

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。

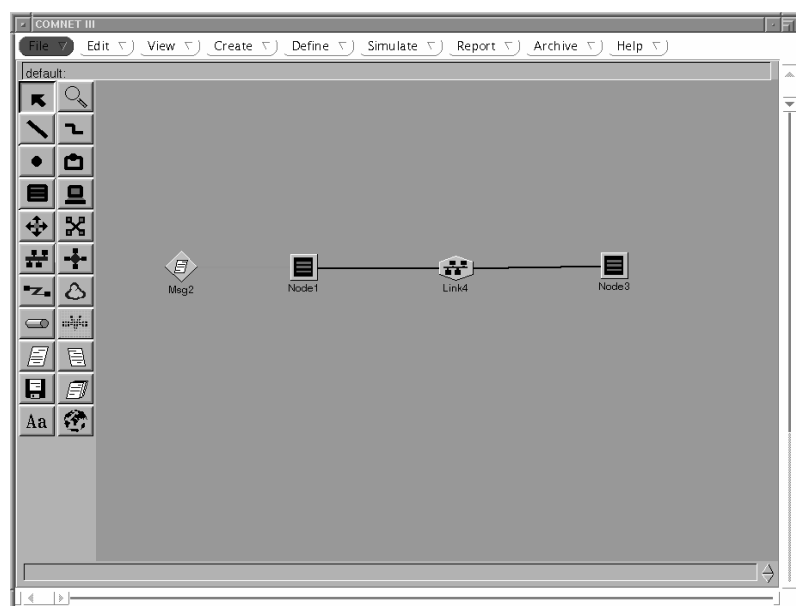
1. 開啓新檔

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

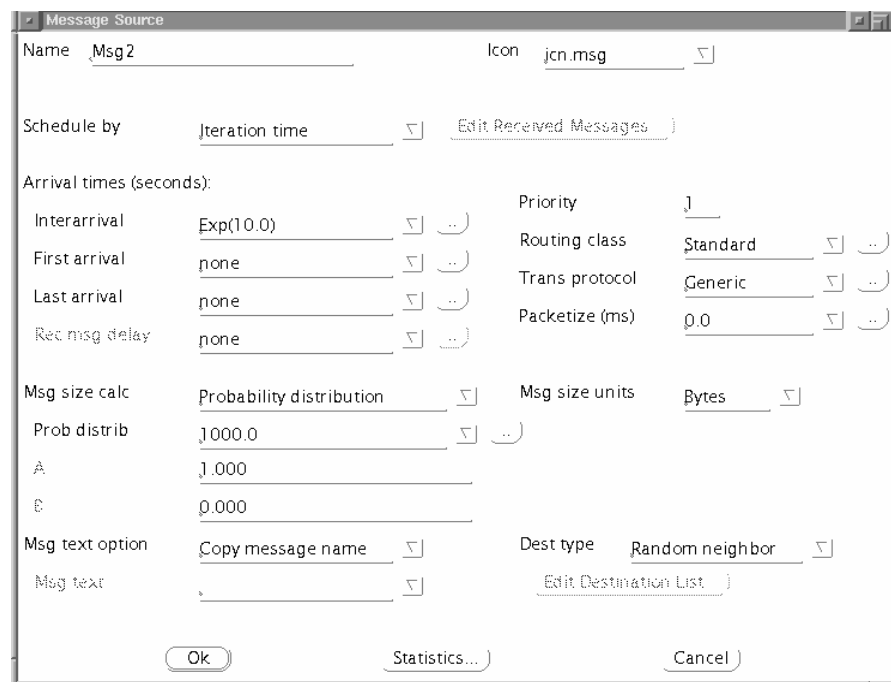
- 2.1. 在左手邊有 Tool Palette，選取左列中第四個按鈕，此為 Node 的 icon，壓滑鼠拖曳一個新的 Node 到工作視窗中，同理在 Tool Palette 左列的倒數第三個按鈕，拖曳新的 Message Source 到工作視窗中。接著，選取同樣左列第六個按鈕，此為 CSMA/CD 的 icon，拖曳此 icon 到工作視窗中。依照同樣的方法，再取出一個 Node。到目前為止應有兩個 Node 及一個 Message Source，再加上一個 CSMA/CD link。
- 2.2. 選取左列之 Tool Palette 中第二個 bottom，進入 Diagonal 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 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 Ctr + 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 **Ctrl + 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。

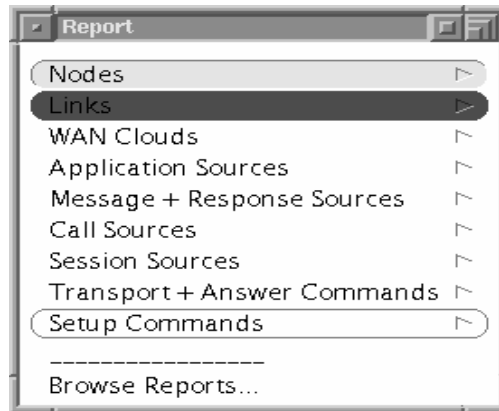
CSMA/CD Parameters			
Parameter set name: DEFAULT			
Bandwidth (kbps)	10000	Retry interval (ms)	
Collision window (ms)	0.01000	Probability distribution	IEEE binary exponential backoff
Jam interval (ms)	0.00320		
Interframe gap (ms)	0.00960	Retry dist (ms)	none
Propagation (ms)	0.0000	IEEE binary exponential backoff	
Session limit	1024	Slot time (ms)	0.05120
Frame min (bytes)	64	Offset (ms)	0.00000
Frame max (bytes)	1500	Retry limit	16
Frame OH (bytes)	8	Limit delay (ms)	1000.0
Frame error prob	0.00000000	Stream	1
<input type="checkbox"/> Frame assembly		<input type="checkbox"/> Control channel	
		Trans return (kbps)	10000
<div>Ok</div> <div>Cancel</div>			

【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，爲了觀察 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。因爲我們只需要觀察 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 工作列中開啓相關的報告清單。



【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：

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

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：

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

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、啟動模擬程序，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）

Slot time : 512 bit-time / 80 kbps = 6.4 (ms)

Jam interval : 32 bit-time / 80 kbps = 0.4 (ms)

Interframe gap : 96 bit-time / 80 kbps = 1.2 (ms)

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 :

$\therefore 80 \text{ Kbps} = 10 \text{ KBps}$

frame size = 1000 bytes = 1 KB

$\therefore \text{capacity} = 10 / 1 = 10 \text{ (frames / sec)} \dots \dots \dots \text{【1】}$

input :

$\therefore \# \text{nodes} = 10$

inter-arrival time for each node : Exp(1.0)

$\therefore \text{input} = 10 \times 1 = 10 \text{ (frames / sec)} \dots \dots \dots \text{【2】}$

由【1】【2】

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

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 $80 \times 4k = 320 \text{ kbps}$ (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		Offered Load=1/3	Delay (ms)	Throughput
4		Offered Load=1/4	Delay (ms)	Throughput
5	ALOHA 10 node 80kbps	Offered Load=1	Delay (ms)	Throughput
6		Offered Load=1/2	Delay (ms)	Throughput
7		Offered Load=1/3	Delay (ms)	Throughput
8		Offered Load=1/4	Delay (ms)	Throughput
9	CSMA/CD 10 node 320kbps	Offered Load=1	Delay (ms)	Throughput
10		Offered Load=2	Delay (ms)	Throughput
11		Offered Load=1/2	Delay (ms)	Throughput

VII. 問題與討論

由實驗步驟 1 及 2 的結果，以 offered load 爲 Y 軸，而以 throughput 爲 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 爲 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，它的意義爲何？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？爲什麼？（請做出 delay 及 throughput 兩圖，以其值爲 Y 軸，而以 offered load 爲 X 軸。依圖作爲解釋之參考。）

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.