New Capabilities for High Resolution Collaborative Studies with the Swedish 1-m Solar Telescope (Introducing CRISP = CRisp Imaging SpectroPolarimeter)

Göran Scharmer



Second Hinode Science Meeting

New Capabilities for High Resolution Collabor

- Andreas Lagg (6302 inversions)
- Luc Rouppe van der Voort (H α and Ca 8542)
- Gautam Narayan and Tomas Hillberg (6302 data and inversions)
- Dan Kiselman and Mats Löfdahl (CI 5381 data)
- Mats Löfdahl (MOMFBD image reconstruction)
- Jaime de la Cruz Rodriguez (Ca 8542 processing)
- Michiel van Noort (software and control)

See also CRISP data in poster by Ada Ortiz Carbonell (P2-9)

4 **A A A A A A A**

The Swedish 1-m Solar Telescope - SST



- 1 m aperture, 2:nd largest after McMath-Pierce Telescope
- First light in May 2002
- Integrated adaptive optics
- \Rightarrow Solar images at \sim 0^{\prime} 1 resolution

Diagnosing solar magnetic fields



- Inversions 'local' and not easily constrained by simple physics
- $\tau = 1$ surface warped
- **B** but not **v**, only LOS velocities can be measured
- Magnetic structures small–scale, need high spatial resolution
- Complexity of dynamic 3D MHD enormous – simulations needed

SP limitations and potential



- Ground-based: 0["].1 resolution with short exposures but 0["].6 with long exposure spectrograph-based SP data ⇒ 2 component + straylight inversions
- Hinode: 0."3 resolution ⇒ 1 component + straylight inversions = breakthrough!

SST SP potential at 630 nm: 0.15 resolution

< 6 b

- Filter-based, not spectrograph-based, system
- Short exposures (but many!) to allow image reconstruction
- AO + image reconstruction
- Broad-band camera for image reconstruction & alignment
- fast polarization modulation
- fast wavelength modulation
- dual beam to reduce I \Rightarrow Q,UV cross-talk

Needs minimum 3 CCD's operating at high frame rate. Extremely demanding in terms of data rates and post processing.

< ロ > < 同 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ >

- Polarizing beam splitter near **final** focal plane: Identical passband and aberrations for the two beams.
- High transmssion. Need highest possible S/N for SP!
- Fast tuning: For fast modulation and high overall efficency

- Non-absorbing. All light not transmitted is reflected \Rightarrow straylight
- Extremely demanding in terms of polishing and uniformity of coating
- Need high F-ratio \Rightarrow Large etalons or small FOV

A D N A B N A B N A B N

CRisp Imaging SpectroPolarimeter (CRISP) on SST

- Dual beam with polarizing beam splitter
- Wavelength coverage: 510-860 nm (Mg b to Ca NIR triplet)
- Spectral resolution: 100,000 at 630 nm
- Nematic LC's for flexible SP at all wavelengths
- Image scale: 0.071 per pixel (0.059 per pixel 2009)
- FOV: 70"x70" (60"x60" in 2009)
- broad-band camera for image reconstruction & alignment
- CCD's: Three (four in 2009) 1024x1024 Sarnoff back-illuminated. Read-out speed 10 msec, typical exposure time 16 msec.
- Transmission: \approx 65% including pre-filter.
- Strehl: 95% at 630 nm.
- Clock time to reach S/N=1000: 3 sec per wavelength at 630 nm

- High-reflectivity HRE but low-reflectivity LRE for high transmission and uniformity of transmission profile over FOV
- Telecentric with two pupil stops for straylight supression
- LRE tilted to eliminate ghost images
- 'Compact', 1.4 m overall length.
- No flat windows, no folding mirrors
- RMS cavity errors (HRE) 1.3 nm over 60"x60" ⇒ 10 mA wavelength shifts or 0.5 km/s over FOV.

6302 polarimetry: Continuum intensity



Göran Scharmer (ISP)

New Capabilities for High Resolution Collabor

Boulder 2 Oct 2008 11 / 58

6302 polarimetry: Line center intensity



Göran Scharmer (ISP)

6302 polarimetry: Blos scaled [-2200,2200] G



Göran Scharmer (ISP)

6302 polarimetry: B_{los} scaled [-200,200] G



Göran Scharmer (ISP)

New Capabilities for High Resolution Collabor

6302 polarimetry: *B*_{los} scaled [-20,20] G



Göran Scharmer (ISP)

New Capabilities for High Resolution Collabor

6302 polarimetry: *B*_{tran} scaled [250,2000] G



Göran Scharmer (ISP)

6302 polarimetry: v_{los} scaled [-3.5,3.5] km/s



Göran Scharmer (ISP)

New Capabilities for High Resolution Collabor

6302 polarimetry: *v*_{los} scaled [-1,1] km/s



Göran Scharmer (ISP)

6302 polarimetry (plage): Continuum intensity



6302 polarimetry (plage): *B*_{los} scaled [-1500,1500] G



6302 polarimetry (plage): B_{los} scaled [-200,200] G



Göran Scharmer (ISP)

New Capabilities for High Resolution Collabor

Boulder 2 Oct 2008 21 / 58

6302 polarimetry (plage): *B*_{los} scaled [-40,40] G



Göran Scharmer (ISP)

New Capabilities for High Resolution Collabor

Boulder 2 Oct 2008

22 / 58

6302 polarimetry (plage): *B*_{tran} scaled [250,1200] G



23 / 58

6302 polarimetry (plage): v_{los} scaled [-5.5,5.5] km/s



Göran Scharmer (ISP)

New Capabilities for High Resolution Collabor

6302 polarimetry (plage): v_{los} scaled [-1,1] km/s



Göran Scharmer (ISP)

New Capabilities for High Resolution Collabor

Boulder 2 Oct 2008 25

25 / 58

CI 5381: Continuum intensity



Göran Scharmer (ISP)

New Capabilities for High Resolution Collabor

Boulder 2 Oct 2008 26 / 58

10

CI 5381: v_{los} scaled [-3.5,3.5] km/s



Göran Scharmer (ISP)

New Capabilities for High Resolution Collabor

Boulder 2 Oct 2008 2

27 / 58

CRISP at H α : -1.6Å



Göran Scharmer (ISP)

New Capabilities for High Resolution Collabor

Boulder 2 Oct 2008 28 / 58

CRISP at H α : -1.4Å



Göran Scharmer (ISP)

New Capabilities for High Resolution Collabor

Boulder 2 Oct 2008 29 / 58

CRISP at H α : -1.2Å



CRISP at H α : -1.0Å



Göran Scharmer (ISP)

New Capabilities for High Resolution Collabor

Boulder 2 Oct 2008 31 / 58

CRISP at H α : -0.8Å



Göran Scharmer (ISP)

New Capabilities for High Resolution Collabor

CRISP at H α : -0.6Å



Göran Scharmer (ISP)

New Capabilities for High Resolution Collabor

Boulder 2 Oct 2008 33 / 58

CRISP at H α : -0.4Å



Göran Scharmer (ISP)

New Capabilities for High Resolution Collabor

Boulder 2 Oct 2008 34 / 58

CRISP at H α : -0.2Å



Göran Scharmer (ISP)

New Capabilities for High Resolution Collabor

CRISP at H α : 0.0Å



Göran Scharmer (ISP)

New Capabilities for High Resolution Collabor

э

CRISP at H α : +0.2Å



Göran Scharmer (ISP)

New Capabilities for High Resolution Collabor

Boulder 2 Oct 2008 37 / 58

CRISP at H α : +0.4Å



Göran Scharmer (ISP)

New Capabilities for High Resolution Collabor

Boulder 2 Oct 2008 38 / 58

CRISP at H α : +0.6Å



Göran Scharmer (ISP)

New Capabilities for High Resolution Collabor

Boulder 2 Oct 2008 39 / 58

CRISP at H α : +0.8Å



Göran Scharmer (ISP)

New Capabilities for High Resolution Collabor

































Ca 8542: Stokes V



Göran Scharmer (ISP)

New Capabilities for High Resolution Collabor

Boulder 2 Oct 2008

57 / 58

CRISP is a versatile spectrometer and spectropolarimeter:

- Unprecedented spatial resolution
- Good spectral integrity with broad-band reference and image reconstruction
- Doppler imaging also in weak lines, formed deep in photosphere (e.g., CI 5381)
- Spectropolarimetry from 510 to 860 nm
- Chromospheric observations in $H\alpha$ and Ca NIR triplet lines

Simultaneous spectropolarimetric observations with SST and Hinode:

Should allow evaluation of gains from higher **spatial** resolution (SST) and from higher **spectral** resolution and better spectral integrity (Hinode). Thus, better overall understanding of solar magnetic fields.

< ロ > < 同 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ >