

①



國立交通大學

National Chiao Tung University

出國報告（出國類別： A類、考察訪問  
 B類、出國短期研究  
 C類國際會議）

②

題目：3D 立體影像擷取之研究

③

服務機關：光電系

姓名職稱：黃乙白 副教授

前往國家：美國, Ithaca, New York,  
Cornell Univ.

出國期間：2011/08/11~2011/12/31

報告日期：2011/12/31

## 一、摘要 (200-300 字)

獲邀至 Cornell University, School of ECE 進行為期 10 個月的訪問研究，研究題目為：**軟性 3D 立體顯示與擷取之演算法**，整體計畫目標為完成一軟性可撓式 3D 顯示與擷取面板，此面板因為具有可撓曲的功能，平常將能捲曲收放於口袋之中，面板的兩面分別為 3D 顯示與 3D 擷取；當要拍攝立體影像時則可將面板撓曲進行多角度拍攝，且可同步看到所拍攝的 3D 影像，若要拍攝大面積全景照亦可反向撓曲；顯示時可為曲面或是平放，便能讓使用者看到一浮出畫面的多角度立體影像。其中必須要硬體與軟體演算法的搭配方能獲得最佳的立體顯示與擷取效果，而 Cornell ECE 的 Advanced Multimedia Processing(AMP) Lab.(主持人: Prof. Tsuhan Chen, 陳祖翰教授)在 3D 多視點影像擷取與 3D 立體模型上有相當傑出的研究成果，因此申請人擬前往該實驗室完成此前瞻技術的演算法開發，之後並將結合原先申請人於交大所開發的硬體系統完成所提之研究計畫。

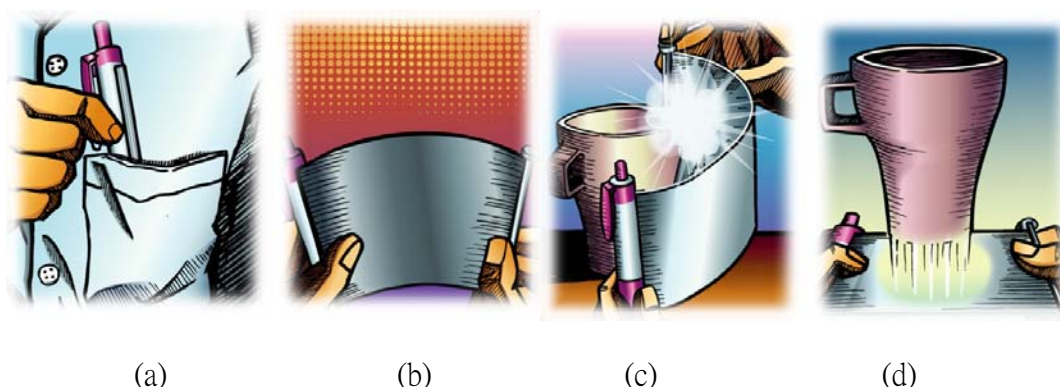
## 二、目次

封面.....	1
摘要.....	2
目次.....	3
本文.....	4
(一)目的.....	4
(二)過程.....	4
2.1 系統設計探討.....	4
2.2 系統設計成果 - 光學式 3 維影像重建法.....	9
2.3 結論與發表成果.....	15
2.4 參考文獻.....	15
(三)心得與建議.....	16
附錄.....	18

### 三、本文

#### (一) 目的

近年來，3D 立體顯示器的技術蓬勃發展，然而，若要使用者可隨身攜帶一較大型的立體顯示面板，目前仍無法達成；此外目前所謂的 3D 相機仍是利用雙鏡頭或是影像處理的方式來達成景深的擷取效果，因此並無法達到真實的多角度擷取影像的立體效果。本計畫之目標就是要開發一全新的應用技術：3D 可撓式立體顯示與影像擷取面板(3D-flexible autostereoscopic display and image capturing panel)。此面板的未來部分應用情境可如圖一所示，因為具有可撓曲的功能，平常將能捲曲收放於口袋之中，面板的兩面分別為 3D 顯示與 3D 擷取；當要拍攝立體影像時則可將面板撓曲進行多角度拍攝，且可同步看到所拍攝的 3D 影像，若要拍攝大面積全景照亦可反向撓曲；顯示時可為曲面或是平放，便能讓使用者看到一浮出畫面的多角度立體影像。

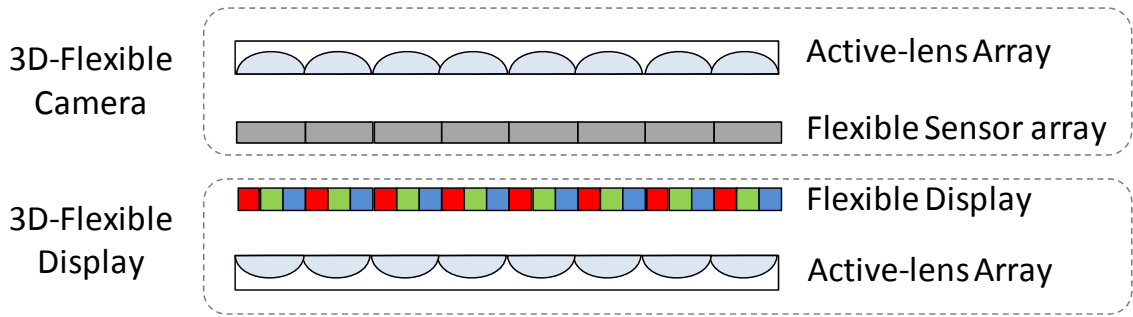


圖一、3D 可撓式立體顯示與影像擷取面板未來可能之應用情境示意圖 (a) 可捲曲收放於口袋之中，(b) 面板拉出後的兩面分別為 3D 顯示與 3D 擷取，(c) 將擷取面彎曲即可拍攝多角度的 3D 影像，(d) 平放後可顯示呈現如浮出般的立體效果。

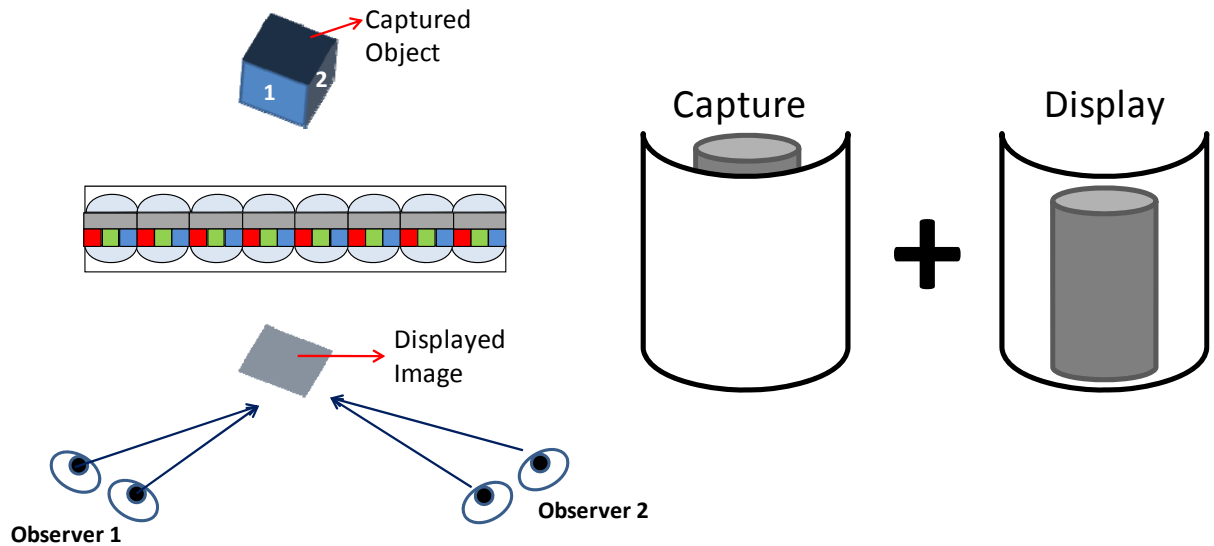
#### (二) 過程

##### 2.1 系統設計探討:

要達到上述的應用系統，3D 可撓式立體顯示與影像擷取面板，必需要結合 (1) 可撓主動式透鏡陣列、(2) 可撓式立體影像截取陣列及 (3) 可撓式立體顯示面板，如圖二及圖三所示，因此以下則會就這三種元件分別進行討論。



圖二、3D 可撓式立體顯示與影像擷取面板架構圖。



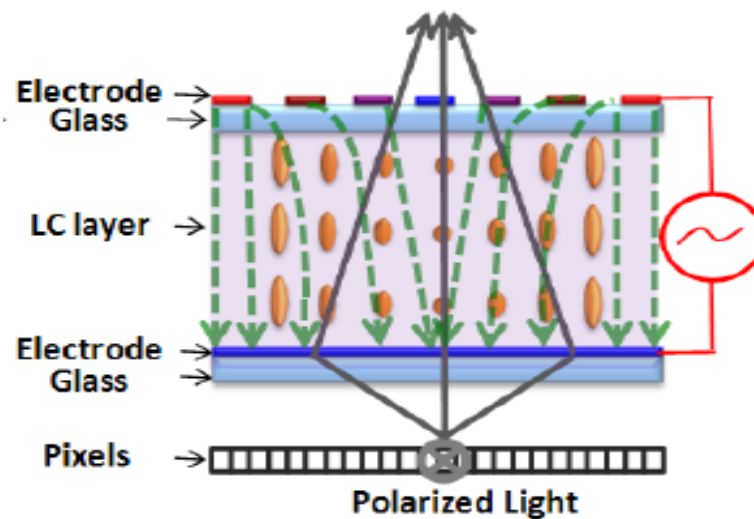
圖三、3D 可撓式立體顯示與影像擷取系統操作示意圖。

### 可撓主動式透鏡陣列 (Flexible Active-lens Array)

首先，先探討可撓式透鏡陣列。在光學系統成像中，透鏡為一主要之元件，傳統上利用玻璃、聚合物及可穿透性材料等製造而成一固態透鏡(solid lens)，擁有固定之焦距。傳統固態透鏡若想達到可變焦距透鏡(variable focus lens)之效果，勢必需要透過若干透鏡之組合，藉由調整各透鏡間距以改變系統之有效焦距，進而達到有效變焦之效果。然而，此一組合式透鏡系統雖能達到有效變焦之目的，但若干光學元件之組合也造成了體積過於龐大、笨重以及不易製成可變焦距透鏡陣列等問題。因此，若想將可變焦距透鏡陣列應用於攜帶型儀器上，開發一輕薄短小且具變焦能力之單一透鏡系統將是主要關鍵。實際上，在自然界中早已存在此種輕薄短小且具變焦能力之單一透鏡系統，人眼即為一例，經由睫狀肌控制水晶體之形狀即可達到變焦之效果。

在目前之研究中，可變焦距液態透鏡主要有三種型態：液晶透鏡(liquid

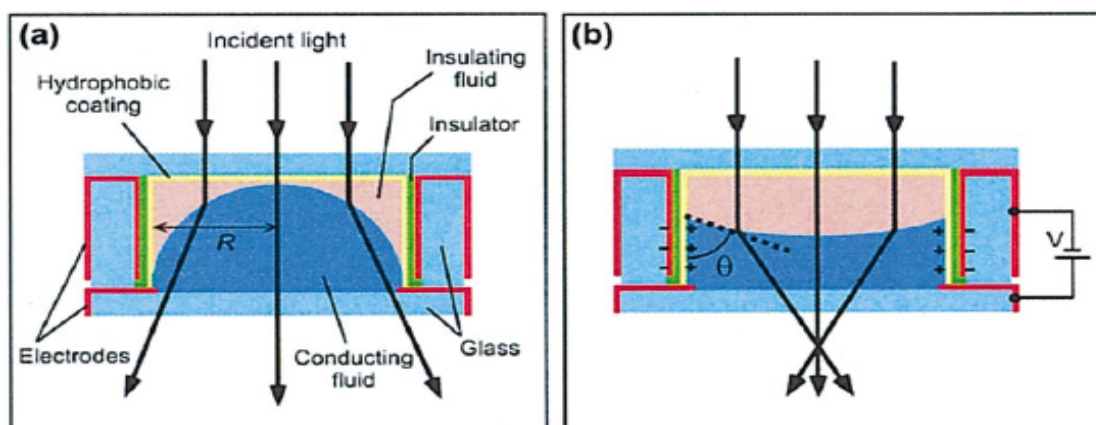
crystal lens, LC-lens)、電濕潤式透鏡(electrowetting lens, EW-lens)及液體填充式薄膜透鏡(liquid-filled membrane lens), 其驅動方式也分別不同。液晶透鏡利用外加電壓所形成的電場驅動液晶分子轉向, 形成不同折射率的液晶層, 使線偏極光通過液晶層時有不同的光程差, 進而達到聚焦之效果, 如圖四所示:



圖四、液晶透鏡之操作示意圖[1]

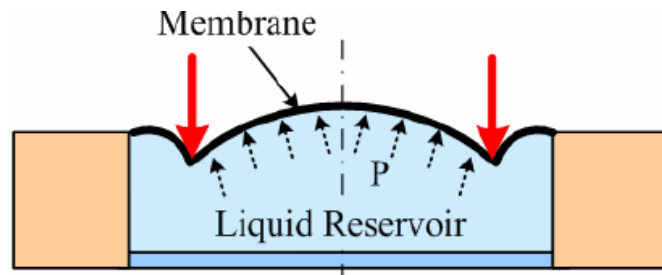
因此, 當外加電壓不同時, 液晶層的折射率也會隨之改變, 達到可變焦距之目的。與電濕潤式透鏡及液體填充式薄膜透鏡相比, 液晶透鏡有著較易控制、製成簡單及驅動電壓較低等優點, 但其最大的問題在於需要線性偏極光才能達到聚焦之效果, 因此在必須使用偏光片之情況下, 光穿透度及亮度與其他兩種液態透鏡相比會低上許多。

電濕潤式透鏡則是利用外加電壓, 藉由固體與液體間的表面張力(interfacial tension)之變化, 改變液體之形狀, 最後達到聚焦之效果, 如圖五所示:



圖五、電濕潤式透鏡之操作示意圖[2]

液體填充式薄膜透鏡可變焦距之原理則是利用改變施加於液體上之壓力，進而改變薄膜之表面曲率，以達到可變焦距之效果，如圖六所示：

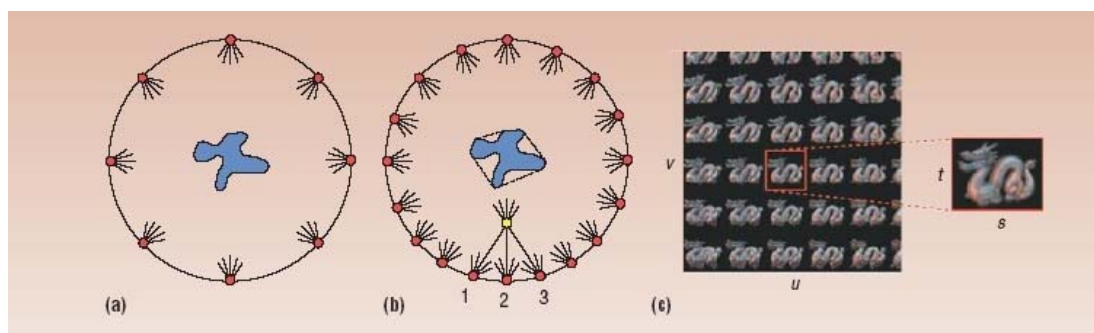


圖六、液體填充式薄膜透鏡之操作示意圖[3]

綜觀以上三種可變焦透鏡，較為成熟的為液晶透鏡，然而，此三種透鏡亦在短時間內做到可撓並應用在Flexible顯示或擷取上都仍有一段距離，因此在本年度的計畫將主要針對可撓式3D立體影像擷取為主要研究方向。

### 可撓式立體影像截取系統

近幾年來，由於數位影像感測器的價格下降以及電腦運算能力之大幅提升，使得感測器陣列系統有實現之可能。感測器陣列系統之基本想法是將大量之影像感測器以陣列之形式固定架設於一平面上，即可收集不同視角之物平面傳輸至感測器陣列平面之間之光資訊。隨著感測器陣列中不同的相機間距，感測器陣列可有不同之應用，譬如感測器陣列排列夠緊密，此一系統可視為單一中心之合成感測器，可以擁有更好之影像品質。在此系統下，解析度(resolution)、訊雜比(signal-to-noise ratio)及動態範圍(dynamic range)等特性皆可有顯著之提。若感測器陣列中感測器間距拉大，則此一感測器陣列系統可視為多中心之合成感測器，在此系統架構下所收集到之光資訊稱為光場(light field)。光場有許多應用，其中應用最為廣泛為光場渲染(light field rendering)之技術，如圖七所示：



圖七 光場渲染示意圖[6]



感測器陣列建置於圖中紅點之位置，若要看到物體(圖中藍色之部分)更多細節，就相當於從黃點位置去觀測物體，而在黃點觀測到之影像可利用紅點 1、紅點 2 及紅點 3 所記錄之影像資訊計算並顯示出來，而不須真正在黃點處拍攝。因此，只要記錄物體之影像資訊夠密集，即可顯示在此範圍內任何位置所觀測到之影像。

此外，光場之資訊也可應用在建置多視角之全景圖像(multi-perspective panoramas)及圖像拼貼法(scence collages)，可呈現不同於傳統拍攝手法之影像效果，如圖八及圖九所示：



圖八 多視角全景圖像[7]



(A) Input image

(B) Output image

圖九 圖像拼貼法[8]

若感測器陣列中感測器間距介於上述之兩種距離，此時感測器陣列系統可視為具有大合成孔徑之單一中心合成感測器。此一感測器陣列系統最大特點為具有“透視”之能力，即能拍攝被環境物所遮蔽之景像部分，如圖十所示：



(A) Input image

(B) Output image

圖十 透視圖像[9]



表三 現有多維感測器陣列之比較

現有感測器陣列類型	特色
The Stanford Multi-Camera Array(128 cameras )	使用 VGA 解析度的相機，等效於 3 尺的單一中心相機，可以用來看穿部分被阻礙的景象如同人群、樹葉。也可以用來擷取光場資訊。
The MIT Multi-Camera Array (64 cameras )	使用便宜的 QVGA 解析度的感測器來擷取光場所需資訊，無法同步拍攝，成像失真較為嚴重，但經過影像校正及處理，依舊可以產生不錯的效果。
The SONY Multi-Camera Array (20 cameras )	使用 VGA 解析度的相機，並且將陣列裝置於軟板，為一可撻式相機陣列，可用來拍攝全景資訊。並可以擷取圖像拼貼法(Scene Collage)所需影像。
The Stanford Multi-Camera Array(125 x 5 cameras )	使用 VGA 解析度的相機，並將五個相機陣列建置於一圓周上，使此相機陣列系統可以從更多的視角收集所需的光場資訊，但所需處理資料量相對龐大許多。

然而，這些多維相機陣列在 3D 立體影像重建的部分都是利用影像的特徵點在多張圖像中重複比對，把拍攝相機的位置推測出來，然後進一步將其三維模型重建；但是用影像特徵比對的方式，往往會根據影像的複雜程度而有所變化，甚至大多數的影像並無法重建的相當完整，原因就是回推的相機位置並不正確。因此便提出了利用光學原理來確定相機位置的研究題目，分別為: (1) Dependent Camera Position Determination with Optical Light Guide Sensor，以及 (2) Independent Camera Position Detection with IR Sensor。以下將針對此兩項研究題目做更詳細的敘述。

## 2.2. 系統設計成果 - 光學式 3 維影像重建法:

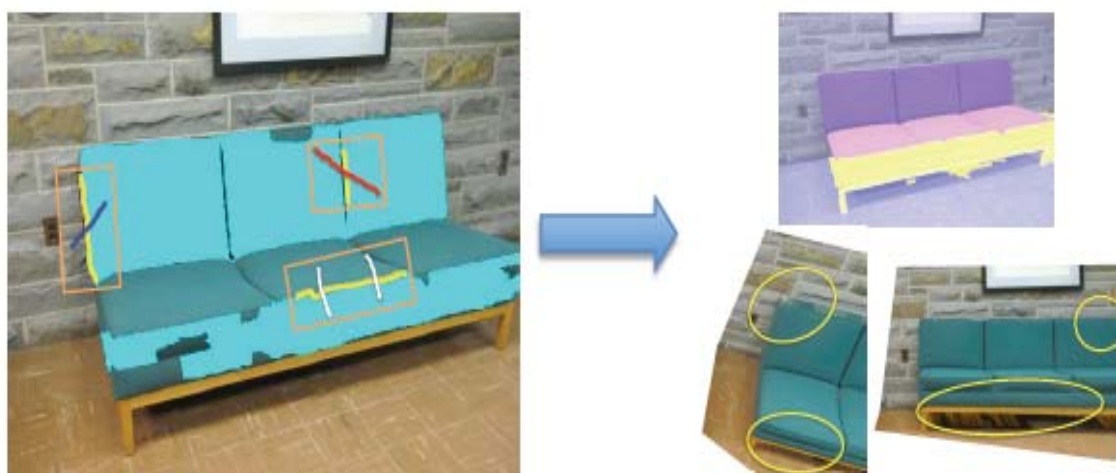
### Dependent Camera Position Determination with Optical Light Guide Sensor

一般相機陣列中的 3D 影像重建均是利用影像特徵點的比對，然而卻容易造成失真(圖十一)，因為無法利用特徵點準確的判斷出該拍攝的相機位置。



圖十一 利用影像特徵點所重建出的 3D 影像，明顯的會有失真(最右圖)[10]

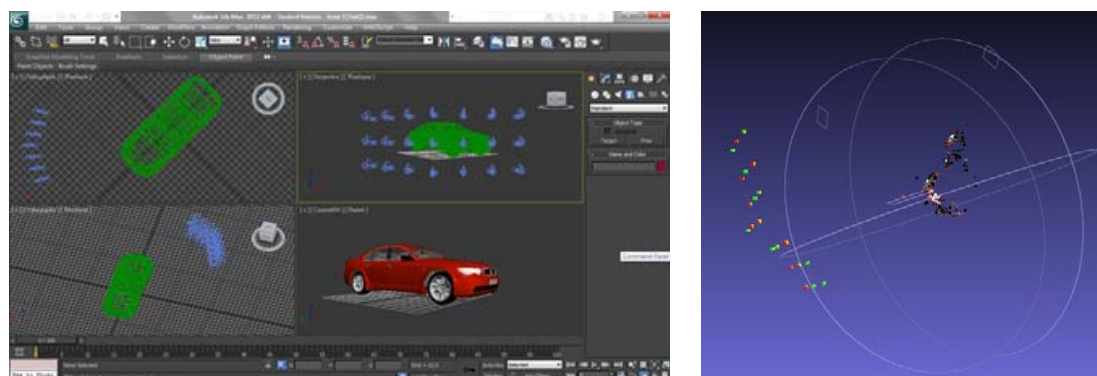
因此，A. Kowdle, T. H. Chen 等人便提出了利用 Active 的方式讓使用者在畫面上標示出同一平面的物體，然後將該物體視為同一平面，因此可增加判斷的正確性，如圖十二所示。



圖十二 利用使用者互動機制，確定物體平面，進而改進失真[11]

然而此方法在每一張圖都需要使用者介入，而且根據影像的複雜程度不一將影響其介入程度的多寡，所以相對而言在真正使用上其實並不方便。

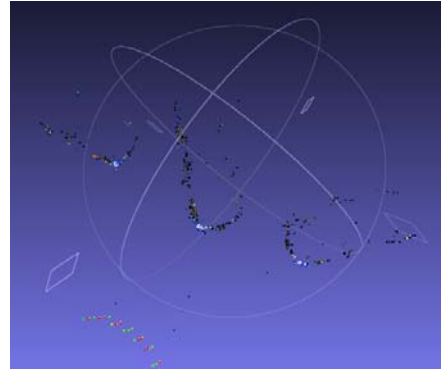
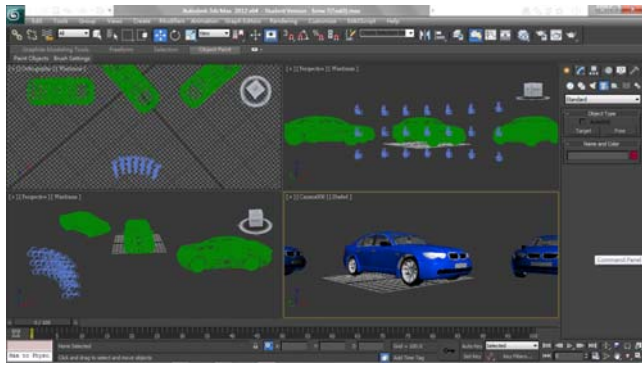
圖十三是由 3DsMax 模擬拍攝多角度的圖片後，再利用 MeshLab 將其重建相機位置的計算中可以發現，在 Convergence Bending Matching 上有高達 11% 的平均誤差，最大誤差更有 22%，因此在如此高的誤差下便無法得到一張完整的 3D 影像模型。



Differences (Average = 11%, Max=22%)

Delta						
0.13	0.07	0.04	0.00	0.10	0.13	0.10
0.14	0.08	0.12	0.00	0.22	0.17	0.11
0.11	0.08	0.08	0.00	0.14	0.13	0.09

(a) Convergence Bending Matching: With 11% Difference in Average



Differences (Average = 3%, Max=6.2%)

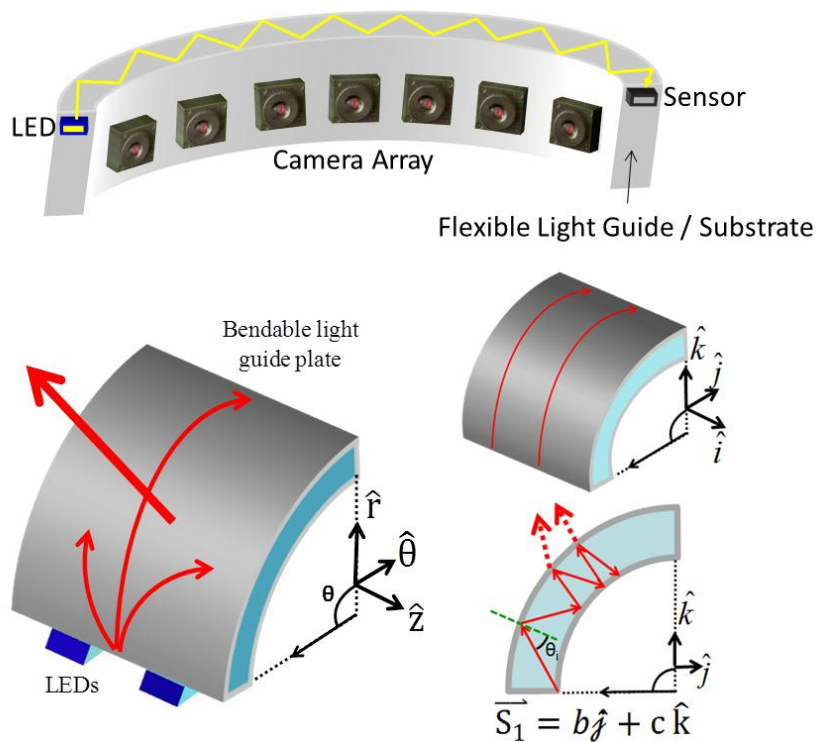
Delta						
0.02	0.00	0.01	0.00	0.01	0.03	0.01
0.02	0.01	0.01	0.00	0.06	0.03	0.01
0.02	0.00	0.02	0.00	0.01	0.02	0.02

(b) Divergence Bending Matching: With 3% Difference in Average

圖十三 實際測試藉由物件特徵來回推相機真實位置的模擬結果. (a)

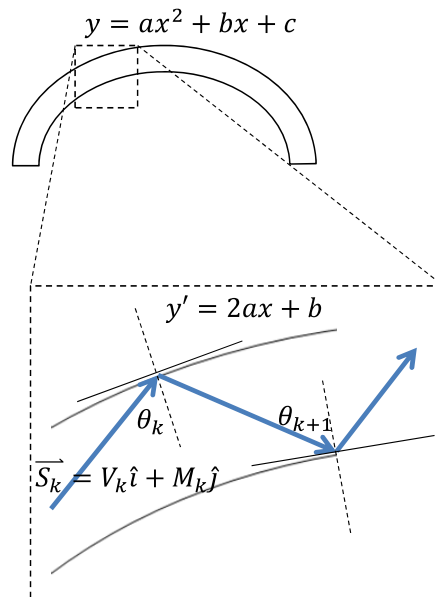
Convergence Bending – 11%誤差值，(b) Divergence Bending – 3%誤差值。

為了解決上述問題，所以我們在具有相依性質的 camera 上提出了利用光波導的 Bending loss 來找出其相機之間關連性，進而得到每台相機的相對位置，最後便能正確的推算出其立體的 3D 模型；以下則為光波導 Bending Loss 的示意圖。



圖十四 波導利用全反射進行傳遞，但在彎曲時因反射角改變而會造成 Bending Loss，利用 Bending Loss 的程度與角分布，便能得知其彎曲程度與相機位置。

其數學理論模型之推導則如下方所示，其中假設該波導為二次函數曲線 ( $y = ax^2 + bx + c$ )，入射光為一在 x,y 平面傳遞之向量 ( $\vec{S}_k = V_k \hat{i} + M_k \hat{j}$ )，其彎曲後界面的反射角為  $\theta_{k+1} = \tan^{-1} \left[ \frac{2ax_{k+1} + b}{M_{k+1}} \right]$ ；主要目的是要得知二次曲線函數中的 a 以及 b (c 為平移常數，可忽略)，便可得知該彎曲面上每個相機的位置。



Vector of Incident Ray

$$\vec{S}_k = V_k \hat{i} + M_k \hat{j} \quad \theta_k = \tan^{-1}(2ax_k + b)$$

Vector of Reflecting Ray

$$\begin{aligned} \vec{S}_{k+1} &= \begin{bmatrix} V_{k+1} \\ M_{k+1} \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} \sin \theta_k & 0 \\ 0 & \cos \theta_k \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_k \\ M_k \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} \prod_{n=1}^k \sin \theta_n & 0 \\ 0 & \prod_{n=1}^k \cos \theta_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}^k \begin{bmatrix} V_1 \\ M_1 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

$$\text{If } \tan^{-1} \frac{V_{k+1}}{M_{k+1}} < \theta_{TIR} \rightarrow P = 0(\text{Lost}), \text{ Else } P = 1$$

Assume Light Guide Length = L, Gap = d

$$x_n = P_n \cdot \sum_{n=1}^k d \cdot \tan \theta_k$$

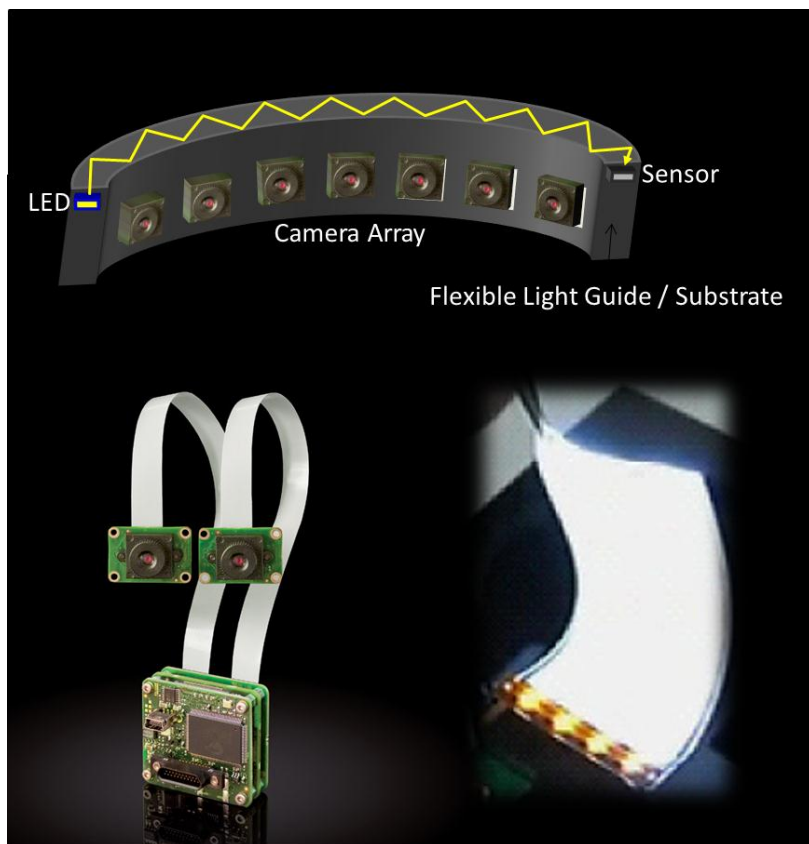
$$\text{If } x_n < L \rightarrow E_{out}(\vec{S}) = 0, \text{ Else } E_{out}(\vec{S}) = 1$$

$$\begin{cases} E_{out-total} = \int_{(0,1)}^{(1,0)} |E_{out}(\vec{S}) \cdot d\vec{S}| \\ \theta_{out-max} = \frac{n_{guide}}{n_{air}} \sin^{-1} \left\{ \cos \left[ \tan^{-1} \left( \frac{V_k}{M_k} \right) \right]_{x_k=L} \right\} \end{cases}$$

由於曲面為二次函數，具有兩個未知係數，因此需推得兩種邊界條件： $\theta_k$  ( $\theta_k = \tan^{-1}(2ax_k + b)$ ) 以及  $\theta_{k+1}$  ( $\theta_{k+1} = \tan^{-1} \left[ \frac{2ax_{k+1} + b}{M_{k+1}} \right]$ )，有了此兩個邊界條件後，便可簡單地藉由數值解法將 a, b 求得，並得知正確的相機位置。

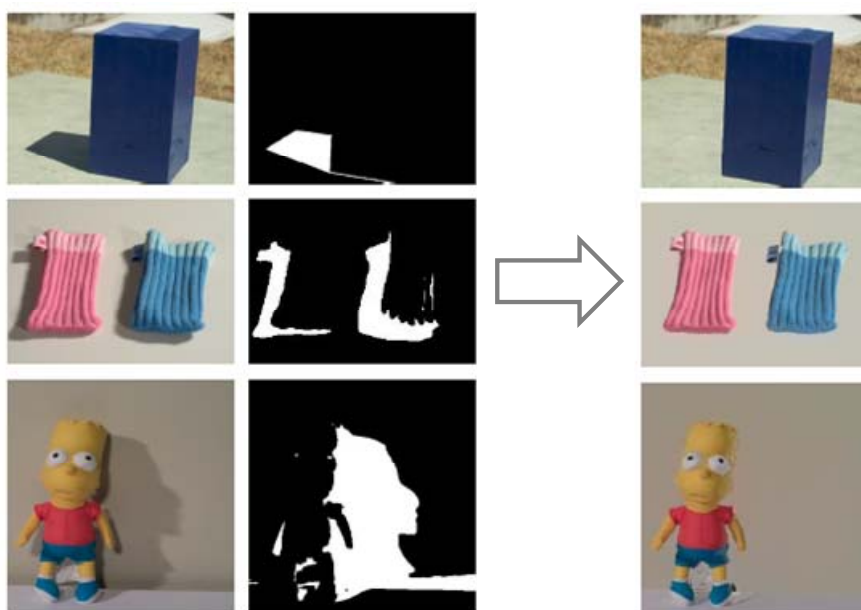


有了理論模型後，下一步將會利用 Lighttool 來驗證理論的準確性，並進一步實際製作具有 Bendable lightguide 的 Flexible Camera array，目前已取得 VRmagic Inc.的 Multi-sensor Camera 樣品，之後將把該樣品佈置於軟性塑膠基板上，最後將進行拍攝以驗證成果。

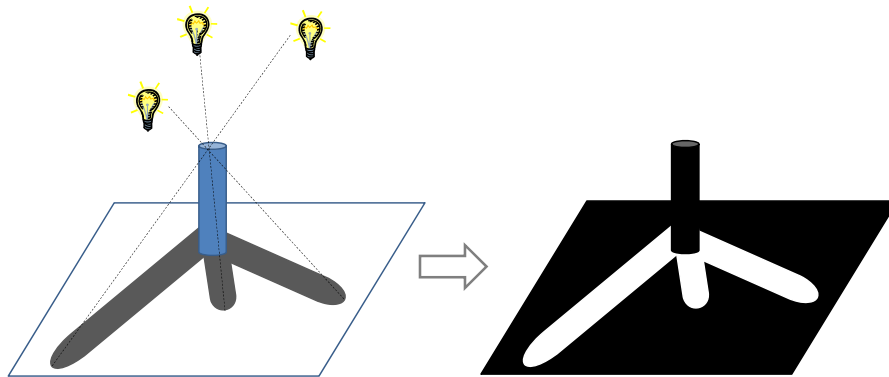


### Independent Camera Position Detection with IR Sensor

攝影機經由特殊設計後可擷取 RGB 以及 IR 的影像，一般去除陰影多是利用 RGB 中較深的影像來去除，但卻會造成同時去除黑色或深色物體的缺點，若是利用 IR 光線的陰影來判斷，將可避免此一缺陷。

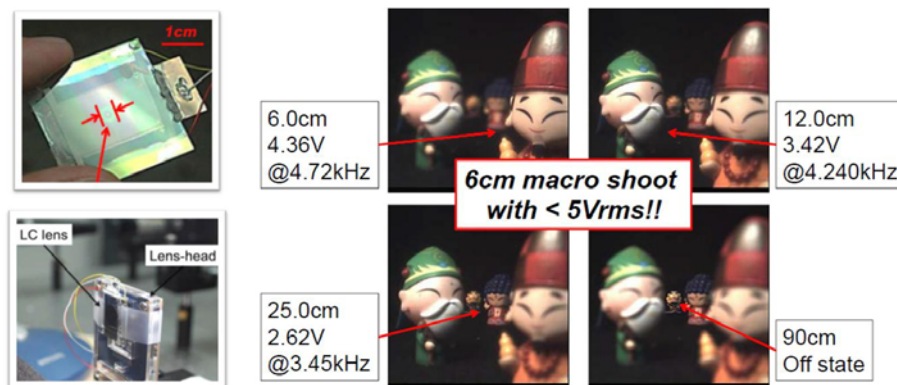


因此我們也利用類似的概念，在每一個 Camera 上加上一個 IR Source，此 IR Source 會對拍攝物體產生 IR 的陰影，而便可利用該陰影進一步推得空間中各個相機的位置，而這些相機並不需要有相依性，可完全獨立移動及拍攝。

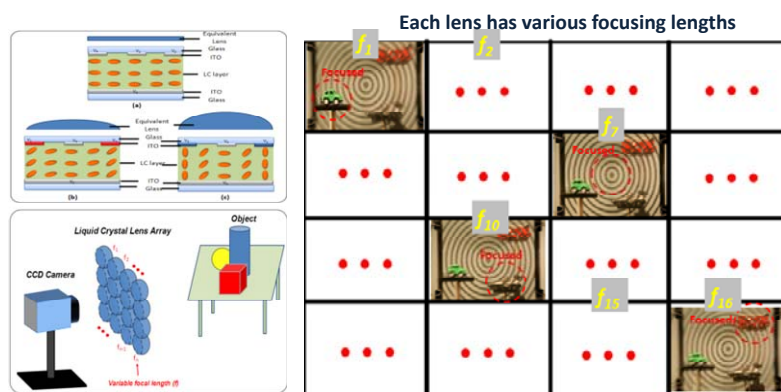


### Multi-Focusing LC-lens Array for 3D Imaging and Endoscopic Application

除了上述兩項研究外，另外目前也同時進行 Multi-Focusing 的 LC-lens array for 3D Imaging。因為此部分現今仍在製做 LC-lens array 的階段，而該 Lens-array 的製作是由交大的實驗室負責，當透鏡組完成後才會送至 Cornell 來進行後續的拍攝及 3D 影像處理的部分。而主要的概念就是利用很小的 LC-lens 透鏡組同時達到不同的聚焦點，因此可簡單的利用影像處理的技術派斷出不同物體所在的深度，進而重建出其 3D 立體影像。

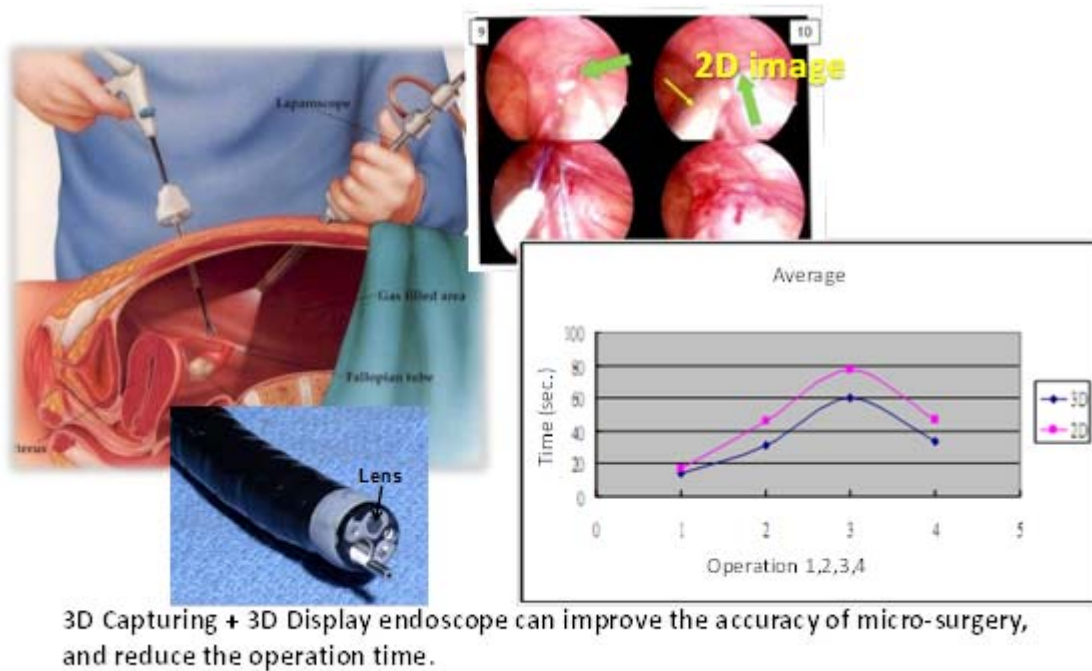


可簡單靠著電壓控制即可改變焦距之液晶透鏡



將液晶透鏡製作成可同時變焦之陣列，便可即時拍攝出不同深度物體之 3D 影像





該透鏡陣列未來亦有機會應用於 3D 立體內視鏡手術上

### 2.3. 結論與發表成果

本年度訪問 Cornell University，正在進行中的研究項目有三項：

#### **a. Dependent Camera Position Determination with Optical Light Guide Sensor**

已完成理論模型與概念設計，模擬成果與樣品實作即將完成，並預計於 2012 年 1 月中投稿至 ICIP'12.(ICIP 為影像處理中重要會議，文章接受率小於 50%)。

#### **b. Independent Camera Position Detection with IR Sensor**

已完成概念設計，正使用 XBOX Kinet 驗證實驗中，預計將於明年 3 月中投稿 Journal paper。

#### **c. Multi-Focusing LC-lens Array for 3D Imaging and Endoscopic Application**

因 LC-lens 在之前已有良好的成果，而此概念也於早先的會議中簡單描述過，獲得相當不錯的迴響，因此已獲邀於 2012 年 4 月中下旬分別於 SPIE-DSS2012 以及 OSA2012- Digital Holography & 3-D Imaging Meeting 給予 Invited Talk.

此外，於訪問 Cornell 期間整理先前研究成果，並已發表 2 篇 Journal paper(1 篇已獲接受、一篇審稿中)，已投稿 6 篇 SID2012 會議 (Deadline Dec. 1<sup>st</sup>, 2011)，並獲得 國際發明家協會 頒發 [國際傑出發明家 發明學術國光獎章]。

### 2.4. References

- [1] Chih-Wei Chen, et al., "Fast Switching Fresnel Liquid Crystal Lens for Autostereoscopic 2D\_3D Display," SID Symposium Digest, 428–431, (2010).
- [2] S. Kuiper, et al., "Variable-focus liquid lens for miniature cameras," Appl. Phys. Vol. 85, No. 7 (2004).
- [3] C.-W. Lin, et al., "A Study of Magnetism-Driven Liquid-filled Lens," Novel

- [4] (a)[http://ykuo.ncue.edu.tw/oled/oled\\_apl.htm](http://ykuo.ncue.edu.tw/oled/oled_apl.htm)  
(b)[http://news.cnet.com/8301-31021\\_3-10368268-260.html](http://news.cnet.com/8301-31021_3-10368268-260.html)
- [5] Adrian Stern and Bahram Javidi, PROCEEDINGS OF THE IEEE, VOL.94, NO. 3, MAR, 2006
- [6] Marc Levoy, Light Fields and Computational Imaging
- [7] Augusto Román, Automatic Multiperspective Images
- [8] Yoshikuni Nomura, Scene Collages and Flexible Camera Arrays
- [9] Tsuhan Chen, A Survey on Image-Based Rendering

### (三) 心得及建議

感謝頂尖計畫提供出國經費，使得本次與 Cornell University 的學術合作交流與訪問得以順利進行，本次交流於 2011 年 8 月 11 號開始，至今已進行約 4 個月，於期間不僅是做學術研究，更常參加許多 Seminar 以及課程，也多接觸該校的老師、研究員以及學生，以了解國際知名大學的優點，以下為部分心得提供分享：

- a. 校園環境: Cornell University 位處於紐約州的小城鎮- Ithaca，該校幅員遼闊，系館與建築物均美輪美奐，學校福利與周邊交通設備完善，常見有許多觀光客慕名前來，治安更是良善，幾乎可以達夜不閉戶的程度；因此雖該城鎮地處偏僻，對外交通不易，但卻仍能有如此頂尖的大學，可見得事在人為，只要有心，並不需要非將校區設於繁華便利之都，反正做研究與教育真正需要的是一個良好且安全的環境。
- b. 學習環境: 該校的課程千奇百怪，甚至體育課還有一門登山課程，該課程期末考是自費由教練帶出國去攀登喜馬拉雅山，但也說明了在一個如此多元化大學中，學生的學習自由度與廣度確實是可以增加的。而於電機學院中常有許多的 Seminar 課程，很多都利用中午時間並提供簡單的午餐，但很特別的是，Host 的主持人都是該校的 Ph.D. 學生，而非老師，且每一場演講都是由不同的學生來 Host；這點我覺得是我們可以學習的地方，台灣的教育太著重於研究，而往往忽略了人際關係的培養，Seminar 的主講者由不同的學生提供名單，並由該學生主動去邀請並接待，可訓練學生的待人處事，並增加學生於該領域的人際關係。另外，在課程方面的訓練也是相當紮實的，從作業、考試到專題實作都需要於一學期內完成，課業壓力之重絕對比交大有過之而無不及。
- c. 研究環境: 普遍可以看到目前 Cornell School of ECE 的研究領域已開始遠離硬體方面的實作，越來越多研究都是著重於 A.I.、Machine Learning 以及 Bio-related；而 ECE 的研究生(含博士生)已經大多為亞洲裔，尤其是大陸、印度和韓國為主，但仍不難發現，亞洲裔的學生大多比較認真，提出的研究課題多為”改良式”，而歐美的學生其提出的方法則是較為”特別”，因為常常會

是從一些特別的觀點切入，也許不見得可以馬上知道其真正的應用價值，但卻提供了更多的想像空間。不過這點卻幾乎是必然的Trade-off，只是在美國同時存在著近乎相同比例的兩類學生，而在台灣則是偏重於”改良式”，如果在台灣要有所改進，能想到的就是成立特別的Program給那些想法比較”特別”的學生有不一樣的學習環境，看是否能因此創造出”特別”的研究成果。

- d. 同儕環境: (以下主要是以博士生為敘述對象)；在台灣，長幼尊卑的概念還是深植於人心，學生們對上(資深學長姊)都是學習跟請教，對下(新進學弟妹)則是指導跟教誨；但在Cornell的這段期間卻發現學生們對同儕們(不論資深或資淺)的態度並不會有太大的差異，即使是老師或資深學長的發言也都會被Challenge，學生發Paper前也會請同儕相互評斷，所以新進的學生也會需要給資深學生下評語，但卻也不會因此造成不和睦的現象，大家都認為非常自然；但反觀，若是在台灣有學弟挑戰學長的發言，就有可能開始被孤立，被認為自以為是等等，正所謂 [三人行必有我師]，這點確實是我們教育需要學習且改進的地方。

#### 四、附錄

1. Tomoaki Higo, et, al., A Hand-held Photometric Stereo Camera for 3-D Modeling, ICCV2009
2. Steven M. Seitz, et, al., A Theory of Inverse Light Transport, ICCV2005
3. Carlos Hern´andez, et, al., Non-rigid Photometric Stereo with Colored Lights, ICCV2007
4. Bennett Wilburn, et, al., Radiometric Calibration Using Temporal Irradiance Mixtures, CVPR2008
5. Yi-meng. Zhang, et, al., "Image Retrieval with Geometry-Preserving Visual Phrases", Oral at Computer Vision and Pattern Recognition, CVPR2011.
6. Adarsh Kowdle, et, al., "Active Learning for Piecewise Planar 3D Reconstruction", Oral at Computer Vision and Pattern Recognition CVPR2011.
7. Yoshikuni Nomura, et, al., Scene Collages and Flexible Camera Arrays, Eurographics Symposium on Rendering 2007.
8. Mehdi Daneshpanah, et, al., Three-dimensional imaging with detector arrays on arbitrarily shaped surfaces, OPTICS LETTERS / Vol. 36, No. 5 / March 1, 2011
9. Yasuyuki Matsushita, Bennett Wilburn, Moshe Ben-Ezra, Microsoft Research Asia ICIP 2010 Tutorial, "Photometric Methods for 3D modeling", ICIP2010.