

iTape：應用於高單價與易碎品物流運送偵測之 智慧聯網膠帶

*張萬榮、蘇健平、陳良弼

南臺科技大學電子工程系

*allenchang@stust.edu.tw

摘要

近年來，由於電子商務的興起，造就電子商務的需求量及交易量日趨擴大，電子商務這種新興交易模式也獲得多數人的認同，許多人也開始使用電子商務購買高單價或是易碎貨品。然而，如何確保高單價與易碎貨物配送之安全性則為當前物流業者該思考的問題。為了能夠解決上述問題，本研究提出一個應用於高單價與易碎貨品配送監測之 iTape 智慧聯網膠帶。本研究研發之 iTape 智慧聯網膠帶可取代目前貨物箱在封裝時所用的膠帶，進而在高單價或是易碎貨品配送過程中若遭重摔或偷竊（膠帶遭撕開）時，可即時偵測。經由實驗結果證明，本研究所實現之 iTape 智慧聯網膠帶可確實偵測並記錄高單價與易碎貨品配送時所發生之重摔或膠帶撕取事件，因此，未來可提供物流業者強化高單價與易碎貨品之配送品質，並在貨品配送中發生遺失或破損時可後續釐清相關責任歸屬，藉以提升物流業者之市場競爭力。

關鍵詞：智慧物流、物聯網、壓阻式壓力感測器、貨物配送、電子商務、智慧物流監控系統

iTape: An Intelligent Tape for Monitoring High Price and Fragile Cargos Shipment

*Wan-Jung Chang, Jian-Ping Su, Liang-Bi Chen

Department of Electronic Engineering, Southern Taiwan University of Science and Technology

Abstract

In recent years, the emergence of e-commerce has led to increasing demands and transactions of e-commerce. E-commerce has been accepted by many people. Hence, many people purchase high-priced products via e-commerce today. However, how to ensure the safety of high-priced or fragile cargos turns out to be the main issue that the current logistics industry should consider and concern. To solve the above-mentioned problems, this study proposes an intelligent tape, named iTape, for monitoring high-priced and fragile cargos during the transportation process. The proposed iTape can replace the current existing tapes used in the packaging of cargo boxes, so that it can be detected in real time if the high-priced or fragile goods are severely dropped or stolen (the tape is torn) during the delivery process. The experimental results proved that the proposed iTape could detect and record the heavy drop or tape tearing events. As a result, the proposed iTape can help the logistics industry to improve the delivery services of high-price and fragile cargos and subsequently clarify the attribution of responsibilities in the events of loss or damage in the cargo delivery so as to enhance their market competitiveness.

Keywords: Intelligent Logistics, Internet of Things (IoT), Resistive Pressure Sensor, Cargo Dispatch, Cargo Shipment, E-commerce, Intelligent Logistics Monitoring System

壹、前言

由於世界各國電子商務逐漸的興起，而間接帶動物流業的蓬勃發展。據 Transparency Market 研究指出，2015 年全球物流市場約為 8.1 萬億美元，預估至 2023 年將突破 15.5 萬億美元[1]。由上述得知，隨著電子商務需求愈趨擴大，將導致物流業之市場競爭愈趨激烈。因此，物流業服務品質與營運成本，如：確保高單價與易碎貨品遞送過程的完整性與時效性並降低貨品毀損與遺失率，對物流業者的市場競爭力也會日趨重要。可預知的未來，物流業將逐漸轉型並結合物聯網技術導入物流配送鏈中以提升物流服務品質，並進一步提升其市場競爭力。

為提升物流貨品配送之安全性並提升服務品質，過去學術領域已發表相關研究成果。這些研究成果大多針對物流業之倉儲管理與貨物定位如何應用資通訊技術等議題進行探討[2]–11, 16–17]，並未針對高單價或易碎貨品配送之安全性進行研究。為了能降低高單價貨品與易碎貨品於物流配送期間之毀損與遺失率以有效提升物流業者之服務品質與市場競爭力，本研究提出 iTape 智慧聯網膠帶來取代目前封裝物流貨物箱所使用之膠帶，以提供物流業者針對高單價與易碎貨品進行配送時的異常事件偵測與管理。

本論文共分為五個章節。第一章針對現今物流業所提出之物聯網應用於物流配送技術進行分析討論，並簡易說明本研究所要解決問題及研究架構；第二章則針對相關文獻進行探討，並調研物流業當前相關物聯網技術之使用；第三章則針對前章節文獻及當前物聯網應用於物流之應用不足之處提出研究方法，並詳細說明本研究智慧聯網膠帶之實現；第四章針對本研究提出之 iTape 智慧聯網膠帶進行實際驗證；最後，第五章說明本篇論文之結論。

貳、文獻探討

隨著物聯網技術興起，WSN (wireless sensor networks) 已被廣泛的應用於物流業中，主要概念為將感測器資訊藉由倉庫、貨車等環境內裝設之閘道器傳輸至網路平台[2]–4]，大幅提升了管理貨物運送之效率。Papatheocharous 等人[5]提出名為 eTracer 之貨物資訊管理系統，該系統結合多樣感測器技術與無線連網技術來提供物流業者進行系統化的貨物資訊管理。此外，在貨物運送安全性方面，近年來 RFID (radio frequency identification) 及 GPS (global positioning system) 被廣泛應用於物流鏈中，Lian[6]等人提出一套基於 RFID 之硬體與軟體整合系統，並應用於物流業倉儲管理。透過此 RFID 標籤可用來管理物流倉庫貨品的進出管制，並能藉由物流網路平台來查看目前貨物是否已經進入倉庫，達到自動化貨物管理的目地。

RFID 亦可結合不同感測器實現貨物監測功能，Gomes[7]等人實現具有 RFID 功能之低功耗溫度感測模組，使物流業於配送需冷凍之貨物（如：食品、疫苗、藥品與血液等）時，能以即時之方式達到監控貨物溫度之需求。Lin 等人[8]提出利用 Google API 來定位貨車並追蹤冷藏貨物狀態之研究。該研究選用具有內建溫度感測器之晶片來監測環境溫度，所感測到的溫度資訊會利用藍芽傳送至行動裝置再上傳至線上資料庫。藉此來監測冷凍貨物之配送狀態。而以 RFID 實現食品貨物配送監測以防止腐敗亦有相關研究[9]–10]，其皆是將 RFID 結合氣體感測器與網路通訊技術來改善食物配送時可能發生腐敗的問題。

對於貨物定位系統相關研究方面，Yang[11]等人提出混合式物流追蹤系統，此論文提出一套連續無縫 (continuous monitoring) 的貨物追蹤定位系統，並探討了兩種定位方式 infrastructure-based (如 GPS, TOA[12]與 TODA[13]–14]) 與 infrastructure-less (ad hoc sensor network, 如 DV-hop[15])。該論文實現追蹤設備雛型，該追蹤設備整合 infrastructure-based 與 infrastructure-less 兩種定位方式，其介面包含 GPS、GPRS、WiFi、Zigbee 等通訊界面來實現無縫且連續性的貨物追蹤。結合追蹤設備之貨物箱可從工廠內部之包裝後經過陸地運送、海上運送等最後將貨物箱交付至客戶手中。該研究整合兩種不同定位技術，進而能實現低成本、低耗功之混合式物流追蹤系統。

Prasanna[16]等人提出一套利用 RFID 去追蹤貨物是否有配送錯誤的問題，並利用 GPS 與 GSM (global system for mobile communications) 來即時追蹤貨車位置，且能克服貨車超載及配送錯誤的問題，並能將

貨物之詳細資訊定期回報至供應商。該研究之系統架構包含 GPS、GSM、RFID 與重量感測器來整合 SN74HC00 之邏輯控制器。當貨物上物流貨車時，透過貼於貨物上方之 RFID Tag 與物流貨車上之 RFID Reader，即可讀取出貨物資訊，並透過裝置於物流車上方之重量感測器感測貨物是否超重；若貨車超重，即透過蜂鳴器提醒駕駛，且能在寄送貨物過程中辨別此貨物是否為該路線之貨物，並透過 GSM 提醒供應商。

Sun 等人[17]提出了一套基於物聯網的物流管理系統，該系統結合 RFID、GPS 及 GPRS 來實現有效管理貨物配送之正確性以及實現貨車定位來提高貨物運送之品質，進而降低物流業之營運成本。該研究所提出之系統共分為兩個部分，第一部分為 automatic terminal，第二部分為 remote control center。在 automatic terminal 部分是由 GPS、GPRS 及 RFID 模組所組成，在 GPS 模組的實現上是使用 NMEA-0183 之介面協定標準來實現，透過此協定所蒐集到之封包數據進行分析來獲得車輛當前之經緯度、速度、行駛方向及時間等訊息。而在 RFID 模組部分可定時對車輛上之貨物進行掃描檢查，檢查後的資訊在連同車輛訊息透過 GPRS 模組發送至主控中心進行後續管理，藉此來實現一套物聯網之物流管理系統。

參、iTape 智慧聯網膠帶

由上述文獻可看出，現今針對物流業已有許多學者提出不同之定位與無線感測網路技術，但過去的研究成果皆僅針對貨物訊息、定位、或提供冷鍊物流進行貨物監控，未針對高單價與易碎貨物於配送過程中進行偵測。因此，本章節提出可用於封裝內含高單價與易碎品貨物箱之膠帶，稱之為 iTape 智慧聯網膠帶。iTape 智慧聯網膠帶可即時偵測高單價或易碎貨品於運送過程是否遭人為重摔或竊取（即貨物箱遭異常開啟），以提供物流業者針對高單價與易碎貨品進行配送管理[18]。以下將針對 iTape 智慧聯網膠帶說明其軟性感測電路、硬體終端電路、與事件偵測演算法，最後說明整體系統之實現。

一、軟性感測電路

（一）壓阻式壓力感測器

為了使 iTape 智慧聯網膠帶於後續製作上能具有一般膠帶的柔軟性，在壓力感測器的選擇方面須以軟性薄膜式的感測器為主，其中又可分為薄膜壓電式壓力感測器[19]與壓阻式壓力感測器[20]。於[19]文獻中，作者針對所提出之壓電式壓力感測器在實驗室環境與戶外環境時進行感測器電性實驗，發現於戶外環境時所提出之壓電式壓力感測器會受靜電及游離電子所影響導致不正常充放電，因而無法達到準確性之對應電壓輸出[21]。因此，本研究使用目前已廣泛被商用之薄膜壓阻式壓力感測器「Uneo GD05」[20]作為 iTape 智慧聯網膠帶之感測元件。相對於壓電式壓力感測器，其原理為材料在受到機械式應力下所產生的電阻值之變化，並輸出與壓力對應的電壓訊號，亦即僅會產生阻抗變化不會產生電荷[22]。本研究所使用之壓阻式壓力感測器有兩個腳位輸出，分別為接地腳位（ G_s ）與電壓輸出腳位（ V_s ），如圖 1 所示。

（二）軟性電路設計

為了使得 iTape 智慧聯網膠帶可完整偵測貨物箱膠帶封裝面所發生之重摔與膠帶撕取事件，本研究於實現 iTape 智慧聯網膠帶區段時，其區段之長度可根據所需封裝貨物箱之尺寸來設計，並可依照貨物尺寸調整壓阻式壓力感測器數量（ n ）。圖 2 為具有 n 個感測器（ S_1, S_2, \dots, S_n ）之軟性電路設計圖。每一個壓阻式壓力感測器接地之腳位接點（ GS_1, GS_2, \dots, GS_n ）共接至前端接頭之接腳 P_{n+1} ，其餘每顆感測器之電壓輸出腳位接點（ VS_1, VS_2, \dots, VS_n ）分別以線路連接至前端接頭之接腳（ P_1, P_2, \dots, P_n ）。因此，壓阻式壓力感測器所產生的阻抗變化電壓值可透過前端接頭將訊號傳至硬體終端電路。圖 3 為使用 3 顆壓阻式壓力感測器（ S_1, S_2, S_3 ）來實現 iTape 智慧聯網膠帶區段之軟性電路設計成品。將電路圖以 P.E.T（polyethylene terephthalate）材質之軟性機板印刷後，再將每顆壓阻式壓力感測器之接腳接合於對印的印刷點。為方便說明，本章節後續說明將以具 3 顆壓阻式壓力感測器之 iTape 智慧聯網膠帶區段為例，說明硬體終端電路與演算法之設計方式。

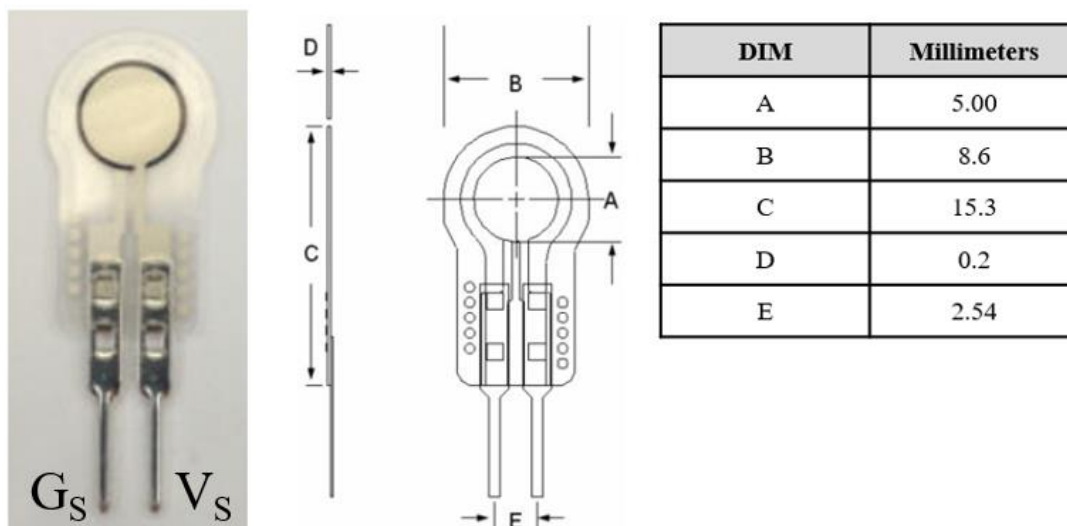


圖 1 Unco GD05 型號壓阻式壓力感測器外型

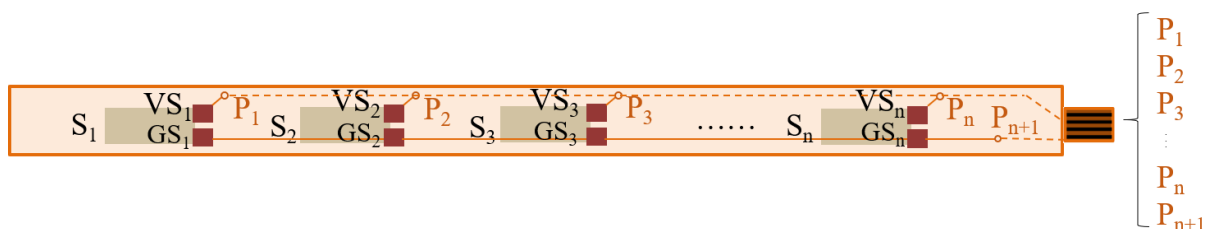


圖 2 iTape 智慧聯網膠帶區段設計



圖 3 壓阻式壓力感測器貼合至 P.E.T 基板 (以 n=3 為例)

二、硬體終端電路設計

為了要能成功讀取軟板電路上 3 顆壓阻式壓力感測器之電壓輸出訊號，在硬體終端電路設計上本研究採用 8051 微處理器[23]作為訊號處理與事件辨識演算法之核心運算單元，並在硬體終端電路前端設計 4 個 pin 腳母座來連接 P.E.T 軟性電路板上之每個對應的 pin 接頭。此外，本論文使用藍芽模組來實現硬體終端電路之資料聯網傳輸功能，完成後之硬體終端電路如圖 4 所示。

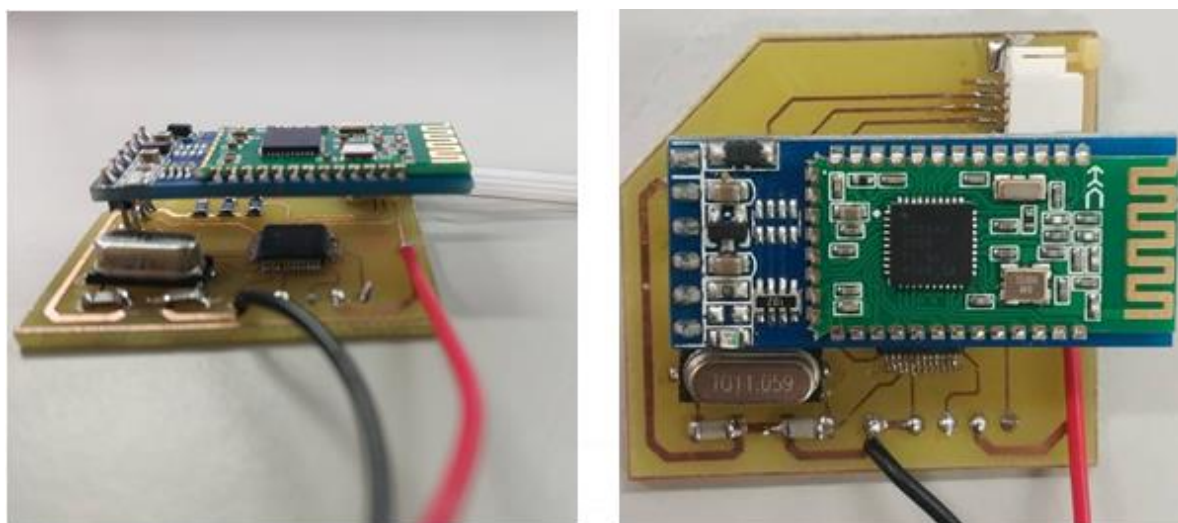


圖 4 硬體終端電路實體圖

三、事件偵測演算法設計

透過四 pin 母座將 P.E.T 基板印製後之軟性電路與硬體終端電路連接後，即完成具有 3 個感測器之 iTape 智慧聯網膠帶區段雛型，並可將其黏貼於貨物箱進行膠帶撕取與貨物重摔實驗。

(一) iTape 智慧聯網膠帶區段撕取與重摔實驗

為了解 iTape 智慧聯網膠帶區段中壓阻式壓力感測器在封裝貨物箱於重摔與膠帶撕開事件時之電訊號輸出變化，以做為辨識重摔與膠帶撕開事件演算法設計之依據，本研究使用線性滑軌平台[24]之不同拉力及垂直落下測試平台[24]之不同高度分別對於以 iTape 智慧聯網膠帶區段雛型封裝之貨物箱做膠帶撕取與重摔的實驗。線性滑軌平台透過氣壓閥給予不同力之工作氣壓即可拉動線性氣動滑軌以不同力量來將膠帶從末端撕開到前端（即硬體電路連接端）（如圖 5）。此外，垂直落下測試平台將三個不同重量之貨物箱拉升至不同高度（H）後進行垂直落下實驗。本章節針對 1 kg、3 kg 與 5 kg 三種不同重量的貨物箱各別拉升至 10~90 cm 高度進行自由落體實驗（如圖 6）。

圖 7 顯示不同在氣壓閥之工作氣壓為 1~7 kg/cm² 下（工作氣壓越大膠帶撕取速度越快），iTape 智慧聯網膠帶區段上之 3 顆壓阻式壓力感測器其電壓輸出變化。由實驗結果可得知，3 顆壓阻式壓力感測器在不同撕取速度下輸出之電壓皆接落在 2~2.2 V 之間。圖 8 為 1 kg、3 kg 與 5 kg 三種不同重量的貨物箱距離地面 10~90 cm 垂直落下後的實驗結果。從圖中可觀察到，當貨物箱距離地面高度 $H \geq 40$ cm 時，不論貨物箱重量為何，壓阻式壓力感測器輸出電壓皆達最大達臨界值（即 3.3 V），而當 $H < 40$ cm 時，貨物箱越重或貨物箱距離地面越高，垂直落下後，3 顆壓阻式壓力感測器輸出電壓之平均值（ V_{avg} ）值越大。

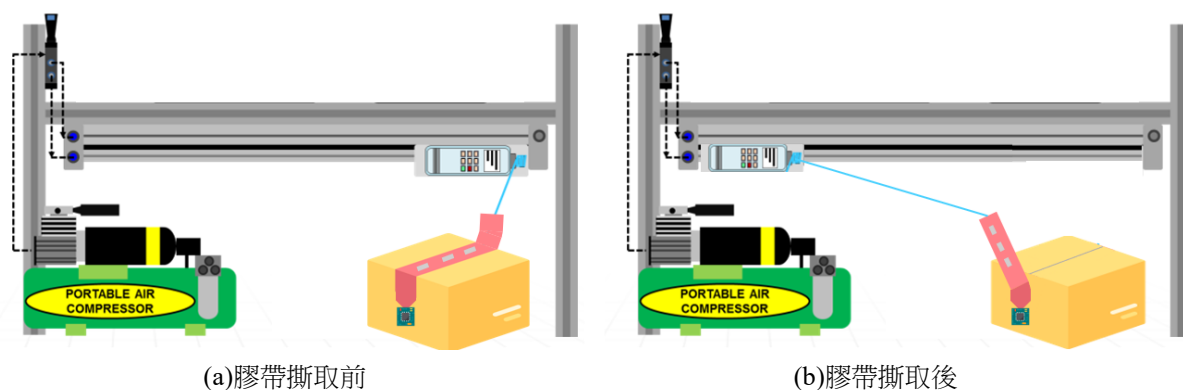


圖 5 膠帶撕取透過線性滑軌平台測試

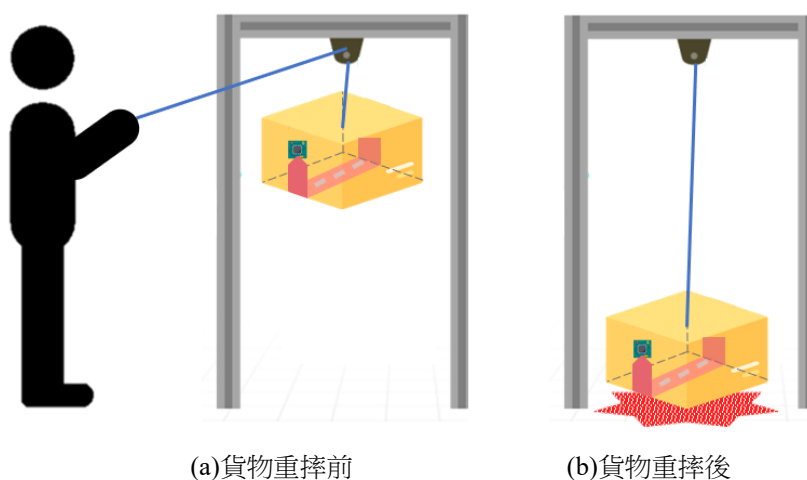


圖 6 貨物重摔垂直落下測試平台測試

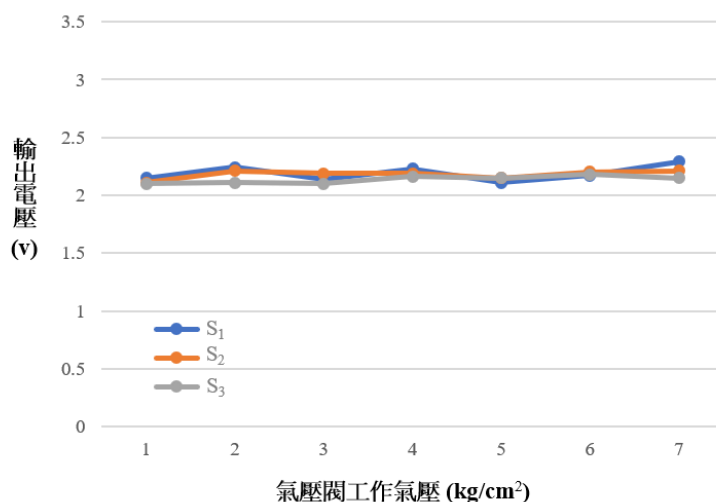


圖 7 iTape 智慧聯網膠帶區段膠帶撕取實驗結果

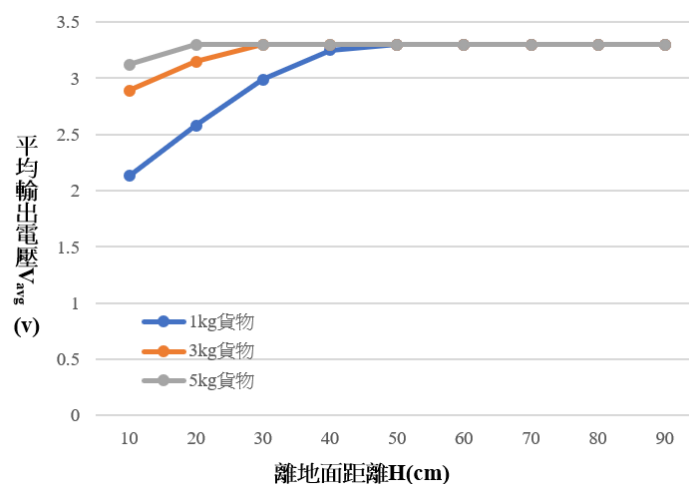


圖 8 iTape 智慧聯網膠帶區段貨物重摔實驗結果

(二) iTape 智慧聯網膠帶區段撕取與重摔偵測演算法設計

根據圖 7 之 iTape 智慧聯網膠帶區段撕取實驗結果可得知，無論膠帶撕取力量大小為何，iTape 智慧聯網膠帶區段上之 3 顆壓阻式壓力感測器 S_1 , S_2 , S_3 輸出之電壓值 VS_i ($i=\{1, 2, 3\}$) 皆落在 2~2.2 V 之間，因此在演算法設計上，當硬體終端電路接收到 VS_i ($i=\{1, 2, 3\}$) 皆大於 2V 且小於 2.2 V 時，則判定 iTape 智慧聯網膠帶區段被撕取。此外圖 8 貨物箱重摔實驗結果顯示，若貨物箱離地面超過 20 cm 以上，不論貨物箱重量大小，當貨物箱摔落地面時，iTape 智慧聯網膠帶區段上之 3 顆壓阻式壓力感測器平均輸出之電壓值 V_{avg} 皆大於 2.5 V。藉由圖 7 與圖 8 之實驗結果，為了能讓硬體終端電路可辨識膠帶撕取或是貨物重摔事件，本研究設定貨物判斷重摔事件之門檻值 TH_{Avg} 至少大於或等於 2.5 V，且當任一感測器輸出之電壓值 VS_i ($i=\{1, 2, 3\}$) 大於 TH_{Avg} 時，硬體終端電路會辨識到當下貨物箱發生重摔的事件。

再者，由於當外部力量讓壓阻式壓力感測器之阻值改變時，該阻值變化會停滯一小段時間後回到原本狀態（即輸出電壓歸 0V），稱此為「遲滯現象」[25]–[28]。為避免「遲滯現象」導致事件判別之錯誤，硬體終端電路在每次壓阻式壓力感測器訊號取樣後（本研究之訊號取樣頻率為 50 ms/次），會先判斷 3 顆壓阻式壓力感測器之輸出電壓 VS_i ($i=\{1, 2, 3\}$) 是否已經歸 0，若皆已歸 0，才針對下一個 50 ms 所取樣的 VS_i ($i=\{1, 2, 3\}$) 訊號根據前述的判斷準則，來判別貨物是否發生重摔或膠帶撕取事件，演算法流程圖如圖 9 所示。

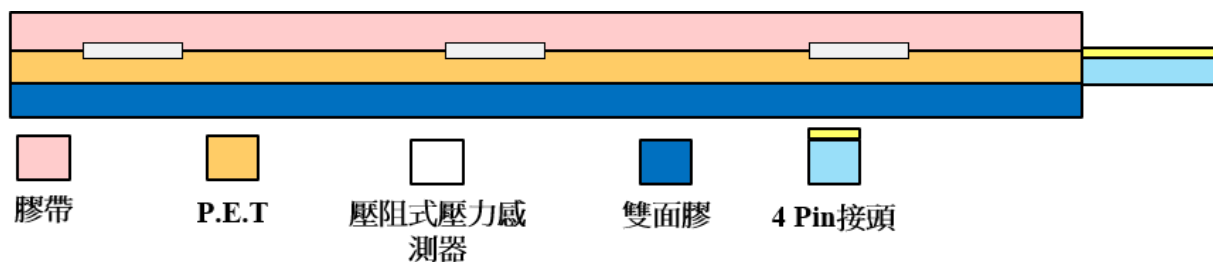


圖 10 iTape 智慧聯網膠帶實現



圖 11 以 iTape 智慧聯網膠帶封裝之貨物箱

(二) GPS 車載資通訊平台

為了要符合物流業是以貨車進行貨物運輸之需求，本研究於 Android 嵌入式平台[29]撰寫 APP 來實現 GPS 車載資通訊平台，並與硬體終端電路之藍芽模組連線進行資料傳輸。當 GPS 車載資通訊平台接收到 iTape 智慧聯網膠帶所傳輸貨物異常事件訊號時，則會立即透過 4G 網路將貨物之 ID、時間、GPS 位置、與事件上傳至線上資訊平台紀錄。GPS 車載資通訊平台之 UI 畫面如圖 12 所示，APP 相關資訊包含：電池蓄電量百分比 (BAT)、貨物的編號 (以 KERRY_BOX+ID) 及狀態 (TAPE) 等三種資訊。



圖 12 GPS 車載資通訊平台

(三) 線上資訊平台

線上資訊平台主要用於接收 GPS 車載資通訊平台所傳送之貨物 ID、紀錄時間、發生事件與 GPS 經緯度 (如圖 13 所示)，其是透過 PHP 程式語言開發以及與資料庫進行溝通，線上資訊平台主要提供物流業管理者使用，藉由本平台來監測高單價與易碎貨物之配送狀態。



紀錄總覽 物品編號查詢 您好! 退出

紀錄總覽

總筆數33總頁數6

貨物箱ID	記錄時間	發生事件	GPS經度/緯度
KERRY_BOX0001	2019-12-28 10:15:32	Fall Down	
KERRY_BOX0001	2019-12-28 12:32:03	Fall Down	
KERRY_BOX0001	2019-12-28 13:05:12	Tear Off	
KERRY_BOX0001	2020-01-02 08:44:36	Tear Off	
KERRY_BOX0001	2020-01-02 08:46:56	Fall Down	
KERRY_BOX0001	2020-01-05 16:01:02	Fall Down	

圖 13 網頁管理平台

(四) 系統應用情境

圖 14 為本研究應用於物流業之系統應用情境。當使用者有高單價貨物(如：電腦、手機等 3C 產品)與易碎品(如：瓷器)要經由物流業者配送時，於物流業者端即可使用 iTape 智慧聯網膠帶將該貨品之貨物箱進行封裝。當貨物箱搬運上貨運車時，物流業者可透過貨車上之 GPS 車載資訊平台來搜尋目前在貨車上有封裝 iTape 智慧聯網膠帶之貨物箱並進行藍芽配對以監測運送品質與安全管理。若在運送過程中貨物有發生重摔或是膠帶遭撕開的狀況時，則會立即傳送貨物異常事件與位置資訊至線上資訊平台紀錄，提供物流業者全程監控與管理，藉此來保障消費者高單價與易碎貨物配送安全性，將貨品安全運抵至消費者手中。

至於將裝有高單價與易碎品之貨物箱用 iTape 智慧聯網膠帶封裝所增加的成本(本論文於實驗室製作一條具有三個感測器之 iTape 智慧聯網膠帶區段約需要 100 NTD 製作成本)，未來可由物流業者視公司營運模式與市場競爭力訂定成本攤提方式，如：由業者自行吸收，顧客承擔，或是客戶部分負擔等方式負擔等方式。

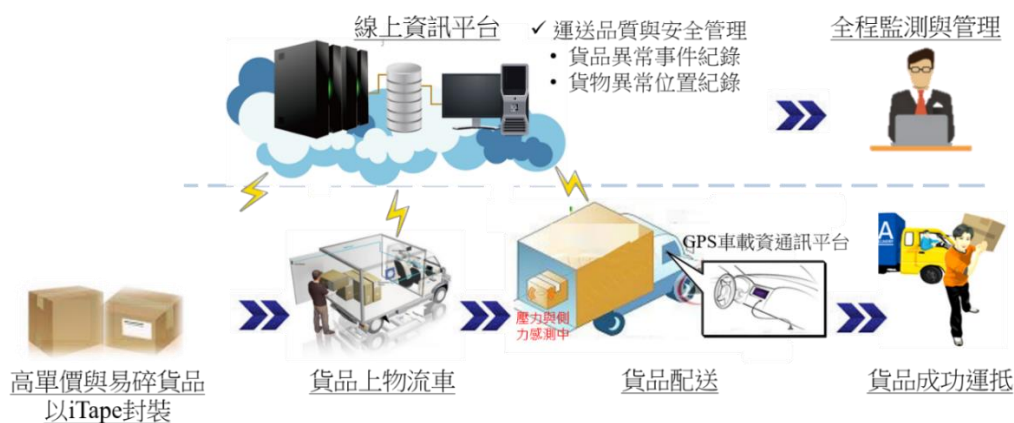


圖 14 物流業之應用情境

肆、實驗設計與實驗結果

本章節將探討由第三章節所實作完成之 iTape 智慧聯網膠帶進行實驗。在室內人為實驗方面，將貨物箱在實驗室以人為方式將貨物重摔與撕取膠帶以驗證 iTape 智慧聯網膠帶之準確性。最後，本研究實際與國際物流業者 KERRY Logistics 合作，將貼有 iTape 智慧聯網膠帶之貨物箱送至該公司並導入該公司

物流配送之標準流程中以驗證 iTape 智慧聯網膠帶事件偵測之準確性。

一、室內人為實驗

在實驗設計方面，本研究採用三個不同大小之貨物箱分別投入 1 kg、3 kg 與 5 kg 之貨物進行實驗膠帶撕取及貨物重摔之實驗，其貨物箱尺寸、投入之貨物重量 (W) 及 iTape 智慧聯網膠帶之長度 (L) 規格設計如表 1 所示。而在 L 設計方面，則會依照貨物箱膠帶封裝面之長度前後預留 5 cm 以方便連接硬體終端電路，並於 iTape 智慧聯網膠帶上設計不同數量之壓阻式壓力感測器進行準確率實驗。圖 15 為實驗貨物箱 Box#1 以 iTape 智慧聯網膠帶黏貼裝後之實體。

表 1 貨物箱與 iTape 智慧聯網膠帶之實驗參數

Box	貨物箱尺寸(cm)	W(kg)	L(cm)
#1	23×18×19	1	33
#2	31×18×19	3	41
#3	39×18×19	5	49



圖 15 實驗貨物箱 (以 BOX#1 為例)

(一) 膠帶撕取實驗

本研究於室內場域中對黏貼於貨物箱之 iTape 智慧聯網膠帶進行撕取實驗 (如圖 16 (a)~(c))。本實驗將 3 種不同尺寸之貨物箱分別以具有感測器數量 (n) 為 1、2 與 3 顆之 iTape 智慧聯網膠帶封裝後再進行 50 次膠帶撕取實驗。表 2~4 分別顯示 Box#1、Box#2 與 Box#3 在具有 1、2 與 3 顆感測器之 iTape 智慧聯網膠帶封裝下的實驗結果。從表 2~4 得知無論貨物箱大小及 iTape 智慧聯網膠帶上之感測器數量為

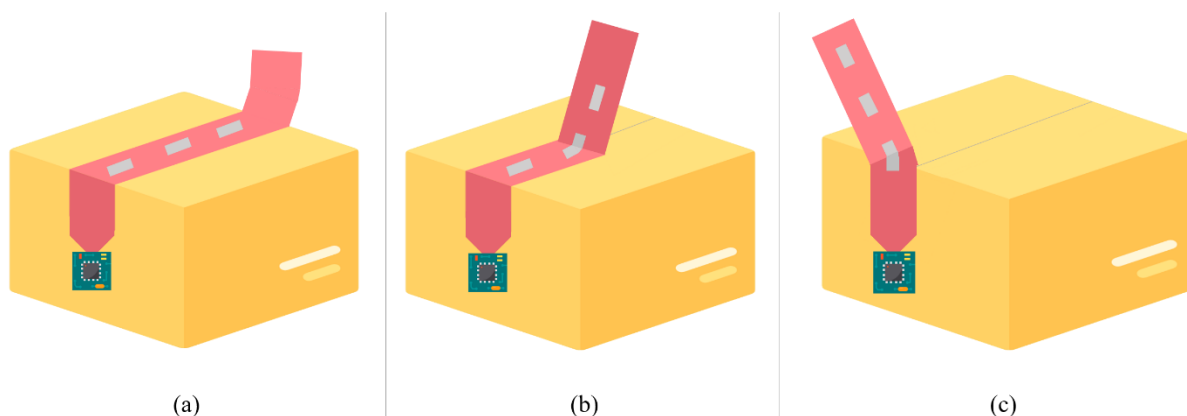


圖 16 膠帶由右至左之人為撕取流程

何，每顆感測器 S_i ($i=\{1,\dots,n\}$) 之 50 次膠帶撕取平均輸出電壓值 $AvgVS_i$ ($i=\{1,\dots,n\}$) 皆落在 2.0~2.2V 之間。因此，以本研究提出之膠帶撕取演算法 (圖 9)，即可百分之百偵測到 iTape 智慧聯網膠帶被撕取的事件。

表 2 Box#1 膠帶撕取實驗結果

感測器數量(n)	AvgVS ₁ (V)	AvgVS ₂ (V)	AvgVS ₃ (V)	準確率 (%)
1	2.145	-	-	100
2	2.082	2.144	-	100
3	2.137	2.098	2.188	100

表 3 Box#2 膠帶撕取實驗結果

感測器數量(n)	AvgVS ₁ (V)	AvgVS ₂ (V)	AvgVS ₃ (V)	準確率 (%)
1	2.091	-	-	100
2	2.098	2.044	-	100
3	2.145	2.018	2.178	100

表 4 Box#3 膠帶撕取實驗結果

感測器數量(n)	AvgVS ₁ (V)	AvgVS ₂ (V)	AvgVS ₃ (V)	準確率 (%)
1	2.132	-	-	100
2	2.095	2.152	-	100
3	2.049	2.098	2.146	100

(二) 貨物重摔實驗

在貨物重摔方面，本研究將 iTape 智慧聯網膠帶黏貼至貨物箱底面由人為進行貨物重摔實驗 (如圖 17)。圖 17 為將 3 種不同貨物箱 (即 Box#1、Box#2 與 Box#3) 分別以具有感測器數量 (n) 為 1、2、3、4 與 5 顆之 iTape 智慧聯網膠帶封裝後再進行 50 次貨物重摔實驗之實驗結果。在本次實驗中，判斷重摔事件之門檻值 TH_{Avg} 為 2.5 V，貨物距離地面之高度 H 為 90 cm。由實驗結果可得知，在相同貨物箱的大小條件下，n 越大成功偵測到貨物中重摔的次數越高；且在 n 不變的狀況下，貨物箱越小，偵測到貨物中重摔的次數越高亦越高。這是因為感測器數量越多且相同貨物箱的大小下或是感測器數量不變而貨物箱尺寸較小時，皆代表 iTape 智慧聯網膠帶上的感測器分布密度越高，而在貨物重摔時，至少 1 顆感測器因貨物重摔而與地面碰撞的機會也越高。因此，成功偵測到貨物重摔事件的機率也越高。

圖 19 為不同貨物重量與不同判斷重摔事件之門檻值 TH_{Avg} 下之貨物重摔事件偵測次數實驗結果。從圖 19(a)~(c) 的比較可以看出，iTape 智慧聯網膠帶上的感測器數量越多，成功偵測到貨物重摔事件的次數也越高。此外，在相同數目 iTape 智慧聯網膠帶上的感測器下，當貨物離地面距離在 40 cm 以下時， TH_{Avg} 越大，完全無法偵測到貨物重摔事件 (即偵測次數 $m=0$) 的機會也越大。上述的結果主要是因為在重摔的實驗中，iTape 智慧聯網膠帶上的感測器因貨物重摔而與地面碰撞產生形變所輸出的電壓會受到兩個因素的影響：(i) iTape 智慧聯網膠帶上的感測器數量 n。由於感測器數量越多，代表在相同貨物箱的大小下，iTape 智慧聯網膠帶上的感測器分布密度越高，而在貨物重摔時，至少 1 顆感測器因貨物重摔而與地面碰撞而產生形變的機率也越大。因此，在 n 越大的情況下，成功偵測到貨物重摔事件的機率也越高。

(ii) 判斷重摔事件之門檻值 TH_{Avg} 。當貨物離地面距離在 40 cm 以下時，由於貨物箱摔落地面，iTape 智慧聯網膠帶上的感測器與地面碰撞的力道較小因而產生形變所輸出的電壓也較小。因此， TH_{Avg} 越大，完全無法偵測到貨物重摔事件的機會也越大。

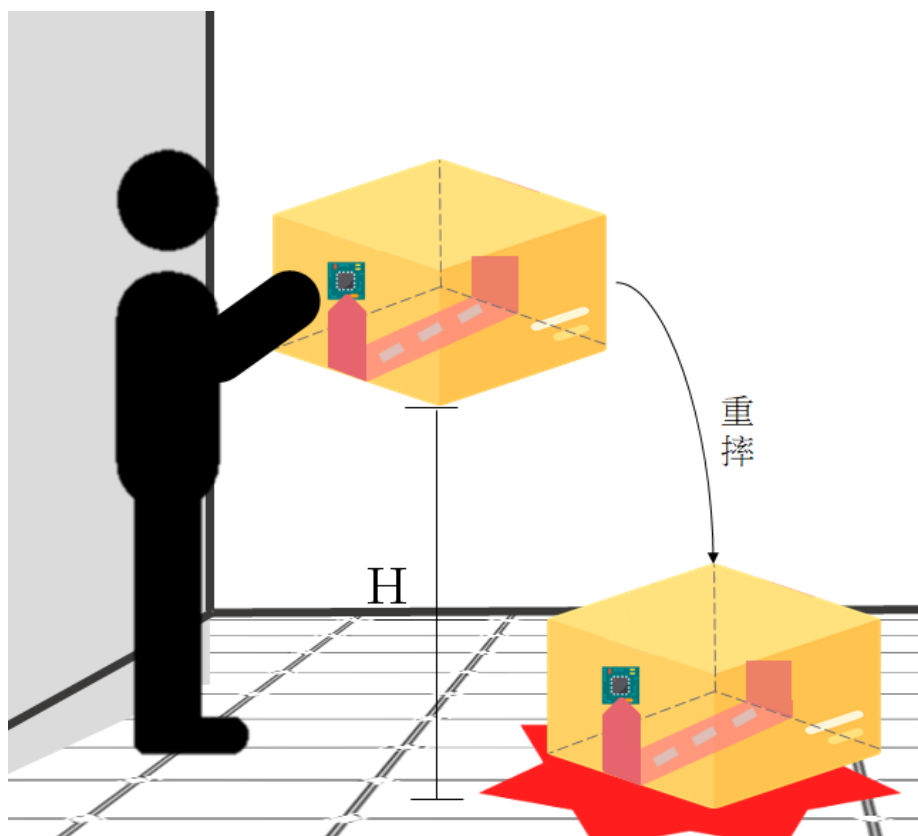


圖 17 人為貨物重摔實驗

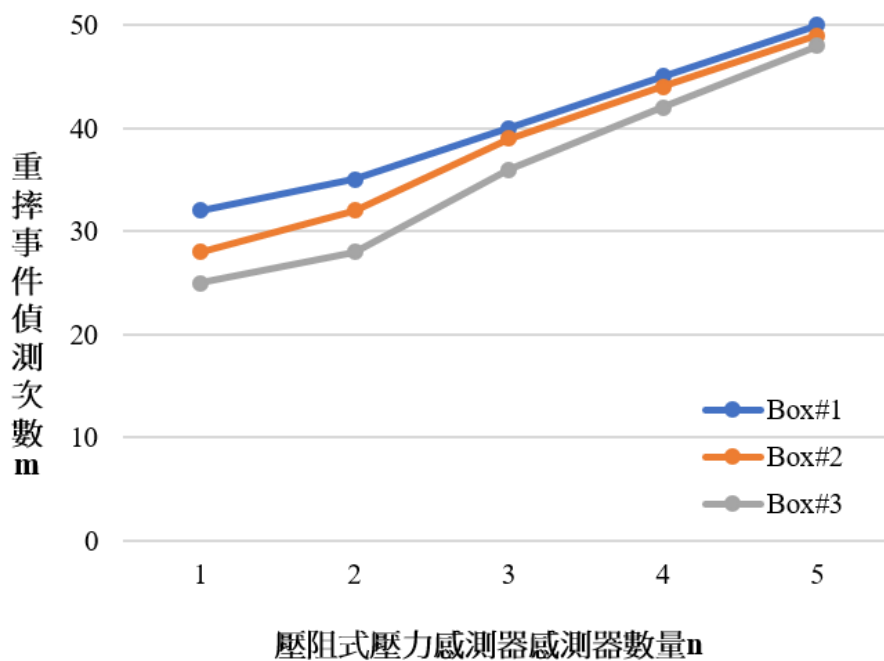


圖 18 不同貨物重量 (w) 與壓阻式壓力感測器數量 (n) 之重摔事件偵測次數 (m) 實驗結果

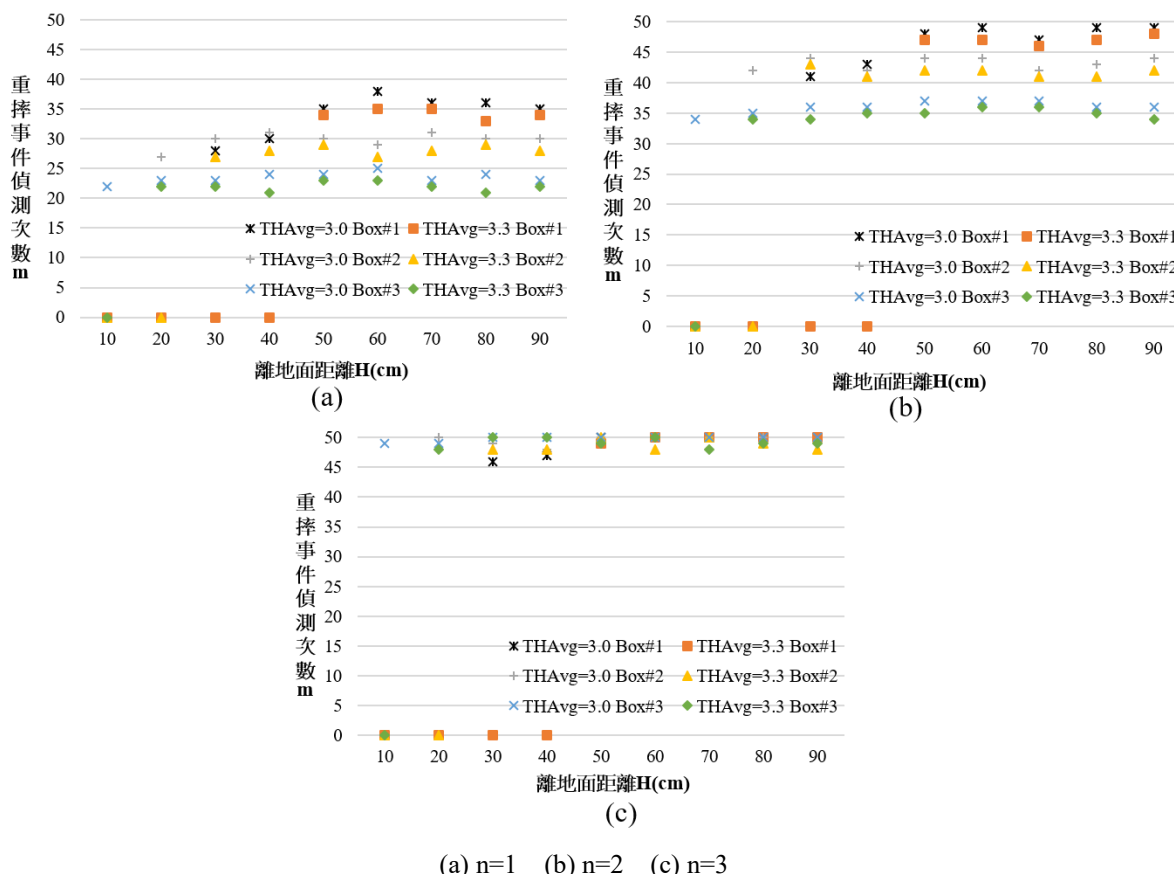


圖 19 不同貨物重量 (w) 與不同判斷重摔事件之門檻值 (THAvg) 條件下貨物重摔實驗

二、物流場域實驗



圖 20 iTape 智慧聯網膠帶封裝之貨物箱於實際物流業之配送流程

為驗證 iTape 智慧聯網膠帶是否可實際運用於物流業之實際貨物配送流程中，本研究與國際物流業者 KERRY Logistics 合作，提供 iTape 智慧聯網膠帶封裝之貨物箱以實際於 KERRY Logistics 之配送流程中進行實驗（如圖 20）。於實驗進行時，將本論文開發之 GPS 車載資訊平台放置於物流配送車輛內，以接收 iTape 智慧聯網膠帶所偵測到之事件，並可將事件傳輸至本論文開發之線上資訊平台。此外，假設 $TH_{Avg}=2.5V$ 且每個貨物箱上之 iTape 智慧聯網膠帶具有 5 個感測器（即 $n=5$ ）。本論文提供兩個用 iTape 智慧聯網膠帶封裝的貨物箱（Box#1 和 Box#2）給 KERRY Logistics 之物流配送人員並每日貨物配送流程中，由 KERRY Logistics 之物流配送人員分別每日於圖 20 之配送站（b）與（d）隨意重摔貨物箱（以

垂直自由落體方式重摔或是拋物線方式重摔)，以及撕取貨物箱上之膠帶 10 次，共測試 5 天。表 5 為貨物箱 Box#1 和 Box#2 於物流業實際配送實驗後之結果，由實驗結果可得知貨物箱於貨運配送的過程中遭到重摔時，iTape 智慧聯網膠帶偵測準確率皆可達 90% 以上，若是膠帶遭到撕取，則偵測準確率更達 100%。

表 5 貨物箱 Box#1 和 Box#2 於物流業實際配送實驗後之結果

貨物箱編號	實際事件次數	偵測事件次數	成功率(%)
Box#1 (重摔)	50	47	94
Box#2 (重摔)	50	45	90
Box#1 (撕取)	50	50	100
Box#2 (撕取)	50	50	100

伍、結論與未來研究

本研究提出 iTape 智慧聯網膠帶來有效監測物流業者在配送高單價與易碎物品貨物時之安全性。iTape 智慧聯網膠帶由壓阻式壓力感測器、軟性感測電路及硬體終端電路等三個部分所組成。iTape 智慧聯網膠帶其軟性感測電路上之壓阻式壓力感測器具有因受力造成型變所產生之阻抗變化之特性。此一特性所產生之輸出電壓，搭配硬體終端電路之辨識演算法即可有效偵測高單價與易碎物品貨物於運送時是否發生重摔（壓阻式壓力感測器遭衝擊）或膠帶撕取（壓阻式壓力感測器遭彎曲）等事件。經由實驗結果可得知，不論於室內人為實驗或是實際於物流場域實驗，iTape 智慧聯網膠帶皆能有效偵測到貨物箱之重摔或膠帶撕取事件。因此，未來 iTape 智慧聯網膠帶可提供物流業者強化高單價與易碎貨品之配送品質，並在貨品配送中發生遺失或破損時可後續釐清相關責任歸屬，藉以提升物流業者之市場競爭力。

在未來研究方面，本研究將針對不同易碎品可承受之重摔力道透過實驗訂出該物品之重摔事件門檻值（ TH_{Avg} ），以更貼近不同易碎品之配送監控需求。

陸、致謝

作者感謝台灣國立中山大學醫學科技工程系的莊承鑫教授於南臺科技大學任教時提供相關測試設備，並感謝 KERRY Logistics 提供實際物流運送之測試協助。

參考文獻

- [1] Electronics & Semiconductors. (2017/2/3). Global logistics market: Soaring popularity of e-commerce to help market display exponential growth, says tnr. Retrieved from: <https://www.transparencymarketresearch.com/pressrelease/global-logistics-industry.htm>
- [2] M. Becker, B. L. Wenning, C. Görg, R. Jedermann, and A. Timm-Giel (2010). Logistic applications with wireless sensor networks. In *Proc. 6th Workshop on Hot Topics in Embedded Networked Sensors* (pp. 1–6). Killarney, Ireland.
- [3] Z. Zhang, Q. Chen, T. Bergarp, P. Norman, M. Wikström, X. Yan, and L.-R. Zheng. (2009). Wireless sensor networks for logistics and retail. In *Proc. 2009 6th International Conference on Networked Sensing Systems (INSS)* (pp.1–4). Pittsburgh, PA, USA
- [4] C. Liu, R. Zhang, T. Chen, and T. Yi. (2013). The WSN real-time monitoring system for agricultural products cold-chain logistics. In *Proc. 7th International Conference on Computer and Computing Technologies in Agriculture(CCTA)* (pp. 255–261). Beijing, China.

- [5] E. Papatheocharous and P. Gouvas. (2011). eTracer: An innovative near-real time track-and-trace platform. In *Proc. 2011 15th Panhellenic Conference on Informatics* (pp.282–286). Kastonia, Greece.
- [6] X. Lian, X. Zhang, Y. Weng, and Z. Duan. (2007). Warehouse logistics control and management system based on RFID. In *Proc. 2007 IEEE International Conference on Automation and Logistics* (pp. 2907–2912). Jinan, China.
- [7] F. O. O. Gomes L. de Paula, J. C. S. Santos, L. Courcelle, D. Piovani, F. Viera, F. Henes and M. lubaszewski. (2015). A low-power RFID enabled temperature sensor for cold chain management. In *Proc. 2015 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS)* (pp. 2113–2116). Lisbon, Portugal.
- [8] J. Y. Lin, T. A. Do, B. K. Yang, and Y. F. Huang. (2013). Design of refrigerated cargo tracking systems. In *Proc. 2013 International Joint Conference on Awareness Science and Technology & Ubi-Media Computing (iCAST 2013 & UMEDIA 2013)* (pp. 400–406). Aizu-Wakamatsu, Japan.
- [9] E. Abad, S. Zampolli, S. Marco, A. Scorzoni, B. Mazzolai, A. Juarros, D. Gomez..., and I. Sayhan. (2007). Flexible tag microlab development: gas sensors integration in RFID flexible tags for food logistic. *Sens. Actuators B Chem.*, 127(1), 2–7.
- [10] L. Wang, S. K. Kwok, and W. H. Ip. (2010). A radio frequency identification and sensor-based system for the transportation of food. *J Food Eng*, 101, 120–129.
- [11] G. H. Yang, K. Xu, and V. O. K. Li. (2010). Hybrid cargo-level tracking system for logistics. In *Proc. 2010 IEEE 71st Vehicular Technology Conference* (pp. 1–5). Taipei, Taiwan.
- [12] X. Guo, Z. Chen, X. Hu, and X. Li. (2019). Multi-source localization using time of arrival self-clustering method in wireless sensor networks. *IEEE Access*, 7, 82110–82121.
- [13] S. Ting and G. Yong. (2019). TDOA estimation of dual-satellites interference localization based on blind separation. *J. Syst. Eng. Electron.*, 30, 696–702.
- [14] Y. Zhao, Z. Li, B. Hao, P. Wan, and L. Wang. (2019). How to select the best sensors for TDOA and TDOA/AOA localization? *China Commun.*, 16, 134–145.
- [15] Y. Cao and Z. Wang. (2019). Improved DV-hop localization algorithm based on dynamic anchor node set for wireless sensor networks. *IEEE Access*, 7, 124876–124890.
- [16] R. Prasanna and M. Hemalathab, (2012). RFID GPS and GSM based logistics vehicle load balancing and tracking mechanism. *Procedia Eng.*, 30, 726–729.
- [17] S. Jianli. (2012). Design and implementation of lot-based logistics management system. In *Proc. 2012 IEEE Symposium on Electrical & Electronics Engineering (EEESYM)* (pp. 603–606). Kuala Lumpur, Malaysia.
- [18] J. P. Su, C.A. Wang, Y. C. Mo, Y. X. Zeng, W. J. Chang, L. B. Chen, D. H. Lee, and C. H. Chuang. (2017). i-Logistics: An intelligent logistics system based on internet of things. In *Proc. 2017 International Conference on Applied System Innovation (ICASI)* (pp. 331–334). Sapporo, Japan.
- [19] C. H. Chuang, D. H. Lee, W. J. Chang, W. C. Weng, M. O. Shaikh, and C. L. Huang. (2017). Real-time monitoring via patch-type piezoelectric force sensors for internet of things based logistics. *IEEE Sens. J.*, 2498–2506.
- [20] Uneo. (2014) Standard single-point sensor. Retrieved from: <http://www.uneotech.com/uneo/us/product-en/standard-single-point.html>

- [21] I. Kanno. (2019). Piezoelectric pzt thin films: deposition, evaluation and their applications. In *Proc. 2019 20th International Conference on Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems & Eurosensors XXXIII* (pp. 785–788). Berlin, Germany.
- [22] F. Xue, J. Hu, Y. Guo, G. Han, Y. Ouyang, S. X. Wang, and J. He. (2020). Piezoelectric–piezoresistive coupling mems sensors for measurement of electric fields of broad bandwidth and large dynamic range. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 67, 551–559.
- [23] 8051 MCU. (n. d.). Retrieved from: http://www.megawin.com.tw/zh-tw/product/index/8051_MCU
- [24] Micro and Nano Sensing Technology Lab. (2012/6/2). Polyethylene terephthalate. Retrieved from: <https://manstlab2015.blogspot.com/2015/06/blog-post.html>
- [25] R. L. Hollingshead, L. Henry-Etesse, E. Tankere, D Kamper, and T. Tan. (2017). Characterization of hysteresis in resistive bend sensors. In *Proc. 2017 International Symposium on Wearable Robotics and Rehabilitation (WeRob)* (pp. 1–2, 2017). Houston, Texas, USA
- [26] A. G. Leal, A. Frizera, and M. J. Pontes. (2017). Hysteresis compensation technique for POF curvature sensors. In *Proc. 2017 25th Optical Fiber Sensors Conference (OFS)* (pp. 1–4). Jeju, South Korea.
- [27] W. Cheng, L. Yu, D. Kong , Z. Yu, H. Wang, Z. Ma, Y. Wang..., and Y. Shi. (2018). Fast-response and low-hysteresis flexible pressure sensor based on silicon nanowires. *IEEE Electron Device Lett.*, 1069–1072.
- [28] A. Oliveri, M. Maselli, M. Lodi, M. Storace, and M. Cianchetti. (2019). Model-based compensation of rate-dependent hysteresis in a piezoresistive strain sensor. *IEEE Trans. Ind. Electron.*, 66, 8205–8213.
- [29] Friendly Elec. (2014). Tiny210SDK. Retrieved from: <http://www.arm9.net/Tiny210.asp>