

Universidad Autónoma de Baja California

Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Diseño

Maestría y Doctorado en Ciencias e Ingeniería



PROTOCOLO DE TRANSPORTE PARA EL CONTROL DE
CONGESTIÓN, BAJO DISEÑO CROSS-LAYER, CONSCIENTE
DEL QoS DE LAS APLICACIONES EN REDES
INALÁMBRICAS IEEE 802.15.4

TESIS

que para obtener el grado de DOCTOR EN CIENCIAS

PRESENTA:

RAYMUNDO BUENROSTRO MARISCAL

DIRECTOR DE TESIS:

DR. JUAN IVÁN NIETO HIPÓLITO

Ensenada, Baja California, México

AGOSTO de 2014

UDP es un protocolo "no regulado", por lo cual, una aplicación que utiliza UDP envía paquetes a cualquier velocidad que le plazca, durante el tiempo que quiera.

Es importante mencionar que el concepto básico de operación de TCP y UDP ha dado forma al diseño de nuevos protocolos de capa de transporte para redes inalámbricas.

Como aquí se ha explicado la capa de Transporte y la subcapa MAC son dos entidades claves para el control de la congestión en las WSNs; pero aún más importante el hecho de que éstas puedan trabajar en conjunto para mejorar sus resultados y optimizar los recursos de la red. Dentro de los protocolos de comunicación de las WSNs. Esto nos lleva a la estrategia de diseño interacción de capas (Cross-Layer), la cual se explica en la sección 2.4.

2.4 Estrategia de diseño Cross-Layer

Tradicionalmente se ha utilizado el modelo de Interconexión de Sistemas Abiertos (OSI, *Open Systems Interconnection*) de siete capas en el desarrollo de la pila de protocolos, para la inter-conexión de redes (Fig.2.13) (Zimmermann, 1980). Principalmente por las ventajas anunciadas por este modelo: (i) un sistema modular, donde cada módulo tiene claramente definido sus funciones y procedimientos para habilitar la independencia de capa. (ii) el diseño de capas reduce la complejidad de diseño, que permite una fácil implementación y mantenimiento. (iii) la estandarización, asegura la inter-operabilidad entre los diferentes sistemas integrados a la red, si fueron diseñados en base al modelo.

Las primeras cuatro capas de este modelo se conocen como la Pila de Protocolos de Comunicaciones; ya que estas capas se encargan de la comunicación por el medio físico y la interacción entre los mecanismos de transmisión extremo a extremo (Vuran and Akyildiz, 2010).

Aunque el estricto enfoque por capas sirve como una solución elegante para la inter-conexión de redes cableadas y estáticas (nodos fijos a la red), se argumenta que el diseño de protocolos de comunicaciones basado en este enfoque de capas no es adecuada para la funcionalidad eficiente de las redes inalámbricas (Fu et al., 2014), (Edirisinghe and Zaslavsky, 2013), (Vuran and Akyildiz, 2010), (Wang and Abu-Rgheff, 2003), (Stine,

7	Aplicación	
6	Presentación	
5	Sesión	
4	Transporte	
3	Red	
2	Enlace de Datos	LLC
		MAC
1	Física	

Figura 2.13: Modelo de referencia de capas OSI.

2006). Hay varias razones para este argumento. En primer lugar, el modelo de capas OSI se diseñó para las redes cableadas y estáticas, que son muy diferentes a la naturaleza de las redes inalámbricas. Las redes inalámbricas son altamente dinámicas y tienen recursos de red limitados. La naturaleza dinámica se refiere a la movilidad de usuarios, a la conexión y re-conexión de nodos, lo cual hace una red cambiante y compleja. Los dispositivos de la red tienen recursos limitados de energía, de capacidad de procesamiento y de almacenamiento (Sec.2.1). Lo cual obliga a mejorar el desempeño de los protocolos de comunicaciones y su capacidad de adaptación al entorno y los requerimientos. El diseño tradicional de protocolos en capas, no es capaz de atender estas necesidades de adaptaciones, aplicaciones más exigentes y las condiciones de redes complejas. En segundo lugar, el concepto estricto de capas impide las mejoras en el rendimiento del sistema inalámbrico a través de interacciones conjuntas de varias capas, limitando la posibilidad de compartir información valiosa que pueda mejorar la consciencia de las necesidades de operación de cada protocolo. En tercer lugar, los estándares estrictos pueden inhibir la innovación. Se argumenta, por lo autores aquí citados, que las normas deben mantener al mínimo las regulaciones, para que ésta permita a los investigadores futuras innovaciones.

2.4.1 Diseño de interacción de capas o diseño Cross-Layer

En la literatura revisada clasifican dos tipos de diseño para hacer frente a las limitaciones del diseño basado en capas para las redes inalámbricas: Los diseños incluyen arquitecturas que no utilizan capas y los diseños que usan la interacción entre capas.

Arquitecturas de red que no utilizan el modelo de capas o proponen integrar varias capas en una sola, proponen una alternativa de diseño a la arquitectura tradicional de protocolo de comunicaciones en capas; mediante la introducción de nuevos conceptos de abstracción (Vuran and Akyildiz, 2010), (Braden et al., 2003). Por ejemplo, Braden propone una arquitectura basada totalmente en una nueva abstracción funcional. Su arquitectura organiza la comunicación utilizando unidades funcionales llamadas "Roles", en lugar de dividir las funciones en capas. Por su parte Vuran propone algo similar, en su propuesta de un Protocolo de Comunicaciones Cross-Layer (XLP), XLP integra o "funde" las funciones principales de la pila de protocolos de comunicaciones (capa Física hasta la capa de Transporte) en una sola capa. El enfoque de XLP son las funciones de acceso al medio, ruteo de la información y control de congestión. Sin embargo, es discutible hasta qué punto estas propuestas podrían reemplazar el modelo de red de capas, que se ha desplegado ampliamente como una arquitectura de red de gran alcance. Además, propiamente hablando, XLP no es un protocolo Cross-Layer, ya que éste propone una sola capa integrada con todas las funciones; lo cual trae consigo los problemas de diseño, mantenimiento y división de tareas.

Puesto que una arquitectura sin capas es considerada como sustituto del modelo de capas, ya que presenta abstracciones totalmente nuevas, ésta no se ajusta al concepto de estratificación en absoluto. Estas soluciones requieren reemplazar y re-diseñar por completo la pila de protocolos existentes, lo cual es un trabajo complejo. Una propuesta alternativa es la interacción Cross-Layer (o interacción entre capas), la cual supera las limitaciones e ineficiencias de la pila de protocolos en capas para redes inalámbricas (Haas, 2001). La interacción Cross-Layer permite el intercambio de información de las diferentes capas con el fin de optimizar los servicios de comunicaciones que ofrece la pila de protocolos (Fig.2.14), por ejemplo, niveles de seguridad, mejorar el QoS, ahorro de energía y movilidad. A través de esta interacción, se puede utilizar y/o modificar los estados de parámetros de dos o más capas para alcanzar los objetivos de optimización

planteados (Mendes and Rodrigues, 2011), (Fu et al., 2014).

Desde el punto de vista de la implementación, adaptación y aceptación por parte de la comunidad; las soluciones que pueden coexistir con la actual pila de protocolos en capas (como la interacción Cross-Layer) son significativamente bien consideradas (Edirisinghe and Zaslavsky, 2013). Por lo anterior, el diseño Cross-Layer es considerado como una solución prometedora, a diferencia de las propuestas de arquitecturas sin capas.

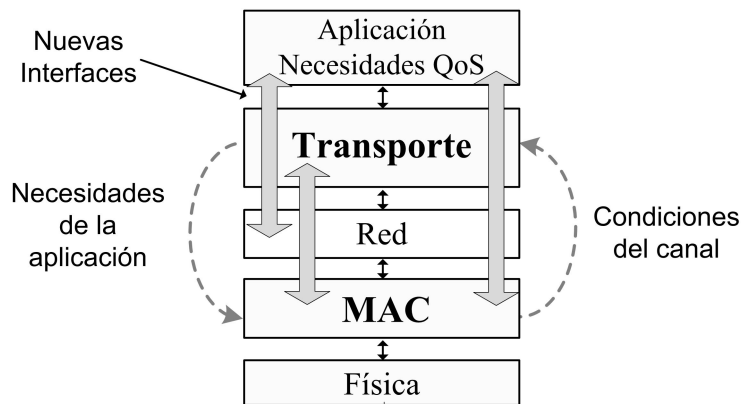


Figura 2.14: Ejemplo de interacción Cross-Layer.

2.4.2 Retos en el diseño Cross-Layer

Un protocolo bajo diseño Cross-Layer es definido como un "protocolo que rompe la premisa de independencias del modelo tradicional de capas". A partir de esto, se entiende que los protocolos de diferentes capas no adyacentes pueden tener una comunicación directa y/o compartir parámetros entre ellos (Srivastava and Motani, 2005). El autor extiende la definición aún más con el hecho de que la violación de la arquitectura por capas, obliga a la creación de nuevas interfaces entre capas (Fig.2.14), la re-definición de los límites de capa, el diseño de protocolos de una capa basada en los detalles de otra capa, a la sintonización conjunto de parámetros a través de las capas y renunciar al diseño de los protocolos de forma independiente.

Aun que la interacción Cross-Layer se concibe como una alternativa viable para diseñar una arquitectura de protocolos para redes inalámbricas, como las WSNs; los

beneficios se logran a un costo. A continuación se presentan algunos retos potenciales que debe considerar un diseño Cross-Layer:

- **Dificultad de implementación**, el diseño de soluciones Cross-Layer deben ser cuidadosas y mantener al mínimo los cambios de los protocolos existentes de cada capa. Ya que cualquier modificación puede ser compleja por la necesidad de hacerlo de forma coordinada con los protocolos de cada capa. Por lo tanto el diseño debe asegurar un fácil mantenimiento y actualización.
- **Interoperabilidad**, el diseño Cross-Layer debe preservar la modularidad de la arquitectura de capas; con el fin de asegurar una operación con otros protocolos del modelo de capas.
- **Consecuencias no deseadas**, la interacción Cross-Layer puede causar efectos no deseados en el rendimiento final de toda la red, debido a la afectación en la operación de otras partes del sistema debido a los cambios realizados para instrumentar la interacción Cross-Layer.
- Además, se discute en algunos trabajos que las interacciones Cross-Layer pueden causar *bucles de control*, entre las partes de los diferentes protocolos que interactúan entre sí (Kawadia and Kumar, 2005).
- **El número de capas que debe integrarse en la interacción de la solución Cross-Layer debe ser el mínimo necesario**, para lograr los objetivos de optimización. Además, que capas de la pila protocolos son las que se deben integrar. Así mismo, debe quedar claro que capa debe interactuar con cual otra, para evitar interacciones inútiles que hagan más compleja la solución.

Por lo tanto, para conseguir las ventajas de las interacciones Cross-Layer, la solución debe ser diseñada e implementada cuidadosamente.

A pesar de estos retos, sostenemos que la interacción Cross-Layer es una solución viable para hacer frente a los problemas de la pila de protocolos en capas para redes inalámbricas. Además, las WSNs para aplicaciones médicas necesitan de la optimización de los recursos para poder satisfacer las demandas de QoS de estas aplicaciones (ver secc. 2.1.2). Si bien, diseñar por capas reduce la complejidad de diseño y optimizar el

protocolo de forma particular. Sin embargo, es mejor que todas las capas trabajen en sintonía con los objetivos del servicio para lograr una mejor optimización y más en las WSNs que son de recursos limitados.

Una importante conclusión a partir de ésta sección es evitar el uso de múltiples capas, el uso de capas sin sentido a los objetivos de optimización y seguir manteniendo el diseño general en capas. Además, como se evidenció en la sección 2.2.2 la capa de Transporte y la subcapa MAC están relacionadas con el control de la congestión y los niveles de QoS que una WSN ofrece. Por lo tanto, primero, proponemos el uso de la interacción Cross-layer que puede operar dentro de la pila de protocolos existentes; esto es, que permite el uso de protocolos por capas (como el IEEE 802.15.4 y TCP) dentro del diseño. Y segundo, proponemos el uso de la capa de Transporte y la subcapa MAC para la solución de los objetivos de optimización (control de congestión y la QoS).

2.5 Descripción técnica del estándar IEEE 802.15.4

IEEE 802.15.4 es uno de los estándares más utilizada para desarrollar tecnologías para las WSNs. El estándar pertenece al grupo de las Redes Inalámbricas de Área Personal (**WPAN**, *Wireless Personal Area Network*) (Gutiérrez et al., 2011) y fue diseñado para operar dentro del Espacio de Operación Personal (**POS**, *Personal Operating Space*); extendiéndose hasta un máximo de 10 metros a la redonda. El estándar IEEE 802.15.4 es ideal para construir dispositivos que necesiten una transmisión de datos de baja velocidad (250 kilobits por segundo o **kbps** a 2.4 GHertz o **GHz**), muy bajo consumo de energía y bajo costo de implementación, como se muestra en la Figura 2.15. Que además requieran un diseño de baja complejidad y sean dispositivos de fácil portabilidad (**LAN/MAN Standard**, 2006). Por estas características el estándar IEEE 802.15.4 se ha propuesto para aplicaciones en el entorno de las personas como la supervisión de la salud. Donde los dispositivos dentro de la WSN pueden recuperar signos vitales de las personas y transmitirlos hasta un punto remoto para su análisis (como se menciona en el uso de las WSN).

El estándar IEEE 802.15.4 no fue diseñado para competir con otras tecnologías inalámbricas, si no que complementa la gama de tecnologías inalámbricas disponibles

REFERENCIAS

- A.A. Abed, A.A. Ali, and N. Aslam. Building an hmi and demo application of wsn-based industrial control systems. In *Energy, Power and Control (EPC-IQ), 2010 1st International Conference*, pages 302–306, Nov 2010.
- I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci. Wireless sensor networks: A survey. *Comput. Netw.*, 38(4):393–422, March 2002. ISSN 1389-1286. doi: 10.1016/S1389-1286(01)00302-4. URL [http://dx.doi.org/10.1016/S1389-1286\(01\)00302-4](http://dx.doi.org/10.1016/S1389-1286(01)00302-4).
- Ian Akyildiz and Mehmet Can Vuran. *Wireless Sensor Networks*. John Wiley & Sons, Inc., New York, NY, USA, August 2010. ISBN 047003601X, 9780470036013. URL <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1628923>.
- I.F. Akyildiz, T. Melodia, and K.R. Chowdhury. Wireless multimedia sensor networks: Applications and testbeds. *Proceedings of the IEEE*, 96(10):1588–1605, Oct 2008. ISSN 0018-9219. doi: 10.1109/JPROC.2008.928756.
- Muhammad Mahbub Alam and Choong Seon Hong. CRRT: congestion-aware and rate-controlled reliable transport in wireless sensor networks. *IEICE TRANS-*

ACTIONS on Communications, E92-B(1):184–199, January 2009. ISSN 1745-1345, 0916-8516. URL http://search.ieice.org/bin/summary.php?id=e92-b_1_184&category=B&year=2009&lang=E&abst=.

Hande Alemdar and Cem Ersoy. Wireless sensor networks for healthcare: A survey. *Computer Networks*, 54(15):2688–2710, October 2010. ISSN 1389-1286. doi: 10.1016/j.comnet.2010.05.003. URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1389128610001398>.

M.A. Ameen, A. Nessa, and Kyung Sup Kwak. QoS issues with focus on wireless body area networks. In *Convergence and Hybrid Information Technology, 2008. ICCIT '08. Third International Conference on*, volume 1, pages 801–807, November 2008. doi: 10.1109/ICCIT.2008.130.

G. Anastasi, M. Conti, and M. Di Francesco. A comprehensive analysis of the MAC unreliability problem in IEEE 802.15.4 wireless sensor networks. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 7(1):52–65, Febrero 2011. ISSN 1551-3203. doi: 10.1109/TII.2010.2085440.

ANSI/IEEE. Ansi/ieee std 802.2: Logical link control, July 1984.

S. Arnon, D. Bhastekar, D. Kedar, and A. Tauber. A comparative study of wireless communication network configurations for medical applications. *IEEE Wireless Communications*, 10(1):56–61, Febrero 2003. ISSN 1536-1284. doi: 10.1109/MWC.2003.1182112.

Robert Braden, Ted Faber, and Mark Handley. From protocol stack to protocol heap: role-based architecture. *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, 33(1):17–22, January 2003. ISSN 01464833. doi: 10.1145/774763.774765. URL <http://148.231.10.114:3042/citation.cfm?id=774763.774765&coll=DL&dl=ACM&CFID=471511802&CFTOKEN=85285920>.

Lawrence S. Brakmo, Sean W. O'Malley, and Larry L. Peterson. TCP vegas: New techniques for congestion detection and avoidance. In *Proceedings of the Conference on Communications Architectures, Protocols and Applications*, volume 24 of *SIGCOMM*

- '94, pages 24–35, New York, NY, USA, Oct. 1994. ACM. ISBN 0-89791-682-4. doi: 10.1145/190314.190317. URL <http://doi.acm.org/10.1145/190314.190317>.
- Mariscal Raymundo Buenrostro, Nieto Hipólito J. Iván, Guerrero Ibáñez J. Antonio, Cosío León María, Vázquez Briseño Mabel, and Sánchez López J. de Dios. Análisis de factores que afectan el QoS que ofrecen las WSN aplicado a entornos de salud. *Revista de Difusión Científica*, 7(2):54–62, December 2013. ISSN 2007-3585. URL <http://98.143.147.34/~eninvie/OPJ/index.php/DIFU100cia/article/view/58>.
- Chiara Buratti, Andrea Conti, Davide Dardari, and Roberto Verdone. An overview on wireless sensor networks technology and evolution. *Sensors*, 9(9):6869–6896, August 2009. doi: 10.3390/s90906869. URL <http://www.mdpi.com/1424-8220/9/9/6869>.
- M. Castillo-Effer, D.H. Quintela, W. Moreno, R. Jordan, and W. Westhoff. Wireless sensor networks for flash-flood alerting. In *Devices, Circuits and Systems, 2004. Proceedings of the Fifth IEEE International Caracas Conference on*, volume 1, pages 142–146, Nov 2004. doi: 10.1109/ICCDSCS.2004.1393370.
- Humberto. Cervantes, de Ávila. *ARQUITECTURA DE E-SALUD BASADA EN REDES INALÁMBRICAS DE SENSORES*. PhD thesis, UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA, Ensenada, B.C., Febrero 2014.
- D. Cypher, N. Chevrollier, N. Montavont, and N. Golmie. Prevailing over wires in healthcare environments: benefits and challenges. *Communications Magazine, IEEE*, 44(4):56–63, April 2006. ISSN 0163-6804. doi: 10.1109/MCOM.2006.1632650.
- Ashraf Darwish and Aboul Ella Hassanien. Wearable and implantable wireless sensor network solutions for healthcare monitoring. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 11(6):5561–5595, May 2011. ISSN 1424-8220. doi: 10.3390/s110605561. URL <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3231450/>. PMID: 22163914 PMCID: PMC3231450.
- R. Edirisinghe and A. Zaslavsky. Cross-layer contextual interactions in wireless networks. *IEEE Communications Surveys Tutorials*, Early Access Online, 2013. ISSN 1553-877X. doi: 10.1109/SURV.2013.101813.00023.

Emeka E Egbogah and Abraham O Fapojuwo. A survey of system architecture requirements for health care-based wireless sensor networks. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 11(5):4875–4898, 2011. ISSN 1424-8220. doi: 10.3390/s110504875. PMID: 22163881 PMCID: PMC3231387.

R. Fernández, J. Ordieres, A. Martínez de Pisón, A. González, F. Alba, R. Lostado, and Pernía. *REDES INALÁMBRICAS DE SENSORES: TEORÍA Y APLICACIÓN PRÁCTICA*, volume 26 of *Material Didáctico. Ingenierías*. Universidad de La Rioja, España, 1 edition, 2009. ISBN: 978-84-692-3007-7.

Sally Floyd, Andrei Gurtov, and Tom Henderson. Rfc 3782: The NewReno modification to TCP’s fast recovery algorithm, April 2004. URL <http://tools.ietf.org/html/rfc3782>.

A. Francini, F.M. Chiussi, R.T. Clancy, K.D. Drucker, and N.E. Idirene. Enhanced weighted round robin schedulers for accurate bandwidth distribution in packet networks. *Computer Networks*, 37(5):561 – 578, 2001. ISSN 1389-1286. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S1389-1286\(01\)00229-8](http://dx.doi.org/10.1016/S1389-1286(01)00229-8). URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1389128601002298>.

Bo Fu, Yang Xiao, Hongmei Deng, and Hui Zeng. A survey of cross-layer designs in wireless networks. *IEEE Communications Surveys Tutorials*, 16(1):110–126, 2014. ISSN 1553-877X. doi: 10.1109/SURV.2013.081313.00231.

J.R. Gallego, A. Hernandez-Solana, M. Canales, J. Lafuente, A. Valdovinos, and J. Fernandez-Navajas. Performance analysis of multiplexed medical data transmission for mobile emergency care over the umts channel. *Information Technology in Biomedicine, IEEE Transactions on*, 9(1):13–22, March 2005. ISSN 1089-7771. doi: 10.1109/TITB.2004.838362.

O. Gama, P. Carvalho, J.A Afonso, and P.M. Mendes. Quality of service support in wireless sensor networks for emergency healthcare services. In *Engineering in Medicine and Biology Society, 2008. EMBS 2008. 30th Annual International Conference of the IEEE*, pages 1296–1299, Aug 2008. doi: 10.1109/IEMBS.2008.4649401.

- E. Giancoli, F. Jabour, and A. Pedroza. CTCP: reliable transport control protocol for sensor networks. In *International Conference on Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing, 2008. ISSNIP 2008*, pages 493–498, December 2008. doi: 10.1109/ISSNIP.2008.4762037.
- Vehbi Cagri Gungor, Azgur B. Akan, and Ian F. Akyildiz. A real-time and reliable transport (RT)² protocol for wireless sensor and actor networks. *IEEE/ACM Trans. Netw.*, 16(2):359–370, April 2008. ISSN 1063-6692. doi: 10.1109/TNET.2007.900413. URL <http://dx.doi.org/10.1109/TNET.2007.900413>.
- J. Gutiérrez, E. Callaway, and R. Barrett. *Low-rate wireless personal area networks: enabling wireless sensors with IEEE 802.15.4*. Number ISBN-13: 978-0738162850 in IEEE Standard Information Network,. IEEE Press., New York, third edition edition, March 2011. URL <http://www.amazon.com/Low-Rate-Wireless-Personal-Area-Networks/dp/073816285X>.
- Z.J. Haas. Design methodologies for adaptive and multimedia networks. *Communications Magazine, IEEE*, 39(11):106–107, Nov 2001. ISSN 0163-6804. doi: 10.1109/MCOM.2001.965366.
- Fred Halsall. *Redes de Computadoras e Internet*. Madrid, España, 5 edition, 2006. ISBN:978-84-7829-083-3.
- M.A Hanson, H.C. Powell, AT. Barth, K. Ringgenberg, B.H. Calhoun, J.H. Aylor, and J. Lach. Body area sensor networks: Challenges and opportunities. *Computer*, 42(1):58–65, Jan 2009. ISSN 0018-9162. doi: 10.1109/MC.2009.5.
- Stéphane Henrion, Corinne Mailhes, and Francis Castanié. Transmitting critical biomedical signals over unreliable connexionless channels with good QoS using advanced signal processing. *proc. of WSEAS*, pages 694–700, Jan 2004.
- Muhammad Ikram, Santtu Seppanen, Rafal Sliz, Matti Hamalainen, and Carlos Pomalaza-Ráez. Implementation issues for wireless medical devices. In *International Symposium on Medical Information and Communication Technology (ISMICT'07)*, 2007.

Information Sciences Institute. User datagram protocol, August 1980.
<http://www.ietf.org/rfc/rfc0768.txt>.

Information Sciences Institute. Transmission control protocol, September 1981.
<http://www.ietf.org/rfc/rfc793.txt>.

Information Sciences Institute. The network simulator - ns-2, 2008. URL <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>. <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>.

ISO/IEC. Osi reference model 7498-1: Architecture for open systems interconnection., 1994.

Y.G. Iyer, S. Gandham, and S. Venkatesan. STCP: a generic transport layer protocol for wireless sensor networks. In *14th International Conference on Computer Communications and Networks, 2005. ICCCN 2005. Proceedings*, pages 449 – 454, October 2005. doi: 10.1109/ICCCN.2005.1523908.

Roozbeh Jafari, Andre Encarnacao, Azad Zahoory, Foad Dabiri, Hyduke Noshadi, and Majid Sarrafzadeh. Wireless sensor networks for health monitoring. In *Proceedings of the The Second Annual International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems: Networking and Services, MOBIQUITOUS '05*, pages 479–781, Washington, DC, USA, 2005. IEEE Computer Society. ISBN 0-7695-2375-7. doi: 10.1109/MOBIQUITOUS.2005.65. URL <http://dx.doi.org/10.1109/MOBIQUITOUS.2005.65>.

V. Kawadia and P.R. Kumar. A cautionary perspective on cross-layer design. *Wireless Communications, IEEE*, 12(1):3–11, Feb 2005. ISSN 1536-1284. doi: 10.1109/MWC.2005.1404568.

D. Konstantas and R. Herzog. Continuous monitoring of vital constants for mobile users: the mobihealth approach. In *Engineering in Medicine and Biology Society, 2003. Proceedings of the 25th Annual International Conference of the IEEE*, volume 4, pages 3728–3731, Sept 2003. doi: 10.1109/IEMBS.2003.1280970. URL <http://www.mobihealth.com/home/en/home.php>.

James F. Kurose and Keith W. Ross. *Computer Networking: A Top-Down Approach*. Addison-Wesley, 6 edition, Febrero 2013. ISBN-13: 978-0-13-285620-1.

Committee LAN/MAN Standard. Ieee standard for information technology– local and metropolitan area networks– specific requirements– part 15.4: Wireless medium access control (mac) and physical layer (phy) specifications for low rate wireless personal area networks (wpans), Sept 2006.

Benoît Latré, Bart Braem, Ingrid Moerman, Chris Blondia, and Piet Demeester. A survey on wireless body area networks. *Wireless Networks*, 17(1):1–18, 2011. ISSN 1022-0038. doi: 10.1007/s11276-010-0252-4. URL <http://www.springerlink.com/content/bx44263752724622/abstract/>.

K. Lorincz, D.J. Malan, T.R.F. Fulford-Jones, A Nawoj, A Clavel, V. Shnayder, G. Mainland, M. Welsh, and S. Moulton. Sensor networks for emergency response: challenges and opportunities. *Pervasive Computing, IEEE*, 3(4):16–23, Oct 2004. ISSN 1536-1268. doi: 10.1109/MPRV.2004.18.

Phumzile Malindi. QoS in telemedicine. In Georgi Grasczew, editor, *Telemedicine Techniques and Applications*. InTech, June 2011. ISBN 978-953-307-354-5. URL <http://www.intechopen.com/books/telemedicine-techniques-and-applications/qos-in-telemedicine>.

Lucas D.P. Mendes and Joel J.P.C. Rodrigues. A survey on cross-layer solutions for wireless sensor networks. *Journal of Network and Computer Applications*, 34(2):523 – 534, 2011. ISSN 1084-8045. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jnca.2010.11.009>. URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1084804510002079>. Efficient and Robust Security and Services of Wireless Mesh Networks.

Qiao min LIN, Ru chuan WANG, Jian GUO, and Li juan SUN. Novel congestion control approach in wireless multimedia sensor networks. *The Journal of China Universities of Posts and Telecommunications*, 18(2):1 – 8, 2011. ISSN 1005-8885. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S1005-8885\(10\)60038-6](http://dx.doi.org/10.1016/S1005-8885(10)60038-6). URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1005888510600386>.

- N. Nasser, L. Karim, and T. Taleb. Dynamic multilevel priority packet scheduling scheme for wireless sensor network. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 12(4):1448–1459, April 2013. ISSN 1536-1276. doi: 10.1109/TWC.2013.021213.111410.
- Chris Otto, Aleksandar Milenkovic, Corey Sanders, and Emil Jovanov. System architecture of a wireless body area sensor network for ubiquitous health monitoring. *Journal of Mobile Multimedia*, 1(4):307–326, January 2005. ISSN 1550-4646. URL <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2010498.2010502>.
- M. Rahim, R.A. Rashid, S. H S Ariffin, N. Fisal, M.A. Sarijari, and A. Hadi Fikri Abdul Hamid. Testbed design for wireless biomedical sensor network (wbsn) application. In *Computer Applications and Industrial Electronics (ICCAIE), 2011 IEEE International Conference on*, pages 284–289, Dec 2011. doi: 10.1109/ICCAIE.2011.6162146.
- Md. Abdur Rahman, Abdulmotaleb El Saddik, and Wail Gueaieb. Wireless sensor network transport layer: State of the art. In S.C. Mukhopadhyay and R.Y.M. Huang, editors, *Sensors*, volume 21 of *Lecture Notes in Electrical Engineering*, pages 221–245. Springer Berlin Heidelberg, 2008a. ISBN 978-3-540-69033-7. URL <http://www.springerlink.com/content/p76108rg80730268/abstract/>.
- M.O. Rahman, M.M. Monowar, and Choong Seon Hong. A QoS adaptive congestion control in wireless sensor network. In *Advanced Communication Technology, 2008. ICACT 2008. 10th International Conference on*, volume 2, pages 941–946, February 2008b. doi: 10.1109/ICACT.2008.4493922.
- S. Rajba, P. Raif, T. Rajba, and M. Mahmud. Wireless sensor networks in application to patients health monitoring. In *Computational Intelligence in Healthcare and e-health (CICARE), 2013 IEEE Symposium on*, pages 94–98, April 2013. doi: 10.1109/CICARE.2013.6583075.
- Vaddina Prakash Rao and Dimitri Marandin. Adaptive backoff exponent algorithm for zigbee (IEEE 802.15.4). In Yevgeni Koucheryavy, Jarmo Harju, and Villy B. Iversen, editors, *Next Generation Teletraffic and Wired/Wireless Advanced Networking*, number 4003 in *Lecture Notes in Computer Science*, pages 501–516. Springer

- Berlin Heidelberg, Ju 2006. ISBN 978-3-540-34429-2, 978-3-540-34430-8. URL http://link.springer.com/chapter/10.1007/11759355_46.
- A. J D Rathnayaka, V.M. Potdar, A. Sharif, S. Sarencheh, and S. Kuruppu. Wireless sensor network transport protocol - a state of the art. In *Broadband, Wireless Computing, Communication and Applications (BWCCA), 2010 International Conference on*, pages 812–817, Nov 2010. doi: 10.1109/BWCCA.2010.177.
- Abbas Ali Rezaee, Mohammad Hossein Yaghmaee, Amir Masoud Rahmani, and Amir Hossein Mohajerzadeh. Hoca: Healthcare aware optimized congestion avoidance and control protocol for wireless sensor networks. *Journal of Network and Computer Applications*, 37(1):216 – 228, 2014. ISSN 1084-8045. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jnca.2013.02.014>. URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1084804513000520>.
- D. Rohm, M. Goyal, W. Xie, B. Polepalli, H. Hosseini, A. Divjak, and Y. Bashir. Dynamic reconfiguration in beaconless IEEE 802.15.4 networks under varying traffic loads. In IEEE, editor, *IEEE Global Telecommunications Conference, 2009. GLOBECOM 2009*, pages 1–8, Noviembre 2009. doi: 10.1109/GLOCOM.2009.5425632.
- F.K. Shaikh, A. Khelil, A. Ali, and N. Suri. TRCCIT: tunable reliability with congestion control for information transport in wireless sensor networks. In *Wireless Internet Conference (WICON), 2010 The 5th Annual ICST*, pages 1 –9, March 2010.
- A. Sharif, V.M. Potdar, and A.J.D. Rathnayaka. LCART: a cross-layered transport protocol for heterogeneous WSN. In *2010 IEEE Sensors*, pages 793 –796, November 2010. doi: 10.1109/ICSENS.2010.5690972.
- V. Shnayder, B. Chen, K. Lorincz, T.R.F. Fulford-Jones, and M. Welsh. Codeblue: Wireless sensors for medical care. In *3rd International Conference on Embedded Networked Sensor Systems*, 2005.
- Lea Skorin-Kapov and Maja Matijasevic. Analysis of QoS requirements for e-health services and mapping to evolved packet system QoS classes. *Int. Journal of*

- Telemedicine and Appl.*, 2010(628086):9:1–9:18, January 2010. ISSN 1687-6415. doi: 10.1155/2010/628086. URL <http://dx.doi.org/10.1155/2010/628086>.
- S. Sridevi and M. Usha. Taxonomy of transport protocols for wireless sensor networks. In *Recent Trends in Information Technology (ICRTIT), 2011 International Conference on*, pages 467–472, June 2011. doi: 10.1109/ICRTIT.2011.5972350.
- V. Srivastava and M. Motani. Cross-layer design: a survey and the road ahead. *Communications Magazine, IEEE*, 43(12):112–119, Dec 2005. ISSN 0163-6804. doi: 10.1109/MCOM.2005.1561928.
- J.A. Stine. Cross-layer design of manets: The only option. In *Military Communications Conference, 2006. MILCOM 2006. IEEE*, pages 1–7, Oct 2006. doi: 10.1109/MILCOM.2006.302250.
- Ye Tian, K. Xu, and N. Ansari. Tcp in wireless environments: problems and solutions. *Communications Magazine, IEEE*, 43(3):S27–S32, March 2005. ISSN 0163-6804. doi: 10.1109/MCOM.2005.1404595.
- M.C. Vuran and I.F. Akyildiz. XLP: a cross-layer protocol for efficient communication in wireless sensor networks. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 9(11):1578–1591, November 2010. ISSN 1536-1233. doi: 10.1109/TMC.2010.125.
- Chieh-Yih Wan, Shane B. Eisenman, and Andrew T. Campbell. CODA: congestion detection and avoidance in sensor networks. In *Proceedings of the 1st international conference on Embedded networked sensor systems, SenSys '03*, pages 266–279, New York, NY, USA, 2003. ACM. ISBN 1-58113-707-9. doi: 10.1145/958491.958523. URL <http://doi.acm.org/10.1145/958491.958523>.
- C. Wang, B. Li, K. Sohraby, M. Daneshmand, and Y. Hu. Upstream congestion control in wireless sensor networks through cross-layer optimization. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 25(4):786–795, May 2007. ISSN 0733-8716. doi: 10.1109/JSAC.2007.070514.
- Qi Wang and M.A. Abu-Rgheff. Cross-layer signalling for next-generation wireless systems. In *Wireless Communications and Networking, 2003. WCNC 2003. 2003*

- IEEE*, volume 2, pages 1084–1089 vol.2, March 2003. doi: 10.1109/WCNC.2003.1200522.
- A. Wood, J.A. Stankovic, G. Virone, L. Selavo, Zhimin He, Qiuhua Cao, Thao Doan, Yafeng Wu, Lei Fang, and R. Stoleru. Context-aware wireless sensor networks for assisted living and residential monitoring. *Network, IEEE*, 22(4):26–33, July 2008. ISSN 0890-8044. doi: 10.1109/MNET.2008.4579768.
- Haitao Wu, Qian Zhang, and Wenwu Zhu. Design study for multimedia transport protocol in heterogeneous networks. In *Communications, 2003. ICC '03. IEEE International Conference on*, volume 1, pages 567–571, May 2003. doi: 10.1109/ICC.2003.1204240.
- P. Yang, J. Shao, W. Luo, L. Xu, J. Deogun, and Y. Lu. Tcp congestion avoidance algorithm identification. *Networking, IEEE/ACM Transactions on*, (99):1–14, 2013. ISSN 1063-6692. doi: 10.1109/TNET.2013.2278271.
- Jennifer Yick, Biswanath Mukherjee, and Dipak Ghosal. Wireless sensor network survey. *Comput. Netw.*, 52(12):2292–2330, August 2008. ISSN 1389-1286. doi: 10.1016/j.comnet.2008.04.002. URL <http://dx.doi.org/10.1016/j.comnet.2008.04.002>.
- M. Aykut Yigitel, Ozlem Durmaz Incel, and Cem Ersoy. QoS-aware MAC protocols for wireless sensor networks: A survey. *Comput. Netw.*, 55(8):1982–2004, June 2011. ISSN 1389-1286. doi: 10.1016/j.comnet.2011.02.007. URL <http://dx.doi.org/10.1016/j.comnet.2011.02.007>.
- F. Yunus, N.-S.N. Ismail, S. H S Ariffin, A. A. Shahidan, N. Fisal, and S.K. Syed-Yusof. Proposed transport protocol for reliable data transfer in wireless sensor network (wsn). In *Modeling, Simulation and Applied Optimization (ICMSAO), 2011 4th International Conference on*, pages 1–7, April 2011. doi: 10.1109/ICMSAO.2011.5775627.
- H. Zimmermann. Osi reference model—the iso model of architecture for open systems interconnection. *Communications, IEEE Transactions on*, 28(4):425–432, Apr 1980. ISSN 0090-6778. doi: 10.1109/TCOM.1980.1094702.