

Journal of Far East University

# 遠東學報

第四十卷第三期



**VOL.40.NO.3**

## 遠東學報第四十卷第三期目錄

華語嗓音起始時間之性別差異	pp.83~96	鄭尊仁
於LoRa工業物聯網中以感知無線為基礎之媒介存取控制協定設計	pp.97~110	吳建民
臺南市競技游泳運動員知覺教練領導行為、團隊凝聚力與訓練滿意度之研究	pp.111~122	黃鈺鈺 黃啟明



## 華語嗓音起始時間之性別差異

### Gender differences in the voice onset time of Mandarin

鄭尊仁 銘傳大學華語文教學系副教授

#### 摘 要

本研究之目的在瞭解華語嗓音起始時間（VOT）是否具有性別差異？英語方面的相關研究大都指出，VOT 是有性別差異的，表現為女性比男性有更長的 VOT，並有學者推論這是導因於先天的男女生理結構不同所致。如果此項論述屬實，華語應該也會有相同的情況。本研究以 7 位男性及 7 位女性華語母語發音人，分別使用自然語速及控制語速將同一 CV 音節各念兩次。音節是由/b,d,k,p,t,k/與/a,i,u/搭配實際成字的聲調組合而成。結果顯示，華語的 VOT 確實具有性別差異，表現為男性不送氣塞音 VOT 會大於女性，而送氣塞音無性別差異。此外男性送氣與不送氣塞音 VOT 之間的差距在語速控制下，會更接近女性的表現。這表示男性在注意發音的情況下，會刻意區分送氣與不送氣音，亦即更加標準。由於生理結構差異不能解釋為何英語和華語的性別差異情況不符，且男性還會在謹慎情境下改變發音，因此華語的性別差異屬於一種社會語音現象，應是更合理的解釋。

**關鍵詞：**華語、嗓音起始時間、性別差異、社會語音

Cheng Tsun-Jen, Associate Professor, Department of Teaching Chinese as a Second Language, Ming Chuan University

### **Abstract**

The purpose of this study is to find out whether there are gender differences in Chinese Voice Onset Time (VOT) among Taiwanese college students? And seek the cause. Most of the related research in English point out that VOT is gendered, with women having longer VOT than men. And some scholars have deduced that this is due to the congenital differences in the physiological structure of males and females. If this statement is true, the Mandarin should have the same situation. 7 male and 7 female native Mandarin speakers pronounced the same CV word twice using the natural speech rate and the controlled speech rate respectively. Syllables are a combination of /b,d,k,p,t,k/ and /a,i,u/ with the tones of the actual word. The results show that Mandarin VOT does have gender differences, However, the VOT of unaspirated stops in males was greater than that in females, and there was no gender difference in aspirated stops. In addition, the gap between aspirated and unaspirated stops VOT in males is closer to that of females when the speech rate is controlled. This means that when men pay attention to pronunciation, the gap will increase, that is, they will become more standard. Since differences in physiological structure cannot explain why the gender differences between English and Chinese do not match, and men also change their pronunciation in cautious situations, the gender differences on mandarin is the phenomenon of socialphonetics would be a more plausible explanation.

**Keywords:** Mandarin, Voice Onset Time, gender differences, socialphonetics.

## 一、前言

嗓音起始時間 (voice onset time, 以下簡稱 VOT), 是指塞音爆破除阻後到嗓音開始之間的時間差距。送氣音的 VOT 長, 不送氣音的 VOT 短, 濁塞音還會出現負值。由於 VOT 能夠說明塞音的清濁與送氣的情況, 被視為塞音之可信的語音聲學數據, Lisker & Abramson(1964) 及 Cho & Ladefoged(1999) 就曾經做過大規模的多語種塞音 VOT 研究。而針對華語本身及華語與其他語言對比的 VOT 研究為數也不少 (鄭靜宜 2005; 吳剛 2012; 鄭鮮日、李英浩 2007; Li, 2013; Peng, Chen & Cheng, 2014)。VOT 也被廣泛使用於語音障礙矯正以及分析外語學習者的發音問題上 (Auzou, Ozsancak, Morris, Jan, Eustache, & Hannequin, 2000; Jäncke, 1994; Ogasawara, 2011)。

VOT 雖有一定的範圍, 但由於各個語言的情況不同, 因此學者們對其分類也不一致。如 Lisker and Abramson(1964) 的研究將其依時間長短分為三類 (-125~-75ms, 0~25ms, 60~100ms)。而 Swartz (1992) 則分為 Lead (-120ms ~ 0ms), short-lag(0ms~25ms), long-lag(40ms~100ms) 三類。華語沒有濁塞音, 因此 VOT 沒有負值, 不送氣及送氣塞音的 VOT 即分別屬於 short-lag (短延遲) 與 long-lag(長延遲) 這二類 (Ogasawara, 2011)。

VOT 會受到諸多因素所影響而產生變化, 例如構音位置越往後, VOT 就越長 (Cho & Ladefoged 1999; Moris, McCrea, & Herring, 2008)。後接元音也會改變 VOT, 塞音後若接高元音, VOT 會比後面接低元音來得長 (Whiteside et al. 2004; Morris et al. 2008)。基頻 (fundamental frequency) 不同也會對清塞音的 VOT 造成影響 (McCrea & Morris, 2005)。話語類型也會造成影響, 如單音節詞語和句子內的塞音 VOT 就有不同 (Baran, Laufer, & Daniloff, 1977)。另外說話人的年齡也會造成影響, 年長者的 VOT 就比年輕人的變異性大 (Morris

& Brown, 1987)。

另一個影響因素就是性別, 大部分以英語發音人為對象的 VOT 性別差異研究指出, 在英語的清塞音上, 女性比男性有更長的 VOT 值 (Moris et al. 2008; Ryalls, J. Zipprer, A. Baldauff, P. 1997)。德語的研究 (Scharf & Masure, 2002) 也顯示女性的 VOT 較長。不過大同之下仍有小異, 有學者認為英語女性只有清塞音的 VOT 時值比男性為長 (Morris, R. J., & McCrea, C. R., & Herring, K.D. 2008)。但也有學者認為男女的英語塞音不論清濁, 其 VOT 全部都有差異 (Swartz, B. 1992; Ryalls, J. Zipprer, A. Baldauff, P. 1997)。也有學者認為僅有部分塞音不同, 如 Whiteside S.P & Irving C.J. (1997) 就指出僅有 /p/ 和 /d/ 有明顯性別差異。另外也有少數人發現男女沒有差異, 例如 Sweeting & Baken (1986) 就發現男女在 /b/ 和 /p/ 的 VOT 沒有差別。而 Richard J. Morris, et al. (2007) 更發現不論清濁塞音, 男女的 VOT 完全沒有差異。不過 Morris, et al. (2007) 指出, 這些不同的結論, 很可能是因為研究設計的不同而導致。

在華語部分, Li (2013) 曾以大陸發音人為對象, 研究 VOT 的性別差異。結果發現, 女性發 /d/ 和 /g/ 時, VOT 小於男性; 但是發 /t/ 和 /k/ 時, VOT 大於男性。也就是女性發不送氣塞音時 VOT 比男性短, 但是發送氣塞音時, VOT 比男性長。Peng, Chen & Lee (2014) 以台灣發音人為對象, 分別探討華語及客家話的 VOT 性別影響, 結果也發現, 女性在華語的不送氣清塞音 VOT 都比男性短, 可是在送氣清塞音的 VOT 卻比男性要長, 這與前述 Li (2013) 的發現相符。Peng, Chen & Lee (2014) 也調查了客家話的塞音 VOT 值, 性別差異的表現也與華語相同。也就是女性的 VOT 是不送氣音比男性更短, 送氣音比男性更長, 而且不送氣與送氣之間的差距也比男性要大。由 Li (2013) 及 Peng, Chen & Lee (2014) 的研究可知, 華語女性的送氣塞音 VOT 比男性短, 這點正好與英語大部分的研究

以及德語的研究結果相反。可是華語女性的送氣塞音 VOT 比男性長，這點卻又與英語的情況相同。華語和其他語言相較所呈現出的時而相同時而不符的情況，是否也證實 VOT 的性別差異不是生理因素所導致，而是一種社會語言現象？或是僅是因為研究方法不同所造成的結果差異？

由於 Li (2013) 和 Peng, Chen & Lee (2014) 對華語的研究僅要求受試者以自然發音語速錄音，因此不能確定語速固定後是否還能有同樣表現。在 VOT 的研究上，語速是一個常見影響變數。因為 VOT 是一種時長參數，非常容易受到說話速度所影響。當說話速度變慢時，VOT 會因為詞語的時長增加而隨之增長 (Kessinger R.H., Blumstein S.E., 1998; Miller J.L., Green K.P., Reeves A., 1986; Allen JS, Miller J.L., DeSteno D. 2003)。Allen et al. (2003) 和 Richard J Morris, et al. (2007) 就發現，一旦控制了說話的速度，男女之間就沒有差別。因此如果速度未統一，就可能造成對於性別差異的誤判。

本研究將考量以上因素，加入語速控制，調查性別是否真的對華語的 VOT 產生影響，同時瞭解其成因為何。目前關於此方面研究雖然以英語為主，但由於華語和英語一樣有三個相同部位的塞音，分別為雙唇、硬顎、軟顎。此外，構音部位和語音環境的互動也類似，因此彼此互相對照是合理的。假設調查結果與英語相符，可證明生理結構不同有可能是造成性別差異的成因。若結果相異，就表示生理結構解釋不盡合理，可能是社會語音的現象。對於將來從事相關研究者而言，也有相當助益。

## 二、研究方法

### (一) 發音人

發音人為十四位台灣在學大學學生，平均年齡二十歲，男女各七位。皆以華語為母語，均在台灣出生長大。錄音時健康狀態良好，無任何呼吸系統

疾病。

### (二) 測試詞語

華語有六個清塞音，即雙唇塞音/b, p/，齒齶塞音/d, t/，舌根塞音/g, k/，若分別與三個元音/a/、/i/、/u/搭配，可以組合出 18 個 CV 音節，每個音節再加上四聲，共有 72 個音節。為了避免發音人若朗讀實際上不存在的假字詞語時猶豫而說話不自然，故在錄音時將不存在的組合剔除。華語中不存在的塞音四聲搭配組合有 20 組，分別是/ga, gi, ki/的所有四聲組合 12 個，以及/pǎ/、/tá/、/kǎ/、/kà/、/bū/、/bú/、/gú/、/kú/等 8 個，加總後共有 20 個。這其中/tá/、/kǎ/、/kà/、/bú/、/gú/、/kú/六個音節雖然在三聲變調中會出現，不是完全沒有念過的組合，但是因為不會出現在單音節中，故不予收錄。扣除掉這 20 個音節後，保留 52 個音節作為測試詞語進行錄音。

### (三) 錄音程序

所有錄音均於隔音良好之專業錄音室進行，使用電容式麥克風 (Audio-Technica Model2020)，以腳架固定於桌面，麥克風距離發音人嘴巴中心約 3~5 公分。所有發音直接收音進電腦，連結至 Audacity 錄音軟體，並儲存於電腦硬碟。採樣頻率為 44000HZ，以單音軌錄音。

為了解語速控制對 VOT 的影響，本研究分兩次錄音，第一階段不使用電子節拍器，請發音人以自身說話語速就發音字表朗讀兩次。第一階段錄音結束後，再請發音人跟隨電子節拍器速度簡短練習之後，跟隨電子節拍器的速度朗讀。電子節拍器調整為閃燈狀態，無任何聲響，以避免干擾收音。節拍器的速度設定為一秒鐘閃一次，每分鐘 60 次。速度固定部分一樣也朗讀兩次，兩階段錄音結束後，每位發音人朗讀 52 個音節 4 次。最後總共收集與分析 2912 個音節:52 個音節 x 14 位發音人 x 4 次重複。

#### (四) 測量方式

VOT 的測量方式有二，一是觀察波形圖，由於塞音之前必為一段空白，而塞音之後的元音段波形十分明顯，很容易對濁音起始時間做出判斷。二是觀察聲譜圖，因為各元音均有其固定的共振峰模式，在聲譜圖上也很容易辨識，因此可以量測爆破衝直條到共振峰出現間的時長，如 Chao et al.(2006) 及 Peng, Chen & Lee( 2014)等均量測塞音爆破衝直

條到第一共振峰開始前的距離。因為既然共振峰已經出現，代表聲帶已經開始振動，亦即元音成立的條件已經出現。而本研究沒有濁輔音，不會有與濁輔音混淆的問題，也不需要量測至第二共振峰。由於電腦軟體可以在螢幕上同時呈現波形圖與聲譜圖，故本研究以第一共振峰為量測依據，同時參照波形圖變化，共同決定 VOT 的時長。具體圖形如圖 1 所示。

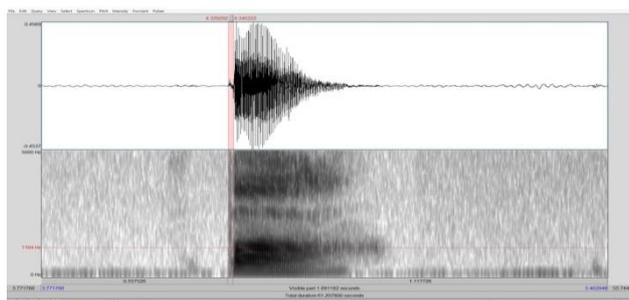


圖 1 華語「爸」/ba/的波形圖及聲譜圖，標誌部分為 VOT 時長。

#### (五) 資料分析

所有錄音檔案均在 praat 語音軟體上標註，標註時參照波形圖與聲譜圖決定塞音爆破至濁音起始的時間。除了標註塞音開始及元音開始時間外，每音節也會標註元音結束的時間，以求得元音及音節整體時長。所得結果將分別以資料特性與研究需求進行獨立樣本 t 檢定，雙因子變異數分析，以及三因子變異數分析，以瞭解個別效應的影響與交互作用。顯著水準設定為 0.05，同時也測量效應值 (effect size,  $\eta_p^2$ ) 之大小。

### 三、實驗結果

#### (一) 語速效應

在自然語速的情況下，男性的不送氣塞音 VOT 比女性要長，見表 1。男性為 16.1ms，女性為 7.8ms，獨立樣本 t 檢定顯示性別差異已達顯著水準。在送氣塞音 VOT 方面，男性為 86.1ms，女性為 88.8ms，女性稍長一些，不過檢定結果是沒有顯著差異。

表 1 自然語速

	男 (n=7)	女(n=7)	Independent t-test
	mean (SD)	mean (SD)	
不送氣塞音	15.8 (9.5)	9.1 (7.5)	t = 10.1***
送氣塞音	86.1 (25.2)	88.8 (16.5)	t = 0.17

\*\*\*p < .001

固定語速之後的結果見表 2。男女在不送氣塞音上還是有明顯的差異，男性不送氣塞音 VOT 均值为 16.1ms，女性為 7.8ms。但是在送氣塞音上，

男性在語速固定之後，送氣塞音的 VOT 比自然語速長，而且也比女性還要長，這與自然語速下的表現不同，檢定上也出現顯著差異。

表 2 固定語速

	男	女	Independent t-test
	mean (SD)	mean (SD)	
不送氣塞音	16.1 (8.9)	7.8(6.6)	t=13.8***
送氣塞音	94.5(30.7)	88.5 (30.9)	t=2.7**

\*\*p&lt;0.05, \*\*\*p&lt;.001

雖然男女在語速固定前後的表現不大相同，不過若不分性別將兩組資料做獨立樣本 t 檢定顯示，自然語速以及固定語速兩組資料沒有統計上的顯著差異 ( $t=-1.14, p=0.25$ )，因此兩組資料可視為同一母體，以下分析即將兩組不同語速資料合併檢視。語速不同的表現差異將留待分析性別差異時再討論。

## (二) 性別效應

表 3 為依照性別及送氣與否所統計的均值以及獨立樣本 t 檢定結果，整體而言，男性的不送氣塞音 VOT 均值比女性為長，男性為 15.9ms(SD=9.2)，女性為 8.5ms(SD=7.1)，差異已達顯著水準。在送氣塞音 VOT 方面，男性為 90.3ms(SD=28.4)，女性為 88.6ms(SD=29.9)，也是男性較長，不過沒有統計上的顯著差異。可見華語的 VOT 在性別上的確有差別，而且送氣與不送氣的情況不同。

表 3 不送氣與送氣塞音的性別比較

	男	女	Independent t-test
	mean (SD)	mean (SD)	
不送氣塞音	15.9(9.2)	8.5(7.1)	t=16.67***
送氣塞音	90.3(28.4)	88.6(29.9)	t=1.12

\*\*\*p&lt;.001

## (三) 元音效應

表 4 是男女每一個塞音與元音組合的 VOT 均值與標準差。由表 4 可以看出不論性別與送氣狀態，/a/ 行中的 VOT 都明顯要小於 /i/ 和 /u/ 行，這一點和英語文獻相符 (Docherty, 1992; Morris et al., 2008; Smith, 1978)。雙因子變異數分析結果顯示，後接元音對不送氣塞音有顯著影響 ( $F = 202.7, p<0.001, \eta_p^2 = 0.22$ )。/a、i、u/ 三個元音的總體 VOT 均值分別為 7.6ms，10.5ms，17.7ms。事後檢定也顯示三者均有顯著差異 ( $p<0.001$ )。

元音對送氣塞音也有影響，/a、i、u/ 三個元音的 VOT 均值分別為 84.8ms，89.1ms，93.2ms，( $F=10.9, p<0.001, \eta_p^2 = 0.04$ )，不過效應值很低，而且事後檢定顯示三者雖均有顯著差異，不過 /i/ 和 /u/ 的差異較小 ( $p=0.02$ )。

由圖 2 也可看到，男性的不送氣塞音 VOT 在 /a、i、u/ 三個元音都比女性為長，因此在 Y 軸上比女性要高出許多。而在圖 3 的送氣塞音上，則看不出太大性別差異。

## (四) 構音部位效應

由表 4 及圖 2 可見，在塞音的構音部位上，不送氣塞音的差異均顯著，雙唇音 /b/ 最短，齒齶音 /d/ 次之，軟齶音 /g/ 最長。不分性別，/b、d、g/ 的 VOT 均值分別為 8.9ms，11.2ms 和 27.2ms，雙因子變異數分析顯示有顯著差異 ( $F=444.2, p<0.001, \eta_p^2 = 0.38$ )。送氣塞音方面，雙唇音 /p/、齒齶音 /t/、軟齶音 /k/ 的 VOT 均值分別為 87.4ms，86.5ms 及 100.5ms，2-way ANOVA 結果為 ( $F=25.4, p<0.001, \eta_p^2 = 0.03$ )，三者仍然有明顯差別，不過送氣塞音的效應值很低，表示其中有些類別差異不明顯。而且

齒齶音/t/比雙唇音/p/稍短。事後檢定顯示，送氣塞音上，/k/的均值最長，但/p/和/t/則無差異 ( $p=0.59$ )。整體而言，構音部位確實會對 VOT

造成顯著差異，這點也和前引英語與華語文獻相符。

表 4 依性別區分之塞音與元音組合的 VOT 均值及標準差

塞音	男			女		
	元音			元音		
	/a/	/i/	/u/	/a/	/i/	/u/
/b/	10.6(3.4)	11.2(4.5)	19.9(10.3)	3.0(2.1)	4.3(2.3)	10.6(6.8)
/d/	11.7(5.1)	17.3(5.3)	14.8(4.8)	5.2(3.1)	9.3(3.3)	8.8(3.7)
/g/	NA	NA	31.9(11.8)	NA	NA	22.6(7.3)
/p/	79.8(32.5)	90.2(24.3)	91.1(23.9)	77.0(20.7)	86.7(31.3)	95.2(29.7)
/t/	83.3(38.8)	93.1(24.0)	86.4(29.1)	82.7(29.1)	86.6(32.6)	85.5(30.6)
/k/	101.5(25.3)	NA	101.2(22.2)	92.4(24.0)	NA	104.6(26.2)

標準差 (SD) 註明於均值後之括號內

## (五) 交互作用

以上結果顯示 VOT 會受到性別以及元音和構音部位影響，為瞭解這三個效應是否有交互作用，故以三因子變異數分析檢驗性別及元音與塞音的反應與交互效果，結果如下所示。

### 1. 不送氣塞音

統計顯示不送氣塞音的構音部位與元音之間有交互作用存在 ( $F = 41.27, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.05$ )。不論性別為何，/gu/在所有音節組合中是最長的，而男性又比女性更長 (31.9ms)。/ba/則是所有音節中最短的，女性又比男性更短 (3.0ms)。性別上，/b/、/d/和/g/這三個不送氣音的所有組合都是女性的 VOT 較短，見表 4 及圖 2。不過性別與元音無交互作用 ( $F=2.58, p=0.7, \eta_p^2 = 0.0005$ )，性別與構音部位也沒有交互作用 ( $F=3.39, p=0.06, \eta_p^2 = 0.0039$ )。

### 2. 送氣塞音

統計顯示送氣塞音的構音部位與元音之間是有交互作用存在的 ( $F = 3.3, p=0.01, \eta_p^2 = 0.006$ )。表 4 及圖 3 可見/k/的音節組比比/p/及/t/都長，其中女性的/ku/最長(104.6ms)。此外，/pu/

也是女性最長(95.2ms)。其餘組合都是男性較長。不過性別與構音部位之間沒有交互作用 ( $F=0.08, p=0.25, \eta_p^2 = 0.0003$ )。性別與元音也沒有 ( $F=0.68, p = 0.1, \eta_p^2 = 0.003$ )，極小的效應值也指出交互作用不是 VOT 差異的主要原因。

由於性別與元音及構音部位三者都沒有交互作用，而元音和構音部位之間卻有，可知性別是獨立於二者之外的另一個影響效應。以有性別差異的不送氣塞音為例，由圖 2 上可見，男女的不送氣音在構音部位和元音分佈方式大致相同，區別只在分佈的範圍不同。男性的 VOT 較長，所以在圖上分佈的 Y 軸位置較為偏高。女性的 VOT 較短，所以呈現整體偏低。而送氣音的除了構音部位和元音分佈方式相同外，分佈的範圍也大致相同，沒有上下之別，標準差也幾乎重疊，可見送氣音無性別差異。

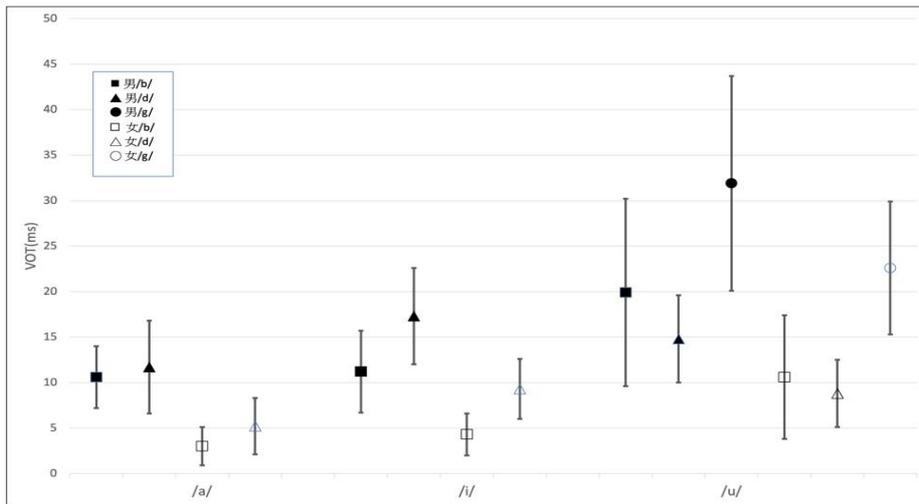


圖 2 依性別區分之不送氣塞音與元音組合的 VOT 均值及標準差圖

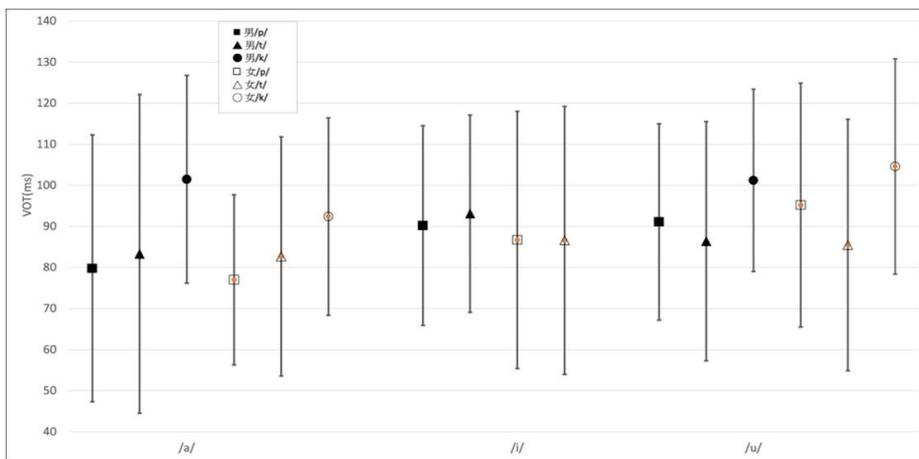


圖 3 依性別區分之送氣塞音與元音組合的 VOT 均值及標準差圖

### (六) 詞語音節長度

為瞭解 VOT 的性別差異是否因為整體音節時長不同所導致，故選擇實際有聲調詞語的音韻組合，分別統計男女的詞語長度。測量範圍由塞音爆破開始，直至韻尾為止。男性的不送氣塞音時長均值为 357.6ms(SD108.7)，女性的不送氣塞音均值为 357.9ms(SD=107.8)，t 檢定結果是沒有顯著差異 ( $F=1.02, p=0.87$ )。另外男性的送氣塞音時長均值为 421.6ms(SD111.7)，女性的送氣塞音均值为 422.9ms(SD=117.9)，t 檢定結果是也沒有顯著差異 ( $F=1.11, p=0.29$ )。這表示性別在整體音節長度上沒有差別，VOT 的性別差異與詞語音節時長無關。

### (七) VOT 分佈範圍

性別差異在不送氣音上很明顯，可是送氣音則差別不大。這其中的分佈情況若能加以細分，可以更清楚瞭解差異存在何處。本研究參考 Keating, Mikos & Ganong(1981)、Kessinger & Blumstein(1997)以及 Oh(2011)的做法，以 10 毫秒為間隔，依照塞音類別將 VOT 的出現次數計入各區間之中，以了解 VOT 的實際分佈情形，所繪圖型見圖 4。由圖上可以明顯看到送氣塞音的分佈範圍很廣，不是侷限在均值附近。而不送氣塞音的分佈範圍則很窄。可見送氣與不送氣在音韻上雖然是相對等的概念，但是在語音上卻有極不對稱的分佈範圍，不能僅僅由均值來界定。

均值上所呈現的性別差異，藉由細分為 10 毫秒的區段次數統計也可以更清楚瞭解。在不送氣塞音方面，女性的不送氣塞音明顯較短，多數出現 10 毫秒以下，也就是在 0 到 9 毫秒之間出現最多。男性的不送氣塞音則是在 10 到 19 毫秒之間最多。但是送氣塞音的分佈則無性別差異，男女都在 80 到 99 毫秒之間最多，而且都平均往左右遞減。此

外，女性的不送氣與送氣在 10 到 49 毫秒之間有重疊現象，男性則是在 20 到 59 毫秒之間有重疊現象。由圖上可知，男女的送氣塞音都是在 20 毫秒區間開始出現，因此不送氣塞音在此區間出現，就會有與送氣塞音混淆的可能。而在更高位置的 30 到 50 毫秒區間互相重疊的送氣與不送氣塞音就更有混淆的機會。

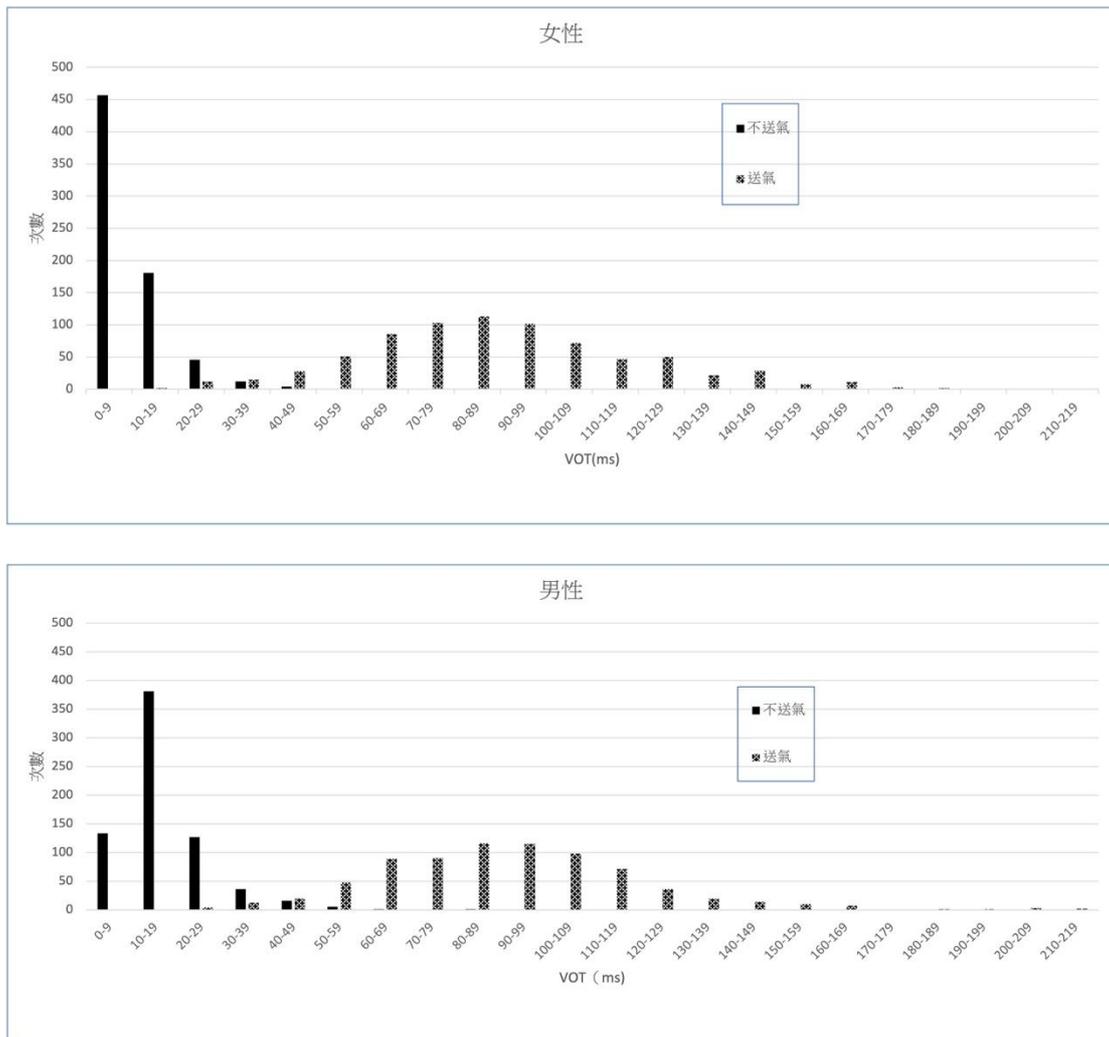


圖 4 依性別區分之不送氣與送氣塞音 VOT 分佈範圍統計

#### 四、結果與討論

本研究檢視性別是否會影響華語的 VOT，統計結果顯示，性別效應對不送氣塞音有明顯的影響，男性在三個構音部位的不送氣塞音 VOT 都比女性更長，但是在送氣塞音上則沒有差異。Li(2013) 及 Peng, Chen & Lee(2014)都指出，華語男性的不送氣塞音的 VOT 比女性長，這點與本研究相同。這

也證明華語塞音在不送氣音的 VOT 上確有性別差異，而且是男性的 VOT 較長，因此後續相關研究必須將此點列入考慮。將來若有以華語不送氣音為主的研究，必需事先考慮性別因素。

本研究也同時測量元音及構音部位對 VOT 的影響，結果顯示元音以及構音部位二者都會影響 VOT，這與文獻記載一致。但是這二者都與性別無

交互作用，也就是說，性別效應的影響是獨立的。不過 Morris (2008) 同樣以單音節對英語 VOT 所做的測量，卻發現男性和女性並無差異，而性別與元音及構音部位有交互作用，這與本研究的結果正好相反。Morris (2008) 曾舉 Higgins, Sell & Schulte(1998)的研究為例，推斷交互作用是因為女性較廣的均值分佈以及男性較大的標準差分佈所致，不過本研究無此現象。他並且推斷可能是因為發音材料的關係，單音節或許還不足以呈現出空氣動力與喉腔對 VOT 的影響，如果改為短語或句子，可能就會有不同結果。不過本研究顯示華語在單音節即有顯著差別，這也是華語和英語不同的地方。

語速方面，本研究原本藉由控制語速的方式，消弭發音人的個人發音習慣影響。可是實際在自然語速及控制語速上的兩份錄音的比較上，並沒有發現顯著差異。可能是因為所控制的速度太接近自然發音的速度，所以差異無法呈現。由自然語速及固定語速兩份資料沒有統計上顯著差異可知，其實節拍器的加入，並沒有大幅改變實際發音表現，卻提醒了發音人要更謹慎小心。錄音的情境下朗讀單音節字，原本就會刻意發出較為「標準」的發音。但是藉由語速的控制，加上節拍器的提醒，卻使得發音人更加謹慎，而且男女的反應不一樣，由表 1 及表 2 可見，男女在自然語速和控制語速下的表現不同。雖然不論送氣與否，男性的 VOT 均值都大於女性。可是進一步檢視男性的送氣與不送氣塞音 VOT 的差距會發現，男性在自然語速下，送氣與不送氣塞音 VOT 差距為 70.3ms (86.1-15.8ms)，而女性則為 79.7ms (88.8-9.1ms)。可見男性使用自然語速說話時，短延遲與長延遲的差距較女性為短。可是固定語速之後，男性把送氣與不送氣塞音的 VOT 都加長，尤其是送氣塞音的均值提高了很多，造成短延遲與長延遲之間的差距增加，由 70.3ms 增加為 78.4ms (94.5-16.1ms)。女性在固定語速之後，則是將送氣與不送氣的 VOT 都稍微

縮短，不過 VOT 差距也由 79.7ms 增加為 80.7ms (88.5-7.8ms)。可見在節拍器的提醒下，男女都發得更為謹慎，而且都有加大送氣與不送氣塞音 VOT 之間差距的企圖。

Kessinger et. al.(1997)指出，VOT 其實並沒有一個確定的「標準」值，它實際上會因應各種情境而有變化。不過在變化的同時，發音人也會盡力維持各類別的特定分佈範疇，好讓聽話人能夠正確解讀。而華語不送氣與送氣塞音的區別，表現在氣流的長短不同，也就是短延遲和長延遲的差異。短延遲和長延遲之間的差異越明顯，二者的區分就會更清楚。二者之間的差距拉大後，辨識度也就隨之提高。男性在自然語速下，不送氣塞音 VOT 長，送氣塞音 VOT 又和女性無差別，聽起來就不如女性發音清晰可辨。再加上又有不送氣音和送氣音 VOT 重疊的情況，也就容易發得較不標準 (non-standard)。而由整體詞語時長的比較來看，男性與女性間沒有差異，也證明男性的確是把 VOT 唸得比較長，而不是直接將整個詞語唸長一點。在本次實驗中，男性在固定語速之下的最大變化，就是將不送氣與送氣之間的差距由自然語速的 71ms 拉長到 78ms，結果就是接近女性的發音表現 (自然語速 79ms，固定語速 81ms)，也可看出有刻意拉長送氣與不送氣音的距離之企圖。Peng, Chen & Lee(2014)對華語和客語的研究也發現，在這兩種語言中，不送氣與送氣之間差距都是女性大於男性。

關於 VOT 性別差異的成因，有學者以生理結構不同來解釋(Koenig 2000; Cho & Ladefoged, 1999; Docherty, 1992)。他們認為男女的聲門氣流不同，VOT 的性別差異導因於男女聲帶長短的差別。女性通常聲帶較短，由空氣動力學的角度而言，較短的聲帶使得女性必須要有額外的時間去製造能夠跨越聲門的氣壓。尤其是在原本使用空間就很小的軟齶塞音上，這會造成女性發出較長的 VOT。此種性別造成的生理差異在 Simpson(2002)

對元音所做的研究中也獲得證實。

另外也有學者認為，VOT 的性別差異不是生理因素造成的，而是一種社會語言現象。例如 Oh (2011) 研究韓國三種塞音的性別表現，發現女性在長延遲的送氣音 (aspirated) 上，VOT 比男性短，但是在較短的鬆音 (lenis) 和緊音 (fortis) 上則無差異，這個發現與英語的 VOT 性別差異情況不同。如果 VOT 的性別差異是因為生理構造所致，那麼人類的生理結構是相同的，不應該在長延遲的送氣塞音上出現相反的結果。再加上當前韓國年輕人的 lenis 和 aspirated 這兩種塞音逐漸不分，塞音之間的類別差距正在縮小甚至重疊。因此她認為，韓國的 VOT 在性別上的差異，是一種社會語言學上的性別差異現象，因語言群體不同而有不同表現。女性的發音消弭了塞音類別的差異，正好與韓國當前年輕人的發音趨向一致，這也就是說，韓國女性正在引導語言改變。

性別差異 (gender difference) 是社會語言學上一個重要議題，男女因生理結構不同，原本就有基頻等發音上的差異。可是另有許多差異是後天學習而來的，與生理性別 (sex) 無關。社會語言學的研究顯示，女性說話較為謹慎，傾向於使用正式的標準發音 (Byrd, 1994; whiteside, 1996)，華語和英語顯然就符合這個規律。台灣大學生的男性不送氣音的 VOT 較女性長，也會導致與送氣音之間的時間縮短，音韻類別不明顯，就是較不標準的發音。但是韓國的情況卻相反，Oh(2011) 所提出韓國的 VOT 有性別差異，表現為男性的送氣音 (aspirated) VOT 比女性要長，在韓國的音韻類別中，送氣音長，其實是較為標準的發音。女性送氣音發音較短，反而會導致類別重疊，是較不標準的發音。也就是說，韓國男性的發音是比較標準的。不過語言改變是另一個語言面向，畢竟語言改變和標準語並不一定重合，女性雖然使用高變體的情況較多，但是流行的高變體，會因為社會情境而不同，且不一定就是標準語。而且變化發生時，女性

對於創新形式接受會更快，如 Labov (2001) 所提的費城語音變化的例子。

本研究發現，華語的 VOT 呈現出性別差異現象，而且是男性的不送氣 VOT 較長。可是在英語的研究中，卻是女性的送氣 VOT 較男性為長。這也反映出基於喉腔大小的生理因素解釋，不能符合所有的語言，因為這不能解釋華語及韓語的情況。如果 VOT 是因為男女生理因素不同所造成，不應該有此現象。由於英語、韓語、華語三者的性別差異表現各不相同，可是社會語言學卻能夠解釋這些不同的差異現象，且本研究中，男性還會在謹慎情境下改變發音，因此華語的 VOT 性別差異，應該是一種社會語言現象較為合理。

## 參考文獻

- [1] Allen, J. S., Miller, J. L., & DeSteno, D. (2003). Individual talker differences in voice-onset-time. *Journal of the Acoustical Society of America*. 113.1: 544-552
- [2] Auzou, p., Ozsancak, C., Morris, R. J., Jan, M., Eustache, F., Hannequin, D., 2000. Voice onset time in Aphasia, apraxia of speech and dysarthria: a review. *Clinical Linguistics & Phonetics*. 14.2: 131-150.
- [3] Baran, J. A., Laufer, M. Z., Daniloff, R. 1977. Phonological contrastivity in conversation: a comparative study of voice onset time. *Journal of Phonetics*. 5.4: 339-350.
- [4] Byrd, D. 1992 Relations of sex and dialect to reduction. *Speech Communication*. 15: 39-54.
- [5] Chao, K. Y., Khattab, G., & Chen, L. M. 2006. Factors affecting the authenticity of VOT in stops by native Chinese speakers. *Proceedings of the Fifteenth International Symposium on English Teaching*. 2: 19-27. Crane Publishing Co.
- [6] Cho, T., & Ladefoged, P. 1999. Variation and universality in VOT: Evidence from 18

- Language. *Journal of Phonetics*. 27: 207-229.
- [7] Hanjun Liu, Manwa L.Ng, Mingxi Wan, Supin Wang, & Yi Zhang. 2008. The Effect of Tonal Changes on Voice Onset Time in Mandarin Esophageal Speech. *Journal of Voice*. 22.2: 210-218.
- [8] Higgins, M.B., Netsell, R., Schulte, L. 1998. Vowel-related differences in laryngeal articulatory and phonatory function. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*. 41.4: 712-724.
- [9] Jäncke, L., 1994. Variability and duration of voice onset time and phonation in stuttering and nonstuttering adults. *Journal of Fluency Disorders*. 19.1: 21-37.
- [10] Peng, Jui-Feng Chen, Li-mei & Lee, Chia-Cheng. 2009. Tonal Effects on Voice Onset Time. *中文計算語言學期刊*. 14.4: 341-361.
- [11] Keating, P., Mikos, M.J., & Ganong, W.F. 1981. A cross-language study of range of voice onset time in the perception of initial stop voicing. *The Journal of the Acoustical Society of America*. 70.5: 1261-1271.
- [12] Kessinger R.H., Blumstein S.E. 1998. Effects of speaking rate on voice-onset time in Thai, French, and English. *Journal of Phonetics*. 25.2: 143-168.
- [13] Labov, W. 2001. *Principles of Linguistic Change, Volume 2: Social Factors*. Oxford UK; Cambridge Mass.: Blackwell.
- [14] Lisker, L. & Abramson, A.S. A Cross-language Study of Voicing in Initial Stops: Acoustic Measurements. *Word*. 20: 384-422.
- [15] Miller JL, Green KP, Reeves A. 1986. Speaking Rate and Segments: A Look at the Relation between Speech Production and Speech Perception for the Voicing Contrast. *Phonetica*. 43: 106-115.
- [16] Morris, R., & Brown, W. S., Jr. 1987. Age-related voice measures among adult women. *Journal of Voice*. 1: 38-43.
- [17] Moris, R. J., McCrea, C. R., & Herring, K.D. 2008. Voice onset time differences between adult males and females: Isolated syllables. *Journal of Phonetics*. 36: 308-317.
- [18] Ogasawara, N. 2011. Acoustic Analysis of Voice-Onset Time in Taiwan Mandarin and Japanese. *Concentric: Studies in Linguistics*. 37.2: 155-178.
- [19] Oh, Eunjin. 2011. Effects of speaker gender on voice onset time in Korean Stops. *Journal of Phonetics*. 39: 59-67.
- [20] Ryalls, J. Zipprer, A. Baldauff, P. 1997. A Preliminary Investigation of the Effects of Gender and Race on Voice Onset Time. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*. 40.3: 642-645.
- [21] Scharf, G., & Masur, H. 2002. Voice Onset Time in Normal Speakers of a German Dialect: Effects of Age, Gender, and Verbal Material. *Investigations in Clinical Phonetics and Linguistics*. Edit by Windsor, F., Kelly, L.M., Hewlett, N. NY: Psychology Press. 327-339.
- [22] Swartz, B.L. 1992. Gender differences in voice onset time. *Perceptual and Motor Skills*. 75: 983-992.
- [23] Sweeting, P.M., & Baken, R.J. 1982. Voice onset time in a normal-aged population. *Journal of Speech and Hearing Research*. 25: 129-134.
- [24] Whiteside, S. P. 1995. Temporal-based speaker sex difference in read speech: a sociophonetic approach. *Proceedings of The XIIIth International Congress of Phonetic Sciences*. 3: 516-519. Stockholm: KTH and Stockholm University.
- [25] Whiteside, S. P. 1996. *Temporal-based acoustic phonetic patterns in real speech: some evidence for speaker sex difference*. *Journal of the International Phonetic Association*. 26: 23-40.

- [26] Whiteside, S. P. & Irving, Caroline J. 1997. Speakers' sex differences in voice onset time: some preliminary findings. *Perceptual and Motor Skills*. 85: 459-463.
- [27] 吳 剛. 2012. 〈英、漢爆破音 VOT 對比及對語音教學的啟示〉,《中國科教創新導刊》。19: 93。
- [28] 彭瑞鳳. 2009. 《嗓音起始時間影響因素之探討—以國語和客語為研究對象》,國立成功大學碩士論文。
- [29] 鄭靜宜. 2005. 〈不同言語速度、發語單位和發語位置對國語音段時長的影響〉,《南大學報》。39:161-185。
- [30] 鄭鮮日、李英浩. 2007. 〈英語、漢語濁音起始時間(VOT)對比以及漢族學生學習英語塞音研究〉,《長春師範學院學報(人文社會科學版)》, 26.1: 92-95。



# 於 LoRa 工業物聯網中以感知無線為基礎之媒介存取控制 協定設計

## A Cognitive Radio-based MAC Protocol for LoRa in Industrial IoT

吳建民 南華大學資訊工程系教授

### 摘 要

在感知無線環境下，以LoRa為基礎設計滿足多重通道單一跳躍工業物聯網中即時和非即時資料傳輸之改良分散式佇列MAC協定。在此，改良分散式佇列機制將以節點剩餘能量多寡決定競爭時槽取代分散式佇列的隨機挑選機制，以降低節點能量消耗及資料傳遞延遲。而多重通道將可解決終端節點流量壅塞所衍生碰撞的問題，感知無線也可解決LoRaWAN最大工作週期調變的限制。因此本論文將於LoRa工業物聯網中以感知無線為基礎，設計改良分散式佇列媒介存取控制協定以滿足資料傳遞延遲QoS及頻譜共享最大化。

**關鍵詞：**LoRa、分散式佇列、工業物聯網、感知無線

Chien-Min Wu, Professor, Depart. of Computer Science and Information  
Engineering, Nanhua University

### **Abstract**

The multichannel single-hop cognitive radio-based MAC protocol with periodic real-time and aperiodic nonreal-time traffic is proposed for LoRa in Industrial IoT. The contention slot of distributed queuing (DQ) MAC protocol is selected randomly. However, the contention slot of modified distributed queuing MAC protocol is determined by the residual energy of node. And this scheme will reduce the energy consumption and propagation delay. For the multichannel of cognitive radio will solve the collision problems under heavy traffic load. And cognitive radio will also solve the maximum duty-cycle regulation limits. In the first year, the modified distributed queuing MAC protocol will be proposed to satisfy QoS requirements of propagation delay and spectrum sharing maximized.

**Keywords:** RoLa, Distributed Queuing , IIoT, Cognitive Radio.

## 一、前言

物聯網(Internet of Things, IoT) 是一個具有唯一定址且萬物可互相連結的全球性網路, 它可透過任何網路及任何服務, 允許任何人、任何物在任何時間、任何地點互相通訊連結[1]。因此物聯網的應用涵蓋範圍相當廣泛, 包含智慧型感測器、智慧家庭應用、環境監測及工廠自動化等, 然而這些物聯網應用必須藉由無線傳輸技術才能達到無所不在的資訊存取及無縫接軌互動式通訊目的[2]。

將大規模智慧終端裝置和網路技術融合在工業生產及工業製造當中, 實現生產自動化及提高生產可靠度和可控制性, 此即所謂的工業物聯網(Industrial IoT, IIoT)。而工業物聯網的崛起及普及, 必將引起第四次工業革命的發生, 亦即引領工業4.0的到來。然而, 要達到工業物聯網的要求必須有新的通訊技術才得以實現[3]。

低功率廣域網路(Low-power Wide Area Network, LPWAN) 是一個新興的通訊技術, 它可以讓無線通訊達到長距離的傳輸, 在許多應用上, 可解決蜂巢式網路或短距離的無線通訊的問題, 亦可進行功能上的互補。對於大範圍區域、低傳輸速率且擁有大量低功耗終端節點的物聯網應用, LPWAN也能提供有效率的能量利用[4]。

LPWAN組成包含LoRa實體層及LoRaWAN媒介存取層。LoRa(Long Range)是一個可提供長距離(最遠可達20公里)、低傳輸速率(0.3kbps到27kbps)且低功耗(電池壽命長)的新技術, 且基礎設施建置與營運成本較低廉。在許多物聯網應用中, 如智慧城市、貨物追蹤及健康偵測即需要這樣的無線傳輸特性[5,6]。

LoRa是設計給需要低功耗且長距離物聯網應用的展頻調變技術, 即使在很低的資料輸出情況下, 對於雜訊仍然具備很高的強健性, 因此非常適合在工業物聯網中[7]。而LoRaWAN是建構在LoRa實體層之上的媒介存取控制協定, 以純

ALOHA(Pure ALOHA, P-ALOHA)協定為基礎, 然而P-ALOHA在高負載的情況下容易產生壅塞, 使得P-ALOHA不具備擴展性[8]。

LoRaWAN媒介存取層以星狀拓樸組成網路架構, 閘道負責終端節點與伺服器的連結, 終端節點透過單一跳躍(Single Hop)將資料送到閘道, 閘道透過非LoRaWAN網路(如蜂巢式網路或乙太網路)連結到伺服器。LoRaWAN資料傳輸以從終端節點送到閘道的上傳為主, 但仍具備雙向通訊功能[9]。

LoRaWAN的一個重要問題是以P-ALOHA協定為基礎。當終端節點有資料要傳送時會立即隨機傳送, 並等待閘道的回應。然而不同終端節點有可能使用相同展頻因子、相同通道在相同時間送出資料, 因此導致資料碰撞而降低系統效能。當資料流量增加時, 碰撞的情況將更形嚴重。

在工業物聯網中, 也常會面臨一些確定性的資料流量, 如採取傳統隨機傳送的P-ALOHA協定將無法達成。因此LoRaWAN必須有其他協定方法來取代P-ALOHA或採取混合式ALOHA協定設計才行。而時間分割多重存取(Time Division Multiple Access, TDMA)可依據時槽和可使用的通道分配資源給以ALOHA為基礎的通訊存取, 因此TDMA可以提供即時和非即時的資料傳輸並確保資料傳輸的公平性[9]。

在LoRa的物聯網中, 當使用較高的展頻因子時將會增加封包傳輸時間(Time of Air, ToA), 尤其在網路邊緣的終端節點所送出的封包, 其封包碰撞機率將顯著增加, 因此如何保持LoRa通訊的可靠度將是一項嚴重的挑戰。在[10]中, 作者提出RS-LoRa的媒介存取控制協定, RS-LoRa藉調整終端節點的傳輸功率以降低封包碰撞並改善LoRaWAN可靠度及擴展性。在[11]中, 作者提出一個改良P-ALOHA隨機傳送協定的時槽式ALOHA (Slotted ALOHA, S-ALOHA)機制, 藉提供同步機制以改善LoRaWAN封包遺失和系統效能, 但此方法無法提供即時流量傳遞延遲的保證。

在[12]中，作者提出針對LoRaWAN網路中類別A終端裝置同步及行程安排機制，透過網路伺服器來安排資料傳輸上行及下載的行程。每一個終端裝置必須與網路伺服器同步，藉由對伺服器提出資料傳輸的要求以獲得所安排的時槽。

在[13]中，作者提出一個on-demand LoRa的媒介存取控制協定，此協定包含unicast和multicast TDMA兩種機制。進行unicast TDMA機制時，閘道對單一終端節點發出wake-up的訊框；進行multicast TDMA機制時，閘道對數個終端節點發出wake-up的訊框。然而on-demand LoRa的資料傳輸是由閘道決定並非由終端節點決定，對於需要非週期性傳輸的物聯網終端節點並不適用。在[14]中，作者提出一個可以支援即時流量的媒介存取控制協定，然而此方法不能提供非即時流量的資料傳輸。

由於TDMA機制仍然存在碰撞的問題，尤其當流量增加時碰撞問題將更形嚴重。為了解決碰撞的問題，在[15]中，作者首先提出分散式佇列隨機存取協定(Distributed Queuing Random Access Protocol, DQRAP)，DQRAP可以讓終端節點共享同一個通道且與終端節點數量無關。DQRAP的好處是不會增加封包的傳遞延遲，因此不會影響系統輸出。DQRAP有兩個佇列一個是資料傳輸佇列(Data Transmission Queue, DTQ)，一個是碰撞解析佇列(Collision Resolution Queue, CRQ)。[16]作者在分散式佇列媒介存取控制協定中，只用3個碰撞競爭時槽即讓系統輸出達到很好的效果。

兩個可適用於有線且有中央基礎架構網路的延伸式DQRAP(Extended DQRAP)[17]和具優先傳輸DQRAP(Prioritized DQRAP)[18]被提出來。在延伸式DQRAP中增加了碰撞競爭時槽的數量；在具優先傳輸DQRAP中，具優先傳輸的封包具備優先傳輸的順序。[19]作者將DQRAP應用在具有長傳遞延遲的衛星通訊環境中。

[20]作者提出DQRAP與編碼分割多重存取(Code Division Multiple Access, CDMA)結合的

DQRAP/CDMA方法，並將此方法應用在3G蜂巢式網路中，以改善隨機存取輸出量、系統輸出穩定度及傳遞延遲。[21]作者提出具備差異式服務品質保證的DQRAP，藉此改善系統輸出量及封包傳遞延遲。

[22]作者提出在單一跳躍群集式架構之無線隨意網路DQ MAC協定，藉此改善系統輸出量及封包傳遞延遲。[23]作者提出一個合作式的DQ MAC協定，藉由中繼節點的互助合作克服碰撞的問題。

[24]作者提出在一個具有低傳輸功率、大量終端節點及有突發性流量的低功率分散式佇列(Low-Power Distributed Queuing, LPDQ)MAC協定。LPDQ在低流量時，依訊框時槽式ALOHA(Frame Slotted ALOHA, FSA)自行安排資料傳輸；當流量增加時，依據TDMA機制克服碰撞的問題。[25]作者提出在LoRa實體層之上建置分散式佇列媒介存取控制協定稱為DQ-LoRa，作者證明DQ-LoRa在系統輸出、傳遞延遲及能量消耗比時槽式ALOHA具有很好的改善效果。

[26]作者提出可以支援LoRa即時資料傳輸媒介存取控制協定稱為RT-LoRa，並將此協定應用在IIoT。RT-LoRa為中央基礎架構MAC協定支援週期性即時和非週期性非即時流量，RT-LoRa非週期性資料傳輸使用S-ALOHA，但不支援失敗重傳，而週期性即時流量使用TDMA機制。

無線通訊系統在資料傳輸時，必須做到避免與其他無線通訊系統的互相干擾，因此現今大多數的無線頻譜已被固定式的授權給一些傳統的通訊系統，如電視系統等。根據研究顯示，這些固定式的公用無線頻譜，在大多數的時間裡，在相同時間、地點，無線頻譜使用效率的變動範圍高達15%至85%，也就是說高達85%至15%的頻譜是被浪費的。因此如果能在無線頻譜空閒階段時，把頻段暫時讓給其他需要傳輸資料的無線使用者使用，便能提升無線頻譜使用效率，這就是感知無線的基本概念[27]。

本論文將於 LoRa 工業物聯網中以感知無線為基礎設計一個多重通道單一跳躍(Multichannel、Single hop)之改良分散式佇列即時和非即時資料傳輸 MAC 協定。在感知無線環境下，以 LoRa 為基礎設計滿足工業物聯網中即時和非即時資料傳輸的單一跳躍改良 DQ MAC 協定設計。一般 DQ MAC 協定，終端節點採隨機選擇競爭時槽，本論文將以終端節點剩餘能量來決定競爭時槽以降低節點能量消耗及降低傳遞延遲。而感知無線多重通道功能將可解決節點流量壅塞所衍生碰撞的問題，感知無線也可解決 LoRaWAN 最大工作週期調變的限制，藉此提升系統輸出量，然而在感知無線多重通道環境下必須解決多重通道隱藏節點問題，才能滿足資料傳遞延遲 QoS 及頻譜共享最大化。

接下來透過模擬分析，探討於 LoRa 工業物聯網中以感知無線為基礎設計一個多重通道單一跳躍(Multichannel、Single hop)之改良分散式佇列即時和非即時資料傳輸 MAC 協定之系統輸出及傳遞延遲。

本論文其餘章節安排如下，第二章將介紹相關研究。第三章說明本論文所提出來的 LoRa 工業物聯網中以感知無線為基礎之媒介存取協定，第四章介紹模擬環境與結果分析，第五章提出結論。

## 二、相關研究

使用ISM非授權頻譜雖然沒有付費問題，然而 LoRaWAN的效能受到ISM非授權頻譜工作週期調變的限制。最大工作週期定義為一個終端節點佔據一個通道時間之最大百分比，使得工作週期變成非授權頻譜網路運作的一個關鍵限制。因此 LoRaWAN在每次資料傳輸時必須進行虛擬隨機通道跳頻以符合最大工作週期的限制[9]。

如果 $d$ 代表在一個次頻帶(sub-band)的最大工作週期，資料傳輸時間(Time on air, ToA)以 $T_a$ 表

示，則每一個終端節點在一個次頻帶的最小等待期(off-period)  $T_s = T_a(\frac{1}{d} - 1)$ 。以EU 868 ISM頻譜的最大工作週期只有1%為例，亦即每一個終端節點在每一個次頻帶一小時內的最大傳輸時間只有36秒。由此可知ISM非授權頻譜工作週期調變對系統效能影響甚鉅[9]。因此如何解決最大工作週期過低的困境變成是LoRa的一項重要課題。

感知無線的主要概念是當主要使用者(Primary Users, PUs)的授權頻譜(Licensed Spectrum)空閒時，次要使用者(Secondary Users, SUs)尋找適當的頻譜機會(Spectrum Opportunity)，在不干擾PUs及不與其他SUs互相干擾的情況下，暫時使用此授權頻譜完成通訊的目地，使得整個無線資源的利用率達到最佳化的技術，這個概念被稱為動態頻譜存取(Dynamic Spectrum Access)和感知無線網路(Cognitive Radio Networks, CRNs)。由於感知無線技術具備動態頻譜感測與取得的特性[27]，因此如能將感知無線應用在LoRa環境中，將可解決LoRa使用ISM非授權頻譜最大工作週期過低的問題，也能提升LoRaWAN網路的效能及降低終端節點能量消耗[9]。

事實上，目前已經可以透過資料庫查詢獲取電視白頻段授權頻譜的空閒時間並加以利用，然而LoRaWAN並沒有設計在電視白頻段(TV White Spaces)上的機制[9]。而本論文將感知無線技術與LoRaWAN結合，藉由感知無線技術提升系統輸出量及降低終端節點的能量消耗。然而LoRa在感知無線環境下的媒介存取控制協定必須在多重通道下克服兩個碰撞問題：一個是IIoT終端節點之間的碰撞；另一個是PUs與IIoT終端節點之間的碰撞。因此如何設計一個LoRa在IIoT環境下的感知無線多重通道媒介存取控制協定，在不干擾PU的前提下，解決隱藏終端節點的問題，提升通道使用效率以提升系統輸出量，且能降低系統終端節點能量消耗，也是本論文要克服的議題。

分散式佇列隨機存取協定(Distributed Queuing Random Access Protocol, DQRAP)首先由[15]作者在M/D/1佇列環境中所提出來，作者證明在DQ MAC協定之下系統效能和有多少終端節點共享一個通道傳送資料無關，這表示系統效能不會受到流量的影響。在M/D/1佇列環境中，當負載很低時終端節點可以即時取得通道，當負載很大時可以快速地進入保留系統，系統被切割成許多週期，每個週期包含m個競爭時槽和一個資料時槽，在競爭時槽取得資料通道的節點可以在資料時槽傳送資料。然而M/D/1佇列環境中所傳送的資料必須是固定封包大小且在固定大小的時槽間隔內傳送，且每一個週期只允許一個節點傳送一個封包，贏得競爭的節點必須依序在不同週期傳送封包[16]。

[15, 16]作者在競爭週期皆使用三個競爭時槽。而[17]作者在競爭週期只使用一個競爭時槽，因此競爭時槽只有成功、空閒及碰撞三種情況會發生，參與競爭節點可以立即得知是否競爭成功。[18]作者提出PDQRAP(Priority DQRAP)，每一個節點依照優先權分類在不同的競爭時槽競爭。[19]作者提出在M/M/1佇列環境中，DQ MAC協定和CDMA結合應用在移動通訊網路中的效能分析探討。

在[15-19]中，作者在single hop環境中使用一個或三個競爭時槽，且每一個CAP週期只允許一個節點傳送一筆固定大小資料封包。因此，雖然分散式佇列依競爭碰撞的順序可以依序解析將資料傳送出去，但還是會造成傳遞延遲。

因此本論文將探討在多重通道單一跳躍感知無線LoRa工業物聯網環境中，流量對競爭週期時槽個數的關係，藉由節點剩餘能量多寡決定競爭時槽，以提升系統輸出量及降低傳遞延遲；且一個CAP週期內允許競爭成功終端節點連續占用多個資料時槽傳送多筆資料。

[25]作者提出在LoRa實體層之上建置分散式佇列媒介存取控制協定DQ-LoRa，DQ-LoRa允許一個CAP週期內競爭節點依DQ演算法依序將資料傳

送出去。然而DQ-LoRa在每一個Beacon Interval期間，和[16]作者所提方法一樣，依然最多只能傳送一個封包且所傳送資料必須固定大小。[26]作者提出在IIoT環境下支援LoRa即時資料傳輸媒介存取控制協定RT-LoRa。RT-LoRa利用TDMA支援週期性即時流量；利用S-ALOHA支援非週期性非即時流量，但不支援失敗重傳。

### 三、LoRa 工業物聯網中以感知無線為基礎之媒介存取協定

本論文將於LoRa工業物聯網中以感知無線為基礎，設計一個多重通道單一跳躍改良分散式佇列媒介存取控制協定支援即時和非即時資料傳輸，以確保IIoT在感知無線環境下能提升系統輸出量、降低終端節點能量消耗及降低傳遞延遲時間。

在LoRa工業物聯網環境中，如能克服感知無線的問題，多重通道將能解決單一通道面臨的問題。實際將感知無線應用於IIoT環境中仍然有許多問題須克服。這些問題包含：如何確保multichannel資料傳送、如何在multichannel環境中克服隱藏節點並安排通道、如何在不干擾PU的條件下來使用PU通道、如何在PU通道之間成功轉換及如何在多重通道環境中同時避免多重通道隱藏節點。

為了增加系統效能，本論文將利用感知無線技術感測LoRa工業物聯網空閒PU通道，在不干擾PU的情況下借用PU空閒通道。然而感知無線之多重通道將使環境變得更加複雜，因此MAC協定設計必須考慮如何在不干擾PU的條件下機會式的使用PU空閒通道。為了解決LoRaWAN的P-ALOHA終端節點碰撞問題，本論文也將DQ演算法加入感知無線LoRa工業物聯網的MAC協定中。為改善DQ演算法傳遞延遲問題，將以節點剩餘能量決定競爭時槽。

由於在LoRa工業物聯網延長系統生命時間及

確保傳遞延遲 QoS 的要求，因此本論文也將探討以感知無線為基礎實現多重通道 IIoT 環境下即時和非即時資料傳送之改良 DQ MAC 協定，使系統更能符合實際環境的需求並提升系統效能。

本論文所提於 LoRa 工業物聯網中以感知無線為基礎之改良分散式佇列媒介存取控制協定，為了避免干擾感知無線的 PU 節點，系統時間將資料通道分割為多個 Beacon Interval，Beacon Interval 的長度大小將隨節點即時流量而調整，但最大值設定為不干擾感知無線 PU 節點的最大容忍度。每個 Beacon Interval 再區分為感測週期 (Sensing Period)、競爭存取週期 (Contention Access Period, CAP)、免競爭週期 (Contention-Free Period, CFP), downlink, CFP Ack 五個部分 (圖 1)。

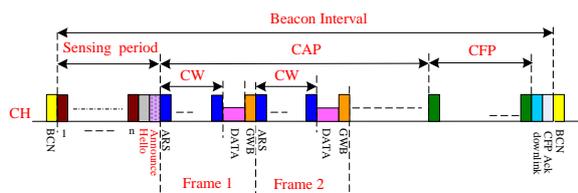


圖 1 於 LoRa 工業物聯網中以感知無線為基礎多重通道單一跳躍改良分散式佇列 MAC 協定。

因此本論文於 LoRa 工業物聯網中以感知無線為基礎之多重通道單一跳躍之改良分散式佇列 MAC 協定中，各個相位功能說明如下：

**第一相位之感測視窗(Sensing Window):**

此相位目的在避免與 PU 節點正在使用通道的干擾，閘道經由感測週期得到可使用的 PU 通道，閘道統計 PU 借用成功機率，依據此成功機率從可使用 PU 通道動態挑選一個最穩定通道當作資料通道。

**第二相位稱為競爭存取週期(Contention Access Period, CAP):**

在此相位中想要進行資料傳輸的 IIoT 節點，必須在資料通道透過此競爭視窗進行通道的取得，此相位也將針對感知無線多重通道 LoRa 工業物聯網系

統中隱藏節點 SU 問題，提出解決機制。在此相位中，要進行資料通訊的 IIoT 終端節點依據第二相位競爭，進行通道存取確認。此相位包含：

**(1)存取要求序列(Access Request Sequence, ARS):**

想要傳送資料給閘道的終端節點在競爭視窗依節點剩餘能量多寡挑選一個競爭時槽並送出 ARS，每一個時槽會有成功、空閒及碰撞三種情況，再利用改良分散式佇列 MAC 協定依序解析。在此將依節點剩餘能量多寡分為數個等級，每個等級對應到不同的競爭時槽，因此可以降低節點能量消耗及降低傳遞延遲。

**(2)資料傳送(Data):**

在前一個競爭週期依改良分散式 MAC 協定成功競爭的節點可以在此傳送資料，但如果沒有任何一筆 ARS 成功則閘道直接送出 GWB。

**(3)閘道廣播(Gateway Broadcast, GWB):**

閘道將 ARS 競爭結果及成功傳送 ARS、DATA 的節點廣播出去給終端節點。

**第三相位之免競爭週期(Contention-Free Period, CFP):**

提供即時從終端節點到閘道的單一方向資料上傳 (uplink)，時槽採用 TDMA 機制並安排給已經確認且週期性的資料傳輸。

**第四相位之 downlink:**

提供閘道要下傳資料或命令給終端節點使用。

**第五相位之 CFP Ack:**

提供閘道針對 CFP 週期的確認。

在圖 1 中，每個參與 IIoT 的終端節點均必須依照上列五個相位進行通道感測、競爭存取、免競爭存取、通道釋放等幾個步驟。為了更切合實際情況，PU 並不參與整個媒介存取控制協定的運作，每一個控制訊框將以最大可允許的傳輸功率進行。

因此本論文將規劃下列六個方向：

第一：將感知無線技術與 LoRaWAN 結合之改良分

散式佇列媒介存取控制協定設計。

第二：依流量調整之適應性競爭週期時槽個數之改良分散式佇列媒介存取控制協定設計。

第三：CAP 週期內允許競爭成功節點連續傳送多筆資料之改良分散式佇列媒介存取控制協定設計。

第四：支援即時和非即時資料傳輸之改良分散式佇列媒介存取控制協定設計。

第五：以節點剩餘能量多寡決定挑選競爭時槽之改良分散式佇列媒介存取控制協定設計。

第六：服務品質保證之改良分散式佇列媒介存取控制協定設計。

為了確保能量消耗及資料傳輸 QoS 延遲時間在允許範圍內，及系統輸出量也能達到最大化。本論文也將確保系統會有最佳的網路生命時間 (Network Life Time)，網路生命時間定義為系統開始運作之後至第一個終端節點能量耗盡所持續的生命時間長短。為完成以上目標，接下來將針對於 LoRa 工業物聯網中以感知無線為基礎之改良分散式佇列媒介存取控制協定設計細節說明：

## 1.動態資料通道(Dynamic Data Channel ; DDC)設計

### 第一相位之感測視窗(Sensing Window)

第一相位開始，閘道及每一個終端節點都必須對 PU 通道進行感測。之後使用 IEEE 802.11 之計時同步功能(Timer Synchronization Function, TSF) 進行同步，閘道傳送自己的 BCN 訊框，此 BCN 訊框攜帶自己在資料通道的區域時間(Local Time)，其他 single hop 鄰居之終端節點收到此 BCN 訊框時間，就更新自己的時間。在第一相位中，閘道及終端節點將維護一個通道狀態記錄表，此表記錄閘道及終端節點借用 PUs 空閒通道進行資料傳輸的成功次數、失敗次數與成功機率。

在先前的參考文獻中，大都是切換至每一個通道進行感測，但對每一個通道感測容易消耗能量。因此本論文將利用成功機率來決定是否要對每一個通道進行感測，因此所提協定將能因對通道選擇

性感測減少能量消耗。

### 第二相位之競爭存取週期(Contention Access Period, CAP)

進行一般資料傳輸之終端節點必須經由 ARS/DATA/GWB 之改良版 DQ MAC 競爭機制取得通道傳輸的權限。因碰撞未能成功送出 ARS 訊框，必須在競爭週期內，透過倒退機制在 CAP 週期結束之前重新競爭，如仍未能成功進行控制訊框交換必須等待下一個 CAP 週期才能再進行通道競爭。

ARS 訊框是每一個終端節點要進行資料傳輸時對閘道所提出的傳輸要求訊框，在 ARS 子週期中可依據終端節點流量調整 ARS 時槽個數，因此在執行完此 ARS 子週期，在不同時槽可能同時存在競爭成功的終端節點。

在 ARS 子週期中，終端節點將依剩餘能量多寡決定競爭優先權，剩餘能量愈低的終端節點將擁有較高傳輸權限，且依剩餘能量多寡挑選不同的競爭時槽。ARS 競爭成功終端節點即獲得傳送資料的權限。競爭失敗的終端節點依改良版 DQ MAC 演算法解析排序傳送資料。

GWB 訊框是閘道對終端節點的廣播訊框，閘道透過 GWB 將 ARS 競爭結果廣播出去。

### 第三相位之免競爭週期(Contention-Free Period, CFP)

提供終端節點即時對閘道的單一方向資料上傳(uplink)，時槽採用 TDMA 機制並安排給已經確認且週期性的資料傳輸。

### 第四相位之 downlink

提供閘道要下傳資料或命令給終端節點使用。

### 第五相位之 CFP Ack

提供閘道針對 CFP 週期的確認。

## 2.感測週期控制訊框功能

**Hello**：閘道用來通知終端節點加入 IIoT 的資料通道確認訊框。

**Announce**：當一個新終端節點要加入 IIoT 或舊終端節點要離開 IIoT 所發出的訊框。

### 3.競爭週期控制訊框功能

**ARS**：訊框內容包含終端節點對閘道提出資料傳送所需通道及預計要傳送資料時間多寡的要求。終端節點將資料通道 ID 及資料傳輸時間放在 ARS 中。ARS 訊框也包含終端節點 ID 及終端節點剩餘電池能量  $Power_{res}$ 。

**GWB**：閘道之競爭視窗結果廣播，乃閘道對競爭視窗時槽經過終端節點競爭之後的確認訊框廣播。

**DATA**：終端節點透過競爭機制成功取得通道，便可進行資料傳輸。終端節點在一開始對系統所提出占用通道時間結束時，如要進行更多資料傳送就必須回到下一個 Beacon Interval，再次透過競爭週期之通道感測、通道競爭、通道取得及通道釋放等步驟。此目的在避免終端節點佔用 PU 通道太長時間。

**INT**：當閘道感測到 PU 節點啟動之後，閘道將對已經進行資料傳輸的終端節點透過資料通道傳送一個中斷訊框，要求終端節點中斷資料傳輸，以降低終端節點對隱藏節點 PU 節點的干擾。INT 中斷訊框為所有控制訊框中優先權最高之控制訊框，可在資料通道隨時發出。

### 4.於 LoRa 工業物聯網中以感知無線為基礎改良分散式佇列媒介存取控制協定之表格維護及訊框欄位設計

為了達成以上目標，將規劃本論文所提 MAC 協定之表格及控制訊框格式。於 LoRa 工業物聯網中以感知無線為基礎，終端節點必須維護一個通道狀態記錄表、一個 HELLO 記錄表及一個鄰居節點表。藉由閘道與終端節點的 Sensing

period/CAP/CFP/downlink/CFP link 五個步驟的控制訊框交換，進行資料傳輸機制，並克服終端節點間多重通道隱藏節點問題，當隱藏節點問題能夠解決之後，將能降低節點能量消耗及提升系統輸出量。接下來是此 MAC 協定之表格及訊框欄位設計說明：

#### (1)BEACON 記錄表

每一個終端節點必須維護一個 Beacon 記錄表，此表記錄閘道發出 Beacon 訊框之成功次數 ( $N_{BCNsus}$ )、失敗次數 ( $N_{BCNfail}$ ) 與成功機率 ( $P_{BCNsus}$ )。Beacon 記錄表具有以下欄位(圖 2):  $CDC_{Id}$ ,  $GW_{Id}$ ,  $N_{BCNsus}$ ,  $N_{BCNfail}$ ,  $P_{BCNsus}$ 。 $CDC_{Id}$  是閘道所選定的動態資料通道； $GW_{Id}$  是閘道的編號。

$CDC_{Id}$	$GW_{Id}$	$N_{BCNsus}$	$N_{BCNfail}$	$P_{BCNsus}$
------------	-----------	--------------	---------------	--------------

圖 2 Beacon 記錄表的欄位格式。

#### (2)通道狀態記錄表(Channel Status Recording Table, CSRT)

閘道維護一個通道狀態記錄表，CSRT 記錄每一個通道取得成功次數 ( $N_{CHsuccess}$ ) 與失敗次數 ( $N_{CHfail}$ )。閘道選擇一個通道依據成功機率來決定。 $CDC_{Id}$  是閘道所選定的動態資料通道。 $GW_{Id}$  是閘道的編號。 $P_{CHsuccess}$  表示通道成功機率。 $P_{CHthreshold}$  表示是否要進行通道感測之最低臨界機率。通道狀態記錄表具有以下欄位(圖 3):  $CDC_{Id}$ ,  $GW_{Id}$ ,  $N_{CHsuccess}$ ,  $N_{CHfail}$ ,  $P_{CHsuccess}$ ,  $P_{CHthreshold}$ 。

$CDC_{Id}$	$GW_{Id}$	$N_{CHsuccess}$	$N_{CHfail}$	$P_{CHsuccess}$	$P_{CHthreshold}$
------------	-----------	-----------------	--------------	-----------------	-------------------

圖 3 通道狀態記錄表的欄位格式。

#### (3)鄰居節點表(Neighbor Node Table, NNT)

每個終端節點必須記錄傳輸範圍內的閘道、鄰居及 PUs。此表目的在協助終端節點在 LoRa

工業物聯網環境之多重通道中克服隱藏節點問題時，所必須知道閘道及終端節點間彼此鄰居關係。此表的建立將藉由收到 ARS/GWB 等控制訊框來建立，並藉此知道鄰居終端節點與 PUs 節點所使用通道狀況。鄰居節點表具有以下欄位（圖 4）： $CDC_{Id}$ ， $GW_{Id}$ ， $PU_{Id}$ ， $Nbr_{Id}$ 。 $CDC_{Id}$  是閘道所選定的資料通道。 $GW_{Id}$  是閘道的編號。 $Nbr_{Id}$  表示鄰居節點編號； $PU_{Id}$  表示鄰居 PU 節點編號。

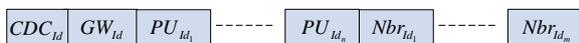


圖 4 鄰居節點表的欄位格式。

(4)訊框格式

**Beacon:** 閘道對鄰居終端節點所發出同步訊框。具有以下欄位： $CDC_{Id}$ ， $GW_{Id}$ ， $Timer$ （圖 5）。 $CDC_{Id}$  是閘道所選定的動態資料通道； $GW_{Id}$  是閘道的編號； $Timer$  是閘道計時器。



圖 5 Beacon 的欄位格式。

**Hello:** 閘道對鄰居終端節點所發出通道確認訊框。具有以下欄位： $CDC_{Id}$ ， $GW_{Id}$ ， $CW_{Length}$ （圖 6）。 $CDC_{Id}$  是閘道所選定的動態資料通道。 $GW_{Id}$  是閘道的編號。 $CW_{Length}$  是 CAP 週期競爭視窗時槽個數。

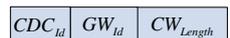


圖 6 Hello 的欄位格式。

**Announce:** 新的終端裝置加入或原來終端裝置要離開對閘道和鄰居節點所發出確認訊框。具有以下欄位： $CDC_{Id}$ ， $GW_{Id}$ ， $SU_{Id}$ （圖 7）。 $CDC_{Id}$  是閘道所選定的動態資料通

道。 $GW_{Id}$  是閘道的編號。 $SU_{Id}$  是終端裝置編號。



圖 7 Announce 的欄位格式。

**ARS:** 欄位包含  $CDC_{Id}$ ， $SU_{Snd}$ ， $GW_{Id}$ ， $SU_{Id}$ ， $Power_{Res}$ ， $NAV_{CHid}$ （圖 8）。 $CDC_{Id}$  是閘道所選定的資料通道； $SU_{Snd}$  指終端節點； $GW_{Id}$  是閘道的編號； $SU_{Id}$  是  $SU_{Snd}$  之 single hop 鄰居終端節點編號； $Power_{res}$  是終端節點所剩餘電池能量； $NAV_{CHid}$  是終端節點資料傳輸預估時間。



圖 8 ARS 欄位格式。

**GWB:** 閘道通道廣播乃閘道對競爭視窗經過終端節點競爭之後的確認訊框。具有以下欄位： $CDC_{Id}$ ， $GW_{Id}$ ， $Status_{Slot}$ （圖 9）。 $CDC_{Id}$  是閘道所選定的動態資料通道； $GW_{Id}$  是閘道的編號； $Status_{Slot}$  是指競爭視窗每一個競爭時槽經過終端節點競爭之後的狀態(成功、碰撞及空間)。



圖 9 GWB 欄位格式。

**downlink:** 閘道下傳給終端節點資料或命令之時槽。具有以下欄位： $CDC_{Id}$ ， $GW_{Id}$ ， $SU_{Id}$ ， $Data$  or  $Command$ （圖 10）。 $CDC_{Id}$  是閘道所選定的資料通道； $GW_{Id}$  是閘道的編號； $SU_{Id}$  是指終端節點； $Data$  or  $Command$  是指閘道下傳給終端節點的訊息。

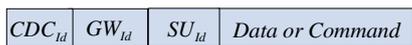


圖 10 downlink 的欄位格式。

**CFP ack:** 閘道收到終端節點在 CFP 週期所傳送資料之後的確認訊框。具有以下欄位：

$CDC_{id}$ ,  $GW_{id}$ ,  $SU_{id}$  (圖 11)。



圖 11 CFP ack 欄位格式。

**INT:** 在 PU 傳輸範圍內的閘道感測到 PU 節點啟動之後，對已經進行資料傳輸的終端節點透過資料通道傳送一個最高優先權的中斷訊框，能降低對 PU 的干擾機率。具有以下欄位： $CDC_{id}$ ,  $GW_{id}$ ,  $SU_{id}$  (圖 12)。 $CDC_{id}$  是閘道所選定的動態資料通道； $GW_{id}$  是閘道的編號； $SU_{id}$  是指終端節點。



圖 12: INT 的欄位格式。

#### 四、模擬與討論

本系統由 4 個 PU 節點及 400 個 SU 節點所組成，分布在 1200 x 1200 平方公尺範圍內。假設所有 SU 節點電源都維持在開的狀態，在沒有開始調整傳輸範圍之前，控制訊框的傳輸範圍固定在 250 公尺，系統模擬時間為 20,000 秒，4 個 PU 位置固定在(300, 300) , (900, 300) , (300, 900) , (900, 900) , 即總共有 4 個資料通道。另外系統還有一個獨立的控制通道。

每一筆資料都經個 10 次模擬結果取平均值，為了避免因路徑問題，整個網路拓樸圖共均分為 100 個區塊，所有 400 個 SU 節點平均分布在 100 個區塊內。在此定義離開比率為單位時間內中斷連線數量；到達比率為單位時間內建立連線數量。假設系統資料流量為均勻分佈 ( Uniformly distributed )，平均每一秒資料離開比率固定為 0.05，平均每一秒資料到達比率為從 1 到 512。若

到達比率為 64 表平均每一秒到達的資料連線為 64。每一個 PU 通道頻寬為 2Mbps。

在圖 13 中，當 PU 啟動的數量為 0 且到達比率為 224 時，系統有最大輸出量 0.402Mbps。當 PU 啟動的數量增加時，系統輸出量將隨著減少。從圖 13 可知，隨著到達比率慢慢增加，系統輸出量將慢慢增加。但當到達比率為 224 時，系統即達到飽和。此時到達比率再增加時，系統輸出量將遞減。

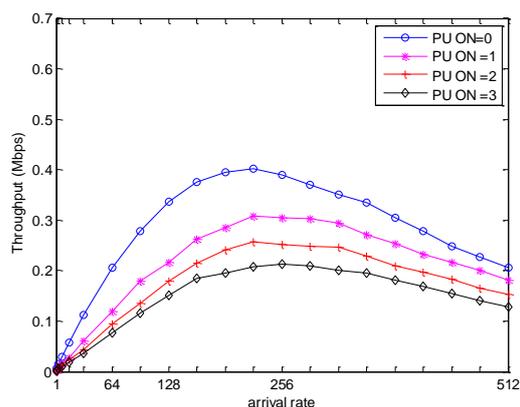


圖 13 以 LoRa 為基礎工業物聯網中相對於 PU 開啟數量的系統輸出量比較。

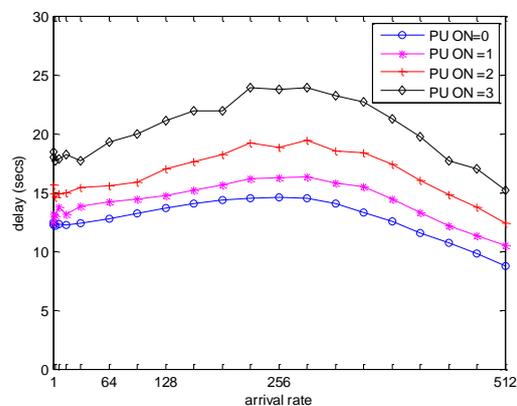


圖 14 以 LoRa 為基礎工業物聯網中相對於 PU 開啟數量的傳遞延遲比較。

在圖 14 中，當 PU 啟動的數量為 3 且到達比率為 288 時，系統有最大傳遞延遲 23.92 secs。當 PU 啟動的數量增加時，系統傳遞延遲將隨著增加。本論文所討論的傳遞延遲是指成功連線的傳遞延遲時間，因此當系統飽和之後，成功連線數量也會降低。此時到達比率再增加時，成功連線數量降

低且系統傳遞延遲遞減。

當部分網路節點因能量消耗殆盡結束生命將因而中斷部分連線且降低系統輸出。本論文改良分散式佇列機制以節點剩餘能量多寡決定競爭時槽，剩餘能量較少節點將減少競爭以節省能量，以確保網路生命週期的延長進而提升網路輸出。

## 五、結 論

本論文研究於LoRa工業物聯網中以感知無線為基礎改良分散式佇列媒介存取控制協定，藉由改良分散式佇列媒介存取控制協定探討無線網路系統輸出量及資料傳遞延遲。當PU 啟動的數量為0且到達比率為224時，系統達到飽和狀態有最大輸出量0.402Mbps。當PU 啟動的數量為3且到達比率為288時，系統有最大傳遞延遲23.92 sec。當PU 啟動的數量增加時，SU可用通道減少，SU彼此之間競爭增加，系統輸出量將隨著減少且系統傳遞延遲也隨著增加。從本協定設計可得知在無線資料傳輸網路系統中，當建立連線數量達到一定值時系統輸出量即達飽和，若連線數量持續增加，系統會因超載而使系統輸出逐漸下降。因此本協定可透過模擬針對系統環境找到最佳連線數。

## 誌 謝

感謝審稿委員的辛苦，讓本篇論文能更加完善。也感謝南華大學校內專題計畫的支持，計畫編號為 Y109000045，使本論文得以順利進行，特此致上感謝之意。

## 參考文獻

[1] A. A. Khan, M. H. Rehmani and A. Rachedi, "Cognitive-Radio-Based Internet of Things: Applications, architectures, spectrum related functionalities, and future research directions," *IEEE Wireless Comm.*, vol. 24, no. 3, pp. 17–25,

Jun. 2017.

[2] J. Gubbi, R. Buyya, S. Marusic, and M. Palaniswami, "Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions," *Future Gener. Comput. Syst.*, vol. 29, no. 7, pp. 1645–1660, Sep. 2013.

[3] L. Leonardi, F. Battaglia, and L. LoBello, "Industrial LoRa: a Novel Medium Access Strategy for LoRa in Industry 4.0 Applications," *IECON 2018 - 44th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, Washington, DC, USA, Oct. 2018.

[4] M. Luvisotto, F. Tramarin, L. Vangelista, and S. Vitturi, "On the Use of LoRaWAN for Indoor Industrial IoT Applications," *Wireless Communications and Mobile Computing*, vol. 2018, pp. 1–11, 05 2018.

[5] M. Centenaro, L. Vangelista et al., "Long-range communications in unlicensed bands: the rising stars in the IoT and smart city scenarios," *IEEE Wireless Communications*, vol. 23, no. 5, pp. 60–67, October 2016.

[6] M. Bor, J. Vidler, and U. Roedig, "LoRa for the Internet of Things," in *EWSN 2016*, USA: Junction Publishing, 2016, pp. 361–366.

[7] L. Tessaro, C. Raffaldi, M. Rossi, and D. Brunelli, "Lightweight Synchronization Algorithm with Self-Calibration for Industrial LoRa Sensor Networks," in *MetroInd4.0&IoT 2018*, April 2018, pp. 259–263.

[8] W. Wu, Y. Li, Y. Zhang, B. Wang, and W. Wang, "Distributed Queuing Based Random Access Protocol for LoRa Networks," *IEEE Internet of Things J.*, DOI:10.1109/JIOT.2019.2945327, pp. 1–10, Oct. 2019.

[9] A. Ferran, V. Xavier, T.P. Pere, M. Borja, M-S Joan and W. Thomas, "Understanding the Limits of LoRaWAN," *IEEE Communications Magazine*, vol. 55, no. 9, pp. 34–40, Sep. 2017.

- [10] B. Reynders, Q. Wang, P. Tuset-Peiro, X. Vilajosana et al., “Improving Reliability and Scalability of LoRaWANs Through Lightweight Scheduling,” *IEEE Internet of Things J.*, vol. 5, no. 3, pp. 1830–1842, June 2018.
- [11] T. Polonelli, D. Brunelli, and L. Benini, “Slotted ALOHA Overlay on LoRaWAN: a Distributed Synchronization Approach,” *ArXiv*, Sep. 2018.
- [12] J. Haxhibeqiri, I. Moerman, and J. Hoebeke, “Low Overhead Scheduling of LoRa Transmissions for Improved Scalability,” *IEEE Internet of Things J.*, vol. 6, no. 2, pp. 3097–3109, April 2019.
- [13] R. Piyare, A. L. Murphy, M. Magno, and L. Benini, “On-Demand LoRa: Asynchronous TDMA for Energy Efficient and Low Latency Communication in IoT,” *Sensors (Basel)*, vol. 18, no. 11, Nov. 2018.
- [14] M. Rizzi, P. Ferrari, A. Flammini, E. Sisinni, and M. Gidlund, “Using LoRa for industrial wireless networks,” in *WFCS*, May 2017, pp. 1–4.
- [15] W. Xu and G. Campbell, “A near perfect stable random access protocol for a broadcast channel,” in *Proc. IEEE Int. Conf. Commun. (ICC)*, vol. 1, Jun. 1992, pp. 370–374.
- [16] W. Xu and G. Campbell, “A distributed queuing random access protocol for a broadcast channel,” in *Proc. Conf. Commun. Archit., Protocols Appl. (SIGCOMM)*, New York, NY, USA, 1993, pp. 270–278.
- [17] C.T. Wu and G. Campbell, “Extended DQRAP (XDQRAP). A cable TV protocol functioning as a distributed switch,” in *Proc. Int. Workshop Community Netw. Integr. Multimedia Services Home*, Jul. 1994, pp. 191–198.
- [18] H.J. Lin and G. Campbell, “PDQRAP-prioritized distributed queuing random access protocol,” in *Proc. IEEE Conf. Local Comput. Netw.*, Oct. 1994, pp. 82–91.
- [19] C.T. Wu and G. Campbell, “Interleaved DQRAP with global TQ,” Dept. Comput. Sci., Illinois Inst. Technol., Chicago, IL, USA, Tech. Rep., 1995.
- [20] L. Alonso, R. Agusti, and O. Sallent, “A near-optimum MAC protocol based on the distributed queuing random access protocol (DQRAP) for a CDMA mobile communication system,” *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 18, no. 9, pp. 1701–1718, Sep. 2000.
- [21] E. Kartsakli, A. Cateura, J. Alonso-Zarate, C. Verikoukis, and L. Alonso, “Cross-layer enhancement for WLAN systems with heterogeneous traffic based on DQCA,” *IEEE Commun. Mag.*, vol. 46, no. 6, pp. 60–66, Jun. 2008.
- [22] J. Alonso-Zarate, E. Kartsakli, L. Alonso, and C. Verikoukis, “Performance analysis of a cluster-based MAC protocol for wireless ad hoc networks,” *EURASIP J. Wireless Commun. Netw.*, vol. 2010, no. 1, p. 619–625, 2010.
- [23] J. Alonso-Zarate, L. Alonso, C. Skianis, and C. Verikoukis, “Analysis of a distributed queuing medium access control protocol for cooperative ARQ,” in *Proc. IEEE GLOBECOM*, Dec. 2010, pp. 1–5.
- [24] P. Tuset-Peiro, F. Vazquez-Gallego, J. Alonso-Zarate, L. Alonso, and X. Vilajosana, “LPDQ: A self-scheduled TDMA MAC protocol for single hop dynamic low-power wireless networks,” *Pervasive Mobile Comput.*, vol. 20, pp. 84–99, Jul. 2015.
- [25] W. Wu, Y. Li, Y.H. Zhang, B. Wang, and W. Wang, “Distributed Queuing Based Random Access Protocol for LoRa Networks,” *IEEE Internet of Things J.*, vol. 6, no. 1, pp. 1–9, Oct. 2019.
- [26] L. Leonardi, F. Battaglia, and L. LoBello,

- “RT-LoRa: A Medium Access Strategy to support Real-time flows over LoRa-based networks for Industrial IoT applications,” *IEEE Internet of Things J.*, vol. 6, no. 6, pp. 1-12, Sep. 2019.
- [27] A. A. Khan, M. H. Rehmani and A. Rachedi, “Cognitive-Radio-Based Internet of Things: Applications, architectures, spectrum related functionalities, and future research directions,” *IEEE Wireless Communications*, vol. 24, issue 3, pp. 17–25, June 2017.
- [28] W. Zhou, Z. Tong, Z.Y. Dong, and Y. Wang, “LoRa-Hybrid: A LoRaWAN Based Multihop Solution for Regional Microgrid,” in *Proc. ICCCS*, Singapore, Feb. 2019.
- [29] J. Haxhibeqiri, E. D. Poorter, I. Moerman, and Jeroen Hoebeke, “A Survey of LoRaWAN for IoT: From Technology to Application,” *Sensors*, vol. 18, pp. 1–38, 2018.
- [30] H.K. Lee, J. Hwang, S.L. Kim and R. Jantti, “Throughput and delay analysis of network coded ALOHA in wireless networks,” *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, no. 277, pp. 1–15, 2012.
- [31] A. Laya, C. Kalalas, F. Vazquez-Gallego, L. Alonso and J. Alonso-Zarate, “Goodbye, ALOHA!,” *IEEE Access*, vol. 4, pp. 2029-2044, Jun. 2016.

# 臺南市競技游泳運動員知覺教練領導行為、團隊凝聚力 與訓練滿意度之研究

## A study of Relations between Coach's Leadership Behavior, Team Cohesion and Training Satisfaction in Tainan Competitive Swimmers

黃鈺鈞 遠東科技大學休閒運動管理碩士學位學程研究生

黃啟明 遠東科技大學休閒運動管理碩士學位學程副教授

### 摘 要

本研究方向在探討不同背景變項的臺南市競技游泳運動員知覺教練領導行為、團隊凝聚力與訓練滿意度之研究之間的差異及相關，以臺南競技游泳運動員為研究對象，共發出問卷 300 份，有效問卷為 298 份。以「臺南市競技游泳運動員知覺教練領導行為、團隊凝聚力與訓練滿意度」自編問卷為研究工具，採獨立樣本 t-test、單因子變異數分析、Pearson 積差相關及簡單線性回歸分析等方法進行資料分析。所得結果如下：

一、臺南市競技游泳運動員知覺教練領導行為、團隊凝聚力與訓練滿意度整體感受是高的。

二、分析臺南市競技游泳運動員知覺教練領導行為、團隊凝聚力與訓練滿意度不同背景變項，研究結果顯示臺南市競技游泳運動員在知覺教練領導行為中，「教練領導行為」研究變項當中之性別對「訓練與指導行為」與訓練單位對「關懷行為」具有顯著差異。臺南市競技游泳運動員在團隊凝聚力中，「團隊凝聚力」研究變項當中之性別對「人際吸引」與訓練單位對「團隊合作」具有顯著差異。臺南市競技游泳運動員在訓練滿意度中，「訓練滿意度」研究變項當中之性別對「訓練內容」、「教練領導」與訓練單位「團隊氣氛」具有顯著差異。

三、探討臺南市競技游泳運動員知覺教練領導行為、團隊凝聚力與訓練滿意度之關係。

(一)臺南市競技游泳運動員知覺教練領導行為與團隊凝聚力有顯著正向影響。

(二)臺南市競技游泳運動員知覺教練領導行為跟訓練滿意度有顯著正向影響。

(三)臺南市競技游泳運動員在團隊凝聚力跟訓練滿意度有顯著正向影響。

**關鍵詞：** 競技游泳運動員、教練領導行為、團隊凝聚力、訓練滿意度

HUANG, YU-HUNG, Graduate Student, Master Degree Program in Leisure and Sports Management, Far East University

Chi-Ming Huang; Associate Professor, Master Degree Program in Leisure and Sports Management, Far East University

### **Abstract**

The direction of this research is to explore the differences and correlations between the perceived coaching leadership behavior, team cohesion and training satisfaction of Tainan competitive swimmers with different background variables. Taking Tainan competitive swimmers as the research object, a total of 300 questionnaires were sent out. There are 298 valid questionnaires. Using the self-compiled questionnaire "Tainan Competitive Swimmers Perceived Coaching Leadership Behavior, Team Cohesion and Training Satisfaction" as the research tool, independent sample t-test, single factor analysis of variance, Pearson product difference correlation and multiple stepwise regression were used to conduct the research analyse information. The results obtained are as follows:

1. According to the research on the perceived coaching leadership behavior, team cohesion and training satisfaction of competitive swimmers in Tainan City, it is found that the interviewed competitive swimmers in Tainan City have a "middle to upper" feeling level in the research topic.

2. Analyze whether there are differences in the background variables of Tainan competitive swimmers' perception of coach leadership behavior, team cohesion and training satisfaction. The research results show that Tainan competitive swimmers have a dimensionality of "training and leadership behavior" in their perception of "coach leadership behavior". Among the different backgrounds of guiding behavior, democratic behavior, and authoritarian behavior, there are significant differences in "school grade" and "best grades", and "reward behavior" in "best grades" has significant differences. In "Team Cohesion", different backgrounds have significant differences in "Teamwork", "Interpersonal Interaction" and "Interpersonal Attraction" in "Academic Grade", "Interpersonal Interaction" and "Interpersonal Attraction" in "Training Years", "Training content" and "Achievement performance" in "Best results". In "Training Satisfaction", there are significant differences among different backgrounds in "Training Content", "Coach Leadership" in "Academic Grade", "Coach Leadership", "Team Atmosphere" and "Venue Facilities" in "Training Years"., "Training Content" and "Achievement Performance" in "Best Results".

3. Discuss the relationship between perceived coach leadership behavior, team cohesion and training satisfaction of competitive swimmers in Tainan City. The results show that all three have a significant positive influence on each other.

**Keywords:** Competitive Swimmer, Coach's Leadership Behavior, Team Cohesion,  
Training Satisfaction

## 壹、緒 論

### 一、研究背景與動機

競技游泳做為奧運第二大項的單項運動項目，根據鄭人豪(2008)的發現，臺灣競技游泳由日本統治開始發展。競技游泳的比賽項目可分成六個項目，自由式、仰式、蛙式、蝶式、混合式、接力，並各長短距離，總計有 23 項，再依性別區分，一場游泳賽事高達 46 項，在這些項目，如何達標，運動員泳技的專精，教練的領導行為，團隊成員彼此形成的凝聚力，訓練內容以及運動員特質，均影響著每一次的賽事表現。

在臺灣的競技游泳賽事，對國中高中運動員而言，每年有地方賽事的國高中游泳錦標賽、中等學校游泳錦標賽、全國中等學校游泳錦標賽、總統盃游泳錦標賽、全國分區賽四場、全國春季賽、全國冬季賽，林林總總一年下來十幾場的比賽結果，運動員對教練的領導方式，團隊成員當中所獲得的凝聚力與訓練的成效。

游泳運動員每日的訓練過程中，須數小時在一條水道進行，在與其他運動項目與場地變化因素為低，在這種環境下，運動員的狀態對於游泳教練所表現出領導行為會影響教練與運動員的訓練滿意度。故此游泳教練的領導行為對運動員動作技巧完全表現出來的時程與運動員面對教練的領導方式有著重大的影響。

從人類開始有團體的概念是從群居發展出來，故此團體是三個不同人員以上組成的一個群體關係，從中開始進行組織分工合作，以達到整體目標。

團隊凝聚力可大略區分：外在因素，如獎勵和補償制度、團隊成員面臨的競逐與挑戰；內在因素，如：團隊的規模、團隊成員的年齡、運動員之間的同質性、組織結構和 團隊的領導力、運動員的動機、體育傳統等，決定了團隊成員之間不同程度的凝聚力(Alexandru, 2020)。

團隊凝聚力在小組成員的訓練的呈現效率和

訓練結果水平是由多種正向與反向因素影響，如：成員的同質性/異質性、對成員目標的同意/分歧、團隊的吸引力、小組成員之間互動的質量和頻率、小組內任務和角色的明確分配、小組外威脅的存在/不存在、領導類型等。除了這些有利/不利的凝聚力因素外，運動員的性格、多樣性訓練的動機和水平、運動員之間以及運動員與教練間的溝通互動關係、團體成員之間的競爭也可以被視為特定因素(Alexandru, 2020)。

歷年有多位學者在各自領域研究教練領導行為、運動員特質、運動價值觀、團隊凝聚力、團隊適應、運動員訓練滿意度、團隊滿意度、參與動機等等的研究方向，然而對於運動員知覺游泳教練的領導行為、團隊凝聚力與訓練滿意度等國內的相關研究較少，游泳教練在面對不同的運動員以及各種不同的情境因素下，瞭解其實際的「教練領導行為」、「團隊凝聚力」、運動員對「訓練滿意度」，這對於提升游泳運動員的運動成績、提升教練領導行為模式、教練對團隊的凝聚力以及教練對運動員的訓練方式，為本研究的動機，透過本研究找出對於競技游泳運動員知覺到教練之領導行為、運動員在團隊中之凝聚力與運動員對訓練滿意度之間相互關係。

### 二、研究問題

(一)調查臺南市競技游泳運動員知覺教練領導行為、團隊凝聚力與訓練滿意度之現況情形為何？

(二)分析不同背景變項之臺南市競技游泳運動員知覺教練領導行為是否有顯著差異？

(三)分析不同背景變項之臺南市競技游泳運動員團隊凝聚力是否有顯著差異？

(四)分析不同背景變項之臺南市競技游泳運動員訓練滿意度是否有顯著差異？

(五)分析臺南市競技游泳運動員知覺教練領導行為對團隊凝聚力是否有影響？

(六)分析臺南市競技游泳運動員知覺教練領導行為對訓練滿意度是否有影響？

(七)分析臺南市競技游泳運動員團隊凝聚力對訓練滿意度是否有影響？

## 貳、研究方法

### 一、研究對象與抽樣

#### (一)預試對象

研究預試問卷編制完成後，預試問卷以註冊 2022 年臺南市體育局之競技游泳運動員為預試對象，預計 2022 年 11 月 1 日至 2022 年 11 月 30 日止發出 60 份問卷，回收後剔除無效問卷後，進行預試問卷之信、效度分析。

#### (二)正式施測對象

本研究以臺南市中等學校運動會游泳錦標賽為抽樣場次，實施日自 2023 年 01 月 06 日起至 2023 年 01 月 08 日止，每場次於比賽開始前發放研究問卷，採用立意抽樣方式進行，在每隊運動員休息區先逐一詢問有意願填答的運動員後再發給正式問卷填答。預計施測 300 份問卷。

### 二、研究工具

#### (一)背景變項資料

變項資料中測量構面選取「性別」、「學級」、「訓練年資」、「泳姿專項」、「最佳成績」、「訓練單位」等 6 個統計變項，作為本研究背景變項構面。

#### (二)教練領導行為測量工具編制

採用自編題目方式編制，題目編制係參考黃慧宜(2017)、羅嘉明(2017)、施思敏(2019)、林毓軒(2021)、吳育豪(2022)，根據學者研究教練領導行為模式指出之五項構面分別為 1.訓練與指導行為 2.民主行為 3.專制行為 4.關懷行為 5.獎勵行為，內容衡量進行改編，共計 25 題。量表採用李克特(Likert)五點尺度量表進行分析。

#### (三)團隊凝聚力測量工具編制

採用自編題目方式編制，題目編制係參考陳靜如(2020)、蕭孟均(2020)、林毓軒(2021)、朱育勤

(2021)、劉元福(2021)，根據學者研究團隊凝聚力模式指出之四項構面分別為 1.團隊合作 2.人際互動 3.團隊適應 4.人際吸引，內容衡量進行改編，共計 20 題。量表採用李克特(Likert)五點尺度量表進行分析。

#### (四)訓練滿意度量表

訓練滿意度量表，參考羅嘉明(2017)、李育珊(2018)、施思敏(2019)、廖育瑩(2020)，根據學者研究訓練滿意度指出之五項構面分別為：1.訓練內容 2.教練領導 3.團隊氣氛 4.成就表現 5.場地設施，內容衡量進行改編，共計 25 題。量表採用李克特(Likert)五點尺度量表進行分析。

## 參、結果與分析

### 一、臺南市競技游泳運動員知覺教練領導行為、團隊凝聚力與訓練滿意度之現況分析

#### (一)臺南市競技游泳運動員知覺教練領導行為之現況分析

本研究以臺南市競技游泳運動員為研究對象，以自編問卷調查運動員對知覺教練領導行為之現況，結果由表 1 可知，教練領導行為總平均數為 3.89；各構面因素填答結果為「訓練與指導行為」平均數為 4.59、標準差為 0.51，「民主行為」平均數為 3.83、標準差為 0.94，「專制行為」平均數為 2.22、標準差為 0.67，「關懷行為」平均數為 4.47、標準差為 0.66，「獎勵行為」平均數為 4.33、標準差為 0.62，由統計結果得臺南市競技游泳運動員知覺「教練領導行為問卷」感受程度為「中上」。

表 1 臺南市競技游泳運動員知覺教練領導行為描述統計分析

教練領導行為	人數	題數	平均數	標準差
訓練與指導行為	298	5	4.59	0.51
民主行為	298	5	3.83	0.94
專制行為	298	5	2.22	0.67
關懷行為	298	5	4.47	0.66
獎勵行為	298	5	4.33	0.62
總計	298	25	3.89	0.68

## (二)臺南市競技游泳運動員團隊凝聚力之現況分析

本研究以臺南市競技游泳運動員為研究對象，以自編問卷調查運動員對團隊凝聚力之現況，結果由表 2 可知，團隊凝聚力總平均數為 3.53；各構面因素填答結果為，「團隊合作」平均數為 4.45、標

準差為 0.65，「人際互動」平均數為 4.59、標準差為 0.51，「團隊適應」平均數為 4.59、標準差為 0.51，「人際吸引」平均數為 4.02、標準差為 0.57，由統計結果得臺南市競技游泳運動員「團隊凝聚力問卷」感受程度為「中上」。

表 2 臺南市競技游泳運動員團隊凝聚力描述統計分析

團隊凝聚力	人數	題數	平均數	標準差
團隊合作	298	5	4.45	0.65
人際互動	298	5	4.59	0.51
團隊適應	298	5	4.59	0.51
人際吸引	298	5	4.02	0.57
總計	298	20	3.53	0.45

## (三)臺南市競技游泳運動員訓練滿意度之現況分析

本研究以臺南市競技游泳運動員為研究對象，以自編問卷調查運動員對訓練滿意度之現況，結果由表 3 可知，訓練滿意度總平均數為 4.33；各構面因素填答結果為，「訓練內容」平均數為 4.59、標

準差為 0.51，「教練領導」平均數為 3.83、標準差為 0.94，「團隊氣氛」平均數為 4.47、標準差為 0.66，「成就表現」平均數為 4.33、標準差為 0.62，「場地設施」平均數為 4.43、標準差為 0.63，由統計結果得臺南市競技游泳運動員「訓練滿意度問卷」感受程度為「中上」。

表 3 臺南市競技游泳運動員訓練滿意度描述統計分析

問卷變項	人數	題數	平均數	標準差
訓練內容	298	5	4.59	0.51
教練領導	298	5	3.85	0.94
團隊氣氛	298	5	4.47	0.66
成就表現	298	5	4.33	0.62
場地設施	298	5	4.43	0.63
總計	298	25	4.33	0.67

二、臺南市競技游泳運動員知覺教練領導行為、團隊凝聚力與訓練滿意度之差異分析

(一)不同背景變項臺南市競技游泳運動員知覺教練領導行為之差異分析

不同背景變項運動員知覺教練領導行為差異分析，結果由表 4 分析得知，教練領導行為總體分

數部份無顯著差異，臺南市競技游泳運動員知覺「教練領導行為」，在不同「學年級」、「最佳成績」具顯著差異；而在不同「性別」、「訓練年資」、「泳姿專項」、「訓練單位」部分則無顯著差異存在。

表 4 不同背景變項臺南市競技游泳運動員知覺教練領導差異分析

變項	背景變項	結果	構面分析結果	事後比較
教練領導行為	性別	-0.721, p=0.472		
	學年級	4.255*, p=0.002	訓練與指導行為(2.564*, p<.05) 民主行為(36.066*, p<.05) 專制行為(5.237*, p<.05)	1<2.3
	訓練年資	0.758, p=0.470	民主行為(16.794*, p<.05) 關懷行為(2.602*, p<.05)	1<2.3 1>2.3
	泳姿專項	1.969, p=0.224	關懷行為(3.730*, p<.05)	3<4
	最佳成績	3.279*, p=0.012	訓練與指導行為(3.123*, p<.05) 民主行為(4.056*, p<.05) 專制行為(3.292*, p<.05) 獎勵行為(3.959*, p<.05)	1<2 1<2.3.4 2.3.4>5 1>2 2>5
	訓練單位	0.672, p=0.379		

(二)不同背景變項臺南市競技游泳運動員團隊凝聚力之差異分析

不同背景變項運動員對團隊凝聚力差異分析，結果由表 5 分析得知，團隊凝聚力總體分數部份無顯著差異，臺南市競技游泳運動員對「團隊凝聚力」，

在不同「學年級」、「訓練年資」、「最佳成績」具顯著差異；而在不同「性別」、「泳姿專項」、「訓練單位」部分則無顯著差異存在。

表 5 不同背景變項臺南市競技游泳運動員對團隊凝聚力差異分析

變項	背景變項	結果	構面分析結果	事後比較
團隊凝聚力	性別	0.033, p=0.200		
	學年級	3.264*, p=0.012	團隊合作(5.945*, p<.05) 人際互動(3.047*, p<.05) 人際吸引(3.146*, p<.05)	1>3.5, 2>5 1>4 1.3<4.5
	訓練年資	3.879*, p=0.043	人際互動(6.797*, p<.05) 人際吸引(6.121*, p<.05)	1<2, 2>3 1<3, 2<3
	泳姿專項	1.520, p=0.354	團隊合作(3.296*, p<.05)	2<4
	最佳成績	4.356*, p=0.002	團隊合作(4.241*, p<.05) 人際吸引(7.867*, p<.05)	1>5 1<2, 2>5
	訓練單位	0.839, p=0.451		

(三)不同背景變項臺南市競技游泳運動員訓練滿意度之差異分析  
 不同背景變項運動員對訓練滿意度差異分析，結果由表 6 分析得知，訓練滿意度總體分數部份無顯著差異，臺南市競技游泳運動員對「訓練滿意度」，在不同「學年級」、「訓練年資」、「最佳成績」具顯著差異；而在不同「性別」、「泳姿專項」、「訓練單位」部分則無顯著差異存在。

表 6 不同背景變項臺南市競技游泳運動員對訓練滿意度差異分析

變項	背景變項	結果	構面分析結果	事後比較
團隊凝聚力	性別	-0.930, p=0.061		
	學年級	5.879*, p=0.000	訓練內容(2.564*, p<.05) 教練領導(35.233*, p<.05)	1<2 1.2<3.4.5
	訓練年資	5.404*, p=0.005	教練領導(19.811*, p<.05) 團隊氣氛(2.602*, p<.05) 場地設施(3.882*, p<.05)	1<2.3 1>2.3 1<3
	泳姿專項	2.184, p=0.208	教練領導(3.167*, p<.05) 團隊氣氛(3.730*, p<.05) 成就表現(2.247*, p<.05)	1>3.5 3<4 1.3.4>2
	最佳成績	2.510*, p=0.042	訓練內容(3.123*, p<.05) 成就表現(3.959*, p<.05)	1<2.4 2>5
	訓練單位	0.761, p=0.430		

三、臺南市競技游泳運動員知覺教練領導行為、團隊凝聚力與訓練滿意度關係之分析  
 (一)教練領導行為對團隊凝聚力之簡單線性回歸分析  
 以教練領導行為為自變項、團隊凝聚力為依變項，來進行簡單線性回歸，如表 7 所示，教練領導

行為對團隊凝聚力有顯著正向影響。

表 7 教練領導行為對團隊凝聚力之迴歸分析

自變項	依變數：團隊凝聚力		
	Std.β	t	p 值
教練領導行為	0.364	6.718*	0.000
R <sup>2</sup>	0.364		
Adj. R <sup>2</sup>	0.129		

(二)教練領導行為對訓練滿意度之簡單線性迴歸分析

項，來進行簡單線性迴歸，如表 8 所示，教練領導行為對訓練滿意度有顯著正向影響。

以教練領導行為為自變項、訓練滿意度為依變

表 8 教練領導行為對訓練滿意度之迴歸分析

自變項	依變數：訓練滿意度		
	Std.β	t	p 值
教練領導行為	0.834	26.005*	0.000
R <sup>2</sup>	0.696		
Adj. R <sup>2</sup>	0.695		

(三)團隊凝聚力對訓練滿意度之簡單線性迴歸分析

來進行，如表 9 所示，團隊凝聚力對訓練滿意度顯著正向影響。

以團隊凝聚力為自變項、訓練滿意度為依變項，

表 9 團隊凝聚力對訓練滿意度之迴歸分析

自變項	依變數：訓練滿意度		
	Std.β	t	p 值
團隊凝聚力	0.358	6.594*	0.000
R <sup>2</sup>	0.128		
Adj. R <sup>2</sup>	0.125		

## 肆、結論與建議

### 一、結論

(一)針對臺南市競技游泳運動員知覺教練領

導行為、團隊凝聚力與訓練滿意度研究發現，受訪臺南市競技游泳運動員在研究主題，感受程度為「中上」。

(二)分析臺南市競技游泳運動員知覺教練領導行為、團隊凝聚力與訓練滿意度不同背景變項是否有差異，研究結果顯示臺南市競技游泳運動員在知覺「教練領導行為」中，具構面「訓練與指導行為」、「民主行為」、「專制行為」之不同背景具有顯著差異的為「學年級」與「最佳成績」，且「最佳成績」當中的「獎勵行為」具有顯著差異。在「團隊凝聚力」中，不同背景具有顯著差異為「學年級」當中的「團隊合作」、「人際互動」、「人際吸引」，「訓練年資」當中的「人際互動」、「人際吸引」，「最佳成績」當中的「訓練內容」、「成就表現」。在「訓練滿意度」中，不同背景具有顯著差異為「學年級」當中的「訓練內容」、「教練領導」，「訓練年資」當中的「教練領導」、「團隊氣氛」、「場地設施」，「最佳成績」當中的「訓練內容」、「成就表現」。

(三)探討臺南市競技游泳運動員知覺教練領導行為、團隊凝聚力與訓練滿意度之關係。

1.臺南市競技游泳運動員知覺教練領導行為與團隊凝聚力有顯著正向影響，其結果得知運動員知覺教練領導行為越好，團隊凝聚力的感受也相對提高。

2.臺南市競技游泳運動員知覺教練領導行為跟訓練滿意度有顯著正向影響，其結果得知運動員知覺教練領導行為越好，訓練滿意度的成效也相對提高。

3.臺南市競技游泳運動員在團隊凝聚力跟訓練滿意度有顯著正向影響，其結果得知運動員在團隊凝聚力越好，訓練滿意度的成效也相對提高。

## 二、建議

### (一)對學校教育單位與民間團體之建議

本研究結果顯示，臺南市競技游泳運動員知覺教練領導行為、團隊凝聚力與訓練滿意度感受程度越高，彼此間的交互作用呈現正向發展，故此不斷的充實自我的訓練模式，各種相關的研習課程，各泳隊的教練領導、訓練方式，泳隊的團隊經營模式，

彼此間相互交流，不僅能讓教練們彼此互相成長，游泳運動員也能不單只是為了比賽而競爭，並與其他泳對運動員有所交流，對游泳運動員能有更好的成就與泳隊的永續發展。

### (二)後續研究方向之建議

#### 1.對象：

本研究僅以註冊 2022 年臺南市之競技游泳運動員為研究對象，因樣本局限以參加臺南市中等學校運動會游泳錦標賽臺南市競技游泳運動等與會運動員，研究主題主要針對「知覺教練領導行為」、「團隊凝聚力」及「訓練滿意度」做相關研究，因其他因素不在本研究範圍，建議往後研究方向可朝擴大研究範圍與樣本數，加入各縣市、地區游泳運動員的資訊進行研究，使相關研究結果更具推論代表性與參考性。

#### 2.研究內容：

本研究採用問卷調查法，教練領導行為、團隊凝聚力與訓練滿意度會因運動員對教練特質與團隊特性而產生個別化心理差異，問卷試題僅能呈現運動員對於該問卷的反應，對於運動員其它的感受，建議進行質性訪談或觀察，有助於研究更全面的結果。

#### 3.研究變項：

未來欲研究探討游泳運動員的等相關因素，可參考如下：教練與運動員之關係，教練與運動員的心理影響，運動員的運動心理與動機，運動員之運動焦慮，運動員獲得的支持與資源，...等各種變項間相互影響之情形，或本研究主題之游泳運動員與其他競技運動員對於教練領導行為、團隊凝聚力與訓練滿意度間的差異情況。

## 參考文獻

- [1] 朱育勤(2021)。大專女子籃球選手教練領導行為與團隊凝聚力之研究。臺北市立大學體育學系碩士班碩士論文，臺北市。取自 <https://hdl.handle.net/11296/kzt75q>

- [2] 吳育豪(2022)。國小滑輪溜冰選手知覺教練領導行為與參與動機之相關研究。國立臺南大學體育學系碩士在職專班碩士論文，臺南市。取自  
<https://hdl.handle.net/11296/g4mkkh>
- [3] 李育珊(2018)。新北市國小桌球隊選手知覺教練領導行為與訓練滿意度之研究。臺北市立大學體育教學碩士學位班碩士論文，臺北市。取自  
<https://hdl.handle.net/11296/9j4wj9>
- [4] 林毓軒(2021)。籃球教練領導行為、團隊凝聚力與選手運動表現關係之研究。國立雲林科技大學休閒運動研究所碩士論文，雲林縣。取自  
<https://hdl.handle.net/11296/c8tx7p>
- [5] 施思敏(2019)。國小田徑選手知覺教練領導行為與訓練滿意度之研究。國立臺南大學體育學系碩士在職專班碩士論文，臺南市。取自  
<https://hdl.handle.net/11296/725t26>
- [6] 陳靜如(2020)。新北市國小田徑選手知覺教練領導行為與團隊凝聚力之研究-以接力選手為例。臺北市立大學競技運動訓練研究所碩士學位論文，臺北市。取自  
<https://hdl.handle.net/11296/qk4u62>
- [7] 黃慧宜(2017)。籃球教練領導行為對球員組織認同及權力距離之研究。朝陽科技大學休閒事業管理系碩士論文，臺中市。取自  
<https://hdl.handle.net/11296/g3mvhh>
- [8] 廖育瑩(2020)。桃園市高中田徑選手知覺教練領導行為與訓練滿意度之研究。天主教輔仁大學體育學系碩士論文，新北市。取自  
<https://hdl.handle.net/11296/752chg>
- [9] 劉元福(2021)。自發性行為及運動承諾對團隊凝聚力影響之研究－以大專排球選手為例。朝陽科技大學休閒事業管理系碩士論文，臺中市。取自  
<https://hdl.handle.net/11296/yk28dz>
- [10] 鄭人豪(2008)。運動文化研究第六期(2008年9月)53-90。日治時期台灣游泳運動之萌芽-1895-1912。取自  
<https://www.airitilibrary.com/Publication/alDetailPrint?DocID=a0000564-200809-201003120084-201003120084-53-90>
- [11] 蕭孟均(2020)。高雄地區國中棒球隊教練領導、訓練滿意度對團隊凝聚力影響之研究。國立臺灣體育運動大學運動事業管理學系碩士班碩士學位論文，臺中市。取自  
<https://hdl.handle.net/11296/3m39m2>
- [12] 羅嘉明(2017)。臺北市國中籃球選手知覺教練領導行為與訓練滿意度之研究。臺北市立大學體育學系碩士在職專班碩士論文，臺北市。取自  
<https://hdl.handle.net/11296/43329r>
- [13] Alexandru I. C. (2020), The Evaluation of Cohesion in the Spor Groups within a Romanian City  
<https://www.researchgate.net/publication/336788218>

**Journal of Far East University** Vol.40 No.3

Publisher: Chinche Cheng

Published by Far East University

Editor: Synthetic Affairs Section of Far East University

Address: No.49, Zhonghua Rd., Xinshi Dist., Tainan City 744-48, Taiwan

(R.O.C.)

Telephone: (06) 597-9566 ext 7010

Fax: (06) 597-7010

Published in December 2023

ISSN: 1811-816X

Copyright Reserved 2023

**遠東學報 第四十卷第三期**

發行人：鄭欽哲校長

發行單位：遠東科技大學

編輯：教務處綜合業務組

地址：744-48台南市新市區中華路49號

電話：(06) 597-9566 分機 7010

傳真：(06) 597-7010

出版日期：2023年 12月

I S S N : 1811-816X

版權所有、禁止翻印