

Análisis del protocolo IEEE 802.11b en un entorno celular

M^a Elena López Aguilera, Jordi Casademont, Alfonso Rojas
elopez@entel.upc.es, jordi.casademont@entel.upc.es, alfonso@entel.upc.es

Departamento de Ingeniería Telemática
Universidad Politécnica de Cataluña

***Abstract.** In this paper we present an analysis of the protocol IEEE 802.11b in different environments. Its performance in an indoor environment is evaluated, in terms of throughput and transmission delay, and the influence of the beacon period is analyzed. On the other hand, a possible technique to improve the throughput and transmission delay is exposed, and the importance of the contention windows value is studied to improve performance in presence of asymmetric data traffic. Finally the protocols characteristics in outdoors environments are explained and its performance is studied, in terms of throughput and transmission delay.*

1 Introducción

En 1999 IEEE (The Institute of Electrical and Electronics Engineers) definió el primer estándar, IEEE 802.11 [1], para la regulación de las redes de área local inalámbricas. Este estándar proporciona tasas de transmisión entre 1 y 2 Mbps, en la banda de los 2,4 GHz, y soporta diferentes medios de transmisión: por infrarrojos y por radiofrecuencia. En este último caso se tiene dos tipos de transmisiones por espectro ensanchado: Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS) y Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS). Desde su nacimiento, dicho estándar ha evolucionado dando lugar a diferentes estándares. Por un lado se encuentra el IEEE 802.11b [2], que permite tasas de transmisión de 1, 2, 5,5 y 11 Mbps en la misma banda de frecuencias, utilizando radiofrecuencia con tecnología DSSS. Por otro lado apareció IEEE 802.11a [3], que alcanza tasas de transmisión de 54 Mbps, pero en la banda de frecuencia de 5 GHz. Sin embargo, IEEE 802.11g pretende conseguir velocidades de hasta 20 Mbps en la banda de los 2,4 GHz. Finalmente IEEE 802.11e supone la incorporación de calidad de servicio en el protocolo de acceso al medio, por parte del grupo de trabajo IEEE 802.11.

El estándar soporta dos tipos de topologías: redes con infraestructura y redes ad-hoc.

En las redes con infraestructura se tiene una estación que actúa como punto de acceso, coordinando el comportamiento de la red, ya que todas las comunicaciones entre estaciones deben pasar por él. Esta topología puede funcionar bajo dos mecanismos: en modo DCF (Distributed Coordination Function) o PCF (Point Coordination Function). El primero de ellos se basa en el protocolo CSMA/CA (Carrier Sense Medium Access/Collision Avoidance), y presenta dos técnicas para la transmisión de paquetes: el modo básico y el RTS/CTS. Por otro lado, el mecanismo PCF utiliza una estación de la red como coordinadora de las demás estaciones. Dicha estación será la encargada

de dar permisos a las demás, para que éstas puedan transmitir datos.

Finalmente, las redes ad-hoc están formadas por un grupo de estaciones inalámbricas, que comparten un mismo área de cobertura y operan en modo DCF. Estas estaciones, a través de sus tarjetas de red inalámbrica, forman una red de área local. Estas redes se caracterizan por su gran simplicidad, pero presentan algunas desventajas, como son su limitada cobertura y el hecho de tratarse de redes aisladas, sin posibilidad de comunicación con otras.

Hasta el momento todos los estudios realizados en torno a IEEE 802.11 están dirigidos a entornos interiores unicelulares. Sin embargo la idea de diseñar una red celular basada en el estándar IEEE 802.11 resulta muy atractiva, dado el bajo coste de la tecnología requerida y la utilización de la banda de 2.4 GHz. Además IEEE 802.11b proporciona una tasa de transmisión de hasta 11 Mbps, muy por encima de la ofrecida por EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution) y W-CDMA (Wide Code Division Multiple Access).

En este artículo limitamos nuestra investigación a las redes con infraestructura, operando concretamente bajo el esquema DCF en modo básico. Además de exponer y analizar la problemática presente en un escenario unicelular, también se estudia el comportamiento del protocolo de acceso al medio IEEE 802.11b en un escenario de múltiples celdas.

El artículo se distribuye como se explica a continuación. En la sección 2 se realiza un repaso del esquema DCF operando en modo básico. En la 3, se describen los parámetros considerados en las simulaciones realizadas para el análisis de la capa de acceso al medio. A continuación en la sección 4 se exponen los resultados obtenidos considerando diferentes escenarios. Finalmente las conclusiones se exponen en la sección 5.

2 IEEE 802.11 DCF

Dentro del protocolo IEEE 802.11, el mecanismo fundamental es el DCF, operando en modo básico.

En este caso, cuando una estación tiene un paquete listo para ser transmitido, únicamente puede transmitir si el canal se encuentra libre durante un periodo de tiempo DIFS (DCF Interframe Space). En caso contrario, la estación continúa escuchando el canal hasta que lo encuentre libre durante DIFS, y a continuación se espera un intervalo aleatorio de backoff antes de iniciar la transmisión. La inclusión de dicho tiempo de backoff es un mecanismo muy útil para minimizar la probabilidad de colisión entre transmisiones procedentes de diferentes estaciones. También es importante destacar, que este tiempo de backoff además es utilizado para evitar que una única estación acapare el medio, perjudicando a las demás. De esta manera una estación deberá esperar un intervalo aleatorio de backoff, además de un DIFS, entre dos transmisiones de paquetes consecutivas.

El tiempo de backoff responde a un comportamiento exponencial. Su valor se escoge de forma aleatoria en el intervalo $(0, W-1)$. W recibe el nombre de ventana de contención, y su valor depende del número de intentos de transmisión fallidos. De esta manera, la primera vez que falla la transmisión de un paquete, la ventana de contención toma su valor mínimo CW_{min} , y por cada nueva transmisión fallida W dobla su valor anterior, hasta llegar a un límite $CW_{max}=2^m CW_{min}$. Los valores CW_{min} y CW_{max} están estandarizados y dependen del medio de transmisión (infrarrojo o radiofrecuencia) y en el caso de la radiofrecuencia también de la tecnología utilizada (FHSS o DSSS). En la tabla 1 se pueden observar los valores CW_{min} y CW_{max} para cada caso.

El tiempo de backoff se decrementa mientras el medio se encuentra libre. En el momento en que éste pasa de nuevo a estar ocupado por la transmisión de un paquete procedente de otra estación, dicho decremento se paraliza, reanudándose de nuevo cuando el medio vuelve a estar libre.

IEEE 802.11 utiliza un sistema de reconocimientos positivos, ya que el esquema CSMA/CA no ofrece detección de colisiones. Cuando el paquete se recibe con éxito, la estación receptora envía el ACK correspondiente después de esperar un tiempo SIFS (Short Interframe Space). Este tiempo SIFS es inferior a DIFS, y de esta manera se da prioridad a los paquetes de reconocimiento sobre los de datos.

3 Entorno de simulación

Para el análisis del protocolo de acceso al medio IEEE 802.11b se ha utilizado un simulador, realizado en el lenguaje de programación C++, que opera sobre plataformas Windows.

Para la realización de las simulaciones, que se detallarán en la siguiente sección, se ha elegido como

Tabla 1. Valores mínimos y máximos de la ventana de contención

PHY	CW_{min}	CW_{max}
FHSS	16	1024
DSSS	32	1024
IR	64	1024

medio de transmisión la radiofrecuencia, con tecnología DSSS y tasa de transmisión de 1 Mbps.

Tanto para el escenario unicolor, como para el compuesto por múltiples celdas, se han tomado celdas con características comunes. Estas celdas se han considerado de forma hexagonal y radio de 50 metros.

En el escenario unicolor dicha celda está formada por un único punto de acceso, y 10 estaciones de usuario. Cada una de estas estaciones genera paquetes deterministas de tamaño 1023 bytes. Por otro lado, el punto de acceso envía también tráfico a cada una de las estaciones. Se considera una BER = 0.

Por otro lado, el escenario de múltiples celdas se compone de 100 celdas, que forman un rectángulo de 10x10 celdas. Aunque para la obtención de resultados se tomarán únicamente las 36 celdas centrales. En esta área de cobertura, se utiliza un cluster de tamaño 3, como patrón de reuso de frecuencias. Se considera que la elección de las frecuencias en la banda de 2,4 GHz se realizará de forma que la interferencia por canal adyacente será inapreciable.

Cada una de las celdas está formada por un punto de acceso. En esta área de cobertura se distribuyen 1000 estaciones de usuario de forma uniforme. Como en el caso unicolor, cada estación de usuario genera paquetes deterministas de tamaño 1023 bytes, y el punto de acceso también envía tráfico a cada una de las estaciones. Por último mencionar, que en este caso se considerarán diferentes valores de BER, dependiendo de la relación señal a interferente (SIR) y de la tasa de transmisión.

En ambos escenarios, se ha considerado que tanto los puntos de acceso como el resto de las estaciones carecen de movilidad y emiten con una potencia de 0 dBm, utilizando antenas omnidireccionales. Para el cálculo de las potencias recibidas se considera que la atenuación depende de la distancia según d^γ con $\gamma = 3,5$.

Finalmente, los valores de los parámetros que definen el acceso al medio del IEEE 802.11b, considerados en las simulaciones, se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Parámetros utilizados para las simulaciones

Cabecera MAC	34 bytes
Cabecera PHY	192 bytes
ACK	14 bytes
Beacon	362 bytes
Tasa de transmisión	1 Mbps
Máximo retardo extremo-extremo	0,33 μ s
Tiempo de Slot	20,33 μ s
SIFS	10,0 μ s
DIFS	50,67 μ s
Ventana de backoff	$CW_{min}=32$ $CW_{max}=1024$
Nº retransmisiones posibles	0

4 Resultados

El análisis del protocolo se ha dividido en dos partes. Primero se ha estudiado su eficiencia en entornos interiores uncelulares, para finalmente continuar con el estudio del protocolo IEEE 802.11b en entornos exteriores celulares.

4.1 Escenario de una celda

En un escenario uncelular se tiene una estación actuando como punto de acceso y múltiples estaciones de usuario, todas ellas compartiendo un mismo medio. El uso de intervalos de backoff y de tiempos de espera DIFS y SIFS, permiten que todas las estaciones puedan acceder al medio de forma equitativa y aleatoria.

Por el medio no compiten únicamente los paquetes de datos y los de reconocimiento, sino que también entran en juego los paquetes de *beacon*. El punto de acceso los envía de forma periódica a las demás estaciones de la celda. Estos son necesarios para la correcta sincronización de las estaciones de usuario.

La presencia de paquetes de beacon en el medio afecta a la transmisión de los paquetes de información. Contra menor sea el período de beacon, mayor tráfico de señalización se está incorporando en el medio, y esto provocará el consiguiente aumento de los tiempos de espera en cola y del tiempo de transmisión de un paquete de información. Por este motivo se debe llegar a un compromiso a la hora de escoger el período de beacon, ya que si éste es pequeño afectará negativamente a la transmisión de la información, pero por el contrario, si su valor es

muy elevado, la sincronización de las estaciones se verá afectada.

Se ha analizado la influencia del período de beacon en el comportamiento del protocolo de acceso al medio, estudiando el throughput y el tiempo medio de transmisión de un paquete en la celda. Bajo el término tiempo medio de transmisión se entiende el tiempo transcurrido desde que el paquete ha salido de la cola de su estación correspondiente y está esperando a poder acceder al medio, hasta que la estación, a la cual va dirigido, lo recibe.

En las Fig. 1 y 2 se puede observar el throughput medio en la celda y el tiempo medio de transmisión de un paquete, respectivamente, para un tráfico ofrecido en la celda de 0,8184 Er. Efectivamente se puede comprobar que el throughput incrementa a medida que los paquetes de beacon están más espaciados en el tiempo, y por el contrario el tiempo medio de transmisión se ve decrementado. De las gráficas se extrae que un período de beacon adecuado sería 100 ms, valor que utilizaremos en posteriores simulaciones.

En el tiempo de transmisión de un paquete se contabiliza el tiempo que tarda un paquete en acceder al medio, una vez éste ya ha salido de la cola de su estación. Este retardo recibe el nombre de retardo de MAC. Dicho retardo tiene en cuenta los intervalos de backoff, el tiempo de espera DIFS y el retardo de propagación.

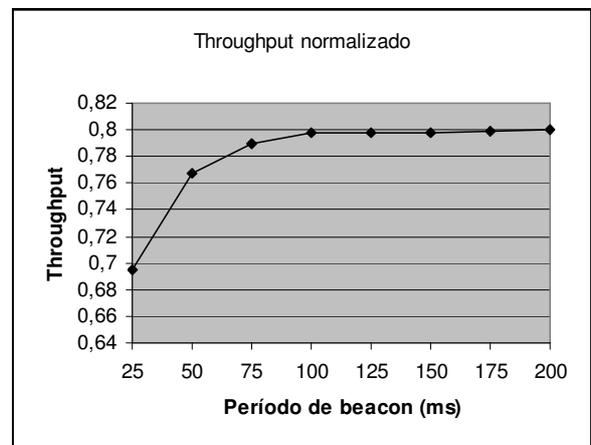


Figura 1. Throughput en función del período de beacon

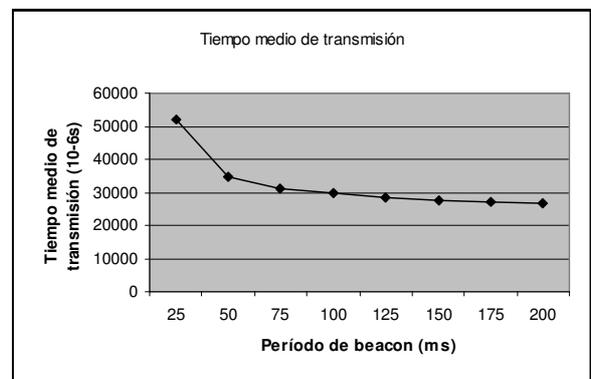


Figura 2. Tiempo medio de transmisión en función del período de beacon

Hasta el momento se ha contabilizado dicho retardo, considerando que cada estación debe esperar siempre un tiempo DIFS, como mínimo, a partir del momento exacto en el que tiene un paquete listo para ser transmitido, aunque el medio ya llevara desocupado un tiempo DIFS o superior a éste. En lugar de obligar siempre a la estación a esperar un DIFS, se podría tener en cuenta la memoria de la capa MAC, y considerar que si el canal ya lleva libre un tiempo DIFS o superior, la estación puede acceder al medio sin necesidad de esperar de nuevo este tiempo de acceso. Bajo estas suposiciones el retardo medio de transmisión de un paquete disminuiría.

Considerando las mismas condiciones de carga que en las simulaciones anteriores, en las tablas 3 y 4, se presentan las diferencias obtenidas en cuanto a throughput y retardo medio de transmisión, si se tiene en cuenta la memoria del MAC. Se puede observar una ligera disminución en el tiempo de transmisión, y un aumento también muy suave del throughput. De esta forma se comprueba que las diferencias entre ambos criterios no son significativas, y que tanto la elección de uno como de otro nos lleva a comportamientos de la capa MAC muy cercanos.

Hasta la fecha, se han realizado múltiples estudios con el fin de optimizar la eficiencia de la capa MAC, en cuanto a throughput y tiempo de transmisión se refiere [4] [5]. Se observó que un parámetro importante a la hora de incrementar dicha eficiencia es la ventana de backoff.

Por este motivo se ha analizado la influencia de dicha ventana de backoff, en el caso de tener tráfico asimétrico en la celda. Para este caso se ha podido comprobar que la elección de los parámetros CW_{min} y CW_{max} es determinante.

Tabla 3. Throughput en función del período de beacon y la memoria de MAC

Período de beacon (ms)	Throughput sin memoria MAC	Throughput sin memoria MAC	Diferencia (%)
25	0,69527	0,695319	0,0070476
50	0,767154	0,767489	0,04366789
75	0,789256	0,789465	0,02648063
100	0,797234	0,797778	0,06823593
125	0,79832	0,798743	0,05298627
150	0,797929	0,799599	0,2092918
175	0,799298	0,799368	0,00875768
200	0,799254	0,799579	0,04066292

Tabla 4. Tiempo de transmisión en función del período de beacon y la memoria de MAC

Período de beacon (ms)	T_{tx} sin memoria MAC (μs)	T_{tx} sin memoria MAC (μs)	Diferencia (%)
25	51877,7	51709,6	0,324031328
50	34768,6	34640,5	0,368435888
75	31302,3	31299,7	0,008306099
100	29764,2	29543,4	0,74183079
125	28338,8	28228,1	0,390630514
150	27671	27476,7	0,702179177
175	27142,8	26984,8	0,582106489
200	26606,2	26559,8	0,174395442

Se considera que el tráfico es asimétrico cuando el flujo de datos incorporado a la red por las estaciones de usuario y dirigido hacia el punto de acceso, es inferior al tráfico que el punto de acceso proporciona a la red. En el escenario que se ha analizado hasta el momento, se tienen 10 estaciones transmitiendo tráfico, y un punto de acceso enviando información a cada una de las estaciones. De esta manera, dicho punto de acceso se encuentra 10 veces más cargado que el resto de las estaciones. Si el punto de acceso compite por el medio en las mismas condiciones que el resto de estaciones, el tiempo medio de espera en cola de un paquete de información será muy superior para el punto de acceso que para el resto de estaciones de usuario. Por este motivo se ha decidido dar prioridad al punto de acceso, eligiendo nuevos valores para CW_{min} y CW_{max} para éste, disminuyendo siempre CW_{min} respecto a su valor anterior, y manteniendo la ventana de backoff original para las estaciones de usuario.

Se considera, como en las simulaciones anteriores, que el tráfico ofrecido en la celda es de 0,8184 Er. En la Fig. 5 se observa la reducción considerable del tiempo medio de espera en cola en el punto de acceso, en función del período de beacon, cuando reducimos el valor de CW_{min} del punto de acceso. Finalmente, en la Fig. 3 se presenta la evolución de dicho tiempo de espera en cola en una celda con la misma carga que en el caso anterior, período de beacon de 100 ms, y diferentes ventanas de backoff. En este caso se reduce también el valor de CW_{min} y se observa que los tiempos de espera en cola para diferentes CW_{max} siempre se mantienen por debajo de los obtenidos con $CW_{min}=32$.

Tabla 5. Tiempo medio de espera en cola para el punto de acceso según el período de beacon y la ventana de backoff

Período de beacon (ms)	Wq (ms) CW _{min} =32 CW _{max} =1024	Wq (ms) CW _{min} =8 CW _{max} =32	Diferencia (ms)
25	2189606	93,26358	2189512,74
50	636779,2	136,5732	636642,627
75	159000	153,0604	158846,94
100	4163,226	173,1563	3990,0697
125	919,4064	178,0599	741,3465
150	613,4919	186,6157	426,8762
175	548,3692	200,3185	348,0507
200	467,1834	196,6075	270,5759

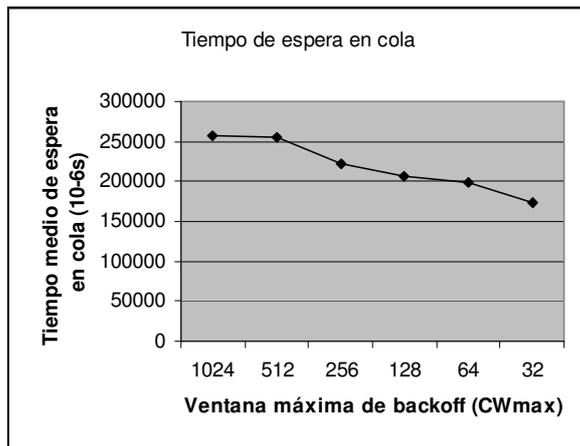


Figura 3. Tiempo medio de espera en cola para CW_{min} = 8 y diferentes CW_{max}

4.2 Escenario de múltiples celdas

Si se considera un escenario de múltiples celdas, a la problemática presentada en el escenario anterior, se le debe añadir la influencia de la interferencia cocanal, presente entre celdas que operan a la misma frecuencia. Como se mencionó en la sección 3, en este estudio se considerará que la interferencia por canal adyacente es nula.

Se ha estudiado el comportamiento del protocolo IEEE 802.11b en una red celular, bajo diferentes condiciones de carga. Para evaluar su comportamiento se han analizado el throughput y el tiempo medio de transmisión por celda, variando el tráfico ofrecido en dicha celda y considerando un período de beacon de 100 ms. Dicho análisis se puede observar en las Fig. 4 y 5.

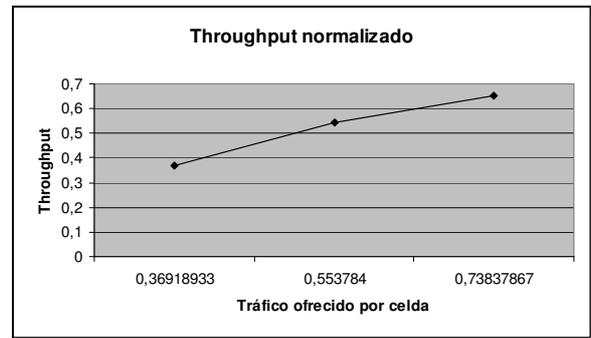


Figura 4. Throughput por celda en función del tráfico ofrecido

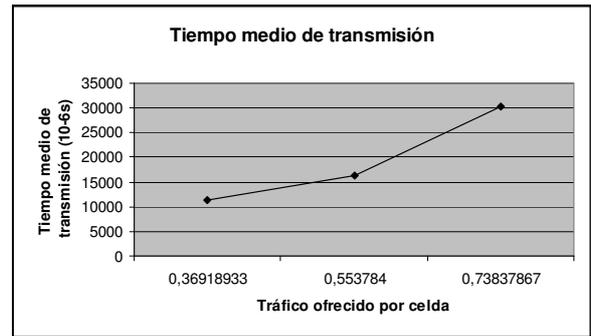


Figura 5. Tiempo medio de transmisión en función del tráfico ofrecido

A medida que el tráfico ofrecido en la celda aumenta, peor comportamiento proporciona la capa MAC en cuanto a throughput y tiempo de transmisión se refiere.

5 Conclusiones

En el artículo presentado, se han expuesto las características principales del protocolo de acceso al medio IEEE 802.11b. En primer lugar se ha caracterizado el protocolo para entornos interiores. Se ha analizado su comportamiento para diferentes períodos de beacon, y se ha podido observar que la elección adecuada de este parámetro es fundamental para conseguir un comportamiento adecuado del protocolo. También se ha intentado proporcionar soluciones para conseguir mejorar las prestaciones de protocolo, en cuanto a throughput y tiempo de transmisión se refiere. Para ello se han analizado las mejoras obtenidas en el caso de tener en cuenta la memoria de la capa MAC, para de esta forma no tener que esperar tiempos DIFS adicionales e innecesarios. Además se ha estudiado cómo mejorar el comportamiento de los puntos de acceso en el caso de tener tráfico asimétrico disminuyendo el valor de la ventana mínima de backoff. Por último se ha analizado el comportamiento del protocolo en un entorno exterior, compuesto por múltiples celdas, donde la interferencia cocanal juega un papel importante.

6 Referencias

- [1] IEEE, "Reference number ISO/IEC 8802-11:1999(E) IEEE Std 802.11, 1999 edition. International Standard [for] Information Technology - Telecommunications and

information exchange between systems - Local and metropolitan area networks - Specific Requirements - Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications”, 1999.

- [2] IEEE, “IEEE Std 802.11b - 1999 Supplement to IEEE Std 802.11, 1999 Edition. Supplement to IEEE Standard for Information technology – Telecommunications and information exchange between systems – Local and metropolitan area networks – Specific requirements – Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications: High-Speed Physical Layer Extension in the 2.4 GHz Band”, 1999.
- [3] IEEE, “IEEE Std 802.11a - 1999 Supplement to IEEE Std 802.11, 1999 Edition. Supplement to IEEE Standard for Information technology – Telecommunications and information exchange between systems – Local and metropolitan area networks – Specific requirements – Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications: High-Speed Physical Layer Extension in the 5 GHz Band”, 1999.
- [4] G. Bianchi, “Performance Analysis of the IEEE 802.11 Distributed Coordination Function”, IEEE Journal on selected areas in communications”, Vol. 18, No. 3, pp. 535 – 547, Marzo 2000.
- [5] Chuan Heng Foh, Moshe Zukerman, “Performance Analysis of the IEEE 802.11 MAC Protocol”, Proceedings of the EW 2002 Conference, pp. 184-190, Febrero 2002.