

---

## 4 Redes Móviles

### 4.1 *INTRODUCCIÓN*

Los servicios de transmisión de datos a través de redes móviles constituyen uno de los sectores de las telecomunicaciones destinado a experimentar un auge más notable en los próximos diez años. La demanda potencial de servicios móviles de datos es tan grande que está obligando a los operadores a suministrar este tipo de comunicaciones.

Las razones principales por las que los usuarios están comenzando a solicitar, cada vez más, servicios de datos que utilicen el acceso radio, son, por un lado, la reducción en el tamaño y precio de los ordenadores portátiles lo cual ha extendido su uso de tal manera que ya no se conciben las redes del futuro sino integrando estos equipos móviles junto con los ordenadores fijos convencionales. La aparición, además, de una interfaz estándar entre el ordenador y el canal radio, la tarjeta PCMCIA, ha sido determinante en el desarrollo de módems compactos de muy reducido tamaño que facilitan el intercambio de datos en entornos móviles. En segundo lugar, la utilización, cada vez más común, de aplicaciones como el correo electrónico y, en general, de servicios de acceso a Internet, está llevando a los usuarios de portátiles a solicitar su provisión a través del enlace móvil.

### 4.2 *CARACTERIZACIÓN DE CANALES RADIO MÓVILES*

El estudio de la transmisión de datos en sistemas móviles requiere, como paso previo fundamental, la caracterización del entorno de propagación, es decir, el canal radio móvil.

Las redes móviles presentan características de transmisión muy diferentes de las de las redes tradicionales fijas. Estas características tienen su origen tanto en la propia naturaleza del medio físico utilizado (el canal radio) como en los efectos debidos a la movilidad.

Fundamentalmente son dos las características diferenciales del canal radio móvil frente a la red fija: las altas tasas de error y el ancho de banda reducido.

### **Tasas altas de error**

La información enviada a través del canal radio resulta, inevitablemente, deteriorada. Algunas de las causas de este deterioro son:

- Los obstáculos reducen el nivel de la señal captada por el receptor. Esta atenuación, inherente al canal radio, es conocida como **desvanecimiento lento** o ensombrecimiento (*shadow fading* o *shadowing*). La reducción en el nivel de la señal por causa de este desvanecimiento es transitoria si el obstáculo en cuestión, el emisor o bien el receptor, están en movimiento. La duración de la pérdida de señal puede durar unos pocos milisegundos o, incluso, prolongarse varios segundos dependiendo de factores como la naturaleza del obstáculo o la velocidad del terminal.
- La señal radio también puede verse sometida a reflexiones en obstáculos presentes en el camino pero no necesariamente en la línea de visión del receptor. Este fenómeno, conocido como **propagación multicamino**, puede ocasionar la llegada al receptor de señales con diferencias de fase tales, que su suma dé lugar a una interferencia destructiva cuyas consecuencias pueden llegar hasta la cancelación mutua, es decir, la eliminación total de la potencia de señal en recepción.

La propagación multicamino da lugar a **desvanecimientos rápidos** o de *Rayleigh*.

- Las interferencias procedentes de transmisiones concurrentes pueden degradar la relación señal/interferente.
- La limitación de la potencia transmitida por los terminales móviles, debida tanto a la necesidad de minimizar las interferencias como a consideraciones relacionadas con su alimentación mediante baterías contribuye, también, a la presencia de altas tasas de error en los enlaces radio.
- El ruido ambiente es inevitable en un entorno abierto y frágil como el canal radio. En núcleos urbanos, este factor es especialmente influyente.

Experimentalmente, se ha constatado que las tasas de error en los canales radio móviles varían dentro del rango  $10^{-6}$  a  $10^{-1}$  dependiendo de las condiciones del enlace. Las redes fijas de fibra óptica presentan, en cambio, tasas inferiores a  $10^{-12}$ .

Hay que tener en cuenta, además, que el efecto combinado de los mecanismos generadores de errores en la mayoría de canales es tal, que éstos se producen en forma de ráfagas. Esto significa que los canales sufren periodos erráticos durante los cuales toda comunicación a través de ellos resulta inviable. Existe, por tanto, cierta dependencia estadística en la ocurrencia de los errores.

En concreto, el comportamiento de los canales radio está limitado por las frecuentes ráfagas de error causadas por los desvanecimientos, atenuaciones e interferencias. Durante los periodos de ráfaga, el terminal (o la estación base) recibe sólo una señal muy débil de manera que todos los intentos de transmisión de datos resultan fallidos con muy alta probabilidad. En este estudio se analizará el efecto de las elevadas tasas de error sobre el comportamiento del protocolo de transporte TCP.

### **Ancho de Banda reducido**

El espectro de radiofrecuencia es un recurso extremadamente valioso y, como tal, es gestionado celosamente por las administraciones. Esto supone que el ancho de banda disponible para la comunicación entre el móvil y la estación base es, siempre, limitado.

Por lo tanto, un aspecto primordial en el diseño de los sistemas móviles debe ser el uso eficiente del ancho de banda disponible. Así analizaremos las ventajas e inconvenientes de incorporar métodos de reducción del tamaño de los paquetes de información que viajan por los enlaces móviles que permitan utilizar de forma más eficiente el ancho de banda disponible. Concretamente se verá la compresión de cabeceras.

## **4.3 EFECTOS DE LA MOVILIDAD**

La movilidad de los terminales tiene claras consecuencias en las comunicaciones establecidas a través de éstas. Algunas de ellas se detallan a continuación:

- Cuando el usuario del terminal móvil cambia de celda, se lleva a cabo el proceso de *traspaso*, el cual transfiere el control de la comunicación desde la estación base inicial a una nueva estación base con cobertura en la nueva celda.

Durante el intervalo de tiempo que dura este proceso, los paquetes destinados al móvil y aquellos transmitidos por éste no pueden ser enrutados. Esto provoca **pausas o latencias en la comunicación**.

- En algunas ocasiones, el usuario móvil puede entrar en zonas de sombra, es decir, zonas en las que ninguna estación base puede darle cobertura. En estos casos, se producen desconexiones temporales que suponen la pérdida de paquetes. Cuando el terminal móvil sale de la celda inicial y entra en la zona de sombra y sigue apuntando a la anterior

estación base como intermediaria en la comunicación. Sólo cuando recibe la señal de indicación de presencia procedente de la nueva estación base, puede el terminal actualizar la tabla; sin embargo, hasta ese momento, el terminal continúa enviando paquetes que, inevitablemente, no llegan a su destino. Por otro lado, también los paquetes destinados al terminal móvil se pierden ya que la estación base no detecta que el móvil ha abandonado su celda hasta que la nueva estación base se lo notifica explícitamente, lo cual no ocurre hasta que el móvil se conecta a ella.

En este estudio no se tiene en cuenta el efecto de la naturaleza de la movilidad, ya que en definitiva se traducirá a errores en la comunicación y a desconexiones temporales de la misma.

#### 4.4 EFECTO DE LOS ERRORES Y LAS DESCONEXIONES

En los entornos móviles las pérdidas de paquetes son muy frecuentes debido no a congestión sino, básicamente, a las altas tasas de error que caracterizan al canal radio y a las desconexiones temporales asociadas a procesos de traspaso. Por lo tanto, los algoritmos de control de la congestión que TCP activa al detectar los errores propios del enlace móvil, pueden ocasionar un comportamiento muy poco eficiente del protocolo en estos entornos, cuyos efectos deben ser evaluados.

En la bibliografía existen varios estudios dedicados al análisis de aspectos relacionados con el comportamiento de TCP en los entornos móviles [YaB94, MyS93, BSK95, ABS95, BBK97, BKV96, BPS97, BSA95, CTG97, DCY93, DuR94]. En ellos se pone de manifiesto el bajo rendimiento del protocolo en diferentes entornos inalámbricos y se proponen estrategias para mejorarlo. A continuación se resumen algunos protocolos que se han propuesto para mejorar el comportamiento del protocolo TCP en enlaces inalámbricos.

- Protocolos de Nivel de Enlace: Aparecen varias propuestas en la bibliografía de protocolos para dar fiabilidad al nivel de enlace. Éstos utilizan básicamente dos técnicas: la corrección de errores utilizando técnicas tipo *Forward Error Correction* (FEC); y la retransmisión como respuesta a mensajes tipo *Automatic Request Repeat* (ARQ). Entre estas soluciones se encuentra CDMA, TDMA y AIRMAIL. Estos protocolos intentan esconder las pérdidas a TCP, no obstante, estas soluciones no aseguran que se resuelvan los errores satisfactoriamente. Por lo tanto, pueden interaccionar los mecanismos propios de TCP con los de recuperación a nivel de enlace (tales como temporizadores de retransmisión y reconocimientos duplicados), produciéndose retransmisiones a nivel de transporte de paquetes que pueden haber sido retransmitidos previamente por los mecanismos de nivel de enlace. Soluciones a estas interacciones se proponen en mecanismos que se comentarán más adelante.
- Protocolos con conexión partida: Son aquellos que dividen en dos partes la conexión TCP establecida, independizando la parte fija de la parte móvil. En estas soluciones se rompe la semántica extremo a extremo de TCP. En la parte móvil se define un protocolo específico. En

[YaB94] se proponen dos protocolos, en uno se usa TCP y en el otro se usa un protocolo de repetición selectiva sobre UDP. El estudio del impacto de traspasos en ambas soluciones concluye en que no se obtiene mejora en el segundo de los casos. Otro estudio [BPS97] presenta una optimización de retransmisión selectiva en TCP con el que sí que se obtienen mejoras significativas en entornos erróneos. En [BaB95, BaB97] se presenta el protocolo *Indirect-TCP*. Éste utiliza el protocolo TCP estándar en ambas conexiones (la de la parte fija y la de la parte móvil). Los inconvenientes de esta solución son los inherentes al propio protocolo TCP en entornos móviles, ya que la interacción de los mecanismos contra la congestión interfieren de la misma forma. Finalmente, M-TCP, presentado en [BrS97] divide la conexión fija y móvil sin perder la semántica extremo a extremo de TCP. Esta propuesta es adecuada para solucionar los problemas de las desconexiones temporales debido a la movilidad, más que al efecto de los errores.

- Protocolo “*snoop*” [BSK95]: Ésta es una solución híbrida entre las dos anteriores. Está diseñado para mejorar el comportamiento del protocolo en los casos de transferencia de datos de fijo a móvil (para el caso inverso deben añadirse mecanismos de reconocimiento negativo). Este protocolo introduce un módulo en la estación base, de forma que monitoriza la conexión TCP en ambas direcciones y guarda en “*cache*” los segmentos que han sido enviados y que no han sido reconocidos todavía. Si el agente detecta reconocimientos duplicados, éste los elimina y retransmite el paquete. De esta forma, la fuente TCP no detecta la pérdida del segmento. Algunos inconvenientes de este protocolo son la memoria necesaria para el almacenaje de los paquetes y la complicación de la gestión de traspasos. No obstante, los más importantes son, por una parte el hecho de que los reconocimientos deben seguir el mismo camino que los datos (sería el caso de varios enlaces móviles en la topología de la red o en topologías asimétricas).
- Protocolos de Notificación explícita: Estas soluciones se basan en diferenciar las pérdidas debidas a congestión o a errores. Una vez diferenciadas, se notifica al emisor que las pérdidas son debidas a una causa o a la otra, y se actúa en consecuencia. En [BKV97] se presenta el esquema *Explicit Bad State Notification* (EBSN), que se basa en la notificación de estados de error en caso de que no se reciban reconocimientos durante un cierto tiempo. Con este método se evitan, básicamente, los inconvenientes del algoritmo de *backoff* exponencial tras periodos de desconexión o altas tasas de error. En [BPS97, BaK98] se presenta una implementación del *Explicit Loss Notification* (ELN). En ambos casos el gran inconveniente es el no poder asegurar que un error realmente ha sido debido a errores del canal y no a congestión.