

# *Implementación de un Agente NS2 para Soportar los Servicios de Información (MIIS) de 802.21<sup>1</sup>*

## *Implementation of an Agent NS2 to Support Information Services (MIIS) of 802.21*

**Luis Alejandro Flétscher Bocanegra**

*Magíster en Ingeniería*

*Especialista en Gerencia de Proyectos de Telecomunicaciones*

*Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones*

*Docente Asistente Universidad Católica de Pereira*

*Grupo de Investigación TICs*

*[luis.fletscher@ucp.edu.co](mailto:luis.fletscher@ucp.edu.co)*

**Antonio Fernando Gómez Skarmeta**

*Doctor en informática*

*Docente Universidad de Murcia (España)*

*Grupo de Investigación Ingeniería de la Información y las Comunicaciones*

*[skarmeta@um.es](mailto:skarmeta@um.es)*

Recibido Junio 20 de 2011 – Aceptado Noviembre 30 de 2011

## **RESUMEN**

*El incremento de soluciones inalámbricas enfocadas a la prestación de servicios de telecomunicaciones ha llevado al desarrollo de diversas tecnologías orientadas a ambientes específicos, cada una de ellas con una arquitectura y un campo de aplicación particular. Este desarrollo acelerado ha puesto en evidencia la necesidad de que los servicios se faciliten, en gran medida, sobre la infraestructura física disponible, buscando siempre la red que mejores opciones ofrezca en un momento y lugar determinados.*

*Una alternativa para dichos procesos, es el Grupo de Trabajo 802.21 del IEEE, encargado de estandarizar el denominado Media Independent*

---

1. Resultados del proyecto de investigación “Diseño y Simulación del Media Independent Information Service (MIIS) del Estándar IEEE 802.21”. Trabajo de grado del Máster en Tecnologías de la Información y Telemática Avanzadas. Universidad de Murcia (España). Asesor: PhD. Antonio Gómez Skarmeta.

*Handover (MIH), solución de interoperabilidad a nivel de capa 2 entre tecnologías IEEE, y entre estas y las redes celulares actuales.*

*El presente artículo relaciona el proceso seguido para la implementación de un agente NS2 (Network simulator 2) que permita evaluar el comportamiento del Media Independent Information Service (MIIS) de IEEE 802.21 (IEEE, 2008) en un escenario de alta movilidad.*

**Palabras Clave:** Handover, 802.21, MIHS, MIIS, NS2.

## **ABSTRACT**

*The improvement of wireless solutions aimed to the provision of telecommunication services has led to the development of different technologies for specific environments, each one of them with a particular architecture and scope. This fast development has highlighted the need of the services, which are largely provided on the infrastructure available, always searching the best performance network offered at a time and place.*

*An alternatively for this process is the Research Group IEEE 802.21, which is in charge of standardizing the Media Independent Handover (MIH) solution of interoperability at Layer 2 between technologies IEEE, and between these and the current cellular networks.*

*This article presents the process for the implementation of a NS2 (Network Simulator 2) agent to evaluate the behavior of Media Independent Information Service (MIIS) of IEEE 802.21 (IEEE, 2008) on a high mobility scenario.*

**Key Words:** Handover, 802.21, MIHS, MIIS, NS2.

## **1. INTRODUCCIÓN**

Como consecuencia del auge y la gran aceptación que han tenido las soluciones inalámbricas, se ha impulsado el desarrollo de diversas tecnologías orientadas a ambientes específicos, cada una de ellas caracterizada por poseer una arquitectura y protocolos de comunicación propio, dificultando en gran medida la interoperabilidad y obligando al usuario a contar con dispositivos particulares para cada escenario.

Es así como en la actualidad las necesidades del usuario están centradas

en obtener servicios integrados relacionados con el celular, el GPS, el WiFi y el WiMAX, utilizando un mismo dispositivo que con roaming inteligente y permitiendo movilidad, detecte los mejores puntos de acceso para cada una de las soluciones requeridas.

Un desafío clave para cumplir con esta demanda creciente es definir mecanismos eficientes de handover, medidos en términos de latencia y pérdidas, que a la vez posibiliten la implementación de políticas y controles.

Buscando contar con un escenario que permitiera evaluar el comportamiento de los dispositivos móviles dentro de redes heterogéneas, se planteó al interior de la Universidad de Murcia, el proyecto **“Diseño y simulación del Media Independent Information Service (MIIS) del estándar IEEE 802.21”**, teniendo como su objetivo principal incluir y evaluar el desempeño del MIIS dentro de diferentes escenarios simulados.

Así pues, este documento presenta un recorrido por la labor realizada al interior del Grupo de Trabajo 802.21 del IEEE, encargado de estandarizar el denominado Media Independent Handover (MIH), enfatizando particularmente en su desempeño dentro de entornos con tecnologías heterogéneas.

En una primera sección se presentarán las principales motivaciones para el desarrollo del estándar 802.21, para posteriormente entrar en la descripción de su modelo de referencia. Seguidamente se describirá la implementación que se hizo del MIIS y se culminará con una relación de los resultados de la simulación y su comportamiento dentro del escenario de prueba.

## **2. MOTIVACIONES PARA EL DESARROLLO DE MIH**

Actualmente los escenarios de comunicación son más complejos debido a la diversidad de tecnologías y servicios que los soportan, así como a la amplia gama de aplicaciones que el suscriptor demanda en sus terminales, lo que sugiere usuarios cada vez más exigentes en cuanto a calidad, velocidad y experiencia de los servicios que los proveedores proporcionan.

La evolución de las redes de computadores ha hecho que con cada nueva aplicación que se desarrolla, se planteen estándares de manera

descentralizada, es decir, que cada tecnología tenga sus propios servicios de capa física y MAC, los cuales varían significativamente de una a otra. Sin embargo, la presencia de dispositivos capaces de soportar diversas interfaces de red, tanto del tipo cableado como inalámbrico, plantea una nueva necesidad, la posibilidad de contar con conectividad transparente a las diferentes redes disponibles en cualquier momento y lugar, con la premisa “always best-connected” (“siempre mejor conectado”) (P. Esa and K. Pentikousis, 2009).

Otro aspecto que ha sido crucial en el desarrollo de nuevos servicios de telecomunicaciones es el relacionado con la movilidad, abriéndose un abanico de posibilidades que van desde los entornos locales a los regionales y globales, cada uno con sus características tecnológicas propias, que han evolucionado de forma independiente, pero que convergen en el momento en que el usuario empieza a demandar transparencia y continuidad en la prestación de los servicios a los que tiene derecho.

Si bien es cierto se podrían crear extensiones particulares para la interoperabilidad entre las diversas tecnologías, esto obligaría a que cada vez que aparezca una nueva, sea necesario extenderla con cada red pre existente, lo que llevaría a un crecimiento de orden exponencial.

Por otro lado, si lo que se hace es crear un marco de trabajo común, cada tecnología existente deberá buscar la forma de hacer uso de él, reduciendo de esta manera la complejidad en cuanto a los desarrollos que se deben generar.

Para lograr la optimización en el uso de los recursos de red, los nodos móviles requieren obtener de una manera estandarizada información sobre las diferentes redes disponibles, independientemente de las tecnologías de acceso que las soporten. Esta información recolectada será usada para tomar las decisiones de handover y alimentar los procesos de gestión de la movilidad de acuerdo a los diversos protocolos de capa 3 que se han diseñado para tal fin, labor que guió los desarrollos del estándar 802.21.

Por consiguiente, el objetivo del IEEE 802.21 es mejorar la experiencia del usuario proporcionando una funcionalidad MIH que facilite los procesos de handover iniciados tanto por el móvil como por la red.

Así mismo, el escenario de **“Siempre Mejor Conectado”** implica ambientes donde las tecnologías de banda ancha trabajen sinérgica,

cooperativa y coexistentemente para entregar datos de forma segura brindando conectividad en cualquier momento y lugar. Esta intersección entre redes inalámbricas ofrecerá posibilidades de una mejor conexión a los usuarios, de hecho, la movilidad le impone a las tecnologías necesidades de intersección entre redes y coexistencia con los segmentos cableados, generando que los usuarios mezclen y se amolden a las plataformas disponibles para así suplir sus requerimientos, permitiéndoles estar conectados en cualquier momento y lugar (E. Gustafsson and A. Jonsson, 2003).

## 2.1 El Concepto de Handover

El proceso de handover busca que un dispositivo móvil pueda pasar de una red o punto de prestación del servicio a otro, sin perder conectividad y sin tener que reiniciar sesiones. Un handover óptimo se dará sin cambios en la prestación del servicio y requerirá de una menor cantidad de recursos, optimizando al máximo el uso de la red. Es así como se tienen diferentes tipos de handover (K. Taniuchi, 2009):

- **Handover horizontal:** es aquel en el que el traspaso se da dentro de tecnologías homogéneas (de la misma red, tal y como está definido en la mayoría de estándares actuales).
- **Handover vertical:** el traspaso se realiza entre diferentes tecnologías (heterogéneo).
- **Hard handover:** se rompe la conexión actual para generar la nueva. Implica un cambio brusco, aunque con estrategias adecuadas; puede ser imperceptible para el usuario en ciertos servicios.
- **Soft handover:** la nueva conexión se realiza antes de romper la actual.

Es importante mencionar que 802.21 está pensando prioritariamente para handovers verticales, aunque puede ser utilizado en handovers homogéneos.

MIHS garantiza el handover en redes heterogéneas, al soportar y definir un marco de trabajo para proveer información intercambiable y actualizada en cuanto a las condiciones del enlace y características de las redes disponibles, así como un conjunto de componentes funcionales para tomar y ejecutar decisiones de movilidad y garantizar el mejor aprovechamiento

de las diferentes redes a las que tengan acceso los usuarios en un momento determinado (A. de la Oliva and others, 2008).

Es importante recalcar que los aspectos derivados de los procesos de Handover en redes heterogéneas concernientes a capa 3 y superiores, se escapan del alcance del estándar IEEE 802.21-2008, restringiéndose este a garantizar los mecanismos de seguridad, políticas y procesos propios de la capa de enlace durante la realización del Handover.

### **3. MODELO DE REFERENCIA 802.21**

El estándar define las herramientas necesarias para el intercambio de información, eventos, y comandos para facilitar la iniciación y preparación del handover, sin adentrarse en los procesos de ejecución que se realizan actualmente. Por lo tanto, el marco propuesto en MIH es igualmente aplicable a los sistemas que emplean IP móvil en la capa IP como a los sistemas que emplean Session Initiation Protocol (SIP) en la capa de aplicación (K. Taniuchi, 2009).

De esta manera, 802.21 define una nueva función para controlar el acceso a las capas inferiores (Capas 1 y 2), proporcionando nuevos puntos de acceso al servicio (SAPs) e información requerida por las capas superiores. Tanto los dispositivos móviles como el hardware de red deben implementar el estándar para trabajar, pero manteniendo compatibilidad con los demás dispositivos no MIH (A. de la Oliva and others, 2008).

Los elementos de diseño principales de IEEE 802.21 se pueden clasificar en tres categorías (P. Esa and K. Pentikousis, 2009):

1. Un marco de trabajo para permitir la continuidad del servicio de forma transparente, mientras se realiza el handover en redes heterogéneas
2. Un conjunto de funciones para habilitar el handover
3. Un conjunto de Puntos de Acceso al Servicio (SAPs).

A continuación se profundiza un poco más en cada uno de estos aspectos.

#### **3.1 Continuidad Transparente del Servicio**

IEEE 802.21 especifica un marco de trabajo que permite la continuidad del servicio de forma transparente, mientras un nodo móvil cambia entre

tecnologías de acceso heterogéneas. De esta forma, las consecuencias de las necesidades especiales de handover deben ser comunicadas y consideradas al iniciar el proceso y antes de su ejecución.

Por ejemplo, en procesos de Soft handover, es crucial garantizar la continuidad del servicio, durante y después de la entrega, sin ninguna intervención del usuario. Con este fin, IEEE 802.21 especifica los mecanismos esenciales para recopilar toda la información necesaria para la afiliación a un nuevo punto de acceso antes de interrumpir la conexión actual del usuario. Las aplicaciones interactivas, tales como VoIP, suelen ser las más exigentes en términos de retrasos de entrega, y las llamadas VoIP de alta calidad deben estar soportadas únicamente por procesos de soft handover (P. Esa and K. Pentikousis, 2009).

Por otra parte, el streaming de video puede soportar procesos de hard handover siempre y cuando el tiempo de ruptura antes de la entrega no exceda el retardo propio del buffer utilizado. En el caso de hard handover, el proceso de señalización entre puntos de acceso correspondiente a la transferencia de contexto para preparar el handover, puede iniciarse de forma previa con el fin de minimizar el impacto que se tiene sobre la prestación del servicio.

Por consiguiente, es necesario que la red destino tenga características similares en cuanto a capacidad y calidad del servicio, ya que de anticiparse un detrimento al realizar el cambio podría decidirse que es mejor no llevarlo a cabo. De igual forma, el detectar pérdida de calidad en la red actual, puede generar un proceso de búsqueda de posibles redes destino a las cuales hacer la transferencia con el fin de obtener una mayor calidad de servicio (A. de la Oliva and others, 2009).

IEEE 802.21 también permite la recepción de información dinámica sobre el rendimiento de la red de servicio y otras redes en el rango. En otras palabras, IEEE 802.21 proporciona métodos para monitorear continuamente las condiciones de los accesos disponibles. Sin embargo, IEEE 802.21 no especifica los métodos para la recopilación de esta información en la capa de enlace.

### **3.2 Funcionalidades Habilitadoras del Handover**

IEEE 802.21 define un conjunto de funciones para habilitar el handover, especificadas a partir de los elementos existentes en la pila de protocolos

de red. De igual forma, introduce una nueva entidad lógica llamada Media-Independent Handover Function (MIHF), ubicada entre la capa de enlace y la capa de red.

MIHF es una entidad lógica que proporciona servicios a las capas superiores a través de una interfaz independiente del medio y obtiene información de las capas inferiores a través de las interfaces específicas.

En este entorno aparece el concepto de usuarios MIH (MIHUs), los cuales son abstracciones de los elementos funcionales que emplean los servicios de MIH, es decir, los consumidores de los servicios de MIH, residentes en la capa de red y superiores, como por ejemplo una aplicación encargada de gestionar la movilidad.

El MIHF abarca tres tipos de servicios (K. Taniuchi, 2009):

- **Media-independent event service (MIES).** Encargado de detectar los cambios en las propiedades de la capa de enlace y generar los informes de eventos correspondientes de las interfaces locales y remotas. Los eventos remotos se obtienen a través de la comunicación con una entidad MIHF par.
- **Media-independent command service (MICS).** Proporciona un conjunto de comandos para los usuarios MIH locales y remotos, con el fin de controlar el estado del enlace a partir de información obtenida de forma dinámica.
- **Media-independent information service (MIS).** Proporciona información estática acerca de redes vecinas, incluyendo su ubicación, propiedades y servicios relacionados. Esta información puede ser utilizada para ayudar en la toma de una decisión sobre la elección del handover objetivo o para hacer los preparativos preliminares para el traspaso.

Los servicios MIH pueden ser locales o remotos. La operación local ocurre cuando se producen dentro la pila de protocolos, mientras que la operación remota se da entre dos entidades MIHF. Por ejemplo, la comunicación a distancia puede ocurrir entre una entidad MIHF en un nodo móvil (MN) y otra entidad MIHF que se encuentra en la red.

El papel principal MIHF es ayudar en el proceso de handover y en la toma de decisión del mismo, proporcionando toda la información necesaria

para que el selector de red o las entidades de gestión de la movilidad tomen las decisiones correspondientes basadas en sus políticas internas. Estos últimos son los únicos responsables de dichas decisiones, es decir, la MIHF no busca tomar ninguna decisión con respecto a la selección de la red (P. Esa and K. Pentikousis, 2009).

### 3.3. Puntos de Acceso al Servicio (SAPs)

Los Puntos de Acceso al Servicios (SAPs) MIH, permiten a los MIHUs acceder a los servicios que provee MIHF. Para ello el estándar IEEE 802.21 los define en términos de primitivas que proporcionan información sobre sus funciones y parámetros.

Las especificaciones de 802.21 no dictan un lenguaje de programación específico para la representación de las primitivas, requiriendo a los implementadores de la MIHF definir las interfaces de programación de aplicación (API) específicas en términos del lenguaje de programación elegido (A. de la Oliva and others, 2008).

La figura 1 presenta el modelo de referencia general planteado por IEEE 802.21. Su ámbito de aplicación incluye sólo la operación de MIHF y las primitivas asociadas con las interfaces entre MIHF y otras entidades. Para esto, una interfaz individual independiente del medio, entre MIHF y MIHU (MIH\_SAP), es suficiente.

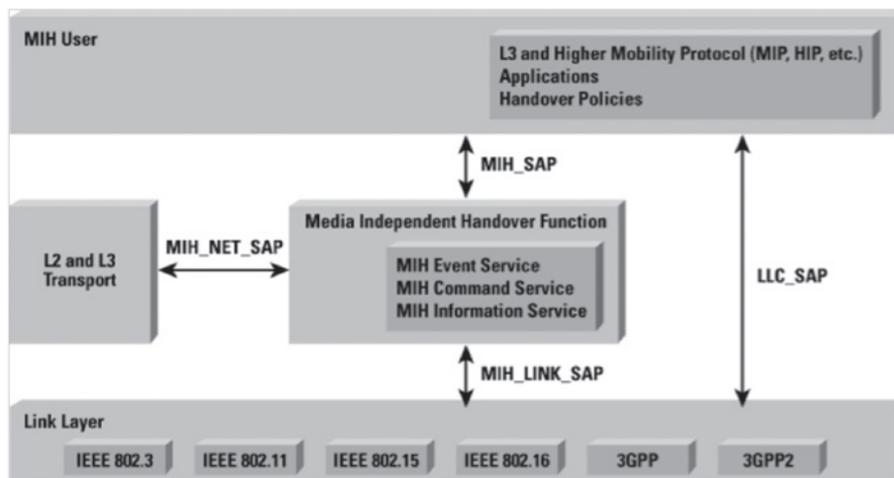


Figura 1. Modelo de referencia 802.21 (Tomado de: P. Esa and K. Pentikousis, 2009)

Por otro lado, se da la necesidad de definir de forma separada una interfaz dependiente de la tecnología entre los MIHF y las capas inferiores (MIH\_LINK\_SAP), la cual es específica para el correspondiente tipo de medio soportado.

De esta manera, las primitivas asociadas con la MIH\_LINK\_SAP habilitan a la MIHF para recibir información oportuna y coherente sobre el enlace y el control del enlace durante la operación de handover. Por ejemplo, las capas de enlace actualmente soportadas incluyen medios cableados e inalámbricos de la familia de estándares IEEE (802,3, 802,11, 802,15 y 802,16), así como los definidos por el Third-generation Partnership Project (3GPP) y Third-generation Partnership Project 2 (3GPP2). Además de estos, IEEE 802.21 especifica un SAP independiente del medio (MIH\_NET\_SAP), que proporciona servicios de transporte de Capa 2 (L2) y Capa 3 (L3) de intercambio de mensajes MIH con MIHFs remoto. Funciones sobre la LLC\_SAP no están especificadas en el estándar IEEE 802.21 (L. Boscolo and others, 2007).

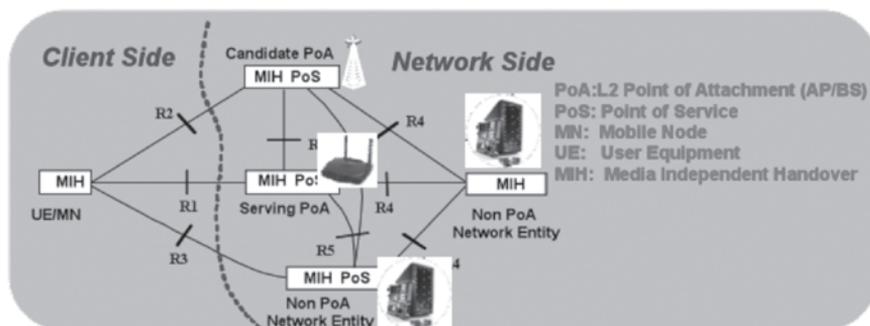
### **3.4 El Modelo de Comunicación MIH**

El modelo de comunicación MIHF especifica diferentes funciones MIHF y sus relaciones de comunicación, tales como los mecanismos de transporte soportados y las clases de servicio.

Las funciones MIHF asignadas dependen de su ubicación en la red. Por ejemplo, un MIHF en un nodo móvil puede comunicarse directamente con entidades en el lado de la red llamadas MIH PoS, utilizando comunicación de Capa 2 o Capa 3. El MIH PoS puede incluir el PoA que está prestando el servicio o los PoA candidatos. Del lado de la red, las MIHFs pueden comunicarse unos con otros a nivel 3 o superior, utilizando el protocolo MIH.

La Figura 2 muestra el modelo de comunicación de red MIH con sus entidades funcionales e interfaces asociadas. Los componentes de red se clasifican de forma general como Puntos de Conexión (PoA), donde el nodo móvil (MN) es conectado directamente a la capa 2, o no PoA.

## MIH Communication Model



Communication Reference Point	Comments	Transport	Scope 802.21
R1, R2	Between MIH on a UE and MIH PoS on serving/candidate PoA.	Usually L2	Yes
R3	Between the MIH on a UE and an MIH PoS on a non-PoA network entity	Usually L3	Yes
R4	Between MIH PoS and a non-PoS MIH Function instance in distinct Network entities	Usually L3	Yes
R5	Between MIH PoS and another MIH PoS instance in distinct Network entities	Usually L3	Yes

Figura 2. Modelo de comunicación MIH (Tomado de: A. de la Oliva and others, 2008)

Al mismo tiempo, las entidades de red MIH se pueden dividir en Puntos de Servicio (POS), que ofrecen diferentes clases de servicios de movilidad directamente al Nodo Móvil, o no-POS, que no intercambian mensajes MIH de forma directa con el MN, ya que sólo lo hacen con otras entidades de red MIH.

Las transiciones entre PoAs pertenecientes a la misma tecnología, corresponden a los handovers horizontales, descritos por cada tecnología particular. Las transiciones entre dos PoAs de diferente tecnología, corresponden a los handovers verticales, requiriendo comunicación entre capas y optimizaciones de handover. Las interfaces R1 y R2 en la figura 3, se especifican normalmente en la capa dos, mientras que las interfaces R3, R4 y R5 se especifican en la capa tres con el fin de mantener independencia de las tecnologías (Malek, 2009).

## 4. DESARROLLO DEL MÓDULO MIIS

De acuerdo con el fundamento teórico presentado en las secciones anteriores y las especificaciones del estándar, dentro del proyecto se

desarrolló el módulo MIIS para complementar la implementación que del IEEE 802.21 hizo en su momento la Advanced Network Technologies Division del National Institute of Standards and Technology (NIST) (NIST, 2007).

Para documentar el desarrollo del producto, se utilizarán algunos elementos presentados previamente en el artículo “Propuesta de implementación de los Servicios de Información (MIIS) de 802.21 como soporte al Handover en redes vanet” (Fletscher & Gómez, 2010) y se complementarán con otros específicos de la codificación realizada para representar los diferentes elementos del estándar.

En general, el proceso necesario para la implementación implicó:

1. **Definir los elementos de información (IEs).** El estándar propone un conjunto de elementos de información que se manejarán en el MIIS, por este motivo, el primer paso consiste en identificar, de acuerdo a las necesidades particulares del proyecto, cuáles elementos de información se manejarán y cuál es la mejor forma de representarlos.
2. **Definir la estructura de almacenamiento e intercambio de los elementos de información.** De acuerdo al tipo de consulta a utilizar los elemento de información deben manejar un formato determinado para su envío, para ello es necesario especificar las estructuras de datos que los almacenarán.
3. **Implementar las primitivas MIIS para garantizar el intercambio de mensajes.** Para lograr un intercambio de mensajes fluido entre el nodo móvil y la MIHF, se debe garantizar como mínimo contar con las primitivas del grupo MIH\_Get\_Information. Este grupo de primitivas está compuesto por MIH\_Get\_Information.request, MIH\_Get\_Information.response y MIH\_Get\_Information.conf. Esto implica la adición de nuevas funciones a los archivos fuente en C/C++ desarrollados por el NIST.
4. **Probar el desarrollo realizado en diferentes escenarios.** Finalmente es necesario probar el funcionamiento del nuevo MIHF en diferentes entornos, para garantizar de esta forma un desarrollo general que pueda servir en futuros proyectos de investigación.

#### 4.1 Detalles de la Implementación

Como se mencionó previamente, la implementación del MIHF realizada por el NIST es una extensión de la clase Agente definida en NS-2. Su

estructura general está compuesta por una serie de archivos desarrollados en lenguaje C/C++, entre los que se destaca el archivo mih.cc que contiene parte correspondiente a la MIHF y en cuyo interior se han adicionado las funciones que implementan el MIIS.

Para la implementación del MIIS se modificaron los archivos handover-1.cc, handover-1.h, mih.cc, mih.h, mih-user.cc, mih-user.h y mih-types.h, manteniendo los lineamientos de desarrollo definidos por el NIST y tratando de establecer un intercambio de mensajes coherente con lo consignado en el estándar. (Fletscher & Gómez, 2010).

#### **4.1.1 Definición de los Elementos de Información (IEs: Information Elements)**

En esta etapa fue fundamental combinar las propuestas del estándar con las necesidades de información del proyecto SEISCIENTOS, análisis que desembocó en determinar que los elementos de información con que se trabajaría, serían los que muestra la tabla 1 junto a la codificación realizada para cada uno de ellos.

Tabla 1. Elementos de información seleccionados para el proyecto. Fuente: (Fletscher & Gómez, 2010)

Nombre	Descripción	Tipo de dato	Codificación C/C++
<b>Elementos de información de carácter General</b>			
1. IE_NETWORK_TYPE	Tipo de enlace de las redes de acceso disponibles en un área geográfica dada	NETWORK_TYPE	typedef struct { u_int LINK_TYPE; } NETWORK_TYPE;
2. IE_OPERATOR_ID	Identificación del operador. Incluye el nombre del operador y un código de identificación.	OPERATOR_ID	typedef struct { char OP_NAME [32]; u_int OP_NAMESPACE; } OPERATOR_ID ;
<b>Elementos de información específicos de la red de acceso</b>			
3. IE_NETWORK_ID	Identificador de la red de acceso	NETWORK_ID	typedef char NETWORK_IDS [32];
4. IE_COST	Indica el costo por el uso del servicio o la red. Incluye la unidad de medición, el valor por unidad y la moneda en que se tarificará.	COST	typedef struct { u_int COST_UNIT; float COST_VALUE; char COST_CURR [4]; } COST ;
5. IE_NETWORK_DATA_RATE	Es el valor máximo de la tasa de datos soportada por el enlace de datos o la red de acceso	DATA_RATE	typedef u_int NETWORK_DATA_RATE;
<b>Elementos de información de interés para el proyecto SEISCIENTOS</b>			
6. IE_SECURITY_OPEN_AUTH	Si se permite realizar una autenticación abierta (open authentication).	bool	typedef bool SEC_OPEN_AUTH;
7. IE_SECURITY_PASSWORD	Si se permite realizar una autenticación basada en passwords.	bool	typedef bool SEC_PASSWORD;
8. IE_SECURITY_EAP_REAUTH	Si existe soporte para reautenticación.	bool	typedef bool SEC_EAP_REAUTH;
9. IE_SECURITY_EAP_PREAUTH	Si existe soporte para preautenticación.	bool	typedef bool SEC_EAP_PREAUTH;
10. IE_SECURITY_AUTH_TIME	Tiempo medio de autenticación medido	Float	typedef float SEC_AUTH_TIME;

La codificación de estos elementos de información se realizó de acuerdo a los tipos abstractos de datos definidos en el anexo F del estándar y se incluyó en el archivo mih-types.h, el cual almacena los tipos de datos que el NIST planteó para el desarrollo del módulo MIH.

### 4.1.2 Definición de los Container Network

El estándar define dos métodos para enviar los requerimientos de información, el TLV y el RDF, seleccionando para el desarrollo de este proyecto el TLV por ser más eficiente en el manejo de los datos y el procesado de la información (Antohe C., 2009).

En el esquema TLV, los denominados Container Network juegan un papel importante; consisten en una estructura diseñada para almacenar los elementos de información referentes a una red de acceso determinada. Para la implementación de los Container Networks, se siguió el esquema planteado en la figura 3 y se realizó la codificación mostrada en la tabla 2. Dicha codificación se incluye en el archivo mih-types.h (Fletscher & Gómez, 2010).

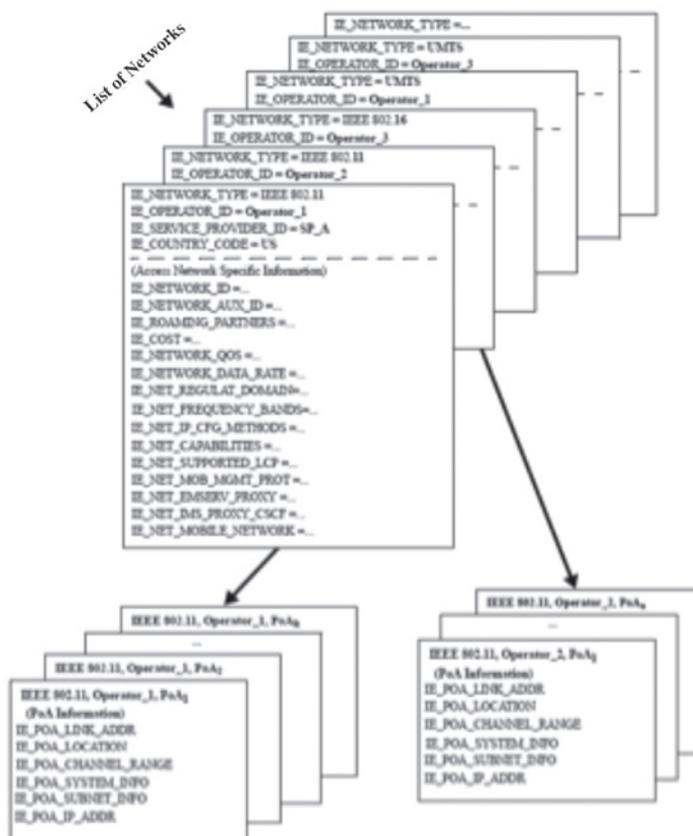


Figura 3. Estructura para el manejo de información sobre las redes vecinas. Fuente: (IEEE, 2008).

Tabla 2. Definición del Container Network. Fuente: (Fletscher & Gómez, 2010)

Nombre	Descripción	Codificación C/C++
1. IE_CONTAINER_NETWORK	Contiene la información que describe la red de acceso.	<pre> typedef struct {     NETWORK_TYPE IE_NETWORK_TYPE;     OPERATOR_ID IE_OPERATOR_ID;     NETWORK_IDs IE_NETWORK_ID;     COST IE_COST;     NETWORK_DATA_RATE     IE_NETWORK_DATA_RATE;     SEC_OPEN_AUTH IE_SEC_OPEN_AUTH;     SEC_PASSWORD IE_SEC_PASSWORD;     SEC_EAP_REAUTH IE_SEC_EAP_REAUTH;     SEC_EAP_PREAUTH IE_SEC_EAP_PREAUTH;     SEC_AUTH_TIME IE_SEC_AUTH_TIME; } CONTAINER_NETWORK;                     </pre>

### 4.1.3 Implementación de las Primitivas MIIS

El proceso de envío de un requerimiento al MIIS y su consecuente respuesta, sigue el flujo de información presentado en la figura 4, dicho flujo fue el que se codificó para poder llevar a cabo los posteriores procesos de simulación.

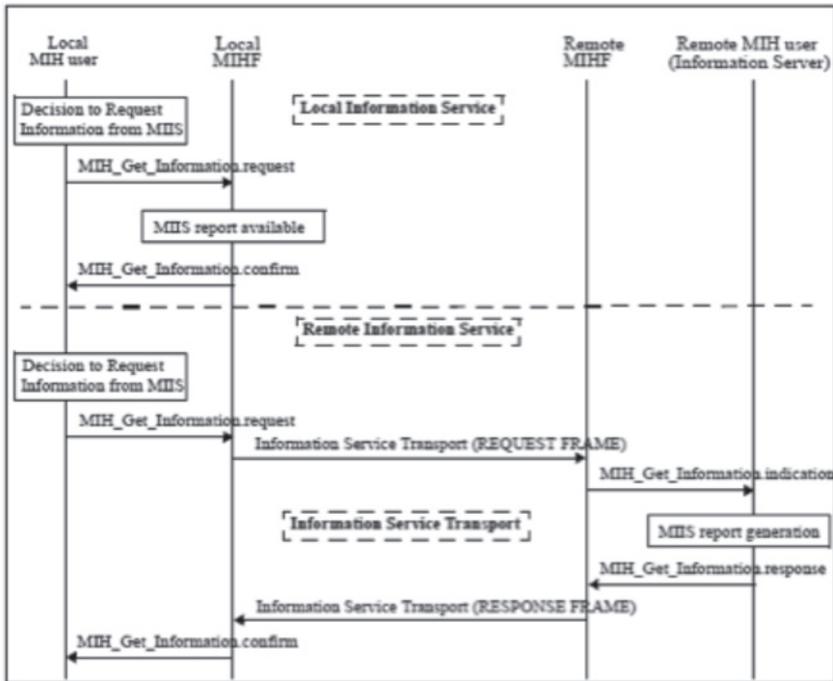


Figura 4. Flujo de información en MIIS. Fuente: (IEEE, 2008)

El intercambio de mensajes y gestión de los requerimientos se manejan desde el archivo `mih.cc` utilizando una estructura de selección múltiple que de acuerdo a la información contenida en el encabezado de los paquetes MIH, realiza el llamado a la función respectiva.

Esta implementación se presenta en el siguiente segmento de código.

```

case MIH_MSG_GET_INFORMATION:
    assert (mh->hdr.mih_service_id==MIH_INFORMATION_SERVICE);
    if (mh->hdr.mih_opcode == MIH_REQUEST)
        rcv_msg_get_info_req ( p);
    else if (mh->hdr.mih_opcode == MIH_RESPONSE)
        rcv_msg_get_info_rsp ( p);
    else {
        fprintf (stderr, "rcv in MIHAgent: Invalid opcode for MIH_MSG_GET_
INFORMATION\n");
        exit (1);
    }
    break;

```

A continuación se presenta una descripción de las primitivas y las funciones utilizadas en su implementación.

- **MIH\_Get\_Information.request.** Esta primitiva es utilizada por un usuario MIH cuando requiere solicitar información a través del MIIS. Para su implementación se desarrollaron las siguientes funciones:
  - o **void send\_msg\_get\_info\_req (MIHUserAgent \*user, Mac \*mac)**

Esta función es invocada dentro del módulo `handover-1.cc` e implementada en el archivo `mih.cc`. La invocación a la función se realiza de la siguiente forma:

```
mih_->send_msg_get_info_req (this, mac);
```

Su propósito es generar el requerimiento de información por parte del nodo móvil y enviarlo a la MIHF. Los parámetros que recibe son el usuario MIH que genera el requerimiento y la dirección MAC de la interfaz activa a través de la cual se hace el envío. El requerimiento se envía utilizando el formato de paquete definido por el NIST, pero cambiando dentro de su encabezado el identificador respecto al tipo de información que lleva, tal como se observa a continuación.

```
mihh->hdr.protocol_version = 1;
```

```

mihh->hdr.mih_service_id = MIH_INFORMATION_SERVICE;
mihh->hdr.mih_opcode = MIH_REQUEST;
mihh->hdr.mih_aid = MIH_MSG_GET_INFORMATION;

```

De igual forma, con este paquete se crea el requerimiento y se establece un estatus de pendiente dentro del planificador.

```

    struct mih_pending_req * new_req = (mih_pending_req*) malloc
(sizeof(mih_pending_req));
    new_req->user = user;
    new_req->pkt = p;
    new_req->retx = 0;
    new_req->timeout = mihmib_.cs_timeout_;
    new_req->waitRsp = true;
    new_req->l2transport = false;
    new_req->mac = mac;
    new_req->tid = mihh->hdr.transaction_id;
    //scheduler timer
    new_req->timer = new MIHRequestTimer (this, mihh->hdr.transaction_
id);
    new_req->timer->sched (mihmib_.cs_timeout_);
    pending_req_.insert (make_pair (mihh->hdr.transaction_id, new_req));

```

o **void** *recv\_msg\_get\_info\_req* (Packet\*)

Esta función, implementada en el archivo mih.cc, se encarga de recibir el requerimiento de información y enviar una respuesta. Para ello y luego de que le es entregado el paquete, verifica el tipo de requerimiento que se hace desde el usuario MIH y si no detecta algún problema procede a generar el paquete de respuesta, cambiando en el encabezado la información respectiva.

```

mihh_res->hdr.protocol_version = 1;
mihh_res->hdr.mih_service_id = MIH_INFORMATION_SERVICE;
mihh_res->hdr.mih_opcode = MIH_RESPONSE;
mihh_res->hdr.mih_aid = MIH_MSG_GET_INFORMATION;

```

Una vez estructurado el paquete, se procede a consultar la base de datos del MIIS y a guardar la información solicitada (los IEs) en los campos definidos para tal fin dentro de la carga útil. Seguidamente se cierra la consulta al MIIS y se envía el paquete con la respuesta.

El siguiente segmento de código muestra un ejemplo de la asignación de un IE al paquete MIH (p\_res) y el posterior proceso de envío de la respuesta

```
(mihh_res->payload.mih_get_information_rsp_).InfoResponseBinaryDataList[j].
IE_SEC_AUTH_TIME
    = IE_CONTAINER_NETWORK_S [j].IE_SEC_AUTH_TIME;
...
    ficheroi.close();
    debug("At %f in %s MIH Agent sending Get Information response\n",
        NOW, MYNUM);
send(p_res, 0);
```

- **MIH\_Get\_Information.response.** Esta primitiva es utilizada por el usuario MIH para responder al requerimiento de información y entregárselo al usuario MIH que lo generó. La definición de la función encargada de proveerla se encuentra en el archivo mih.h y su implementación en el archivo mih.cc

o **void** *recv\_msg\_get\_info\_rsp* (*Packet\**);

Esta función recibe como parámetro el paquete con la respuesta, lo procesa y se lo envía al usuario que generó el requerimiento, utilizando un llamado a la función encargada de confirmar la recepción de la información. Una vez realizada esta labor, elimina el requerimiento de la lista de tareas y libera el paquete.

```
if (req != NULL) {
    req->user->process_get_info_confir (mihh);
    clear_request (req);
}
```

```
Packet::free (p);
```

- **MIH\_Get\_Information.confirm.** Esta primitiva es utilizada para confirmar la recepción de la información por parte del nodo móvil. La función que la implementa se encuentra definida en el archivo handover-1.h y su implementación está en el archivo hanover-1.cc.

o **void** *process\_get\_info\_confir* (*hdr\_mih \*mihh*)

Esta función está encargada de recibir la información, generar el mensaje de confirmación y proceder a desplegar los datos obtenidos del MIIS, terminando de esta forma el flujo de mensajes definidos para el proceso.

## 5. SIMULACIÓN Y RESULTADOS OBTENIDOS

Buscando ilustrar el funcionamiento del estándar IEEE 802.21, a

continuación se presenta el escenario de prueba utilizado sobre el simulador de eventos discretos Network Simulator 2 (NS2), en el que es posible observar inicialmente la interoperabilidad de un nodo multiinterfaz y tecnologías UMTS, 802.11 y 802.16, evidenciando de esta forma cómo se pueden dar procesos de handover entre tecnologías heterogéneas con los protocolos actuales y los SAPs definidos por MIH.

El escenario propuesto (Figura 4), incluye una conexión TCP entre el router 0 y el nodo Multiinterfaz, de tal forma que:

1. El nodo inicia su movimiento manejando el tráfico a través de la interfaz UMTS.
2. El nodo móvil envía un MIH\_Get\_Status al MIHF local para comprobar el estado de los servicios disponibles.
3. Con la información sobre las interfaces, el nodo móvil envía al MIHF un Get\_Information\_Request y desencadena el proceso de consulta al MIIS.
4. El MIHF envía la información contenida en la base de datos al nodo móvil quien continúa con su movimiento a través de las diferentes redes.
5. El nodo ingresa en la red IEEE 802.16, recibiendo un Link Detected trigger por parte de la MIHF.
6. A partir del trigger recibido, el MIH User del nodo móvil verifica la información del enlace, determina que ésta es mejor y redirecciona el tráfico a la nueva red.
7. Este proceso se repite de tal forma que el nodo móvil recorre la red 802.11 y posteriormente regresa a la red IEEE 802.16, tomando la decisión de handover en cada caso, a partir de los triggers recibidos del MIHF.

Si se desea mayor información sobre este proceso y la comprobación de su funcionamiento es posible consultar (Flétscher & Gómez, 2010).

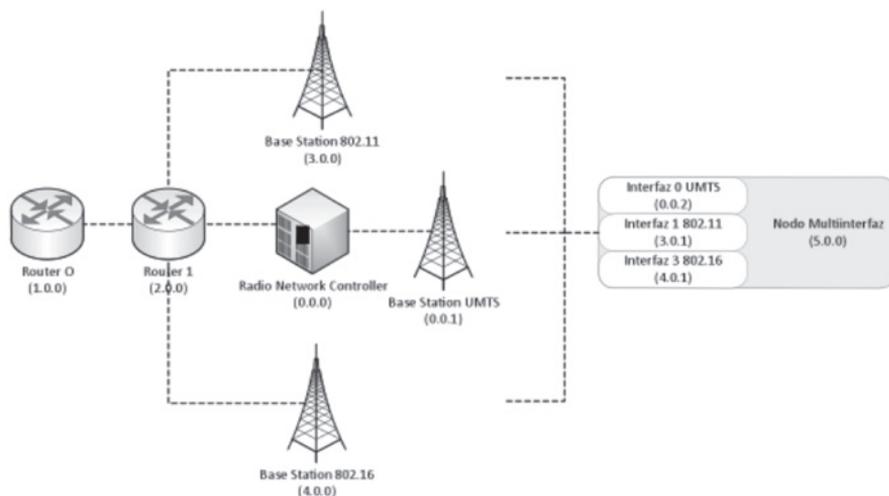


Figura 4. Escenario de movilidad con múltiples tecnologías de acceso.  
Fuente: Elaboración propia

Tal como se presenta en (Flétscher & Gómez 2010), una vez realizada la simulación, se obtuvo un archivo tipo trace que muestra el intercambio de paquetes entre los diferentes actores del modelo. El análisis del intercambio de paquetes MIH entre los diferentes elementos se llevó a cabo con el software Trace graph en su versión 2.05, desarrollado por Jaroslaw Malek (Jaroslaw Malek, 2009), el cual permite estudiar los archivos trace arrojados por NS-2 como producto de las simulaciones. Para una mejor comprensión de los gráficos, en la Tabla 1 se presenta la identificación de cada uno de los elementos del escenario prueba, de acuerdo al esquema de direccionamiento jerárquico que se utiliza NS-2.

Tabla 1. Identificación de los elementos en trace graph. Fuente: Elaboración propia

Elemento	Identificador	Elemento	Identificador	Elemento	Identificador
Nodo Móvil (8.0.0)	9	Interfaz WiFi (4.0.1)	7	Interfaz WiMAX (2.0.2)	6
Access Point 2 (5.0.0)	5	Access Point 1 (4.0.0)	4	Base Station 2 (3.0.0)	3
Base Station 1 (2.0.0)	2	Router 1 (1.0.0)	1	Router 0 (0.0.0)	0

De igual forma, la Figura 5 muestra el envío de paquetes MIH entre los puntos origen y destino, al igual que la manera en que los demás

nodos sirven de intermediarios en el flujo MIH, apreciándose el papel que cumplen las diferentes interfaces y los puntos de acceso a través de todo el proceso.

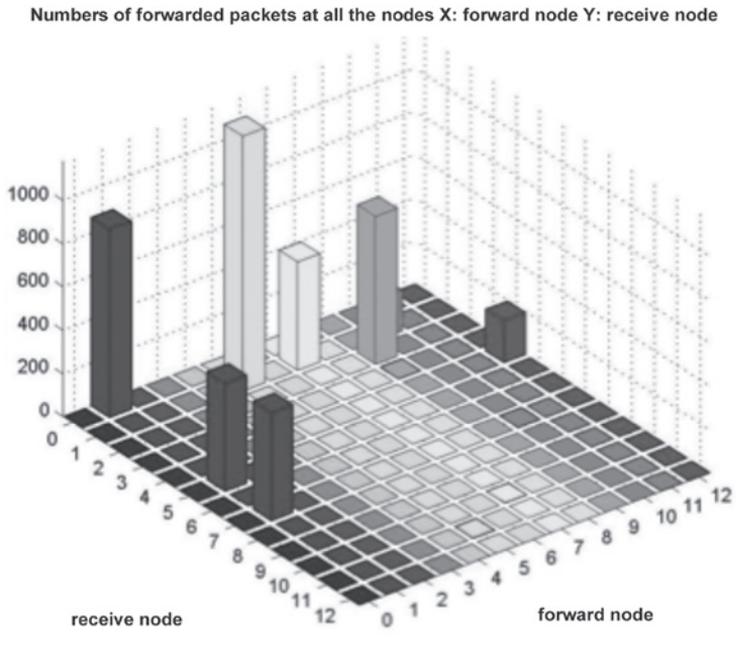


Figura 5. Reenvío de paquetes MIH entre los diferentes nodos.  
Fuente: Elaboración propia

## 6. CONCLUSIONES

Es importante ver cómo los requerimientos de los usuarios se configuran como uno de los orientadores más importantes del mercado, apareciendo en la actualidad exigencias mayores en cuanto a capacidad, ubicuidad y flexibilidad, lo que sumado a la diversidad de estándares de comunicación inalámbrica existentes, hacen imperativo el despliegue de soluciones de coexistencia e interoperabilidad encaminadas a garantizar el adecuado aprovechamiento de los recursos disponibles.

En este entorno, MIHS se presenta como una buena solución a los problemas actuales, garantizando la coexistencia entre tecnologías y permitiendo crear un marco de trabajo estándar que facilite la interoperabilidad a nivel de capa 2. Sin embargo, se requiere dedicar esfuerzos en su implementación y en la consolidación de las tecnologías de capas superiores que van a aprovechar las funcionalidades proporcionadas por 802.21.

Si bien en ambientes homogéneos el handover puede ser hecho teniendo en cuenta criterios de nivel de señal, para ambientes heterogéneos, donde la topología está conformada por varios tipos de tecnología, la decisión del handover depende de un cúmulo de características que deben ser cuidadosamente definidas en políticas que permitan aprovechar las bondades de cada una de las tecnologías presentes y beneficien al usuario final.

Como resultado principal del proyecto se cuenta la inclusión del módulo MIIS dentro del desarrollo del NIST, el cual fue probado en diversos escenarios en los que tuvo el desempeño esperado. Este módulo permite el intercambio de datos entre el MIHF y el nodo móvil en ambientes de simulación 802.21 sobre NS-2, proporcionando una fuente de información adicional a la entidad encargada de tomar la decisión de handover.

Particularmente, la solución desarrollada permite que los grupos de investigación integren nuevas características a las redes involucradas en la simulación, mediante la creación de una base de datos que contendrá diversos elementos de información y permitirá ampliar la gama de factores que intervendrán en la toma de decisiones de handover.

De igual forma, se logró representar el intercambio de mensajes y elementos de información, de acuerdo al formato y flujo de datos definido por el Media Independent Information Service de 802.21. Todo esto se realizó dentro del entorno que previamente había establecido el NIST, manteniendo así su estructura general, lo que permitirá hacer futuras mejoras y desarrollos sobre esta implementación.

## BIBLIOGRAFÍA

- Antohe C. ***“Practical Approach of Implementing Media Independent Information Service from IEEE 802.21 Standard”***. Wireless Communication, Vehicular Technology, Information Theory and Aerospace & Electronic Systems Technology, 2009. Wireless VITAE 2009. 1st International Conference on Publication Date: 17-20 May 2009.
- De la Oliva and others (2009). ***“A case study: IEEE 802.21 Enabled Mobile Terminals for Optimized WLAN/3G Handovers”***. Mobile Computing and Communications Review, Volume 1, Number 2

- De la Oliva and others (2008), August. **“An Overview of IEEE 802.21: Media Independent Handover Services”**. IEEE Wireless Communications.
- E. Gustafsson and A. Jonsson (2003), February. **“Always Best Connected”**, IEEE Wireless Communications, Volume 10, No. 1.
- Flétscher & Gómez (2010), Diciembre. **“Propuesta de Implementación de los Servicios de Información (MIIS) de 802.21 como soporte al Handover en Redes Vanet”**. Revista Ingeniería y desarrollo, N. 28: Universidad del Norte.
- IEEE (2008). IEEE Std 802.21™-2008. **IEEE Standard for Local and metropolitan Area Networks – Part 21: Media Independent Handover Services**. IEEE Computer Society.
- Jaroslaw Malek, (2009). Trace graph. (<http://www.tracegraph.com>, <http://www.geocities.com/tracegraph>).
- K. Taniuchi (2009), January. **“IEEE 802.21: Media Independent Handover: Features, Applicability, and Realization”**. IEEE Communications Magazine.
- L. Boscolo and others (2007). **“IEEE 802.21 Reliable Event Service Support for Network Controlled Handover Scenarios”**. IEEE GLOBECOM 2007 proceedings, IEEE 2007.
- NIST – National Institute of Standards and Technology (2009). **Advanced Network Technologies Division. Seamless and Secure Mobility Project**. (<http://w3.antd.nist.gov/seamlessandsecure/>)
- P. Esa and K. Pentikousis (2009), June. **“IEEE 802.21”, The Internet Protocol Journal**, Volume 12, No.2.