

三次元面知覚の定量評価

Quantity Measurement of Perceived 3D Surface

松原 和也, 笠井 慎平, 塩入 諭, 松宮 一道, 徳永 留美, 栗木 一郎
Kazuya Matsubara, Shinpei Kasai, Satoshi Shioiri,
Kazumichi Matsumiya, Rumi Tokunaga, Ichiro Kuriki

東北大学電気通信研究所
Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University
kmore@iec.tohoku.ac.jp

Abstract

We proposed a method of quantity measurement about 3D surface perception of where in depth, how much tilt, and how much instable. The measurement has two phases, depth matching phase and tilt matching phase. In depth matching phase, participants controls a binocular disparity of prove as same depth of perceived surface. Then, in tilt matching phase, participants control an angle of a bar stimulus matching to the perpendicular of perceived surface. To evaluate this method, we performed a psychophysical experiment. We used a random dot stereogram (RDS) as a test stimulus and evaluated its depth, tilt and instability. The results suggested the tilt matching were distorted from the perceived angle. By correcting the angle distortion, the proposed method was reasonable to explain the perceived surface.

Keywords — surface, 3D, binocular disparity

1. はじめに

我々は日常、机や壁といった物体の面の情報を見ただけで難なく認識することが出来る。しかし、面がどのように知覚されているかについては不明な点が多い。例えば、輪郭に囲まれた領域を面として認識するとき、面の領域自体には両眼視差などの情報が一切ないにもかかわらず、我々はその奥行きや勾配を自然に捉えている。Grossbergら[1]は面と輪郭は相補的な関係にあり、輪郭内部に情報が充填されて面を知覚すると述べている。生理学的にはMTやV4, CIPsで面の傾きの処理が

されていることなどが報告されている[2-4]。また図地分離や物体認識といった観点の研究は盛んに行われている[5]。しかし、実際にどのような位置や傾きの面として知覚されているかを定量的に評価するものは少なく、定量評価手法が確立されていない。例えば、三次元の面知覚について定位[6]や傾き[7]を個々に測定したものはあるものの、詳細な検討のためにはその両方を同時に評価することが望ましい。

本研究では、呈示された刺激面の奥行き、傾きがどのように知覚的に定位されているのか、またその定位がどのくらい安定しているのかを評価する手法を提案した。また、その手法を用いてランダムドットステレオグラム(RDS)で生成された三次元面の定位と傾きを評価する心理物理実験を行った。またRDSの密度に依存して面の知覚が不安定になることを利用して、提案手法が知覚の不安定度に対応するかを検討した。

2. 提案手法

提案手法は知覚された面の接点と法線を両眼視差によって評価するものである。評価では第一に、両眼視差によって奥行き方向に移動する点(奥行プローブ)を面の接点にマッチングさせることで、面の奥行き位置の定位を評価する。次にその接点から矢状面上に伸びる線分(法線プローブ)の傾きを操作し、法線方向を応答することで、知覚された面の傾きを評価する。知覚された面が不安定ならば、繰り返し測定した際のばらつきが大きくなるため、奥行き位置と傾きの標準偏差は知覚された面の不安定度の指標として用いることができ

る。

3. 実験 1

提案手法を用いて、両眼視差によって定義された面の奥行きを評価する心理物理実験を行った。面の呈示には RDS を用いた。RDS において両眼視差は各ドットにのみ存在し、ドットが存在しない空白自体には奥行き情報がない。それにもかかわらず、ドットの無い領域も含めて鮮明な三次元の面として知覚される。また、面の知覚はドット密度が 3 %程度で十分安定し、それより低くなると困難になることが報告されている[8]。これに基づき、面の不安定度を操作するためにドット密度を変化させて評価を行った。

3.1. 手法

評価対象の刺激として、RDS を用いて正弦波状に両眼視差の変化する曲面を用いた (図 1, 左図が左眼呈示, 右図は右眼呈示)。面の評価は刺激の中央で行い、その点における面の奥行き位置を奥行プローブで、傾きを法線プローブで応答する。奥行プローブは両眼視差のみが変化する点刺激で、奥行位置応答ではこのプローブの両眼視差を調整して面との接点に奥行位置を合わせる (図 1 (a))。法線プローブは正中面上の線分で、奥行プローブを始点に傾きが変化する。傾き評価では面の法線に合うように法線プローブの傾きを調整する (図 1 (b))。それぞれの応答は任意に交代することが出来、被験者の納得いくまで調整を繰り返すものとした。

RDS の呈示範囲は 9×9 deg, 各ドットの両眼視差 D は

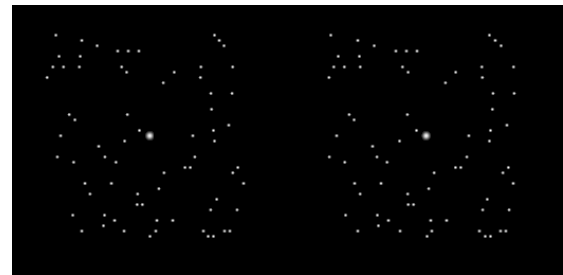
$$D = A \sin 2\pi(fy + \theta/360) \quad (1)$$

とし、 y はドットの垂直位置であり、視差の振幅 A を 13 arcmin, 周波数 f を 0.11 c/deg とした。刺激呈示範囲に 1 周期分の正弦波状曲面となる。測定は常に中央 ($y=0$) で行うため、位相 θ によって測定位置の面の奥行きと傾きを操作した。

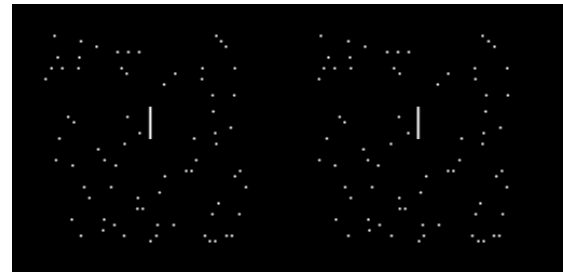
1 セッションは位相 6 条件 (-120° から 60° 間隔), ドット密度 5 条件 (5, 3, 1, 0.5, 0.2 %) の組

左眼呈示

右眼呈示



(a).奥行プローブ



(b).法線プローブ

図 1 実験刺激

合せ 30 試行からなり、ランダムな順に呈示された。

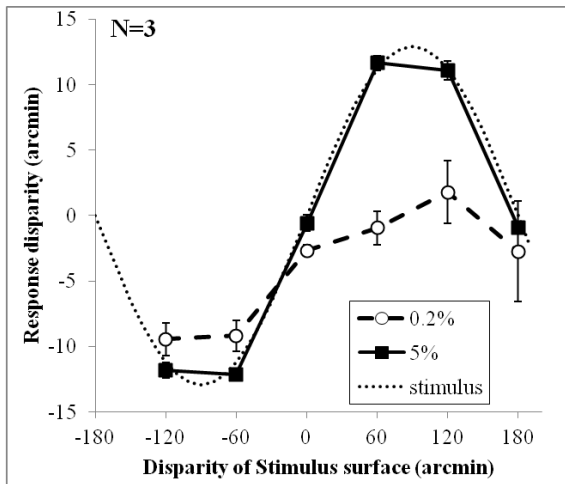
サブピクセルの視差を表現するために RDS の各ドットと奥行位置応答プローブはガウスパッチを用い、その標準偏差はそれぞれ 1.3 と 3.3 arcmin とした。法線応答プローブの長さは 8 mm (60 arcmin) で、水平方向にはガウス関数状 (1.3 arcmin) にぼかしたものをを用いた。

刺激は制御用 PC で生成、21 型 CRT ディスプレイ (リフレッシュレート 60 Hz) に呈示した。実験中は顎台により頭部を固定し、立体視環境には 4 枚の鏡を組み合わせた実体鏡を用いた。全ての実験は暗室中で行い、観察距離は 46 cm であった。

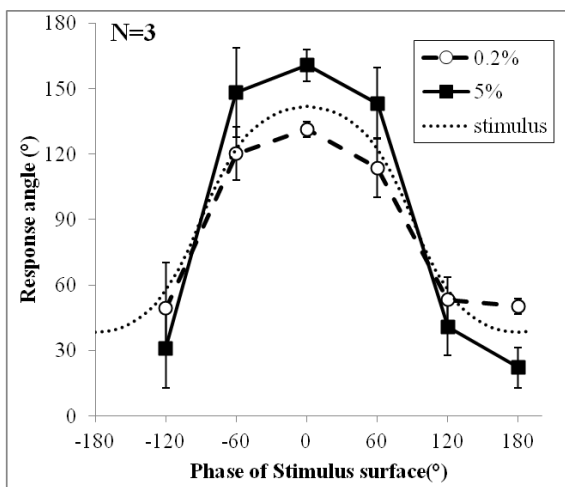
被験者は 3 名で、全員が正常あるいは矯正して正常視力を有し、両眼立体視に問題がなかった。応答にはテンキーを使用し、5 セッションずつ測定を行った。

3.2. 結果および考察

図 2 (a) に奥行評価, 図 2 (b) に傾き評価の結果を示す。横軸は奥行変調の位相 θ である。縦軸は傾き評価では法線の角度 (90° がディスプレイ



(a).奥行位置応答結果



(b).傾き応答結果

図2. 実験1結果

面に対して垂直手前方向), 奥行評価では接点の两眼視差 (ディスプレイ面が 0 arcmin, 手前が正) である. ■がドット密度のもっとも高い 5%条件, ○が 0.2%条件の結果で, 点線は RDS によって定義された面が正確に知覚されていた場合の理論曲線である. 誤差棒は標準誤差で被験者間のばらつきを示す.

奥行きの評価 (図 2 (a)) では知覚が安定していると期待されるドット密度が高い条件では, 奥行きを正確に応答できている. 一方で低いときに理論曲線から大きく外れる傾向が顕著で, 振幅が小さくなり, 平面に近い応答がされていることがわかる. 一方で傾き評価では, 低密度条件で理論面に近い傾きに応答するのに対して, 高密度条件ではより振幅の大きな傾きとして応答する傾向が見

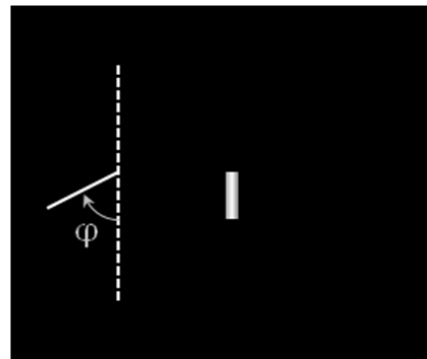
られる. これは実際に傾きを過大に評価している可能性と, 評価に用いた法線刺激の傾きが知覚を正しく反映していない可能性が考えられる. そこで実験 2 では法線プローブの見えについて検討する実験を行った.

5. 実験 2

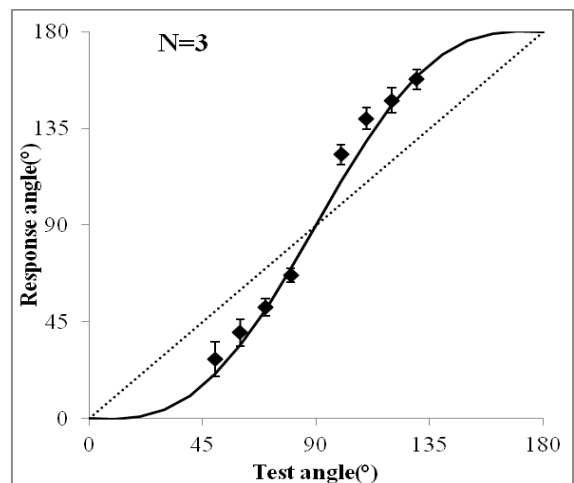
法線プローブが知覚された法線を正しく応答できているのか, その見えを検討するために前額平行面上の線分の傾きを, 法線プローブによって応答する実験を行った.

5.1. 手法

テスト刺激として視差のない前額平行面上の線分を, 法線プローブの左側に提示した (図 3 (a)). 被験者はテスト刺激の破線と実線のなす角 θ を, 正中面上に再現するよう法線プローブの傾きを調整した. 操作は法線プローブについてのみ行い,



(a).刺激



(b).結果

図3.法線プローブの精度評価

その始点はゼロ視差とした。テスト刺激の角度を8条件 (50 ~ 130°), について10 試行ずつ測定を行った。その他の装置等は実験1に準ずる。

5.2. 結果および考察

図3(b)にテスト刺激にマッチングした法線プローブの角度を示す。横軸がテスト刺激の角度 ϕ , 縦軸が法線プローブで応答した角度である。テスト刺激の角度より水平方向に寄った角度に応答する傾向が見られる。このことから、実験1で示された高密度条件で法線を大きく見積もる傾向は、法線プローブの見えが問題となっていることがわかる。

この法線プローブの見えの歪みを踏まえて、実際に知覚されたと思われる法線角度 ϕ' を

$$\phi' = \phi + a \sin(\pi \phi / 90) \quad (2)$$

として、実験結果を近似し、この補正角度を用いて実験1の結果を再評価した(図4)。補正後の傾き評価は高密度条件で法線角度は呈示された面に近く、低密度条件では振幅が小さくなり平面に近づく傾向が見られる。図2の奥行き評価と合わせると、高密度ではより正確になることが示された。

6. 総合考察

実験1, 2の結果より、提案手法の法線プローブは角度をより水平に近い角度に応答する歪みを有することが分かった。しかし、この歪みを補正することで、面の傾き応答に有効であることが示

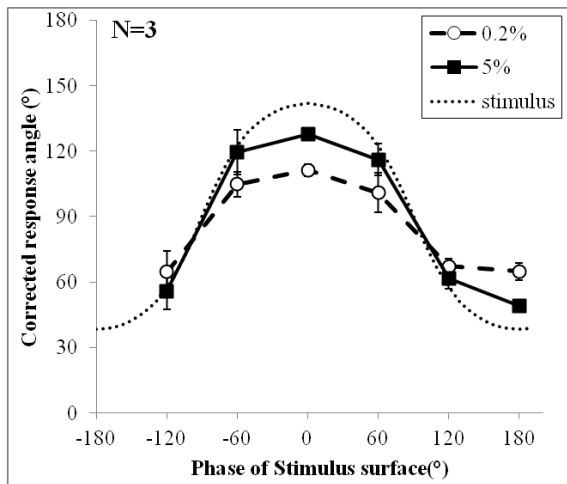


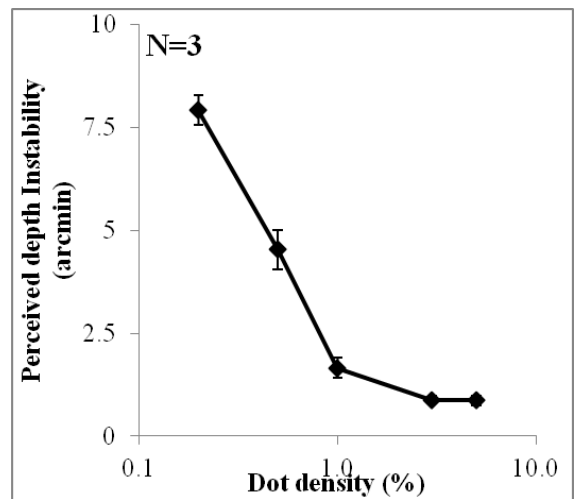
図4.補正後の傾き評価

された。

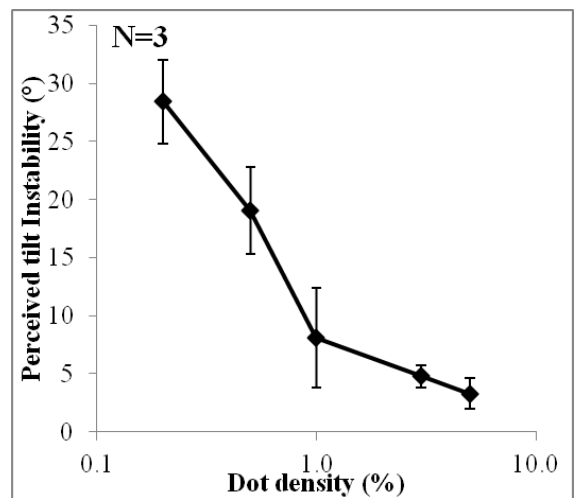
提案手法のもう一つの指標である不安定度を、各位相での標準偏差の平均とし、

$$I = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n (x_i^{\theta_j} - \bar{x}^{\theta_j})^2}{m \times n}} \quad (3)$$

として評価する。図5にドット密度による不安定度の変化を示す。横軸はドット密度, 縦軸が不安定度で、図5(a)は奥行き評価について、図5(b)は傾き評価についての不安定度である。ドット密度が低いほど、不安定度が高くなることが分かる。図2や図4で示したように、法線と奥行き位置の評価の被験者間平均からは、ドット密度が低いほ



(a).奥行き位置応答の不安定度



(b).傾き応答の不安定度

図5.不安定度評価

ど平面に近づくかのように捉えることができる。しかし不安定度を評価することで、これは平坦な面が知覚されているわけではなく、見えが不安定になっているためであることが明確になる。このように不安定度の評価はどのような面が知覚されているかを正しく理解する上で重要なものである。

7. まとめ

本研究では三次元的な面の奥行位置と法線角度を利用した評価方法を提案し、RDSで呈示された面に対して評価実験を行った。その際、単純に法線方向を正中面上の線分の傾きで評価したのでは、実際に知覚される角度と差が生じるという問題を発見した。この歪みを補正することで、提案手法が面の奥行きと傾きを評価する手法として有効であることが示された。また、その分散によって知覚の不安定度を評価することが重要であることが示された。

参考文献

- [1] Grossberg, S., Mingolla, E., (1985) "Neural dynamics of form perception: Boundary completion, illusory figure, and neon color spreading", *Psychological Review*, 92, pp.173-211
- [2] Hinkel, D.A., Cornner, C.E., (2002) "Three dimensional orientation tuning in macaque Area V4" *Nature Neuroscience*, 5, pp.665-670
- [3] Nguyenkim, J.D., DeAngelis G.C., (2003) "Disparity based coding of three dimensional surface orientation by macaque middle temporal neurons", *Journal of Neuroscience*, 23, pp.7117-7128
- [4] Taira M, Tsutsui, KI, Jiang, M., Yara, K., Sakata H., (2000) "Parietal neurons represent surface orientation from the gradient of binocular disparity", *Journal of Neurophysiology*, 83, pp.3140-3146
- [5] 塩入論 (編), (2007) 視覚 II, pp.225-257
- [6] Vreven, D., McKee, S. P., Verghese, P., (2002) "Contour completion through depth interferes with stereoacuity", *Vision Research*, Vol.42, pp. 2153-2162
- [7] Saunders, J., Knill, D., (2001) "Preception of 3D surface orientation from skew symmetry", *Vision Research*, 41, pp.3163-3183
- [8] Marr, D., (1982) "Vision": [邦訳] 乾敏郎, 安藤広志(1987), "ビジョン-視覚の計算理論と脳内表現"