

Análisis Experimental de Redes WLAN y 5G en ROS 2

Martínez-Pollán, Rubén^{†,a}; Bernardo-Garmilla, Hugo^{†,a}; Fernández-Barrios, Iván Alfredo^{†,a};
Narciandi-Rodríguez, Diego^a; Prieto-Fernández, Natalia^a; Bayón-Gutiérrez, Martín^{a,*}

^aGrupo de investigación SECOMUCI, Dpto. Ingeniería Eléctrica y de Sistemas y Automática, Universidad de León, Campus de Vegazana s/n, 24071, León, España

Resumen

Las plataformas robóticas móviles conectadas en entornos industriales requieren infraestructuras de comunicación estables, seguras y resilientes. En este trabajo se realiza un análisis experimental comparativo de tres arquitecturas de red aplicadas a sistemas robóticos basados en ROS 2: una red WLAN IEEE 802.11ac, una red 5G pública con túnel VPN y un despliegue experimental de red 5G SA privada de bajo coste. La evaluación se lleva a cabo mediante dos pruebas complementarias: medición de la capacidad de transporte efectiva bajo condiciones de saturación del enlace y análisis del tiempo de respuesta extremo a extremo en la invocación de servicios síncronos. Los resultados muestran que, en el entorno experimental considerado, la red WLAN proporciona las mejores métricas de rendimiento, mientras que la tecnología 5G presenta un rendimiento menor debido a las limitaciones de la implementación. Se concluye que el funcionamiento de la red depende no solo de la tecnología empleada, sino también del contexto y la optimización de la infraestructura.

Palabras clave: Robótica Móvil, ROS 2, 5G, Ciberseguridad, Teleoperación, Latencia, Calidad de Servicio (QoS)

Experimental Analysis of WLAN and 5G Networks in ROS 2

Abstract

Mobile robotic platforms in industrial environments require stable, secure, and resilient communication infrastructures. This work presents a comparative experimental analysis of three network architectures applied to ROS 2-based robotic systems: an IEEE 802.11ac WLAN network, a public 5G network with a VPN tunnel, and a low-cost experimental private 5G SA deployment. The evaluation is conducted through two complementary tests: measurement of the effective data throughput under link saturation conditions and assessment of the end-to-end response time in synchronous service invocations. The results show that, in the considered experimental environment, the WLAN network achieves the best performance metrics, whereas 5G-based solutions exhibit lower performance due to implementation constraints. It is concluded that network performance depends not only on the underlying technology but also on the deployment context and the level of infrastructure optimization.

Keywords: Mobile Robots, ROS 2, 5G, Cybersecurity, Teleoperation, Latency, Quality of Service (QoS)

1. Introducción

La integración de Robots Móviles Autónomos en la Industria 4.0 exige infraestructuras de comunicación que no solo proporcionen un ancho de banda adecuado para la transmisión de datos de sensores, sino que garanticen la resiliencia y seguridad necesarias para el control en tiempo real. El framework ROS 2 (Robot Operating System 2), fundamentado en el estándar DDS (Data Distribution Service), ofrece mecanismos de Calidad de Servicio (Quality of Service, QoS) para gestionar la comunicación entre nodos distribuidos Macenski et al. (2022).

Sin embargo, la comunicación con el protocolo DDS es dependiente de la capa física de transporte. En escenarios de robótica de campo, donde pueden coexistir flujos de datos masivos (nubes de puntos LiDAR, vídeo 4k) y tráfico crítico de control, las redes inalámbricas tradicionales, basadas en la familia de estándares IEEE 802.11, presentan limitaciones en cuanto a la tasa de transferencia, o *throughput*, el alcance efectivo, o el acceso al medio, que pueden derivar en la pérdida de flujos de datos y, en última instancia, del control del sistema Xiao and Rosdahl (2002).

* Autor para correspondencia: martin.bayon@unileon.es † Estos autores contribuyeron por igual a este trabajo.
Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0)

Por otra parte, las redes de telecomunicaciones LTE y 5G proporcionan un mayor *throughput* y alcance de cobertura, a costa de requerir de una infraestructura más compleja y costosa Gupta and Jha (2015). Adicionalmente, el uso de una red 5G de dominio público, o dependiente de un operador de telefonía, requiere de la implementación de medidas adicionales, como túneles VPN (*Virtual Private Network*), para garantizar la conectividad y seguridad Narciandi-Rodriguez et al. (2025).

En este trabajo, planteamos la comparación de 3 esquemas de comunicación en sistemas robóticos distribuidos, que se encuentran detallados en la sección 3.1

- **Red WLAN IEEE 802.11 ac 5GHz:** Compuesta por un punto de acceso que proporciona conectividad inalámbrica al robot, y al que la estación de control se conecta mediante conexión cableada Ethernet.
- **Red 5G pública con túnel cifrado VPN:** Se utiliza una red de telecomunicaciones 5G pública, que enruta el tráfico a través de internet y se establece una conexión segura con la estación de control mediante un túnel cifrado VPN.
- **Red 5G SA privada:** Se despliega una red privada 5G SA (*Stand Alone*) a la que tanto el robot móvil como la estación de control se conectan utilizando un módem 5G.

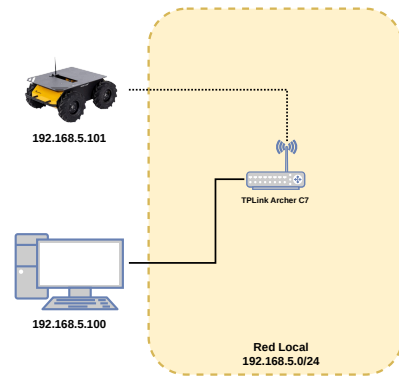
Nuestro análisis ofrece una comparación cuantitativa y cualitativa de la comunicación efectiva en sistemas robóticos atendiendo a la calidad del servicio, la latencia, la tasa de transmisión efectiva, la complejidad de la arquitectura de red, o el coste de implantación, entre otros.

Este trabajo no pretende establecer una jerarquía absoluta entre tecnologías de comunicación, sino aportar una caracterización experimental objetiva de su comportamiento en un escenario realista de robótica móvil distribuida basado en ROS 2. La contribución principal radica en la comparación directa, bajo condiciones controladas y reproducibles, de una red WLAN tradicional, una red 5G pública con mecanismos de encapsulación adicionales y un despliegue experimental de red 5G SA privada. Esta comparación permite identificar las limitaciones prácticas asociadas a cada solución. Finalmente, este artículo presenta las líneas de trabajo futuro a seguir para ampliar el análisis realizado y lograr una comunicación eficaz en entornos de robótica industrial.

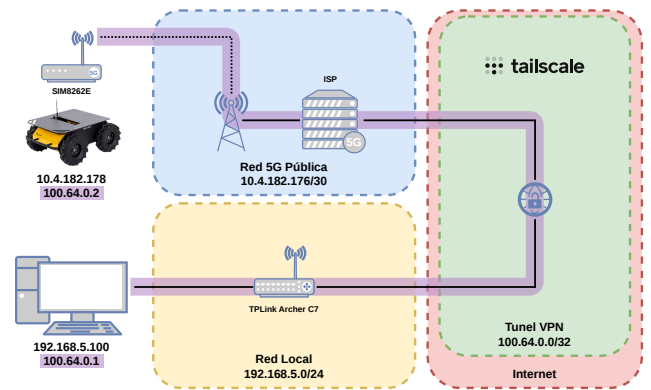
2. Problemática

El principal desafío técnico que se debe enfrentar en la supervisión y control de robots móviles es el despliegue de una red de comunicaciones adecuada al volumen de datos que se requiere transmitir, y que ofrezca un alto nivel de resiliencia ante situaciones de reducción de calidad en el enlace Lee et al. (2025).

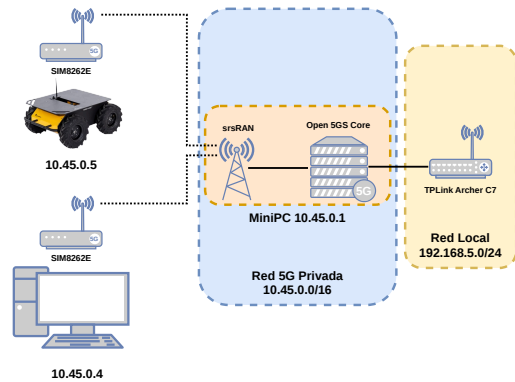
En el caso de las redes WLAN, basadas en la familia de estándares IEEE 802.11, algunos de los mayores desafíos son el alcance de cobertura limitado y la saturación de las bandas de radiofrecuencia reservadas (2,4GHz y 5GHz) Van Bloem et al. (2012),



(a) Red WLAN IEEE 802.11 ac



(b) Red 5G Pública con túnel VPN



(c) Red 5G SA privada experimental

Figura 1: El robot móvil y la estación de control disponen de comunicación mediante tecnología WLAN y red cableada (a) o comunicación 5G pública (b) y privada (c). En esta figura se detalla la arquitectura de red utilizada para la evaluación de cada escenario de comunicación.

Adicionalmente, la competencia por el uso del canal, definida por el protocolo CSMA/CA, o el hecho de que este tipo de redes de comunicaciones sean de naturaleza *Half-Duplex*, implica que un dispositivo no puede enviar y recibir información al mismo tiempo por este medio IEEE (2021).

En la práctica, estas limitaciones suponen una calidad de enlace inalámbrico que varía en función del momento en que se realice la conexión, la distancia al punto de acceso, el número de dispositivos activos, o la cantidad de información a enviar.

Por otro lado, las redes de telefonía públicas basadas en tecnología 5G, proporcionan un alcance geográfico mucho mayor

que las redes WLAN, y están diseñadas para permitir la conexión simultánea y *Full-Duplex* de una gran cantidad de usuarios Parvez et al. (2018). Sin embargo, el uso de una red pública para el control de equipos robóticos supone un problema de seguridad, que debe ser mitigado con el uso de sistemas de encriptación adicionales, como túneles VPN.

Por último, el uso de una red de telecomunicaciones basada en la tecnología 5G SA (*Stand Alone*) Gupta and Jha (2015) permite solventar los principales problemas de alcance, uso simultáneo, y privacidad de la comunicación, dado que la información fluye a través de una red privada no expuesta a internet ni a otros usuarios. Sin embargo, el despliegue de una red 5G privada resulta económica y técnicamente costoso Frank et al. (2022).

En el contexto de operación de un robot móvil basado en ROS 2, conviene comparar estos sistemas de comunicación, y establecer de forma clara las implicaciones que cada uno de ellos tiene sobre el rendimiento global del sistema robótico. Esta comparación permitirá elegir un sistema de comunicación u otro en función de las necesidades concretas del sistema.

3. Metodología

Con el objetivo de evaluar empíricamente el rendimiento de los distintos sistemas de comunicación, en esta sección se describen de forma detallada los entornos de experimentación, los experimentos realizados y las métricas empleadas, con el fin de garantizar la reproducibilidad y facilitar la validación independiente de los resultados.

El sistema robótico empleado es un Husky A200 de la empresa *Clearpath Robotics*, equipado con un PC industrial Intel Core i5 y que ejecuta Ubuntu 24.04 y ROS 2 Jazzy Jalisco. Sobre este robot se han instalado un sensor LiDAR Ouster OS1-128, y una cámara Intel Realsense D435i.

Los datos generados por ambos sensores se envían mediante la conexión inalámbrica a la estación de control, y las instrucciones de control del robot siguen el mismo camino en sentido contrario. Esta configuración permite replicar un escenario en el que el robot pueda ser operado de forma remota, al mismo tiempo que el operador puede visualizar la información capturada por los sensores en una estación de control.

3.1. Arquitecturas de Red Evaluadas

En este trabajo, se han desplegado tres escenarios de conectividad para replicar las condiciones de operación real en un escenario industrial. Estos escenarios se detallan a continuación y se encuentran representados en la Figura 1:

- **Red Local Inalámbrica IEEE 802.11 ac:** La red de comunicaciones está compuesta por una red de área local inalámbrica (WLAN) desplegada mediante un punto de acceso TP-Link Archer C7 AC1750 con sistema operativo OpenWRT. El dispositivo opera en la banda de 5 GHz bajo el estándar IEEE 802.11ac y genera una red inalámbrica protegida mediante cifrado WPA2. El robot móvil se conecta a dicha red a través de su interfaz Wi-Fi integrada, mientras que la estación de control establece una conexión cableada Ethernet al mismo punto de acceso (vea la Figura 1(a)).

Ambos dispositivos comparten el mismo dominio de red y subred IP, permitiendo comunicación directa sin atravesar redes externas ni mecanismos de traducción de direcciones. En estas condiciones, el descubrimiento automático de nodos ROS 2 basado en DDS se realiza mediante tráfico multicast UDP dentro del segmento local, sin necesidad de configuraciones adicionales.

- **Red móvil 5G pública + túnel VPN (Tailscale):** El robot móvil dispone de un módem 5G SIMcom SIM8262E-M2 SIMCom Wireless Solutions (2023) equipado con una tarjeta SIM del operador Vodafone, que permite el acceso a una red 5G pública comercial. La estación de control se conecta a internet a través de su propia infraestructura de red.

Debido a la presencia de mecanismos de traducción de direcciones a gran escala (CGNAT) en redes celulares públicas, no es posible establecer comunicación entrante directa hacia el robot desde la estación de control. Para habilitar conectividad extremo a extremo se implementa un túnel de red privada virtual (VPN) mediante la plataforma Tailscale, basada en el protocolo WireGuard Tailscale Inc. (2024). Esta solución proporciona direccionamiento virtual estable, cifrado de extremo a extremo y conectividad bidireccional a través de internet. En esta configuración, ambos dispositivos forman parte de una red superpuesta gestionada por Tailscale (vea la Figura 1(b)).

- **Red móvil 5G SA privada:** En este caso, la infraestructura de comunicaciones se basa en una red 5G privada en modo standalone (5G SA) Gupta and Jha (2015) desplegada localmente. El núcleo 5G se ejecuta sobre un Mini PC mediante la plataforma Open5GS Open5GS Project (2026), la cual implementa en software las funciones principales del core 5G, permitiendo la gestión del registro de usuarios, el establecimiento de sesiones y la gestión del tráfico. Por su parte, la funcionalidad de la estación base 5G (gNodeB) se implementa mediante srsRAN srsRAN Project (2026) en el entorno experimental, proporcionando una solución abierta y flexible para desplegar la red de acceso radio e integrarla con el núcleo 5G.

Tanto el robot móvil como la estación de control disponen de módems 5G SIMcom SIM8262E-M2 SIMCom Wireless Solutions (2023) configurados con tarjetas SIM programables de sysmocom, permitiendo su registro como equipos de usuario (*UE*) dentro de la red privada. El núcleo 5G asigna direcciones IP dentro de una misma subred a ambos dispositivos y permite la comunicación directa extremo a extremo sin intervención de operadores externos (vea la Figura 1(c)).

3.2. Evaluación de rendimiento en cada arquitectura de red

Con el objetivo de evaluar el rendimiento de la red de comunicaciones para cada una de las arquitecturas desplegadas, se han realizado dos pruebas de control. Estas pruebas han sido ejecutadas en un entorno de laboratorio, en el que la carga de los equipos implicados se ha reducido al mínimo posible, con el objetivo de proporcionar unos resultados que reflejen el impacto que los distintos tipos de red tienen en el sistema.

Arquitectura	5 Mb/s		15 Mb/s		30 Mb/s		Sin límite	
	Bitrate (Mb/s)	Jitter (ms)	Bitrate (Mb/s)	Jitter (ms)	Bitrate (Mb/s)	Jitter (ms)	Bitrate (Mb/s)	Jitter (ms)
WLAN 802.11ac	5,00 ± 0,00	0,11	15,00 ± 0,00	0,11	30,00 ± 0,00	0,05	409,70 ± 0,00	0,02
5G Pública + VPN	4,89 ± 0,22	2,63	6,91 ± 0,56	1,37	12,25 ± 7,30	0,91	42,93 ± 3,01	0,61
5G SA Privada	3,19 ± 1,56	2,47	6,90 ± 3,02	0,94	8,07 ± 1,63	1,21	8,62 ± 2,49	2,19

Tabla 1: Tasa de transferencia efectiva y jitter entre el robot móvil y la estación de control. Se utiliza la herramienta `iperf3` en modo UDP, y se muestra el valor medio y la desviación típica tras realizar 10 pruebas independientes para cada valor objetivo. Por último, se solicita una tasa de transferencia superior a la capacidad de la red, y se presenta el rendimiento de la red en el momento de saturación.

Prueba 1.

Se pretende evaluar la tasa efectiva máxima de transmisión y el jitter para cada arquitectura de red de comunicaciones en condiciones variables de carga. Se utiliza la herramienta `iperf3` `iperf Project (2026)`, situando el servidor en el robot móvil y el cliente en la estación remota. La prueba consiste en la transmisión de tráfico UDP durante 10 segundos. Para cada una de las arquitecturas de red evaluadas se realizan ensayos con tasas objetivo de 5 Mb/s, 15 Mb/s, 30 Mb/s, además de un ensayo adicional orientado a saturar el canal de transmisión. Cada configuración se repite 10 veces, y los valores medios medidos en la estación remota se presentan en la Tabla 1.

Prueba 2.

Esta prueba tiene como objetivo evaluar la latencia extremo a extremo percibida por un usuario durante la transmisión de órdenes sencillas. Para ello, se utiliza la funcionalidad de `services` de ROS 2. En este escenario, el robot móvil ejecuta un servidor de servicios sencillo encargado de realizar la suma de dos números enteros ROS 2 Documentation (2026), mientras que la estación remota invoca dicho servicio mediante la herramienta de línea de comandos `ros2 service call`. Para cuantificar el tiempo de ejecución, se emplea la utilidad `time` Linux `manpages project (2025)` de Linux. Es importante señalar que el tiempo analizado no representa únicamente el tiempo de tránsito de los mensajes a través de la red inalámbrica configurada, sino que incluye también otros procesos inherentes al ecosistema ROS 2, tales como la preparación de la solicitud, la serialización y deserialización de los datos, el tránsito de los mensajes y la ejecución de la operación matemática ofrecida por el servicio, entre otros. No obstante, esta prueba permite realizar una comparación consistente entre las diferentes arquitecturas de red analizadas. La prueba se repite 10 veces en cada arquitectura evaluada, y los valores medios obtenidos se muestran en la Tabla 2.

Arquitectura de red	Tiempo de respuesta (s)	Desviación típica (s)
Red WLAN 802.11 ac	1,36	0,44
Red 5G Pública + VPN	1,78	0,35
Red 5G Privada	2,43	0,25

Tabla 2: Tiempo medio de respuesta extremo a extremo observado por la estación de control al ejecutar el comando `time ros2 service call` para invocar un servicio sencillo de suma de enteros. El tiempo medido incluye no solo la transmisión de los mensajes a través de la red, sino también otros procesos inherentes al ecosistema ROS 2, como la inicialización del cliente, el descubrimiento mediante DDS y la serialización y deserialización de mensajes.

4. Resultados

Los resultados obtenidos permiten analizar el impacto de cada arquitectura de red sobre dos dimensiones fundamentales en sistemas robóticos distribuidos: la capacidad de transporte de datos y el tiempo de respuesta en operaciones de control remoto. Mientras que la primera métrica evalúa el rendimiento máximo alcanzable bajo condiciones de carga elevada, la segunda refleja el comportamiento extremo a extremo percibido por el operador en la invocación de servicios ROS 2. Esta doble perspectiva resulta especialmente relevante en aplicaciones de teleoperación y supervisión remota de robots, donde coexisten flujos de datos intensivos (sensores) y tráfico de control crítico.

Los resultados numéricos obtenidos muestran diferencias significativas entre las arquitecturas evaluadas en ambas pruebas realizadas. En términos generales, la red WLAN 802.11 ac proporciona las mejores métricas de rendimiento, con una gran diferencia respecto a ambas arquitecturas de red basadas en tecnología 5G. Asimismo, el uso de una red 5G comercial ha proporcionado un mejor rendimiento que el despliegue experimental de red 5G SA privada. Este comportamiento puede explicarse diversos factores limitantes durante la realización de los experimentos planteados.

Por un lado, la red WLAN representa una tecnología con un alto grado de madurez y ampliamente adoptada, especialmente optimizada para entornos locales con distancias reducidas y baja interferencia. En el escenario experimental considerado, ambos dispositivos comparten el mismo dominio de red, sin atravesar infraestructuras externas ni mecanismos adicionales de encapsulación o traducción de direcciones, lo que favorece la obtención de elevados valores de *throughput* y tiempos de respuesta reducidos y constantes.

Por otro lado, el uso de una red pública de telecomunicaciones, basada en tecnología 5G plantea, desde un punto de vista teórico, un mayor ancho de banda, y menor latencia que las soluciones WLAN convencionales. No obstante, factores externos como la infraestructura del operador, la calidad de cobertura radioeléctrica, o la implementación de tecnologías CGNAT, condicionan el rendimiento efectivo de esta red. Adicionalmente, la necesidad de establecer túneles VPN para garantizar la conexión extremo a extremo y la seguridad de los datos supone un aumento en la complejidad de la infraestructura de red y el tiempo de respuesta que percibe el operador.

Finalmente, la red 5G SA privada presenta el menor *throughput* medio, y el mayor impacto en el tiempo de respuesta extremo a extremo. Este resultado, aparentemente contraintuitivo, puede atribuirse a las limitaciones inherentes a un despliegue experimental basado en equipamiento de bajo coste y en

implementaciones software del núcleo 5G y la estación base, ejecutadas sobre hardware generalista. A diferencia de las infraestructuras comerciales de operadores, el entorno de pruebas utilizado no cuenta con optimizaciones avanzadas de planificación radio ni con recursos espectrales amplios, lo que impacta directamente en el rendimiento alcanzable.

5. Conclusiones

En este trabajo se ha presentado un análisis comparativo del rendimiento de tres arquitecturas de comunicación aplicadas a sistemas robóticos móviles basados en ROS 2: una red WLAN IEEE 802.11ac, una red 5G pública con túnel VPN y un despliegue experimental de red 5G SA privada. La evaluación se ha realizado considerando tanto la capacidad de transporte efectiva bajo condiciones de saturación como la variación del tiempo de llegada de los paquetes y el tiempo de respuesta extremo a extremo en la invocación de servicios.

Los resultados obtenidos evidencian que, en el entorno experimental considerado, la red WLAN proporciona el mayor rendimiento en términos de *throughput* y los menores valores de jitter, así como los menores tiempos de respuesta percibidos por el operador. Por su parte, la red 5G pública ofrece un comportamiento intermedio, mientras que el despliegue experimental de red 5G SA privada presenta el rendimiento más limitado. Estos resultados ponen de manifiesto que el rendimiento efectivo de una arquitectura de comunicaciones no depende únicamente de la tecnología empleada, sino del contexto de despliegue, la configuración del sistema y el grado de optimización de la infraestructura subyacente.

En particular, la red 5G SA privada evaluada en este trabajo constituye una implementación experimental con equipamiento de bajo coste y componentes software ejecutados sobre hardware generalista, lo que introduce un margen significativo de mejora. Por tanto, los resultados obtenidos no deben interpretarse como una limitación inherente a la tecnología 5G SA, sino como una caracterización del escenario experimental considerado. En entornos industriales reales, donde la cobertura, la movilidad y la seguridad adquieren un papel determinante, la elección de la arquitectura de comunicaciones debe realizarse considerando no solo métricas de rendimiento instantáneo, sino también aspectos de escalabilidad, resiliencia y control sobre la infraestructura.

Como línea futura de trabajo, se plantea el estudio del comportamiento bajo carga simultánea de múltiples flujos de sensores, así como la evaluación de configuraciones optimizadas de red 5G privada. Esto permitirá establecer criterios más precisos para la selección de la tecnología de comunicación más adecuada en función del entorno operativo, los requisitos de latencia y la criticidad de la aplicación robótica.

Agradecimientos

Este trabajo forma parte del proyecto “Seguridad de Internet de las Cosas en Entornos Domésticos y Empresariales en el Contexto de la Implantación de las Tecnologías 5G-IoT”, financiado a través de INCIBE mediante los Fondos Next Generation de la Unión Europea dentro del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia del Gobierno de España.

Referencias

- Frank, H., Colman-Meixner, C., Assis, K. D. R., Yan, S., Simeonidou, D., 2022. Techno-economic analysis of 5g non-public network architectures. *IEEE Access* 10, 70204–70218. DOI: 10.1109/ACCESS.2022.3187727
- Gupta, A., Jha, R. K., 2015. A survey of 5g network: Architecture and emerging technologies. *IEEE Access* 3, 1206–1232. DOI: 10.1109/ACCESS.2015.2461602
- IEEE, 2021. Ieee standard for information technology–telecommunications and information exchange between systems - local and metropolitan area networks–specific requirements - part 11: Wireless lan medium access control (mac) and physical layer (phy) specifications. *IEEE Std 802.11-2020 (Revision of IEEE Std 802.11-2016)*, 1–4379. DOI: 10.1109/IEEESTD.2021.9363693
- iperf Project, 2026. iperf3 — active network bandwidth measurement tool. <https://iperf.fr/iperf-doc.php>.
- Lee, S., Kim, T., Chae, J., Park, K.-J., 2025. Optimizing ros 2 communication for wireless robotic systems. *arXiv preprint*. DOI: 10.48550/arXiv.2508.11366
- Linux man-pages project, 2025. time - linux manual page. <https://man7.org/linux/man-pages/man1/time.1.html>.
- Macenski, S., Foote, T., Gerkey, B., Lalancette, C., Woodall, W., 2022. Robot operating system 2: Design, architecture, and uses in the wild. *Science Robotics* 7 (66). DOI: 10.1126/scirobotics.abm6074
- Narciandi-Rodriguez, D., Avelaira-Mata, J., García-Ordás, M. T., Alfonso-Cendón, J., Benavides, C., Alaiz-Moretón, H., 2025. A cybersecurity review in iot 5g networks. *Internet of Things* 30, 101478. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.iot.2024.101478>
- Open5GS Project, 2026. Open5gs 5g core and epc open source implementation. <https://open5gs.org/open5gs/docs/>.
- Parvez, I., Rahmati, A., Guvenc, I., Sarwat, A. I., Dai, H., 2018. A survey on low latency towards 5g: Ran, core network and caching solutions. *IEEE Communications Surveys & Tutorials* 20 (4), 3098–3130. DOI: 10.1109/COMST.2018.2841349
- ROS 2 Documentation, 2026. Writing a simple service and client - addtoints example. <https://docs.ros.org/en/rolling/Tutorials/Beginner-Client-Libraries/Writing-A-Simple-Cpp-Service-And-Client.html>.
- SIMCom Wireless Solutions, 2023. Sim8262e-m2 5g nr module. <https://www.simcom.com/product/SIM8262X-M2.html>.
- srsRAN Project, 2026. srsran project documentation. <https://docs.srsran.com/projects/project/en/latest/>.
- Tailscale Inc., 2024. Tailscale documentation. <https://tailscale.com>.
- Van Bloem, J.-W., Schiphorst, R., Kluwer, T., Slump, C. H., 2012. Spectrum utilization and congestion of ieee 802.11 networks in the 2.4 ghz ism band. *Journal of Green Engineering* 2 (4), 401–430.
- Xiao, Y., Rosdahl, J., 2002. Throughput and delay limits of ieee 802.11. *IEEE Communications Letters* 6 (8), 355–357. DOI: 10.1109/LCOMM.2002.802035