

LIDAR For Heliostat Optical Error Assessment



SolarPACES 2020

Charles Q. Little, Daniel E. Small and Julius E. Yellowhair



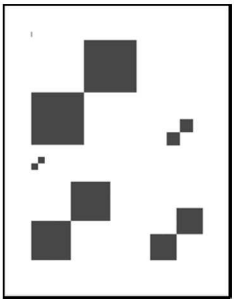
Sandia National Laboratories is a multimission laboratory managed and operated by National Technology & Engineering Solutions of Sandia, LLC, a wholly owned subsidiary of Honeywell International Inc., for the U.S. Department of Energy's National Nuclear Security Administration under contract DE-NA0003525.

How We Started with LIDAR

Goal – find the pointing angle of a heliostat facet mirror

First idea – place fiducial targets on the corners of each facet;

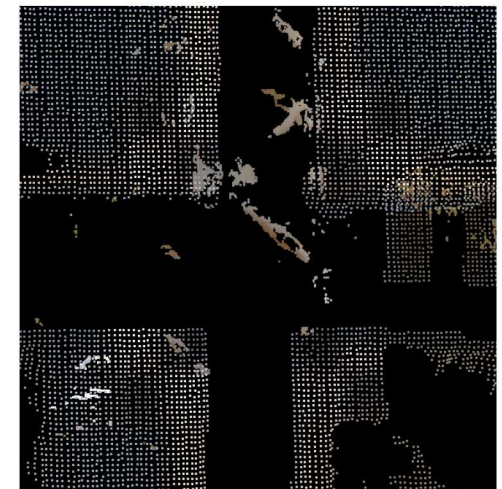
- use LIDAR scanning to capture targets
- Process to find 3D location of fiducials
- Fit plane to 4 corner points
- Use normal of plane for pointing angle



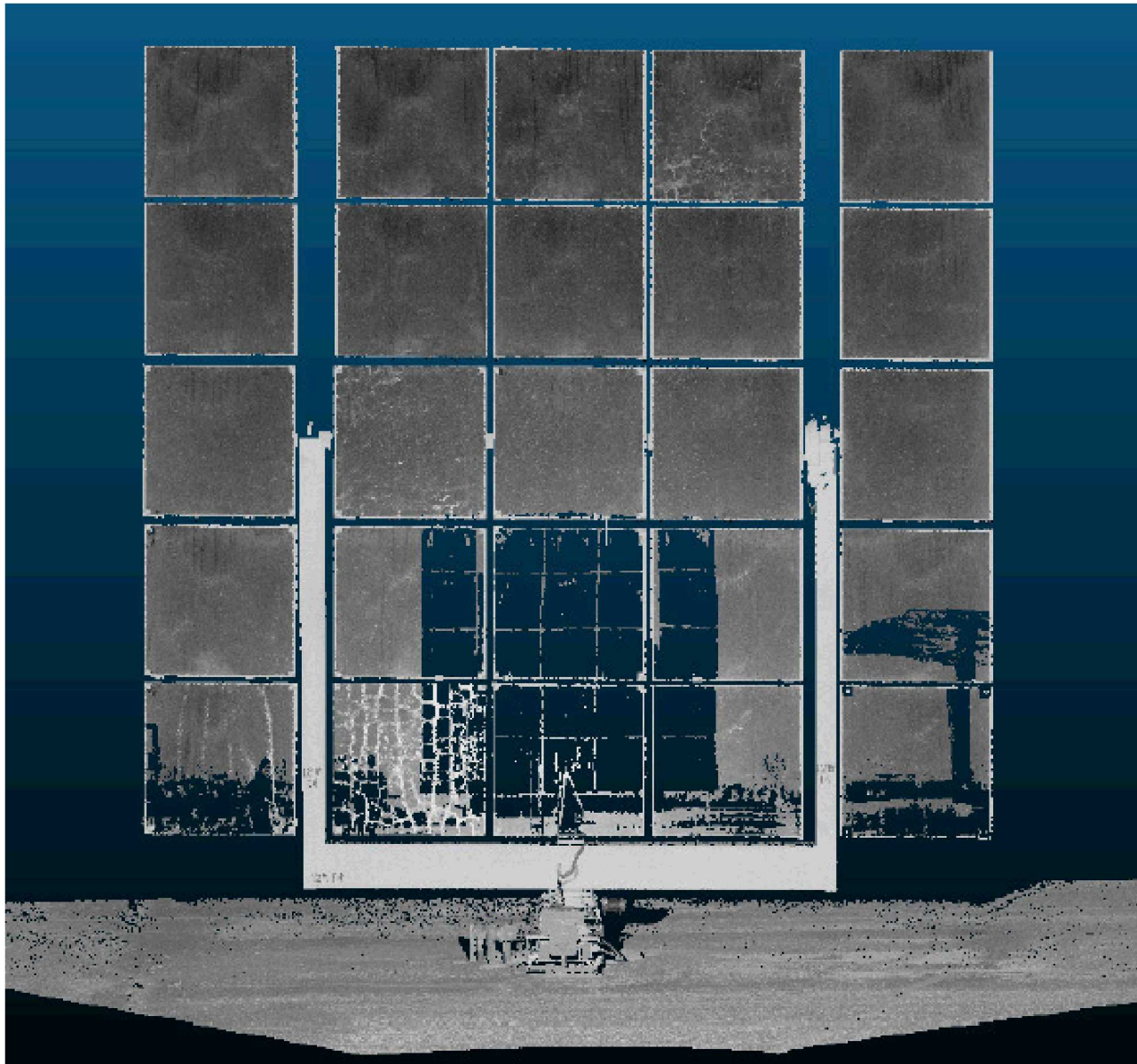
Checkerboard target
(8 1/2 by 11 inch)



Target scan at 10 meters



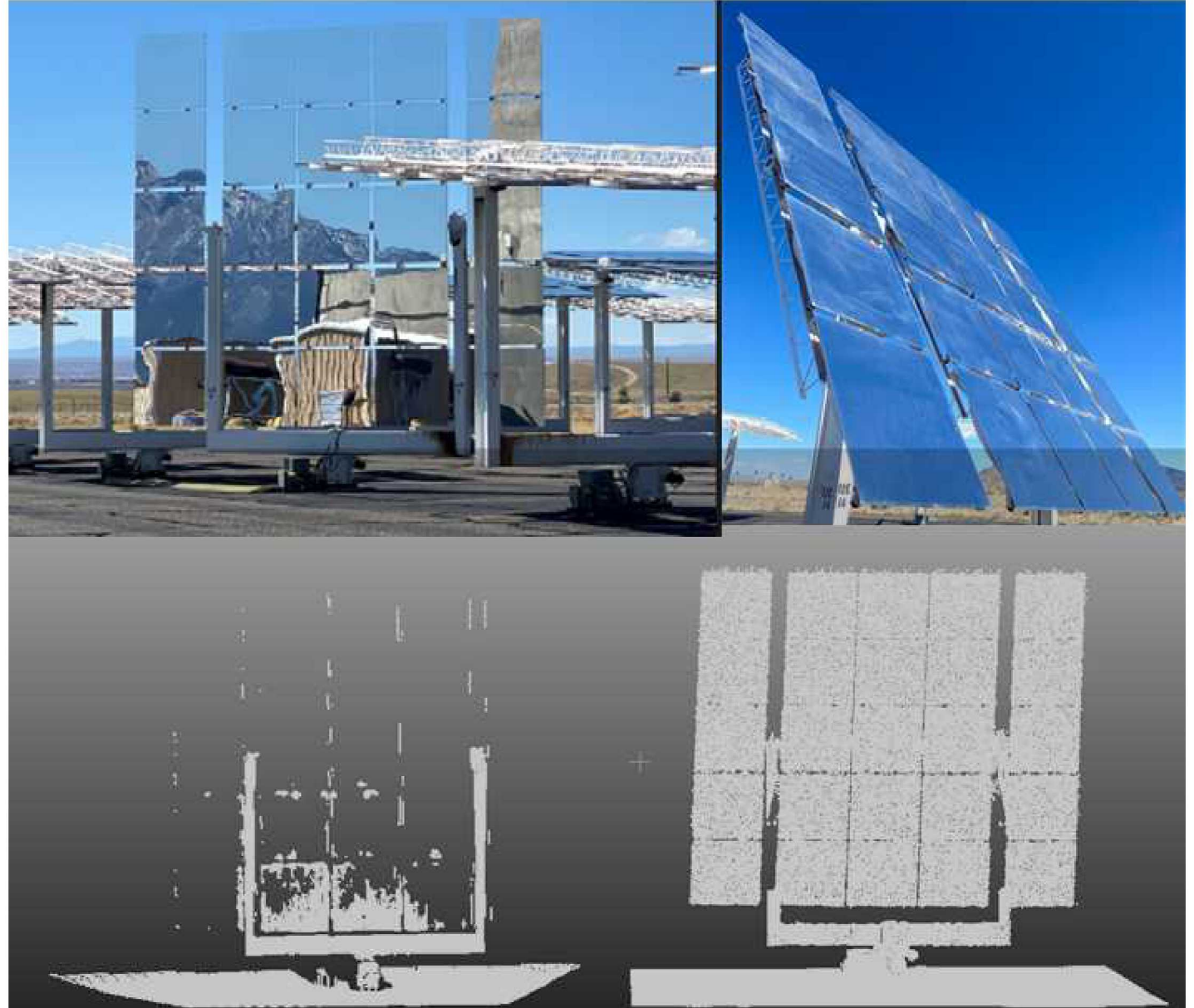
LIDAR Heliostat Scan Results



- Eureka moment when we discovered the mirror front surface was detected.
- We suspected dirt on surface is detected (clean mirrors do not scan)
- Reflections of anything other than sky show up as holes in the 3D data

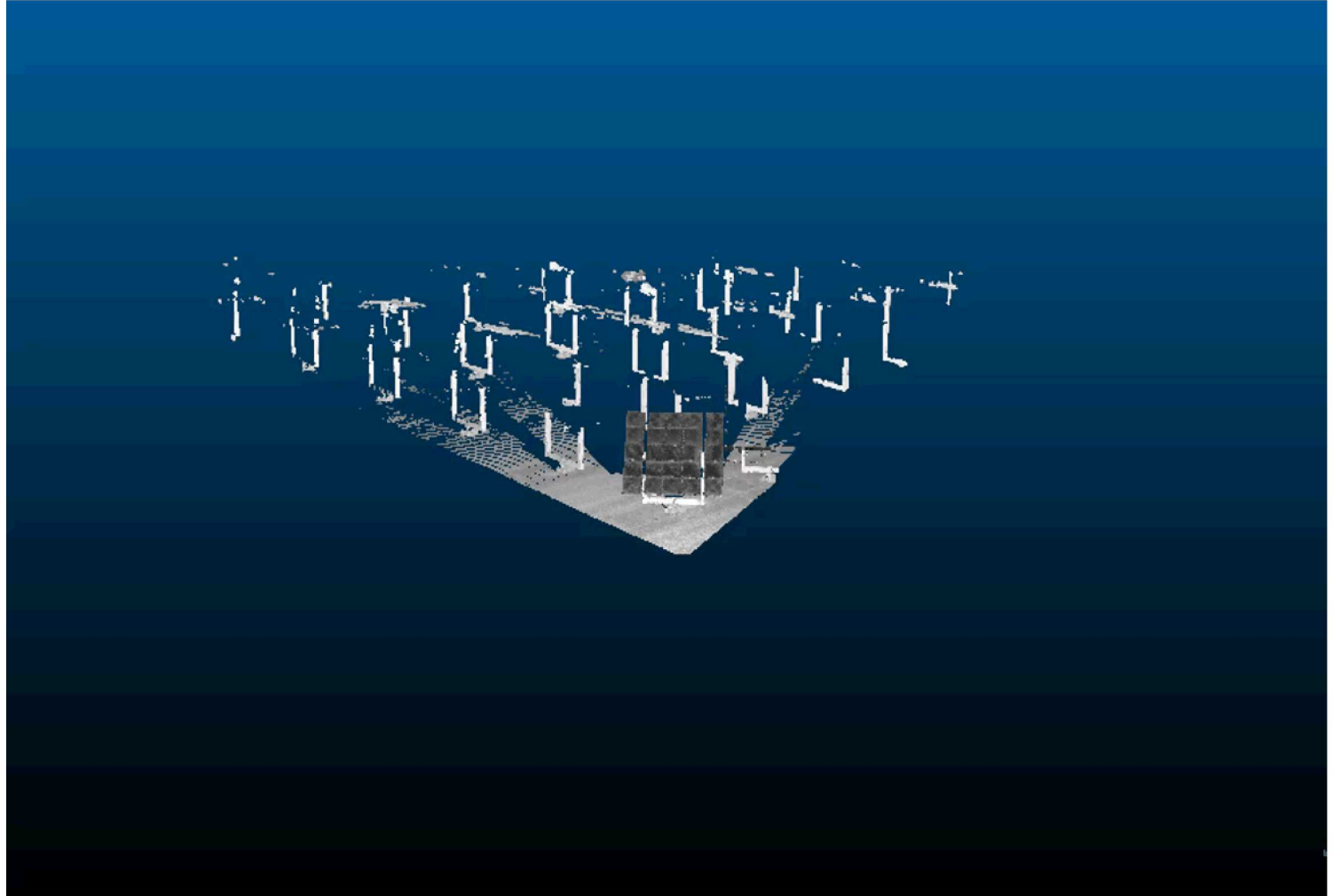
Effects of Heliostat Mirror Cleaning on 3D Data Returns

- Upper Left 05W6 after the snow cleaning.
- Upper right, 12E14 after spray of CSWM.
- Lower Left 05W05 3D scanned after cleaning.
- Lower Right, 05W05, scanned after being sprayed with a light cornstarch and water mix in lower right.



Canting Angle Estimation Steps

- Full 3D Scan
 - Data has Z axis vertical
 - Use Z-ordered Histogram to Estimate and Remove ground plane
- Isolate heliostat
 - Distance segmentation of points
 - Filter points beyond range
 - Remove neighboring objects and noise
 - Use connected component analysis to cluster the heliostat points
 - 3d blob detection
- Isolate individual facets
 - Use CAD information as a 3D template
 - Use bounding box to find heliostat primary plane
 - Use template to segment facets



Canting Angle Estimation Steps (continued)

- Calculate plane and normal from segmented facet point cloud data

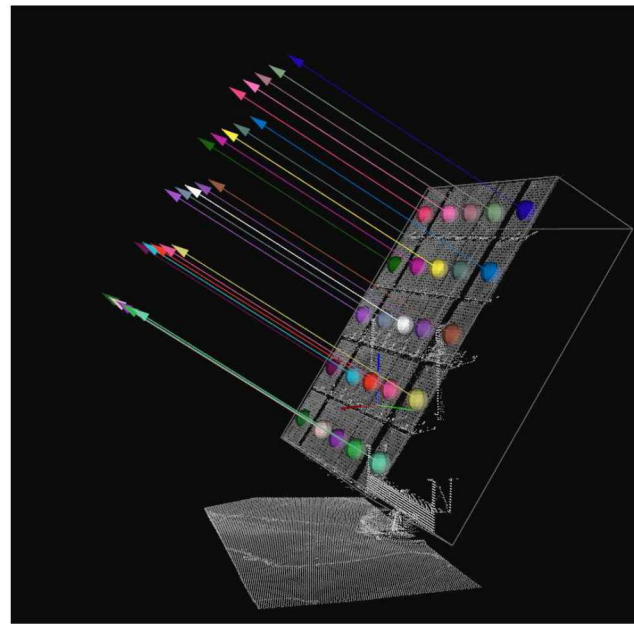
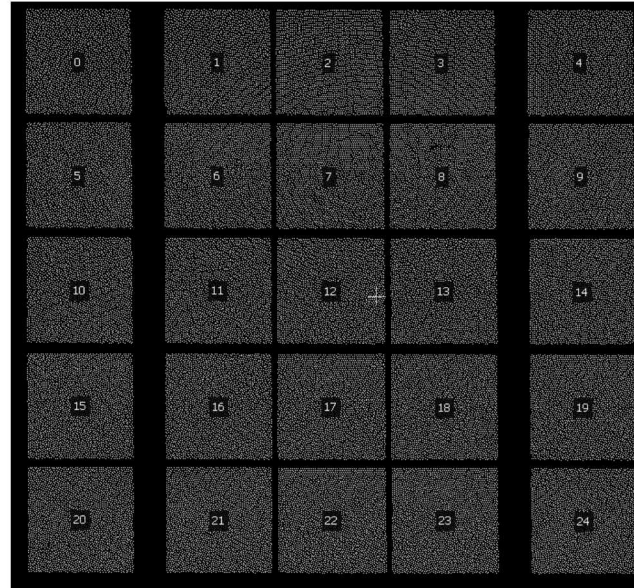
- Subtract out centroid
- Use Singular Value Decomposition to estimate a plane from each facet point-cloud
- Extract normal from plane
- The sensor has noise (+/- 2mm), but is zero-mean so the planar estimate uses extra data to reduce the error by

$$\frac{3}{\sqrt{N}}$$

- Where 3 is the minimum number of points to estimate a plane and N is the total number of points

- Compare facet normals to center facet normal

- Use center facet as control
- difference each facet normal vector to control
- Extract relative canting angles from each facet



0, 12, -0.854593, -0.538533
 1, 12, -0.364271, -0.520648
 2, 12, 0.0108019, -0.633876
 3, 12, 0.43217, -0.534387
 4, 12, 0.830944, -0.557835
 5, 12, -0.815685, -0.250992
 6, 12, -0.369196, -0.29616
 7, 12, -0.0227172, -0.264117
 8, 12, 0.379161, -0.251146
 9, 12, 0.865491, -0.263932
 10, 12, -0.809354, -0.0715565
 11, 12, -0.326278, -0.0217063
12, 12, 0, 0
 13, 12, 0.438819, -0.00707266
 14, 12, 0.920358, 0.0082133
 15, 12, -0.814046, 0.378211
 16, 12, -0.358749, 0.386876
 17, 12, -0.0138106, 0.343378
 18, 12, 0.467871, 0.353971
 19, 12, 0.857984, 0.357246
 20, 12, -0.83984, 0.709131
 21, 12, -0.344002, 0.688654
 22, 12, 0.0464214, 0.641184
 23, 12, 0.42366, 0.661934
 24, 12, 0.791243, 0.670158

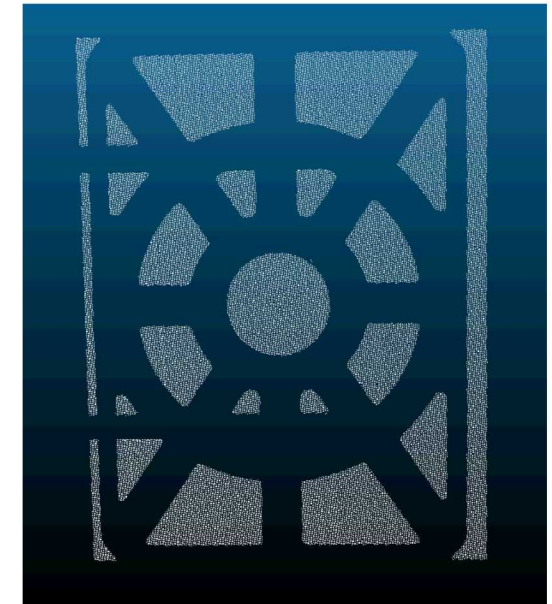
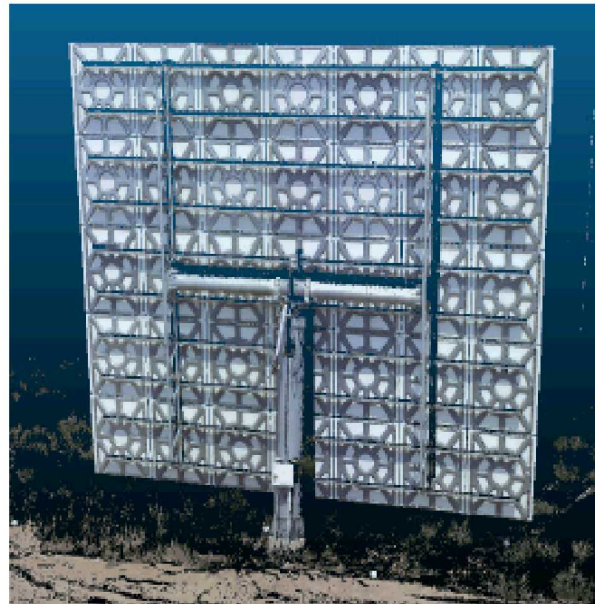
Comparison of Front-Side and Back-Side Scans

- We performed a study to compare the resulting canting angles between point-clouds taken from the front and the back of a Crescent Dunes Heliostat.
- On the right you see a front-side and back-side photo and a back-side scan of a typical CD Heliostat.

On Heliostat 5903 we calculated the planes on the front-side and back-side, and took the difference in the canting angles.

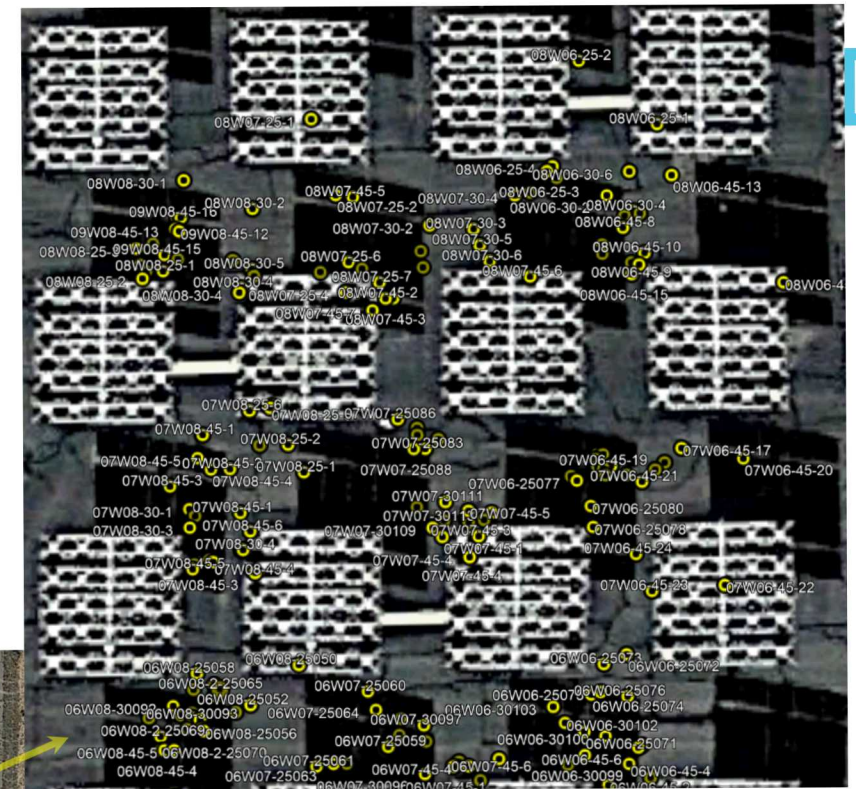
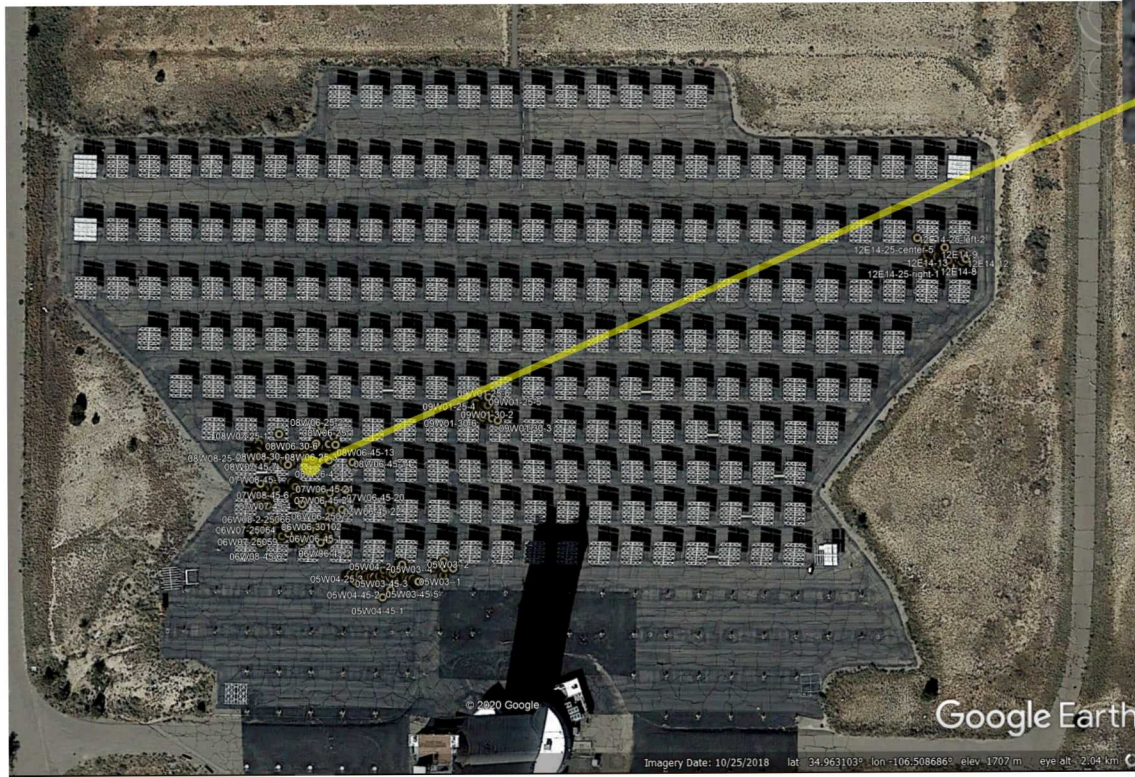
The stddev between the front-side data and back-side data for elevation was 0.0562 deg and 0.0465 deg for azimuth.

Not all heliostats will be amenable to this approach, but this mitigates the need to coordinate with front-side cleaning schedules.



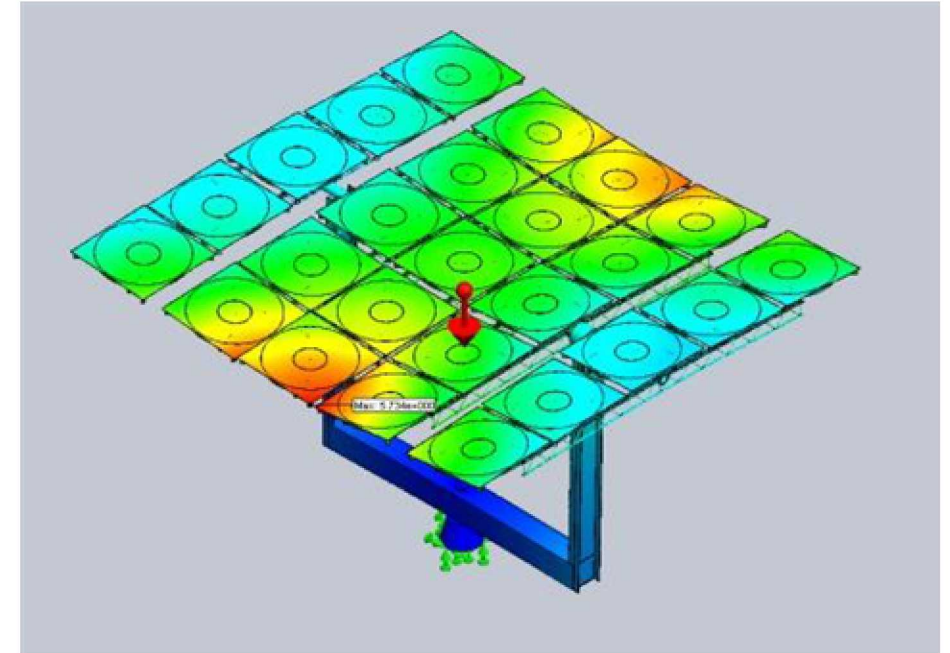
8 Repeatability Results

- We took 230 scans over 13 of the heliostats at NSTTF at 3 of 4 different elevation angles (0, 25, 30 & 45 Degrees)
- The average RMS repeatability for azimuth and elevation canting angles at each specific heliostat elevation angle is 0.21 mrad azimuth and 0.20 mrad elevation



Deflection Effects on Repeatability

- A study in 2011 by Moya and Ho (Sandia) showed that gravitational effects could cause displacement of the facets. This figure from the paper shows a finite element model of the NSTTF heliostat with heliostat deformation due to gravity, with the red points of the heliostat representing a displacement of 5.6 mrad.
- When we consider the scan data taken for all elevations taken at each heliostat from the repeatability study from the last slide, we see the **Average RMS increase to 0.49 mrad in Azimuth, and 1.22 mrad in Elevation.**
- While this diagram shows a general pattern of worse elevation deflection than azimuth, which matches our findings, further study is required to know for sure.



”Modeling and Validation of Heliostat Deformation Due to Static Loading”, Moya Adam C., Ho Clifford K., Proceedings of the ASME 2011 5th International Conference on Energy Sustainability & 9th Fuel Cell Science, Engineering and Technology, August 7-10, 2011, Washington DC, USA

Possibilities for autonomous Canting Angle Detection

We have demonstrated that the FARO scanner can be autonomously controlled from an offboard (wired or wireless) computer.

- Scan and processing times are < 5 minutes

The scanner has been mounted to an autonomous vehicle (Boston Dynamics SPOT robot), and FARO now offers this as a option for construction sites.

Other UGVs (unmanned ground vehicles) may be more appropriate for heliostat fields.

The vehicle could be autonomously driven with GPS to the front of each heliostat

Heliostats can be driven to acceptable positions



Thanks for your attention!

Raw Repeatability Data for Azimuth

Table 1: Std. Dev. Of Facet Azimuth Angles (Relative to Center Facet) per Heliostat Elevation Angle Pair

HS-Elev	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	AZ-rms
12E14-45	0.15	0.10	0.07	0.13	0.16	0.11	0.08	0.10	0.12	0.08	0.04	0.10	0.00	0.16	0.18	0.10	0.12	0.05	0.14	0.20	0.11	0.10	0.05	0.15	0.19	0.12
12E14-0	0.12	0.24	0.15	0.24	0.35	0.10	0.13	0.07	0.22	0.28	0.09	0.23	0.00	0.18	0.27	0.08	0.10	0.06	0.18	0.16	0.24	0.18	0.05	0.09	0.10	0.18
12E14-30	0.15	0.17	0.09	0.23	0.10	0.15	0.19	0.20	0.21	0.13	0.09	0.20	0.00	0.25	0.35	0.20	0.17	0.15	0.18	0.11	0.22	0.17	0.12	0.16	0.17	0.18
12E14-25	0.17	0.13	0.07	0.13	0.32	0.08	0.15	0.10	0.13	0.28	0.06	0.11	0.00	0.13	0.37	0.20	0.12	0.08	0.08	0.28	0.14	0.12	0.08	0.06	0.27	0.17
09W08-45	0.18	0.14	0.19	0.14	0.11	0.21	0.13	0.13	0.12	0.09	0.09	0.17	0.00	0.14	0.08	0.06	0.08	0.12	0.13	0.12	0.13	0.10	0.07	0.05	0.09	0.12
09W01-45	0.26	0.41	0.27	0.20	0.27	0.10	0.32	0.13	0.11	0.15	0.07	0.14	0.00	0.03	0.05	0.19	0.18	0.12	0.16	0.16	0.32	0.28	0.27	0.29	0.31	0.22
09W01-30	0.20	0.33	0.06	0.12	0.17	0.20	0.35	0.06	0.14	0.16	0.21	0.12	0.00	0.14	0.14	0.21	0.40	0.05	0.11	0.13	0.07	0.19	0.11	0.13	0.15	0.18
09W01-25	0.54	0.38	0.08	0.26	0.12	0.36	0.26	0.06	0.22	0.12	0.31	0.46	0.00	0.18	0.13	0.33	0.19	0.08	0.15	0.14	0.34	0.26	0.16	0.13	0.16	0.25
08W08-30	0.23	0.32	0.24	0.25	0.17	0.15	0.17	0.22	0.23	0.20	0.10	0.27	0.00	0.18	0.17	0.08	0.14	0.11	0.17	0.15	0.08	0.15	0.14	0.15	0.15	0.18
08W08-25	0.16	0.27	0.19	0.25	0.24	0.24	0.22	0.22	0.18	0.16	0.09	0.18	0.00	0.18	0.13	0.11	0.06	0.23	0.15	0.12	0.19	0.12	0.17	0.12	0.26	0.18
08W07-45	0.24	0.22	0.15	0.09	0.14	0.13	0.14	0.11	0.07	0.17	0.19	0.12	0.00	0.16	0.10	0.11	0.21	0.06	0.10	0.17	0.08	0.17	0.18	0.16	0.10	0.14
08W07-30	0.36	0.18	0.22	0.16	0.08	0.31	0.27	0.14	0.08	0.11	0.23	0.31	0.00	0.04	0.10	0.16	0.26	0.11	0.09	0.15	0.26	0.12	0.07	0.13	0.10	0.18
08W07-25	0.32	0.23	0.23	0.24	0.23	0.08	0.12	0.20	0.24	0.33	0.28	0.32	0.00	0.07	0.22	0.13	0.19	0.08	0.17	0.23	0.39	0.53	0.25	0.15	0.15	0.24
08W06-45	0.13	0.16	0.11	0.11	0.13	0.12	0.21	0.15	0.16	0.13	0.15	0.15	0.00	0.10	0.10	0.12	0.13	0.13	0.17	0.11	0.28	0.14	0.17	0.11	0.17	0.15
08W06-30	0.13	0.30	0.17	0.20	0.24	0.09	0.21	0.11	0.21	0.26	0.10	0.12	0.00	0.12	0.21	0.19	0.11	0.15	0.16	0.15	0.21	0.20	0.12	0.20	0.09	0.17
08W06-25	0.32	1.22	0.38	0.56	0.18	0.34	0.69	0.23	0.49	0.17	0.48	0.36	0.00	0.32	0.18	0.51	0.33	0.13	0.15	0.14	0.46	0.31	0.10	0.12	0.12	0.41
07W08-45	0.63	0.84	0.43	0.72	0.12	0.35	0.82	0.31	0.69	0.11	0.56	0.74	0.00	0.57	0.34	0.57	0.87	0.15	0.48	0.47	0.18	0.47	0.22	0.46	0.57	0.53
07W08-30	0.07	0.20	0.22	0.18	0.23	0.17	0.47	0.27	0.24	0.18	0.19	0.37	0.00	0.20	0.29	0.14	0.10	0.18	0.15	0.15	0.08	0.18	0.18	0.23	0.13	0.21
07W08-25	0.21	0.45	0.14	0.16	0.18	0.18	0.17	0.06	0.22	0.17	0.18	0.29	0.00	0.15	0.17	0.12	0.43	0.16	0.15	0.17	0.10	0.22	0.19	0.16	0.15	0.21

Raw Repeatability Data for Azimuth

07W07-30	0.17	0.25	0.09	0.14	0.22	0.15	0.27	0.12	0.18	0.25	0.19	0.28	0.00	0.21	0.12	0.13	0.15	0.16	0.26	0.18	0.08	0.10	0.14	0.24	0.15	0.18
07W07-25	0.21	0.32	0.16	0.22	0.22	0.23	0.29	0.18	0.19	0.17	0.11	0.20	0.00	0.36	0.11	0.13	0.25	0.13	0.07	0.17	0.15	0.39	0.06	0.17	0.24	0.21
07W07-45	0.25	0.34	0.28	0.08	0.22	0.09	0.29	0.08	0.14	0.17	0.10	0.20	0.00	0.16	0.19	0.10	0.12	0.08	0.06	0.08	0.10	0.06	0.09	0.06	0.08	0.16
07W06-45	0.28	0.18	0.17	0.08	0.15	0.12	0.11	0.16	0.08	0.11	0.26	0.12	0.00	0.17	0.11	0.16	0.15	0.08	0.12	0.23	0.20	0.15	0.17	0.22	0.18	0.16
07W06-30	0.16	0.19	0.05	0.12	0.13	0.05	0.09	0.07	0.09	0.09	0.15	0.16	0.00	0.08	0.13	0.09	0.10	0.09	0.05	0.09	0.21	0.04	0.12	0.11	0.12	0.11
07W06-25	0.34	0.44	0.15	0.31	0.37	0.23	0.23	0.10	0.22	0.31	0.30	0.24	0.00	0.22	0.29	0.44	0.20	0.12	0.14	0.14	0.17	0.15	0.22	0.18	0.17	0.25
06W08-30	0.20	0.27	0.22	0.32	0.14	0.16	0.25	0.14	0.29	0.13	0.19	0.24	0.00	0.30	0.15	0.09	0.19	0.17	0.10	0.18	0.27	0.23	0.19	0.09	0.25	0.20
06W08-25	0.15	0.19	0.20	0.18	0.19	0.15	0.14	0.22	0.16	0.06	0.19	0.09	0.00	0.21	0.22	0.19	0.27	0.12	0.07	0.24	0.15	0.26	0.22	0.16	0.20	0.18
06W08-45	0.11	0.19	0.19	0.21	0.72	0.22	0.16	0.20	0.17	0.92	0.29	0.10	0.00	0.30	1.10	0.21	0.17	0.16	0.14	0.68	0.20	0.15	0.21	0.12	0.60	0.40
06W07-30	0.75	0.27	0.16	0.29	0.53	0.60	0.13	0.13	0.27	0.61	0.40	0.22	0.00	0.20	0.56	0.29	0.23	0.14	0.22	0.68	0.12	0.48	0.18	0.21	0.50	0.38
06W07-25	0.29	0.18	0.23	0.26	0.24	0.29	0.18	0.21	0.30	0.08	0.18	0.35	0.00	0.33	0.54	0.22	0.34	0.20	0.08	0.32	0.25	0.19	0.19	0.20	0.17	0.26
06W07-45	0.20	0.33	0.13	0.14	0.05	0.17	0.12	0.22	0.13	0.19	0.11	0.23	0.00	0.13	0.13	0.16	0.16	0.13	0.26	0.21	0.12	0.10	0.14	0.11	0.12	0.16
06W06-30	0.23	0.25	0.04	0.55	0.19	0.13	0.21	0.06	0.36	0.27	0.23	0.21	0.00	0.36	0.20	0.26	0.12	0.21	0.16	0.20	0.23	0.20	0.33	0.18	0.19	0.24
06W06-25	0.25	0.22	0.27	0.32	0.46	0.24	0.21	0.13	0.25	0.20	0.38	0.23	0.00	0.27	0.66	0.18	0.28	0.14	0.07	0.14	0.25	0.23	0.14	0.13	0.14	0.27
06W06-45	0.16	0.24	0.30	0.08	0.14	0.18	0.14	0.18	0.24	0.15	0.13	0.10	0.00	0.59	0.19	0.05	0.09	0.21	0.36	0.07	0.24	0.10	0.10	0.25	0.20	0.21
05W05-45	0.35	0.25	0.25	0.15	0.43	0.17	0.24	0.23	0.28	0.25	0.27	0.24	0.00	0.11	0.23	0.21	0.24	0.26	0.10	0.13	0.28	0.29	0.25	0.19	0.21	0.24
05W05-0	0.10	0.21	0.07	0.11	0.05	0.06	0.12	0.14	0.11	0.09	0.03	0.08	0.00	0.11	0.09	0.06	0.05	0.07	0.09	0.07	0.12	0.11	0.12	0.12	0.10	0.10
05W05-45	0.35	0.25	0.25	0.15	0.43	0.17	0.24	0.23	0.28	0.25	0.27	0.24	0.00	0.11	0.23	0.21	0.24	0.26	0.10	0.13	0.28	0.29	0.25	0.19	0.21	0.24
05W05-25	0.19	0.32	0.34	0.47	0.36	0.25	0.32	0.48	0.31	0.36	0.44	0.44	0.00	0.44	0.46	0.41	0.44	0.27	0.52	0.35	0.28	0.41	0.32	0.33	0.38	0.37
05W03-45	0.14	0.24	0.11	0.13	0.30	0.22	0.11	0.17	0.10	0.09	0.12	0.07	0.00	0.08	0.13	0.18	0.12	0.08	0.14	0.11	0.09	0.19	0.12	0.12	0.09	0.14
05W03-25	0.25	0.16	0.08	0.13	0.07	0.14	0.08	0.08	0.09	0.08	0.12	0.06	0.00	0.06	0.14	0.05	0.09	0.06	0.12	0.12	0.06	0.16	0.05	0.12	0.15	0.11
05W03-0	0.16	0.07	0.15	0.36	0.16	0.17	0.19	0.12	0.29	0.15	0.07	0.11	0.00	0.19	0.11	0.13	0.11	0.13	0.10	0.11	0.08	0.38	0.24	0.08	0.08	0.17
Avg	0.24	0.28	0.18	0.22	0.23	0.19	0.23	0.16	0.21	0.20	0.20	0.22	0.00	0.20	0.24	0.18	0.20	0.13	0.16	0.19	0.19	0.21	0.16	0.16	0.19	0.21

Raw Repeatability Data for Elevation

HS-Elev	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	EL-rms
12E14-45	0.18	0.28	0.12	0.22	0.17	0.24	0.20	0.20	0.10	0.22	0.28	0.17	0.00	0.14	0.34	0.14	0.14	0.06	0.15	0.17	0.12	0.21	0.10	0.25	0.12	0.19
12E14-0	0.05	0.18	0.09	0.10	0.10	0.04	0.08	0.08	0.09	0.14	0.06	0.10	0.00	0.09	0.06	0.09	0.09	0.12	0.07	0.06	0.39	0.55	0.15	0.16	0.09	0.17
12E14-30	0.16	0.20	0.13	0.19	0.12	0.09	0.17	0.13	0.13	0.22	0.14	0.19	0.00	0.17	0.17	0.16	0.09	0.09	0.15	0.07	0.12	0.18	0.18	0.14	0.23	0.15
12E14-25	0.10	0.14	0.13	0.16	0.15	0.15	0.10	0.16	0.18	0.12	0.16	0.08	0.00	0.04	0.16	0.09	0.07	0.09	0.16	0.12	0.20	0.08	0.11	0.15	0.05	0.13
09W08-45	0.07	0.09	0.10	0.08	0.05	0.11	0.16	0.11	0.11	0.08	0.08	0.07	0.00	0.08	0.06	0.12	0.09	0.09	0.05	0.09	0.08	0.04	0.09	0.06	0.10	0.09
09W01-45	0.35	0.16	0.19	0.18	0.30	0.34	0.11	0.09	0.11	0.28	0.34	0.15	0.00	0.17	0.28	0.34	0.17	0.08	0.09	0.32	0.36	0.18	0.06	0.14	0.31	0.23
09W01-30	0.06	0.10	0.05	0.11	0.10	0.09	0.13	0.05	0.05	0.10	0.12	0.08	0.00	0.08	0.08	0.14	0.07	0.05	0.07	0.09	0.10	0.11	0.04	0.12	0.13	0.09
09W01-25	0.11	0.11	0.02	0.05	0.04	0.07	0.05	0.03	0.04	0.04	0.06	0.06	0.00	0.02	0.03	0.08	0.05	0.03	0.01	0.02	0.09	0.06	0.04	0.05	0.05	0.06
08W08-30	0.02	0.08	0.14	0.06	0.09	0.10	0.20	0.08	0.23	0.14	0.12	0.11	0.00	0.10	0.08	0.11	0.11	0.10	0.07	0.05	0.10	0.11	0.07	0.09	0.11	0.11
08W08-25	0.21	0.28	0.22	0.16	0.35	0.27	0.18	0.29	0.28	0.21	0.25	0.18	0.00	0.12	0.21	0.12	0.10	0.22	0.16	0.23	0.20	0.15	0.30	0.21	0.26	0.22
08W07-45	0.42	0.40	0.23	0.28	0.33	0.40	0.64	0.26	0.27	0.37	0.35	0.29	0.00	0.27	0.31	0.41	0.34	0.39	0.41	0.38	0.29	0.25	0.27	0.34	0.29	0.34
08W07-30	0.20	0.14	0.16	0.15	0.13	0.16	0.24	0.12	0.17	0.19	0.15	0.14	0.00	0.14	0.10	0.18	0.19	0.22	0.16	0.10	0.23	0.17	0.12	0.19	0.15	0.16
08W07-25	0.19	0.70	0.60	0.48	0.56	0.16	0.26	0.58	0.48	0.36	0.14	0.22	0.00	0.18	0.16	0.50	0.24	0.14	0.23	0.19	0.22	0.33	0.36	0.26	0.45	0.36
08W06-45	0.30	0.19	0.19	0.19	0.26	0.30	0.19	0.36	0.29	0.31	0.40	0.24	0.00	0.20	0.36	0.46	0.25	0.19	0.21	0.43	0.53	0.31	0.25	0.30	0.62	0.32
08W06-30	0.06	0.07	0.13	0.15	0.13	0.06	0.12	0.14	0.10	0.14	0.13	0.13	0.00	0.15	0.08	0.13	0.12	0.14	0.13	0.11	0.09	0.08	0.09	0.07	0.07	0.11
08W06-25	0.07	0.08	0.09	0.10	0.11	0.11	0.10	0.06	0.06	0.09	0.16	0.11	0.00	0.14	0.11	0.14	0.15	0.09	0.04	0.10	0.17	0.09	0.09	0.08	0.07	0.10
07W08-45	0.14	0.19	0.08	0.16	0.15	0.20	0.18	0.15	0.14	0.17	0.21	0.10	0.00	0.05	0.18	0.19	0.13	0.14	0.07	0.14	0.17	0.13	0.12	0.09	0.14	0.15
07W08-30	0.14	0.18	0.53	0.24	0.29	0.28	0.28	0.21	0.17	0.28	0.18	0.37	0.00	0.18	0.25	0.28	0.12	0.23	0.16	0.25	0.12	0.30	0.17	0.15	0.28	0.25
07W08-25	0.11	0.06	0.10	0.14	0.16	0.15	0.10	0.10	0.15	0.15	0.15	0.10	0.00	0.07	0.25	0.09	0.16	0.17	0.14	0.15	0.07	0.08	0.15	0.07	0.13	0.13

Raw Repeatability Data for Elevation (cont'd)

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	EL-rms
HS-Elev																										
07W07-30	0.04	0.07	0.08	0.09	0.16	0.08	0.15	0.07	0.12	0.11	0.05	0.13	0.00	0.17	0.07	0.13	0.11	0.06	0.13	0.09	0.11	0.11	0.07	0.09	0.05	0.10
07W07-25	0.31	0.06	0.07	0.06	0.15	0.21	0.09	0.08	0.07	0.16	0.17	0.08	0.00	0.16	0.13	0.17	0.10	0.11	0.08	0.06	0.12	0.09	0.12	0.10	0.12	0.13
07W07-45	0.37	0.21	0.18	0.03	0.37	0.22	0.07	0.14	0.16	0.14	0.17	0.15	0.00	0.16	0.23	0.09	0.13	0.10	0.20	0.23	0.15	0.14	0.12	0.14	0.16	0.18
07W06-45	0.61	0.22	0.19	0.22	0.52	0.46	0.25	0.23	0.29	0.26	0.31	0.20	0.00	0.31	0.38	0.28	0.30	0.17	0.39	0.19	0.39	0.39	0.38	0.25	0.40	0.33
07W06-30	0.08	0.11	0.13	0.10	0.09	0.11	0.14	0.15	0.08	0.17	0.07	0.17	0.00	0.14	0.10	0.13	0.09	0.06	0.17	0.10	0.14	0.08	0.06	0.08	0.07	0.11
07W06-25	0.22	0.14	0.10	0.14	0.18	0.14	0.19	0.17	0.20	0.12	0.16	0.24	0.00	0.18	0.24	0.18	0.09	0.17	0.14	0.14	0.14	0.14	0.13	0.14	0.15	0.16
06W08-30	0.19	0.13	0.07	0.17	0.31	0.07	0.20	0.14	0.10	0.18	0.17	0.07	0.00	0.26	0.14	0.15	0.05	0.12	0.11	0.25	0.07	0.09	0.03	0.18	0.10	0.15
06W08-25	0.17	0.14	0.12	0.11	0.15	0.19	0.15	0.14	0.12	0.09	0.18	0.13	0.00	0.15	0.14	0.18	0.17	0.16	0.18	0.08	0.17	0.07	0.11	0.12	0.13	0.14
06W08-45	0.17	0.38	0.27	0.25	0.67	0.19	0.19	0.15	0.35	0.20	0.24	0.18	0.00	0.33	0.25	0.28	0.34	0.19	0.37	0.59	0.27	0.09	0.10	0.18	0.20	0.29
06W07-30	0.30	0.09	0.25	0.14	0.25	0.12	0.20	0.12	0.17	0.18	0.18	0.13	0.00	0.34	0.10	0.08	0.18	0.21	0.16	0.19	0.12	0.25	0.17	0.21	0.18	0.19
06W07-25	0.34	0.26	0.16	0.18	0.23	0.15	0.15	0.08	0.06	0.08	0.32	0.21	0.00	0.63	0.41	0.18	0.25	0.21	0.39	0.53	0.13	0.16	0.10	0.17	0.41	0.28
06W07-45	0.41	0.18	0.25	0.42	0.32	0.19	0.17	0.21	0.09	0.16	0.21	0.15	0.00	0.17	0.13	0.13	0.15	0.09	0.09	0.30	0.16	0.16	0.22	0.27	0.22	0.21
06W06-30	0.19	0.25	0.22	0.21	0.17	0.17	0.29	0.15	0.21	0.20	0.23	0.19	0.00	0.28	0.38	0.30	0.26	0.26	0.20	0.22	0.35	0.19	0.19	0.28	0.17	0.23
06W06-25	0.20	0.31	0.36	0.30	0.39	0.33	0.08	0.08	0.19	0.15	0.13	0.07	0.00	0.34	0.22	0.13	0.07	0.14	0.09	0.37	0.20	0.25	0.25	0.29	0.26	0.24
06W06-45	0.29	0.82	0.51	0.46	0.97	0.11	0.14	0.20	0.13	0.22	0.21	0.22	0.00	0.23	0.30	0.21	0.09	0.06	0.29	0.14	0.25	0.08	0.11	0.11	0.09	0.33
05W05-45	0.44	0.44	0.54	0.58	0.17	0.23	0.23	0.12	0.34	0.53	0.40	0.22	0.00	0.17	0.43	0.26	0.12	0.22	0.24	0.26	0.28	0.35	0.33	0.21	0.24	0.33
05W05-0	0.14	0.10	0.19	0.06	0.13	0.15	0.12	0.15	0.15	0.13	0.12	0.13	0.00	0.14	0.13	0.18	0.14	0.16	0.07	0.13	0.11	0.11	0.13	0.13	0.12	0.13
05W05-45	0.44	0.44	0.54	0.58	0.17	0.23	0.23	0.12	0.34	0.53	0.40	0.22	0.00	0.17	0.43	0.26	0.12	0.22	0.24	0.26	0.28	0.35	0.33	0.21	0.24	0.33
05W05-25	0.40	0.37	0.51	0.54	0.45	0.44	0.26	0.54	0.49	0.35	0.57	0.31	0.00	0.32	0.30	0.27	0.40	0.31	0.24	0.24	0.30	0.32	0.35	0.32	0.35	0.38
05W03-45	0.15	0.12	0.08	0.20	0.39	0.17	0.21	0.08	0.09	0.14	0.33	0.15	0.00	0.13	0.12	0.39	0.29	0.13	0.25	0.74	0.21	0.45	0.25	0.23	0.74	0.30
05W03-25	0.19	0.16	0.09	0.12	0.04	0.10	0.10	0.06	0.04	0.09	0.09	0.09	0.00	0.07	0.09	0.12	0.05	0.06	0.19	0.12	0.09	0.09	0.11	0.08	0.04	0.10
05W03-0	0.23	0.12	0.14	0.07	0.16	0.08	0.04	0.03	0.13	0.13	0.13	0.11	0.00	0.08	0.08	0.13	0.11	0.10	0.11	0.11	0.17	0.11	0.01	0.11	0.08	0.11
Avg	0.22	0.21	0.20	0.20	0.24	0.18	0.17	0.16	0.17	0.19	0.20	0.16	0.00	0.18	0.20	0.20	0.15	0.15	0.17	0.20	0.19	0.18	0.16	0.17	0.20	0.20