

Hough変換を用いた移動天体の検出

森井 幹雄 統計的機械学習研究センター 特任助教

超新星のサンプルを集めたり、重力波発生源の電磁波対応天体を検出するために、可視光突発天体の広視野サーベイ観測が盛んに行われるようになってきた。例えば、Subaru望遠鏡のHyper Suprime-Cam (HSC)[1]、Zwicky Transient Facility (ZTF)[2]、Large Synoptic Survey Telescope (LSST)[3]が有名である。木曾観測所の1メートルシュミット望遠鏡に取り付けられた超広視野高速撮像カメラ「Tomo-e Gozen」は、20平方度の視野を2ヘルツの高頻度で動画撮像することができ、数秒程度の時間スケールで変動する突発天体の検出が期待されている[4,5]。一方、これらのサーベイ観測では、地球近傍の移動天体(物体)(小惑星、彗星、隕石、人工衛星など)も検出されている。本研究では、移動天体が平面(画像)×時間の三次元空間上で直線上に並ぶことを利用して、Hough変換[6]によって移動天体を検出する方法を提案する。

Hough変換

- ✓ Hough変換は画像の中から、直線や円を検出する方法。
- ✓ 2次元中の直線を検出する方法は、よく知られている(下記)。
- ✓ 移動天体は、平面(画像)×時刻の3次元空間中の直線に沿っている。
- ✓ 本研究では、3次元空間中の直線を検出するために、その方法を拡張した。

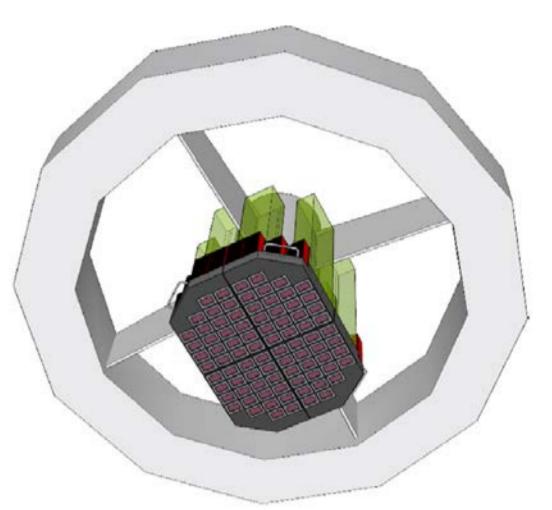
デモンストレーション



東京大学木曾観測所

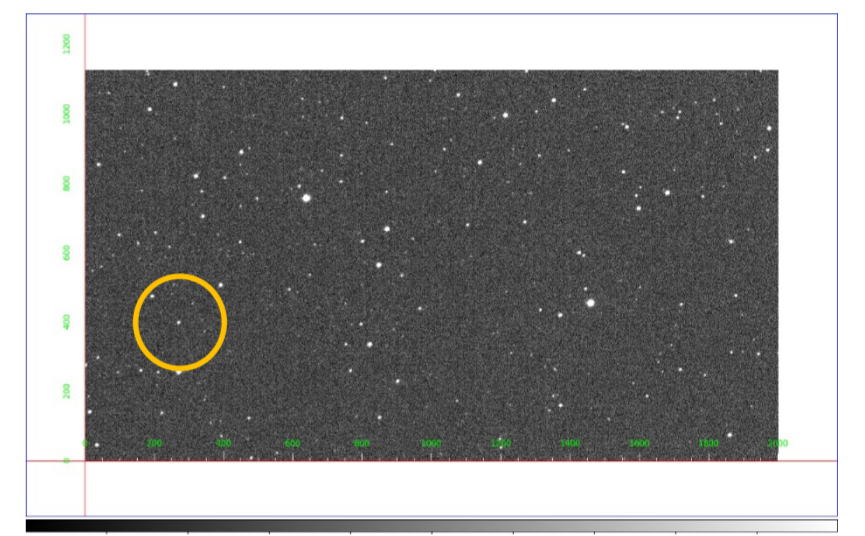


105cm シュミット望遠鏡

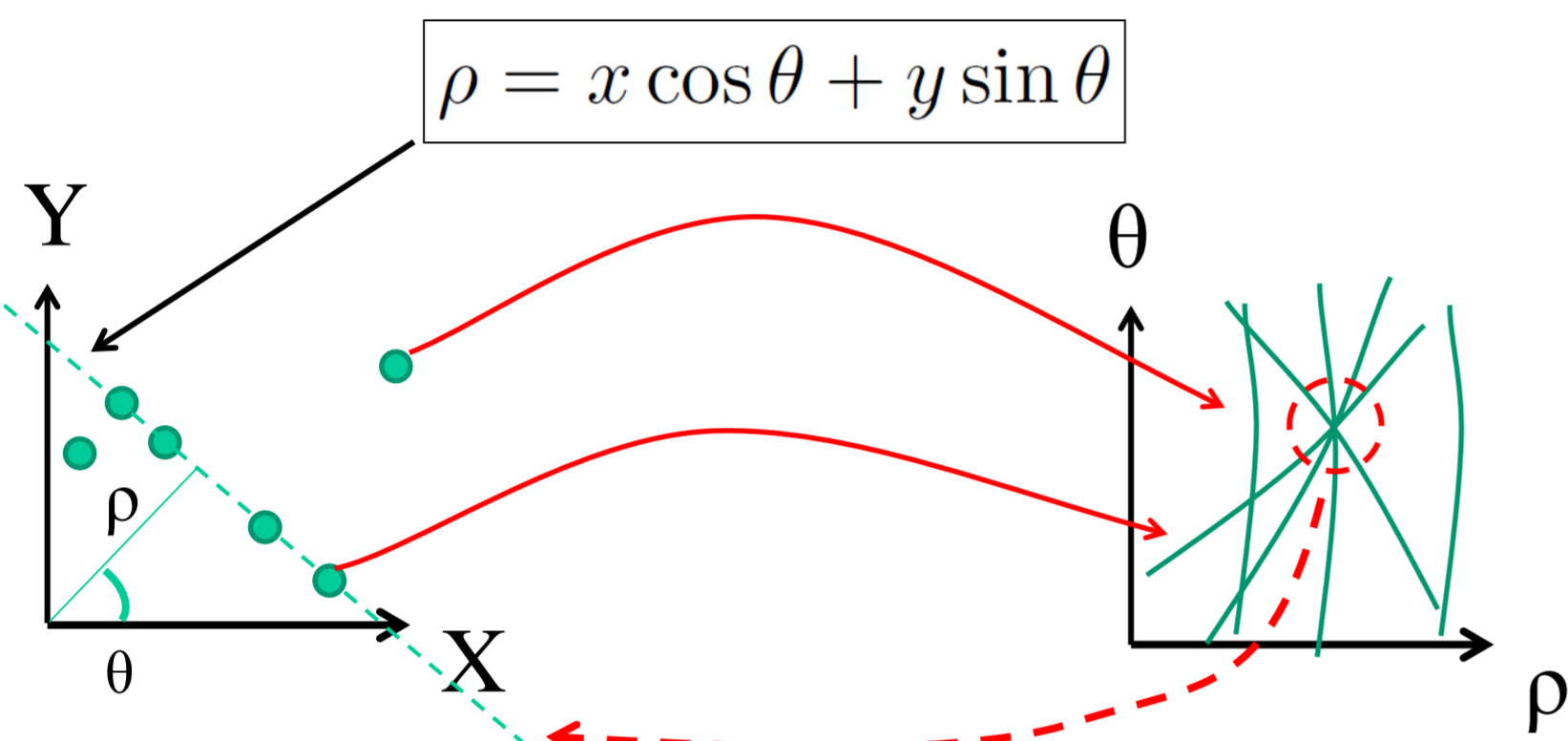


Tomo-e Gozen

- Tomoe-Gozen のデータ(日本スペースガード協会浦川氏提供)
 - 12 frameから成る。2Hz のデータ。
 - 2000 x 1128 (pixel²)

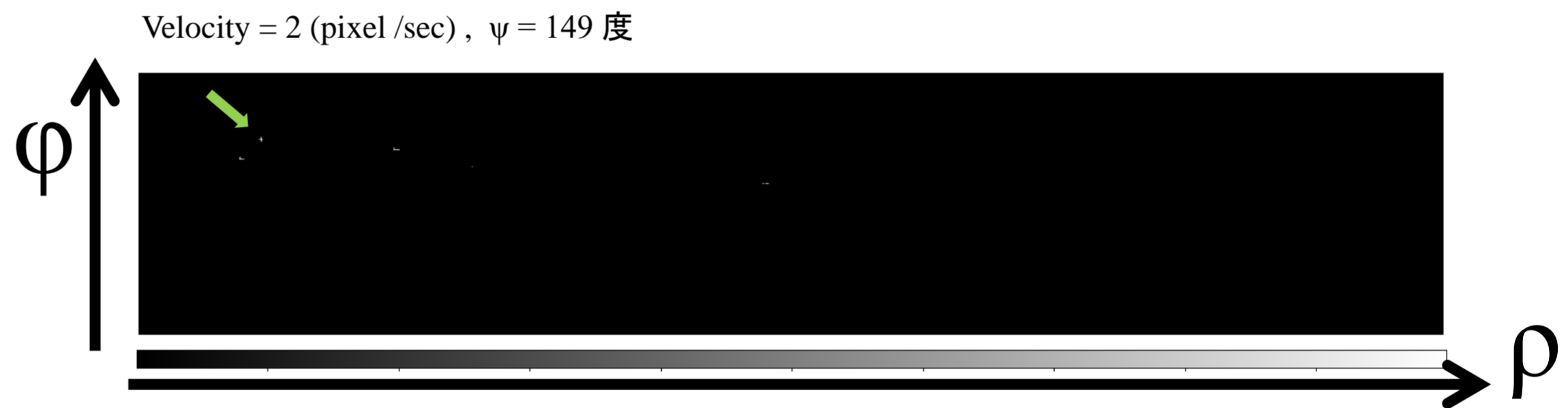


Hough変換による直線検出 (2次元の場合)



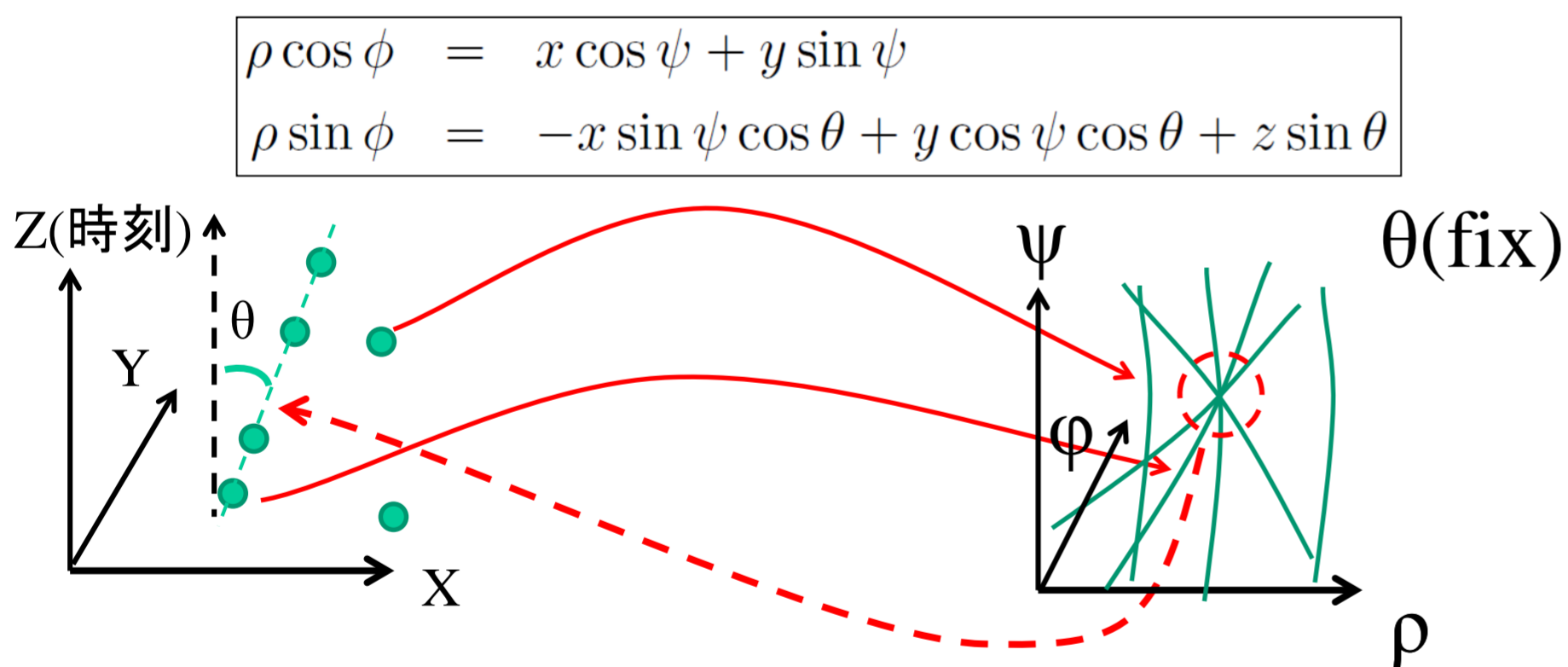
(x, y) 空間上の1点が、(ρ, θ)空間上の1本の曲線に対応する。
(ρ, θ) の空間上で、最も多くの曲線が交わる点に対応する直線が、求めたい(x, y)空間内の直線となる。

Hough変換後の移動天体に対応する点



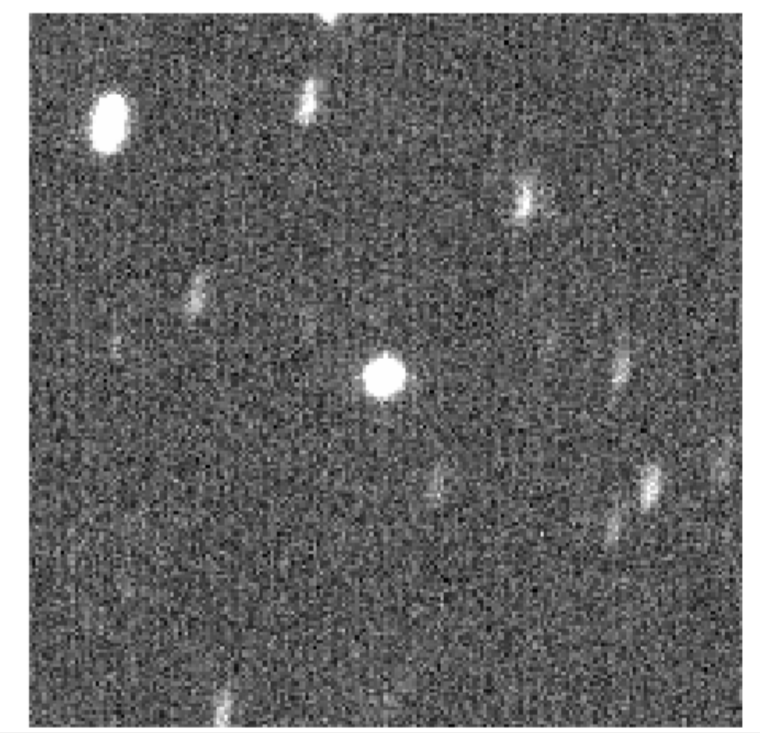
他の明るい点は別の背景天体に対応する。移動天体については、軌跡の直線に沿った変動が小さいが、背景天体の場合は変動が大きくなる(PSFの裾から裾を結んだ直線に相当するため)。その違いを用いると、さらに背景天体を除くことができる。

Hough変換による直線検出 (3次元の場合)



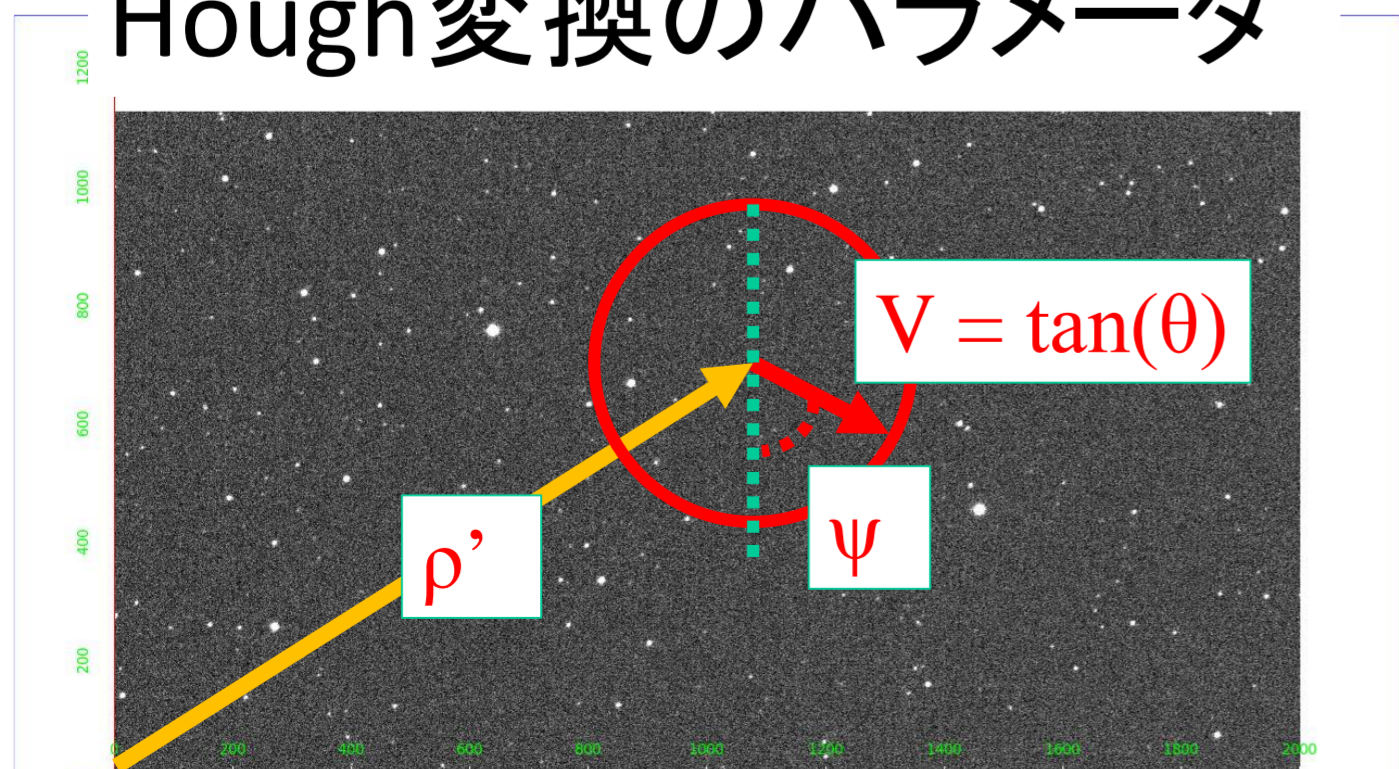
(x, y, z) 空間上の1点が、(ρ, φ, ψ, θ)空間上の1枚の曲面に対応する。
θは、移動天体の速度に相当するパラメータ。θを fix した場合は、(x, y, z) 空間上の1点が、(ρ, φ, ψ) 空間上の1本の曲線に対応する。
(ρ, φ, ψ) の空間上で、最も多くの曲線が交わる点に対応する直線が、求めたい(x, y, z)空間内の直線となる。この探索を、天体の移動速度θ毎に行う。

Hough変換によって検出された直線に沿って、イメージをシフト後加算することで作成した移動天体のイメージ。



実行速度
Velocity (pixel/sec) = tan(θ): 0.75 - 3.75, 6分割
(ρ, φ, ψ) = (1000 bin, 200 bin, 200 bin)
使用CPU: Intel Core-i7 (3.20GHz) 1 coreを使用。
各frame 5 sigma以上のpixel (2.7e7 の0.12%): 65秒

Hough変換のパラメータ



$$\rho' = \sqrt{\rho^2 (\cos^2 \phi + \sin^2 \phi / \cos^2 \theta)}$$

- ✓ 3次元中の直線を検出するHough変換の式を導出した。
- ✓ Tomo-e Gozen 1chip の領域を使用して移動天体の検出を試みた。
- ✓ Hough変換に加えて、直線に沿ったpixel値の変動量を用いることで、移動天体だけを選び出すことができる。
- ✓ 各フレームでは検出できないが、重ね合わせると検出できるような暗い移動天体の検出にも利用できるかもしれない。

References:

[1] https://www.naoj.org/Projects/HSC/j_index.html
 [2] <https://www.ztf.caltech.edu/>
 [3] <https://www.lsst.org/>
 [4] Sako, S., et al., 2016, SPIE, 9908, 99083P
 [5] Ohsawa, R., et al., 2016, SPIE, 9913, 991339
 [6] <http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/HIPR2/hough.htm>