

CARACTERIZACIÓN DE LA PROPAGACIÓN A 868MHz EN UNA RED ESTÁTICA DE SENSORES

M.V. Bueno Delgado, J.M. Molina García Pardo, A.S. Martínez Sala, E. Egea López, F.J. Díaz Jiménez, L. Juan Llacer
Departamento de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones
Universidad Politécnica de Cartagena, CP 30202, Spain, Tel. +34 968 326541 Fax +34 968 325973

e-mail: {mvictoria.bueno, josemaria.molina, alejandros.martinez, esteban.egea, fjavier.diaz,
leandro.juan}@upct.es

Abstract— **Wireless Sensor Networks (WSN) are formed by a large number of sensing nodes at the ground level. These devices are monitoring and measuring physical parameters from the environment. Simulation is used to study WSN, since deploying test-beds supposes a huge effort. However simulation results rely on physical layer assumptions, which are not usually accurate enough to capture the real behaviour of WSN. In this work several measurement campaigns are performed in three different scenarios: an open quasi-ideal area, a university yard and a park. The main contribution of this work is that a two slopes lognormal path-loss near ground outdoor channel model at 868 MHz is validated, and compared to the widely used one slope model. This model is useful for simulations because of its low computational cost.**

Index Terms— **Wireless Sensor Network, near ground measurement, log-normal path-loss, channel modeling.**

I. INTRODUCCIÓN

Una red de sensores inalámbricos (*Wireless Sensor Network* o WSN) se considera un tipo particular de red *ad-hoc*, compuesta por cientos o miles de dispositivos (nodos) simples y de bajo coste que cooperan por establecer y mantener la red y medir y monitorizar parámetros físicos del entorno donde se despliegan [1]. Comparten ciertas características con las redes MANET (*Mobile Ad Hoc Network*): el canal de transmisión es común y *broadcast*, no hay un ente centralizador y son redes donde el encaminamiento de la información es multisalto. A diferencia de las redes MANETs, los patrones de tráfico en WSN dependen de la aplicación final y de la naturaleza del parámetro físico que monitorizan; no es lo mismo una aplicación que mida periódicamente una variable física a que se establezca unos umbrales y si se sobrepasan se disparan

eventos para avisar a un nodo fuente. Además, la energía es el principal parámetro de diseño ya que se considera que en una aplicación típica no se va a poder reemplazar la batería de un nodo, lo cual condiciona el tiempo de vida de la red. En una WSN, la realización de un estudio analítico de los protocolos es extremadamente complicado, por no decir imposible. Además, el empleo de prototipos de WSN en entornos reales para el estudio del comportamiento real de los protocolos implica un gran esfuerzo y carga de trabajo; en [2,3,4] se realizan estudios utilizando medidas experimentales con dispositivos Mica2 Motes [5], demostrando que los enlaces de las redes WSN manifiestan un comportamiento aleatorio y poco fiable. Por lo tanto, la simulación es fundamental para el desarrollo y evaluación de algoritmos y protocolos pero, al igual que en redes MANET's, se suelen hacer aproximaciones simplistas de la capa radio. En [6] se demuestra que modelos muy simplificados de la capa física pueden dar lugar a resultados erróneos. Para una mayor credibilidad en los resultados de las simulaciones es necesario desarrollar modelos de canal más realistas. Sin embargo, el trabajar con dichos modelos puede suponer un incremento en los requisitos computacionales que, en muchas ocasiones, no se pueden abordar. Este problema afecta especialmente a las simulaciones de redes WSN con cientos o miles de nodos. En [7] se muestra como el simulador ns-2 [8] trabajando sólo con 100 nodos ya presenta problemas de escalabilidad.

El objetivo de este artículo es presentar un modelo de canal más preciso, con un bajo coste computacional, adecuado para obtener resultados de simulación realistas. Para ello, se presenta la caracterización del canal en tres escenarios en espacios abiertos. Para cada uno de los escenarios se comparan dos modelos: *Log-distance Path Loss Model* a una pendiente y *Log-distance Path Loss Model* a dos pendientes [9]. El primero de ellos ya se usa como modelo de propagación en el simulador ns-2, proporcionando una mayor exactitud con un coste computacional similar. Por tanto, basta con utilizar los resultados aquí obtenidos como parámetros del modelo para simulaciones de WSN con ns-2.

II. CONSIDERACIONES PREVIAS

Para la realización de este trabajo se ha considerado una red de sensores típica trabajando en un entorno abierto y situados a pocos centímetros del suelo [1]. Existen numerosas aplicaciones para este tipo de redes: sistemas de navegación y localización para la exploración con robots en Marte, de vigilancia para un campo de batalla, de vigilancia ante desastres naturales, etc. Todas ellas tienen en común que los nodos se despliegan aleatoriamente dentro de un área más o menos extensa. Se asume también que los nodos son estáticos y que las variaciones del canal se deben al tipo de entorno, el cual se puede considerar quasi-estático.

Los nodos disponen de un *transceiver* RF de banda estrecha y baja potencia. Estos dispositivos trabajan en las bandas ISM a la frecuencia de 868 MHz [10] en Europa o 915 MHz en USA, en con una potencia máxima radiada de 5 dBm. Los estudios de este trabajo se limitan a la banda de 868 MHz ya que las características de propagación y conclusiones obtenidas se pueden extrapolar a la banda de 915MHz (la variación de frecuencias es relativamente baja, alrededor de un 5%). La velocidad de transmisión de estos sistemas es bastante baja (decenas de Kbps) y el periodo de símbolo es mucho mayor que la dispersión por retardo RMS, por lo que se puede asumir un desvanecimiento lento del canal (*slow fading channel*) [9].

III. TRABAJO RELACIONADO

Conforme ha avanzado la investigación en WSN ha aumentado el interés de evaluar y medir el comportamiento de los enlaces inalámbricos, sus efectos y la influencia que tienen en el desempeño de los protocolos. Sin embargo aún existe cierta escasez en la caracterización del canal que explique de manera sistemática el comportamiento de la propagación.

En el caso de la situación de las antenas, la inmensa mayoría de los estudios sitúan las antenas de los nodos a alturas superiores a un metro sobre el suelo [11]. En el presente trabajo los nodos se encuentran situados sobre el suelo y, por lo tanto, las antenas de éstos a unos centímetros del mismo. En [12] se presenta uno de los primeros trabajos que proporcionan unas medidas experimentales que muestran que un enlace inalámbrico es poco fiable pero no dan ninguna explicación sobre él porque de los resultados. En [13] se presentan medidas empíricas de la calidad de un enlace que refleja el impacto de protocolos de encaminamiento y mostrando la necesidad de implementar un estimador de la calidad del enlace en un nodo. En [14] se presentan resultados empíricos sobre numerosas medidas de la capa de enlace con la plataforma *Eyes Nodes* pero no aportan ningún modelo de canal. En [4] se indica como ciertas irregularidades del canal tienen una gran influencia sobre los protocolos de enrutamiento y se propone un modelo que tiene en cuenta las propiedades no isotrópicas de la antena y las

propiedades heterogéneas del hardware del nodo.

IV. EQUIPO DE MEDIDAS DEL CANAL

El equipo utilizado para la campaña de medidas se muestra en la figura 1. El equipo transmisor es un *transceiver* CC1000 [10], análogo al que emplea un Mica2 Motes.



Fig 1: Equipo de medidas para entorno abierto

El equipo receptor consiste en un analizador de espectros (ROHDE & SCHWARZ FSH-3) un portátil, una batería y un convertidor DC/AC, todo ello instalado sobre un carrito de madera con material absorbente que reduce la influencia de los equipos cercanos en las medidas.

El objetivo del presente trabajo ha sido caracterizar exclusivamente el canal, minimizando la influencia de la antena en las medidas. Por tanto, en lugar de emplear las antenas de los dispositivos Mica2, se emplean dos antenas monopolo $\lambda/4$ situadas, cada una de ellas sobre un plano de masas $\lambda/4 \times \lambda/4$ ya que su diagrama de radiación es más ideal. Las antenas se conectan al transmisor y al receptor por medio de un cable coaxial de bajas pérdidas. Además, se sitúan lejos del resto de dispositivos para minimizar la influencia de los mismos en las medidas. La antena receptora se sitúa a metro y medio del carrito mientras que la antena transmisora se sitúa a un metro del *transceiver*. El transmisor transmite un tono a una potencia constante de 5 dBm, a 868.2972 MHz y el analizador de espectros se configura a dicha frecuencia.

V. CAMPAÑA DE MEDIDAS

A. Escenarios

Para realizar la campaña de medidas se opta por tres entornos exteriores diferentes: un terreno natural abierto, el patio de la Universidad y un parque. El primero de ellos es una zona natural cerrado al mar y sin importantes dispersiones. El segundo de los escenarios es un patio de universidad, de dimensiones 50m x 35m. Este patio se encuentra rodeado de cuatro edificios históricos con cemento reforzado en paredes y suelo lo que provoca un fuerte efecto *multipath* en el receptor. El tercer escenario es un parque de

hierba ligeramente curvado y situado cerca de cinco murallas históricas.

B. Metodología

Para todos los escenarios caracterizados se ha empleado la misma metodología. El transmisor se ha situado en diferentes posiciones aleatorias. Se han realizado las siguientes medidas entre el transmisor y el receptor: desde 0.5 metros hasta 3 metros de distancia, se han tomado medidas cada 0.5 metros; desde 3 metros hasta 10 metros de distancia se han realizado medidas cada metro y desde 10 metros hasta que la señal recibida ha sido de 10 dB sobre el ruido térmico se han realizado medidas cada 2 metros.

Notar que para el analizador de espectro utilizado el ruido medido es de -95 dBm para un ancho de banda de 10Khz. Para cada punto se han medido valores en cinco posiciones del punto separados un espacio medio de 10 cm. Para cada una de estas cinco posiciones se han tomado 5 medidas, obteniendo un total de de 25 valores por punto de medida. Los experimentos se han realizado para cada uno de los escenarios descritos, obteniendo para todos ellos un comportamiento del canal similar. En cuanto al tiempo de coherencia (variabilidad temporal del canal), se ha comprobado que la medidas permanecen prácticamente constantes en función del tiempo.

VI. RESULTADOS

La Figura 2 muestra los resultados de las medidas realizadas en el primer escenario de acuerdo a la metodología explicada en la sección V. Se observa como la potencia recibida se ajusta a una línea recta por mínimos cuadrados cuando la distancia se expresa en dB [15]. Los resultados obtenidos de los demás escenarios dan un comportamiento similar al primero de ellos. Por tanto, de los resultados obtenidos se puede considerar de un modelo *Log-Distance Path Loss Model*. Además, al utilizar antenas con alturas inferiores a λ , una parte importante de la zona de Fresnel está siempre obstruida por el suelo, por tanto también se puede considerar un modelo de ajuste por mínimos cuadrados con dos pendientes. Para evaluar el comportamiento de los modelos a considerar, en cada escenario se han comparado los modelos de una pendiente y de dos. Estos modelos se denotan mediante las expresiones (1) y (2) [10]:

$$L(d) = L_0 + 10n \log_{10}(d) + X_{\sigma} \quad (1)$$

$$L(d) = \begin{cases} L_{0_1} + 10n_1 \log_{10}(d) + X_{\sigma_1}, & d \leq d_r \\ L_{0_2} + 10n_2 \log_{10}(d) + X_{\sigma_2}, & d > d_r \end{cases} \quad (2)$$

donde en (1) L_0 son las pérdidas a 1 metro, n es el factor de *decay*, d es la distancia expresada en metros, y X_{σ} es la variable log-normal, con desviación típica σ expresada en

decibelios. En (2) se definen las dos pendientes, antes y después del punto de ruptura d_r . En la figura 2 se observa como los mejores resultados se obtienen para el modelo de dos pendientes. La figura 3 muestra la función de densidad de probabilidad de X_{σ} donde se aprecia ésta no sigue una distribución gaussiana. Además, se observan dos picos en los resultados debidos al desajuste del modelo de una pendiente con las medidas. En las figuras 4 y 5 se muestra la función de densidad de probabilidad de X_{σ_1} y X_{σ_2} donde se observa como los resultados se aproximan más a la distribución gaussiana, aunque es necesaria campaña de medidas más exhaustiva para incrementar la resolución de estos resultados.

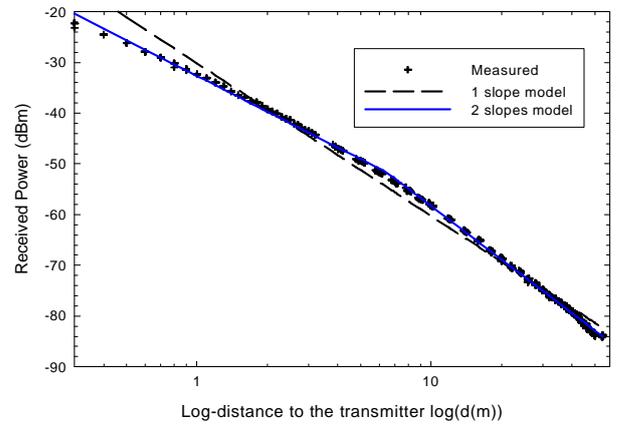


Fig 2: Resultados para el escenario 1: zona natural cerrada al mar

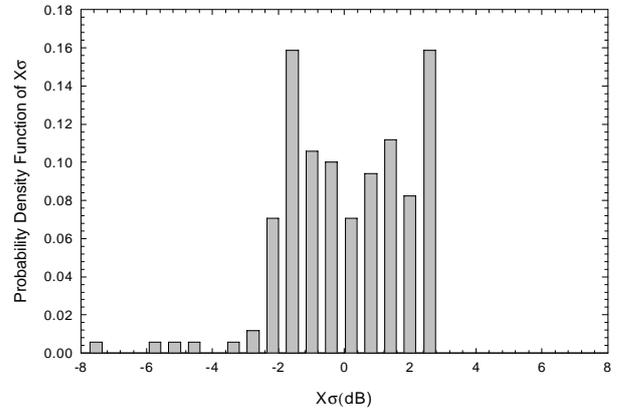


Fig 3. Función de Distribución de Probabilidad de X_{σ}
(Modelo de una pendiente)

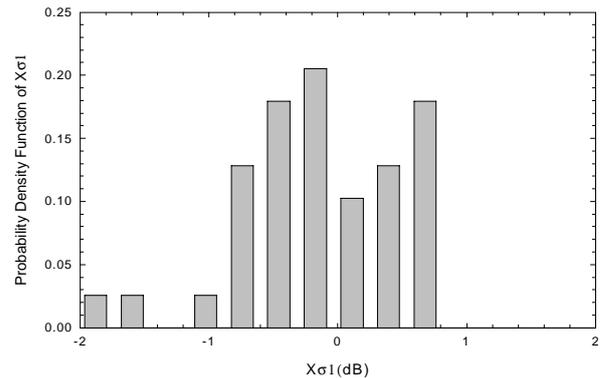


Fig 4. Función de Distribución de Probabilidad de X_{σ_1}

El escenario del parque, al estar ligeramente inclinado, da como resultado un punto de ruptura cercano al transmisor. Comparando ambos modelos se observa como el de dos pendientes conduce a una caracterización del canal más exacta, la desviación típica disminuye y la función de densidad de probabilidad se aproxima mejor a una gaussiana. Además, en este modelo, n_2 tiende a 4 que es un valor esperado en una situación de visión directa después del punto de ruptura. Este parámetro es crucial para una simulación ya que va a fijar el rango máximo de transmisión de un nodo.

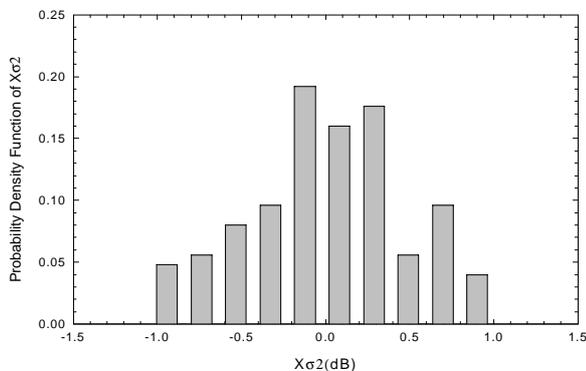


Fig 5. Función de Distribución de Probabilidad de X_{σ_2} .

En la tabla I se resumen todos los resultados obtenidos de los escenarios bajo estudio. Cabe destacar el punto de ruptura, que depende del entorno, y no puede calcularse como en [15], donde solo depende de la altura de las antenas y de la frecuencia de la portadora. En la tabla 1 la máxima cobertura de radio en media se ha calculado para una potencia de transmisión de 5 dBm y una sensibilidad de -100 dBm, para ambos modelos. De los resultados se destaca que el modelo de dos pendientes es mucho más restrictivo que el modelo de una pendiente

VII. CONCLUSIONES

El canal radio representa la mayor limitación en las comunicaciones inalámbricas. Su comportamiento es aleatorio y su análisis complicado. Numerosos artículos de investigación presentan resultados de simulaciones en Redes de Sensores Inalámbricas. La mayoría de ellos se basan en aproximaciones simplistas de la capa física de los modelos de canal que pueden dar lugar a resultados y conclusiones equivocadas. Para mejorar las simulaciones WSN es necesario dar una mayor exactitud en cuanto a modelos de canal cercano al suelo, asumiendo consideraciones más realistas con un compromiso de bajo coste computacional.

En este trabajo se han caracterizado tres entornos

diferentes utilizando, para todos ellos, la misma metodología. Se ha validado el modelo de canal *Log-Distance Path Loss Model* de dos pendientes a 868 MHz, que consigue una caracterización de propagación más exacta que el modelo de canal de una pendiente ya que esta última no sigue una distribución log-normal. Por último se han descrito los parámetros de los modelos para la propagación WSN que pueden ser usados para ajustar los modelos de propagación de n-2 en simulaciones WSN. Se demuestra como los modelos *Log-Distance Path Loss Model* de dos pendientes proporcionan una precisión mejorada que no incrementa significativamente el coste computacional, siendo apropiado para simulaciones WSN a gran escala.

	Símbolo	Ground Plain	University Yard	Parque
Modelo de 1 pendiente	n	3.07	3.57	3.69
	σ	1.83	3.27	1.42
	d_{\max} (m)	189.5	41.3	52.4
Modelo de 2 pendientes	n_1	2.35	2.76	2.18
	n_2	3.6	4.01	3.95
	σ_1	0.6	2.98	0.28
	σ_2	0.42	1.82	0.67
	Breakpoint (m)	6.2	3.2	0.95
	d_{\max} (m)	139.8	32.4	45.7

Tabla 1. Adaptación de parámetros para los tres escenarios

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido subvencionado parcialmente por la Consejería de Economía, Industria e Innovación de la Región de Murcia bajo el proyecto de investigación SOLIDMOVIL (2I04SU044) y por la Fundación Séneca bajo el Proyecto Arena (00546/PI/04).

REFERENCIAS

- [1] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, E. Cayirci. A Survey on Sensor Networks, {IEEE Communications Magazine}, vol. 40, no. 8, pp. 102-116, 2002.
- [2] Szweczyk, R., Mainwaring, A., Polastre, J., Anderson, J. and Culler, D.: 'An analysis of a Large Scale Habitat Monitoring Application', In Proc. ACM SenSys, Baltimore (USA), November 2004.
- [3] Ganesan, D., Estrin, D., Woo, A., and Culler, D.: 'Complex Behavior at Scale: An Experimental Study of Low-Power Wireless Sensor Networks' Technical Report UCLA/CSD-TR 02-0013, Center for Embedded Networked Sensing, University of California, Berkeley, February 2002.
- [4] Zhou, G., He, T., Krishnamurthy, S., and Stankovic, J.A.: 'Impact of Radio Irregularity on Wireless Sensor Networks', In Proc. ACM MobySys, Boston (USA), June 2004.
- [5] Mica Motes, <http://www.xbow.com>
- [6] Kotz, D., Newport, C., Gray, B., Liu, J., Yuan, Y., and Elliott, C.: 'Experimental evaluation of wireless simulation assumptions'. In Proc. of the 7th ACM/IEEE International Symposium on Modeling, Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems (MSWiM04), Venice, Italy, October 4-6, 2004, pp. 78-82.
- [7] Naoumov V., Gross T., 'Simulation of large ad hoc networks', MSWiM, San Diego, September 2003
- [8] The network simulator ns-2, <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>
- [9] T. S. Rappaport, Wireless Communications, New York, Prentice Hall, 1996.

- [10] Chipcon CC1000, <http://www.chipcon.com>
- [11] Sohrabi, K., B. Manriquez, and G. Pottie: 'Near-ground wideband channel measurements', Proceedings of the 49th Vehicular Technology Conference. New York: IEEE, 1999, pp. 571-574.
- [12] J. Zhao and R. Govindan. 'Understanding Packet Delivery Performance in Dense Wireless Sensor Networks'. ACM SenSys, November 2003.
- [13] A. Woo, T. Tong, D. Culler: 'Taming the Underlying Issues for Reliable Multihop Routing in Sensor Networks'. ACM SenSys, November 2003.
- [14] N. Reijers, G.P. Halkes, K.G.Langendoen: 'Link Layer in Sensor Networks'. IEEE International Conference on Mobile Ad-hoc and Sensor Systems, Florida (USA), October 2004.
- [15] H.L. Bertoni, Radio Propagation for Modern Wireless Systems, New Jersey: Prentice Hall, 2000.