

利用網際網路傳遞觸覺回饋資訊之研究

李宗翰 王朝仕 張林煌
國立台中教育大學資訊工程系

thlee@mail.ntcu.edu.tw, bcs101104@gm.ntcu.edu.tw, lchang@mail.ntcu.edu.tw

摘要

下一代的網際網路將提供使用者多樣化的多媒體服務，但在目前網際網路架構下，多數還是提供 Best Effort 的網路服務方式，這樣的傳輸方式對於需要即時傳輸的多媒體資料傳輸是較為不利的。因此網際網路服務應該要能提供較好的品質服務保證(Quality of Service: QoS)來支援即時性的資料傳輸。然而，對於網際網路遠端回饋(Tele-representation)完整的互動，需要有嚴格的 QoS 支援，如 Jitter、Delay 和 packet loss 這些網路品質因素將嚴重影響體驗即時互動的使用經驗。在利用分散式觸覺虛擬環境(Distribute Haptic Virtual Environment: DHVEs)連線互動能即時傳送觸覺力回饋資訊給體驗者，但由於 jitter、delay 和 packet loss 等影響，而造成觸覺力回饋資訊的原始封包內容遺失或不完整的情形，將導致力回饋失真。因此本研究的目的主要是要了解在網際網路環境下，封包延遲對於遠端操控 Haptic 互動時所造成之影響。

關鍵詞： PHANTOM Omni、QoS、Packet delay

1、簡介

近來，利用網路發展人類感知互動相關研究與日俱增。例如：醫學、軍事和製造等方面都可發現其應用；醫生使用遠端控制替遠在偏鄉的病人醫療，居家看護協助老人或傷殘者，探測船太空探勘等，這些應用利用網路互動交流已成為遠端操作中重要的一部分。其中網際網路力回饋系統已被許多研究團隊所重視，如遠端手術僅提供視覺回饋是不足的。因此經由觸覺和力回饋所呈現的感知，能精準的將手術刀上之力回饋資訊即時反映在所操控的機件上，達到更為真實與準確呈現遠端操控的基本需求。

1.1 Haptic device

觸覺設備以許多方式呈現，可分為兩種類型，一種為觸覺回饋，另一種為力回饋。觸覺是人體皮膚表面接觸、滑動、按壓等刺激總稱，通常觸覺回饋設備是以機械指套方式戴在手指藉由指尖觸摸物體來傳送觸覺資訊[1]。而力回饋設備較觸覺設備不同的地方除了設備本身外觀構造不同外，可模仿人類手部關節及肌腱[2]，利用人體手臂移動來產生力道資訊，讓在遠端體驗者感受到力回饋。

本研究所使用之力回饋設備如圖 1 所示，為

SensAble 所發展之單點觸覺回饋裝置 PHANTOM Omni [3]，力回饋設備根據設備的自由度和接觸點的數目分成好幾種不同類型。自由度範圍通常是 1 到 6 個維度之間[2]，隨著模擬系統上所顯示不同模型進行模擬和觸摸，PHANTOM Omni 會提供 3 到 6 維度之間之力回饋[3]。



圖 1、PHANTOM Omni 模組

1.2 Haptic 虛擬環境

虛擬環境定義是以電腦模擬產生出一個三度空間的虛擬世界，隨著科技日新月異進而提供體驗者視覺、聽覺、嗅覺和觸覺模擬，使用者可以操縱虛擬物體或是和虛擬人物互動，例如：3D 曲棍球電腦遊戲[4]。除了分享虛擬世界，分散式虛擬實境(Distribute Haptic Virtual Environment: DHVEs)更適合遠端互動操作，例如：鑽孔、切割、手術、書寫文字等等運用範例[3]，在正常情況下 Phantom omni 為了維持資料傳輸即時性須要有較高的更新頻率。因此，PHANTOM Omni 具有可以傳輸多達 1000 packets/sec，封包包含觸覺設備在虛擬環境中筆尖位置和力回饋資料[2]。所以如何將觸覺感知訊息量化並應用於網路中是一個極大挑戰的議題。

2、網路損耗對 PHANTOM 影響

現今 PHANTOM Omni 雖廣泛使用在許多領域中，如文獻[2]，主要在研究其設備在資料傳輸時網路損耗的影響，PHANTOM Omni 會對於網路損耗有一定的容忍值和人為的網路補償，來減少損耗對於體驗者的影響。在此探討網路服務質量 QoS 其中的三個參數，分別為 jitter、delay 和 packet loss。jitter 可讓體驗者感覺到虛擬物體的質量變化，而且容易造成系統不穩定。delay 會造成虛擬環境無法同步複製，以及模擬動作的不一致性。packet loss 會減少體驗者所能感受到真實力回饋所呈現的力道，也間接改變模擬模型外觀重量，當丟失的封包數量增加時可能會引起突然的力回饋，也是造成系統不穩定的原因。

因此，以目前網際網路的 Best Effort 服務不足以提供足夠的資源來降低 DHVEs 的 jitter、delay

和 packet loss 的產生是目前所面臨的問題。所以在新一代的網路服務會導入優先序等級提供品質服務保證(QoS)提供日趨重要的多媒體服務。

3、相關文獻分析

相關研究如文獻[5]，作者為了測試評估 delay 對於 haptic 在網路傳輸的服務品質，系統設計上採用有線 peer-to-peer 做為系統架構。在 terminal 上加裝監看系統監看 client 端，經由 server 端控制書寫特定字體或圖形，client 端受測者所測得之 MOS 值，測試總時間 30 分鐘，當大於 100ms 後會將有較低的 MOS 表現。除了寫特定字體外也有測試兩端連線玩虛擬遊戲借由敲擊曲棍球所得到感知[6]，在 130ms 時 MOS 值開始下降。以上兩個範例是一對一的測試情形下所顯示之 delay，分別在 100ms 和 130ms 之後會對系統的模擬環境呈現不同步的影響。

除了一對一測試方法，許多研究也對於一對多的測試方式進行研究。同時測試不同類型的 haptic device，評估各 haptics 之 MOS 值[7]，或是連接視訊、耳機和 haptic 做雙向傳輸[8]，以上一對多範例所設置的 delay 就並非一對一所設置 delay 參數這麼高，而是介於 0ms 到 60ms 為測試參數。

由於目前並沒有定義 haptic 服務品質的方法，在上述所列出之實驗所採用標準為 ITU-R BT.500-11[9]。在相關研究裡也有採用 ITU-R P800[2][11]、ITU-R BT.500-12[6][10]等等標準，來針對 haptic 之 MOS 值相關研究，以當前研究來說，以 ITU-R BT.500-11 為多數。

以上研究是以 MOS 值來做為研究標準，但卻產生較不客觀的情形，每個人的感覺不同也是影響實驗準確性及客觀性。因此，本研究期望能藉由自行開發之測試環境，在網際網路環境下將兩組 Haptic 經由網路連線，透過線性位移感測器所產生之據理變化及時間擷取將感知數值量化，藉此得到量化後之 Haptic 筆尖位置距離差與時間差加以呈現。

4、系統建置及測試方式

如圖 2 所示，本實驗在系統設計上以分散式虛擬環境(Distribute Virtual Environment: DHVEs)所架設之測試環境為點對點架構，Terminal1 和 Terminal2 以 TCP/IP 傳輸，Network emulator 主要作為網路路由器和 Packet Delay 模擬器。Terminal1 和 Terminal2 中間封包傳輸經由 Network emulator 模擬路由轉送之工作，傳輸協定為 User Datagram Protocol (UDP)。PHANTOM Omni 連線分別使用 1394 介面與 Terminal1 和 Terminal2 電腦相連接。兩端 Phantom omni 分別以 server/client 連結方式運行，在非同步模式下 PHANTOM Omni 均為獨立作業之模式，每一筆資料均是以當前實際絕對座標位置為依據，此

傳輸模式將可大幅降低頻寬之需求。線性位移感測器測試長度為 10 公分，經由外部 RTC 與 ADC 分析器所擷取之 ADC 值將介於 0 到 512，並分別在兩端 PHANTOM Omni 前設置，RTC 與 ADC 分析器除監控 Haptic 之筆尖移動距離外，還須精確記錄距離改變時之時間參數至 Terminal3 進行監看。連線互動期間經由 Network emulator 模擬網路損耗狀況，設定 delay 產生封包延遲，在 server 端操控 client 端 PHANTOM Omni 在線性位移感測器上進行移動，並經由 RTC 與 ADC 分析器測得兩端時間及位移值進行比較。

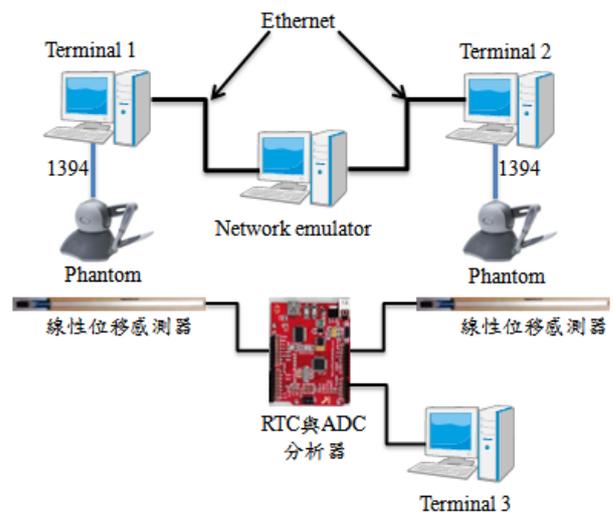


圖 2、網路 Haptic 觸感回饋測試系統

5、實驗結果

本實驗將針對 Packet delay 與 Haptic Master/Slave 之 X 軸位移差距作為主要分析目標。如圖 3、圖 4，以 server/client 架構連線，並在線性位移感測器上進行擷取 ADC 數值及移動距離測試。實驗期間須做筆尖位置校正歸零後令 Master 與 Slave Haptic 同步後，當 Master 端移動時 Slave 端 PHANTOM Omni 會隨著 Master 端操控進行移動。在此，線性位移感測器只使用 10 公分，ADC 最大值 512，時間以微秒(us)方式擷取。

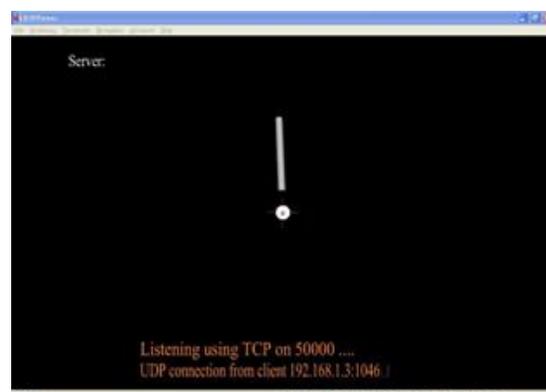


圖 3、Master 端 terminal

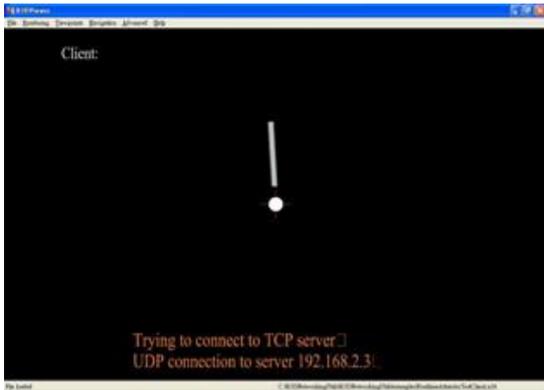


圖 4、Slave 端 terminal

當無加入任何 Packet delay 的理想環境下，所測得數據如下圖 5 所示，Master 和 Slave 端在 0.7 秒至 3.5 秒中間移動並無明顯距離誤差。如表 1 所測得數據，還是會有些許距離誤差約 0.2 公分，因 Haptic 均為機械力臂組成，因機件運作而形成之誤差。而圖 5 在沒有任何延遲產生的情形下，曲線相當接近，較無明顯距離誤差產生。當 Network emulator 加入 50ms Packet delay 後，其結果如表 2 所示。於 2.1 秒時相差 0.23 公分，2.8 秒時產生較明顯的距離誤差 0.42 公分。在圖 6 中也可明顯發現其距離誤差因 delay 增加至 50ms 後而導致明顯的距離誤差產生。

表 1、0ms Packet delay 之實驗結果

時間 (us)	Master	Slave	誤差值
	距離 (cm)	距離 (cm)	距離誤差 (cm)
700792	0.07	0.05	0.02
1401360	2.11	2.01	0.10
2102336	4.69	4.49	0.20
2803336	7.70	7.50	0.20
3504328	9.99	9.77	0.22

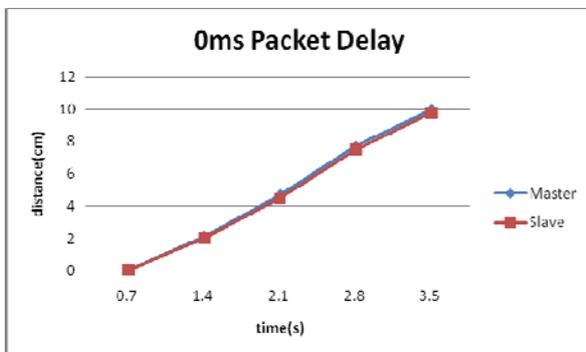


圖 5、0ms Packet delay

表 2、50ms Packet delay 之實驗結果

時間 (us)	Master	Slave	誤差值
	距離 (cm)	距離 (cm)	距離誤差 (cm)
700888	1.09	0.95	0.14
1401648	2.07	1.95	0.12
2102648	3.53	3.30	0.23
2803616	1.09	5.23	0.42
3504504	2.07	7.76	0.29

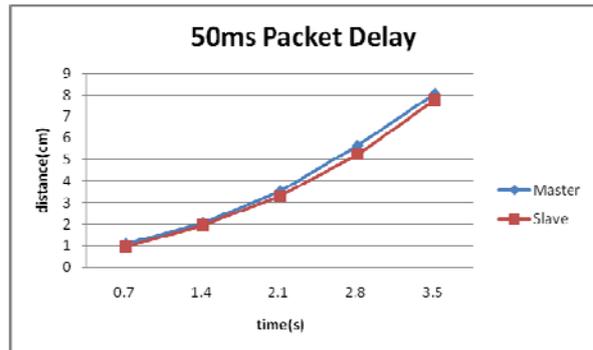


圖 6、50ms Packet delay

相較於 0ms Packet delay 和 50ms Packet delay，在表 3、表 4 及表 5 中 Network emulator 加入 Packet delay 分別 100ms、150ms 及 200ms 所呈現之距離誤差更是顯著，如圖 7 所繪出圖形相較 0ms 和 50ms，距離誤差最小為 0.19 公分，在快速移動期間上升至 0.55 公分。150ms 及 200ms 也在快速移動期間產生距離誤差越大，如圖 8、圖 9 當 delay 來到 150ms 及 200ms 時距離最大誤差分別已達 0.71 公分和 1.25 公分。若 Slave 端無法看到 Master 端及時動作時，若採取 MOS 值評分方式進行測試，這樣的延遲無法讓人感覺出來力回饋的差異產生，因中間產生之延遲傳至 Slave 只會讓原本即時性動作變慢。所以本研究以距離數值與時間差異，以量化方式真實呈現出 Master 與 Slave 之間之差異。

表 3、100ms Packet delay 之實驗結果

時間 (us)	Master	Slave	誤差值
	距離 (cm)	距離 (cm)	距離誤差 (cm)
700792	0.19	0.00	0.19
1401920	1.38	1.17	0.21
2102456	2.77	2.58	0.19
2803432	4.08	3.77	0.31
3504424	5.94	5.39	0.55

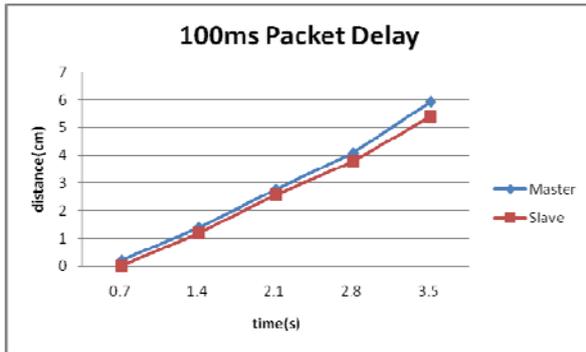


圖 7、100ms Packet delay

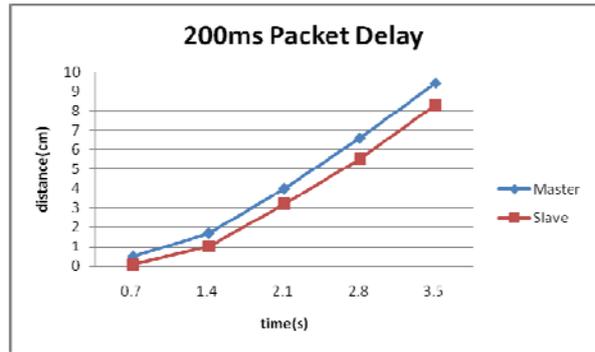


圖 9、200ms Packet delay

表 4、150ms Packet delay 之實驗結果

時間 (us)	Master	Slave	誤差值
	距離 (cm)	距離 (cm)	距離誤差 (cm)
701000	0.68	0.29	0.39
1401744	2.71	2.01	0.70
2102736	4.10	3.65	0.45
2803736	6.37	5.66	0.71
3504712	8.60	8.03	0.57

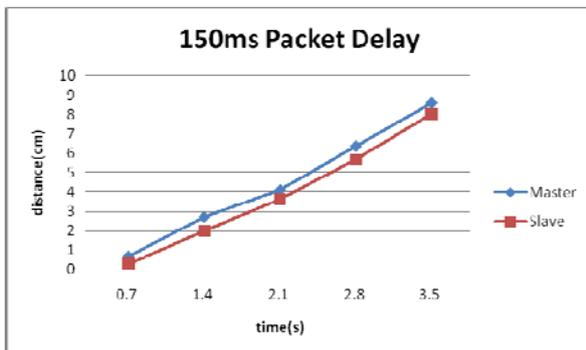


圖 8、150ms Packet delay

表 5、200ms Packet delay 之實驗結果

時間 (us)	Master	Slave	誤差值
	距離 (cm)	距離 (cm)	距離誤差 (cm)
700968	0.48	0.07	0.41
1401760	2.15	1.42	0.73
2102664	4.78	3.63	1.15
2803640	8.34	7.09	1.25
3504640	10.00	9.38	0.62

6、結論

本研究結合線性位移感測器和嵌入式系統的方式將 Packet delay 在 Haptic 上所產生之影響數值化，並運用外部 RTC 與 ADC 分析器，反映出 Haptic 在 Network emulator 加上 Packet delay 後所呈現兩端之位移距離與時間差異。以此方式來具體呈現 Packet delay 對於分散式虛擬環境下 Haptic 的影響。如使用 MOS 值在不同情形執行 Haptic 遠端連線測試，將會因不同測試人員之主觀意識、訓練過程適應力...等等問題而造成 MOS 值的不準確。因此在本研究，以 X 軸方向之位移距離與時間差異，分析 Master 與 Slave Haptic 因 Packet delay 所造成之距離誤差並以圖表方式呈現，將為網路遠端力回饋系統的分析上，提供更為精確的方法。後續將持續針對 Haptic 三維空間的位移差異以及筆尖力道量測作為未來的研究方向。

致謝

本研究之執行承蒙國科會計畫(編號：101-2119-M-142-001-102-2221-E-142-005)及教育部網路通訊重點領域學程推廣計劃-102 年度重點領域學程計畫(發文字號：第 1020035480A 號)之支持，特此致謝。

參考文獻

- [1] Haruhisa Kawasaki, Senior Member, IEEE, Yoshio Ohtuka, Shinya Koide, and Tetsuya Mouri, Member, "Perception and Haptic Rendering," IEEE Transactions on haptics, Page(s): 28-38, Jan.-Feb. 2011.
- [2] Kian Meng Yap, Alan Marshall, "Investigating Quality of Service issues for Distributed Haptic Virtual Environments in IP Networks", Intelligent Environments (IE), Sixth International Conference, Page(s):237-242, July 2010.
- [3] SenSable Technologies, GHOST and OpenHaptic Programmer's User Guides. <http://www.sensable.com>, (2013).
- [4] Yusuke Hara, Yutaka Ishibashi, Norishige Fukushima, and Shinji Sugawara, "Adaptive Delta-Causality Control with Prediction in Networked Real-Time Game Using Haptic Media," 18th Asia-Pacific Conference on Communications (APCC), Page(s):800-805, Nov. 2012.
- [5] Tatsuya Watanabe, Yutaka Ishibashi, "Dynamic Switching Control of Haptic Transmission Direction in Remote Control System," IEEE

- Haptics Symposium, Page(s):207-213, March 2010.
- [6] Yusuke Hara, Yutaka Ishibashi, Norishige Fukushima, and Shinji Sugawara, "Adaptive Delta-Causality Control Scheme with Dynamic Control of Prediction Time in Networked Haptic Game," 11th Annual Workshop on Network and Systems Support for Games (NetGames), Page(s):1-6, Nov. 2012.
 - [7] Pingguo Huang, Takeshi Fujimoto, Yutaka Ishibashi, and Shinji Sugawara, "Collaborative Work between Heterogeneous Haptic Interface Devices:Influence of Network Latency," 18th International Conference on Artificial Reality and Telexistence, Dec. 2008.
 - [8] Ayano Tatematsu, Yutaka Ishibashi, Norishige Fukushima and Shinji Sugawara, "QoE Assessment in Haptic Media, Sound and Video Transmission: Influences of Network Latency," IEEE International Workshop Technical Committee on Communications Quality and Reliability (CQR), Page(s):1-6, June 2010.
 - [9] ITU-R BT.500-11,"Methodology for the subjective assessment of the quality of television pictures," Jun. 2002.
 - [10] ITU-R BT.500-12,"Methodology for the subjective assessment of the quality of television pictures," Sep. 2009.
 - [11] ITU-R P800,"User Requirements for the Transmission Through Contribution and Primary Distribution Networks of Digital Television Signals Defined According to the 4:2:2 Standard of Recommendation 601," Jan. 1995.