

# یک سکوی شبیه‌سازی مبتنی بر پایتون برای شبکه‌های مخابراتی پهپادها UavNetSim-v1:

Kai-kit Wong Jie Tang, Youjun Xiang, Cui Yang, Linyi Huang, Zipeng Dai, Zihao Zhou

## (Abstract)

در شبکه‌های پهپادهای بدون سرنشین(UAV)، پروتکل‌ها و الگوریتم‌های ارتباطی نقش اساسی در همکاری و هماهنگی میان پهپادها ایفا می‌کنند. شبیه‌سازی، راهکاری مفرونه بصره برای نمونه‌سازی، اشکال‌زدایی و تحلیل پروتکل‌ها و الگوریتم‌ها فراهم می‌کند و از هزینه‌های بسیار بالای آزمایش‌های میدانی جلوگیری می‌نماید.

در این مقاله، سکوی شبیه‌سازی متن باز UavNetSim-v1 معرفی می‌شود که یک چارچوب شبیه‌سازی مبتنی بر زبان پایتون برای توسعه سریع، آزمایش و ارزیابی پروتکل‌ها و الگوریتم‌ها در شبکه‌های پهپادی است. این پلتفرم اغلب قابلیت‌های موردنیاز توسعه‌دهندگان، از جمله پروتکل‌های مسیریابی، کنترل دسترسی به رسانه(MAC)، الگوریتم‌های کنترل تopoلوجی و مدل‌های حرک و مصرف انرژی را فراهم می‌کند و در عین حال سادگی استفاده را حفظ می‌نماید.

علاوه بر این، این سکوی شبیه‌سازی از ارزیابی جامع عملکرد شبکه پشتیبانی کرده و دارای رابط بصری تعاملی برای تحلیل عمیق رفتار الگوریتم‌ها است. به طور خلاصه، UavNetSim-v1 هم برای نمونه‌سازی سریع و هم برای اهداف آموزشی بسیار مناسب بوده و می‌تواند به عنوان جایگزینی سبک، اما توانمند، برای شبیه‌سازهای بالغ شبکه در تحقیقات ارتباطات پهپادی مورد استفاده قرار گیرد.

## واژگان کلیدی:

شبکه پهپاد، ارتباطات بی‌سیم، شبیه‌ساز، پایتون، SimPy

## (Introduction)

شبکه‌های پهپادهای بدون سرنشین در سال‌های اخیر توجه گسترده‌ای را از سوی محققان دانشگاهی و صنعت به خود جلب کرده‌اند و نقش فزاینده‌ای در کاربردهای متنوعی نظریه امداد و نجات پس از بلایای طبیعی، شناسایی مشارکتی و پایش ترافیک ایفا می‌کنند. اجرای وظایف پیچیده در این شبکه‌ها مستلزم ارتباط و همکاری مؤثر میان پهپادها است که این امر به طراحی مناسب پروتکل‌های شبکه (مانند پروتکل‌های مسیریابی و MAC) و الگوریتم‌های کنترلی (مانند الگوریتم‌های کنترل حرکت و تخصیص منابع) وابسته است.

در روش‌های رایج پژوهشی، نمونه‌های اولیه پروتکل‌ها و الگوریتم‌های شبکه‌های پهپادی معمولاً نیازمند اعتبارسنجی مبتنی بر شبیه‌سازی هستند، زیرا پیاده‌سازی و آزمایش‌های واقعی هزینه‌بر بوده و اغلب غیرعملی می‌باشند. علاوه بر هزینه، شبیه‌سازی در

مقایسه با پیاده‌سازی واقعی، فرآیند طراحی، تنظیم پارامترها، اشکال‌زدایی و تحلیل عملکرد را ساده‌تر کرده و امکان تکرارپذیری نتایج تحت شرایط مختلف را فراهم می‌سازد.

با وجود توسعه چندین چارچوب متن‌باز برای شبیه‌سازی پهپادها، اغلب این شبیه‌سازها بر دقت شبیه‌سازی یک پهپاد منفرد تمرکز داشته و قادر به پشتیبانی از شبیه‌سازی بلادرنگ سیستم‌های چندپهپادی بزرگ مقیاس نیستند؛ ازین‌رو برای مطالعات شبکه‌های مخابراتی پهپادی مناسب نمی‌باشند.

از سوی دیگر، شبیه‌سازهای شناخته‌شده شبکه‌های بی‌سیم مانند NS-2، NS-3، OMNeT++ و GloMoSim به دلیل پیچیدگی مفهومی بالا و منحنی یادگیری تند، برای نمونه‌سازی سریع و اهداف آموزشی مناسب نیستند. در چنین شرایطی، زمان و تلاش موردنیاز برای تسلط بر این ابزارها اغلب بیش از منافع حاصل از آن‌ها است.

بر این اساس، در این مقاله سکوی شبیه‌سازی جدید UavNetSim-v1 ارائه می‌شود که به‌طور کامل با زبان پایتون توسعه یافته و با تمرکز بر سادگی، توسعه‌پذیری و اهداف آموزشی طراحی شده است. این پلتفرم امکان طراحی و ارزیابی پروتکل‌های مسیریابی، MAC و کنترل توپولوژی را فراهم کرده و از ارزیابی عملکرد جامع و تحلیل بصری تعاملی پشتیبانی می‌کند.

### ۱.۱.۱ اهداف طراحی و ویژگی‌های کلیدی (Design Goals and Key Features)

هدف اصلی طراحی UavNetSim-v1، ارائه شبیه‌سازی با کاربری آسان و قابلیت توسعه بالا، در عین حفظ دقت قابل قبول شبیه‌سازی است. ویژگی‌های کلیدی این پلتفرم عبارت‌اند از:

- متن‌باز: پروژه UavNetSim-v1 بر اساس توسعه جامعه محور متن‌باز طراحی شده است.
- مبتنی بر پایتون: استفاده از زبان پایتون باعث کاهش چشمگیر منحنی یادگیری می‌شود.
- ساده و انعطاف‌پذیر: قابلیت استفاده و توسعه برای سناریوهای مختلف مانند FANET و شبکه‌های یکپارچه زمین-هوای فضا.
- دارای قابلیت بصری‌سازی: نمایش مسیر پرواز پهپادها و مسیر ارسال بسته‌ها برای تحلیل شهری.
- پشتیبانی از هوش مصنوعی: امکان پیاده‌سازی الگوریتم‌های مبتنی بر یادگیری تقویتی و یادگیری ماشین.
- پشتیبانی از تحلیل عملکرد: شامل شاخص‌هایی مانند نسبت تحويل بسته، تأخیر انتها به انتهای، توان عملیاتی، سربار مسیریابی و تعداد پرس‌ها.

### ۱.۱.۲ معماری و مروری بر مأذول‌ها (Architecture and Modules Overview)

پلتفرم UavNetSim-v1 بر اساس چارچوب شبیه‌سازی رویدادگستته SimPy توسعه یافته است. عناصر اصلی SimPy شامل محیط شبیه‌سازی، رویدادها و توابع فرایندی تعریف شده توسط کاربر هستند. این ساختار، SimPy را برای سیستم‌های ارتباطی نامگام و چندعاملی بسیار مناسب می‌سازد.

در این پلتفرم، کلاس Drone نماینده هر پهپاد بوده و شامل پشته پروتکل (MAC، مدل تحرک و مدل مصرف انرژی) است. بسته‌های داده پس از تولید، بر اساس پروتکل مسیریابی، گره بعدی را انتخاب کرده و طبق قوانین MAC روی کانال بی‌سیم ارسال می‌شوند.

---

#### A. مأذول ارزیابی عملکرد (Performance Evaluation Module)

این مأذول از شاخص‌های زیر پشتیبانی می‌کند:

- نسبت تحويل بسته (PDR)
- تأخیر متوسط انتهای به انتهای (E2E Delay)
- توان عملیاتی متوسط (Throughput)
- سربار مسیریابی (Routing Load)
- تعداد پرش‌ها (Hop Count)

---

#### B. بسته پروتکل‌های مسیریابی (Routing Protocol Package)

پروتکل‌های پشتیبانی شده شامل QGeo، Q-Routing، OPAR، Greedy Forwarding، DSDV هستند. هر پروتکل شامل توابع انتخاب گره بعدی و پردازش بسته دریافتی است.

---

#### C. بسته پروتکل MAC

پروتکل‌های ALOHA و CSMA/CA پیاده‌سازی شده‌اند. فرآیند ارسال، انتظار برای ACK و ارسال مجدد در این بخش مدیریت می‌شود.

---

#### D. بسته تحرک (Mobility Package)

مدل‌های تحرک شامل Random Waypoint و Random Walk هستند که موقعیت، سرعت و جهت پهپاد را به صورت دوره‌ای به روزرسانی می‌کنند.

---

#### E. کنترل توپولوژی (Topology Control Package)

الگوریتم‌های کنترل توپولوژی مبتنی بر نیروی مجازی برای افزایش اتصال‌پذیری شبکه پشتیبانی می‌شوند.

---

#### F. ماژول مصرف انرژی (Energy Consumption Module)

مصرف انرژی شامل انرژی پیشران و انرژی ارتباطی است که با استفاده از مدل‌های تحلیلی معتبر محاسبه می‌شود.

---

#### V. توسعه‌های آینده شبیه‌ساز (Simulator Extensions)

پیشنهادهایی مانند پشتیبانی از انواع گره‌های جدید، الگوهای ترافیکی واقعی‌تر، ملاحظات امنیتی و مدل‌های دقیق‌تر مصرف انرژی ارائه شده‌اند.

---

#### VI. نتیجه‌گیری (Conclusions)

در این مقاله، سکوی شبیه‌سازی UavNetSim-v1 به عنوان یک ابزار ساده، منعطف و قدرتمند برای مطالعه شبکه‌های مخابراتی پهپادی معرفی شد. این پلتفرم با حفظ سادگی، امکانات کلیدی شبیه‌سازی، ارزیابی عملکرد و تحلیل بصری را فراهم می‌کند و جایگزینی مناسب برای شبیه‌سازهای پیچیده موجود محسوب می‌شود.

---