

行政院國家科學委員會專題研究計畫執行進度報告

計畫編號：NSC 90-2213-E-009-087

執行期限：90 年 8 月 1 日至 92 年 7 月 31 日

主持人：楊啟瑞 國立交通大學 資訊工程系所

一、中文摘要

對區域無線網路而言，現今大部分的頻寬存取技術在本質上皆不甚穩定，當訊務來源流量增加時，網路整體效能反而呈現指數性地遞減。在本報告中，我們提出了一個具有持續穩定且有高效能的 *Hexanary-Feedback Contention Access (HFCA)* 競入技術，能夠使得競入訊號能以極高效率進入系統，並能同時保持區域網路的最大效能。HFCA 是以漸增式的 contention resolution 的方式運作，亦即經由 two-phase 的程序，使得第二階段的運作同時只管理一小群的使用者。在第一個 phase 中，一個群體內的使用者會以一個變動的機率隨機允入，這個機率使得群體中同時進行競入的使用者個數大於五的機率很小。在第二個 phase，由第一個 phase 決定的小群體內的使用者將會被有效率地處理。藉由在實體層實作 Pdf-based Multi-user Estimator (PMER)，使得上述 hexanary feedback 控制機制能夠提供 two-phase 程序正確的回應，以利其進行 contention resolution。值得注意的是利用比對接收訊號的 envelope/phase pdf's histograms 和預先建立的 pdf 函式庫，PMER 可以測量在一個 contention slot 內的精確使用者個數（從零到五）。這六個的使用者個數的預測結果，組成了 hexanary feedback，提供在 two-phase 程序在即時運算時廣播予使用者。最後，由分析與模擬的結果指出，配合 PMER 的執行，HFCA 在 maximum stable throughput、saturated throughput、access delay、與 blocking probability 方面都可獲得很高的效能。

關鍵詞：無線 ATM 網路 (WATM)，媒體存取控制 (MAC)，品質保證服務 (QoS)，訊務排程技術，頻寬分配，自我相似性訊務，Neural-fuzzy 訊務預測

二、英文摘要

Most existing contention access schemes for local wireless networks are inherently unstable yielding exponentially deteriorating throughput under increased traffic loads. In this report, we propose a persistently stable, efficient *Hexanary-Feedback Contention Access (HFCA)* scheme, capable of providing signaling traffic high performance while retaining maximal throughput for local wireless networks. HFCA performs incremental contention resolution, managing a small subset of users at a time via a two-phase process. In the first phase, a group of users is probabilistically admitted, with a negligible probability of the group size greater than five. In the second phase, all users in the group are efficiently resolved. The two-phase process is augmented with hexanary feedback control facilitated by a Pdf-based Multi-user Estimator (PMER) implemented at the physical layer. Significantly, the PMER measures the exact number of transmitting users (zero to five) in a contention slot by matching the envelope/phase pdf's histograms of received signals to a library of pre-constructed pdf's. These six outcomes comprise the hexanary feedback being broadcast to users during the real-time operation of the two-phase process. Analytic and simulation results delineate that, performing in conjunction with the PMER, HFCA achieves high performance with respect to maximum stable throughput, saturated throughput, access delay, and blocking probability.

Keywords: Wireless access networks, contention access, feedback control, maximum stable throughput, saturated throughput, envelope/phase probability density function (pdf).

三、計畫緣由及目的

無線 ATM 網路已被視為下一代無線區域網路中最有潛力的一個可行方法，因為它具備了整合性多媒體高速服務，並能滿足各種 QoS 的需求，如 CBR、VBR、ABR 和預留頻寬式的 signaling 訊務等。對 CBR/VBR、ABR 和 signaling 訊務來說，它所要求的 QoS 分別為有限的傳送延遲、保證擁有最小的傳輸速率與最小的 non-blocking 機率。經過研究證明，前三種型態的訊務可以透過 reservation access 來有效管理 [1, 2]。而另一方面，signaling 訊務則最適合採用 contention access [1, 3, 4]。眾所皆知，contention access 在訊務來源增加時，會不可避免的發生碰撞 (collisions)，導致效能減少與無法滿足 QoS 的問題。針對這項關鍵性的挑戰，本計劃的目標即是設計一種能同時滿足存取的效率與 QoS 的保證 [3] 的 contention access。

在現今普及的 TDMA FDD-based [5, 6] contention access 技術中，splitting-based collision-resolution algorithms [7, 8, 9] 已考慮到上述問題。這些設計的基本觀念是藉由隨機 [8] 或由時間 [9] 將競爭的使用者分為傳送中或非傳送中的兩個集合來加速 resolution 的程序。這些分類可以由使用者所獲得的 feedback 得知。一般而言，有三種型態的 feedback – binary feedback、ternary feedback [8,9]、和 multiplicity feedback [7]。在 binary feedback 中，使用者會被通知在 contention slot 是否發生 collision，因此而命名。在 ternary feedback 中，使用者會告知三種結果- idle、success、或 collision。最後一種 multiplicity feedback 允許使用者擁有完整的資訊了解與 collision 有關聯的使用者個數。和 binary/ternary feedback 比較起來，multiplicity feedback 能大大地改善 access efficiency，卻需要較大的實作複雜度。本計劃的目標，是設計一個有效率，且可行的 hexanary feedback-based contention access 技術，其中 hexanary feedback 可以靠硬體幫助簡化之。

四、研究方法與成果

無線網路的架構是由基本的 cell 伴隨著一個基地台 (Base Station, BS)，利用分享式的無線電介質，來服務一群有限個數的移動式終端機 (Mobile Terminals, MT's)。以 FDD

為基礎將頻寬分為上傳與下傳兩個頻道。上傳頻道根據一個 TDMA-based Medium Access Control (MAC) 和我們新提出的 HFCA 技術，傳送從 MT's 到 BS 的資訊。亦即上傳頻道的時間被分割成連續且大小不固定的 TDMA frames，每個 frames 被進一步切成固定大小的 slots。所有從 MT's 傳送的資訊，假設是互相獨立。下傳頻道基本上是廣播資訊和回應先前透過上傳頻道傳送的訊息。這部分的運作不在本報告的討論範圍。值得注意的在區域環境中，由於 FDD 和一個小的 propagation 延遲，在上傳頻道連續 slot 開始之前，透過下傳頻道 BS 可以發給 MT's 立即的 feedback 與回應。

BS 的系統架構如 Figure 1 所示。系統在實體層包含三個模組 - encoder/decoder, modulator/demodulator, 和 RF transceiver，在 MAC 層則包含了兩種 access 技術 - HFCA 和 reservation access。在 MAC 層的協定中，使用 reservation access 為 CBR/VBR/ABR 的訊務動態配置保留的頻寬，使用 HFCA 則是為了 signaling 訊務動態配置保留的頻寬。Reservation access 的運作不在本報告的討論範圍內。一個希望建立 CBR, VBR 或 ABR 連線的 MT 必須在一個 slot 的 contention 頻寬內發出一個 signaling 的要求，這即是下一節會詳細敘述的 HFCA 技術。每次 access 皆是一次一個 slot 為主，直到最小的 non-blocking 機率達到為止。基本上，HFCA 執行漸增式的 contention resolution, 亦即經由 two-phase 的程序，同時管理一小群的使用者。藉由在實體層實作 Pdf-based Multi-user Estimator (PMER)，使得上述 hexanary feedback 控制機制能夠提供 two-phase 程序正確的回應，以利其進行 contention resolution。值得注意的是利用比對接收訊號的 envelope/phase pdf's histograms 和預先建立的 pdf 函式庫，PMER 可以測量在一個 contention slot 內的精確使用者個數 (從零到五)。這六個的使用者個數的預測結果，組成 hexanary feedback，提供在 two-phase 程序在即時運算時廣播予使用者。

4.1 HFCA 設計觀念與運作方式

在一個 frame 內的 HFCA 運算，包含重複執行的 phases-admission 和 resolution 的兩個 phases。當一群 MT's 被隨機選入 admission phase，被選的群體會在 resolution phase 內被

處理完畢。這種 two-phase 的程序會被重複直到最小 non-blocking 機率被滿足為止。詳細的 HFCA two-phase 演算法詳見 Figure 2。

在第一個 phase 之前，希望競爭頻寬的 MT's 的平均個數，稱之為 initial group size (以 N 表示之)，會透過簡單的流量預測通知 BS。預測的 initial group size, \hat{N} ，將廣播給所有的 MT's。在 admission phase，每一個有資料要傳送的 MT 獨立地存取下一個的 slot。這個存取動作是以 Controlled Slotted-Aloha (CA-Aloha) 協定為主，而 admission 的機率, $P_A(\hat{N}) = \lambda_{opt} / \hat{N}$ ，其中 λ_{opt} 是以在能獲得最大 saturated 產能時的最佳值。在下一節中，我們將會推導出 $\lambda_{opt} \approx 1.58$ ，和 $\hat{N} (> 50)$ 、 N_{max} 無關。接著 PMER 將預估發生碰撞的 MT's 個數 (\hat{L})。如果碰撞發生 ($2 \leq \hat{L} \leq 5$)，運算會進入第二個 phase。所有的 MT's 會被告知 \hat{L} 的值，並設定此值給 reduced group size (G)。如果 $\hat{L} \leq 1$ ，現在的 two-phase cycle 便結束。此外，HFCA 已被證明會發生超過五個同時傳送者的機率非常小。

在 resolution phase，每一個被允入但未成功處理的 MT 會指定它下一個 slot 傳送的機率，和現在群體內的 MT's 個數成反比。群體內的個數從 reduced group size (G) 開始，在一個 slot 內最多被遞減一個。亦即每個 MT 存取下一個競爭的 slot 以 CS-Aloha 協定為主，協定的 resolution 機率, $P_r(M) = 1/M$ ，其中 M 是現在群體的大小。如以上所述， M 在 resolution phase 一開始時與 reduced group size (G) 相同，注意的是 M 的值在每一台 MT 內是獨立地在 resolution phase 內運作。在 slot 結束的時候，依據送回的 feedback (\hat{L})，每一台 MT 有不同的動作。如果 $\hat{L} = 1$ (success)，現在的群體內個數被遞減一。如果 $\hat{L} = 0$ (idle)，或 $\hat{L} \geq 2$ (collision) 但是 $\hat{L} \neq M - 1$ ，resolution 遞迴式地重複，但 M 值沒有改變。如果 $\hat{L} \geq 2$ (collision) 但是 $\hat{L} = M - 1$ ，HFCA 將給那個在這個 slot 沒有傳送的 MT 使用下一個 slot 的權利。所有其他在 transmission 群內的 MT's 會發生一個 slot 的延遲，而 M 也會減一。第二個 phase 的運作重複執行直到所有在 admitted 群內的使用者皆被完全處理完

畢為止，亦即 $M = 0$ 。由於本報告頁數的限制，效能的分析在此份報告內省略。

Figure 3 表示 HFCA、Paris、和 S-Aloha 等技術在三種不同的訊務下 ($r = 3, 7, \text{ and } 30$)，對 access delay、non-blocking probability 的比較。在實驗中，MT 的 access delay 是從要求所有的 slot 開始到 MT 成功地傳送它的 signaling 要求為止。Figure 3(a) 中亦表示了 complement delay Cumulative Distribution Function (CDF)。為了監控 non-blocking probability，如果 slot access 的個數超過預先設定的 access retry count，一台 MT 的要求訊號會被 blocked 住。在 Figure 3(b) 中，我們證明 non-blocking probability 是 retry count (範圍從 1 到 20) 的一個函數，我們清楚地觀察到，因為 unstable 的關係，S-Aloha 的 delay 和 non-blocking probability 在中與高 load 時大量地增加。此外，HFCA 在中與高 load 時，其 performance metrics 皆表現得比 Paris 為佳。

4.2 Pdf-based Multi-User Estimator (PMER) 觀念與運作

基本的 PMER 設計觀念如下。當一些同步的使用者在一個合理的 SNR 下發出 multi-user 的訊號時，他們的 envelope/phase probability density functions (pdf's) 會區別出在訊號內是否應少於六個 user。因此，我們可以預先建構一個在不同 SNR's 和不同個數之同步使用者狀況下的先期 pdf 函式庫，

在這一節中，我們推導在 AWGN channel 例子下，接收訊號的 normalized envelope pdf。在這些結果的基礎下，先期 pdf 的函式庫可據此建立。從多位使用者在 slot access 結束時的 on-line 運算，一個被 BS 在 AWG channel 接收的 phase-modulated signal ($R(t)$) 可以被表示為

$$R(t) = \sum_{i=1}^L S_i e^{j[2\pi f_0 t + \psi_{S_i}(t)]} + n(t) e^{j2\pi f_0 t}, \quad (1)$$

其中， S_i 是第 i 個 MT 在接收端的 power 平方根， f_0 是 carrier frequency， $\psi_{S_i}(t)$ 是從第 i 個 MT 來的 modulated waveform， $n(t)$ 代表平均值為零，變異數為 $2\sigma_n^2$ 的 Gaussian noise。為了表示方便，我們假設每一個 MT 都有其 power control，使得 $S_i = S$ 。讓 $y(t)$ 表示 envelope of $R(t)$ 。相對應 $y(t)$ 的 pdf 可以被推導為

$$p_y(y) = \int_0^\infty y J_0(yt) J_0^L(S t) e^{-(t_n^2/2)} dt, \quad y > 0, \quad (2)$$

其中， $J_0(\cdot)$ 是 Bessel function of the first kind of order zero。為了 normalize 接收訊號的 power，根據

$$x^2(t) = \frac{y^2(t)}{\text{mean received power}} = \frac{y^2(t)}{L \cdot S^2 + 2t_n^2}, \quad (3)$$

normalized envelope $x(t)$ 的 pdf 可以推導為

$$p_x(x) = (L \cdot \Lambda + 1) x \int_0^\infty t e^{-t^2/4} J_0(xt\sqrt{L \cdot \Lambda + 1}) J_0^L(t\sqrt{\Lambda}) dt,$$

其中， $\Lambda = \frac{S^2}{2t_n^2} = SNR$ 。我們從方程式(4)中清楚地發現， $p_x(x)$ 是 L 和 SNR 的函數。因此先期 pdf 函式庫可根據方程式(4)被 offline 建立。在不同個數的同步使用者 ($L=1$ to 5) under $SNR=10$ dB, and 20 dB 的部分函式庫結果已顯示在 Figure 4。很清楚地發現，SNR 越強，pdf 的區別性越大。

4.3 研究成果

本計劃的成果已投稿並刊登於 IEEE ICC 2002 國際研討會上。此外，另一篇擴充版本的論文已投稿於 IEEE Transaction on Wireless Communications，現正在 revised 中。

五、下一年度研究方法與預期成果

在下一年度的工作中，我們將著重於三項工作。首先，我們更進一步將研究重點放在 HFCA stability 和 capacity 的正式推導與分析上。第二，對 PMER 而言，我們將考慮在 AWG channel 下 multipath fading 的 phase pdf。在這兩項工作完成後，最後的工作我們會結合由 HFCA/PMER 提供的 reservation access 和 contention access，並總結出一個整合式 QoS-guaranteed 的區域無線網路解決方案來支援多媒體通訊。

六、參考文獻

[1] S. Jangi, and L. Merakos, "Performance Analysis of Reservation Random Access Protocols for Wireless Access Network," *IEEE Trans. Comm.*, vol. 42, no. 2/3/4, Feb./March/April 1994, pp. 1223-1234.

[2] D. Goodman, R. Valenzuela, K. Gayliard, and B. Ramamurthi, "Packet Reservation Multiple Access for Local Wireless Communications," *IEEE Trans. Comm.*, vol. 37, no. 8, Aug. 1989, pp. 885-890.

[3] M. Yuang, and P. Tien, "Multiple Access Control with Intelligent Bandwidth Allocation for Wireless ATM Networks," *IEEE JSAC*, vol. 18, no. 9, Sept.

2000, pp. 1658-1669.

[4] L. Lenzi, M. Luise, and R. Reggiannini, "CRDA: A Collision Resolution and Dynamic Allocation MAC Protocol to Integrate Data and Voice in Wireless Networks," *IEEE JSAC*, vol. 19, no. 6, June. 2001, pp. 1153-1163.

[5] I. Akyildiz, et al., "Medium Access Control Protocols for Multimedia Traffic in Wireless Networks," *IEEE Network*, July/Aug., 1999, pp. 39-47.

[6] N. Passas, S. Paskalis, D. Vali, and L. Merakos, "Quality-of-Service-Oriented Medium Access Control for Wireless ATM Networks," *IEEE Comm. Mag.*, vol. 35, no. 11, Nov. 1997, pp. 42-50.

[7] L. Georgiadis, and P. Papantoni-Kazakos, "A Collision Resolution Protocol for Random Access Channels with Energy Detectors," *IEEE Trans. Comm.*, vol. 30, no. 11, Nov. 1982, pp. 2413-2420.

[8] B. Paris, and B. Aazhang, "Near-Optimum Control of Multiple-Access Collision Channels," *IEEE Trans. Comm.*, vol. 40, no. 8, Aug. 1992, pp. 1298-1309.

[9] J. Mosley, and P. Humblet, "A Class of Efficient Contention Resolution Algorithms for Multiple Access Channels," *IEEE Trans. Comm.*, vol. 33, no. 2, Feb. 1985, pp. 145-151.

[10] R. Rom, and M. Sidi, *Multiple Access Protocols-Performance and Analysis*, Springer-Verlag, 1990.

[11] Y. Su, and J. Chen, "Carrier-to-Interference Ratio Measurement using Moments or Histograms," *IEEE Trans. on Comm.*, vol. 48, no. 8, Aug. 2000, pp. 1338-1346.

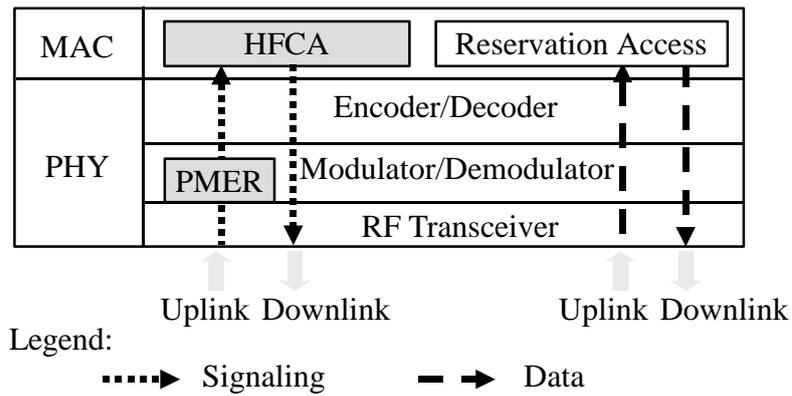


Figure 1. System architecture of the base station.

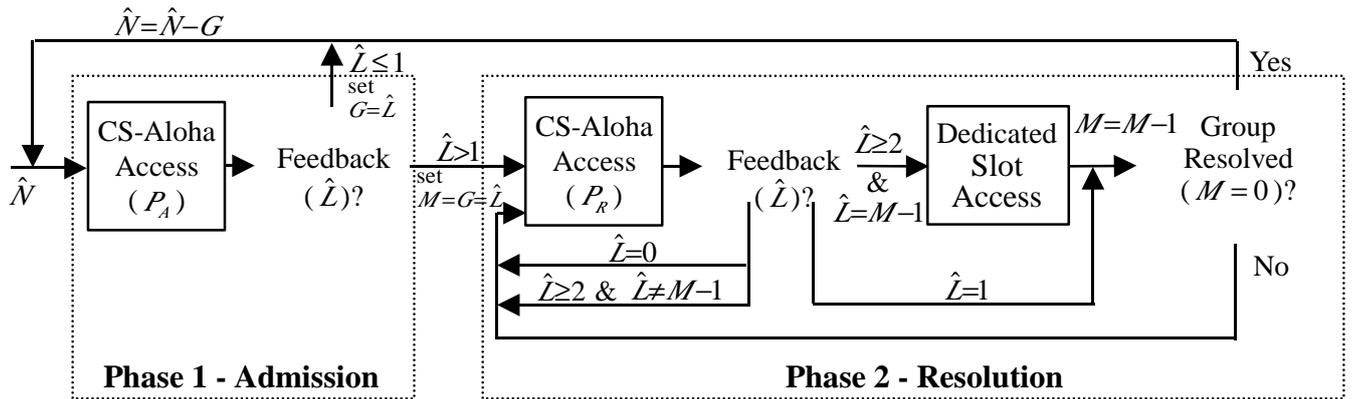
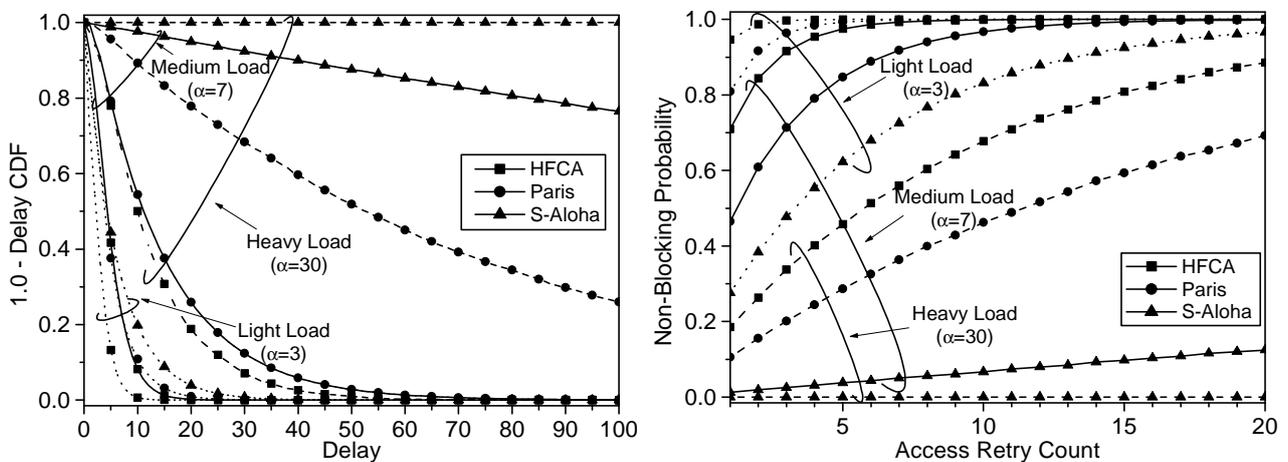


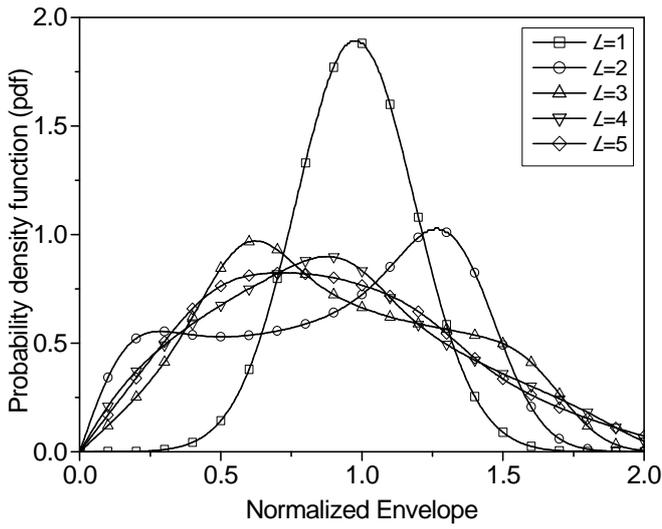
Figure 2. Two-phase process of HFCA.



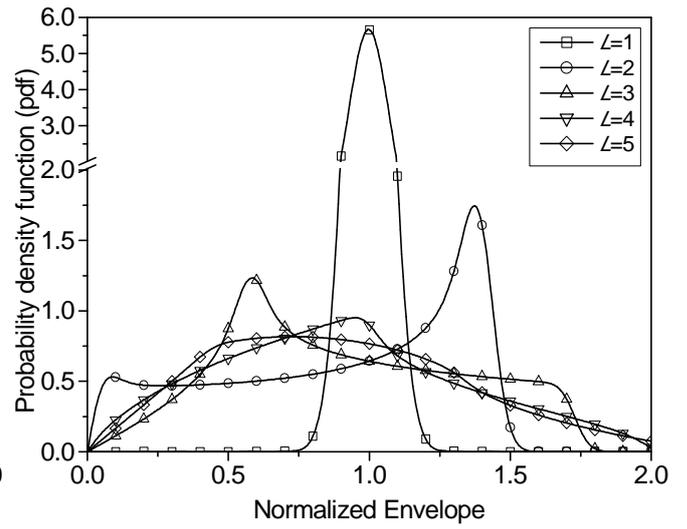
(a) Delay comparison.

(b) Non-blocking probability comparison.

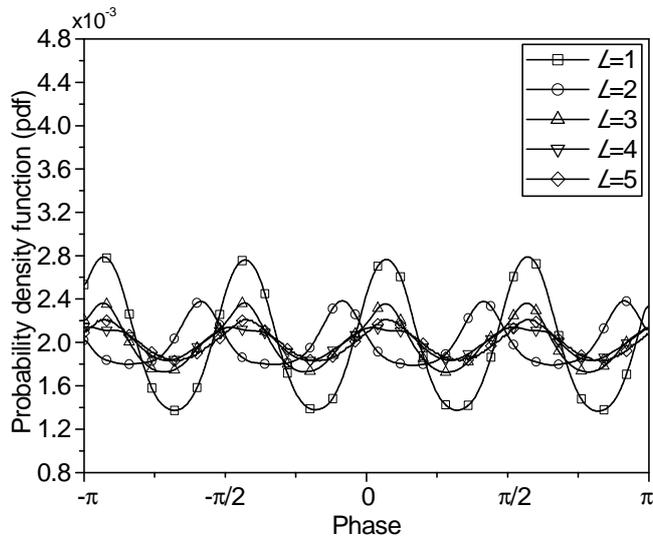
Figure 3. Performance comparison under three different loads.



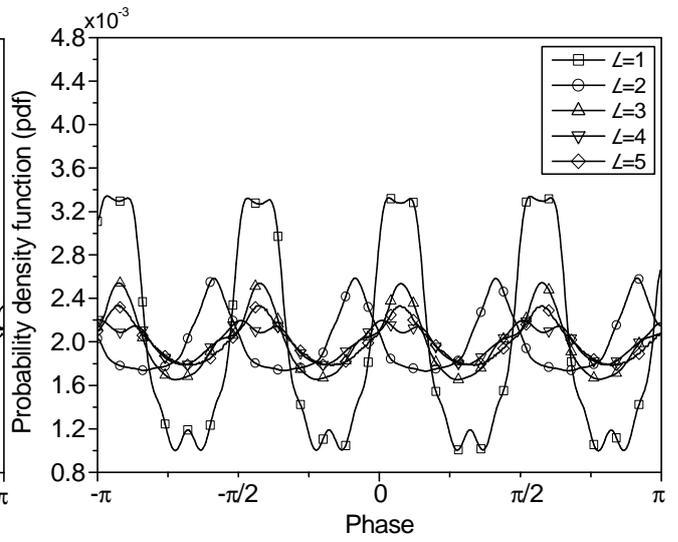
(a) Normalized envelop pdf under SNR=10 dB.



(b) Normalized envelop pdf under SNR=20 dB.



(c) Phase pdf under SNR=10 dB.



(d) Phase pdf under SNR=20 dB.

Figure 4. Envelope/phase pdf's under different L 's.