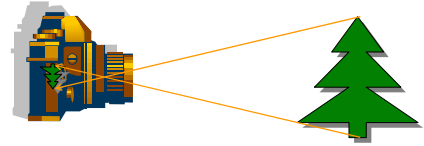


線画解析

第2回

カメラ画像

- ◆カメラ画像は、三次元の座標系から二次元の画像座標系へ射影したもの

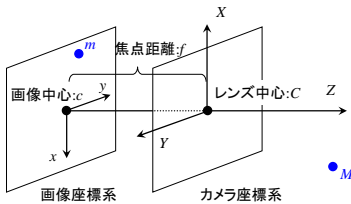


二次元画像

三次元世界

カメラモデル

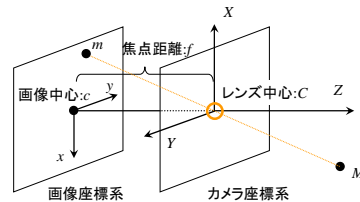
- ◆数学的にモデル化



三次元世界の点Mから画像上の点mをどのように対応付けるか

中心射影

- ◆ピンホールカメラモデル
- レンズ系を針の穴 (pinhole) とみなす

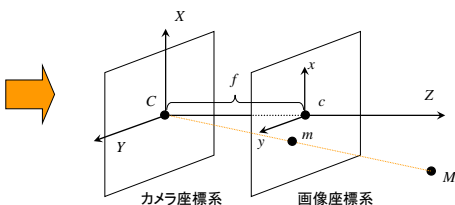


$$s \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f & 0 & 0 & 0 \\ 0 & f & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix}$$

(X, Y, Z) : 三次元空間の座標
 (x, y) : 射影された画像上の座標
 s : スカラー

中心射影(続き)

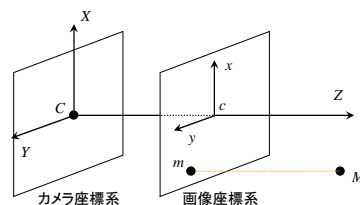
- ◆座標系の位置を入れ替えると



よく使われているモデルであるが、非線形変換である

正射影(平行射影)

- ◆射影の近似(線形化)
- カメラ⇄物体間の距離に無関係

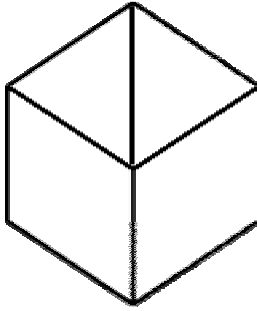


$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix}$$

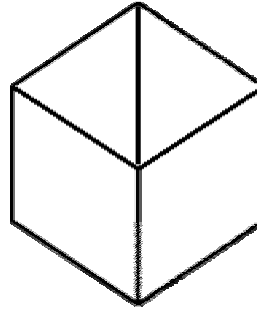
(X, Y, Z) : 三次元空間の座標
 (x, y) : 射影された画像上の座標

今回の線画解析では、正射影を使う

線画知覚



線画から奥行き情報



- ◆ 2次元の線画が与えられ
- ◆ 元の3次元物形状を推定
- ◆ なぜひし形にみえずすにみえるのか？
- ◆ コンピュータが同じように解釈するようにできないか？

線画解釈研究歴史

◆ 重要性

- 3次元情報が得られる例証(制限つきではあるが)
- 初期の成功例(部分的ではあるが)
- 拘束伝播なる考えが導入

◆ パイオニア

- Roberts(1976)
- Guzman(1969)
- Huffman&Clows (1971)
- Waltz (1972)

CVのパイオニア
不完全ながら問題指摘
頂点辞書を提案
拘束伝播の導入

解釈のアウトライン

- ◆ 稜線のタイプ
- ◆ 頂点のタイプ
- ◆ 頂点辞書
- ◆ 拘束伝播による線画のラベル付け
- ◆ 欠点

稜線のタイプ

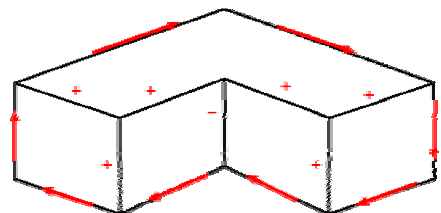


凸稜線: +

凹稜線: -

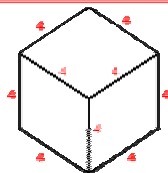
輪郭線: 矢印の方向に進むと右側に物体、左側が背景

線画のラベル付け



3D形状を知っていればラベル付けは容易
逆操作は可能か？

可能なラベル数(拘束なし)



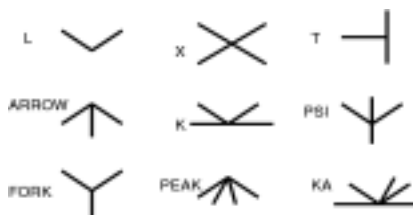
- 9本の線よりなる
- 各4ラベルの可能性

→ $4 \times 4 \times 4 \times 4 \times 4 \times 4 \times 4 \times 4 \times 4 = 250,000$ の可能性

しかし！ 現実には1通りしかない
250,000の可能性を減少させる必要あり！

→ 3Dの知識による拘束の必要性

頂点の見える分類



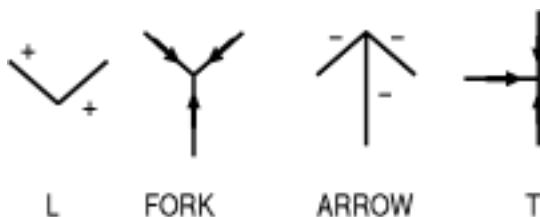
→ 何らかの制限を導入し、数を減らしたい

制限

- ◆ 三面頂点—最大3枚の面よりなる
- ◆ 特異な見え(非常にまれな見え)は除く
- ◆ 影、割れ目等がない



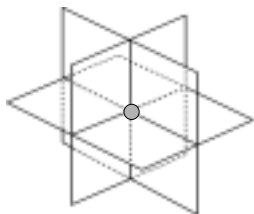
制限下での頂点の種類



頂点のラベル付け

- 3枚の平面の交差による3面頂点
- 3枚の平面は空間を8個の小空間に分割
- 可能性について数え上げ

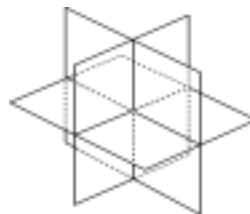
(空 <—> 実)



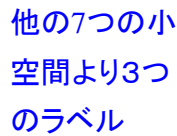
数え上げ(0)

- 0個の小空間がつまっている

→ 頂点はなし



1個の小空間がつまっている



◆2つの小空間がつまっている



- ◆上の背後…L型
- ◆右上…L型
- ◆左下…L型
- ◆真上…ARROW型
- ◆真下…FORK型

- 4小空間 — 特異な見え
- 5小空間 — 2L型,1ARROW型
- 6小空間 — 特異な見え
- 7小空間 — 1FORK型



- 8小空間 — 頂点なし

- ・他の可能性なし

・208の可能性が12個に限定

- L型 — 6個
- ARROW型 — 3個
- FORK型 — 3個

◆ 拘束なし --250,000の可能性

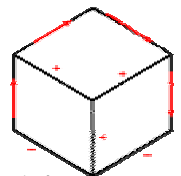
- ◆ 拘束あり

3ARROW - 3x3x3

3L - 6x6x6

1FORK - 3

→ $3 \times 3 \times 3 \times 6 \times 6 \times 6 \times 3 = 17,496$ の可能性

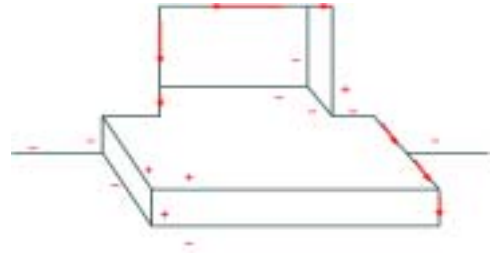


線の両端での整合性
→ さらなる拘束

拘束伝播によるラベル付け

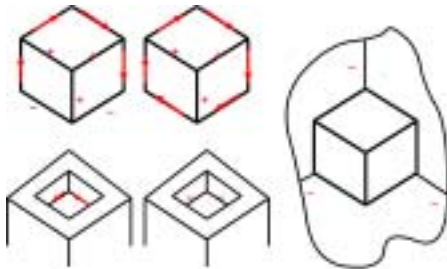
- ◆ “Waltz フィルタリング”
- ◆ 稜線の両側で同じ特徴である必要
- ◆ 頂点を通して拘束伝播
- ◆ 通常、輪郭線から始める
- ◆ バックトラックが必要

ラベル付けの例

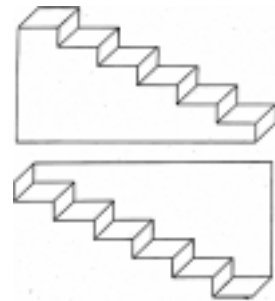


特徴1

同一の線画が複数解釈

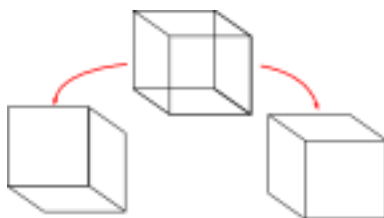


特徴2: 周辺からの拘束伝播



特徴3: ワ이어フレーム

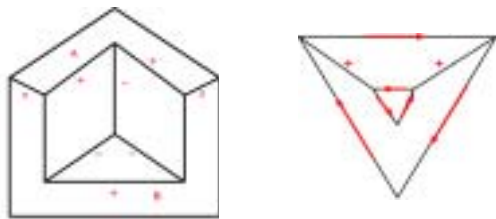
- ◆ 人間の知覚: フリップフロップ
– (Necker 1832, Swiss naturalist)



欠点1: ラベル付け不可能

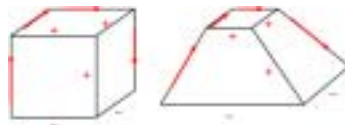


ラベル付け可能な不可能物体



ラベル付けができて、その立体が実現するわけではない

欠点3: 定性表現



ラベルが同じで合っても一意には決まらない

ラベル付けのまとめ

3次元解釈の入門

1. 3次元拘束の抽出
2. 拘束の画像上での影響
3. 拘束を利用したアルゴリズムの開発

--> コンピュータビジョンの定石

道具: 拘束伝播

線画解釈の問題点

1. あいまい性の存在
2. 完全な線画抽出が前提 --> 不可能
3. 定性表現にしかすぎない

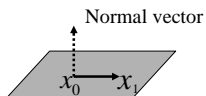
グラディエント空間

グラディエント空間

- ◆ 面の傾きを点として表現する
- ◆ 実画像空間との双対関係
 - 面 - 点
 - 線 - 線
 - 点 - 面
 - 直交関係
- ◆ 球面の平面への投影

法線ベクトル

平面方程式 $Ax + By + Cz + D = 0$



法線ベクトル: (A, B, C)

$$(A, B, C) \cdot (x_1 - x_0, y_1 - y_0, z_1 - z_0) = 0$$

書き換え

$$(A, B, C) = \left(\frac{A}{C}, \frac{B}{C}, 1\right) = (p, q, 1)$$

面のグラディエント

Gradient of surface $-z = f(x, y)$ is

$$(p, q) = \left(\frac{\partial f}{\partial x}, \frac{\partial f}{\partial y}\right) = \left(-\frac{\partial z}{\partial x}, -\frac{\partial z}{\partial y}\right)$$

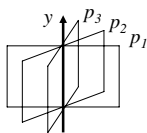
Gradient of plane

$$Ax + By + Cz + D = 0$$

$$-z = \frac{A}{C}x + \frac{B}{C}y + \frac{D}{C}$$

$$(p, q) = \left(-\frac{\partial z}{\partial x}, -\frac{\partial z}{\partial y}\right) = \left(\frac{A}{C}, \frac{B}{C}\right)$$

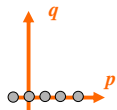
面のグラディエントの特性



$$Ax + Cz + D = 0$$

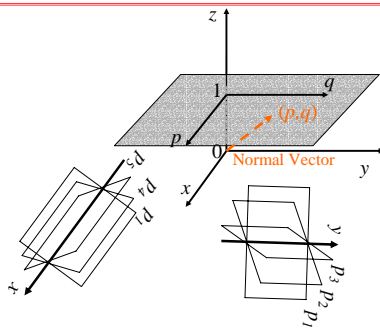
$$-z = \frac{A}{C}x + \frac{D}{C}$$

$$(p, q) = \left(\frac{A}{C}, 0\right)$$



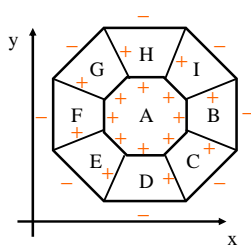
y軸回りの角度が
pの値となる

グラディエントと法線の関係

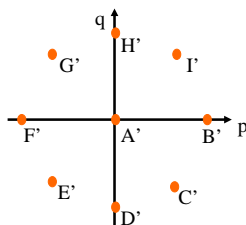


x, y軸回りの角度により, 全ての平面の傾きを表す

グラディエント空間での多面体

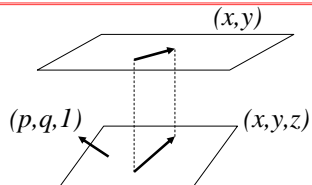


Top view of polyhedron
A || x-y plane



Same order as left

面上のベクトル



画像面

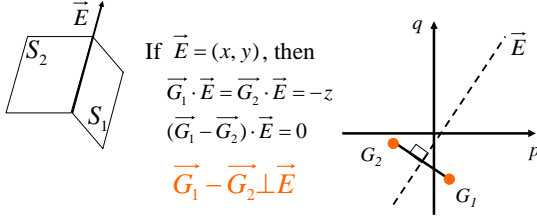
$$(p, q, 1) \cdot (x, y, z) = 0$$

$$(p, q) \cdot (x, y) = -z$$

$$G \cdot E = -z$$

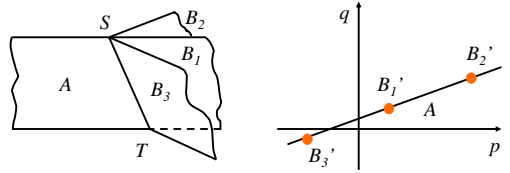
2枚の平面間のベクトル

2枚の平面が交わる稜線のベクトルを (x, y, z) として
平面のグラディエントを $\vec{G}_1 = (p_1, q_1)$ $\vec{G}_2 = (p_2, q_2)$ とすると



稜線は、2平面のグラディエント間の線分と直角になる

点の順序

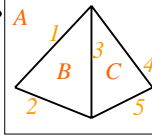
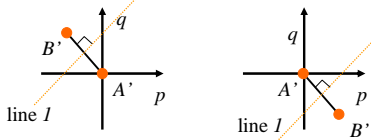


稜線STが凸であれば、グラディエント空間での点の順番は図のようになります。

稜線STが凹であれば順番が入れ替わる

グラディエントとラベル付け

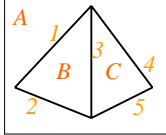
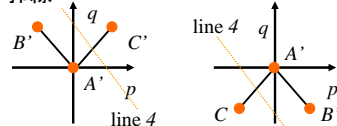
1. 適当なグラディエント $(0,0)$ を 面Aに割り振る
2. B面において1,2 がコネクトか輪郭線か?
3. 1 がコネクトエッジと仮定すると



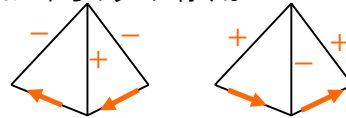
4. 面Bのグラディエントが仮定できる
5. 2もコネクトエッジと仮定すると
6. $(\text{line } A'B') \perp (\text{line } 2)$ は不可能なため、line 2は輪郭線

続き

7. 同様に4 がコネクトエッジと仮定すると、line 5は輪郭線

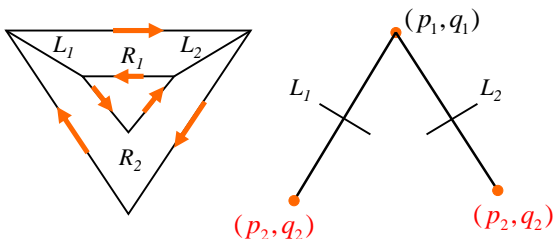


8. これらのラベル付けは



9. 複数の解釈に到達

不可能物体の検出



R_2 のグラディエントが2つ定義されるため、不可能物体

まとめ

グラディエント空間の使用

- 法線の表現
- 不可能物体の検出
- 頂点辞書を使用せずラベル付け

参考文献

- ◆ M.B. Clowes, "On seeing things," Artificial Intelligence, Vol.2, pp.79-116, 1971
- ◆ D.A. Huffman, "Impossible objects as nonsense sentences," Machine Intelligence, Vol.6, pp.295-323, 1971
- ◆ A.K.Mackworth, "On reading sketch maps," 5th IJCAI, pp.598-606, 1977