

通訊系統關鍵參數定義釋疑

◎廖建興

1.前言

一般通訊系統之重要參數，尤其如通訊容量（Capacity）、位元錯誤率（Bit Error Rate, BER）、通達量（Throughput）、阻通率（Blocking Rate），及通達率（Put Through Rate）等之定義散見於各相關之通訊書籍、技術手冊及論文等，然就實務面而言，合理有效之通訊性能實攸關於各相關參數間之整體設計考量良窳及擇優分析結果。本論文試圖整理相關通訊系統領域相關關鍵及重要之參數定義及實際於有線及無線通訊領域之運用情形。本文計分四部份，第1部分為前言，第2部分為通訊系統參數定義說明，第3部分為光纖骨幹網路通達率，第4部分為無線衛星通訊通達率，第5部分為結論。

2.通訊系統參數定義說明

有關一般通訊系統之重要參數定義分別說明如下：

- (1)通訊容量：一般通訊系統之理想通訊容量係以薛農容量（Shannon Capacity）定理表示，亦即

$$C = B \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) \quad (1)$$

其中，C表示容量，B表示通道頻寬，S/N表示信號雜訊比。而一通訊系統，於特定頻寬B下之容量大小亦與其調變複雜度有關，亦即可以奈奎斯特容量（Nyquist Capacity）定理表示如下：

$$C = B \log_2 M = B \log_2 2^k = kB \quad (2)$$

其中，C表示容量，B表示通道頻寬，k表示調變維度，如QPSK，k=2；16QAM，k=4；綜合而言，k愈大則需求之S/N則愈大。

- (2)位元錯誤率(BER)：對一數位式之通訊系統信號處理而言，信號之品質依調變之方式，可以 E_b/N_0 表示，而 E_b/N_0 與BER成反比例函數關係， E_b/N_0 愈高則BER愈低（佳）。容量、S/N、 E_b/N_0 ，及調變維度k間之關係如下：

$$\begin{aligned} C &= B \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) = B \log_2 \left(1 + \frac{E_b R}{N_0 B} \right) = B \log_2 (2^i) \\ \Rightarrow 2^i &= 1 + \frac{E_b R}{N_0 B} \Rightarrow \frac{E_b}{N_0} = (2^i - 1) \frac{B}{R} \end{aligned} \quad (3)$$

- (3)通達量/阻通率：有關通訊系統所能提供之通訊容量及位元錯誤率等通訊資源參數之基本定義說明概如上述，但當使用者數量超過通訊資源所能同時供給時，則必須考量所謂多工接取（Multiple Access）問題，亦即競逐有限之無線獲有線通訊資源，吾人可以通達量及阻通率，或所謂通達率（可定義=1-阻通率）來表示，詳如後有線（Wire）之光纖骨幹網路或無線（Wireless）衛星通訊網路說明。

3.光纖骨幹網路通達率

有關傳統有線光纖骨幹網路系統運用如圖1所示，一端之眾多使用者欲藉由交換機/光纖與另一端之眾多使用者通連；於一固定通訊資源（如通道）下，吾人可以通

訊資源之數理統計特性及模型，分析如何有效收納此眾多使用者。GOS服務等級 (Grade of Service) 係用以量度一使用者於最繁忙時段接取一骨幹系統網路通訊資源時之能力；覆分為壅塞 (Congestion) 阻通 (Blocking) 機率，一般可以Erlang B模式描述分析；而另一壅塞延遲 (Delay) 機率，一般可以Erlang C模式來描述分析。

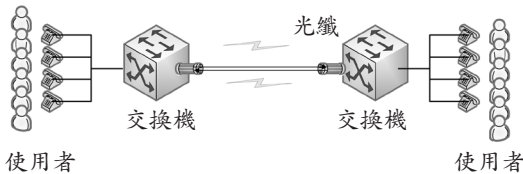


圖1有線光纖骨幹網路系統示意圖

Erlang B模式可如下式所示：

$$P_r(B) = \frac{\frac{A^C}{C!}}{\sum_{k=1}^C \frac{A^k}{k!}} = GOS \quad (4)$$

$$A = UA_u = U\lambda H \quad A_c = \frac{A}{C}$$

其中 A_u 表示單一使用者之流量強度 (Traffic Intensity)，其為單一使用者於單位時間平均需求數 λ (Average Number of Call Request per unit time and per user) 與平均服務時間 H (Average duration of a call) 之乘積，單位Elang； A 表示共 U 個使用者之全流量強度 (Total Offered Traffic Intensity)； A_c 表示單一通道之平均通達強度 (Average Traffic Intensity)， C 為通訊資源通道數。

舉例而言，假設阻通率 $P_r(B)=0.5\%$ ， $A_u=0.1$ Erlang， $C=1、5、10、20、100$ 時，可分別獲得全通達強度 A 值為

0.005、1.13、3.96、11.10、80.9，而可得到之使用者數目 U 則分別為0.05、11、39、110、809，全流量強度值愈大，則使用者數可愈多。

至於Erlang C模式如下式所示：

$$P_r(D>0) = \frac{\frac{A^C}{C!}}{A^C + C! \left(1 - \frac{A}{C}\right) \sum_{k=1}^{C-1} \frac{A^k}{k!}} = GOS \quad (5)$$

$$P_r(D > t) = P_r(D > 0) e^{-\left(\frac{C-A}{H}\right)t}$$

其中 A_u 亦表示單一使用者之流量強度，其為單一使用者於單位時間平均需求數 λ 與平均服務時間 H 之乘積； A 表示共 U 個使用者之全流量強度； A_c 表示單一通道之平均流量強度， C 為通訊資源通道數， D 表示平均延遲時間。

舉例而言，假設 $P_r(D>0)=5\%$ ， $A_u=0.029$ Erlang， $C=15$ ， $\lambda=1$ 時，可獲得全流量強度 A 值9.0，而可得到之使用者數目 U 為310；而於延遲狀況下需等待超過10秒後通連之機率 $P_r(D>10\text{秒}/\text{延遲})$ 為56.29%，而延遲等待超過10秒後通連之機率 $P_r(D>10\text{秒})=P_r(D>0) \times P_r(D>10\text{秒}/\text{延遲})=5\% \times 56.29\%=2.81\%$ 。故依此模式，吾人希望在一定之通達流量及系統絕對穩定條件 (阻通) 要求下，能得到最小的時間延遲。

4.無線衛星通訊通達率

有關傳統無線衛星通訊網路系統運用如圖2所示，一端之眾多使用者欲藉由衛星地面終端站台與另一端之眾多衛星使用者通連；於一固定通訊資源 (如通道) 下，吾人可以衛星通訊的通訊資源之數理統計特性及模型，分析如何有效收納此眾多使用者。一般傳統之接取方式有ALOHA隨機接取方式、S-ALOHA時槽式—隨機接

取方式，及DAMA接取方式，分如下述：

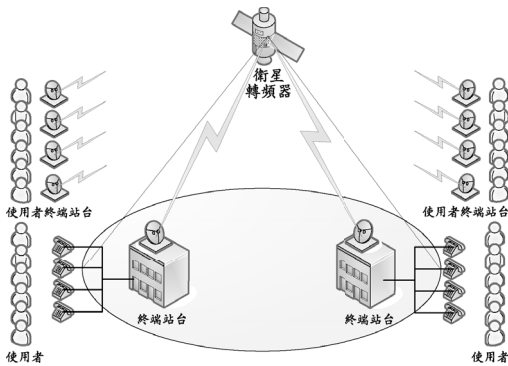


圖2無線衛星通訊網路系統示意圖

(1)ALOHA隨機接取方式

ALOHA係屬於一種隨機接取方式，其正規化後（Normalized）之通達量（Throughput）特性值，經數理統計分析結果，可以下式表示：

$$T = Ge^{-2G} \quad (6)$$

其中G為衛星通道的平均流通量（Average Channel Traffic），由上式可知，當G=0.5可求得最大值約為18.4%，亦即欲達成最大通達量 T_{max} 時，則平均流通量G大約為總流通量一半時。

ALOHA隨機接取方式之平均傳輸延遲 T_{Aloha} 可以下列數學式表示：

$$T_{Aloha} = T_R + t + [e^{2G} - 1][T_R + (K + 1)t / 2] \quad (7)$$

其中 T_R 為GEO衛星通信傳輸的平均延遲時間（約0.25 Sec）；t為信息傳輸延遲， $t=b/R$ ，b為申請封包格式的位元數（設b=100 bits），R為申請通道的傳輸率（

設R=9.6Kbits），所以 $t=0.01\text{Sec}$ ，K為進入系統要求處理的流通量。

若以K=25估算 $T_{Aloha}=0.25+0.01+0.65=0.914\text{ Sec}$

若以K=49估算 $T_{Aloha}=0.25+0.01+0.86=1.12\text{ Sec}$

若以K=99估算 $T_{Aloha}=0.25+0.01+1.3=1.55\text{ Sec}$

從上得知進入系統要求處理的流通量K是決定平均傳輸延遲的關鍵點，當然實際的延遲時間當須考量網控中心對每一個申請通連處理所需時間。

(2)S-ALOHA時槽—隨機接取方式

S-ALOHA係屬於一種以加入時槽（Time Slot）方式以改善ALOHA隨機接取方式之碰撞效應及影響之隨機接取方式，其通達量T特性值，經數理統計分析結果，可以下數學式表示：

$$T = Ge^{-G} \quad (8)$$

其中G為衛星通道的平均流通量，依上式，當G=1.0可求得最大值約為36.8%，約兩倍於純ALOHA隨機接取方式所能達到者。

(3)DAMA接取方式

所謂「按需分配方式（Demand Assignment, DA）」係對多工網路所管理的通信資源（如頻率、時間及碼別）之使用權，並非固定分配使用方式，而是當用戶有通信需求時才動態申請，擁有使用通信資源之模式；當通信完畢後即釋放通信資源擁有權；採取這種方式的網路管理即是「按需分配多工接取方式（Demand Assignment Multiple Access, DAMA）」。DAMA一般可配合如TDMA分時多工接取、FDMA分頻多工接取、CDMA分碼多工接取等固定資源分工

接取方式運作，形成如TDMA/DAMA、FDMA/DAMA，或CDMA/DAMA等。雖然DAMA系統可提高資源使用效率，但使用時間延遲的浪費，也無形中損耗通信資源，一般DAMA最大有效通達量數理統計分析可超過50.0%。由(1)至(3)部份之簡要討論，吾人可知可獲之最大之有效通達量隨不同之衛星無線接取方式及特定流通量條件而異。

衛星通訊系統如使用CDMA/DAMA方式，此種方式的優點是簡單且適用於通信量小的系統，可直接運用於小型終端站的轉接申請或跨區通信申請。CDMA分碼多工接取方式主要係一種干擾限制系統(Interference Limit)，因此若能有效抑制干擾載波量，除可改善通信品質外，相對的也能提高通信資源運用效率，功率控制就是在管理及抑制干擾載波量，以避免通信資源閒置的狀況。因此全系統運用CDMA/DAMA系統考量重點係「功率控制運用可有效滿足鏈路彈性構連需求」。一般商用衛星通訊系統之衛星本體採一廣域波束涵蓋(Global Beam Coverage)設計之衛星酬載，如為配合提高地面終端站台抗干擾能力及強韌性(Robustness)而採取CDMA分碼多工技術，於此廣域波束涵蓋下需面臨用戶間相互干擾量(Mutual Interference)及有效功率控制機制及效益問題。如小型及(或)行動終端位於廣域波束邊緣者，其G/T增益/系統溫度比低，且相對衛星天線增益比低，功率控制運用較不易能有效滿足鏈路彈性構連需求。此外，監測衛星本體酬載頻譜，如經常性發現存在干擾或不明之信號，亦會影響此地面系統之通連品質。

5. 結論

本文於第2部份已針對一般通訊系統之相關重要參數，如通訊容量、通達量、阻通率，及通達率等之基本定義進行闡述；繼而有關傳統有線光纖骨幹網路及無線衛星通訊網路系統運用之多工接取技術及基

本數理統計模型等亦已分別於第3及4部份說明；若吾人將「無線衛星通訊網路系統」之採用數理模式類比於「有線光纖骨幹網路系統」所採數理模式，則提升通達率(即降低阻通率)之技術重點即在研究如何提升通訊系統之流通率(Traffic)及通達量(Throughput)；而合理之通達率數值復與延遲申請通連時間相關，若可耐受延遲申請通連時間愈長，則相對之阻通率(Blocking Rate)可相對較低。因此，綜合而言，於一定之通訊資源(通道)條件下，如何有效提升通訊系統之通達率及合理進行通達率測試，本論文已從與通達率相關之通訊資源參數定義、多工接取之數理統計特性及模式等循序進行探討；正如前述，合理有效通訊系統之通達能力實攸關於相關參數之整體考量設計良窳及擇優分析。

