# 公共服務網路內容遞送服務正式平台建置

周大源 曾惠敏 黃文源 胡乃元 劉德隆

財團法人國家實驗研究 財團法人國家實驗研究 財團法人國家實驗研究 財團法人國家實驗研究 財團法人國家實驗研究 院國家高速網路與計算 院國家高速網路與計算 院國家高速網路與計算 院國家高速網路與計算 中心 中心 中心 中心

1203053@narlabs.org.tw 0303118@narlabs.org.tw wunyuan@narlabs.org.tw 2103081@narlabs.org.tw tlliu@narlabs.org.tw

#### 摘要

本文介紹本中心於今年度(111年)建置之公共服務網路內容遞送服務(Content Delivery Network, CDN)第二期正式平台。在第二期的正式平台中,我們在新竹本部與台南分部建置兩個正式平台節點。同時,為了因應更加嚴峻的資安挑戰,與長期維運穩定的考量,我們持續加強維運與網路管理技術,期能提供持續且穩定之內容傳遞、流量分擔服務,讓大眾於瀏覽公部門與學研界網站時更加順暢,提昇使用者體驗。

關鍵詞:內容傳遞網路,CDN,前瞻三期,強化公部門服務

## I. 前言

資訊與網路基礎建設,是國家發展與整體戰力中相當 重要的一部份。近年來,世界上各大先進國家紛紛投入 資源以針對高速運算、高速網路骨幹、雲端平台、5G 行動通訊等等基礎平台進行建置,藉以發展大數據、人 工智慧、區塊鏈、…等等先進服務。在未來的世界中, 資訊與網路的各項軟硬體服務將與我們一般民眾緊密結 合、息息相關,甚至不可或缺。

一般而言,資訊網路技術研發,是因應使用者需求而發展。然而,近幾十年來的資訊網路蓬勃發展,若需求即得技術之利基,往往需要洞悉未來之趨勢,因應國內外新產業、為了前瞻未來臺灣發展需求,因應國內外新產業、新技術、新生活關鍵趨勢,「前瞻基家發展委員會規劃自106年9月至114年8月推動「前瞻基礎建設計畫」[1]。其內容涵括八大建設主軸:建構安全便捷之軌道建設、因應氣候變遷之水環境建設、加號基域均衡之城鄉建設、因應少子化友善育兒空間建設、加強的資本。 至111年分3期進行。第1期為106年9月至107年12月、第2期為108至109年。而第3期則為110至111年。

在眾多的資訊網路技術中,電子商務與遠距教學在過去的數十年間逐漸成熟。電子商務技術經過多階段演變,以數位資訊平台結合物流、金流、資訊流、...等等技術,讓使用者透過網路即可訂購所需商品。由於行動裝置日漸普及,許多外送服務平台,電子商務平台與外

送服務平台在讓供應者的銷售通路與消費者的選擇皆能 夠增加。而遠距教學初期著重於教材數位化,亦即將教 師的教學內容製成數位影片並傳至固定網站,讓學生能 夠在課後多次觀看複習,克服學生因為時間、空間因素 而無法完整受教之問題。接下來,結合各家線上會議軟 體,遠距教學則著重於連線品質,達成多人連線及互動 機制,讓學生與教師之互動無障礙,讓學生在家學習無 障礙,保障學生受教權益。

由於台灣多年來已針對上述技術投入不少資源進行研發。各項有線、無線網路之軟硬體資源均已有一帶規。也由於目前在台灣手機、電腦的使用率相當基礎的使用率的基準與方法均在前瞻思維建建。對所不不及情期間進行。對於不數位數學可以對於不數位數學可以對於不數位學習教材的時期。對於與學學可以對於與學學可以對於一個學習環境而言,網路頻寬使用量的增加,是相當重要的問題。因此,網路頻寬與傳輸效能就顯得相當重要的問題。因此,網路頻寬與傳輸效能就顯得相當重要。

針對疫情期間之遠距線上教學而言,一般區分為即時視訊串流,與靜態資料瀏覽。前者是教師上線直接講授,學生亦能透過視訊提問,達成師生之間可以互動之機制。而後者則是讓學生連上網站,觀看遠距教學中的資料,包含純文字、程式碼、文件檔案、圖片檔案、的資料,包含純文字、程式碼、文件檔案、圖片檔案、新片檔案、…等等。教師可以透過預先準備教材之方式,讓學生連上特定網站觀看課程相關之教學影片,作為輔助教學之教材。如此一來,提供影片的網站

便成為教材觀看之關鍵站點,其硬體等級須能提供多人 同時上線觀看多媒體影音資料。一旦提供服務的關鍵站 點因故障而無法提供服務,便會影響教學品質。

近幾十年來,為了要提昇影音網站之服務品質,同時要能提供多人同時上線觀看,許多與隨選視訊(Video On Demand, VOD)相關之研究已針對此方面進行改進。許多技術,如增加骨幹頻寬、點對點傳輸(Peer to Peer, P2P)、快取技術(Cache),如 Proxy 或多主機備援等等架構皆有其特色。然而,若針對一般中小學以下的教育單位,礙於經費與技術,以及教師與學生之訓練成本等等限制,若要以上述各項方案來達成,恐怕仍有一定的門檻。

內容傳遞網路(Content Delivery Network, CDN)是一種整合網域名稱服務(Domain Name Service, DNS)與快取技術的架構。其原理主要是在網路上增加邊緣節點以快取原網站之內容。當一般網路瀏覽用戶瀏覽原始網站(原站)時,可根據用戶位置重新導向最近之邊緣節點,藉以提昇用戶瀏覽效能。一般網站的瀏覽用戶可以在不用改變自己使用習慣的前提下瀏覽網路。另一方面,原站也無須進行大幅度變更,即可增強其服務能量。

CDN服務應用於業界已經行之有年。目前已經有許多企業皆有提供 CDN 網路服務,如 Akamai [3]、Amazon[4]、Cloudflare[5]、中華電信[6]、F5[7]等等。在110年初期執行本計畫時,台灣的學研網路中尚無全國性大型 CDN 服務平台。

因應前瞻基礎建設計畫第三期「強化公部門網路服務與運算雲端基礎設施計畫」,為減少網路壅塞狀況,提供使用者更好的體驗,本中心於110年度與111年度將在TWAREN學研網路上建置公共服務網路內容傳遞服務平台。在110年度,我們於國網中心台南分部完成測試平台(CDN第一期)之建置[8]。在111年,在國網中心新竹總部與台南分部的內容傳遞網路正式維運平台建置工作亦逐步完成(CDN第二期)。另外,因應前瞻基礎建設計劃,本中心亦執行福爾摩沙開放網際網路交換中心建置計畫(Formosa Open eXchange, FOX),其計畫之主要網站[9]已使用本 CDN 服務來進行試營運,取得相關資訊,藉以調整 CDN 系統之各項維運策略與參數設定。

圖1.是內容傳遞網路建置概念圖。如圖1.所示,110年在國網中心台南分部已完成實驗測試平台建置。在111年於國網中心新竹本部與台南分部兩個節點亦已完成正式維運平台之建置。接下來,自112年起至114年將會在TWAREN網路上再擇取節點以擴增內容傳遞網路。

另外,如表 I 所示,除了建置與擴增 CDN 節點,我們也會將 CDN 網路與 TANet 及各縣市教育網路中心、ISP業者等等介接,使 CDN 服務能夠延伸更廣,改善更多瀏覽用戶的網路使用體驗。

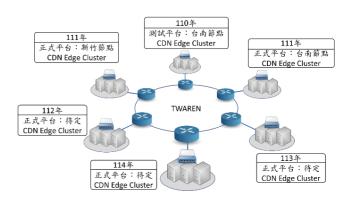


圖 1. 內容傳遞網路建置概念圖

#### 表 I 110年至114年進程

年度	工作內容
110年	已完成 CDN 規劃並建構實驗場域
	■ TWAREN 上完成 CDN 規劃與實驗場域
	建置。
	■ 完成 CDN 規劃並建構實驗場域
	■ 於 TANet 上完成 CDN 規劃與實驗場域
	建置
111年	已完成建構 CDN 網路節點
	■ 完成建構 CDN 網路 2 個節點。
	■ 完成建構 1 個教育雲 IDC CDN 服務。
112年	目標:擴充 CDN 網路架構
	■ 完成建構 CDN 網路 1 個節點,並擴充
	服務資源。
	■ 完成建構 13 個區域網路中心及 22 縣市
	教育網路中心 CDN 服務。
113年	目標:建構跨 ISP 之 CDN 服務
	■ 完成建構 CDN 網路 1 個節點,並強化
	備援與服務存取機制。
	■ 建置學校 CDN 服務及將 CDN 服務延伸
	至主要 ISP。
114年	目標:提升 CDN 跨域服務傳輸效能。
	■ 完成建構 CDN 網路 1 個節點,並強化
	資訊安全。

本論文的組織架構如下。第 II 節會介紹內容傳遞網路的概念。第 III 節會闡述我們所提出的架構與功能規劃。 而在第 IV 節中會展示相關資安維運考量與監控機制。 而結論與未來展望則在最後一節中進行陳述。

## II. 內容傳遞網路概念

本節說明內容傳遞網路的概念。首先,針對 CDN 系統中所使用的相關名詞進行定義。

- 原站 (Origin): 用戶欲進行連線瀏覽之原始網站, 由原站 DNS 負責網址解析。
- 原站管理者:各原站網頁管理人員。

- 瀏覽用戶(或網路瀏覽者):瀏覽原站網頁之用戶, 透過用戶 DNS Resolver 解析出原站的 IP 位址。
- 系統維運者:本中心 CDN 系統維運人員。

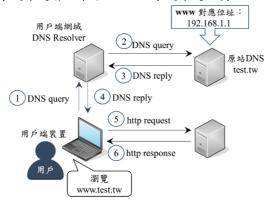


圖 1. 一般網頁瀏覽的流程 如圖 1, 一般傳統網頁瀏覽流程為:

- (1) 一般網路瀏覽用戶會透過用戶端裝置瀏覽網頁, 例如 www.test.tw。用戶端裝置會向用戶端網域所 在的 DNS Resolver 發出 DNS query 的請求。
- (2) 用戶端網域的 DNS Resolver 會向 test.tw 的原站傳送 DNS query,但在原站 DNS 中會將得到 www.test.tw 以 cname 方式指定到另外一個網址 www.test.tw.cdn.tw。
- (3) 由原站所在網域的 DNS Server 進行 DNS Reply, 將 www.test.tw.cdn.tw 的網址回覆給用戶端網域的 DNS Resolver。
- (4) 由使用者端 DNS Resolver 針對 CDN DNS 裝置進行 DNS Request。
- (5) 在 CDN DNS server 上,會依據內部的 policy 來判 定需派發哪一部 CDN Edge 邊緣節點。假設取得 CDN Edge 邊緣節點之 IP 位址為 10.0.0.1。
- (6) 由使用者端 DNS Resolver 針對用戶端裝置進行 DNS Reply,將 192.168.1.1 的位址回覆給用戶端裝置的 DNS Resolver。
- (7) 在用戶端裝置得到 192.168.1.1 的位址後,用戶端 裝置就會針對 192.168.1.1 的原站直接下 http request。
- (8) 由原站 192.168.1.1 進行 http response 回應請求結果。

然而,針對同一個原站而言,一旦瀏覽用戶增加,便 會使原站的效能下降,亦會佔用網路頻寬,造成網路傳輸速率下降,讓用戶端瀏覽網頁的效能也同時下降。為 了避免這樣的問題,採用內容傳遞網路之瀏覽方式將會 改變如下。

如圖 2所示,使用內容傳遞網路服務後,一般瀏覽 用戶瀏覽網頁的模式將會變更如下。

(1) 一般網路瀏覽用戶會透過用戶端裝置瀏覽網頁, 例如 <u>www.test.tw</u>。用戶端裝置會向用戶端網域所

- 在的 DNS Resolver 發出 DNS query 的請求。
- (2) 用戶端網域的 DNS Resolver 會向 test.tw 的原站傳送 DNS query,得到 <u>www.test.tw</u> 對應的位址為 192.168.1.1。
- (3) 由原站 DNS 進行 DNS Reply, 將 192.168.1.1 的位址回覆給用戶端網域的 DNS Resolver。
- (4) 由使用者端 DNS Resolver 針對用戶端裝置進行 DNS Reply,將 192.168.1.1 的位址回覆給用戶端裝置的 DNS Resolver。
- (5) 在用戶端裝置得到 192.168.1.1 的位址後,用戶端 裝置就會針對 192.168.1.1 的原站直接下 http request。
- (6) 由 CDN DNS server 對用戶端網域之 DNS Resolver 進行 DNS Reply 回應查詢結果。
- (7) 用戶端網域 DNS Resolver 進行 DNS Reply 回應查 詢結果給用戶端裝置。
- (8) 用戶端裝置向 IP 位址為 10.0.0.1 的 CDN Edge 邊緣 節點進行 http request。
- (9) CDN Edge 邊緣節點向原站 192.168.1.1 發出 http request,請求提供網頁內容。
- (10) 原站 192.168.1.1 進行 http response 將網頁內容回覆 給 CDN Edge 邊緣節點。
- (11) CDN Edge 邊緣節點針對用戶端裝置進行 http response,將請求的網頁內容回覆至用戶端裝置。

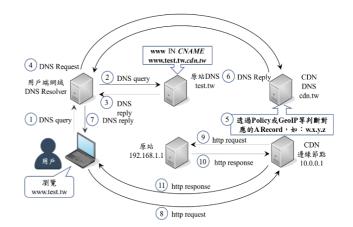


圖 2. 內容傳遞網路瀏覽模式

由上述步驟的比較可知,在未使用 CDN 系統與使用 CDN 的差異性與效益。雖然表面上的步驟數量增加, DNS request 需要重複進行,但對於降低原站的負載、以 及原站被佔用的頻寬而言,將會有不錯的成效。一旦同一原站的瀏覽用戶數增多,增加 CDN Edge 邊緣節點,將會有相當好的效果。

## III. 內容傳遞網路架構與功能規劃

在110年度與111年度的「公共服務網路內容遞送服務 系統採購案」中,考量到整體系統有許多不同身分的使

用者,並擁有個別不同的權限。因此,在原本的網路硬 除。 體裝置(CDN邊緣節點)外,另外加入幾項系統,包含 CDN DNS 與派發系統、Portal、維運管理平台、應用程 式介面(API)、CDN資安防護,基本架構如圖3所示, 並分述如後。

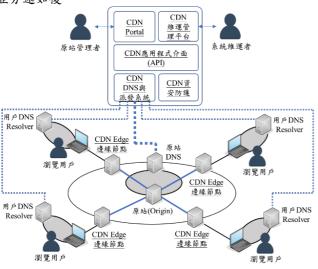


圖 3. CDN 系統概念架構圖

#### A. CDN DNS 與派發系統

在 CDN 網路中最關鍵的部份就是 CDN DNS 與派發系 統 (CDN Routing System, CDRS)。由原站 DNS 將原站 之網址以 CNAME 紀錄方式轉址至 CDN DNS 網域,並 依據不同瀏覽用戶之 DNS 詢問,回覆適合之 CDN Edge 邊緣節點IP位址。

由於原站與 CDN Edge 邊緣節點為多對多之關係,亦 即當瀏覽用戶要瀏覽原站內容時,藉由 CDN DNS 與派 發系統可以依據其政策 (Policy), 如地理位置、hop 數、可用頻寬等等,任意指定一個 CDN Edge 邊緣節 點,讓瀏覽用戶連線請求相對應的原站網頁內容。

為強化 DNS 解析安全性,減少 DNS 攻擊事件發生, 且由於 CDN 服務僅開放已申請之用戶存取使用。因 此,識別用戶所在網域之功能是必須的。因此,本系統 支援支援 IETF RFC 7871 EDNS0 [10] 規格。相關網域之 DNS 設備亦需支援 EDNSO規格。

# B. CDN Edge 邊緣節點

CDN 邊緣節點 (Edge Node) 是用來快取原站網頁內 容,以分散原站流量。邊緣節點的效能與儲存空間必須 足以支應大量儲存與讀寫存取。就現階段而言,本系統 支援靜態檔案快取,包含一般的文字/網頁、圖片、聲 音、影片、...等等檔案之快取。

然而,針對網頁快取亦需考慮時效性之問題。針對有 效網頁之預載、過期網頁之清除等等,需支援客製化與 調整。當邊緣節點系統儲存容量接近滿載,便須進行清

# C. CDN入口網站(Portal)

本功能是為了讓原站管理者可以透過網路介面登入。 一般而言, Portal 是讓原站管理者得以申請服務、並針 對 CDN 服務之網域資料進行新增、刪除等等管理作 業。Portal 本身提供多種帳號驗證方式,在登入後可以 依據預先設定的權限進行操作。

另外,為了資訊安全之考量,目前有許多原站皆已導 入 SSL CA 憑證。CDN 入口網站亦須支援匯入原站 SSL CA 憑證之功能。原站若需申請使用本 CDN 平台之服 務,須提供原站之憑證電子檔至本系統 Portal 中進行上 傳,讓原站與 CDN 間建立信任通道。

就原站管理者而言,本系統議會提供原站相關決策支 援資訊客製化設定,例如原站之使用率、命中比率 (hit ratio),以及使用流量排名,便於原站管理者進行決策 支援分析。

## D. CDN 維運管理平台

CDN維運管理平台主要是由本中心維運人員進行每週 7天、每天24小時之維運管控。因此,會有超級使用者 之權限,並涵蓋所有原站管理者所能操作之權限。再 者,本系統提供淺顯、易用之操作介面,讓維運人員可 以間看目前系統運作狀態,包含主機之 CPU、 Memory、Disk、Network usage、Storage 等等。一旦發 生連線問題時,便啟動告警機制,例如透過 E-mail、手 機簡訊、LINE訊息,或 Mattermost、... 等等通訊軟體即 時發送異常資訊,讓維運人員在短時間內便能發現問 題,並依照既定的標準作業程序,進行故障排除程序。 在故障排除後,亦能發送系統復原通知。

為符合資訊安全稽核相關需求,在長時間的維運過程 中,系統中所有的存取、派發、維護、斷線、安全性等 等 log 記錄都必須寫入日誌系統中。相關的統計數據, 例如每5~10分鐘內連線的 session 數量、讀取資料量等 等,皆須記錄,並進一步以報表、圖表等方式呈現。為 了方便後續追蹤稽核作業,全系統每項功能運行的日誌 能存放至儲存設施中,且保存事件紀錄須達6個月以 上。更進一步來說,CDN 系統之相關 log 紀錄亦可輸出 至其他分析平台,完成相關資安威脅特徵碼識別。

## E. CDN 資訊安全防護

由於本系統須與公共網路的原站進行路由資訊交換, 資安威脅是無法避免的。因此,除了一般網路防火牆之 外,本系統也會設置網頁應用程式防火牆(Web Application Firewall, WAF)。針對常見的攻擊類型,本 系統也規劃將對機制以進行防護。另外,為符合相關資 安法遵,故系統系統之建置必須符合資通系統普級資安 需求項目。

如前所述,為避免 CDN 系統受到未經認證之使用者 濫用或進行不當攻擊行為,本系統嚴格控管僅開放經認 證與申請之使用者使用本服務,透過IP位址、網段,甚 至以國別等條件進行黑、白名單之過濾篩選。

## F. CDN 應用程式介面 (API)

為了要進行後續整合研發與功能擴充,並與第三方軟體整合。本系統保留 RESTful API 介面。後續可以 RESTful API 方式與 CDN 系統進行溝通。

# IV. CDN 資安維運考量與效能監控介面

如前所述,今年度(111年)已陸續完成 CDN 第二期 正式平台建置。在本中心新竹本部與台南分部分別建置 一個正式維運節點。為因應日後對外服務之機制,相關 維運與效能監控考量如下。

## A. High Availability (HA) 機制

為了提供每週7天、每天24小時持續不間斷之服務, 上述系統必須具備高可用性機制。當一般服務之節點或 機器因故障而無法提供服務時,須以最少的轉換時間轉 換至備援的節點或機器。

- (1) 在設備 HA 部份:我們在單一節點內相同功能的主機,包含交換器、伺服器、網路防火牆、DNS 主機、CDRS、Edge、...等,都有兩部以上的redundant主機:一部為primary主機、其他為backup主機。相同功能的主機會定期進行資料同步,確保當其中一部主機設備故障時,備援主機能在最短的時間內接管服務。
- (2) 在節點間HA部份:我們在新竹本部節點與台南分部節點間亦會進行跨節點間之資料同步。例如CDN Edge 邊緣節點的快取內容可以進行同步。這樣的作法有兩項優點。第一,當新竹節點與台南節點皆可提供服務時,瀏覽用戶可以由系統派發到較近的CDN Edge 邊緣節點因故皆無法服務,瀏覽用戶可以被重新派發以使用台南節點之CDN Edge 邊緣節點。
- (3) 在網路 HA 部份:本 CDN 系統與骨幹網路介接部 份採用 Port Channel 方式介接。亦即在骨幹接取之 設備上使用一條以上的線路進行介接。如此可以 避免單一網路線材損壞時影響整體服務。

## B. 網段區隔

一般而言,為減少來自 Internet 上的網路攻擊,實體 設備可使用內部 private 網段進行連線通訊。然而,由於 CDN 須透過 public 網段存取 Internet 以提供服務,故 CDN 設備僅使用 private 網段 IP 位址之作法並不可行。 因此,我們在 CDN 系統中運用網路位址轉譯 (Network Address Translation, NAT) 技術來解決這樣的問題。事實上,實體設備本身並沒有 public IP, 而是在出入口的設備會進行對應的 IP 位址轉換。

# C. 特殊權限存取與帳號認證方式

為了存取系統核心權限等級之相關維運功能,維運管理者必須透過帳號密碼認證以登入維運系統。透過本中心所建置之福爾摩沙開放網際網路交換中心(Formosa Open eXchane, FOX)[9] 所提供的 Out-of-band(OOB)網段,與 SSLVPN 認證,便可以讓維運管理者透過private IP 位址來存取各項維運管理之功能。另外,為了加強帳號認證之安全性,目前 SSLVPN 採用 One Time Password(OTP)方式進行驗證,讓特殊權限存取多一道防護。

## D. 維運平台監控

本 CDN 系統維運監控介面之資源使用狀況、統計數據歷程記錄分別如圖5. 與圖6. 所示。在圖5.中,本中心維運人員可以監控各大硬體設備的資源使用量,如CPU、Memory、Disk、Network Interface 等等。為了易於識別目前各設備狀態,這個監控介面以不同顏色區別目前各項資源的運作狀態。綠色、黃色、紅色分別代表資源正常、資源偏高,以及資源滿載等等狀態,讓維運人員可以在故障發生前提前預警,並進行相關應對處理程序。



圖5. CDN 系統維運監控介面—各項資源使用狀況



圖6. CDN 系統維運監控介面—各項統計數據歷程紀錄

在圖6.中,許多相關統計數據以二維折線圖表示。橫軸為時間,而縱軸為數量的大小。透過這樣的介面,為運人員可以觀察到 CDN 中各項資源的用量與時間的關係。如網路的流量、磁碟存取在短時間內有異常增加的趨勢,藉以提前預警。

另外,為了全面針對 CDN 設備進行 redundant 之監控,讓系統有另外一套監控平台來進行佐證,我們透過 FOX 系統所提供之 CyberMonitor 監控平台進行監控。現階段以設備監控為主。

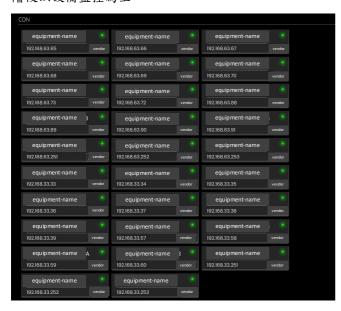


圖7. CyberMonitor 畫面

在上圖 CyberMonitor 的監控畫面中,每一個區塊代表一部 CDN 用設備。每一個區塊的左上角是設備名稱、區塊的左下角是設備的 IP 位址。而區塊的右下角為設備之廠牌。前三項資訊可以用來識別設備。倘若區塊的右上角為綠色燈號,代表目前正常運作中。

#### V. 結論與未來展望

本論文介紹本中心於今年度(111年)建置之公共服務網路內容遞送服務第二期正式平台。在本期的正式平台的硬體建置方面,我們在新竹本部與台南分部建置兩個正式平台節點。我們也結合本中心相關維運監控平台,持續加強維運與網路管理技術,並提昇相關防護護制。未來,我們也將持續進行112年至114年之公共服務網路內容遞送服務建置,期能提供持續且穩定之內容傳遞、流量分擔服務,讓大眾於瀏覽公部門與學研界網站時更加順暢,提昇使用者體驗。

#### 誌謝辭

本專案為前瞻三期「強化公部門網路服務與運算雲端基礎設施計畫」成果。感謝行政院科技會報辦公室、數位發展部、國科會、教育部、國家實驗研究院指導。感謝敦陽科技公司、線上探索公司、宜沛科技公司、台南市教育網路等等單位協助建置與驗證測試。

## 參考文獻

- [1] 國家發展委員會-前瞻基礎建設計畫 https://www.ndc.gov.tw/cp.aspx?n=608FE9340FE6990D
- [2] 郭伯臣,"校園防疫與中小學數位學習之現況與未來,"國土及公 共治理季刊,32期,2020年。
- [3] Akamai CDN, <a href="https://www.akamai.com/solutions/content-delivery-network">https://www.akamai.com/solutions/content-delivery-network</a>
- [4] Amazon CDN, https://aws.amazon.com/tw/caching/cdn/
- [5] Cloudflare CDN, <a href="https://www.cloudflare.com/zh-tw/cdn/">https://www.cloudflare.com/zh-tw/cdn/</a>
- [6] 中華電信 CDN, https://www.cdn.hinet.net/index.html
- [7] F5 CDN, <a href="https://www.f5.com/services/resources/glossary/content-delivery-network-cdn">https://www.f5.com/services/resources/glossary/content-delivery-network-cdn</a>
- [8] 周大源,曾惠敏,黃文源,胡乃元,劉德隆,"公共服務網路內容傳遞服務平台之建置,"2021台灣網際網路研討會(TANET 2021),台中,台灣,2021年12月。
- [9] 福爾摩沙開放網際網路交換中心 (Formosa Open eXchange, FOX) https://www.fox.net.tw/
- [10] IETF RFC 7871 EDNS0, https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc7871