

Comunicaciones cooperativas

Carlos Otón Comas
Ingeniería Técnica en Telemática
Universidad de las Islas Baleares
Palma, España
carlos_ot_com@hotmail.com

Juan Pou García, Miguel Juan Ríos
Ingeniería en Informática
Universidad de las Islas Baleares
Palma, España
juanpou@ono.com, miguel.juan@uib.es

Abstract—La evolución de las redes de acceso radio hacia tecnologías 4G implica un aumento considerable en los anchos de banda. A velocidades altas hace falta una mayor potencia de señal para reducir las tasas de errores. Como alternativa o complemento al aumento de la potencia, se hace uso de repetidores denominados nodos relay que implementen algún tipo de protocolo ARQ cooperativo (C-ARQ) para la retransmisión de las tramas.

Otro problema presente en las redes celulares de acceso radio es la limitación de la eficiencia espectral debido a las interferencias producidas por células adyacentes, sobretodo cuando los usuarios se encuentran en los bordes de las células. Al hacer cooperar las estaciones base, la diversidad espacial de las antenas de cada estación puede ser utilizada para cancelar las interferencias. Esto se puede conseguir haciendo que las estaciones base compartan la información sobre los mensajes transmitidos a sus usuarios y los canales radio inalámbricos mediante una red troncal.

Keywords—cooperación, redes, ARQ, estación base, relay.

I. INTRODUCCIÓN

Hasta la llegada de las tecnologías 4G, el uso de los protocolos ARQ tradicionales eran suficientes para alcanzar una alta fiabilidad en el transporte de la información a través de redes celulares clásicas. Sin embargo, la tecnología 4G plantea dos problemas fundamentales: las necesidades crecientes de energía con el incremento de la tasa binaria y la vulnerabilidad de la frecuencia de 2 GHz en condiciones NLOS (Non Line Of Sight). Si las tasas de error son muy elevadas, serán necesarias muchas retransmisiones utilizando protocolos ARQ, lo cual producirá un retardo que hará inviable la comunicación.

Por ello se incorporan los protocolos ARQ que hacen uso de nodos relays cooperativos. Estos nodos son nodos intermedios entre emisor y receptor, que requieren menos potencia de funcionamiento y menos costosos en cuanto a precio y dificultad de instalación. Como alternativa de implementación completamente diferente, los terminales de usuario podrían realizar esta función de repetidor a costa de un mayor consumo energético (lo cual hoy en día no es muy factible debido a los requisitos de consumo energético de los terminales modernos). Además estos nodos relay permiten reducir el tamaño de la célula formando un sistema multi-salto para los usuarios que no están en condiciones óptimas de conectarse directamente con la estación base.

Los protocolos ARQ cooperativos permiten a nodos que no son ni la estación base ni los destinos participar en la comunicación para conseguir la correcta entrega de tramas de datos. Una trama que no llega correctamente a su destino puede haber llegado correctamente a un nodo intermedio (relay), que la podrá retransmitir ahorrando dicha tarea a la estación base, de manera que los retardos de la estación base serán menores. Como el relay se encontrará más cercano al destino (por norma general), las pérdidas serán inferiores en la retransmisión. Además, el hecho de poder delegar la función de retransmisión en los nodos relay hace que la estación base pueda aprovechar todos esos canales para introducir nuevas tramas en el sistema, aumentando con ello el rendimiento total.

Por otro lado, una alta eficiencia espectral, o aprovechamiento óptimo del ancho de banda, es especialmente importante en las redes de datos inalámbricas actuales, donde se hace un uso masivo e intensivo del mismo. El tráfico de datos móviles ha aumentado recientemente debido a la disponibilidad de dispositivos de datos portátiles, tablets PC 3G, y smartphones con acceso a web. Hasta ahora, las redes 3G podían soportar el crecimiento del tráfico. Uno de los mayores problemas para conseguir una plena eficiencia es la interferencia co – canal entre células adyacentes. Una de las técnicas más prometedoras para evitar este problema es la Cooperación entre Estaciones Base, o Cooperative MultiPoint (CoMP).

II. NODOS RELAY

Como se ha explicado anteriormente, los nodos relay son nodos que realizan ciertas funciones propias de la estación base pero más sencillos y de menor coste, que permiten reducir el tamaño de la célula y, normalmente, se encuentran más próximos al usuario final. Las ventajas que introducen en la red incluyen ahorro de potencia y energía, procesamiento de señal y mejora de la calidad de servicio (QoS, quality of service) y aumento de la capacidad mediante el crecimiento del área que cubre la estación base. Por otro lado, los nodos relay presentan diferencias en comparación a simples repetidores [1] [2].

A Ahorro de potencia y energía

La mayor parte de la potencia de las redes inalámbricas se consume en el momento de la transmisión de información. Como la mayoría de los dispositivos cliente presentes en estas redes son terminales portátiles, es interesante reducir el consumo energético producido por la transmisión de información. Mediante la introducción de nodos relay la

distancia de transmisión se ve drásticamente reducida, lo cual implica una disminución de la potencia de transmisión requerida. Aunque los nodos relay, como se explica más adelante, realizan un procesamiento de la señal, lo cual implica un consumo energético, la potencia global requerida por la red se ve reducida.

Los nodos relay ya se utilizan ampliamente en redes de sensores, donde minimizar el consumo energético es crítico debido al tamaño de los sensores y, sobretudo, al difícil acceso a algunos de ellos.[3]

B Procesamiento de señal y mejora de la QoS

Los nodos relay pueden trabajar exclusivamente como estaciones base alternativas. En este caso pueden aumentar la calidad de servicio reduciendo la distancia de transmisión y, en consecuencia, los efectos de la propagación multicamino. Sin embargo, pueden también trabajar de forma cooperativa con la estación base, ofreciendo un camino alternativo que facilite la detección de errores, sobretudo para tasas de transmisión elevadas.

C Aumento de la capacidad

La incorporación de los nodos relay permite aumentar el tamaño máximo de una célula ya que procesan la información, eliminan interferencias y la reenvían a su destino. De esta manera permiten una mayor flexibilidad a la hora de aplicar técnicas de ajuste con las estaciones base de la zona, como por ejemplo cell-breathing, mecanismo que permite a las células sobrecargadas traspasar parte del tráfico a células vecinas disminuyendo el tamaño de la célula.

Además, algunos servicios permiten prescindir de la intervención de la estación base en la comunicación entre dos terminales de la célula, siempre que éstos se encuentren conectados a un mismo nodo relay [4].

III. PROTOCOLOS ARQ

Los protocolos ARQ son algoritmos genéricos de control de flujo y control de errores punto a punto, que basan su funcionamiento en el uso de detección de errores, temporizadores, paquetes de reconocimiento positivo (ACK) y negativo (NACK) y retransmisiones de los diferentes tipos de paquetes [1].

De manera general el funcionamiento de estos algoritmos es el siguiente: el transmisor encapsula los datos en tramas de nivel de enlace (DATA) y los envía al receptor. Cada trama se numera consecutivamente, mediante un número de secuencia (SN), de manera que se pueda garantizar la entrega ordenada al nivel superior. La trama de enlace incluye un campo de verificación de trama (CRC) de manera que el receptor puede comprobar si la trama ha sido dañada en el tránsito. En este caso la trama se descarta. En caso contrario, se envía al transmisor una trama de reconocimiento positivo, que incluye el número de secuencia de la trama recibida correctamente. El transmisor debe retransmitir las tramas que no han sido recibidas correctamente. Para evitar que el protocolo quede bloqueado, es necesario utilizar temporizadores para la retransmisión de las tramas. El transmisor mantiene un buffer con todas las tramas enviadas pendientes de reconocimiento. A este buffer se le denomina ventana de transmisión.

A Ejemplos

Los mecanismos ARQ más comunes son “Parada y Espera” (Stop and Wait), “Retroceso-N” (Go-Back-N) y “Retransmisión Selectiva” (Selective Repeat, también conocido como “Rechazo Selectivo”).

- Parada y espera: el protocolo de “Parada y espera” (Stop and wait) consiste en que el transmisor, una vez que envía un paquete no enviará el siguiente hasta que no reciba el correspondiente ACK; en caso de recibir un NACK el transmisor reenviará el paquete anterior.
- Go-Back-N: en este protocolo el transmisor continúa enviando tramas (aun cuando no haya llegado un ACK que las reconozca) hasta que alcanza el límite de lo que se conoce como ventana deslizante (en esencia, esta técnica consiste en limitar el número máximo de tramas en tránsito, es decir, el número de tramas que han sido enviadas pero no han sido reconocidas –a este número se le denomina tamaño máximo de ventana). Si se produce un error en la recepción el transmisor recibirá un NACK y deberá reenviar todas las tramas que haya en la ventana (es decir, todas las tramas enviadas sin confirmar).
- Retransmisión selectiva: en este caso, el receptor acepta todas las tramas, independientemente de si llegan en secuencia o no, pero sólo las entrega de manera ordenada al nivel superior. Por su parte, el transmisor sólo retransmite las tramas que no han sido reconocidas correctamente. Por tanto, es necesario un buffer de almacenamiento tanto en transmisor como receptor, es decir, existe una ventana de recepción y ventana de transmisión.

B Protocolos C-ARQ

Los protocolos C-ARQ son protocolos que tienen en cuenta la participación activa en el funcionamiento de la red de un nodo que no es ni la estación ni los usuarios (pueden ser los usuarios pero actuando como nodos relay). Estos nodos actúan en caso de que una trama no se reciba correctamente, ayudando de distinta forma en el funcionamiento de la red (ya sea reenviando, regenerando o recodificando los mensajes que reciben) y contribuyendo así al buen funcionamiento de la red. Los tipos de cooperación que se pueden dar incluyen amplificación y reenvío, detección y reenvío, y cooperación codificada. Dentro de estos tres tipos de cooperación existen una gran variedad de protocolos y versiones de los mismos que desarrollan y puntualizan diversos conceptos relacionados con las políticas de reenvío, planificación de paquetes en la estación base y otros aspectos.

- Amplificación y reenvío: el nodo relay simplemente amplifica la información recibida desde la estación base y la reenvía al destino. En el destino, la información enviada por la estación base es combinada con la señal reenviada por el relay para determinar si la trama llegó con error (y tratar de corregirlo). El inconveniente de este sistema, sin embargo, es que si

existen errores en la transmisión desde la estación base hasta el relay, dicho error se propagará también hasta el destino.

- **Detección y reenvío:** este método corrige el inconveniente del método anterior ya que el nodo relay realiza un análisis de la trama previo al reenvío de ésta. Si la trama se encuentra libre de errores, se procede a su reenvío.
- **Cooperación codificada:** también conocida como Coded Cooperation, en este método la cooperación es bastante más avanzada. Ahora el relay no se limita a reenviar las tramas sino que además puede aplicar sobre ellas diversos algoritmos de control de errores con lo que se pueden lograr importantes mejoras en el control y corrección de errores del lado del destino. El destino podría recibir, por ejemplo, dos tramas iguales junto a dos códigos de control de errores diferentes, lo que otorga a las tramas una doble protección contra los errores y una mayor posibilidad de recuperación.

IV. BS COOPERATIVAS

También son conocidas como Cooperative MultiPoint (CoMP) o Network MIMO. Las modernas redes inalámbricas tienden a estar limitadas por las interferencias causadas principalmente por sus propias estaciones base y terminales móviles. Eliminar las interferencias daría lugar a mejoras significativas en el aprovechamiento del espectro radioeléctrico, las tasas de datos, capacidad y cobertura.

Afortunadamente, las estaciones base se pueden conectar a través de una red troncal de alta velocidad, para conseguir coordinar las transmisiones de antena de la base a fin de minimizar la interferencia entre celdas (por ejemplo coordinar la selección de frecuencias y canales) y, por lo tanto, para aumentar la capacidad del sistema de enlace descendente.

Una solución para suprimir la interferencia entre celdas es a través de una coordinación de emisión y filtrado espacial entre las estaciones base. Cuando se produce la interferencia, las estaciones base pueden, conjuntamente, preprocesar la información para varios usuarios antes de la transmisión. Como resultado de la codificación previa, las señales se superponen de forma constructiva en el terminal de usuario deseado, pero se eliminan en las antenas de los otros usuarios. Un terminal en una red CoMP por tanto se comporta como si estuviera en una célula aislada porque ya no es interrumpido por el tráfico de datos en proceso de las células vecinas. Este proceso mejora considerablemente la recepción, especialmente en las regiones de solapamiento de las células, que es donde la interferencia es más alta. Por consiguiente, todas las frecuencias disponibles pueden ser reutilizadas en cada célula de una red sin restricciones y conseguirse la misma capacidad como en una red libre de interferencias [6].

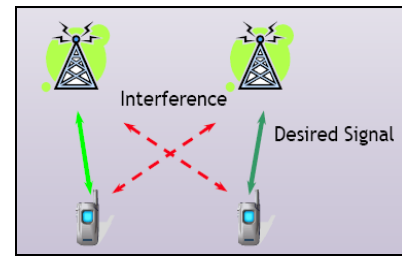


Fig. 1. Sistema sin cooperación entre estaciones base

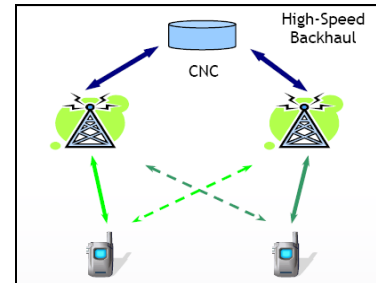


Fig. 2. Sistema con cooperación entre estaciones base

Hay que diferenciar entre Downlink y Uplink cuando hablamos de CoMP. En ambos casos se están desarrollando varias técnicas de comunicación cooperativa:

- **Joint Processing CoMP (CoMP-JP)** es una técnica de downlink en la que los datos de usuario a transmitir a su terminal están disponibles para todas las BS implicadas o cercanas. Se requiere un intercambio de datos entre las BS, resultando así una sobrecarga en la red y de recursos de procesamiento. Los datos se transmiten de manera simultánea a través de varias BS y el terminal de usuario procesa esta información redundante haciendo más robusta la señal frente a interferencias (Fig. 3.a).
- **Coordinated Beamforming CoMP (CoMP-CBF)** es otra técnica de downlink que evita el intercambio de información de datos de usuario entre todas las BS, reduciendo la sobrecarga. Aprovechando información de pérdidas de señal de las células se diseña la mejor configuración de antena sectorial para la transmisión y se reducen las interferencias entre células. Básicamente se decide cuál de los múltiples haces/sectores de antena es el más adecuado para transmitir a un usuario, evitando interferencias. Para ello se requiere de cierta coordinación entre los diferentes sectores, si bien esta coordinación consume menos recursos de red que CoMP-JP. (Fig. 3.b).
- **UpLink CoMP.** En Uplink los terminales de usuario no comparten información directa entre sí. Se recurre a la transmisión espacial múltiple mediante dos o más antenas para las transmisiones/recepciones por terminal de usuario (tecnología MIMO). La señal del terminal llega a diferentes BS y esta redundancia de señal es utilizada para reforzarla y aumentarla. El análisis de estas señales permite al sistema averiguar cuál es la mejor configuración de antenas para cada usuario en CoMP-CBF. (Fig. 3.c).

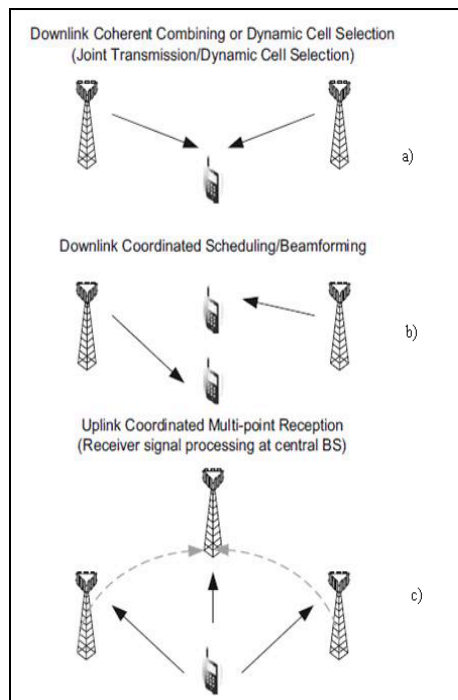


Fig. 3. Técnicas actualmente en desarrollo en CoMP

El reto más importante en una CoMP, es desarrollar una red de respaldo de alto rendimiento que coordine y preprocese la información para varios usuarios antes de la transmisión a través de una arquitectura de red nueva y con múltiples antenas con procesamiento espacial.

La complejidad de implementar CoMP está en el lado de la red. Usando conceptos de cooperación, la programación y la transmisión se coordinan dinámicamente. Esto incluye procesar conjuntamente la señal recibida. Obviamente, CoMP requiere una gran cantidad de información intercambiada (esto es, datos, realimentación de los terminales móviles o backhaul). Gracias al interface de alta velocidad, por ejemplo basado en fibra óptica, esta magnitud de datos intercambiados es factible [7].

La implementación de estos algoritmos tiene requerimientos estrictos de temporización incluyendo sincronización precisa en el interfaz aire en frecuencia y tiempo. Ambos conceptos se basan en la realimentación rápida del canal (FDD) o explotando la reciprocidad (TDD).

V. CONCLUSIONES

Hemos visto que la cooperación entre los diferentes elementos que intervienen en la comunicación inalámbrica mejora notablemente la eficiencia de las redes y permite solucionar problemas de interferencias.

Por un lado, los nodos relay permiten flexibilizar el área de influencia de una estación base a bajo coste, aumentan la capacidad de la célula y reducen su consumo energético. La técnica de relays cooperativos está presente, por ejemplo en redes inalámbricas de sensores, los cuales necesitan una gestión óptima de la energía. Está contemplado en el estándar IEEE 802.16j.

La reducción de potencia global de la red es posible gracias al uso de protocolos ARQ cooperativos para reenviar, regenerar o recodificar las tramas, de manera más eficiente que en protocolos ARQ básicos. También está definido para trabajar conjuntamente con nodos relay cooperativos en IEEE 802.16j.

La posibilidad de sincronizar las estaciones base para que éstas no produzcan interferencias a los usuarios de los bordes de las células ayuda también a mejorar la calidad de la red, afectando directamente a las zonas de mayor interferencia. Actualmente la cooperación entre estaciones base es materia de estudio entre diferentes equipos de investigación. Está contemplado que se incluya en próximas revisiones de LTE-Advanced.

REFERENCIAS

- [1] Risto Wichman, "Relays in Wireless Communication Systems" [en línea], 2011 [15 de enero de 2012]. Disponible en la web <https://sites.google.com/site/tkksigresearch/Home/research/relays>
- [2] Abdulkareem Adinoyi y Halim Yanikomeroglu, "Cooperative Relaying in Multi-Antenna Fixed Relay Networks", febrero 2007.
- [3] J. Nicholas Laneman y Gregory W. Wornell, "Energy-Efficient Antenna Sharing and Relaying for Wireless Networks", Research Laboratory of Electronics, Massachusetts Institute of Technology, 2000.
- [4] Anas F. Bayan, Tat-Chee Wan y R. Sureswaran, "QoS and System Capacity Optimization in WiMAX Multi-hop Relay, using Flexible Tiered Control Technique," National Advanced IPv6 Centre of Excellence (NAv6), School of Computer Sciences, Universiti Sains Malaysia (USM), Penang, Malaysia, 2011.
- [5] Julio J. Foulquié Vicente, "Simulación y evaluación de prestaciones de un protocolo ARQ cooperativo con múltiples relays," Departamento de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, Universidad Politécnica de Cartagena, 2009.
- [6] "System for increasing capacity in future mobile communications networks successfully tested," Deutsche Telekom and the Fraunhofer Heinrich Hertz Institute, julio 2009.
- [7] Rohde & Schwarz España, "LTE (Long Term Evolution): El siguiente nivel".

Asignatura: Xarxes de comunicacions mòbils

Profesor: Jaume Ramis Bibiloni



Carlos Otón Comas actualmente está estudiando la Ingeniería Técnica en Telecomunicaciones, especialidad en Telemática.



Miguel Juan Ríos es Ingeniero Técnico en Informática de Gestión y miembro del personal del Centro de Tecnologías de la Información de la UIB. Actualmente está estudiando la Ingeniería en Informática.



Juan Pou García es Ingeniero Técnico en Informática de Sistemas. Actualmente está estudiando la Ingeniería en Informática y trabajando en la startup <http://www.reserva123.com/> mediante una beca talentum de telefónica.