

**Estudio e implementación
de drivers para WiMAX (Worldwide
Interoperability for Microwave Access)
móvil en acompañantes móviles digitales**

**Study and implementation of mobile
WiMAX (Worldwide Interoperability for
Microwave Access) drivers for digital
mobile companions**

Henry Alberto Arcila Ramírez, Ing.
henry@microe.udea.edu.co

Eugenio Duque Pérez, Esp.
eaduque@udea.edu.co

José Edinson Aedo Cobo, PhD.
joseaedo@udea.edu.co

Grupo de Microelectrónica y Control, Universidad de Antioquia, Colombia

Fecha de recepción: 05-02-2010

Fecha de selección: 30-03-2010

Fecha de aceptación: 15-03-2010

ABSTRACT

The accelerated progress in the mobile industry market has attracted a growing interest in research in the field of wireless communications technologies. Today, the applications and services demand highest connection data transmission rates. The 3G and WiMAX mobile technologies have been proposed to successfully achieve the *speed + mobility tradeoff*. As Mobile systems are constrained in processing resources, information storage and energy consumption, designers have to take all these characteristics into account when design a system of this type. The present paper is focused on the implementa-

tion of mobile systems using WiMAX technology. We study the standard and the required HW/SW resources for the implementation of a specific WiMAX device with the two embedded development systems based on iMXL and PXA-270 available processors. In this study we evaluated the complexity of the implementation of WiMAX connectivity for mobile devices in our local environment, taking into account the Hardware, Software and infrastructure limitations.

KEY WORDS

WiMAX, WiMAX system profile, WiMAX certification profile, development system based on iMXL and

PXA-270, connection interface, Linux drivers.

RESUMEN

El acelerado avance en la industria móvil ha suscitado un creciente interés por la investigación en el campo de las tecnologías de comunicación inalámbrica. Hoy, los requerimientos son más exigentes, las nuevas aplicaciones y servicios que han incursionado necesitan cada vez más velocidad. Para satisfacer el par de requerimientos *velocidad + movilidad* han surgido dos tecnologías, la 3G y la WiMAX móvil, ambas enfocadas a sistemas móviles. Los sistemas móviles son limitados en recursos de procesamiento, almacenamiento de información y consumo de potencia, por lo que la tecnología a implementar debe tener esto en cuenta. El presente artículo restringe el problema a la implementación de la tecnología

WiMAX a sistemas móviles, el cual se abordó por medio de un estudio del estándar y de los recursos disponibles tanto de hardware como de software necesarios para la implementación de un dispositivo WiMAX específico en los sistemas de desarrollo disponibles basados en los procesadores iMXL y PXA-270. Con este estudio se evaluó la complejidad de la implementación de conectividad WiMAX en dispositivos móviles locales, tomando en cuenta las limitaciones de infraestructura, hardware, software e información encontradas.

PALABRAS CLAVE

WiMAX, perfil de sistema WiMAX, perfil de certificación WiMAX, sistemas de desarrollo basados en los procesadores iMXL y PXA-270, interfaz de conexión, Linux drivers.

Clasificación Colciencias: Tipo 5

I. INTRODUCCIÓN

El acelerado avance de las tecnologías de comunicación inalámbrica ha suscitado un escenario en el cual una de las características de obligatorio cumplimiento en cualquier sistema embebido está ligada a su capacidad de comunicación inalámbrica. El aumento no solo de la capacidad de movilidad sino también de la velocidad de transferencia de datos ha hecho posible el logro de conectividad banda ancha en escenarios móviles. Para lograr este objetivo, un gran número de tecnologías, tanto propietarias como estandarizadas, han sido concebidas, una de éstas, la tecnología WiMAX, se ve bastante prometedora.

Los desarrollos tecnológicos WiMAX actualmente implementados se basan en el estándar IEEE 802.16 el cual define las características de capa física y de acceso al medio,¹ y van desde Chipsets hasta radio bases y estaciones suscriptoras, las cuales constituyen lo que se conoce como **ecosistema WiMAX**. Con el paso del tiempo, y gracias al crecimiento de este ecosistema y al apoyo de los fabricantes, la implementación WiMAX como medio de conectividad inalámbrica para dispositivos móviles se ha hecho cada vez más posible.

El presente trabajo hace un estudio de la manera de llevar a cabo la integración de la tecnología mencionada, con el acompañante móvil digital,² diseñado previamente por el Grupo de Microelectrónica y Control de la UdeA.

El acompañante móvil digital fue concebido como una tecnología tanto de hardware como de software abierta² y uno de los aspectos claves está asociado con la implementación de drivers

bajo el sistema operativo Linux con el fin de asegurar el correcto funcionamiento del dispositivo WiMAX con el sistema embebido en cuestión.

El presente trabajo aborda la manera de alcanzar este objetivo. Para esto se usaron los sistemas de desarrollo basados en los procesadores iMXL de Freescale y PXA-270 de Intel. Debido a que una de las tareas es la elección del dispositivo WiMAX a integrar, fue necesaria una revisión del estándar con el fin de delimitar el problema y realizar una selección adecuada de la solución WiMAX. Posteriormente, se hizo un estudio de todos aquellos aspectos concernientes a la implementación de drivers en Linux, para finalmente extender éste al caso WiMAX.

Este trabajo ha sido organizado de la siguiente forma: en la sección 2, se describe el estado del estándar. En la sección 3, se realiza un estudio de los sistemas de desarrollo usados. En la sección 4, se describen las características que deben ser cumplidas por el dispositivo WiMAX seleccionado. En la sección 5, se revelan todos aquellos aspectos que deben ser tenidos en cuenta para la implementación de drivers en Linux, en la sección 6 se extienden éstos al caso WiMAX. Posteriormente, en la sección 7 se presenta el marco experimental seguido en el trabajo, y finalmente está la sección 8 con las conclusiones del trabajo.

2. ESTADO DEL ESTÁNDAR WiMAX

Como punto de partida del presente trabajo fue necesaria la selección de un dispositivo WiMAX adecuado para integrar en los sistemas de desarrollo

basados en los procesadores iMXL y PXA-270; sin embargo debido a la amplia gama de dispositivos y las restricciones impuestas por los sistemas de desarrollo y la infraestructura local implementada, se requiere un conocimiento adecuado del estándar WiMAX con el fin de asegurar la elección apropiada del dispositivo.

El estándar WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) está concebido para proporcionar conectividad inalámbrica a nivel metropolitano. Desde su concepción, ha venido evolucionando hasta el punto que se tienen varias versiones (802.16a, 802.16c, 802.16d y 802.16e entre otras). Sin embargo, de todas las versiones del estándar, las únicas que cuentan con implementaciones tecnológicas son la *ieee-802.16d*, también conocida como WiMAX fijo y la *ieee-802.16e* también conocida como WiMAX móvil.¹

En lo que respecta a las dos versiones, la móvil es una enmienda en la cual se realizaron mejoras sobre la versión fija con el fin de proporcionar capacidades de movilidad, sin embargo, el principal problema al respecto radica en que estas dos versiones son incompatibles ya que están basadas en técnicas de multiplexación diferentes.³ Lo anterior introduce una primera restricción en cuanto al dispositivo elegido, **la versión del estándar implementada por este**, es decir, si la infraestructura local WiMAX implementada es móvil, el dispositivo WiMAX elegido debe ser móvil, de lo contrario no operará.

Otro de los aspectos que es necesario anotar tiene que ver con las características del estándar implementadas por una tecnología. La Tabla 1 define

las principales características básicas asociadas al estándar.

Tabla 1. Características básicas asociadas al estándar.^{1,4,5}

Estándar	Actualmente en el mercado existen dos estándares WiMAX, el estándar fijo (IEEE 802.16d-2004) y el estándar móvil (IEEE 802.16e-2005).
Rangos de frecuencia	El estándar WiMAX está diseñado para operar en diferentes bandas de frecuencia: 2.5, 3.5 y 5.8 GHz.
Tipo de modulación	Describe los diferentes tipos de modulación soportados, siendo los más comunes el QPSK, el 16 QAM y el 64 QAM.
Modo de duplexación	Existen dos modos de duplexación, duplexación por división de tiempo (TDD) y duplexación por división de frecuencia (FDD).

Como sabemos, el estándar WiMAX es sumamente amplio pues define un conjunto de lineamientos muy generales, lo cual puede llegar a ser un problema en el momento de una implementación tecnológica. Es por esto, que el WiMAX fórum restringió el alcance del estándar a unas elecciones de diseño más reducidas definiendo los perfiles. Existen dos tipos de perfiles, **el perfil del sistema** y **perfil de certificación**. En el primero, se definen las características tanto obligatorias como opcionales de las capas físicas y de MAC, actualmente existen dos perfiles de sistema, el fijo y el móvil. En el segundo, lo que se hace es instanciar un perfil de sistema definiendo características como la frecuencia de operación, el ancho de banda del canal y el modo de duplexación. Actualmente existen cinco perfiles de certificación para WiMAX fijo y 14 para WiMAX móvil.^{6,7}

Lo anterior impone una segunda restricción al respecto, **el dispositi-**

vo WiMAX a elegir debe tener el mismo perfil de certificación de la infraestructura local.

Ahora bien, esto no es suficiente, otro aspecto más debe ser satisfecho, y tiene que ver con la **interoperabilidad**, pues al elegir el dispositivo se debe tener la certeza de que éste podrá operar con la infraestructura localmente implementada y quien da el respaldo de dicho requisito es la certificación de interoperabilidad; lo anterior implica que un conocimiento de la solución WiMAX implementada localmente es necesario, con el fin de verificar si el dispositivo elegido es capaz de operar con los equipos usados en la infraestructura.⁷

Mundialmente, pese al apoyo que ha tenido el estándar por parte de un gran número de empresas entre fabricantes de semiconductores, fabricantes de dispositivos de electrónica de consumo y de operadores de servicios de telecomunicaciones, éste aún no ha alcanzado la penetración y el impacto esperados, la presencia de tecnologías competidoras como la 3G, la cual tiene la ventaja de poseer una infraestructura comercialmente disponible bastante madura y con buena cobertura ha hecho que muchas empresas opten por ésta, en vez de la tecnología WiMAX para sus servicios.

Otro de los problemas encontrados es la falta de armonización del espectro, lo cual se manifiesta en el uso de diferentes espectros para el uso de esta tecnología en los países.¹

Sin embargo, pese a lo anterior, lo realmente importante es tener bien claro cómo está el estándar local. La Tabla 2 lo resume y toma como base

los elementos restrictivos previamente mencionados.

Tabla 2. Características básicas de la infraestructura WiMAX localmente implementada.¹²

Frecuencia de operación	La banda de espectro asignada para la operación del estándar a nivel colombiano se encuentra entre los 3.4 GHz y los 3.6 GHz. Este rango del espectro es licenciado, por lo que para hacer uso se debe pagar licencias. Hay 5 licencias por región departamental, de éstas 3 son de ámbito nacional y 2 son de ámbito departamental. ^{8,9,10}
Cobertura	A diferencia de la tecnología rival (3G), localmente la tecnología WiMAX no cuenta aún con una buena cobertura, no todas las licencias asignadas han sido usadas aún. Por el momento, solo se cuenta con implementaciones comerciales del estándar fijo, sin embargo en el caso del estándar móvil, aún no se tienen despliegues comerciales, solo existen redes en etapa pre operativa.
Soluciones WiMAX localmente implementadas	La implementación de la versión fija del estándar es hecha usando la solución Waymax@dvange de Siemens, ¹¹ en el caso móvil la solución es realizada usando equipo de la empresa Alcatel.

Como se puede apreciar, localmente, pese a que Colombia fue uno de los países pioneros en la implementación del estándar WiMAX aún se carece de una buena infraestructura que facilite su aplicación.

3. SISTEMAS DE DESARROLLO

Además de saber el estado del estándar WiMAX local, también es necesario conocer los equipos a los cuales se les implementará conectividad WiMAX, esto con el fin de verificar si cumplen con los prerrequisitos

necesarios para permitir el funcionamiento adecuado del dispositivo WiMAX al que se van a conectar.

Para el caso, Figura 1 se dispone de dos sistemas de desarrollo: el *iMXL Lite Development Kit* de Congent Systems y la plataforma *Sirius* de e-con Systems.^{13,16,17}



Figura 1. Sistemas de desarrollo usados.

Como el dispositivo WiMAX a emplear consiste de una tarjeta de expansión, a menudo los requisitos que ésta impone tienen que ver con procesador, memoria y puertos de expansión. La Tabla 3 muestra las características de estos sistemas.

Tabla 3. Características básicas de los sistemas de desarrollo.^{13,14,15,16}

	iMXL LiteKid	Sirius
Procesador	Basado en el procesador MC9328MXL i.MX integrated Portable System Procesor de Freescale. Soporta un reloj de hasta 200 MHz. Dispone de varios módulos integrados.	Basado en el procesador PXA-270 de Intel el cual puede correr a una velocidad de hasta 520 MHz. Integra una gran variedad de módulos.
Memoria	64 Mbyte de memoria SDRAM.	256 Mbyte de memoria SDRAM.

Puertos de expansión	Posee una interfaz USB1.1 (solo puede asumir el rol de dispositivo) y una interfaz Compact Flash.	Permite la conexión de dispositivos por medio de las interfaces USB1.1 o Compact Flash.
-----------------------------	---	---

Si se comparan ambos sistemas de desarrollo, el segundo posee mejores prestaciones que el primero. Ahora bien, lo realmente importante de conocer las características anteriormente mostradas, que al ser contrastadas con los requerimientos del dispositivo WiMAX seleccionado, permite saber si dichos sistemas son o no idóneos para usarlo.

4. REQUERIMIENTOS DEL DISPOSITIVO WiMAX A ELEGIR

Los requerimientos del dispositivo WiMAX a elegir son definidos desde dos frentes, el primero tiene que ver con la infraestructura localmente implementada, el segundo está relacionado con las características tanto de hardware como de software de los sistemas en los cuales éstos se desean integrar; la Tabla 4 muestra las características que deben ser satisfechas por éste.

Tabla 4. Características del dispositivo WiMAX a elegir.

Ítem	Descripción
Sistema operativo	Linux
Banda de operación	3.5 GHz
Modo dúplex	FDD
Esquema de modulación	OFDM
Estándar	Fijo (802.16-d)
Solución WiMAX implementada	Waymax Advange de Siemens
Interfaz de conexión	Compact Flash, PCMCIA o USB

Cabe anotar que en el momento en que se realizó el levantamiento de requisitos mostrado en la tabla anterior, aun no existía el piloto móvil, que se mencionará más adelante.

5. ESTUDIO DE DRIVERS PARA LINUX

Debido a que el sistema operativo que controlará el hardware es Linux, es necesario cumplir una serie de requisitos para tal fin.^{18,19,20}

a. Conocimiento del hardware:

Este es el principal requisito cuando de escribir un driver se trata. Para que éste pueda controlar adecuadamente el dispositivo, es necesario que tenga un conocimiento de su operación. Para tal fin se requiere una lectura de los manuales de programación de chipset o módulo a controlar con el fin de definir los registros de control y estados asociados a dicho hardware.

b. Conocimiento de la interfaz de programación para la interacción con el sistema operativo:

Un driver, al ser parte integral del sistema operativo, tiene que implementar una *interfaz común* que le permita la interacción con éste. Esta interfaz común da lugar a la existencia de un API, el cual proporciona un conjunto de procedimientos y funciones que tienen que ser implementados por todo driver para permitir que el sistema operativo pueda interactuar de la manera más transparente posible con el hardware, sin preocuparse por los detalles de bajo nivel asociados a éste.

c. Herramientas de desarrollo:

Un driver es un programa por

lo que es necesario disponer de las herramientas requeridas para la generación de código a ejecutarse en una arquitectura específica. Básicamente son tres las herramientas a utilizar para la compilación y enlazado de programas en el kernel, estas son: el compilador, el enlazador y la utilidad make. Además de lo anterior, conviene poseer los archivos fuente del kernel ya que allí se encuentra el código fuente y los archivos de cabecera para poder compilar los drivers.

Una vez que todos los prerrequisitos anteriores se cumplen, ya es posible empezar la codificación del driver. Éste se compone, básicamente, de uno o varios archivos fuentes con sus respectivas cabeceras, en los cuales se implementa cada una de las funciones de interfaz (para inicialización, apertura, cierre, escritura y lectura del driver entre otras) de acuerdo con lo que deba realizar el driver.¹⁹

Una vez codificado el driver debe crearse un kernel Makefile asociado a éste.²¹ Para el caso de los sistemas de desarrollo, se recomienda integrar las fuentes del driver junto con su Makefile dentro del directorio donde residen las fuentes del kernel.

Para permitir la configuración de cualquier archivo fuente del kernel se usan los archivos de configuración del kernel (*Kconfig*). Por lo tanto se requiere la edición de uno de éstos para el driver (ver Figura 2).²²

Una vez que lo anterior ha sido llevado a cabo, el siguiente paso consiste en la configuración de la imagen del kernel, se accede al archivo de configuración y se seleccionan todos



Figura 2. Menú de configuración del kernel.

aquellos ítemes que se deseen, claro está, sin olvidar habilitar el ítem asociado al driver.²³ Posteriormente se realiza la crosscompilación y se copia la imagen del kernel en la memoria flash usando el micromonitor para ello.

Una vez hecho lo anterior ya es posible hacer uso del driver, el cual puede ser cargado y accedido con una serie de comandos que el kernel proporciona para tal fin.¹⁹

Como el driver es un programa que se ejecuta en espacio kernel y los programas normales trabajan en espacio usuario, se hace necesaria la codificación de un programa en dicho espacio para la interacción con el driver encargado del control del hardware. Este programa debe conocer los comandos específicos del driver (Figura 3).



Figura 3. Interfaz de control en espacio usuario para el driver de la tarjeta WiMAX.

6. EXTENSIÓN DE DRIVERS AL CASO WiMAX

En la sección anterior se describieron los pasos necesarios que resumen la implementación de un driver desde cero, pero ¿qué sucede en el caso de driver complejos como los asociados a una tarjeta inalámbrica WiMAX ?

Pues bien, en este caso empezar una codificación desde cero no es la mejor alternativa, debido a que el driver en cuestión puede hacer uso de otros drivers asociados a otro tipo de hardware como buses de comunicación requeridos para la interconexión con el hardware controlado.

En casos como estos, lo ideal es realizar la implementación del driver mediante la integración del código existente en las fuentes del kernel asociadas a la arquitectura.

Para que dicha integración sea exitosa se debe verificar si el kernel cumple con los prerequisites exigidos por el driver a integrar, esto consiste en chequear las dependencias del driver. Si todo lo anterior es satisfecho, el siguiente paso será la integración del código fuente asociado al driver y a las fuentes del kernel.¹⁹

En algunos casos puede que todas las fuentes del driver no sean completamente código, pueden existir partes del driver principalmente las asociadas al hardware de bajo nivel constituidas por archivos ejecutables, esto con el fin de ocultar los detalles internos del hardware. Si lo anterior es afirmativo, se debe verificar que dichos ejecutables sean portados a la arquitectura en cuestión.

En caso de que los archivos ejecutables no sean portados a la plataforma en cuestión, se hace necesario

conseguir los manuales asociados al Chipset WiMAX específico y empezar la modificación de aquellas partes del driver principalmente las asociadas a la interacción con el hardware.

Básicamente esta codificación consiste en la correspondiente de un archivo fuente que describa mediante código nativo (código c) las direcciones base, registros de control y estado del chipset para su control por parte del driver. Así mismo, se deben modificar todos los archivos asociados a las interfaces de interacción (PCMCIA o USB entre otras) para asegurar que el driver envíe los comandos correctos al chipset y la interacción con las capas superiores del stack sean correctas. Tal modificación requiere de los manuales del chipset, de lo contrario se hará necesaria la realización de un proceso de ingeniería inversa para lograr comprender el protocolo de comunicación empleado para la interacción con el chipset.

7. MARCO EXPERIMENTAL

Los siguientes ítemes muestran la estrategia de trabajo llevada a cabo durante la ejecución del proyecto:

Definición de los requisitos y búsqueda de la tarjeta WiMAX a integrar: Teniendo en cuenta las características que debía cumplir el modem WiMAX (ver Tabla 3) se procedió a realizar una lista preliminar con módems ofrecidos por los diferentes fabricantes, en ésta se encontró que la gran mayoría de módems solo satisfacían el estándar móvil incompatible con la infraestructura fija, una existente en dicho momento. También se procedió a contactar a los fabricantes, la conclusión después de esta actividad fue que la selección

del módem depende del proveedor de servicios de telecomunicaciones.

Participación en la prueba piloto móvil de UNE: El problema de la falta de equipo WiMAX explicado anteriormente fue solucionado gracias a que UNE Telecomunicaciones facilitó un módem WiMAX compatible con el estándar móvil. El módem facilitado fue el 9799 MIMO PCMCIA CARD 2.5/3.5 GHz con interfaz PCMCIA de Alcatel-Lucent (Figura 4). Debido a que la red móvil aún está en etapa preoperativa en el presente trabajo solo se pudo hacer uso de este CPE.

Adaptación del módem a los sistemas de desarrollo: Con el módem en nuestras manos se procedió a buscar si era posible su conexión física con alguno de los sistemas de desarrollo. Esto fue imposible ya que pese a la interfaz PCMCIA del módem es compatible eléctricamente con la interfaz CF de los sistemas de desarrollo, no existe un conversor PCMCIA a CF, solo hay conversores que hacen lo contrario.²⁴ En lo que respecta a la parte asociada con los drivers de Linux, se descargaron los drivers disponibles en la URL www.linuxwimax.org y se procedió al análisis de los requerimientos de éstos, el mayor problema encontrado por un lado fue que el driver WiMAX tenía como core un archivo ejecutable asociado al chipset el cual no estaba crosscompilado para la arquitectura de los procesadores de interés (iMXL de Freescale y PXA-270 de Intel) y por el otro que este driver no soportaba el chipset de la tarjeta WiMAX empleada (Beecem BCS200). Lo único que restaba era la modificación de algunas partes del driver para añadir soporte para este chipset para lo cual

se requerían los manuales de programación del mismo.

8. CONCLUSIONES

El estándar WiMAX, pese a tener características mejores en relación con otras tecnologías, aún no ha tenido la acogida, ni ha alcanzado la madurez esperada. Pese a que ya se dispone de un ecosistema WiMAX con gran diversidad de dispositivos (estaciones base, estaciones suscriptoras, SoC) aún el acceso a éste es muy restringido; aspectos como la interoperabilidad, la dificultad para adquirir dispositivos WiMAX, así como la información demasiado cerrada por parte de los fabricantes, ha impedido la participación efectiva de desarrolladores independientes. Es de anotar que con estas restricciones, y con el auge que viene teniendo una tecnología competidora (3G), que ofrece un mayor soporte, el espacio de la primera tecnología en nuestro medio se ve amenazado.

Por otro lado, la adaptación de conectividad WiMAX en los sistemas basados en los procesadores PXA-270 de Intel e iMXL de Freescale, depende en gran medida de la tecnología de conectividad usada en nuestro medio. Se ha establecido en este trabajo los procedimientos para llevar a cabo esta tarea y las adaptaciones en hardware que deben realizarse. La disponibilidad de Wimax móvil en este tipo de dispositivos implica una modernización de las interfaces y el kernel del sistema operativo. Pese al mayor consumo de potencia, la alternativa más adecuada en este momento es el uso de un interfaz USB, desde el punto de software y de hardware.

9. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad de Antioquia, a la empresa OSP International Cala y a Colciencias por el apoyo económico para llevar a cabo esta investigación.

10. BIBLIOGRAFÍA

1. Andrews, Jeffrey G., Ghosh, A. Muhamed, R. *Fundamentals of WiMAX*. Ed. Pearson. Febrero 2007.
2. Vallejo, M., A., Aedo, J., E., *Concepción y diseño de la arquitectura de un acompañante digital móvil*. Tesis de maestría, Universidad de Antioquia, 2007.
3. WiMAX: E vs. D The Advantages of 802.16e over 802.16d. URL: http://www.motorola.com/staticfiles/Business/Solutions/Industry%20Solutions/Service%20Providers/Wireless%20Operators/Wireless%20Broadband/wi4%20WiMAX/_Document/StaticFile/WiMAX_E_vs._D_White_Paper.pdf
4. IEEE. Standard 802.16-2004. Part16: Air interface for fixed broadband wireless access systems. October 2004.
5. IEEE. Standard 802.16e-2005. Part16: Air interface for fixed and mobile broadband wireless access systems—Amendment for physical and medium access control layers for combined fixed and mobile operation in licensed band. December 2005.
6. WiMAX Forum Certification of Broadband Wireless Systems. URL: http://www.wimaxforum.org/technology/downloads/Certification_FAQ_final.pdf

7. Clarifying WiMax Certification. URL: <http://www.wi-fi-planet.com/columns/article.php/3565806>
8. ¿En que consisten las Resoluciones 2064 y 2070 de 2005? URL: http://www.mincomunicaciones.gov.co/mincom/src/user_docs/Noticias/Resol20642070d2005.pdf
9. Resolución número 2070 de diciembre 16 de 2005. URL: http://www.mincomunicaciones.gov.co/mincom/src/user_docs/Archivos/normatividad/2005/Resolucion/R2070de2005.pdf
10. Resolución número 2064 de septiembre 15 de 2005. URL: http://www.mincomunicaciones.gov.co/mincom/src/user_docs/Archivos/normatividad/2005/Resolucion/R2064de2005.pdf
11. WiMAX Siemens WiMAX solution. URL: http://optical.usa.siemens.com/pon/downloads/telecomnext_downloads/WayMAX-WiMAX_Brochure.pdf
12. Presente y futuro del acceso banda ancha WiMAX en Colombia. URL: <http://www.monografias.com/trabajos60/wimax-banda-ancha/wimax-banda-ancha.shtml>
13. Sirius Linux User Manual. E-con Systems India Pvt Ltd, 2007.
14. MC9328MXL i.MX Integrated Portable System Processor Reference Manual, Freescale Semiconductor Inc, 2004.
15. Intel PXA 270 Processor Family. Intel. 2004.
16. Congent i.MXL Litekit for Freescale MC9328MXL Hardware Reference Manual. Congent Computer Systems Inc. 2005.
17. Sirius Reference Platform Hardware user manual. E-con Systems India Pvt. Ltd. 2007
18. *Writing a Linux driver*. URL: <http://www.linuxjournal.com/article/2476>
19. Corbet, J., Rubini, A., Hartman, G., K., *Linux device drivers*. Ed. Prentice Hall. 2003.
20. Venkateswaran, V., *Essential Linux Device Drivers*. Ed. Person. 2008.
21. 2.5.59+ kernel makefile documentation. URL: <http://lwn.net/Articles/21835/>
22. Linux kernel documentation index. URL: <http://www.kernel.org/doc/>
23. Kroah-Hartman, G., *Linux Kernel in a Nutshell*. Ed. O'Reilly. 2006.
24. URL Compact Flash association: <http://www.compactflash.org/guide/adapter.htm>.

CURRÍCULOS

José Edinson Aedo Cobo. Obtuvo el título de Ingeniero Electricista por la Universidad del Valle en 1987 y el grado de Maestría y de Doctorado por la Escuela Politécnica de la Universidad de Sao Paulo-Brasil en 1992 y 2000, respectivamente. Actualmente es profesor del Departamento de Ingeniería Electrónica de la Universidad de Antioquia - Colombia y dirige el grupo de investigación de Microelectrónica y Control en dicha Universidad. Sus áreas de interés cubren el diseño de circuitos integrados de dedicación específica, inteligencia computa-

cional y metodologías de diseño de sistemas embebidos complejos.

Eugenio Duque Pérez. Obtuvo el título de Ingeniero Electrónico en la Universidad de Antioquia en 1975 y el grado de especialización en Telemática en la misma universidad en 1996. Actualmente se desempeña como profesor del departamento de Ingeniería Electrónica en dicha institución. Miembro del grupo de microelectrónica y control, sus áreas de interés abarcan el procesamiento digital de señales y diseño de

hardware usando sistemas embebidos y FPGAs.

Henry Alberto Arcila Ramírez. Miembro del grupo de microelectrónica y control, Ingeniero Electrónico de la Universidad de Antioquia. Actualmente se desempeña como catedrático en el departamento de Ingeniería Electrónica de dicha institución. Su interés radica en el procesamiento digital de señales, comunicación digital y empleo de sistemas embebidos de aplicación específica.