

SISTEMA COOPERATIVO SOBRE REDES INALÁMBRICAS GLOBALES

Jose Miguel Torres⁽¹⁾, Luis Velarde⁽¹⁾, Miguel Angel Muñoz⁽¹⁾, Fenando de la Cruz⁽¹⁾, Ignacio Santamaría⁽²⁾
⁽¹⁾Motorola España, Madrid 28027.

⁽²⁾Dpto. de Ingeniería de Comunicaciones, Universidad de Cantabria, Santander 39005.

Abstract—Strategies for cooperation between terminals have been proposed to improve the spatial coverage, reliability and throughput of ad hoc and cellular wireless communication systems. In this paper, we consider a scenario (rather common in practice) in which a given user has access to several wireless terminals (laptop, PDA and mobile phone, for instance), all of them located in a close neighborhood. For this scenario we propose the architecture and signaling protocols of a new cooperative system, which increases the overall throughput of the user. The cooperative system consists of a Bluetooth-based local network between the source and the cooperating terminals, which is connected through a Resources Sharing Gateway with the IP network core or IP service provider.

I. INTRODUCCIÓN

La cooperación entre terminales o usuarios permite incrementar la cobertura, la diversidad o la tasa de transmisión en redes inalámbricas [1], [2]. En su versión más sencilla, los terminales cooperativos se limitan a retransmitir la información recibida de la fuente o nodo principal aumentando así la cobertura espacial. Posteriormente, protocolos de cooperación más sofisticados [3], [4] han sido propuestos para mejorar otras características de la red.

Uno de los problemas de carácter práctico que surgen a la hora de proponer sistemas cooperativos es qué motivos pueden conducir a un usuario a compartir sus recursos con otro usuario de la red. Un escenario de interés en el que no se plantea este problema es aquel en el que un único usuario tiene a su disposición distintos terminales inalámbricos (PDAs, móviles, ordenadores) que pueden ser utilizados para mejorar su velocidad de transmisión o la calidad del enlace. Aún cuando los terminales disponen de una única antena, el sistema global se comporta en cierto modo como un sistema MIMO (*multiple-input multiple-output*) virtual o distribuido.

En este artículo se propone una arquitectura global de sistema cooperativo para este tipo de escenarios. La idea básica consiste en crear una red local de terminales conectados entre sí mediante Bluetooth, y conectar esta red local al servidor deseado a través de la red inalámbrica correspondiente (que puede ser incluso diferente para cada terminal cooperativo). Otra de las motivaciones de la solución propuesta es realizar un diseño cooperativo desde el punto de vista del usuario, tratando de mejorar su velocidad de transmisión o, en general, sus prestaciones. Este punto de vista se aleja de los criterios habitualmente seguidos en el diseño y optimización de redes, los cuales persiguen mejores velocidades de transmisión y mejores coberturas con menores costes *para el operador*. Las

secciones siguientes describen los diferentes componentes de la solución propuesta.

II. ARQUITECTURA

La solución cooperativa para el escenario considerado está formada por dos partes: una en el lado del terminal, permitiendo la creación y gestión de la red local; y otra en el lado de la red, gestionando de manera transparente para el usuario los diferentes caminos de transmisión. Varias son las alternativas que se pueden considerar teniendo en cuenta, por ejemplo, las distintas tecnologías de red local (WiFi, Bluetooth, cable); así como el punto de la red en el que se realizará el ensamblado/desensamblado de los diferentes caminos de transmisión (Nodo B, RNC, GGSN, pasarela externa). De todas esas alternativas, la solución aquí propuesta consiste en una red local con Bluetooth y una pasarela externa (denominada *Resources Sharing Gateway*). Los motivos de esta elección han sido, por una parte, el proporcionar la mayor flexibilidad posible al usuario final y, por otra, hacerla válida para cualquier red inalámbrica global (sin necesidad de modificar ningún elemento en la red core/acceso de los operadores), permitiendo incluso combinar distintas redes. La arquitectura descrita se muestra en la Fig. 1.

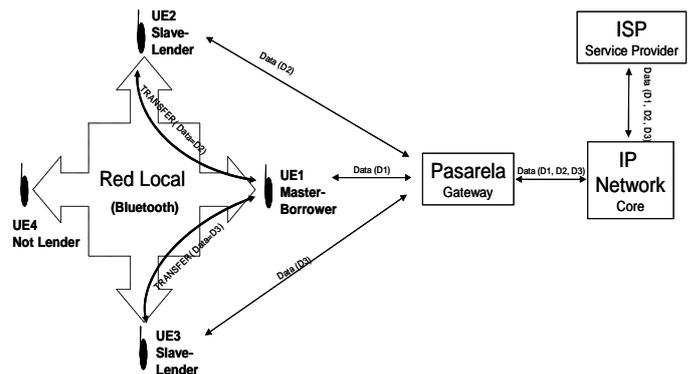


Fig. 1. Arquitectura propuesta de red cooperativa.

III. RED LOCAL

El sistema cooperativo propuesto permite que la velocidad de acceso de un terminal se vea incrementada gracias al préstamo que otros terminales hacen de sus propios recursos

Mensaje Bluetooth	Dirección	Parámetros
<i>HELLO – BORROW</i>	Princ.→Sec.	<i>cid</i>
<i>ACCEPT – LEND</i>	Sec. → Princ.	<i>cid</i>
<i>START</i>	Princ.→Sec.	<i>cid</i> , direc-pasarela
<i>START – OK</i>	Sec. → Princ.	<i>cid</i>
<i>TRANSFER</i>	Princ.→Sec. Sec. → Princ.	<i>cid</i> , datos
<i>TRANSFER – OK</i>	Sec. → Princ.	<i>cid</i>
<i>STOP</i>	Princ.→Sec.	<i>cid</i>

TABLE I
MENSAJES DEL PROTOCOLO DE RED LOCAL.

libres. Esto requiere, en primer lugar, definir una red local de señalización entre los terminales involucrados de forma que el préstamo se pueda acordar con unos parámetros determinados.

La red local entre terminales móviles para definir el protocolo de solicitud y préstamo de recursos puede hacerse usando diferentes mecanismos de comunicación entre los terminales. La solución propuesta se basa en definir un nuevo perfil Bluetooth. Esta opción permitirá que usuarios en una cercanía de decenas de metros puedan compartir recursos de forma que la comunicación compartida pueda llegar a una velocidad de 3Mbps, según las capacidades actuales de Bluetooth. La solución propuesta, no obstante, podría usar como enlace de señalización entre los terminales cualquier otra tecnología (por ejemplo WiFi o UWB) extendiendo el rango y la velocidad de transferencia compartida.

El nuevo perfil Bluetooth para cooperación entre terminales hace uso de perfiles ya existentes (como por ejemplo *Service_Discovery*, *Serial_Port* o *File_Transfer*) para definir un nuevo protocolo que permita establecer una sesión de comunicación cooperativa, mantenerla o modificarla y terminarla, como se describe en las subsecciones siguientes. El protocolo propuesto considera que uno de los terminales móviles (denominado Principal) es el iniciador de la sesión cooperativa, mientras que el resto de terminales participantes (denominados Secundarios) son invitados a la sesión. La Tabla I muestra los mensajes y principales parámetros del nuevo protocolo de red local o PRL.

A. PRL: Inicio de sesión

El equipo Principal debe iniciar un proceso de exploración en el vecindario para ver qué terminales están disponibles y dispuestos a ceder recursos en su entorno. Para ello, enviará un mensaje de presentación (*HELLO – BORROW*) solicitando a aquellos equipos en el vecindario que dispongan del nuevo perfil Bluetooth de comunicación cooperativa la disponibilidad a ceder su ancho de banda.

Si alguno de los equipos en el vecindario acepta la solicitud mandará un mensaje de aceptación (*ACCEPT – LEND*) para indicar al Principal su disponibilidad a cooperar. El terminal Principal iniciará entonces un mecanismo de emparejamiento Bluetooth (*pairing*), usando las correspondientes

claves de seguridad, para iniciar la sesión compartida entre el Principal y cada uno de los terminales definidos como Secundario.

Una vez que la sesión local está establecida, el equipo Principal enviará un mensaje de configuración (*START*) indicando a los terminales Secundarios que deben realizar una llamada a una dirección específica que será la de la pasarela (*Resources Sharing Gateway*) que gestiona la transmisión cooperativa. Este mensaje incluye un código de conexión (denominado *cid*) para que la pasarela sepa que la información que transmitan/reciban esos terminales corresponde a una comunicación iniciada por el equipo Principal.

Una vez que los parámetros de comunicación se han establecido, los equipos Secundarios iniciarán una llamada a la pasarela y actuarán como puentes (*proxies*) para transmitir de forma transparente todos los datos que reciban desde el Principal. El éxito en la comunicación con la pasarela se confirmará al terminal Principal mediante un mensaje de verificación (*START – OK*).

El equipo Principal dividirá la información que quiere transmitir en distintos bloques (paquetes IP) de los cuales algunos serán transmitidos directamente usando su conexión inalámbrica con la red y otros los enviará a la Red Local, haciendo uso de un mensaje Bluetooth (*TRANSFER*) con alguno de los terminales Secundarios previamente emparejados. Los equipos Secundarios reciben los paquetes IP del Principal y los envían a los túneles IPs creados desde cada uno con la pasarela.

B. PRL: Mantenimiento y finalización de sesión

Dado que los usuarios que han prestado sus recursos pueden volver a necesitarlos en cualquier momento, o pueden sufrir una pérdida de comunicación (pérdida de señal, agotamiento de batería) es necesario establecer un mecanismo de control de la conexión durante toda la sesión establecida por el Principal. Existen múltiples alternativas para este mecanismo de control, la solución más simple consiste en que cada terminal que reciba un mensaje *TRANSFER* responda con un mensaje de aceptación *TRANSFER – OK* una vez haya transmitido los datos hacia la pasarela. De esta manera, si el Principal no recibe esta confirmación podrá considerar que el terminal pareado no está ya disponible y eliminará la conexión Bluetooth con el equipo afectado dejando de enviarle nuevos datos.

Adicionalmente, se propone un mecanismo de incorporación dinámica que permita al Principal añadir a la red cooperativa nuevos terminales que se hayan incorporado al vecindario una vez iniciada la sesión y ofrezcan disponibilidad de recursos durante la misma. Para ello, el equipo Principal enviará periódicamente el mensaje de presentación (*HELLO – BORROW*) a los equipos en el vecindario que dispongan del nuevo perfil Bluetooth de comunicación cooperativa. Una vez terminada la comunicación, el equipo Principal enviará un mensaje a cada Secundario participante (*STOP*) para indicarles que ya pueden cerrar la comunicación

con la pasarela y cerrará la comunicación Bluetooth con todos ellos.

La Fig. 2 muestra un diagrama de flujo de los protocolos de red local y de señalización de red (este último descrito en la siguiente sección) para realizar una comunicación cooperativa.

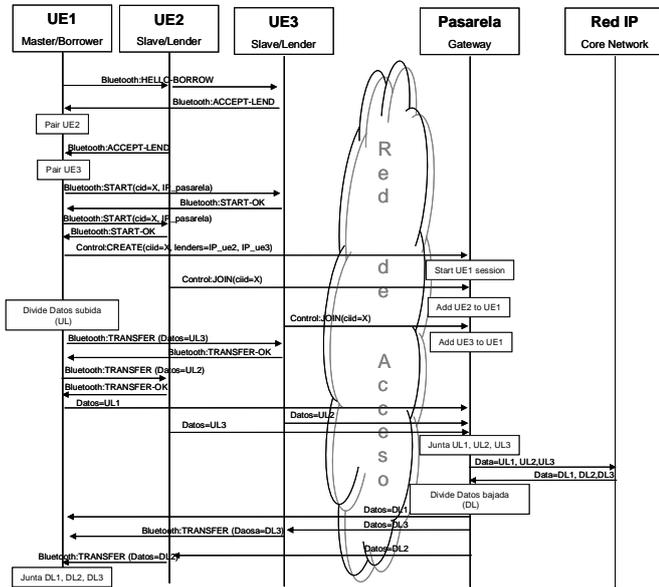


Fig. 2. Diagrama de flujo del sistema cooperativo.

IV. GESTIÓN DE LA SEÑALIZACIÓN

Una ventaja del sistema propuesto es que los terminales pueden emplear cualquier tecnología inalámbrica de acceso (e.g., GSM/GPRS, UMTS/HSPA, LTE, WiMax). Como ejemplo, hemos considerado inicialmente el caso de acceso UMTS. El mecanismo de préstamo de recursos de transmisión se ha diseñado con la idea de que sea transparente a la red inalámbrica, de modo que cada equipo establezca una comunicación independiente. Para ello, se ha definido una nueva entidad (pasarela) que se comunica con cada uno de los terminales a través de un mecanismo de *tunneling* IP y se encarga de realizar el reparto de tráfico sobre las distintas rutas y el ensamblado/desensamblado de los datos.

El Principal es el único terminal que se comunica con el servidor final, siempre a través de la pasarela. Los terminales Secundarios se comunican directamente con la pasarela (siendo ésta el punto final de su llamada). En el contexto de UMTS, cada uno de los terminales (Principal y Secundarios) crea una *PDP Context* diferente, sobre el que irán los datos de usuario.

La Fig. 3 presenta la arquitectura de protocolos del Plano de Control para el caso de UMTS. Se ha definido un nuevo protocolo de señalización, que llamaremos *Sharing Gateway Protocol* (SGP) entre cada terminal y la pasarela, para que cada uno indique con qué otros terminales está compartiendo recursos. Este protocolo, cuyos mensajes se muestran en la Tabla II, permite que cada equipo pueda establecer una

Mensaje SGP	Dirección	Parámetros
CREATE	Princ. → Pasarela	cid Secundario-IP
ADD	Princ. → Pasarela	cid Secundario-IP
REMOVE	Princ. → Pasarela	cid, Secundario-IP
END	Princ. → Pasarela	cid,
JOIN	Sec. → Pasarela	cid
UNJOIN	Sec. → Pasarela	cid
OK	Pasarela → Princ./Sec.	

TABLE II
MENSAJES DEL PROTOCOLO DE SGP.

sesión de comunicación cooperativa, mantenerla o modificarla y terminarla, tal y como se describe a continuación.

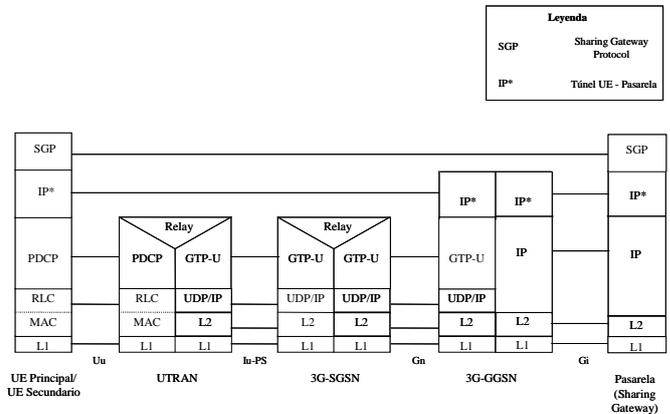


Fig. 3. Arquitectura de protocolos del plano de control.

A. SGP: Inicio de sesión

Tras el establecimiento de los parámetros de la comunicación cooperativa, el equipo Principal indicará a la pasarela a través del mensaje *CREATE*, qué otros equipos (identificados por el parámetro Secundario-IP) van a formar parte de la sesión (identificada por el *cid*). Del mismo modo, los equipos Secundarios se comunicarán con la pasarela a través del mensaje *JOIN* indicando el código *cid* para que ésta sepa que los datos que transmitan/reciban esos terminales corresponde a una comunicación iniciada por el equipo Principal asociado a esa conexión.

B. SGP: Mantenimiento y finalización de sesión

Cuando el equipo Principal detecte, mediante el mecanismo de control establecido en la red local Bluetooth, que algún equipo ya no está disponible para ceder sus recursos, se lo indicará a la pasarela a través del mensaje *REMOVE* para que ésta no acepte nuevos datos desde ni hacia ese equipo. Igualmente, el terminal secundario indicará a la pasarela que ya no está disponible a través del mensaje *UNJOIN*.

Adicionalmente, si durante la sesión algún equipo se incorpora a la red local Bluetooth, tanto el Principal a través del mensaje *ADD*, como el terminal Secundario recientemente incorporado a través del mensaje *JOIN*, informarán a la pasarela para que actualice su información de sesión compartida. Una vez terminada la comunicación, el equipo Principal enviará un mensaje *END* a la pasarela para indicarle que ya puede cerrar la comunicación con todos los equipos asociados a esa sesión cooperativa. Igualmente, cada uno de los terminales secundarios indicará a la pasarela que cierre su contexto de comunicación a través del mensaje *UNJOIN*.

V. ALGUNOS RESULTADOS PRELIMINARES

En esta sección se presentan algunos resultados preliminares obtenidos mediante simulación para el sistema cooperativo propuesto. La Fig. 4 (izquierda) muestra la tasa efectiva de transmisión (*throughput*) del sistema cooperativo en función del número de equipos cooperantes, para el caso de red inalámbrica UMTS, considerando que tanto el terminal principal como los secundarios utilizan *bearers* de 128 kbps. Se ha asumido nula la contribución del enlace Bluetooth debido a que su velocidad de transmisión (hasta 3 Mbps) es mucho mayor que los 128 kbps del *bearer* UMTS considerado. Se puede observar que la degradación de la tasa total del sistema cooperativo es muy pequeña respecto al caso ideal (que considera la suma de las tasas máximas de cada terminal), y dicha degradación se debe básicamente al *overhead* introducido por el túnel UE-Pasarela (IP*).

La Fig. 4 (derecha) muestra la latencia del sistema en función del número de equipos cooperantes, para el caso de red inalámbrica UMTS, considerando que tanto el terminal Principal como los Secundarios utilizan HSDPA en el enlace descendente y *bearers* de 128 kbps para el enlace ascendente. La latencia se ha calculado para transferencia de paquetes de diferentes tamaños (0 bytes y 1346 bytes, respectivamente), que consisten en el envío de 5 *Internet Control Message Protocol* (ICMP) pings de manera continuada distribuidos entre el terminal Principal y los Secundarios de la manera indicada en la Tabla III. Como se observa, la latencia del sistema cooperativo disminuye con el número de equipos cooperantes, debido al reparto de paquetes entre los distintos equipos cooperantes, lo cual compensa la contribución del tiempo de ensamblado/desensamblado (proceso que se realiza tanto en el terminal principal como en la pasarela). Esta reducción de la latencia hace que este sistema sea atractivo para aplicaciones con requisitos de latencia muy restrictivos, como *streaming* de vídeo. Así mismo, se puede destacar que la mayor reducción de latencia se consigue con uno o dos equipos cooperantes, sobre todo para el caso de paquetes de mayor tamaño.

VI. CONCLUSIONES

En este artículo se ha presentado un sistema completo (incluyendo arquitectura, componentes y protocolos) para una solución cooperativa que permite a un usuario utilizar varios terminales para experimentar un mejor servicio. El sistema

Nº equipos cooperantes	Reparto de paquetes (P, S_A, S_B, S_C, S_D)
0	(5,0,0,0,0)
1	(3,2,0,0,0)
2	(2,2,1,0,0)
3	(2,1,1,1,0)
4	(1,1,1,1,1)

TABLE III

REPARTO DE PAQUETES ENTRE EL EQUIPO PRINCIPAL P Y LOS EQUIPOS COOPERANTES SECUNDARIOS S_A, \dots, S_D .

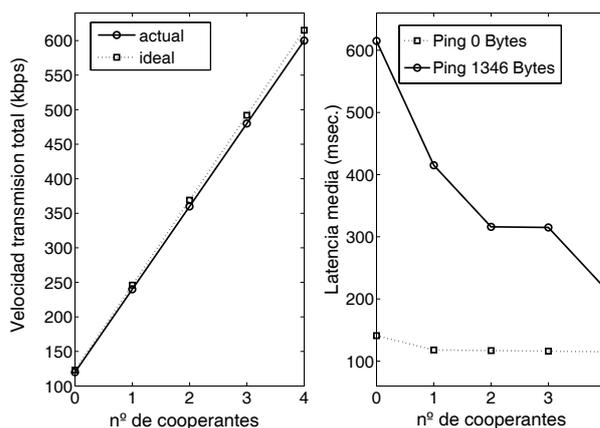


Fig. 4. Tasa total (izqda.) y latencia (derecha) del sistema cooperativo en función del número de equipos cooperantes.

está formado por una red local basada en Bluetooth (con una nueva capa de aplicación y un nuevo perfil Bluetooth), y una pasarela encargada de ensamblar/desensamblar los diferentes caminos de transmisión (resultado de las diferentes llamadas establecidas desde los terminales Principal/Secundarios). La solución aquí propuesta es independiente de la red inalámbrica de acceso. Futuras líneas de trabajo incluyen el desarrollo de una red cooperativa prototipo y la optimización del algoritmo de reparto de tráfico.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación a través del proyecto TEC2007-68020-C04-02/TCM (MultiMIMO).

REFERENCES

- [1] H.P. Fitzek, M. D. Katz, Eds., *Cooperation in Wireless Networks: Principles and Applications*, Springer Verlag, Dordrecht, 2006.
- [2] A. Sendonaris, E. Erkip and B. Aazhang, "User cooperation diversity. Part I. System description," *IEEE Trans. on Communications*, vol. 51, pp. 1927-1939, 2003.
- [3] J. N. Laneman and G. W. Wornell, "Distributed space-time coded protocols for exploiting cooperative diversity in wireless networks," *IEEE Trans. on Information Theory*, vol. 49, pp. 2415-2425, 2003.
- [4] J. N. Laneman, D. N. C. Tse and G. W. Wornell, "Cooperative diversity in wireless networks: efficient protocols and outage behavior," *IEEE Trans. on Information Theory*, vol. 50, pp. 3062-3080, 2004.