌دهی حرکت می‌کنند (Bettstetter et al. 2013). RWP یک مدل شبیه‌سازی شده برای تحرک است که اغلب در شبکه‌های بی‌سیم، به عنوان مثال در شبکه‌های Ad hoc، استفاده می‌شود. در این مدل، حرکت هر گره در امتداد یک خط زیگزاگ از یک نقطه به سمت محل توقف بعدی است.

¹ Reference signal received power (RSRP)

² Quality-of-service (QoS)

³ Random waypoint (RWP)

توزیع نقاط در یک حوزه مشخص یکنواخت است. تحرک توسط، یک گره که از یک نقطه به نقطه دیگر در یک خط مستقیم با سرعت ثابت حرکت می‌کند مشخص می‌شود (Pong et al. 2006). هنگامی که یک گره به مقصد می‌رسد، برای یک زمان از پیش تعریف شده، ساکن باقی می‌ماند و سپس طبق همان قانون شروع به حرکت می‌کند (Bettstetter et al. 2013).

با توجه به ارتفاع پهپادها، مدل کانال در شبکه‌های پهپاد با مدل‌های استفاده شده در شبکه‌های سلولی زمینی متفاوت است. مدل ارائه شده در این پژوهش، فاصله افقی بین کاربر u_j و ایستگاه پایه B_i ، یعنی $r_{i,j}$ ، را به صورت زیر محاسبه می‌کند (Al-Hourani et al. 2014):

$$r_{i,j} = \sqrt{(x_i^b - x_j^u)^2 + (y_i^b - y_j^u)^2} \quad (1)$$

با در نظر گرفتن $r_{i,j}$ ، فاصله دید مستقیم بین کاربر u_j و ایستگاه پایه B_i ، $d_{i,j}$ ، به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$d_{i,j} = \sqrt{r_{i,j}^2 + (h_i^b)^2} \quad (2)$$

سیگنال ارسالی از پهپاد به دلیل ارسال از طریق مسیرهای LOS و NLOS، تلفات مسیر متفاوتی را تجربه می‌کند. احتمال اینکه سیگنال ارسالی از ایستگاه پایه B_i به کاربر u_j ، مسیر LOS تجربه کند، به صورت زیر محاسبه می‌شود (Al-Hourani et al. 2014):

$$P_{i,j}^{LOS} = \frac{1}{1 + \alpha \exp(-b(\theta_{ij} - \alpha))} \quad (3)$$

که θ_{ij} بیانگر زاویه ارتفاع بین ایستگاه پایه B_i و کاربر u_j و α و b پارامترهای وابسته به محیط هستند. همچنین احتمال مسیر NLOS به صورت محاسبه می‌شود (Al-Hourani et al. 2014):

$$P_{NLOS} = 1 - P_{LOS} \quad (4)$$

افت مسیر شامل افت مسیر فضای آزاد و تلفات اضافی ناشی از انتشار در فضای شهری است. افت مسیر فضای آزاد برای مسیرهای LOS و NLOS یکسان است، اما تلفات اضافی در هر گروه متفاوت است. افت مسیر فضای آزاد بر حسب dB بین ایستگاه پایه B_i و کاربر u_j به صورت زیر محاسبه می‌شود (Al-Hourani et al. 2014):

$$L_{i,j}^{FS} [dB] = 20 \log_{10}(d_{i,j}) + 20 \log_{10}\left(\frac{4\pi f_c}{c}\right) \quad (5)$$

که f_c و c به ترتیب فرکانس حامل را بر حسب هرتز و سرعت نور را بر حسب متر بر ثانیه نشان می‌دهند. بنابراین، افت مسیر (بر حسب دسی‌بل) در هر گروه به صورت زیر محاسبه می‌شود (AI-Hourani et al. 2014):

$$L_{i,j}^{LOS} [dB] = L_{i,j}^{FS} + \eta_{LOS} \quad (۶)$$

$$L_{i,j}^{NLOS} [dB] = L_{i,j}^{FS} + \eta_{NLOS} \quad (۷)$$

در این روابط، η_{LOS} و η_{NLOS} تلفات اضافی هستند که با توزیع گوسی مدل می‌شوند. میانگین تلفات مسیر را می‌توان به صورت زیر بدست آورد (AI-Hourani et al. 2014):

$$L_{i,j} [dB] = P_{i,j}^{LOS} L_{i,j}^{LOS} [dB] + P_{i,j}^{NLOS} L_{i,j}^{NLOS} [dB] \quad (۸)$$

برای توان ارسالی تخصیص یافته برای ایستگاه پایه B_i ، توان دریافتی سیگنال مرجع (RSRP) کاربر u_j را می‌توان به صورت زیر محاسبه کرد (AI-Hourani et al. 2014):

$$P_{i,j}^r [dBm] = P_i^t [dBm] - L_{i,j} [dB] \quad (۹)$$

همچنین اگر ایستگاه پایه B_i به کاربر u_j در بلوک منبع r_k سرویس ارائه کند، نسبت سیگنال به تداخل به اضافه نویز (SINR)^۱ به صورت زیر محاسبه می‌شود (Aghazadeh et al. 2018):

$$\gamma_{i,j,k} = \frac{P_{i,j}^r}{\sum_{n=1, n \neq i}^N \delta_{n,k} P_{n,j}^r L_{i,j}^{-1} + N_0} \quad (۱۰)$$

عبارت‌های نخست و دوم در مخرج رابطه (۱۰) به ترتیب بیانگر تداخل هم‌کانال و توان نویز سفید گوسی هستند. هم چنین $\delta_{n,k}$ یک متغیر باینری است و اگر ایستگاه پایه B_i در بلوک منبع r_k کاربری را سرویس‌دهی کند، مقدار آن برابر یک می‌شود، در غیر این صورت داریم $\delta_{n,k} = 0$. این رو، بهره‌وری طیفی (SE)^۲ برای کاربر u_j که در بلوک منبع r_k توسط ایستگاه پایه B_i سرویس‌دهی می‌شود، به صورت زیر به دست می‌آید (Aghazadeh et al. 2018):

$$\eta_{i,j,k}^{SE} = \log_2(1 + \gamma_{i,j,k}) \quad \text{bits/sec/Hz} \quad (۱۱)$$

استراتژی‌های انصاف برای توزیع منصفانه بار در ایستگاه‌های پایه یک سیستم طراحی می‌شوند. از آنجایی که تعداد بار در هر شبکه بی‌سیم حائز اهمیت است، تخصیص منابع باید بین ایستگاه‌های پایه باید منصفانه باشد تا این هدف محقق گردد. شاخص انصاف Jain به عنوان معیاری برای تعادل بار پیشنهاد شده است (Piro et al. 2015). مقدار این شاخص زمانی که همه ایستگاه‌های پایه بار مساوی را سرویس‌دهی می‌کنند، برابر یک می‌شود و در صورت عدم تعادل

^۱ Signal-to-interference-plus-noise ratio (SINR)

^۲ Spectral efficiency (SE)

شدید، مقدار آن برابر $1/N$ است (Ahmad et al. 2016). شاخص انصاف Jain به صورت زیر محاسبه می‌شود (Ahmad et al. 2016):

$$I_{Jain} = \frac{(\sum_{i=1}^N n_i)^2}{N \sum_{i=1}^N n_i^2} \quad (12)$$

در این رابطه متغیر n_i بیانگر تعداد بلوک منبع‌های اشغال شده در ایستگاه پایه B_i است و داریم $0 \leq n_i \leq n_{rb}$

روش پیشنهادی برای دست به دست‌شدگی

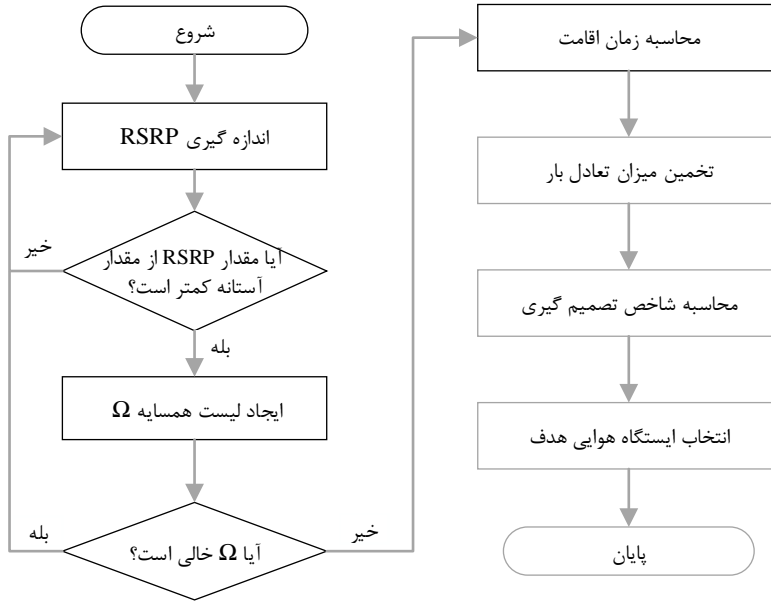
بلوک دیگرام روش پیشنهادی برای انتخاب ایستگاه پایه هواپرد در شکل ۱ نمایش داده شده است. روش پیشنهادی از دو مرحله اساسی تشکیل شده است: (۱) تشکیل لیست همسایه^۱ Ω بر اساس RSRP و (۲) محاسبه زمان اقامت^۲ و شاخص انصاف Jain برای همسایه‌های کاندید عضو Ω .

همان‌طور که مشاهده می‌شود انتخاب ایستگاه پایه برای کاربر u_j زمانی شروع می‌شود که RSRP آن کمتر از حداقل مقدار مورد نیاز P_{th}^r باشد. کاهش RSRP نشان می‌دهد که کاربر به سمت لبه منطقه پوشش ایستگاه پایه حرکت می‌کند و ایستگاه پایه سرویس‌دهنده نمی‌تواند حداقل نیاز QoS کاربر را برآورده کند، بنابراین ایستگاه پایه جدید باید برای پوشش کاربر انتخاب شود.

فرض کنید که کاربر u_j توسط ایستگاه پایه B_s سرویس‌دهی می‌شود، فرآیند انتخاب ایستگاه پایه هدف جدید زمانی شروع می‌شود که داشته باشیم $P_{s,j}^r [dBm] < P_{th}^r$ ، یعنی کاربر به سمت لبه منطقه پوشش فعلی حرکت می‌کند و اتصال به ایستگاه پایه دیگر برای حفظ QoS ضروری است. در این مورد، پیشنهاد می‌شود لیست همسایه را برای کاربر u_j به صورت زیر ایجاد شود:

^۱ Neighbor list

^۲ Sojurn time



شکل (۱) بلوک دیاگرام روش پیشنهادی برای دست به دست‌شدگی

$$\Omega_j = \{B_i | P_{i,j}^r [dBm] > P_{th}^r, i = 1, \dots, M, i \neq s\} \quad (13)$$

این لیست شامل ایستگاه‌های پایه‌ای است که توان دریافتی کاربر u_j از آن‌ها بالاتر از مقدار آستانه P_{th}^r است. روش مرسوم RSRP، ایستگاه پایه هوای با بالاترین RSRP را به عنوان ایستگاه هدف انتخاب می‌کند. اما این رویکرد ممکن است منجر به دست به دست‌شدگی‌های غیرضروری و اثر پینگ‌پنگ شود. دست به دست‌شدگی پینگ‌پنگ زمانی اتفاق می‌افتد که زمان اقامت کاربر در محدوده پوشش ایستگاه پایه جدید کمتر از حداقل مقدار T_{th} از پیش تعریف‌شده باشد. همچنین، انتخاب ایستگاه پایه با بالاترین RSRP، تعداد بار را در بین ایستگاه‌های پایه تضمین نمی‌کند.

برای جلوگیری از دست به دست‌شدگی پینگ‌پنگی و افزایش زمان اقامت در ایستگاه پایه هوای جدید، باید مسیر کاربران را پیش‌بینی کنیم. برای این منظور، RSRP ایستگاه‌های پایه متعلق به Ω_j پیش‌بینی می‌شود. بردار τ_{train} با در نظر گرفتن نمونه‌های RSRP قبلی ساخته شده و سپس، نمونه‌های RSRP بعدی τ_{pred} پیش‌بینی می‌شوند.

فرض کنید $y_{(i,j)} = [y_{(i,j)}^1, \dots, y_{(i,j)}^{\tau_{pred}}]$ بیانگر نمونه‌های RSRP پیش‌بینی شده برای کاربر u_j از ایستگاه پایه هوآبرد B_i است. زمان اقامت بر اساس اولین نمونه RSRP پیش‌بینی شده که مقدار آن کمتر از P_{th}^r باشد، تخمین زده می‌شود. شبه‌کد محاسبه زمان اقامت کاربر u_j در ایستگاه پایه B_i در الگوریتم ۱ نمایش داده شده است.

الگوریتم (۱) شبه‌کد روش پیشنهادی برای محاسبه زمان اقامت کاربر

1. **Initialize** $T_j^s(i) = [0 \ \dots \ 0]_{1 \times |\Omega_j|}$
2. **for** $i = 1$ **to** $|\Omega_j|$, **do**
3. **for** $t = 1$ **to** τ_{pred} , **do**
4. **if** $y_{(i,j)}^t < P_{th}^r$, **do**
5. $T_j^s(i) = t - 1$;
6. **break**
7. **end if**
8. **end for**
9. **end for**

سپس با فرض اتصال کاربر u_j به ایستگاه پایه $\Omega_j(i)$ از لیست همسایه، شاخص انصاف Jain محاسبه می‌شود. برای این منظور، فرض می‌شود که کاربر u_j به صورت موقت از ایستگاه B_s جدا می‌شود و متغیر $I_{j,temp}^{Jain}$ بر اساس الگوریتم ۲ محاسبه می‌شود. شاخص تصمیم‌گیری برای کاربر u_j به صورت حاصل ضرب شاخص انصاف Jain و زمان اقامت به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\eta_j = I_{j,temp}^{Jain} \times T_j^s \quad (14)$$

در نهایت ایستگاه پایه مقصد برای سرویس‌دهی کاربر u_j به صورت زیر انتخاب می‌شود:

$$B_{s,new} = \operatorname{argmax}(\eta_j) \quad (15)$$

الگوریتم (۲) شبه‌کد روش پیشنهادی برای محاسبه شاخص انصاف

1. Initialize $I_{j,temp}^{Jain} = [0 \ \dots \ 0]_{1 \times |\Omega_j|}$
2. $n_s \leftarrow n_s - 1$;
3. for $i = 1$ to $|\Omega_j|$, do
4. $n_{\Omega_j(i)} \leftarrow n_{\Omega_j(i)} + 1$;
5. $I_{temp}^{Jain}(i) \leftarrow \frac{(\sum_{l=1}^N n_l)^2}{(N \sum_{l=1}^N n_l^2)}$;
6. $n_{\Omega_j(i)} \leftarrow n_{\Omega_j(i)} - 1$;
7. end for

نتایج شبیه‌سازی

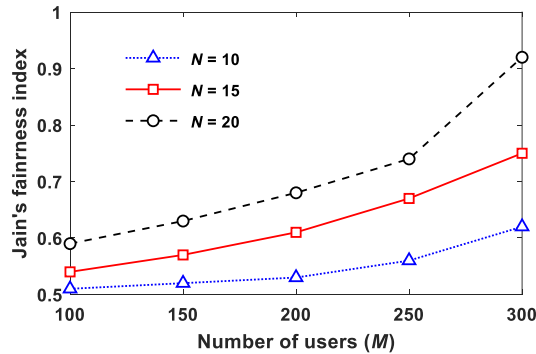
در این بخش نتایج به‌دست‌آمده از شبیه‌سازی مونت کارلو برای ارزیابی عملکرد روش تعادل بار پیشنهاد شده در فرآیند دست به دست‌شدگی در شبکه‌های بی‌سیم سه بعدی ارائه می‌شود. عملکرد روش پیشنهادی از نظر نرخ دست به دست‌شدگی، نرخ پینگ‌پنگ، بهره‌وری طیفی و شاخص انصاف بیان شده و با عملکرد روش سنتی برای انتخاب ایستگاه پایه که ایستگاه پایه بالاترین RSRP را انتخاب می‌کند، مقایسه می‌شود. پارامترهای استفاده شده در شبیه‌سازی در جدول ۱ آورده شده است (Zhang et al. 2018, Huang 2019, Yan et al. 2021, Zhao 2021)

جدول (۱) پارامترهای استفاده شده در شبیه‌سازی

پارامتر	مقدار
تعداد کاربران	۱۰۰ تا ۳۰۰
تعداد ایستگاه‌های پایه هوابرد	۱۰ تا ۳۰
توان ارسالی	23 dBm
مقدار آستانه RSRP	-75 dBm
ارتفاع ایستگاه پایه	حداقل ۳۰۰ متر و حداکثر ۵۰۰ متر
ناحیه شبیه‌سازی	۵۰۰۰ متر در ۵۰۰۰ متر
زمان شبیه‌سازی	۵۰۰۰ ثانیه
تعداد نمونه‌های RSRP آموزشی	۱۵۰
تعداد نمونه‌های RSRP پیش‌بینی شده	۵۰

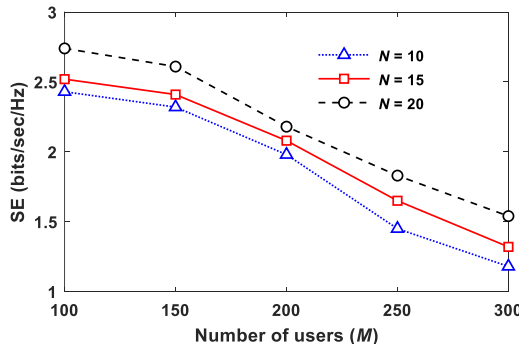
شاخص انصاف Jain، میانگین بهره‌وری طیفی کاربران و نرخ پینگ‌پنگ الگوریتم پیشنهادی به ترتیب در نمودارهای (۱)–(۳) آورده شده است. در نمودار (۱) مشاهده می‌شود که تعداد کاربران و پهلوها تاثیر مستقیمی بر شاخص انصاف دارد. برای تعداد ثابت پهلوها، با افزایش

تعداد کاربران، شاخص انصاف Jain بهبود می‌یابد. با افزایش تعداد پهپادها، احتمال دارد که برخی از پهپادها برای تعداد کاربران کمتر به هیچ کاربری خدمات ندهند. بنابراین، تعادل بار بین پهپادها کاهش می‌یابد. با این حال، با افزایش تعداد کاربران، احتمال اینکه پهپادهای بیشتری به آن‌ها سرویس‌دهی کنند، افزایش می‌یابد و در نتیجه شاخص انصاف Jain افزایش می‌یابد.



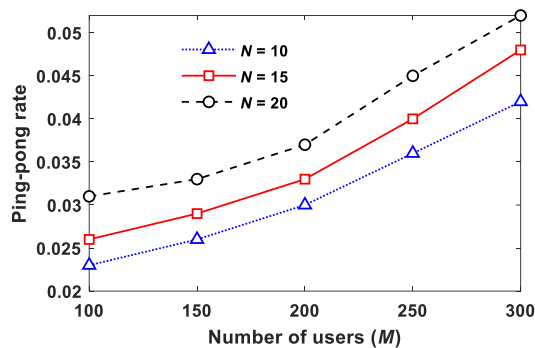
نمودار (۱) شاخص انصاف روش پیشنهادی

برای تعداد ثابت پهپادها، با کاهش تعداد کاربران، تعداد کاربرانی که از همان بلوک منبع استفاده می‌کنند، کاهش می‌یابد و بالعکس. بنابراین، تداخل کانال مشترک در آن بلوک منبع نیز کاهش می‌یابد که در نتیجه SINR و بهره‌وری طیفی افزایش می‌یابد که در نمودار (۲) نشان داده شده است. برای تعداد ثابت کاربران، افزایش تعداد پهپادها، تعداد بلوک منبع‌های در دسترس را افزایش می‌دهد و تعداد کاربرانی که از یک بلوک منبع خاص استفاده می‌کنند، کاهش می‌یابد. بنابراین، تداخل کانال مشترک در آن بلوک منبع کاهش یافته و SINR افزایش می‌یابد که منجر به بهره‌وری طیفی بالاتر می‌شود.



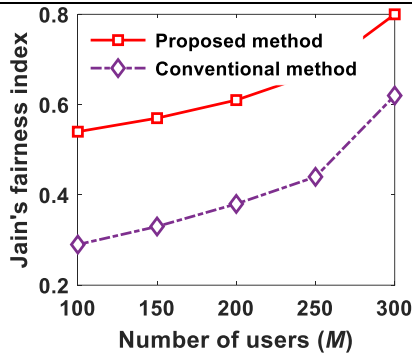
نمودار (۲) بهره‌وری طیفی روش پیشنهادی

نمودار (۳) نشان می‌دهد که نرخ پینگ‌پنگ روش پیشنهادی پایین است. مهمترین عامل موثر بر نرخ پینگ‌پنگ در روش پیشنهادی، تخمین زمان اقامت بر اساس نمونه‌های پیش‌بینی‌شده RSRP است. بررسی نتایج نشان می‌دهد که در نظر گرفتن تخمین زمان اقامت کاربر، نرخ پینگ‌پنگ رو به ازای تمام مقادیر در نظر گرفته‌شده برای تعداد کاربران و تعداد پهپادها بین ۱۷٪ تا ۳۲٪ کاهش می‌دهد.

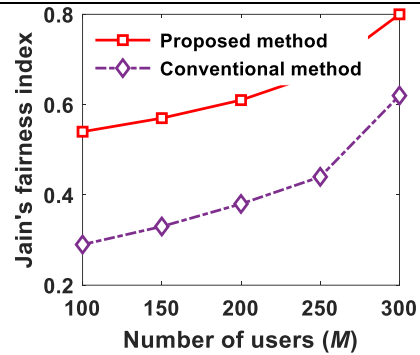


نمودار (۳) نرخ پینگ‌پنگ روش پیشنهادی

نمودار (۴) عملکرد روش پیشنهادی را با روش مرسوم مقایسه می‌کند. مشاهده می‌شود که روش پیشنهادی عملکرد بهتری نسبت به روش مرسوم دارد. انتخاب مقدار آستانه RSRP تاثیر مستقیم بر تشکیل لیست همسایه Ω و در نتیجه انتخاب ایستگاه پایه هدف دارد. اگر مقدار آستانه خیلی بالا در نظر گرفته شود، تعداد اعضای لیست همسایه Ω کاهش می‌یابد، در نتیجه امکان دارد هیچ ایستگاه پایه‌ای برای اتصال کاربر مورد نظر یافت نشود و سرویس آن قطع شود. از طرف دیگر، مقادیر پایین برای مقدار آستانه باعث عضویت ایستگاه‌ها با کیفیت سیگنال پایین در لیست همسایه می‌شوند که شاید نتوانند کیفیت سرویس مورد نیاز کاربر را تامین کنند.



(ب)



(الف)

نمودار (۴) مقایسه کارایی روش پیشنهادی با روش مرسوم

نتیجه گیری

در این مقاله، یک روش برای انتخاب ایستگاه پایه هوابرد هدف در شبکه‌های بی سیم سه بعدی، که در آن پهپادها به عنوان ایستگاه پایه استفاده می‌شوند، برای افزایش تعادل بار ارائه شد. برای کاهش پیچیدگی محاسباتی جستجوی ایستگاه پایه، ابتدا لیست ایستگاه‌های همسایه برای هر کاربر ساخته می‌شود تا ایستگاه‌های پایه کاندید برای دست به دست‌شدگی به دست آیند. برای حذف اثر پینگ‌پنگ در فرآیند دست به دست‌شدگی، زمان اقامت کاربر در هر ایستگاه پایه کاندید پیش‌بینی شده و سپس، شاخص انصاف Jain نیز برای هر ایستگاه پایه کاندید محاسبه می‌شود. ایستگاه پایه هوابرد که حاصل ضرب شاخص انصاف در زمان اقامت تخمینی را بیشینه می‌کند، به عنوان ایستگاه پایه هدف در نظر گرفته می‌شود. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که طرح پیشنهادی برای انتخاب ایستگاه پایه هدف نسبت به طرح سنتی به انصاف بالاتر و نرخ پینگ‌پنگ پایین‌تر دست می‌یابد.

انرژی الکتریکی مورد نیاز پهپادها توسط باتری تامین می‌شود که محدود است و باید به صورت بهینه مصرف شود. از این رو نیاز است بهره‌وری انرژی، که به صورت نسبت بهره‌وری طیفی به انرژی مصرف‌شده تعریف می‌شود، بیشینه شود. همچنین در این پژوهش مکان پهپادها به صورت ثابت در نظر گرفته شد. برای کاهش تعداد دست به دست‌شدگی می‌توان مکان پهپادها را نیز تغییر داد که در این صورت نیاز به الگوریتم‌های مسیریابی برای دنبال کردن حرکت کاربر نیاز است.

قدردانی

از کلیه اساتید و همکارانی که ما را فرآیند انجام این پژوهش یاری رساندند، کمال تشکر و قدردانی را داریم.

منابع

- حبیبی، نیک‌بخش. (۱۳۹۶). ارائه مدل اثربخش بکارگیری بهینه پهپاد در توانمندسازی عملیات آینده سازمان‌های دفاعی (مطالعه موردی عملیات پروازی نیروی هوایی). *آینده پژوهی دفاعی*، ۲ (۴): ۳۵-۶۲.
- شجاعیان، علی؛ رحیم‌پور، نگار و سجادیان، ناهید. (۱۳۹۷). کاربرد فتوگرامتری UAV در برآورد جمعیت تحت تاثیر شبکه‌های ماهوره‌ای. *علوم و فنون نظامی*، ۱۴ (۴۴): ۹۱-۱۱۵.
- شکوهی، حسین و همت‌اندلیبی، علی. (۱۳۸۹). توانمندی‌های پهپاد در جنگ‌های آینده. *علوم و فنون نظامی*، ۷ (۱۸): ۵-۱۷.
- محمدی، اردشیر؛ نواده‌توپچی، حسین؛ فروزان، ایرج؛ شکوهی، حسین و ایجایی، ابراهیم (۱۴۰۱). مؤلفه‌های اثرگذار بر کشف و مقابله با هواپیمای بدون سرنشین در صحنه‌های نبرد آینده. *آینده پژوهی دفاعی*، ۷ (۲۵): ۱۳۹-۱۶۸.
- Ahmad, A., Beg, M., & Ahmad, S. (2016). Fairness issues and measures in wireless networks: a survey, " *IOSR Journal of Electronics and Communication Engineering IOSR-JECE*, 11 (6): 20-24.
- Aissa, S.B, Letaifa, A.B., Sahli. A., & Rachedi, A. (2022). Computing offloading and load balancing within UAV clusters. *IEEE 19th Annual Consumer Communications & Networking Conference (CCNC)*.
- Al-Hourani, A. Kandeepan, S., & Jamalipour, A. (2014). Modeling air-to-ground path loss for low altitude platforms in urban environments. *IEEE global communications conference*.
- Al-Hourani, A., Kandeepan, S., & Lardner, S. (2014). Optimal LAP altitude for maximum coverage. *IEEE Wireless Communications Letters*, 3 (6): 569-572.
- Azari, M., Rosas, F., Chen, K.-C, & Pollin, S. (2016). Optimal UAV positioning for terrestrial-aerial communication in presence of fading. *IEEE Global Communications Conference*.
- Bettstetter, C., Resta, G., & Santi, P. (2003). The node distribution of the random waypoint mobility model for wireless ad hoc networks. *IEEE Transactions on mobile computing*, 2 (3): 257-269.
- Guo, H., Zhou, X., Wang, Y., & Liu, J., (2022). Achieve load balancing in multi-UAV edge computing IoT networks: a dynamic entry and exit mechanism. *IEEE Internet of Things Journal*, 9 (19): 18725-18736.
- He, G., Bao, W., & Hui, Y. (2022). A UAV emergency network user allocation method for load balancing. *International Conference on Big Data and Information Analytics (BigDIA)*.

- Hu, B., Yang, H., Wang, L., & Chen, S. (2019). A trajectory prediction based intelligent handover control method in UAV cellular networks. *China Communications*, 16 (1): 1-14.
- Huang, F., Chen, J., Wang, H., Ding, G., Xue, Z., Yang, Y., & Song, F. (2019). UAV-assisted SWIPT in Internet of Things with power splitting: trajectory design and power allocation. *IEEE Access*, 7: 68260-68270.
- Jiang, C., Li, Y., Su, R., Xiao, Z., & Yan, F. (2020). A load balancing-based resource allocation algorithm in UAV-aided MEC systems. *International Conference on Computer and Communications (ICCC)*.
- Mozaffari, M., Saad, W., Bennis, M., Debbah, M. (2016). Efficient deployment of multiple unmanned aerial vehicles for optimal wireless coverage. *IEEE Communications Letters*, 20 (8): 1647-1650.
- Park, K.-N., Cho, B.-M., Park, K.-J., & Kim, H. (2015). Optimal coverage control for net-drone handover. *International Conference on Ubiquitous and Future Networks*.
- Park, K.-N., Kang, J.-H., Cho, B.-M., Park, K.-J., & Kim, H. (2016). Handover management of net-drones for future Internet platforms. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 12 (3): 5760245.
- Piro, G., Grieco, L. A., Zoggia, G. & Camarda, P. (2010). A two-level scheduling algorithm for QoS support in the downlink of LTE cellular networks. *European Wireless Conference*.
- Pong, D., & Moors, T. (2006). The impact of random waypoint mobility on infrastructure wireless networks. *International Journal of Wireless Information Networks*, 13 (2): 99-114.
- Valavanis, K. P. & Vachtsevanos, G. J. (2015). Handbook of unmanned aerial vehicles. Springer.
- Yan, S., Hanly, S.V., & Collings, I.B. (2021). "Optimal transmit power and flying location for UAV covert wireless communications. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 39 (11): 3321-3333.
- Yang, L., Yao, H., Wang, J., C. Jiang, C., A. Benslimane, A., & Y. Liu, Y., (2020). Multi-UAV-enabled load-balance mobile-edge computing for IoT networks. *IEEE Internet of Things Journal*, 7 (8): 6898-6908.
- Yang, H., Hu, B., & Wang, L. (2017). A deep learning based handover mechanism for UAV networks. *International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications*.
- Yanmaz, E., Yahyanejad, S., Rinner, B., Hellwagner, H., & Bettstetter, C. (2018). Drone networks: communications, coordination, and sensing. *Ad Hoc Networks*, 68: 1-15.
- Zeng, Y., Zhang, R. & Lim, T. J. (2016). Throughput maximization for UAV-enabled mobile relaying systems. *IEEE Transactions on Communications*, 64 (12): 4983-4996.

- Zhang, G., Yan, H., Zeng, Y., Cui, M. and Liu, Y. (2018). Trajectory optimization and power allocation for multi-hop UAV relaying communications. *IEEE Access*, 6: 48566-48576.
- Zhang, S., Zeng, Y. & Zhang, R. (2018). Cellular-enabled UAV communication: Trajectory optimization under connectivity constraint, *IEEE International Conference on Communications*.
- Zhao, F. (2021). Optimal UAV's deployment and transmit power design for two users uplink NOMA systems. *Frontiers in Neurorobotics*, 119.