

# Análisis mediante simulación de esquemas de adaptación de la longitud de trama en escenarios de RFID con *tags* dinámicos

Javier Vales Alonso, M<sup>a</sup> Victoria Bueno Delgado, Esteban Egea López, Joan García Haro  
Departamento de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones. Universidad Politécnica de Cartagena  
ETSI de Telecomunicación. Plaza del Hospital, 1. Campus Muralla del Mar.  
30202 Cartagena (Spain)  
Teléfono: 968 32 65 88 Fax: 968 32 59 73  
Email: javier.vales@upct.es, mvictoria.bueno@upct.es, esteban.egea@upct.es, joang.haro@upct.es

*Abstract: Radio Frequency Identification (RFID) technologies are intended to remotely identify devices (called tags) by means of wireless communications. A typical RFID scenario includes a reader device (called the master) and a (potentially large) set of tags which must be identified while in the coverage area of the master. In the identification process tags compete using some predefined anticollision protocol, whose primary goal is to minimize identification delay. Until now RFID have been studied in the literature only in static configurations (i.e. without incoming or outgoing tags entering or leaving the coverage area). However, many deployments of RFID systems require to take into account the dynamics of a tag flow inside the coverage area (e.g. a conveyor belt carrying items). In this work we study, by means of simulation, a dynamic RFID scenario where blocks of  $N$  tags periodically enter the master area and stay during a given amount time. We compute the tag loss probability, that is, the probability that an unidentified tag leaves the coverage zone, which is the fundamental operation variable of a dynamic RFID installation. This study is performed for the standard anticollision protocol defined by EPCglobal Class 1 Generation 2, under different traffic loads. This protocol is based on a framed slotted aloha approach, targeted to very simple (and inexpensive) tags, which may be enhanced using framelength adaptation mechanisms (ruled by the master). Results demonstrate a notable influence of the underlying anticollision mechanism in the identification process performance. Indeed, in this paper we propose a new frame adaptation mechanism, which does not require additional tag complexity and exhibits a significant improvement in terms of tag loss probability.*

## 1 Introducción

La tecnología de Identificación por Radiofrecuencia (*Radio Frequency Identification, RFID*) tiene como meta la identificación de dispositivos remotos mediante protocolos de radiocomunicación. Un sistema RFID se compone de una o varias antenas receptoras (*readers*) situadas en zonas estratégicas que cubren un área de cobertura y cientos o miles de dispositivos transponders RFID (denominados *tags*), compuestos por una antena y diversa circuitería electrónica, que interactúan con el/los *readers* para identificarse y volcar los datos que llevan almacenados (p.ej. códigos estándar de productos, histórico de temperaturas de los productos, etc.). Los dispositivos *tags* RFID se clasifican según su fuente de energía en:

- *Tags* activos: Tienen un sistema autónomo de abastecimiento de energía que, en la mayoría de los casos, se puede reemplazar. El coste de estos dispositivos es alto ya que suelen incorporar un microprocesador y una memoria permitiendo tareas de lectura/escritura y procesado de gran cantidad de datos. El alcance de estos

dispositivos supera, en algunos casos, los 100 metros.

- *Tags* pasivos: Son dispositivos simples de bajo coste que no poseen batería propia. La energía se obtiene de la propia señal emitida por el *reader* que estimula un pequeño circuito y provoca una señal de respuesta del tag con la información almacenada en una pequeña memoria. El alcance máximo varía desde los pocos centímetros hasta un par de metros.

Los sistemas RFID se utilizan, en su mayoría, en aplicaciones industriales, p.ej. gestión de stocks en almacenes, control de ubicación de empleados, trazabilidad de productos, etc. En estos entornos los sistemas RFID tienen que cumplir las siguientes características:

- El número de items suele ser elevado, cientos o miles de dispositivos *tags*. Por tanto, los *tags* pasivos, al ser dispositivos de bajo coste, son la mejor opción para minimizar el coste hardware del sistema RFID.
- No existe un conocimiento a priori de los *tags* que aparecen en el área de cobertura del *reader* para identificarse.

Por tanto, es necesario utilizar un protocolo de identificación/anticolisión probabilístico para realizar la identificación. Para ello, los *readers* trabajan fijando un tiempo para que los *tags* puedan identificarse (tramas). Este tiempo se divide en ranuras temporales llamadas slots. Un tag debe enviar su identificador en un slot elegido de forma aleatoria. Al finalizar una trama finaliza un ciclo de identificación y en función de ciertos criterios, el *reader* puede tomar la decisión de incrementar/decrementar o no modificar el número de slots de contienda para la trama del siguiente ciclo.

- El protocolo de identificación /anticolisión a implementar debe ser simple, y la complejidad del algoritmo debe residir en el *reader* y no en los *tags*. De esta manera se evita implementar hardware extra en los dispositivos *tags*, sobre todo si éstos son pasivos, p.ej. la necesidad de un comparador o una memoria extra en los *tags* implica un coste adicional que puede ser bastante elevado en aquellos sistemas con un gran número de items [13].
- La utilización de sistemas RFID en escenarios dinámicos, donde existe un flujo de entrada/salida de *tags* del área de cobertura del *reader* implica una "Probabilidad de Pérdida de Tag", TLP (*Tag Loss Probability*), es decir, la probabilidad de que un tag salga del área de cobertura sin identificarse, situación crítica que debe evitarse.

En la literatura científica se pueden encontrar numerosos trabajos donde se presentan análisis de prestaciones de protocolos de identificación y acceso al medio en sistemas RFID que no tienen en cuenta las características antes descritas: se basan en escenarios estáticos [4-6] o en escenarios dinámicos con solamente un flujo de entrada de *tags* (TLP=0) [7]. También asumen un número fijo de *tags* activos [6, 8] o *tags* pasivos que, en su mayoría, necesitan implementar un hardware adicional para su correcto funcionamiento [13],[9]. Los resultados de estos trabajos se presentan en términos de utilización del canal, retardo medio, probabilidad de colisión de paquetes, tiempo medio de identificación y probabilidad de pérdida de paquete.

En este artículo se tienen en cuenta todas las características antes enumeradas para una correcta implementación de un sistema RFID real, realizando el análisis de prestaciones del protocolo de bajo coste EPCglobal Class1 Generation2 basado en el estándar de comunicaciones EPC global [10] para *tags* pasivos. Mediante la herramienta de simulación OMNeT++ [11] se diseña un simulador RFID para escenarios dinámicos con un flujo de entrada / salida de *tags*, como el que se muestra en la figura 1. Se utilizan parámetros de dispositivos *tags*

comerciales [12]. El estudio se lleva a cabo evaluando el protocolo en las distintas modalidades del estándar: EPCglobal Class1 Gen2 con trama de contienda estática y EPCglobal Class1 Gen2 con trama de contienda dinámica en cada ciclo. Además, se propone un nuevo protocolo basado en una modificación del estándar: EPCglobal Class1 Gen2 con trama de contienda dinámica en cada slot, capaz de adaptar el tamaño de la trama rápidamente. Este nuevo protocolo no implica coste adicional de hardware.

Por otro lado, se evalúa la probabilidad de pérdida de tag, que es un resultado crítico en sistemas RFID y que, hasta donde llega el conocimiento de los autores, no se ha tenido en cuenta a la hora de evaluar prestaciones de los protocolos RFID. Los resultados obtenidos muestran como el protocolo propuesto presenta una mejor respuesta en términos de probabilidad de pérdida de tag en comparación con el estándar de trama fija y trama adaptativa en cada ciclo.

El resto del artículo está organizado en las siguientes secciones: En la sección 2 se detallan los protocolos y algoritmos más destacados sobre sistemas RFID pasivos, comprobando como la probabilidad de pérdida de tag es un parámetro que, hasta hoy, no se ha tenido en cuenta a la hora de evaluar protocolos RFID. En la sección 3 se describe el estándar de comunicaciones EPCglobal Class1 Gen2 y su algoritmo adaptativo. Además se presenta la modificación propuesta por los autores, En la sección 4 se describen los escenarios y parámetros utilizados para evaluar los protocolos antes descritos. En la sección 5 se presentan los resultados de simulación en términos de probabilidad de pérdida de tag. Por último, en la sección 6 se comentan las conclusiones del trabajo realizado.

## 2 Trabajo Relacionado

En la literatura científica se pueden encontrar numerosos protocolos de identificación/anticolisión para sistemas RFID. La mayoría de los protocolos propuestos así como los estándares actuales se diseñan mediante TDMA (*Time Division Multiplexing Access*) [13]. Durante los últimos años, el número de protocolos basados en algoritmos anticolisión para sistemas RFID con *tags* pasivos se ha incrementado considerablemente [4, 5, 14]. Aunque existen algoritmos anticolisión deterministas, basados en un conocimiento a priori del número de *tags* que van a identificarse [13, 9, 13, 16], la mayoría de los sistemas RFID trabajan en entornos donde el *reader* no tiene un conocimiento a priori del número de *tags* que se encuentran en cobertura para identificarse. Por tanto, es necesario implementar protocolos basados en algoritmos probabilísticos: Aloha Puro es el más simple de todos, [13]. Se implementa exclusivamente en *tags* pasivos de sólo lectura. Aloha Ranurado surgió como un método para mejorar el bajo caudal que ofrecía el Aloha Puro.

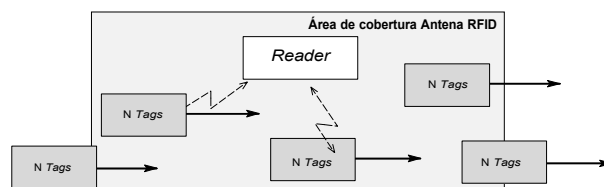


Figura 1: Escenario dinámico en sistema RFID

Algunos de los protocolos basados en Aloha Ranurado se citan en [17]. Aloha Ranurado por Tramas es una variante del Aloha Ranurado, donde los slots están con nados en tramas consecutivas. Cada trama equivale a un ciclo. Los *tags* transmiten sólo una vez en cada ciclo [5]. En [7], [18] se proponen algoritmos con tamaño de trama dinámico donde el *Reader*, al finalizar un ciclo y en función de ciertos criterios, incrementa / decrementa o mantiene el número de slots en el siguiente ciclo. Algunos protocolos basados en Aloha Ranurado por tramas se encuentran implementados en productos comerciales, p.ej: I-Code [5], [19] en Philips e ISO/IEC180006C [20] resultado del estándar EPCglobal Class1 Gen2. EPCglobal Class1 Gen2 es el estándar específico para *tags* pasivos. Define las características físicas y lógicas que debe cumplir un sistema RFID que trabaja a una frecuencia de 860MHz a 960MHz. Define un protocolo de comunicación basado en Aloha Ranurado y una modificación del mismo basado en Aloha Ranurado por trama con unos requisitos mínimos de hardware en los *tags*. En [21] y [22] se muestran resultados de simulación del protocolo en tiempo medio de identificación y probabilidad de colisión para un escenario estático. En [23] se propone un protocolo mejorado del estándar que permite reducir el tiempo medio de identificación en un escenario estático mediante mecanismos de estimación del tamaño de trama óptima en cada ciclo. Sin embargo, ninguno de los protocolos comentados ha considerado los resultados en términos de TLP en escenarios realistas donde existe un tráfico de entrada /salida de *tags* de una zona de cobertura. En [7], basándose en el estándar EPCglobal Class1 Gen2, estudian un algoritmo a implementar en el *reader* para obtener el tamaño de trama óptima en cada ciclo utilizando estimación Bayesiana, con el objetivo de minimizar el tiempo medio de identificación. Para ello suponen un entorno dinámico, donde bloques con *N tags* entran en la zona de cobertura del *reader*. Sin embargo, suponen una TLP=0 ya que no se tiene en cuenta la salida de los bloques de la zona de cobertura.

### 3 EPCglobal Class1 Gen2

El estándar EPCglobal Class1 Gen2 está implementado con un mecanismo similar al del protocolo Aloha Ranurado. Los *tags* son dispositivos simples y toda la complejidad del algoritmo de identificación (p.ej. la sincronización) la lleva a cabo el *reader*. Las razones que han llevado a los autores a elegir de este protocolo son:

- Simplicidad y robustez. La complejidad del protocolo reside en el *reader*.
- Los *tags* que se comercializan hoy en día cumplen los requisitos mínimos para su implementación. No supone un coste adicional hardware.
- Está basado en Aloha Ranurado. Ideal para sistemas RFID donde el *reader* no tiene un conocimiento a priori de los *tags* que hay en cobertura.
- El *reader* puede adaptar el tamaño de ciclo en cada ciclo mediante un algoritmo sencillo, obteniendo mejores resultados en tiempo medio de identificación, utilización del canal y probabilidad de colisión.

Antes de comenzar un ciclo de identificación el *reader* envía un paquete *Broadcast* a la población de *tags* en cobertura. Uno de los campos del paquete indica si todos los *tags* que han recibido el paquete deben identificarse o no. Los *N tags* que reciben el paquete y deben identificarse responden, produciéndose una colisión múltiple que el *reader* detecta y es entonces cuando comienza un ciclo de identificación. Este mecanismo inicial que implementa EPCglobal Class1 Gen2 es similar al mecanismo de singulation [24]. El *reader* comienza un ciclo de identificación transmitiendo un paquete Query con un campo de cuatro bits en el que se almacena el valor de  $Q$  donde  $Q \in 0, \dots, 15$ . Los *tags* reciben el paquete y generan un número aleatorio que indica el slot  $r$  del intervalo  $[0, 2^Q - 1]$  en que tienen que transmitir su identificador ID. Si un tag obtiene un  $r = 0$ , transmite en ese instante su ID. En caso contrario, introduce el valor generado en un contador *counter* =  $r$  que irá decrementando dependiendo del paquete recibido en cada momento hasta que el valor del contador sea 0, momento en el que enviará su ID.

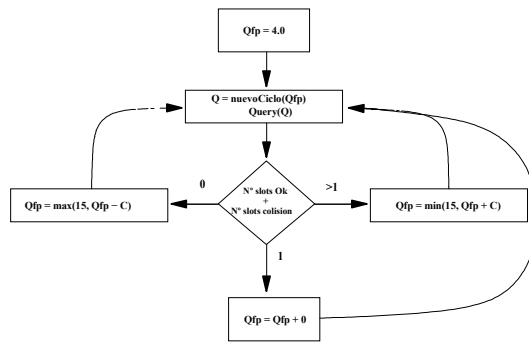


Figura 2: Algoritmo ajuste de Q en EPCglobal Class1 Gen2

Una vez iniciado el ciclo, la respuesta del *reader* tras el envío del paquete Query será:

- Si el *reader* detecta un slot con un ID, envía un paquete Ack. El tag identificado contesta con un paquete Data con sus datos, p.ej. un código EPC (Electronic Product Code). Si los datos recibidos son correctos, el *reader* contestará enviando un paquete QueryRep, indicando que comienza un nuevo slot. Los *tags* aún sin identificar decrementarán su contador de slot. El proceso de identificación para el tag que envió sus datos habrá finalizado.
- En caso de no recibir respuesta en un slot (expira el temporizador de slot) o detectar colisión, el *reader* envía un paquete QueryRep, indicando que comienza un nuevo slot.
- Si los datos recibidos de un tag son erróneos, el *reader* enviará un paquete Nack, indicando al tag que debe actualizar el valor de su contador a  $counter = 2^Q - 1$ . Seguidamente, el *reader* enviará un paquete QueryRep. Este mecanismo evita que el tag que envió sin éxito sus datos siga compitiendo en el ciclo actual.

Cuando el contador de slots de *reader* alcanza el valor  $2^Q - 1$  finaliza un ciclo. El *reader* envía un nuevo paquete Query o un paquete QueryAdjust en caso de que implemente algún algoritmo de ajuste dinámico de la Q. Todos los *tags* que aún estén sin identificar volverán a competir eligiendo un nuevo slot.

### 3.1 Q adaptativa en cada ciclo

En un escenario realista, el *reader* no tiene un conocimiento a priori del número de *tags* que van a competir en cada ciclo de identificación. Para minimizar el tiempo medio de identificación es necesario, en cada ciclo, calcular el valor óptimo de la Q para maximizar el número de identificaciones por ciclo.

El estándar EPCglobal Class1 Gen2 presenta un algoritmo adaptativo de Q en cada ciclo, como se muestra en la figura 2. Se parte de las siguientes consideraciones:

- El *reader* comienza el primer ciclo con un valor de  $Q = 4$ .
- El *reader* dispone de contadores para cuantificar el número de slots ocupados con un ID, vacíos y número de slots con colisión en cada ciclo.
- Los slots con colisión se consideran slots ocupados.
- Al finalizar un ciclo, se contabilizan el número de slots con ID y vacíos y se ajusta el valor de la Q.
- C es una variable de ajuste que toma valores  $0.1 < C < 0.5$ . El *reader* utiliza valores altos de C cuando Q es un valor bajo y viceversa.

### 3.2 Q adaptativa en cada slot

Adicionalmente proponemos una modificación del algoritmo adaptativo de Q en cada ciclo debido a que este algoritmo presenta ciertas de ciencias ya que un ciclo de identificación depende del número de slots confinados en una trama. Hasta que no finaliza un ciclo de identificación no se puede calcular el tamaño de la trama, lo que implica un reajuste de trama lento si el número de slots por trama es elevado. Además, si el número de *tags* varía rápidamente en un escenario, el algoritmo adaptativo de Q en cada ciclo no es capaz de adaptarse rápidamente a esos cambios. Para solventar las de ciencias que presenta el algoritmo adaptativo de Q en cada ciclo, sobre todo para el caso de escenarios dinámicos, se presenta el algoritmo adaptativo de Q en cada slot. El *reader* calcula un nuevo valor de Q al finalizar un slot teniendo en cuenta si era un slot vacío, con colisión o un slot ocupado con un ID. De esta forma los *tags* eligen un slot aleatorio al finalizar cada slot temporal mediante las siguientes pautas:

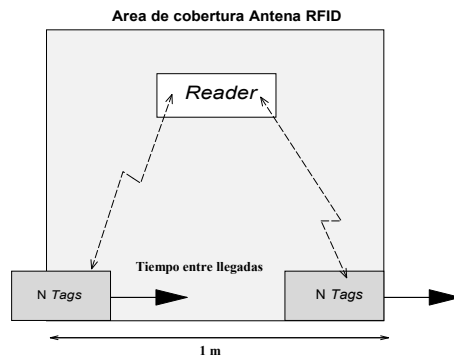


Figura 3: Descripción del escenario en un sistema RFID real

- Si al finalizar el slot temporal éste se encuentra vacío, comienza un nuevo ciclo donde el *reader* disminuye la longitud de la trama decrementando el valor de  $Q$ . Los *tags* eligen un nuevo slot de forma aleatoria. De esta forma se evita que en el nuevo ciclo se sucedan una gran cantidad de slots vacíos, lo que puede causar un mayor retardo en la identificación, y por tanto una mayor probabilidad de pérdida de tag.
- Si el slot temporal es un slot con colisión, comenzará un nuevo ciclo. La longitud de la trama en este nuevo ciclo será mayor. Para ello el *reader* incrementará el valor de  $Q$ . Al aumentar la  $Q$ , se disminuye la probabilidad de colisión en el siguiente ciclo, y por tanto, se evita un mayor retardo en la identificación, lo que puede llevar a una mayor probabilidad de pérdida de tag.
- Si el slot es ocupado, significa que un tag ha podido identificarse satisfactoriamente. En esta situación el ciclo continúa.

Este algoritmo, al igual que el adaptativo en cada ciclo, comienza con un valor de  $Q=4$ .

## 4 Descripción de los escenarios

La probabilidad de pérdida de tag en un sistema RFID depende de diferentes parámetros, entre los que destaca el tiempo que un tag o un bloque de  $N$  tags está en cobertura, es decir, la velocidad de desplazamiento de los items, y del rango de cobertura de la antena, entre otros. Dada una velocidad y un área de cobertura, existirá un tiempo de permanencia  $T$  del tag en cobertura para que éste pueda identificarse. Además, la probabilidad de que un tag se identifique en ese tiempo dependerá también del protocolo de anticollisión empleado, del número de tags presentes en el área de cobertura durante ese tiempo, de la probabilidad de error de transmisión y de otros parámetros relativos a la configuración de los tags: tasa de transmisión/recepción, tipo de modulación, tamaño de los paquetes, etc. Teniendo en cuenta todos los parámetros descritos en el párrafo anterior, en los escenarios a simular se asume un tráfico de  $N$

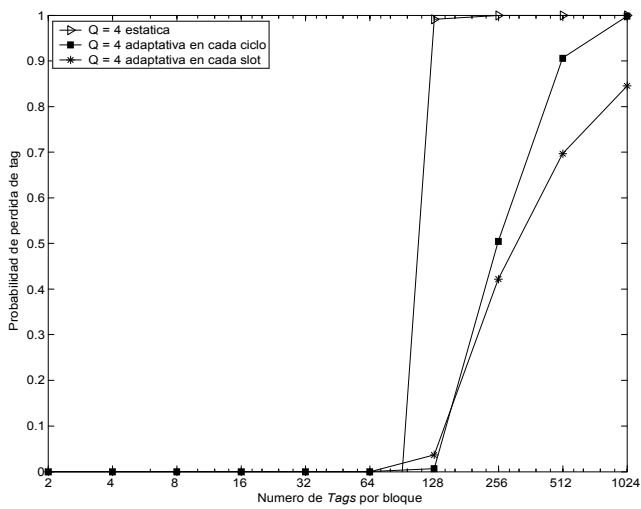
tags que entran y salen del área de cobertura de la antena *reader*, y características hardware que hoy día cumplen numerosos tags pasivos que se comercializan [12]:

- Frecuencia de trabajo: UHF, 868 MHz- 928 MHz.
- Rango de comunicaciones: 10 cm-3 m.
- Disponibilidad de memoria: 96-256 bits.
- Modulación: ASK.
- Codificación datos: Banda base.
- Velocidad transmisión / recepción: 40 Kbps.
- Puertas lógicas y generador de números aleatorios.

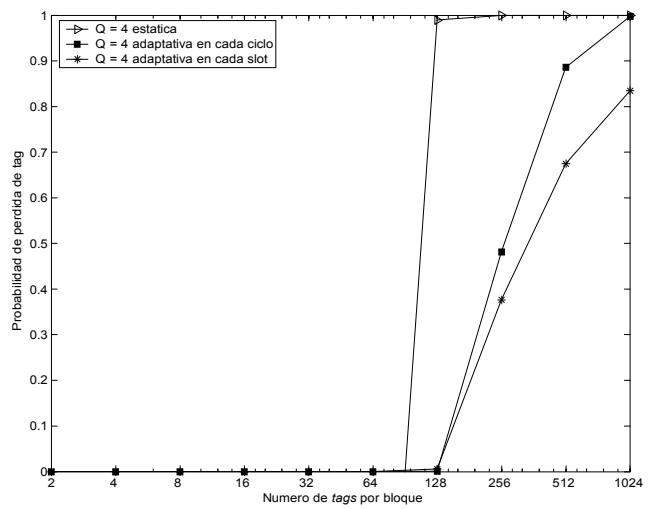
Para cada uno de los escenarios se simula un tráfico de entrada en bloques de  $N$  tags, donde  $N = 2^t$  con  $t = 1, 2, \dots, 10$ . A modo de ejemplo, se ha tomado como velocidad de desplazamiento media la correspondiente a un vehículo de carga y descarga de palets dentro de una nave industrial: 3.6 km/h, es decir, 1 m/s. Este ejemplo corresponde a una situación realista, donde un palet transporta diversos ítems, cada uno de los marcados mediante un tag. La antena *reader* está situada a una distancia de 3 metros del tránsito de los palets para asegurar la correcta transmisión/recepción de datos. De acuerdo con la configuración del escenario de la figura 3, el tiempo que un tag está en cobertura es de  $T = 1$ sg. Con el fin de modelar una situación razonable, en el estudio se asume un  $T_{llegada} \leq T$ , donde se toman valores  $T_{llegada} = 0.5, 0.6, \dots, 0.9, 1$ .

## 5 Resultados

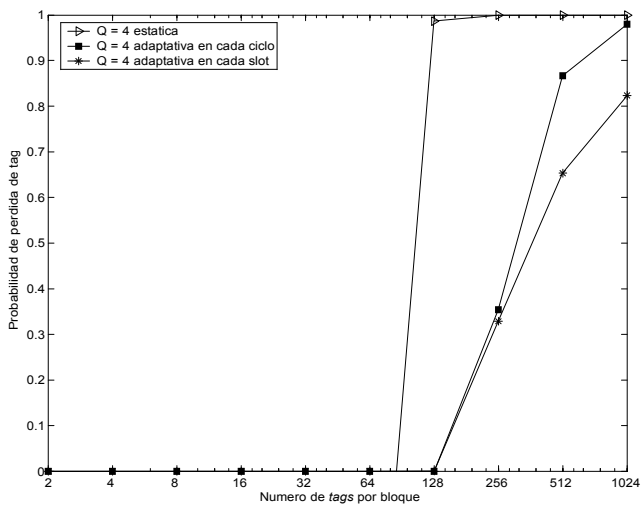
Se han evaluado los algoritmos expuestos en la sección 3. Para ello se ha diseñado un simulador de escenarios dinámicos RFID. Este simulador se ha implementado mediante el entorno de simulación de redes de libre distribución OMNeT++ (*Objective Modular Network Testbed in C++*) [11]. OMNeT++ es un entorno de simulación por eventos discretos, modular y orientado a objetos.



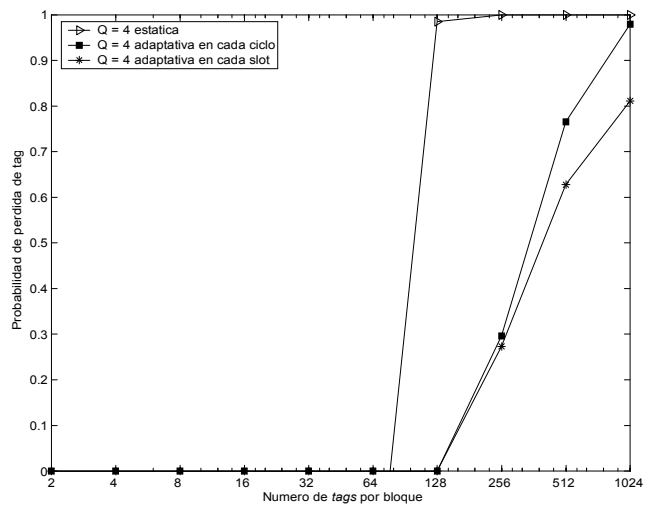
(a)  $T_{Llegadas} = 0.5\text{ s}, T = 1\text{ s}$



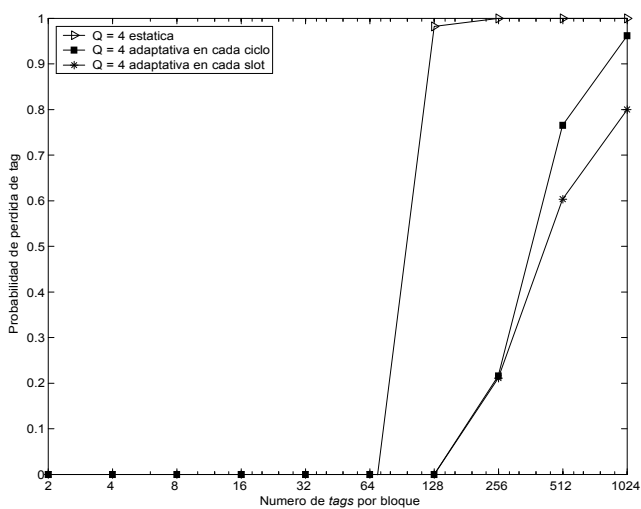
(b)  $T_{Llegadas} = 0.6\text{ s}, T = 1\text{ s}$



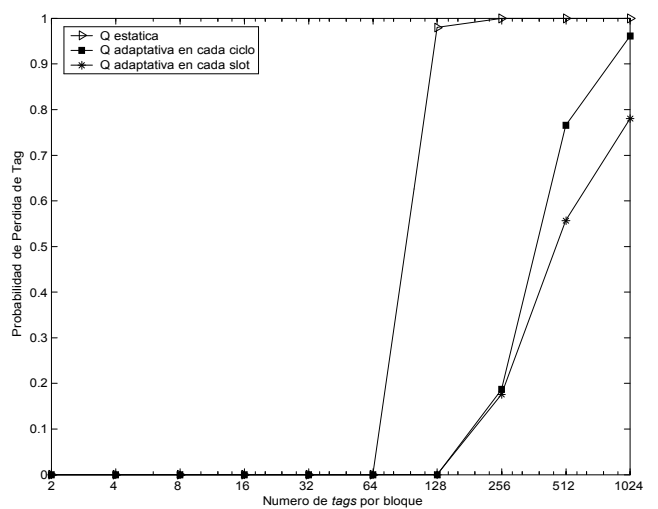
(c)  $T_{Llegadas} = 0.7\text{ s}, T = 1\text{ s}$



(d)  $T_{Llegadas} = 0.8\text{ s}, T = 1\text{ s}$



(e)  $T_{Llegadas} = 0.9\text{ s}, T = 1\text{ s}$



(f)  $T_{Llegadas} = 1\text{ s}, T = 1\text{ s}$

Figura 4: Probabilidad de Pérdida de Tag

El simulador recolecta estadísticos del comportamiento de los protocolos RFID: probabilidad de pérdida de paquete, tiempo medio de identificación, utilización del canal, número medio de ciclos de identificación y probabilidad de pérdida de tag. En este artículo se presentan los resultados en términos de probabilidad de pérdida de tag, resultado que, como hemos comentado previamente, es crítico en los sistemas RFID.

En la figura 4 se muestran los resultados de simulación del estándar, su mecanismo de adaptación de trama y la modificación propuesta por los autores para un escenario dinámico donde  $T_{llegada} \leq T$ . Todos los resultados se han obtenido para una calidad de 0.9 y tolerancia 0.1, asumiendo los parámetros descritos en la sección 4. La distintas probabilidades de pérdida de tag de la figura 4 se obtienen suponiendo un tiempo entre llegadas de bloques de  $N$  tags de  $T_{llegada}$ , donde  $T_{llegada} \leq T$ . Se comprueba como la existencia de un tráfico de entrada /salida de tags de un área de cobertura afecta notablemente a la probabilidad de pérdida de tag. El estándar EPCglobal Class1 Gen2 con trama estática presenta los peores resultados, obteniendo una  $TLP=1$  cuando  $N \geq 128$ . Esto se debe al valor de  $Q$  que es pequeño ( $Q = 4$ ) y no varía. Si se emplea un valor de  $Q$  mayor, el valor de  $TLP=1$  se desplazará hacia la derecha, pudiendo obtener mejores resultados que los otros dos algoritmos, pero a costa de un incremento considerable del tiempo de identificación, sobre todo cuando el número de tags es pequeño, ya que, la duración de cada ciclo de identificación será mayor cuanto mayor sea el valor de  $Q$ . Se comprueba como en todos los casos el algoritmo de adaptación de  $Q$  por slot presenta mejores resultados en términos de probabilidad de pérdida de tag ya que se adapta con mayor rapidez a los cambios del entorno, en este caso, el aumento del número de tags a identificar. Cuando  $T_{llegada} = T$  el tráfico de entrada/salida de tags no afecta a la identificación de los bloques, ya que, no se solapan los bloques de tags en el área de cobertura.

## 6 Conclusiones

Existen numerosos protocolos para sistemas RFID de identificación / anticollisión. La mayoría de ellos se han diseñado con el objetivo de minimizar el tiempo medio de identificación de los tags. Para ello, los autores asumen habitualmente escenarios estáticos con un número  $N$  de tags que se encuentran en una zona de cobertura de un *reader* y se identifican en el menor tiempo posible. Sin embargo, en la actualidad los sistemas RFID se utilizan generalmente en entornos dinámicos, donde existe un tráfico de entrada / salida de

tags. Por tanto, existe la probabilidad de que un tag salga del área de cobertura del *reader* sin identificarse, Probabilidad de Pérdida de tag. En este artículo se han evaluado distintos protocolos de identificación/anticollisión en un sistema RFID con un flujo de entrada/salida de tags mediante simulación: el protocolo estándar de bajo coste EPCglobal Class1 Gen2 con trama estática, con trama dinámica y una variación de éste propuesta por los autores que no implica ningún coste extra de hardware. Los resultados muestran como la probabilidad de pérdida de tag es un resultado crítico a tener en cuenta en los sistemas RFID. Además, los resultados muestran que el protocolo de adaptación de trama en cada slot propuesto por los autores presenta una mejor respuesta en términos de probabilidad de pérdida de tag en comparación con el estándar con un tráfico por bloques con un número de tags constante. Si el número de tags por bloque se mantuviese constante y se conociera el tráfico de entrada/salida de bloques del sistema, se podría entonces calcular la longitud óptima de la trama, es decir, el valor óptimo de  $Q$  para identificar a todos los tags minimizando la Probabilidad de Pérdida de Tag. Sin embargo, en una situación realista puede que el tráfico por bloques no sea constante, o el número de tags por bloque no sea fijo. Los autores tienen en cuenta estas variables para un trabajo futuro donde se estudie la Probabilidad de Pérdida de Tag en entornos con distinto tráfico de entrada/salida de bloques y bloques con un número de tags variable.

## Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia con los proyectos DEP200656158C0303/EQUI, m:ciudad (FIT33050320062) y TEC200405622-C04-02/TCM (ARPaq).

## Referencias

- [1] Hush, D.R, Wood, C. Analysis of tree algorithms for RFID arbitration, en Proc. of IEEE International Symposium on Information Theory, pp. 107. 1998
- [2] Jacomet, M., Ehram, A., Gehring, U. Contactless Identification device with anticollision algorithm. en Proc. of IEEE Conference on Circuits, Systems, Computers and Communications, pp. 269273. Athens, Greece, July 1999.
- [3] Jihoon Myung, Wonjun Lee. Adaptive Binary Splitting: A RFID tag Collision Arbitration Protocol for tag Identification Mobile Networks and Applications Journal, vol(11), pp 711722. May 2006.

- [4] 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.
- [5] Vogt, H., Efficient Object Identification with Passive RFID tags, Lecture Notes in Computer Science, vol. 2414, pp. 98-113, 2002.
- [6] EgeaLopez, E., ValesAlonso, J., MartinezSala, A. S., BuenoDelgado, M. V., GarciaHaro, J. Performance Evaluation of nonpersistent CSMA as anticollision procedure for active RFID tags, 5th International Conference on Wired / Wireless Internet Communications (WWIC2007), Coimbra, Portugal, May 2007.
- [7] Floerkemeier, C., Wille, M. Comparison of Transmission Schemes for Framed Aloha based RFID, en Workshop on RFID Extended Network Deployment of Technologies and Applications, Phoenix, AZ, January, 2006.
- [8] ISO/IEC 18007:2004 Information technology Radio frequency identification for item management Part 7: Parameters for active air interface at 433 MHz, 2004.
- [9] Draft protocol specification for a 900MHz Class 0 Radio Frequency Identification tag, AutoIDCenter, Feb. 2003.
- [10] Class 1 Generation 2 UHF Air Interface Protocol Standard Version 1.0.9: Gen 2. Disponible online en: <http://www.epcglobalinc.org/standards>
- [11] A. Vargas, The OMNeT++ Discrete Event Simulation System, en European Simulation Multiconference ESM 2001, Prague (Czech Republic), June 2001.
- [12] Zebra Tags: Online, Disponible en: <http://www.zebra.com>
- [13] Finkenzeller, K. RFID Handbook: Radio Frequency Identification Fundamentals and Applications, John Wiley, New York pp. 200-219, 2000.
- [14] Zhou, F., Chen, C., Jin, D., Huang, C., Min, H., Evaluating and Optimizing Power Consumption for AntiCollision Protocols for Applications in RFID Systems, en Proc. Int. Symp. on Low Power Electronics and Design 2004, pp. 357-362, 2004.
- [15] Juels, A., Rivest, R., Szydlo, M. The Bloker tag: Selective tag Blocking of RFID tags for Consumer Privacy en Proc. of the 10th ACM Conference on Computer and Communication Security, pp. 103111, 2003.
- [16] Law, C. Lee, K., Siu, kY Efficient Memoryless protocol for tag Identification en Proc. of the 4th International Workshop on Discrete Algorithms and Methods for Mobile Computing and Communications., pp. 75-84. Bostn, Massachusetts, August 2000.
- [17] 3.56MHz ISM Band Class 1 Radio Frequency Identification tag Interference Specification: Candidate Recommendation, Version 1.0.0.0 en Technical Report MIT AUTOIDWH002, MIT Auto ID Center, 2003
- [18] Lee, S., Joo, S. D., Lee, C. W. An enhanced dynamic framed slotted aloha algorithm for RFID tag identification en Proc. of Mobiquitous, pp 166-172. 2005.
- [19] ogt, H. Multiple Object Identification with passive RFID en Proc. of IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, vol(3), October 2002.
- [20] ISO/IEC 180006C:2005 Information technology Radio frequency identification for item management Part 6C: Parameters for air interface communications at 860MHz to 960MHz, 2005.
- [21] Kawakita, Y., Mitsugi, J. Anticollision performance of Gen 2 Air Protocol in Random Error Communication Link, en Proc. Int. Symp. on Applications on Internet Workshops, pp. 68-71, 2006.
- [22] Mitsugi, J., Yumoto, Y., Hada, H., Murai, J. AutoID Labs. Activities and collaborations in wireless technology for the harmonized deployment of UHF RFID system, en AutoID Labs Research Workshop, Zurich, 2004.
- [23] Kodialam, M., Nandagopal, T. Fast and Reliable Estimation Schemes in RFID Systems, en Proc. of ACM Mobicom, pp. 322-333, Sept, 2006.
- [24] Juels, Ari., L Rivest, R., Szydlo, M. The Blocker Tag: Selective Blocking of RFID Tags for Consumer Privacy, en Proceedings de Computer and Communications Security, Washington, D.C, USA, October 2003.