



皮膚標記於軟組織感測系統之定位精準度探討

Positioning accuracy of skin markers in
soft tissue deformation systems

報告者：柯筆翔

學號：R09631044

指導教授：顏炳郎 博士

日期：2022/09/12

目錄

緒論

軟組織表面
估測系統

實驗結果

結論

緒論

背景-電腦輔助手術

- 電腦輔助手術(CAS)搭配手術機器人可以提升手術的精準度
- 透過導航軟體輔助醫生手術
- 手術導航公司: Brainlab, GE Healthcare, Cascination



Brainlab



GE Healthcare



Cascination

背景-軟組織穿刺

➤ 骨科手術

特性:標記與骨頭間沒有相對位移

導航:傳統的固定式標記(DRF)

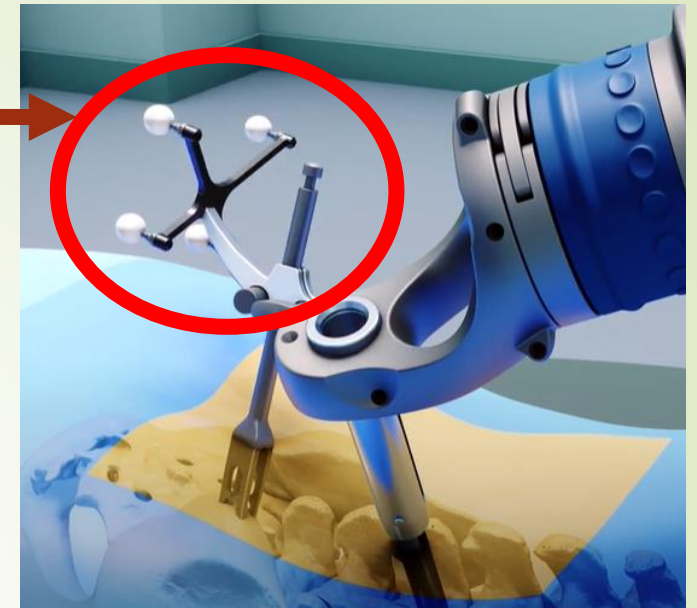
➤ 軟組織穿刺

特性:組織變形，傳統的DRF無法計算組織變形

目的:開發可以計算軟組織表面變形的感測系統

導航:皮膚標記

DRF



骨科手術的DRF marker

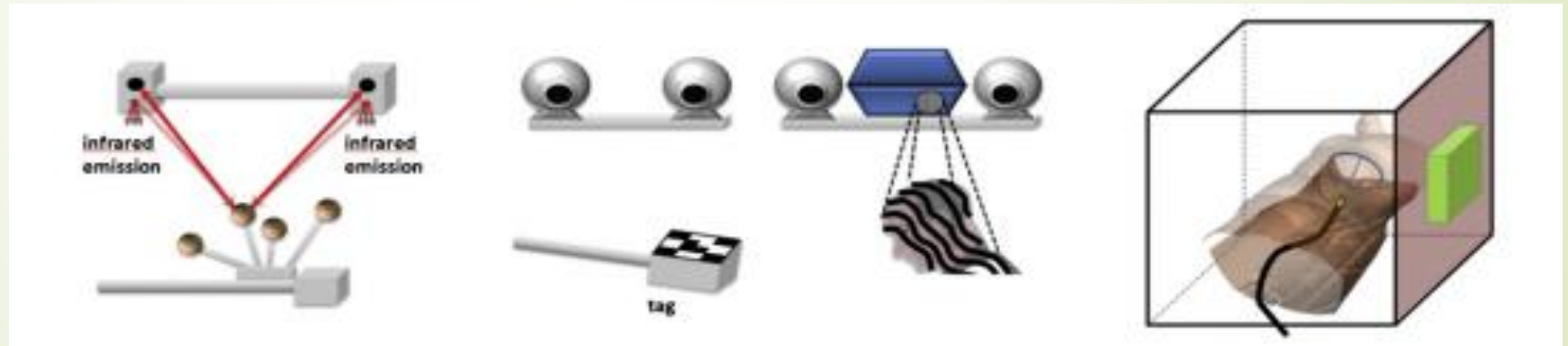


軟組織穿刺的Skin marker 5

文獻-總括

■ 常見的皮膚標記感測系統

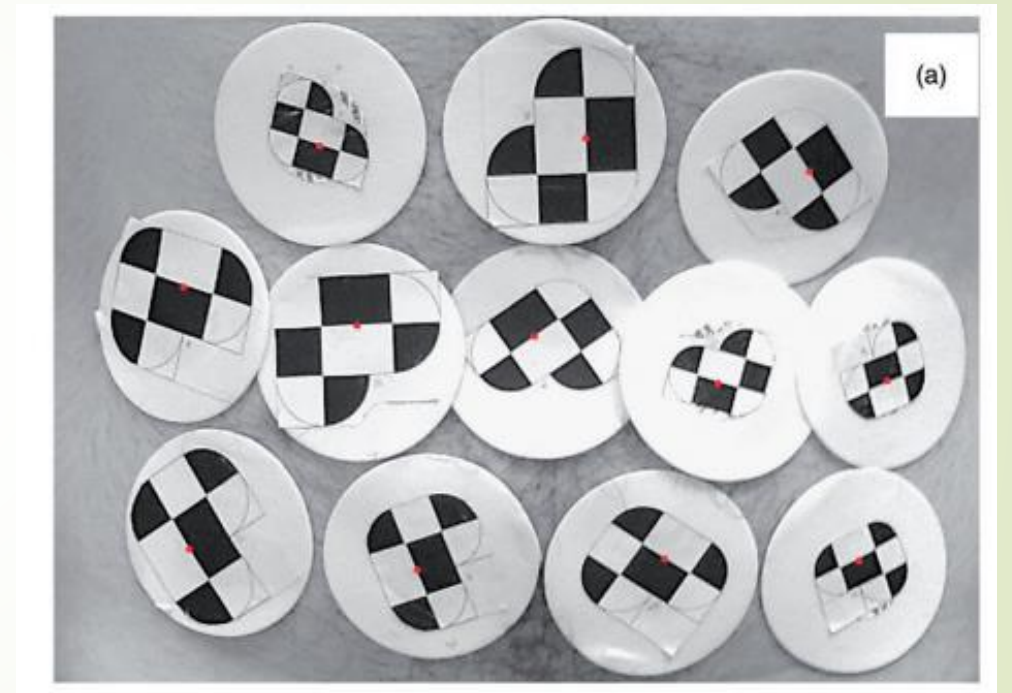
1. 雙眼視覺相機
2. 電磁式追蹤器
3. 光學追蹤器



常見的皮膚標記方式

文獻-雙目視覺

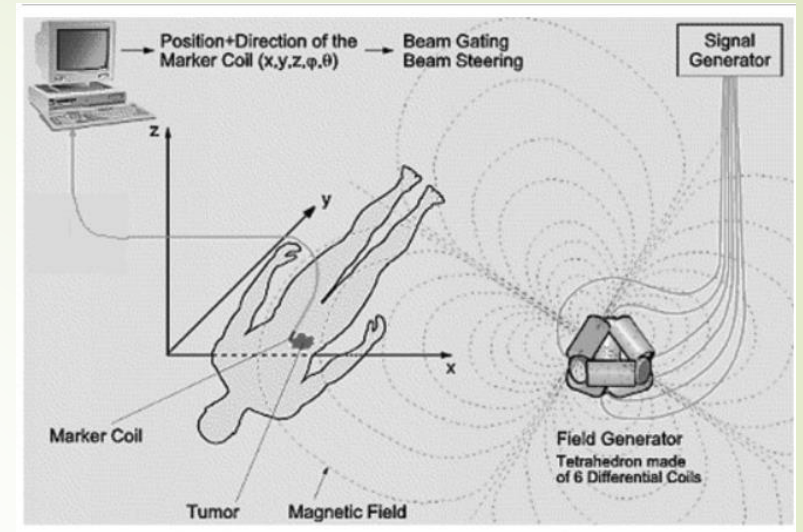
- 皮膚標記: AR marker
- 感測原理: 雙目視覺相機
- 特性:
 - 深度資訊誤差大
 - 內外部參數校準



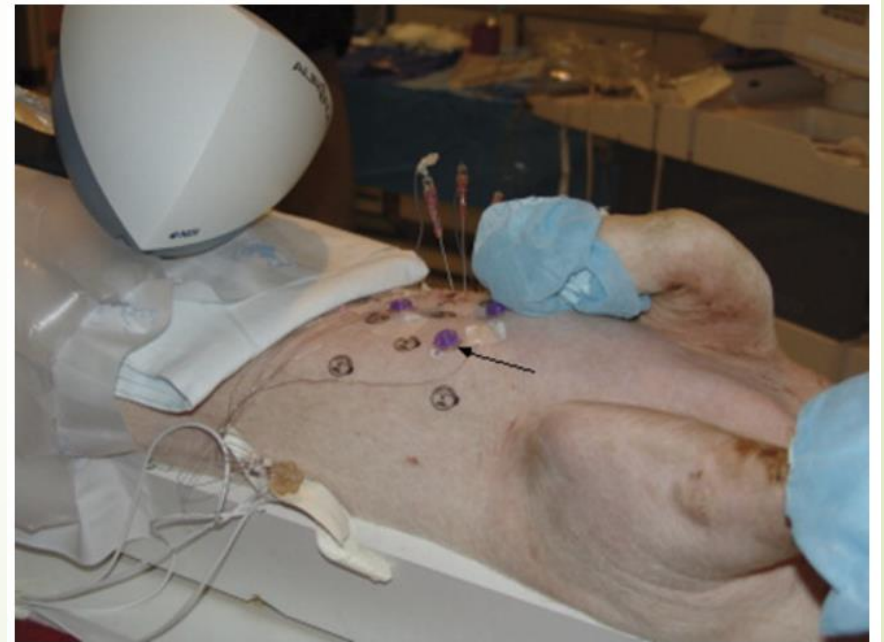
以AR marker作為皮膚標記

文獻-電磁感測器

- 皮膚標記:微小的感測線圈
- 感測原理:以磁場產生器在工作範圍內產生磁場
- 特性:
 - 手術房中同時有產生磁場的機器(如電腦斷層掃描)
 - 金屬干擾



電磁感測器原理



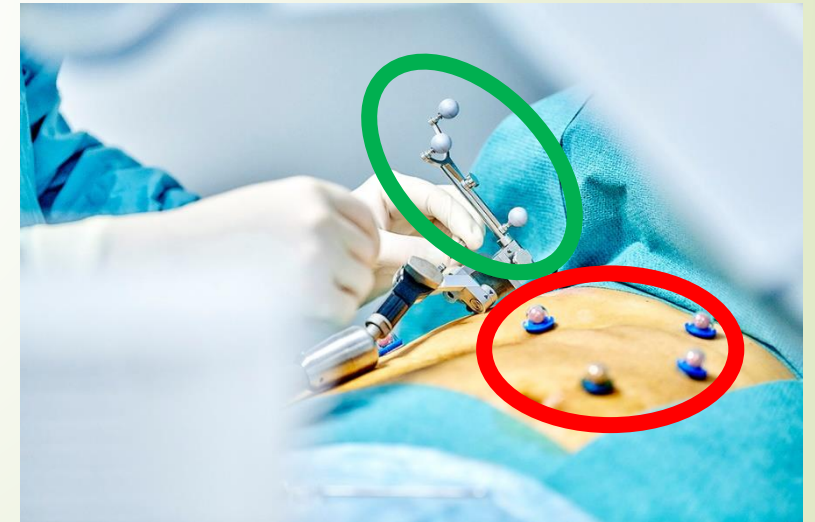
以微小感應線圈作為皮膚標記

文獻-光學追蹤器

- 皮膚標記: 光學反光球
- 感測原理: 紅外線掃描空間中的光學標記
- 特性
 - 有醫療用產品



光學追蹤器於手術房內使用



DRF(綠圈)與皮膚標記(紅圈)⁹

文獻整理

	雙眼視覺相機	電磁 感測器	光學 追蹤器
皮膚標記	AR marker	感測線圈	光學反光球
感測原理	雙目視覺相機	磁場產生器	紅外線掃瞄
特性	深度資訊誤差大	外在磁場干擾	有醫療產品

研究目的

- 以光學標記作為皮膚標記估測軟組織表面
- 探討光學標記擺放與估測精準度關係
- 探討光學標記數量與估測精準度關係

研究方法

研究方法

實驗器材

- 光學追蹤器

軟組織表面估測系統

- 光學標記前處理
- 皮膚坐標系模型

實驗

- 轉移矩陣驗證
- 位置擺放設計
- 反光球數目與誤差關係

實驗器材

- 光學追蹤器
- Northern Digital開發
- 機型Polaris Vicra
- 60Hz sample rate
- DRF的估測誤差RMS 0.25mm
- 可以讀取獨立光學標記



Polaris Vicra光學追蹤器

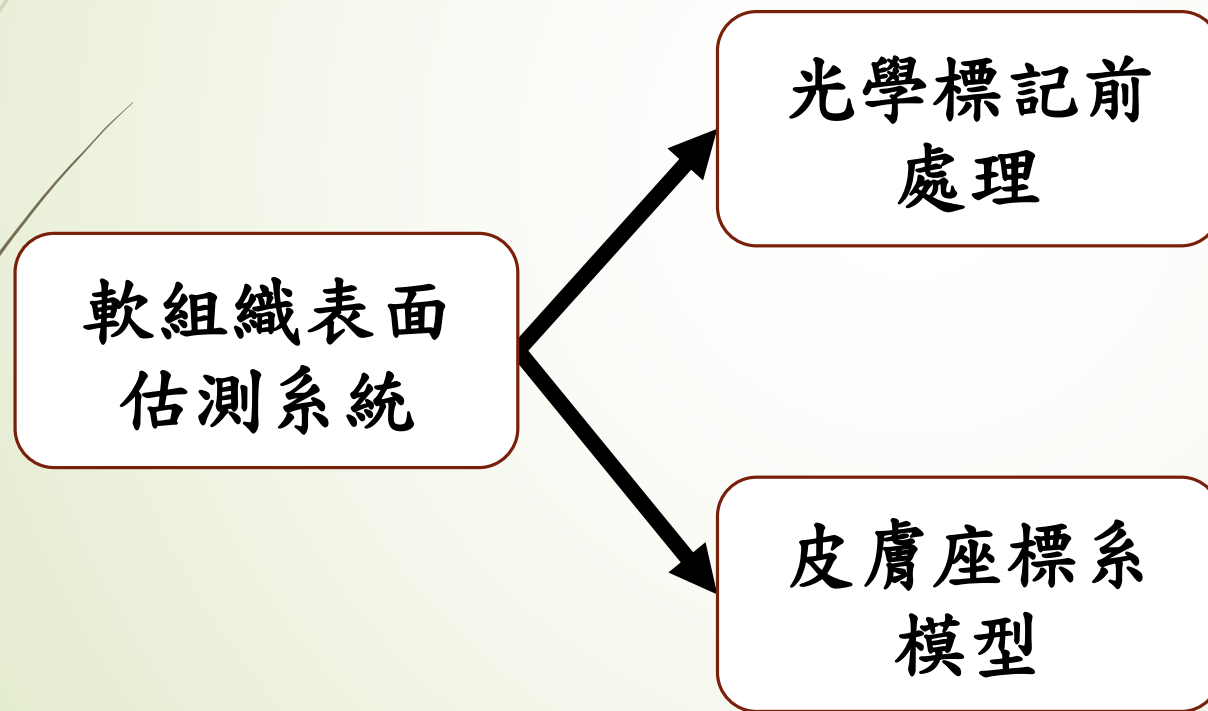


固定光學標記DRF



獨立光學標記

軟組織表面估測系統

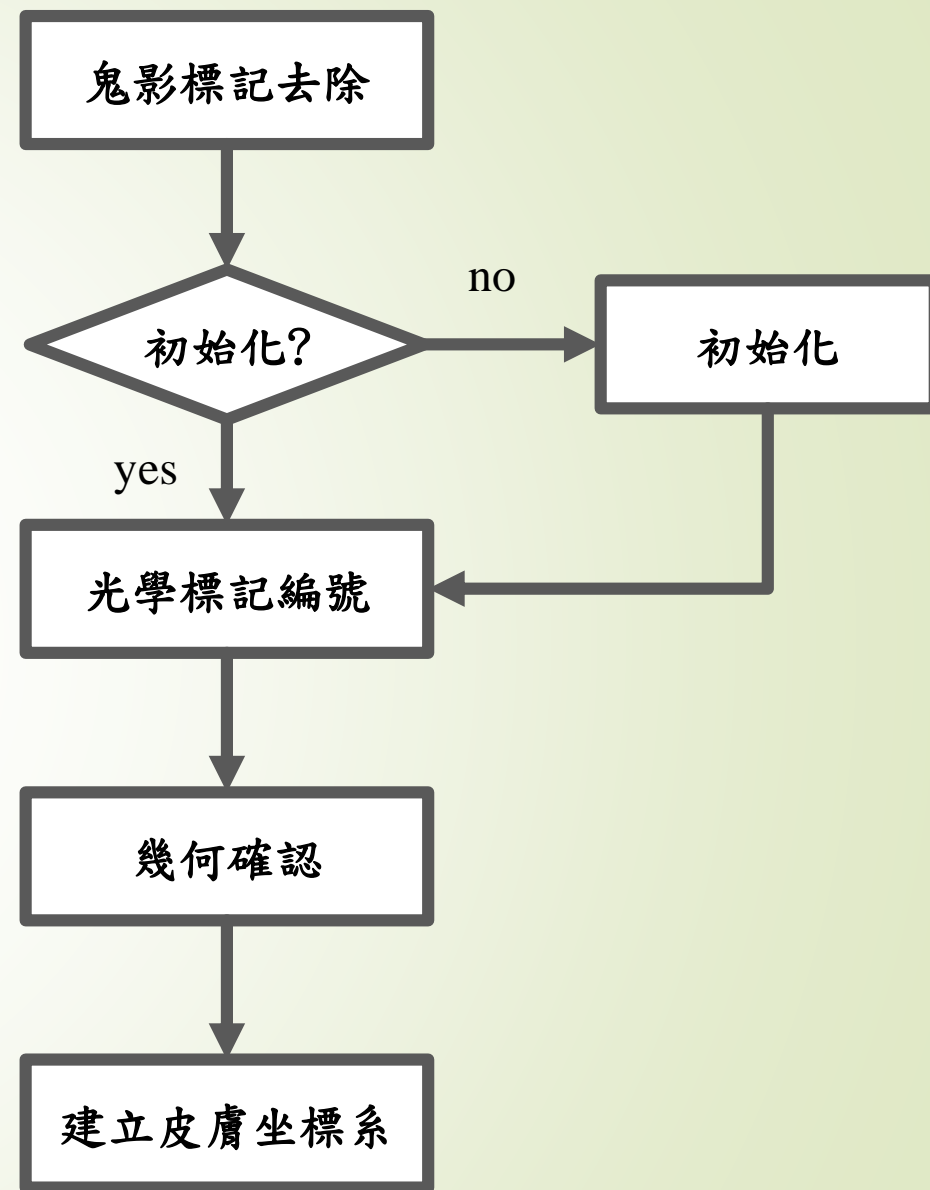


1. 鬼影標記去除
2. 皮膚光學標記初始化
3. 光學標記編號
4. 幾何確認

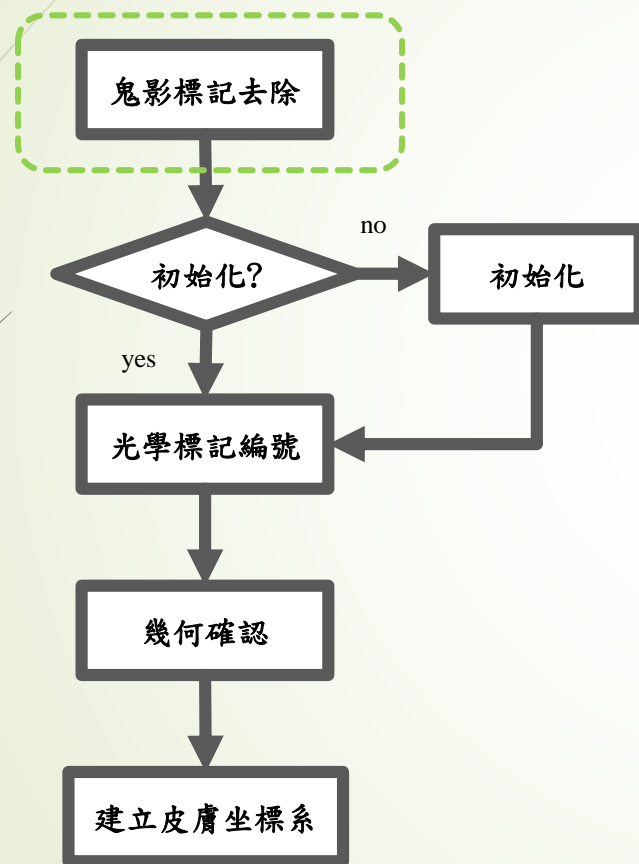
光學標記前處理

目的：

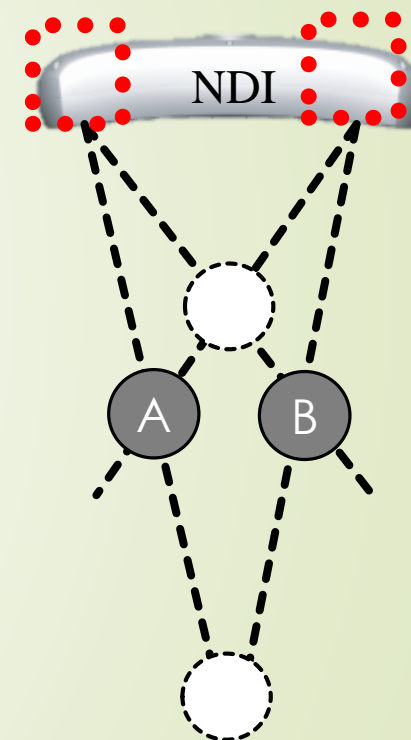
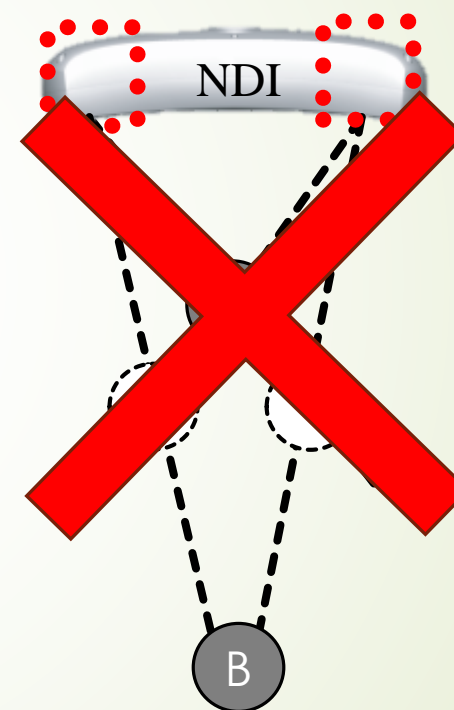
1. 去除錯誤資訊
2. 建立初始座標
3. 當標記有脫落



鬼影標記去除



成因:



NDI紅外線相機

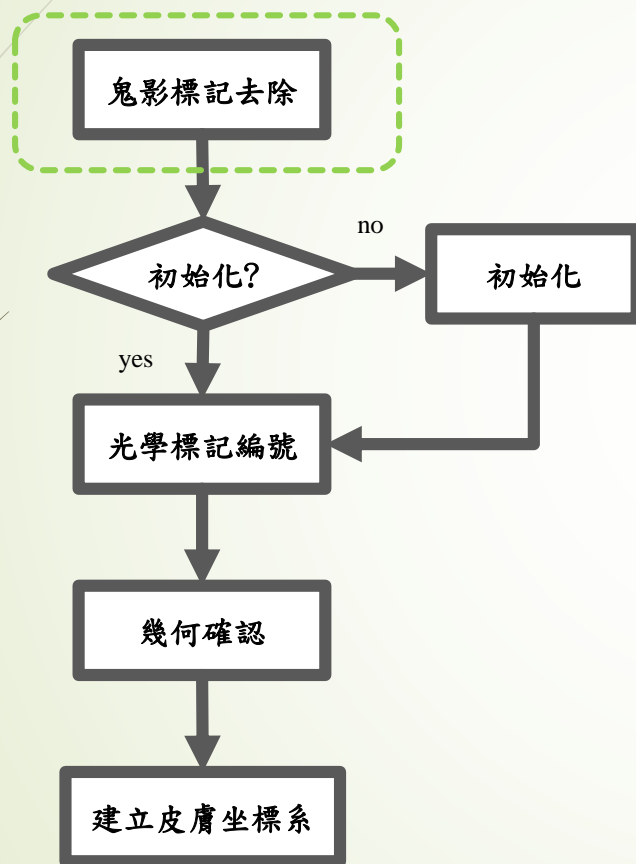


真實的光學標記

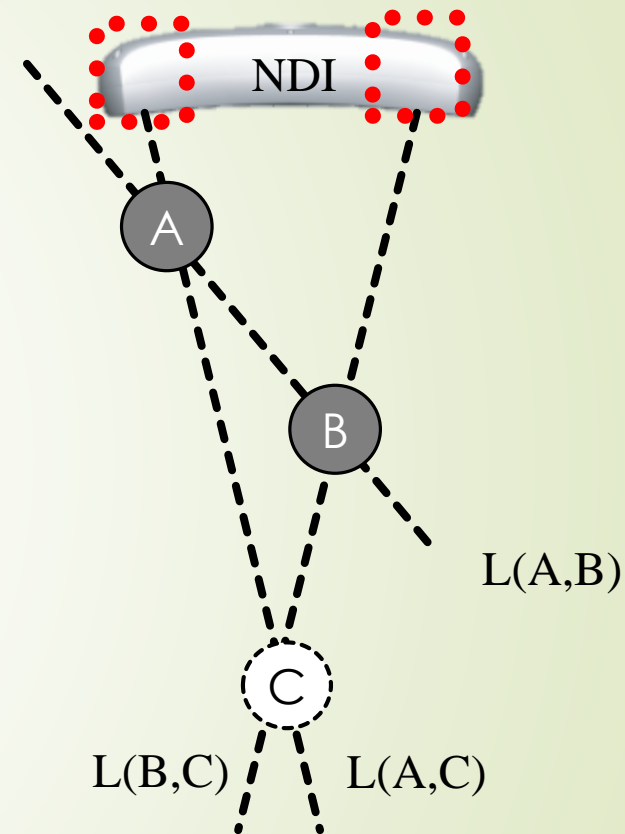


鬼影標記¹⁷

鬼影標記去除



解法:

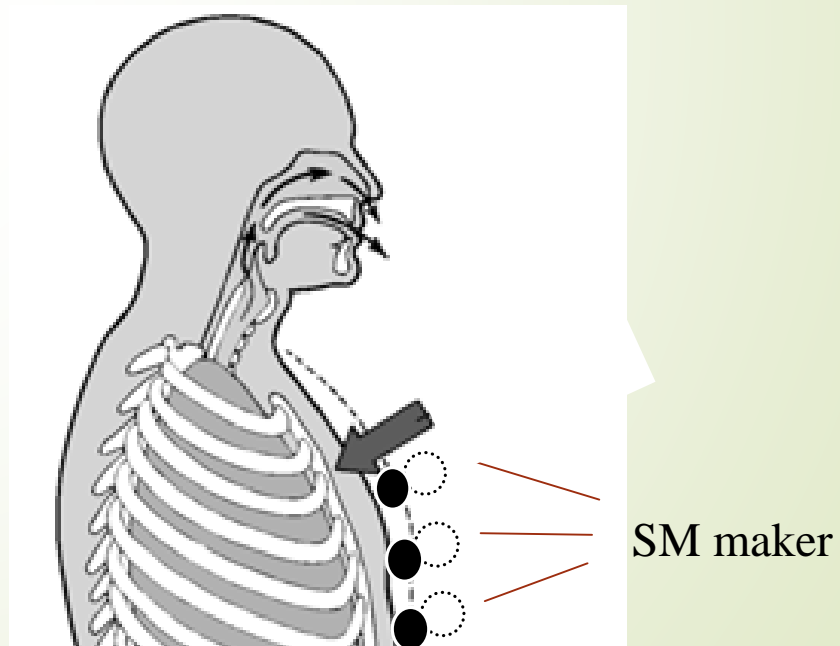
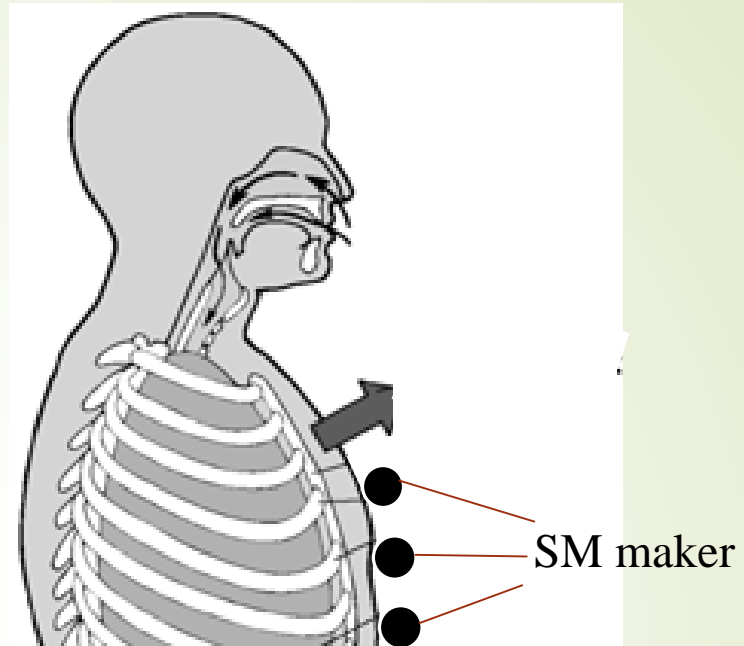
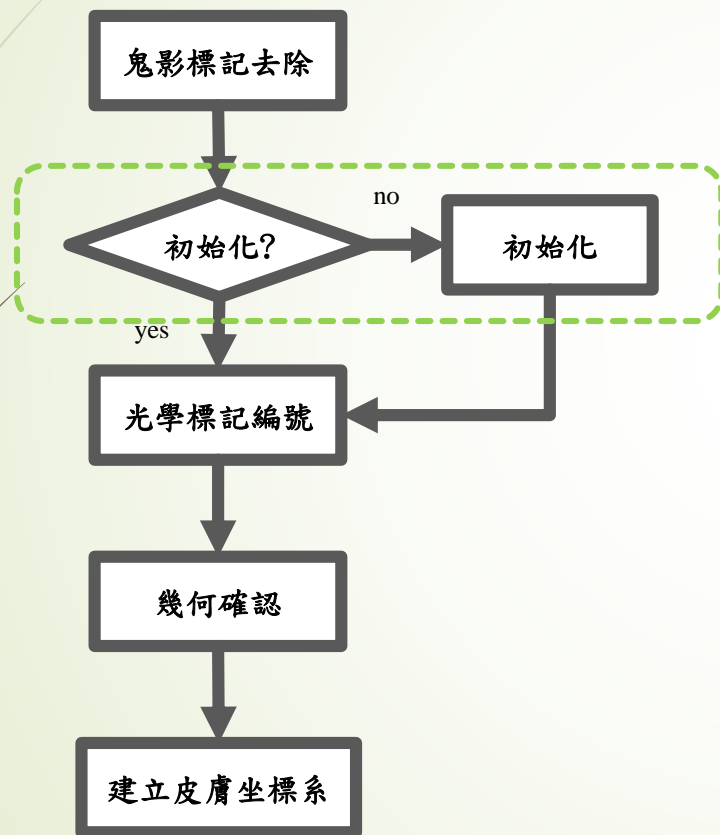


NDI紅外線相機

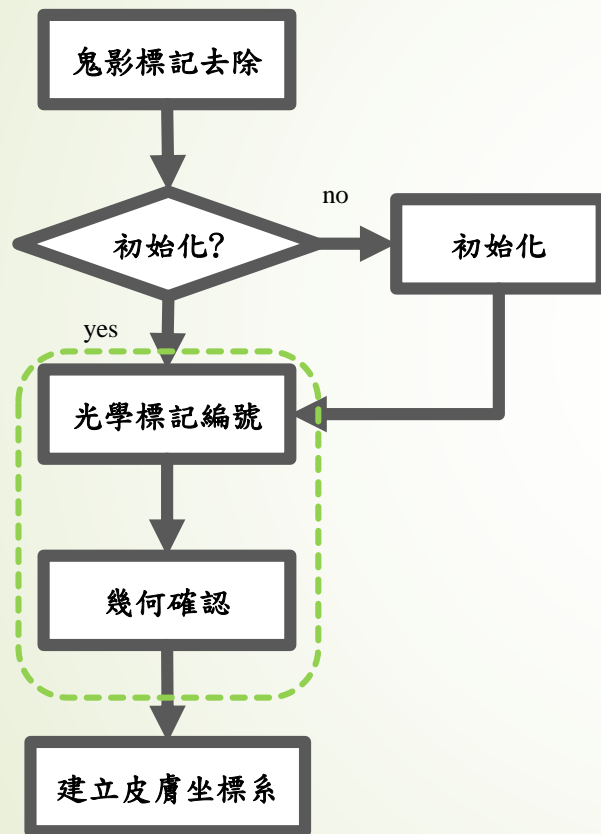
$L(B,C)$

B,C球連線的延伸線

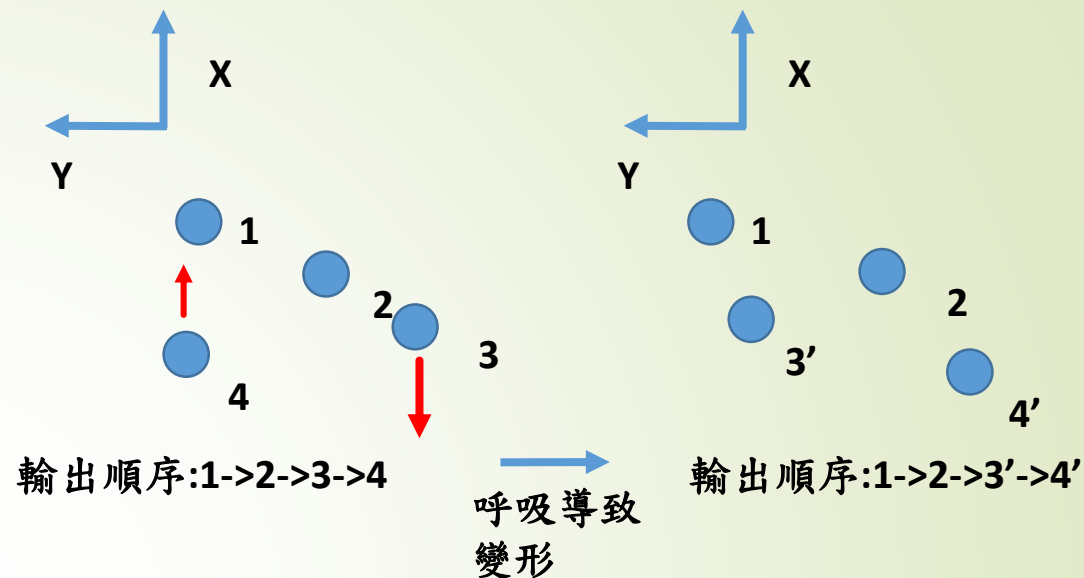
初始化



光學標記編號



成因：



解法：

$$c_{-2}(a,b,c,d) = \sum_{m \neq a, m \neq c}^M \min_{n \neq b, n \neq d}^N (|D_{SM^*(a,m)} - D_{SM(b,n)}|)$$

幾何確認：

1. 符合呼吸起伏範圍<40mm
2. $c_{-2}(a,b,c,d)$

軟組織表面估測系統

軟組織表面
估測系統

光學標記前
處理

目的: 去除雜訊

1. 鬼影標記去除
2. 皮膚光學標記初始化
3. 光學標記編號
4. 幾何確認

皮膚座標系
模型

1. 表面座標系建立
2. Least square求旋轉矩陣
3. 德勞內三角形分割
4. 相似三角形變形量估測

皮膚座標系模型

Nonrigid
Deformation

=

Rigid
Transform

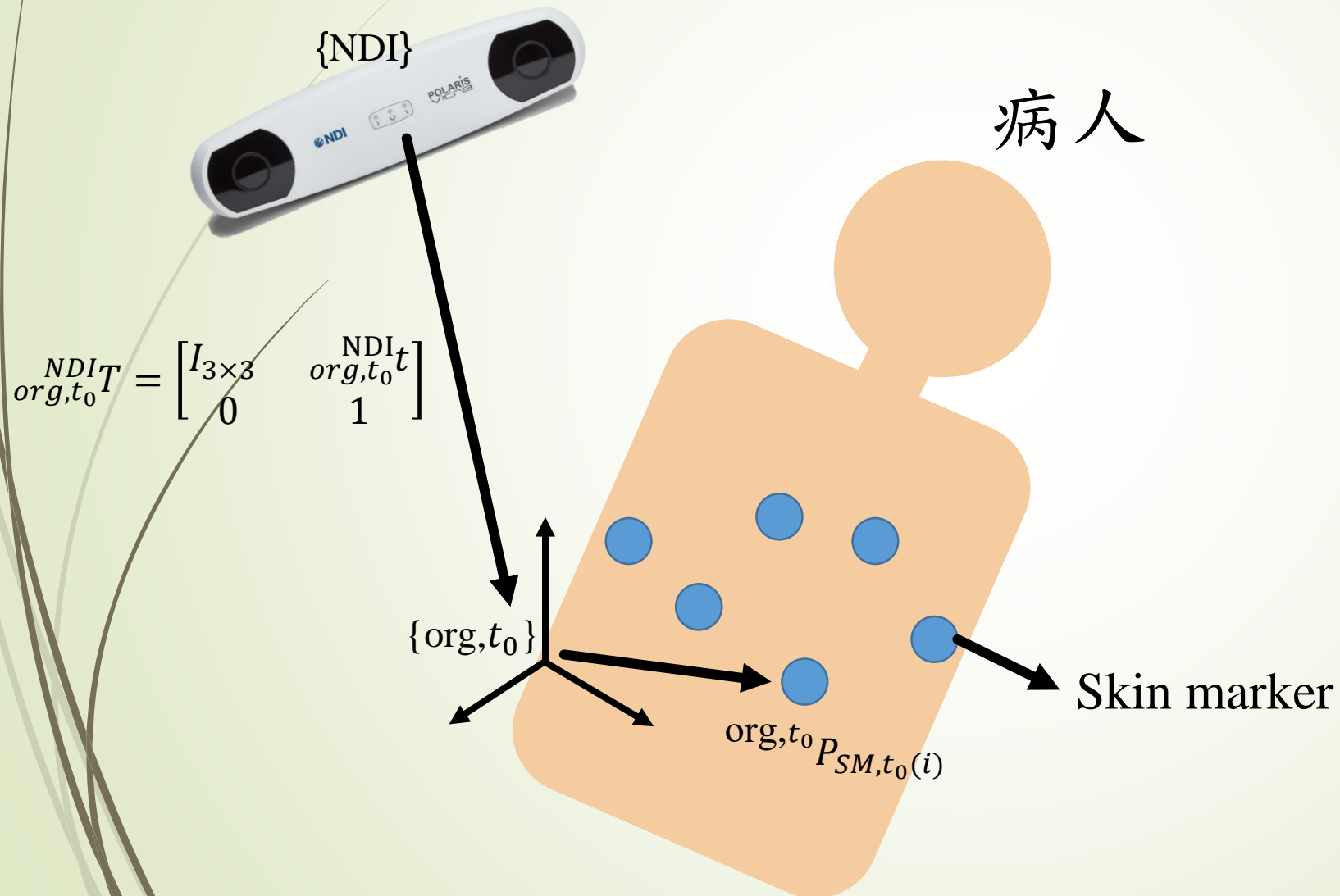
+

Deformation

{NDI}: 光學追蹤器坐標系

{org, t_0 }: 初始坐標系 (病人坐標系)

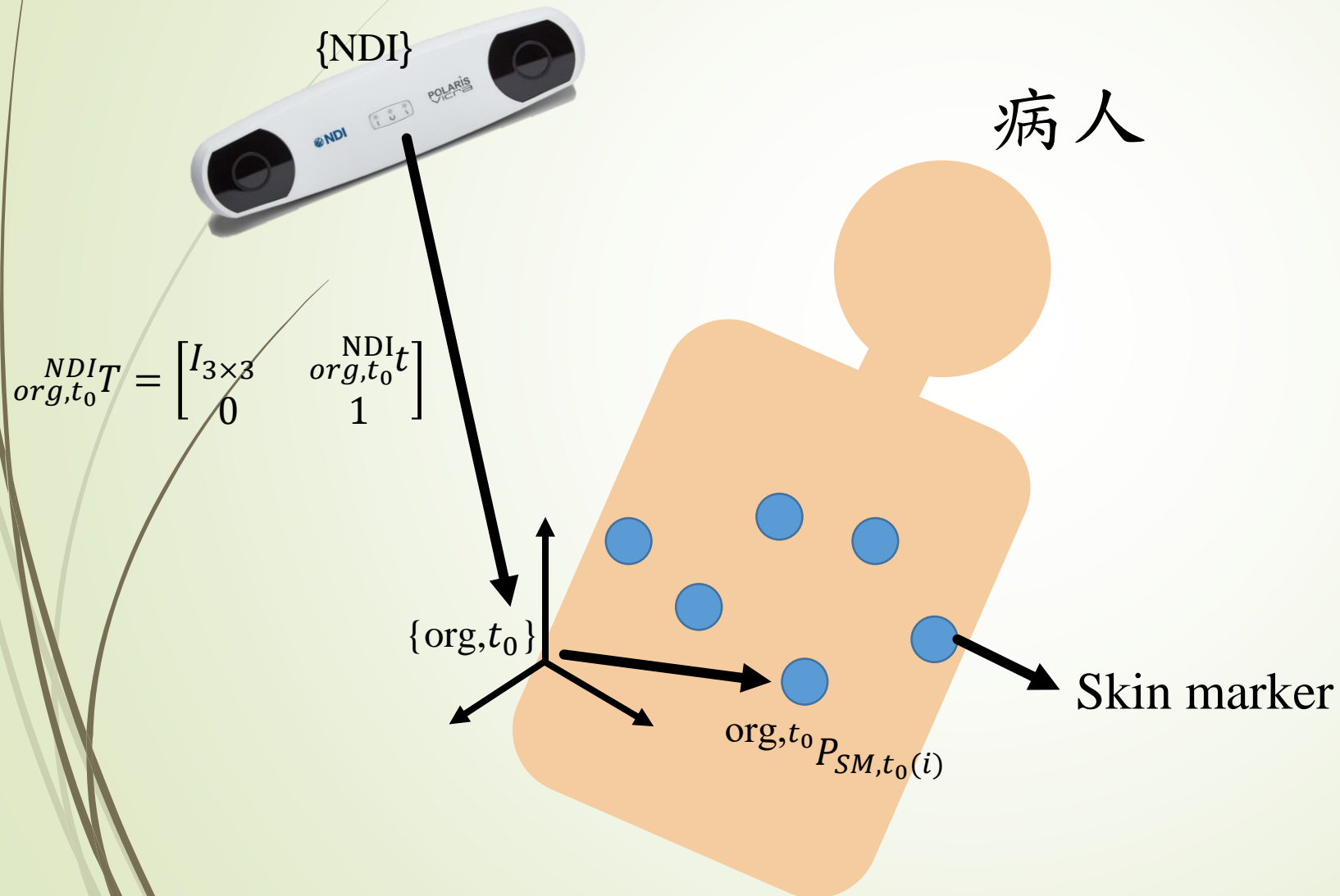
建立皮膚坐標系



{NDI}: 光學追蹤器坐標系

{org, t₀}: 初始坐標系 (病人坐標系)

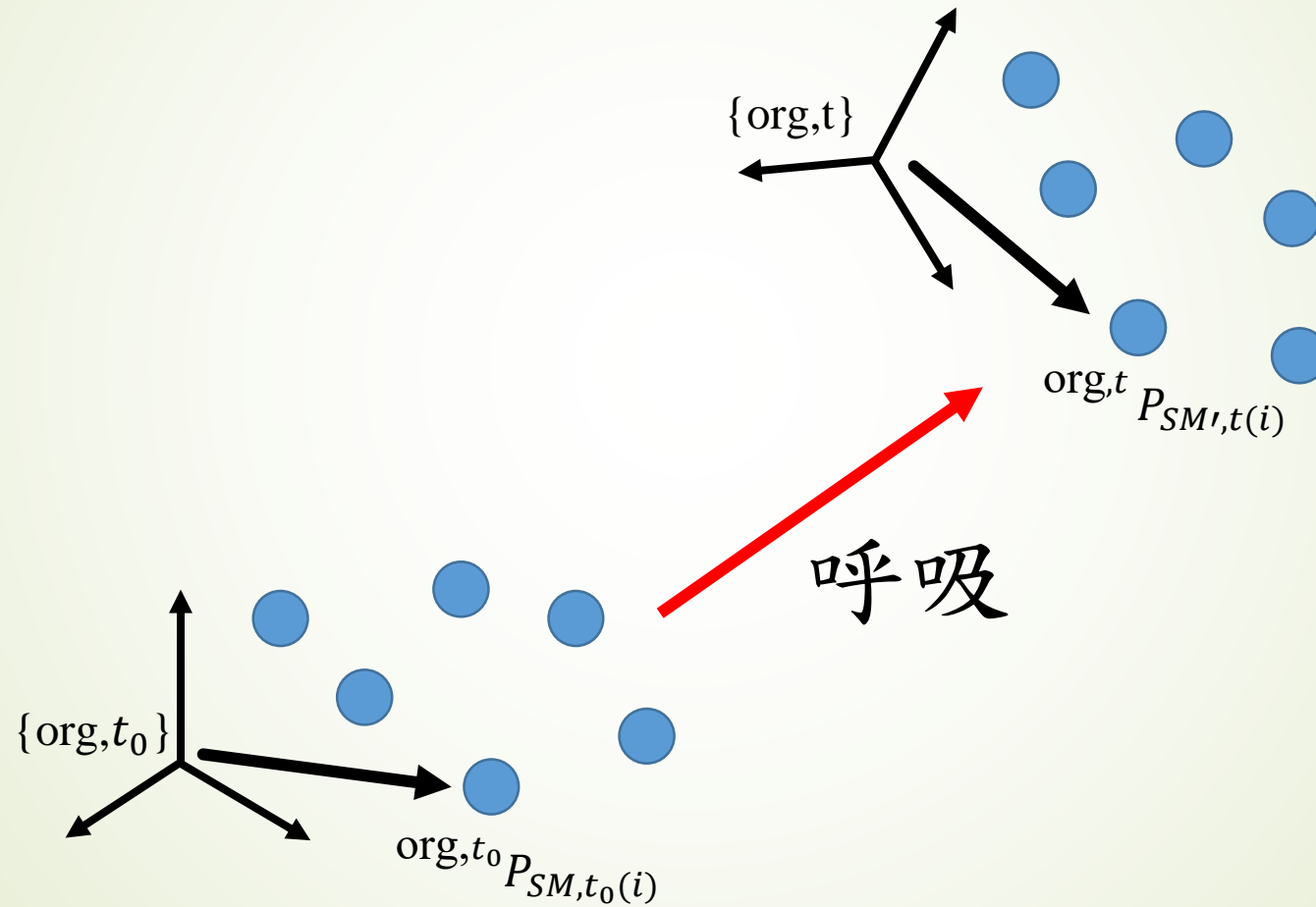
建立皮膚坐標系



建立皮膚坐標系

$\{\text{org}, t_0\}$: 初始坐標系 (病人坐標系)

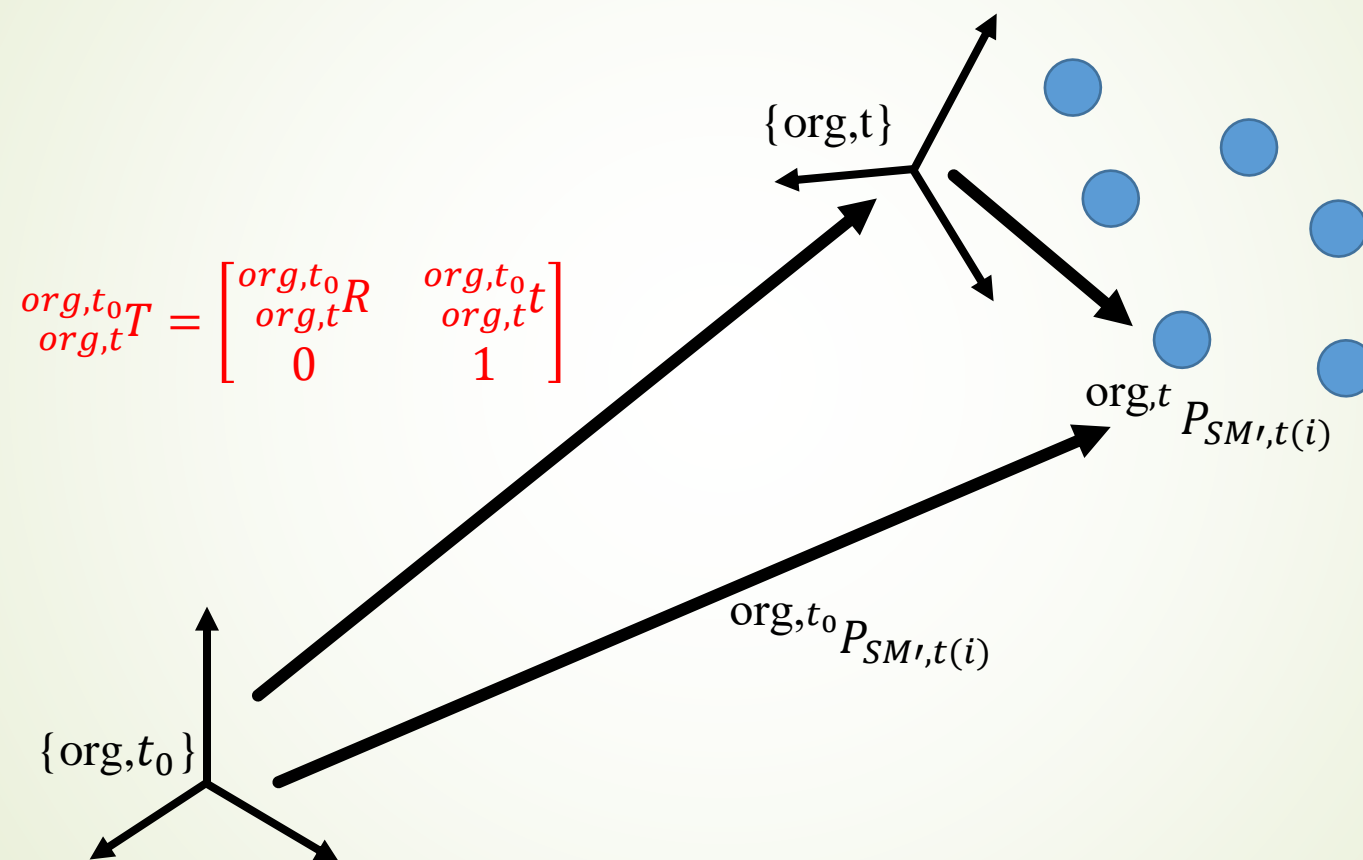
$\{\text{org}, t\}$: 其他時刻下皮膚坐標系



Least square求旋轉矩陣

$\{org, t_0\}$: 初始坐標系 (病人坐標系)

$\{org, t\}$: 其他時刻下皮膚坐標系



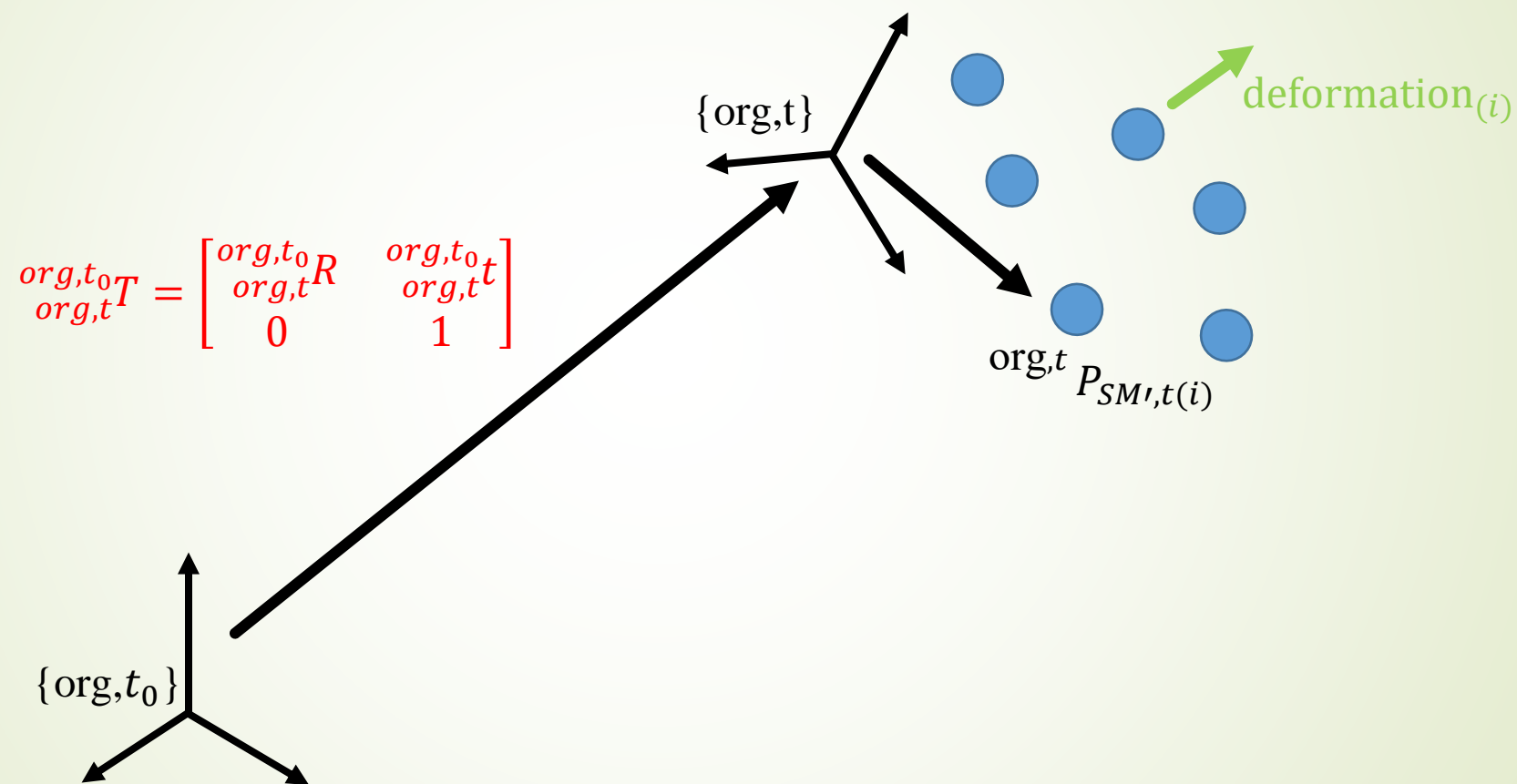
假設沒有 deformation:

$$org, t_0 P_{SM',t(i)} = \begin{matrix} org, t_0 \\ org, t \end{matrix} t + \begin{matrix} org, t_0 \\ org, t \end{matrix} R \begin{matrix} org, t \\ org, t \end{matrix} P_{SM',t(i)}$$

Least square求旋轉矩陣

$\{\text{org}, t_0\}$: 初始坐標系 (病人坐標系)

$\{\text{org}, t\}$: 其他時刻下皮膚坐標系

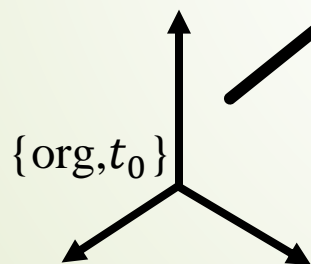


Least square求旋轉矩陣

$\{org, t_0\}$: 初始坐標系 (病人坐標系)

$\{org, t\}$: 其他時刻下皮膚坐標系

$${}^{org, t_0}T_{org, t} = \begin{bmatrix} {}^{org, t_0}R_{org, t} & {}^{org, t_0}t_{org, t} \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$



$\{org, t\}$

$org, t P_{SM, t(i)}$



已知

有 deformation:

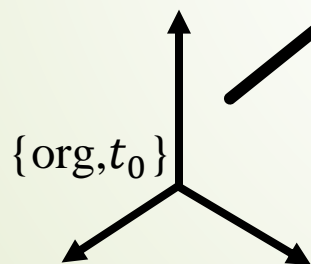
$${}^{org, t_0}P_{SM, t(i)} = {}^{org, t_0}t_{org, t} + {}^{org, t_0}R_{org, t} {}^{org, t}P_{SM, t(i)} + deformation_{(i)}$$

Least square求旋轉矩陣

$\{org, t_0\}$: 初始坐標系 (病人坐標系)

$\{org, t\}$: 其他時刻下皮膚坐標系

$${}^{org, t_0}T_{org, t} = \begin{bmatrix} {}^{org, t_0}R_{org, t} & {}^{org, t_0}t_{org, t} \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$



$\{org, t\}$

$org, t P_{SM, t(i)}$



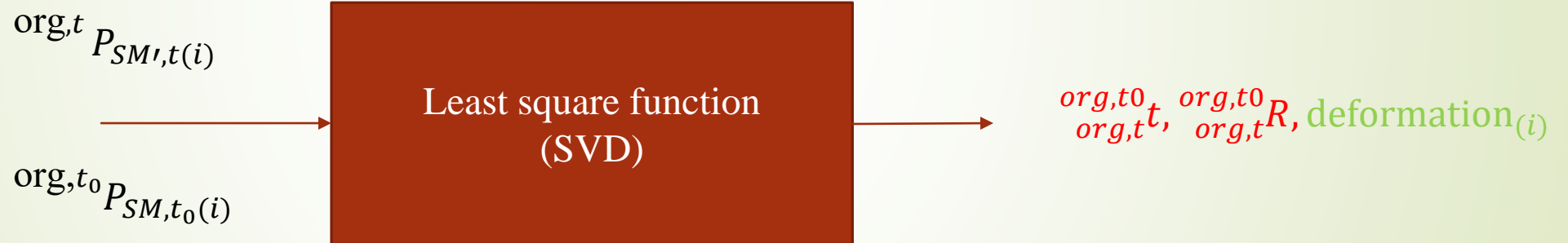
有 deformation:

$${}^{org, t_0}P_{SM, t(i)} = {}^{org, t_0}t_{org, t} + {}^{org, t_0}R_{org, t} {}^{org, t}P_{SM, t(i)} + deformation(i)$$

已知

Least square求旋轉矩陣

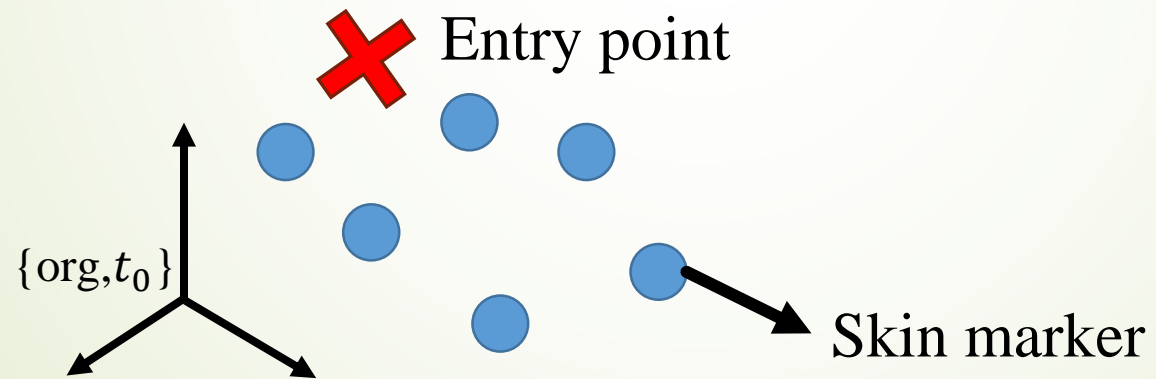
► $\text{deformation}_{(i)} = {}^{org,t_0}P_{SM,t(i)} - ({}^{org,t_0}_{org,t}t + {}^{org,t_0}_{org,t}R * {}^{org,t}P_{SM,t(i)})$ least square function



估測表面進入點



{NDI}



皮膚座標系模型

Nonrigid
Deformation

=

Rigid
Transform

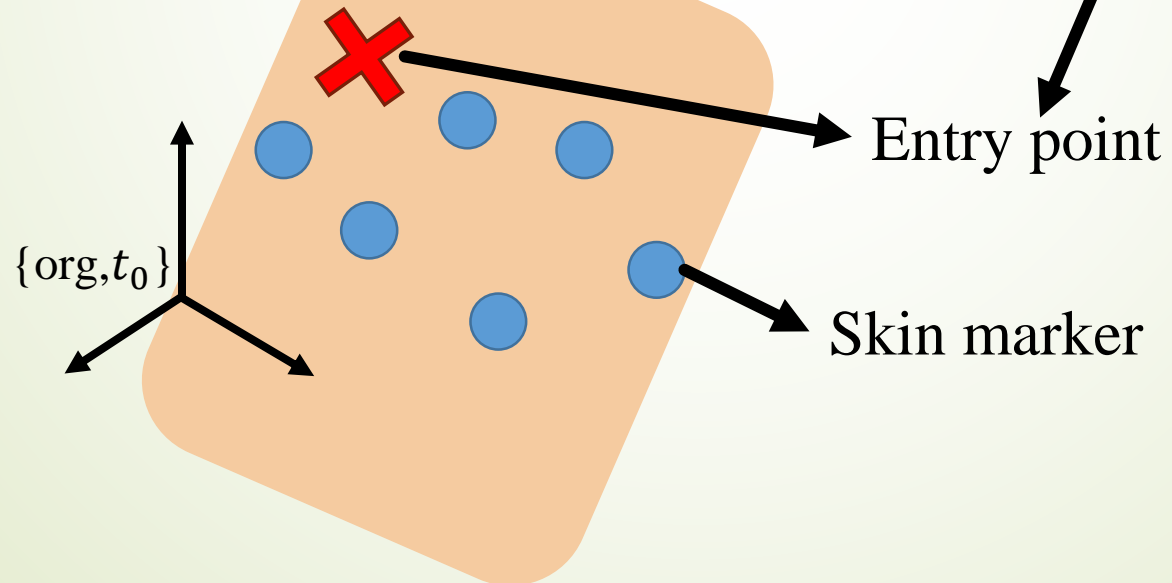
+

Deformation

估測表面進入點



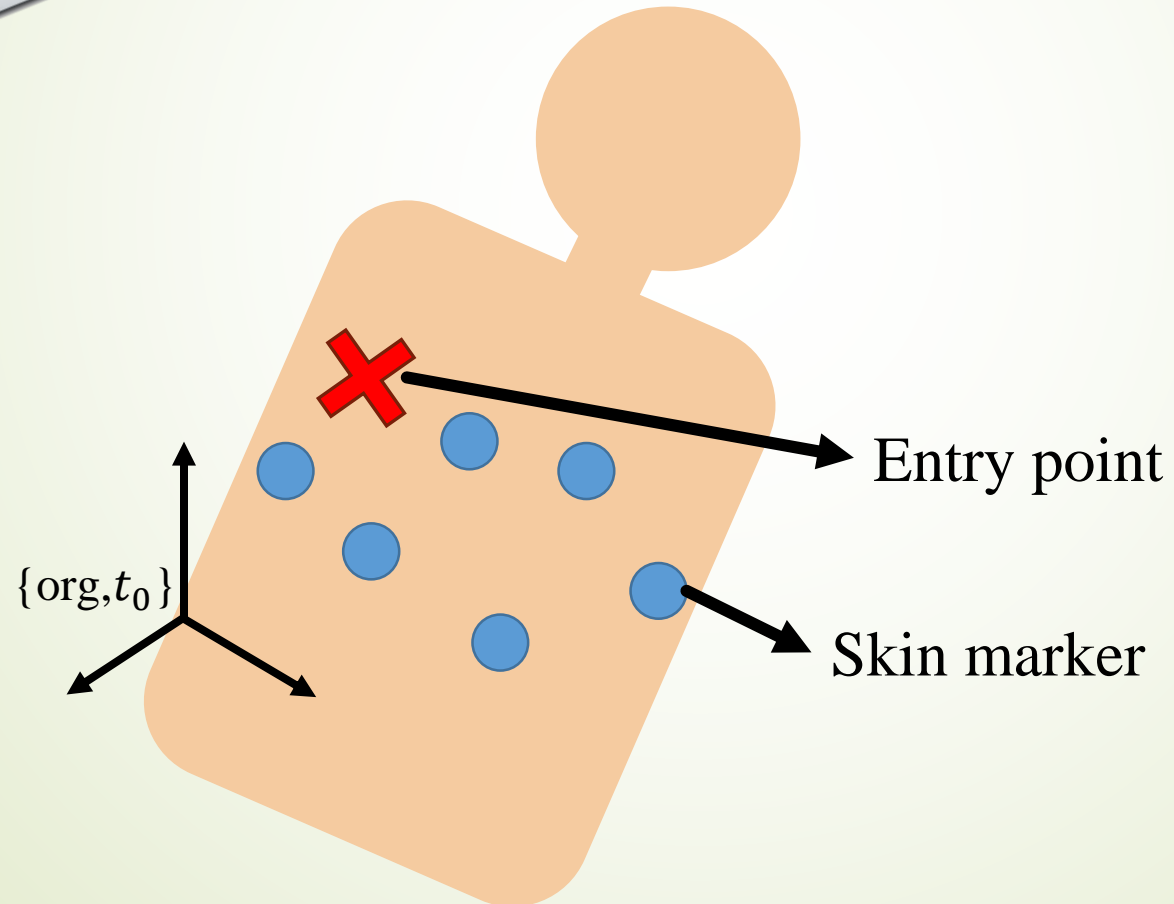
病人



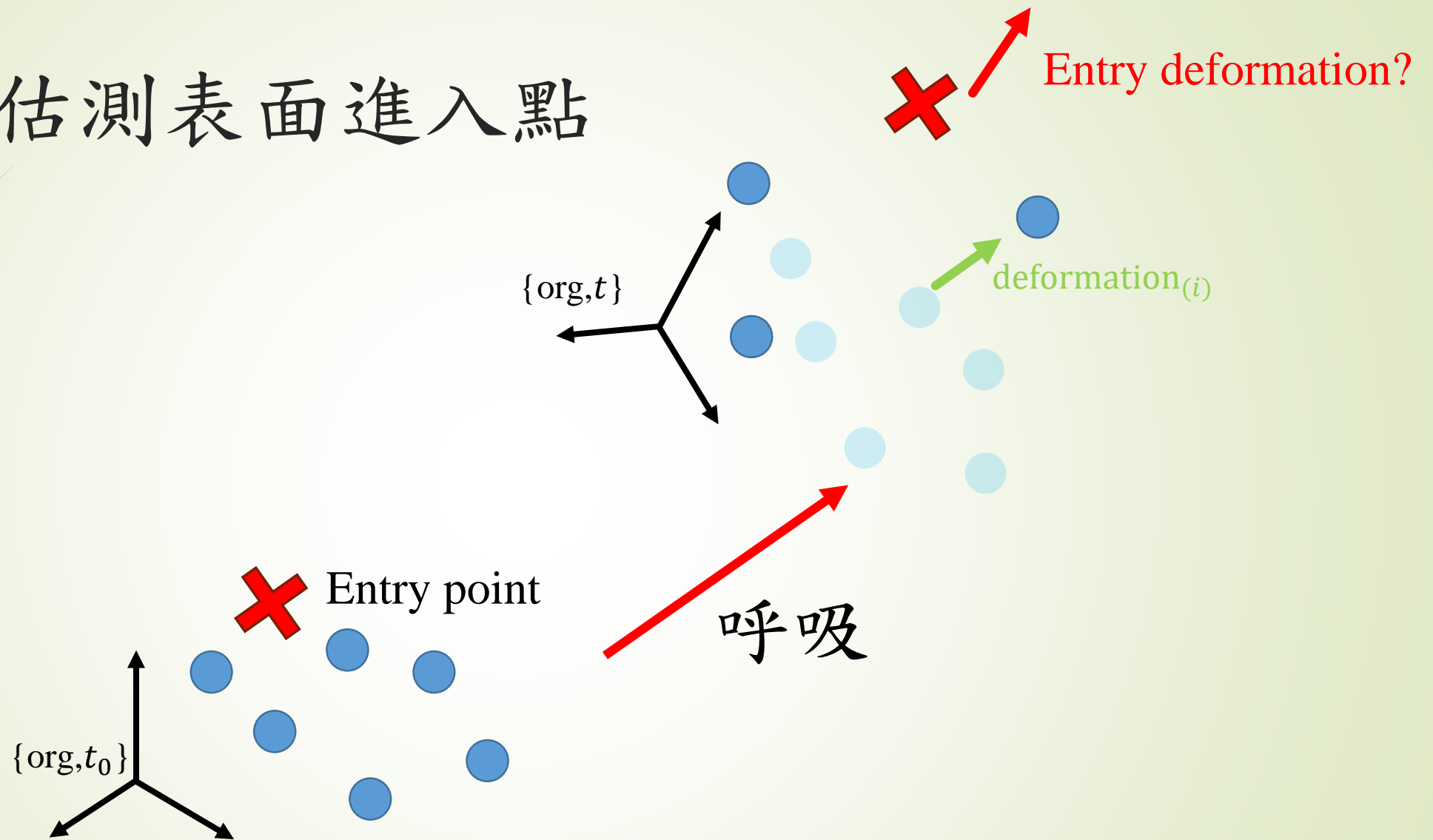
估測表面進入點



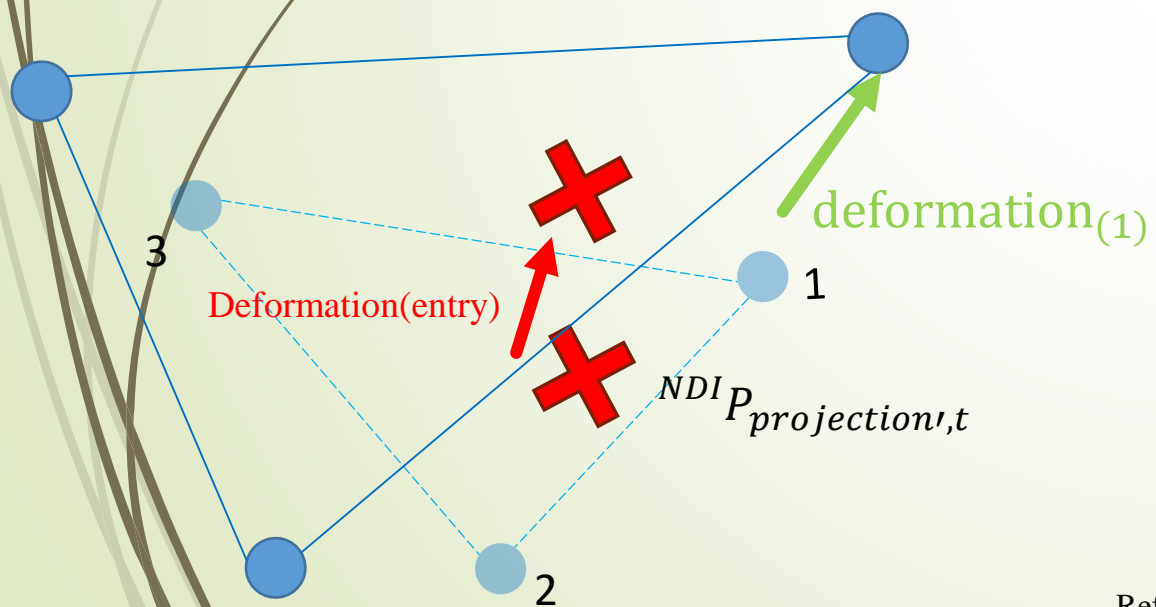
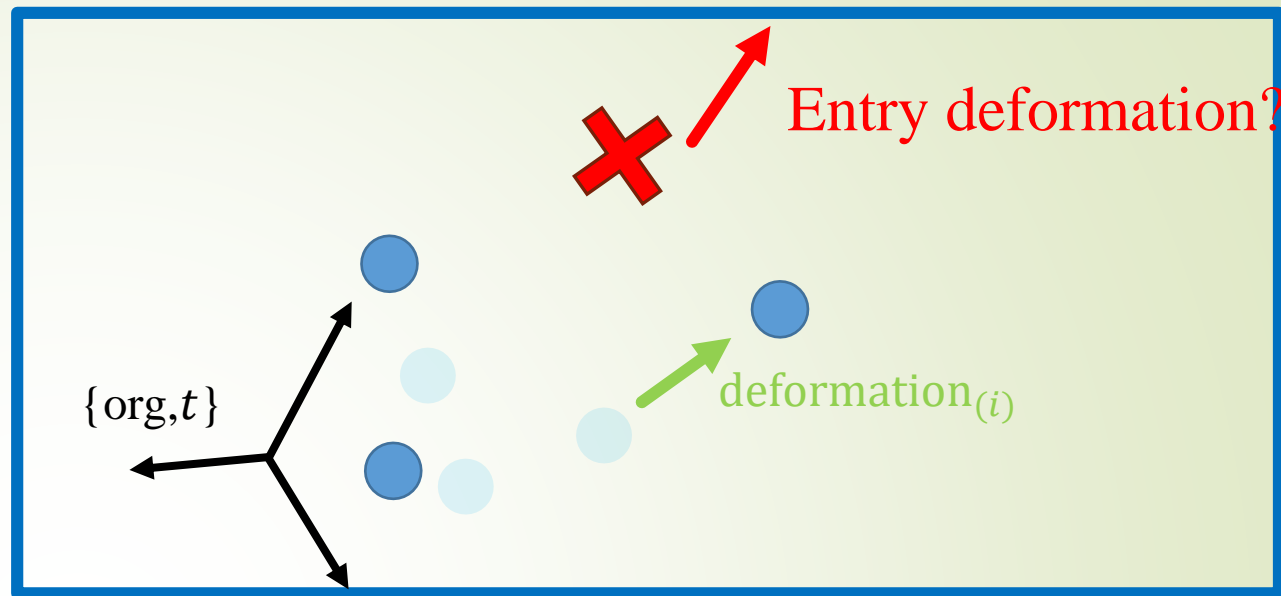
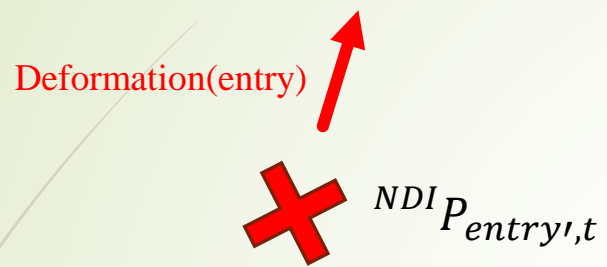
病人



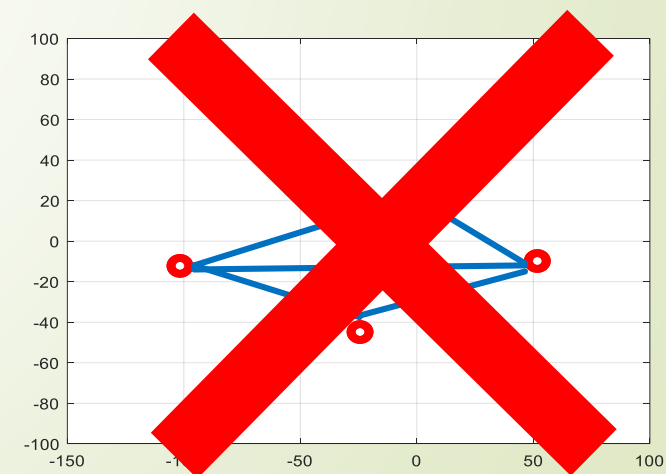
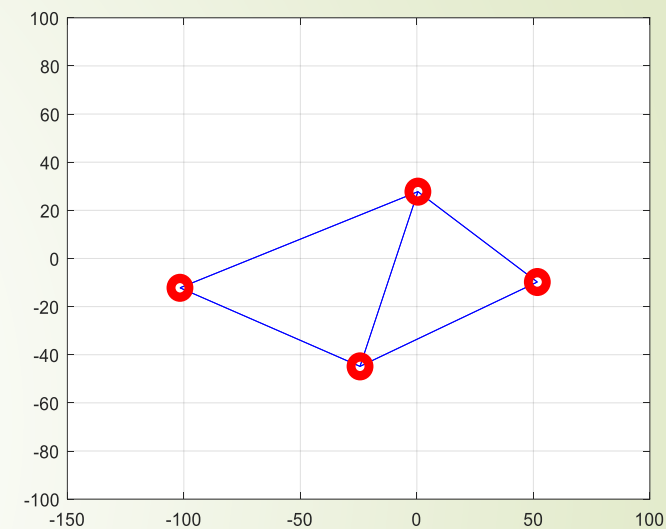
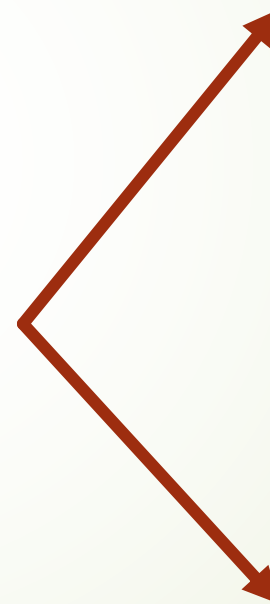
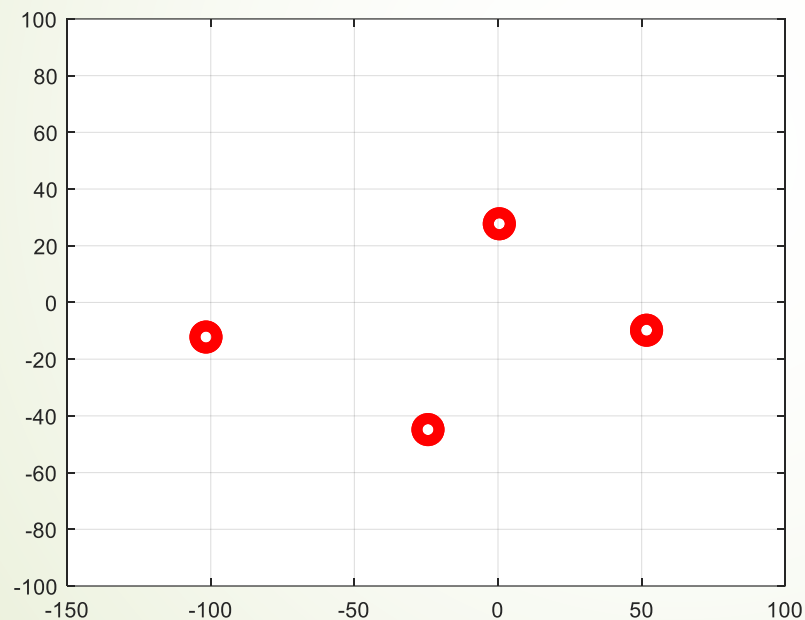
估測表面進入點



估測表面進入點



德勞內三角化



*不保證不會有鈍角三角型出現

實驗

實驗

實驗分類：

1. 剛體實驗
2. 軟組織實驗
3. 人體實驗

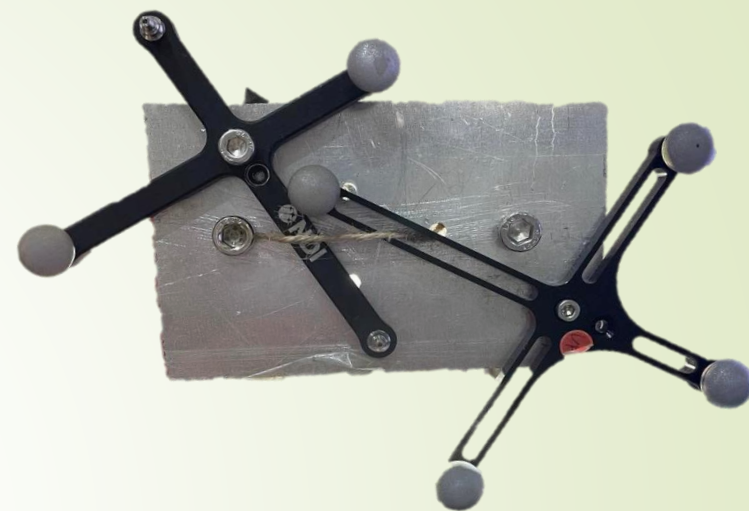


軟組織實驗

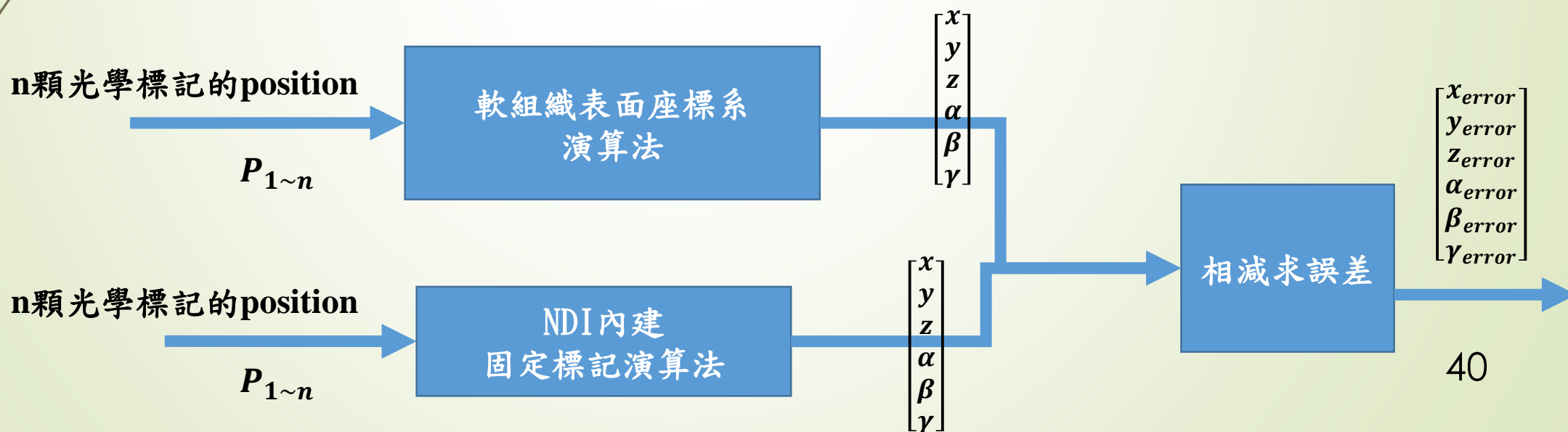
剛體實驗

目的：
驗證轉移矩陣T在剛體標記下可行

方法：
在光學標記固定在一剛體上並以NDI內建的演算法當作Ground truth(誤差為RMS 0.25mm)



光學標記固定在剛體上



剛體實驗結果

	平均誤差	最大誤差
Rz	0.23°	0.55°
Ry	0.49°	0.84°
Rx	0.27°	0.56°
X	0.09 mm	0.12 mm
Y	0.03 mm	0.04 mm
Z	0.12 mm	0.19 mm

旋轉剛體產生的誤差

	平均誤差	最大誤差
Rz	0.02°	0.13°
Ry	0.25°	0.73°
Rx	0.13°	0.42°
X	0.09mm	0.14mm
Y	0.01mm	0.03mm
Z	0.11mm	0.21mm

平移剛體產生的誤差

*NDI error:0.25mm(RMS)

軟組織實驗

實驗步驟

1. 皮膚標記的擺放方式
2. 皮膚標記數量
3. 表面進入點的位置與誤差

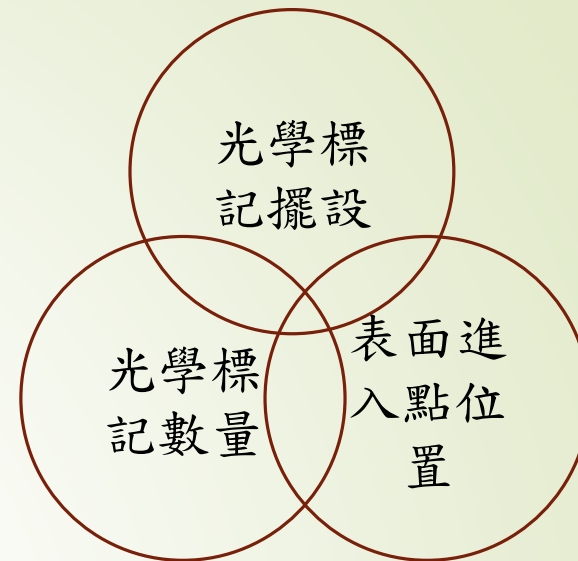
實驗對象：

充氣仿體的腹腔

實驗方式：

將仿體充氣

計算估測的三維誤差



表面進入點
Ground Truth

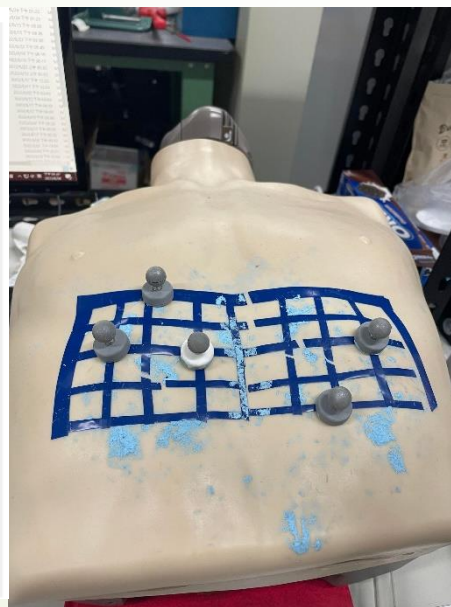
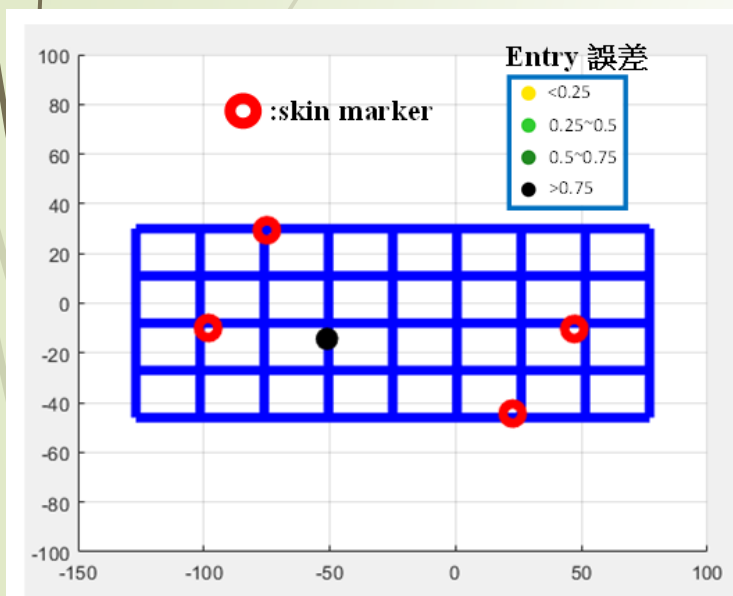
光學皮膚標記



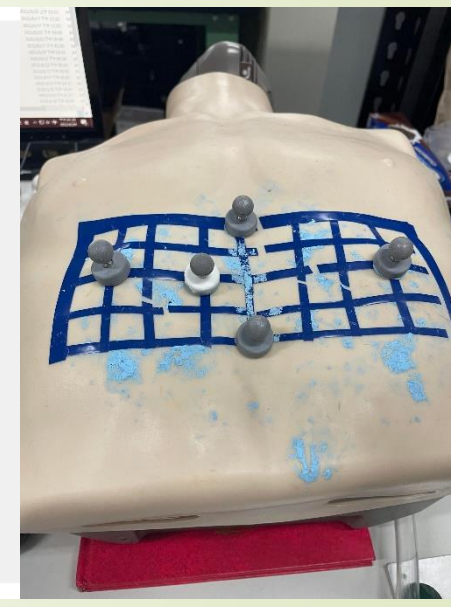
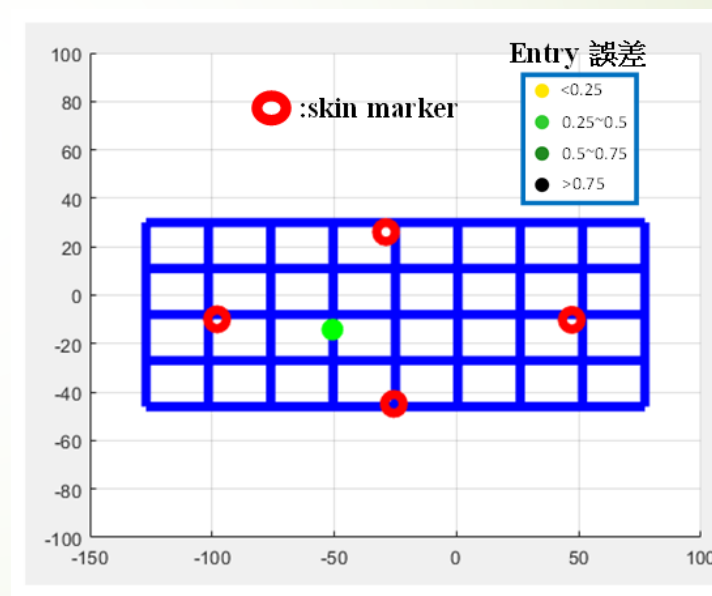
量測範圍網格

皮膚標記的擺放方式

固定marker數量:4顆
固定entry位置



斜長方擺放



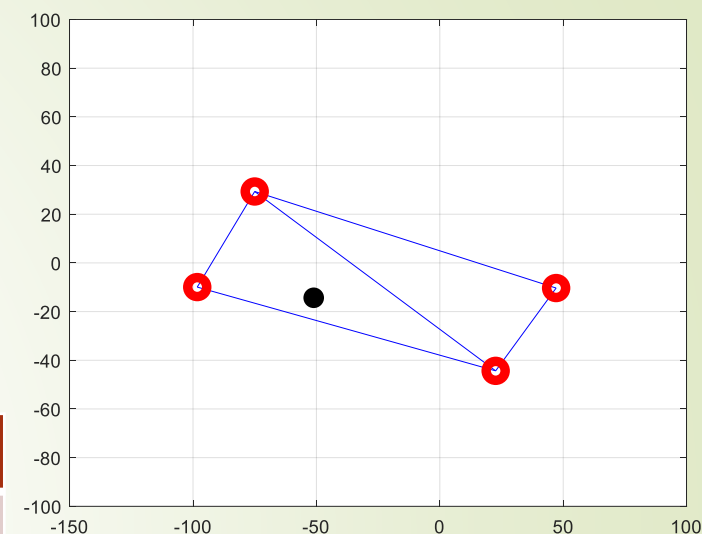
菱形擺放

皮膚標記的擺放方式

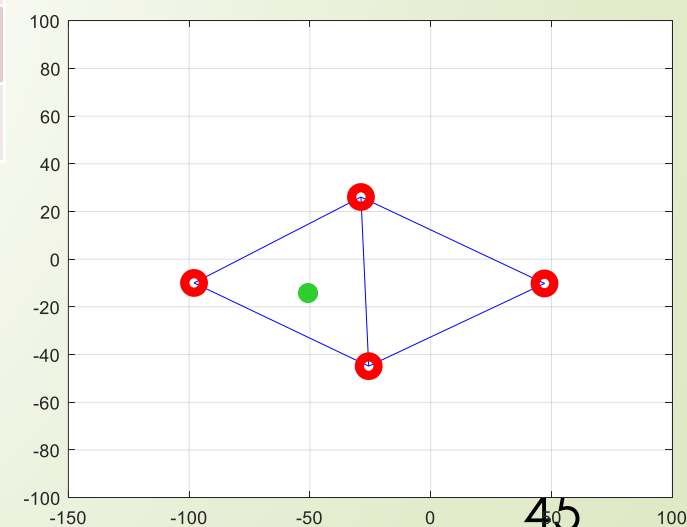
➡ 面積 內角度數 affine誤差 deformation誤差

	斜長方擺放	菱形擺放
面積	2835.9mm ²	2505.4mm ²
最大內角度數	82°	63°
affine誤差	1.03mm	0.55mm
Affine+deformation誤差	0.96mm	0.43mm

只靠一個entry無法得知此擺設方式優劣



斜長方擺放



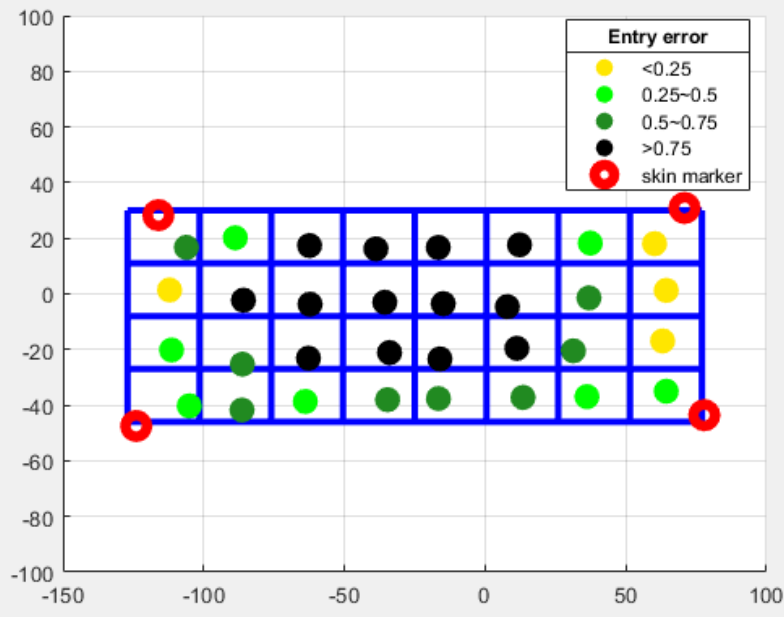
菱形擺放

擺放方式與表面進入點

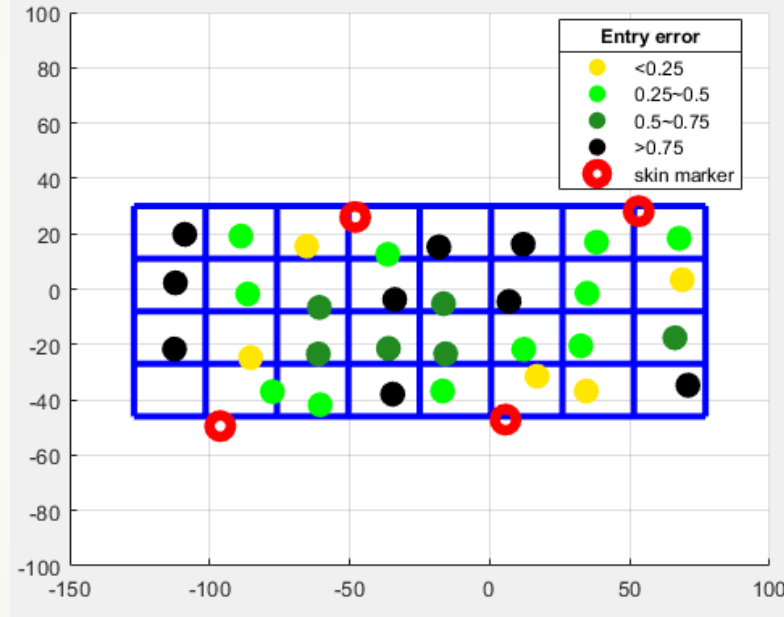
光學標
記擺設

光學標
記數量

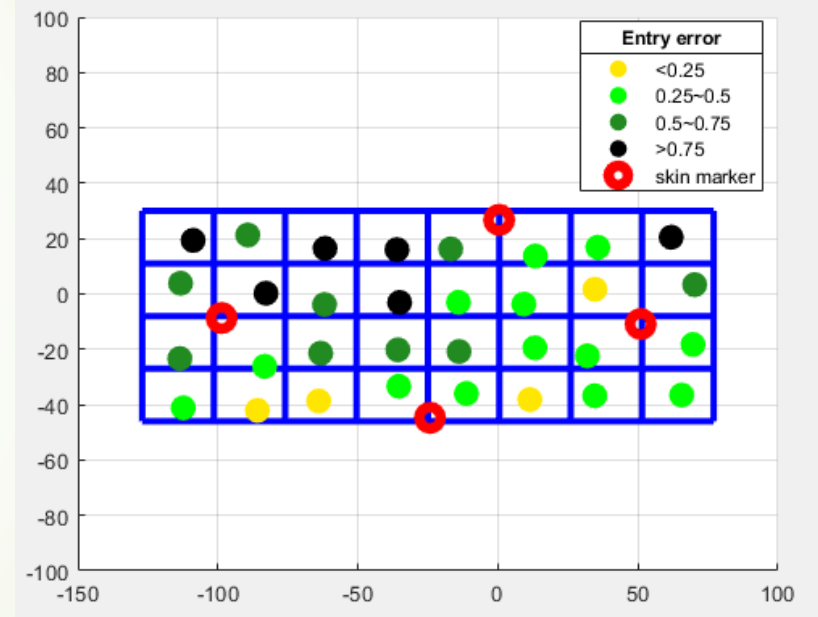
表面進
入點位
置



長方擺放



平行四邊擺放



菱形擺放

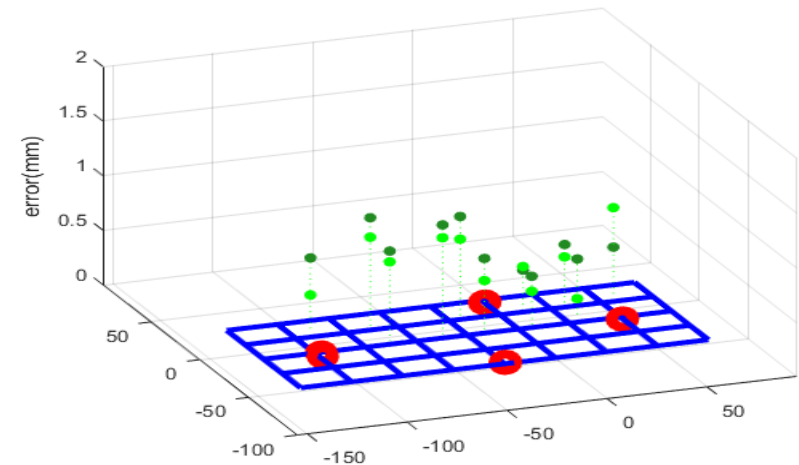
	方式一(最大面積)	方式二(平行四邊)	方式三(菱形)
<0.25	4顆	5顆	4顆
0.25~0.5	7顆	11顆	13顆
0.5~0.75	8顆	6顆	9顆
>0.75	13顆	9顆	6顆

擺放方式與表進入點

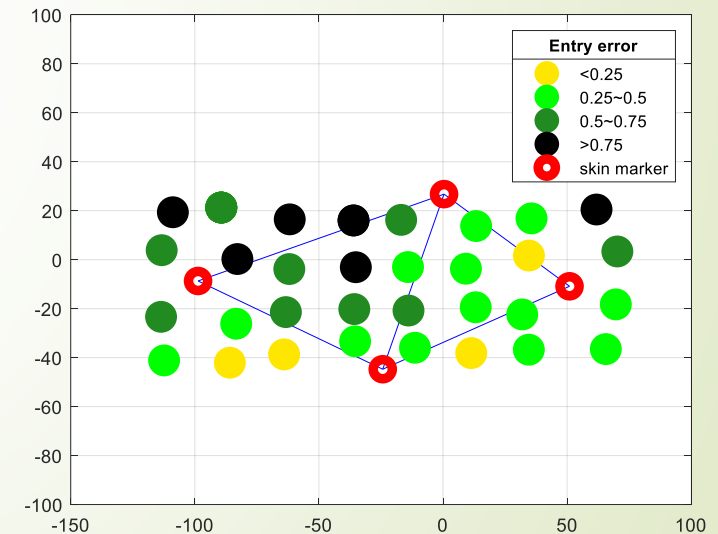
透過菱形擺放方式分析

1. Affine的誤差越小，估測越準
2. 銳角三角形估測效果越好，最大角 $<70^\circ$
鈍角三角形估測效果較差
3. 三角形面積 $<2700\text{mm}^2$
4. 左右上下對稱的擺放估測較準

	左三角形	右三角形
面積	3307mm^2	2358.4mm^2
最大內角度數	75°	68°
affine誤差	0.78mm	0.5mm
Affine+deformation 誤差	0.63mm	0.32mm

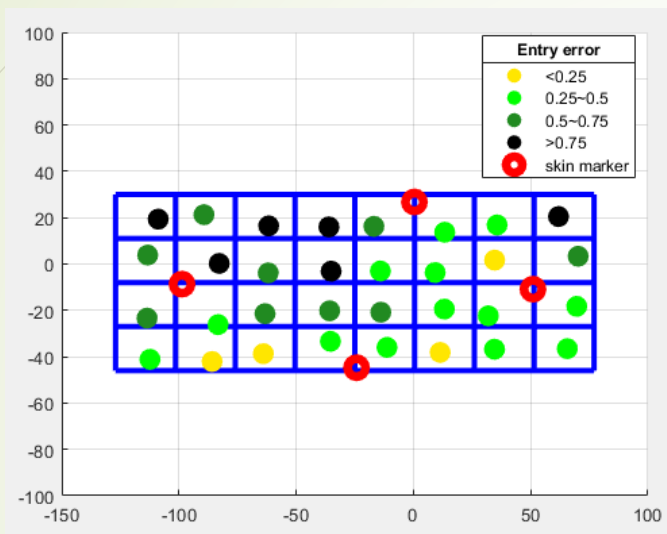


深綠色為affine誤差 前綠色為deform誤差

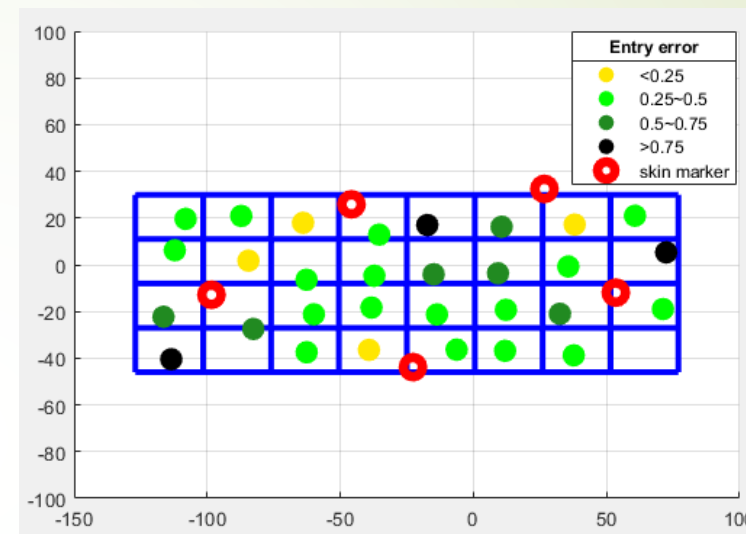


深綠色為affine誤差 前綠色為deform誤差

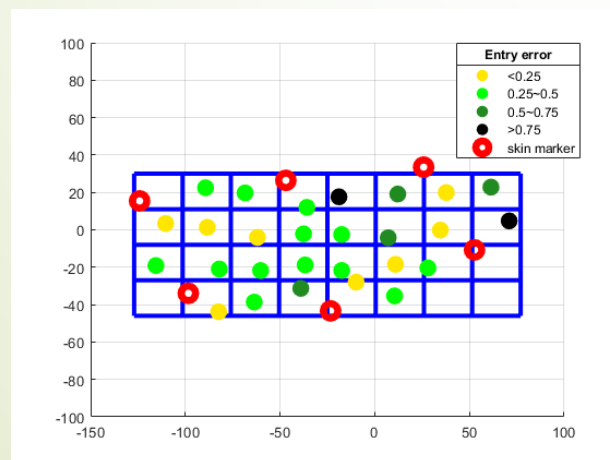
反光球數量與誤差關係



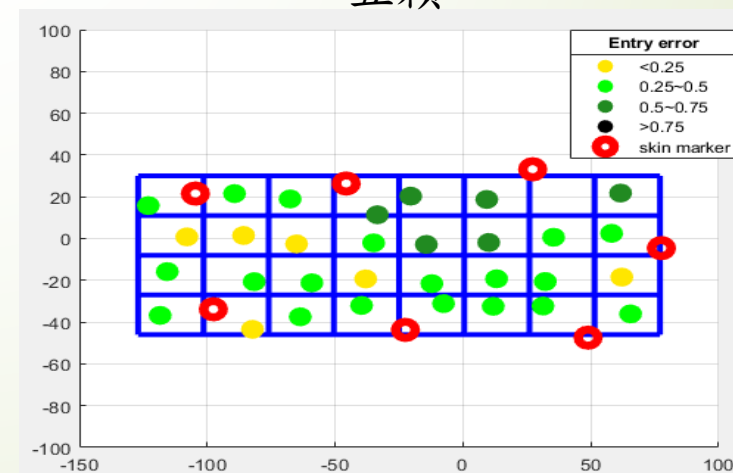
四顆



五顆



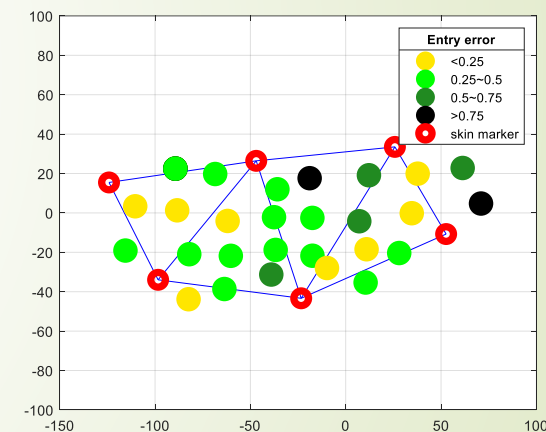
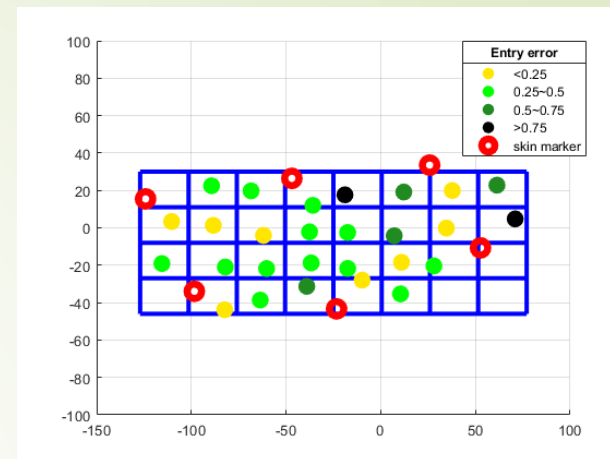
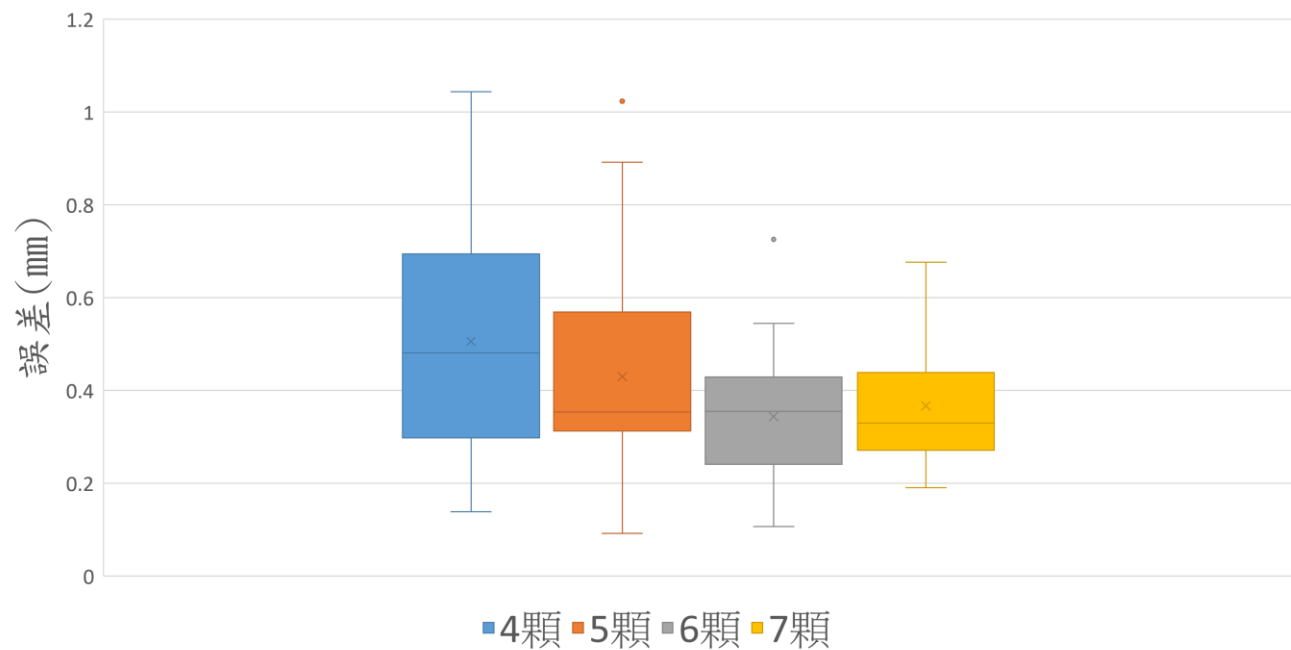
六顆



七顆

反光球數量與誤差關係

marker數量與entry估測統計圖



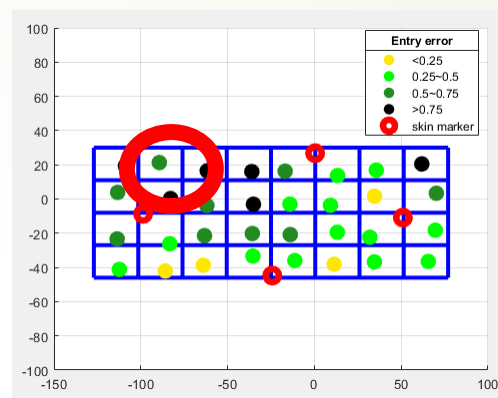
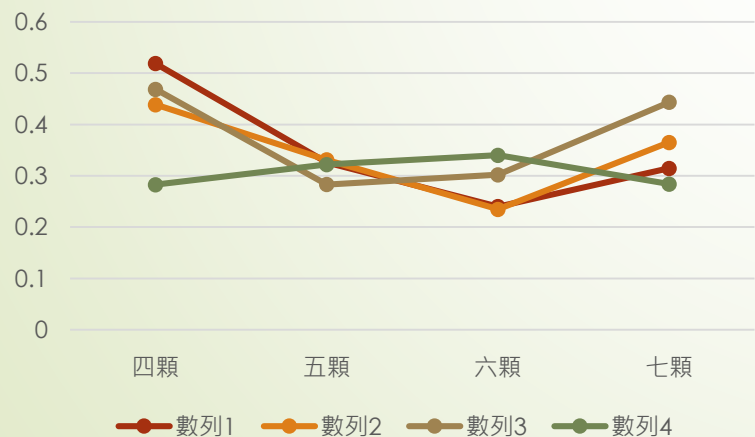
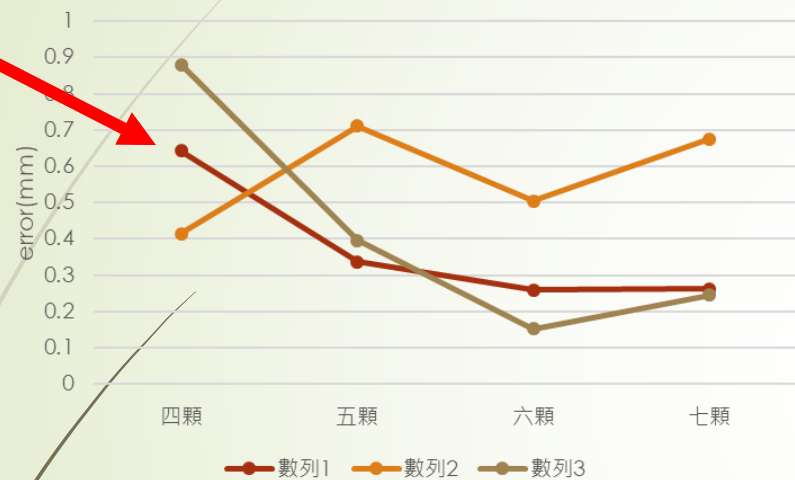
總估測範圍 18000mm^2

六顆涵蓋範圍80%

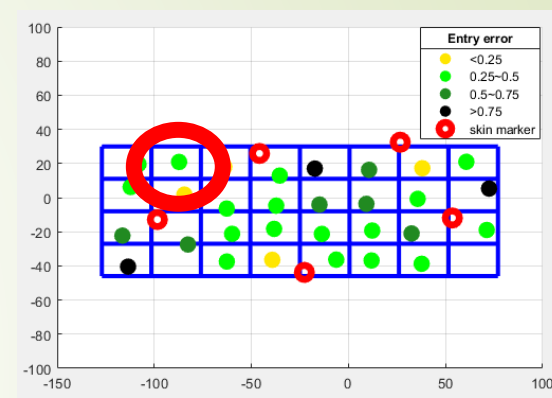
最大三角形面積 $<2821.4\text{mm}^2$

最大角度 83°

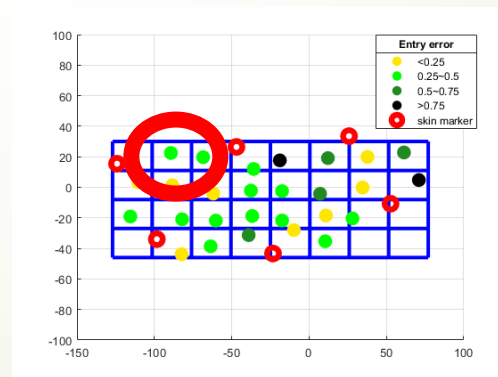
反光球數量與誤差關係



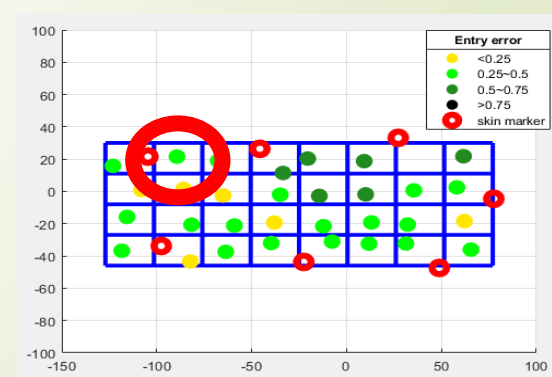
四顆



五顆

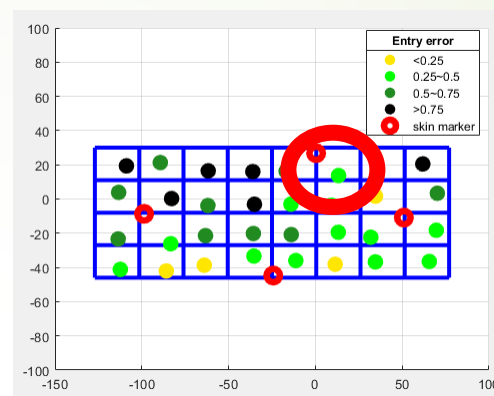
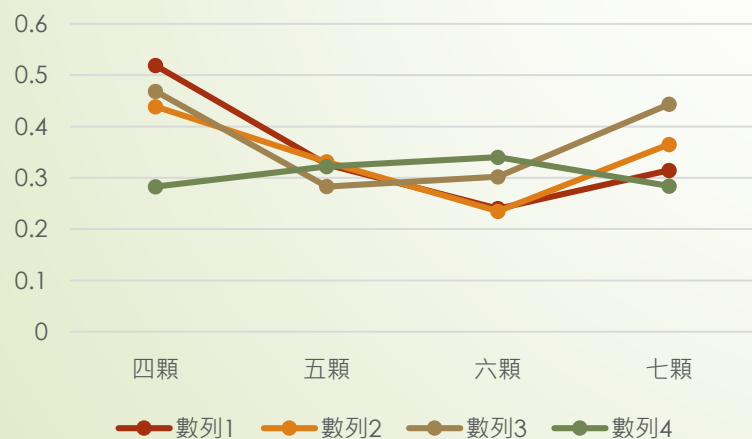
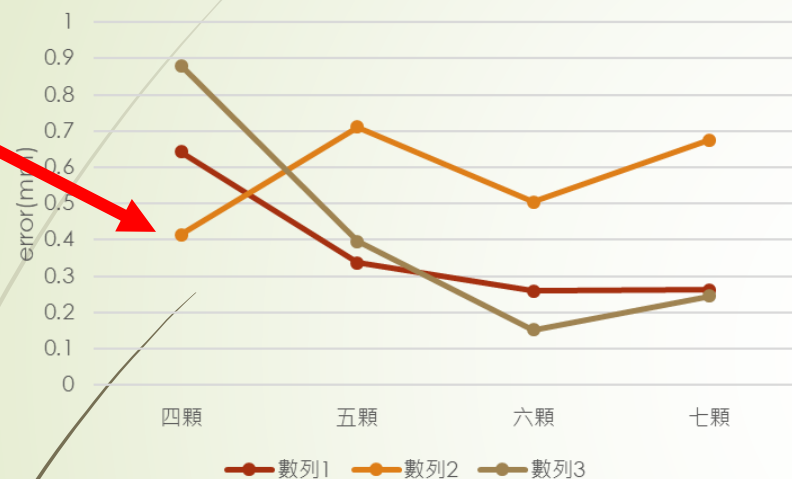


六顆

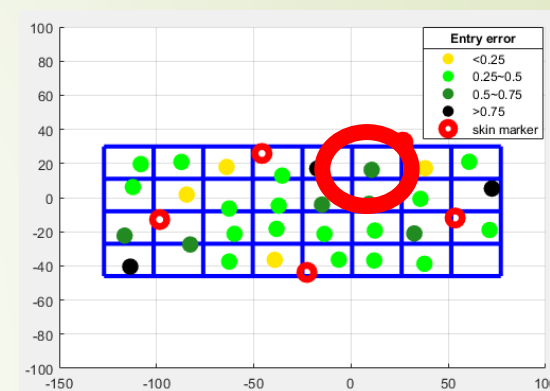


七顆

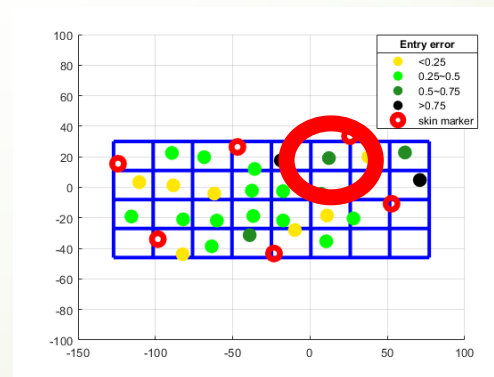
反光球數量與誤差關係



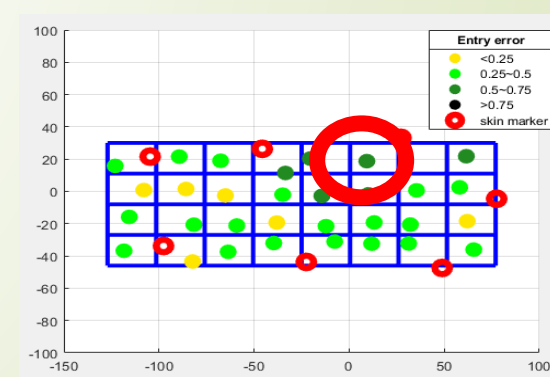
四顆



五顆



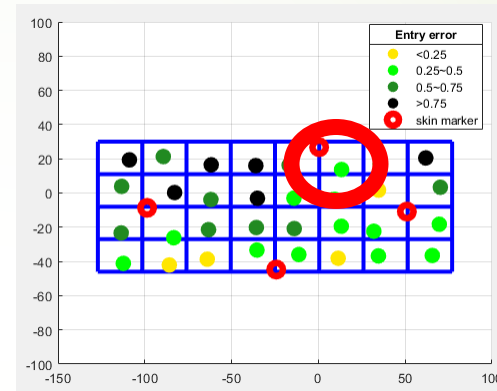
六顆



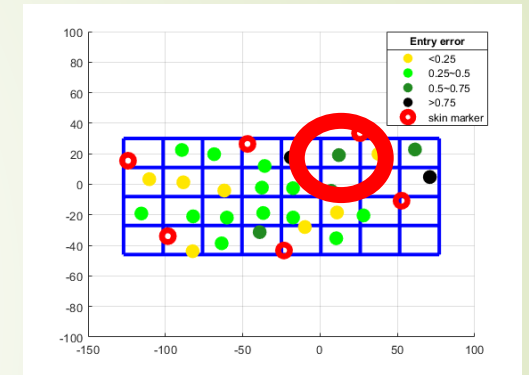
七顆

反光球數量與誤差關係

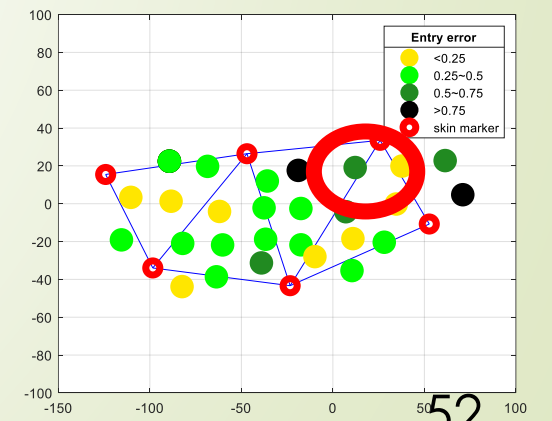
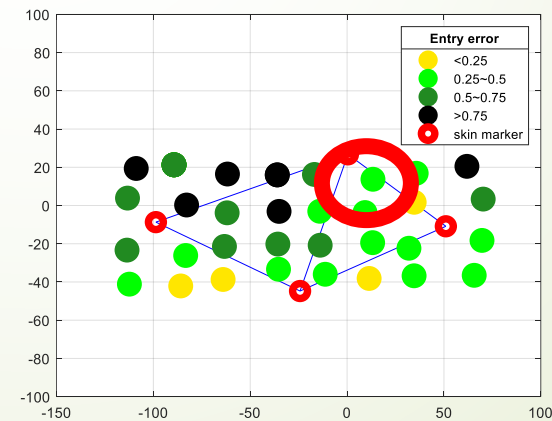
	四顆	六顆
三角型面積	2358.4mm ²	2821.4mm ²
最大角	68°	83°



四顆



六顆



人體測試



	4顆菱形	4顆斜長方	6顆
Affine誤差	1.88mm	2.86mm	1.35mm
Affine+deform 誤差	1.43mm	2.83mm	0.63mm

結論

➤ 擺放方式

德勞內三角化銳角三角形準確度較高(最大角 $<70^\circ$)

三角形面積 $<2700\text{mm}^2$

擺放方式左右對稱準確度較高

➤ 光學標記數量

數量越多越準確

超過6顆光學標記後 平均誤差維持在 0.37mm

➤ 未來展望

估測內部腫瘤

針對不同的穿刺部位做分析



謝謝委員聆聽

參考文獻

1. Li, J., et al., *Application of Artificial Intelligence in Diabetes Education and Management: Present Status and Promising Prospect*. Front Public Health, 2020. **8**: p. 173.
2. Keylock, L., et al., *The Effect Of Age On The Lumbar Spine Of Cricket Fast Bowlers*. Medicine & Science in Sports & Exercise, 2020. **52**(7S): p. 72-73.
3. Luerken, L., et al., *Stereotactic Percutaneous Electrochemotherapy as Primary Approach for Unresectable Large HCC at the Hepatic Hilum*. Cardiovasc Intervent Radiol, 2021. **44**(9): p. 1462-1466.
4. Jiang, B., et al., *Pedicle screw accuracy assessment in ExcelsiusGPS® robotic spine surgery: evaluation of deviation from pre-planned trajectory*. Chin Neurosurg J, 2018. **4**: p. 23.
5. Nicolau, S., et al., *Augmented reality in laparoscopic surgical oncology*. Surg Oncol, 2011. **20**(3): p. 189-201.
6. Spinczyk, D., A. Karwan, and M. Copik, *Methods for abdominal respiratory motion tracking*. Comput Aided Surg, 2014. **19**(1-3): p. 34-47.
7. Wood, B.J., et al., *Navigation with electromagnetic tracking for interventional radiology procedures: a feasibility study*. J Vasc Interv Radiol, 2005. **16**(4): p. 493-505.
8. Tinguely, P., et al., *Stereotactic image-guided microwave ablation for malignant liver tumors—a multivariable accuracy and efficacy analysis*. Frontiers in oncology, 2020. **10**: p. 842.
9. Oliveira-Santos, T., et al. *Passive single marker tracking for organ motion and deformation detection in open liver surgery*. in *International Conference on Information Processing in Computer-Assisted Interventions*. 2011. Springer.
10. Sorkine-Hornung, O. and M. Rabinovich, *Least-squares rigid motion using svd*. Computing, 2017. **1**(1): p. 1-5.
11. Giesen, F.e.e.C.a.J., *Delaunay Triangulation Based Surface Reconstruction*. 2006.
12. Markert, M., A. Koschany, and T. Lueth, *Tracking of the liver for navigation in open surgery*. International journal of computer assisted radiology and surgery, 2010. **5**(3): p. 229-235.