

Desafíos en las Comunicaciones Habilitadas por UAVs

Jorge Carvajal-Rodríguez
Departamento de Electrónica
Telecomunicaciones y Redes de
Información
Escuela Politécnica Nacional
Quito- Ecuador
jorge.carvajal@epn.edu.ec

Christian Tipantuña
Departamento de Electrónica
Telecomunicaciones y Redes de
Información
Escuela Politécnica Nacional
Quito- Ecuador
christian.tipantuna@epn.edu.ec

Luis Felipe Urquiza
Departamento de Electrónica
Telecomunicaciones y Redes de
Información
Escuela Politécnica Nacional
Quito- Ecuador
luis.urquiza@epn.edu.ec

Carlos Egas
Departamento de Electrónica
Telecomunicaciones y Redes de Información
Escuela Politécnica Nacional
Quito- Ecuador
carlos.egas@epn.edu.ec

Felipe Grijalva
Colegio de Ciencias e Ingenierías
Universidad San Francisco de Quito
Quito- Ecuador
felipe.l.grijalva@ieeee.org

Resumen— En los últimos años, los vehículos aéreos no tripulados (UAVs-Unmanned Aerial Vehicles) han transformado diversos campos, incluyendo las comunicaciones. Su rápida implementación en áreas remotas y su versatilidad en la recolección de datos los hacen indispensables. Una red de UAVs para comunicaciones se adapta a entornos cambiantes, con topologías flexibles y diversas funciones. Los desafíos en la planificación de ruta involucran la optimización de trayectorias considerando condiciones atmosféricas y obstáculos. La posición óptima de los UAVs implica equilibrar velocidad de transmisión y latencia. Algoritmos de enrutamiento aseguran una transmisión eficiente de datos, adaptándose a la dinámica de vuelo y cambios en la red. La gestión de energía, crítica debido a baterías limitadas, es abordada a través de algoritmos de reemplazo y optimización de consumo. En conjunto, las comunicaciones habilitadas por UAVs prometen mejoras significativas en conectividad y acceso en diversos escenarios.
Keywords—UAV, Drones, Comunicaciones UAV, Desafíos

I. INTRODUCCIÓN

En la última década los vehículos aéreos no tripulados (UAVs-Unmanned Aerial Vehicles) también conocido como drones ha impulsado una transformación en diferentes campos de aplicación convirtiéndose en elementos transversales. Desde la agricultura hasta el ámbito militar atravesando campos del transporte de paquetes, video vigilancia, búsqueda, rescate y en las comunicaciones [1], [2]. Los UAVs han ganado notoriedad en las comunicaciones gracias a sus ventajas, como la rápida implementación de redes en ubicaciones distantes y de recursos limitados. En este contexto, los UAVs desempeñan un papel fundamental, funcionando como estaciones base celular que extienden la cobertura de la red y brindan conectividad en áreas remotas donde las redes convencionales son inexistentes. Es relevante destacar que los UAVs también han demostrado su versatilidad como herramientas de recopilación de datos, especialmente a través de nodos IoT (Internet of thing) [3]. Una red de UAVs para comunicaciones se caracteriza por establecer una infraestructura dinámica y adaptable para la transferencia de datos en entornos cambiantes. La red puede

estar conformada por un solo UAV denominada “stand-alone”, ofreciendo servicio a usuarios en tierra. Además, puede estar compuesta por múltiples UAVs, conocida como FANETS (Flying Aerial Networks) [4], presentado topologías flexibles donde los UAVs actúan como estaciones base, retransmisores o interfaces entre la red tradicional y la comunicación de los UAVs.

Una desventaja de los UAVs es su limitada autonomía debido a las restricciones de las baterías. La gestión eficiente de la energía es un desafío primordial a resolver. Para abordar esta limitación, se han desarrollado procesos de optimización en cada fase involucrada en las comunicaciones [5]. Durante el despliegue de la red es esencial determinar las etapas para una comunicación eficaz, que incluyen la planificación de rutas, la identificación de posiciones óptimas y la implementación de mecanismos de enrutamiento de comunicaciones, además de prolongar la vida útil de la red a través del tiempo. De esta forma, es relevante detallar los desafíos que las comunicaciones habilitadas por UAVs enfrentan en cada una de las etapas.

II. CLASIFICACIÓN DE LOS DESAFÍOS DE LAS COMUNICACIONES HABILITADAS POR UAVS

En esta sección se clasifica los desafíos que presentan las comunicaciones habilitadas por UAVs en función de las etapas que se presentan al desplegar una red.

A. Planificación de la ruta

Al desplegar una red UAVs para comunicaciones es necesario determinar el área a la cual se va a dar servicio, de esta manera conocer la trayectoria desde el punto de partida hasta el área de servicio como se muestra en la Figura 1 permitiendo ahorrar energía en cada uno de los dispositivos alargando la vida útil de la red [6]. Los desafíos clave en la planificación de la ruta incluyen encontrar la mejor ruta para los UAVs, evitando obstáculos en la trayectoria, especialmente si estos obstáculos están en

movimiento. Esta consideración cobra particular relevancia en el contexto de redes FANET, donde varios dispositivos cooperan para formar la red y, por ende, se requiere determinar cuidadosamente la planificación de rutas.

Las condiciones atmosféricas tienen un impacto en la optimización de la ruta, ya que factores como la densidad del aire, la velocidad del viento y la presencia de lluvia afectan tanto el desempeño de los UAVs como la calidad de las comunicaciones. Además, en el contexto de aplicaciones militares, es esencial que los drones tengan la capacidad de evadir radares [7]. Entre otros aspectos relevantes para los UAVs equipados con rotors, la altitud se vuelve crucial, especialmente en entornos urbanos con estructuras elevadas como rascacielos, donde las limitaciones tecnológicas del equipo pueden restringir la capacidad de sobrevuelo. En la planificación de la ruta es necesario minimizar factores como el tiempo de vuelo, altura, distancia, el costo de rendimiento.

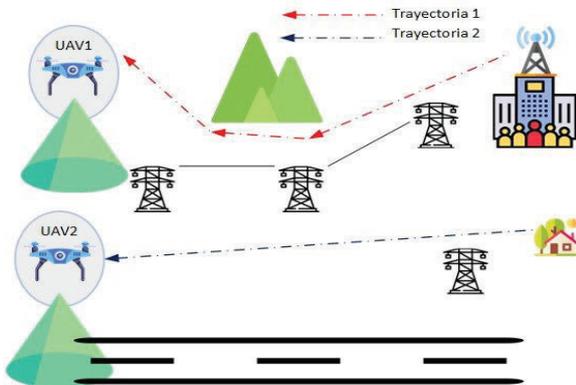


Figura 1. Planificación de ruta.

B. Posición Óptima de los UAV

Una vez que el UAV se encuentra en el área de servicio, es esencial posicionarlo de manera estratégica para garantizar un servicio óptimo. Calcular la posición de los UAVs implica considerar las especificaciones técnicas de las comunicaciones, junto con el modelo de canal empleado para estimar la distancia, considerando el efecto del desvanecimiento de la señal [8]. Por ejemplo, la altura del UAV influye en el alcance del área de cobertura; sin embargo, si la altura aumenta, también es necesario aumentar la potencia de transmisión como se muestra en la Figura 2. Los principales desafíos que se presentan al optimizar la posición depende de la aplicación o el objetivo que se quiere optimizar. En las comunicaciones, es esencial mantener una velocidad de transmisión que permita transportar información de audio, voz y video minimizando la latencia entre UAVs y los dispositivos en tierra. En el contexto de aplicaciones en tiempo real, uno de los principales retos es tener calidad de servicio en la red QoS (Quality of Service).



Figura 2. Posición óptima del UAV

La ampliación de la cobertura también implica la reducción del número de UAVs en la red, lo que a su vez conlleva el análisis de la interferencia de la señal entre dispositivos en tierra.

Dentro de una red FANET compuesta por múltiples UAVs, es imperativo definir la posición óptima en su conjunto, no solo para las estaciones base aéreas, sino también para los UAVs que desempeñan funciones de retransmisión de señal o actúan como puertas de enlace. Estas redes se despliegan en contextos donde no hay infraestructura de red tradicional disponible o cuando esta ha sido afectada por un desastre natural.

C. Enrutamiento

Una vez establecida la posición óptima de los UAVs, las comunicaciones enfrentan diversos desafíos relacionados con el enrutamiento de datos, cuyo propósito es asegurar una transmisión eficaz y confiable de la información a lo largo de la vida útil de la red. En la Figura 3 se muestra un ejemplo de una red FANET con topología tipo árbol.

Uno de los desafíos principales es el diseño de la red, implica determinar la topología adecuada teniendo en cuenta la dinámica de vuelo de los UAVs. Dado que los UAVs pueden moverse rápidamente y cambiar de dirección afectando la calidad de la conexión. Es necesario diseñar algoritmos de enrutamiento que consideren esta dinámica para mantener una conexión estable. Asimismo, estos movimientos generan cambios en la topología debido a la presencia de obstáculos o la desconexión de UAVs, lo que exige que los algoritmos empleados sean capaces de reconfigurarse y buscar rutas óptimas [9].

La calidad de la señal puede verse afectada por la distancia, la altitud y las condiciones atmosféricas. Las rutas deben garantizar una señal lo suficientemente fuerte y de alta calidad en todas las etapas del vuelo. La selección de rutas también debe considerar el consumo de energía de los drones. Enrutar de manera eficiente para maximizar la duración del vuelo es un desafío importante. Con el aumento de la cantidad de UAVs en una red, los algoritmos de enrutamiento deben ser escalables y capaces de manejar la complejidad adicional y coordinar y optimizar comunicaciones multi-salto. Asegurar la seguridad de las comunicaciones y la privacidad

de los datos transmitidos a través de rutas potencialmente vulnerables es un desafío clave.

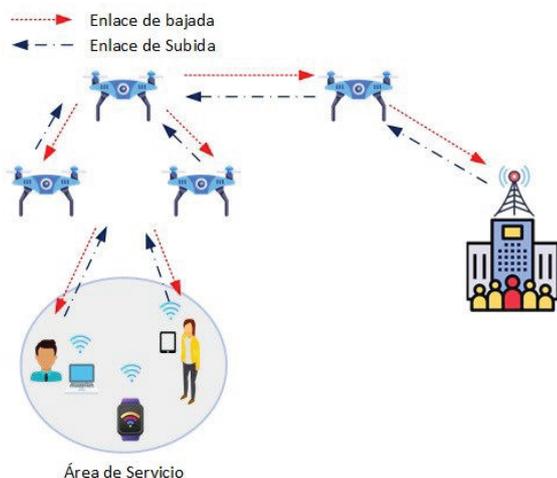


Figura 3. Algoritmos de Enrutamiento

D. Energía

La gestión de la energía es uno de los desafíos más críticos en las comunicaciones mediante UAVs, ya que los UAVs dependen de baterías limitadas para su operación. Estos desafíos están relacionados con cómo optimizar y gestionar eficazmente la energía disponible para mantener un vuelo prolongado y garantizar la conectividad y el rendimiento de las comunicaciones. Uno de los desafíos para mantener operativa la red es analizar los algoritmos de reemplazo de UAVs ya que permiten mantener la continuidad y calidad del servicio en una red dinámica y en constante cambio. Estos algoritmos se encargan de gestionar la sustitución de UAVs en la red cuando es necesario, debido a problemas como agotamiento de batería, fallos de hardware o cambios en los requisitos de la red [10].

Los desafíos al diseñar algoritmos de reemplazo de UAVs radican en garantizar una transición fluida y sin interrupciones para esto hay que tomar en cuenta los criterios de reemplazo, estrategias de selección, planificación de rutas, reconfiguración de la red, tolerancia a fallos.

En última instancia, los algoritmos de reemplazo de UAVs juegan un papel crucial en garantizar la confiabilidad y disponibilidad de las comunicaciones aéreas. Su desarrollo y optimización se basan en un equilibrio entre la eficiencia operativa, la calidad del servicio y la gestión efectiva de los recursos.

III. DISCUSIÓN

Las comunicaciones habilitadas por UAVs son un campo con un potencial significativo en una variedad de aplicaciones. El diseño de redes UAV se vuelve crucial para garantizar una conectividad estable y efectiva. La planificación de rutas debe abordar la dinámica de vuelo y las condiciones atmosféricas cambiantes, lo que implica la creación de algoritmos de enrutamiento inteligentes y adaptativos. A medida que se optimiza la posición de los UAVs, se debe

considerar cuidadosamente la relación entre velocidad de transmisión, latencia y calidad de servicio para satisfacer las demandas de aplicaciones en tiempo real.

A medida que la tecnología avanza y se desarrollan soluciones más eficientes. Por lo tanto, la colaboración entre la investigación y la industria es esencial para garantizar que el desarrollo de las comunicaciones habilitadas por UAVs.

En resumen, a pesar de los desafíos inherentes, las comunicaciones aéreas a través de UAVs presentan una oportunidad única para transformar la conectividad en áreas remotas o de difícil acceso.

IV. CONCLUSIONES

El despliegue exitoso de una red de UAVs enfrenta desafíos cruciales en cada etapa. La planificación de la ruta demanda consideraciones sobre obstáculos en movimiento y condiciones atmosféricas, así como el impacto de la altitud, la cobertura y la potencia de transmisión. La optimización de la posición de los UAVs depende de la aplicación por ejemplo como estación base o en la recolección de datos de redes de sensores de IoT. Los algoritmos de enrutamiento desempeñan un papel esencial en asegurar la transmisión eficaz de datos, considerando la dinámica de vuelo y cambios en la topología. La gestión de energía, siendo uno de los desafíos más críticos, involucra optimizar la autonomía de vuelo y maximizar la eficiencia de las comunicaciones en redes de UAVs. En este artículo se presentó una visión general de los principales desafíos que presentan las redes de comunicaciones habilitadas por UAVs.

REFERENCIAS

- [1] H. Shakhathreh *et al.*, «Unmanned Aerial Vehicles (UAVs): A Survey on Civil Applications and Key Research Challenges», *IEEE Access*, vol. 7, pp. 48572-48634, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2909530.
- [2] M. Mozaffari, W. Saad, M. Bennis, Y.-H. Nam, y M. Debbah, «A Tutorial on UAVs for Wireless Networks: Applications, Challenges, and Open Problems», *IEEE Commun. Surv. Tutor.*, vol. 21, n.º 3, pp. 2334-2360, 2019, doi: 10.1109/COMST.2019.2902862.
- [3] B. Alzahrani, O. S. Oubbati, A. Barnawi, M. Atiqzaman, y D. Alghazzawi, «UAV assistance paradigm: State-of-the-art in applications and challenges», *J. Netw. Comput. Appl.*, vol. 166, p. 102706, sep. 2020, doi: 10.1016/j.jnca.2020.102706.
- [4] F. Pasandideh, J. P. J. da Costa, R. Kunst, N. Islam, W. Hardjawana, y E. Pignatari de Freitas, «A Review of Flying Ad Hoc Networks: Key Characteristics, Applications, and Wireless Technologies», *Remote Sens.*, vol. 14, n.º 18, Art. n.º 18, ene. 2022, doi: 10.3390/rs14184459.
- [5] N. Zhao, D. B. da Costa, J. Tang, X. Wang, y J. A. Chambers, «Special Issue on Unmanned Aerial Vehicle (UAV)-Enabled Green Communications and Networking», *IEEE Trans. Green Commun. Netw.*, vol. 5, n.º 3, pp. 1232-1235, sep. 2021, doi: 10.1109/TGCN.2021.3099605.
- [6] A. Mazaherifar y S. Mostafavi, «UAV Placement and Trajectory Design Optimization: A Survey», *Wirel. Pers. Commun.*, vol. 124, n.º 3, pp. 2191-2210, jun. 2022, doi: 10.1007/s11277-021-09451-7.
- [7] O. Souissi, R. Benatallah, D. Duvivier, A. Artiba, N. Belanger, y P. Feyzeau, «Path planning: A 2013 survey», en *Proceedings of 2013 International Conference on Industrial Engineering and Systems Management (IESM)*, oct. 2013, pp. 1-8.
- [8] S. I. Han, «Survey on UAV Deployment and Trajectory in Wireless Communication Networks: Applications and Challenges», *Information*, vol. 13, n.º 8, Art. n.º 8, ago. 2022, doi: 10.3390/info13080389.
- [9] M. Y. Arafat y S. Moh, «Routing Protocols for Unmanned Aerial Vehicle Networks: A Survey», *IEEE Access*, vol. 7, pp. 99694-99720, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2930813.
- [10] G. Alsuhli, A. Fahim, y Y. Gadallah, «A survey on the role of UAVs in the communication process: A technological perspective», *Comput. Commun.*, vol. 194, pp. 86-123, oct. 2022, doi: 10.1016/j.comcom.2022.07.021.