

Caracterización de Servicios en Redes *Ad-Hoc* Inalámbricas mediante Métricas *Cross-Layer*

Leovigildo Sánchez-Casado, Gabriel Maciá-Fernández, Pedro García-Teodoro
 CITIC - Departamento de Teoría de la Señal, Telemática y Comunicaciones,
 E.T.S. de Ingeniería Informática y de Telecomunicación, Universidad de Granada
 C/Periodista Daniel Saucedo Aranda s/n E-18071
 {sancale, gmacia, pgteodor}@ugr.es

Resumen- Las WANET son redes inalámbricas constituidas sin ningún tipo de infraestructura preexistente y con una serie de peculiaridades, como son los limitados recursos disponibles y la actuación de cada nodo como *router*. Partiendo de la premisa de que las arquitecturas de red derivadas de modelos por capas independientes no resultan adecuadas en redes inalámbricas, el propósito del presente trabajo es el estudio y evaluación de métricas *cross-layer* que permitan caracterizar adecuadamente distintos servicios, con objeto de modelar el comportamiento del entorno y, a partir de ello, determinar desviaciones en el mismo. Los resultados apuntan que esta línea de investigación resulta prometedora, poniendo de manifiesto que el uso de medidas multi-capa proporciona información de gran utilidad para la caracterización de un sistema.

Palabras Clave- WANET; caracterización; métricas *cross-layer*; servicios.

I. INTRODUCCIÓN

El desarrollo experimentado por las TIC en las últimas décadas ha convertido a estas tecnologías en parte imprescindible de nuestra vida cotidiana. De entre las distintas posibilidades que brindan las TIC, cada día cobran mayor interés las redes inalámbricas (“*wireless*”) [1]; en concreto, las redes *ad-hoc* inalámbricas o WANET.

Las WANET (*Wireless Ad-Hoc Networks*) son un tipo de redes constituidas por dispositivos auto-configurables, geográficamente distribuidos en un área dada y capaces de unirse y abandonar la red dinámicamente. Dichas redes permiten la comunicación entre los nodos sin necesidad de una infraestructura fija o administración centralizada, usando para ello una estrategia multi-salto. Estas características hacen de estas redes un candidato óptimo y especialmente útil en campos como entornos medioambientales o militares, gestión de catástrofes, organización de conferencias, etc. Sin embargo, existen una serie de particularidades a tener en cuenta, referidas a los limitados recursos disponibles: ancho de banda, tiempo de vida de la batería, canal fácilmente accesible, prestaciones de cálculo y procesamiento, etc.

Por ello, el desarrollo de nuevas técnicas *cross-layer* está centrando la atención de numerosas investigaciones. En este contexto, el objetivo del presente trabajo consiste en la obtención de modelos de comportamiento *cross-layer* para distintos servicios. Con este fin, se establecerá un conjunto de

métricas que tratan de recoger el comportamiento global del sistema, posibilitando una mejor monitorización del mismo, lo que permitiría actuaciones futuras de interés como, por ejemplo, la posible determinación de anomalías. Como primera aproximación, el presente trabajo aborda la caracterización de servicios de red en distintos puntos del entorno, en base a la utilización de las mencionadas métricas.

El resto del artículo se organiza de la siguiente forma. La Sección II proporciona un análisis del estado del arte, describiéndose las principales métricas a considerar en la Sección III. La Sección IV detalla los escenarios de estudio, así como el entorno de experimentación. La Sección V muestra los resultados experimentales. Finalmente la Sección VI expone las conclusiones y líneas de trabajo futuro.

II. TRABAJOS PREVIOS EN *CROSS-LAYERING* Y CARACTERIZACIÓN DE SISTEMAS

Las arquitecturas derivadas de modelos basados en capas (independientes) como OSI [2], son particularmente prácticas en redes cableadas, pues cada capa se encarga de tareas que únicamente afectan a la capa en cuestión y a sus interfaces con las adyacentes, lográndose de este modo una gran modularidad [3]. Sin embargo, dichas arquitecturas no resultan adecuadas para su aplicación en redes inalámbricas, dadas las características propias de estos entornos [4]. Dichas propiedades, como las interferencias/colisiones o el acceso múltiple al canal, dan lugar a interdependencias que no se presentan en las redes tradicionales. De esta forma, el empleo de técnicas *cross-layer* permite determinar de forma más precisa la interacción entre las distintas capas, aunque generalmente a costa de mayor complejidad y sobrecarga.

La citada ventaja y su aplicabilidad en numerosos ámbitos, como la mejora del control de congestión [5], el soporte para QoS [6], la reducción del gasto de energía [7] o la minimización de la latencia [8], han centrado el interés de numerosos trabajos en el estudio de distintas opciones *cross-layer*, así como en la caracterización de los servicios en función del patrón de tráfico observable. Otro de los focos de investigación es su aplicación en nuevos protocolos de enrutamiento que den soporte a una seguridad mejorada en entornos inalámbricos [9].

Otros trabajos persiguen el despliegue de nuevos sistemas de detección de intrusiones o IDS (*Intrusion Detection Systems*). Utilizando una combinación de distintas métricas, se aumenta la tasa de detección, manteniendo estables la tasa de falsos positivos y la de falsos negativos. Thamilarasu [10] propone un IDS con detección individual en cada capa, correlando las salidas con el fin de obtener una decisión final más precisa. CRADS [11] emplea medidas de las capas MAC y de red para obtener una métrica que le permite un mejor proceso de detección. En [12] se demuestra la eficacia de las arquitecturas multi-capas en la detección de ataques en redes *ad-hoc* móviles, más allá del algoritmo de detección usado.

En este marco, nuestro objetivo central a largo plazo es la caracterización multi-capas de una red inalámbrica con objeto de determinar posibles desviaciones en su comportamiento. Y ello orientado a mejorar la seguridad, mediante la adopción de mecanismos de detección y/o reacción más robustos. Planteado este trabajo como una primera fase, el propósito será el estudio y evaluación de métricas *cross-layer* para la caracterización de servicios. La viabilidad de dichas métricas permitirá su extensión posterior al campo de la seguridad.

III. MÉTRICAS *CROSS-LAYER*

Una métrica *cross-layer* es una medida que recoge información de más de una capa de red, bien de los nodos, bien de los enlaces que los interconectan. En este trabajo se ha realizado un estudio de diversas medidas que permiten identificar y representar de forma clara distintas características propias de las redes WANET. Las distintas métricas son clasificadas en función de si son representativas del tráfico agregado (nodos intermedios), o representan a los servicios finales (nodos origen y/o destino),

A. Medidas salto-a-salto

Son un conjunto de métricas que, relativas a los nodos intermedios, permiten modelar y extraer tanto características propias del nodo, como del tráfico agregado que éste soporta:

- **Potencia recibida:** indica la potencia de la señal recibida, en vatios, observada en la antena del receptor. Se calcula para cada paquete correctamente recibido, y su valor se suaviza promediando durante una ventana temporal.

Variaciones de potencia pueden deberse a cambios en las rutas, obstáculos o nodos “egoístas”. Suele facilitarse el valor RSSI (*Received Signal Strength Indicator*) [13].

- **Longitud de la cola:** se define como el número de paquetes a la espera de ser enviados de la capa LLC a la capa MAC en un momento determinado.

Ante distintas eventualidades, la tasa de generación de la aplicación podría ser demasiado elevada, dando lugar al desbordamiento de la cola y a la pérdida de paquetes.

- **Ventana de contención:** se define como el tamaño actual, en *slots*, de la ventana de contención de la capa MAC en un instante dado. Varía en el rango $[CW_{min}-CW_{max}]$, duplicándose con cada intento de transmisión sin éxito y reiniciándose al valor mínimo con cada entrega correcta.

De este modo, un valor alto revela la presencia de colisiones, lo cual puede apuntar, por ejemplo, a la existencia de un servicio con alta tasa de datos o a picos de tráfico generados por aplicaciones de tasa variable.

- **Número de colisiones:** indica el número de colisiones provocadas por el acceso simultáneo al medio por parte de dos o más nodos.

Esta medida es de especial importancia dado que puede afectar a muchas otras, evidenciándose de este modo la naturaleza *cross-layer* de estos entornos.

- **Tamaño de la tabla de encaminamiento:** representa el número de entradas en la tabla de encaminamiento del nodo en cuestión.

Un cambio en el número de entradas puede ocasionarse, por ejemplo, por colisiones reiteradas que den lugar a cambios en las rutas.

- **Tasa de Transmisión:** muestra la cantidad de datos, en *bits*, que pueden ser enviados por un nodo durante un intervalo temporal determinado. Se estudiará en capa MAC y en capas superiores.

Una reducción drástica de la tasa de transmisión podría deberse, por ejemplo, a un ataque *blackhole*.

- **Número de flujos:** proporciona el número de flujos que se encuentran activos en el nodo durante un determinado intervalo temporal.

Por ejemplo, un nuevo flujo junto con un incremento a ráfagas en la tasa de transmisión es indicativo de la existencia de un nuevo servicio de tasa variable.

B. Medidas extremo-a-extremo

En este apartado se engloban aquellas medidas cuya extracción se realiza en los extremos de la comunicación

- **Latencia:** suma de los distintos retrasos (tiempos de cola, procesamiento, transmisión y propagación) que sufre un paquete durante su transmisión entre origen y destino.

Variaciones en la latencia pueden indicar la presencia de retransmisiones/colisiones, que pueden ser ocasionadas por un aumento del tráfico agregado de la red.

- **Rendimiento:** es una medida de la tasa de datos entregados al receptor. Se determina como el número de *bits* correctamente recibidos por unidad de tiempo.

Es una de las principales medidas para caracterizar un servicio en el destino, al ser fuertemente dependiente del patrón de generación de tráfico seguido por la aplicación.

- **Tasa de entrega de paquetes:** porcentaje de paquetes que llegan correctamente al destino respecto del total de los enviados. También puede obtenerse su complementario, denominado *tasa de pérdida de paquetes*.

Las pérdidas pueden deberse a fallos en las rutas, desbordamiento de las colas o múltiples colisiones.

- **Longitud de la ruta:** el número de enlaces existentes en el camino de comunicación entre nodo origen y destino.

Debe ser tenida en cuenta, pues si varía, se podría estar ante la presencia de congestión en algún nodo intermedio, ocasionada por nuevos servicios agregados.

Las citadas medidas pueden dar lugar a problemas de sub-estimación o sobre-estimación, ya sea por demasiado genéricas, poco precisas o incapaces de detectar determinadas condiciones. Sin embargo, la extracción de métricas *cross-layer* podrá modelar con precisión posibles comportamientos de la red.

IV. ENTORNO DE EXPERIMENTACIÓN

En esta sección se presenta una descripción del entorno de experimentación utilizado para evaluar la capacidad de caracterización de las métricas descritas, así como los parámetros de configuración y los escenarios considerados.

Para la experimentación se ha usado Network Simulator 2 (NS-2) [14], uno de los simuladores de redes más usados hoy día por la comunidad académica e investigadora. Los nodos forman una red *ad-hoc* operando bajo el módulo IEEE 802.11 [15], cuyos parámetros de configuración (Tabla 1) simulan una red 802.11b. En la topología planteada se han distribuido aleatoriamente 20 nodos en un área de 900x700 metros, como se ve en la Fig. 1. Las simulaciones se han realizado durante un período de 600 segundos, muestreando las medidas a intervalos de 2 segundos.

Parámetro	Valor	Parámetro	Valor
Modelo Radio	TwoRayGround	Tipo MAC	802_11
Canal	WirelessChannel	-CW _{min/max}	31/1023 slots
Antena	OmniAntenna	-Tiempo slot	20 μ s
-Ganancia Tx/Rx	1	-SIFS	10 μ s
-Altura	1.5 m	-Tasa Datos	11 Mb
Interfaz de Red	WirelessPhy	-Tasa Básica	2 Mb
-Umbral Captura	10 dB	-Tasa PLCP	1 Mb
-Umbral Portadora	$1.5e^{-11}$ W \approx 550 m	-Preámbulo	144 bits
-Umbral Rx	$3.6e^{-10}$ W \approx 250 m	-Cab. PLCP	48 bits
-Potencia Tx	0.2818 W \approx 250 m	-Umbral RTS	0 bytes
-Frecuencia	914 MHz	Tipo Cola	PriQueue
-Factor Pérdidas	1	-Tamaño	50

Tabla 1. Parámetros de configuración utilizados en NS-2.

En el modelo se ha seleccionado de forma aleatoria un nodo como fuente del tráfico y otro como sumidero. El objetivo será comprobar si se puede extraer información de las diferentes capas que permita identificar la categoría del flujo de referencia. En concreto, se experimentará con dos servicios a distintas tasas, mostrados en la Tabla 2: tráfico CBR (*Constant Bit-Rate*) y VBR (*Variable Bit-Rate*). La tasa media de transmisión en ambas aplicaciones es la misma, con el fin de simular condiciones semejantes.

	CBR	VBR
Tamaño paquete	512 bytes	512 bytes
Tasa de Tx (T _{ON})	21 / 44.8 / 76 Kbps	30 / 64 / 95 Kbps
Distribución de llegada	constante	exponencial
Tiempo de ON/OFF	-	0.7 / 0.3 s

Tabla 2. Parámetros de las fuentes de tráfico.

Como protocolo de enrutamiento se ha utilizado AODV, mostrándose los valores de sus parámetros en la Tabla 3.

Parámetro	Valor	Parámetro	Valor
Tiempo vida ruta	10 s	# Retransm. RREQ	3
Tiempo vida ruta inversa	6 s	Tiempo espera RREP	1 s
Tiempo límite RREQ	10 s	Detección capa enlace	si

Tabla 3. Parámetros de AODV.

Para simular los escenarios, se añadirá tráfico de fondo, variando la carga de la red y el tipo de tráfico agregado. En concreto, se han estudiado 4 posibles escenarios, repitiendo cada simulación y modificando el tipo de fuente de referencia (CBR o VBR), con el fin de comprobar si es posible la clasificación de dicho flujo en su categoría correspondiente. La configuración es la siguiente:

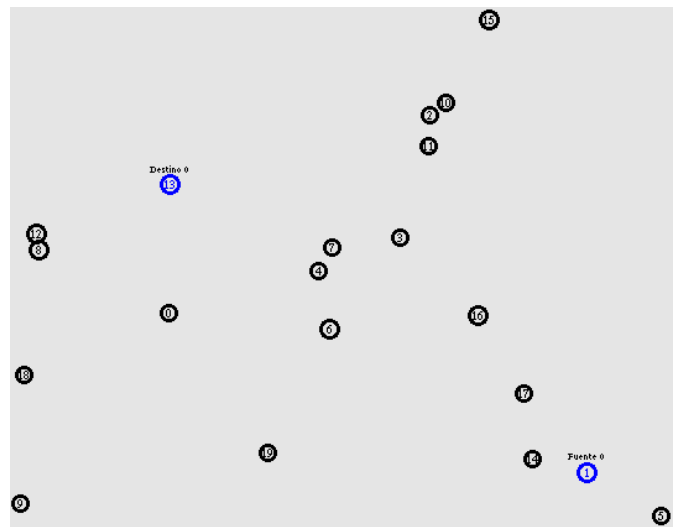


Fig. 1. Topología utilizada en la experimentación.

- Escenario sin tráfico agregado*: representa el caso básico: se transmite únicamente el flujo generado por la fuente, que puede ser tanto CBR como VBR.
- Escenario con 9 flujos CBR y VBR*: se introducen flujos agregados en la red, distribuyéndose de forma proporcionada los dos servicios generadores.
- Escenario con 9 flujos CBR*: en este caso todos los flujos agregados pertenecen a una aplicación de tipo CBR, obteniéndose un escenario poco equilibrado.
- Escenario con 9 flujos VBR*: análogamente al escenario previo, se introduce tráfico de un único servicio (VBR) con el fin de obtener un entorno no balanceado.

V. RESULTADOS EXPERIMENTALES

Toda vez que se ha realizado la simulación y se han extraído las diferentes medidas, el siguiente paso es comprobar si existe información en las métricas que permita la diferenciación de los servicios considerados.

Para ello se ha utilizado Weka [16], una plataforma *software*, escrita en Java y de libre distribución, que permite realizar operaciones de *data mining* y *machine learning*. Permite aplicar, sobre un conjunto de datos (o *atributos*), diferentes algoritmos de clasificación, regresión, asociación o *clustering*. En el caso de estudio, los datos son los valores de las métricas para distintas muestras temporales (o instancias).

Como *baseline* para la clasificación se ha tomado un algoritmo de aprendizaje ampliamente usado: el clasificador *Naïve Bayes* [17], un modelo generativo que hace uso de la regla de Bayes para estimar distribuciones de probabilidad conjuntas sobre parejas de etiquetas y observaciones. La característica principal de dicho modelo es que asume la independencia condicional de los atributos, lo que reduce drásticamente el número de parámetros a ser estimados para la generación del modelo y, en consecuencia, el número de instancias necesarias para obtener resultados precisos.

La conclusión inmediata que puede deducirse de los resultados mostrados en la Tabla 4 es que, como se había supuesto, el análisis de métricas *cross-layer* proporciona información suficiente como para poder realizar la clasificación de los servicios. De hecho, empleando un

clasificador simple como *Naïve Bayes*, la tasa de instancias correctamente clasificadas supera, en promedio, el 80 %. Además, es de esperar que estas tasas de clasificación sean mejoradas utilizando otros clasificadores más eficientes.

Esc.	Tasa de Tx	Origen	Intermedios	Destino
A)	Baja	82.72 %	82.56 %	79.07 %
	Media	85.05 %	84.72 %	85.22 %
	Alta	85.54 %	85.38 %	83.55 %
B)	Baja	84.39 %	76.00 %	83.72 %
	Media	85.88 %	75.91 %	87.54 %
	Alta	80.56 %	62.13 %	65.12 %
C)	Baja	83.22 %	87.13 %	92.52 %
	Media	87.71 %	98.26 %	99.50 %
	Alta	82.56 %	71.20 %	75.42 %
D)	Baja	82.72 %	78.07 %	78.90 %
	Media	85.38 %	82.32 %	86.89 %
	Alta	83.72 %	57.72 %	70.93 %

Tabla 4. Tasa de clasificación con *Naïve Bayes* para los distintos escenarios.

Asimismo, se puede concluir que, por regla general, la clasificación se realiza con mayor precisión en el nodo origen. Este resultado es coherente, dado que la propagación del flujo introduce distintas alteraciones (colisiones, retransmisiones, encolamientos, pérdidas, etc.) provocando que éste llegue al destino *distorsionado*. Se puede deducir también que los nodos intermedios no son, en principio, el mejor punto de la red en el que caracterizar el servicio. La agregación de diversos flujos y la falta de métricas extremo-a-extremo dificultan esta caracterización. A pesar de todo, se alcanza una tasa de clasificación del 70-80 % sobre tráfico agregado, lo que resulta, a todas luces, prometedor.

Por último se debe indicar que la tasa de clasificación es superior en escenarios de tráfico no equilibrado. Es decir, se obtiene una mejor discriminación cuando la proporción de instancias que se diferencian de la mayoría es reducida. Esta conclusión puede mostrarse de gran importancia, en tanto que el propósito final es detectar anomalías en el funcionamiento de la red y es de suponer que éstas representen, respecto del conjunto global del tráfico, una proporción minoritaria.

Como se presupone en un principio, esta línea de investigación se ha demostrado prometedora, manifestándose que el uso de métricas multi-capa proporciona información adicional de gran utilidad para la caracterización de servicios.

VI. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

A lo largo del presente trabajo se ha presentado un conjunto de métricas de naturaleza *cross-layer* que permiten caracterizar servicios en entornos *ad-hoc* inalámbricos. Su uso en el modelado del comportamiento del sistema permitirá la determinación de desviaciones en el mismo, lo que se prevé de gran relevancia. Tal y como se ha mostrado en la sección previa, los resultados experimentales son esperanzadores. Sin embargo, este primer estudio realizado adolece de algunas limitaciones que serán tenidas en consideración en el futuro:

- La inclusión de modelos de movilidad. Varias de las métricas empleadas pueden proporcionar información adicional en entornos con movilidad.

- La introducción de modelos energéticos. Asimismo, establecer una serie de métricas relacionadas, como pueda ser la tasa de consumo o EDR (*Energy Drain Rate*) [7].
- Estudio de métricas más precisas. Cabe citar la *utilización de la capa MAC*, definida como la fracción de tiempo en la cual el nodo se encuentra disponible para transmitir.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por el MICINN mediante el proyecto TEC2008-06663-C03-02.

REFERENCIAS

- [1] T.S. Rappaport, A. Annamalai, R.M. Buehrer and W.H. Tranter, "Wireless communications: Past events and a future perspective", *IEEE Communications Magazine*, vol. 40, pp. 148-161, May 2002.
- [2] H. Zimmermann, "OSI Reference Model - The ISO Model of Architecture for Open Systems Interconnection", *IEEE Transactions on Communications*, vol. 28, no. 4, pp. 425-432 April 1980.
- [3] D. Chafekar, "Capacity Characterization of Multi-Hop Wireless Networks- A Cross Layer Approach", *Ph.D. Dissertation*, State University of Virginia, March 2009.
- [4] C. Barrett, A. Marathe, M. Marathe and D. Martin, "Characterizing the interaction between routing and MAC protocols in ad-hoc networks", *Proceedings of the ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing (MOBIHOC'02)*, pp 92-103, 2002.
- [5] L. Chen, S. Low, M. Chiang and J. Doyle, "Cross-layer congestion control, routing and scheduling design in ad hoc wireless networks", *Proceedings of IEEE International Conference on Computer Communications (INFOCOM'06)*, pp. 1-13, April 2006.
- [6] S. Sridhar, R. Baskaran, "A Survey on QoS Based Routing Protocols for MANET", *International Journal of Computer Applications*, vol. 8, no.3, Oct. 2010.
- [7] K. Ghada, J. Li, Y. Ji and G. Wang, "Cross-layer Approach for Energy Efficient Routing in WANETs", *IEEE 6th International Conference on Mobile Adhoc and Sensor Systems (MASS'09)*, pp. 393-402, Oct. 2009.
- [8] D. Chafekar, V.S. Anil Kumar, M. Marathe, S. Parthasarathy and A. Srinivasan, "Cross-layer latency minimization in wireless networks with SINR constraints", *Proceedings of the ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing (MOBIHOC'07)*, pp. 110-119, Sept. 2007.
- [9] Poonam, K. Garg and M. Misra, "Trust Based Security in MANET Routing Protocols: A Survey", *Proceedings of the 1st Amrita ACM-W Celebration on Women in Computing*, pp. 1-7, Sep. 2010.
- [10] G. Thamilarasu, A. Balasubramanian, S. Mishra and R. Sridhar, "A cross-layer based intrusion detection approach for wireless ad hoc networks", *IEEE International Conference on Mobile Adhoc and Sensor Systems (MASS'05)*, pp. 854-861, Nov. 2005.
- [11] J.F.C. Joseph, A. Das, B.C. Seet and B.S. Lee, "CRADS: Integrated Cross Layer Approach for Detecting Routing Attacks in MANETs", *Proceedings of the IEEE Wireless Communications and Networking Conference*, pp.1525-1530, 2008.
- [12] J.F.C. Joseph, A. Das, B.C. Seet and B.S. Lee, "Cross Layer versus Single Layer Approaches for Intrusion Detection in MANETs", *15th IEEE International Conference on Networks (ICON'07)*, pp.194-199, Nov. 2007.
- [13] V.C.M. Borges, M. Curado and E. Monteiro, "Cross-layer routing metrics for mesh networks: Current status and research directions", *Elsevier Journal on Computer Communications*, vol 34, no. 6, pp. 681-703, May 2011.
- [14] S. McCanne and S. Floyd, "NS Network Simulator", <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>
- [15] ISO/IEC 8802-11; ANSI/IEEE Std 802.11, 1999 edition, "Information technology - Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications", *The Institute of Electrical and Electronics Engineers*, 1999.
- [16] M. Hall, E. Frank, G. Holmes, B. Pfahringer, P. Reutemann, I.H. Witten, "The WEKA Data Mining Software: An Update", *SIGKDD Explorations*, vol. 11, no. 1, 2009.
- [17] T. Mitchell, *Machine Learning, Chapter 1. Generative and Discriminative Classifiers: Naïve Bayes and Logistic Regression*, McGraw Hill, Draft of Jan. 2010.