

Handoff Vertical: Aproximaciones Cross- Layer (Noviembre 2009)

Hernán Francisco Villar, *MIEEE*,
Natalia Gaviria, *MIEEE*

Resumen. -Este artículo presenta un estado del arte acerca del proceso de Handoff en redes heterogéneas, el cual se conoce como Handoff vertical. Se presentan las distintas técnicas aplicadas en el Handoff vertical y se hace una revisión sobre las últimas estrategias del proceso, conocidas como aproximaciones Cross-Layer. Esta revisión permite realizar un análisis sobre los distintos métodos aplicados al proceso del Handoff vertical, de acuerdo con los tiempos de implementación, el tipo de Handoff y los criterios base para tomar la decisión.

Abstract. -This paper presents the state of the art about the process of Handoff in heterogeneous networks, which is known as Vertical Handoff. We present the different techniques applied in the vertical Handoff and we review the latest strategies on the process, known as Cross-Layer approaches. This review will allow for an analysis of the different methods applied to the vertical Handoff process in accordance with implementation times, the type of Handoff and criteria for the decision.

H. F. Villar trabaja en Tecnoparque Colombia - SENA nodo Medellín, sede Av. Oriental, Colombia, donde desarrolla actividades como Asesor de Proyectos Productivos en la línea de Electrónica, área de Telecomunicaciones. (correo e.: hernanvillar@gmail.com).
N. Gaviria (correo e.: ngaviria@gmail.com)

Palabras clave: Handoff vertical (*Vertical Handoff*), Redes heterogéneas (*Heterogeneous Networks*), Aproximaciones Cross-Layer (*Cross-Layer Approaches*), Movilidad (*Mobility*).

I. Introducción

Con el amplio despliegue de tecnologías de acceso inalámbrico, terminales móviles y servicios para redes de datos que favorecen un acceso ubicuo a la información, la movilidad se ha vuelto un tema de gran popularidad entre el público que busca tener al alcance de su mano, donde sea y cuando sea, todos los servicios con los que cuenta desde una conexión fija en la computadora de su hogar u oficina [1]. El desarrollo de múltiples servicios basados en redes IP ha planteado un gran reto para las múltiples redes de acceso inalámbrico desplegadas, los terminales móviles actuales, y la forma como estos interactúan para permitir a los usuarios hacer uso de toda esta infraestructura que puede ayudar a ese deseo de ubicuidad en el acceso a la información y a los servicios.

Buscando dar solución a estas necesidades de movilidad que presentan los usuarios se han desarrollado técnicas como el Handoff, que permiten a los usuarios de los sistemas de comunicaciones desplazarse libremente entre redes de acceso basadas en distintas tecnologías inalámbricas [2]. Busca hacer un amplio uso de la infraestructura desplegada, y en algunos casos, optimizar el acceso de los distintos usuarios de acuerdo con los tipos de servicios que estos requieren.

Este artículo presenta un estado del arte acerca del proceso de Handoff en redes heterogéneas, el cual se conoce como Handoff vertical. Se presentan las distintas técnicas aplicadas en el Handoff vertical y se hace una revisión sobre las últimas estrategias del proceso, conocidas como aproximaciones Cross-Layer. Esta revisión permite hacer un análisis sobre los distintos métodos aplicados al proceso del Handoff vertical, de acuerdo con los tiempos de implementación, el tipo de Handoff y los criterios base para tomar la decisión.

El trabajo se encuentra organizado de la siguiente forma: La Sección II presenta el Handoff y las distintas clasificaciones de este. La Sección III describe el proceso del Handoff vertical y la forma como este se caracteriza e implementa. La Sección IV presenta y analiza las distintas estrategias de Handoff basadas en aproximaciones tradicionales. En la Sección V se describen y analizan las estrategias de Handoff basadas en aproximaciones del tipo Cross-Layer. La Sección VI presenta un análisis comparativo entre las distintas estrategias de Handoff revisadas en las secciones anteriores. Finalmente, se presentan las conclusiones de este trabajo y se plantean algunas perspectivas futuras.

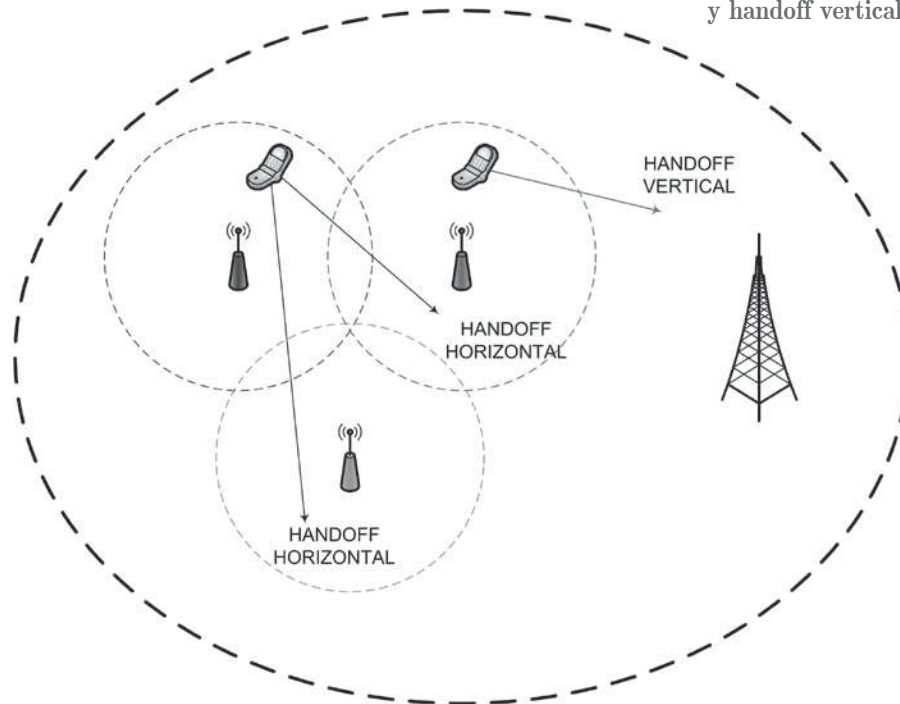
II. Handoff

Handoff es el proceso mediante el cual un terminal móvil mantiene activa su conexión cuando pasa de la cobertura de un punto de acceso a la de otro. El proceso de Handoff tiene diferentes clasificaciones[1][2], las cuales se relacionan con los tipos de sistema entre los que ocurre el cambio de conexión, la planificación de dicho cambio, la forma como esta se mantiene al pasar de una red a otra y el punto del sistema donde se toma la decisión de Handoff (Ver Tabla 1). En la figura 1 se muestra una configuración típica de redes entre las cuales se puede iniciar un proceso de Handoff [3].

A. Handoff horizontal y Handoff vertical

Esta clasificación del Handoff está relacionada con los sistemas y puntos de acceso entre los cuales se implementa. El Handoff horizontal ocurre cuando el terminal se mueve a través de puntos de acceso dentro de un mismo sistema, tal como ocurre en las redes de telefonía móvil. El Handoff vertical se presenta cuando el terminal móvil cambia la conexión entre sistemas o puntos de acceso de redes o tecnologías diferentes, tal es el caso de pasar de una red de telefonía móvil a una red WLAN (Wireless Local Area Network) [4]. En la figura 1 se muestra la forma en que ocurren los procesos de Handoff horizontal y Handoff vertical para varias redes heterogéneas superpuestas.

Figura 1. Redes Heterogéneas superpuestas. Procesos de handoff horizontal y handoff vertical.



B. Handoff Anticipado y Handoff no Anticipado

De acuerdo a la planeación, se presentan el Handoff Anticipado y el Handoff no Anticipado. En el primer caso, siempre se da la escogencia del punto de acceso al cual se va a realizar el cambio de conexión, de acuerdo con medidas que toma el terminal móvil de la red. El Handoff anticipado básicamente depende del criterio de decisión del terminal móvil y muchas veces se presenta teniendo en cuenta los niveles de cobertura de las redes disponibles [1].

C. Handoff Fuerte y el Handoff Suave

Al realizar un análisis de la forma como se mantiene la conexión con la red, el Handoff se clasifica en Fuerte y Suave. El primero se caracteriza porque el terminal móvil sólo está en capacidad de mantener conexión con un punto de acceso al tiempo, por lo que al momento de cambiar de sistema es necesario esperar la negociación de conexión con otro. El Handoff suave, por el contrario, se presenta cuando el terminal móvil cuenta con más de una interfaz de radio y puede mantener conexión con distintos puntos de acceso, por lo que al momento de implementar el cambio de conexión, ya ésta se encuentra establecida [1][3].

D. Handoff Controlado por el Móvil, Handoff Controlado por la Red y Handoff Asistido por el Móvil

Si se tiene en cuenta el punto del sistema donde se toma la decisión para implementar el cambio de conexión, se encuentra el Handoff controlado por el móvil (MCHO – Mobile Controlled Handoff), el Handoff controlado por la red (NCHO – Network Controlled Handoff) y el Handoff asistido por el móvil (MAHO – Mobile Asisted Handoff). Tal como se indica en cada caso, en la decisión del proceso intervienen el terminal móvil, las redes entre las que se da el cambio de conexión y tanto la red como el terminal móvil, respectivamente [1].

E. Handoff Obligado y Handoff de Usuario

Al analizar los motivos que impulsan a tomar la decisión del Handoff se encuentra el Handoff obligado y el Handoff del usuario [5]. En el primero se toma la decisión de implementar Handoff de acuerdo con las condiciones y disponibilidad de redes. En el segundo caso, la decisión se da de acuerdo con las preferencias del usuario, y generalmente de caracteriza por la posibilidad de decidir entre múltiples redes para implementar el Handoff.

Tabla 1
Clasificaciones del proceso de handoff

Tipo de sistema donde se presenta	Handoff Vertical Handoff Horizontal
Forma en que se planifica	Handoff Anticipado Handoff no Anticipado
Conexión del terminal con la red	Handoff Fuerte Handoff Suave
Punto donde se toma la decisión	Handoff controlado por la red Handoff controlado por el móvil Handoff asistido por el móvil
Posibilidad de decisión	Handoff Obligado Handoff de Usuario

III. Handoff vertical

Como se mencionó anteriormente, el Handoff Vertical está relacionado con el cambio de conexión de un terminal móvil entre distintas redes heterogéneas superpuestas [5]. Muchas veces este proceso se decide desde el terminal móvil y está relacionado con las características de las redes y los tipos de aplicaciones que se ejecutan en los dispositivos.

Así como el proceso de Handoff tiene múltiples clasificaciones, en el Handoff vertical encontramos dos procesos que relacionan la forma como se hace el cambio de un sistema a otro; el Handoff Vertical hacia Arriba y el Handoff Vertical hacia Abajo. El primero se da cuando el terminal móvil se mueve entre dos redes superpuestas, pasando de una red de menor cobertura y mayor ancho de banda a una de mayor cobertura y menor ancho de banda. El segundo caso se da con condiciones opuestas al primero [1][6][7].

El proceso del Handoff vertical se compone de varias fases, las cuales deben ser desarrolladas para asegurar conexión al momento de cambiar de sistema. Varios autores plantean un proceso de tres fases [1][5][8][9], como se describe a continuación: Búsqueda de información para el Handoff, Decisión del Handoff e Implementación del Handoff.

A. Búsqueda de información para el Handoff

En esta fase del proceso de Handoff, el terminal móvil, generalmente equipado con múltiples interfaces de radio, realiza una búsqueda de las redes que están disponibles,



a las cuales se puede establecer el cambio de conexión [5]. También en esta etapa el terminal móvil revisa parámetros de las redes disponibles como throughput, QoS (Quality of Service – Calidad de Servicio), RSS (Received Signal Strength – Nivel de Señal Recibido), SNR (Signal to Noise Ratio – Relación Señal a Ruido), BER (Bit Error Rate – Tasa de Errores de Bit), costos del servicio, entre otros, los cuales permitirán tomar la decisión del Handoff, como se revisará más adelante.

Para este proceso de búsqueda de información, el terminal móvil debe tener encendidas las distintas interfaces de red que tiene disponibles, por lo que en esta fase es importante controlar el consumo de potencia en la batería del terminal [1].

B. Decisión del Handoff

La decisión del Handoff es una etapa en la que se planea cuándo y cómo se debe implementar el Handoff [5]. Esta decisión depende de varios parámetros de las redes (ancho de banda de la red, cobertura, calidad de servicios, tráfico, etc.) disponibles para que el terminal móvil realice el proceso de Handoff [1] (Ver tabla 2).

Existen varias estrategias al momento de tomar la decisión de implementar el Handoff. En las estrategias tradicionales, como las aplicadas en el Handoff horizontal, el factor que tiene mayor influencia al momento de tomar la decisión de implementar el Handoff es la **calidad de la señal recibida**, lo cual se refleja ha sido el nivel de la señal y la disponibilidad de recursos en la red [1].

Cuando el proceso de Handoff se presenta entre redes heterogéneas se conoce como **Handoff de nueva generación**, y en él se utilizan técnicas donde la potencia de la señal recibida no es el factor más importante, apareciendo entonces una serie de aspectos que influyen en la decisión [5]. Estos criterios de selección están determinados por varios factores, entre los que encontramos:

1. **Condiciones de la red:** Cobertura, ancho de banda disponible, RSS, SNR, tráfico, latencia, niveles de seguridad, tarificación de servicios, BER, entre otros.
2. **Condiciones del terminal móvil:** Velocidad del terminal, localización, patrones de movimiento, entre otros.
3. **Tipo de aplicaciones:** Ancho de banda requerido, los tiempos de latencia soportados, QoS, entre otros.
4. **Preferencias del usuario:** Preferencias y perfiles de usuario, entre otros.

C. Implementación del Handoff

En la fase de implementación del Handoff se ejecuta el proceso de acuerdo con los criterios tenidos en cuenta en la etapa de decisión. En esta parte se requiere transferir toda la información del usuario a una red distinta, a fin de reubicar la conexión en

un punto de acceso nuevo, para continuar con la transferencia de información desde el terminal móvil [1].

Lo anterior implica que es muy importante realizar la transferencia de información contextual de la conexión (autenticación, políticas de seguridad, nivel de QoS, entre otros), la cual permite disminuir los retardos para reanudar el tráfico desde el terminal móvil y así disminuir la latencia del proceso [1]. Esto es muy importante cuando se están soportando servicios de voz o similares, los cuales requieren que los tiempos de retardo sean mínimos.

La transferencia de la información contextual de la conexión o simplemente Transferencia del Contexto (Context Transfer) es una solución propuesta por Internet Engineering Task Force (IETF) Seambody Working Group a fin de disminuir los tiempos empleados en el Handoff. Esta solución plantea el envío de la información relacionada con el flujo de datos del terminal móvil, por parte del punto de acceso inalámbrico actual al siguiente a través de una red alamburada, con lo que no se utiliza el ancho de banda disponible en la red en el envío de información de control. De igual manera, para evitar los retrasos relacionados con el Handoff, la información almacenada en el punto de acceso acerca del estado de los protocolos puede ser transferida a la nueva red, con lo que se reducen los tiempos necesarios para reinicializar los servicios activos [1].

Tabla 2
Estrategias de decisión en el proceso de handoff

	Handoff tradicional	Handoff de nueva generación
Tipos de red	Redes homogéneas, donde se manejan los mismos tipos de enlaces inalámbricos.	Redes heterogéneas, con múltiples accesos inalámbricos de tecnologías distintas.
Tipos de terminales	Terminales con interfaces inalámbricas simples, para acceso a un único tipo de red.	Terminales multimodo, los cuales cuentan con múltiples interfaces de red y están habilitados para la operación en entornos heterogéneos.

	Handoff tradicional	Handoff de nueva generación
Decisión del Handoff (parámetros evaluados)	RSS y disponibilidad de recursos de la red.	RSS, velocidad del terminal, nivel de la batería, servicios y aplicaciones, preferencias del usuario, ancho de banda, cobertura, QoS, tráfico, tarificación, BER, SNR,...
Implementación del Handoff (manejo de la información)	Los paquetes se entregan en un nuevo punto de acceso dentro de la misma red.	Los paquetes se entregan a la nueva red con información contextual del terminal (autenticación, QoS, ...)

IV. Estrategias para la implementación del Handoff Vertical

Para la implementación del Handoff vertical se han propuesto múltiples técnicas, las cuales se desarrollan sobre los distintos niveles de los modelos de red [4][10]. Gran parte de estas estrategias se desarrollan a partir de IP Móvil y operan sobre la capa de red, aunque existen otras técnicas que operan sobre niveles superiores del modelo[4]. Adicionalmente, se presentan otras estrategias basadas en la eficiencia del consumo de energía.

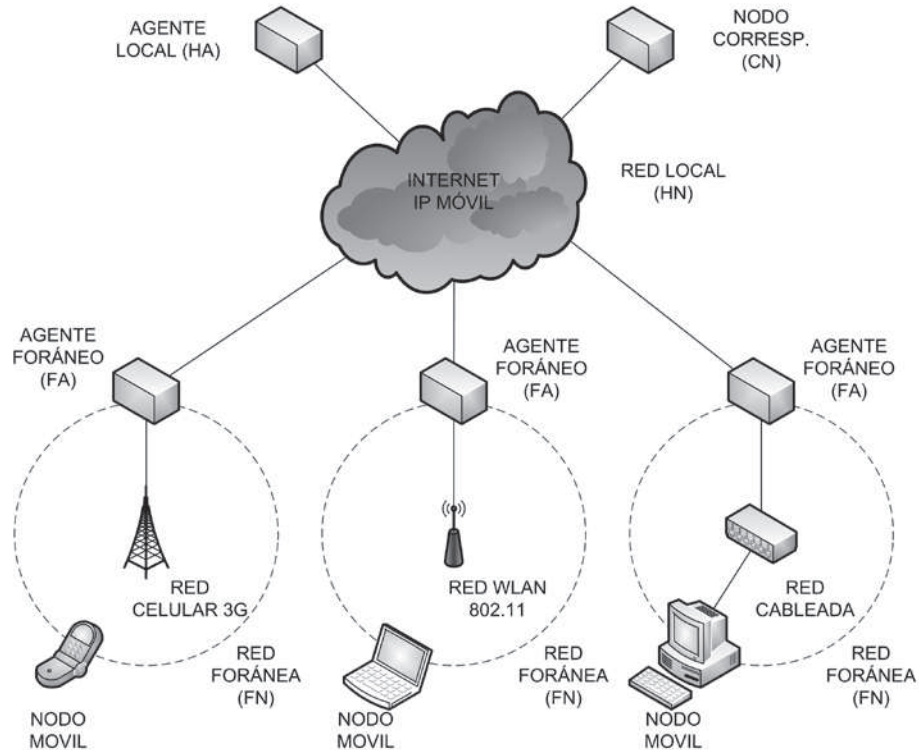
A. Estrategias en la capa de Red

Gran parte de las estrategias basadas en la capa de red tienen como punto común el protocolo IP Móvil. A continuación se presentan las principales estrategias en este nivel.

1. IP Móvil

IP Móvil es un protocolo para el manejo de la movilidad en sistemas donde los terminales se encuentran en movimiento. Esta estrategia busca solucionar el problema de movilidad direccionando los paquetes a la ubicación del terminal móvil. La arquitectura de IP Móvil tiene varios elementos, entre los que encontramos un Home Agent (HA), un Foreign Agent (FA), un Mobile Node (MN) y un Correspondent Node (CN) [11]. En la figura 2 se presenta un esquema de red para IP Móvil.

Figura 2. Esquema de red para IP móvil.



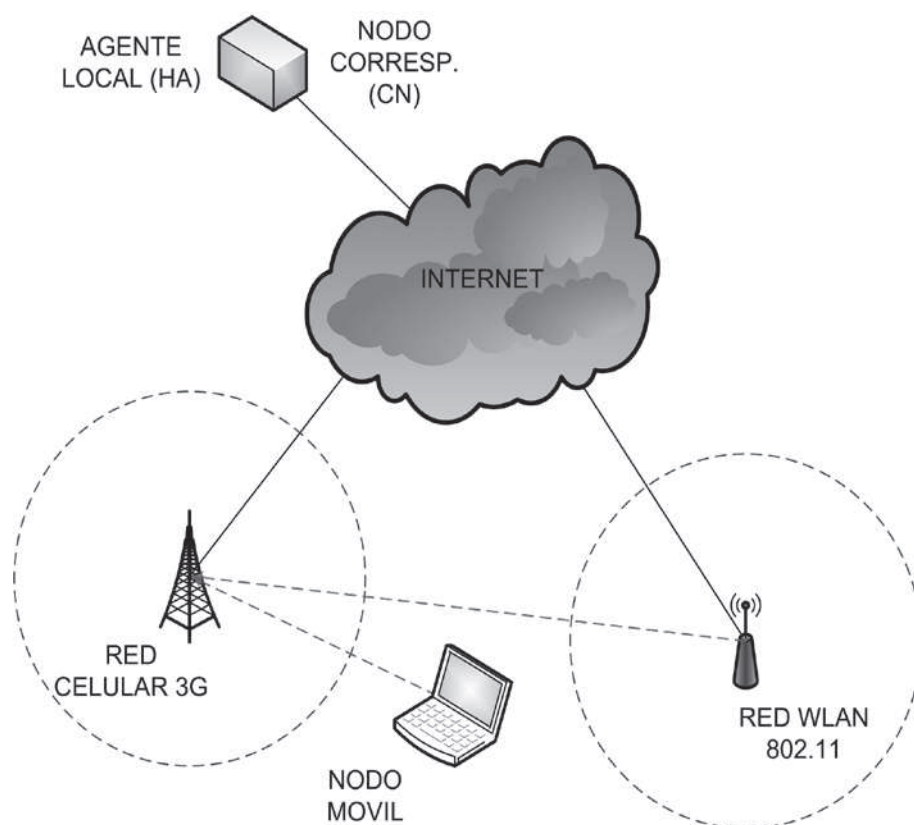
En IP Móvil, un MN es atendido por un enrutador HA dentro de su red local o red de inicio, el cual se encarga de entregar al MN todos los paquetes que le son enviados. Esta entrega la hace directamente si el MN se encuentra dentro de la red local o por un FA a través de un túnel IP cuando el MN se aleja de la red de inicio. En todo este proceso, IP móvil se caracteriza porque un MN utiliza dos direcciones IP: una fija que le es entregada en la red de inicio y una provisional que recibe cuando entra en una nueva red [11]. En esta arquitectura CN se encarga de llevar paquetes entre HA y MN.

2. HOPOVER (HandOff Protocol for OVERlay networks)

Es un protocolo de Handoff para redes superpuestas que busca solucionar el problema de movilidad soportando Handoff horizontal y vertical y siendo compatible con IP Móvil. El objetivo de este protocolo es facilitar la reserva de recursos en el nuevo nodo antes de implementar el Handoff y el intercambio de información contextual al momento de implementarlo [12]. Como mejora del protocolo IP Móvil, HOPOVER da solución a los problemas de alta frecuencia de Handoff para terminales que se mueven a altas velocidades [1]. Este proceso se compone de tres etapas, la primera de preparación del Handoff, seguida por la ejecución del Handoff y finalizando el proceso con la actualización de

la información de IP Móvil [12]. En la figura 3 se muestra un esquema de HOPOVER.

Figura 3. Esquema de red para HOPOVER



3. Aproximación jerárquica

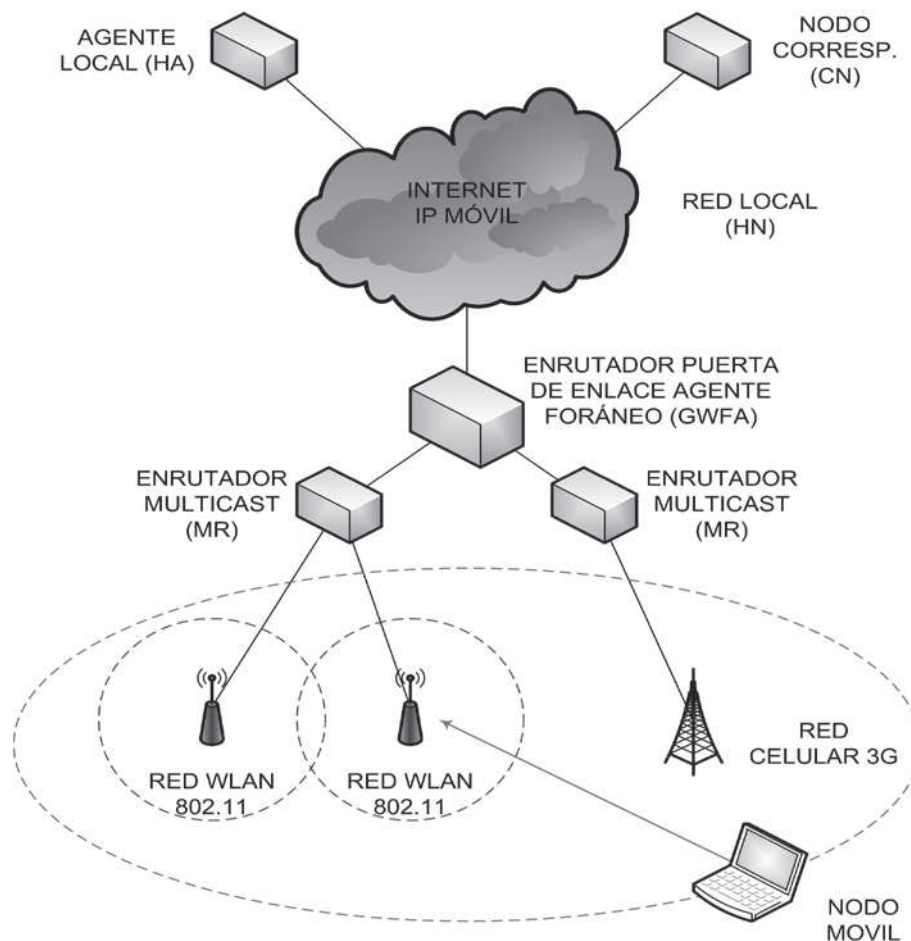
Es una estrategia de Handoff en redes heterogéneas superpuestas basada en IP Móvil [13]. El esquema de aproximación jerárquica (ver figura 4) plantea varias entidades dentro de la red, a fin de ofrecer al terminal móvil la posibilidad de moverse entre distintas redes superpuestas de forma transparente para las aplicaciones e interrumpiendo la conexión lo menos posible. Encontramos entonces los siguientes elementos [13]:

- a. Home Agent (HA): Enrutador en el terminal móvil dentro de la red de origen.
Correspondent Node (CN) y Foreign Agent (FA)

- b. Gateway Foreign Agent Router (GWFA): Enrutador que cumple funciones de FA y que permite gestionar los nodos visitantes. El GWFA funciona como HA dentro de la red de origen. Constantemente está difundiendo mensajes para informar su dirección IP y asigna direcciones únicas a los MN. Este elemento es utilizado en redes superpuestas.
- c. Base Station (BS): Es un enrutador de capa de red que tiene dos interfaces, una alámbrica y otra inalámbrica. A través de la primera da acceso a Internet al MN. d. La puede almacenar los últimos paquetes IP enviados a la MN.
- e. Multicast Router (MR)
- f. Mobile Node (MN)

El objetivo de esta arquitectura es dar movilidad al MN a través de las BS y el GWFA, interceptando paquetes del MN e implementando túneles para el envío de éstos.

Figura 4. Esquema de red de una aproximación jerárquica.



B. Estrategias en la capa de Transporte

Para aplicar las técnicas de movilidad en la capa de transporte, es importante conocer las redes involucradas en el proceso y configurar los terminales móviles de acuerdo a éstas, lo que incluye la detección de redes y el direccionamiento de estas [14]. Estas funciones generalmente pueden ser desarrolladas por el protocolo DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) o mediante métodos de descubrimiento de rutas y vecinos. Los protocolos de Handoff en la capa de transporte tienen como objetivo implementar métodos que conecten, de manera dinámica, enlaces y direcciones IP. Los protocolos de esta capa se apoyan en los servicios de capas inferiores (capas de red y de enlace) para la detección y el manejo del direccionamiento IP [1]. Esto último ha contribuido a que las aproximaciones en la capa de transporte se conozcan como aproximaciones Cross-Layer [14], de las cuales hablaremos más adelante. A continuación presentaremos los principales protocolos y técnicas de movilidad en la capa de transporte:

1. Handoff basado en SCTP (Stream Control Transmission Protocol)

Este es un protocolo que proporciona un servicio orientado a la conexión, el cual es altamente confiable. En el estándar SCTP las conexiones extremo a extremo entre dos terminales son conocidas como asociaciones y se introduce una característica llamada Multi-homing, la cual permite alojar asociaciones para mantener más de una dirección IP en una conexión entre terminales [1][14][15]. De estas conexiones, la principal se encarga de las actividades de comunicación y las secundarias son usadas en las retransmisiones.

Existen varias evoluciones del protocolo SCTP hacia la movilidad. Una es mSCTP (mobile SCTP), que se diferencia del estándar original en la capacidad para modificar el direccionamiento IP de asociación en los puntos terminales de SCTP, por lo que puede variar las rutas principales y las alternativas [14]. Otra evolución del protocolo SCTP es cSCTP (celular SCTP), el cual es utilizado para la implementación de Handoff suave. Este último presenta mayores ventajas que la versión mSCTP, ya que durante el proceso se envían paquetes redundantes por rutas distintas, lo que disminuye la pérdida de paquetes [14][15].

El Handoff vertical basado en SCTP utiliza las características de Multi-homing para mantener 2 direcciones IP, una en cada una de las red superpuestas, mientras se realiza el proceso de Handoff [1]. Este proceso se utiliza en el Handoff entre UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) y WLAN.

2. Handoff basado en TCP (Transport Control Protocol)

El manejo de movilidad a través del protocolo TCP se basa en el control de flujo que se aplica a la transferencia de datos entre los distintos agentes un sistema. Como estrategia de Handoff, TPC esconde al emisor la información de los paquetes

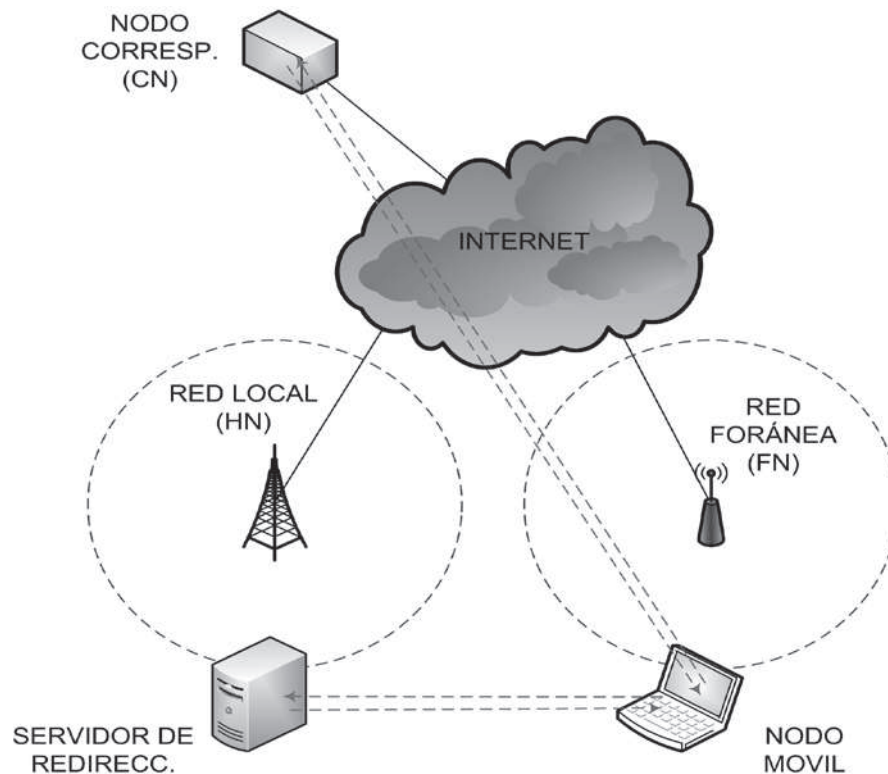
perdidos mientras se realiza el cambio de una red a otra, por lo que éste asume congestión en la red y controla el envío de información [1].

Para controlar el flujo de paquetes, TCP presenta dos estados: Inicio Lento (SS – Slow Start) y Eliminación de Congestión (CA – Congestion Avoidance). En el primero (SS) de éstos, el terminal remitente aumenta la velocidad de transmisión de forma exponencial, mientras que en el segundo (CA) el aumento se hace de forma lineal [15].

C. Estrategias en la capa de Aplicación

La principal técnica para manejo de movilidad en redes heterogéneas desde el nivel de aplicación es el Handoff basado en SIP (Session Initiation Protocol), un protocolo que ofrece varios beneficios entre los que se encuentra el control de sesión. El protocolo SIP es utilizado por el terminal móvil para establecer una conexión cuando inicia una nueva sesión o cuando pasa a una ubicación distinta, o cuando necesita hacerlo en medio de una sesión ya establecida [16]. La figura 5 muestra un esquema de red aplicado a la movilidad utilizando SIP.

Figura 5. Esquema de red para el Handoff vertical basado en SIP



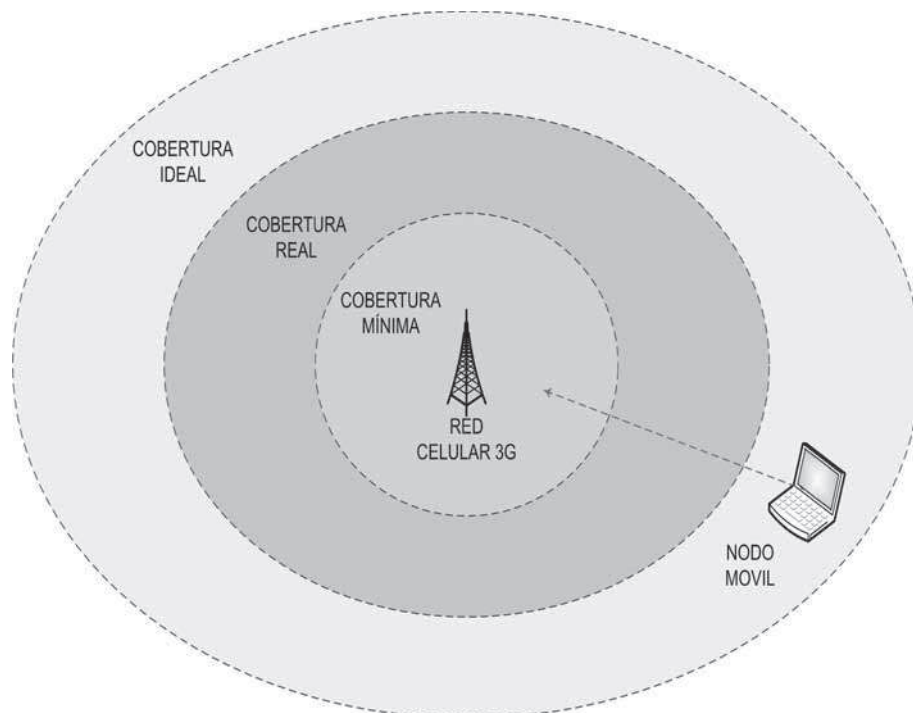
D. Estrategias para la Eficiencia de la Energía

El uso eficiente de la energía en los terminales móviles es un aspecto que se debe tener en cuenta al momento de decidir qué esquema se utilizará para implementar procesos de Handoff que permitan obtener movilidad a través de redes heterogéneas. A continuación se presentan las principales técnicas en esta línea.

1. Handoff adaptativo

La aproximación adaptativa para el Handoff vertical se encarga de controlar el encendido de las interfaces de red disponibles en el terminal móvil, basándose en la detección de las redes circundantes a las cuales se puede implementar el proceso, de acuerdo con la ubicación del terminal [7]. Para este tipo de aproximación se definen regiones (2 círculos concéntricos) con las áreas de cobertura mínima e ideal; la región entre éstas determina la zona donde se encuentra el terminal y en qué momentos es necesario hacer una búsqueda de nuevas redes para implementar el proceso de Handoff (ver figura 6). Lo anterior depende directamente del operador de servicios, ya que las áreas de cobertura de los distintos puntos de acceso, debe ser publicada para que el usuario las pueda acceder [1].

Figura 6. Análisis de áreas de cobertura aplicando el Handoff adaptativo.



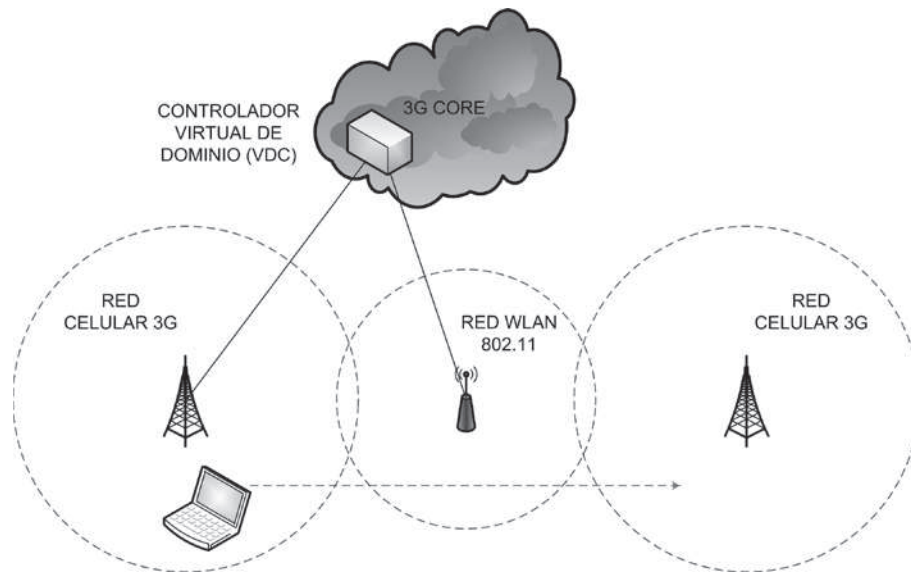
2. WISE (Wise Interface Selection)

WISE es una técnica utilizada para reducir el consumo de energía en procesos de Handoff vertical aplicable a 3G (Tercera Generación) y WLAN. Este esquema se caracteriza por mantener el throughput del sistema a la vez que distribuye la carga de red durante el Handoff para los sistemas fuertemente acoplados [17].

La aplicación de esta técnica implica la creación de una entidad llamada Virtual Domain Controller (VDC), la cual se ubica en el núcleo de la red 3G y se encarga de balancear la carga del sistema después de hacer un análisis de la velocidad de transferencia en los distintos puntos del sistema (red de 3G y WLAN). En la figura 7 se muestra la arquitectura planteada para WISE.

De acuerdo a los resultados obtenidos del análisis de las velocidades de transferencia, WISE se encarga de apagar o encender las interfaces de red según sea el caso, sin degradar el throughput, para lo cual se apoya constantemente en la red y los terminales móviles.

Figura 7. Esquema de red para el Handoff vertical basado en WISE



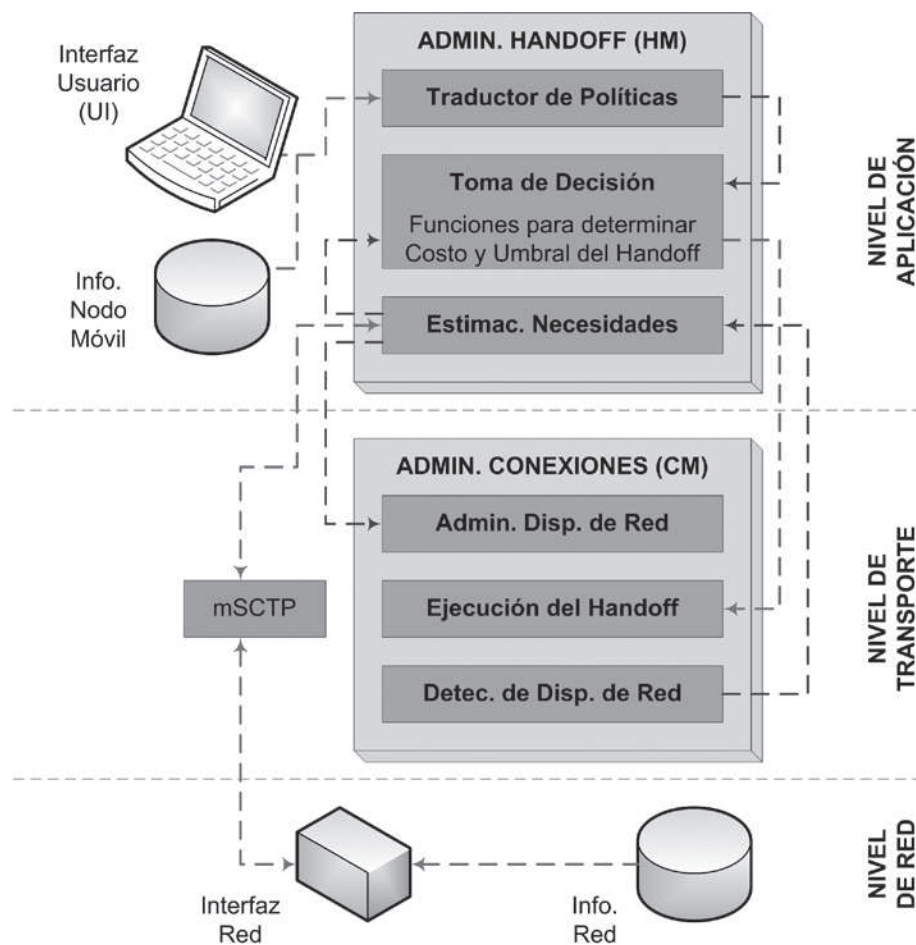
V. Técnicas Cross-Layer para el Handoff Vertical

Las aproximaciones tipo Cross-Layer aplicadas al Handoff vertical generalmente son esquemas basados en el nivel de transporte, aunque involucran la interacción con otras capas del sistema. A continuación se presentan algunas técnicas de movilidad basadas en la relación entre los distintos niveles del sistema.

A. TRAMCAR (Transport and Application Layer Architecture for vertical Mobility with Context-awareness)

TRAMCAR es un sistema inteligente para el soporte de movilidad en redes heterogéneas. Es un sistema modular que opera en los niveles de aplicación y transporte Handoff. [19]. En la figura 8 se muestra la arquitectura básica del sistema TRAMCAR y se muestran las capas en las cuales está cada uno de los módulos.

Figura 8. Arquitectura de un sistema TRAMCAR



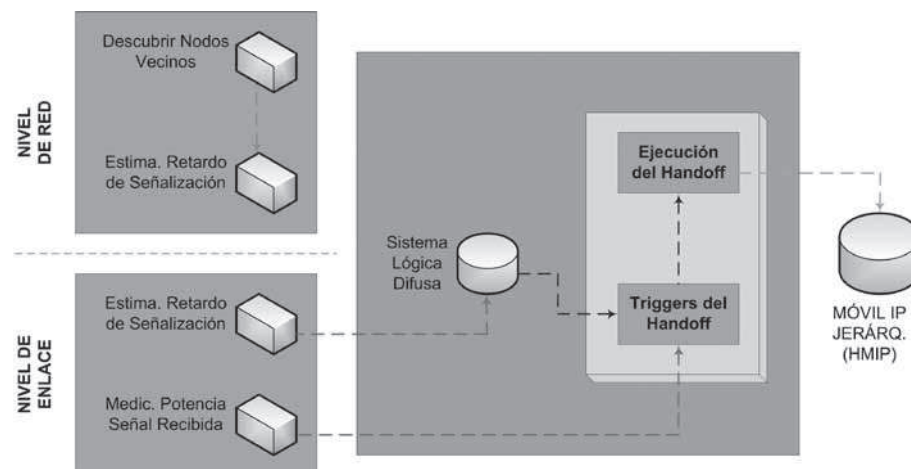
En términos generales, TRAMCAR está compuesto de un módulo para administrar las conexiones (CM – Connection Manager), el cual opera en la capa de transporte, y otro módulo para administrar el Handoff (HM – Handoff Manager), el cual está sobre el nivel de aplicación. El módulo CM se encarga de mantener la conectividad del terminal a través de las distintas redes, apoyándose en una versión modificada

del protocolo SCTP con soporte de movilidad (mSCTP). El modulo HM se encarga de tomar la decisión del Handoff y de manejar la información contextual de la conexión [19].

B. FLAH (Fuzzy Logic based Adaptive Handoff)

FLAH es un sistema de alto desempeño basado en algoritmos de lógica difusa, que permite soportar movilidad en redes heterogéneas. Es un sistema modular que opera en las capas de red y de enlace, y que basa sus decisiones en la velocidad y la distancia del terminal móvil respecto de los puntos de acceso de la red. El sistema implementado en la capa de enlace se compone de módulos adaptativos que se encargan de estimar la velocidad y la RSS del terminal, además de otros que se encargan de recolectar la información de la red obtenida a través de las distintas capas por la pila del protocolo TCP/IP. Los módulos implementados en el sistema del nivel de red se encargan de detectar, en combinación con los anteriores, la distancia de los nodos vecinos. Con los datos que se obtienen en los distintos elementos del sistema, y con apoyo de protocolos de IP Móvil se procede a implementar el Handoff [20]. En la figura 9 se muestra un esquema de la arquitectura propuesta para FLAH.

Figura 9. Arquitectura de un sistema FLAH

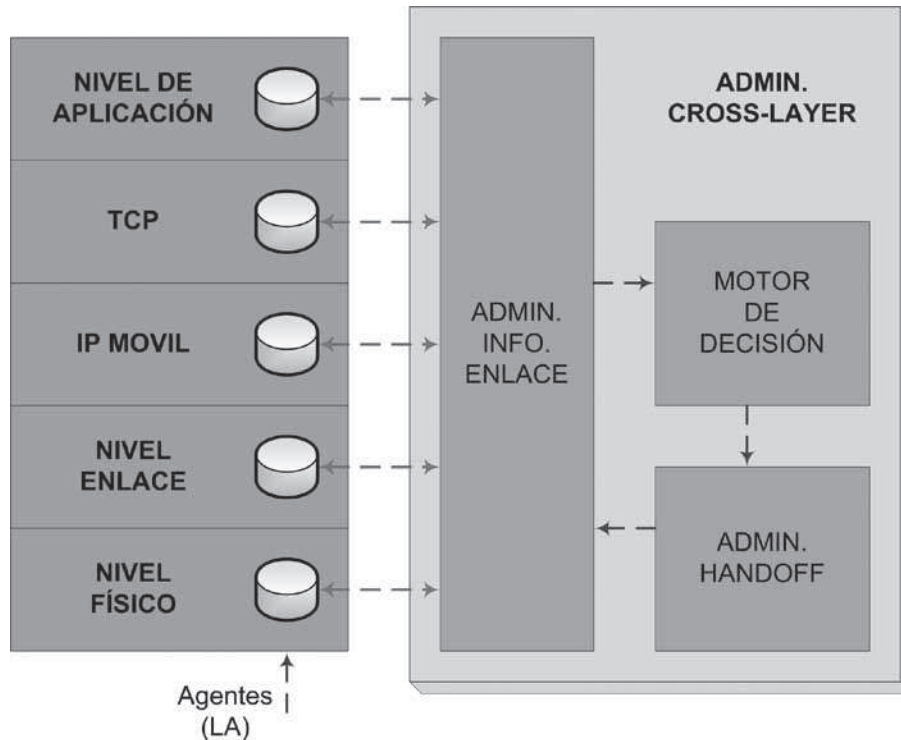


C. CLMP (Cross-Layer Mobility Platform)

CLMP es un esquema eficiente que permite implementar un proceso de Handoff vertical basado en la interacción entre los distintos niveles del sistema, de acuerdo a políticas establecidas por el usuario. El esquema planteado introduce agentes (LA – Layer Agent) en cada uno de los niveles del sistema y un módulo de Gestión de Cross-Layer (XLM). Los LA se encargan de recoger información sobre el cambio de

parámetros específicos de cada capa y de comunicarlos al módulo XLM. El módulo XLM se encarga de interpretar los distintos parámetros capturados por los agentes, de acuerdo con las políticas establecidas y de acuerdo con lo anterior, implementar el proceso de Handoff [21]. En Figura 10 se muestra un esquema de la aproximación CLMP.

Figura 10. Arquitectura de un sistema CLMP



D. CLAVHOPRSS (Cross-Layer based Adaptive Vertical Handoff with Predictive RSS)

CLAVHOPRSS es un sistema adaptativo eficiente que permite implementar procesos de Handoff vertical. En el sistema se implementa un mecanismo de predicción de RSS basado en histéresis y un mecanismo de detección de red para implementar el Handoff. La primera fase corresponde a un esquema de regresión polinómica que permite predecir la RSS y a partir de ésta, el movimiento del terminal. En la segunda fase se implementa un proceso de decisión markoviano a fin de detectar la red óptima para implementar el Handoff, es decir, la red que implica un menor costo (en este caso, QoS) al momento de ejecutar el proceso. Esta última fase también se encarga de balancear la carga de la red una vez implementado el proceso de Handoff [22]. En la figura 11 se muestra un esquema de la aproximación CLAVHOPRSS y el flujo de información dentro de ésta.

Figura 11. Arquitectura de un sistema CLAVHOPRSS

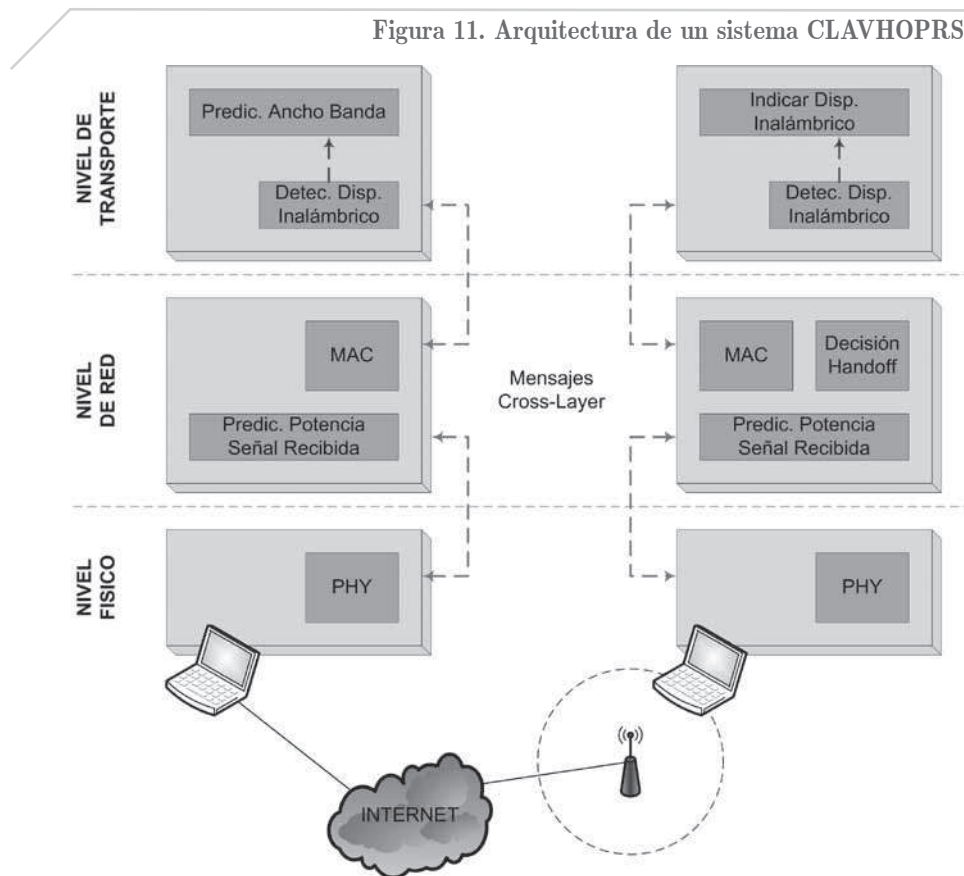


Tabla 3
Estrategias de decisión en el proceso de handoff

Técnica de Handoff	Control del Handoff	Tipo de aproximación	Criterio de decisión	Latencia del Handoff (Aproximada) †
IP Móvil	MCHO	Nivel de red	Deteccion de la red principal	Media
HOPOVER	MCHO	Nivel de red	Deteccion de la red principal	Media
Aproximación Jerárquica	MCHO	Nivel de red	Deteccion de la red principal	Baja
Basado en SCTP	MCHO	Nivel de transporte	Deteccion de la red	Media

Técnica de Handoff	Control del Handoff	Tipo de aproximación	Criterio de decisión	Latencia del Handoff (Aproximada)*
Basado en TCP	MCHO	Nivel de transporte	Deteccion de la red, RSS y Velocidad	Media
Basado en SIP	MCHO	Nivel de aplicación	Deteccion de la red	Alta
Handoff Adaptativo	MCHO	Eficiencia de energía	Consumo de energía y QoS ofrecido	Baja
WISE	MAHO	Eficiencia de energía	Consumo de energía, Utilizacion de la red	Media
TRAMCAR	MCHO	Cross-Layer (Niveles de red, transporte y aplicación)	Costo del servicio, Seguridad, Consumo de energía, Condiciones de la red	Baja
FLAH	MCHO	Cross-Layer (Niveles de enlace y red)	Velocidad y distancia del móvil	Media
CLMP	MCHO	Cross-Layer (Niveles físico, enlace, transporte y aplicación)	Políticas del usuario	Baja
CLAVHOPRSS	MCHO	Cross-Layer (Niveles físico, enlace, transporte y aplicación)	QoS ofrecido	Baja

* Para canales de 128 Kbps se tienen los siguientes grados de latencia: Alta (mayor a 800 ms), Media (de 300 ms a 800 ms), Baja (inferior a 300 ms)

VI. Análisis comparativo

Los anteriores métodos corresponden a estrategias empleadas para dar continuidad a las comunicaciones cuando los sistemas se mueven en ambientes heterogéneos. En la tabla 3 se presentan los resultados obtenidos a partir de las distintas aproximaciones presentadas.

De este análisis de los resultados obtenidos se puede notar que los métodos en general tienen latencias moderadas (de 300 ms a 800 ms), aunque para el tipo de servicios donde el Handoff presenta una importancia alta los tiempos de latencia que se obtienen pueden disminuir la calidad del servicio considerablemente. Es el caso de los sistemas de VoIP (Voice over Internet Protocol), en los cuales los tiempos de espera se ven reflejados directamente en el QoS que percibe el usuario, implementar esquemas de Handoff basados en SIP puede disminuir de forma considerable el nivel de servicio durante el proceso. De forma similar, los esquemas basados en TCP presentan el mismo inconveniente mientras se estabiliza la conexión después de un proceso de Handoff.

Es importante destacar que las estrategias que mejor rendimiento entregan son aquellas basadas en modelos Cross-Layer. Estas, que por lo general involucran algunos de los enfoques mencionados en este artículo, tienen en todo momento, información sobre los distintos niveles del sistema, lo que permite tener control sobre el QoS, el consumo de energía de los terminales y disminuir los tiempos de latencia luego de implementar el Handoff. Esto es uno de los motivos por los que actualmente las investigaciones en aproximaciones para Handoff vertical se trabajan desde esta línea.

VII. Conclusiones

En el transcurso de este trabajo se han presentado algunas estrategias que permiten operar procesos de movilidad en redes heterogéneas a través de Handoff vertical, desde distintos enfoques. Del análisis realizado a estas técnicas, es importante destacar que las estrategias que mejor rendimiento entregan son aquellas basadas en modelos Cross-Layer, ya que integran el proceso desde distintas capas, lo que permite disminuir los tiempos de implementación y proporciona un manejo eficiente de la información contextual de la conexión.

Todo el enfoque trabajado se basó en arquitecturas de red enfocadas hacia la movilidad, dejando a un lado la arquitectura y los desarrollos en los terminales móviles. Este es un tema en el cual se están desarrollando muchos trabajos y existen líneas abiertas de investigación, ya que constituyen un factor de alta importancia la momento de tomar decisiones de Handoff.

Referencias

- [1] F. Siddiqui y S. Zeadally, “*Mobility management across hybrid wireless networks: Trends and challenges*”. Computer Communications, Volumen 29, Tema 9, mayo 2006, pp. 1363-1385.
- [2] N. Nasser, A. Hasswa y H. Hassanein, “*Handoffs in fourth generation heterogeneous networks*”. IEEE Communications Magazine, Volumen 44, Tema 10, octubre 2006, pp. 96-103.
- [3] J. So, “*Vertical handoff in integrated CDMA and WLAN systems*”. AEU International Journal of Electronics and Communications, Volumen 62, Tema 6, junio 2008, pp. 478-482.
- [4] L. Chen, T. Sun, B. Chen, V. Rajendran y M. Gerla, “*A Smart Decision Model for Vertical Handoff*”. (En línea): http://www.iis.sinica.edu.tw/~ccljj/publication/2004/04_ANWIRE04_SmartDecisionModel.pdf, abril 2004.
- [5] M. Kassar, B. Kervella y G. Pujolle, “*An overview of vertical handover decision strategies in heterogeneous wireless networks*”. Computer Communications, Volumen 31, Tema 10, Junio 2008, pp. 2607-2620.
- [6] F. Tansu y M. Salamah, “*On the vertical handoff decision for wireless overlay networks*”. IEEE International Symposium on Computer Networks, 2006.
- [7] M. Stemm y R.H. Katz, “*Vertical handoffs in wireless overlay networks*”. ACM Mobile Networks and Applications, Volumen 3, Tema 4 (Tema Especial: mobile networking in the Internet), 1998, pp. 335 - 350.
- [8] E. Stevens-Navarro y V.W.S. Wong, “*Comparison between Vertical Handoff Decision Algorithms for Heterogeneous Wireless Networks*”. IEEE 63rd Vehicular Technology Conference VTC 2006-Spring, Volumen 2, mayo 2006, pp. 947-951.
- [9] A. Singhrova y N. Prakash, “*A review of vertical handoff decision algorithm in heterogeneous networks*”. International Conference on Mobile Technology, Applications, And Systems, Proceedings of the 4th international conference on mobile technology, applications, and systems and the 1st international symposium on Computer human interaction in mobile technology, Mobility 2007: Wireless communications technology, 2007, pp. 68-71.
- [10] W.M. Eddy, “*At What Layer Does Mobility Belong?*”. IEEE Communications Magazine, Volumen 42, Tema 10, octubre 2004, pp. 155-159.
- [11] J. McNair y F. Zhu, “*Vertical handoffs in fourth-generation multinet network environments*”. IEEE Wireless Communications, Volumen 11, Tema 3, junio 2004, pp. 8-15.
- [12] F. Du, L.M. Ni y A.H. Esfahanian, “*HOPOVER: A New Handoff Protocol for Overlay Networks*”. IEEE International Conference on Communications ICC 2002, Volumen 5, abril-mayo 2002, pp. 3234-3239.
- [13] H. Badis y K. Al Agha, “*Fast and efficient vertical handoffs in wireless overlay networks*”. 15th IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications PIMRC 2004. Volumen 3, septiembre 2004, pp. 1968-1972.
- [14] H. Budzisz, R. Ferrús, A. Brunstrom, K.-J. Grinnemo, R. Fracchia, G. Galante y F. Casadevall, “*Towards transport-layer mobility: Evolution of SCTP multihoming*”. Computer Communications, Volumen 31, Tema 5, marzo 2008, pp. 980-998.

- [15] M.S. Rahman, M. Atiquzzaman, W. Ivancic, W. Eddy y D. Stewart, "*Implementation of SCTP in an open source Real-Time Operating System*". IEEE Military Communications Conference MILCOM 2008, noviembre 2008, pp. 1-7.
- [16] N. Banerjee, W. Wu, K. Basu, S.K. Das, "*Analysis of SIP-based mobility management in 4G wireless networks*". Computer Communications, Volumen 27, Tema 8, mayo 2004, pp. 697-707.
- [17] M. Nam, N. Choi, Y. Seok y Y. Choi, "*WISE: energy-efficient interface selection on vertical handoff between 3G networks and WLANs*". 15th IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications PIMRC 2004. Volumen 1, septiembre 2004 pp. 692-698.
- [18] J. McNair, T. Tugcu, W. Wang, J. Xie, "*A survey of cross-layer performance enhancements for Mobile IP networks*". Computer Networks, Volumen 49, Tema 2, octubre 2005, pp. 119-146.
- [19] A. Hasswa, N. Nasser y H. Hassanein, "*Tramcar: A Context-Aware Cross-Layer Architecture for Next Generation Heterogeneous Wireless Networks*". IEEE International Conference on Communications, Volume 1, junio 2006, pp. 240-245.
- [20] P. Israt, N. Chakma y M. Hashem, "*A fuzzy logic-based adaptive handoff management protocol for next-generation wireless systems*". 11th International Conference on Computer and Information Technology ICCIT 2008, diciembre 2008, pp. 288-293.
- [21] G.K. Kalebaila y A.H. Chan, "*Advanced Mobility Support in Next-Generation All-IP Wireless Networks: A Cross-Layer Approach - Part I*". IEEE 17th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, septiembre 2006 pp. 1-5.
- [22] B.J. Chang y J.F. Chen, "*Cross-Layer-Based Adaptive Vertical Handoff with Predictive RSS in Heterogeneous Wireless Networks*". IEEE Transactions on Vehicular Technology, Volumen 57, Tema 6, noviembre 2008 pp. 3679-3692.

Hernán Francisco Villar Vega (M'2009). Nació en San Juan del Cesar, Guajira, Colombia, el 5 de agosto de 1982. Se graduó como Ingeniero Electrónico de la Universidad de Antioquia de Medellín en 2007, donde profundizó sus estudios en las áreas de comunicaciones y sistemas digitales. Actualmente estudia Especialización en Telecomunicaciones en la Universidad Pontificia Bolivariana de la misma ciudad, donde ha profundizado sus estudios en temas relacionados con la movilidad y convergencia de servicios en redes de datos.

Ejerció como practicante en Textiles Fabricato Tejicondor donde desarrolló trabajos orientados al monitoreo de maquinaria en entornos industriales y actualmente se desempeña como profesional en Tecnoparque Colombia – SENA en la ciudad de Medellín, donde presta servicios de asesoramiento a proyectos en líneas relacionadas con electrónica y telecomunicaciones. Entre sus áreas de interés está la electrónica y las telecomunicaciones, específicamente el procesamiento digital de señales, la implementación de servicios sobre redes de datos y los sistemas de transmisión de datos inalámbricos. En 2009 inicia como miembro del IEEE.

