

媒介存取協定模擬

I. 實驗目的

了解媒介存取次層(Medium Access Sublayer)中，多重存取協定(Multiple Access Protocol)的原理與效能，並藉此熟習模擬軟體的使用。本實驗選定 ALOHA 及 CSMA/CD 作為研究對象，探討協定中的參數對系統效能的影響。

II. 實驗設備

一、硬體

項目	數量	備註
個人電腦 PC	1	此電腦用來執行 COMNET Windows 版或者是安裝 X server 將遠端 SunOS 版的 COMNET display 回來。

二、軟體

項目	數量	備註
SunOS 或 Windows 版的 CACI COMNET III simulator	1	交大資科系同學在 console 登入工作站後(cissun1 ~54, cissol1~4) 即可直接執行 comnet，外系同學請找本系同學同組，以共同使用 comnet。若欲在遠端 UNIX 平台執行，請先自己機器上安裝 Xwindow、設定自己機器的 access control (xhost +140.113.23.52)、設定工作站的 display (setdis your_IP) 後，再執行 COMNET。
COMNET 使用手冊(PDF 格式)	1	請先安裝PDF的Viewer(MS Windows 下的 Acrobat Reader)，並登入工作站後由 /usr2/packages/comnet/manuals/coment.pdf 取得使用手冊。

III. 背景資料

請參照附錄三：「區域網路的演變趨勢」。

媒體存取協定原理

在本實驗中，我們所要觀察的多重存取協定為 ALOHA 與 CSMA/CD。ALOHA 的基本原理為自由傳送，然而當有兩個 frames 同時佔用到通道（即傳送時間有部份重疊），就會發生碰撞。每當一 station 送出訊息後，會檢查通道看是否傳輸成功。如果成功，station 會看到回應；若傳輸不成功，station 便繼續等待，讓 frame 一再地重送，直到傳送成功為止。

CSMA 為 Carrier Sense Multiple Access 的縮寫，其可以分為 Persistent CSMA 與 Nonpersistent CSMA。前者的原理為：當 Station 有資料要傳送時，它會先聆聽通道，看當時是否有其他 station 正在傳送；若通道是忙碌的，station 就一直等到通閒置了再傳送；若 station 偵測到閒置的通道，它就送出 frame。第二種為 nonpersistent CSMA，與前一種一樣，在 station 傳送之前，它會聆聽通道；若沒有其他 station 在傳送，此 station 就自己傳送；若已經有別的 station 在通道上傳送，這個 station 不會一直地感測通道，而是等上一段隨機時間，然後再來聆聽通道，並重複這個演算法。

CSMA/CD，即 CSMA 加上了 Collision Detection。顧名思義，其不僅有 CSMA 的功能，而且 station 在偵測到碰撞時就會停止 frame 的傳送，以降低頻寬的損失浪費，然後，station 便進行 binary exponential backoff，決定下次重送這個 frame 的時間。

有關 ALOHA 及 CSMA/CD 的詳細協定與分析細節請參考 [2,3,4]。

Simulation 的概念

在網路的建構中，事先的效能分析是在實際鋪設網路之前的必要工作。一般而言，網路的效能分析通常分為「數學模型的計算」以及「網路模擬」。數學分析的缺點在於經常無法在多種可能因素下，建立一個符合真實網路系統的數學模型並計算得解。我們通常要做一些假設來簡化模型，才能求得數值解，但這些假設有時會不符合實際狀況。所以在目前的網路效能分析中，設定合適的模擬環境，藉以求得可能的效能，成為學術界及工業界必要的手段之一。

我們固然希望模擬網路的狀況與網路的真實情況盡量相同，但是若將網路上所有元件的行為都由電腦加以模擬，雖然所得到的模擬結果會跟真實的網路相差無幾，然而相對地，這樣地過程勢必要花費相當大的時間；並且設計如此的模擬環境，其代價也是十分龐大，不符合經濟成本。所幸，目前有一些模擬工具軟體可以縮短模擬工作。這些模擬工具已具備事件（event）模擬的引擎及許多撰寫完成的網路元件模組，使用者可取用這些元件以建立所要模擬的網路模型，當然這些工具所提供的元件也可能不完備或不合我們的需要，所以有時我們也需要自行撰寫元件模組。這些模擬結果，可提供網路設計者或建構者在實際設計或建立網路系統時的參考。

在本實驗中，CACI COMNET III 為我們所使用的模擬軟體。它是圖像式的模擬系統，也就是說，在 COMNET 中並沒有內建的程式語言來撰寫使用者所需的網路協定，或描述其他網路元件的行為。關於這一點，本軟體較某些工業上常用的模擬工具來得稍微遜色。然而，就一般常用的網路元件及協定，COMNET 所具備的功能還算是完整。COMNET 所能模擬的網路元件包括：Nodes、Links、Subnets、Transit Nets、WAN Clouds、及 Arcs and Ports；而它所能調整的 traffic 狀況包括：Scheduled Traffic、Applications、Traffic Sources、Call Sources 以及 External Sources。最後，COMNET 在網路運作（operation）可指定所使用的 routing algorithm 及 transport protocols。至於詳細的細節，可以參考 COMNET 線上手冊。

COMNET 使用方法

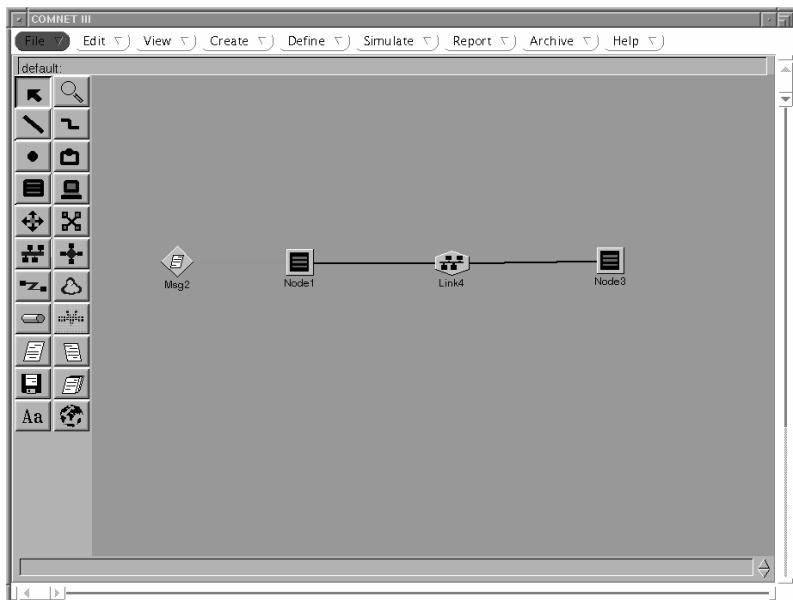
COMNET 的功能繁多，在此當然不可能一一贅述。我們僅將會用到的功能作一介紹，並詳細解說操作的步驟。以下操作的步驟會建立我們實驗中用到的網路架構，在解說「實驗步驟」時會常被提及，因此請熟悉此部分的資料。

1. 開啓新檔

- 1.1. 在工作站下鍵入 comnet。
- 1.2. 等到 COMNET 程式載入後，利用滑鼠「右鍵」選取視窗選單中「File」下的「New」選項，開啓新的一份工作檔。

2. 建立網路架構

- 2.1. 在左手邊有 Tool Palette，選取左列中第四個按鈕，此為 Node 的 icon，壓滑鼠拖曳一個新的 Node 到工作視窗中，同理在 Tool Palette 左列的倒數第三個按鈕，拖曳新的 Message Source 到工作視窗中。接著，選取同樣左列第六個按鈕，此為 CSMA/CD 的 icon，拖曳此 icon 到工作視窗中。依照同樣的方法，再取出一個 Node。到目前為止應有兩個 Node 及一個 Message Source，再加上一個 CSMA/CD link。
- 2.2. 選取左列之 Tool Palette 中第二個 bottom，進入 Diagonal arc mode，在此並不拖曳，因為此 bottom 的功能只是連接兩個元件。選取之後，到 Message Source icon 壓下滑鼠，指定此為連接起點，選取其中之一的 Node 作為連接終點，完成後會有一 arc 出現連接此二物件。以同樣的方法連接 Node 與 CSMA/CD link。以同樣的方法，建立 10 個 source nodes 及 Message sources。圖 3-1 為 1 個 source 的範例。



【圖 3-1】基本網路架構

3. Traffic 參數設定

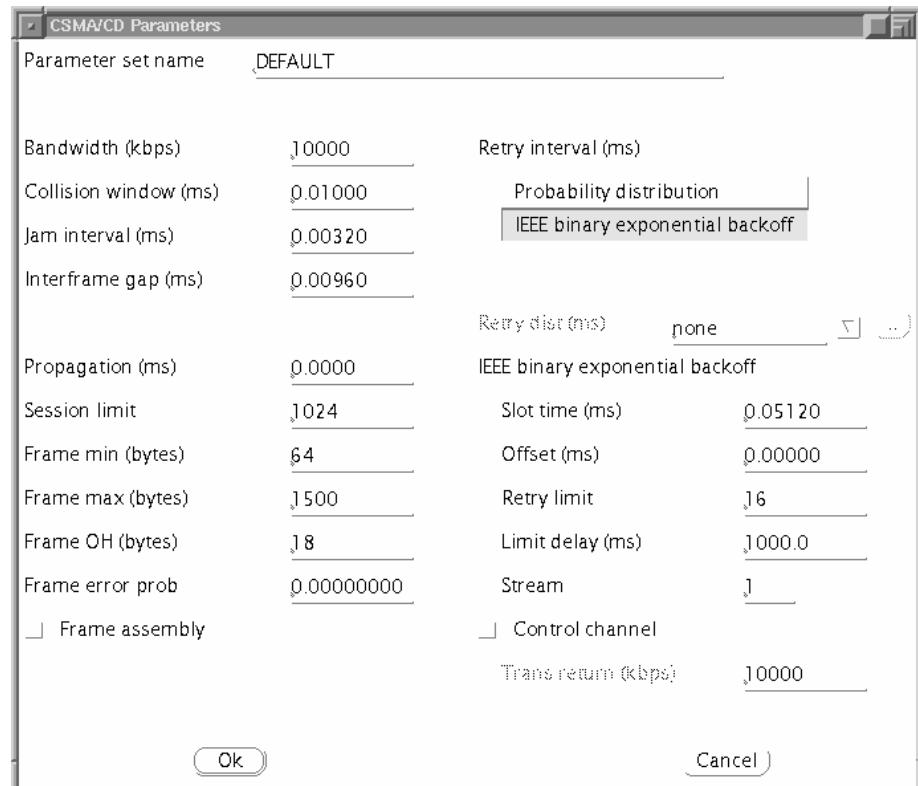
- 3.1. 完成上述 10 個 sources 的網路基本架構後，接下來的工作為設定參數值。步驟如下：選取 Message Source，到工作列的「Edit」之 Popup Menu 中選取「Detail」，或者直接以快捷鍵 $Ctrl + D$ ，則會出現如圖 3-2 的設定視窗，設定其 inter-arrival time 為 $EXP(1.0)$ 。
- 3.2. 在同樣的 Menu 中，Message size 內定為 1000 bytes，我們不更改。



【圖 3-2】Message Source 參數設定表格

4. Link 參數設定

- 4.1. 以同樣的方式選取 「CSMA/CD」 link，以快捷鍵 Ctr + D 將 Detail table 呼叫出來。
- 4.2. 在「DEFAULT」選項的右手邊有細節次選項，打開此 Menu，會列出包括 802.3 系列的多種 CSMA/CD 的標準，我們以 DEFAULT 為實驗對象。
- 4.3. 在此 Menu 的右邊第二個按鈕 為「Edit」選取此項，打開有關「DEFAULT」的詳細清單(如圖 3-3 所示)，將「Frame min」及「Frame max」都調成 1000 bytes，而「Frame OH」(Frame OverHead) 定為 0 byte，並且將 bandwidth 調成 80k bps。

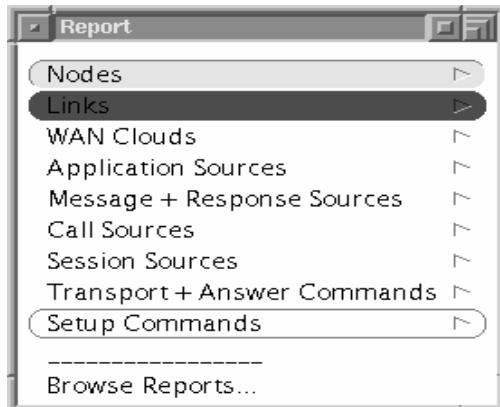


【圖 3-3】CSMA/CD link 參數設定表格

5. Report 格式設定

完成以上步驟後，基本的實驗架構就算是完成了，為了觀察 CSMA/CD 及 ALOHO 的效能，必須再設定 report 的 format，其過程如下：

- 5.1. 先選取「CSMA/CD」 link，打開工作列的「report」，會出現如圖 3-4 的 Popup Menu。
- 5.2. 選擇「links」，將出現第二層的 Menu，打開「Channel Utilization」，把詳細清單的「ON」及「ALL」用滑鼠圈選出來。因為我們只需要觀察 link 的狀況，所以這樣就足夠了。如果要再觀察其他元件的效能，可在工作視窗先選取此元件後，依同樣的步驟在此 report 工作列中開啟相關的報告清單。



【圖 3-4】Report Menu

6. 模擬時間設定

最後一個步驟為選取工作列的「simulate」同樣的會有 Popup menu 提供進一步的設定。其中的「run parameter」可設定模擬的時間，內定為 60 秒，我們不更改，之後再選取「start simulate」讓系統開始作模擬即可。

以上為最基本的背景知識及 COMNET 的操作方法，除此之外，還有其他線上即時觀察的選項可供選擇，有興趣的同學可自行參考工作站上的 COMNET 線上手冊。

IV. 實驗方法

在本實驗中，我們要觀察與計算的為 ALOHA，以及 CSMA/CD 協定的 performance，我們觀察 link 的 throughput 並且定義系統的「負擔（offer_load）」為「灌進網路的量（input frame 個數）」除以「網路容量（link 容量）」，即：

$$\text{offered_load} = \frac{\text{input(frames/sec)}}{\text{capacity(frames/sec)}}$$

再以模擬軟體所得出的「實際傳送成功的量（output frame 個數）」，「網路容量（link 容量）」，得知此網路的「吞吐量（throughput）」即：

$$\text{throughput} = \frac{\text{output(frames/sec)}}{\text{capacity(frames/sec)}}$$

實驗的方法如下：首先，在工作站上執行 COMNET，依照上一節所示範的步驟：訂定基本的網路架構、選取 CSMA/CD link、並且設定所需的參數值、啓動模擬程序，並且於模擬結束後記錄相關數值，及計算這些協定於此特定的參數值下所展現的效能。在模擬之後中，我們依序要探討下列議題：

1. offered-load 與 throughput 之間的關係。
2. ALOHA 及 CSMA/CD 協定在 throughput 上的比較。
3. 頻寬 (bandwidth) 與 max throughput 之間的關係。

為了更清楚地描述實驗方法，底下列舉一個範例（適用於記錄 1）：

IEEE 所定義的 link 參數，經轉換過後可得到在 80 kbps 下的 link 參數：（詳細資料可詳見 COMNET 實驗手冊 135 頁：CSMA/CD Implementation Details）

$$\begin{aligned} \text{Slot time} &: 512 \text{ bit-time} / 80 \text{ kbps} = 6.4 \text{ (ms)} \\ \text{Jam interval} &: 32 \text{ bit-time} / 80 \text{ kbps} = 0.4 \text{ (ms)} \\ \text{Interframe gap} &: 96 \text{ bit-time} / 80 \text{ kbps} = 1.2 \text{ (ms)} \end{aligned}$$

所以將每一個 node 的 message source 參數按照下表設定後，即可繼續實驗。

Bandwidth	Inter-arrival time	Message size	Frame min & max
80 Kbps	Exp(1.0)	1000 bytes	1000 bytes
Frame OH	Slot time	Jam interval	Interframe gap
0 byte	6.4 ms	0.4 ms	1.2 ms

$$\text{offered_load} = \text{input} / \text{capacity}$$

capacity :

$$\begin{aligned} \because 80 \text{ Kbps} &= 10 \text{ KBps} \\ \text{frame size} &= 1000 \text{ bytes} = 1 \text{ KB} \\ \therefore \text{capacity} &= 10 / 1 = 10 \text{ (frames / sec)} \dots \dots \dots \text{【1】} \end{aligned}$$

input :

$$\begin{aligned} \because \# \text{nodes} &= 10 \\ \text{inter-arrival time for each node} &: \text{Exp}(1.0) \\ \therefore \text{input} &= 10 \times 1 = 10 \text{ (frames / sec)} \dots \dots \dots \text{【2】} \end{aligned}$$

由【1】【2】

$$\rightarrow \text{offered_load} = \text{input} / \text{capacity} = 10 / 10 = 1$$

假設 Simulate 120 秒

→ # of frames transmitted after 120 secs = $10 \times 120 = 1200$

觀看 report 檔：

LINK DELAYS AND UTILIZATION						
REPLICATION 1 FROM 0.0 TO 120.0 SECONDS						
FRAMES			TRANSMISSION DELAY (MS) %			
LINK	DELIVERED	RESENT	AVERAGE	STD DEV	MAXIMUM	UTIL
CSMA/CD	1030	0	744.241	3076.016	30610.252	85.87

→ Delay = 744.241 (ms)

→ Throughput = 1030 / 1200 = 85.87 %

→ Link Utilization 85.87 %

V. 實驗步驟

到此為止，您應該已建好本實驗的網路環境，以從事下列的實驗細項。以下有數種不同的網路設定要觀察，請按照背景資料中的「COMNET 使用說明」所述的基本動作更改參數，以得到有用的數據。

- 1 本實驗網路架構的結果整理：以實驗步驟所設定的參數值，推算進入 CSMA/CD link 的 traffic 量（以 frame 為單位），根據 simulation report 記錄其 average delay【記錄 1】，並且觀察模擬時 link 所傳送的 frame 個數，以此結果及實驗方法中的 throughput 之計算公式，計算其 throughput【記錄 1】。
- 2 CSMA/CD 下 offered load 與 throughput 的關係：同步驟 1，在 CSMA/CD link 下，以 10 個 nodes 為基本網路架構，改變 link rate，從原本的 80k bps 為 160 kbps。觀察模擬時，link 所傳送的 frame 個數（即 report 的結果），以此結果計算 offered load 及 throughput【記錄 2】。重複上面的實驗，但 link rate 分別改為 80*3 k bps【記錄 3】及 80*4 k bps【記錄 4】，也就是將 offered load 由 1 變成 1/2，1/3，及 1/4。
- 3 ALOHA 下 offered load 與 throughput 的關係：更改 CSMA/CD link 為 ALOHA link，重複步驟 1 及 3，同樣的，依「COMNET 使用方法」所述設定其 link bandwidth，記錄並計算 ALOHA 的結果【記錄 5~8】。

- 4 尋找高頻寬 link 的 max throughput: 固定 link rate 為 $80*4k=320$ kbps (高頻寬) 後，更改 inter-arrival time 如下：先將所有 Message Source 的 inter-arrival time 的 mean 值除以 4 (即 offered load 調為 1)，依模擬結果記錄 delay 及 throughput 【記錄 9】。再分別將 inter-arrival time 的 mean 值縮為一半 (即 offered load 變為 2) 及增為 2 倍 (即 offered load 變為 1/2)，分別記錄其 throughput 及 delay 【記錄 10、11】。

VI. 實驗記錄

記錄	環境設定		內容	
1	CSMA/CD 10 node	Offered Load=1	Delay (ms)	Throughput
2		Offered Load=1/2	Delay (ms)	Throughput
3			Delay (ms)	Throughput
4		Offered Load=1/3	Delay (ms)	Throughput
5	ALOHA 10 node 80kbps		Delay (ms)	Throughput
6	Offered Load=1/4	Delay (ms)	Throughput	
7		Delay (ms)	Throughput	
8		Delay (ms)	Throughput	
9	CSMA/CD 10 node 320kbps	Offered Load=1	Delay (ms)	Throughput
10		Offered Load=2	Delay (ms)	Throughput
11			Delay (ms)	Throughput

VII. 問題與討論

由實驗步驟 1 及 2 的結果，以 offered load 為 Y 軸，而以 throughput 為 Y 軸可畫出一條 CSMA/CD 的曲線；同理，依實驗步驟 3 的結果，可畫出 ALOHA 的曲線。將此兩條曲線畫在同一張圖（用 Excel 等軟體繪之），比較其 performance，並請解釋其結果；同樣地，重複上述動作，但是以 delay 為 Y 軸，比較其結果並解釋之。

COMNET 中的 report 可在「report menu」中選取「Browse Reports」看到。本實驗設定了兩個 link report，其中之一有 link utilization 的結果，它的意義為何？而我們實驗所繪出的曲線代表的又是什麼？兩者相同嗎？請解釋你的說法。

參考上課的內容，在實驗步驟 4 中，當 bandwidth 增加時，throughput 會增加、減少，或不受影響？是否符合 max throughput 中 $B*L$ 的意義？為什麼？（請做出 delay 及 throughput 兩圖，以其值為 Y 軸，而以 offered load 為 X 軸。依圖作為解釋之參考。）

VIII. 參考文獻

- [1] Manual of COMNET III release 1.3, CACI.
- [2] Andrew S. Tanenbaum, “*Computer Networks - Third Edition*”, Prentice-Hall, Inc.
- [3] Roberts L., “*Extensions of Packet Communication Technology to a Hand Held Personal Terminal*”, Proc. Spring Joint Computer Conference, AFIPS, pp. 295-298, 1972.
- [4] Kleinrock L., and Tobagi F., “*Random Access Techniques for Data Transmission over Packet-Switched Radio Channels*”, Proc. Nat. Computer Conf., pp. 187-201, 1975.
- [5] William Stallings, “*Local Network Performance*”, IEEE Communication Magazine, Vol. 22, No. 2, pp. 27-35, 1994.