

Estudio sobre Comunicaciones Post-Desastre: Tecnologías, Arquitecturas y Desafíos

Trabajo basado en el artículo: Post-Disaster Communications: Enabling Technologies, Architectures, and Open Challenges, Matraccia et al., IEEE 2022

24 de octubre de 2025

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Informática
Departamento de Informática de Sistemas y Computadores
Universitat Politècnica de València
Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España

Autor

José Javier Gutiérrez Gil
jogugi@upv.edu.es
jogugil@gmail.com

Autor

[illegible]

Resumen

En este trabajo analizamos el estado actual de las comunicaciones inalámbricas en escenarios post-desastre, revisando las tecnologías habilitadoras, las arquitecturas de red y los desafíos que aún persisten, basándonos en el estudio de Matracia et al. [1]. Se examinan soluciones terrestres, aéreas y satelitales, así como sus posibles combinaciones para mejorar la resiliencia del sistema. Además, abordamos los principales problemas que surgen en las capas física y de red, proponiendo líneas futuras de investigación que favorezcan la conectividad autónoma y la capacidad de recuperación en situaciones críticas.

También presentamos los resultados de diversas propuestas existentes, evaluando su efectividad ante distintos tipos de desastres naturales y emergencias.

Finalmente, se incluyen cuadros resumen y tablas que clasifican las tecnologías más empleadas según el tipo de problema a resolver —ya sea la restauración del servicio, la cobertura de emergencia o la comunicación entre equipos de rescate—, junto con una reflexión sobre las tendencias futuras en materia de conectividad adaptativa para entornos críticos.

“En los momentos más oscuros, la comunicación es el primer rayo de esperanza.”
— **Mohamed-Slim Alouini, KAUST (2022)**

Capítulo 0

Índice general

1. Introducción	5
1.1. Aumento de Desastres Naturales y su Impacto	5
1.2. Características de los Entornos Post-Desastre	5
1.3. Problemas en Comunicaciones Post-Desastre	5
1.4. Comunicaciones en situaciones de Emergencia Vs Entornos Post-Desastre	5
1.4.1. Ejemplos Documentados de Fallos en Comunicaciones	5
2. Comunicaciones Post-Desastre	7
2.1. Tecnologías y Soluciones Propuestas	7
2.1.1. Recuperación de Redes Terrestres	10
2.1.2. Redes Aéreas	10
2.1.3. Redes Satelitales	10
3. Capa Física	11
3.1. Problemas y Soluciones	11
3.1.1. Modelado de Canal	11
3.1.2. Cobertura y Capacidad	11
3.1.3. Gestión de Recursos de Radio	11
3.1.4. Localización	11
3.1.5. Eficiencia Energética	12
4. Capa de Red	13
4.1. Problemas y Soluciones	13
4.1.1. Arquitecturas Integradas	13
4.1.2. Enrutamiento	13
4.1.3. Redes Tolerantes a Retardos (DTN)	13
4.1.4. Computación en el Borde	13
5. Situación actual	15
5.1. Opciones y recomendaciones operativas	15
5.1.1. Protocolos Utilizados	15
6. Comunicaciones Satelitales para Emergencias	17
6.1. Introducción a las Comunicaciones Satelitales en Desastres	17
6.2. Tipos de Satélites: LEO, MEO y GEO	17
6.2.1. Satélites LEO (Low Earth Orbit)	17

6.2.2. Satélites MEO (Medium Earth Orbit)	17
6.2.3. Satélites GEO (Geostationary Earth Orbit)	17
7. Estado del Arte en Capas Física y Red	19
7.1. Capa Física en Comunicaciones Satelitales	19
7.1.1. Protocolos y Estándares Actuales	19
7.1.2. Mejoras en la Capa Física	19
7.2. Capa de Red en Comunicaciones Satelitales	19
7.2.1. Protocolos de Red Actuales	19
7.2.2. Arquitecturas Avanzadas	19
8. LoRa para IoT en Emergencias	21
8.1. Introducción a LoRa en Escenarios de Desastre	21
8.1.1. Características Técnicas	21
8.2. Arquitectura de Red LoRa	21
8.2.1. Componentes Principales	21
9. Modificaciones de LoRa para Satélite	23
9.1. Necesidad de Adaptación	23
9.2. Protocolos Existentes y Modificaciones	23
9.2.1. LoRaSat [?]	23
9.2.2. FSK/LoRa Hybrid [?]	23
9.2.3. Extended Range LoRa [?]	23
9.3. Propuesta de Mejora	23
9.3.1. Algoritmo de Compensación de Doppler Mejorado	24
9.3.2. Protocolo ARQ Híbrido Optimizado	24
9.3.3. Gestión de Recursos Semi-Autónoma	24
10. Futuras Investigaciones	25
10.1. Mejoras en Capa Física	25
10.2. Mejoras en Capa de Red	25
10.3. Protocolos en Desarrollo	25
11. Conclusiones	27

Capítulo 1

Introducción

1.1 Aumento de Desastres Naturales y su Impacto

1.2 Características de los Entornos Post-Desastre

1.3 Problemas en Comunicaciones Post-Desastre

1.4 Comunicaciones en situaciones de Emergencia Vs Entornos Post-Desastre

1.4.1 Ejemplos Documentados de Fallos en Comunicaciones

Capítulo 2

Comunicaciones Post-Desastre

2.1 Tecnologías y Soluciones Propuestas

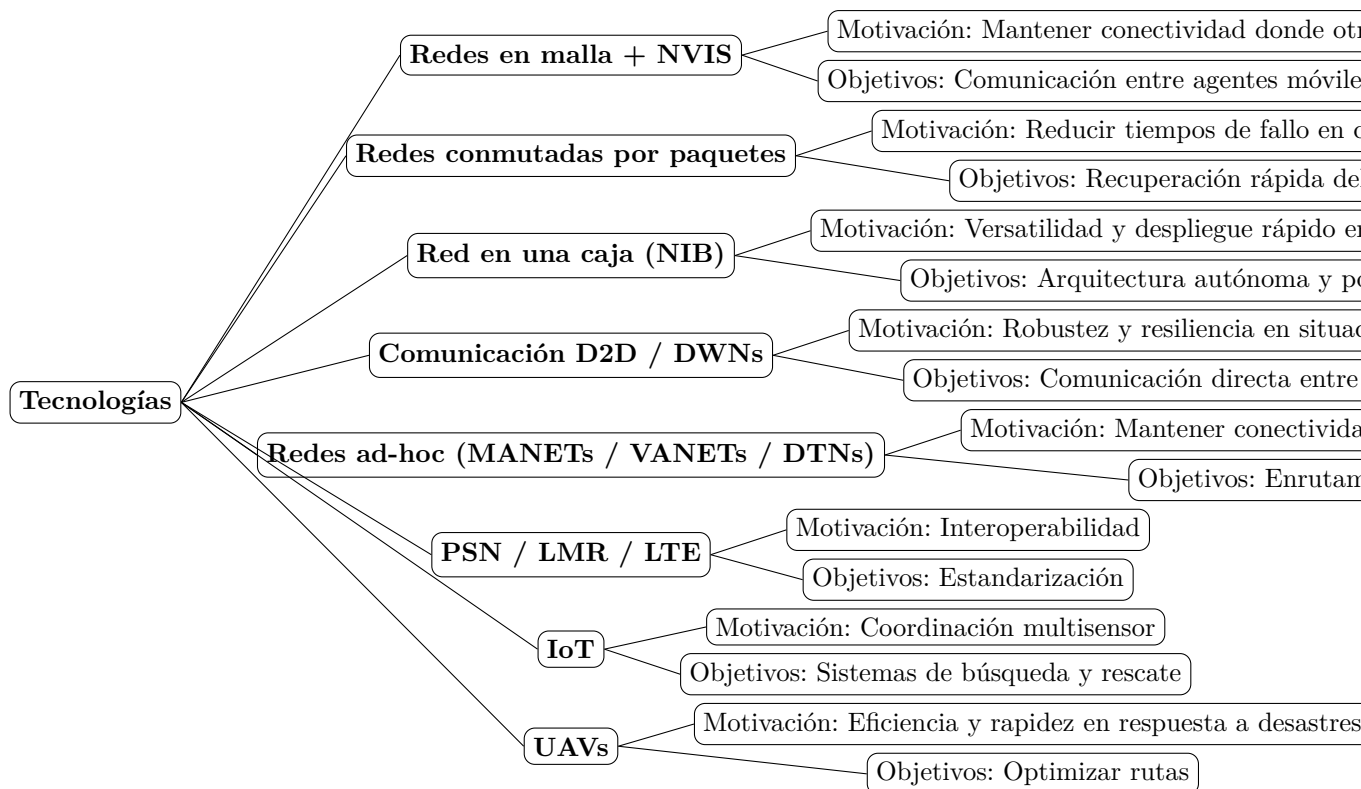
Estudio	Tecnología/Paradigma	Objetivos	Motivación/Por qué
[20]	UAVs (Vehículos Aéreos No Tripulados)	Revisar aplicaciones generales de UAVs en gestión de desastres	Facilitar tareas de vigilancia, entrega de recursos y apoyo en situaciones de emergencia
[21]	UAVs en planificación de rutas en ciudades inteligentes	Optimizar rutas de UAVs en escenarios de desastre, considerando seguridad de redes	Mejorar eficiencia y seguridad en operaciones urbanas de rescate
[22]	UAVs, robots y sistemas autónomos (Proyecto PRISMA)	Evaluaciones post-desastre y monitoreo/intervención en tiempo real	Desarrollar soluciones autónomas que permitan intervención rápida en desastres
[23]	Redes de seguridad pública (PSN)	Revisar aspectos regulatorios y de estandarización	Garantizar interoperabilidad y cumplimiento normativo en PSN
[24]	Convergencia LMR-LTE	Revisar paradigmas emergentes en PSN	Integrar tecnologías terrestres y LTE para mejorar comunicación de emergencia
[25]	LMR vs LTE en PSN	Comparar tecnologías y evaluar KPIs en entornos de software	Determinar la eficiencia y desempeño de cada tecnología en redes de emergencia
[26]	PSN, NFV, SDN y 5G	Diseñar redes futuras de emergencia, con decisiones autónomas y virtualización	Mejorar capacidad, flexibilidad y resiliencia de redes en desastres
[27]	Redes ad-hoc multihop (MANETs, VANETs, DTNs)	Analizar paradigmas de redes ad-hoc para respuesta ante desastres	Facilitar comunicación en entornos sin infraestructura
[28], [29]	MANETs (protocolos de enrutamiento y movilidad)	Estudiar rutas y movilidad de entidades de rescate	Optimizar conectividad y eficiencia de rescate en áreas afectadas
[30]	D2D y DWNs	Soluciones de recuperación desde perspectiva usuario y red	Mejorar comunicación directa y dinámica en escenarios de desastre

[31]	Sistemas de comunicación para desastres	Enrutamiento resiliente, evaluación de vulnerabilidades, refuerzo de redes	Mitigar impactos de desastres naturales en la comunicación
[32]	Red en una caja (NIB)	Integrar hardware y software en dispositivos portátiles	Crear arquitectura autónoma y versátil para operaciones en emergencia
[33]	D2D, UAVs, IoT	Mejorar resiliencia de redes	Aumentar robustez de la infraestructura en situaciones críticas
[34]	IoT en búsqueda y rescate de inundaciones	Revisar sistemas existentes y proponer marco integrado agua-tierra-aire	Optimizar gestión de inundaciones y coordinación multisensor
[35]	Redes conmutadas por paquetes	Recuperación rápida del plano de datos	Reducir tiempos de fallo y mejorar resiliencia de redes
[36]	VANETs asistidas por UAVs	Categorización de protocolos de enrutamiento	Mejorar eficiencia y confiabilidad de comunicación vehicular en emergencias
[37]	Tecnologías inalámbricas para desastres y salud	Comparar ancho de banda, alcance y rendimiento	Determinar la tecnología más adecuada según requerimientos críticos
[38]	UAVs, redes en malla y NVIS	Proponer arquitectura para comunicación en entornos hostiles	Mantener conectividad entre agentes móviles en zonas afectadas

Cuadro 2.2: Resumen de estudios sobre tecnologías de comunicación en emergencias

Tecnología / Paradigma	Estudios representativos
UAVs (Vehículos Aéreos No Tripulados)	[20], [21], [22], [36], [38]
IoT (Internet de las Cosas)	[33], [34]
Redes de seguridad pública (PSN, LMR, LTE)	[23], [24], [25], [26]
Redes ad-hoc (MANETs, VANETs, DTNs)	[27], [28], [29], [36]
Comunicación D2D y DWNs	[30], [33]
Red en una caja (NIB)	[32]
Redes conmutadas por paquetes	[35]
Redes en malla + NVIS	[38]

Cuadro 2.4: Tecnologías estudiadas y estudios representativos



Tecnología/Solución	Tipo	Problema Resuelto	Referencias
NIB / MDRU / Portable Cell	Terrestre	Restauración rápida de cobertura local	[43], [44]
D2D + SDN architectures	Terrestre	Cobertura local y conectividad víctimas-FRs	[109], [39]
UAV deployment optimization	Aérea (LAP)	Optimización cobertura/throughput y posicionamiento	[51], [54], [188]
HAPs/Globos (Loon-style)	Aérea (HAP)	Cobertura persistente gran área	[62], [63], [67]
Hybrid FSO/RF systems	Aérea/Backhaul	Resiliencia condiciones atmosféricas (smoke/fog)	[113], [89]
LEO satellite backhaul	Espacial	Backhaul y conectividad grandes desastres	[75], [78], [76]
SATCOM architectures	Espacial	PPDR y comunicaciones de emergencia	[72], [69]
SAGIN integration	Combinada	Resiliencia y cobertura óptima integrada	[144], [77]
IBR-DTN / LADTR	DTN/Routing	Mensajería redes desconectadas; ferrying UAVs	[156], [152]
DTN MapEx	DTN	Mapas distribuidos y compartidos	[159]
AirEdge, Echo, DBECN	Edge Computing	Procesamiento local y filtrado datos para FRs	[166], [167], [170]
Energy harvesting / Solar UAVs	Energía	Aumentar autonomía de nodos	[134], [142]

Bio-DRN	Energía	Planificación energética inspirada biología	[133]
WSN range-free localization	Localización	Localización bajo escombros sin GPS	[123], [122]
SLAM con UAVs	Localización	Mapeo y localización en tiempo real	[22], [120]
5G Network Slicing	RRM	Priorización canales FRs y QoS	[116], [117]

Cuadro 2.6: Resumen de tecnologías y soluciones en comunicaciones de emergencia

Tipo	Tecnologías Clave	Ejemplos
Terrestres	Recuperación de infraestructura, MDRU, NIB	Reparación de torres, unidades móviles
Aéreas (LAP)	UAVs, drones, globos	Google Loon, redes de drones
Aéreas (HAP)	Globos atados, helikites	Plataformas de gran altitud
Espaciales	Satélites LEO/MEO	Starlink, satélites de comunicaciones

Cuadro 2.8: Tipos de tecnologías y ejemplos en comunicaciones de emergencia

2.1.1 Recuperación de Redes Terrestres

- **MDRUs (Unidades Desplegables):** Estaciones base móviles que proporcionan conectividad rápida.
- **Comunicaciones D2D (Dispositivo a Dispositivo):** Permiten comunicación directa entre usuarios sin infraestructura.
- **NIB (Network-in-a-Box):** Soluciones portátiles que integran hardware y software necesarios.

2.1.2 Redes Aéreas

- **LAPs (Plataformas de Baja Altitud):** Drones que actúan como estaciones base temporales.
- **HAPs (Plataformas de Gran Altitud):** Globos o aeronaves que ofrecen cobertura duradera.
- **Tecnologías de Optimización:** Algoritmos de enjambre (PSO), algoritmos genéticos (GA) para mejorar cobertura y capacidad.

2.1.3 Redes Satelitales

- **Satélites LEO/MEO:** Proporcionan conectividad global con baja latencia.
- **Arquitecturas Híbridas:** Integración con redes terrestres y aéreas.
- **Backhaul Satelital:** Conexión de redes locales a la red central mediante satélites.

Capítulo 3

Capa Física

3.1 Problemas y Soluciones

3.1.1 Modelado de Canal

- **Problema:** Entornos con escombros, humo, etc., alteran la propagación de señales.
- **Soluciones:**
 - Modelos de pérdida de trayectoria para enlaces aire-tierra (A2G).
 - Distribuciones de fading complejas (Fisher-Snedecor \mathcal{F}).
 - Modelos 3D para entornos urbanos.

3.1.2 Cobertura y Capacidad

- **Problema:** Cobertura insuficiente y capacidad reducida por fallos en infraestructura.
- **Soluciones:**
 - Despliegue óptimo de UAVs y MDRUs.
 - Uso de D2D para extender cobertura.
 - Métricas dinámicas como cobertura ponderada en el tiempo.

3.1.3 Gestión de Recursos de Radio

- **Problema:** Asignación eficiente de espectro en condiciones adversas.
- **Soluciones:**
 - Sistemas híbridos FSO/RF.
 - Segmentación de red (slicing) para priorizar tráfico crítico.
 - Esquemas autónomos de gestión de espectro.

3.1.4 Localización

- **Problema:** Localizar víctimas atrapadas en condiciones de poca visibilidad.
- **Soluciones:**
 - Técnicas basadas en RSSI y algoritmos de reducción de dimensionalidad.
 - Uso de SLAM en UAVs.
 - Sensores múltiples (LIDAR, RADAR, cámaras).

3.1.5 Eficiencia Energética

- **Problema:** Dispositivos con autonomía limitada.
- **Soluciones:**
 - Recarga mediante energía solar o RF.
 - Algoritmos de ahorro energético en DTN.
 - Optimización de colocación y trayectoria de UAVs.

Capítulo 4

Capa de Red

4.1 Problemas y Soluciones

4.1.1 Arquitecturas Integradas

- **SAGIN:** Integración de redes espaciales, aéreas y terrestres para mejorar cobertura y resiliencia.
- **Protocolos de Enrutamiento:** Adaptación a topologías dinámicas y enrutamiento tolerante a retardos (DTN).

4.1.2 Enrutamiento

- **Problema:** Encontrar rutas óptimas en redes ad hoc dinámicas.
- **Soluciones:**
 - Protocolos basados en tablas de enrutamiento y retardo de contacto.
 - Algoritmos de inteligencia de enjambre para optimización.
 - Enrutamiento basado en localización (LADTR).

4.1.3 Redes Tolerantes a Retardos (DTN)

- **Aplicaciones:** Intercambio de datos en ausencia de conectividad continua.
- **Protocolos:** Bundle Protocol (RFC5050), esquemas híbridos SDN-DTN.
- **Ventajas:** Funcionan en condiciones de conectividad intermitente.

4.1.4 Computación en el Borde

- **Objetivo:** Reducir latencia y ancho de banda consumido.
- **Aplicaciones:** Procesamiento de imágenes en tiempo real, análisis de datos locales.
- **Proyectos:** AirEdge, arquitecturas con UAVs como nodos de borde.

Capítulo 5

Situación actual

5.1 Opciones y recomendaciones operativas

5.1.1 Protocolos Utilizados

- **Estándares CCSDS:** Para comunicaciones espaciales, aunque con limitaciones tecnológicas.
- **Modelos de Canal:** Rician, Shadowed-Rician, Loo, para caracterizar fading y sombreado.
- **Arquitecturas Híbridas:** Integración LTE-Satélite, backhaul en banda Ka.
- **Otros Protocolos híbridos** que combinen DTN con SDN/ICN para priorización y enrutamiento eficiente

Capítulo 6

Comunicaciones Satelitales para Emergencias

6.1 Introducción a las Comunicaciones Satelitales en Desastres

Las comunicaciones satelitales representan un pilar fundamental en la respuesta a desastres naturales, proporcionando conectividad cuando las infraestructuras terrestres resultan dañadas. Su capacidad de cobertura global los hace indispensables en escenarios de emergencia.

6.2 Tipos de Satélites: LEO, MEO y GEO

6.2.1 Satélites LEO (Low Earth Orbit)

- **Altura:** 160-2,000 km
- **Ventajas:** Baja latencia (20-40 ms), alto ancho de banda
- **Desventajas:** Cobertura limitada, requiere constelaciones
- **Aplicaciones en emergencias:** Starlink, OneWeb para comunicaciones críticas

6.2.2 Satélites MEO (Medium Earth Orbit)

- **Altura:** 2,000-35,786 km
- **Ventajas:** Cobertura balanceada, latencia moderada
- **Desventajas:** Mayor latencia que LEO
- **Ejemplos:** Sistemas GPS, Galileo para localización

6.2.3 Satélites GEO (Geostationary Earth Orbit)

- **Altura:** 35,786 km
- **Ventajas:** Cobertura permanente, amplia área
- **Desventajas:** Alta latencia (500-700 ms), coste elevado
- **Aplicaciones:** Broadcasting, comunicaciones fijas

Capítulo 7

Estado del Arte en Capas Física y Red

7.1 Capa Física en Comunicaciones Satelitales

7.1.1 Protocolos y Estándares Actuales

- **DVB-S2/X** [1]: Eficiencia espectral mejorada, adaptación de enlace
- **CCSDS** [2]: Estándar para misiones espaciales
- **SCPC/FDMA**: Acceso múltiple para estaciones fijas

7.1.2 Mejoras en la Capa Física

- **Modulaciones adaptativas**: QPSK, 8PSK, 16APSK según condiciones
- **Códigos correctores**: LDPC, turbo códigos para corrección de errores
- **MIMO satelital**: Diversidad espacial para mejorar capacidad

7.2 Capa de Red en Comunicaciones Satelitales

7.2.1 Protocolos de Red Actuales

- **TCP Satelital**: Modificaciones para enlaces de alta latencia
- **SCPS** [3]: Protocolos espaciales estándar
- **DTN** [4]: Tolerancia a retardos e interrupciones

7.2.2 Arquitecturas Avanzadas

- **SDN satelital**: Separación plano control/datos
- **Network Slicing**: Segmentación para servicios críticos
- **IoT satelital**: Integración con sensores remotos

Capítulo 8

LoRa para IoT en Emergencias

8.1 Introducción a LoRa en Escenarios de Desastre

LoRa (Long Range) se ha consolidado como la tecnología más utilizada en soluciones IoT para gestión de desastres debido a su bajo consumo, largo alcance y robustez.

8.1.1 Características Técnicas

- **Alcance:** Hasta 15 km en áreas rurales
- **Consumo:** 10+ años de batería con configuración óptima
- **Costo:** Bajo costo de despliegue y mantenimiento

8.2 Arquitectura de Red LoRa

8.2.1 Componentes Principales

- **End Devices:** Sensores y actuadores
- **Gateways:** Concentradores de comunicación
- **Network Server:** Gestión centralizada
- **Application Server:** Procesamiento de datos

Capítulo 9

Modificaciones de LoRa para Satélite

9.1 Necesidad de Adaptación

La modificación de LoRa para comunicación satelital responde a:

- Mayor distancia y efecto Doppler
- Diferentes condiciones de propagación
- Movimiento relativo satélite-terra

9.2 Protocolos Existentes y Modificaciones

9.2.1 LoRaSat [?]

- **Ventajas:** Adaptación automática de parámetros SF/BW
- **Desventajas:** Complejidad incrementada
- **Mejora:** Compensación de Doppler integrada

9.2.2 FSK/LoRa Hybrid [?]

- **Ventajas:** Mejor eficiencia espectral
- **Desventajas:** Compatibilidad limitada
- **Aplicación:** Enlaces ascendentes críticos

9.2.3 Extended Range LoRa [?]

- **Ventajas:** Alcance extendido para LEO
- **Desventajas:** Mayor consumo energético
- **Innovación:** Esquemas de codificación mejorados

9.3 Propuesta de Mejora

Nuestra contribución se centra en el estudio de posibles mejoras:

9.3.1 Algoritmo de Compensación de Doppler Mejorado

- **Base:** Filtro de Kalman extendido + tabla de efemérides
- **Innovación:** Interpolación de parámetros orbitales en tiempo real

En nuestra investigación, propondremos el desarrollo de un algoritmo de compensación de Doppler mejorado que combine un filtro de Kalman extendido con tablas de efemérides precalculadas. Nuestra aproximación se fundamenta en la necesidad de mantener una baja complejidad computacional, especialmente crítica para dispositivos IoT con recursos limitados en escenarios de emergencia.

La innovación principal radica en el desarrollo de técnicas de interpolación en tiempo real de parámetros orbitales, permitiendo una compensación precisa del efecto Doppler sin requerir capacidades de procesamiento intensivo. Consideramos que esta aproximación es particularmente adecuada para constelaciones LEO, donde los efectos Doppler son más pronunciados debido a la mayor velocidad relativa de los satélites.

9.3.2 Protocolo ARQ Híbrido Optimizado

- **Base:** HARQ Tipo II con codificación rateless
- **Innovación:** Transición suave entre modos basada en SNR estimado

Nuestra propuesta para el protocolo ARQ híbrido se basa en la combinación de HARQ Tipo II con esquemas de codificación rateless, adaptados específicamente para las características de los enlaces satelitales en situaciones de desastre. Partimos de la premisa de que las comunicaciones post-desastre presentan patrones de pérdida intermitentes y altamente variables, lo que requiere mecanismos de recuperación de errores más flexibles que los enfoques tradicionales.

La principal contribución de nuestro trabajo consiste en el diseño de un mecanismo de transición suave entre modos de operación, basado en estimaciones de SNR en tiempo real y patrones históricos de error. Este enfoque permite optimizar la eficiencia espectral mientras se mantiene la robustez necesaria en condiciones de canal adversas.

9.3.3 Gestión de Recursos Semi-Autónoma

- **Base:** Algoritmo de aprendizaje por refuerzo multi-agente
- **Innovación:** Políticas de exploración/explotación adaptativas

Para abordar el desafío de la gestión dinámica de recursos espectrales, estamos desarrollando un framework basado en aprendizaje por refuerzo multi-agente que opera de forma semi-autónoma. Nuestra investigación se centra en el diseño de políticas de exploración/explotación adaptativas que permitan a los nodos de la red ajustar sus parámetros de transmisión sin requerir supervisión centralizada constante.

La novedad de nuestro enfoque reside en la capacidad del sistema para adaptarse a condiciones variables del canal y requisitos de tráfico emergentes, manteniendo al mismo tiempo un balance entre eficiencia espectral y consumo energético. Consideramos que esta aproximación es especialmente relevante en escenarios de desastre donde la infraestructura de red convencional puede estar comprometida o ser inexistente.

En conjunto, estas tres líneas de investigación representan nuestra contribución al avance de las comunicaciones satelitales para emergencias, con especial énfasis en la adaptación de tecnologías LoRa para entornos espaciales y la optimización de protocolos existentes para las condiciones particulares de los desastres naturales.

Capítulo 10

Futuras Investigaciones

10.1 Mejoras en Capa Física

- Waveforms avanzadas: FBMC, GFDM para mejor eficiencia
- Compensación de Doppler inteligente: ML para predicción
- Radio cognitiva: Detección espectral adaptativa

10.2 Mejoras en Capa de Red

- Protocolos híbridos: Integración LoRa-Satélite-Terrestre
- Enrutamiento predictivo: Basado en posición orbital
- Security enhanced: Criptografía post-cuántica

10.3 Protocolos en Desarrollo

- LoRa 2.0: Mejoras en eficiencia espectral
- NB-IoT satelital: Estandarización 3GPP
- Protocolos cuánticos: Comunicaciones seguras

Capítulo 11

Conclusiones

La investigación presentada demuestra que:

- Las comunicaciones satelitales son cruciales en desastres naturales
- La integración LEO-MEO-GEO ofrece soluciones complementarias
- LoRa modificado presenta gran potencial para IoT satelital
- Las mejoras propuestas en capa física y red optimizan el rendimiento
- Futuras investigaciones en protocolos híbridos prometen avances significativos

Capítulo 11

Bibliografía

- [1] ETSI. *Digital Video Broadcasting (DVB): Second generation framing structure, channel coding and modulation systems for Broadcasting, Interactive Services, News Gathering and other broadband satellite applications*. ETSI EN 302 307, 2006.
- [2] Consultative Committee for Space Data Systems. *TM Synchronization and Channel Coding*. CCSDS 131.0-B-3, 2017.
- [3] Consultative Committee for Space Data Systems. *SCPS Transport Protocol (SCPS-TP)*. CCSDS 714.0-B-2, 2006.
- [4] V. Cerf, S. Burleigh, A. Hooke, L. Torgerson, R. Durst, K. Scott, K. Fall, H. Weiss. *Bundle Protocol Specification*. RFC 5050, 2007.
- [5] O. Iova, A. L. Murphy, G. P. Picco, et al. *LoRaWAN for IoT in Remote Areas: Implementation and Evaluation*. In Proceedings of the 4th Workshop on Experiences with the Design and Implementation of Smart Objects, 2018.
- [6] M. Centenaro, L. Vangelista, A. Zanella, et al. *Long-Range Communications in Unlicensed Bands: The Rising Stars in the IoT and Smart City Scenarios*. IEEE Wireless Communications, vol. 23, no. 5, pp. 60-67, 2016.
- [7] J. Petäjäjärvi, K. Mikhaylov, A. Roivainen, et al. *On the Coverage of LPWANs: Range Evaluation and Channel Attenuation Model for LoRa Technology*. In 14th International Conference on ITS Telecommunications (ITST), 2015.
- [8] M. Matracia, N. Saeed, M. A. Kishk, and M.-S. Alouini. *Post-disaster communications: Enabling technologies, architectures, and open challenges*. IEEE Open Journal of the Communications Society, vol. 3, pp. 123-145, 2022.
- [9] C. Goursaud and J. M. Gorce. *Dedicated Networks for IoT: PHY/MAC State of the Art and Challenges*. EAI Endorsed Transactions on Internet of Things, 2015.
- [10] S. Cakaj, B. Shurbanov, and W. Keche. *The Integration of Satellite and Terrestrial Technologies for IoT Applications*. International Journal of Advanced Computer Science and Applications, vol. 12, no. 3, 2021.
- [11] A. Guidotti, M. Conti, D. Vanelli-Coralli, et al. *Architectures and Key Technical Challenges for 5G Systems Incorporating Satellites*. IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 68, no. 3, pp. 2624-2639, 2019.
- [12] S. Burleigh, A. Hooke, L. Torgerson, et al. *Delay-Tolerant Networking: An Approach to Interplanetary Internet*. IEEE Communications Magazine, vol. 41, no. 6, pp. 128-136, 2003.
- [13] F. P. Fontan, M. Vázquez-Castro, C. E. Cabado, et al. *Statistical Modeling of the LMS Channel*. IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 50, no. 6, pp. 1549-1567, 2001.

Capítulo 11

Bibliografía

- [1] Maurilio Matracia, Nasir Saeed, Mustafa A. Kishk, and Mohamed-Slim Alouini. Post-disaster communications: Enabling technologies, architectures, and open challenges. *IEEE Open Journal of Communications Society*, 3:123–145, July 2022. Received 24 June 2022; accepted 14 July 2022; date of current version 29 July 2022.