

DoIP 之車輛診斷功能應用：黑盒子操控展示

Application of Car Diagnostic over Internet Protocol: Black Box Control Demonstration

方文男¹ 陳永源² 林建澄³

國立台北大學電機工程學系（碩士生）

國立台北大學電機工程學系（教授）

國立台北大學電機工程學系（大學部）

Email: wayne5347@gmail.com ; chenyy@mail.ntpu.edu.tw ; as11675847@gmail.com

摘要

本文提出一套適用於未來智慧車輛的車輛診斷方式，基於 ISO13400 乙太網路車輛診斷的國際標準規範，建立一套模擬實際車輛的診斷系統平台。在診斷系統平台上，我們會開發一個符合 ISO13400 與 ISO14229 診斷標準的黑盒子，再透過平台上的車身訊號模擬器，模擬實際車輛運行時的訊號，以黑盒子進行資料收集，再利用自行開發的外部診斷設備，連接診斷系統平台，提取黑盒子內部紀錄的車身訊號。最後，提出實際平台的實驗結果，藉此證明我們提出的車輛診斷黑盒子能夠適用於未來的車輛診斷系統上。

關鍵字：DoIP、車輛診斷、黑盒子、車載乙太網

1. 前言

隨著科技的發展，汽車所擁有的功能也日新月異，從一開始僅有一般的駕駛功能，演進到如今高度電子化的智慧車輛，汽車上安裝的設備也日漸複雜。現在的汽車安裝著各式各樣的感測器與電子控制系統像是雷達、相機、光達等等，也發展出更多的功能讓駕駛人能夠以更加安全的方式駕駛車輛，像是 ADAS 先進駕駛輔助系統。在目前已經有許多國際大廠像是 BMW、Google、Tesla 等將車輛的感測器與人工智慧進行結合，希望能打造出一套高安全且可靠的全自動駕駛系統。

然而，目前傳統汽車普遍所採用的網路協定像是 LIN(Local Interconnect Network)、CAN(Control Area Network)，因為其最高傳輸速率只有 1Mbit/s 已經明顯無法滿足現今的傳輸需求。因此許多汽車廠商已經紛紛開始採用車載乙太網路作為汽車網路的主要通訊協定，車載乙太網路除了具有高頻寬的特色之外也能夠保持資料傳輸的即時性，也因為車載乙太網路的使用，車載網路系統與軟體服務也日漸變得複雜。對於使用者而言，車載乙太網路的出現讓使用者能夠享受車廠提供的更多元服務，但車廠如何在提供服務的同時，也要保持服務的品質以及穩定性，成為一個重要的議題。

早期車輛如果出現問題，車輛用戶需要將汽車開回維修保養廠進行維修服務，需要花費用戶

大量的時間與精力，同時也增加車廠的維護與營運成本。而車載乙太網路的使用，便可以讓車廠利用網際網路遠端診斷車輛的狀態，減少用戶回到維修保養廠的頻率與時間。但是在車輛系統日漸複雜的未來，車廠面對更加複雜的系統時，如何在遠端做出準確的車輛診斷，將會是一個困難的課題。因此我們利用文獻[1]中所提及的車載乙太網黑盒子，並結合車載乙太網路診斷 DoIP(Diagnostic over Internet Protocol)的功能，讓車廠在遠端進行診斷的過程中，亦能夠透過黑盒子所記錄的大量行駛數據，進行綜合的分析與評估。藉以達到更加準確的車輛診斷，減少判斷的失誤造成客戶對於服務滿意度的下降，同時能夠減少車廠進行診斷時所需要的成本與時間。

本文將在第二章節針對車載乙太網路之車輛診斷標準與現今的技術概況進行討論，接著在第三章節介紹我們的車輛診斷系統平台，並在第四章顯示實驗過程與結果，最後在第五章針對此研究做出結論。

2. 相關文獻探討

2.1 ISO13400 與 DoIP

DoIP 主要是為了能在車載乙太網路上實現車輛診斷的功能而發展的通訊技術，基於車輛的功能安全以及全球通用化等需求，國際標準化組織(International Organization for Standardization, 簡稱 ISO)在 2011 年制定 ISO13400[2]。此標準用於規範車輛診斷在乙太網路上進行車輛診斷時的訊息格式如圖 1 所示，以及裝置之間互相交握連線的過程。

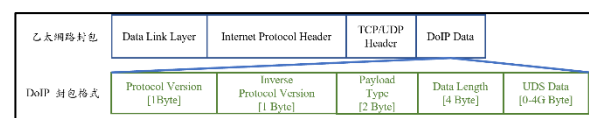


圖 1 DoIP 封包格式

ISO13400 一共分為四個部分，從圖 2 可以看到，ISO13400-2 對應到 OSI 模型(Open System Interconnection Model)中的傳輸層與網路層，主要規範裝置之間的連線方式，例如 UDP 或 TCP/IP 以及 IP(Internet Protocol)版本，例如 IPv4 或 IPv6

等；而 ISO13400-3 則是對應到 OSI 模型中的資料連結層與實體層，主要引用了 IEEE 802.3 100BASE-TX 的標準，規範像是訊號原理、傳輸線路的接法等等，以確保車輛診斷介面能夠相容於其他乙太網路裝置；而 ISO13400-1 則是描述車輛診斷的基本通訊場景，ISO13400-4 則是引用 ISO15031-3，主要規範診斷設備的連結器、以及相關電路等等。

雖然 ISO13400 針對 DoIP 已經有詳細的規範，但是在針對診斷應用服務的部分卻沒有詳細說明，同時又因為車載乙太網路使用率逐漸上升，目前已經有來越多文獻在討論 DoIP 的技術應用與構想，但卻沒有相關的文獻在討論車輛診斷的準確度。關於 DoIP 的相關文獻整理如下，文獻[3]提出三種針對 DoIP 連線的攻擊手法，以及如何進行應對。文獻[4]提出遠端診斷車輛的概念與原型機，並針對遠端診斷服務提出可能會遇到的問題像是網路延遲、診斷時大量的訊息交換可能會導致診斷時間變得冗長等等。而在文獻的最後作者利用電腦透過 J2534 作為 Gateway 將電腦的診斷訊息轉換為 CAN 訊號再透過 OBDII 的接口進行車輛診斷。文獻[5]主要為了解決在 WAN(Wide Area Network) 中進行遠端診斷的使用者，無法輕易的辨識車輛與外部診斷設備之間的關係，以及車輛與外部診斷設備之間的連線狀態，因此開發出一個新的診斷介面 TECEI (Test Equipment Communication Interface)，透過這個介面可以有效的解決上述問題。文獻[6]將 DoIP 安裝至 Bootloader 之中，透過車載乙太網路的傳輸效率，以及 DoIP 的封包格式，使得車輛電子控制器(ECU)的軟體更新時間縮短。文獻[7]展示支援 DoIP 協定的 Gateway，透過這個 Gateway，將訊息傳送至 ECU 或是對 ECU 進行軟體更新的服務。

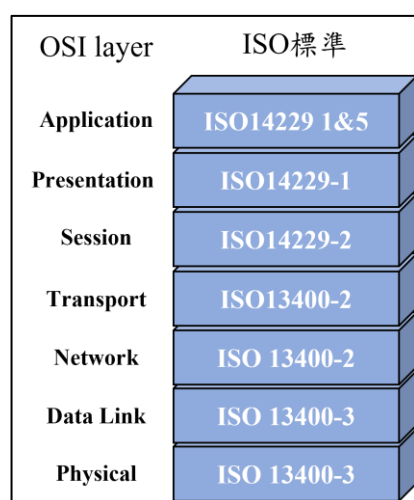


圖 2 車輛診斷標準與 OSI 模型對應關係

文獻[3]主要針對資訊安全的部分進行討論，只有提及針對 DoIP 連線的攻擊手法與防禦方法，並沒有對於車輛診斷的平台建立進行探討。文獻

[4]中的遠端診斷 DoIP 原型機所使用的車載網路系統，使用的是傳統的 OBDII 對車輛上的 ECU 進行診斷，並沒有實際使用乙太網路的架構進行實驗。文獻[5]雖然解決了遠端診斷的使用者所面臨到的問題，但是對於診斷結果的準確度卻沒有多加探討。文獻[6, 7]雖然利用了 DoIP 的通訊協定對於 ECU 進行更新，但是卻沒有對於車載乙太網路上的設備進行控制等相關的應用服務。因此我們針對[3, 4, 5, 6, 7]所沒有實現的其他面向，像是利用乙太網路進行車輛診斷相關 ECU 的控制，以及統一診斷服務 UDS(Unified Diagnostic Services)的使用，提出一個支援 DoIP 與 UDS 的黑盒子以及診斷系統平台，透過黑盒子所記錄的數據，使得車廠能夠在遠端做出更精確的診斷服務。

2.2 ISO14229 與 UDS 統一診斷服務

UDS 主要規範於 ISO14229[8]之中，是 ISO 組織參考舊有的標準 ISO14230-3 以及 ISO15765-3 制定而成，其目的是為了整合車輛電子系統中支援不同通訊協定的 ECU，能夠根據不同通訊協定支援其診斷通訊服務，降低車輛供應商的 ECU 開發與維護成本。ISO14229-1 主要定義了大部分的診斷通訊格式以及診斷相關的服務，而診斷服務使用者則可以再根據不同的通訊協定，來選擇 ISO14229 不同的部分，其通訊協定與 ISO14229 對應關係如表一。

目前國際上所有的車用電子設備供應商都已支援此通訊協定，而此通訊協定也已經整合到其他標準中，例如汽車開放系統架構 (AUTOSAR)[9]。診斷設備只需要連接支援 UDS 的 ECU，便可以透過 UDS 規範之通訊格式，對 ECU 進行診斷。

表 1 ISO14229 標準與對應的通訊協定

通訊協定	ISO14229
CAN	ISO14229-3
Flex Ray	ISO14229-4
Internet Protocol	ISO14229-5

3. 車輛診斷系統平台建置

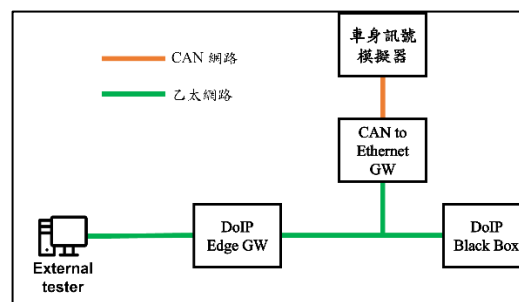


圖 3 車輛診斷系統平台

在車輛診斷系統平台如圖 3 所示。在平台上，我們利用車身訊號模擬器，以 CAN 通訊協定產生

車輛在駕駛過程中，所產生的一些行駛數據，例如速度、煞車力度、油門力度等等。再透過 Gateway 將 CAN 封包轉換成乙太網路封包，傳送至 DoIP 黑盒子進行儲存後，再以外部診斷設備與 Edge Gateway 進行連線。最後外部診斷設備透過 Edge Gateway，向 DoIP 黑盒子以 UDS 診斷服務的方式控制黑盒子，使其將內部所儲存的车身訊號傳送至外部診斷設備。

3.1 DoIP 外部診斷設備

在 DoIP 外部診斷設備的開發上，我們參照了 ISO13400-2 中的訊號格式以及規範中與車輛設備進行交握的流程，交握流程如圖 4 所示。從圖 4 中，可以將診斷流程分為三個部分，一為車輛提供車輛資訊，而此部分又分為車輛主動提供車輛資訊與被動提供車輛資訊；二為外部診斷設備與車輛進行連線；三為外部診斷設備與 DoIP Edge Gateway 進行診斷的過程。而我們利用圖 4 的流程進行連線功能的開發，並同時參考 ISO14229-1 當中的診斷服務訊息格式，針對部分診斷服務進行訊息的處理與訊息應答的開發。

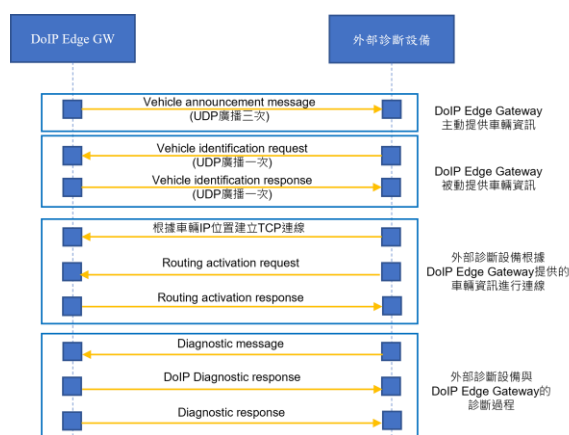


圖 4 外部診斷設備與 Edge Gateway 的通訊流程

3.2 DoIP Edge Gateway

在 ISO13400-2 的規範中，Edge Gateway 主要負責與外部診斷設備的連線與診斷的溝通功能，以及將診斷訊息轉發到指定的 ECU 上，或是根據不同的通訊協定轉發 UDS 診斷訊息，並將 ECU 處理完畢的診斷結果回覆給外部診斷設備。

3.2.1 提供車輛資訊

診斷服務在一開始，Edge Gateway 與外部診斷設備彼此之間，是不知道對方的 IP 位置以及車身 ID 等建立連線所需要的資訊。因此 Edge Gateway 在診斷服務的一開始，需要將內部設定完畢的車輛資訊以 UDP 廣播的方式向網路廣播三次，此為主動提供車輛資訊。同時，由於外部診斷設備可能沒有接受到這三次的廣播，因此 Edge Gateway 還需要支援被動提供車輛資訊的服務，當 Edge Gateway 收到來自外部診斷設備的車輛資訊要求之 UDP 廣播封包時，Edge Gateway 需要以

UDP 的廣播方式將車輛資訊傳送到網路之中，讓網路中的診斷設備能夠找到車輛，藉此建立診斷連線。

3.2.2 轉發診斷訊息

在 ISO13400-2 的規範中，所有支援 DoIP 診斷服務的裝置都會配有一個專屬的 address，稱之為 logical address，不同的 logical address 也有其指定的用途[2]。當 Edge Gateway 在收到封包後，會先確認封包的完整性與格式的正确性後，再解析 UDS Data 中 logical address 部分，並根據 logical address 將診斷訊息轉發到指定的 DoIP ECU 上。

3.3 CAN to Ethernet Gateway

在 CAN to Ethernet Gateway(CEG)的部分，我們使用文獻[1]所提到的 CEG 軟硬體架構平台，以及數據轉換的步驟與流程。在文獻中提到數據轉換的流程為 CEG 收到 CAN 封包後，會根據封包中的 CAN ID 查詢 CAN Table，CAN Table 中會記錄每一個 CAN ID 所對應的 CAN 封包資料欄位中，每個 bit 所代表的資料意義，CEG 再根據列表將 CAN 封包數據轉換為乙太網路封包數據。

而文獻中提到的 CAN Table 是根據 MatLab 與 Prescan 模擬平台中的模擬訊號建立而成，因此我們無法直接使用文獻中的 CAN Table，將車身訊號模擬器的 CAN 封包數據轉換為乙太網路封包數據。因此我們需要修改 CAN Table 當中的 CAN ID 與對應的每個 bit 所代表的資料意義，才能使得 CEG 能夠以正確的格式，將車身訊號模擬器的 CAN 封包數據轉換為乙太網路封包數據，如此一來黑盒子才能紀錄到正確的车身訊號。

3.4 DoIP 黑盒子

在文獻[1]中提到的嵌入式黑盒子，透過收集 Prescan 所產生的車輛行駛數據，並透過 AEBs(Automotive Emergency Braking system)所產生的危險警告來保護資料。但文獻中的資料僅支援車載乙太網路的資料收集，並不支援 DoIP 以及 UDS 的診斷服務。因此，我們根據 ISO13400-2 的規範，對於文獻中的嵌入式黑盒子加以修改其資料儲存的模式，使得黑盒子能夠盡可能完整的收集到車身訊號模擬器所提供的資料，且能夠與 DoIP Edge Gateway 進行連線。同時符合 ISO14229 的訊息格式，讓黑盒子能夠以 UDS 所規範的訊息格式與外部診斷設備進行溝通。

3.4.1 資料收集

資料收集的部分，我們採用動態記憶體配置搭配資料結構 Link List 的技術進行資料的儲存。會選擇 Link List 作為資料儲存的方式，主要是因為在相同的週期下，不同的車身訊號會有不同的資料更新頻率，又因為每家車廠所希望的資料儲存週期也不盡相同。因此透過 Link List 搭配動態記憶體配置的方式，可以更有效的管理儲存資料

的大小，其流程如圖 5 所表示。

從圖 5 中可以知道，DoIP 黑盒子完整的資料紀錄流程。首先 DoIP 黑盒子會先創立 Link List 資料鏈，之後由於資訊安全的考量，在向 CEG 要求資料時，需要通過 CEG 進行的身分確認，通過之後 CEG 才會將車身訊號傳輸至 DoIP 黑盒子，而 DoIP 黑盒子再將收到的訊號儲存至 Link List 資料鏈上。在每次儲存的時候會根據車身訊號上的時間戳記，來判斷是否到達儲存週期 $Tp(s)$ 。如果到達儲存週期則將 Link List 資料鏈上的資料儲存至記憶卡上，並清除 Link List 資料鏈上的資料，如果尚未到達週期則繼續儲存下一筆資料。

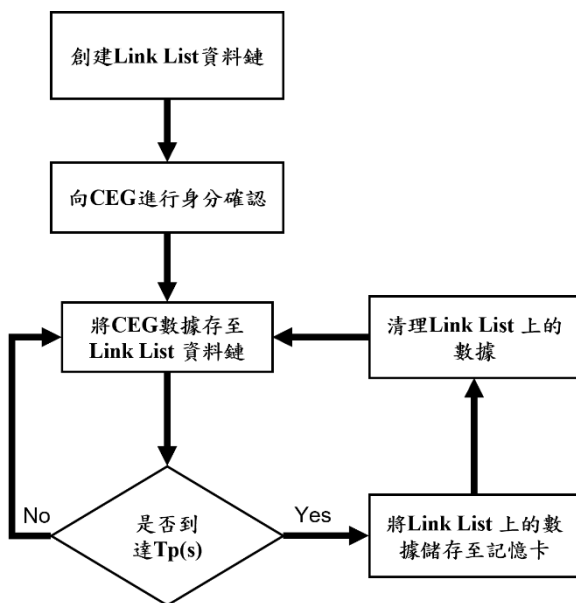


圖 5 嵌入式黑盒子車身訊號數據記錄流程圖

3.4.2 DoIP 連線&UDS 封包格式

我們在原本 DoIP 黑盒子的紀錄模式下，額外新增一個診斷模式，在切換為診斷模式後，外部診斷設備可以透過 ISO14229 規範中 Routine Control 指令控制 DoIP 黑盒子，使得 DoIP 黑盒子可以將目前內部所記錄的所有數據，透過 TCP 的方式傳送至外部診斷設備，讓診斷人員可以進行更深入的資料分析。

4. 實驗測試

本章節會利用第三章節所提及的系統平台，來進行完整的功能測試。首先，我們會先對 DoIP 黑盒子的功能進行測試，以驗證 DoIP 黑盒子能夠正確的收集與保存來自 CEG 轉發的車身數據；接著我們會對外部診斷設備與 Edge Gateway 進行連線功能測試，以驗證外部診斷設備能夠以 ISO13400 所規範的連線流程與 Edge Gateway 進行連線與診斷訊息的發送和診斷回應的接收。同時也能夠測試 Edge Gateway 是否也符合 ISO13400 功能要求，除了能與外部診斷設備進行連線之外，還能夠將外部診斷設備所傳送的診斷訊息轉發至

欲診斷的 ECU 位置上。最後再將 ECU 診斷結果回覆給外部診斷設備。

最後，我們會利用外部診斷設備透過 Edge Gateway，對黑盒子傳送 UDS 診斷訊息，以驗證 DoIP 黑盒子是否能夠正確的執行 UDS 診斷訊息的功能要求，以及是否能夠正確的將儲存在內部的車身訊號數據，傳送至外部診斷設備。

4.1 DoIP 黑盒子資料收集

在第三章節中，我們已經透過圖 5 介紹 DoIP 黑盒子資料記錄的流程。而在實驗中，黑盒子向 CEG 進行身分的確認，並且設定資料的更新週期為 1000 毫秒，且要求 CEG 傳送‘速度(Speed)’與‘電子變速箱狀態(EtcuState)’的車身訊號數據，如圖 6 中上面的紅框所示。而根據圖 5 的流程圖，使用者可以自訂 $Tp(s)$ 作為黑盒子將資料進行封裝的週期，在實驗當中，我們設定週期為 10 秒。因此每隔 10 秒左右黑盒子會將車身訊號封裝成 CSV 文字檔，並且以第一筆車身訊號的產生時間作為檔案名稱。從圖 6 下面的紅框中，我們看到每一個檔案的名稱間隔大約為 10 秒左右，也可以證明黑盒子確實有依照指定的週期進行資料的收集。

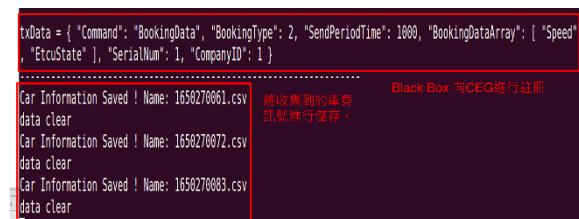


圖 6 黑盒子收集資料的過程

4.2 外部診斷設備與 Edge Gateway 連線測試

在第三章節已經以圖 4 說明外部診斷設備與 Edge Gateway 是如何進行連線的，而在實驗的部分，我們採用車輛被動發送車輛資訊的方式進行實驗。外部診斷設備先向區域網路中發送‘Vehicle identification request’封包，當車輛在收到封包之後會向區域網路中發送車輛資訊，使得外部診斷設備能夠透過車輛資訊進行連線。參考圖 1 的 DoIP 封包格式後，我們可以從圖 7 第一個紅框看到，Edge Gateway 收到來自外部診斷設備利用 UDP 廣播的診斷訊息‘Payload Type 0001’，即是‘Vehicle identification request’的封包後，也利用 UDP 廣播的方式傳送車輛資訊至網路中，如圖 7 第二個紅框所示。而從圖 8 可以看到，外部診斷設備在收到車輛資訊後，將車輛資訊進行解析並且偵測到車輛的 IP 位置以及車輛 ID。接著外部診斷設備根據車輛的 IP 位置，以 TCP 的方式傳送連線啟動請求給 Edge Gateway。Edge Gateway 收到外部診斷設備進行連線啟動請求封包，如圖 9 第一個紅框所示，確認接受連線並且回傳連線成功的訊息給外部診斷設備，如圖 9 第二個紅框所示，即完成整個連線過程。

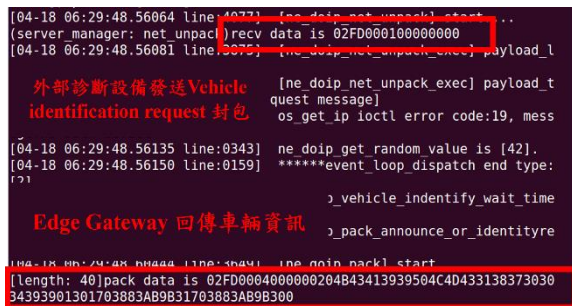


圖 7 Edge Gateway 被動發送車輛資訊



圖 8 外部診斷設備收到車輛資訊



圖 9 Edge Gateway 收到外部診斷設備進行連線啟動請求與回應連線成功的訊息

4.3 DoIP 黑盒子控制

在第三章節中，我們知道 DoIP 黑盒子會根據外部診斷設備的指令，將內部儲存的车身訊號數據，發送至外部診斷設備。所以從圖 10 第一個紅框可以看到，外部診斷設備根據 ISO13400 的格式設定診斷訊息的 Target address 為 0130，此即為黑盒子的位址。再根據 UDS 訊息格式傳送「31010100」，其中第一個 Byte 31 為 Routine Control 的 Service ID，第二個 Byte 01 為 Routine Control 的子功能 Start Routine，第三與第四個 Byte 則是 Routine ID 0100，其用途為控制 DoIP 黑盒子，將 DoIP 黑盒子內部儲存的车身訊號數據，發送至外部診斷設備。

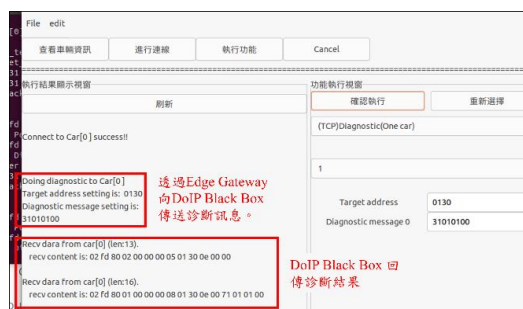


圖 10 外部診斷設備控制 DoIP 黑盒子

從圖 11 可以看到 DoIP 黑盒子在收到診斷訊息後，執行 Routine Control 的指令後回傳「71010100」訊息。而根據 UDS 的診斷訊息格式可以分析出，第一個 Byte 71 為 Service ID 31 加上 40 (16 進制) 所得到，表示成功執行 Routine Control 的指令，而第二個 Byte 01 為 Routine Control 的子功能 Start Routine，第三與第四個 Byte 則是 Routine ID 0100，即是外部診斷設備對於 DoIP 黑盒子的控制命令。

因此由上述實驗可以證明，DoIP 黑盒子與外部診斷設備確實是透過 UDS 的診斷流程與診斷訊息格式進行開發，且整個診斷流程亦符合 ISO13400 的規範。

而在收到 Routine Control 指令之後，黑盒子會依據外部診斷設備的 IP 位置，將儲存在記憶卡中的車身訊號傳送至外部診斷設備，從圖 12 可以看到，DoIP 黑盒子儲存了 11 個車身訊號的 CSV 檔。因此 Total csv files 為 11，而經過傳送之後可以從圖 13 看到外部診斷設備確實是有收到 11 個檔案。因此可以證明 DoIP 黑盒子確實有成功執行傳輸檔案的指令功能。

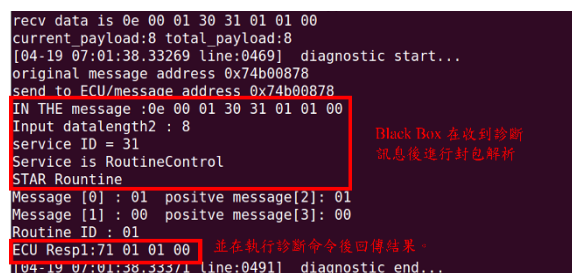


圖 11 DoIP 黑盒子執行 Routine Control

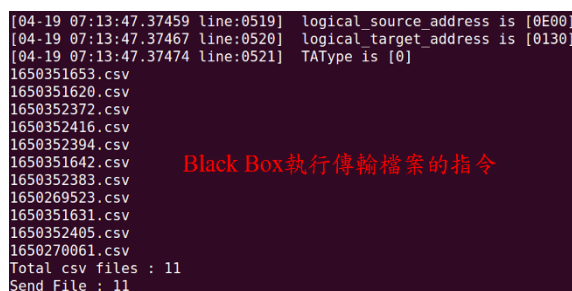


圖 12 DoIP 黑盒子傳輸車身訊號檔案

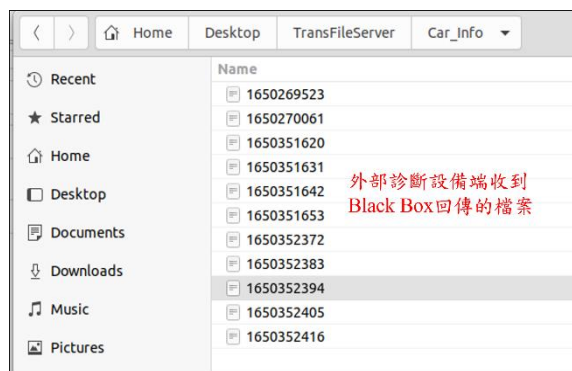


圖 13 外部診斷設備收到車身訊號檔案

5. 結論

隨著車輛網路使用高頻寬、低延遲的車載乙太網路後，車輛網路上的電子裝置也愈來愈多，車載網路系統也愈來愈複雜。因此，進行有效率的車輛診斷便成為重要的議題。本文基於ISO13400 國際乙太網路車輛診斷標準，建立一套完整的車輛診斷平台，並在平台上開發一個符合ISO13400與UDS診斷服務的黑盒子。最後在實驗結果的章節，我們驗證提出的車輛診斷平台與DoIP 黑盒子，確實能夠依照國際標準進行溝通與診斷。本研究的主要價值在於提出一個基於車載網路的車輛診斷應用，並經由實驗驗證我們的構想確實符合國際標準，且能夠適用於未來複雜的智慧車輛診斷，在未來開發車輛診斷服務應用時，能夠以本文的研究成果作為一個開發參考。

6. 誌謝

作者特別感謝“鴻華先進科技股份有限公司”提供科專計畫“無人載具科技實證運行補助計畫_人本設計自駕動態平台開發計畫：自駕車基礎共通平台開發分項計畫-車載乙太網路測試驗證開發平台計畫”支持本研究之進行。同時也感謝“華創車電”提供的車身訊號模擬器，讓本研究實驗能順利進行。本文之車身訊號模擬器與CEG由實驗室的畢業學長呂彥勳提供相關的操作概念與教學，使得本文之實驗平台能夠順利成功建置，特此致上感謝之意。

參考文獻

- [1] Y. -X. LU, Y. -Y. Chen and W. -N. Fang, "Automotive Ethernet-Based Black Box System," International Conference on Artificial Intelligence in Information and Communication (ICAIIIC), pp.392-397, 2020.
- [2] ISO 13400, "Diagnostic communication between test equipment and vehicle over Internet Protocol (DoIP)", 2019.
- [3] M. Matsubayashi et al., "Attacks Against UDS on DoIP by Exploiting Diagnostic Communications and Their Countermeasures," IEEE 93rd Vehicular Technology Conference (VTC2021-Spring), pp.1-6, 2021.
- [4] M. Johanson, P. Dahle, & A. Söderberg, "Remote Vehicle Diagnostics over the Internet using the DoIP Protocol," ICSNC, 2011.
- [5] Jinsoo Lee, Eunjo Lee and Sungkwon Park, "Extended communication interface for remote vehicle diagnosis using Internet Protocol," 19th Asia-Pacific Conference on Communications (APCC), pp.421-426, 2013.
- [6] F. Luo and Q. Wen, "Implementation of bootloader based on DoIP," IEEE 2nd International Conference on Computer and Communication Engineering Technology (CCET), pp.239-244, 2019.
- [7] Y. S. Lee, J. H. Kim and J. W. Jeon, "Diagnostic gateway based on DoIP for automotive systems," The 18th IEEE International Symposium on Consumer

Electronics (ISCE 2014), pp.1-2, 2014.

[8] ISO14229, "Unified diagnostic services (UDS)", 2006.

[9] G. Singh, N. Kamath and R. K. Sharma, "Implementing Adaptive AUTOSAR Diagnostic Manager with Classic Diagnostics as APIs," Second International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICICCS), pp. 894-898, 2018.