

114-015-7D84

MOTC-IOT-113-H1CA001C

人工智慧辨識透地雷達訊號圖像 之前處理初探



交通部運輸研究所

中華民國 114 年 3 月

114-015-7D84

MOTC-IOT-113-H1CA001C

人工智慧辨識透地雷達訊號圖像 之前處理初探

著 者：賴俊呈、胡啟文

交通部運輸研究所

中華民國 114 年 3 月

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

人工智慧辨識透地雷達訊號圖像之前處理初探 /
賴俊呈, 胡啟文著. -- 初版. -- 臺北市 : 交通
部運輸研究所, 民 114.03
面 ; 公分
ISBN 978-986-531-647-1(平裝)

1.CST: 道路工程 2.CST: 公路管理 3.CST:
人工智慧 4.CST: 雷達 5.CST: 管理資訊系統

442.1

114001721

人工智慧辨識透地雷達訊號圖像之前處理初探

著 者：賴俊呈、胡啟文

出版機關：交通部運輸研究所

地 址：105004 臺北市松山區敦化北路 240 號

網 址：www.iot.gov.tw (中文版>數位典藏>中心出版品)

電 話：(04)2658-7200

出版年月：中華民國 114 年 3 月

印 刷 者：綠凌興業社

版(刷)次冊數：初版一刷 46 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所網站

定 價：200 元

展 售 處：

交通部運輸研究所運輸科技及資訊組•電話：(02)2349-6789

國家書店松江門市:104472 臺北市中山區松江路 209 號 F1•電話：(02)2518-0207

五南文化廣場：400002 臺中市中山路 6 號•電話：(04)2226-0330

GPN：1011400204 ISBN：978-986-531-647-1 (平裝)

著作財產權人：中華民國(代表機關：交通部運輸研究所)

本著作保留所有權利，欲利用本著作全部或部份內容者，須徵求交通部運輸研究所書面授權。

GPN : 1011400204

定價 200 元

交通部運輸研究所

交通部運輸研究所自行研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：人工智慧辨識透地雷達訊號圖像之前處理初探			
國際標準書號(或叢刊號) ISBN 978-986-531-647-1(平裝)	政府出版品統一編號 1011400204	運輸研究所出版品編號 114-015-7D84	計畫編號 MOTC-IOT-113-H1CA001c
本所主辦單位：運輸技術研究中心 主管：蔡立宏 計畫主持人：賴俊呈 研究人員：胡啟文 聯絡電話：(04)2658-7200 傳真號碼：(04)2657-1329			研究期間 自 113 年 1 月 至 113 年 12 月
關鍵詞：透地雷達、人工智慧 (AI)、資料前處理			
摘要： 人工智慧辨識系統開發過程需要大量時間進行數據資料前處理作業，且人工智慧學習上限的關鍵在於數據資料的數量、品質及特徵選取標記等，因此，本計畫以應用人工智慧辨識道路下方損壞瀝青鋪面的潛在風險因素為目的，探討透地雷達數據資料前處理程序及其步驟，並初步研擬前處理過程遭遇困難及問題之解決對策或建議。 為了廣泛地蒐集足夠訓練人工智慧的數據資料，本計畫除了探討以自行檢測或試驗方式蒐集數據資料之外，也探討蒐集他人已完成檢測或試驗數據資料之方式，蒐集他人已完成檢測或試驗之數據資料雖然可以增加數量，不過在蒐集及資料前處理過程會遭遇困難及問題，例如：不易蒐集到原始數據資料 (Raw Data)、解譯及轉換不同透地雷達廠牌的原始數據資料之方法等。本計畫透過回顧相關文獻及調查訪談，初步研擬相應的對策或建議，例如：於勞務契約中納入乙方需提送原始數據資料予甲方，以利於後續運用及保存、建議使用 Reflexw、GPR-SLICE 解譯及轉換不同透地雷達廠牌的原始數據資料，以節省經費、人力及時間等。另因應數據資料的保存管理、多時期比對應用及做為後續發展人工智慧辨識系統訓練學習之來源，有建立資料庫之必要。			
研究成果效益： 1. 完成探討透地雷達數據資料前處理程序及其步驟。 2. 完成初步研擬透地雷達數據資料前處理過程遭遇困難及問題之解決對策或建議。			
提供應用情形： 1. 提供公路局、高速公路局及各地方政府道路管理單位未來施政應用參考。 2. 提供本所後續辦理透地雷達、人工智慧辨識等相關研究應用參考。			
出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
114 年 3 月	188	200	凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本所免費贈閱；私人及私營機關團體可按定價購買。
備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。			

**PUBLICATION ABSTRACTS OF RESEARCH PROJECTS
INSTITUTE OF TRANSPORTATION
MINISTRY OF TRANSPORTATION AND COMMUNICATIONS**

TITLE: A preliminary study on pre-processing of ground-penetrating radar signal image recognition using artificial intelligence.			
ISBN (OR ISSN) 978-986-531-647-1 (pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1011400204	IOT SERIAL NUMBER 114-015-7D84	PROJECT NUMBER MOTC-IOT-113-H1CA001c
DIVISION: Transportation Technology Center DIVISION DIRECTOR: Li-Hung Tsai PRINCIPAL INVESTIGATOR: Chun-Cheng Lai, PROJECT STAFF: Chi-Wen Hu PHONE: (04)2658-7200 FAX: (04)2657-1329			PROJECT PERIOD From January 2024 To December 2024
KEY WORDS: Ground-Penetrating Radar (GPR) 、 Artificial Intelligence (AI) 、 Data Preprocessing			
Abstract: The development process of an artificial intelligence (AI) recognition system requires a significant amount of time for data preprocessing. The key to the learning capacity of AI lies in the quantity, quality, and feature selection of the data. Therefore, this project aims to apply AI to identify potential risk factors associated with damaged asphalt pavement beneath roads. It explores the preprocessing procedures and steps for ground-penetrating radar (GPR) data and preliminarily investigates difficulties encountered in the preprocessing process, proposing possible solutions or recommendations. To comprehensively collect sufficient data for training AI, this project not only explores data collection through self-conducted inspections and experiments but also investigates methods for acquiring data from previously completed inspections or experiments conducted by others. Although collecting such existing data can increase the overall dataset size, challenges and issues may arise during the data collection and preprocessing stages. For example, obtaining raw data is often difficult, and interpreting or converting raw data from different GPR manufacturers can be complex. This project conducts a literature review and survey interviews to preliminarily propose corresponding solutions or recommendations. For instance, incorporating a contractual requirement for the service provider to submit raw data to the contracting party can facilitate future utilization and preservation. Additionally, the use of software such as Reflexw and GPR-SLICE is recommended for interpreting and converting raw data from different GPR manufacturers, helping to save costs, labor, and time. Furthermore, to ensure proper data preservation and management, facilitate multi-temporal comparisons, and serve as a training dataset for future AI recognition system development, establishing a database is essential. Benefits of Research Results: 1. Completed discussion on GPR data pre-processing procedures and steps. 2. Complete the preliminary formulation of solutions or recommendations for the challenges and issues encountered in the preprocessing of GPR data. Application Availability: 1. Provide a reference for future policy applications by the Directorate General of Highways, the Freeway Bureau, and local government road management agencies. 2. Serve as a reference for future research and applications related to GPR and AI recognition conducted by this institute.			
DATE OF PUBLICATION Mar. 2025	NUMBER OF PAGES 188	PRICE 200	
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

人工智慧辨識透地雷達訊號圖像之前處理初探

目 錄

中文摘要.....	I
英文摘要.....	II
目錄.....	III
圖目錄.....	VI
表目錄.....	VIII
第一章 前 言.....	1-1
1.1 研究緣起.....	1-1
1.2 研究目的.....	1-3
1.3 研究方法.....	1-3
1.4 研究內容與流程.....	1-4
第二章 文獻回顧.....	2-1
2.1 透地雷達數據資料格式.....	2-1
2.2 透地雷達訊號處理.....	2-3
2.3 資料前處理程序.....	2-5
2.4 生成式對抗網路.....	2-9
第三章 數據資料前處理程序及步驟.....	3-1
3.1 透地雷達數據資料儲存與輸出.....	3-1
3.2 國內常用的透地雷達廠牌型號及其資料處理軟體.....	3-3
3.2.1 透地雷達控制檢測及讀（擷）取顯示軟體.....	3-4
3.2.2 透地雷達後處理軟體.....	3-5
3.3 透地雷達數據資料前處理程序.....	3-7
3.4 透地雷達數據資料前處理程序各步驟之探討.....	3-8

3.4.1 蒐集透地雷達數據資料.....	3-8
3.4.2 建立資料庫.....	3-12
3.4.3 進行資料前處理.....	3-15
3.4.4 創建資料集.....	3-17
第四章 透地雷達數據資料前處理之過程.....	4-1
4.1 蒐集透地雷達數據資料過程.....	4-1
4.1.1 蒐集數據資料過程所遭遇的困難及問題.....	4-1
4.1.2 研擬蒐集數據資料過程所遭遇困難及問題之解決對策 或建議.....	4-5
4.2 建立資料庫過程.....	4-9
4.2.1 建立資料庫過程所遭遇的困難及問題.....	4-10
4.2.2 研擬建立資料庫過程所遭遇的困難及問題之解決對策 或建議.....	4-11
4.3 進行資料前處理過程.....	4-15
4.3.1 進行資料前處理過程所遭遇的困難及問題.....	4-15
4.3.2 研擬進行資料前處理過程所遭遇困難及問題之解決對 策或建議.....	4-18
4.4 小結.....	4-26
第五章 合作研究計畫之芻議.....	5-1
5.1 合作研究計畫說明.....	5-2
5.2 預期成果、效益及應用.....	5-6
第六章 結論與建議.....	6-1
6.1 結論.....	6-1
6.2 建議.....	6-3
6.3 研究成果效益.....	6-3
6.4 提供政府單位應用情形.....	6-4

參考文獻.....	參-1
附錄一 專家學者訪談紀錄.....	附 1-1
附錄二 專家學者座談會會議紀錄.....	附 2-1
附錄三 第 1 次工作會議紀要.....	附 3-1
附錄四 第 2 次工作會議紀要.....	附 4-1
附錄五 第 3 次工作會議紀要.....	附 5-1
附錄六 期末報告審查委員意見處理情形.....	附 6-1
附錄七 期末報告簡報資料.....	附 7-1

圖 目 錄

圖 1.1 研究流程圖	1-5
圖 2.1 二進位檔案格式	2-2
圖 2.2 透地雷達原始訊號圖像	2-2
圖 2.3 透地雷達金屬管原始訊號圖轉換成希伯特振幅等值圖	2-3
圖 2.4 資料準備技術	2-7
圖 2.5 資料縮減技術	2-8
圖 2.6 數據分析中資料前處理技術的分類	2-9
圖 2.7 生成式對抗網路對抗示意圖	2-9
圖 2.8 生成式對抗網路之架構	2-10
圖 2.9 生成器模型生成之影像	2-11
圖 2.10 生成式對抗網路 (StyleGAN2-ADA) 生成的反射波形影 像	2-12
圖 2.11 訓練資料增強框架的流程圖	2-13
圖 2.12 改進的 DCGAN 架構	2-14
圖 2.13 一般 DCGAN 模型及改進的 DCGAN 模型生成的圖像	2-15
圖 3.1 異質物影響繪製示意圖	3-1
圖 3.2 透地雷達三種不同掃描訊號軌跡形式	3-2
圖 3.3 二進位檔案格式解譯並轉換成圖像之示意圖	3-3
圖 3.4 透地雷達現場作業	3-5
圖 3.5 使用後處理軟體之示意圖	3-6
圖 3.6 透地雷達數據前處理程序	3-8
圖 3.7 蒐集透地雷達數據資料方式	3-9
圖 3.8 資料庫管理系統說明示意圖	3-13
圖 3.9 透地雷達數據資料的形式及資料前處理的作業程序	3-16

圖 3.10 透地雷達訊號圖像中標記孔洞訊號特徵.....	3-17
圖 3.11 利用資料庫數據資料創建資料集過程之示意圖	3-18
圖 3.12 即時判讀系統處理架構.....	3-19
圖 4.1 資料庫儲存數據資料的示意圖.....	4-11
圖 4.2 GPR-SLICE 選擇不同廠牌的透地雷達原始檔案介面圖	4-20
圖 4.3 Reflexw 選擇不同廠牌的透地雷達原始檔案介面圖	4-21
圖 4.4 透地雷達訊號圖像之雙曲線異常訊號.....	4-24

表 目 錄

表 2-1 不同數據集的測試結果	2-16
表 3-1 國內常用的透地雷達廠牌型號及其資料處理軟體	3-4
表 3-2 控制檢測及讀（擷）取顯示軟體與後處理軟體功能之差異...	3-6
表 3-3 道路下方潛在損壞風險因素造成瀝青鋪面損壞型態的現象..	3-14
表 4-1 蒐集透地雷達數據資料過程所遭遇之困難及問題	4-5
表 4-2 蒐集透地雷達數據資料所遭遇困難及問題之解決對策或建議	4-9
表 4-3 進行資料前處理過程所遭遇之困難及問題	4-18
表 4-4 進行資料前處理過程所遭遇困難及問題之解決對策或建議.	4-25

第一章 前言

1.1 研究緣起

近年來，在第三波人工智慧（Artificial Intelligence，AI）浪潮中，圖形處理器（Graphics Processing Unit，GPU）比過去的中央處理處（Central Processing Unit，CPU）更適合執行「深度學習」（Deep Learning，DL），以多層次巨大神經網路搭配更進步的訓練技術、計算能力，能學習更複雜的訊號圖像，在辨識訊號圖像上有大幅度的進展，因此，應用人工智慧辨識訊號圖像已是目前發展主要趨勢。

透地雷達是國內常用的非破壞檢測方法之一，非破壞檢測是在不影響受測物未來使用功能或現在運行狀況下，檢測受測物表面、內部與隱蔽處之缺陷、瑕疵或探查標的物，惟透地雷達檢測後是以訊號圖像顯示檢測結果，其檢測結果需要有專業及經驗的人員判釋並圈選出異常處（缺陷、瑕疵）或是標的物（地下管線、埋設物）等，故未受過相關專業訓練及缺乏實務經驗的人員無法進行透地雷達訊號圖像的判釋，這也是交通部運輸研究所（以下簡稱本所）辦理「透地雷達檢測道路孔洞方法之初步探討」訪談道路管理單位，對於透地雷達目前無法廣泛被應用在道路養護巡查的主要原因之一。

目前透地雷達檢測後之訊號圖像還是以人力進行判釋為主，判釋上結果容易產生主觀偏差及人為錯誤等，為消除上述的偏差及錯誤，一般會由不同人員進行初判、複判，對於初、複判有不同判釋結果者，需進行討論確認，甚至會請其他專家學者再行確認，之後才會定案出具成果報告，故於檢測後至出具完整的成果報告是需要一段時間。也因為透地雷達訊號圖像判釋作業是具專業性及經驗性，道路管理單位需要透過合適的發包方式遴選資格廠商，並依據檢測需求，訂定檢測標準及驗收規定確實履約，才能得到可靠有用的成果報告。

此外，本所辦理「透地雷達檢測道路孔洞方法之初步探討」訪談道

路管理單位，希望能有相關工具或方法來協助判釋透地雷達訊號圖像，以解決基層道路養護人員缺乏相關專業及經驗的問題，因此，本所於民國 112 年辦理「透地雷達應用於省道養護巡查及 AI 智慧化辨識可行性之初步探討」探討應用人工智慧辨識透地雷達訊號圖像的可行性，期能以人工智慧輔助辨識的方式，解決道路管理單位人員在專業及經驗不足的問題。

本所「透地雷達應用於省道養護巡查及 AI 智慧化辨識可行性之初步探討」完成調查目前市面上已有人工智慧辨識透地雷達訊號圖像相關的商業軟體，國內也有政府機關依其業務需求委外研發人工智慧辨識透地雷達訊號圖像系統的案例，並訪談研究對象及專家學者，其對於應用人工智慧辨識透地雷達訊號圖像均以正面肯定，專家學者也認為具有可行性，但是發展人工智慧辨識前需要建立相關的數據資料庫，尤其是本土化的數據資料，如何蒐集足夠且正確的數據資料是關鍵課題。

人工智慧辨識系統開發過程，一般可分為三步驟：(1)數據資料的前處理、(2)深度學習方法與模型研擬、建構與套用、(3)輸出結果的整合與後處理，人工智慧辨識系統開發過程需要花費大量的時間對於數據資料進行前處理，包含資料獲取、清理篩選、特徵選擇、特徵處理等等，上述的關鍵課題也是屬於數據資料前處理的一部分，而數據資料的數量、品質及特徵的選取等決定人工智慧學習的上限，因此可以瞭解資料前處理的重要性。

因為國內所使用的透地雷達有不同的廠牌，故在透地雷達數據資料蒐集及使用時，考量僅採用同一廠牌的數據資料，還是採用混用二種以上不同廠牌的數據資料，會有不同前處理程序及方法，例如：不同廠牌透地雷達因為不同的二進位檔案格式，於進行正規化時，檔案輸出格式會有不同的程序及方法，再者各廠牌透地雷達輸出數據，並不一定都是原始數據資料 (Raw Data)，而所取得的數據資料若不是原始數據資料，是有加值過的數據資料，做為人工智慧訓練資料是否會有影響，要如何進行清理篩選，另外市面上有支援相容不同廠牌透地雷達數據資料的分析應用軟體 (第三方軟體)，其可相容不同廠牌的透地雷達數據

資料，輸出使用者想要應用分析的格式圖像，並且可以批次處理大量數據資料，能否對於透地雷達數據資料的前處理有所幫助。

上述在透地雷達數據資料前處理會遭遇到的困難及問題，本計畫將進行初步探討，以利於後續應用人工智慧辨識透地雷達訊號圖像的發展。本計畫為後續年度預計辦理「應用深度學習輔助辨識透地雷達道路下潛在孔洞訊號圖像之研究」合作研究計畫之先期研究。

1.2 研究目的

本計畫為後續年度預計辦理「應用深度學習輔助辨識透地雷達道路下潛在孔洞訊號圖像之研究」合作研究計畫之先期研究，研究目的說明如下：

1. 探討人工智慧辨識透地雷達訊號圖像之前處理過程所遭遇問題及困難，並初步研擬相應之解決對策或建議，以提供本所後續辦理透地雷達、人工智慧辨識等相關研究應用參考。
2. 研擬後續年度合作研究計畫「應用深度學習輔助辨識透地雷達道路下潛在孔洞訊號圖像之研究」。
3. 依據交通部「2020 運輸政策白皮書-運輸部門因應氣候變遷調適與防災分冊」之 1-3 策略：(2)應用科技強化運輸設施之巡檢與監測，研究應用新興科技輔助道路養護業務，提升自主巡查檢測能力。

1.3 研究方法

本計畫主要研究方法說明如下：

1. 藉由國內透地雷達代理商蒐集國內常用的透地雷達廠牌、支援相容各廠牌透地雷達第三方分析應用軟體相關的基本資訊，並透過各大論文典藏系統、資料庫及期刊文獻等，蒐集透地雷達數據資料前處理方法或步驟相關資料或應用案例。

2. 辦理訪談國內有應用人工智慧辨識透地雷達訊號圖像相關經驗的業界專家(例如：顧問公司、代理商等)、學者(大專院校老師或教授)。
3. 依據蒐集的文獻、資料、專家學者訪談紀錄及其意見，以應用人工智慧辨識道路下方損壞瀝青鋪面之潛在風險因素為目的，研擬透地達數據資料前處理程序，並探討程序之步驟以及其過程中所會遇到的困難及問題後，初步研擬解決對策或建議。
4. 召開專家學者座談會並辦理工作會議，俾利研究方向對焦及檢視計畫進度。

1.4 研究內容與流程

本計畫之主要研究內容說明如下，研究流程如圖 1.1 所示。

1. 資料蒐集及文獻回顧

蒐集國內常用的透地雷達廠牌、支援相容各廠牌透地雷達第三方分析應用軟體相關的基本資訊，以瞭解不同廠牌透地雷達之間的異同處、分析應用軟體的相關功能，並蒐集透地雷達數據資料前處理相關之國內外文獻或應用案例，做為後續探討之依據及借鏡。

2. 專家學者探訪

訪談專家學者以瞭解目前國內外應用人工智慧辨識透地雷達訊號圖像的趨勢及資訊，並請教以應用人工智慧辨識道路下方損壞瀝青鋪面的潛在風險因素為目的之前處理程序步驟及其過程中所遭遇的困難、問題之看法及意見。

3. 數據資料前處理程序及步驟

以應用人工智慧辨識道路下方損壞瀝青鋪面之潛在風險因素為目的，探討數據資料前處理的程序及其各步驟。

4. 透地雷達數據資料前處理之過程

探討以應用人工智慧辨識道路下方損壞瀝青鋪面之潛在風險因素為目的，於透地雷達數據資料前處理執行過程中，所遭遇的困難及問題，並初步研擬解決對策或建議。

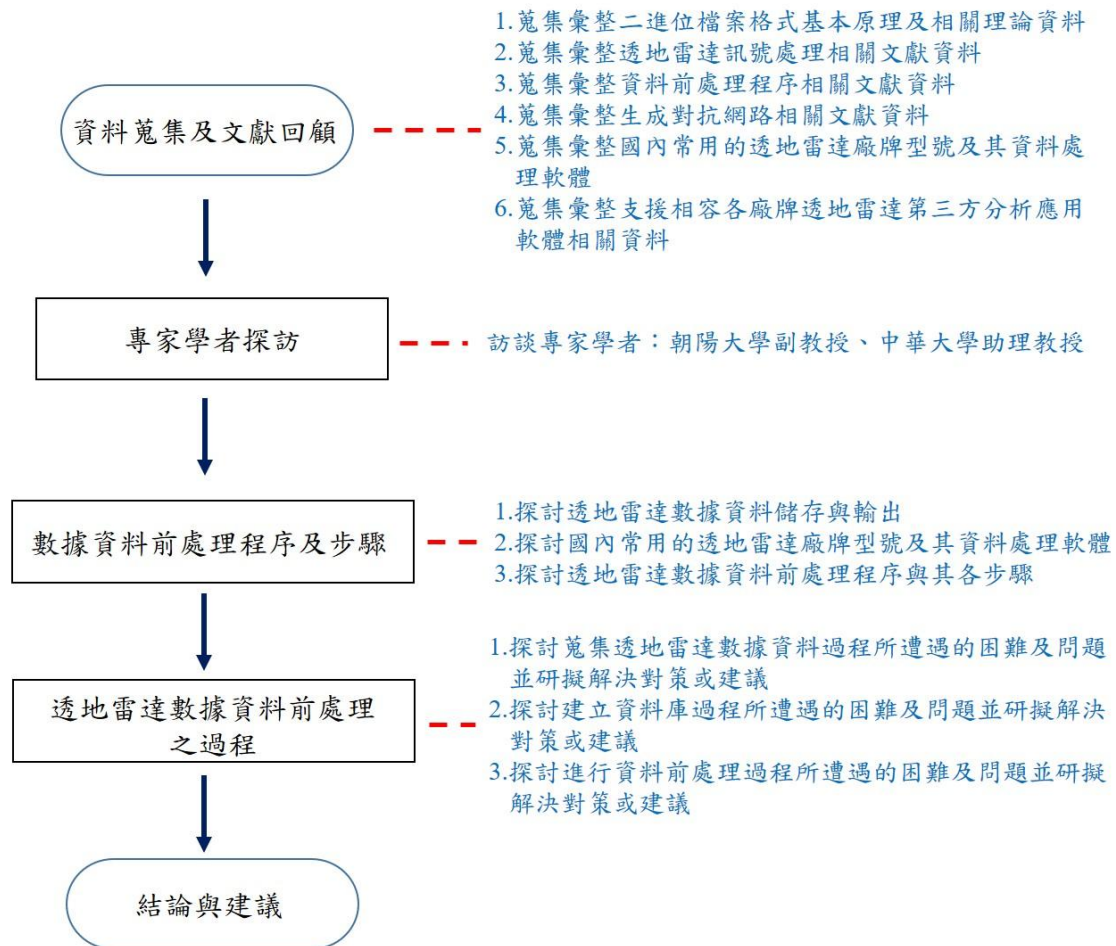


圖 1.1 研究流程圖

第二章 文獻回顧

2.1 透地雷達數據資料格式

透地雷達為非破壞檢測(Non-Destructive Testing, NDT)方式之一，其利用電磁波天線發射電磁波束做為檢測能源，電磁波遇到不同電磁性質（例如：相對介電常數、導電度等）的介質界面產生反射訊號再藉由接收天線（或稱收波器）接收，沿著測線上每一軌跡作取樣，按幾何關係排列並將訊號放大、數位化後儲存於主機中，且可即時藉由操作軟體進行讀取顯示成圖像後，人員據以分析判釋受測物體（目標）的剖面排列方式或判別標的物之特性等。

上述的「數位化後儲存」係指以二進位檔案(Binary File)格式方式進行儲存，而市面上各家透地雷達廠牌均自行開發自家二進位檔案格式儲存檢測後之訊號，且所輸出的訊號原始數據資料也同樣以二進位檔案格式方式。二進位檔案一般指包含 ASCII 及擴充 ASCII 字元中編寫的資料或程式指令(Program Instructions)的檔案。廣義的二進位檔案即為檔案，由檔案在外部儲存裝置的存放方式為二進位而得名。狹義的二進位檔案即指除文字檔案以外的檔案(維基百科)。

進一步說明，二進位檔案是由一系列連續的位元組組成，每個位元組的長度為八位元，如圖 2.1 所示。二進位檔案不是人員可判讀的，其內容必需由程式或硬體處理器進行解譯，而該程式或硬體處理器必需事先準確了解該內容的格式以及如何讀取資料^[1]，二進位檔案格式之間的差異，大致可歸類為：(1) 編碼與解碼方式、(2) 數值單位與字組的位元數、(3) 大端序與小端序，因此，各家廠牌的透地雷達原始數據資料(Raw Data)，通常需要由各家原廠所提供的軟體進行讀取解譯並轉換顯示成訊號圖像，如圖 2.2 所示（以瑞典 Malå GeoScience 公司原廠軟體 GroundVision 轉換顯示之原始訊號圖像為例），才能由人員進行分析判釋，而將反射訊號原始數據資料（二進位檔案格式）轉換為訊號圖像的過程可稱為訊號處理。

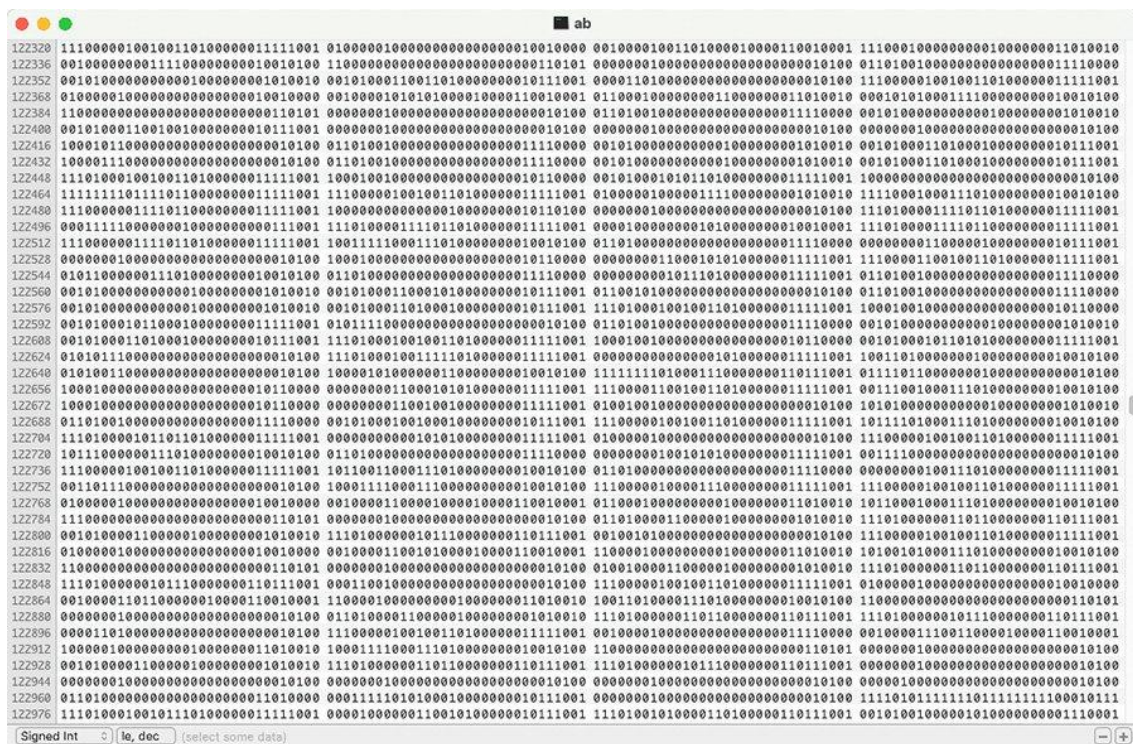


圖 2.1 二進位檔案格式^[1]

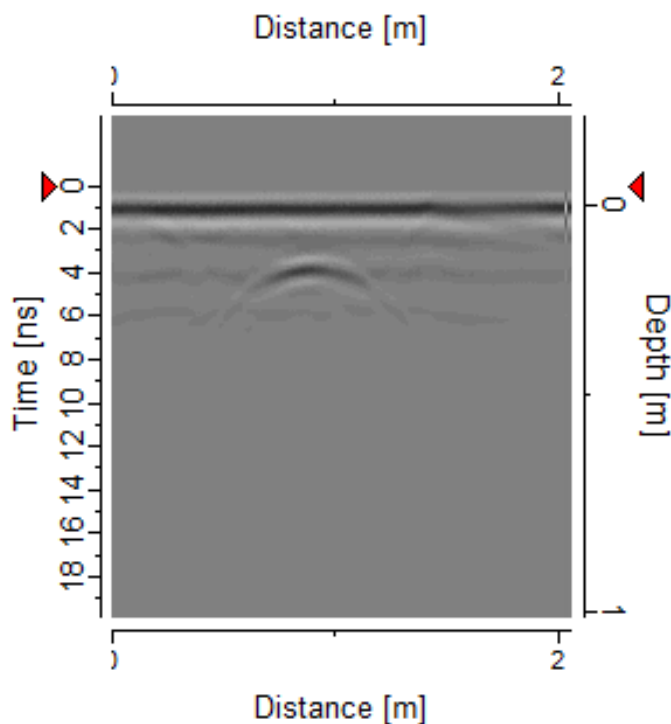
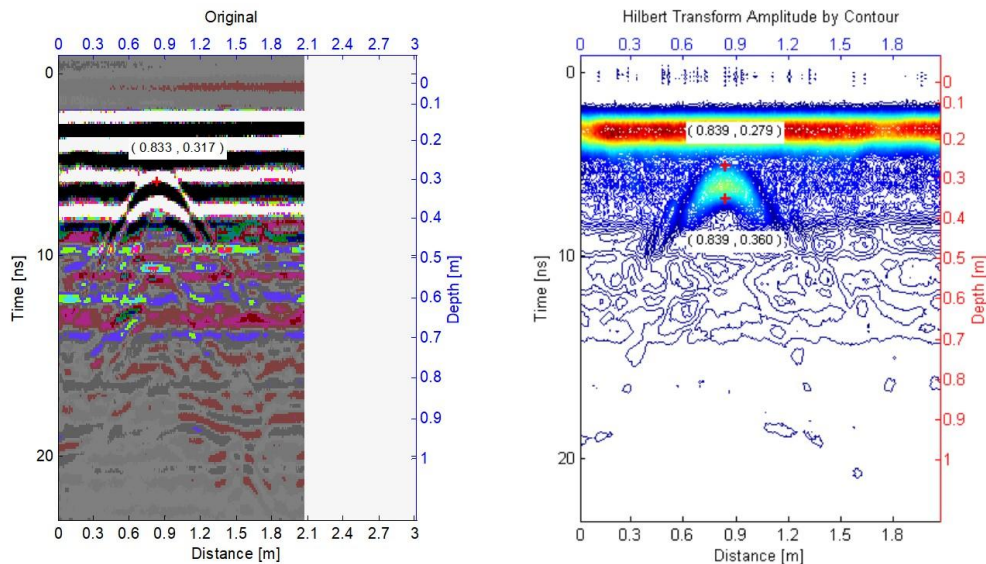


圖 2.2 透地雷達原始訊號圖像^[18]

2.2 透地雷達訊號處理

透地雷達訊號處理除了可將反射訊號原始數據資料 (Raw Data) 解譯並轉換為人員分析判釋的訊號圖像之外，為了使人員能更精準地分析判釋或者利用反射訊號瞭解更多受測標的物的特性及資訊等，會將檢測後之反射訊號原始數據資料輸出後進行所謂的「後處理」，後處理主要是將訊號更進一步轉換、濾波、增益以及譜分析和估計等，例如：應用希伯特轉換 (Hilbert Transform) 將金屬管原始反射訊號轉換成振幅等值圖，如圖 2.3 所示，可更突顯反射訊號特徵，除了有利於分析判釋之外，並能更準確地估計出管線位置及管徑大小^[18]。



(a) 以Matlab軟體重新轉換繪製之原始訊號圖像

(b) 以Matlab軟體進行希伯特轉換之震幅等值圖

圖 2.3 透地雷達金屬管原始訊號圖轉換成希伯特振幅等值圖^[18]

在透地雷達檢測後，無論是使用人力判釋或應用人工智慧辨識，都必需先透過訊號處理轉換成圖像，才有辦法進行判釋或辨識，並透過後處理作業突顯反射訊號的特徵，以利於判釋或辨識或取得到更多受測目標物的相關資訊，因此，對於透地雷達訊號處理進行相關文獻回顧如下：

G.Grandjean 和 J.C.Gourry ^[2] (1996) 應用透地雷達於大理石採石場，並對透地雷達訊號進行後處理，再以地震學方法分析裂縫且納入

3D 模型中，以其定位低、高品質的大理石區域。文中彙整了一般透地雷達探測的訊號資料處理流程，包含訊號補償、濾波、包絡平移等方法，及在訊號資料處理上的解釋。

陳祥穎^[16] (2003) 使用高頻步進式透地雷達，在頻率域量測上，選用的頻率可以更有彈性，但是分析反射訊號時，容易受到直接波的影響，常導致淺層訊號易與直接波互相干擾而難以判釋，經室內及現場試驗分析結果顯示，後處理程式（天線對空率定、相同介質濾波、同一測線濾波及漢寧濾波器）能將直接波訊號與持續存在的背景雜訊去除，對於待測物（檢測之目標物）訊號的分析與判斷能有更進一步的掌握。

Fawzy Abujarad 和 Abbas S. Omar^[3] (2006) 應用透地雷達進行非金屬和低金屬含量的地雷的檢測並提出 2 種主要的訊號處理技術來減少雜訊，分別是因子（素）分析（Factor Analysis, FA）和主要成分分析（Principal Components Analysis, PCA），依其實驗結果 FA 在減少雜訊方面比 PCA 更有效，並且在所有測量中，表面反射已被移除或至少減少。

ABUJARAD, F. ^[4] (2007) 應用透地雷達進行非金屬地雷的檢測，並比較多種訊號處理技術的效果；獨立成分分析（Independent Components Analysis, ICA）：這種算法在消除透地雷達雜波和提取目標訊號方面表現最佳，奇異值分解（Singular Value Decomposition, SVD）：用於降低雜波，並在實驗中取得了良好的效果。小波包變換結合高階統計：這種方法在透地雷達訊號處理中非常有效，特別在去噪方面。最大概似估計（Maximum Likelihood Estimates, MLE）和廣義概似比檢驗（Generalized Likelihood Ratio Tests, GLRT）：這些方法用於訊號檢測和雜波減少，並提供了預期性能曲線來評估效果。

Daniel Reichman 等人^[5] (2018) 探討應用透地雷達進行埋藏威脅檢測的演算法，特別對於傳統廣泛應於透地雷達資料前處理的方向梯度值方圖（Histogram of Oriented Gradients, HOG）演算法進行改進，包括移除區塊正規化、增加時間關鍵點平均和多 B-scan 特徵平均，這些改進顯著提升了演算法性能，並使用真實的透地雷達數據資料進行實

驗，證明改良後的 gprHOG 在多個數據集和雷達上均表現優異，顯示其對於透地雷達資料的適應性和改進效果。

倪勝火和張裕^[17]（2021）探討應用透地雷達檢測地下異物並利用複數連續小波轉換（Complex Continuous Wavelet Transform, CCWT）進行訊號處理，複數連續小波轉換（CCWT）能同時顯示振幅和相角，提供更豐富的訊號特徵，有助於提高判讀效率，經實驗顯示，將複數連續小波轉換（CCWT）應用於透地雷達原始訊號分析，觀察訊號隨時間及頻率的變化，發現能有效突顯淺層訊號，但深層訊號的特性會有所漏失。

2.3 資料前處理程序

應用人工智慧辨識透地雷達圖像之前，必需先蒐集訓練人工智慧的透地雷達數據資料，數據資料的來源可能有不同透地雷達廠牌的原始數據資料（Raw Data），甚至蒐集的不只是透地雷達的原始數據資料，也會蒐集圖像檔案格式的資料，另外要讓人工智慧進行訓練學習的是辨識訊號圖像，然透地雷達訊號圖像代表著不同的標的物（例如：管線、孔洞等），需要依據給予人工智慧辨識的目的進行特徵標記，因此，需要將蒐集的數據資料進行前處理的作業後，創建資料集才能讓人工智慧進行訓練學習。

而人工智慧辨識系統開發過程需要花費大量的時間對於數據資料進行前處理，因為數據資料的數量、品質及特徵的選取等決定人工智慧學習的上限，由此可知，資料前處理對於人工智慧訓練學習的重要性，以下進一步瞭解資料前處理程序。

資料前處理（Data Preprocessing）或資料預處理，是指在進行數據分析、建立模型或機器學習之前，對數據資料（指經蒐集來的數據資料且蒐集者尚未進行任何處理作業）進行清理、轉換和整理的過程。資料前處理的目的是確保數據的品質和一致性，以及減少不確定性和噪音（雜訊），讓數據更適合進行後續的分析和建模工作^[19]。

數據資料通常會有多個來源，故需要先進行前處理。通常所蒐集的

數據資料，不外乎是有錯誤的資料及格式，或是有極端值和重複的資料，這些都是會造成數據資料品質低落常見的原因。因此，資料前處理的重要性，就是挑出這些不合格的數據資料，讓龐大的數據資料成為有價值的洞察^[19]。

資料前處理可分為以下 4 個步驟^[19]：

1. 資料清洗（Data Cleaning）：

資料清洗是清理數據中的錯誤、缺失值和不一致性。在進行這個步驟時，必需要填補缺失值、刪除重複或無效的記錄，以及修正錯誤的數值或標籤。

2. 資料轉換（Data Transformation）：

資料轉換是對數據進行轉換，以使其更適合進行分析，主要的內容包括特徵縮放（例如：標準化或統一化）、特徵抽取（從數據資料中提取更有意義的特徵）、類別編碼（將類別型數據轉換成數值），以及降維（像是主成分分析）等。

3. 資料集成（Data Integration）：

資料集成是將來自不同來源、不同格式與不同結構的數據整合到統一的數據資料湖中。通常可以看見跨部門、跨系統間的數據來源彙整，以確保數據的一致性和可用性。然而中間可能會面臨到數據資料格式不統一的窘境，因此，建議必需落實資料清洗的步驟，才能順利執行資料集成。

4. 資料歸納（Data Reduction）：

最後則是資料歸納，對數據資料的規模進行縮減，以減少數據的維度、大小或複雜度，同時保留主要的特徵和資訊。資料歸納有助於減少運算成本、降低噪音（雜訊）影響、提高模型的效率和可解釋性。

García,S 等人^[6]（2016）在應用資料探勘（Data Mining）方法之前使用的一組技術，被稱為用於資料探勘的資料前處理。由於數據資料可能是不完美的，因此包含不一致和冗餘並不直接適用於啟動資料探勘

過程。在商業、工業、學術和科學應用中，數據資料生成速率及其規模的快速增長，蒐集的數據資料量越大，需要更複雜的機制來分析數據資料。資料前處理能夠使數據資料適應每個資料探勘演算法提出的要求，從而能夠處理之。

儘管資料前處理是一個強大的工具，可以處理複雜的數據資料，但可能會花費大量的處理時間。資料前處理包括廣泛的學科，如資料準備和資料縮減技術，如圖 2.4 所示。前者包括資料轉換、整合、清洗和標準化；後者旨在透過特徵選擇、實例選擇或離散化來降低資料的複雜性，如圖 2.5 所示。

在成功應用資料前處理階段之後，所獲得的最終資料集，可以被視為隨後應用的任何資料探勘演算法之可靠且合適的來源。

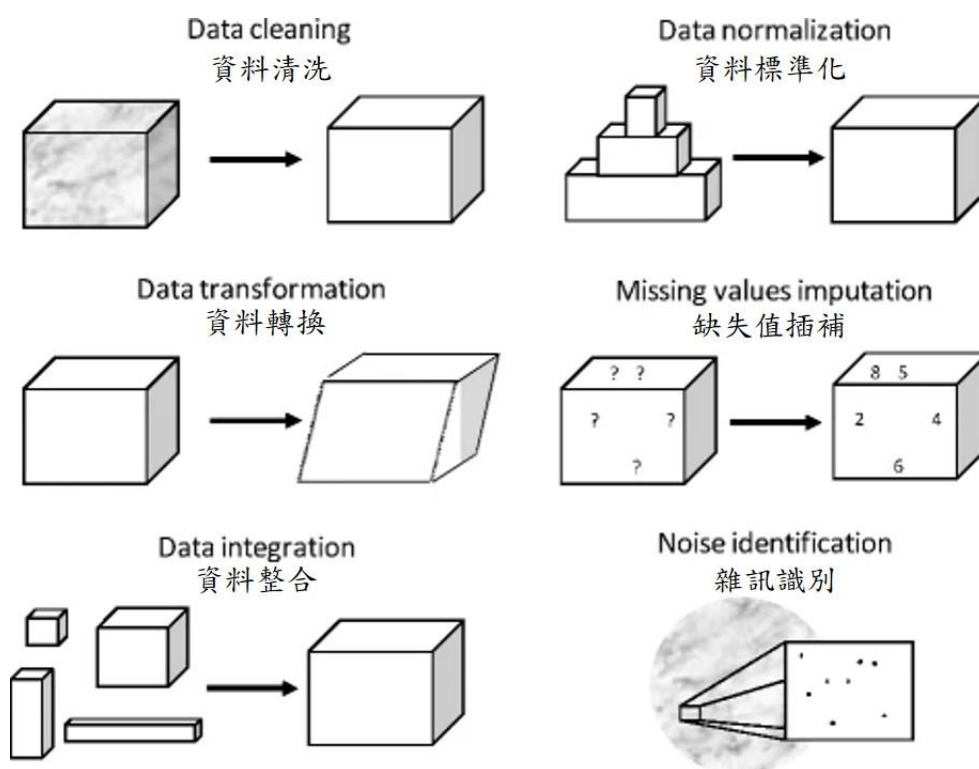


圖 2.4 資料準備技術^[6]

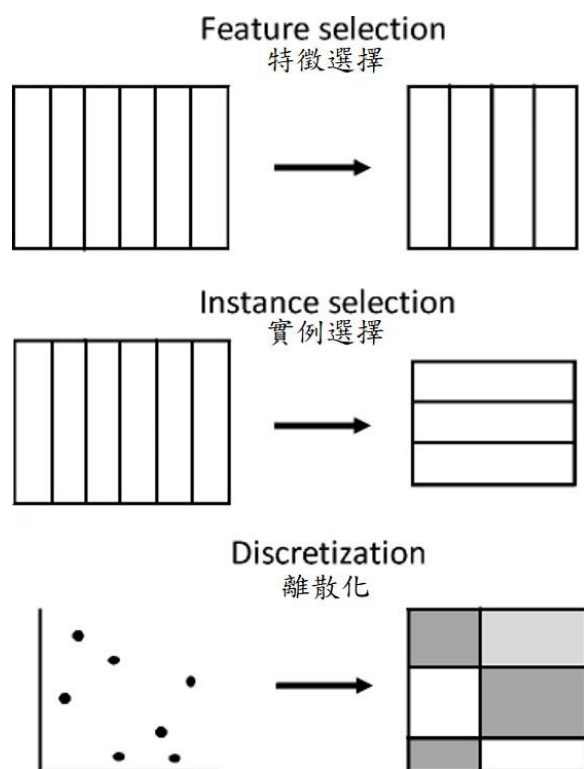


圖 2.5 資料縮減技術^[6]

Çetin,V.和 Yıldız,O. [7] (2022) 認為蒐集的原始數據資料可能包含質量問題，例如：不完整、不一致、噪音、冗餘和重複記錄。如果這些問題沒有得到解決，那麼要從數據資料中提取的資訊也將不正確。因此，前處理是數據分析過程中非常重要的步驟。在前處理步驟的第一部分，通過執行數據資料選擇過程，從整個數據資料庫中選擇目標數據資料。然後，在第二部分中，應用前處理方法來修復錯誤並提高數據品質。在數據資料前處理階段的最後部分，這些數據資料被轉換為適合數據資料探勘演算法的形式，並得到加強，以便更高效地運行探勘過程並更容易理解模型。其研究了過去 5 年中有關資料前處理的論文，觀察到廣泛使用的前處理方法分為三個主要分支：資料清洗、資料轉換和資料歸納。數據分析中資料預（前）處理技術的分類，如圖 2.6 所示。

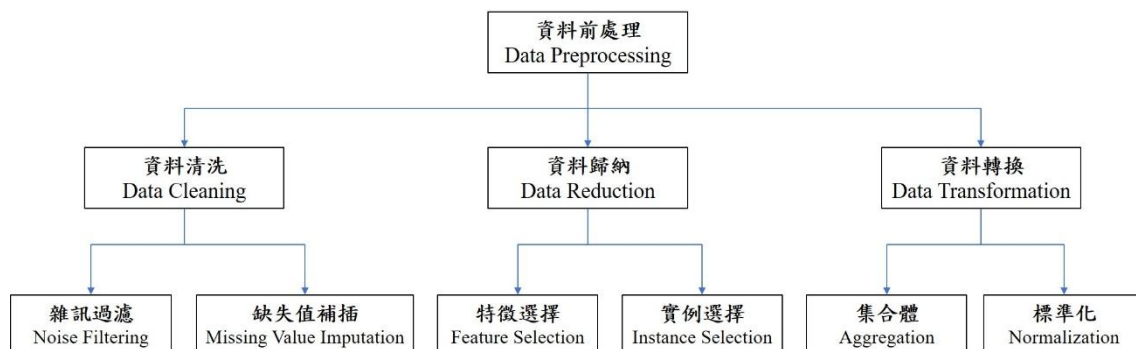


圖 2.6 數據分析中資料前處理技術的分類^[7]

2.4 生成式對抗網路 (Generative Adversarial Networks, GAN)

生成式對抗網路是機器學習中非監督式的一種方法。它訓練兩個深度神經網路（產生器網路和鑑別器網路）來彼此競爭，從指定的訓練資料集中產生更真實的新資料。例如：可以從現有的影像資料庫中產生新影像。生成式對抗網路之所以被認為具有對抗性，是因為可以訓練兩個不同的網路並使其相互對抗。其中一個網路（產生器網路）輸入資料範例，並儘可能修改嘗試產生新資料。另一個網路（鑑別器網路）會嘗試預測產生的新資料輸出是否屬於原始資料集。換言之，鑑別器網路確定產生的新資料是虛假還是真實，若鑑別為假資料，產生器網路會產生較新的改進版假資料，直至鑑別器網路無法再區分虛假資料與原始資料^[8]，如圖 2.7 所示。

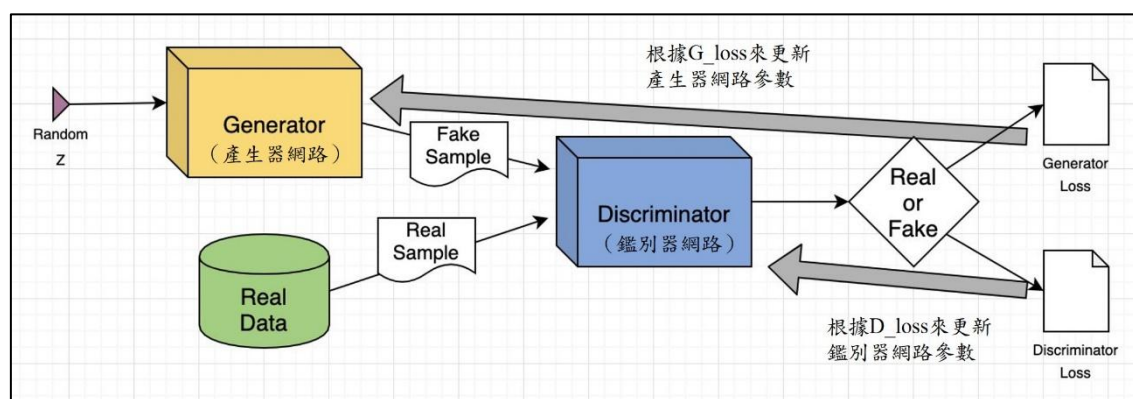


圖 2.7 生成式對抗網路對抗示意圖^[8]

應用人工智慧辨識透地雷達圖像，需要有足夠且正確的透地雷達數據資料，讓人工智慧進行訓練學習，如何蒐集足夠（數量）且正確（品質）的透地雷達數據資料是關鍵課題，而足夠的透地雷達數據資料是第一個挑戰，近年來，生成式對抗網路取得了顯著成效，可生成大量訓練資料用於深度學習模型的訓練，因此，有相關研究利用生成式對抗網路來解決透地雷達數據資料短缺的問題。

Zhang, X. 等人^[9]（2021）提出一種基於生成式對抗網路的深度學習框架，該框架生成新的訓練資料來解決透地雷達資料的稀缺（少）性，自動學習特徵並透過端到端的方法辨識地下物體（透過雙曲線，塑膠管線）。使用來自鐵路基礎設施監控應用的真實透地雷達 B 掃描影像（係為透地雷達二維訊號圖像）評估所提出的方法，並將其與最先進的辨識模型（演算法）（即 Faster-RCNN、Cascade R-CNN、SSD 和 YOLO V2）進行比較。其所提出的方法優於現有方法，平均精度（mAP）的準確度高達 97%。此外，所提出的方法也透過獨立資料集的交叉驗證，證明了良好的通用性，以及所提出的方法在解決資料稀缺（少）性和透地雷達地下物體自動辨識方面的有效性。

為了產生用於模型訓練的新數據資料，應用生成式對抗網路來產生透地雷達 B 掃描影像。所提出的生成式對抗網路之架構，如圖 2.8 所示。

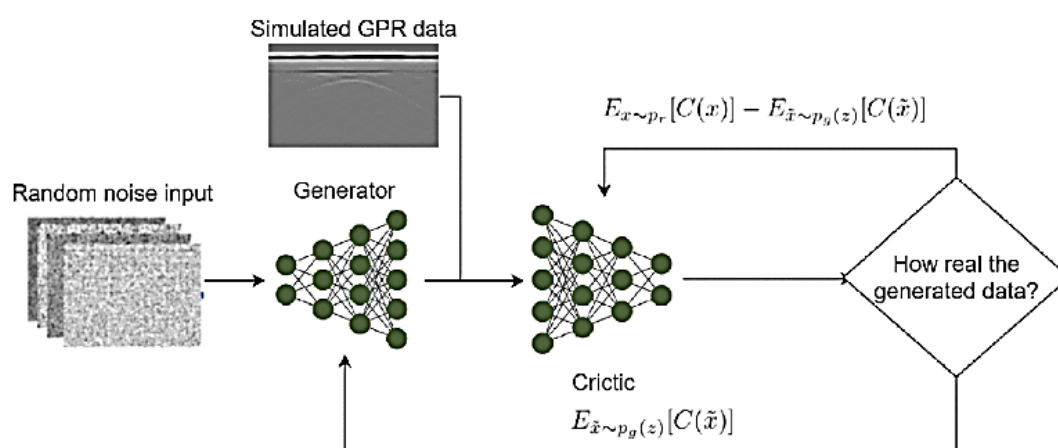


圖 2.8 生成式對抗網路之架構^[9]

其生成式對抗網路的概念是同時訓練兩個模型：生成器（G）模型

和批評家(C)模型。生成器嘗試產生與資料集中的資料相似的新數據，而批評者嘗試將真實影像與生成器產生的影像進行分類。

生成器模型生成透地雷達地下塑膠管線之 B 掃描影像，如圖 2.9 所示，這些影像中的雙曲線顯示了所需的行為，而沒有顯示太多變化。雙曲線之間沒有單一的雜訊分佈，它們在視覺上是相同的，並且影像在視覺上是真實的。

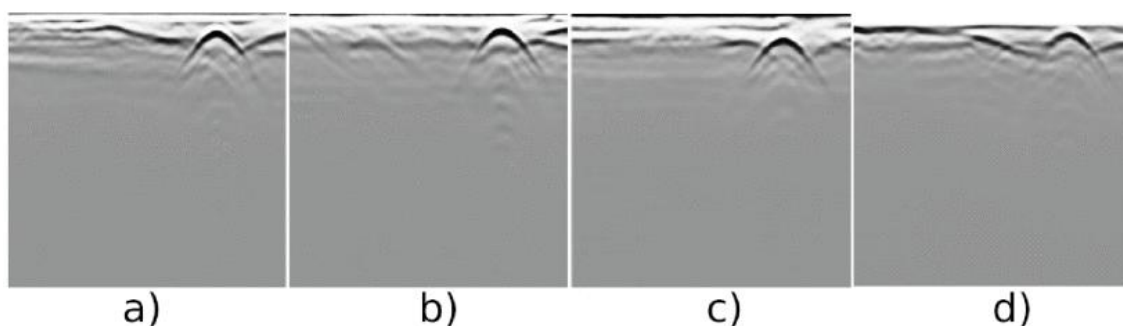


圖 2.9 生成器模型生成之影像^[9]

透地雷達廣泛用於在不開挖的情況下，探測或檢測確定埋設於地下管道（線）的位置，並且研究應用機器學習，以根據透地雷達獲得的反射波形圖像自動辨識地下管道（線）的位置。在應用機器學習的目標辨識中，辨識的準確性受到訓練資料的數量和品質的影響，因此擴展訓練資料以提高準確性非常重要，對於位於地下且不易確認其存在的埋設管道（線）尤其如此。

因此，Chun, P.等人^[10]（2023）研究開發一種使用 You Only Look Once v5（YOLOv5）物件辨識演算法和 StyleGAN2-ADA 模型相結合，以產生並自動註釋（標註）增強的訓練資料集。透過使用 StyleGAN2-ADA 迭代生成反射波形圖像並自動註釋（標註）生成的圖像。圖 2.10 顯示了 StyleGAN2-ADA 產生的影像範例。產生的影像具有實際反射波形影像的特徵，例如雙曲線形狀和水平條紋，作為 YOLOv5 的訓練資料。其中特別重要的是開發一個透過生成式對抗網路生成圖像的監督訓練資料增強框架，如圖 2.11 所示，重點關注在 YOLOv5 中難以檢測埋地管道（線）的圖像，並將其加入到訓練資料集中以遞歸地重複訓練，提高 YOLOv5 準確度。

具體來說，透過僅從 500、1,000 和 2,000 個訓練圖像逐步自動生成訓練圖像，分別獲得了 0.915、0.916 和 0.924 的 F 值。這些值高於透過手動標註 15,000 張圖像訓練 YOLOv5 得到的值 0.90。此外，將此方法應用於日本靜岡縣的一條道路，並證實該方法可以在真實道路上高精度地檢測埋地管道的位置。該方法可以有助於節省實際執行中耗時且昂貴的訓練資料擴展所需勞力，並有助於提高檢測精度。

Chun, P.等人研究開發的方法可以節省人力並增加訓練數據，特別是使用深度神經網路對透地雷達結果進行分析，並顯示該方法在實際道路上使用時可以以合理的精度檢測埋地管道（線）。其提出的方法在增加訓練資料方面比傳統方法有幾個優點。首先，可以產生與真實影像相似的合成影像，顯著增加訓練資料集的多樣性和代表性。其次，自動對生成的圖像進行註釋（標註），節省時間並減少註釋（標註）過程中的人為錯誤。第三，可從現有圖像遞歸（迴）生成新圖像，這可以進一步增加訓練資料集的大小（數量）和品質。

Chun, P.等人研究開發的方法係用少量的訓練數據資料提高準確性，這將大大促進用於檢測埋地管道的人工智慧發展，因為地下管道（線）埋於地下，因此很難蒐集到正確的數據，也可以將此方法應用於難以蒐集正確數據的其他任務。

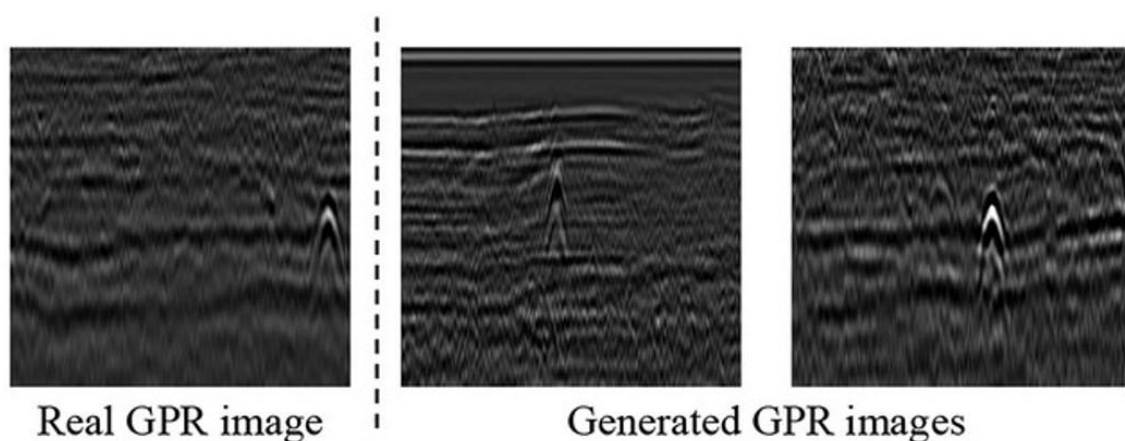


圖 2.10 生成式對抗網路（StyleGAN2-ADA）生成的反射波形影像^[10]

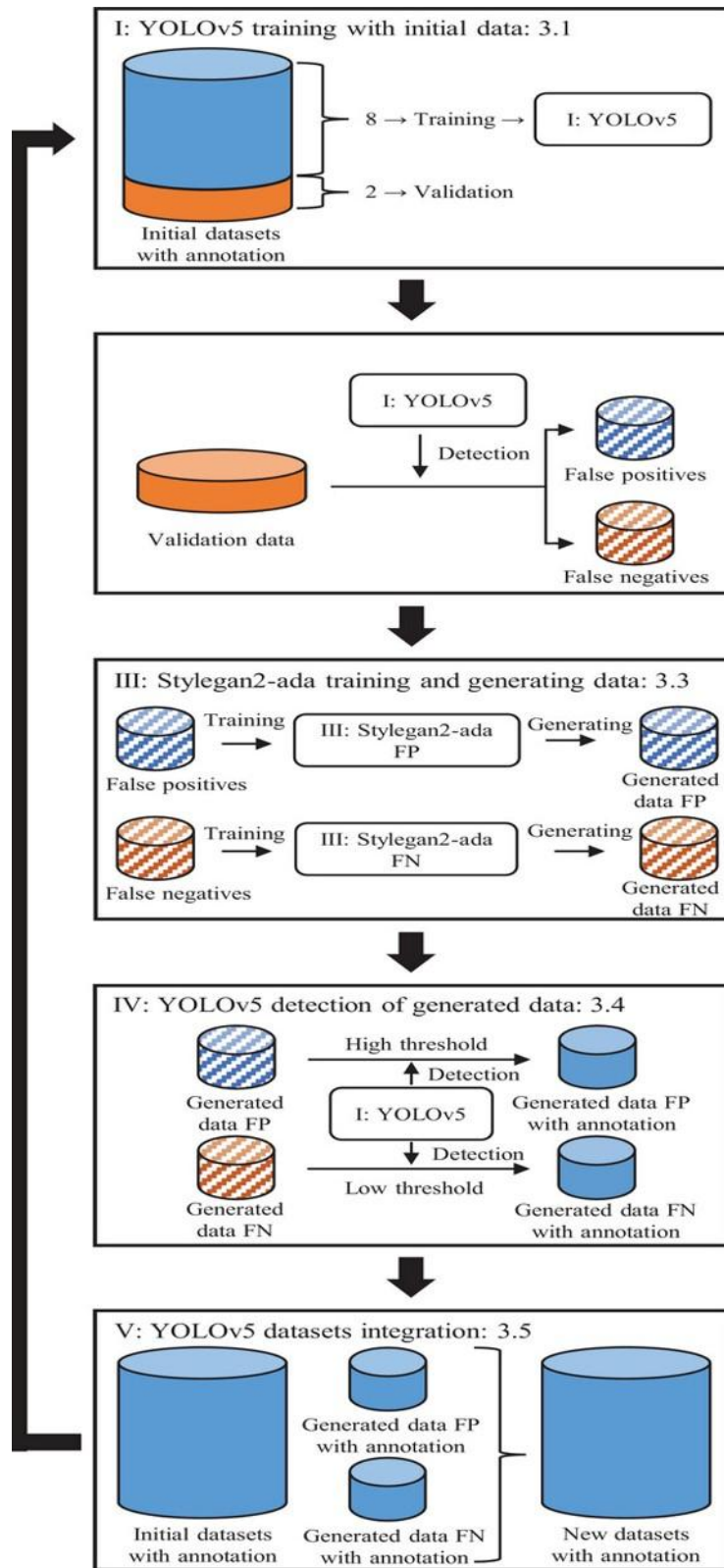


圖 2.11 訓練資料增強框架的流程圖^[10]

註：FN，未檢測；FP，錯誤

Hu.等人^[11] (2023) 應用深度學習辨識地下空間缺陷，淺層地下空間缺陷引起的城市道路塌陷極為危險，故對潛在缺陷區域的探測或檢測提出較高的要求。雖然利用透地雷達可以有效檢測缺陷特徵，包括空洞、含水空洞、雙曲線缺陷及鬆散缺陷，但目前透地雷達數據資料量有限，因此，應用具有改進的損失函數的深度卷積生成式對抗網路 (Deep Convolutional Generative Adversarial Networks, DCGAN) 來增強現有的透地雷達數據資料。

DCGAN 是一種基於 GAN 的改進模型。在 DCGAN 中，引入了 CNN 來替代多層感知器，因為它可以更好地從真實圖像中提取數據特徵，並更有效地區分生成圖像和真實圖像，從而大大提高了網絡性能。然而，損失函數仍基於 Jensen-Shannon (JS) 散度，這意味著 DCGAN 在訓練過程中仍然會遇到梯度消失問題。為解決這個問題，Hu.等人使用沃瑟斯坦距離 (Wasserstein Distance) 替代 JS 散度來衡量數據分佈之間的距離，另外當修剪範圍接近極限時，這也會導致梯度爆炸。因此，引入了梯度懲罰 (Gradient Penalty, GP) 來提高模型在訓練過程中的穩定性，使用 DCGAN 和上述方法 (損失函數)，建立了一個生成網絡和鑑別網絡來創建透地雷達圖像的數據增強模型。所提出模型的結構，如圖 2.12 所示。

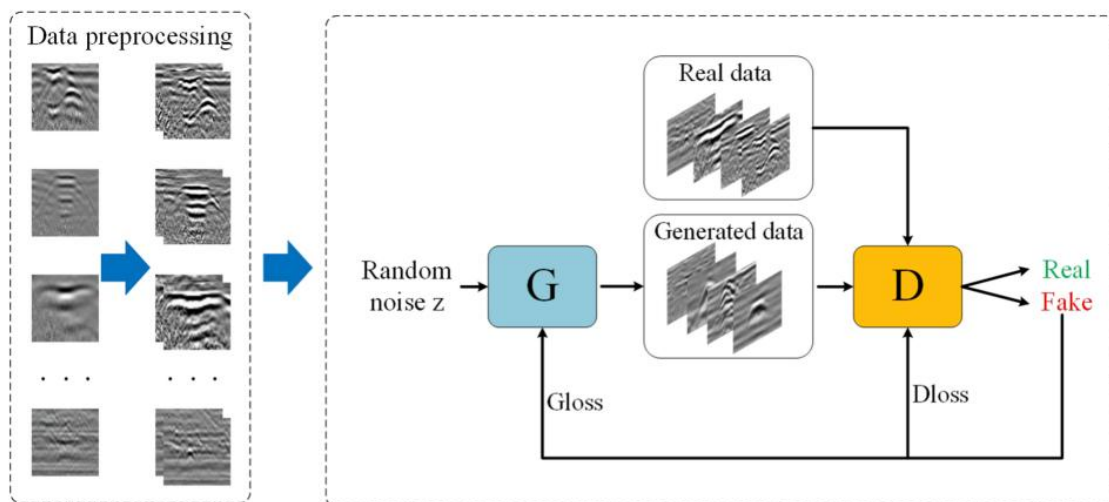


圖 2.12 改進的 DCGAN 架構^[11]

圖 2.13 顯示了一般 DCGAN 模型和 Hu.等人改進的 DCGAN 模型在不同反覆運算次數後生成的透地雷達圖像，當反覆運算次數達到 1,000 次時，兩個模型都出現了異常特徵，但改進模型生成的圖像之特徵更加清晰，圖像背景的整體清晰度更高，這意味著圖像品質更接近真實圖像。

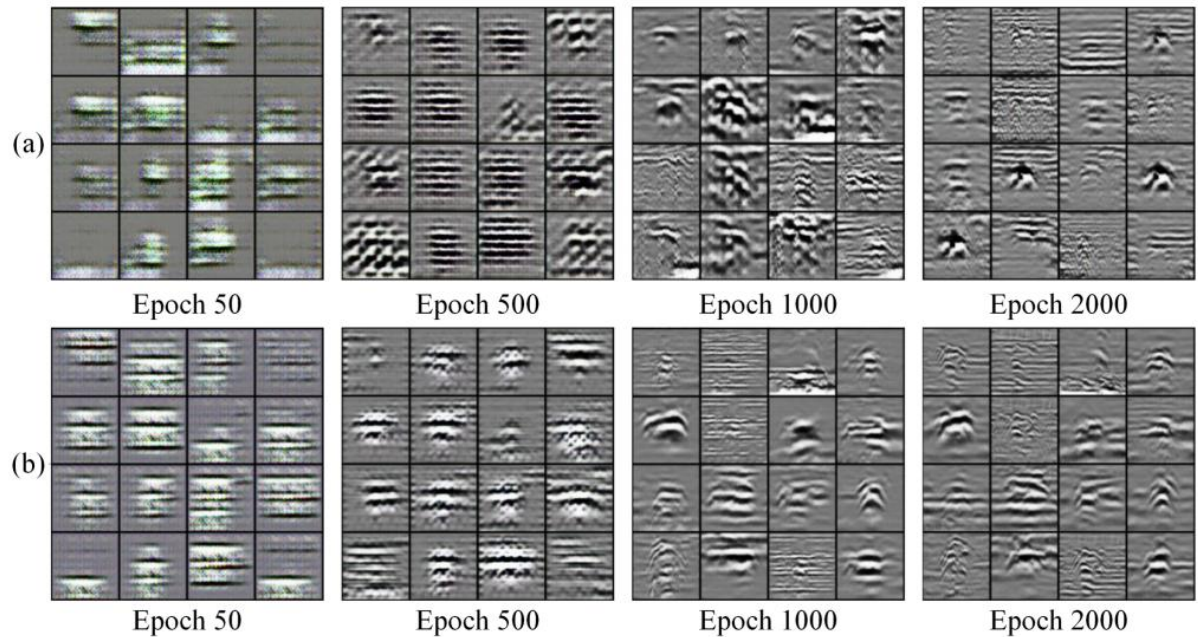


圖 2.13 一般 DCGAN 模型及改進的 DCGAN 模型生成的圖像^[11]

註：(a) 一般 DCGAN，(b) 改進的 DCGAN

由於地下空間的缺陷複雜多樣，Hu.等人建立了一個包含空洞、含水空洞、雙曲線和鬆散缺陷的數據集，經前處理後的透地雷達數據通過圖像反轉、平移、剪輯和顏色轉換進行增強，總共得到 2,340 張圖像。但在這個過程中，沒有產生新的特徵資訊，擴展數據集的多樣性很差，目標檢測性能的提升有限。

為避免過度擬合，並提高訓練網路的泛化能力，採用改進損失函數的 DCGAN 將數據集擴展到 3,256 張透地雷達圖像，並增加樣本的多樣性。數據集之目標空隙數、含水空隙數、雙曲線數和鬆散缺陷數分別為 1,105、795、797、1724 張。

實驗結果顯示，使用 Hu.等人所提出的辨識模型（透過注意模組增強之 YOLOv5 改進版本），並將 Hu.等人改進的 DCGAN 模型所生成之增強圖像添加到訓練數據集時，空隙、含水空隙、雙曲線和鬆散缺陷的平均精度（Average Precision，AP）值分別為 87.5%、86.6%、96.2%和 71.1%，比使用原始數據集和一般增強圖像（圖像反轉、平移、裁剪和顏色變換）之數據集還要好，如表 2.1 所示，因為 Hu.等人改進的 DCGAN 模型生成具有損失函數的新數據增加了數據集的多樣性，並促進了樣本數量方面類別之間的比例平衡。

表 2-1 不同數據集的測試結果^[11]

Dataset	Number of GPR images	AP			
		void1	void2	hyperbola	loose
Original	780	76.7 %	74.6 %	88.4 %	68.5 %
DA(1)	2340	80.2 %	79.4 %	93.5 %	69.1 %
DA(2)	3256	87.5 %	86.6 %	96.2 %	71.1 %

第三章 數據資料前處理程序及步驟

應用人工智慧辨識透地雷達訊號圖像前，需要蒐集透地雷達數據資料、建立資料庫，並透過資料前處理進行資料清洗、資料轉換、資料集成及資料歸納後，創建資料集給予人工智慧進行訓練學習，而由蒐集透地雷達數據資料到創建資料集的過程，稱為透地雷達數據資料前處理程序。

本計畫數據資料前處理的對象是透地雷達的數據資料，因此，需要先瞭解透地雷達數據資料儲存及輸出的方式以及不同廠牌的透地雷達數據資料的處理方式，並對於蒐集數據資料、建立資料庫、資料前處理及創建資料集等步驟進行探討。

3.1 透地雷達數據資料儲存與輸出

透地雷達係利用發射天線發射高頻電磁波，藉由地層的介電常數差異產生反射原理來探(檢)測目標物，其反射訊號會由接收天線接收，控制單元 (Control Unit) 則沿著掃描測線上每一訊號軌跡進行取樣 (如圖 3.1 所示) 並按幾何關係排列、放大訊號等相關數位化處理後儲存。

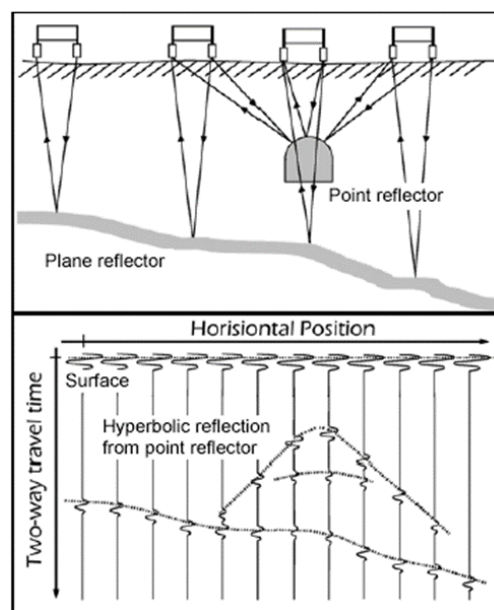


圖 3.1 異質物影響繪製示意圖 [18]

在透地雷達檢測掃描中，可以以三種不同的訊號軌跡形式（資料形式）生成圖像數據資料，其分別為 A 掃描（A-scan）、B 掃描（B-scan）、C 掃描（C-scan），如圖 3.2 所示，分別呈現一、二及三維的透地雷達數據資料。A 掃描訊號由來自表面上特定點的瞬態數據（Time-Dependent Data）組成，B 掃描圖像由從後續的點獲得的 A 掃描訊號組合而成。一組 B 掃描影像構成了 3D 之 C 掃描圖像^[12]。

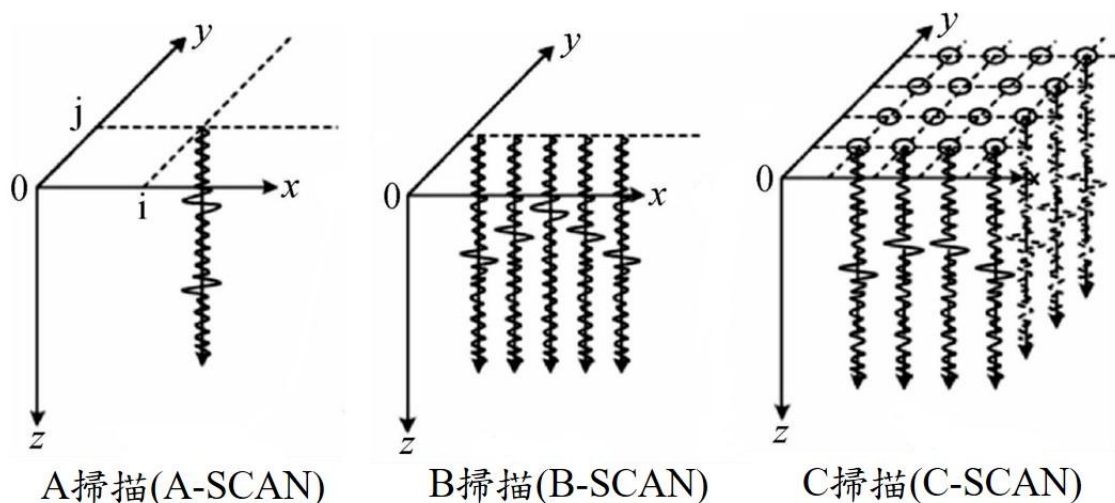


圖 3.2 透地雷達三種不同掃描訊號軌跡形式^[13]

透地雷達的控制單元是數據資料蒐集的管理者，其將檢測掃描之反射訊號數位化後儲存於緩衝儲存器中，所採用的是二進位檔案格式進行儲存，反射訊號數位化包含了大量的數據，如：每筆電磁波的發射時間、接收時間、振幅等等，由於這些數據量通常都非常大，因此，使用二進位檔案格式來儲存，以節省儲存空間並提高讀寫速度，另外透地雷達輸出檢測的數據資料也是採用二進位檔案格式，本計畫將其二進位檔案稱為透地雷達訊號原始數據資料（Raw Data）。

二進位檔案通常不能直接被人員讀取或判釋，需要透過專門的軟體或工具來解譯及處理。這些軟體或工具會將二進位檔案中的數據讀取出來，並將其轉換成人員可以理解的形式，例如圖表、圖像…等，這是為什麼通常看到透地雷達的檢測結果是以圖形呈現的原因，如圖 3.3 所示。



圖 3.3 二進位檔案格式解譯並轉換成圖像之示意圖

市面上各家透地雷達廠牌雖然都是使用二進位檔案格式進行檢測後反射訊號的儲存及輸出，不過，二進位檔案格式之間會有編碼與解碼方式、數值單位與字組的位元數以及大端序與小端序上的差異，因此，各家廠牌的透地雷達原始數據資料，通常需要由各家廠牌所提供的應用軟體進行讀取解譯並轉換顯示成訊號圖像，才能由人員進行判釋。

3.2 國內常用的透地雷達廠牌型號及其資料處理軟體

3.1 節說明各家透地雷達廠牌的原始數據資料是以二進位檔案格式進行儲存及輸出，但因各家透地雷達廠牌所使用的二進位檔案格式有所差異，原則上是需要使用各家透地雷達廠牌所提供的應用軟體進行讀取、解譯並轉換顯示成訊號圖像，依據本計畫調查目前國內較常用的透地雷達廠牌共計 6 家，各家廠牌都有屬於自家的控制檢測及讀（擷）取顯示軟體以及後處理軟體，如表 3.1 所示，本計畫延續前期計畫「透地雷達應用於省道養護巡查及 AI 智慧化辨識可行性之初步探討」係針對道路下損壞瀝青鋪面的潛在風險因素進行探討，故表中也列出各家廠牌適用於地下檢測的型號。

各家廠牌的透地雷達控制檢測及讀（擷）取顯示軟體及後處理軟體，雖然都是對於自家透地雷達的原始數據資料進行訊號處理，不過，兩者在使用的時機、場合及功能等有所不同。

表 3-1 國內常用的透地雷達廠牌型號及其資料處理軟體

項次	廠牌	適用於地下檢測之型號	所屬集團(公司)	國家	控制檢測及讀(擷)取顯示軟體	後處理軟體
1	Malå GeoScience 	GX系列	Guideline Geo AB (publ)	瑞典	(RAMAC)Ground Vision	Malå vision
2	Leica Geosystems 	DS2000	Hexagon AB	瑞士	Ouverture	Leica DX Manager Mapping
3	G.S.S.I 	UtilityScan 系列	Geophysical Survey System Inc.	美國	GS Software	RADAN 7 Software
4	Sensor & Software 	LMX系列	Sensors & Software Inc.	加拿大	GPR System Software	EKKO_Project
5	IDS GeoRadar 	RIS系列	Hexagon AB	義大利	ONEVISION、K2 FastWave	GREED HD 3D Software
6	Impulse Radar 	PinPointR、CrossOver	Headquarters ImpulseRadar	瑞典	ViewPoint	CrossPoint

3.2.1 透地雷達控制檢測及讀（擷）取顯示軟體

透地雷達控制檢測及讀（擷）取顯示軟體是在購買透地雷達設備時，就會附贈的應用軟體，該軟體是透地雷達在外業現場進行檢測時使用，主要是配合筆記型電腦或者平板控制顯示器，在檢測前，用以設定相關檢測參數，例如：取樣頻率、取樣數、取樣間隔、疊加次數等，在進行檢測時，控制透地雷達相關設備（例如：天線、控制單元等）的啟動、結束、儲存、擷取並能即時顯示檢測訊號圖像於筆記型電腦或者平板控制顯示器上，除此之外，大部分廠牌的透地雷達控制檢測及讀（擷）取顯示軟體也可以在現場直接對檢測後的成果，進行濾波、增益等簡易的訊號處理，以提升現場人員判釋的效率及準確性，如圖 3.4 所示。



圖 3.4 透地雷達現場作業

3.2.2 透地雷達後處理軟體

本計畫第二章提及「後處理」係對於輸出後透地雷達原始檔案中的訊號資料 (Raw Data) 進行更進一步的訊號處理，例如：轉換、濾波、增益以及譜分析和估計等。在文獻回顧中，有應用各種訊號處理技術於透地雷達原始訊號的相關研究，其研究結果顯示經過後處理的透地雷達訊號圖像，可以突顯檢測目標物或者異物的訊號，有助於提高人員的判釋效率及準確性，並且進行相關的分析後，能更進一步掌握更多檢測目標物或者異物特性的相關資訊。

各家廠牌所推出的透地雷達後處理軟體，是需要額外付費購買，後處理軟體主要是在完成現場透地雷達檢測後，將檢測的透地雷達原始數據資料輸出，於室內作業進行訊號後處理、判釋分析、目標定位、標記異常、圖層套疊甚至執行 3D 可視化影像等，以利於相關報告製作及成果產出，如圖 3.5 所示，所以各家廠牌後處理軟體的功能相較控制檢測及讀 (擷) 取顯示軟體而言，是更為強大，如表 3.2 所示，兩者應用軟體功能上之差異 (以 IDS GeoRadar 的控制檢測及讀 (擷) 取顯示軟體及後處理軟體為例)。



(改繪 Sensors & Software Inc.官方網站之圖片)

圖 3.5 使用後處理軟體之示意圖

表 3-2 控制檢測及讀（擷）取顯示軟體與後處理軟體功能之差異

廠牌	IDS GeoRadar	
軟體名稱	ONEVISION	DRED HD 3D
軟體種類	控制檢測及讀（擷）取顯示軟體	後處理軟體
功能	● 即時斷層圖 ● 整合式導航儀 ● 廣泛的測量管理 ● 系統和測量設置 ● GPS 管理 ● 特定的 RIS MF Hi-Mod 功能： - 「網格建立」功能 - 縱、橫斷面的斷面圖合併	● 斷層圖視圖 (C-Scan) ，含雷達掃描融合 ● 3D 資料視覺化 ● 使用雷達掃描和斷層視圖的進階目標定位 ● GPR 資料與目標匯出 CAD，GIS ● 合成地圖 (僅適用於 Stream 系列產品) ● 雷達掃描查看器、過濾器、進階過濾巨集、多雷達掃描查看器用於自動分析子圖層的圖層選取功能 ● GPS 和地圖軌跡查看器，包括 X、Y、Z 軸與數位圖資的匯入

各家廠牌的透地雷達後處理軟體，與其控制檢測及讀（擷）取顯示軟體一樣，都是只能讀取解譯自家透地雷達原始數據資料，但目前已知僅有 Malå GeoScience 廠牌的後處理軟體 Malå Vision 除了可以讀取解譯自家的透地雷達原始數據資料之外，還可以讀取解譯 GSSI 及 ImpulseRader 這 2 家廠商的透地雷達原始數據資料。

無論是控制檢測及讀（擷）取顯示軟體或是後處理軟體，各家廠牌在於其用途或功能上都有些不同，即使是同一家廠牌，因為對於自家透地雷達商品的定位有不同而有不一樣的軟體，例如：Sensor & Software 不同型號的透地雷達有不同的控制檢測及讀（擷）取顯示軟體，另也因應不同需求，開發不同的後處理軟體，例如：IDS GeoRadar 除了有 DRED HD 3D 後處理軟體外，尚有可進行公用事業製圖、考古和環境調查以及廣泛製圖的大型專案所使用的後處理軟體 IQMaps。

3.3 透地雷達數據資料前處理程序

依據本計畫訪談的專家學者表示：「透地雷達數據資料前處理程序主要是取決於要讓 AI 辨識的目標物（AI 辨識的目的）」，因此，辨識目的不同，則數據資料前處理程序也會有所不同，除此之外，數據資料蒐集方式及所蒐集的數據資料形式等，也會對於數據資料前處理程序有所影響。

本計畫回顧的文獻以及相關的報告中，因為其數據資料蒐集方式、數據資料形式較為單純及單一，且主要又以研究為主，所以對於前處理之內容無太多敘述說明。因此，能參考引用或借鏡的資料並不多。

本計畫以應用人工智慧辨識道路下方損壞瀝青鋪面的潛在風險因素為目的，研擬透地雷達數據資料前處理程序，如圖 3.6 所示，其前處理程序是從蒐集透地雷達數據資料並建立資料庫，再由資料庫中取出數據資料進行資料前處理作業後，創建給予人工智慧進行訓練學習的資料集，藉由該前處理程序提供人工智慧足夠且正確的訓練學習資料，以提高辨識的準確性。



圖 3.6 透地雷達數據前處理程序

本計畫回顧的文獻以及相關報告中，絕大多數都是僅使用同一家廠牌的透地雷達，並依據檢測或試驗的目的規劃測線、選擇適合的天線頻率以及設定合宜的檢測參數，自行於現地場域或試驗室內進行檢測或試驗的方式來蒐集透地雷達相關的數據資料，這種蒐集數據資料方式較為單一且所得之數據資料也較為單純，因此，在前處理的程序上，通常無需建立資料庫，依其辨識的目的，直接進行資料前處理作業，而其資料前處理作業大部分只需要進行資料清洗及資料轉換，就能創建訓練人工智慧的資料集。

然而，本計畫探討透地雷達數據資料前處理程序的面向是為能用於實務應用上，因此，在考量上相較於以研究性質為主的透地雷達數據資料前處理程序，不論在數據資料蒐集方式或是所蒐集的數據資料形式都較為多樣及複雜，所以需要建立資料庫進行儲存及管理，且建立資料庫有利於後續相關的研究發展以及實務上之應用。另外，也因數據資料蒐集方式、數據資料形式較為多樣及複雜，在資料前處理這個作業步驟也相對較繁瑣。

3.4 透地雷達數據資料前處理程序各步驟之探討

本計畫以人工智慧辨識道路下方損壞瀝青鋪面的潛在風險因素為目的，研擬透地雷達數據資料前處理程序，如圖 3.6 所示，本節將針對該程序的各步驟進行探討。

3.4.1 蒐集透地雷達數據資料

蒐集透地雷達數據資料這步驟，主要是探討如何蒐集（蒐集方式）及所蒐集的數據資料形式兩部分。

在相關的文獻及報告中，絕大多數是採用自行進行檢測或試驗的方式，蒐集透地雷達數據資料，但是自行進行檢測或試驗所蒐集的數據資料量通常都會不足，因為對於研究計畫而言，以自行進行檢測或試驗的方式，蒐集透地雷達數據資料的時間都不長，而且若同本計畫一樣，是以人工智慧辨識道路下方損壞瀝青鋪面的潛在風險因素為目的，自行於現地場域進行檢測所蒐集的透地雷達數據資料，可能會因為道路下空間存在各種類型複雜雜訊的狀況下，造成數據資料品質不佳而無法滿足做為人工智慧訓練學習的需求。

單就自行進行檢測或試驗的方式，蒐集透地雷達數據資料，會因為蒐集時間以及檢測或試驗的現地場域等因素，而使得所蒐集的數據資料，有數量不足的情形發生。因此，本計畫在蒐集透地雷達數據資料方式上，除了探討以自行進行檢測或試驗方式蒐集數據資料之外，也探討蒐集他人已完成檢測或試驗數據資料之方式，以多多益善的概念進行廣泛地蒐集，達到足夠讓人工智慧進行訓練學習的數量。

他人已完成檢測或試驗之數據資料主要蒐集來源有：(1) 公家機關、(2) 私人公司、(3) 學術單位、(4) 國內外文獻，而自行進行檢測或試驗之數據資料主要來自 (1) 現地場域的檢測及 (2) 實驗室的模擬試驗。如圖 3.7 所示。

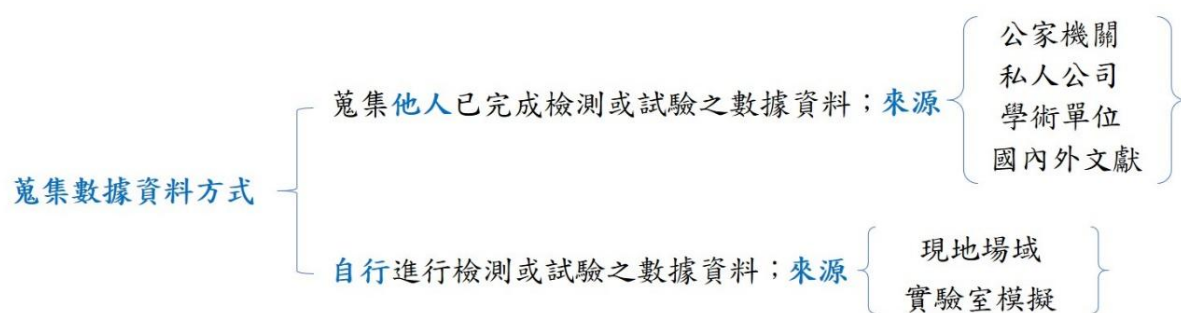


圖 3.7 蒐集透地雷達數據資料方式

蒐集他人已完成檢測或試驗之數據資料的 4 種來源中，最主要的是公家機關，其為了維護管理公共設施例如：道路、橋梁、隧道、碼頭及地下箱涵、管線等，需要應用透地雷達進行相關的非破壞性檢測，用

於瞭解公共設施的現況，以利於擬定相關維護管理策略，而本計畫是應用人工智慧辨識道路下方損壞瀝青鋪面的潛在風險因素為目的，因此蒐集的主要來源會和管理道路的公家機關或是常態性應用透地雷達檢測道路下缺陷（例如：孔洞）的地下管線權責機關單位等。

公家機關大多都是委託私人公司（例如：工程顧問公司、專業檢測公司等）或是學術單位進行檢測作業，因此，透地雷達檢測勞務委託案件的成果數據資料，除了業主公家機關擁有之外，其承攬廠商私人公司或是學術單位同樣也會擁有。另外學術單位會應用透地雷達進行相關的學術研究，研究過程中，會有自行辦理相關試驗所取得的透地雷達數據資料，這也會是蒐集的來源之一。而當學術單位有了研究成果時，會發表於國內外的期刊，所以也可以由國內外文獻這部分進行蒐集。

依據上述蒐集透地雷達數據資料方式所蒐集到的數據資料形式主要有 2 種，分別為（1）訊號圖像及（2）原始數據資料（Raw Data，二進位檔案格式）。

「訊號圖像」這種形式的數據資料主要是來自他人已完成檢測或試驗的成果報告、論文或期刊文獻，其僅有訊號圖像的圖片檔案，並沒有取得或蒐集到該訊號圖像的原始數據資料檔案。

「原始數據資料」這種形式的數據資料主要是以自行進行檢測或試驗之方式所取得，而要從他人已完成檢測或試驗這個方式蒐集透地雷達原始數據資料是比較不容易。

如果蒐集的透地雷達訊號圖像係來自他人已完成檢測或試驗之成果報告，該訊號圖像大多都會經過「後處理」，以利於人員進行分析判釋，雖然有部分的成果報告附錄會附上原始訊號圖像（沒有經過訊號處理的透地雷達圖像），但不論是原始訊號圖像還是經後處理過的訊號圖像，就只是單純的圖像形式，而值得注意的是，在大多數情況下，訊號處理越複雜，在數據中被引入偽影（假訊號）的風險就越高，這可能導致錯誤的判釋^[14]，因此，在只有蒐集到透地雷達訊號圖像的情形下，並無法有效確認該透地雷達訊號圖像是否因訊號後處理而失真或過度處理，而且也會因為沒有蒐集到原始數據資料而無法重新進行訊號後處理。

理相關作業，且在資料前處理的步驟中較無運用的彈性。

相較下，自行進行檢測或試驗之方式是可以直接取得透地雷達原始數據資料，另外也因為是自行進行檢測或試驗的方式，所以無論是在檢測或試驗前的測線規劃、參數的設定或是檢測或試驗後訊號處理的方式，都能自主且有效的掌控，這也使得透地雷達數據資料前處理程序較為單純簡單且能有彈性的運用，尤其是在資料前處理這一步驟上，這也就是在研究文獻上，絕大部分都是採用自行進行檢測或試驗這個方式蒐集透地雷達數據資料的原因。

因此，在蒐集他人已完成檢測或試驗數據資料之方式上，需要蒐集到完整的數據資料，所謂的完整的數據資料是包括成果報告以及原始數據資料。成果報告主要是為了瞭解所蒐集的數據資料，是使用什麼廠牌的透地雷達、檢測的目的、使用的天線頻率、測線的規劃、設定的檢測參數及成果的分析判釋，以利於後續儲存數據資料時的分門別類及在進行資料前處理步驟的資料清洗、資料轉換時能提供篩選、標準化或統一化分類及標記特徵等作業之依據，而該成果報告的原始數據資料則可以依據辨識目的及需求等，進行相關之訊號處理作業，以利於人員分析判釋及後續人工智慧的訓練學習。

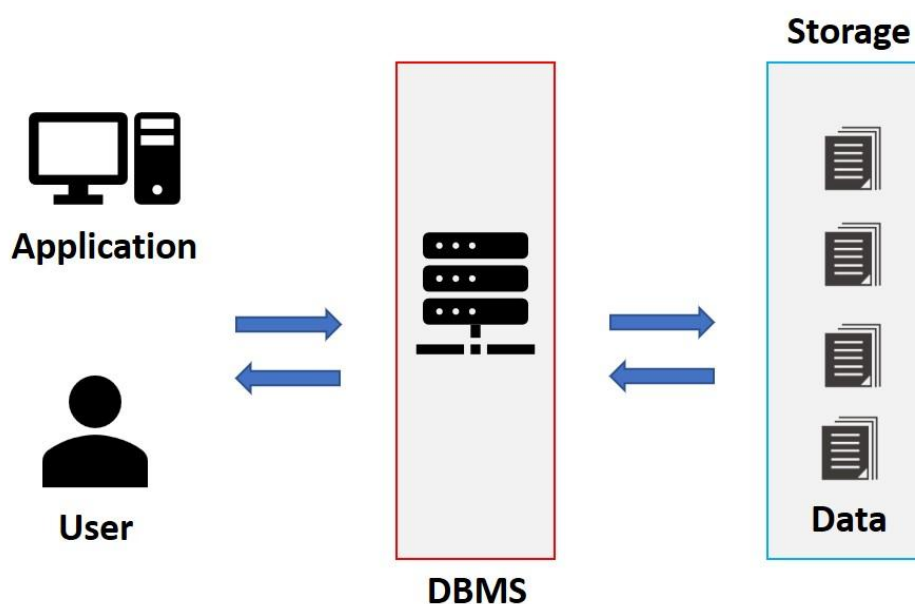
但是在蒐集到他人已完成檢測或試驗的完整數據資料過程中會遭遇到困難及問題，尤其是在蒐集透地雷達原始數據資料這個部分，而若是只有蒐集到成果報告，僅能取得的是透地雷達訊號圖像，不過，依據本計畫所訪談的專家學者表示：「這些透地雷達圖像還是可以使用的，AI 圖像辨識是可以用原始圖像及處理後圖像進行深度學習，初步訓練 AI 辨識何謂異常訊號。」另外，專家學者也表示：「如果能取得 Raw Data 可以針對我們的需求進行一致性的濾波，但是若使用成果報告附錄的雷達圖像，應該都是已經濾過波的圖像，這樣就會差在一個濾波的參數，另外呈現的雷達圖像有些是灰階影像有些是彩色影像會再有不同的差異，所以二者比較起來，應該是 Raw Data 比較好。不過，取得 Raw Data 要將其轉換成人員或 AI 可以辨識的訊號圖像，會有一定的工作量。而取得成果報告附錄的雷達圖像相對於取得 Raw Data 來說，會

相對容易。」

3.4.2 建立資料庫

所謂的資料庫 (Data Base) 是以電子方式存儲有組織的數據集合，允許在計算機 (電腦) 上有效地存儲、管理和檢索數據。資料庫主要是在高效存儲、檢索和操作大量數據，因此，需要複雜查詢、分析及頻繁更新作業是至關重要，也需具有安全和備份功能以確保數據資料的完整性^[15]。

資料庫是由「數據資料」和「資料庫管理系統」(Database Management System, DBMS) 所組成，資料庫有多種類型，例如：關聯式資料庫 (Relational Database Management System, RDBMS)、非關聯式資料庫 (Not Only SQL, NoSQL)、時序資料庫、圖形資料庫及文檔資料庫等，每種類型都有適合不同需求的獨特功能。一個資料庫通常需要全方位或合適的資料庫軟體程式，即資料庫管理系統，常見的範例包括 MySQL、SQLite、Oracle、MongoDB、InfluxDB 等，該系統是幫助使用者與數據資料互動^[15]，允許使用者擷取、更新及管理數據資料，以將數據資料組織和最佳化，並協助監督和控制資料庫，實現各種管理操作，例如：效能監控、微調、備份和恢復^[20]，如圖 3.8 所示。因此，透地雷達資料庫需要依據其所需求的功能規劃選擇適合類型的資料庫以及資料庫管理系統來建立。



(改繪 ALPHA CAMP 官方網站之圖片)

圖 3.8 資料庫管理系統說明示意圖

本計畫回顧的文獻以及相關的報告中，因為其數據資料蒐集的方式及數據資料的格式較於單純單一，又以研究為主，所以大部分都不會建立資料庫，通常都是在蒐集完數據資料後就進行資料前處理的步驟，然後創建資料集，讓人工智慧進行訓練學習。資料庫與資料集是不同功能，用處也有不同，但回顧的文獻及相關的報告，常常將之混合一談。

本計畫是以實務面向應用人工智慧辨識道路下方損壞瀝青鋪面的潛在風險因素為目的，然而道路下損壞瀝青鋪面的潛在風險因素包括路基或基底層使用不當材料或滾壓不足、地下水的影響、鋪面下層材料因故流失、淘空形成孔洞以及地盤之不均勻沉陷等等非單一的潛在風險因素，如表 3-3 所示（依據公路局「公路養護手冊」第四章及其附錄表 A4-3 彙整成道路下方損壞瀝青鋪面的潛在風險因素造成鋪面損壞之現象），又數據資料蒐集的方式及數據資料的形式不拘，以進行廣泛地蒐集，所以蒐集的數據資料是較為複雜、多樣性，需要建立資料庫進行相關的管理，除此之外，也會儲存管理不同時期的道路檢測數據資料，於需要時可以檢索多時期的數據資料進行比對分析，以瞭解道路重複性或經常性損壞的原因，以及做為養護管理及施工等重要的參考依據，

俾利於擬定出治標的方式，進行道路的保養及修復等作業，確保用路人安全。

又前期計畫「透地雷達應用於省道養護巡查及 AI 智慧化辨識可行性之初步探討」受訪的專家學者表示：「如果要發展 AI 辨識透地雷達訊號圖像，就必需建立臺灣本土的數據資料庫，起步雖然很難，但是對於未來道路巡查、養護管理等是有長遠、永續的經濟價值」，因此，建立資料庫是有其必要性。

表 3-3 道路下方潛在損壞風險因素造成瀝青鋪面損壞型態的現象

損壞型態		道路下方潛在損壞風險因素	瀝青鋪面損壞現象
裂縫及變形	線狀裂縫： 橫向裂縫 縱向裂縫	路基或基底層裂縫所衍生之反射裂縫	裂縫主要走向約略與行車方向平行或垂直，裂縫型態為線狀，分叉情況尚未達全面龜裂情形（即尚未完全連結成多邊形）
	龜裂	1.不適當之瀝青混凝土、路基、路床材料 2.地下水影響	鋪面普遍呈龜殼花紋狀小多邊形裂縫
	波浪紋	路基路床承载力不均勻	行車縱向呈規則週期性起伏波浪現象
	隆起	路基路床承载力不均勻	鋪面局部擠壓呈凸出原鋪築高度現象
	沉陷	1.鋪面下層材料流失、淘空 2.施工時局部性壓實不足	鋪面局部呈沉陷現象，嚴重者會形成所謂的天坑。
其他	段差	1.路基或基底層、面層之滾壓不足 2.地盤之不均勻沉陷	鋪面於結構物兩端發生縱坡不順現象

3.4.3 進行資料前處理

資料前處理主要目的是要讓數據資料更可靠且適合進行後續的工作，例如：分析、建模、深度學習等，本計畫於資料前處理這個步驟中，又可分為以下 4 項作業程序：(1) 資料清洗、(2) 資料轉換、(3) 資料集成、(4) 資料歸納，但是事實上，各個作業程序上所採用的方法，會因為後續作業的目標（目的）、數據資料來源、形式的不同、數據資料數量的多寡等而有所不同。

資料前處理是資料科學又稱數據科學（Data Science）的一部分，資料科學結合了許多領域中的理論和技術，主要是因為現在的數據資料的數量龐大且形式五花八門，要讓這些數據資料發揮其價值，就需要不同領域的理論和技術來進行資料前處理、資料分析、資料解釋等。因此，不同形式的數據資料會有不同資料前處理作業程序且各個作業程序所採用的方法也會有不同。

本計畫於蒐集透地雷達數據資料的形式主要有 2 種，而目前應用人工智慧辨識透地雷達訊號皆以圖像特徵作為訓練學習及測試，所以原始數據資料這個形式比訊號圖像這個形式還要多一個步驟，就是需要解譯並轉換成圖像。依據本計畫訪談的專家學者表示：「所敘述的資料前處理有資料清理、資料轉移、資料集成及資料歸納，我會拆成 2 個部分說明，第 1 部分：讓 AI 測試及訓練的資料，原則上蒐集來的透地雷達資料只要經過資料清理及資料轉移後，就能讓 AI 進行測試及訓練；第 2 部分：建立資料庫或資料集，資料集成、資料歸納是用以建立資料庫或資料集的程序。」因此，對於本計畫蒐集透地雷達數據資料的形式及資料前處理的作業程序說明，如圖 3.9 所示。

數據資料形式

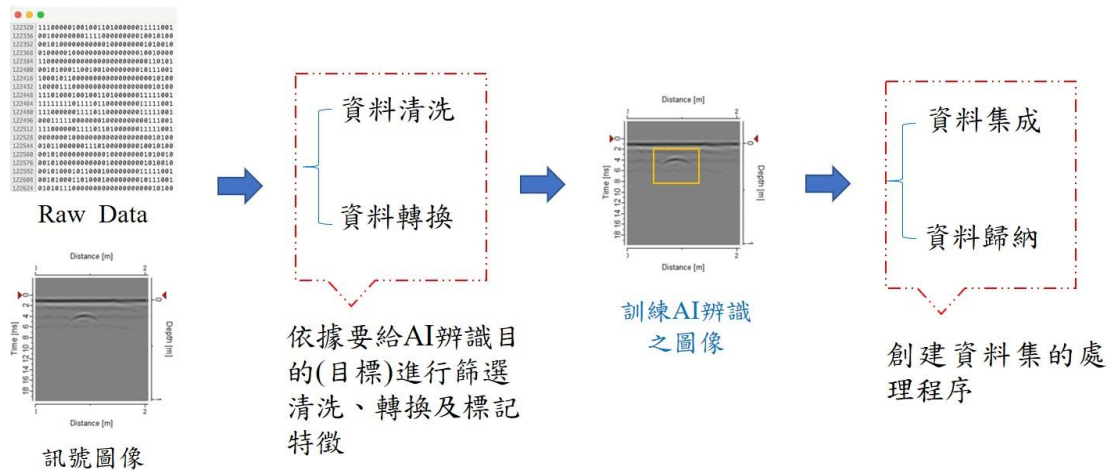


圖 3.9 透地雷達數據資料的形式及資料前處理的作業程序

依據本計畫回顧的文獻以及相關的報告，對於資料前處理的作業程序討論及說明較多的是在「標記特徵」，因為標記特徵是訓練人工智慧的關鍵，錯誤的標記會得到錯誤的辨識（Garbage In, Garbage Out, GIGO），因此，標記特徵是需要專業且有經驗的人員進行標記，甚至需要重複確認是否標記正確。

標記特徵是在資料轉換這個作業步驟中進行，資料轉換是對於數據資料進行轉換，以使其更適合進行分析，包含特徵縮放、特徵抽取（或標記特徵）、類別編碼及降維等。標記特徵是採用影像標記軟體在透地雷達訊號圖像上標記出讓人工智慧訓練學習的異常訊號特徵，例如：使用開源的影像標記軟體（Labelimg），在檢測堤防的透地雷達訊號圖像中標記孔洞訊號特徵，如圖 3.10 所示。

標記特徵需要專業且有經驗的人員花費大量時間分析判釋找出異常訊號特徵並進行標記，所以在蒐集他人已完成檢測或試驗的數據資料裡，可以藉由相關的成果報告得知檢測或試驗的異常訊號位置及瞭解該異常訊號被分析判釋為何，因而可以減少進行標記特徵的時間。

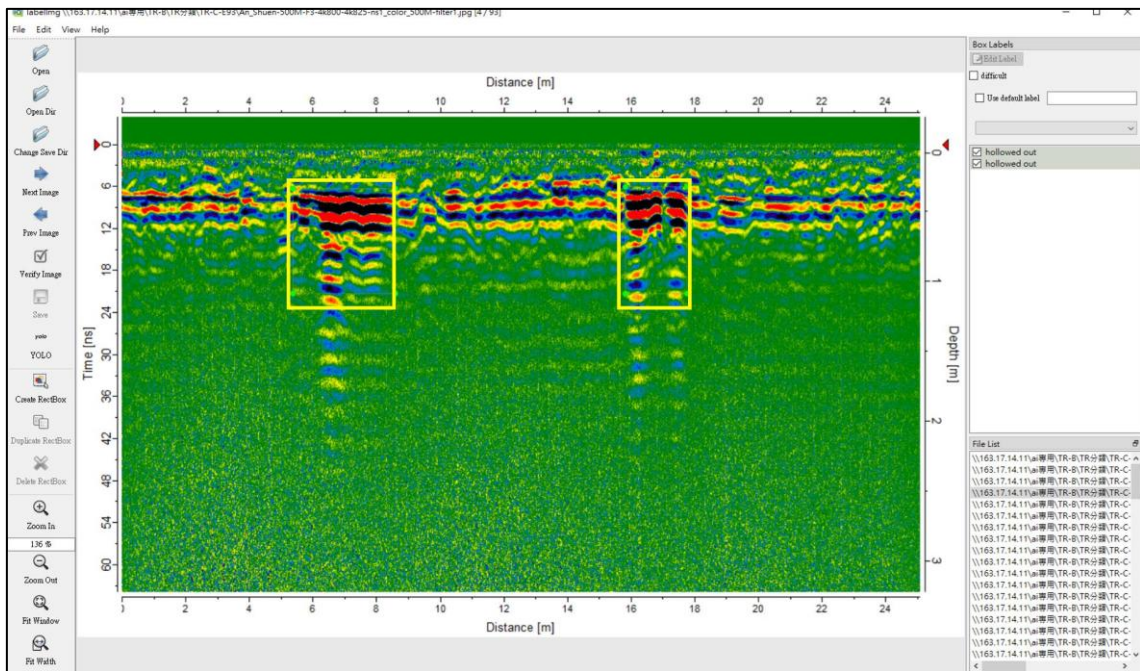


圖 3.10 透地雷達訊號圖像中標記孔洞訊號特徵^[25]

3.4.4 創建資料集

所謂的資料集 (Data Set) 是以結構化方式排列的資料集合，包括數位、文字、圖像或音訊等內容，可以從各種來源（例如：調查蒐集、檢測、試驗或現有資料庫）創建資料集^[15]。

資料集主要用於分析和建模，通常用於機器學習或統計研究等領域。它通常比資料庫小，並且可以以各種格式存儲，例如：CSV、Excel 或 JSON。資料集非常適合訓練機器學習模型或進行資料視覺化等特定任務，並且主要用於研究而不是長期資料管理^[15]。

簡而言之，資料庫用於隨著時間的推移儲存和管理大量數據，而資料集用於特定的研究任務，通常只使用一次或用於特定項目^[15]。

本計畫探討蒐集透地雷達數據資料的形式為訊號圖像及原始數據資料 2 種，並以人工智慧辨識道路下方損壞瀝青鋪面的潛在風險因素為目的，因此，所建立的資料庫中，會有 2 種道路下損壞瀝青鋪面潛在風險因素的透地雷達形式之數據資料，另道路下損壞瀝青鋪面的潛在風險因素又可分為多種類型。在透過資料前處理作業程序，將資料庫裡

的數據資料進行篩選、轉換、標記、集成及歸納等創建出資料集，其資料集的數據資料形式係只有圖像的形式且進行了道路下損壞瀝青鋪面潛在風險因素的分類，創建出不同潛在風險因素的資料集，例如：孔洞資料集、地下水資料集、地盤不均勻陷資料集等，利用這資料集進行人工智慧的訓練學習，以協助人員辨識道路下方損壞瀝青鋪面潛在風險因素的透地雷達訊號，如圖 3.11 所示。



圖 3.11 利用資料庫數據資料創建資料集過程之示意圖

回顧的研究文獻中有提及資料庫的部分，就依本計畫對於資料庫、資料集的定義來看，會認定為資料集而非資料庫，主要原因是其蒐集數據資料的方式絕大多數都採用自行進行檢測或試驗的方式，蒐集數據資料來源單一，所得的數據資料單純都是原始數據資料，又因為是研究性質為主，具有單一特定目標，並不會隨著時間的推移儲存和管理大量數據資料，因此，會認定為是資料集而非資料庫。

在本計畫回顧的相關報告中，經濟部水利署「無人載具搭載透地雷達執行堤坡結構非破壞檢測研究計畫」所開發透地雷達資料即時初步判讀（以人工智慧辨識透地雷達訊號圖像）功能系統就有建立資料庫，所採用的資料庫管理系統為 MySQL^[24]，以儲存及管理透地雷達數據資料，如圖 3.12 所示。

又經濟部水利署「無人載具搭載透地雷達執行堤坡結構非破壞檢測研究計畫」的總報告^[23]，對於透地雷達影像影像資料即時初步判讀精進的建議，是為逐步建立全島堤防檢測數據資料庫，除可做為相關研究之資料來源外 亦可做為歷年堤防檢測修整之參考依據。因此，要逐步建立全島堤防檢測數據資料，意味著會隨著時間的推移需要儲存和

管理大量數據資料，而能有這樣的功能者是資料庫而非資料集。

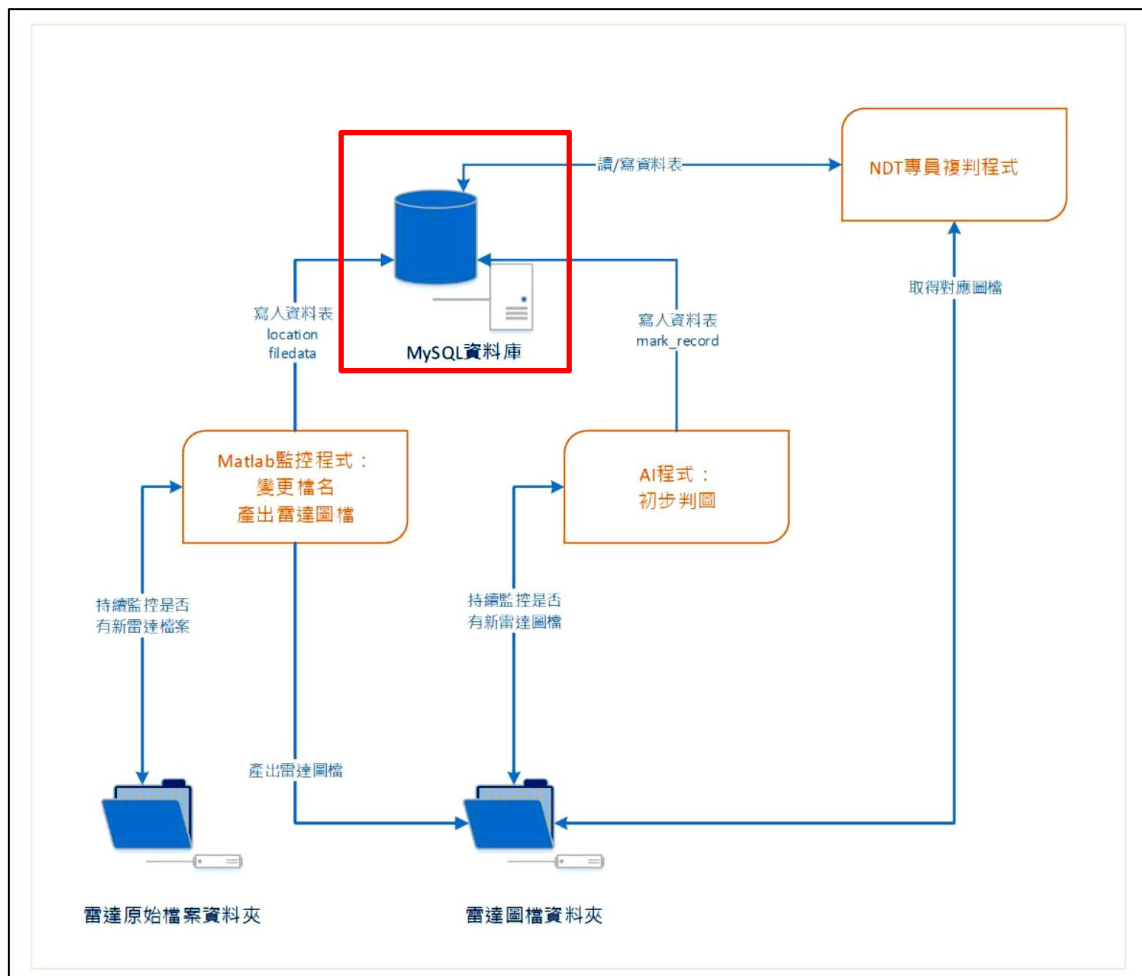


圖 3.12 即時判讀系統處理架構^[24]

第四章 透地雷達數據資料前處理之過程

本計畫的第三章是以人工智慧辨識道路下方損壞瀝青鋪面的潛在風險因素為目的，探討透地雷達數據資料前處理程序及其各步驟，而本章節將探討依據其程序及步驟執行過程，會遇到的困難及問題，並初步研擬解決之對策或建議。

4.1 蒐集透地雷達數據資料過程

本計畫探討蒐集透地雷達數據資料方式為蒐集他人已完成檢測或試驗之數據資料以及自行進行檢測或試驗蒐集之數據資料，而所蒐集的數據資料形式有訊號圖像及原始數據資料（Raw Data）2 種形式。

本計畫透過訪談、回顧相關文獻等方式，探討上述蒐集透地雷達數據資料方式及其蒐集的數據資料形式，在蒐集過程會遇到的困難及問題，並初步研擬解決對策或建議。

4.1.1 蒐集數據資料過程所遭遇的困難及問題

在蒐集他人已完成檢測或試驗數據資料之方式，其數據資料可由公家機關、私人公司、學術單位及國內外文獻這 4 個來源進行蒐集，以下主要是探討公家機關、私人公司及學術單位這 3 個來源，因為國內外文獻這個來源，於蒐集的過程相較其他 3 個來源是容易且不易遭遇困難及問題。

本計畫經訪談公家機關、私人公司、學術單位相關人員，探詢是否能提供透地雷達檢測或試驗之數據資料，做為人工智慧辨識透地雷達訊號圖像的訓練學習資料，其回應及預期可提供的透地雷達數據資料形式如下說明：

1. 公家機關：所謂公家機關主要是指管理道路的公家機關或是常態性應用透地雷達檢測道路下缺陷的地下管線權責機關單位等，其回應為原則上都會提供，但需要行文至機關單位說明需要透地雷達數據資料的緣由及需要檢測何種公共設施（例如：道路、橋梁、隧道等）的透地

雷達數據資料，並俟簽陳機關首長同意後提供。預期可提供的透地雷達數據資料為機關委外進行檢測公共設施之成果報告，而其所能蒐集的數據資料形式為訊號圖像。

2. 私人公司：所謂的私人公司主要是指工程顧問公司、專業檢測公司等辦理透地雷達檢測勞務服務的公司行號，其回應為較不方便提供，主要原因為私人公司承攬透地雷達檢測勞務案件，替業主進行檢測後的數據資料（成果），原則是屬於業主所有，在未經過業主同意下是無法提供。不過，經本計畫調查瞭解承攬廠商提送給業主的成果絕大多數都不包含原始數據資料，因此，要蒐集取得原始數據資料是需要由私人公司提供，在這部分回應是即使徵得業主同意，有些私人公司也不一定提供原始數據資料，因為在業界視原始數據資料為商業資產。因此，就在商言商的立場，私人公司是要在有利益的情況才會有意願提供原始數據資料。預期可提供的透地雷達數據資料為承攬透地雷達檢測勞務案件之成果報告，而其所能蒐集的數據資料形式為訊號圖像及原始數據資料。
3. 學術單位：所謂的學術單位主要是指國內有進行透地雷達研究的各大專院校或研究機構等，因為學術單位也會承攬透地雷達檢測的勞務案件，所以也會有替業主進行檢測後的數據資料（成果），另外，學術單位在進行透地雷達相關的學術研究時，也會自行檢測或試驗蒐集透地雷達的數據資料，因此，其回應分成 2 個部份，在承攬透地雷達檢測勞務案件的數據資料部分，回應是需要業主同意後，才能提供，但是相較於私人公司，學術單位不但可以提供檢測後的成果報告，也會一併提供原始數據資料；在透地雷達學術研究的數據資料部分，回應是如果只是用於讓人工智慧進行訓練學習，原則上都會提供。預期可提供的透地雷達數據資料為承攬透地雷達檢測勞務案件之成果報告以及透地雷達相關學術研究之數據資料，而其所能蒐集的數據資料形式為訊號圖像及原始數據資料。

蒐集他人已完成檢測或試驗的完整數據資料係包括成果報告及原始數據資料，但是業主（甲方，例如：公家機關）一般在委外辦理透地

雷達檢測的勞務承攬契約條文上，僅規定承攬廠商（乙方，例如：工程顧問公司、專業檢測公司或大專院校等）繳交或提送成果報告（紙本及電子檔），並不會特別要求要繳交或提送檢測後的原始數據資料，因此，公家機關（甲方，業主）只會有成果報告並不會有原始數據資料，而要蒐集到相關的原始數據資料必需請工程顧問公司、專業檢測公司或大專院校（乙方，承攬廠商）提供。

由上述可知，要蒐集到完整的他人已完成檢測或試驗之數據資料（成果報告及原始數據資料），需要透過業主同意並由承攬廠商提供原始數據資料，然而，在訪談私人公司人員時，表示不方便或有條件式的提供原始數據資料，因為原始數據資料是屬於公司的商業資產，另外，不論是私人公司還是學術單位對於原始數據資料的保存是有時間性，主要是礙於其硬體設備儲存容量的關係，對於委託勞務案件的原始數據資料通常不會永久保存，而不同的承攬廠商保存原始數據資料的時間也不一定。因此，要蒐集到他人已完成檢測或試驗之原始數據資料會遇到不便提供或有條件式的提供以及因為保存原始數據資料有時間性的關係而可能無法蒐集到的困難及問題。

學術單位除了會有承攬透地雷達檢測或試驗委託勞務案件之外，也會有自行進行透地雷達相關的學術研究，經訪談其自行辦理透地雷達學術研究的檢測或試驗數據資料，原則上都會永久保存，不過，還是得視學術單位對於數據資料保存的方式或習慣而定。蒐集學術單位自行辦理透地雷達學術研究的檢測或試驗數據資料（研究結果及原始數據資料）相較蒐集其委託勞務案件之檢測數據資料（成果報告及原始數據資料）而言，較為容易，主要因為學術單位對於自行辦理透地雷達學術研究檢測或試驗的數據資料，有絕對的掌控權，且本計畫訪談的學者專家為國內大專學院的教授，其對於是否能提供自行辦理學術研究的透地雷達相關數據資料給予人工智慧進行辨識訓練學習，均表示同意。

在自行進行檢測或試驗蒐集數據資料之方式，可以於現地場域、實驗室模擬進行檢測或試驗，但需要有條件才能以這個方式進行蒐集，其

條件為需要有透地雷達相關的軟硬體設備以及使用透地雷達軟硬體設備、規劃測線、分析判釋透地雷達訊號圖像等能力。本計畫前面所述的相關研究文獻上，絕大部分都是採用這個方式蒐集給予人工智慧進行辨識訓練學習的數據資料，這也因為學術研究單位本身有透地雷達相關的軟硬體設備且具備使用透地雷達軟硬體設備、規劃測線、分析判釋透地雷達訊號圖像等能力。因此，不論是缺乏透地雷達的軟硬體設備或是缺乏使用、規劃、分析判釋等能力，都是造成以該方式蒐集透地雷達數據資料的困難及問題。

依據上述蒐集透地雷達數據資料方式、透地雷達數據資料來源、數據資料形式以及蒐集過程所遭遇的困難及問題彙整成表格，詳表 4.1 所示。

表 4-1 蒐集透地雷達數據資料過程所遭遇之困難及問題

蒐集數據資料方式	數據資料來源	數據資料形式	遭遇困難及問題
蒐集他人已完成檢測或試驗之數據資料	公家機關	訊號圖像	主要在於蒐集 Raw Data 這部分，尤其是承攬的委託勞務案件，提供數據資料除了需要業主甲方同意之外，私人公司會以 Raw Data 是商業資產為由，不便提供或是有條件式的提供。 另外，因為 Raw Data 都是掌握在承攬廠商乙方手上，而不同的承攬廠商，其保存數據資料的時間不同，會有因為數據資料保存期限的問題而無法蒐集到的可能性。
	私人公司	訊號圖像 原始數據資料 (Raw Data)	
	學術單位	訊號圖像 原始數據資料 (Raw Data)	
	國內外文獻	訊號圖像	
自行進行檢測或試驗蒐集數據資料	現地場域	原始數據資料 (Raw Data)	缺乏透地雷達軟硬體設備或是缺乏使用透地雷達軟硬體設備、規劃測線、分析判釋透地雷達訊號圖像等能力。
	實驗室模擬		

4.1.2 研擬蒐集數據資料過程所遭遇困難及問題之解決對策或建議

在蒐集他人已完成檢測或試驗數據資料之方式，會有來自透地雷達檢測或試驗委託勞務案件的數據資料及透地雷達相關學術研究的數據資料，其中辦理或執行透地雷達相關學術研究計畫是由學術單位進行，依據訪談學術單位相關人員，原則上都是願意提供自行研究透地雷達計畫的相關數據資料，所以在蒐集透地雷達數據資料會遇到困難及問題，主要是來自透地雷達檢測或試驗的委託勞務案件。

依據 4.1.1 節說明，在蒐集透地雷達檢測或試驗委託勞務案件的數據資料，主要會遭遇到 2 個困難及問題；1. 私人公司會以原始數據資料是商業資產為由，不便提供或是有條件式的提供，2. 因為原始數據資料都是掌握在承攬廠商（乙方）手上，而不同的承攬廠商（乙方），其保存數據資料的時間不同，會有因為保存期限的問題而有無法蒐集到的可能性。本計畫針對上述 2 個困難及問題，進行原因分析如下：

1. 依據訪談及調查，因為業主（甲方）通常不會有解譯原始數據資料相關的軟體，無法將二進位檔案格式轉換成人員可以分析判釋的透地雷達訊號圖像，再者業主（甲方）通常也並不具備有訊號後處理及分析判釋透地雷達訊號圖像的專業能力及經驗，所以業主（甲方）一般在委外辦理透地雷達檢測或試驗的勞務契約條文上，不會要求承攬廠商（乙方）提送檢測或試驗的原始數據資料，僅要求提送成果報告。

因此導致後續無論是業主（甲方）在有需求時，要求承攬廠商（乙方）提供原始數據資料給自己，或是要求提供原始數據資料給需要者，會因為契約條文沒有要求提送原始數據資料之故，承攬廠商（乙方）尤其是私人公司會以勞務契約條文沒有規定及商業資產(利益)等理由，不願意提供或是有條件式的提供，即使業主（甲方）是檢測或試驗數據資料的所有權人。

2. 也因為委外辦理透地雷達檢測的勞務契約條文上，不會要求承攬廠商（乙方）提送檢測或試驗的原始數據資料，所以原始數據資料都是掌握在承攬廠商（乙方）手上，且對於承攬廠商（乙方）保存原始數據資料的時間沒有任何約束力，經訪談調查承攬廠商（乙方）對於承攬案件原始數據資料的保存時間，有的是 1 年、有的是 3~5 年（視公司儲存設備的容量而定），因此，即便經業主（甲方）同意提供，承攬廠商（乙方）也願意提供原始數據資料，但也會因為保存期限的問題而無法蒐集到原始數據資料。

在對上述 2 個困難及問題，進行原因分析後，本計畫研擬解決對策或建議如下：

1. 上述 2 個困難及問題經原因分析後，主要都是與透地雷達檢測或試驗

委託勞務契約沒有要求承攬廠商（乙方）提送檢測或試驗的原始數據資料有關，如果業主（甲方）有要求承攬廠商（乙方）提送檢測或試驗的原始數據資料，原始數據資料就不會掌握在承攬廠商（乙方）手上，且也不會因為承攬廠商（乙方）保存原始數據資料時間有期限的關係而無法蒐集到原始數據資料。

在上述原因分析有說明業主（甲方）一般會認為透地雷達原始數據資料對於他們而言是沒有太大的用處，所以不會要求承攬廠商（乙方）提送。其實不然，在身處大數據時代，原始數據資料就是寶藏，即使在短時間內可能無法發揮其功用，但在不久的未來就能展現出其功用價值。前期研究「透地雷達應用於省道養護巡查及 AI 智慧化辨識可行性之初步探討」探討透地雷達數據資料是可以用來進行多時期的比對，以確認檢測目標的變化或是進行損壞的監控甚至用來分析評估損壞造成的原因等等，另外，隨著科技進步，人工智慧的興起，要發展人工智慧辨識透地雷訊號圖像，以協助人員進行判釋，需要有數據資料尤其是原始數據資料，做為人工智慧訓練學習的重要資料。因此，就蒐集他人已完成檢測或試驗數據資料之方式，於蒐集透地雷達檢測或試驗委託勞務案件之數據資料所遇到的這 2 個困難及問題，建議業主（甲方）在訂定委託勞務契約時，要納入規定承攬廠商（乙方）需提送檢測或試驗的原始數據資料給業主（甲方）之條文，以利於後續原始數據資料的運用及保存。

本所預計於民國 114 年度辦理「透地雷達落實應用於省道養護巡查之研究」合作研究計畫，其中一項工作項目為制定透地雷達應用於省道養護巡查檢測發包、執行及驗收等相關規定之範本，將於該工作項目，會研議把承攬廠商（乙方）需提送檢測或試驗的原始數據資料給業主（甲方）之條文納入委託勞務契約範本之中。

2. 將承攬廠商（乙方）需提送檢測或試驗的原始數據資料給業主（甲方）之條文納入委託勞務契約中，這個建議對策主要是用於尚未發包的透地雷達檢測或試驗委託勞務案件，但是就已完成的透地雷達檢測或試驗委託勞務案件，要如何能讓承攬廠商（乙方）尤其是私人公司提供

原始數據資料，本計畫訪談業界相關人士表示：「原始數據資料為公司的資產，因此不方便提供，不過，若是在人工智慧辨識系統開發完成後，可以讓其有使用權利，就會考慮提供。」依據上述的表示也就是私人公司是有條件式的提供，因此，需要評估考量是否要為了蒐集原始數據資料而提出誘因或接受所開出的條件，而開放研發完成後的人工智慧辨識系統給提供原始數據資料者（單位或公司）使用，是很好的誘因跟條件，不過，這需要建立一套完整管理制度，甚至涉及資料庫建立與規劃的方式，需待更進一步評估考量。

以自行進行檢測或試驗這個方式蒐集數據資料，會遇到的困難及問題，主要是來自是否有透地雷達相關的軟硬體設備，以及是否具備使用透地雷達軟硬體設備、規劃測線、分析判釋透地雷達訊號圖像等能力，本計畫研擬短期與長期解決對策或建議如下：

1. 短期的方式：委外發包給專業廠商辦理或者找尋專業協力廠商合作辦理，這是對於沒有設備、沒有能力又沒有計畫後續自行應用透地雷達者，是快速且節省人力及時間的方式。
2. 長期的方式：對於沒有設備、沒有能力，但有計畫後續自行應用透地雷達者，可以在購買透地雷達相關軟硬體設備後，以上述短期的方式，可以透過專業廠商或專業協力廠商在實際檢測或試驗中進行學習並要求其辦理相關教育訓練等，建立培養能力並累積經驗，這是較為花費時間、人力甚至經費的方式。

一般而言，會採用自行進行檢測或試驗這個方式蒐集透地雷達數據資料都是學術單位居多，因為學術單位具有透地雷達相關的軟硬體設備且具備使用透地雷達軟硬體設備、規劃測線、分析判釋透地雷達訊號圖像等能力，而公家機關若要採用這個方式蒐集透地雷達數據資料，建議以短期方式辦理，較有效率且節省人力及時間。

依據上述蒐集透地雷達數據資料遭遇困難及問題之原因分析以及研擬對策或建議彙整成表格，詳表 4.1 所示。

表 4-2 蒐集透地雷達數據資料所遭遇困難及問題之解決對策或建議

蒐集數據資料方式	蒐集過程遭遇之困難、問題	原因分析	對策或建議
蒐集他人已完成檢測或試驗之數據資料	1.私人公司以原始數據資料是商業資產為由，不便提供或是有條件式的提供。 2.不同的承攬廠商，因其保存原始數據資料的時間不同，會有因為保存期限的問題而無法蒐集到的可能性。	因為業主認為原始數據資料較無實質上的需求，因此不會於承攬契約上要求承攬廠商提供，以至於是否要提供原始數據資料以及保存原始數據資料的期限，都掌握在承攬廠商手上。	1.尚未發包的承攬案件：建議將提送檢測或是驗後的原始數據資料給業主之規定條文納入委託勞務契約中，以利於原始數據資料的運用及保存。 2.已完成的承攬案件：可提出誘因或接受所開出的條件，讓承攬廠商願意提供。例如：開放研發完成後的人工智慧辨識系統給提供原始數據資料者使用。
自行進行檢測或試驗蒐集數據資料	缺乏透地雷達軟硬體設備或是缺乏使用透地雷達軟硬體設備、規劃測線、分析判釋透地雷達訊號圖像等能力。	該方式通常為學術單位所採用。	短期：委外發包給專業廠商辦理或者找尋專業協力廠商合作辦理。 長期：在購買透地雷達相關軟硬體設備後，以上述短期方式，可透過專業廠商或專業協力廠商在實際檢測或試驗中進行學習並要求其辦理相關教育訓練等，建立培養能力並累積經驗。

4.2 建立資料庫過程

早期一般人對於資料庫的認知，可能是將蒐集的數據資料依據所需的進行分類（例如：以蒐集日期、數據資料的形式、地點等等進

行分類)，然後儲存於不同的檔案資料夾中，這就是一個資料庫，但在大數據時代的現在，這只是在保存數據資料，而不是在建立資料庫。

資料庫是一個有組織的數據資料集合，用於高效儲存、管理和檢索數據資料等，並透過資料庫管理系統（Database Management System，DBMS）與使用者互動，協助監督和控制資料庫，實現各種管理操作。

事實上，建立透地雷達資料庫是跨學科、跨領域的合作，需要透地雷達專家、資料科學專家、資料工程專家及資料庫管理員等通力合作，以確保透地雷達資料庫能成功建立和運行。

本計畫透過訪談、回顧相關文獻等的方式，探討在建立資料庫過程會遇到的困難及問題，並初步研擬解決對策或建議。

4.2.1 建立資料庫過程所遭遇的困難及問題

資料庫可以分成關聯式資料庫以及非關聯式資料庫兩大類型，其適合儲存和管理的數據資料如下：關聯式資料庫適合儲存和管理結構化數據（包括：整數型數據、浮點數型數據、字串型數據、日期和時間、布爾型數據及二進位制數據等）；非關聯式資料庫適合儲存和管理非結構化數據（包括：文本文件、多媒體文件、社交媒體數據、傳感器數據、網頁數據及聊天記錄等）、半結構化數據（介於結構化和非結構化數據之間，擁有一些明確的結構但不完全規則。例如：電子郵件、HTML 等）。

除此之外，依據不同需求的功能或用途，可由關聯式資料庫以及非關聯式資料庫兩大類型再細分出時序資料庫、圖形資料庫、文檔資料庫、地理空間資料庫等特定功能的資料庫。

依據上述可知，建立資料庫首先要依據蒐集數據資料類型（形式）及需求功能或用途來選擇合適的資料庫系統，本計畫蒐集透地雷達數據資料的形式有 2 種，為原始數據資料（Raw Data）以及圖像，原始數據資料為二進位檔案格式是屬於結構化數據，其中又含有測量數據（位置、深度等）、時序數據（發射波的時間、接收反射波的時間等）等，而圖像形式則是非結構化數據，所以蒐集的透地雷達數據資料有結構化數據和非結構化數據，另外在功能或用途上，本計畫以應用人工智慧

辨識道路下方損壞瀝青鋪面的潛在風險因素為目的，建立相關的本土透地雷達數據資料，以做為人工智慧訓練學習用途，並以儲存管理不同時期的道路探(檢)測數據資料，於需要時可以進行多時期的比對分析，以追蹤或瞭解道路情況，做為養護管理及施工等重要參考依據，因此，資料庫的功能用途並不只用來儲存和管理所蒐集的數據資料，還有進行資料前處理後的數據資料（包括人員分析判釋後的數據資料），甚至還需儲存和管理人工智慧辨識後的數據資料，如圖 4.1 所示。再者，也需依據應用單位需求進行相關的加值應用功能等。

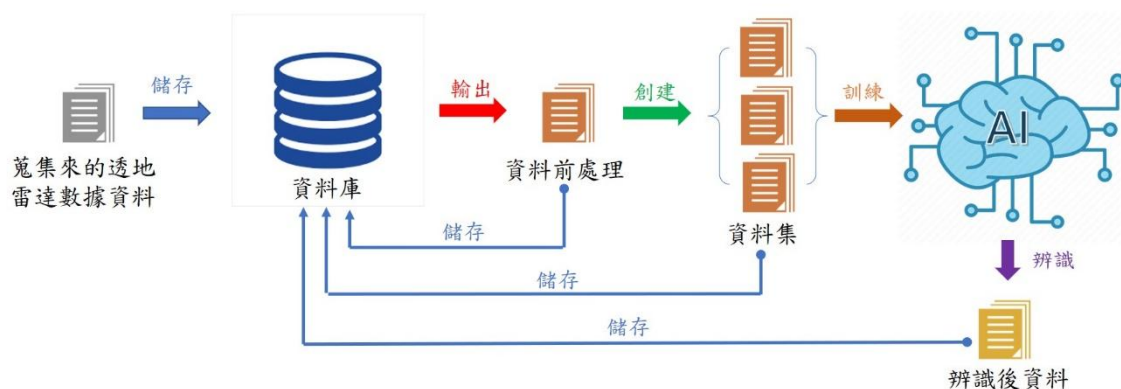


圖 4.1 資料庫儲存數據資料的示意圖

雖然瞭解本計畫蒐集透地雷達數據資料的類型（形式）是屬於結構化數據及非結構化數據，但是這 2 種數據形式所適合的資料庫不相同，結構化數據適用關聯式資料庫而非結構化數據適用非關聯式資料庫，該如何選擇或處理？除此之外，尚有需求功能或用途的確定以及數據資料所在位置（數據資料儲存的所在地，例如：內部部署、雲端或者兩者都要有）、資料庫所用的架構類型（集中式、分散式或是聯盟）等需要進行評估考量選擇，因此，建立資料庫過程的困難及問題，其實是萬事起頭難，也就是如何規劃建立資料庫，先有了合宜的規劃，才能建立適合的資料庫。

4.2.2 研擬建立資料庫過程所遭遇的困難及問題之解決對策或建議

建立透地雷達資料庫是跨學科、跨領域的合作，除了需要透地雷達

的專家，更需要資料科學、資料工程等相關的專家，因此，要如何規劃建立資料庫，本計畫建議可以成立專案或是委辦案，邀集相關的專家先行規劃後再建立資料庫。

建立透地雷達資料庫是系統性的工作，以下為參考建議的規劃步驟：

1. 確定需求：

- (1) 目標與用途：明確資料庫的主要應用，例如：道路下潛在孔洞、地質調查等。
- (2) 數據範圍與類型（形式）：確定所需收集的數據資料，包括：原始數據資料（Raw Data）、圖像、波形數據、位置訊息等。

2. 資料庫設計：

- (1) 選擇資料庫管理系統：根據數據資料需求選擇合適的資料庫管理系統，如 MySQL、MongoDB、InfluxDB 等。
- (2) 選擇資料庫架構類型：(a)集中式資料庫，所有資料都位在同一個位置的系統中。這個系統就是所有使用者的存取點^[21]。(b)分散式資料庫，可以同時跨越關聯式和非關聯式資料庫類型。在分散式資料庫中，資料是儲存在多個實體位置，可能位在多部內部部署的電腦上，或是散佈在互連電腦的網路中^[21]。(c)聯盟資料庫，在獨立伺服器上執行的數個不同資料庫會整合成一個大型物件^[21]。
- (3) 資料模式設計：設計資料表的結構，包括欄位、數據資料類型和關聯關係。
- (4) 定義元數據：確定數據資料的描述信息，例如：數據資料來源、測量時間和地理位置。

3. 數據資料蒐集與處理：

- (1) 數據資料蒐集：可以使用透地雷達設備進行數據資料蒐集，確保數據資料的完整性和質量。

- (2) 數據資料清洗：去除噪音和錯誤數據資料，轉換數據資料格式以適應資料庫需求。

4. 數據資料儲存：

- (1) 選擇數據資料儲存的所在地：(a)內部部署資料庫，數據資料位於私人的現場硬體（通常稱為私人雲端）。為了增加數據資料容量，資料庫管理必需確保現場伺服器擁有足夠的可用空間，或使用新硬體擴充基礎結構以建立空間^[21]。(b)雲端式資料庫，結構化或非結構化數據資料位於私人、公用或混合式雲端運算平台（也就是結合私人 and 公用雲端儲存體的平台）。因為雲端資料庫是針對虛擬化環境所設計，因此，同時具有高可調整性和可用性。其也有助於降低成本，因為不需要購買太多硬體，只需支付所用的儲存體費用^[21]。(c)同時使用內部部署資料庫及雲端式資料庫^[21]。
- (2) 導入數據資料：將處理後的數據資料導入資料庫中，並檢查數據資料的準確性。
- (3) 備份計畫：制定定期備份策略，確保數據資料安全和可恢復性。

5. 數據資料檢索與分析：

- (1) 查詢工具開發：設計數據資料檢索工具，支持使用者進行查詢和篩選。
- (2) 數據資料分析：使用數據資料分析工具進行深度分析，提取有價值的信息，例如：多時期的透地雷達訊號圖像比對分析。

6. 使用者界面設計：

- (1) 數據資料可視化：開發可視化工具，如地圖和圖表，幫助使用者理解數據資料。
- (2) 友好界面：設計直觀的使用者界面，讓非技術人員也能方便地使用資料庫。

7. 測試與部署：

- (1) 功能測試：全面測試資料庫系統的功能和性能，確保穩定性。
- (2) 系統部署：將資料庫系統部署到生產環境中，並進行必要的配置和優化。

8. 維護與更新：

- (1) 持續監控：監控系統運行情況，及時處理異常問題。
- (2) 系統更新：依據需求進行資料庫的更新和優化，保持高效性。

規劃建立資料庫，主要是依據使用者需求進行規劃，所以確定需求非常重要，是一種客製化的概念，因此，本所預計於民國 114 年度辦理「透地雷達落實應用於省道養護巡查之研究」合作研究計畫，其中一項工作項目為規劃建立透地雷達資料庫，藉由委辦合作方式來規劃用於儲存、管理及運用道路下損壞瀝青鋪面潛在風險因素的透地雷達數據資料，以利於後續建立資料庫及應用人工智慧辨識透地雷達訊號圖像之發展。

透地雷達在臺灣是常用的非破壞檢測的方法之一，不過，卻很少有建立透地雷達相關的資料庫，依據本計畫訪談學術單位、私人公司等相關人員，均表示僅只有保存透地雷達數據資料，並無建立透地雷達資料庫。應用透地雷達進行檢測或試驗最多的業主應該是公家機關，但是目前已知僅有經濟部水利局「無人載具搭載透地雷達執行堤坡結構非破壞檢測研究計畫」為開發透地雷達資料即時初步判讀（以人工智慧辨識透地雷達訊號圖像）功能系統，而建立的透地雷達檢測堤防孔洞的資料庫，其為關聯式資料庫，採用 MySQL 資料庫管理系統。

另外，透地雷達資料庫需要有經費辦理規劃後建立，而建立後尚需要維護、更新或擴充等也需要經費，因此，經費也會是建立透地雷達資料庫的困難及問題。但是，隨著科技的日新月異，應用新興科技輔助道路相關巡查檢測、養護等業務是現行的趨勢，而其所取得數據資料，在大數據時代的現在是重要且寶貴，需要加以保存、管理及運用，所以建立資料庫就有其必要性。

4.3 進行資料前處理過程

人工智慧辨識系統開發過程需要大量的時間進行數據資料前處理作業，其中數據資料的數量、品質及特徵的選取標記等決定人工智慧學習的上限。

本計畫探討以廣泛的方式蒐集透地雷達數據資料，目的是為了有足夠讓人工智慧訓練學習的數據資料，因此，探討蒐集他人已完成檢測或試驗的數據資料以及自行進行檢測或試驗的方式來蒐集數據資料 2 種蒐集方式，其所蒐集的數據資料可分成圖像及原始數據資料 2 種形式，其中的原始數據資料又有來自不同廠牌的透地雷達，因此，數據資料的複雜多樣需透過資料前處理這個步驟來確保數據資料的品質並進行異常訊號特徵的選取標記。

本計畫透過訪談、回顧相關文獻等的方式，探討在進行資料前處理過程會遇到的困難及問題，並初步研擬解決對策或建議。

4.3.1 進行資料前處理過程所遭遇的困難及問題

本計畫探討的 2 種數據資料蒐集方式，會在進行資料前處理這步驟過程發生較多困難及問題的是蒐集他人已完成檢測或試驗數據資料之方式，因為以自行進行檢測或試驗這個方式蒐集數據資料，通常是使用單一廠牌的透地雷達軟硬體設備進行檢測或試驗，並針對檢測或試驗的目標規劃合宜的測線、選定合適的天線頻率及設定合適的檢測參數（例如：取樣頻率、取樣間隔、取樣數、疊加次數等）等，且進行檢測或試驗後，有原始數據資料可以進行相關的訊號處理，因此，較能主動掌控並解決資料前處理過程所產生的困難及問題，這也就是學術研究大部分都會採用這個方式蒐集數據資料的原因。

蒐集他人已完成檢測或試驗數據資料之方式，因為數據資料是由他人進行檢測或試驗所完成的成果，所以使用的透地雷達軟硬體設備、相關檢測或試驗的天線頻率、檢測參數等都是已經確定而無法變動，而且這個方式還不一定能取得原始數據資料，相較於自行進行檢測或試驗蒐集數據資料的方式而言，蒐集他人已完成檢測或試驗之數據資料

的方式是較為被動，因此，會在資料前處理過程產生的困難及問題。

資料前處理這個步驟中，可分為以下 4 項作業程序：(1) 資料清洗、(2) 資料轉換、(3) 資料集成、(4) 資料歸納，蒐集他人已完成檢測或試驗數據資料之方式，主要會在資料清理及資料轉換這 2 項作業程序會產生困難及問題，而另外 2 個作業程序資料集成、資料歸納，主要是用以創建資料集，若是能在資料清洗、資料轉換這 2 作業程序上確實執行相關的作業，資料集成、資料歸納以及後續創建資料集，原則上不會有太大問題，因此，僅對於資料清理及資料轉換這 2 項作業程序會產生的困難及問題進行探討，其探討分析如下：

1. 進行資料清洗過程的困難及問題：

資料清洗作業程序顧名思義，就是對於所蒐集的數據資料進行篩選並清理數據資料中的錯誤、缺失值和不一致性等問題，如果上述的問題沒有得到解決，那麼從這些數據資料中提取的資訊也將不正確。蒐集他人已完成檢測或試驗之數據資料，首先會依據所需的目的是或目標來進行蒐集，以本計畫的目的應用人工智慧辨識道路下方損壞瀝青鋪面的潛在風險因素為例，就需要蒐集透地雷達進行道路檢測或試驗有關的數據資料，但是如果檢測或探測的是道路地下管線，這樣的數據資料就會不適合，因為本計畫要蒐集的檢測或試驗的數據資料是道路下會損壞瀝青鋪面的潛在風險因素，例如：孔洞。在依據所需的目的是或目標蒐集到相關數據資料後，要如何能篩選清理出適合人工智慧訓練學習的數據資料，這就是困難及問題。

因為依據所需的目的是或目標蒐集到的他人已完成檢測或試驗之數據資料，是來自不同的私人公司或學術單位進行檢測或試驗的成果，本計畫訪談透地雷達相關從業人員表示：「國內辦理透地雷達檢測的業者很多，但是檢測及分析判釋能力卻良莠不齊，加上政府標案多數採用最低標，很多業者都是以低價進行搶標，可想而知檢測後的成果品質是如何。」所以，在蒐集他人已完成檢測或試驗的數據資料中，可能會有品質不佳、不適合做為人工智慧訓練學習的數據資料，因此，在進行資料清洗作業程序時，要如何篩選清洗就格外重要。

2. 進行資料轉換過程的困難及問題：

資料轉換作業程序是對數據資料進行轉換，使其更適合進行分析或訓練人工智慧。蒐集他人已完成檢測或試驗的數據資料，會有來自使用不同廠牌的透地雷達進行檢測或試驗所得到的數據資料，而不同廠牌的透地雷達原始數據資料一般需要該廠牌的應用軟體（控制檢測及讀（擷）取顯示軟體或是後處理軟體）進行解譯二進位檔案格式並轉換為人員可以分析判釋的訊號圖像，後續在使用訊號圖像進行標記特徵，讓人工智慧進行訓練學習。依據本計畫調查，目前國內常用的透地雷達廠牌約有 6 家，因此，至少需要有這 6 家廠牌的應用軟體，才能因應解譯及轉換所蒐集到不同廠牌的透地雷達原始數據資料，另一方式為自行利用相關的語言程式編寫程式進行解譯及轉換，上述 2 種方法不是需要較多經費就是需要人力及時間，是否有更好的方法進行解譯及轉換不同廠牌的透地雷達原始數據資料，這是第一個遭遇的困難及問題。

資料轉換作業程序還包括數據資料標準化或統一化，透地雷達在進行檢測或試驗需要依據檢測或試驗的目的進行測線的規劃、選擇天線的頻率並設定檢測參數，天線頻率及檢測參數會影響檢測或試驗的成果，尤其是檢測參數，即使使用同樣的天線頻率，但設定的檢測參數不同時，會導致檢測或試驗的成果不同。舉例來說，雖然蒐集的透地雷達數據資料都是檢測道路下孔洞的數據資料，但是這些數據資料所設定的檢測參數不一定是相同，因為檢測參數的設定，是由檢測人員依據其專業及經驗，對於所要檢測或試驗的目標以及目標所處的環境狀況等進行判斷後設定。另外，透地雷達原始數據資料是由在檢測或試驗當下，完成設定的檢測參數進行檢測或試驗所得的成果，也就是說即便取得透地雷達的原始數據資料也無法調整改變檢測參數，第二個困難及問題是檢測參數不同的數據資料要如何進行標準化或統一化，再者，檢測參數不同的數據資料如果不經過標準化或統一化是否可以做為人工智慧訓練學習的資料。

依據上述在進行資料前處理過程，於資料清洗及資料轉換這 2 個

作業程序所遭遇的困難及問題彙整成表格，詳表 4-3 所示。

表 4-3 進行資料前處理過程所遭遇之困難及問題

項目	自行進行檢測或試驗之數據資料	蒐集他人已完成檢測或試驗之數據資料	資料清洗的困難問題	資料轉換的困難問題
檢測或試驗之成果(數據資料)	品質較有保障	品質良莠不齊	如何篩選清理出適合的數據資料。	-
透地雷達廠牌	單一	多種且不同	-	如何解譯及轉換不同廠牌的原始數據資料。
檢測參數的設定	固定或相同	不固定或不相同	-	如何進行標準化或統一化，如果不經過標準化或統一化是否可以做為人工智慧訓練學習的資料。

4.3.2 研擬進行資料前處理過程所遭遇困難及問題之解決對策或建議

蒐集他人已完成檢測或試驗數據資料之方式，所蒐集的數據資料是已經完成的被動性資料，而且來自不同的私人公司或是學術單位，其使用的透地雷達軟硬體設備、天線頻率及設定的檢測參數皆有不同，甚至對於檢測或試驗後的透地雷達訊號圖像分析判釋的嚴謹程度也有不同，而造成檢測或試驗的成果品質有良莠不齊的情形。

因為蒐集他人已完成檢測或試驗之數據資料有上述的特性，所以在進行資料前處理時，在資料清洗及資料轉換作業程序遭遇到困難與

問題，本計畫研擬解決對策或建議如下：

1. 在資料清洗時，如何篩選出適合做為人工智慧訓練學習的數據資料：

蒐集他人已完成檢測或試驗之數據資料，有來自不同的私人公司或者學術單位，對於數據資料品質上的篩選，接受本計畫訪談的學者專家建議可以先採用學術單位及在透地雷達相關檢測業務上較有名氣或者公司規模較大的私人公司所檢測或試驗的數據資料。原因是學術單位原本就以研究為主，除了有研究上的相關經驗能輔助於實際應用上之外，其在檢測或試驗過程及成果的分析判釋也會比較嚴謹。而在透地雷達相關檢測業務上較有名氣或者公司規模較大的私人公司代表在透地雷達檢測業務有一定專業度，並已經累積不少相關經驗及口碑等，加上對於規模較大的私人公司而言，較為重視商譽，所以在透地雷達數據資料品質上，相較之下會比較可靠。先篩選挑出學術單位及在透地雷達相關檢測業務上較有名氣或者公司規模較大的私人公司所檢測或試驗的數據資料後，再行確認其數據資料是否適合做為人工智慧訓練學習的數據資料，然後進入下一步的作業程序進行資料轉換。

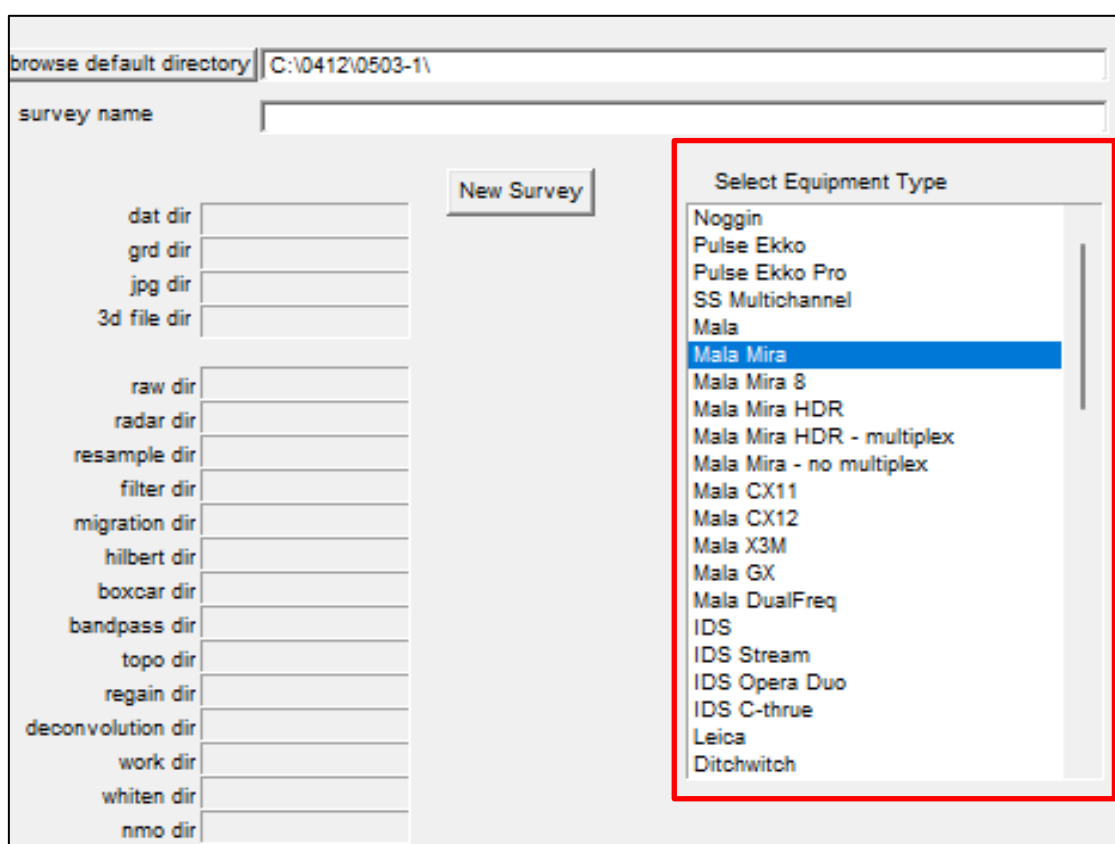
本所預計於民國 114 年度辦理「透地雷達落實應用於省道養護巡查之研究」合作研究計畫，其中一項工作項目為制定透地雷達應用於省道養護巡查檢測發包、執行及驗收等相關規定之範本，用以遴選合適的廠商、要求檢測的品質進而得到有效的檢測成果，有助於提升透地雷達數據資料的品質。

2. 在資料轉換時，如何解譯及轉換不同透地雷達廠牌的原始數據資料：

要解譯不同廠牌的透地雷達原始數據資料，並轉換成人員可以分析判釋及進行特徵標記的訊號圖像，除了購買或蒐集不同廠牌的應用軟體之外，還可以自行利用相關的程式語言編寫程式進行解譯及轉換，不過，上述 2 種方法不是需要較多經費就是需要人力及時間。依據本計畫瞭解，目前市面上所販售的第三方軟體 Reflexw、GPR-SLICE 可以相容國內常用透地雷達廠牌的原始資料檔案，並進行解譯及轉換為訊號圖像，GPR-SLICE 這款第三方軟體售價較 Reflexw 要來的高，主要是 GPR-SLICE 的功能較為強大，但是若只是要進行解譯、轉換、一般

的訊號後處理及簡易套圖等作業，Reflexw 這款第三方軟體就有具備相關的功能。因此，本計畫建議可以使用這 2 款第三方軟體來進行解譯及轉換不同透地雷達廠牌的原始數據資料，可以達到節省經費、人力及時間。

以下為 GPR-SLICE 選擇不同廠牌的透地雷達原始檔案介面圖及 Reflexw 選擇不同廠牌的透地雷達原始檔案介面圖，如圖 4.2 及圖 4.3 所示。



（圖片由智統科技工程股份有限公司提供）

圖 4.2 GPR-SLICE 選擇不同廠牌的透地雷達原始檔案介面圖

Reflexw dataimport

Fileheader-coordinates

DistanceDimen: METER

data type: const.offset

ProfileDirection: X

ProfileConstant: Y

XStart: 0

XEnd: 250.0951372

YStart: 0

YEnd: 0

ZStart: 0

ZEnd: 0

number: 0

filename specification

specification: original name

prefix:

filename factor: 1

Time and comment specification

TimeDimension: ns

sample number: 388

time increment: 0.1953125

time resampling: 1

timerange: 75.78125

file header: 1024

trace header: 256

ConversionMode

conversion sequence: no

max.traces/file: 3000000

line distance: 0

tracenr./2D-line: 0

trace incr.: 0

meandering: ☐

check tracelength: ☐

move receivers: ☒

move shots: ☒

update traceheaders/gps coordinates

☒ use data folder

update traceheaders: no

utm-conversion: no

calculate distances: ☐

correct for offset: ☐

smooth dir.: back middle forward

smooth: 10

format specification

input format: MALA RD7

output format: SEGY

scaling: SEG2 SEG2-RADAR RADAN

ControlOption: VIY

☒ control form: GEOSCANNERS_GSF

☒ read tracein: PULSEEKKO

☐ fix endcoord: MALA RD3 MALA RD6 MALA RD7

☐ read coord: IDS

☐ read starttir: UTSI

☐ correct for: INFRASENSE SEGY-PRISM GEOSCAN32 IMPULSERADAR BGREMRNEW BGREMRHELI

ControlPanel

Convert to Reflex

☒ PrimaryFile

☐ SecondaryFile

☐ apply processing flow

☒ CheckExistingFiles

☐ check data for NAN

Help

Exit

(圖片由智統科技工程股份有限公司提供)

圖 4.3 Reflexw 選擇不同廠牌的透地雷達原始檔案介面圖

3. 檢測參數不同的數據資料要如何進行標準化或統一化：

蒐集他人已完成檢測或試驗之數據資料，即使有取得原始數據資料，也無法改變檢測參數，因此要進行標準化或統一化僅能從蒐集的數據資料中，挑選相同的檢測參數並進行分類，但要有一個前提就是需要有其成果報告，因為一般而言成果報告中會說明設定的檢測參數為何，否則無法進行挑選及分類，這也是在第三章所敘述，蒐集他人已完成檢測或試驗之數據資料要有成果報告以及原始數據資料，才是完整的數據資料。從成果報告中可以瞭解所蒐集的數據資料，是使用那個廠牌的透地雷達、檢測或試驗的目的、使用的天線頻率、測線的規劃、設定的檢測參數及成果的分析判釋。不過，挑選相同的檢測參數並進行分類，是需要花費人力及時間。

本所預計於民國 114 年度辦理「透地雷達落實應用於省道養護巡查之研究」合作研究計畫，其中一項工作項目為制定透地雷達應用於省道養護巡查檢測發包、執行及驗收等相關規定之範本，將研擬檢測的標準，提供進行檢測省道下不同損壞瀝青鋪面的潛在風險因素時，應使用的天線頻率、檢測參數及規劃測線等參考，俾利於後續相關資料前處理的標準化或統一化。

4. 檢測參數不同的數據資料如果不經過標準化或統一化是否可以做為人工智慧訓練學習的資料：

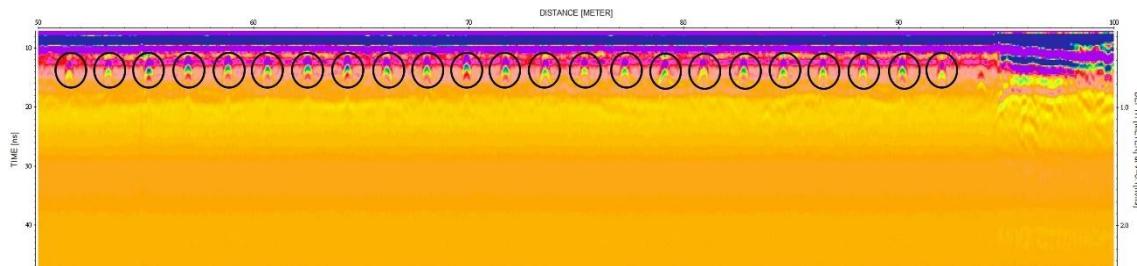
應用人工智慧辨識透地雷達訊號圖像的用意是希望能訓練深度學習模型（程式），使其與專業且有經驗的人員一樣，能進行訊號圖像中異常訊號的辨識，目前訓練人工智慧辨識透地雷達訊號圖像一般都是採用監督式學習的方式，人員先行於透地雷達訊號圖像中標註出異常訊號特徵後，再給深度學習模型（程式）訓練學習，也就是人員如何判釋，人工智慧就如何辨識。

對於專業且有經驗人員而言，是可以單就檢測或試驗後的透地雷達訊號圖像進行分析判釋，即便透地雷達訊號圖像來自不同廠牌的透地雷達訊號圖像、使用不同的天線頻率及不同的檢測參數等，因為分析判釋是對於訊號圖像中的訊號特徵進行分析、判斷並解釋該訊號所

表示的訊息，舉例說明：圖 4.4 中的 (a)、(b)、(c) 圖是由 2 家不同透地雷達廠牌使用不同的天線頻率、設定不同的檢測參數所得的透地雷達訊號圖像，但是專業且有經驗的人員經由分析判釋是可以圈選出異常的訊號，主要是判釋出訊號圖像中雙曲線的特徵。

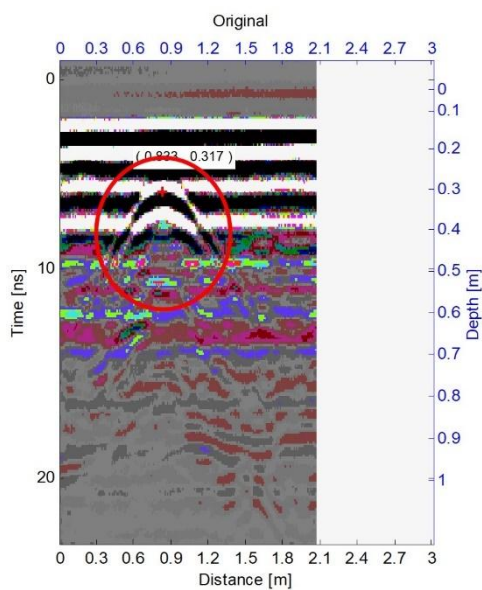
因此，在訓練人工智慧辨識透地雷達異常訊號，也是在於辨識訊號的特徵（例如：雙曲線），不論是使用不同的透地雷達廠牌、不同的天線頻率或設定不同的檢測參數，異常訊號的特徵是不會有所不同，而使用不同的天線頻率或設定不同的檢測參數的目的是在於能準確地檢測出目標物。

不過，要進一步分析圖 4.4 中的 (a)、(b)、(c) 圖的雙曲線訊號是管線還是鋼筋，專業且有經驗的人員會透過訊號圖像上的尺度去比對分析判釋，圖 4.4 中的 (a) 圖相較 (b)、(c) 圖，其雙曲線訊號尺度上比較小且等間距排列，所以可以初步判釋為鋼筋，另外由尺度上可以初步判釋圖 4.4 中的 (b) 圖為單一的管線，而圖 4.4 中的 (c) 圖由多個雙曲線重疊可初步判釋為管線群。

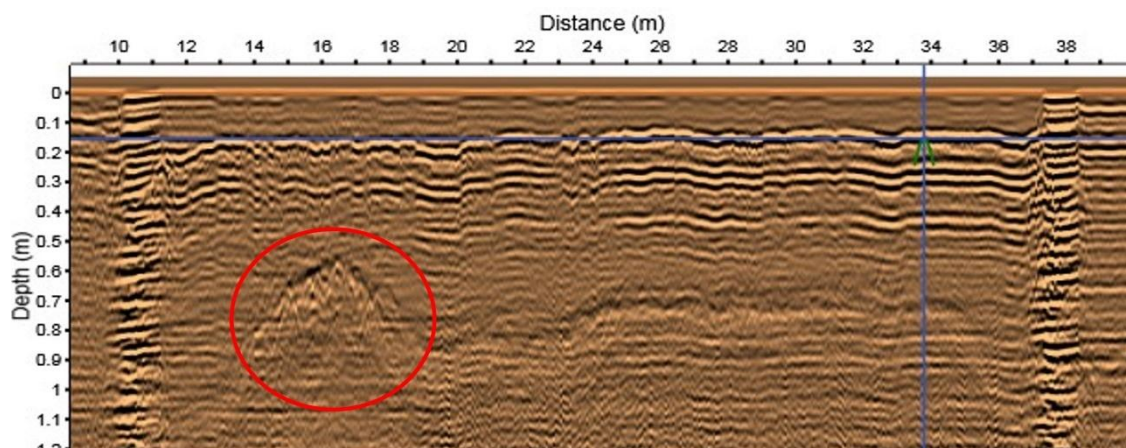


(圖片由中華大學土木工程學系林鎮華助理教數提供)

圖(a) 黑色圓圈處為雙曲線異常訊號



圖(b) 紅色圓圈處為雙曲線異常訊號^[18]



圖(C) 紅色圓圈處為雙曲線異常訊號^[22]

圖 4.4 透地雷達訊號圖像之雙曲線異常訊號

在人員進行分析判釋時，對於尺度能自行轉換及進行比對，但是對於人工智慧而言，就需要將透地雷達數據資料進行標準化或統一化，才能透過相同的尺度，量化檢測的目標（例如：量測孔洞大小）以及進行比對。因此，如果只是要讓人工智慧辨識透地雷達訊號圖像的異常訊號是不一定要經過標準化或統一化，但是經過標準化或統一化可以讓人工智慧進一步辨識透地雷達異常訊號的相關訊息。例如：經濟部水利局「無人載具搭載透地雷達執行堤坡結構非破壞檢測研究計畫」所開發結合人工智慧技術即時初步辨識透地雷達資料系統，可於現地完成影像資料收集後當場輸入並即時判斷出 30 公分(含)以上孔洞，做為緊急作業時之參考，這說明因為有進行透地雷達數據資料的標準化或統一化，該系統才能不只辨識出孔洞還能確認是否超過 30 公分。

依據上述進行資料前處理過程所遭遇困難及問題，本計畫研擬對策或建議彙整成表格，詳表 4.4 所示。

表 4-4 進行資料前處理過程所遭遇困難及問題之對策或建議

項目	蒐集他人已完成探檢測或試驗之數據資料	資料清洗的困難問題	資料轉換的困難問題	對策與建議
檢測或試驗之成果(數據資料)	品質良莠不齊	如何篩選清理出適合的數據資料	-	先篩選使用學術單位及有名氣或規模較大的私人公司所檢測或試驗的數據資料。
透地雷達廠牌	多種且不同	-	如何解譯及轉換不同廠牌的原始數據資料	可以採用第三方軟體為 Reflexw、GPR-SLICE，這 2 款第三方軟體可以相容國內常用透地雷達廠牌之原始數據資料。
檢測參數的設定	不固定或不相同	-	如何進行標準化或統一	1.挑選相同檢測參數的數據資料並進行分類，

			化，如果不經過標準化或統一化是否可以做為人工智慧訓練學習的資料	但需要花費人力與時間的成本。 2.不經過標準化或統一化是可以做為人工智慧訓練學習的資料，因為人員如何分析判釋，人工智慧就如何辨識。但是經過標準化或統一化可以讓人工智慧進一步辨識透地雷達異常訊號的相關訊息，例如：道路下孔洞的大小。
--	--	--	---------------------------------	---

資料前處理的另外 2 個作業程序資料集成、資料歸納，主要是用以創建資料集，而只要資料清洗、資料轉換這 2 作業程序能確實執行，資料集成、資料歸納以及創建資料集原則上較不會產生困難及問題，因此，就不進行探討。

4.4 小結

本計畫為了蒐集足夠訓練人工智慧的數據資料，探討利用蒐集他人已完成檢測或試驗之數據資料及自行進行檢測或試驗蒐集數據資料的方式，進行廣泛地蒐集，惟經回顧相關文獻、報告及訪談，絕大部分是採用自行進行檢測或試驗的方式蒐集人工智慧訓練學習的數據資料，然而在探討透地雷達數據資料前處理過程，蒐集他人已完成檢測或試驗之數據資料的方式相較於自行進行檢測或試驗蒐集數據資料的方式而言，會遭遇較多的困難及問題，例如：不易蒐集到透地雷達的原始數據資料、檢測成果品質良莠不齊、如何解譯及轉換不同廠牌的原始數據資料以及如何進行標準化或統一化等，以至於蒐集他人已完成檢測或試驗之數據資料，雖然可以增加人工智慧訓練學習的數據資料，但在數據資料品質的部分較不易掌控。

依據文獻回顧，為了彌補透地雷達數據資料不足的問題，近年來，

學者專家利用生成式對抗網路（GAN）生成出訓練人工智慧的數據資料，在這方面的研究有越來越多的趨勢而且取得不錯的成效，後續可以探討是否可以利用這個方式來取代蒐集他人已完成檢測或試驗數據資料的方式，因為蒐集他人已完成檢測或試驗的數據資料，雖然可以增加訓練人工智慧的數據資料量，但是需要克服在蒐集及資料前處理過程所遭遇的困難及問題，且在付出成本跟取得的效益上，似乎無法平衡，因此，利用生成式對抗網路（GAN）生成出訓練人工智慧的數據資料是值得探討，並評估取代蒐集他人已完成檢測或試驗數據資料之方式的可能性。

本計畫認為建立本土化資料庫是有其必要性，尤其是應用透地雷達進行常態性檢測公共設施的公家機關，建立資料庫除了可以進行數據資料的保存管理之外，還能做為公共設施多時期狀況的比對，以追蹤瞭解損壞缺失是否擴大，俾利於研擬後續養護的策略等，並做為後續發展人工智慧辨識系統訓練學習之數據資料來源。

第五章 合作研究計畫之芻議

本所前期研究計畫「透地雷達檢測道路孔洞方法之初步探討」、「透地雷達應用於省道養護巡查及 AI 智慧化辨識可行性之初步探討」，在探討應用透地雷達檢測道路下方損壞瀝青鋪面之潛在風險因素的優勢及人工智慧辨識透地雷達訊號圖像的可行性後，本計畫更進一步探討人工智慧辨識透地雷達訊號圖像的前處理。

依據回顧相關文獻及報告發現，對於使用深度學習模型（CNN、RNN、YOLO 等）進行辨識透地雷達訊號圖像的技術，原則上是可行且已有相當的成果，不過，這些文獻及報告都會提到一個問題，就是有無足夠且正確的訓練人工智慧的數據資料，這是個關鍵課題，而足夠且正確的數據資料係跟本計畫探討的前處理程序步驟，蒐集透地雷達數據資料及資料前處理有關。

本計畫在蒐集透地雷達數據資料這個步驟，探討利用蒐集他人已完成檢測或試驗之數據資料以及自行進行檢測或試驗蒐集之數據資料這 2 種方式，進行廣泛地蒐集，以增加訓練人工智慧的數據資料量，但探討後發現蒐集他人已完成檢測或試驗之數據資料的方式，在蒐集數據資料及資料前處理的過程中，相較另一方式會遭遇較多的困難與問題，本計畫雖然研擬解決之對策或建議，但是主要是透過訪談學專家提供相關建議，又能參考借鏡的相關研究文獻及報告並不多，所以無法確認蒐集他人已完成檢測或試驗之數據資料方式，是否真的能有效地增加訓練人工智慧的數據資料量，故需要進一步實際執行及探討，另外，利用生成式對抗網路（GAN）生成出訓練人工智慧的數據資料為近年來的一個趨勢，是值得探討及評估其落實應用的可能性。

本所預計於民國 114 年度辦理「透地雷達落實應用於省道養護巡查之研究」合作研究計畫係為民國 112 年自辦先期研究計畫「透地雷達應用於省道養護巡查及 AI 智慧化辨識可行性之初步探討」所研擬之，主要執行 3 項主軸工作：1.制定透地雷達應用於省道養護巡查的發包方

式、檢測標準、合理價格及驗收規定等範本。2.擬定透地雷達教育訓練相關內容並辦理教育訓練。3.規劃透地雷達資料庫。透過這3項主軸工作來排除公路局對於透地雷達應用在省道養護巡查的疑慮及問題，讓透地雷達能實際落實應用於省道養護巡查。除此之外，制定從發包、執行到驗收的範本可以協助後續蒐集用於訓練人工智慧的完整數據資料（成果報告及透地雷達原始數據資料）、數據資料上的標準化或統一化及提升檢測品質等，以增加透地雷達數據資料的適用性及普遍性，再者進行規劃透地雷達資料庫，以先有其框架或架構，俾利於後續建立本土化的透地雷達資料庫，也為後續發展人工智慧辨識透地雷達訊號圖像系統預做準備。

本計畫探討人工智慧辨識透地雷達訊號圖像之前處理，是為了建立本土化的透地雷達資料庫及發展人工智慧辨識系統的前期研究，又近年來國內道路天坑事件頻傳，成為道路等相關管理單位的痛點，天坑主要來自道路下方孔洞持續擴大至上方路面結構不足以支撐其荷重，而造成道路鋪面無預警塌陷的災害。因此，本所透過與業界或學界合作研究的方法，辦理「應用深度學習輔助辨識透地雷達道路下方潛在孔洞訊號圖像之研究」合作研究計畫，擬以深度學習進行卷積神經網絡（CNN）圖像識別模型訓練，建立道路下方孔洞圖像及非孔洞圖像資料類型，研發適用於國內透地雷達檢測數據智慧化與自動化圖像識別之物件識別模型，期能提供自動智慧化的辨識方法，輔助相關道路管理單位於道路養護作業上快速辨識道路下方潛在孔洞，以應用新興科技輔助道路養護業務，提升巡查檢測能力及效率，防患於未然，確保道路品質及用路人行車安全。

5.1 合作研究計畫說明

合作研究計畫主標題名稱為「應用深度學習輔助辨識透地雷達道路下方潛在孔洞訊號圖像之研究」，係以瀝青鋪面道路為研究對象，規劃出適用於國內道路下方潛在孔洞問題之檢測與改善方法，研析有效之透地雷達檢測設備、方法、測線規劃及後續資料分析辨識模式，

據以建立道路下方潛在孔洞位置（定性）與量體（定量）之輔助辨識模型及本土化透地雷達資料庫。全程計畫預計分 4 期（擬於民國 115~118 年）辦理，各年期的工作項目說明如下：

1. 第 1 年期-資料蒐集、分析判釋及程序建立

(1) 檢測道路需求相關資料蒐集彙整

A.道路沉陷或淘空原因資料蒐集彙整。

B.道路下方損壞鋪面潛在風險因素資料蒐集彙整。

C.道路管理單位檢測需求調查彙整。

(2) 透地雷達道路下方潛在孔洞分析判釋資料蒐集彙整

A.道路下方不同潛在孔洞資料蒐集彙整。

B.相關圖像分析判釋資料蒐集彙整。

C.相關圖像處理方式資料蒐集彙整。

(3) 建立道路下方潛在孔洞類型及試驗室模型

A.道路下方潛在孔洞類型模型製作與試驗。

B.道路下方潛在孔洞類型之現地實務試驗。

C.道路下方潛在孔洞類型分析判釋。

(4) 針對現地道路下方潛在孔洞模式，建立檢測、分析及處理程序

A.試驗室模型與現地道路下方潛在孔洞之分析判釋技術差異性。

B.建立道路下方潛在孔洞檢測參數要求、深度及配置。

C.建立道路下方潛在孔洞類型分析判釋及處理程序。

(5) 彙整上述內容擬定國內瀝青鋪面道路下方潛在孔洞檢測、分析

及處理程序手冊

2. 第 2 年期-建立資料庫及圖像辨識系統

(1) 延續蒐集道路下方不同潛在孔洞資料

- A.國內/外與實務道路下方不同潛在孔洞資料蒐集。
- B.利用生成式對抗網路（GAN），增加道路下方潛在孔洞類型資料數量。
- C.分類道路下方潛在孔洞類型資料。

(2) 標記道路下方潛在孔洞類型之圖像或訊號識別處理及建立資料庫

- A.歸納整理道路下方潛在孔洞類型之資料。
- B.建立道路下方有無潛在孔洞透地雷達圖像標記處理（增加辨識精度）。
- C.建立道路下方有無潛在孔洞標記圖像類型之基礎資料庫。

(3) 圖像或訊號後處理之深度學習模型建立及訓練

- A.建構道路下方有無潛在孔洞之圖像或訊號後處理深度學習模型。
- B.訓練道路下方有無潛在孔洞之圖像及訊號後處理深度學習模型。
- C.調整、測試道路下方有無潛在孔洞之圖像辨識靈敏度。
- D.建立道路下方有無潛在孔洞圖像辨識模型系統。

3. 第 3 年期-辨識系統驗證與精進

(1) 由前期計畫（第 2 年期）訓練模型資料成果，測試不同潛在孔洞類型圖像或訊號辨識處理

A.由本案建置深度學習模型系統，進行不同道路下方潛在孔洞類型圖像識別（已有資料庫進行測試）。

B.探討道路下方潛在孔洞圖像辨識之準確性。

C.精進道路下方有無潛在孔洞圖像辨識操作處理程序。

(2) 以公路局、高公局及縣市政府所轄之道路為對象，進行相關場域實務檢測成果比對（其目的係由本案建置深度學習模型系統輔助道路管理單位進行快篩、追蹤及觀察異常道路的變化，以非目視方式快速瞭解道路潛在孔洞及預防無預警的崩塌發生。）

A.以道路管理單位所轄之道路為場域，進行實務檢測，並執行所擬之標準作業程序。

B.利用實務檢測後的圖像持續進行模型辨識驗證測試並比對成果。

C.探討並精進道路下方潛在孔洞圖像辨識之準確性。

(3) 更新擴充透地雷達實務檢測道路下方潛在孔洞各類型圖像之深度學習資料庫

4. 第 4 年期-辨識系統推廣及轉移

(1) 持續精進前期計畫（第 3 年期）訓練模型資料成果，提升辨識系統（模型）辨識之能力（準確性）

(2) 持續更新擴充透地雷達實務檢測道路下方潛在孔洞各類型圖像之深度學習資料庫

A.延續前期計畫（第 3 年期）輔助各道路管理單位藉由本系統快篩判定潛在異常位置後，進行後續追蹤與資料更新。

B.尋找開發新道路場域進行實務檢測。

- (3) 依據本案歷年研究成果，完善道路潛在孔洞辨識系統平台或環境開發應用
- (4) 辦理本案道路下方潛在孔洞辨識系統及資料庫技術移轉評估及協助相關技術移轉作業
- (5) 辦理成果行銷推廣活動

5.2 預期成果、效益及應用

1. 預期成果

第 1 年期成果如下：

- (1) 完成道路鋪面品質檢測需求資料彙整。
- (2) 完成相關道路下方潛在孔洞分析判釋資料蒐集彙整。
- (3) 完成道路下方潛在孔洞類型、試驗室模型相關試驗並建立道路下方潛在孔洞檢測、分析及處理程序。
- (4) 完成擬定國內瀝青鋪面道路下方潛在孔洞檢測、分析及處理程序手冊。

第 2 年期成果如下：

- (1) 完成增加並分類道路下方潛在孔洞類型資料及資料庫之建立。
- (2) 完成道路下方潛在孔洞類型之圖像或訊號辨識標記處理。
- (3) 利用後處理之圖像或訊號，完成深度學習模型訓練及辨識系統之建立。

第 3 年期成果如下：

- (1) 利用訓練模型資料成果，完成測試不同孔洞類型圖像或訊號辨識處理。
- (2) 完成道路管理單位所轄之道路相關場域實測成果比對。
- (3) 完成探討並精進道路下方潛在孔洞圖像辨識之準確性。
- (4) 更新擴充透地雷達檢測道路下方潛在孔洞各類型圖像之深度學習資料庫。

第 4 年期成果如下：

- (1) 持續精進提升辨識系統(模型)辨識之能力(準確性)。
- (2) 持續更新擴充透地雷達檢測道路下方潛在孔洞各類型圖像之深度學習資料庫。
- (3) 完善道路潛在孔洞辨識系統平台或環境開發應用。
- (4) 完成本辨識系統及資料庫技術移轉評估及協助相關技術移轉作業。
- (5) 完成成果行銷推廣活動。

2. 預期效益

- (1) 研擬國內瀝青鋪面道路下方潛在孔洞檢測、分析及處理程序手冊，提升檢測實用性並維持檢測品質，提供相關道路管理單位未來施政的參考應用。
- (2) 提升道路檢測效率及品質，確保用路人安全。
- (3) 建立本土化道路下方潛在孔洞之透地雷達資料庫。
- (4) 透過深度學習技術，提供智慧化辨識道路下方潛在孔洞位置，以協助人員進行判釋，提高判釋之效率及準確性。

- (5) 透過標準作業程序於現地道路鋪面檢測成果展示進行推廣（如不同潛在孔洞所對應檢測規劃、分析及數位化二維、三維成果展示），可提供國內道路管理單位參考應用。

3. 預期應用

- (1) 研擬國內瀝青鋪面道路下方潛在孔洞檢測、分析及處理程序手冊，提供國內相關道路管理單位(如公路局、高公局及各縣市政府等)做為道路檢測相關作業之參考應用。
- (2) 建立本土化道路下方潛在孔洞之透地雷達資料庫，俾利於後續國內道路下方潛在孔洞透地雷達數據資料的保存、管理及應用。
- (3) 透過深度學習進行圖像辨識，提供適用於國內透地雷達檢測數據智慧化及自動化圖像辨識，協助道路管理單位進行快速辨識道路下方潛在孔洞位置及大小。

第六章 結論與建議

人工智慧辨識系統開發過程需要大量時間進行數據資料前處理作業，又人工智慧學習上限的關鍵在於數據資料的數量、品質及特徵選取標記等，而其上限的關鍵都與前處理作業相關。因此，本計畫延續前期自辦計畫「透地雷達應用於省道養護巡查及 AI 智慧化辨識可行性之初步探討」，應用人工智慧辨識透地雷達訊號圖像具可行性之結論及為利於後續發展人工智慧辨識系統，進一步探討人工智慧辨識透地雷達訊號圖像的前處理作業。

本計畫以人工智慧辨識道路下方損壞瀝青鋪面的潛在風險因素為目的，探討透地雷達數據資料前處理程序及其各步驟並初步研擬於前處理過程遭遇困難及問題之解決對策或建議，以下為結論與建議。

6.1 結論

1. 在蒐集透地雷達數據資料的過程，蒐集他人已完成檢測或試驗數據資料之方式，會遭遇不易蒐集透地雷達之原始數據資料(Raw Data)的困難及問題，尤其是在蒐集透地雷達檢測委託勞務案件的數據資料，主要原因是委託勞務契約中，沒有規定乙方需要提送原始數據資料給予甲方之條文，導致乙方掌控是否提供原始數據資料及保存時間的期限的主控權。本計畫初擬解決之對策或建議，在委託勞務契約中，納入乙方需提送原始數據資料給予甲方之規定條文，以利於原始數據資料的運用及保存。
2. 本計畫所謂的資料庫是由「數據資料」和「資料庫管理系統」所組成，建立資料庫是跨學科、跨領域的系統工作，所以本計畫初擬解決之對策或建議，以成立專案或委辦案的方式，邀集透地雷達專家、資料科學、資料工程等相關的專家，一同依據蒐集數據資料形式及需求功能或用途等先行規劃後建立資料庫。

3. 本計畫認為建立本土化透地雷達資料庫是有其必要性，尤其是應用透地雷達進行常態性檢測公共設施的公家機關，建立資料庫除了可以進行數據資料的保存管理之外，還能做為公共設施多時期狀況的比對，以追蹤瞭解損壞缺失是否擴大，俾利於研擬後續養護的策略等，並做為後續發展人工智慧辨識系統訓練學習之數據資料來源。
4. 在進行資料前處理的資料清洗作業程序，蒐集他人已完成檢測或試驗數據資料之方式，其數據資料是來自不同私人公司、學術單位已完成檢測或試驗的成果，因為檢測或試驗、分析判釋等能力有良莠不齊的情形，可能會造成數據資料的品質不佳。本計畫初擬解決之對策或建議，先篩選出學術單位及透地雷達相關檢測業務上較有名氣或者公司規模較大的私人公司所檢測或試驗的數據資料，其品質相較之下會比較可靠，再行確認其數據資料是否適合做為人工智慧訓練學習的數據資料後，進入下一步的作業程序。
5. 在進行資料前處理過程的資料轉換作業程序，蒐集他人已完成檢測或試驗數據資料之方式，會有來自使用不同廠牌的透地雷達數據資料，而不同廠牌的原始數據資料會有解譯及轉換成訊號圖像的困難及問題。依據本計畫調查瞭解，目前市面上所販售的第三方軟體Reflexw、GPR-SLICE 相容國內常用透地雷達廠牌的原始數據資料，所以使用這 2 款第三方軟體進行解譯及轉換，可以節省經費、人力及時間。
6. 在進行資料前處理過程的資料轉換作業程序，蒐集他人已完成檢測或試驗數據資料之方式，其數據資料的檢測參數會有所不同，要如何進行標準化或統一化。本計畫初擬解決之對策或建議，透過成果報告相關內容，進行挑選相同檢測參數的數據資料並分類，已達到標準化或統一化，但需花費人力與時間的成本。
7. 檢測參數沒有經過標準化或統一化的訊號圖像是可以做為人工智慧訓練學習的資料，因為目前訓練人工智慧辨識透地雷訊號圖像一般都是採用監督式學習的方式，人員先行於透地雷達訊號圖像中標

註出異常訊號特徵後，再讓深度學習模型訓練學習，也就是人員如何判釋，人工智慧就如何辨識，異常訊號特徵不會因為不同的檢測參數而不同，但是經過標準化或統一化可以讓人工智慧進一步辨識透地雷達異常訊號的相關訊息（例如：道路下孔洞的大小）。

6.2 建議

1. 本計畫所探討蒐集透地雷達數據資料的 2 種方式，其中蒐集他人已完成檢測或試驗數據資料之方式，不論是在蒐集數據資料的過程還是在進行資料前處理的過程，都會遭遇困難和問題，雖然這些困難和問題，本計畫透過訪談專家學者、回顧相關文獻或報告等方式，初步研擬相關解決之對策或建議，但是並沒有實際執行的經驗，建議將蒐集他人已完成檢測或試驗數據資料之方式納入後續的合作研究計畫實際執行，以確認是否能透過這個方式蒐集到質、量都適合訓練人工智慧的數據資料。
2. 近年來，專家學者利用生成式對抗網路（GAN）生成出訓練人工智慧的數據資料，以彌補透地雷達數據資料不足的問題，依據文獻回顧，在這方面的研究有越來越多的趨勢而且取得不錯的成效，因此，應用生成式對抗網路（GAN）生成出訓練人工智慧的數據資料是值得探討，建議納入後續的合作研究計畫進行探討評估並實際應用。

6.3 研究成果效益

1. 完成探討透地雷達數據資料前處理程序及其步驟。
2. 完成初步研擬透地雷達數據資料前處理過程遭遇困難、問題之解決對策或建議。
3. 產出「應用深度學習輔助辨識透地雷達道路下潛在孔洞訊號圖像之研究」合作研究計畫之「研究主題及重點」（草案）。

6.4 提供政府單位應用情形

1. 提供公路局、高速公路局及各地方政府道路管理單位未來施政參考應用。
2. 提供本所後續辦理透地雷達、人工智慧辨識等相關研究參考應用。

參考文獻

1. Robert Sheldon, “Definition Binary File,” Retrieved from <https://www.techtarget.com/whatis/definition/binary-file>, 2024.
2. G.Grandjean ,and J.C.Gourry, “GPR data processing for 3D fracture mapping in a marble quarry (Thassos, Greece),” *Journal of Applied Geophysics*, Vol. 36, Issue 1, pp. 19-30, 1996.
3. Abujarad, F.,and Omar, A.S. “Factor and principle component analysis for automatic landmine detection based on ground penetrating radar,” *German Microwave Conf. (GeMiC)*, 2006.
4. ABUJARAD, F. , “Ground penetrating radar signal processing for landmine detection,” Ph.D. Thesis. Otto Von Guericke Universität, Magdeburg, 2007.
5. Daniel Reichman, Leslie M. Collins, and Jordan M. Malof, “gprHOG and the popularity of Histogram of Oriented Gradients (HOG) for Buried Threat Detection in Ground-Penetrating Radar,” arXiv:1806.01349v2, 2018.
6. García, S., Ramírez-Gallego, and S., Luengo, J. et al. ,“Big data preprocessing: methods and prospects,” *Big Data Anal* 1, 9 , 2016.
7. Çetin, V., and Yıldız, O.,“A comprehensive review on data preprocessing techniques in data analysis,” *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 28(2), 299-312, 2022.
8. Amazon Web Services (AWS), “What is a GAN?,” https://aws.amazon.com/what-is/gan/?nc1=h_ls, 2024
9. Zhang, X., Han, L., Robinson, M., and Gallagher, A., “ A gans-based deep learning framework for automatic subsurface object recognition from ground penetrating radar data,” *IEEE Access*, 9, 39009-39018, 2021.
10. Chun, P. J., Suzuki, M., and Kato, Y.,“Iterative application of

- generative adversarial networks for improved buried pipe detection from images obtained by ground-penetrating radar,”*Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 38, 2472–2490, 2023.
11. Hu, Haobang, et al. “Defects identification and location of underground space for ground penetrating radar based on deep learning,” *Tunnelling and Underground Space Technology* 140 : 105278, 2023.
 12. Ozkaya, Umut, and Levent Seyfi. "Deep dictionary learning application in GPR B-scan images." *Signal, Image and Video Processing* 12 : 1567-1575, 2018.
 13. Zhang, D., Li, J.C., Jiang, R.b., et al. , “Review of combined application of terrestrial laser scanner and ground penetrating radar,” *Progress in Geophysics (in Chinese)*, 31(6): 2767-2776, doi: 10.6038/pg20160656, 2016.
 14. Benedetto, Andrea, et al. “An overview of ground-penetrating radar signal processing techniques for road inspections,” *Signal processing* 132 : 201-209, 2017.
 15. Data Journal, “Dataset vs. Database - Main Differences,” Retrieved from <https://medium.com/@datajournal/dataset-vs-database-83839a436fe6>, 2024.
 16. 陳祥穎，「應用後處理程式改善透地雷達訊號特性之探討」，碩士論文，國立雲林科技大學營建工程研究所，2003。
 17. 倪勝火、張裕，「複數連續小波轉換應用於透地雷達信號之分析」，*中國土木水利工程學刊*，第 33 卷，第 2 期，第 105-118 頁，2021。
 18. 賴俊呈，「希伯特轉換於透地雷達信號之應用分析」，碩士論文，國立成功大學土木工程研究所，2008。
 19. NextLink (博弘雲端科技)，「資料前處理如何運作?4 步驟運用資料前處理，洞察準產業分析」，雲端新知，2023。
 20. ORACLE 台灣，「什麼是資料庫?」，資料庫，2020。

21. Microsoft Azure, 「什麼是資料庫?」, 資料庫的定義、類型和範例, <https://azure.microsoft.com/zh-tw/resources/cloud-computing-dictionary/what-are-databases/?msockid=24ba3038e25f6b552e40242ae3446adb>, 2024。
22. 葛文忠、張孟孔、陳泓偉、高憲彰, 「三維透地雷達應用於道路地下管線定位與路面凹陷探查」, 中興工程季刊第 148 期, 第 23-31 頁, 2020。
23. 經濟部水利署, 「無人載具搭載透地雷達執行堤坡結構非破壞檢測研究計畫」, 總結報告, 2022。
24. 經濟部水利署, 「無人載具搭載透地雷達執行堤坡結構非破壞檢測研究計畫 (3/3)」, 2022。
25. 黃奕筑, 「利用深度學習輔助堤防透地雷達影像之孔洞識別初步研究」, 碩士論文, 朝陽科技大學營建工程研究所, 2023。
26. 公路局, 「公路養護手冊」, 交通部, 2020。

附錄一

專家學者訪談紀錄

1.1 朝陽科技大學 營建工程系

許副教授耿蒼

時間：113 年 7 月 22 日（星期一）上午 9 時～11 時

地點：朝陽科技大學

參與訪談人員：胡啟文副研究員、賴俊呈助理研究員

紀錄：賴俊呈助理研究員

壹、計畫緣由說明：(略)

貳、訪談問題

- 一、發展 AI 辨識前需要建立相關的數據資料庫，尤其是本土化的數據資料，如何收集到足夠且正確的數據資料是前處理重要的課題之一，以應用 AI 辨識道路下潛在損壞風險因素(如孔洞、管線或箱涵漏水及回填不實等)為例，要如何進行相關數據資料的蒐集?(數據資料的來源)

透地雷達是非破壞性檢測技術，利用電磁波的反射來檢測道路底下的狀況，至於如何得到足夠檢測數據資料，其實是要看主要檢測標的是什麼?比如說要檢測地下管線，因為管線是長條狀的，所以需要佈設等間距的測線，比如間距 1 公尺或 2 公尺，假設檢測出來在地下 5 公尺處都有相同繞射訊號的出現，這樣才能確定管線的位置。檢測前要先了解檢測目標是什麼、檢測環境的狀況等，依其規劃適當合理的測線、使用恰當天線頻率及設定合宜的檢測參數，才能得到足夠及正確的數據資料來判斷檢測目標。

另外，有經驗的現場檢測人員就會依據需求來取「多餘觀測量」(多測幾條測線、擴大檢測範圍、多使用不同頻率的天線進行檢測等)，以利於更正確判斷檢測目標。

提問（說明）

老師剛剛所述是指要在要進行檢測前或檢測中，要做怎樣的準備或檢測時經驗的判斷，在檢測完成後，可以得到足夠且正確的數據資料來進行判釋，本題題目旨在如何蒐集給 AI 辨識訓練的數據資料，數據資料的來源於何處且如何取得。

依據過往的經驗，即使是相同廠牌的數據資料(使用同廠牌透地雷達進行施測)，也因以下 3 點而使雷達圖像有所差異，1.使用不同天線頻率檢測，在特徵反應上就會有所不同，2. 現地的檢測參數，比如取樣頻率、取樣筆數、測點間距等也會有所不同，3.在後處理時，使用的濾波的不同也會使得雷達圖像不同。如果要建立 AI 的資料庫，前面 3 點是要在相同的基準(礎)上再進行後續的訓練應該會得到較佳的結果。再回應到之前提到的，即使得到 Raw Data 雖然是還未進行後處理的濾波，但有可能在檢測的當下，儀器商已針對擷取之 Raw Data 進行濾波。另外以目前而言，文獻(論文)上建立資料庫大多是以管線較多，因為透地雷達對於管線的訊號圖像是明顯且確定的，在掏空(地下孔洞)部分就比較少見，文獻上顯示其雷達顯示圖像具有相位上的差異及繞射波特徵訊號出現，所以掏空所顯示的雷達圖像並非都是一致的，而檢測路面的材料不同(如瀝青、PC、植草磚)也會有所影響。

建議建立 AI 辨識的資料庫需要分門別類，若使用不同廠牌的透地雷達影像後續要考慮的條件會更多，使用多種不同廠牌的透地雷達數據資料訓練 AI 辨識掏空(孔洞)，我認為有一定的難度，在相同廠牌的雷達影像變數就很多，何況不同廠牌，會相對複雜許多。

剛剛你提到由(1)請公家機關、學術研究機構、業界檢測公司及工程顧問公司等提供所擁有的透地雷達數據資料、(2)自行於相關場域進行施測作業取得數據資料、(3)自行於實驗(試驗)室模擬場域(或需求)環境(狀況)進行施測作業取得數據資料，

這 3 種方式進行資料的蒐集是可行的。

- 二、一般而言，要蒐集完整的透地雷達檢測數據資料有 2 部分；成果報告(判釋分析報告)及原始資料(Raw Data)，就以形式來分，成果報告係以訊號圖像(圖片)的形式，而原始資料(Raw Data)係以二進位檔案格式(矩陣數值)的形式，請問這 2 種形式的數據資料作為 AI 訓練資料的優缺點。(蒐集數據資料的形式之影響)

如果能取得 Raw Data 可以針對我們的需求進行一致性的濾波，但是若使用成果報告附錄的雷達圖像，應該都是已經濾過波的圖像，這樣就會差在一個濾波的參數，另外呈現的雷達圖像有些是灰階影像有些是彩色影像會再有不同的差異，所以二者比較起來，應該是 Raw Data 比較好。

不過，取得 Raw Data 要將其轉換成人員或 AI 可以判識的訊號圖像，會有一定的工作量。而取得成果報告附錄的雷達圖像相對於取得 Raw Data 來說，會相對容易。

我之前的經驗(經濟部水利署案子)，是使用歷年檢測成果報告書附錄的雷達圖像(二維剖面影像)進行 AI 的訓練，並沒有使用 Raw Data 的資料，因為 Raw Data 要處理的東西太多了，但是進行訓練的雷達圖像的天線頻率與濾波器都會保持一致。

- 三、在蒐集到不同廠牌的透地雷達原始資料(Raw Data)時，因各家廠牌編寫(輯)邏輯、形式不同，所以須要透過各家的原廠應用軟體(後處理軟體)進行讀取並顯示訊號圖像，如果不使用各家的原廠應用軟體(後處理軟體)，就需要自行編輯程式來處理，但會耗費人力及時間，市面上有第三方軟體如：Reflexw、GPR-SLICE 可以相容各家透地雷達的檔案格式，請問對於使用第三方軟體來處理不同廠牌透地雷達原始資料(Raw Data)的看法，是否有助於數據資料前處理。

第三方軟體是有幫助的，業界用比較多的是 GPR-SLICE 這

個軟體，一是第三方軟體比較不一樣的功能(模擬不同的高度、3D 套疊等)，二是濾波，可以統一濾波。

但對於學術研究單位而言，大多會自行編寫程式來解譯 Raw Data，主要是因為我們研究的需求，無論是透地雷達廠商所開發的後處理軟體或是第三方軟體，所提供功能尚無法滿足研究上的需求。

四、問題 2.有提要蒐集完整的透地雷達檢測數據資料有 2 部分；成果報告(判釋分析報告)及原始資料(Raw Data)，要蒐集成果報告(判釋分析報告)會比原始資料(Raw Data)要來的容易，因為原始資料(Raw Data)一般都會是在執行檢測的受委託單位(乙方)(如：工程顧問公司、學術單位等)手上，而不是花錢進行檢測委託的業主(甲方)，業主大多只有成果報告(判釋分析報告)，業界視原始資料(Raw Data)為商業資產，對此的看法為何？

這有幾個層面，舉例來說之前有替臺中市政府施作文心南路的道路 檢測，檢測完後數據資料，我認為是臺中市政府所擁有的(類似個人病歷內容概念)，但的確在業界會把 Raw Data 視為商業資產，像在檢測領域較成熟之超音波檢測技術，後來我發現超音波的檢測設備通常是不可以輸出 Raw Data，只能截圖波形，這都有些考量在裡面，就我來說 Raw Data 就像病人的病歷，是無法任意提供給別人。

提問（說明）

請教老師，如果我們蒐集的數據資料就是單純地只供 AI 訓練使用，那這樣老師會提供嗎？

如果只是單純用於 AI 訓練，這樣我會提供，不過，會隱避掉這是那個案子的數據資料。

五、透地雷達檢測係為非破壞檢測，檢測後的訊號圖像由有專業及經驗的人員進行判釋，圈選出標的物或異常處，以檢測道路下孔洞為例，要確認檢測後判釋是否正確，需要進行開挖或其他

驗證作業如利用針孔攝影機，如果經由現地開挖或是驗證作業確定與檢測判釋結果相符者，係可以確認該筆資料是正確的。所蒐集的數據資料若沒經過上述相關開挖或驗證作業，無法確認數據資料的正確性。正確的數據資料和不確定是否正確的數據資料對於訓練 AI 辨識有什麼樣的影響？

非破壞檢測有其不確定性，所以在混凝土施工規範中，非破壞檢測的資料只能當作參考，不能當成驗收之依據，這就是考慮到非破壞檢測的不確定性。不過，如果非破壞性檢測的準確性有達到 80%~90%，我認為就具有一定的參考依據，就像在一個空曠空間要去找尋地下管線，如果不使用透地雷達就是盲挖，使用透地雷達就可以給你一個方向參考。

至於說用來訓練 AI 的資料正不正確，是會影響 AI 的辨識，例如這 100 筆的資料都是正確的，那訓練出來的 AI，其辨識度可能達到 9 成。這就是為什麼在 AI 的初步辨識的研究，我選擇先訓練辨識 30 公分以上的孔洞為目標進行，因為 30 公分以上的孔洞相較只有 5 公分的孔洞，雷達圖像是相對明確的，如此，用明確(正確)的雷達圖像訓練 AI，其辨識準確度相對就提高。

回過頭來說，雖然透地雷達有其不確定性，如果你蒐集的資料，是來自專業及經驗的廠商，那所檢測出來的成果包括判釋，還是具有讓 AI 訓練的價值。AI 辨識會隨資料庫的充實而逼近於真值，就是這樣的概念。

六、在相關文獻上，有應用「生成式對抗網路(GAN)」來產生訓練 AI 的資料，若就以 AI 辨識道路下潛在損壞風險因素(如孔洞、管線或箱涵漏水及回填不實等)為例，請問應用「生成式對抗網路(GAN)」來產生訓練 AI 的資料是否可行。

這部分我在文獻上有看過，但沒有實際做過，在之前 AI 深度學習的訓練時，也是遇到訓練資料沒那麼多，我有把既有資料 inverse 後或者生成出相關假資料出來進行分析(辨識)訓練，

至於應用「生成式對抗網路(GAN)」來產生訓練 AI 的資料是否可行，我是認為可行，因為最終目的還是要增加訓練集，訓練集越多就會越準確，這是可以預期的。

1.2 中華大學 土木工程學系

林助理教授鎮華

時間：113 年 8 月 6 日（星期二）上午 9 時 30 分～11 時 30 分

地點：中華大學

參與訪談人員：賴俊呈助理研究員

紀錄：賴俊呈助理研究員

壹、計畫緣由說明：(略)

貳、訪談問題

- 一、發展 AI 辨識前需要建立相關的數據資料庫，尤其是本土化的數據資料，如何收集到足夠且正確的數據資料是前處理重要的課題之一，以應用 AI 辨識道路下潛在損壞風險因素(如孔洞、管線或箱涵漏水及回填不實等)為例，請問要如何進行相關數據資料的蒐集?(數據資料的來源)-1.自行進行透地雷達檢測或試驗、2.對外蒐集他人(公家機關、學術機構、業界等)已完成的透地雷達檢測資料，這兩種方式的優缺點。

透地雷達數據資料的蒐集除了你剛剛講的從公家機關、學術機構、業界等對外蒐集及自行進行透地雷達檢測或試驗外，還可以由國內外文獻(期刊、論文)中取得，文獻中有相關對應實驗的圖像可以蒐集(比如有利用 PVC 管或是圓球模擬孔洞的圖像等)，因為透地雷達的 AI 辨識只有做圖像，沒有任何物理量。

至於自行進行透地雷達檢測或試驗跟對外(公家機關、學術機構、業界等)蒐集他人已完成的透地雷達檢測資料這兩種方式的優缺點，自行進行透地雷達檢測或試驗可以獲得原始資料(Raw Data)，所以能進行 AI 準確性或不確定性比對的優點，

對外蒐集他人已完成的透地雷達檢測資料大多只會得到透地雷達圖像(圖片)，不容易得到原始資料(Raw Data)，而取得的這些透地雷達圖像取樣參數不一，沒有統一訓練資料庫。不過，這些透地雷達圖像還是可以使用的，AI 圖像識別(辨識)是可以利用原始圖像及處理後圖像進行深度學習，初步訓練 AI 辨識何謂異常訊號。

二、一般而言，對外(不是自行進行透地雷達檢測或試驗)要蒐集完整的透地雷達檢測數據資料有 2 部分；成果報告(判釋分析報告)及原始資料(Raw Data)，就以形式來分，成果報告係以訊號圖像(圖片)的形式，而原始資料(Raw Data)係以二進位檔案格式(矩陣數值)的形式，請問這 2 種形式在進行「資料前處理」(詳後備註說明)過程中，會產生的問題、困難及解決之對策。

目前深度學習皆以圖像特徵為測試及訓練對象，尚無以陣矩方式進行 AI 識別(辨識)，題目(問題)所述的 2 種形式，一個是「圖像」，另一個為「Raw Data」，因此，Raw Data 這個形式在前處理過程中會比圖像這個形式還要多一個步驟，就是需要轉換成圖像。

你後面備註所敘述的「資料前處理」有資料清理、資料轉移、資料集成及資料歸納，我會拆成 2 個部分說明，第 1 部分：讓 AI 測試及訓練的資料，原則上蒐集來的透地雷達資料只要經過資料清理及資料轉移後，就能讓 AI 進行測試及訓練；第 2 部分：建立資料庫(資料集)，資料集成、資料歸納是用以建立資料庫(資料集)的程序。

透地雷達資料前處理程序主要是取決於要讓 AI 辨識的目標物(AI 辨識的目的)，所以不一定都需要經過如備註所說明的這 4 個程序。以資料集成來說是將來自不同來源、不同格式與不同結構的數據整合到統一的數據資料湖中，但無論你蒐集到的透地雷達資料是圖像形式還是 Raw Data 形式，都有在檢測時會有使用不同頻率的天線及設定不同的檢測參數的問題，圖

像形式還會有不同的訊號處理(增益、濾波等)的問題，而 Raw Data 形式則是不同廠牌會輸出不同二進位檔案格式的問題，所以要進行資料集成，以確保數據資料的一致性和可用性並不容易，另外若要分類(如孔洞、回填不實、地下水等)則需更大的資料庫數量來支持，才能進行資料的歸納。

三、接續上題，上述 2 種形式的數據資料作為 AI 訓練資料的優缺點。

有 Raw Data 我們可以針對要判釋的目的物(目標)進行相關的後處理作業，透過後處理作業可以增加(加強)目的物(目標)之特徵訊號，使我們更容易判釋出目的物(目標)，因此也可以讓 AI 更容易辨識，舉例來說我們要判釋道路下的孔洞，取得 Raw Data 後，可以利用濾波、轉換或者增益等後處理的方式，讓孔洞這個特徵更明顯，容易讓人員進行判釋，但是得到的是圖像(圖片)形式的資料，就無法進行後處理作業，相對於 Raw Data 而言，圖像(圖片)形式作為 AI 訓練的資料就缺少了運用的彈性。

四、在蒐集到不同廠牌的透地雷達原始資料(Raw Data)時，因各家廠牌編寫(輯)邏輯、形式不同，所以須要透過各家的原廠應用軟體(後處理軟體)進行讀取並顯示訊號圖像，如果不使用各家的原廠應用軟體(後處理軟體)，就需要自行編輯程式來處理，但會耗費人力及時間，市面上有第三方軟體如：Reflexw、GPR-SLICE 可以相容各家透地雷達的檔案格式，請問對於使用第三方軟體來處理不同廠牌透地雷達原始資料(Raw Data)的看法，是否有助於數據資料前處理。另外在文獻或報告上看到大多是會自行使用語言程式(如 matlab)編輯解譯程式來處理 Raw Data 而不使用第三方軟體的原因為何？

文獻大多為研究或學術單位在進行 GPR 資料處理之研究，並無直接購買原廠處理程式或第三方程式(如經費有限、人力不足之斷層)，但在實務作業時常會用到第三方程式，因已針對

實務需求進行程度開發(圖像美化易懂)，但也只針對廠商自己有利的方面進行，讓儀器及軟體更好一同出(銷)售。如現在微軟、CAD、GPS 及其它知名處理軟體，開始都以線上付費、或年費、或使用空間進行不同售價，每年更新付費使用。

對於你現在的研究而言，因為你討論的是蒐集不同廠牌的透地雷達資料，若是蒐集到的 Raw Data，使用第三方軟體確實是較方便快捷進行不同透地雷達廠牌 Raw Data 的解譯及轉換成圖片影像。

五、問題 2.有提要蒐集完整的透地雷達檢測數據資料有 2 部分；成果報告(判釋分析報告)及原始資料(Raw Data)，要蒐集成果報告(判釋分析報告)會比原始資料(Raw Data)要來的容易，因為原始資料(Raw Data)一般都會是在執行檢測的受委託單位(乙方)(如：工程顧問公司、學術單位等)手上，而不是花錢進行檢測委託的業主(甲方)，業主大多只有成果報告(判釋分析報告)，業界視原始資料(Raw Data)為商業資產，對此的看法為何？

這是不可避免，因有些廠商不願提供，一為廠商自己也不瞭解、二為對委託方的保密。若收集到的資料以公家會比較有機會，但也只有圖像資料，需在重新過濾。而私有公司資料之索取，大多不易；但經過溝通後，應該可以提供一些或較久遠的原始資料，並承諾開發成果可分享其優先使用或日後優先為資料收集單位共享(應可收集到一些)。

六、透地雷達檢測係為非破壞檢測，檢測後的訊號圖像由有專業及經驗的人員進行判釋，圈選出標的物或異常處，以檢測道路下孔洞為例，要確認檢測後判釋是否正確，需要進行開挖或其他驗證作業如利用針孔攝影機，如果經由現地開挖或是驗證作業確定與檢測判釋結果相符者，係可以確認該筆資料是正確的。所蒐集的數據資料若沒經過上述相關開挖或驗證作業，無法確認數據資料的正確性。正確的數據資料和不確定是否正確的數據資料對於訓練 AI 辨識有什麼樣的影響？

應用 AI 進行圖像辨識，AI 只能依據你給的資料進行辨識，對錯與否，是取決於給 AI 辨識的資料，其特徵是否符合你給它訓練資料之特徵，越符合就會越準確，但也不一定百分之百。

也就是 AI 圖像辨識只認識所訓練的或測試的圖像資料庫，以相似相對圖像特徵相符程度高低來決定 AI 模型的可信度，並無相對的物理量來支持，對 AI 而言只有圖像識別之數據高低影響。對於透地雷達圖像異常狀況，皆代表材料中之異常位置、大小、範圍。

另外以檢測道路下孔洞為例，應用透地雷達進行檢測是為了要預防孔洞造成道路的塌陷，而檢測後的數據資料，無論後續是否進行開挖確認現場孔洞的存在，並進行孔洞的處理，這數據資料的價值在於提醒這條道路上存在著有異常需要注意追蹤的地方。回到 AI 辨識目的就是輔助或是代替人工找出異常訊號，所以我們要給 AI 訓練的資料就是異常訊號圖像，至於這個異常訊號是否真的存在現場，這是會跟透地雷達檢測準確度比較有關，不過，應用透地雷達檢測的初衷是能快速非破壞的檢測道路下的狀況，給予預防的方向，並非給予百分之百之道路下實際情形，所以 AI 訓練的資料不一定都要是確認現場狀況無誤後的資料，有這樣的資料讓 AI 訓練固然很好但是想必不會很多，所以對於應用透地雷達及 AI 辨識的目的而言，這樣資料並非一定需要。

七、在相關文獻上，有應用「生成式對抗網路(GAN)」來產生訓練 AI 的資料，若就以 AI 辨識道路下潛在損壞風險因素(如孔洞、管線或箱涵漏水及回填不實等)為例，請問應用「生成式對抗網路(GAN)」來產生訓練 AI 的資料是否可行。

對於利用「生成式對抗網路(GAN)」來產生訓練 AI 的資料是否可行，我們不能確定 GAN 對抗後生成出來的資料是不是我們想要的資料，透地雷達訊號圖像相較於一般真實圖像(如小貓、小狗)較為複雜，所以利用 GAN 生成的圖像資料是否能

用於訓練 AI 是存疑的，舉例來說，利用真實的一台摩托車圖片可以生成出 100 張不同的摩托車照片，但是這 100 台摩托車現實有嗎？除非 GAN 是將小孔洞的訊號圖像生成為大孔洞的訊號圖像，這我就認為可以使用，但是如果是將這小孔洞的訊號圖像生成成不同色調、不同形狀等的假象的話，我認為這樣的訓練資料是無效的，所以重點是 GAN 生成出來的資料需要由人員判斷是否合理可用。

附錄二

專家學者座談會會議紀錄

交通部運輸研究所運輸技術研究中心會議紀錄

壹、會議名稱：本所運技中心第一科 113 年度自行研究計畫專家學者
座談會議

貳、時間：113 年 4 月 23 日(星期二) 下午 2 時

參、地點：本所運輸技術研究中心 2 樓簡報室

肆、主持人：蔡立宏主任

紀錄：黃宇謙

伍、出單位及人員：如簽到表

陸、與會委員意見：

一、王委員錦榮

(一) 鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(3/4)-試驗
場址數值模型建置及評估

1. 橋基保護是維持橋梁結構安全最重要的一環，本研究利用
地工織布鋪設與鼎型塊結合，既可保護橋基，也可減少鼎
型塊之流失，效益顯著，應可推廣應用，建議建立長期觀
測，進一步驗證使用性及探討後續如何再精進。

2. 本工法是否可運用於港區橋梁？建議後續可評估。

(二) 113 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與鋅金屬關聯性研究
臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與鋅金屬關聯性研究，對港
灣結構物之防蝕工法具有指導性之指標，可提供公共工程金
屬結構物防蝕設計、延長使用壽齡及降低維護成本之應用，
故本案有其推動的必要性及可行性。

(三) 港灣構造物巡查檢測作業精進(3/4)-新興科技應用於防波堤
設施巡查檢測作業

港灣構造物巡檢作業是港口管理機構日常工作之一，如
何利用新興科技來進行實有必要性。

(四) 港區地震液化風險評估模式精進(3/5)-高雄港模式精進

1. 港區土地碼頭大部分均由填海造陸而成，故地震時土壤液
化有其風險性，例如：0403 花蓮地震，花蓮港確實產生土

壤液化，並對碼頭造成破壞，爰此，針對港區地震液化風險的評估研究，確有必要性。

2. 建議本研究可長期進行，並建立臺灣各商港液化風險模式及高液化風險資料庫為最終目標。

二、 何委員鴻文

(一) 鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(3/4)-試驗場址數值模型建置及評估

本案研究成果對於橋梁維管單位未來辦理橋基保護工作有助益，後續建議能依國 3 大甲溪橋試辦成效提出適用河段、織布規格、鋪設及固定綁紮方式等指南。

(二) 公路橋梁梁底狹小空間檢測工具專利申請與推廣

1. 本案研究成果有助於檢測空間受限之橋梁檢測工作，未來申請專利建議需對目前已實際使用之檢測設備差異性及未來專利使用原則慎予評估。
2. 本工法是否可運用於港區橋梁？建議後續可評估。

(三) 人工智慧辨識透地雷達訊號圖像之前處理初探

運用透地雷達於道路養護巡查並應用 AI 辨識將為未來趨勢，本案擬整合常用廠牌之資料前處理問題，將對後續 AI 辨識影像資料庫建置有助益。

(四) UAV 結合深度學習輔助公路局邊坡災防應用探討

臺灣地區颱風、地震、豪雨頻繁，UAV 應用於邊坡防災之研議建議除公路主管單位外，亦可結合其他單位，例如：農業部農村發展及水土保持署、林業及自然保育署等。

三、 吳委員松旺

(一) 鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(3/4)-試驗場址數值模型建置及評估

1. 大甲溪近年較無劇烈沖刷，相關驗證成果仍需視未來降雨規模持續進行追蹤。
2. 本年度公路管理單位仍將繼續進行橋墩鼎塊保護，後續可

配合研究討論相關現地鋪設，以達理論及實務合作。

(二) 公路橋梁梁底狹小空間檢測工具專利申請與推廣

建議可配合定期橋檢作業，持續研討合適之工具與方式，例如：鋼箱梁內部檢測。

(三) UAV 結合深度學習輔助公路局邊坡災防應用探討

公路管理單位使用 UAV 多是針對路權內邊坡，針對單一場址路權外邊坡非屬公路單位管養，然若需整體分析建議可一併納入資料蒐集。

四、林委員鎮華

(一) 鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(3/4)-試驗場址數值模型建置及評估

橋梁監測資料，例如：水位、流速等，建議回饋數值模擬進行驗證，另可考量不同環境情境之模擬。

(二) 公路橋梁梁底狹小空間檢測工具專利申請與推廣

建議蒐集開放式橋梁及封閉式橋梁之比例，藉以思考後續工具的研發或如何搭配其他檢測工具。

(三) 人工智慧辨識透地雷達訊號圖像之前處理初探

建議可調查各式相關軟體的通用性，並取得不同單位的透地雷達使用資料，以增加資料量和 AI 學習之相容性。

(四) UAV 結合深度學習輔助公路局邊坡災防應用探討

建議可針對有監測儀器之邊坡進行探討，以和 UAV 影像辨識結果進行比較及相互驗證。

(五) 113 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與鋅金屬關聯性研究

建議納入在該環境中公共設施材料進行比對，探討其腐蝕速率變化以及如何回饋至防蝕和延壽，降低維護成本。

(六) 港灣構造物巡查檢測作業精進(3/4)-新興科技應用於防波堤設施巡查檢測作業

建議建立防波堤透地雷達資料庫，並比對震後或其他災害發生時之變化。

(七) 港區地震液化風險評估模式精進(3/5)-高雄港模式精進

建議配合鑽探報告資料，未來可於地震前後進行比對。

五、 張委員欽森

(一) 鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(3/4)-試驗場址數值模型建置及評估

1. 本研究計畫共分 111~114 年共 4 年執行，之前尚有 107~110 年的相關研究，運輸技術研究中心(以下簡稱運技中心)同仁前前後後耗費 8 年時間進行本項研發工作，其中包括水工模型試驗、現場實作測試、數值模擬等作業，值得肯定，也希望本項研究最後能有良好成效，並實際推廣到相關政府單位來引用。
2. 有關採用鼎型塊做為橋基保護工雖為一般橋梁河川慣用型式，惟因後續機關執行時，依政府採購法規定需有同等品之規定，以避免有綁標之嫌，因此，建議研究成果分析儘量可以較通則參數訂定此工法之材料型式，以利後續機關執行。
3. 相關文獻及資料收集僅提到河道地形、歷年沖刷變化及流速等資料，建議應再增加相關河川流量、輸沙量及水位等水文資料，並進行必要之極值統計分析，以利試驗結果可對應後續設計所需採用之回歸期條件。
4. 運技中心前往華光工程顧問股份有限公司(以下簡稱華光公司)推廣本研究成果時，曾提到本保護工法適用於卵礫石層，對砂質地形較不適用，在建置數值模式時對卵礫石層之模擬及試驗地形之重現合理性應是模式較為困難之處，也將攸關模式未來推測之成果，希望運技中心同仁多多費心思考相關議題，必要時可拜訪業界或學術界，共同討論研究。
5. 建議本計畫可納入相關國內外經驗公式分析結果比較，如中興大學林呈教授對此領域有許多研究成果，除可進一步驗證國內適用之經驗公式之可行性外，亦可做為該工法量化評估成效之參考。

(二) 公路橋梁梁底狹小空間檢測工具專利申請與推廣

1. 感謝運技中心蔡主任率領研究團隊到華光公司來分享本項研發成果，會中雙方進行相關技術及意見交流，希望對雙方都能有所助益。近期華光公司將爭取公路局橋梁檢測及耐震評估工作，以及鐵道局高架橋梁檢測業務，若能順利取得標案，將會適時與運技中心協商，應用此項研究成果在實際檢測工作之可行性。
2. 前次推廣會議中，華光公司同仁曾建議鏡頭影像納入尺寸之可行性，以便在檢測時可即時判斷構件之劣化情形，及是否需再進一步仔細檢測之必要性。
3. 在簡報中，辦理方式之推廣活動提到「評估本橋檢工具後續精進方向，或研發新型橋檢工具之可行性」，依以往工作經驗，港埠棧橋碼頭面板底部及港外碼頭連絡棧橋底部之檢測，各有其檢測之難處與限制，例如：棧橋碼頭面板底部或空間狹小，易受潮汐漲退影響，或碼頭縱深較深等；港外碼頭棧橋底部以往係以搭船並配合施工架方式進行檢測，需克服潮汐及風浪之影響，檢測作業都十分不方便，除耗時外，成果亦不易掌握。建議可思考納入後續研究之方向。
4. 水管橋之檢測作業，沒有行車動線，如何考量應用於此類橋檢工作？

(三) 人工智慧辨識透地雷達訊號圖像之前處理初探

1. 目前運用透地雷達檢測辨識地下管線及孔洞等的位置正確率僅 60%，且與雷達波長有關，探測深度約 2~5 米，因此，如何蒐集及整理成正確的訓練樣本，提供後續人工智慧進行 AI 辨識，應是關鍵課題。
2. 透地雷達影像如若受到干擾訊號，都需要利用處理軟體進行消除，增益等方式處理，各廠牌透地雷達的分析應用軟體，可能有所差異，透過與業界或學者等訪談瞭解，應是正確之方向，可藉此加強後端由 AI 判別之能力。
3. 各道路面層、基層、底層及下方土層等層面及材料的差異

所造成的圖像特徵不盡相同，是否能夠針對此差異分類蒐集，以利後續研究之進行。

4. 未來人工智慧辨識 AI 成果，建議應與實地資料比對，建立檢核方法及標準。

(四) UAV 結合深度學習輔助公路局邊坡災防應用探討

1. 針對裸露型落石邊坡之浮落石、張力裂縫之 AI 深度學習之訓練樣本，建議可先找開源資料集，並納入本地訓練樣本，一起進行模型訓練，以提升 AI 判識之成效。
2. 邊坡防災之危險因子多，且非常複雜，建議可以納入：坡度、坡向、地質條件等其它因素進行整體性之判斷，其中坡度、坡向可利用 UAV 成果進行 DEM 計算取得。
3. 未來建議評估利用 Insar 之資料進行 AI 訓練之可能性。

(五) 113 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與鋅金屬關聯性研究

1. 本研究包含大氣腐蝕及水下腐蝕，自 96 年開始執行大氣腐蝕、104 年加入水下腐蝕，應累積足夠多資料可做比對，目前研究是否都是針對該年度的腐蝕進行分析，建議可加入歷年分析，以瞭解大氣腐蝕環境及水下環境的長年趨勢。
2. 建議補充試驗對應之腐蝕因子，如螺旋金屬暴露試驗主要所得之腐蝕因子為何？
3. 簡報 35 頁有辦理大氣腐蝕環境調查取樣維護作業，但並無辦理水下腐蝕環境調查作業說明。
4. 計畫有說明大氣腐蝕因子，但是否針對水下腐蝕因子進行調查並分析，請補充說明。另建議補充目前所研析之腐蝕因子有哪些？是否有針對流速及水溫對水下腐蝕之影響？

(六) 港灣構造物巡查檢測作業精進(3/4)-新興科技應用於防波堤設施巡查檢測作業

1. 建議可與臺灣港務股份有限公司(以下簡稱港務公司)討論調整防波堤劣化度判定標準，依據「港灣構造物維護管理手冊」，部分判定標準過於嚴苛，例如：沉箱部分劣化判定標準 2 及 3 是規定 3mm 之裂紋；而沉箱量體大，3mm 之

裂紋判定為缺損尺度有失比例原則、差異過大，且沉箱大部分位於水下，透過水下攝影判斷 3mm 之裂紋難度高。另外，上部工亦有類似之規範，1cm 之裂紋可能為施工所致，且並不影響防波堤功能，建議可適度調整。

2. 建議防波堤進行檢修時，將檔案蒐整及歸類可納入應辦工作項目中，以利後續 5 年一次結構安全檢核之正確性及延續性。
3. 相關資料中均未提及新興科技是哪些項目，是否有預想項目？
4. 拋石防波堤之破壞通常由堤腳沖刷開始，導致消波塊移動及滑落，然人工巡檢僅能執行水面上之目視，初步判斷是否有異常情形，而水面下部分則需由潛水俠下水檢查，但因水流及波浪影響，潛水俠基於安全不容易接近防波堤檢視，因此，多音速測量應可被納入考量進行水面下結構物是否移動之佐證工具，提供參考。

(七) 港區地震液化風險評估模式精進(3/5)-高雄港模式精進

1. 研究名稱所指精進定義是否僅為納入新建工程增加之地質資料，建議定義清楚是否僅為新增液化分析資料？
2. 研究項目及內容中，除液化潛能之評估及推估液化後沉陷量外，是否能增加其他可能造成碼頭損害之評估？

六、游委員中榮

(一) 公路橋梁梁底狹小空間檢測工具專利申請與推廣

1. 發明專利之標的較廣，通常是物質、物品、方法、材料及其用途的描述，新型專利之標的則僅及於物品之形狀、構造或組合的創作，建議可以發明專利為主。
2. 取得專利後，建議供我國研究機構或企業在我國管轄區域內製造或使用優先，並鼓勵於橋檢相關專案推廣使用，提升國內橋檢技術發展。

(二) 人工智慧辨識透地雷達訊號圖像之前處理初探

1. 提醒應用 AI 需要辨識者對於異徵的知識，並且樣本和基

礎圖資需標準化。

2. 透地雷達管線資料或許比較容易取得，就個人所知已經有數個地方政府，例如：臺北市、新北市、桃園市、臺中市等，有利用透地雷達調查管線，並與管線資料庫做比對，或許有機會可以取得透地雷達斷面資料提供 AI 訓練，惟縣市政府應無圖像前處理的經驗。
3. 是否可以取得適當的地下孔洞模式以做為 AI 訓練？據悉臺北市新工處似有相關資料，資訊供參。

(三) UAV 結合深度學習輔助公路局邊坡災防應用探討

1. 建議明確定義判釋標的，例如：落石坡、緩坡、人工邊坡，因其破壞機制皆有所不同。另外欲判釋的邊坡特徵，例如：坡面植生、坡頂坡面裂縫、浮石、岩石解理、人工邊坡構造設施等，亦需考量。
2. UAV 影像取得並非一定是由機關自行拍攝，有可能是委外辦理，不同 UAV 影像取得則需要標準化，建議可評估設定航線自行飛行取得影像。
3. 建議提出 UAV 影像取樣率、航高、路線、拍攝角度、是否有參考比例(地面控制點)、取樣範圍(公路維管單位的關注範圍)和影像製作方式等建議。

(四) 港灣構造物巡查檢測作業精進(3/4)-新興科技應用於防波堤設施巡查檢測作業

據悉港務公司有委託臺灣大學利用 UAV 結合 AI 進行港區設施自動化調查，建議可以蒐集資料參考。

(五) 港區地震液化風險評估模式精進(3/5)-高雄港模式精進

1. 液化潛勢評估方式有好幾種，據悉新版的基礎設計規範有數種液化潛勢分析方法，現行港灣設計規範似乎只有 Seed 法，或許不同的研究成果可以提供給港務公司，提供設計規範修改的參考依據。
2. 本計畫是否有包含液化後地盤沉陷的分析？是 Ishihara & Yoshimine 法或是 Tokimatsu and Seed 法？

柒、 結論：

感謝各位委員提供本所相當寶貴之專業建議，請案關業務同仁將委員意見納入參採，以符合實際應用面，並提升研究成果之廣度及實用性。

捌、散會：下午 4 時 30 分

會議簽到表

壹、會議名稱：本所運技中心第一科 113 年度自行研究計畫專家學者座談會議

貳、時間：113 年 4 月 23 日(星期二)下午 2 時

參、地點：本所運輸技術研究中心2樓簡報室

肆、主持人：蔡主任立宏 蔡立宏

伍、出席單位及人員：

所外委員	簽名
王委員錦榮	王錦榮
何委員鴻文	何鴻文
吳委員松旺	吳松旺
林委員鎮華	林鎮華
張委員欽森	張欽森
游委員中榮	游中榮
本所運輸技術研究中心 柯副主任正龍	柯正龍
第一科	賴瑞應 謝以海 胡哲文 郭登鍵 張道光 曾文偉 黃宇謙
第二科	李俊翔
第三科	林雅雯

(註：簽到表請掃描成 pdf 檔，若欲與會議紀錄整併成 1 個 pdf 檔，可至「https://www.ilovepdf.com/zh-tw/merge_pdf」，將會議紀錄與簽到表上傳後進行合併，再上傳至公文系統附件區供陳核)

附錄三

第 1 次工作會議紀要

113 年 6 月工作會議紀要

會議名稱：「本所運輸技術研究中心第一科 113 年自行研究計畫」第 1 次工作會議

時間：113 年 6 月 26 日(星期三)上午 9 時至 12 時 30 分

地點：本所運輸技術研究中心 5 樓第一會議室

主持人：賴瑞應科長

出席者：如後附簽到表

紀錄：鄭登鍵

壹、討論議題/計畫名稱

一、工作進度說明

(一)鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(3/4)-試驗場址數值模型建置及評估

1. 數值水理分析及文獻蒐集。
2. 數值模型分析流程及檢定與驗證事件選取。
3. 階段性成果應用。

(二)公路橋梁梁底狹小空間檢測工具專利申請與推廣

1. 相關智慧財產權及專利法規、專利申請程序，及專利地圖分析之相關研究文獻彙整。
2. 各構件之研發設計內容盤點，評估專利申請之可行性。
3. 本橋檢工具推廣應用工作執行進度。
4. 推廣活動回饋意見彙整。

(三)人工智慧辨識透地雷達訊號圖像之前處理初探

1. 國內常用透地雷達廠牌、型號及其資料處理軟體彙整。
2. 支援相容各廠牌透地雷達分析應用軟體(第三方軟體)之基本資訊彙整。
3. 專家學者訪談，訪談對象包括國內透地雷達代理商、業界專家

及學界專家。

(四) UAV 結合深度學習輔助公路局邊坡災防應用探討

1. UAV 結合 AI 於邊坡之相關研究文獻蒐集。
2. 公路局訪談摘要。
3. 邊坡維護管理機制及防災流程探討。

(五) 113 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與鋅金屬關聯性研究

1. 完成第 1、2 季大氣腐蝕劣化因子調查與現地暴露試驗取樣維護作業，完成 112 年第 4 季、全年與 113 年第 1 季，大氣腐蝕劣化因子化學分析及金屬試樣酸洗工作。
2. 完成 112 年度試驗資料綜整分析工作，並將資料擴增於資料庫，公開於本中心網站供外界查詢。
3. 完成撰寫及出版「2023 年臺灣大氣腐蝕劣化因子調查研究資料年報」工作，提供相關單位選用金屬材料與防蝕工法應用。

(六) 港灣構造物巡查檢測作業精進(3/4)-新興科技應用於防波堤設施巡查檢測作業

1. 各港區防波堤之巡檢項目與維護管理制度彙整與研析。
2. 防波堤常見之劣化項目探討。

(七) 港區地震液化風險評估模式精進(3/5)-高雄港模式精進

1. 液化評估法相關文獻彙整。
2. 高雄港近 10 年新建工程之地質鑽探資料蒐集。
3. 完成高雄港地質鑽探資料盤點。

二、針對目前研究方向與執行情形進行討論

(一) 鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(3/4)-試驗場址數值模型建置及評估

1. 討論文獻相關數據之引用應確認其適用性。
2. 討論數值模擬分析流程與檢定與驗證事件選取。

(二) 公路橋梁梁底狹小空間檢測工具專利申請與推廣

1. 討論國內橋梁檢測相關設備專利發明現況。

2. 討論推廣活動各橋檢廠商之回饋意見。

3. 討論本橋檢工具後續精進方向及實務需求。

(三) 人工智慧辨識透地雷達訊號圖像之前處理初探

1. 討論蒐集透地雷達檢測數據資料之方式，及蒐集過程中會遇到的困難。

2. 討論透地雷達檢測數據資料儲存格式，及如何讀取並顯示人員可以判釋之訊號圖像。

(四) UAV 結合深度學習輔助公路局邊坡災防應用探討

1. 討論現行公路邊坡維護管理機制及防災流程。

2. 討論已蒐集之公路邊坡基本資料、分級、災害類型及監測手段。

3. 討論公路局實務單位針對 UAV 結合 AI 進行加值應用之想法。

(五) 113 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與鋅金屬關聯性研究

1. 討論去年新增之十八王公橋試驗點的腐蝕情況與取樣事宜。

2. 討論腐蝕試驗點之氯鹽試架安裝工作。

(六) 港灣構造物巡查檢測作業精進(3/4)-新興科技應用於防波堤設施巡查檢測作業

1. 討論防波堤維護管理機制、巡查檢測項目與劣化判定標準。

2. 討論各港之防波堤構件劣化項目。

(七) 港區地震液化風險評估模式精進(3/5)-高雄港模式精進

1. 討論土壤液化評估相關方法。

2. 討論地質鑽探資料建置後，如何盤點及篩選。

3. 討論後續報告內容的加強與補充。

貳、重點紀要/主要結論

一、鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(3/4)-試驗場址數值模型建置及評估

(一) 梅雨季甫過，請視現場水位條件，安排於合適時間進行今年度現場試驗區第 1 次 UAV 觀測航拍，以觀測並記錄現場地形變化情形。

- (二)大甲溪石岡壩下游河段水理分析屬大範圍分析，請以二維模擬為宜；試驗橋址局部沖刷屬小範圍分析，請以三維模擬為宜，以有效率及合理分析評估本計畫工法之成效。

二、公路橋梁梁底狹小空間檢測工具專利申請與推廣

- (一)橋檢人員回訓課程進行推廣時，設計調查問卷提供回訓學員填寫，持續蒐集第一線橋檢實務人員對本橋檢工具之專業意見及後續精進建議，並調查橋檢工作之實務需求。
- (二)依所蒐整推廣活動回饋意見，評估橋檢工具後續精進方向，並依實務需求，研擬後續研究計畫研發新式橋檢工具之可行性。

三、人工智慧辨識透地雷達訊號圖像之前處理初探

- (一)對可能蒐集到之透地雷達檢測數據資料進行分類，如：訊號圖像(圖片檔案)、原始資料(Raw Data，二進位檔案格式)等，並分析不同類別數據資料對於訓練 AI 之助益。
- (二)後續報告中對於透地雷達儲存格式(二進位檔案格式)進行相關說明。

四、UAV 結合深度學習輔助公路局邊坡災防應用探討

- (一)依所蒐整之公路局優先關注邊坡曾經或正在應用 UAV 之狀況資料，釐清其邊坡災害類型及空拍影像數量，並以國內外文獻為借鏡，持續研析合適公路局之 UAV 結合 AI 切入課題及方法。
- (二)UAV 可實現酬載更換，以達更廣泛之情境使用。除蒐集 UAV 搭載光學鏡頭產製高解析度影像後進行之加值應用研究外，可擴大蒐集 UAV 搭載熱顯像、紅外線及 LiDAR 等結合 AI 之文獻。
- (三)依公路局提供轄下各分局管理之中高風險邊坡資訊，針對邊坡維護數量較多之山地工務段，安排後續訪談，並藉以瞭解實務需求和研究著力點，達以終為始之目的。

五、113 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與鋅金屬關聯性研究

- (一)研究成果後續可整理成論文，投稿防蝕研討會或港灣季刊。
- (二)新增之十八王公橋試驗點腐蝕數據可提供維管單位參採。

六、港灣構造物巡查檢測作業精進(3/4)-新興科技應用於防波堤設施巡查檢測作業

- (一)統計並分類各防波堤構件之劣化項目，以瞭解防波堤常見損壞構件，提供後續防波堤維護之參考數據。
- (二)水下之防波堤構件之檢測診斷項目可以探討用多音束與 ROV 來進行相關劣化度的判釋。

七、港區地震液化風險評估模式精進(3/5)-高雄港模式精進

- (一)報告中呈現高雄今年新增港區之地質鑽探資料，應包含其新、舊資料之分佈區域，以利瞭解其分佈是否能滿足高雄港區液化評估之需求。
- (二)今年度進行高雄港模式精進，除增加地質鑽探資料外，建議運用國內、外之液化分析方法，推估高雄港液化範圍及震陷量，提供地震速報簡訊之應用。

會議簽到表

壹、會議名稱：「本所運輸技術研究中心第一科 113 年自行研究計畫」第 1 次工作會議

貳、時間：113 年 6 月 26 日(星期三) 上午 9 時

參、地點：本所運輸技術研究中心5樓第一會議室

肆、主持人：賴瑞應科長 賴瑞應

伍、出席單位及人員：

出席單位	職稱	姓名
本所運輸技術研究中心第一科	副研究員 張道光 副研究員 謝妙屏 副研究員 周松茂 副研究員 曾文序 副研究員 鄭登健 副研究員 黃子孫 助理研究員 賴俊呈 王培源	
本所運輸技術研究中心第二科	科長	李信賴
本所運輸技術研究中心第三科	科長	林雅雯

附錄四

第 2 次工作會議紀要

113 年 8 月工作會議紀要

會議名稱：「本所運輸技術研究中心第一科 113 年自行研究計畫」第 2 次工作會議

時間：113 年 8 月 26 日(星期一)上午 9 時至 12 時 30 分

地點：本所港灣技術研究中心 2 樓簡報室

主持人：賴瑞應科長

出席者：如後附簽到表

紀錄：鄭登鍵

壹、討論議題/計畫名稱

一、工作進度說明

(一)鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(3/4)-試驗場址數值模型建置及評估

1. 現場觀測成果說明。
2. 數值模型分析流程及二維模型檢定成果說明。
3. 階段性成果應用說明。
4. 後續研究項目說明。

(二)公路橋梁梁底狹小空間檢測工具專利申請與推廣

1. 鐵道橋梁及箱涵橋梁檢測國內外文獻蒐集彙整。
2. 橋檢工具專利申請評估結果說明。
3. 橋檢工具推廣應用工作執行進度說明。
4. 推廣活動回饋意見彙整。

(三)人工智慧辨識透地雷達訊號圖像之前處理初探

1. 探討數據資料前處理方法(程序)及前處理過程中會遭遇之問題及困難，並初步研擬解決對策。
2. 辦理專家訪談針對國內外應用 AI 辨識透地雷達訊號圖像，及

數據資料之前處理方法，詢問相關專業看法及意見。

(四) UAV 結合深度學習輔助公路局邊坡災防應用探討

1. 公路局邊坡資訊調查及蒐集情形說明。
2. 公路局邊坡維護管理機制及防災流程探討。

(五) 113 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與鋅金屬關聯性研究

1. 完成第 1、2 季大氣腐蝕劣化因子調查與現地暴露試驗的取樣維護、化學分析及金屬試樣酸洗工作，第 3 季工作辦理中。
2. 構建鋅金屬腐蝕速率與主要大氣腐蝕因子間的迴歸模式。
3. 後續工作項目說明。

(六) 港灣構造物巡查檢測作業精進(3/4)-新興科技應用於防波堤設施巡查檢測作業

1. 各港區防波堤經常及特別巡查設施之劣化項目之探討。
2. 多音束水深測量與行動應用程式應用於防波堤巡檢作業。

(七) 港區地震液化風險評估模式精進(3/5)-高雄港模式精進

1. 建置高雄港地質鑽探資料，並盤點、篩選可用資料共 891 筆地質鑽探資料。
2. 完成不同地震情境下液化潛勢比較。

二、針對目前研究方向與執行情形進行討論

(一) 鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(3/4)-試驗場址數值模型建置及評估

1. 今年度凱米颱風帶來可觀之降雨量，對於本計畫試驗區成效驗證有相當的幫助，對於整體量化成效之數據亦可藉此事件更新。
2. 對於本次凱米颱風事件下，石岡壩放流量及試驗區河床水位高之物理量，可建立通用性詞語或對等概念，便於對外說明使用。

(二) 公路橋梁梁底狹小空間檢測工具專利申請與推廣

1. 討論博大公司協助本橋檢工具專利申請評估結果。

2. 討論本橋檢工具於橋檢人員回訓課程推廣之問卷回饋意見。

3. 討論本橋檢工具於鐵道橋梁應用之可行性。

(三) 人工智慧辨識透地雷達訊號圖像之前處理初探

1. 討論蒐集透地雷達數據資料時，透地雷達的原始資料(Raw Data)要如何取得。

2. 討論若蒐集的透地雷達數據資料不足給 AI 進行訓練學習時，利用「生成對抗網路(GAN)」生成 AI 訓練學習資料的可能性。

(四) UAV 結合深度學習輔助公路局邊坡災防應用探討

1. 討論現行公路局邊坡維護管理機制及防災流程。

2. 討論公路局邊坡應用 UAV、LiDAR 等科技巡檢實際案例。

(五) 113 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與鋅金屬關聯性研究

1. 討論迴歸模式之模式構建、解釋變數選定。

2. 討論後續迴歸模式之模式精進、解釋與預測工作。

(六) 港灣構造物巡查檢測作業精進(3/4)-新興科技應用於防波堤設施巡查檢測作業

1. 討論防波堤巡查檢測劣化項目與水下定期檢測劣化度探討。

2. 討論新興科技應用於防波堤巡檢作業。

(七) 港區地震液化風險評估模式精進(3/5)-高雄港模式精進

1. 討論高雄港不同地震情境下液化潛勢分析。

2. 討論後續報告內容的加強與補充。

貳、重點紀要/主要結論

一、鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(3/4)-試驗場址數值模型建置及評估

(一) 凱米颱風事件後可驗證設置織布之保護效果，其中 P23 橋墩恰為左右各半採用傳統及織布保護工法之區域，相當適合做為本計畫工法效果之說明。

(二) 請依所規劃之後續工作項目執行。

二、公路橋梁梁底狹小空間檢測工具專利申請與推廣

- (一)鐵道橋梁之交通可及性與公路橋梁不同，應考量執行橋檢工作相關設備運送及人員之交通方式，以完整評估本橋檢工具於鐵道橋梁應用之可行性，建議接洽鐵道橋梁維管單位，並安排現場橋檢工作觀摩，以瞭解鐵道橋梁檢測實務之進行概況。
- (二)本橋檢工具之後續精進方向，應以滿足橋檢公司及橋檢人員之實務需求，並請瞭解相關客製化所需成本，以利後續推廣工作之說明。

三、人工智慧辨識透地雷達訊號圖像之前處理初探

- (一)蒐集透地雷達數據資料時，透地雷達的原始資料(Raw Data)雖然大多由乙方掌握，請探討函請甲方要求其廠商(乙方)提供檢測的透地雷達原始資料(Raw Data)之可行性。
- (二)後續請探討利用「生成對抗網路 (GAN)」生成 AI 訓練學習資料的可行性。

四、UAV 結合深度學習輔助公路局邊坡災防應用探討

- (一)依現況調查資料，公路局各工務段邊坡曾經或正在應用 UAV 進行空拍之數量約有 77 處，本計畫過往已訪談公路局北分局、中分局等轄下工務段，建議再安排其他分局進行訪談，以廣泛瞭解不同區域之實務需求。
- (二)本計畫已整理公路局科技應用邊坡案例，並提出目前使用 UAV 搭載光學鏡頭或 LiDAR 主要進行之應用場景、優點和適用條件，後續於進行研析 UAV 結合 AI 深度學習影像辨識方法之工作項目時，請以相關應用場景如何搭配 AI 輔助為切入點進行探討。

五、113 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與鋅金屬關聯性研究

- (一)後續可運用構建的迴歸模式進行金屬腐蝕速率預測。
- (二)在選擇解釋變數時，可檢視腐蝕速率與腐蝕因子之散佈圖。

六、港灣構造物巡查檢測作業精進(3/4)-新興科技應用於防波堤設施巡查檢測作業

- (一)多音束水深測量在防波堤水下定期檢測劣化度判定(護面塊與護基塊)問題，建議可再探討其適用性。

(二)防波堤水下與水上沉箱壁體與消波塊構件之檢測診斷項目，可以探討用 UAV 與 ROV 新興科技來進行相關劣化度的判釋。

七、港區地震液化風險評估模式精進(3/5)-高雄港模式精進

(一)請補充液化風險評估之機率分析與定值分析之差異處。

(二)高雄港洲際二期(倉儲物流區及散雜貨碼頭)由於地質鑽探資料太少，建議高雄港不同地震情境下液化潛勢比較圖中，洲際二期暫時不要分析液化潛勢。

會議簽到表

壹、會議名稱：「本所運輸技術研究中心第一科 113 年自行研究計畫」第 2 次工作會議

貳、時間：113 年 8 月 26 日(星期一) 上午 9 時

參、地點：本所運輸技術研究中心5樓第一會議室

肆、主持人：賴瑞應科長 賴瑞應

伍、出席單位及人員：

出席單位	職稱	姓名
本所運輸技術研究中心第一科	副研究員 副研究員 副研究員 副研究員 助理研究員 副研究員	胡懿 謝弘昇 鄭金鍵 王浩源 賴俊呈 張道光 黃宇瑞 曾文傑 顏麗香
本所運輸技術研究中心第二科	科長	李信賴
本所運輸技術研究中心第三科	科長	林雅雯

附錄五

第 3 次工作會議紀要

113 年 10 月工作會議紀要

會議名稱：「本所運輸技術研究中心第一科 113 年自行研究計畫」第 3 次工作會議

時間：113 年 11 月 4 日(星期一)上午 9 時至 12 時 30 分

地點：本所運輸技術研究中心 5 樓第一會議室

主持人：賴瑞應科長

出席者：如後附簽到表

紀錄：鄭登鍵

壹、討論議題/計畫名稱

一、工作進度說明

- (一)鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(3/4)-試驗場址數值模型建置及評估
 - 1. 113 年度前 3 季現場試驗觀測結果。
 - 2. 二維數值模型建置情形。
 - 3. 階段性成果應用。
 - 4. 後續研究項目。
- (二)公路橋梁梁底狹小空間檢測工具專利申請與推廣
 - 1. 本案橋檢工具專利申請作業進度。
 - 2. 本案橋檢工具推廣工作執行狀況及進度。
 - 3. 推廣活動回饋意見彙整。
 - 4. 研發新型橋檢工具需求及規劃。
- (三)人工智慧辨識透地雷達訊號圖像之前處理初探
 - 1. 透地雷達數據資料前處理過程遭遇之問題及初步解決對策。
 - 2. 草擬合作研究計畫「應用深度學習輔助辨識透地雷達道路潛在下孔洞訊號圖像之研究」研究主題與重點。

(四) UAV 結合深度學習輔助公路局邊坡災防應用探討

1. AI 深度學習技術探討。
2. UAV 結合 AI 深度學習影像辨識方法。

(五) 113 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與鋅金屬關聯性研究

1. 完成第 1~3 季大氣腐蝕劣化因子調查與現地暴露試驗的取樣維護、化學分析及金屬試樣酸洗工作，第 4 季工作辦理中。
2. 構建鋅金屬腐蝕速率與主要大氣腐蝕因子間的迴歸模式，並應用模式預測鋅金屬腐蝕速率預測及腐蝕環境分類等級。

(六) 港灣構造物巡查檢測作業精進(3/4)-新興科技應用於防波堤設施巡查檢測作業

1. 依維護管理制度執行防波堤巡檢作業遭遇之問題。
2. 新興科技 UAV、多音束水深測量與水下無人載具應用於防波堤巡檢作業。

(七) 港區地震液化風險評估模式精進(3/5)-高雄港模式精進

1. 高雄港不同地震情境下液化潛勢分析結果。
2. 高雄港不同地震情境下沉陷潛勢分布結果。

二、針對目前研究方向與執行情形進行討論

(一) 鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(3/4)-試驗場址數值模型建置及評估

1. 二維模型參數率定選用。
2. 河床大斷面資料導入。
3. 三維模式參數率定及驗證。

(二) 公路橋梁梁底狹小空間檢測工具專利申請與推廣

1. 本案橋檢工具授權及推廣模式。
2. 推廣活動回饋意見及本案橋檢工具功能精進方向。
3. 新型橋檢工具研發需求及後續規劃。

(三) 人工智慧辨識透地雷達訊號圖像之前處理初探

1. 保存數據資料、資料庫以及資料庫的不同及其必要性。
2. 對於透地雷達的訊號圖像而言，AI 訓練學習方式採用標註正常、異常訊號特徵之優缺點。

(四) UAV 結合深度學習輔助公路局邊坡災防應用探討

1. 分辨式 AI 及生成式 AI 之基本原理、代表模型及資源需求等。
2. 生成式 AI 應用於影像辨識之適用性及切入點。

(五) 113 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與鋅金屬關聯性研究

1. 迴歸模式的 R^2 值、以模式進行預測時的預測區間信賴水準。
2. 港區腐蝕因子調查數據的分析與應用，以及後續模式的精進方向。

(六) 港灣構造物巡查檢測作業精進(3/4)-新興科技應用於防波堤設施巡查檢測作業

1. 防波堤水下與陸上巡檢作業時所遭遇問題。
2. 應用新興科技強化防波堤巡查與檢測作業。

(七) 港區地震液化風險評估模式精進(3/5)-高雄港模式精進

1. 高雄港不同地震情境下沉陷潛勢。
2. 後續報告內容的加強與補充。

貳、重點紀要/主要結論

一、鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(3/4)-試驗場址數值模型建置及評估

(一) UAV 航拍勞務案，於完成康芮颱風事件之地形紀錄後，於 11 月下旬著手辦理相關結案驗收事宜，以利年度會計結算作業執行。

(二) 請依所規劃之後續研究事項積極辦理，並如期於 11 月底前提交期末報告初稿。

二、公路橋梁梁底狹小空間檢測工具專利申請與推廣

(一) 如未來本案橋檢工具有精進或客製化之規劃，應將本案彙整之

實務需求建議，提供予本工具精進改良之執行單位或廠商，提升本橋檢工具應用價值，且符合應用單位之實際需要。

- (二)如未來規劃針對箱型橋梁內部檢測研發新式橋檢工具，應先完整調查箱型橋梁內部構造樣態及橋梁環境狀況，並充分瞭解檢測作業需求。

三、人工智慧辨識透地雷達訊號圖像之前處理初探

本計畫所探討蒐集透地雷達數據資料的 2 種方式，其中蒐集他人已完成之探（檢）測或試驗數據資料這個方式，不論是在蒐集或資料前處理過程，都會產生困難和問題，雖然這些問題本計畫有初步研擬相關解決的對策或建議，但是並沒有實際的執行經驗，建議將蒐集他人已完成之探（檢）測或試驗數據資料這個方式納入後續合作研究計畫實際執行，以確認能否透過這個方式蒐集到質量都適合訓練 AI 的數據資料。

四、UAV 結合深度學習輔助公路局邊坡災防應用探討

- (一)依照本計畫應用 AI 深度學習結合 UAV 空拍影像輔助影像判識之目的，可依蒐集之資料量及品質，決定運用單一或多個 AI 模型，針對不同階段來予以協處。
- (二)建議針對 UAV 如何取得較為精良之資料成果、影像處理方式以及可結合 AI 深度學習影像判識之課題進行梳理，呈現一套架構流程圖，俾供應用單位及本所後續研究參採應用。

五、113 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與鋅金屬關聯性研究

- (一)後續可因應不同區域特性，構建相對應的關聯模式，並將風速、風向、雨量等氣象因子之影響納入模式。
- (二)後續可就特定地區的二氧化硫、氯鹽調查結果，進行深入分析。

六、港灣構造物巡查檢測作業精進(3/4)-新興科技應用於防波堤設施巡查檢測作業

- (一)建議加強新興科技應用於防波堤設施構件劣化項目，對應於

檢測項目的表單。

(二)建議補充並說明新興科技 UAV 與多音束水深測量應用於巡檢案例。

七、港區地震液化風險評估模式精進(3/5)-高雄港模式精進

請依據觸發門檻加速度及高潛勢區面積分析成果，推估高雄港區之分區地震沉陷量，俾更新高雄港地震簡訊災況初評內容，並說明與原來地震簡訊災況初評內容之差異。

會議簽到表

壹、會議名稱：「本所運輸技術研究中心第一科 113 年自行研究計畫」第 3 次工作會議

貳、時間：113 年 10 月 31 日(星期四) 上午 9 時

參、地點：本所運輸技術研究中心5樓第一會議室

肆、主持人：賴瑞應科長 賴瑞應

伍、出席單位及人員：

出席單位	職稱	姓名
本所運輸技術研究中心第一科	副研究員 副研究員 副研究員 副研究員 助理研究員 副研究員 助理研究員 副研究員	曾文傑 謝幼屏 張道光 鄭金健 賴俊呈 賴啟文 黃炳宏 黃育瑞
本所運輸技術研究中心第二科	科長	李修穎
本所運輸技術研究中心第三科	科長	林雅雯

附錄六

期末報告審查委員意見處理情形表

期末報告審查委員意見處理情形表

項次	委員意見	處理情形
林鎮華委員		
1	文內 AI 開發過程需 80%時間描述，建議修正。	感謝委員建議，「人工智慧辨識系統開發過程有 80%的時間是對於數據資料進行前處理作業」，80%這數字是一個平均值，而 80%數字來源於網路上多篇關於資料前處理相關之文章或是報導(例如：企業思考 AI 前，資料整理是大工程且重要)，其主要係說明前處理作業的重要性及需要花費大量時間進行相關作業，只有在機器學習中使用乾淨且高質量的資料，才能確保所構建的模型能夠產生有價值的結果。已依據委員意見將「80%時間」修正為「大量時間」。
2	文內 P3-13 提及瀝青鋪面潛在因素及對應風險，若有相關圖文文獻、或損傷等級，該等資料建議納入本報告內文。	感謝委員建議，依據公路局「公路養護手冊」第四章及其附錄表 A4-3 彙整成道路下損壞瀝青鋪面的潛在風險因素造成鋪面損壞之現象，已納入本報告內文 P3-13、P3-14。至於損傷等級主要係為後續進行修復養護之措施所訂定，與本計畫較無相關，故不納入內文中。
3	文內 P4-7 第一段…主要都是跟?地雷達探(檢)測，少一字，請修正。	感謝委員意見，已修正。
4	文內 P4-7 提及 4.2 節之數據應用，建議如橋梁管理系統類似，建立國內道路管理系統，相關圖資可供研究單位進行開發。	感謝委員建議，後續於數據應用相關研究的部分，將參考橋梁管理系統。
5	文內 P2-15 及 P4-27 內文提及，相關 AI 學習都是要有足夠數據或模擬資料進行深度學習，進而應用於	感謝委員建議，本計畫探討透地雷達數據資料前處理程序的面向是能用於實務應用上，所以後續研究規

	實務圖像識別或即時識別，故建議後續研究規劃應以實務研究為導向。	劃也會是以實務研究為導向，並以能落地應用為目的。
6	文內 P6-1 至 P6-4 為各章節匯整，建議再精簡提出本案的研究成果內容，如重點說明，有利於後續研究成果及延續性。	感謝委員建議，已修正，詳 P6-1 至 P6-4。
許耿蒼委員		
1	研究計畫有將目前透地雷達於實務應用領域現況做分析研究，內容完整，參考應用價值高。	感謝委員肯定。
2	P.1-5 頁，圖 1.1，專家學者探訪中有提到智統科技與中興工程顧問社，但訪談資料不見於期末報告書中。	感謝委員建議，本報告書附錄一專家學者訪談紀錄，係收錄有正式簽准訪談(諮詢)並支付訪談(諮詢)相關費用的訪談紀錄，而智統科技公司、中興工程顧問社等雖有進行訪談(有的是實體訪談，有的是電話訪談)，但因沒有正式簽准及支付對方相關費用，故訪談相關內容，僅呈現於報告內文中，而無收錄於附錄一中。已修正 P1-5，圖 1.1，刪除智統科技公司及中興工程顧問社。
3	在同一廠牌不同天線頻率的檢測訊號反應其差異性也是不小，建議可進一步說明與探討。	感謝委員建議，透地雷達使用的天線頻率主要是依據需要檢測的深度、解析度以及現場環境狀況等，在評估後選擇適當的頻率進行檢測作業，這大部分需要藉助現場施測人員的專業及經驗進行評估。而使用適當的天線頻率進行檢測，可以提升檢測成果的品質，這就如同委員所述：在同一廠牌不同天線頻率的檢測訊號反應其差異性也是不小。因此，本計畫係歸納天線頻率是影響檢測成果品質(報告內文 P4-18、P4-19)的因素之一，其已評估考量於內。

4	P.4-21 頁中有提到 GPR-SLICE 等第三方軟體進行資料轉換，使用前述軟體可達不同廠牌資料轉換目的，但其作業應為勞力密集工作，在資料轉換方面建議可向自動化面向考慮；另有無考量最後是要轉換到哪種格式？	感謝委員建議，有關不同透地雷達廠牌資料轉換確實如委員所述係需人力進行點選轉換，在於後續的合作研究計畫是有規劃以自動批次化執行資料轉換的方向進行，以節省人力及時間成本。 另外，目前 AI 辨識透地雷達訊號主要都是以「圖像」的形式進行辨識，至於圖像的格式，會由後續合作研究計畫在實際執行過程中，以所建構的深度學習模型來評估考量適合的格式。
5	P.4-29 頁中有提到，將公共工程多時期狀況比對，概念與目前橋梁檢測系統相同建立病歷資料，立意良好，建議後續研究中可針對透地雷達測線檢測位置與地理資訊系統的關聯上做設計的著墨。	感謝委員建議，有關針對透地雷達測線檢測位置與地理資訊系統的關聯上做設計的著墨之建議，將於後續合作研究計畫納入建立透地雷達資料庫工作項目進行評估考量。
6	目前透地雷達檢測設備推陳出新，如陣列式的透地雷達天線等，建議可稍加研析。	感謝委員建議，目前國內擁有陣列式透地雷達的廠商或是學術單位等並不多，其主要原因為價格昂貴，故本計畫還是一般單一式天線透地雷達為主要研究對象。不過，會持續關注新型式透地雷達設備，以利於後續透地雷達相關之研究。
朱金元委員		
1	對於本研究在研究過程之層次與條理、整體完整性以及提出之未來合作研究內容及課題，表示肯定。	感謝委員肯定。
2	摘要及最後之結論與建議部分，建議能再更具體且言簡意賅表達。	感謝委員建議，已修正摘要及結論與建議。
3	P1-3 1.2 節之研究目的，請只寫本年度研究部分。目前報告所寫的內容應屬於成果應用而非研究目的。或可寫：分析目前透地雷達資料蒐集及分析所遭遇之困難並提出相對應	感謝委員建議，已修正 P1-3 1.2 節研究目的內容。

	之對策、研擬後續年度合作研究計畫，…，僅供參考。	
4	在第一章研究方法，研究流程及研究流程圖都有提及要訪談國內有經驗之學者專家，ex.智統科技、中興工程顧問社，但是附錄部分卻未見相關訪談紀錄，請補充。	感謝委員建議，本報告書附錄一專家學者訪談紀錄，係收錄有正式簽准訪談(諮詢)並支付訪談(諮詢)相關費用的訪談紀錄，而智統科技公司、中興工程顧問社等雖有進行訪談(有的是實體訪談，有的是電話訪談)，但因沒有正式簽准及支付對方相關費用，故訪談相關內容，僅呈現於報告內文中，而無收錄於附錄一中。已修正 P1-5，圖 1.1，刪除智統科技公司及中興工程顧問社。
5	P4-7、P4-24、P5-1 均有提到民國 114 年欲辦理之合作計畫名稱及相關內容及課題，與 P5-3 所述不一致，請檢視。	本報告內文所提民國 114 年合作研究計畫「透地雷達落實應用於省道養護查之研究」係為民國 112 年自辦先期研究計畫「透地雷達應用於省道養護巡查及 AI 智慧化辨識可行性之初步探討」所研擬之，其與本計畫研擬預計於民國 115~118 年辦理四年期的合作研究計畫「應用深度學習輔助辨識透地雷達道路下前在孔洞訊號圖像之研究」不同，故 P5-3 所述係為「應用深度學習輔助辨識透地雷達道路下前在孔洞訊號圖像之研究」之內容。 而於本報告內文提及民國 114 年合作研究計畫係因其工作項目會有助於透地雷達數據資料之前處理作業，以增加透地雷達數據資料的適用性及普遍性，再者也進行規劃透地雷達資料庫，以先有其框架或架構，俾利於後續建立本土化的透地雷達資料庫，為後續發展人工智慧辨識透地雷達訊號圖像系統預做準備，其相關之脈絡於 P5-1、P5-2 上已有說明。

本所運輸技術研究中心第一科賴瑞應科長		
1	本計畫完整呈現透地雷達數據資料之處理程序及步驟，並探討後續處理過程可能遭遇的困難與問題，研擬可能之解決對策或建議，研究成果豐富，予以肯定	感謝肯定。
2	本計畫也針對後續利用 AI 協助辨識透地雷達圖像所需建立的資料庫進行探討，並提出後續建置資料庫的相關建議，有利本所後續 AI 辨識透地雷達圖像的研發。	感謝肯定。
3	P.2-1，2.1 標題為「二進位檔案格式」，建議調整標題為「透地雷達資料儲存格式」，較能符合內文。	感謝建議，已調整修正 2.1 節標題為「透地雷達數據資料格式」。
4	P2-9，2.4 標題為「生成對抗網路」，建議調整標題為「生成式對抗網路」，報告內文相關字眼也建議一併調整。	感謝建議，已調整修正 2.4 節標題為「生成式對抗網路」並一併修正報告內文相關字眼。
5	第六章結論與建議，請精簡相關文字。	感謝委員建議，已修正結論與建議。
6	本計畫報告內有漏字或是錯別字的部分，請再重新檢視並修正。。	已檢視並修正報告內文之漏字及錯別字。
本所運輸技術研究中心第二科李俊穎科長		
1	已蒐整文獻並分析研擬後續合作計畫主題重點，成果具體可供應用。	感謝肯定。
2	摘要內容建議再增補述今年度成果。	感謝建議，已於摘要內容補述今年度成果。
3	建議後續研究可與國內常用之 6 家雷達廠商或代理商協商可釋出資料格式，或許亦可與其合作共同推動本研究。	感謝建議，將於後續相關研究計畫研議與國內常用的 6 家雷達廠商或代理商協商可釋出資料格式及與其合作共同推動的可能性。
本所運輸技術研究中心第三科林雅雯科長		
1	AI 辨識建立 Raw Data 資料庫的目的，建議補充說明。	感謝建議，本計畫探討的蒐集透地雷數據資料方式有自行進行檢測蒐

		集及蒐集他人已完成檢測的數據資料，不論採用那一個方式，所蒐集的透地雷達數據資料會有 2 種形式(1) 訊號圖像(2)原始訊號資料(二進位檔案格式，Raw Data)，因此，建立資料庫會一併保存這 2 種形式的數據資料。 目前應用 AI 辨識透地雷達訊號係以「圖像」的方式讓 AI 進行學習訓練，而在本報告第二章及第三章已說明透地雷達訊號資料係以二進位檔案格式(Raw Data)進行儲存及輸出，Raw Data 需要解譯及轉換為圖像。然這 2 種數據資料形式，最大的不同在於，取得 Raw Data 較能彈性的運用，因為只有 Raw Data 能進行「後處理」作業(詳 P2-3~P2-5)，後處理作業可依據需求進行訊號處理得到想要圖像效果，但訊號圖像形式就無法彈性的運用(詳 P3-10、P3-11 說明)，這就是要蒐集 Raw Data 並保存於資料庫的目的。 因此，在本報告第四章才會論述蒐集他人已完成檢測或試驗的「完整數據資料」是包括成果報告(訊號圖像形式)及原始數據資料(Raw Data 形式)，正確地來說，建立資料庫是要保存訊號圖像及原始訊號資料(Raw Data)這 2 種形式的數據資料。
2	AI 辨識後是否還需人工與最新竣工圖進行比對?	依據本計畫回顧相關的文獻及報告，目前 AI 辨識透地雷訊號圖像，主要還是輔助為主，以協助專業人員進行判釋，減輕專業人員的負擔及提高人工判釋的效率，並在有時效性的搶救災緊急情況下，發揮針對檢測成果進行即時初步快篩辨識的作用，所以是「輔助而非取代」。

		因此，在 AI 初步辨識後，尚需人工進一步確認比對。
3	第 5-2 頁提到制定發包、執行到驗收的範本，於 5-3~5-8 頁 4 年期工作項目未見到。	本報告內文 P5-2 所提到制定發包、執行到驗收的範本係為民國 114 年「透地雷達落實應用於省道養護巡查之研究」合作研究計畫的工作項目，而 P5-3~P5-8 所敘述 4 年期的工作項目係為本計畫研擬預計於民國 115~118 年的合作研究計畫「應用深度學習輔助辨識透地雷達道路下潛在孔洞訊號圖像之研究」，2 者為不同的合作研究計畫，其相關脈絡於 P5-1、P5-2 上已有說明。
4	第 5-5 頁驗證於第 3 年度，建議如有足夠資料可進行一次資料前處理、訓練及測試，以瞭解所有流程，俾利規劃重點項目。	感謝建議，因為蒐集透地雷達數據資料、相關程序的建立、建立資料庫及圖像辨識系統等是需要時間進行，故將驗證作業排至第 3 年度，後續執行合作研究計畫會注意若有足夠數據資料，將研擬進行相關的訓練及測試。

附錄七

期末報告簡報資料



運輸技術研究中心

113年度一科自辦研究計畫 人工智慧辨識透地雷達訊號圖像 之前處理初探

期末報告審查會議 113.12.26



報告人：賴俊呈 助理研究員

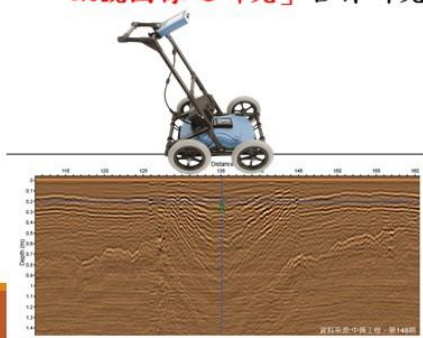
大綱

- 01 前言
- 02 文獻回顧
- 03 數據資料前處理程序及步驟
- 04 透地雷達數據資料前處理之過程
- 05 合作研究計畫之芻議
- 06 結論與建議

01-前言

研究緣起與目的

- ✓ 112年自辦計畫「透地雷達應用於省道養護巡查及AI智慧化辨識可行性之初步探討」探討應用AI辨識透地雷達訊號圖像來輔助道路管理單位人員在專業及經驗上的不足，是具可行性，惟如何蒐集足夠且正確的數據資料是關鍵課題。
- ✓ 蒐集足夠且正確的數據資料是屬於數據資料前處理的一部分，而數據資料的數量、品質、特徵的選取等決定AI學習的上限，故本計畫將探討透地雷達數據資料前處理會遇到的困難及問題，並初步研擬解決對策或建議。
- ✓ 本計畫為後續辦理「應用深度學習輔助辨識透地雷達道路下潛在孔洞訊號圖像之研究」合作研究計畫之先期研究。



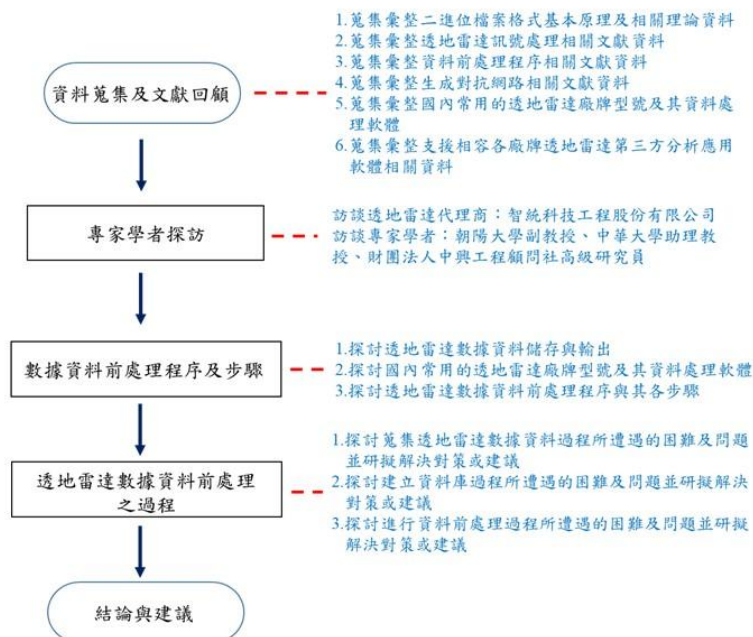
透地雷達資料前處理

資料蒐集
資料清洗
資料轉換
...

1

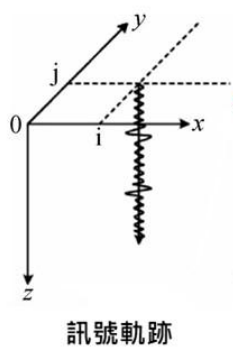
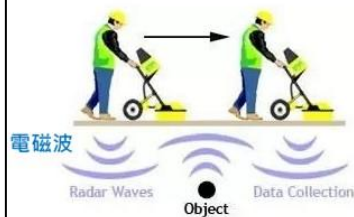
01-前言

研究內容與流程



2

02-文獻回顧 二進位檔案格式



訊號軌跡



儲存

輸出

二進位檔案格式

```

122328 11100000100100110100000011111001
122336 001000000001110000000010010100
122352 0010100000000000100000001010010
122368 0100000100000000000000001001000
122384 110000000000000000000000110101
122400 00101000110010010000000010111001
122416 10001011000000000000000010100
122432 10000111000000000000000010100
122448 11101000100100110100000011111001
122464 11111110111011001000000011111001
122480 1110000001110110000000011111001
122496 000111100000001000000000111001
122512 111000000111011010000001111001
122528 00000001000000000000000010100
122544 01011000000111010000000010010100
122560 0010100000000000100000001010010
122576 0010100000000000100000001010010
122592 00101000101100010000000011111001
122608 00101000110100010000000010111001
122624 01010111000000000000000010100
    
```

節省儲存空間
提高讀寫速度

人員無法直接判讀(釋)

- 二進位檔案格式之間的差別：
- (1) 編碼與解碼方式
 - (2) 數值單位與字組的位元數
 - (3) 大端序與小端序



02-文獻回顧 透地雷達訊號處理

二進位檔案格式

```

122328 11100000100100110100000011111001
122336 001000000001110000000010010100
122352 0010100000000000100000001010010
122368 0100000100000000000000001001000
122384 110000000000000000000000110101
122400 00101000110010010000000010111001
122416 10001011000000000000000010100
122432 10000111000000000000000010100
122448 11101000100100110100000011111001
122464 11111110111011001000000011111001
122480 1110000001110110000000011111001
122496 000111100000001000000000111001
122512 111000000111011010000001111001
122528 00000001000000000000000010100
122544 01011000000111010000000010010100
122560 0010100000000000100000001010010
122576 0010100000000000100000001010010
122592 00101000101100010000000011111001
122608 00101000110100010000000010111001
122624 01010111000000000000000010100
    
```

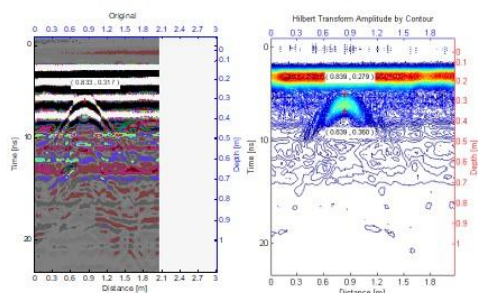
原始透地雷達
數據資料

RAW DATA

後處理



圖像



G. Grandjean 和 J.C. Gourry (1996), 彙整資料處理流程, 包含訊號補償、濾波、包絡平移等方法。

陳祥穎 (2003), 經室內及現場試驗分析結果顯示, 後處理程式能將直接波訊號與持續存在的背景雜訊去除, 對於待測物訊號的分析與判斷有更進一步的掌握。

倪勝火和張裕 (2021), 利用複數連續小波轉換 (CCWT) 進行訊號處理能同時顯示振幅和相角, 提供更豐富的訊號特徵, 有助於提高判讀效率。

02-文獻回顧 資料前處理程序(1/3)

資料前處理 (Data Preprocessing) 或資料預處理，是指在進行數據分析、建立模型或機器學習之前，對**數據資料**（係指經蒐集來的數據資料且蒐集者尚未進行任何處理作業）進行清理、轉換和整理的過程。資料前處理的目的是確保數據的品質和一致性，以及減少不確定性和噪音（雜訊），讓數據更適合進行後續的分析和建模工作。

資料前處理可分為以下4個步驟：

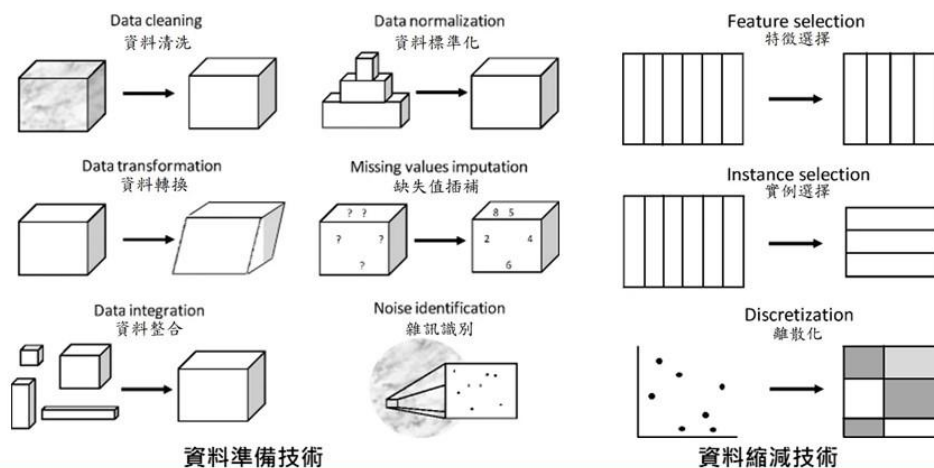
- (1) **資料清洗 (Data Cleaning)**：資料清洗是清理數據中的錯誤、缺失值和不一致性。
- (2) **資料轉換 (Data Transformation)**：資料轉換是對數據進行轉換，以使其更適合進行分析，主要的內容包括特徵縮放、特徵抽取、類別編碼，以及降維等。
- (3) **資料集成 (Data Integration)**：資料集成是將來自不同來源、不同格式與不同結構的數據整合到統一的數據資料湖中。通常可以看見跨部門、跨系統間的數據來源彙整，以確保數據的一致性和可用性。
- (4) **資料歸納 (Data Reduction)**：最後則是資料歸納，對數據資料的規模進行縮減，以減少數據的維度、大小或複雜度，同時保留主要的特徵和資訊。資料歸納有助於減少運算的成本、降低噪音（雜訊）的影響、提高模型的效率和可解釋性。

5

02-文獻回顧 資料前處理程序(2/3)

García,S等人（2016），儘管資料前處理是一個強大的工具，可以處理複雜的數據資料，但可能會花費大量的處理時間。資料前處理包括廣泛的學科，如資料準備和資料縮減技術，資料準備包括資料轉換、整合、清洗和標準化等；資料縮減旨在透過特徵選擇、實例選擇或離散化來降低資料的複雜性。

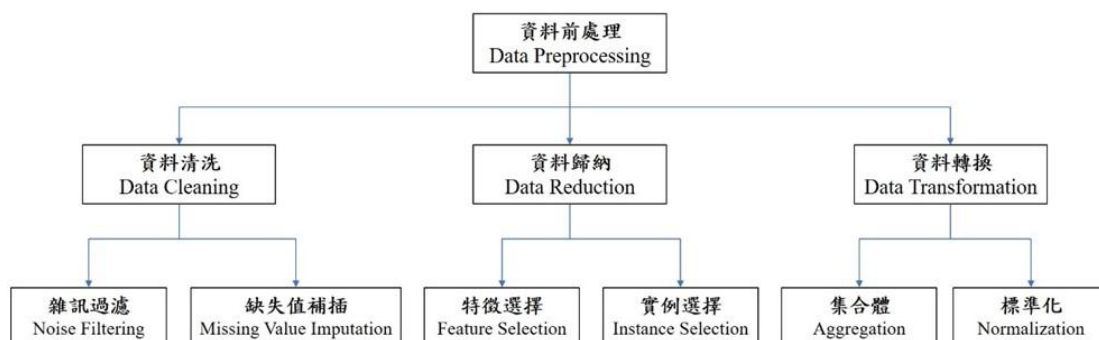
在成功應用資料前處理階段之後，所獲得的最終資料集可以被視為隨後應用的任何資料探勘演算法的**可靠且合適的來源**。



6

02-文獻回顧 資料前處理程序(3/3)

Çetin,V.和Yıldız,O. (2022)，認為蒐集的**原始數據資料**可能包含**質量問題**，例如不完整、不一致、噪音、冗餘和重複記錄。如果這些問題沒有得到解決，那麼要從數據資料中提取的資訊也將不正確。因此，**前處理是數據分析過程中非常重要的步驟**。其研究了過去5年中有關資料前處理的論文，觀察到廣泛使用的前處理方法分為三個主要分支：**資料清洗**、**資料轉換**和**資料歸納**。

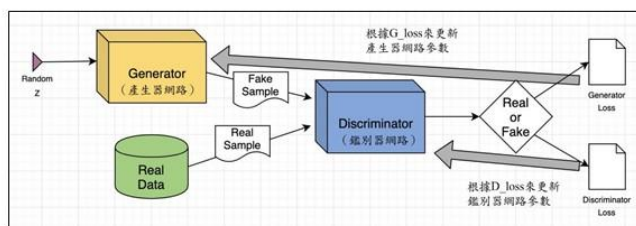


數據分析中資料前處理技術的分類

7

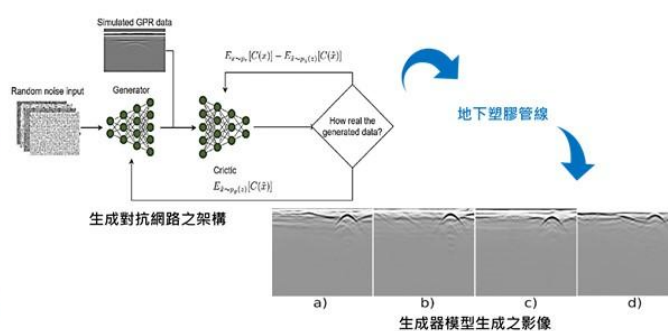
02-文獻回顧 生成對抗網路(1/3)

生成對抗網路 (Generative Adversarial Networks, GAN) 是機器學習中非監督式的一種方法。它訓練兩個深度神經網路 (**產生器網路**和**鑑別器網路**) 來彼此競爭，從指定的訓練資料集中產生更真實的新資料。



生成對抗網路對抗示意圖

Zhang, X. 等人 (2021)，為了產生用於模型訓練的**新數據資料**，應用了**生成對抗網路**來產生透地雷達B掃描影像，其生成對抗網路的概念是同時訓練兩個模型：**生成器 (G) 模型**和**批評家 (C) 模型**。生成器嘗試產生與資料集中的資料相似的新數據，而批評者嘗試將真實影像與生成器產生的影像進行分類。證明了所提出的方法在**解決資料稀缺(少)性**是有效的。

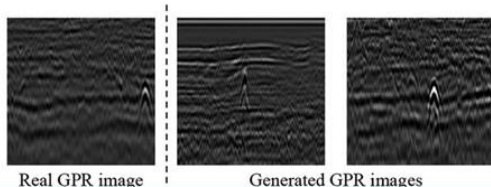


8

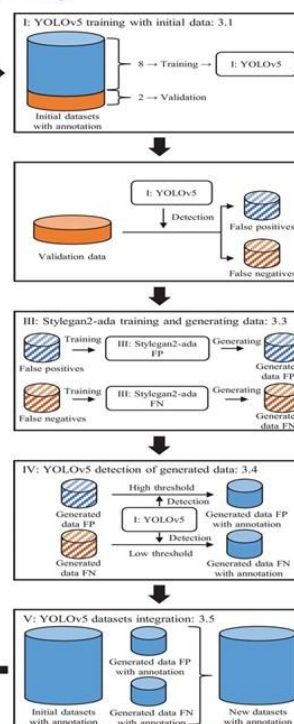
02-文獻回顧 生成對抗網路(2/3)

Chun, P.等人 (2023)，研究開發一種使用 You Only Look Once v5 (YOLOv5) 物件辨識演算法和StyleGAN2-ADA模型相結合形成監督訓練資料增強框架，可以產生並自動標註增強的訓練資料集，用於促進檢測地下管線的人工智慧發展。

其提出的方法在增加訓練資料方面相較傳統方法的優點為1.可以產生與真實圖像相似的合成圖像，這可以顯著增加訓練資料集的多樣性和代表性。2.可以對自動生成的圖像進行標註，節省時間並減少標註過程中的人為錯誤。3.可以從現有圖像遮迴生成新圖像，這可以進一步增加訓練資料集的數量和品質。



資料增強框架的流程圖



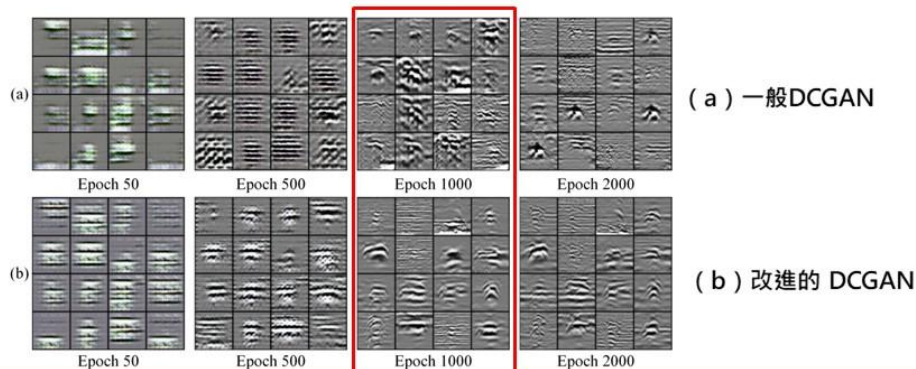
註：
FN：未檢測
FP：錯誤

9

02-文獻回顧 生成對抗網路(3/3)

Hu.等人 (2023)，應用深度學習辨識地下空間缺陷，雖然利用透地雷達可以有效檢測缺陷特徵，包括孔洞、含水孔洞、雙曲線缺陷及鬆散缺陷，但目前透地雷達資料量有限，因此，應用具有改進損失函數的深度卷積生成對抗網路 (DCGAN) 來生成擴展並增強現有的透地雷達數據資料。

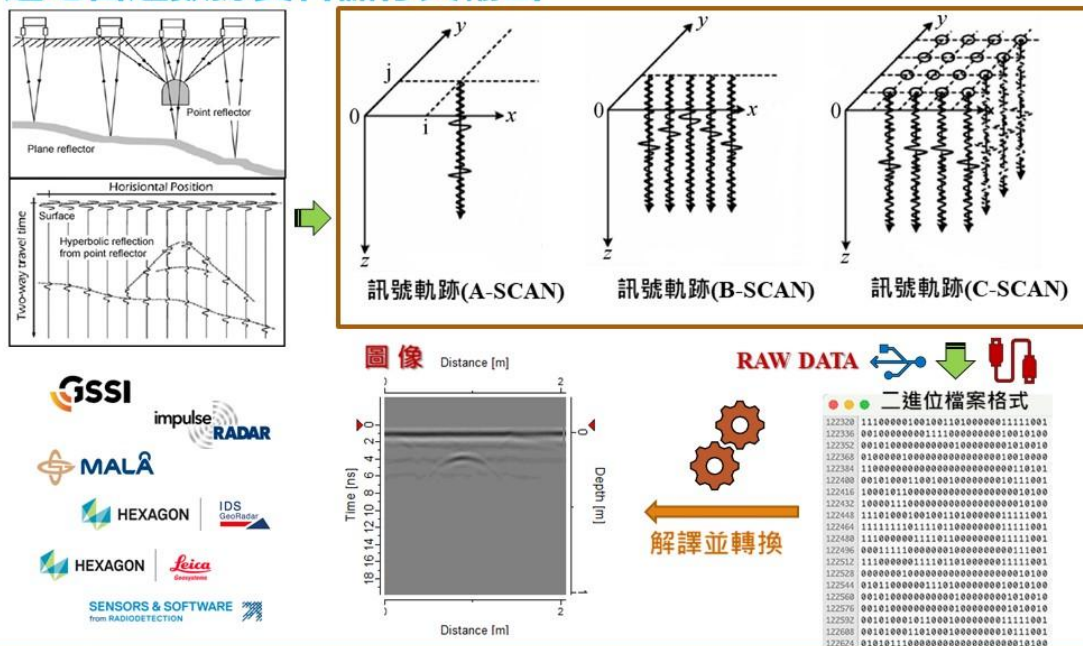
下圖顯示了一般DCGAN 模型和Hu.等人改進的DCGAN模型在不同反覆運算次數後生成的透地雷達圖像，當反覆運算次數達到1000次時，兩個模型都出現了異常特徵，但改進模型生成的圖像中的特徵更加清晰，圖像背景的整體清晰度更高，這意味著圖像品質更接近真實圖像。



10

03-數據資料前處理程序及步驟

透地雷達數據資料儲存與輸出



11

03-數據資料前處理程序及步驟

國內常用的透地雷達廠牌型號及其資料處理軟體

項次	廠牌	用於地下檢測之型號	所屬集團(公司)	國家	控制檢測及讀(擷)取顯示軟體	後處理軟體
1	MALA GeoScience 	GX系列	Guideline Geo AB (publ)	瑞典	(RAMAC)Ground Vision	MALA vision
2	Leica Geosystems 	DS2000	Hexagon AB	瑞士	Ouverture	Leica DX Manager Mapping
3	G.S.S.I 	UtilityScan 系列	Geophysical Survey System Inc.	美國	GS Software	RADAN 7 Software
4	Sensor & Software 	LMX系列	Sensors & Software Inc.	加拿大	GPR System Software	EKKO_Project
5	IDS GeoRadar 	RIS系列	Hexagon AB	義大利	ONEVISION 、 K2 FastWave	GREED HD 3D Software
6	Impulse Radar 	PinPointR 、 CrossOver	Headquarters ImpulseRadar	瑞典	ViewPoint	CrossPoint

12

透地雷達資料處理軟體說明-以S&S-LMX200為例

室外-外業

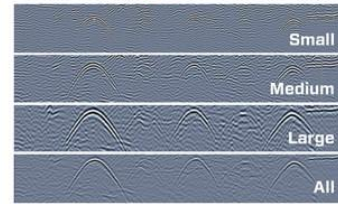


平板控制顯示器

+
GPR System Software
(控制檢測及讀(攝)取顯示軟體)



動態訊號增益(DynaT)



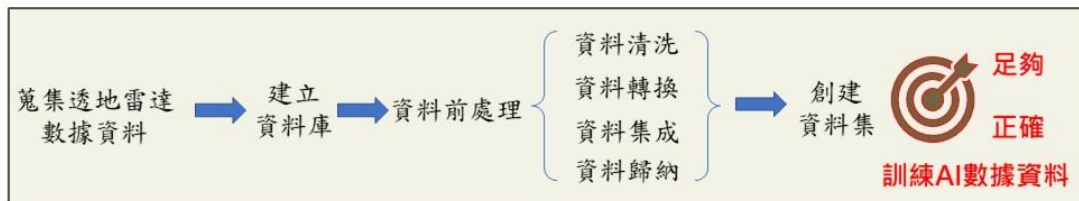
室內-內業



13

03-數據資料前處理程序及步驟

透地雷達數據資料前處理程序



- 應用AI辨識透地雷達訊號影像之數據資料前處理於相關的文獻、報告內容是比較少著墨。
- 數據資料前處理程序會因為AI辨識目的(目標)、數據資料蒐集的來源及形式等不同而有所變動調整。
- 本計畫以AI辨識道路下損壞瀝青鋪面的潛在損壞風險因素為目的。
 - 實務應用的面向
 - 數據資料蒐集的方式、蒐集數據資料形式都是較為多樣及複雜
 - 建立資料庫以利於儲存、管理及後續相關的研究發展以及實務上之應用
 - 資料前處理步驟相對較繁瑣

14

03-數據資料前處理程序及步驟

透地雷達數據資料前處理程序各步驟(1/8)



15

03-數據資料前處理程序及步驟

透地雷達數據資料前處理程序各步驟(2/8)



16

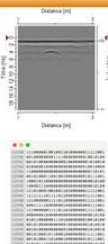
03-數據資料前處理程序及步驟

透地雷達數據資料前處理程序各步驟(3/8)



數據資料形式

- 訊號圖像
- Raw Data



主要是來自他人已完成探（檢）測或試驗的成果報告、論文或期刊文獻，其僅有訊號圖像的圖片檔案，並沒有取得或蒐集到該訊號圖像的RAW DATA。

主要是以自行進行探（檢）測或試驗之方式所取得，而要從他人已完成探（檢）測或試驗這個方式蒐集透地雷達RAW DATA是比較不容易。

◆ 在蒐集他人已完成探（檢）測或試驗之數據資料的方式上，需要蒐集到完整的數據資料，所謂的完整的數據資料是包括成果報告以及RAW DATA。



依據本計畫所訪談的專家學者表示：「這些透地雷達圖像還是可以使用的，AI圖像識別（辨識）是可以利用原始圖像及處理後圖像進行深度學習，初步訓練AI辨識何謂異常訊號。」

專家學者表示：「...二者比較起來，應該是RAW DATA比較好。不過，取得RAW DATA要將其轉換成人員或AI可以判識的訊號圖像，會有一定的工作量。而取得成果報告附錄的雷達圖像相對於取得RAW DATA來說，會相對容易。」

17

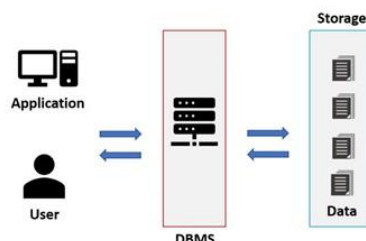
03-數據資料前處理程序及步驟

透地雷達數據資料前處理程序各步驟(4/8)



資料庫（Data Base）是以電子方式存儲有組織的數據集合，允許在計算機（電腦）上有效地存儲、管理和檢索數據。資料庫主要是在高效存儲、檢索和操作大量數據，因此，需要複雜查詢、分析及頻繁更新作業是至關重要，也需具有安全和備份功能以確保數據資料的完整性。

資料庫是由「數據資料」和「資料庫管理系統」（Database Management System，DBMS）所組成。



資料庫管理系統說明示意圖

資料庫有多種類型，例如：關聯式資料庫（RDBMS）、非關聯式資料庫（Not Only SQL，NoSQL）、時序資料庫、圖形資料庫及文檔資料庫等，每種類型都有適合不同需求的獨特功能。因此，透地雷達資料庫需要依據其使用者所需求的功能規劃選擇適合類型的資料庫以及資料庫管理系統來建立。

18

03-數據資料前處理程序及步驟

透地雷達數據資料前處理程序各步驟(5/8)



本計畫是以實務面向應用AI辨識道路下損壞瀝青鋪面的潛在風險因素為目的，然而道路下損壞瀝青鋪面的潛在風險因素包括路基或基底層使用不當材料或滾壓不足、地下水的影響、鋪面下層材料因故流失、淘空形成孔洞以及地盤之不均勻沉陷等等非單一的潛在風險因素，又數據資料蒐集的方式及數據資料的形式不拘，以進行廣泛地蒐集，所以蒐集的數據資料是較為複雜、多樣性，需要建立資料庫進行相關的管理，除此之外，也會儲存管理不同時期的道路探（檢）測數據資料，於需要時可以檢索多時期的數據資料進行比對分析，以瞭解道路重複性或經常性損壞的原因或提供做為養護管理及施工等重要的參考依據，俾利於擬定出指標的方式，進行道路的保養及修復等作業，確保用路人安全。

前期計畫「透地雷達應用於省道養護巡查及AI智慧化辨識可行性之初步探討」受訪的專家學者表示：「如果要發展AI辨識透地雷達訊號影像（圖像），就必需建立臺灣本土的數據資料庫，起步雖然很難，但是對於未來道路巡查、養護管理等是有長遠、永續的經濟價值」，因此，建立資料庫是有其必要性。

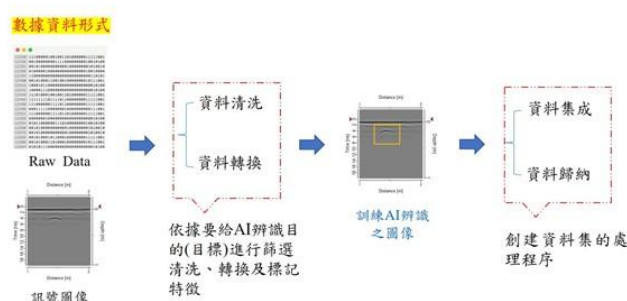
19

03-數據資料前處理程序及步驟

透地雷達數據資料前處理程序各步驟(6/8)



資料前處理是資料科學又稱數據科學（Data Science）的一部分，資料科學結合了許多領域中的理論和技術，主要是因為現在的數據資料數量龐大且形式五花八門，要讓這些數據資料發揮其價值，就需要不同領域的理論和技術來進行資料前處理、資料分析、資料解釋等。因此，不同形式的數據資料會有不同資料前處理作業程序且各個作業程序所採用的方法也會有不同。



透地雷達數據資料的形式及資料前處理的作業程序

20

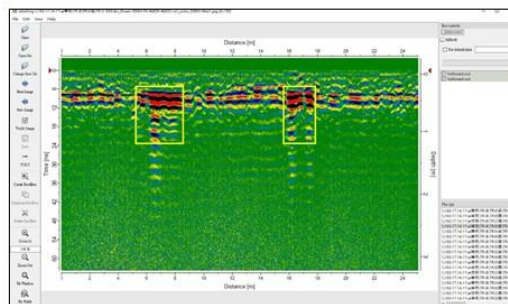
03-數據資料前處理程序及步驟

透地雷達數據資料前處理程序各步驟(7/8)



標記特徵是在資料轉換這個作業步驟中進行，資料轉換是對於數據資料進行轉換，以使其更適合進行分析，包含特徵縮放、特徵抽取（或標記特徵）、類別編碼及降維等。標記特徵是採用影像標記軟體在透地雷達訊號圖像上標記出讓人工智慧訓練學習的異常訊號特徵。

標記特徵需要專業且有經驗的人員花費大量時間分析判釋找出異常訊號特徵並進行標記，所以在蒐集他人已完成探（檢）測或試驗的數據資料裡，可以藉由相關的成果報告得知探（檢）測或試驗的異常訊號位置及瞭解該異常訊號被分析判釋為何，因而可以減少進行標記特徵的時間。



透地雷達訊號圖像中標記孔洞訊號特徵

21

03-數據資料前處理程序及步驟

透地雷達數據資料前處理程序各步驟(8/8)



資料集 (Data Set) 是以結構化方式排列的資料集合，包括數位、文字、圖像或音訊等內容，可以從各種來源（例如：調查蒐集、檢測、試驗或現有資料庫）創建資料集。

資料集主要用於分析和建模，通常用於機器學習模型或統計研究等領域，通常比資料庫小，並且可以以各種格式存儲，主要用於研究而不是長期資料管理。簡而言之，資料庫用於隨著時間的推移儲存和管理大量數據，而資料集用於特定的研究任務，通常只使用一次或用於特定項目。



22

04-透地雷達數據資料前處理之過程



執行過程中所遭遇的困難及問題(1/2)

蒐集數據資料方式	數據資料來源	回應說明	預期蒐集之數據資料形式
蒐集他人已完成之數據資料	公家機關	原則上都會提供，但需要行文至機關單位說明需要透地雷達數據資料的緣由及需要探（檢）測何種公共設施（例如：道路、橋梁、隧道等）的透地雷達數據資料，並俟簽陳機關首長同意後提供。	訊號圖像 (成果報告)
	私人公司	較不方便提供，主要原因是私人公司大多承攬透地雷達探（檢）測勞務案件，其成果的數據資料在未經過業主同意下是無法提供。另外提送給業主的成果，是不包括Raw Data，私人公司視Raw Data為商業資產是在有利益的情況才會有意願提供。	訊號圖像 原始數據資料 (Raw Data)
	學術單位	1.承攬透地雷達探（檢）測勞務案件部分，回應只要經業主同意，可以提供成果報告及Raw Data。 2.透地雷達學術研究的數據資料部分，回應是如果只是用於讓AI進行訓練學習，原則上都會提供。	訊號圖像 原始數據資料 (Raw Data)

23

04-透地雷達數據資料前處理之過程



執行過程中所遭遇的困難及問題(2/2)

蒐集數據資料方式	數據資料來源	數據資料形式	遭遇困難及問題
蒐集他人已完成之數據資料	公家機關	訊號圖像	1.主要在於蒐集Raw Data這部分尤其是承攬的勞務案件，提供數據資料除了須要業主甲方同意之外，私人公司會以Raw Data是商業資產為由，不便提供或是有條件式的提供。 2.另外，因為Raw Data都是掌握在承攬廠商乙方手上，而不同的承攬廠商，其保存數據資料的時間不同，會有因為數據資料保存期限的問題而無法蒐集到的可能性。
	私人公司	訊號圖像 原始數據資料 (Raw Data)	
	學術單位	訊號圖像 原始數據資料 (Raw Data)	
	國內外文獻	訊號圖像	
自行進行探（檢）測或試驗	現地場域	原始數據資料 (Raw Data)	缺乏透地雷達軟硬體設備或是缺乏使用透地雷達軟硬體設備、規劃測線、分析判釋透地雷達訊號圖像等能力。
	實驗室模擬		

24

04-透地雷達數據資料前處理之過程



研擬所遭遇困難及問題之對策或建議(1/2)

蒐集數據資料方式	蒐集過程遭遇之困難及問題	原因分析	對策或建議
蒐集他人已完成之數據資料	- 私人公司以Raw Data是商業資產為由，不便提供或是有條件式的提供。 - 不同的承攬廠商，因其保存數據資料的時間不同，會有因為保存期限的問題而無法蒐集到的可能性。	因為業主（甲方）認為Raw Data較無實質上的需求，因此不會於承攬契約上要求承攬廠商提供，以至於是否要提供Raw Data以及保存Raw Data的期限，都掌握在承攬廠商（乙方）手上。	- 尚未發包的承攬案件：建議將提送探（檢）測的Raw Data給業主之條文納入承攬契約中，以利於Raw Data的運用及保存。114年合作計畫★ - 已完成的承攬案件：可提出誘因或接受所開出的條件，讓承攬廠商願意提供。例如：開放研發完成後的人工智慧辨識系統給有提供Raw Data的單位使用。

★ 本所預計於民國114年度辦理「透地雷達落實應用於省道養護巡查之研究」合作研究計畫，其中一項工作項目為制定透地雷達應用於省道養護巡查檢測發包、執行及驗收等相關規定之範本，將於該工作項目，會研議把承攬廠商（乙方）需提送探（檢）測或試驗的RAW DATA給業主（甲方）之條文納入委託勞務契約範本之中。

25

04-透地雷達數據資料前處理之過程



研擬所遭遇困難及問題之對策或建議(2/2)

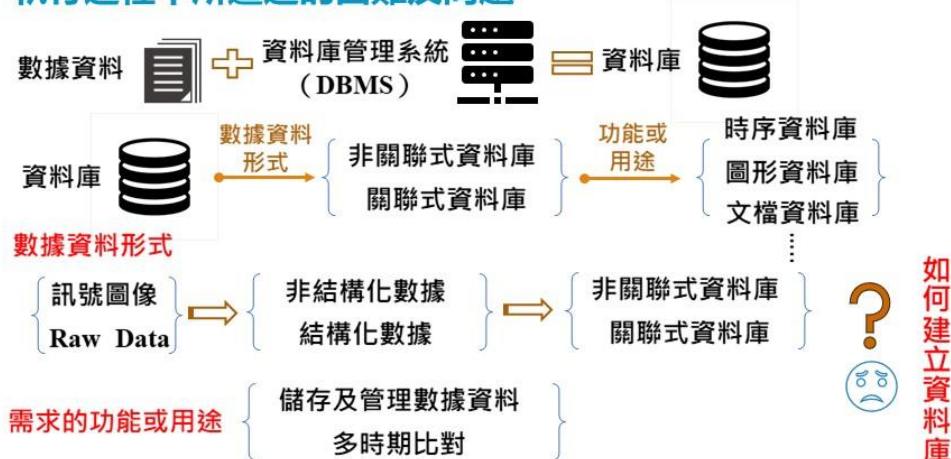
蒐集數據資料方式	蒐集過程遭遇之困難及問題	原因分析	對策或建議
自行進行探（檢）測或試驗	缺乏透地雷達軟硬體設備或是缺乏使用透地雷達軟硬體設備、規劃測線、分析判釋透地雷達訊號圖像等能力。	該方式通常為學術單位所採用。	短期：委外發包給專業廠商辦理或者找尋專業協力廠商合作辦理。 長期：在購買透地雷達相關軟硬體設備後，以上述短期方式，透過專業廠商或專業協力廠商在實際檢測或試驗中進行學習並要求其辦理相關教育訓練等，來培養能力並累積經驗。

26

04-透地雷達數據資料前處理之過程



執行過程中所遭遇的困難及問題



27

04-透地雷達數據資料前處理之過程



研擬所遭遇困難及問題之對策或建議

- ◆ 建立透地雷達資料庫是跨學科、跨領域的合作及系統性的工作。



28

04-透地雷達數據資料前處理之過程



執行過程中所遭遇的困難及問題(1/2)



29

04-透地雷達數據資料前處理之過程



執行過程中所遭遇的困難及問題(2/2)

?

項目	自行進行探(檢)測或試驗之數據資料	蒐集他人已完成之數據資料	資料清洗的困難問題	資料轉換的困難問題
成果(數據資料)	品質較有保障	品質良莠不齊	如何篩選清理出適合的數據資料	-
透地雷達廠牌	單一	多種且不同	-	如何解譯及轉換不同廠牌的Raw Data
透地雷達參數的設定	固定或相同	不固定或不相同	-	如何進行標準化或統一化，如果不經過標準化或統一化是否可以做為人工智慧訓練學習的資料

30

04-透地雷達數據資料前處理之過程



研擬所遭遇困難及問題之對策或建議(1/4)

項目	蒐集他人已完成之數據資料	資料清洗的困難問題	對策與建議
成果(數據資料)	品質良莠不齊	如何篩選清理出適合的數據資料	先篩選使用學術單位及有名氣或規模較大的私人公司所探(檢)測或試驗的數據資料。114年合作計畫★



學術單位

研究為主，以研究經驗輔助於實際應用

探(檢)測或試驗過程及成果的分析判釋較為嚴謹



名氣及規模較大的私人公司

一定的專業度、經驗及口碑

注重商譽

先篩選後再確認

★本所預計於民國114年度辦理「透地雷達落實應用於省道養護巡查之研究」合作研究計畫，其中一項工作項目為制定透地雷達應用於省道養護巡查檢測發包、執行及驗收等相關規定之範本，用以選合適的廠商、要求檢測的品質進而得到有效的檢測成果，有助於提升透地雷達數據資料的品質。

31

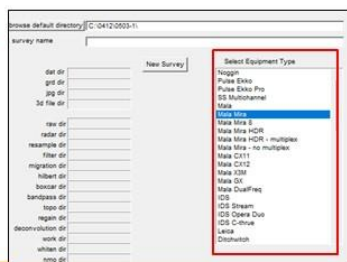
04-透地雷達數據資料前處理之過程



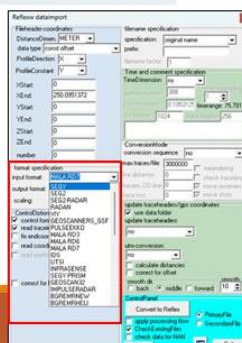
研擬所遭遇困難及問題之對策或建議(2/4)

項目	蒐集他人已完成之數據資料	資料轉換的困難問題	對策與建議
透地雷達廠牌	多種且不同	如何解譯及轉換不同廠牌的Raw Data	可以採用第三方軟體為Reflexw、GPR-SLICE，這2款第三方軟體可以相容國內常用透地雷達廠牌之原始資料檔案。

GPR-SLICE



Reflexw



32

04-透地雷達數據資料前處理之過程



研擬所遭遇困難及問題之對策或建議(3/4)

項目	蒐集他人已完成之數據資料	資料轉換的困難問題	對策與建議
透地雷達參數的設定	不固定或不相同	如何進行標準化或統一化	挑選相同探(檢)測參數的數據資料並進行分類。-人力與時間的成本 114年合作計畫★

◆ 在蒐集他人已完成探(檢)測或試驗之數據資料這個方式上，需要蒐集到完整的數據資料，所謂的完整的數據資料是包括「**成果報告**」以及**RAW DATA**。

1. 使用那個廠牌的透地雷達
2. 探(檢)測的目的(目標)
3. 使用的天線頻率、測線的規劃、設定的探(檢)測參數
4. 成果的分析判釋

★ 本所預計於民國114年度辦理「透地雷達落實應用於省道養護巡查之研究」合作研究計畫，其中一項工作項目為制定透地雷達應用於省道養護巡查檢測發包、執行及驗收等相關規定之範本，將研擬檢測標準，提供進行探(檢)測省道下不同損壞瀝青鋪面的潛在風險因素時，應使用的天線頻率、探(檢)測參數及規劃測線等參考，俾利於後續相關資料前處理的標準化或統一化。

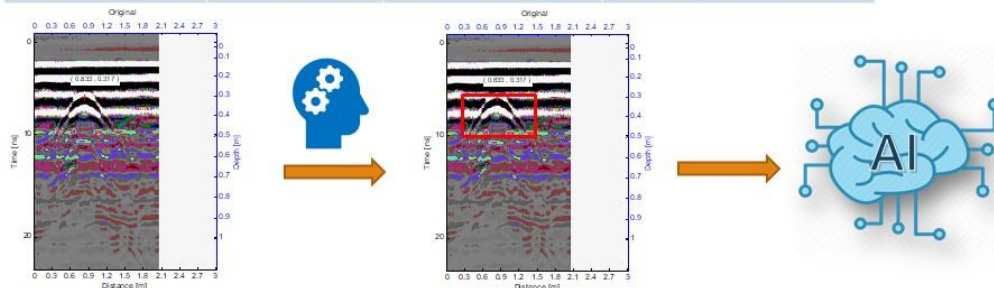
33

04-透地雷達數據資料前處理之過程



研擬所遭遇困難及問題之對策或建議(4/4)

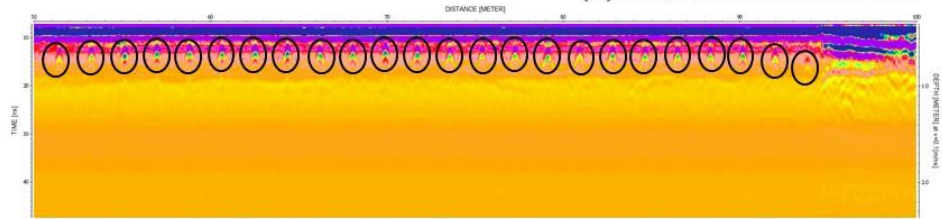
項目	蒐集他人已完成之數據資料	資料轉換的困難問題	對策與建議
透地雷達參數的設定	不固定或不相同	如果不經過標準化或統一化是否可以做為人工智慧訓練學習的資料	不經過標準化或統一化是可以做為人工智慧訓練學習的資料，人員如何分析判釋，AI就如何辨識。



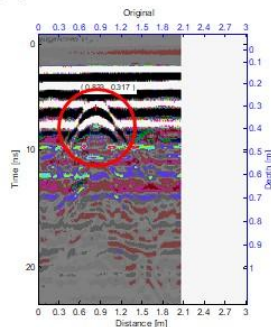
34

案例

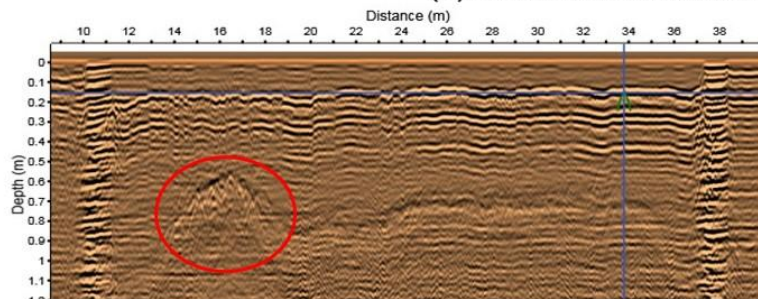
(A)堤防透地雷達的訊號圖像



(B)管線透地雷達的訊號圖像



(C)道路透地雷達的訊號圖像



35

05-合作研究計畫之芻議

110 透地雷達檢測道路孔洞方法之初步探討

112 透地雷達應用於省道養護巡查及AI智慧化辨識可行性之初步探討

113 人工智慧辨識透地雷達訊號圖像之前處理初探

依據回顧相關文獻及報告發現，對於使用深度學習模型進行辨識透地雷達訊號圖像的技術，原則是可行且已有相當的成果，不過，這些文獻及報告都會提到一個問題，就是無足夠且正確的訓練AI的數據資料，而足夠且正確的數據資料是跟**前處理**有關。

114 透地雷達落實應用於省道養護巡查之研究(合作研究計畫)

主要執行3項主軸工作：1.制定透地雷達應用於省道養護巡查檢測的發包方式、檢測標準、合理價格及驗收規定等範本。2.擬定透地雷達教育訓練相關內容並辦理教育訓練。3.規劃透地雷達資料庫。透過這3項主軸工作來解決排除公路局對於透地雷達應用在省道養護巡查的疑慮及問題，讓透地雷達能實際落實應用於省道養護巡查，並進行規劃透地雷達資料庫，以先有其框架或架構，俾利於後續建立本土化的透地雷達資料庫，也為後續發展人工智慧辨識透地雷達訊號圖像系統預做準備。

預計年度

115

118

應用深度學習輔助辨識透地雷達道路下潛在孔洞訊號圖像之研究(合作研究計畫)

以深度學習進行卷積神經網絡 (CNN) 圖像識別模型訓練，建立道路下方孔洞圖像及非孔洞圖像資料類型，研發適用於國內透地雷達檢測數據智慧化與自動化圖像識別之物件識別模型，期能提供自動智慧化的辨識方法，輔助相關道路管理單位於道路養護作業上快速辨識道路下潛在孔洞，以應用新興科技輔助道路養護業務，提升巡查檢測能力及效率，防患於未然，確保道路品質及用路人行車安全。

36

05-合作研究計畫之芻議

合作研究計畫說明

「應用深度學習輔助辨識透地雷達道路下潛在孔洞訊號圖像之研究」，係以瀝青鋪面道路為研究對象，規劃出適用於國內道路下潛在孔洞問題之探（檢）測與改善方法，研析有效之透地雷達檢測設備、方法、測線規劃及後續資料分析辨識模式，據以建立道路下潛在孔洞位置（定性）與量體（定量）之輔助辨識模型及本土化透地雷達資料庫。全程計畫預計分4期辦理。

第一年期

→ 應用深度學習輔助辨識透地雷達道路下潛在孔洞訊號圖像之研究
(1/4)-資料蒐集、分析判釋及程序建立

第二年期

→ 應用深度學習輔助辨識透地雷達道路下潛在孔洞訊號圖像之研究
(2/4)-建立資料庫及圖像辨識系統

第三年期

→ 應用深度學習輔助辨識透地雷達道路下潛在孔洞訊號圖像之研究
(3/4)-辨識系統驗證與精進

第四年期

→ 應用深度學習輔助辨識透地雷達道路下潛在孔洞訊號圖像之研究
(4/4)-辨識系統推廣及轉移

37

05-合作研究計畫之芻議

預期成果、效益及應用

預期效益

建立本土化道路下潛在孔洞之透地雷達資料庫及AI圖像辨識系統，以提升道路檢測效率及品質，確保用路人安全。

預期應用

1. 研擬國內瀝青鋪面道路下潛在孔洞檢測、分析及處理程序手冊，提供國內相關道路管理單位(如公路局、高公局及各縣市政府等)做為道路檢測相關作業之應用參考。
2. 建立本土化道路下潛在孔洞之透地雷達資料庫，俾利於後續國內道路下潛在孔洞透地雷達數據資料的保存、管理及應用。
3. 透過深度學習進行圖像辨識，提供適用於國內透地雷達檢測數據智慧化及自動化圖像辨識，協助道路管理單位進行快速辨識道路下潛在孔洞位置及大小。

38

06-結論與建議 結論(1/3)

1. 透地雷達數據資料前處理程序會因為AI辨識的目標（目的）、數據資料蒐集的方式及所蒐集數據資料的形式等因素，而造成數據資料前處理程序有所不同，本計畫以應用AI辨識道路下損壞瀝青鋪面的潛在風險因素為目的，研擬透地雷達數據資料前處理程序：（1）蒐集透地雷達數據資料、（2）建立資料庫、（3）資料前處理及（4）創建資料集。以期透過其前處理程序提供AI足夠且正確的訓練學習資料，提高辨識的準確性。
2. 蒐集透地雷達數據資料的方式，經本計畫回顧相關文獻、報告及訪談專家學者，絕大部分是採用自行進行探（檢）測或試驗的方式來蒐集數據資料，但是為了能廣泛地蒐集足夠訓練AI的數據資料，本計畫除了探討以自行進行探（檢）測或試驗來蒐集數據資料的方式之外，也探討蒐集他人已完成探（檢）測或試驗之數據資料的方式，其蒐集的數據資料形式有訊號圖像及原始數據資料（Raw Data）。蒐集他人已完成探（檢）測或試驗的數據資料來源為：（1）公家機關、（2）私人公司、（3）學術單位及（4）國內外文獻，而蒐集他人已完成探（檢）測或試驗之完整數據資料是包括成果報告及Raw Data。
3. 在蒐集透地雷達數據資料的過程，蒐集他人已完成探（檢）測或試驗之數據資料的方式相較於自行進行探（檢）測或試驗來收集數據資料的方式而言，會遭遇不易蒐集到透地雷達的Raw Data的困難及問題，尤其是在蒐集透地雷達探（檢）測委託勞務案件的數據資料，主要原因是在透地雷達探（檢）測委託勞務契約中，沒有規定乙方（承攬廠商，例如：私人公司或學術單位）需要提送Raw Data給予甲方（業主）之條文，導致乙方掌控Raw Data的主控權，除了是否提供Raw Data之外，同時也決定Raw Data保存時間的期限。因此，本計畫建議在委託勞務契約中，納入乙方需提送探（檢）測或試驗的Raw Data給甲方之規定條文，以利於Raw Data的運用及保存。

39

06-結論與建議 結論(2/3)

4. 在建立資料庫的步驟，本計畫所謂的資料庫是由「數據資料」和「資料庫管理系統」（DBMS）所組成，其能隨著時間的推移有效儲存、檢索及管理大量數據資料，與用於特定的研究任務，通常只使用一次或用於特定項目的資料集不同。建立資料庫是跨學科、跨領域的系統工作，所以除了需要透地雷達的專家，也需要資料科學、資料工程等相關的專家，一同依據蒐集數據資料類型（形式）及需求功能或用途等規劃建立合適的資料庫系統，然而這也就是執行過程中困難及問題的所在，因此，本計畫建議以成立專案或是委辦案的方式，邀集相關的專家先行規劃後再行建立資料庫。另外，本計畫認為建立本土化資料庫是有其必要的，尤其是應用透地雷達進行常態性探（檢）測公共設施的公家機關，建立資料庫除了可以進行數據資料的保存管理之外，還能做為公共設施多時期狀況的比對，以追蹤瞭解損壞缺失是否擴大，俾利於研擬後續養護的策略等，並做為後續發展AI辨識系統訓練學習數據資料的來源。
5. 在進行資料前處理的過程，蒐集他人已完成探（檢）測或試驗之數據資料的方式相較於自行進行探（檢）測或試驗來收集數據資料的方式而言，在資料清洗作業程序中，因為蒐集他人已完成探（檢）測或試驗的數據資料，是來自不同的私人公司、學術單位所進行探（檢）測或試驗的成果，而其探（檢）測或試驗及分析判釋能力等有良莠不齊的情形，可能會造成數據資料品質不佳，因此，遭遇的困難及問題是如何篩選清理出適合的數據資料。依據本計畫訪談的專家學者建議可以先篩選挑出學術單位及在透地雷達相關探（檢）測業務上較有名氣或者公司規模較大的私人公司所探（檢）測或試驗的數據資料，再行確認其數據資料是否適合做為AI訓練學習的數據資料後，進入下一步的作業程序進行資料轉換。

40

06-結論與建議 結論(3/3)

6. 在進行資料前處理的過程，蒐集他人已完成探（檢）測或試驗之數據資料的方式相較於自行進行探（檢）測或試驗來收集數據資料的方式而言，在資料轉換作業程序中，蒐集他人已完成的探（檢）測或試驗數據資料，會有來自使用不同廠牌的透地雷達進行探（檢）測或試驗所得到的數據資料，而不同廠牌的透地雷達Raw Data需要該廠牌的應用軟體進行解譯及轉換成人員能判釋的訊號圖像，依本計畫調查國內常用的透地雷達廠牌共計6家，所以需要購買或蒐集至少這6家廠牌的應用軟體或者自行利用相關語言程式編寫程式進行解譯及轉換，但上述2種方式需要花費較多的經費、人力及時間，因此，遭遇的困難及問題為是否有更好的方式解譯及轉換不同廠牌的Raw Data。依據本計畫調查瞭解，目前市面上所販售的第三方軟體Reflexw、GPR-SLICE可以相容國內常用透地雷達廠牌的Raw Data，故建議可以使用這2款第三方軟體來進行解譯及轉換不同透地雷達廠牌的Raw Data，以節省經費、人力及時間。
7. 在進行資料前處理的過程，蒐集他人已完成探（檢）測或試驗之數據資料的方式相較於自行進行探（檢）測或試驗來收集數據資料的方式而言，在資料轉換作業程序中，會遭遇的困難及問題是如何進行標準化或統一化以及如果不經過標準化或統一化的數據資料是否可以做為AI訓練學習的資料。標準化或統一化與透地雷達探（檢）測或試驗時所設定的探（檢）測參數（例如：取樣頻率、取樣間隔、取樣數、疊加次數等）有關，而探（檢）測參數是由現場探（檢）測人員依據自身的專業及經驗，對於現場探（檢）測的目標、探（檢）測環境等評估後所設定，因此，所蒐集他人已完成探（檢）測或試驗的數據資料，即使探（檢）測的目標相同，但是探（檢）測參數可能會有所不同。要進行標準化或統一化，需透過成果報告相關內容，進行挑選相同探（檢）測參數的數據資料並分類，但會花費人力與時間的成本。不經過標準化或統一化的數據資料是可以做為AI訓練學習的資料，因為目前訓練AI辨識透地雷達訊號圖像一般都是採用監督式學習的方式，人員先行於透地雷達訊號圖像中標註出異常訊號特徵後，再讓深度學習模型（程式）訓練學習，也就是人員如何判釋，AI就如何辨識，異常訊號特徵不會因為不同的探（檢）測參數而不同，但是經過標準化或統一化可以讓AI進一步辨識透地雷達異常訊號的相關訊息（例如：道路下孔洞的大小）。

41

06-結論與建議 建議

1. 本計畫所探討蒐集透地雷達數據資料的2種方式，其中蒐集他人已完成探（檢）測或試驗之數據資料這個方式，不論是在蒐集數據資料的過程還是在進行資料前處理的過程，都會遭遇困難和問題，雖然這些困難和問題，本計畫透過訪談專家學者、回顧相關文獻或報告等方式，初步研擬相關解決的對策或建議，但是並沒有實際的執行經驗，建議將蒐集他人已完成之探（檢）測或試驗數據資料這個方式納入後續的合作研究計畫實際執行，以確認是否能透過這個方式蒐集到質、量都適合訓練AI的數據資料。
2. 近年來，專家學者利用生成對抗網路（GAN）生成出訓練AI的數據資料，以彌補透地雷達數據資料不足的問題，依據文獻回顧，在這方面的研究有越來越多的趨勢而且取得不錯的成效，因此，應用生成對抗網路（GAN）生成出訓練AI的數據資料是值得探討，建議納入後續的合作研究計畫進行探討評估並實際應用。

42



運輸技術研究中心



THANK YOU

簡報完畢
敬請指教



