

利用 NS-2 創建 PLC 模組於異質網路效能分析

王炯竣 陳國成 黃文祥*
國立高雄應用科技大學 電機系
1101304155@cc.kuas.edu.tw
1100304124@cc.kuas.edu.tw
wshwang@mail.ee.kuas.edu.tw

林政翰
國立成功大學 電機系
jhlin5@hpds.ee.ncku.edu.tw

鍾勝民 陶明宏
工業技術研究院南分院
antonius@itri.org.tw
MHTao@itri.org.tw

摘要

異質網路技術的精進，帶動了行動多媒體應用的蓬勃發展，特別是像近年來 Web Services、行動遠端控制搭配雲端計算服務而做的這類跨平台、跨通訊協定特性，造就了整合系統架構下多元化的軟硬體發展，同時也對提高網路服務品質要求不斷增加，所以本論文在於探究異質型網路的系統與架構，利用 NS-2 創建一套專屬電力線通訊 (Power Line Communications, PLC) 系統的傳輸模組，並結合無線感測網路，進而分析異質網路的整體效能。

關鍵詞：異質型網路、電力線傳輸、系統模擬

Abstract

Due to quickly development of heterogeneous network technologies, mobile multimedia applications, web services, and mobile remote control with cloud computing services create integrated system architectures under a wide range of hardware and software development in recent years. Meanwhile, improvement the network quality of service requirements are increasing, so this paper is to explore heterogeneity based network system architecture by using NS-2 to create a power line Communications (Power Line Communications, PLC) system transmission module, combining with the wireless sensor network, and then analyzes the heterogeneous network's overall performance.

Keywords: Simulation、Heterogeneous、Power Line Communications

1. 前言

在網路資訊爆炸的時代裡，國人使用網路或透過行動電話上網的需求已是不爭的事實。在我們使用網路的過程中，除了網路連線速度太慢，家裡還有 Access Point 的訊號在經過層層樓板或隔間之後會有收訊死角的問題，此外大多數使用網路的民眾因為居住的建築物興建時期較早，並未能預先留設適當的網路線，為了配合家中環境考量，而不得不將網路線沿著牆壁柱子，甚至透過窗戶或裝潢來穿越樓層或隔間；我們知道傳統乙太網路佈線較為麻

煩，加上電磁波對人體是否有健康影響仍不清楚，而使用電力線網路則沒有這些問題。其實近幾年坊間已有另一種方式解決上述傳統乙太網路佈線的困擾，那就是電力線通訊傳輸。簡單來說電力線網路是透過一般的『電源插座』當作網路連接埠，利用家中的電線當成內部網路的傳輸線，只要在家中使用同一迴路就有網路可用。而現今社會中，行動設備、感測元件...等都很盛行，所以在網路環境中，異質型服務就變的很重要。為提供在有線與無線異質 (Heterogeneous) 結合的網路上，如 IEEE 802.15.4 及 IEEE 1901.1、IEEE 1901.2 (Power Line Communications)，必須針對網路的傳輸方式、通訊存取協定、封包的格式、網路工作節點的佇列排程、及封包錯誤率對服務品質的影響，建立分析模式及系統模擬，以提供研製系統時對其效能表現做出最佳的研判，進而在異質網路間的映射 (Mapping) 及網狀網路上多重速率異常效能等問題提出改善機制，並可探究端點到端點間服務品質的映射、擁塞控制 (Congestion control)、公平性 (Fairness) 與飢餓 (Starvation) 等課題。

本論文主要為探究異質型網路的系統與架構，利用 NS-2 結合無線感測網路與電力線通訊系統，進而分析其整體效能，對 NS-2 中的 Propagation models 進行分析並增加 Error model，最後設計一套專屬電力線通訊系統的傳輸模組；並在 NS-2 中增加無線感測網路模組，組成異質型網路後，利用流量、節點等變化因素進行深入的研究，並去分析異質網路中出現的效能異常。

本論文的章節安排如下，第二章介紹通訊傳輸方式的相關文獻，第三章則是 NS-2 系統架構建立，第四章討論 NS-2 異質型網路設定與分析數據結果，最後是本篇論文的結論。

2. 文獻探討

2.1 電力線通訊

電力線通訊 (Power Line Communications, PLC)，主要是利用既有的電力線，將數據或資訊以數位訊號編碼方法進行傳輸。PLC 技術使用既有低頻 60Hz 的電力線路傳送頻寬的網路訊息；相對於 ADSL 使用電話線路，使用電力線通訊技術，基本上不需要另外重新鋪設網路線路，且電力線路涵蓋的地區範圍很廣泛，遠大於其它載體的線路。

也因為技術日漸成熟，電力線的通訊品質有著卓越性的成長。根據用戶的需求不同，可以分成遠距離傳送，窄頻 PLC(NarrowBand Power Line Communications) 以及短距離高速度傳送，寬頻 PLC(BroadBand Power Line Communications);前者適用於 internet 互聯網高速網域的連線，採 OFDM 調變；後者適用於注重低成本、高可靠性且只需要窄頻控制或是低頻寬數據收集的場景。目前用於 NB PLC 的 G3 通訊技術標準已進入實際部屬階段。

窄頻電力線通訊雖然並非新一代的技術，但隨著通訊技術的成長，不論是通訊速度或是對抗雜訊的調變技術都有大幅成長。到目前已有許多國家皆有制定出自己適用的窄頻通訊規範，例如北美的美國聯邦通訊委員會 FCC(9k~490kHz)，在歐洲，則由 1976 年成立於比利時的 CENELEC 制定其規範(3k~148.5kHz)，以及日本電波產業會所制定的調變規範 ARIB(10k~450kHz)等等。

近年來，許多使用在數位通訊的調變技術都被應用到電力線通訊上，其中適用於多載波的 OFDM 調變技術為主軸，主要原因在於其抗通道衰減及雜訊干擾的優異表現，也因此，歐洲的 G3 通訊技術皆是以此調變技術來解決窄頻電力線的問題；但也因為使用的傳輸頻帶較低(約在 1MHz 以下)，所以容易受到電器雜訊的影響。

G3 通訊技術最初是採用一塊由 MAXIM 設計的晶片，此晶片可以適用於 PHY 層和某些現有 MAC 子層的 IEEE 802.15.4 協定、適用於 MAC 層的 6LowPAN 和適用於網路層的 IPv6 通訊。G3 通訊技術的 PHY 層在附近節點之間收發 MPDU，且採用位於 CENELEC A 頻段高頻率的 47.363kHz，其平均傳輸速率為 70kbps，最大速率可達到 120kbps。在此條件之下，網路中各個節點之間可直接進行通信的比率為 92%，並在待命狀態下，路由可確保 100%連線成功。而 G3 通訊技術的 MAC 層主要提供了系統接入、頻寬分配、連線建立、連線維護與拓樸分辨等核心 MAC 功能。至於集中通訊層(CL)可以對訊息傳輸進行分類，並可以測定可能包含在 MAC SDU 中的任何數據傳輸，也可具備有效負載表頭壓縮功能。同時，採用多個子集層來實現 MAC SDU 中各種不同的數據傳輸。

2.2 ZigBee

在 ZigBee 的網路標準堆疊中，可以得知在 MAC 層與 PHY 層都是使用 IEEE 802.15.4 的標準，與先前所提到的 G3 通訊技術的 MAC 層相似，故在實際環境考量上確實可以達到相容的目標。

無線感知網路的基本概念是三低：耗電低、傳輸距離低且傳輸速度低。裝置在設計的時候亦是以此低成本為主要考量。整個無線感知網路系統必須依靠大量的佈建節點，且各節點的無線傳輸範圍互相涵蓋，如此才能建構出一個大型的服務範圍。在網路中，資料以點對點自由傳輸(Ad-Hoc)的方式，一

點一點傳輸至目的地。這樣的需求在實作上，通常是由一些具有動態調整特性的路由選徑演算法來達成；其中，AODV(Ad-hoc On-Demand Distance Vector)是一種具備動態調整路徑的技術，其執行方式就是將選徑封包用廣播方式淹沒(Flood)整個網路，藉此搜尋一條往目標節點的最短路徑。

ZigBee 通訊協議所採用的網路通訊行為模式即是一種以樹狀結構為基礎的路由拓樸技術。在這種網路模式中，每一個節點必須按照一定的順序依序『加入』網路。每一個節點的網路位址是在加入網路的同時，依據它在網路中的『位置』計算而得知。這樣的規則相當單純；整個網路首先必須由一個『根節點』(Coordinator)形成；在根節點建立起整個網路之後，其他的節點便會試著與根節點要求建立網路連線。

在 ZigBee 網路中，封包可以根據目的位址計算出下一個節點該往哪邊傳輸。ZigBee 通訊協定預設整個網路是一個『平衡的』樹狀結構，亦即每個節點都應該要能接受預設的最大連線數量，以此一假設為基數進行位址的計算與分配。然而 IEEE 802.15.4 本身使用的動態網路位址只有兩個位元組，亦即整個網路最大不能超過 65536 個節點。

3.NS-2 系統架構建立

Network Simulator 2(NS-2)就是一種以 C++及 OTcl 寫的非連續-事件引發(discrete-event driven)及物件導向(object oriented)的網路模擬器，是由 VINT project 所開發。這套網路模擬器提供了一個整合性的環境，實現在單一模擬器中提供多種不同網路細節，而利用 NS-2 這套軟體，我們可以比以前更容易模擬一個網路，可依需求建立自己的情境模擬及可能的網路狀況，再設定相關參數、通訊協定，並經由 NS-2 執行而得出一個輸出檔，讓使用者能分析及檢視，比起傳統使用 Simscript 等模擬器容易得出結果且能省下不少經費和時間。

3.1 PLC Model 建立

在無線感測網路中，NS-2 移動裝置的實體層傳輸主要是藉由 Radio Propagation Model 所組成。在 NS-2 中共有三種無線傳播模型，分別是 Free space model、Two-ray ground model 以及 Shadowing model。在 PLC 中，使用實體的線路是很重要的一環，所以在 Propagation model 中，我們把無線原有的點對點直線傳輸方式，改成實體線路的距離。首先我們必需在 TCL 語法中，根據以下方式描述節點的地理位置：

```
節點(1):
    $node_(1) set X_ <x1>
    $node_(1) set Y_ <y1>
節點(2):
    $node_(2) set X_ <x2>
```

\$node_{(2)}\$ set $Y_{<y2>}$

當設定完節點後，原先的無線網路傳輸方式是以節點(1)到節點(2)的直線距離(d_{12})，如方程式(1)表示

$$d_{12} = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \quad (1)$$

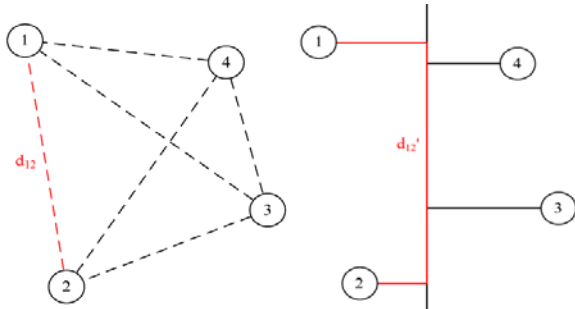


圖 1 無線傳輸方式

圖 2 有線傳輸方式

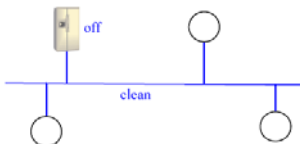


圖 3 電器關閉示意圖

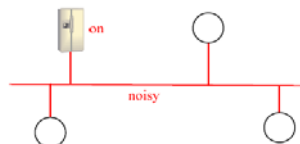
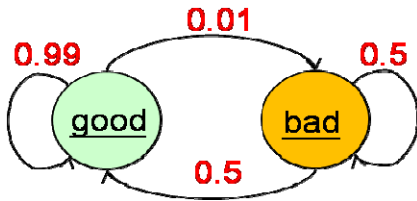


圖 4 電器開啟示意圖



Drop rate: good=0.01; bad=0.5

圖 5 多狀態的 Error model 範例

而 PLC 傳輸方式是以節點(1)到節點(2)的實體線路，往往電力線的長度都會依照各個現場實景線路來決定距離(d_{12})，如圖 2 所示

3.2 創建 Wire link

在我們設計的 PLC 模組中，必需更改程式碼來讓整體模擬更真實，首先我們繼承 Propagation 類別而新增一個 PLCAttenuation 類別，以便爾後使用者在使用 Propagation model 的時候，可與 Free space model、Two-ray ground model 與 Shadowing model 做交互使用，所以我們必須先在新的類別定義。

PLCAttenuation.h 定義各節點的距離。

如: `double wd<node1>_<node2>`

PLCAttenuation.cc 綁定各節點的參數。

如: `bind ("wd<node1>_<node2>", &wd<node1>_<node2>)`

最後新增點對點的距離於 Tcl 檔中，以下為節

點(1)到各節點的距離。

Propagation/PLCAttenuation set wd<node1>_<node2> < d_{12} >

Propagation/PLCAttenuation set wd<node1>_<node3> < d_{13} >

Propagation/PLCAttenuation set wd<node1>_<node4> < d_{14} >

⋮

Propagation/PLCAttenuation set wd<node1>_<nodeN> < d_{1N} >

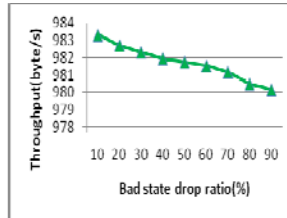


圖 6 調動 bad state drop ratio 之 throughput 曲線圖

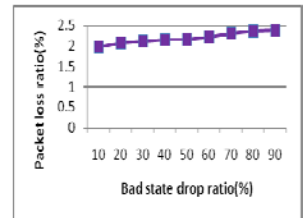


圖 7 調動 bad state drop ratio 之 packet loss ratio 曲線圖

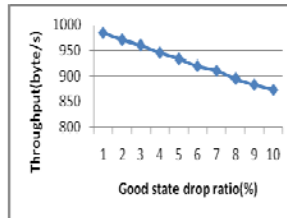


圖 8 調動 good state drop ratio 之 throughput 曲線圖

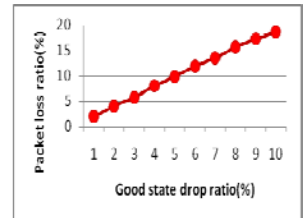


圖 9 調動 good state drop ratio 之 packet loss ratio 曲線圖

在各節點距離(d)設定完成後，我們採用實體線 500MCM 線材的衰退指數，最後將 propagation 套用於方程式(2)，算出 Pr。

$$10 * \log_{10} \left(\frac{Pr}{Pt} \right) = -dB \quad (2)$$

$$dB = d * Attenuation \quad (3)$$

$$Attenuation = 0.004 * Frequency \quad (4)$$

3.3 創建 Error model

在 PLC 環境下還有一個現象，由圖 3 可以發現，當電器是關閉時，訊號在傳送時會呈現正常的狀況，但如果像圖 4 電器開啟時，就可能有雜訊干擾訊號，也就是說在電力線傳輸時，可能會因其他電器的使用所造成的突波，導致錯誤率提高，而 NS-2 在原先的模組下只考慮到傳輸的情況，但並未加入錯誤的現象，為此我們採用 Error model 來模擬環境中因雜訊而產生的錯誤。

在此我們舉一個多狀態 Error Model 的例子，如圖 5，利用 Markov chains 建立這個 model，主要分為 good state 以及 bad state，以 good state 來說明停在同狀態的機率為 0.99 而轉成 bad state 的機率為 0.01，而以 drop rate 來說，在 good state 時發生的機率為 0.01，bad state 為 0.5。

首先我們先調動 good state 及 bad state 的 drop

ratio。以 bad state 來說，我們設定 10%~90% 的調動，從圖 6 及圖 7 可看出，會因為 drop ratio 的提高而在造成 throughput 下降、封包遺失率上升。以 good state 來說，我們設定 1%~10% 的調動，從圖 8 及圖 9 也可看出，會因為 drop ratio 的提高而在造成 throughput 下降、封包遺失率上升，在 good state 更是如此，原因是我們參考的參數值設定，使得落入 good state 的機率比 bad state 的機率高很多，所以在 good state 調動時會比在 bad state 調動時還要明顯的看出變動。

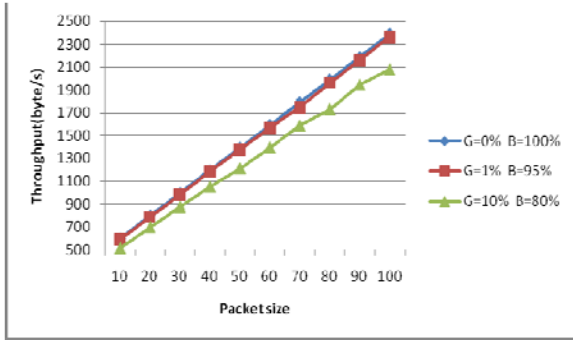


圖 10 雙調動之 throughput 曲線圖

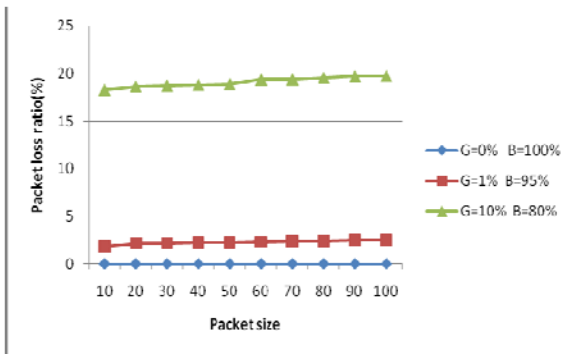


圖 11 雙調動之 packet loss ratio 曲線圖

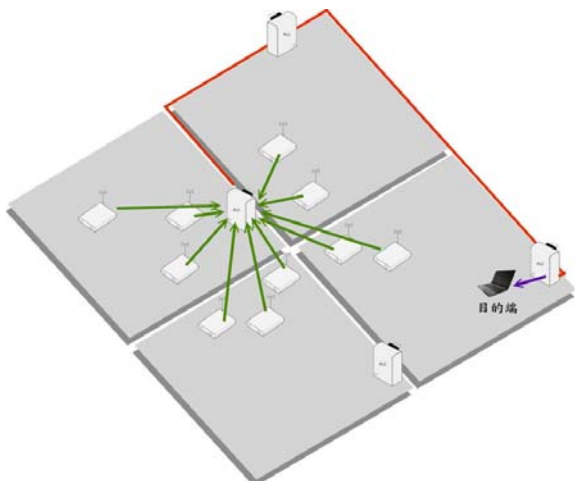


圖 12 異質網路場景圖

我們探討 good state 及 bad state 同時調動所造成的影響，由圖 10 可以驗證剛上述所說明 good state 和 bad state 的關係，其中 G 表示為 good state 之 drop ratio，而 B 表示為 bad state 之 drop ratio，在 G=0% B=100% 曲線與 G=1% B=95% 曲線因

good state 變化不大，所以兩條曲線幾乎是重疊的狀態；但相較於 G=0% B=100% 曲線，G=10% B=80% 曲線因 good state 變化很大，從 0%~10% 的大調動，導致 G=10% B=80% 曲線的 throughput 相較偏低。

對於圖 11 更加確定落入 good state 的機率大於 bad state，所以在 G=0% B=100% 曲線中，幾乎都沒有 packet loss ratio，由此可知，雖然 Error model 設定的突波長度以及發生頻率是我們所知的，但落入 state 的狀態機率，必須從這幾張圖得知。

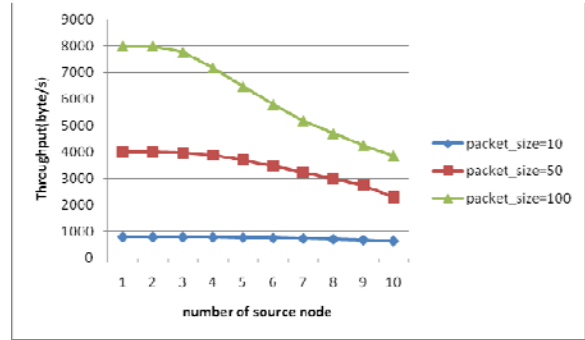


圖 13 調動 packet size 之 throughput 曲線圖

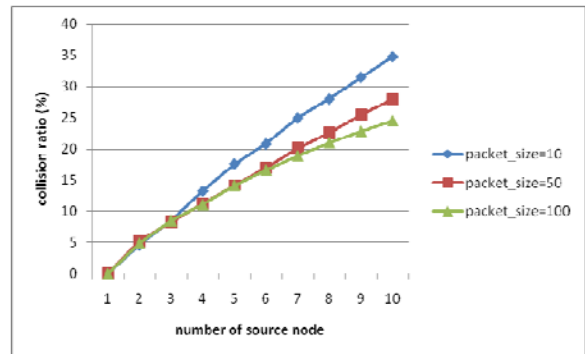


圖 14 調動 packet size 之 collision ratio 曲線圖

4. NS-2 異質網路效能分析

首先在 NS-2 中我們必需先建立同網路性質的介面配置，當設定完介面卡後，所有跟介面有關的節點都可以運用；在設定完介面卡後，接著需要設定有使用到介面配置的各節點，舉例來說，節點(0)需要剛設定好的介面卡配置，就必須使用以下程式，讓節點(0)新增一張介面卡，如有需要不同的介面卡可以再往下做同樣的設定。如此一來，便可以構成異質網路的環境。

```
#---wireless node 0
set node_(0) [$ns_ node]
set nl_(0_1)
[new NetworkLayerUnit $node_(0)]
$ns_ interface-config -channel $chan0
set wif_(0_1)
[$node_(0) add-interface Wireless $nl_(0_1)]
# add wireless interface
在如圖 12 所示的環境底下，我們從單一節點
```


到多個節點做測試，並觀察 throughput 以及 collision ratio 的變化。由圖 13 顯示，三條曲線各依據每一個節點的封包大小做設定，共有三個參數值 10、50 及 100，在 packet size=10 時，傳送的封包量小，所以整體 throughput 偏低，相對於當節點數增加情況，所丟掉的封包並沒有想像中的多，曲線往下但並不明顯。相反的，當 packet size=100 時，因傳送的封包量多且節點數亦增加時，所影響的變動量隨之增加，曲線進而下

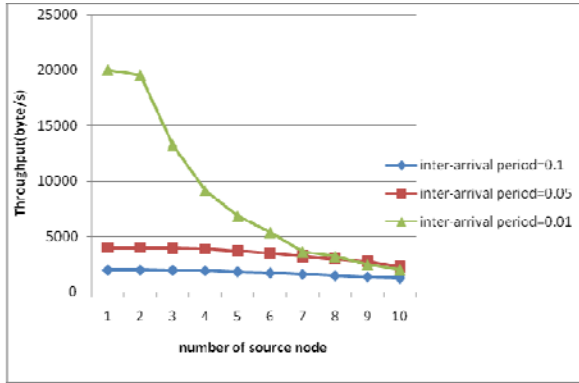


圖 15 調動 inter-arrival period 之 throughput 曲線圖

降很快。圖 14 顯示，我們根據節點數來算出節點的碰撞率，由此圖中的曲線可以得知，當 packet size 越小的情況下，所造成的碰撞率比 packet size 大時還要高，而且當節點數越多，這樣的現象就更加的明顯。最大的原因是因為 packet size 越小，節點在頻道所等待封包傳送的時間就會較短，所以在同樣時間內，可能重傳的次數就會增加，導致碰撞率會大幅度的增加，反之，當 packet size 越大，碰撞率就會相對較低。

而圖 15 及圖 16 是針對傳送間隔=0.01、0.05 及 0.1 下去做比較，首先看到圖 15，可以發現正常情況下，節點數越多，throughput 會呈現穩定下降，但是傳送間隔為 0.01 的曲線有驟降的趨勢，原因在於傳送間隔太短，所以當節點數量一多，佇列沒有辦法消化，就會導致 throughput 快速的下降。在圖 16 中，inter-arrival period=0.01 曲線是因為傳送間隔短，所以碰撞發生機率就變很高，相較之下，inter-arrival period=0.05 曲線與 inter-arrival period=0.1 曲線因傳送間隔較大，佇列並未達到已滿狀態，所以碰撞率會相當接近。

5. 結論與未來工作

在設計電力線傳輸模組時，我們將無線原有的點對點直線傳輸方式改成實體線路的距離，再套入實體線 500MCM 線材的衰退指數，以達到符合現實的狀況模擬。但在電力線傳輸的技術底下還會發生一個現象，即當家用電器是關閉的時候，訊號在傳送時會呈現正常的狀況，反之，當家用電器啟動時，就可能會有雜訊干擾，也就是說，在電力線傳輸時，可能會因為家用電器的運作而造成突波，導

致封包遺失的現象。為了確實地將此現象加入環境模擬，我們使用了 Error Model 中的 Multi-State model，將電器運作時會產生的封包遺失影響數據套用在環境模擬底下，並透過模擬圖來呈現此 Error Model 造成的封包遺失率。而在模擬的異質網路中，將此網路中的節點透過加入不同的 interface 來達到異質的目的，由 IEEE 802.15.4 標準底下的感測節點收集到的資料傳送給收集節點，而收集節點再透過電力線傳輸將資料傳送給另一個收集節點，最後將資料傳送給資料庫作彙整。在這樣的一個場景底下，將 Error Model 也套用進去以符合現實狀況，最後，從模擬圖來觀察當傳送的節點數變多時，整體異質網路會產生碰撞的問題

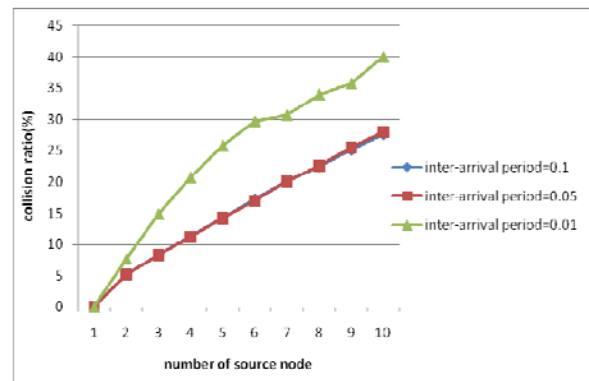


圖 16 調動 inter-arrival period 之 collision ratio 曲線圖

進而使得網路效能降低。未來，我們將針對在這樣的一個異質場景底下，當有多個節點在電力線上做傳輸時會發生的碰撞問題來研發出一個機制去避免這樣的情形，進而提升整體網路的效能。並透過我們已設計好的電力線傳輸模組來模擬、驗證，以達到一個具有良好服務品質的異質網路。

誌謝

本研究成果由工研院南分院「OFDM and Turbo Code 整合模組技術計畫」及國科會計畫編號 NSC 101-2221-E-151-020-MY3 補助支持，特此誌謝。

參考文獻

- [1] ZigBee Alliance, "ZigBee Specification," June 27, 2005.
- [2] M. Kim, D. Son, Y. Ko and Y. Kim, "A Simulation Study of the PLC-MAC Performance using Network Simulator-2," IEEE International Symposium on Power Line Communications and Its Applications, April 2008.
- [3] IEEE P1901 Working Group.
- [4] PLC G3 SPECIFICATION.
- [5] IEEE 802 Working Group, "Standard for Part 15.4: Wireless Medium Access Control(MAC) and Physical(PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs)," ANSI/IEEE 802.15.4(2003).
- [6] M.Zimmermann, K.Dostert, "Analysis and Modeling for Impulsive Noise in Broad-Band Power Line Communications," IEEE TRANSACTIONS ON ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY, VOL. 44, NO. 1, FEBRUARY 2002.