基於 MQTT 之機房環境監測與稽核文件管理系統的建置

Development of an MQTT-Based Environment Monitoring and Audit Document Management System for Data Centers

魏均合[1*]，黃淑賢[2]
[1]臺灣勤益科技大學資訊管理系碩士生
[2]臺灣勤益科技大學資訊管理系助理教授
[*] muse04091011@gmail.com

【摘要】 隨著企業資訊化與物聯網技術的發展，企業因法規、內部管理或第三方稽核需求，需持續蒐集機房環境與設備運作相關之資安紀錄。然而現行人工彙整流程繁瑣且易產生錯誤。為提升資料完整性與稽核準備效率，本研究設計並實作一套整合感測器監測及模板與文件管理系統。系統透過 Zigbee2MQTT 與 Mosquitto 作為感測器管理後端，支援 Zigbee 連接協議，並以 ASP.NET 與 MySQL 建構使用者操作介面。模板與文件管理提供自定義模板編輯功能，讓使用者能夠製作稽核文件。最後，藉由科技接受模型(TAM)問卷與訪談評估系統成效，驗證其在降低作業負擔與提升稽核效率上之效益。

【關鍵字】 MQTT；資訊安全；文件管理；科技接受模型；自動化稽核

Abstract: *Driven by IoT and regulatory demands, enterprises must collect data center security logs. However, manual processes remain cumbersome and error-prone. To improve data integrity and audit efficiency, this study develops an integrated monitoring and document management system. Utilizing Zigbee2MQTT and Mosquitto for sensor management via the Zigbee protocol, the system features a user interface built with ASP.NET and MySQL. A specialized module enables customizable template editing for automated audit documentation. The system's effectiveness was evaluated using the Technology Acceptance Model through questionnaires and interviews. Results verify that the proposed system significantly reduces operational burdens while enhancing auditing efficiency and compliance management in professional data center environments.*

Keywords: MQTT, Information Security, Document Management, Technology Acceptance Model, Automated Auditing

1. 緒論

1.1. 研究背景及動機

隨著企業數位轉型加速，資訊機房已成為營運核心，其環境與設施監控紀錄更是符合 ISO 27001、資通安全管理法及金融合規稽核之關鍵指標。然而實務在執行層面仍面臨以下挑戰：

1. 異質數據彙整與人工誤差：傳統監控系統分散且獨立，高度仰賴維運人員手動抄錄。此類依賴人力不僅效率低，更易因人為紀錄錯誤導致數據可信度受損，增加稽核失敗之風險。

2. 持續性合規監測之需求：稽核趨勢已由事後抽查轉向持續性監測，傳統報表難以提供即時預警，亦無法在安全事件發生時有效溯源。企業需自動化採集與數位化平台，以因應日益嚴格的法規環境。

3. 技術應用與管理流程之脫節：現有物聯網監控方案多偏重於數據呈現，缺乏與文件管理及稽核模板之深度整合。即便具備監測數據，維運人員仍需耗費大量行政成本進行報告彙整。

基於上述動機，本研究旨在開發一套整合 Zigbee 感測技術、MQTT 協定與自動化文件管理之系統。透過標準化數位流程，確保稽核軌跡之完整性與不可竄改性，進而減輕行政負擔並提升企業資安治理效能。

1.2. 研究目的與問題

本研究旨在建置整合物聯網監測與文件管理之系統，以解決機房稽核的人工效率與數據完整性問題。核心研究問題聚焦於：(1) 異質設備整合與通訊穩定性：探討如何利用 Zigbee2MQTT 與 MQTT 協議之發布/訂閱機制，建構低延遲傳送鏈結並達成感測數據之標準化封裝；(2) 稽核模板與文件管理設計：建置具備彈性編輯機制之監控平台，使感測軌跡能轉化為正式稽核文件，減少人工剪貼之作業偏差；(3) 使用者採納意願分析：以科技接受模型為架構，分析維運人員對系統之有用性與易用性認知，如何顯著影響其採納意向與導入阻力。

2. 文獻探討

本章針對相關學理基礎與技術進行系統性回顧。首先探討資訊安全管理系統之標準與法規，確立機房監控之必要性；其次分析 Zigbee 與 MQTT 等物聯網協定之優勢；隨後回顧機房監測技術與持續性稽核之演進；最後引介科技接受模型（TAM）作為評估系統成效之基準。

2.1. 資訊安全管理系統（ISMS）與稽核規範

資訊安全管理系統是企業保護資產與確保業務連續性之架構。ISO/IEC 27001 附錄 A 規範企業須對關鍵設施進行監控與紀錄，防止因環境異常導致營運中斷（International Organization for Standardization, 2022）。稽核實務強調證據力，企業須提供具時間戳記之連續紀錄以滿足可追溯性（Humphreys, 2016）。依據《資通安全管理法》，A、B 級單位之機房需建立自動化告警機制（數位發展部資通安全署，2018）。金融機構亦須對環境日誌進行持續監控以符合防護基準（金融監督管理委員會，2023）。有效的稽核軌跡須具備準確性、完整性與不可竄改性，透過製成報表的方式不僅能減輕負擔，更是達成合規之必要路徑（World Health Organization, 2016）。

2.2. 物聯網通訊協定之比較與應用

底層感測網路的穩定性決定系統成敗。Zigbee 基於 IEEE 802.15.4 標準，具備網狀網路拓撲與低功耗特性，能於充滿機櫃的環境中透過多路徑傳輸自動避開故障點（Baronti et al., 2007; Gislason, 2008）。MQTT 則為基於發布/訂閱模式的輕量化協定，透過訊息代理人進行異步傳輸，能有效降低網路負載（Hillar, 2017）。本研究採用 Zigbee2MQTT 技術，將不同品牌的 Zigbee 感測封包轉化為標準 JSON 格式，解除廠商綁定並降低採購限制（Koenkk, 2024）。此整合架構運作於 TCP/IP 之上且支援 TLS/SSL 加密，確保數據傳遞符合資安稽核之機密性要求。

2.3. 機房環境監測與稽核技術之現況

現代機房監測已演進為主動式管理，多採 DCIM 軟體將數據視覺化，並以無線 Mesh 網路解決佈線困難（Rodriguez et al., 2011）。然而，傳統稽核方式多仰賴週期性檢查與人工整理，難以滿足即時性與自動化之需求（Vasarhelyi et al., 2012）。市場缺乏將底層數據轉化為標準稽核文件的銜接機制。

2.4. 科技接受模型（Technology Acceptance Model, TAM）之理論背景

科技接受模型由 Davis 於 1989 年提出，主張技術採納意願受認知有用性（PU）與認知易用性（PEOU）之影響（Davis, 1989）。認知有用性指使用者認為系統能提升工作績效的程度，認知易用性則為操作系統的簡易程度，後者會顯著影響前者（Venkatesh & Davis, 2000）。模型允許加入外部變數，如系統經驗、資安背景及稽核參與經驗，這些變項會影響使用者的自我效能與對工具的有用性認知（Agarwal & Prasad, 1999；Legris et al., 2003），當技術能改善繁雜的人工作業時，PU 是預測採納意向最強的指標（Legris et al., 2003）。

3. 研究方法與系統設計

本研究程序劃分為「系統架構實作」與「系統成效評估」兩大階段。實作階段整合 Zigbee 感測硬體、MQTT 協定與 ASP.NET 框架，建構具備即時監測與報表產製功能之平台；評估階段則以科技接受模型（TAM）為基礎，針對資安專業人員進行實測。透過李克特五點量表量化分析使用者之知覺易用性、有用性及使用意願，並將資訊背景與稽核經驗納入控制變項，以探討背景差異對系統採納行為之影響。

3.1. 系統層級架構說明

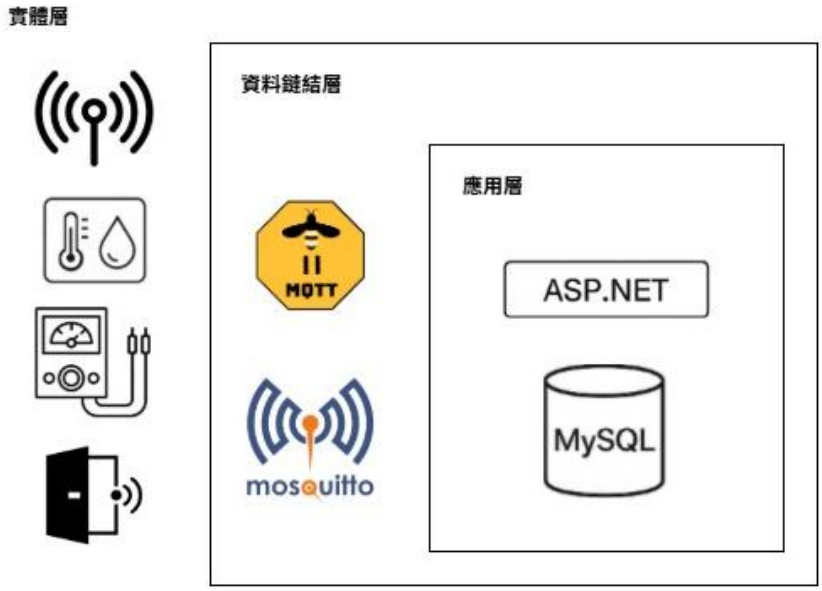

圖 3-1 系統架構圖

本研究之系統架構參考物聯網三層式架構進行部署，將各組件依其功能定位於實體層、資料連結層與應用層中，如圖 3-1。

1. 實體層(Physical Layer)：此層級負責物理環境的感知與原始訊號的採集。涵蓋各類 Zigbee 感測器，如:溫濕度感測器、電力監測器、門禁感測等。透過硬體探針直接接觸物理環境，將物理量轉化為電子訊號。

2. 資料連結層 (Data Link & Middleware Layer)：此層級負責協定轉換與數據交換，是本系統的通訊核心。Zigbee2MQTT 與 Mosquitto 即位於此層。其中 Zigbee2MQTT 負責協定轉換網關（Gateway），與實體層的 Zigbee 設備進行無線通訊，並將接收到的專有 Zigbee 封包解碼，轉換為標準化的 JSON 格式。Mosquitto (MQTT Broker)的定位為訊息代理人（Message Broker），功能為採用發布/訂閱（Publish/Subscribe）機制，負責接收來自 Zigbee2MQTT 的數據訊息，並根據應用層的訂閱需求進行轉發。

3. 應用層(Application Layer)：此層級負責數據的運算處理、儲存以及使用者介面呈現。ASP.NET 網頁系統、MySQL 資料庫位於此層，訂閱 Mosquitto 的訊息並存入資料庫。網頁系統提供使用者自定義模板、歷史紀錄查詢及生成正式稽核文件。

為確保機房監控軌跡之完整性與機密性，本系統於各層級實施防護機制。在資料連結層，MQTT 通訊透過使用者帳號與密碼進行身份驗證，並結合傳輸層安全協議（TLS/SSL）對封包進行加密，防止數據在無線傳輸過程中遭非法截聽。在應用層，ASP.NET 平台內建身分驗證與授權機制，僅限特定權限之人員存取稽核模板與報表。此外，資料庫端實施最小權限原則，並啟動 SQL 稽核日誌紀錄所有存取行為，確保環境數據從採集到製作文件的過程中具備不可竄改性，從而提升系統於資安稽核上的信服度。

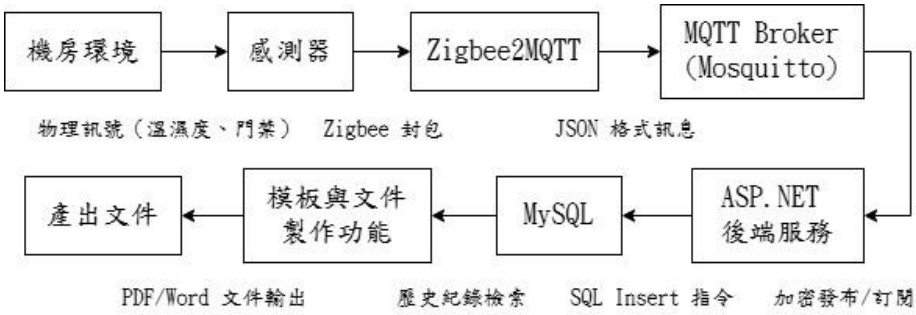

圖 3-2 本研究之資料流動圖

為詳述感測數據之處理鏈結，圖 3-2 展示了本系統之資料流動過程。首先，實體層感測器採集環境物理訊號並轉化為 Zigbee 封包；隨後，透過 Zigbee2MQTT 將其解碼為標準化之 JSON 格式，並經由 Mosquitto 代理人以發布/訂閱機制傳輸。ASP.NET 應用後端負責訂閱特定主題，將收得之即時數據同步存入 MySQL 資料庫，以確保稽核軌跡之存證。最後，系統根據使用者預設之稽核模板，將資料庫內之歷史監測數據與時間戳記進行整合，製出管理文件。

3.2. 研究設計與變項定義

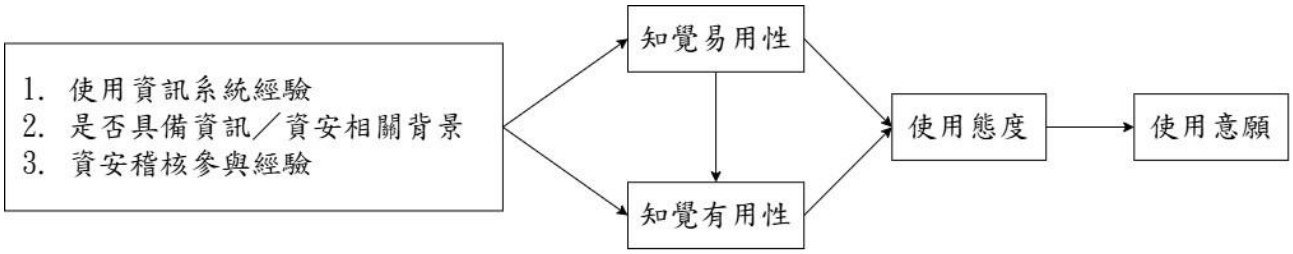

圖 3-3 本研究之 TAM 架構圖

本研究以科技接受模型（TAM）為主要理論框架，探討使用者對於系統之信念、態度與行為意圖間之因果關係。圖 3-3 為本研究之 TAM 架構圖。

基於 TAM 理論與本研究之開發目標，針對系統使用者之心理路徑提出以下四項研究假說：

H1：系統使用者之「知覺易用性」與「知覺有用性」間有顯著正向關聯。

H2：系統使用者之「知覺有用性」與「使用態度」間有顯著正向關聯。

H3：系統使用者之「知覺易用性」與「使用態度」間有顯著正向關聯。

H4：系統使用者之「使用態度」與「使用意願」間有顯著正向關聯。

本研究以科技接受模型(TAM)為框架, 提出四項研究假說: H1 為「知覺易用性（PEOU）」正向影響「知覺有用性（PU）」; H2 與 H3 為 PU、PEOU 正向影響「使用態度（ATU）」;

H4 則為 ATU 正向影響「使用意願（BI）」。量表參考 Davis (1989) 修訂，採李克特五點尺度，分別衡量操作直覺性、績效提升度、心理評價及未來採納意向。

為排除個人背景偏誤，本研究參考 Agarwal 與 Prasad (1999) 納入三項控制變項：(1) 資訊系統經驗：觀察年資對 PEOU 之影響；(2) 資訊/資安背景：評估專業訓練對數據理解與 PU 之關聯；(3) 資安稽核經驗：探討實務彙整經驗對系統功能之評價差異。

3.3. 抽樣設計與資料蒐集程序

本研究採便利抽樣與判斷抽樣，邀請具備資訊維運、資安稽核經驗及資訊科技研究背景之專業人員參與實測。受測族群涵蓋負責機房設施管理之維運人員、熟悉 ISO 27001 規範之稽核員，以及理解物聯網架構之研究者，以確保評估具備多維度之代表性。

實測程序於企業機房環境進行，分為三階段：(1) 系統功能導覽：建立受測者對 MQTT 傳輸架構與數據流向之認知；(2) 實作任務操作：受測者親自執行儀表板監控、歷史紀錄檢索及稽核文件產製套表，深入體驗系統功能；(3) 問卷填寫與回饋：操作後填寫科技接受模型（TAM）量表，並針對系統優化提供質性建議，作為後續量化分析與系統修正之依據。

3.4. 資料分析方法

本研究於問卷調查結束後，透過統計軟體進行資料整理，具體採用的統計方法如下：

1. 敘述性統計分析：針對受測者之基本資料（如資訊經驗、資安背景、稽核參與經驗）進行次數分配與百分比計算，藉以了解樣本之分布特徵。

2. 信度與效度分析：採 Cronbach's α 係數進行信度檢定，以確保各構面衡量題項之內部一致性；並透過內容效度確保題項能精確衡量變項定義。

3. 差異性分析：採用獨立樣本 t 檢定與單因子變異數分析（ANOVA），探討不同背景背景與經驗年資之族群，在知覺易用性與知覺有用性等變項上是否存在顯著差異。

4. 相關分析與假說檢定：利用皮爾森相關分析探討變項間之關聯強度，並透過路徑分析檢定各變項間之因果關係，藉此判定研究假說是否獲得支持。

4. 系統實作與預期成效

4.1. 系統功能展示與實作解說

本研究開發之監控與模板文件管理系統，已完成核心模組之建置。以下針對系統之關鍵操作介面進行解說，展示其如何達成即時監控、設備管理與稽核之目標。

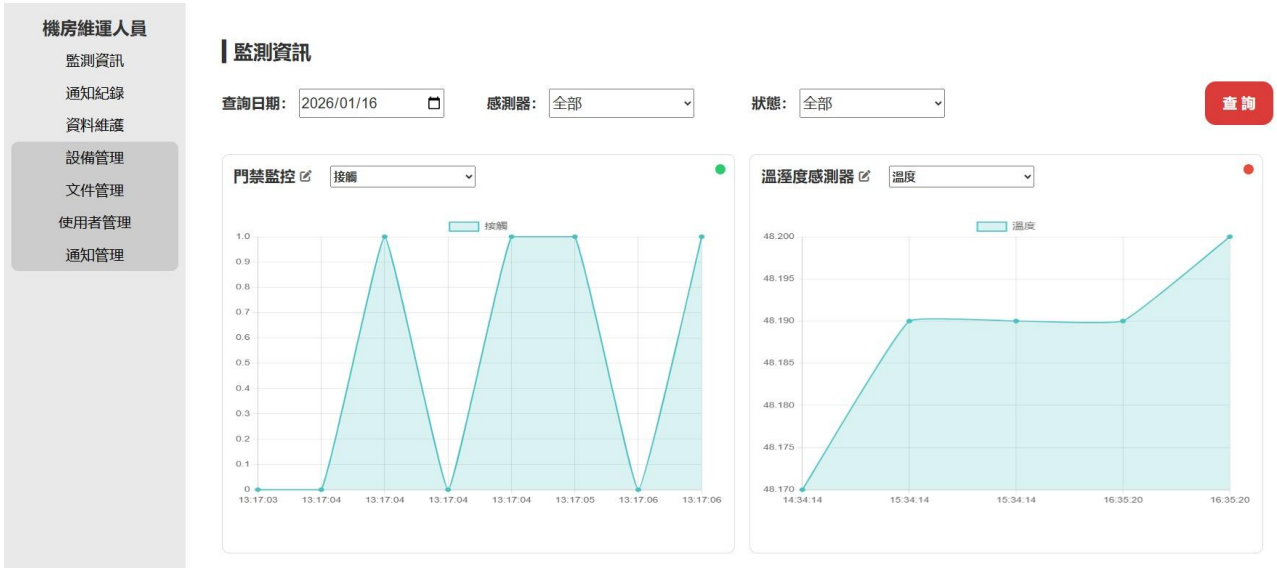

圖 4-1 監測資訊頁面

1. 環境數據監控與趨勢頁面：系統首頁提供環境數據監控功能，該頁面透過訂閱訊息代理人之特定主題，即時接收來自機房各處之感測數據。為利於維運人員判斷環境之長期穩定性，系統將過去特定時段內之感測數值變動趨勢進行視覺化呈現。維運人員可透過折線圖之斜率變化快速識別潛在風險，進而落實資安管理法規對於環境持續監控之要求。

圖 4-2 感測器設備管理頁面

2. 感測設備清單管理介面：為了確保資安稽核所需之數據源不中斷，系統設計了感測器列表管理功能。此介面會自動彙整所有已連線之設備狀態，包含設備之唯一識別碼、當前連線品質以及電池電量等資訊。管理人員可透過此清單快速掌握全場域感測器之健康狀況，確保監控軌跡之完整性，避免因硬體故障導致之數據斷層。

圖 4-3 設備配置與新增功能

3. 設備配置與新增功能介面：本研究提供直覺化的設備配置介面。當新的感測節點加入網路時，使用者可在此頁面定義設備之實體位置。此介面之設計重點在於降低技術操作門檻，使非專業資訊背景之稽核人員亦能根據機房實際環境之變動，自主調整監控範圍與預警標準，展現了系統在操作設計上之便利性。

圖 4-4 稽核文件列表頁面

4. 稽核文件列表介面: 本頁面負責產製符合規範之稽核文件。介面中詳列了所有可供使用之文件模板與歷史產製紀錄。

4.2. 預期成效評估與分析結果

本研究基於 TAM 理論探討採納意向，預期系統在提升工作績效與降低操作門檻上具顯著成效。在知覺有用性方面，預期受測者肯定文件產製價值，相較傳統方式，本系統能確保數據完整並縮短準備週期，支持 H2 假說。在知覺易用性方面，視覺化監控介面預期能降低操作複雜度，正向影響有用性認知與使用態度，驗證 H1 與 H3 路徑。統計檢定預期 Cronbach's α 係數均大於 0.7，顯示衡量題項具高度一致性。透過路徑分析，預期證實知覺有用性與易用性為驅動使用意願之關鍵。此外，差異性分析預期顯示具資安背景或稽核經驗者，在知覺有用性評分上顯著優於一般使用者，反映出系統解決稽核人工負擔之實務價值。

4.3. 系統比較與討論

本研究將系統與傳統資料中心基礎設施管理（DCIM）方案對比，突顯兩大獨特優勢：(1) 功能整合深化：傳統 DCIM 偏重即時監控與告警，本系統則進一步整合稽核模板，讓使用者在同一平台完成數據檢索與格式套表，有效優化從採集到文件產製的行政流程；(2) 通訊彈性與輕量化：相較傳統方案之封閉協議，本系統採 MQTT 輕量化傳輸，確保低延遲推送且不干擾機房既有網路，並透過 Zigbee2MQTT 整合異質設備，顯著提升佈署靈活性與相容性。

5. 結論與未來展望

5.1. 研究結論與貢獻

本研究開發一套整合 Zigbee 感測技術、MQTT 通訊協定與 ASP.NET 網頁框架之資安監測系統。透過實體層、資料連結層與應用層之系統化佈署，本研究驗證了物聯網技術在資安維運環境中之應用潛力。本系統之實務貢獻在於解決了傳統機房稽核過程中，因人工抄錄環境數據所導致的效率低落與數據準確性問題。

5.2. 研究限制與未來方向

儘管本研究已完成核心系統之建置與初步功能驗證，但在研究深度與廣度上仍存在提升空間。在研究樣本方面，受限於開發時程與實驗環境，目前僅進行初步之功能性實測，未來將擴大受測對象之規模，並且邀請更多具備不同產業背景之資安稽核人員參與測試，以強化統

計分析之代表性與概化能力。在系統功能方面，目前的稽核模板主要針對環境監控紀錄進行產製，未來研究可規劃納入更具深度的資安日誌分析或結合人工智慧演算法進行異常行為偵測，以便提供更具預警功能之決策支援。最後，本研究將進一步探討系統在不同網路環境下的通訊穩定性與安全性，並嘗試整合區塊鏈技術確保日誌存證，期許能夠建構出一套更為完善且具備韌性之資安稽核解決方案。

致謝

本研究承蒙國家科學及技術委員會補助計畫（計畫編號: NSTC 114-2410-H-167-007）經費支持，特此致謝。

參考文獻

數位發展部資通安全署（2018）。資通安全管理法。https://law.moj.gov.tw/LawClass/LawAll.aspx?pcode=A0030297

金融監督管理委員會（2023）。金融機構資通安全防護基準。https://law.fsc.gov.tw/LawContent.aspx?id=GL000109

Agarwal, R., & Prasad, J. (1999). Are individual differences germane to the acceptance of new information technologies? Decision Sciences, 30(2), 361–391.

Banks, S., & Gupta, A. (2014). MQTT essentials: A lightweight IoT protocol. Packt Publishing.

Baronti, P., Pillai, P., Chook, V. W., Chessa, S., Gotta, A., & Hu, Y. F. (2007). Wireless sensor networks: A survey on the state of the art and the 802.15.4 and ZigBee standards. Computer Communications, 30(7), 1655–1695.

Davis, F. D. (1989). Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. MIS Quarterly, 13(3), 319–340.

Gislason, D. (2008). ZigBee wireless networking. Newnes.

Hillar, G. C. (2017). MQTT programming with Python. Packt Publishing.

Humphreys, E. (2016). Implementing the ISO/IEC 27001 ISMS standard. Artech House.

International Organization for Standardization. (2022). ISO/IEC 27001:2022 Information security, cybersecurity and privacy protection—Information security management systems—Requirements.

Koenkk. (2024). Zigbee2MQTT. GitHub. https://github.com/Koenkk/zigbee2mqtt

Legris, P., Ingham, J., & Collerette, P. (2003). Why do people use information technology? A critical review of the technology acceptance model. Information & Management, 40(3), 191–204.

Rodriguez, M. G., Uriarte, L. E. O., Jia, Y., Yoshii, K., Ross, R., & Beckman, P. H. (2011). Wireless sensor network for data-center environmental monitoring. 2011 Fifth International Conference on Sensing Technology (ICST), 533-537.

Vasarhelyi, M. A., Alles, M., & Williams, K. T. (2012). Continuous assurance for the now economy. Institute of Chartered Accountants in Australia.

Venkatesh, V., & Davis, F. D. (2000). A theoretical extension of the technology acceptance model: Four longitudinal field studies. Management Science, 46(2), 186–204.

World Health Organization. (2016). Guidance on good data and record management practices. WHO Press.