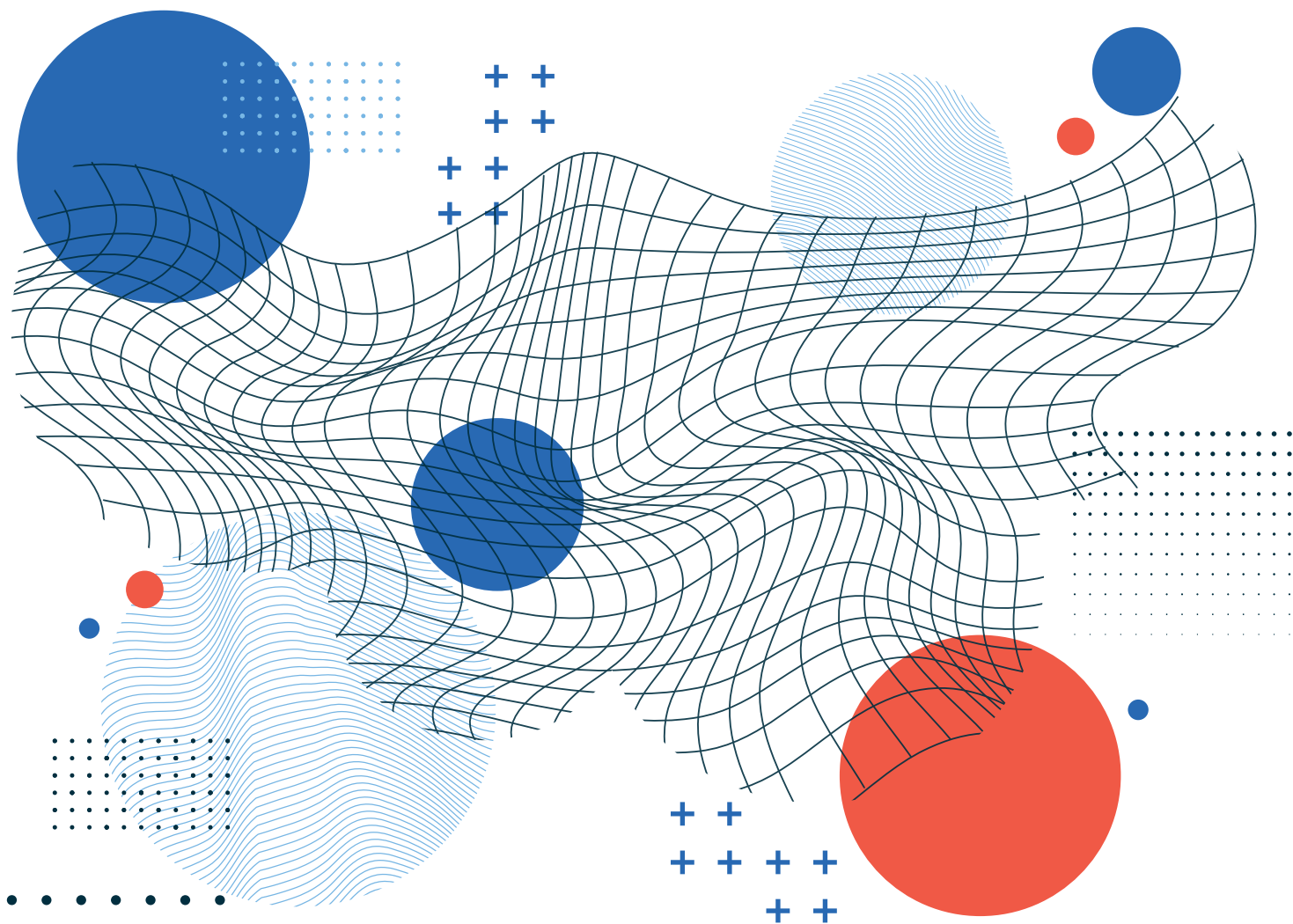


2026 ICEET

第十五屆 數位學習與教育科技國際研討會
International Conference on E-learning and Educational Technology

智慧教育×永續共榮

論文集 PROCEEDINGS



城市天眼：智慧救援決策與應變系統生態鏈

Urban Eye: Smart Rescue Decision & System Response Ecosystem

¹趙俞晴* ²譚安辰 ³陳品崐 ⁴周佳弘

¹ZHAO,YU-QING ²TAN,AN-CHEN

³CHEN,PIN-WEI ⁴JHOU,JIA-HONG

¹²³⁴ 義守大學

¹²³⁴ I-Shou University

¹²³ 資訊工程學系 學生

⁴電子工程學系 教授

¹²³ Student, Department of Information Engineering

⁴ Professor, Department of Electronic Engineering

¹E-mail:lorina960411@gmail.com ²E-mail:frcquail@gmail.com

³E-mail:SSChc123456@gmail.com ⁴E-mail:topjkpos@gmail.com

摘要

本研究提出「智慧救援生態鏈」概念，旨在解決現行緊急救援中交通壅塞與跨單位資訊孤島等致命痛點。系統整合 5G 通訊網路、AIoT 技術與城市既有基礎設施，導入 Unity 3D 開發具備動態反饋的數位孿生高擬真城市模型，並全面結合邊緣運算與影像去識別化以確保民眾隱私安全。其核心應用包含：透過雲端動態調控紅綠燈為救援車輛提供連續綠色通行，有效縮短 20% 至 40% 的到場時間；向一般民眾推播導航預警以降低二次事故機率；打造多單位同步的 3D 雲端指揮平台實現無縫協作；必要時可動用結合 5G 的無人機建構無死角的陸空協同救援；並與智慧建築深度連動以掌握災區內部資訊。本系統具備非破壞性升級與零信任資安架構，合永續發展指標。模擬結果顯示，本架構預期可有效提升跨單位協作效率，為未來智慧城市之防災應變提供具可行性之技術框架。

關鍵字：跨單位協作； AIoT 人工智慧物聯網；號誌動態調控；智慧救援

Abstract

This study proposes the "Urban Eye: Smart Rescue Decision & System Response Ecosystem," aiming to address critical pain points in current emergency rescue operations, such as traffic congestion and cross-agency information silos. The system integrates 5G communication networks, AIoT technologies, and existing urban infrastructure. It utilizes Unity 3D to develop a highly realistic digital twin city model with dynamic feedback, and fully incorporates edge computing and image de-identification to ensure citizens' privacy and security.

Its core applications include: dynamically controlling traffic lights via the cloud to provide continuous green corridors for rescue vehicles, effectively reducing arrival times by 20% to 40%; pushing navigation warnings to the general public to reduce the probability of secondary accidents; creating a multi-agency synchronized 3D cloud command platform to achieve seamless collaboration; deploying 5G-integrated drones when necessary to establish a comprehensive air-ground collaborative rescue model with no blind spots; and deeply linking with smart buildings to grasp internal information within disaster zones.

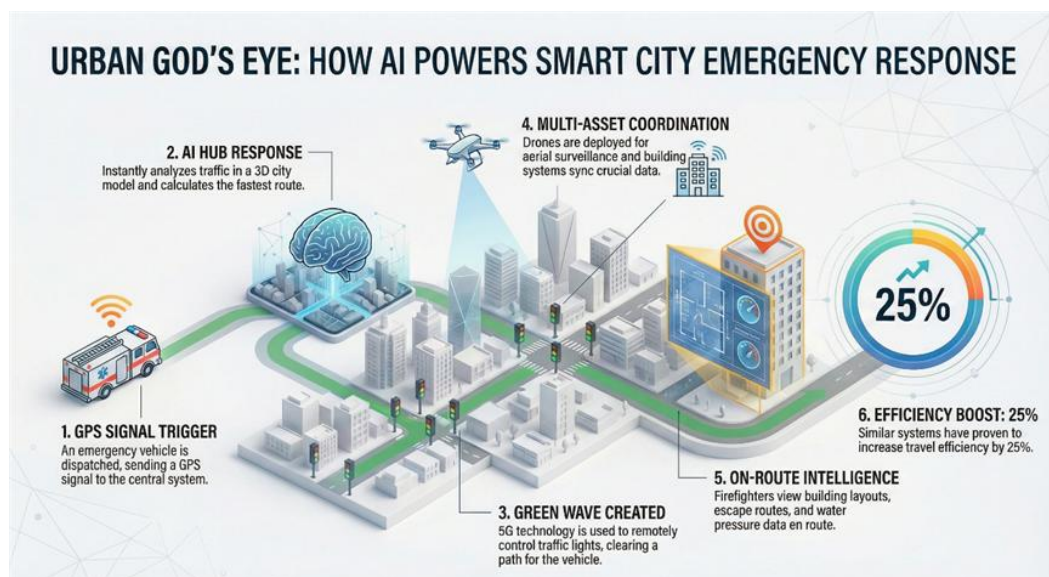
This system features non-destructive upgrades and a Zero Trust cybersecurity architecture, aligning with sustainable development indicators. Simulation results indicate that this architecture is expected to effectively enhance cross-agency collaboration efficiency, providing a feasible technical framework for disaster prevention and response in future smart cities.

Keywords: Cross-agency Collaboration; Artificial Intelligence of Things; Dynamic Traffic Signal Control ;Smart Rescue

壹、緒論

一、研究背景與動機

隨著全球都市化程度提升，城市面臨之複合型災害風險急遽增加。傳統的緊急救援往往侷限於單點突破或是單一單位的獨立行動，而本專案的核心願景，便是要將這種傳統的單點救援模式，全面升級並轉型為一個跨部門、高度整合的城市級 AI 協同指揮中樞(如圖一)。



圖一：Ai 生為整體系統示意圖

二、現行城市救援面臨之嚴峻難點

在深入探討城市基礎設施的現況後，歸納出目前城市中的緊急救援流程常面臨急迫的問題。首先，交通號誌無法即時連動與應變，在交通尖峰時刻，緊急救援車輛經常受困於壅塞的車陣中，而現有的紅綠燈系統無法即時因應急難路線進行動態調整，導致黃金救援時間在塞車中流失。跨單位的資訊孤島導致決策嚴重遲誤，當重大事故發生時，警政、消防、醫療救護與交通管理等各單位的資訊系統往往是各自獨立、互不相通的，這種跨單位資訊不同步的狀況，不僅造成災難現場尋人耗時，更會導致整體救援決策的延宕與資源浪費。

三、研究目的與未來願景

基於上述論點，本專案的最終目的在於，將城市本身視為一個龐大且有感知能力的載體，藉由整合新一代的 5G 通訊網路、AIoT 技術以及城市既有的基礎設施，打造出一套具備極低延遲、極高覆蓋率的「智慧救援生態鏈」。預計這套系統能在未來 3 到 5 年內實際落地運行，不僅能解決上述分秒必爭的救援難題，更將成為未來智慧城市不可或缺的核心基礎架構。

貳、文獻探討

一、智慧城市與跨單位協作中樞

現代都市之複合型災害亟需跨單位協同應變，然傳統救援常受限於資訊孤島效應，導致決策遲誤。近年文獻指出，5G 通訊網路與物聯網 (IoT) 已成為建構智慧城市之底層架構，結合人工智慧能有效建立跨部門之雲端指揮中樞，打破警政、消防與醫療間之資訊壁壘。在視覺化層面，數位孿生技術正逐步取代傳統 2D GIS。透過引擎與多源數據融合 (Multi-source Data Fusion) 技術，可建構具備動態反饋的高擬真城市模型，結合代理式 Agentic AI 與大型語言模型 (LLMs)，不僅能建立無縫協作的虛擬戰情室，亦可整合建築資訊模型為建築內部提供自動化之動態疏散規劃，大幅提升立體空間之決策精準度。

二、智慧交通調控與邊緣隱私保護

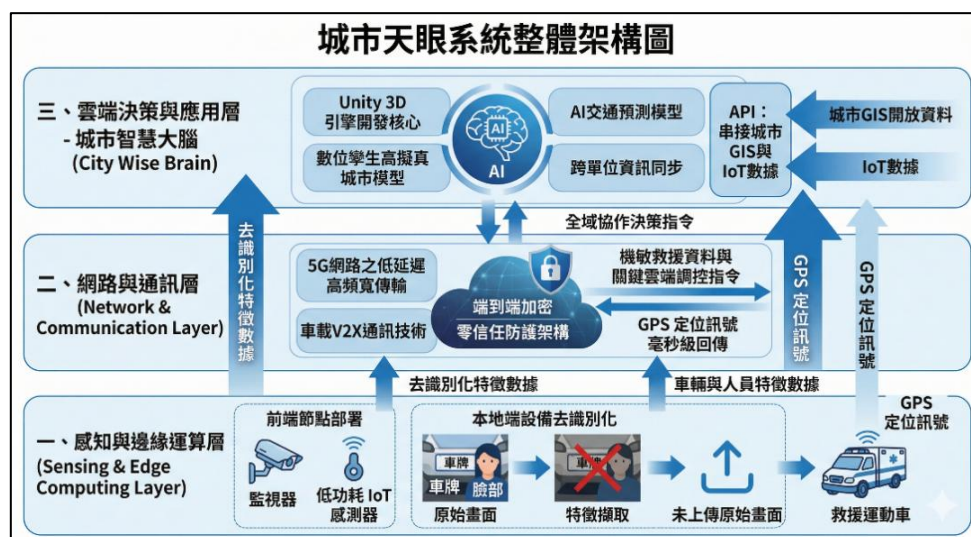
在爭取黃金救援時效上，我們結合 5G 大頻寬與低延遲特性與 AI 車流預測之動態號誌調控技術，如緊急車輛號誌優先系統 (EVP)，能主動為救援車輛規劃連續之綠燈廊道，大幅降低路口衝突風險。並透過雲端架構進行非破壞性升級之特質，能免去全面更換實體設施的龐大成本，具備極高之實務可行性。然而，城市級監控網絡擴張亦伴隨「全景監獄」之隱私疑慮，為兼顧治安、隱私與數位人權，現行研究多主張導入邊緣運算 (Edge Computing)，將影像特徵擷取移至前端設備處理，並輔以 k-Same 或 PriSE 等即時影像去識別化技術，確保未經授權人之原始影像不上傳雲端，徹底落實資料不落地，從源頭阻斷個資外洩。此外，針對機敏救援數據與系統調控權限，導入零信任架構 (Zero Trust Architecture) 與端到端加密，以防範駭客惡意攔截或竄改，已成為保障關鍵基礎設施安全及城市數位韌性之必要手段。

三、無人機陸空協同救援模式

針對地面人員難以立即進入之災區，無人飛行載具 (UAV) 之陸空協同救援模式成為近期突破點，結合 5G 網路之無人機不僅能回傳低延遲高空全景，搭載熱成像等感測器亦能自動分析火場溫度與建築受損程度。近期文獻深入探討了無人機與地面車輛之協同作業，證實將無人機納入標準救援編制，並賦予其快速投放自動體外心臟去顫器 (AED) 或微型急救裝備之能力，能有效弭平救援時間空窗。實證研究亦表明，在都會環境中利用 UAV 遞送 AED 具備高度可行性，對於提升突發性心跳停止患者之存活效益扮演著關鍵角色。

參、系統架構設計

本研究捨棄傳統之單點救援模式，提出「城市天眼」系統架構，為達成非破壞性升級與高環境相容性，本系統架構由下至上可劃分為感知與邊緣運算層、網路通訊層，以及雲端決策應用層。（如圖二）



圖二：Ai 生為示意圖

一、感知與邊緣運算層

系統於前端節點廣泛部署邊緣運算設備與低功耗 IoT 感測器。為兼顧城市監控與嚴格之隱私保護規範，本架構採用輕量化物件偵測模型進行車輛與人員之特徵擷取，所有針對臉部與車牌之 AI 辨識作業，皆強制於本地端設備完成即時影像去識別化，確保未經授權之原始畫面不被上傳，從源頭阻斷個資外洩風險。

二、網路與通訊層

本層次利用 5G 網路之低延遲與高頻寬傳輸特性，結合車載 V2X (Vehicle-to-Everything) 通訊技術，確保出勤救援車輛之 GPS 定位訊號能毫秒級回傳。同時，針對所有機敏救援資料與關鍵雲端調控指令，全面導入端到端加密 (End-to-end encryption) 與零信任防護架構，確保資料傳輸之絕對安全。

三、雲端決策與應用層

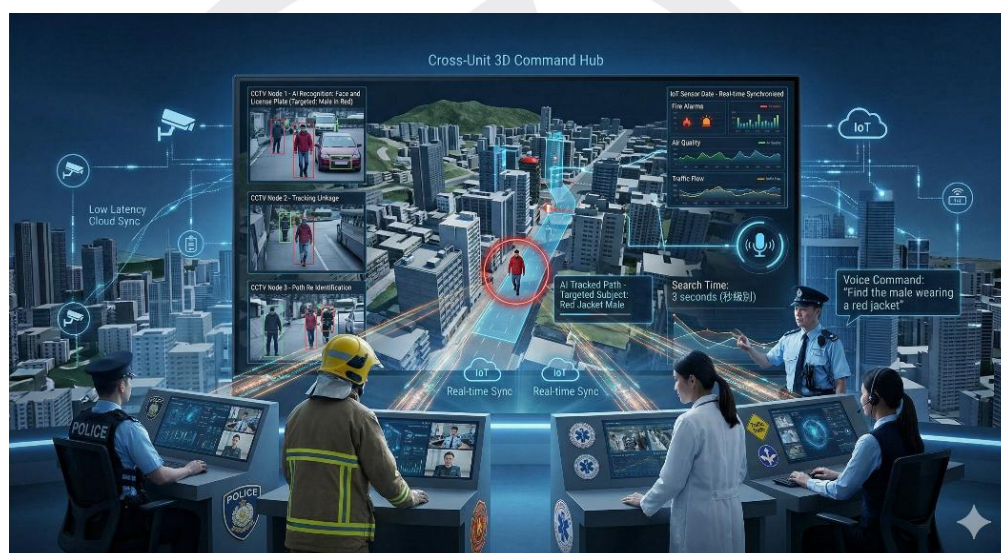
作為整個城市的智慧大腦，雲端層捨棄傳統平面 2D GIS 地圖，改以 Unity 3D 引擎為開發核心，系統透過 API 即時串接城市 GIS 開放資料與 IoT 數據，建構出具備動態反饋之數位孿生高擬真城市模型。此層負責運行 AI 交通預測模型、執行跨單位資訊同步，並下達全域協作之決策指令。

肆、系統實作與效能評估

經過軟硬體技術的深度整合，本「城市天眼」系統模擬實驗與系統實作結果為以下五點涵蓋陸、空、建築等多維度的核心智慧救援功能：

一、跨單位 3D 雲端指揮中樞與 AI 多源目標追蹤

為解決傳統救援中警政、消防、醫療與交通管理單位間之資訊孤島問題，本系統計畫為多單位同步 3D 雲端指揮平台。事故現場之即時影像分析結果與 IoT 感測器數據，皆能以極低延遲同步上傳並共享至各單位，並在目標追蹤實作上，整合 AI 臉部與車牌辨識技術，具備跨監視器節點之串聯追蹤能力，指揮官可透過直覺化之語音指令，例如：「找到穿紅色衣服的男子」，系統即能運用自然語言處理與視覺比對，快速定位目標並於 3D 數位孿生模型上自動生成移動路徑圖(如圖三)，將過往耗時數十分鐘的搜索時間壓縮至秒級別。



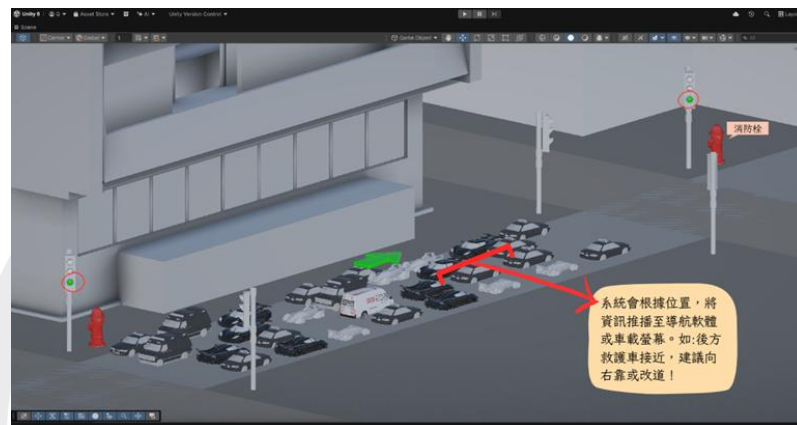
圖三：Ai 生為示意圖

二、邊緣 AI 動態號誌調控與 V2X 導航預警機制

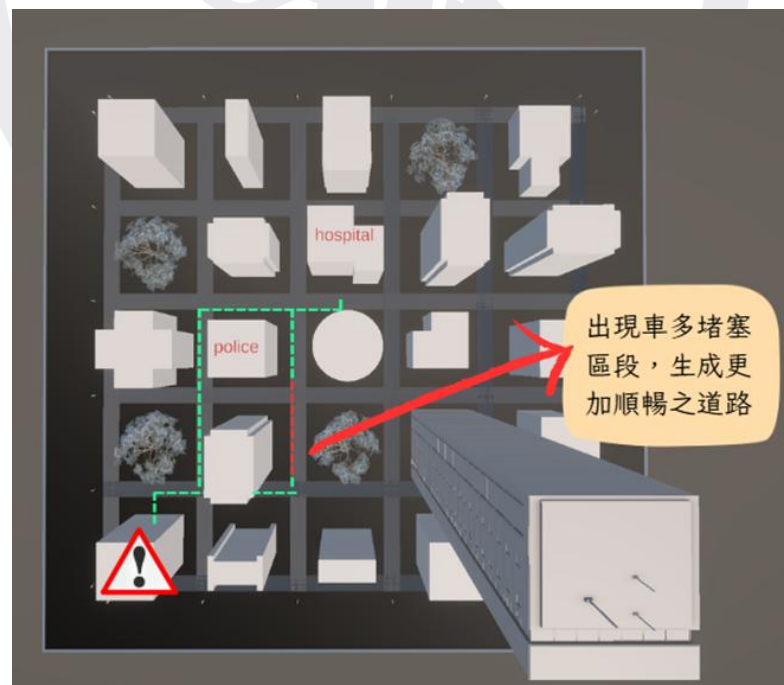
針對救援車輛之交通延誤痛點，系統內建之 AI 交通預測模型會持續接收救援車輛之 GPS 定位與車載 V2X 通訊訊號，模型會分析 3D 城市車流狀況並計算最佳通行路線，隨後利用 5G 網路對沿線智慧紅綠燈下達雲端指令，主動為救援車輛鋪設連續之綠燈通行廊道，同時將橫向衝突方向切換為紅黃燈(如圖四)。此外，系統之 AI 會同步追蹤一般道路使用者，並透過 V2X 技術將預警資訊，如「後方救護車接近，建議改道」或「前方事故需減速」，直接推播至民眾之手機導航或車載螢幕(如圖五)，此舉不僅能提前淨空救援通道，更大幅降低因駕駛驚慌而引發之二次交通事故機率。Unity 製作模型(如圖六)。



圖四：Ai 生為示意圖



圖五：Unity 製作模型



圖六：Unity 製作模型

三、5G 無人機陸空協同與微型裝備投放

本系統將 5G 無人機 (UAV) 正式納入標準救援編制，支援系統自動派遣或現場人員呼叫升空，無人機除了能即時回傳低延遲之災區俯視全景影像外，其搭載之進階熱成像感測器能自動分析火場中心溫度、有毒煙霧擴散方向，並精準評估建築物受損與潛在倒塌風險。在地面人員無法立即接近之極端環境，如山區落石、河岸意外，無人機可執行精準投放任務，空投自動體外心臟去顫器、簡易急救包或水上救生圈等微型裝備，為現場民眾提供初步處置能力，建構零死角之混合救援模式。(如圖六)



圖六：Ai 生為示意圖

四、智慧建築物深層物聯網數據連動

為實現精準救援，本系統具備可向合作之私人場域延伸之能力，可與城市內之智慧建築進行深度連動。當建築內部偵測到異常時，系統會自動匯整內部關鍵數據，含各樓層煙霧偵測數值、人員熱點分佈、電梯安全狀態及最佳逃生動線。此功能使消防人員於搭車前往火場之途中，即可透過車載螢幕或平板電腦完全掌握建築內部之高危險環境狀況，有效避免盲目進入未知區域所面臨之生命風險(如圖七)。



圖七：Ai 生為示意圖

伍、未來展望

一、B2G 政府端核心應用

本「城市天眼」系統預計能在未來 3 到 5 年內實際落地運行，隨著 5G 通訊網路與 AIoT 技術的持續普及，本系統將不僅限於單一示範區域，而是會全面擴展，可用於政府的交通號誌控制與跨單位指揮平台，這能解決現行救護車尖峰時刻難以抵達的問題，並透過數據化指標提升城市治理與市民滿意度。

二、SaaS 訂閱制雲端模擬訓練

針對警消單位的演練需求，系統的 Unity 3D 城市模型可轉化為「災害模擬演練系統」，利用既有的 AI 車流與情境模型生成隨機災害劇本，提供雲端模擬訓練服務並收取年度軟體授權費，讓警消無需實地封路即可進行高風險場景的指揮調度訓練。

三、民間保全商機拓展

為實現更精準的救援，系統未來具備強大的擴充性，可進一步向合作的私人場域延伸，透過與城市內更多智慧建築進行深度連動，系統將能更全面地掌握建築物內部的即時感測數據與人員分佈，讓救援行動從公共道路無縫銜接至私人建築內部。

四、落實永續循環與國家級強韌資安

在硬體發展上，將持續落實循環經濟原則，選用低功耗 IoT 感測器且外殼採用再生塑料製造，從源頭減少電子垃圾。同時，為確保「城市天眼」系統的絕對安全，未來將持續深化符合國家關鍵基礎設施標準的資安防護，包含嚴格的零信任存取控制、端到端加密傳輸，以及抗 DDoS 與異地備援機制，保障救援行動永不中斷。

陸、參考文獻

- Dhanraj S. Degure. (2024, November 11). *Impact of 5G Technology and IoT on Smart Cities*. Journalspub. <https://journalspub.com/wp-content/uploads/2024/11/Impact-of-5G-Technology-and-IoT-on-Smart-Cities-1-1.pdf>
- Gong, L., Ding, M. (2025). *Urban traffic digital twin system development in Unity: Multi-source data fusion and GPU acceleration*. Nature. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-23943-7>
- Monique A.Starks MD,MHS ,Jamal Chu BASc ,K.H.Benjamin Leung MASc et al. (2024, July 01). *Combinations of First Responder and Drone Delivery to Achieve 5-Minute AED Deployment in OHCA*. <https://doi.org/10.1016/j.jacadv.2024.101033>
- Erwin J.Sacoto-Cabrera ,Antonio Perez-Torres ,Luis Tello-Oquendo and Mariela Cerrada. (2025, October 16). *IoT, AI, and Digital Twins in Smart Cities: A Systematic Review for a Thematic Mapping and Research Agenda*. MDPI. <https://doi.org/10.3390/smartcities8050175>
- Scott Rose, Oliver Borchert, Stu Mitchell. (2020, August 01). *Zero trust architecture (NIST Special Publication 800-207)*. National Institute of Standards and Technology.. NIST. <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/specialpublications/NIST.SP.800-207.pdf>
- Yu Cao, Cong Xu, Nur Mardhiyah Aziz, Syahrul Nizam Kamaruzzaman. (2023, March 10). *BIM–GIS Integrated Utilization in Urban Disaster Management: A Systematic Review*. MDPI. <https://www.mdpi.com/2072-4292/15/5/1331>
- Alem Fitwi, Yu Chen, Sencun Zhu. (2021). *Privacy-Preserving Surveillance as an Edge Service Based on Lightweight Video Protection Schemes Using Face De-Identification and Window Masking*. MDPI. <https://www.mdpi.com/2079-9292/10/3/236>
- Sweeney, L. (2002, November 15). *Preserving privacy by de-identifying facial images (CMU-CS-03-119)*. Carnegie Mellon University. <https://apps.dtic.mil/sti/tr/pdf/ADA460282.pdf>
- Muhammad Liman Gambo, Ahmad Almulhem (2025, March 04). *Zero Trust Architecture: A Systematic Literature Review* <https://arxiv.org/html/2503.11659v2>
- Hempel, L. (2002, January 01). *Urbaneye: On the Threshold to Urban Panopticon? Analysing the employment of CCTV in European cities*. UrbanEye. http://www.urbaneye.net/results/ue_wp1.pdf

C. R. Godes, S. A. Rodrigazo, J. Cho, Y. Song, J. Yeon. (2024, November 05). *Optimizing evacuation efficiency in buildings: A BIM-based automated approach to sustainable design*. MDPI. <https://doi.org/10.3390/su16219240>

Ranjan.G. , Akshatha.S , Sandeep.N , Vasanth.A (2025) *ENHANCING SURVEILLANCE SYSTEM THROUGH EDGE COMPUTING:A FRAMEWORK FOR REAL-TIME HUMAN DETECTION* <https://doi.org/10.5121/cseij.2025.15116> Computer Science & Engineering: An International Journal (CSEIJ), Vol 15, No 1, February 2025

Aparna Bhande. *A Systematic Review of Data Security and Privacy-Preserving Models for Smart Cities and Edge Computing Environments*
<https://doi.org/10.1051/epjconf/202534101024> EPJ Web of Conferences 341, 01024 (2025) ICATCICT 2025

Mohammad Morsali, Siavash H. Khajavi. (2026). *Digital Twin and Agentic AI for Wildfire Disaster Management: Intelligent Virtual Situation Room*. Cornell University.
<https://arxiv.org/abs/2602.08949>

Przemysław Konopski, Roman Pilch, Wojciech Bonenberg. (2026,February 06). *Responsive Architecture in Practice: BIM/DT/AI/IoT for Dynamic Evacuation—Case Studies*. Preprints.
<https://www.preprints.org/manuscript/202602.0570/v1>

