

## **Evaluación de CSMA No Persistente como protocolo anticolisión en sistemas RFID activos.**

**Javier Vales Alonso<sup>1</sup>, Fco. Javier González Castaño<sup>2</sup>, Esteban Egea López<sup>1</sup>, M<sup>a</sup> Victoria Bueno Delgado<sup>1</sup>, Alejandro Martínez Sala<sup>1</sup>, Joan García Haro<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Área de Ingeniería Telemática. E.T.S. Ingeniería de Telecomunicación, Universidad Politécnica de Cartagena, Plaza del Hospital nº 1, 30202, Cartagena, Murcia. {javier.vales, esteban.egea, mvictoria.bueno, joang.haro}@upct.es

<sup>2</sup> Departamento de Ingeniería Telemática. E.T.S. Ingeniería de Telecomunicación, Universidad de Vigo, Campus, 36310, Vigo, Pontevedra. javier@det.uvigo.es

### **Resumen**

*En este trabajo se propone el uso de CSMA no persistente como protocolo anticolisión para sistemas RFID con tags activos. Las propuestas actuales, tanto para tags pasivos como para tags activos, se basan en el protocolo anticolisión probabilístico Framed Slotted ALOHA (FSA). Sin embargo, este protocolo no es capaz de trabajar correctamente ante la presencia de un elevado número de tags y necesita un mecanismo de adaptación de la longitud de la trama. Por otro lado, los dispositivos RFID activos incorporan ya en la actualidad la capacidad de comprobar el estado de canal (carrier sensing) y, por tanto, CSMA podría ser utilizado directamente. El problema es que el protocolo CSMA clásico (utilizando una distribución uniforme para la selección del número de microslots que se permanece a la escucha) no mejora el proceso de identificación. Afortunadamente hay enfoques mejores. Recientemente se ha propuesto en el ámbito de las Redes de Sensores, una distribución de probabilidad para la selección del canal que es óptima con respecto a la probabilidad de éxito (no colisión), así como una distribución implementable en la práctica: la distribución Sift. En este artículo proponemos el uso de la distribución Sift junto con CSMA para la identificación con sistemas RFID activos. Por medio de un estudio analítico, evaluamos el tiempo medio necesario para la identificación con este mecanismo y lo comparamos con el necesario para las especificaciones ISO 18000-7 y EPC "Gen 2". Los resultados indican que Sift-CSMA supera claramente a las dos aproximaciones anteriores (FSA y CSMA). Y lo que es más importante, se adapta mucho mejor a incrementos en el número de tags, sin la necesidad de mecanismos de adaptación adicionales.*

**Palabras clave:** RFID, protocolo anticolisión, CSMA no-persistente, EPCglobal "Gen 2", ISO 18007, tags RFID activos.

### **1. Introducción**

Las aplicaciones de los sistemas RFID abarcan desde la sustitución de sistemas de códigos de barras hasta la localización/detección de contenedores en grandes vehículos de transporte (buques, trenes). Hay numerosas propuestas de tecnologías RFID con el fin de cubrir tan extensa variedad de aplicaciones. Un sistema RFID básico está compuesto de un antena lectora, llamada *Reader* o *master* y una serie de etiquetas de radiofrecuencia (RFID *tags*), posiblemente muy grande, que responden a las peticiones u órdenes del *Reader*. Los *tags* RFID pueden clasificarse según su fuente de energía: los *tags* pasivos son dispositivos simples, normalmente con una memoria de solo lectura, que carecen de fuente de alimentación propia y son exo-alimentados por parte del *Reader* por inducción electromagnética. El rango de cobertura puede oscilar desde los pocos centímetros hasta un

par de metros. La simplicidad de estos dispositivos hace que sean muy económicos. Por el contrario, los *tags* activos son dispositivos de mayor complejidad, incorporan su propia batería y normalmente incluyen un microprocesador y una memoria de lectura/escritura, por lo que pueden realizar operaciones más complejas. El rango de cobertura de estos dispositivos es mucho mayor, llegando a alcanzar distancias de hasta 100 metros [1]. Por supuesto, el coste *hardware* de estos dispositivos es muy superior en comparación con los *tags* pasivos.

Mientras que los sistemas RFID pasivos son los más extendidos y estudiados [2][3][4], la tecnología de RFID activa ha atraído poca atención académica, y sólo se dispone de un estándar relativamente reciente [5].

En ambos casos surge el problema de las colisiones en el acceso al medio. Es decir, si varios *tags* intentan identificarse en el mismo instante temporal, los mensajes de respuesta de éstos colisionarán, impidiendo la correcta identificación. Por ello es necesario incluir algún tipo de mecanismo anticollisión. Dicho mecanismo debe garantizar la correcta y rápida identificación de *todos* los *tags* que circulen por la zona de cobertura. Asimismo, en el caso de los *tags* activos es necesario implementar un mecanismo de ahorro de energía para maximizar la duración de las baterías. Por lo tanto, el problema de la identificación de un *tag* consiste en identificar múltiples objetos con un retardo y consumo de energía mínimos, fiabilidad y capacidad de adaptación a incrementos en el número de etiquetas (escalabilidad). A diferencia de los protocolos clásicos de acceso al medio, la utilización global de un canal y la justicia (reparto justo de la capacidad entre los usuarios) no se tienen en cuenta en el diseño de los sistemas RFID.

En el caso de los *tags* pasivos, y debido sobre todo a las limitaciones *hardware* de estos dispositivos, los protocolos suelen ser muy simples y la mayoría de ellos se agrupan dentro de una de estas dos categorías:

- Algoritmos deterministas de segmentación (*Splitting*). El conjunto de *tags* a identificar se descompone en pequeños subgrupos mediante técnicas de *splitting* hasta que el número de *tags* por subgrupo sea de uno. Para llevar a cabo este algoritmo, los *tags* seleccionan un número aleatorio, o bien el *Reader* envía un número de serie correspondiente a un único subgrupo de *tags* (ID). Estos algoritmos se conocen también como algoritmos de búsqueda en árbol o búsqueda binaria.
- Algoritmos probabilísticos. La otra gran familia de protocolos se basa en el protocolo *Frame Slotted ALOHA* (*Frame Slotted Aloha*, FSA) [6]. En este caso, tras recibir una señal del *Reader*, los *tags* arbitrariamente seleccionan una ranura de entre  $K$  (longitud de la trama) y envían su identificador *ID* en la ranura elegida. Este mecanismo es muy simple, pero cuando el número de *tags* aumenta, es necesario algún mecanismo de adaptación de trama, para decidir el valor de  $K$ . [3].

¿Qué enfoques se usan entonces en los *tags* activos? La respuesta no es sencilla ya que existe cierta confusión alrededor de esta tecnología. Por una parte, hay una carencia de literatura científica que aborde específicamente el problema de la resolución de colisiones para los *tags* activos, aunque sí se trata en el estándar ISO 18000-7 [5] que propone usar el *Frame Slotted ALOHA* como protocolo anticollisión, sugiriendo un mecanismo de adaptación de la longitud de la trama pero sin especificar uno en particular y dejándolo abierto. Además, la organización EPCglobal, líder industrial en el desarrollo del estándar en este campo, ha fijado el EPC ``Gen 2'' como estándar de referencia [7]. El procedimiento anticollisión de ``Gen 2'' es, supuestamente, independiente del tipo de dispositivo, es decir, pasivo o activo. Incorporando

algunas modificaciones, EPC ``Gen 2'' es similar al protocolo *Frame Slotted ALOHA* y el estándar sugiere un algoritmo específico para la adaptación de la longitud de trama.

Por otra parte, un dispositivo *tag* activo típico incorpora un microprocesador, un sofisticado transmisor, puede llegar a implementar un módulo de Bluetooth o soportar el protocolo IEEE 802.11 o protocolos MAC de Redes de Sensores (*Wireless Sensor Networks*, WSN) [8]. Está claro que estos protocolos se diseñan con unos requisitos diferentes en mente y además, actualmente, el coste de estos aparatos es aún posiblemente demasiado alto para su uso masivo. **Por tanto, parece que las posibles opciones disponibles para tags activos son: o bien métodos muy simples, adecuados para tags pasivos o bien propuestas muy sofisticadas diseñadas para diferentes propósitos.**

Pero, ¿es alguna de estas opciones eficiente realmente en el ámbito de RFID? En este artículo se estudia una solución intermedia: el uso de *CSMA* (*Carrier Sense Multiple Access*) no persistente como mecanismo anticolidión para sistemas RFID con *tags* activos. Con este mecanismo y tras recibir una petición de identificación, los *tags* escuchan el canal durante un número seleccionado aleatoriamente de ranuras de contienda<sup>1</sup>. De esta forma, un *tag* transmite su identificador si el canal se encuentra libre durante ese intervalo de tiempo. De lo contrario aplaza la transmisión. Como se demuestra en este trabajo, si los *micro-slots* se seleccionan uniformemente (el enfoque clásico), la identificación de los *tags* no es más eficiente que la de un *ALOHA*. Sin embargo, para *WSN* se ha propuesto una distribución optimizada para la selección de los *micro-slots* de contienda *CSMA* [9]. Esta distribución minimiza la probabilidad de colisión cuando las *N* estaciones se activan simultáneamente, que es exactamente el principal problema de la identificación en RFID. Utilizar esta distribución hace que el proceso de identificación sea más rápido y escalable que con las propuestas *FSA*, e incluso simplifica la implementación del protocolo. Se debe destacar que, el uso de *CSMA* es factible para sistemas RFID con dispositivos *tags* activos [1], ya que un típico chip de bajo coste para RFID activo ya incorpora capacidades de detección de actividad del canal sin ningún coste adicional, incluso aunque en el ámbito de aplicación de RFID con *tags* activos (gestión y seguimiento de vehículos y contenedores) ya se da por sentada la necesidad de *tags* más complejos y costosos. Además, puede incluso que reduzca los costes, si se compara con dispositivos que utilizan protocolos complejos como IEEE 802.11.

En este artículo se justifica esta solución estudiando de forma analítica el rendimiento del protocolo *CSMA* no persistente cuasi-óptimo como un mecanismo anticolidión para la identificación en RFID. Se calcula y compara el número medio de ciclos de identificación necesario para identificar todos los *tags* en cobertura en un sistema RFID para *CSMA* e ISO 18000-7 y EPC ``Gen 2''. El resto del artículo está organizado en las siguientes secciones: la sección 2 ofrece una breve revisión de los trabajos relacionados. En la sección 3 las diferentes propuestas a comparar se revisan y analizan. La sección 4 proporciona una comparación y discusión de las propuestas expuestas en la sección anterior. Finalmente, la sección 5 concluye y argumenta las posibles líneas de trabajo futuras.

## 2. Trabajo relacionado

---

<sup>1</sup> Nota: A partir de ahora nos referiremos a un *slot* de contienda como *micro-slot*, para diferenciarlo de un *slot* ALOHA.

La mayoría de protocolos anticolidión se centran en sistemas RFID con *tags* pasivos [2]. En este caso las limitaciones de los dispositivos normalmente imponen el uso de protocolos muy simples, y toda la carga del proceso de identificación recae sobre el Lector (*Reader*). Las diferentes propuestas se agrupan dentro de dos categorías: (i) Algoritmos deterministas o (ii) Algoritmos probabilísticas. En el primer grupo destaca el protocolo conocido como *QT memoryless* [2] donde el *Reader* envía un número, un prefijo de cadena (*string prefix*) y todos los *tags* cuyos primeros bits del identificador almacenado en memoria corresponde con ese prefijo responden. Para ello, los *tags* utilizan un comparador de bits. Posteriormente el *Reader* añade un nuevo dígito al *string prefix*. Si no hay colisión en la respuesta significa que un *tag* ha sido identificado correctamente. Este tipo de algoritmo se conoce como algoritmo de búsqueda binaria y es determinista, lo que significa que todos los *tags* se identifican con probabilidad 1 dentro de un tiempo limitado. Sin embargo, este tiempo puede ser muy extenso, dependiendo de la longitud del número de identificación del *tag*.

Los algoritmos probabilísticos se basan en el protocolo *Frame Slotted ALOHA*, siendo una elección prácticamente unánime en este segundo grupo. Entre los protocolos existentes, destaca I-Code [3] que se diseñó para ser implementado en sistemas RFID con dispositivos *tags* pasivos. Hay que destacar que en la mayoría de las propuestas para sistemas RFID activos también se ha elegido este enfoque: el estándar ISO 18000-7 [5] así como el protocolo EPC ``Gen 2'' [7]. Este último, del que se espera que sea un estándar *de facto*, se usa tanto en sistemas RFID con *tags* pasivos como activos. A diferencia del ISO 18000-7, EPC sí sugiere un procedimiento de adaptación de la longitud de trama.

Vogt [3] analiza el proceso de identificación del protocolo *Frame Slotted ALOHA* como una cadena de Markov y deriva dos procedimientos para adaptar dinámicamente la de la trama. Se asume que no existe un conocimiento *a priori* del número de *tags* en cobertura que deben identificarse. Además, todos los *tags* compiten en todos los ciclos de identificación. En este trabajo, se utiliza un análisis levemente modificado, considerando que los *tags* identificados no siguen participando, ya que las dos propuestas principales, ISO 18000-7 y EPC ``Gen 2'', afirman que los *tags* se retiran del proceso de identificación tras ser reconocidos.

Como se indica en la sección 1, se propone el uso de *CSMA* con probabilidad de distribución óptima ( $p^*$ ) para la selección de *micro-slots CSMA* de contienda propuesto en [9]. Esta distribución maximiza la probabilidad de éxito cuando  $N$  nodos se activan simultáneamente, pero depende del número de ranuras en uso  $K$  y del número de nodos  $N$  que participan en el proceso de identificación. Debido a que normalmente el número de nodos es desconocido (también en los sistemas RFID), se proporciona también una aproximación, la distribución *Sift*, que presenta unos resultados cuasi-óptimos en un amplio rango de parámetros de configuración, y además es escalable. En [9] los autores discuten aplicaciones diversas en WSN, pero no mencionan RFID. En este artículo demostramos que los RFID son un importante campo de aplicación de esta distribución optimizada.

Finalmente, tanto *CSMA* como *Frame Slotted ALOHA* han sido estudiados en profundidad [10, 6], pero como protocolos MAC clásicos, se centran en el uso del canal y en el retardo en el acceso. En RFID, por el contrario, la prestación más importante es el retardo en la identificación. En este trabajo se evalúa el rendimiento de los protocolos en relación a esta métrica.

### 3 Análisis

En esta sección, las diversas propuestas a comparar son revisadas y analizadas.

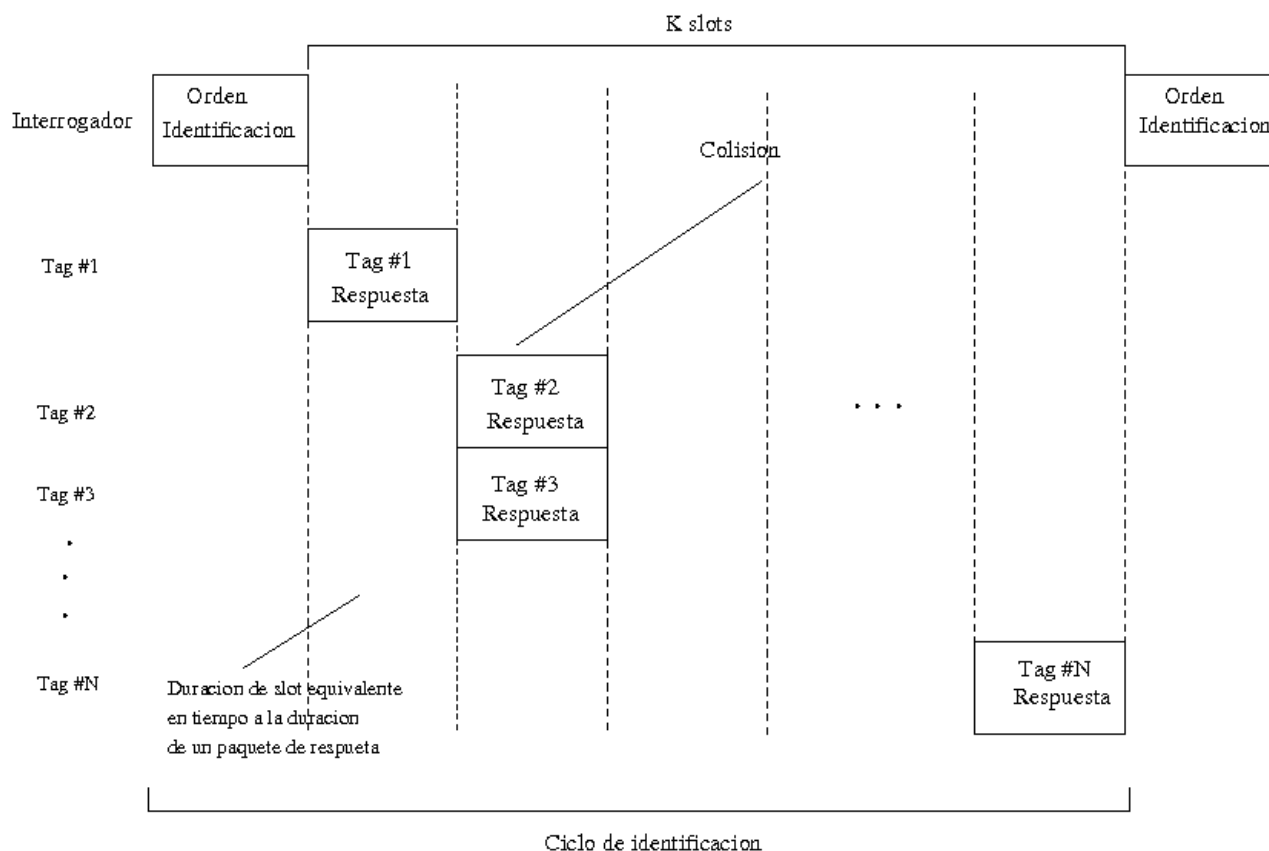


Fig 1. Procedimiento de anticollisión ISO 18000-7 ([5])

### 3.1. Frame Slotted ALOHA

Como hemos comentado, tanto ISO 18000-7 como EPC ``Gen 2" [5, 7] utilizan un protocolo del tipo *Frame Slotted ALOHA* (FSA). En ambos casos, una población de  $N$  tags comienza el proceso de identificación tras recibir una orden de inicio de identificación por parte del *Reader*. A partir de este punto, como muestra la Fig. 1, los tags seleccionan de forma arbitraria y siguiendo una distribución uniforme, una ranura temporal y transmiten su número identificativo  $ID$  en la ranura seleccionada. Los tags deben elegir una ranura de entre  $K$  posibles ranuras (tamaño de la trama). Si dos o más tags seleccionan la misma ranura temporal, se produce una colisión. Si una ranura presenta una sola respuesta, el *Reader* envía un paquete *ACK* indicando al tag en cuestión que se identificó satisfactoriamente, evitando así que participe de nuevo en el proceso de identificación.

Por tanto, un ciclo de identificación abarca los comandos de orden de identificación enviados por el *Reader* y las  $K$  ranuras temporales. Aunque se muestra en la Fig. 1, se asume que no se ha producido ninguna transmisión de datos y que los tags sólo se identifican a sí mismos. Después de tres rondas de identificación sin respuesta, el *Reader* asume que todos los tags han sido identificados.

Como se explica en [3], el proceso de identificación puede ser modelado como un proceso (homogéneo) de Markov  $\{X_s\}$ , donde  $\{X_s\}$  denota el número de tags no identificados en el

ciclo  $s$ . Así pues, el espacio de estados del proceso de Markov se denota como  $\{N, N-1, \dots, 0\}$ . La distribución de probabilidad de la variable  $\mu_r$  que indica el número del *slot* que se ocupa con exactamente  $r$  *tags* es:

$$P_{K,N}(\mu_r = m) = \frac{\binom{K}{m} \prod_{i=0}^{m-1} \binom{N-ir}{r}}{K^N} \quad (1)$$

donde  $m=0\dots k$ , y:

$$G(M, l, v) = M^l + \sum_{i=1}^{\lfloor \frac{l}{v} \rfloor} \left\{ (-1)^i \prod_{j=0}^{i-1} \left\{ \binom{l-jv}{v} (M-j) \right\} (M-i)^{l-iv} \frac{1}{i!} \right\} \quad (2)$$

Puesto que todos los *tags* identificados en un ciclo se retiran de la contienda, la matriz de transición  $H$  y las probabilidades de transición se denotan como:

$$h_{i,j} = \begin{cases} P_{K,N-i}(\mu_i = j-i), i < j \leq i+K \\ 1 - \sum_{k=i+1}^{i+K} h_{j,k}, i = j \\ 0, \text{resto} \end{cases} \quad (3)$$

donde  $i=0\dots N$ . Debido a que ésta es una cadena de Markov absorbente, el número medio de ciclos de identificación es igual al número medio de pasos hasta la absorción, que se denota como:

$$\mathbf{t} = F\mathbf{c} \quad (4)$$

donde  $\mathbf{t}$  es un vector de columna y  $\mathbf{c}$  es el número esperado de pasos (ciclos, en este caso) antes de que la cadena sea absorbida, dado que ésta empieza en estado  $X_s$ ,  $F$  es la matriz fundamental de  $H$  y  $\mathbf{c}$  es un vector de columna cuyos valores son todos 1. (ver [11]). Así pues, si el estado inicial es  $X_l$  es decir, los  $N$  *tags* se identifican, el número medio de ciclos para identificar todos los *tags* es  $t_l$ .

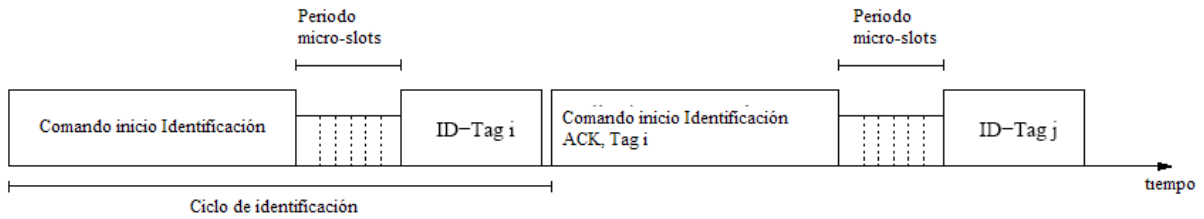
La tabla 1 muestra el número medio de ciclos frente al número de *tags*  $N$  para diferentes longitudes de trama (en número de *slots*). La tabla muestra que con una longitud de trama fija, el número de ciclos aumenta exponencialmente con el número de *tags*. Por lo tanto, un mecanismo simple como un *Frame Slotted ALOHA* no escala bien, y requiere un mecanismo de adaptación de trama si el número de *tags* aumenta de forma considerable.

Slots/Tags	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
4	8.2	60	630	8159	$1.1 \cdot 10^5$	$1.6 \cdot 10^6$	$2.5 \cdot 10^7$	$3.8 \cdot 10^8$	$6.0 \cdot 10^9$	$9.6 \cdot 10^{10}$
8	3.67	8.56	19.6	49.4	138.0	413.9	1304.2	4244.6	14127	47797
16	2.44	4.11	6.15	8.93	13.03	19.3	29.41	46.0	73.81	121.3
32	1.89	2.76	3.60	4.47	5.424	6.50	7.76	9.26	11.0	13.2
64	1.54	2.15	2.61	3.06	3.465	3.90	4.32	4.77	5.23	5.72

Tabla 1. Número medio de ciclos de identificación vs número de Tags

### 3.2. CSMA.

El funcionamiento del protocolo de identificación cuando se utiliza *CSMA* es el siguiente: tras recibir una orden de inicio de identificación por parte del *Reader* los  $N$  *tags* escuchan el canal durante un número de *micro-slots* elegidos arbitrariamente de entre un conjunto de  $K$ . Si el canal permanece libre después del número de *micro-slots* seleccionado, un *tag* envía su número de identificación *ID*. De lo contrario, se retira hasta la próxima orden emitida por el *Reader*. Si no hay colisión, el *Reader* envía una orden *ACK-Collection*, que indica el *tag* ya identificado y pide más *IDs*. Los *tags* aún sin identificar comienzan el proceso de nuevo. La Fig. 2 ilustra este mecanismo.



**Fig. 2. Procedimiento algoritmo anticollisión en CSMA**

La probabilidad de éxito  $\pi_p(N)$  cuando los *tags* seleccionan un *micro-slot* de contienda usando una distribución de probabilidad  $p$ , donde  $p_r$  es la probabilidad de que cada *tag* independientemente escoja una *slot*  $r$ , es (ver [9]):

$$\pi_p(N) = N \sum_{s=1}^{K-1} p_s \left(1 - \sum_{r=1}^s p_r\right)^{N-1} \quad (5)$$

En este caso, la matriz de transición  $H$  para el proceso Markov  $\{X_s\}$  definido con anterioridad es:

$$h_{i,j} = \begin{cases} \pi_p(N-i), & j = i+1 \\ 1 - \pi_p(N-i), & i = j \\ 0, & \text{resto} \end{cases} \quad (6)$$

El número medio de pasos hasta la absorción es calculado como se ha indicado anteriormente. Se asume en primer lugar que los *slots* son elegidos uniformemente. En tal caso:

$$p_r = \frac{1}{k} \quad (7)$$

Las figuras 3(a) y 3(b) muestran los resultados utilizando una distribución uniforme para diferentes valores de *micro-slots*. De nuevo, la duración de un ciclo de identificación depende del número de *micro-slots*, de la longitud del paquete, y de la tasa de transmisión. Los parámetros para la estimación del tiempo medio se indican en la sección 4. Como en el protocolo *Frame Slotted ALOHA*, este procedimiento tampoco presenta unos buenos resultados en términos de escalabilidad. De hecho, el rendimiento es peor y junto con la complejidad adicional de los dispositivos puede constituir una de las razones por las que nunca se ha propuesto como un procedimiento anticollisión para los sistemas RFID.

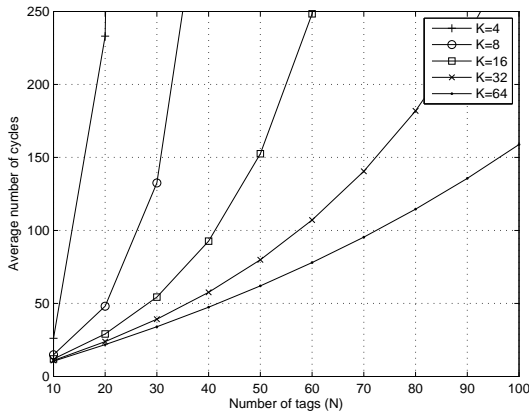


Figura 3(a). Número medio de ciclos con distribución uniforme

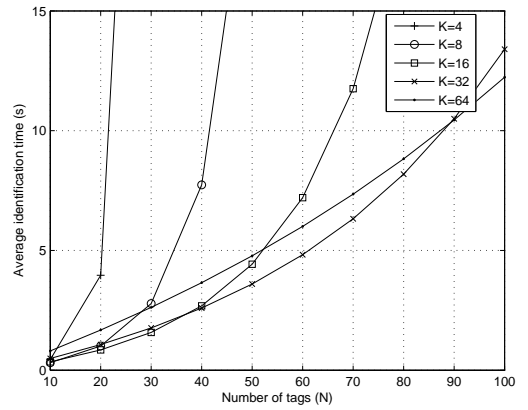


Figura 3(b). Tiempo medio de identificación con distribución uniforme

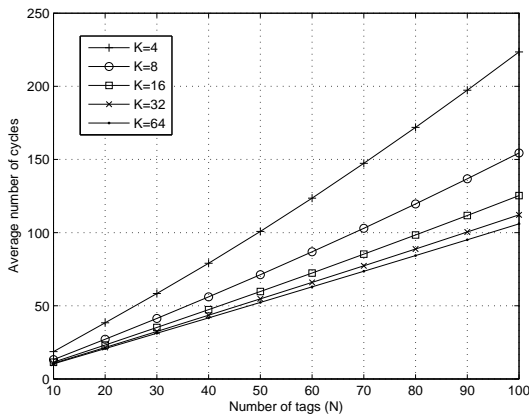


Figura 4(a). Número medio de ciclos con distribución Sift

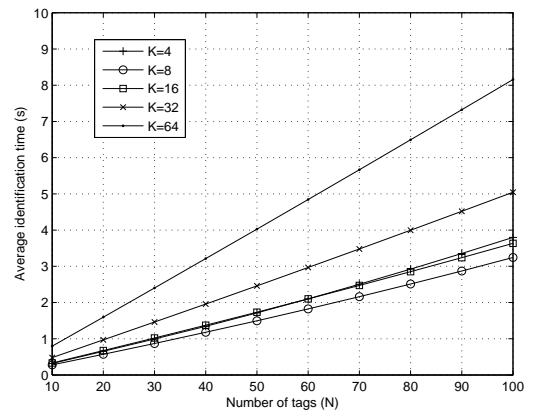


Figura 4(b). Tiempo medio de identificación con distribución uniforme

Si se utiliza la distribución *Sift*, que es una aproximación a la distribución optimizada derivada en [9], en este caso::

$$p_r = \frac{\alpha^r (1-\alpha)\alpha^K}{1-\alpha^K} \quad (8)$$

para  $r=1\dots K$  y  $\alpha = M^{\frac{-1}{K-1}}$ .

$M$  es un parámetro de la distribución *Sift*, pre-configurado antes del despliegue y que representa el máximo número de participantes (según la estimación del usuario). Los resultados mostrados en la Fig.4(a) y 4(b) revelan que el número de ciclos aumenta casi de modo lineal con el número de *tags*, a diferencia del incremento exponencial de *Frame Slotted ALOHA*. Por lo tanto, este procedimiento sí es escalable. Además, aumentando el número de *micro-slots* el número de ciclos tiende al mínimo necesario ( $N$  ciclos). Sin embargo, implica un aumento en la duración de un ciclo y puede incluso ser contraproducente: como se puede ver en la Fig. 4(b), 8 *micro-slots* son suficientes para manejar toda la extensión de *tags*.



Estos resultados muestran que, tras elegir cuidadosamente la distribución para la ventana de contienda, *CSMA* se convierte en una técnica escalable para la identificación de *tags* RFID. En la sección 3 se discuten y se comparan las diversas propuestas para el caso de *tags* activos.

### 3 Comparativa de propuestas

Con el fin de comparar las diversas propuestas, los ciclos de identificación se traducen en tiempo absoluto, puesto que la duración un ciclo de identificación depende del número de ranuras. En primer lugar, comparamos *CSMA* no persistente con distribución *Sift* frente a ISO 18000-7. Los parámetros se eligen de la especificación [5]. Un ciclo de identificación dura lo que una orden de recolección (5 ms) más cada ranura (8 ms). Finalmente, para cada tag identificado el interrogador envía un paquete *ACK* (5 ms) antes de comenzar un nuevo ciclo.

Para el ciclo *CSMA*, asumimos la misma duración para las órdenes del interrogador (5 ms) y los paquetes ID (8 ms) más el tiempo para todas las *micro-slots*, aunque el número de *micro-slot* de éxito en media (esperanza matemática) es anterior. De hecho, el rendimiento depende en gran medida del tiempo mínimo necesitado para llevar a cabo la escucha del canal (*carrier sense*), es decir, la duración del *micro-slot* de contienda.

La duración y precisión de la escucha del canal (*Clear Channel Assessment*, CCA) depende de la tecnología, el dispositivo y la implementación del CCA [12]. Hay muchas posibilidades, pero nosotros supondremos que los aparatos utilizan CCA coherente, es decir, el canal se considera ocupado cuando el preámbulo del paquete es detectado. Así, establecemos el tiempo del *micro-slot* en la duración del preámbulo. Para ISO 18000-7, el preámbulo es aproximadamente 1 ms y también lo es el tiempo por *micro-slot*. De hecho puede ser considerado un valor conservador, ya que un dispositivo tipo puede llevar a cabo esta tarea en menos tiempo [12].

Aún así, como se puede ver en la Figura 5, *CSMA* no persistente y basado en *Sift* con 8 *micro-slots* (y parámetro *Sift*  $M=64$ ) supera el procedimiento propuesto por ISO 18000-7 para cada longitud de trama *FSA*. Cuando el número de tags es bajo, la mejora no es significativa, pero, a medida que el número aumenta, *Frame Slotted ALOHA* se vuelve inestable y la longitud de trama debe ser adaptada. Por el contrario, *CSMA* no persistente y basado en *Sift* puede manejar un amplio rango en el número de tags sin problemas.

Por último, consideremos el caso del EPC "Gen 2". En este caso, según la especificación [7], las ranuras vacías y aquellas con colisión son más cortas que las ranuras con un paquete de identificador correcto. De todos modos, proporcionamos una aproximación al tiempo promedio de identificación, asumiendo que la duración de todas las ranuras es la misma e igual a 2.505 ms, que es el tiempo requerido para la correcta identificación de un *tag* si la capacidad del canal es de 40 Kbps.

De nuevo ésta es una estimación conservadora, ya que los *slots* vacíos y de colisión son de hecho más cortos (0.575 ms). Para *CSMA*, asumimos de nuevo que en un ciclo tenemos un paquete de ID (1.4 ms) más un paquete *ACK-Collection* (0.55 ms) del interrogador, más la duración de la ventana de contienda completa, como antes. En este caso, fijamos la duración del *micro-slot* en 100  $\mu$ s, que es de nuevo la duración del preámbulo. En la Fig. 6 exponemos los resultados para EPC y *CSMA* no persistente y basado en *Sift* ( $M=64$ ). Junto al promedio de ciclos previamente calculado, hemos simulado el mecanismo de adaptación de la trama EPC

recomendado en la especificación [7]. También se incluye en la Fig. 6 etiquetada como "Adaptive".

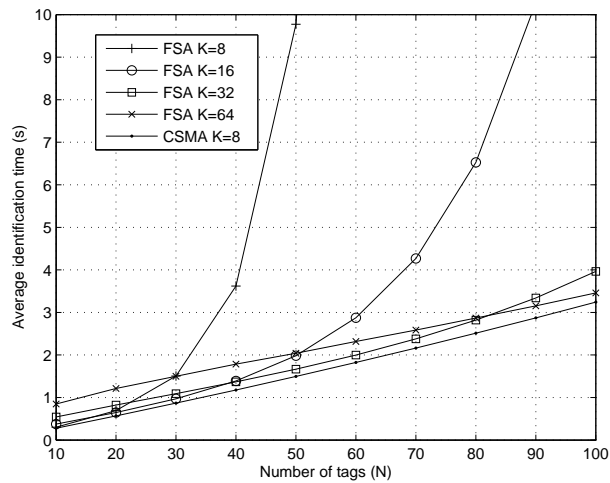


Figura 5. Comparación ISO 18000-7 con CSMA con distribución Sift

Obviamente, para una longitud de trama fija, los resultados son los mismos que en la Fig. 5 pero con otra escala temporal. No obstante, esta figura muestra además que CSMA no persistente y basado en Sift también supera al EPC con adaptación de la trama.

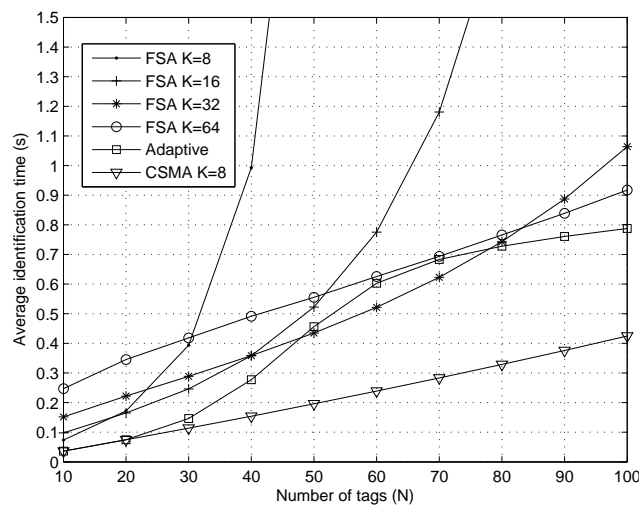


Figura 6. Comparación de EPC "Gen 2" con CSMA con distribución Sift

Además, en este caso, la mejora es aún mayor (alrededor del 50 % para casi cada número de tags) a causa de un *micro-slot* más corto, como ha sido comentado con anterioridad.

Resumiendo, CSMA permite una más rápida identificación de los tags en todos los casos. La mejora depende de la duración del *micro-slot* de contienda. Sin embargo, es más importante señalar que el CSMA también *escala mucho mejor* que el *Frame Slotted ALOHA*, incluso con adaptación de trama, lo cual simplifica la implementación del lector y de los tags.

#### 4 Conclusiones

En este artículo proponemos el uso de *CSMA* no persistente y basado en *Sift* como procedimiento anticolidión para tags RFID activos alternativo al mecanismo actual de *Frame Slotted ALOHA*, el cual no escala bien y necesita un procedimiento adicional para la adaptación de la trama. Los dispositivos activos ya incorporan capacidades de escucha del canal sin coste adicional y, así pues, el *CSMA* puede ser usado directamente. De hecho, si se compara con algunos productos comerciales que utilizan protocolos más sofisticados, como IEEE 802.11 o Bluetooth, el *CSMA* puede incluso reducir el coste de los aparatos activos mientras que logra el objetivo del procedimiento anticolidión.

Para justificar nuestra propuesta, hemos evaluado el tiempo medio necesario para la identificación con este mecanismo y lo hemos comparado con los actuales estándares ISO 18000-7 y EPC "Gen 2". Los resultados muestran que el *CSMA* supera a ambos. Por ejemplo, el tiempo medio de identificación puede ser reducido en un 50 % comparado con EPC con adaptación de la trama. De hecho, la mejora del rendimiento depende de la duración de los *micro-slots* de contienda. Aún más importante es el hecho de que, en ambos casos, *CSMA* no persistente y basado en *Sift* también escala mucho mejor: configurado con 8 *micro-slots* *CSMA* puede manejar eficazmente un rango que va desde unos cuantos tags hasta cientos de ellos, sin necesidad de mecanismos de adaptación adicionales, lo cual simplifica la implementación del lector y de los tags. Aún así, el número de *micro-slots* de contienda puede ser también adaptado si fuera necesario. Como futuras líneas de trabajo estamos ya investigando mecanismos de adaptación de número de *micro-slots* para *CSMA* así como diversas técnicas para optimizar la longitud de trama del *ALOHA* ranurado.

## Agradecimientos

Este trabajo ha sido subvencionado por el Ministerio de Educación y Ciencia con los proyectos DEP2006-56158-C03—03/EQUI y m:ciudad (FIT-330503-2006-2, parcialmente subvencionado por ERDF) y con el proyecto ARPaq (TEC2004-05622-C04-02/TCM).

## Referencias

- [1] Stanford, V., "Pervasive Computing Goes the Last Hundred Feet with RFID Systems", IEEE Pervasive Computing, vol. 2, no. 2, pp. 9-14, April-June 2004.
- [2] Shih, D., Sun, P., Yen, D., Huang, S., "Taxonomy and survey of RFID anti-collision protocols", Elsevier Computer Communications, vol. 29, pp. 2150-2166, 2006.
- [3] Vogt, H., "Efficient Object Identification with Passive RFID Tags", Lecture Notes in Computer Science, vol. 2414, pp. 98-113, 2002.
- [4] Zhou, F., Chen, C., Jin, D., Huang, C., Min, H., "Evaluating and Optimizing Power Consumption for Anti-Collision Protocols for Applications in RFID Systems", en Proc. Int. Symp. on Low Power Electronics and Design 2004, pp. 357-362, 2004.
- [5] ISO/IEC 18000-7:2004. Information technology-Radio frequency identification for item management-Part 7: Parameters for active air interface at 433 MHz, 2004.

- [6] Wieselthier, J. E., Ephremides, A., Michaels, L. A., "An exact analysis and performance evaluation of framed ALOHA with capture", IEEE Transactions on Communications}, vol. 37(2), pp. 125-137, 1988.
- [7] Class 1 Generation 2 UHF Air Interface Protocol Standard Version 1.0.9: "Gen 2". Available online at: <http://www.epcglobalinc.org/standards>
- [8] Zhao, F. y Guibas, L., Wireless Sensor Networks. An information processing approach. Morgan Kaufmann, 2004.
- [9] Tay, Y., C., Jamieson, K., Balakrishnan, H., "Collision-Minimizing CSMA and its Applications to Wireless Sensor Networks", IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 22(6), pp. 1048-1057, 2004.
- [10] Kleinrock, L., Tobagi, F., "Packet Switching in Radio Channels: Part I-Carrier Sense Multiple Access and their throughput-delay characteristics", IEEE Transactions on Communications, vol. 23, pp. 1400-1416, 1975.
- [11] Grinstead, C. M., Snell, J. L., Introduction to Probability, 2nd Edition, American Mathematical Society, 2003.
- [12] Ramachandran, I., Das, A., Roy, S., "Clear Channel Assessment in Energy-constrained Wideband Wireless Networks", IEEE Wireless Communications Magazine, forthcoming.