TWAREN 網路服務等級契約之研究
Service Level Agreement for TWAREN Network

周立德[1] 陳彥文[1] 洪茂元[1] 林彥丞[1] 梁宏漢[1]
顏經洲[2] 陳勝賢[2] 徐賢儒[2] 蔡令傑[2] 薛茹分[2]
[1]國立中央大學資訊工程系 [2]國家高速網路與計算中心
E-mail: cld@csie.ncu.edu.tw

*

摘要

新一代的 TWAREN 網路提供高速網路服務與品質保證，同時納入服務等級契約之機制，規範其所宣稱的服務品質，利用統計資料和機率中的 Probability Density Function(PDF) 和 Cumulative Distribution Function(CDF)評估可能的指標，同時比較 TWAREN 由 Production Network 換至 Research Network 服務參數差異。分析 PDF 是那些連結造成 pulse，評估可能的因素，利用 CDF 和內差法，研究如何擬定服務等級契約中服務品質參數。分析的結果我們發現骨幹切換前後 Avg.RTT 降低 1.5%，MaxRTT 提高 33%，PLR 降低 42%，最後 Availability 提高 0.08%，最後我們建議 TWAREN SLA 服務品質參數擬定為 Average RTT 為 9.44(ms)、Max RTT 為 42.33(ms)、Packet Loss Rate(PLR)為 0.89%、Availability 為 99%，提供未來與 TWAREN 網路營運汲汲相關的網路管理策略與新世代營運管理系統進行規劃。

關鍵詞：TWAREN 網路、SLA、服務品質分析

1. 緒論

新一代的高速寬頻 TWAREN (TaiWan Advanced Research and Education Networks) 大幅度擴展學術界之國內外頻寬，服務各大專院校及研究機構。新一代的 TWAREN 網路為能提供高速網路服務與品質保證，無論是在路由設備、交換設備、線路種類、頻寬速率以及備援機制等均採用全球最新科技，更將服務等級契約 Service Level Agreement (SLA) 之機制納入，且採取讓兩家固網業者同時提供線路的規劃與建置方式，更增添管理網路時之複雜度。雖然網路骨幹已建置完成，但後續網路管理自動化的工作與挑戰仍相當繁重。本計畫目的主要是與國家高速網路與計算中心雙方派員共同針對網路管理系統進行開發，引進 SLA 技術。我們的研究主要對未來與營運汲汲相關的網路管理策略與新世代營運管理系統進行規劃並提供參考建議。

TWAREN 設計規劃有四個主節點及十一個 GigaPOP，主節點部分包含台北科技大樓、國網中心竹科本部、國網中心南科分部及國網中心中科臨時機房。GigaPOP 部分包含中央研究院、台灣大學、中央大學、交通大學、清華大學、中興大學、暨南大學、中正大學、成功大學、中山大學及東華大學[8]。

TWAREN 除了提供高速的連線頻寬之外，最重要的是提供各連線單位能方便進行學術研究以及實驗的網路。TWAREN 之網路架構設計分別為：主工作網路(Production Network)、研究網路(Research Network) 及光傳輸網路 (Optical Network)；高效能/效率的骨幹及多功能的 POP；

高速骨幹盡量保持簡單化，以高速傳送(Transport)為主；兼顧骨幹 / POP 網路系統高可用性(High Availability)。就 TWAREN 網路架構而言，其架構主要由骨幹網路及 POP 所組成。所有的下游連線單位將由 POP 接入，且幾乎所有的網路應用及服務將由 POP 路由器所提供，因此在 POP 部份之設備除了需具備高速交換的特性之外，另外就是要能提供多樣化服務的能力

現今網路世界充斥影音資訊和電子商務，因此網路使用者對於網路的需求，已提升至服務品質的渴望[2]。網路提供者為了滿足顧客對服務品質的要求，將 SLA 納入服務機制。SLA 是由 Internet Engineering Task Force(IETF)[7]提出，為一份網路服務提供者和顧客間的契約。網路服務提供者在擬定契約時，對於服務品質參數部分，需做妥善的規劃，避免違約。網路提供者依照合約的內容，管理監測網路狀況，使用者則需付擔對等的費用。

TWAREN 網路服務的多樣化，需保證網路服務的服務品質，將 SLA 機制納入，規範網路服務必須滿足其宣稱的服務品質，否則將受到處罰。網路服務提供者制定出服務品質的參數描述[11]，以作為服務品質測量的標準，這也是這篇論文主要研究的目的。

這篇論文首先會介紹如何監測效能參數，接著藉由這些數據，對 TWAREN SLA 中效能指標分

* 本研究承蒙財團法人國家高速網路與計算中心經費贊助，特此感謝

析，判別骨幹切換前後的差異和評估 SLA 中指標參數，最後是結論。

2. 監測服務品質之流程

在監測服務品質方面，TWAREN 採用多套軟體相輔相成的方式進行，目前 TWAREN 有 Cisco Works 2000、SAA、ISM 與 OVPI 等數套軟體提供監控與量測。藉由這樣的流程，將資料做統計，成為我們分析研究的數據。

2.1 Cisco Works 2000、SAA 與 ISM

TWAREN 採用 Cisco Works 2000 的 IPM(Internetwork Performance Monitor) 模組與 SAA(Service Assurance Agent)以及 ISM(In-Service Monitoring)搭配的方式進行服務品質監控。SAA 為 Cisco 路由器內建的功能之一，IPM 模組與 SAA 配合可以提供多樣化的量測。IPM 與 SAA 採用的作法，簡單的說：即是 IPM 在路由器裡面啟動 SAA，透過 SAA 每隔固定時間針對 TWAREN 網路進行量測，並將量測值儲存在路由器裡面。IPM 每隔一段時間到路由器裡面將量測值取回，做成報表分析。

目前 IPM 有透過 SAA 進行 ICMP Echo(Ping)量測，TWAREN 路由器每隔 1 分鐘進行 Full Mesh 的量測。每一次量測，針對目的地 Ping 5 次，每次傳送 100Bytes，並且取得 Avg/Min/Max RTT 值，儲存在路由器裡面[8]。

2.2 OVPI(OpenView Performance Insight)

OVPI 是用來偵測網路效能的工具，它會定時至 TWAREN 網路將整個網路狀況 polling 回來，製作成報表分析。Polling 回來的資訊，若是發現品質不佳(如 Availability 降低、或線路 CRC 增加…等)，或是資源不足(如 CPU Utilization >85%，Disk 使用率>95%...等)，OVPI 會自動發送 trap 給網管系統，透過事件管理流程。

3. 研究流程

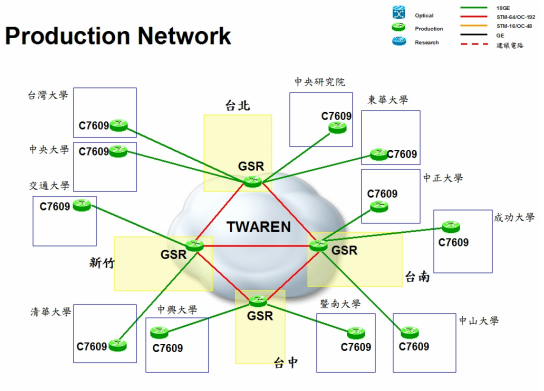
TWAREN 網路提供不同的網路服務，更將 SLA 機制納入，規範其所宣稱的服務品質，但服務品質參數的訂定並不容易，不易達成的指標，造成違約機率的提高，當然地一般使用者更不會接受沒有服務品質可言的指標。如何擬定 SLA 中的效能指標，就是本篇論文要探討的主題。藉由各個 Pops 路由器上統計的資料，分析 TWAREN 網路，這些資料反應統計時間內效能指標的分佈情形，透過統計資料和機率中[3]的 Probability Density Function(PDF)和 Cumulative Distribution Function(CDF)[4]評估 SLA 中效能指標，同時比較 TWAREN 由 Production Network圖 1換至 Research Network圖 2的服務參數差異，具有較差的服務品質參數之 Pop 連結，提供給 TWAREN 網路做進一步改進。

TWAREN 採用多套監控和測量系統，透過 Script 將每日每個連結的服務參數記錄下來，包含半年的統計資料，包括 minimum Round Trip-Time(RTT)、average RTT、maximum RTT、PLR 以及 Availability。將這些資訊藉由分析程式，計算出整個網路服務參數的 PDF、CDF[1] [6]。

為了分析結果貼近實際的 TWAREN 網路，避免異常的情形影響了數據的統計，我們利用不同的抽樣空間，來觀察整個網路環境的 PDF、CDF 的趨勢。S 為所有統計資料的樣本空間，包括每個連結每日的資料；MinRTT 表示每日中出現最小的 RTT 值，同樣地 MaxRTT 為最大的 RTT 值，AvgRTT 則為每日的平均值，Availability 為{總 Ping 成功地次數}/{總 Ping 的次數}。

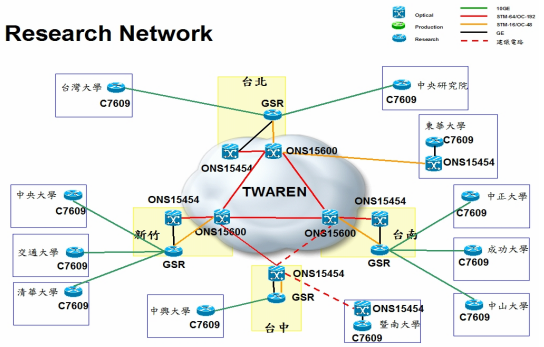
$$S = \{D_{ymd}(l_1), D_{ymd}(l_2), \mathbf{L}\, D_{ymd}(l_i)\} \qquad (1)$$

公式(1)其中 l_i 表示 TWAREN 網路中不同地連結，且該連結具有方向性，及台北到新竹和新竹到台北其為不同之連結；$D_{ymd}(l_i)$ 表示某個連結其每日的服務參數，ymd 分別表示年月日，在這裡 $y \in \{2004,2005\}$，$m \in \{1,2,\mathbf{L}\,12\}$，$d \in \{1,2,\mathbf{L}\,31\}$。



資料來源:http://www.twaren.net/

圖1. Production Network 架構



資料來源:http://www.twaren.net/

圖2. Research Network 架構

單純從 PDF、CDF 判斷整個 TWAREN 網路是相當困難地，各個連結有機會座落在不同的機率分佈位置，特別地是有異常的狀況，例如：某個 GigaPops 因維修而中斷，造成服務參數異常差，縱觀而言，還會提升服務參數較差的機率。為了避免這種各案的數據，我們考慮不同的抽樣空間 s^{*} (2) 和 s^{**} (4)，將異常的狀況排除。

$$s^{*} = \left\{\overline{M}_{ym}(l_1), \overline{M}_{ym}(l_2), \mathbf{L}\, \overline{M}_{ym}(l_i)\right\} \qquad (2)$$

s^{*} 表每個連結每個月的平均值。

$$\overline{M}_{ym}(l_i) = \left\{N^{-1}\sum_{k-1}^{k=N} D_{ymk}(l_i)\right\} \qquad (3)$$

公式(3)表 l_i 月平均 N 表示 yth 年 mth 月擁有的天數，一般 SLA 文獻，對於服務品質參數指標皆以月來來評估，例如：一個月中的 PLR < 0.5%，因此我們採用這樣的樣本空間來分析。

$$s^{**} = \left\{\overline{T}(l_1), \overline{T}(l_2), \mathbf{L}\, \overline{T}(l_i)\right\} \qquad (4)$$

公式(4)表示每個連結所有的平均值。

$$\overline{T}(l_i) = \left\{N^{-1}N^{*-1}\sum_{a=2004}^{a=N}\sum_{b=1}^{b=N^{*}} \overline{M}_{ab}(l_i)\right\} \qquad (5)$$

N^{*} 表示在統計資料中 a th 年記錄多少個月，N 則表示統計資中記錄了多少年，到目前為止，我們的數據資料為 2004~2005。利用第二種樣本空間，我們可以評估各個連結的服務參數，方便 SLA 中的服務品質參數的擬定。

$$F^{-1}(CDF) = \{RTT, Availabilty, PLR\} \quad (6)$$

公式(6)表 CDF 和服務品質參數的關係，所以該函數能夠表示歷史數據裡的 CDF 值，但對擬定 SLA 的服務品質，顯然不足，為求出公式(7)：

$$F(RTT, Availability, PLR) = CDF' \quad (7)$$

我們利用內差法求出 CDF'，其分佈的形式，依統計時群組的大小有所差異。當群組分得愈多，區間愈小，其 $CDF \approx CDF'$，區間大小決定在統計資料上的精準度。利用該函數我們能評估樣本空間裡，使用者滿足服務品質參數有 CDF' 的機率，僅 $1-CDF'$ 不能滿足，換言之 SLA 中，有 $1-CDF'$ 機率可能違約。因此 CDF' 愈接近 100%愈容易滿足服務品質參數的需求，但其值卻不一定會被顧客接受，如何取得折衷點，是我們研究主題之一。

4. TWAREN SLA 之分析

統計資料利用 Script 將每日每個連結的服務參數記錄下來，包含了半年的資訊，再依不同的抽樣空間策略，計算其 PDF 和 CDF，透過繪製圖表，透過 CDF，得到對應的服務品質參數，也可利用程式輸入服務參數或者 CDF，取得結果。

為了解 TWAREN 骨幹換至 Research Network 後的差異及對 SLA 服務參數的影響，根據桃園區網中心公告 2005/03/28 開始以 TWAREN Production Network 為 TANET/TWAREN 共同試用骨幹。遺憾地根據國高 2005 三月維運月報，「於 2005 年三月底施行 TANET 與 TWAREN 骨幹共用政策，其網管系統做了調整，導致三月中至三月底統計資料無法提供。」所以我們根據手邊的資料，將 2004/09/23~2005/03/21 的服務品質參數視為換至 Research Network 之前，我們利用四月之後的資料，評估 TWAREN 網路 SLA 的服務參數指標，同時針對更替前後的優劣，進行比較，其中 TWAREN 網路在 2005 年五月，提升其網管系統，造成多數資料遺失，量測的服務參數也不精確，因此排除五月和六月一日的統計資料。

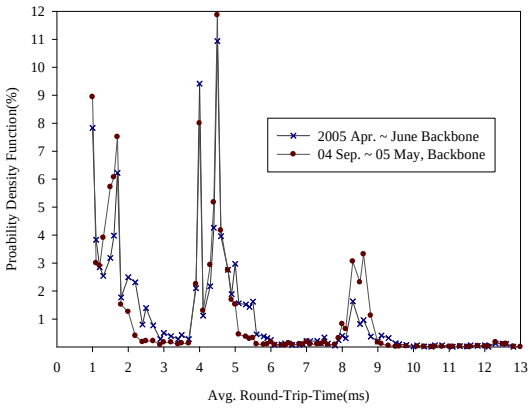


圖3. Average RTT PDF

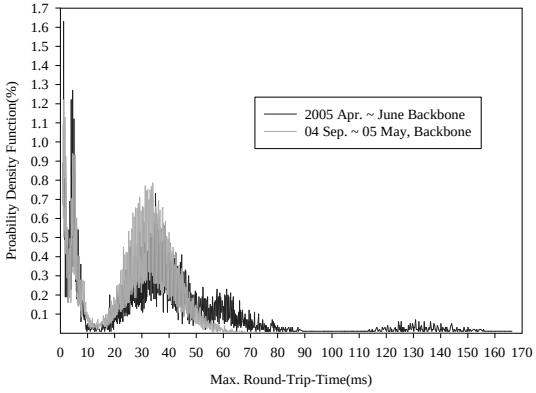


圖4. MaxRTT PDF

(i) 骨幹切換前後 Average RTT PDF CDF

我們針對 TWAREN 網路中，AvgRTT、MaxRTT、PLR 以及 Availability 探討[12]，圖 3表示未切換至 Research Network 和切換過後的 PDF；切換過後，期望值為 $E(x)=3.70$ (ms)，較切換前 $E(x)=3.76$ (ms)低，證明 TWAREN 網路切換至 Research Network 後，Average RTT 服務品質有比較好，但從圖 4看來，卻發現新的骨幹。

(ii) 骨幹切換前後 Max RTT PDF CDF

較差的 MaxRTT 出現機率很高，同時由期望值來觀察，未更換前為 $E(x)=26.13$ (ms)，切換至 Research Network 後為 $E(x)=34.95$ (ms)，明顯地 MaxRTT 變差了。

(iii) 骨幹切換前後 PLR Availability PDF CDF

觀察 PLR 和 Availability圖 5和圖 6，明顯地 Research Network 都比較好，PLR 在切換前 $E(x)=0.0019$，切換後 $E(x)=0.0011$，另一個切換前 $E(x)=0.9980$，切換後 $E(x)=0.9988$，又 $0\le\{PLR, Availabilit\ y\}\le 1$。

為了讓評估的數據貼近實際 TWAREN 網路切換至 Research Network 的網路狀況，我們利用不同的抽樣空間，將異常的網路狀況排除，推算 PDF 中 Pulse 的原因和座落之連結。我們利用 s^{**} 抽樣空間，分辨連結影響那些 pulse，再利用 s^{*} 評估 TWAREN SLA 的服務品質參數，其中 $y\in\{2005\}$，$m\in\{4,6\}, d\in\{1,2,\mathbf{L},31\}$。我們從 Average RTT、MaxRTT 來觀察 pulse 的情況；比較圖 7和圖 3，看出圖 3中，pulse $\{\{1\sim 2\},\{4\sim 5\},\{8\sim 9\}\}$ 亦出現在 s^{**} 抽樣空間，雖然僅從這些服務參數無法準確地判斷原因，但大致推測連結是造成這些波的因素。

(iv) Research Network 骨幹 Average RTT PDF

比較圖 4和圖 8，$\{\{0\sim 10\},\{30\sim 50\}\}$ 為主要兩個 pulse，同樣地為連結的因素。排除了異常網路狀況造成服務參數的影響，我們期望找出是那些連結座落在這些 pulse，從 Average RTT 推論，和 GigaPops 相連結的線路，其 RTT 座落在 $\{1\sim 2\}$，台北到台南連結，及台南到台北連結，以及透到台南到台北的連結，其 RTT 座落至 $\{4\sim 5\}$，而東華大學、中正大學和其他的 GigaPops 連結，座落在 $\{8\sim 9\}$，分析結果和 GigaPops 距離成正比，也印證我們用不同樣本空間的策略，得到可信賴的結果。

(v) Research Network 骨幹 Max RTT PDF

MaxRTT圖 8，座落的兩個 pulse，$\{1\sim 10\}$ 由 AvgRTT 即可推論出，$\{30\sim 50\}$ 主要發生在暨南大學和其他 GigaPops 的連結以及台中 Pops 和台南 Pops 連結的線路，PLR 和 Availability 的部分，從

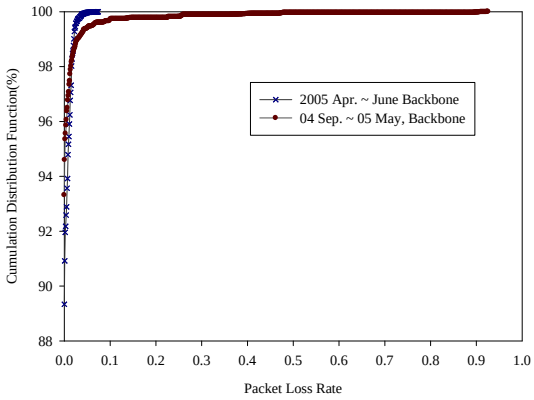


圖5. PLR CDF

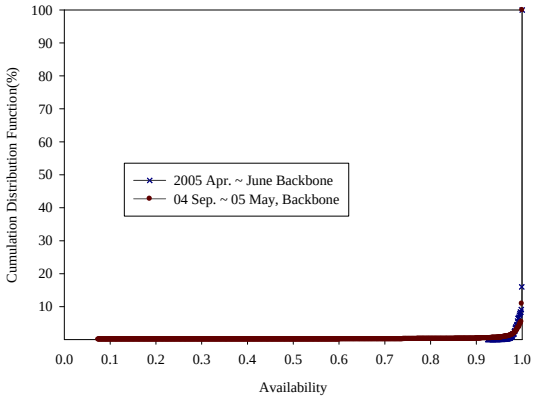


圖6. Availability CDF

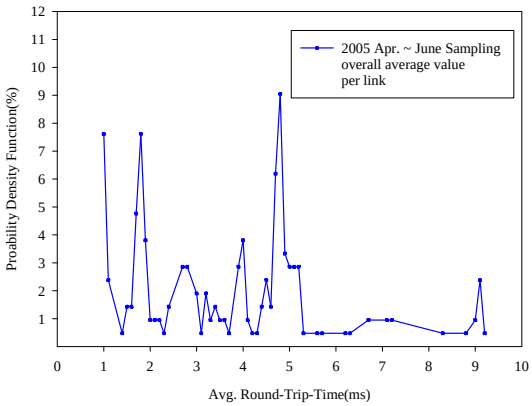


圖7. Average RTT Sampling by S^{**}

統計資料無法準確地推測其與連結的關連，不過從連結分析判斷，PLR PDF 較差的 pulse，座落在暨南大學和以及暨南大學與其他 GigaPops 的連結。

各個連結對應的 pulse 關係，協助我們擬定 TWAREN 網路 SLA 的服務品質參數，如何決定我們的參數大小，是接下來研究的主題。文獻中的 SLA，通常效能參數的擬定以一個月為評估單位，我們利用 s^{*} 的抽樣空間，其 $y\in 2004, m\in\{10,12\}$，來評估 Average RTT、MaxRTT、PLR 以及

Availability 服務品質的值。

雖然 2005 四月起 TWAREN 網路由 Production Network 換至 Research Network，但其中 2005 年初網管軟硬體升級，骨幹更替工程導致較低的效能指標，特別地部分連結 Pops 的線路並未完工，再加上更換後的樣本空間不足，以此評估並不合理，因此我們採穩定的樣本空間擬定效能指標，但前面的討論，我們了解 Research Network 效能參數較優良(扣除未完工的線路)，因此這裡 Production Network 的指標評估僅能做為未來效能參數擬定的參考。

透過公式(6)和公式(7)，評估一個月中滿足服務品質參數的機率，如何取得滿足服務品質參數的需求，顧客能夠接受的折衷點，是擬定 SLA 中服務品質參數重要的議題。

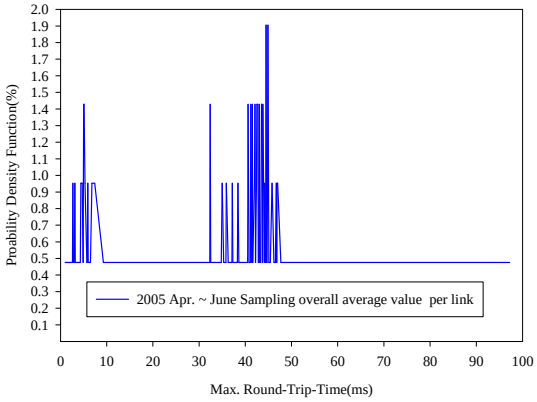


圖8. MaxRTT Sampling by S^{**}

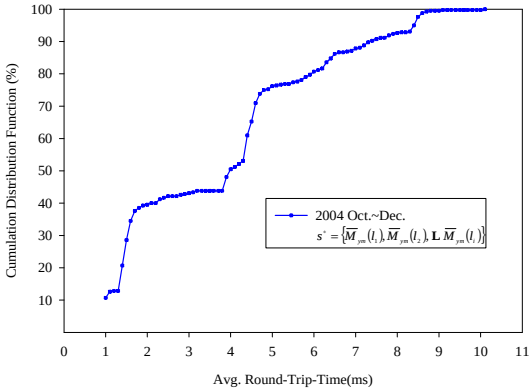


圖9. Average RTT Sampling by S^{*}

表1. $F(AvgRTT)=CDF, F^{-1}(CDF)=AvgRTT$

AvgRTT	8.43	8.79	8.84	9	10.1
CDF(%)	95	99	99.5	99.6	99.9

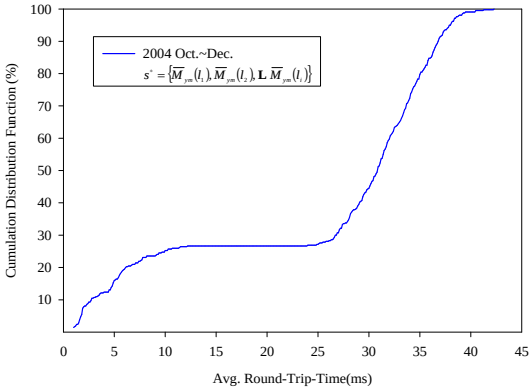


圖10. MaxRTT Sampling by S^{*}

表2. $F(MaxRTT)=CDF, F^{-1}(CDF)=MaxRTT$

MaxRTT	37.97	39.54	40.58	42.33
Cdf(%)	95	99	99.5	99.9

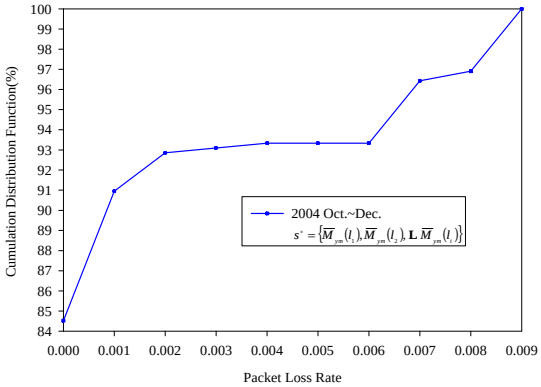


圖11. PLR Sampling by S^{*}

表3. $F(PLR)=CDF, F^{-1}(CDF)=PLR$

PLR	0.0001	0.0065	0.0086	0.0088	0.0089
Cdf(%)	84.5	95	99	99.5	99.9

(vi) Production Network 骨幹 Average RTT CDF

圖 9觀察 CDF 和服務參數的關係和利用表 1，每個月的 Average RTT 效能指標，有 0.5%的機率比 8.84 (ms)還要差，有 0.1%的機率比 10.1 (ms)還要差，因此我們擬定 Average RTT 為 10.1(ms)。

(vii) Production Network 骨幹 MaxRTT CDF

同樣方式觀察 MaxRTT圖 10、表 2，評估出每個月僅 0.1%的機率，其 MaxRTT 服務品質會大於 42.33 (ms)。

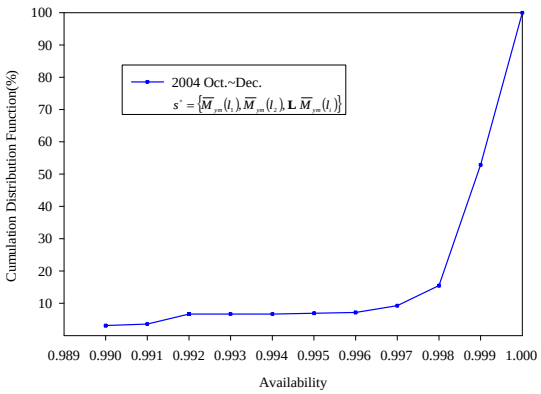


圖12. Availability Sampling by S^*

表4. $F(Ava) = CDF, F^{-1}(CDF) = Ava$

Ava	0.99	0.995	0.997	0.999
Cdf(%)	3.09	6.9	9.28	52.85

(viii) Production Network 骨幹 PLR Availability CDF

使用者通常對於 SLA 中的 PLR 和 Availability 格外地敏感，特別是 TWAREN 網路提供不同的網路服務顧客對其需求也相對地高[5][9][10]，一般而言，網路提供業者所宣稱的 PLR 大部分為 0.1%~5%。特別地 TWAREN 提供學術界之國內外頻寬，服務各大專院校及研究機構，根據圖 11、表 3、擬定 PLR 服務品質參數時，我們選擇 PLR=0.0089(0.89%)，一個月中有 0.1%的機率，達不到使用者的需求，利用公式(6)和圖 12、表 4，我們擬定 Availability 服務品質參數為 0.99，其中 PLR 和 Availability 介於 0 到 1 之間。

服務品質參數的統計資料，其精確度僅至小數點下一位，特別是 PLR 和 Availability 差距很小的參數，在評估上受到限制，未來 Availability {總 ping 成功的次數}/{總 ping 次數}的商，未來可以利用增加小數點以下的位數，或者增加抽樣空間的個數，換取更精確的值。

5. 結論

我們利用 PDF 和 CDF 分辨 TWAREN Produc-tion Network 換至 Research Network 服務參數差異，其中 Average RTT 降低 1.5%，MaxRTT 則升高 33%，明顯地服務品質參數變得很差，部分連結尚未完成，造成 MaxRTT 的機率分佈在較高的地方，PLR 則是降低 42%，換言之 Research Network 的 PLR 服務參數有明顯地提升，最後則是 Availability，僅僅提升了 0.08%，證明更替前後，Availability 相當良好。PDF 是那些連結造成 pulse，評估可能的因素為連結的距離，從台南 Pops 到台中 Pops 的 Research Network 也尚未完成，暨南大學的 PLR 服務品質較差，原因是距離 TWAREN 骨幹較遠。

骨幹更變工程導致較低的效能指標，特別地部分連結 Pops 的線路並未完工，再加上更換後的樣本空間不足，以此評估並不合理，因此我們採穩定的樣本空間擬定效能指標，我們利用 CDF 和內差法，擬定服務等級契約中服務品質參數，一個月僅 0.1%的機率 Average RTT 大於 9.44(ms)，一個月僅 0.1%的機率，MaxRTT 大於 42.33(ms)，一個月僅 0.1%的機率，PLR 高於 0.89%，最後擬定 Availability 服務品質參數為 0.99，其中 PLR 和 Availability 監測程式的精確度不足，因此在評估上受到限制。

文獻探討中我們發現，國內外網路環境不同，其 SLA 並不適用於 TWAREN 網路，我們研究並建議 SLA 中服務品質參數擬定的標準，提供未來與 TWAREN 網路營運汲及相關的網路管理策略與新世代營運管理系統進行規劃。

參考文獻

[1] Andrew F.Siegel, Charles J. Morgan, “Statistics and Data Analysis,” John Wiley and Sons, 1998.

[2] Cortese G., Fiutem R., Cremonese P.,D’antonio S., Espositeo M., Romano S.P., Diaconescu A., “ CADENUS: Creation and Deployment of End-User Services in Premium IP Networks,” Proceedings of Communications Magazine, vol.1, pp. 54-60, Jan 2003.

[3] R.L. Cruz, “ A Calculus for Network Delay, Part 1: Network Elements in Isolation,” IEEE Personal Comm. Magazine, pp.34-43, Feb. 1999.

[4] Robert V.Hogg, Elliot A. Tanis, “Probability and Statistical Inference,” Prentice-Hall, 1997.

[5] Salsano S. *et al.*, “Definition and Usage of SLSs in the AQUILA consortium”, IETF Draft, Nov. 2000.

[6] Sato N., Asatani K., Murakami H., Mallon R.E., Hughes S.R., Graff T.L., “In-Service Monitoring Method-Better Ways to Assure Service Quality of Digital Transmission,” Proceeding of Selected Areas in Communication IEEE Journal, vol. 12, issue 2, pp. 355-360, Feb. 1994.

[7] S. Blake *et al.*, “An Architecture for Differentiated Services, “IETF RFC 2475, 1998.

[8] Taiwan Advanced Research & Education Network, http://www.twaren.net .”

[9] TIPHON project, “Definition of QoS Class,” ETSI TS 101 329-2, ver.1.1.1, July 2000.

[10] TMF, “Performance Reporting Concepts and Definitions”, 701, May. 1999.

[11] TMF, “SLA Management Handbook,” Public Evaluation 1.5, GB971, June 2001.

[12] Yong Jiang, Chuang Lin, Jianping Wu, Xiaoxia Sun, “Integrated Performance Evaluating Criteria for Network Traffic Control,” Proceeding of Computers and Communications, 2001, Sixth IEEE, Symposium, pp. 438-443, July 2001.