

Módulo 2

Fundamentos de simulación de redes

© 2024

Gabriel Guerrero-Contreras

`gabriel.guerrero@uca.es`

Sara Balderas-Díaz

`sara.balderas@uca.es`

Universidad de Cádiz

Escuela Superior de Ingeniería

Departamento de Ingeniería Informática

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike
4.0 International License.

To view a copy of this license, visit:

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/legalcode>



Índice

2. Fundamentos de simulación de redes	1
2.1. Modelos de tráfico, topología y movilidad	1
2.1.1. Modelos de tráfico	1
2.1.2. Modelos de topología	2
2.1.3. Modelos de movilidad	2
2.2. Otras herramientas de simulación	3
2.3. Metodologías de simulación	4
2.4. Métricas de rendimiento	5

2. Fundamentos de simulación de redes

En el segundo módulo del curso, nos adentraremos en los fundamentos esenciales de la simulación de redes. Comprender estos conceptos es crucial para utilizar herramientas como ns-3 y desarrollar simulaciones precisas. Exploraremos los modelos de tráfico, topología, movilidad, las herramientas y metodologías utilizadas en la simulación, así como las métricas de rendimiento que nos ayudarán a evaluar y entender el comportamiento de las redes simuladas.

2.1. Modelos de tráfico, topología y movilidad

Los modelos de tráfico y topología desempeñan un papel fundamental en la simulación de redes, ya que permiten representar el comportamiento de los nodos y el flujo de datos en una red.

2.1.1. Modelos de tráfico

Los modelos de tráfico se utilizan para simular el flujo de datos entre los nodos de una red y caracterizar el comportamiento de los usuarios y las aplicaciones. Existen varios tipos de modelos de tráfico, cada uno diseñado para representar diferentes patrones de comportamiento y distribuciones de datos. Algunos de los modelos de tráfico más comunes incluyen:

- **Modelo de tráfico constante:** En este modelo, el flujo de datos entre los nodos de la red es constante y uniforme. Es útil para simular aplicaciones de transmisión continua, como la transmisión de video o audio en tiempo real.
- **Modelo de tráfico periódico:** En este modelo, el flujo de datos sigue un patrón periódico, con períodos de actividad y descanso. Se utiliza para simular aplicaciones con patrones de tráfico cíclicos, como la transmisión de datos por lotes.
- **Modelo de tráfico estocástico:** Este enfoque es útil para simular aplicaciones con patrones de tráfico impredecibles, como el tráfico web o las descargas de archivos, donde los usuarios pueden acceder a recursos de forma aleatoria y en momentos no predecibles. Al utilizar procesos estocásticos, el modelo puede generar datos que se asemejen a los flujos de tráfico reales y capturar la variabilidad inherente en la interacción de los usuarios con la aplicación.

Además de estos modelos básicos, también existen modelos más avanzados que tienen en cuenta factores adicionales, como la congestión de la red, la priorización del tráfico y la calidad del servicio (QoS).

2.1.2. Modelos de topología

Los modelos de topología se utilizan para representar la estructura física y lógica de una red, incluyendo la disposición de los nodos y enlaces. Estos modelos son útiles para simular la conectividad y el enrutamiento en una red y pueden variar desde topologías simples hasta redes complejas y heterogéneas. Algunos de los modelos de topología más utilizados son:

- **Topología en estrella:** En esta topología, todos los nodos están conectados a un nodo central, que actúa como punto de concentración de tráfico. Es útil para simular redes de área local (LAN) y redes domésticas (Figura 1a).
- **Topología en árbol:** Los nodos están organizados en una estructura jerárquica de árbol, con un nodo raíz y múltiples niveles de nodos secundarios. Es útil para simular redes de distribución y redes de acceso (Figura 1b).
- **Topología en malla:** Cada nodo está conectado directamente a todos los demás nodos de la red. Es útil para simular redes de área amplia (WAN) y redes de infraestructura inalámbrica (Figura 1c).

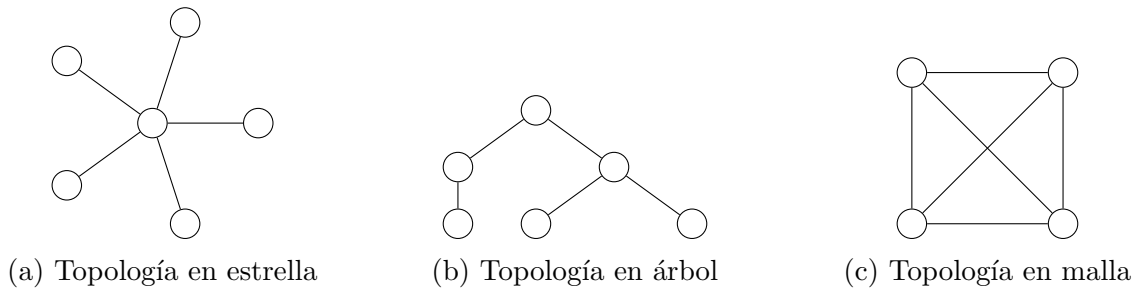


Figura 1: Diferentes topologías de red

2.1.3. Modelos de movilidad

En simulaciones de redes inalámbricas y móviles, se usan para representar el movimiento de los nodos dentro de la red. Se utilizan para evaluar el desempeño de protocolos de enrutamiento y handover¹ en entornos dinámicos. Algunos de los modelos de movilidad más utilizados incluyen:

- **Movimiento aleatorio (Random Walk):** Este modelo simula nodos que se mueven de manera completamente aleatoria dentro de un área definida. Es útil para escenarios donde no hay patrones de movimiento específicos. Aunque permite una gran flexibilidad en la simulación, puede no reflejar con precisión el comportamiento en escenarios de la vida real donde el movimiento tiende a seguir patrones más estructurados.

¹Proceso mediante el cual un dispositivo móvil, como un teléfono móvil, cambia de una celda de red a otra sin interrumpir el servicio de comunicación.

- **Movimiento de camino aleatorio (Random Waypoint):** En este modelo, los nodos siguen caminos aleatorios, pero con una tendencia general en una dirección específica. Es útil para simular movimientos que tienen una dirección preferida, como el movimiento de personas en un entorno urbano. Este modelo puede simular de manera efectiva el comportamiento de individuos en situaciones donde hay cierta intencionalidad en el movimiento, pero aún incorpora elementos de aleatoriedad.
- **Movimiento basado en trayectorias (Trajectory-based Movement):** Los nodos siguen trayectorias predefinidas, como rutas de vehículos o patrones de movimiento humano. Es útil para simular escenarios donde el movimiento sigue un patrón conocido. Este enfoque es particularmente útil en simulaciones de transporte o logística, donde las rutas y horarios son bien conocidos.
- **Movimiento en grupo (Group Movement):** Simula nodos que se mueven en grupos cohesivos, como en aplicaciones de redes de sensores o sistemas de vigilancia. Este modelo refleja el comportamiento social y la dinámica de grupo en situaciones como evacuaciones, manifestaciones o movimientos de animales.
- **Modelo de pausa y movimiento (Pause and Move Model):** Una variación del movimiento aleatorio donde los nodos alternan entre períodos de movimiento y pausas. Es útil para simular escenarios donde los individuos o vehículos hacen paradas intermitentes, reflejando de manera más precisa el comportamiento humano natural, como en un parque, campus universitario o centro comercial.

2.2. Otras herramientas de simulación

Además de ns-3, existen varias herramientas de software disponibles para la simulación de redes, cada una con sus propias características, ventajas y desventajas. Algunas de ellas son:

- **OPNET (Optimized Network Engineering Tools)²:** suite de software comercial utilizada para el modelado y simulación de sistemas de comunicaciones. OPNET ofrece una amplia gama de características y funcionalidades para simular redes cableadas e inalámbricas, así como aplicaciones de Internet. A diferencia de ns-3, OPNET es una suite todo en uno que proporciona una interfaz gráfica de usuario (GUI) y una amplia variedad de modelos predefinidos. Sin embargo, OPNET puede carecer de la flexibilidad y la capacidad de personalización que ofrece ns-3 a través de su enfoque de desarrollo basado en código.
- **OMNeT++ (Objective Modular Network Testbed in C++)³:** destaca por su arquitectura flexible y su capacidad para integrar modelos de red y protocolos de comunicación personalizados. Una distinción clave de ns-3 en comparación con

²<https://opnetprojects.com/opnet-network-simulator/>

³<https://omnetpp.org/>

OMNeT++ es su enfoque en el desarrollo de modelos de protocolos de red a nivel de código. ns-3 proporciona a los desarrolladores un alto grado de flexibilidad y control sobre el diseño y la implementación de modelos de red, lo que permite una personalización exhaustiva y la capacidad de reflejar con precisión escenarios de red específicos.

- **MATLAB (MATrix LABoratory)**⁴: entorno integral de programación y un lenguaje de scripting utilizado extensamente en campos de la ingeniería y las ciencias para tareas como simulación, procesamiento de señales y análisis numérico. Su flexibilidad lo convierte en una herramienta esencial para el diseño y análisis de sistemas complejos, facilitando a los usuarios la ejecución de complejas operaciones matemáticas, la manipulación de matrices y la visualización de datos de forma efectiva. Adicionalmente, MATLAB incorpora Simulink, una plataforma adicional que proporciona una interfaz gráfica para el modelado basado en bloques, ideal para la simulación de sistemas dinámicos. Aunque MATLAB no se especializa en la simulación de redes como ns-3, sus funcionalidades especializadas permiten abordar simulaciones en este ámbito. Cabe señalar que llevar a cabo simulaciones de redes en MATLAB podría implicar un mayor esfuerzo de desarrollo y resultar en un rendimiento menos optimizado en comparación con herramientas dedicadas como ns-3.

2.3. Metodologías de simulación

Para el diseño, implementación y ejecución de simulaciones de redes, se emplean diversas metodologías que permiten abordar distintos aspectos del comportamiento de la red y sus componentes:

- **Modelado de Eventos Discretos:** ns-3 se basa en este enfoque para simular la secuencia de eventos que ocurren en la red, permitiendo una representación precisa del tiempo y las interacciones entre componentes. Se centra en modelar sistemas dinámicos en los que el estado del sistema cambia en instantes de tiempo específicos debido a la ocurrencia de eventos. Incluye entidades (objetos que necesitan ser procesados), eventos (que cambian el estado de las entidades o del sistema), y un reloj de simulación que avanza en saltos basados en la programación de eventos futuros. El tiempo puede avanzar en grandes saltos si no ocurren eventos entre dos puntos en el tiempo.
- **Modelado Basado en Agentes:** la red se modela como una colección de agentes autónomos, cada uno con su propio conjunto de características, comportamientos, y reglas de interacción. Estos agentes pueden representar una variedad de entidades dependiendo del sistema de red específico, tales como dispositivos de usuario (por ejemplo, computadoras, teléfonos móviles), nodos de red (por ejemplo, routers, switches), servidores o aplicaciones. Los agentes operan de manera

⁴<https://la.mathworks.com/>

independiente, tomando decisiones basadas en sus propias percepciones y reglas. Aunque ns-3 se centra más en el modelado de eventos, su arquitectura modular permite integrar modelos basados en agentes. Esto se traduce en la capacidad de simular sistemas distribuidos y redes P2P, donde los nodos actúan de manera autónoma pero interdependiente.

- **Modelo Continuo:** a diferencia de los enfoques basados en eventos discretos o agentes, se enfoca en modelar y analizar sistemas de red donde los cambios en el estado del sistema ocurren de manera continua a lo largo del tiempo. Este tipo de simulación es particularmente relevante en contextos donde las variaciones temporales y las dinámicas de los parámetros de la red son críticos y no pueden ser adecuadamente capturados por transiciones instantáneas entre estados discretos. Las redes se modelan utilizando ecuaciones diferenciales (ordinarias o parciales) que describen cómo cambian las variables de red con respecto al tiempo. Por ejemplo, en la modelización del tráfico de red, se podrían utilizar ecuaciones diferenciales para describir el flujo de datos a través de un enlace en función del tiempo. Es ideal para simular redes que involucran procesos físicos continuos, como la propagación de ondas. Sin embargo, la necesidad de resolver ecuaciones diferenciales puede aumentar significativamente la complejidad computacional, especialmente para sistemas grandes y complejos.

2.4. Métricas de rendimiento

Las métricas de rendimiento permiten a los usuarios medir de manera cuantitativa la eficacia, eficiencia y calidad de las comunicaciones en una red modelada.

- **Latencia:** La latencia se mide como el tiempo que tarda un paquete en viajar desde su origen hasta su destino. Factores como la configuración del protocolo de red, el tamaño del paquete, y la presencia de colas y retrasos en los dispositivos de red pueden influir en la latencia observada.
- **Pérdida de paquetes:** El módulo `FlowMonitor` de ns-3 facilita el seguimiento de los paquetes perdidos y la evaluación de la tasa de pérdida de paquetes en diferentes escenarios, proporcionando una manera de analizar la fiabilidad de la red.
- **Tasa de transferencia:** La cantidad de datos recibidos por un nodo destino en un período de tiempo específico. Esta métrica es crucial para evaluar el rendimiento de las aplicaciones de red y los protocolos en términos de su capacidad para entregar datos dentro de los parámetros de rendimiento esperados.
- **Utilización de recursos de red:** la utilización de recursos (como la utilización de enlaces y routers) es otra métrica de rendimiento vital. En ns-3, los usuarios pueden medir la utilización observando la cantidad de tráfico que atraviesa un dispositivo de red en comparación con su capacidad máxima. Esto es especialmente

útil para identificar cuellos de botella y para la planificación de la capacidad de la red.

- **Jitter (variación de latencia):** se refiere a la variabilidad en la latencia de los paquetes. El jitter es crítico en aplicaciones en tiempo real como VoIP y streaming de video. Se puede calcular analizando las variaciones en el tiempo de llegada de paquetes consecutivos.