

基於 PTZ 攝影機之即時 3D 影像監控系統

Video Surveillance System for 3D Objects/Spaces/Areas Covering by PTZ Cameras

林奕廷, 吳昆儒, 林亭佑
國立交通大學電機工程系
tingyoyo@nctu.edu.tw

李冠毅, 梁家銘, 范崇碩, 曾煜棋
國立交通大學資訊工程系
jmliang@cs.nctu.edu.tw

摘要

影像監控系統是常見於環境的監視應用，如：公司、廠房、校園及辦公室的監控等，尤其針對重要出入口、貴重器材、機具、材料及人員的出入管控等。然而，目前影像監控系統所達到的覆蓋效果，多半只針對 2D 平面的涵蓋，至於 3D 物體、空間或區域者，其具可視角度限制及遠近等解析度條件，並沒有一個較精確的覆蓋方式。因此，我們希望設計一套適用於 3D 環境的影像監視系統，此系統會利用具水平、垂直及變焦之攝影裝置 (Pan-Tilt-Zoom Camera)，提供即時的物體、空間、區域等監控，尤其針對突發性事件如：辦公室/工廠/校園火災、員工/學童異常聚集、械鬥或陌生訪客未經授權侵入等，提供即時攝影機的調派及影像顯示。透過系統評測結果，其說明我們開發的影像監控系統能在有效時間內完成物體、空間、區域的監視，同時達成較高的覆蓋率。

關鍵詞：三維覆蓋、具水平/垂直及變焦之攝影機、影像監控。

Abstract

Video surveillance systems are commonly used on environment monitoring, such as factory, school, and office, especially for the entrance, precious machine, material and staff going in/out. However, the achieved coverage of most existing surveillance systems is only for 2D environment; the object/space/area in 3D environment with the properties of viewing angle and resolution are not precisely considered. Therefore, we design a video surveillance system for 3D object/space/area, which makes use of the cameras with pan, tilt, and zoom capabilities (PTZ cameras) to provide real-time covering, especially

for unexpected events happen such as fire accident, staff fights, or unauthorized visitors to the critical regions. Simulation results show that the proposed video surveillance system can effectively monitor the target object, space, area with high coverage ratio.

Keywords : 3D Covering, PTZ Camera, Video Surveillance System.

一、簡介

由於 PTZ camera 的技術在近年成長的非常快速，讓更多的應用可以基於 PTZ camera 被開發出來，例如物件的自動追蹤、PTZ camera 的動態配置[1],[2]等，而歸功於這類監控的系統的出現，讓我們的財產，無論在博物館、工廠或住宅裡等地方，都可以獲得更大的保障。在這個研究中，我們會提出一個新的監控方式：方體區域空間或物件，而我們會基於這個監控方式去開發一個即時的監視系統，當有事件發生，系統會在已部署好的 PTZ camera 裡調派數量最少且同時滿足最大覆蓋數的一組 PTZ camera 去覆蓋由保全人員所指定的方體空間區域或物件。傳統的 camera，在部署完後，鏡頭就已經固定無法轉動，因此，如果要利用傳統的 camera 去達成方體區域空間的覆蓋，必須付出很大的成本；因此，我們便改以事件觸法的方式輔以 PTZ 的特性去克服成本問題來豐富我們即時監視系統的內涵。我提出的即時監視系統叫做 Real-time Surveillance System for 3D Object/Area/Space Covering with PTZ Cameras，在保全人員的操作端部分，我們設計了一個程式介面，方便保全人員可以輕鬆的操作系統以及監看監視器畫面；在系統端裡，我們設計一個演算法叫做 CCM With CM (Camera coverage maximum with camera min-

imum), 目的是去挑選一組數量最少且同時滿足最大覆蓋數的 PTZ camera 去覆蓋所指定的長方體空間區域或物件。在接下來的章節二裡, 我們會首先引進一個新的監控方式-方體區域空間或物件, 然後再介紹我們的系統架構以及相關演算法。

二、系統設計

監控條件 - 方體區域空間或物件

Fig.1 表示我們提出的監控方式-方體區域空間或物件, 一個長方體的面由許多的網格點所組成, 每一個網格點都有自己的面向向量, 一個區域被覆蓋的程度, 取決於網格點被覆蓋的數量, 當所有的網格點都在所挑選出的一組 PTZ camera 覆蓋下, 我們能才說監控區域被完全覆蓋。而一個網格點是否有被一個 PTZ camera 必須滿足以下條件(i)這個網格點的面向向量 \vec{F} 和網格點到 PTZ camera 的向量 \vec{UC} 之間的夾角必須小於 θ , 如 Fig. 2, (ii) 網格點在 PTZ camera 視野內且 PPF(pixels per foot)必須大於 α , 如 Fig. 3。藉由以上條件的要求下, 此系統就可以確保一個方體空間區域或物件的每一個面都可以在有效的角度和解析度下被監看。

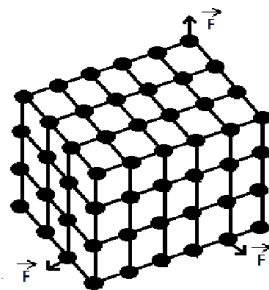


Fig.1 方體區域空間或物件, \vec{F} :網格點面向向量。

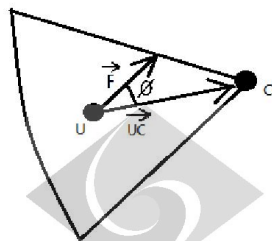


Fig. 2 \vec{F} (網格點面向向量)和網格點 U 到 Camera C 的向量之間的夾角 θ 必須小於 θ 。

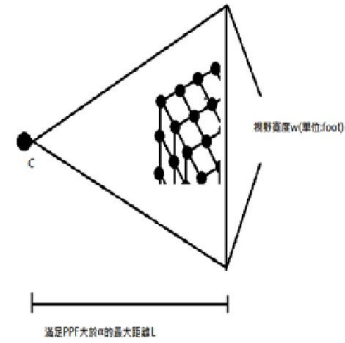


Fig. 3 網格點到 camera C 的距離必須小於 L, 如此網格點的 PPF 才會大於 α , $\alpha = \text{pixels}/w$, pixels:畫素大小。

系統架構

Fig. 4 顯示我們的系統架構, 我們的系統包含 Web 程式介面、Matlab 運算核心及 PTZ camera:



Fig. 4 系統架構。

1. Web 程式介面:

我們利用 JavaScript 和 html 設計了一個網頁程式介面, 網頁的原件包含嵌入在網頁的 camera view, 以及環境的場景圖, camera view 會秀出 PTZ camera 所傳來的監視畫面, 而環境的場景圖是由 SketchUp[3]所繪製而成, 讓保全人員可以點選想要監控的方體空間區域或物件。

2. Matlab 運算核心

在運算核心的部分, 我們利用 Matlab 程式來運行我們的演算法 CCM with CM, 這個演算法的目標是挑選出數量最少且同時滿足最大覆蓋數的一組 PTZ camera; 因此, 演算法的輸入為一組欲覆蓋的網格點座標位置, 而輸出是所選出的 camera 和它的參數配置-水平角度配置、垂直角度配置以及焦距設定。

3. PTZ camera:

我們所選用的 PTZ camera 為 Compro-IP550[4] 和 compro-IP570 [5]，網頁程式利用 Compro 公司所提供的 SDK 來對這兩個型號的 PTZ camera 下達 CGI(Common Gateway Interface) 的控制指令。

系統流程

Fig. 5 表示系統流程，當事件發生如：火災現場、群眾鬥毆或陌生人出沒等，在保全人員得知事件發生的位置後，便可以經由程式介面的場景圖選擇欲監看的區域，而區域是由方體來表示，所以保全人員可以設定方體的大小及座標，來決定監看的區域大小及位置。方體的每一個面是由許多網格點所組成，因此，當決定好長方體的大小及座標後，網頁程式會把網格點的座標位置輸入至運行演算法 CCM with CM 的 Matlab 程式，Matlab 程式在運算完後，會輸出所選出的 PTZ camera 以及個別的參數配置-水平角度配置、垂直角度配置以及焦距設定。PTZ camera 再依據個別的參數配置作相對應的動作，例如：鏡頭轉向或變焦。



Fig. 5 系統流程

CCM with CM 演算法包含兩個階段：

- 1) 第一個階段是利用 Geometric Extreme-FoV Algorithm[1]找出每一個 PTZ camera 針對指定區域的所有 FoVs，接著除去冗餘的 FoVs。
- 2) 第二階段，則是將所求得 FoVs 以及網格點做為 ILP 的 0-1 變數，利用 ILP 來求得一組擁有最少數量且同時滿足最大覆蓋

數的 FoVs，因為一個 PTZ camera 最多只有一個 FoV 會被選出(如 Fig. 6)，而 PTZ camera 會根據這個 FoV 的水平角度，垂直角度以及焦距更新原來的參數設定，所以等同於求得一組擁有最少數量且同時滿足最大覆蓋數的 PTZ camera。

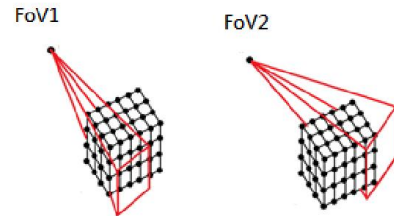


Fig. 6 一個 PTZ camera 針對一個區域可能有多個 FoV，但一個 camera 最多只有一個 FoV 會被 ILP 所選出。

CCM with CM ILP

CCM with CM ILP 的目標函式是求得最少數量且同時擁有最大覆蓋數的一組 FoVs，其中變數 X 和 γ 都是 0-1 變數， X 代表 FoV， γ 代表網格點，如果某個 FoV 被 ILP 所選擇，對應的變數 X 會被設為 1，否則為零，而每一個 PTZ camera 最多只能被選到一個 FoV。如果某個網格點被一個以上的 FoV 所覆蓋，對應的變數 γ 會被設為 1，否則為 0，網格點是否有被 FoV 所覆蓋必須滿足以下條件(i)這個網格點的面向量 \vec{F} 和網格點到 PTZ camera 的向量 \vec{UC} 之間的夾角必須小於 θ (ii) 在 FoV 內的網格點其 PPF(pixels per foot)必須大於 α 。

Objective function:

$$\text{Minimize } \sum_{j \in M, i \in \text{FoV}} (-c \times \gamma_j + X_i),$$

γ_j : target point, X_i : FoV, $c > N$, N : number of camera

Condition function:

$$a_{ik}^j = \begin{cases} 1 & \text{if camera } i \text{ with FoV}_k \text{ covers object } j. \\ 0 & \text{otherwise.} \end{cases}$$

$$\sum_{k \in \text{FoV}} X_{ik} \leq 1 \quad \forall i \in N, X_{ik}: \text{FoV}, N: \text{number of camera}$$

$$\gamma_j \leq \sum_{i \in N, k \in P} a_{ik}^j X_{ik}, L: a \text{ number is great than } N$$

$$X \in \{0,1\}, \gamma \in \{0,1\}$$

Fig. 7 ILP 函式

在 CCM with CM ILP 的求解上，我們利用 Matlab 所提供的 bintprog 函式 [6]計算。

bintprog 是利用 linear programming (LP)-based branch-and-bound algorithm [7]去解決 0-1 整數規劃的問題，有了 bintprog 的幫助，我們只要將目標函式以及限制函式轉換成 bintprog 所要求的矩陣形式，就可以取得 CCM with CM ILP 的解了。

三、實作及測試

我們在 Matlab 上做模擬實驗，模擬的 camera 為 Compro-IP570，模擬實驗的環境空間大小為 $41 \times 41(m^2)$ ，監控的物體/區域大小為 $5 \times 5 \times 2(m^3)$ ，因此共有 108 個網格點，監控區域隨機座落於環境空間裡，camera 也是隨機佈建在環境空間裡，布建的高度在三至五公尺的範圍裡。實驗結果如 Fig. 8。

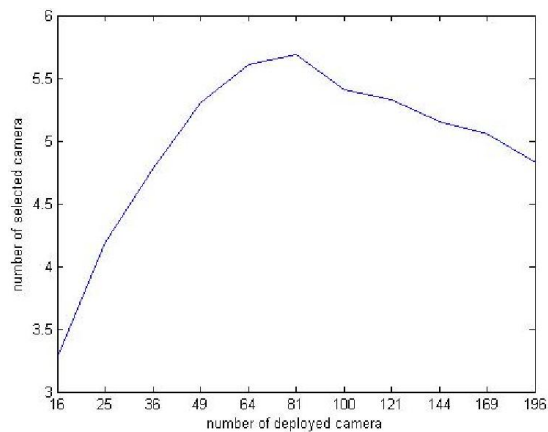


Fig. 8(a) y 軸為 number of selected camera，x 軸為 number of deployed camera。

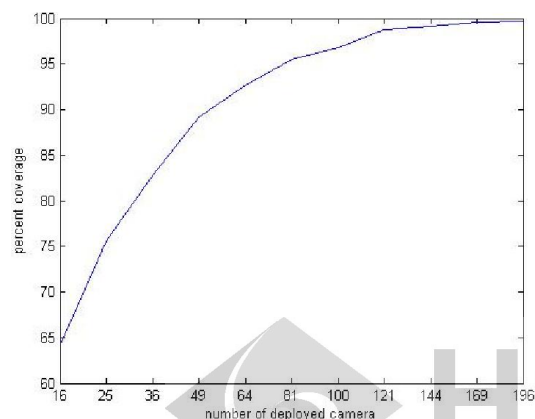


Fig. 8(b) y 軸為 coverage ratio，x 軸為 number of deployed camera。

四、結論

在這個研究中，我們提出了混合 camera 數量及設置之最佳化問題。目標是希望以最少數量 camera 覆蓋最多範圍外，當有多組 camera 達到最大履蓋率時，期望 camera 能以最少的位移來達成履蓋。在滿足監控物體可視角度及 PPF 的條件下，可確保讓使用者清楚的掌握監視畫面。

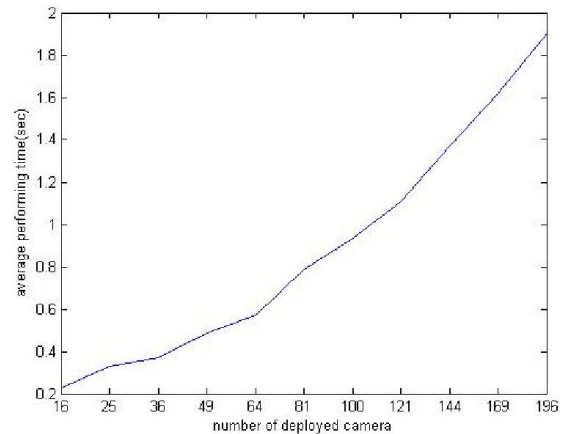


Fig. 8(c) y 軸為 average performing time，x 軸為 number of deployed camera。



Fig. 9 實作的 Web 程式介面

Acknowledgement

This research is co-sponsored by MOST grants 100-2218-E-024-001-MY3, 103-2221-E-024-00, and 102-2218-E-009-014-MY3, by AS-102-TPA06 of Academia Sinica, by ITRI, Taiwan, by D-Link, and by Delta.

文獻

- [1] V. P. Munishwar, V. Kolar, N. B. Abu-Ghazaleh, "Coverage in visual sensor networks with Pan-Tilt-Zoom cameras: The MaxFoV problem," IEEE INFOCOM, pp. 1492-1500, 2014.
- [2] V. P. Munishwar and N. B. Abu-Ghazaleh,

“Coverage algorithms for visual sensor networks,” ACM Transactions on Sensor Networks, vol. 9, No. 4, pp. 1-36, 2013.

- [3] SketchUp, <http://www.sketchup.com/zh-TW>
- [4] Compro-IP550, <http://www.comprousa.com/tw/product/ip550/ip550.html>
- [5] Compro-IP570, <http://www.comprousa.com/tw/product/ip570/ip570.html>
- [6] bintprog, <http://www.mathworks.com/help/optim/ug/bintprog.html>
- [7] branch-and-bound, <http://www.mathworks.com/help/optim/ug/binary-integer>



