

1 Luna kot uniformni disk

Temperatura lune se spreminja po površini diska v širokem razponu, ampak lahko luno prikažemo kot uniformni disk z povprečno temperaturo osvetlitve (brightness temperature) izraženo v Kelvinih [1,2].

Povprečno temperaturo osvetlitve Lune lahko približamo z naslednjo formulo [1], kjer $\bar{T}_0[K]$ predstavlja konstantno del temperature Lune za dano frekvenco, $\bar{T}_1[K]$ je prvi harmonik, $\phi[^\circ]$ je kot lunine mene in $\psi[^\circ]$ je kot faze prilagajanja.

$$\bar{T} = \bar{T}_0 \left[1 - \frac{\bar{T}_1}{\bar{T}_0} \cos(\phi - \psi) \right] \text{ [K]}$$

Enačba je dober približek povprečne temperature lune za frekvence pod 10GHz in skupnim pogreškom od 0.18% zaradi zanemarjanja višjih harmonikov. Parametri $\bar{T}_0[K]$, $\bar{T}_1[K]$ in $\psi[^\circ]$, natančno so izmerjeni na različnih frekvencah in interpolirani za ostale frekvence [3] (Slika 1). Naslednje formule produkt so interpolacije in podajajo želene parametre [2]:

$$\bar{T}_0 = 207.7 + \frac{24.43}{f_{GHz}} \text{ [K]}$$

$$\frac{\bar{T}_1}{\bar{T}_0} = 0.004212 \times f_{GHz}^{1.224} \text{ []}$$

$$\psi = \frac{43.83}{1+0.0109f_{GHz}} \text{ [}^\circ\text{]}$$

Table 1. Parameters for the average lunar brightness temperature

Frequency (GHz)	\bar{T}_0 (kelvins)	\bar{T}_1/\bar{T}_0	Ψ (degree)	T_1/T_0
0.6	240	--	--	--
0.86	235	--	--	--
1.5	225	0.00667	44	0.00800
3.13	218	0.0183	42	0.0204
9.375	210	0.0619	40	0.0681
18.75	207	0.155	35	0.151
37.5	205	0.195	32	0.217
75	203	0.266	24	0.326

Ostali nujni podatki Lune kot so kotni premer, kot mene, in veliko več so dostopni na spletni strani <http://ssd.jpl.nasa.gov/horizons.cgi>.

Prikaz podatkov z spletne strani:

1. <input checked="" type="checkbox"/> Astrometric RA & DEC	16. <input type="checkbox"/> Sub-Sun position angle & distance	* 31. <input type="checkbox"/> Observer ecliptic lon. & lat.
* 2. <input type="checkbox"/> Apparent RA & DEC	17. <input type="checkbox"/> North Pole position angle & distance	32. <input type="checkbox"/> North pole RA & DEC
3. <input type="checkbox"/> Rates; RA & DEC	18. <input type="checkbox"/> Heliocentric ecliptic lon. & lat.	33. <input type="checkbox"/> Galactic longitude & latitude
* 4. <input type="checkbox"/> Apparent AZ & EL	19. <input type="checkbox"/> Heliocentric range & range-rate	34. <input type="checkbox"/> Local apparent SOLAR time
5. <input type="checkbox"/> Rates; AZ & EL	20. <input checked="" type="checkbox"/> Observer range & range-rate	35. <input type="checkbox"/> Earth->obs. site light-time
6. <input type="checkbox"/> Satellite X & Y, pos. angle	21. <input type="checkbox"/> One-way (down-leg) light-time	> 36. <input type="checkbox"/> RA & DEC uncertainty
7. <input type="checkbox"/> Local apparent sidereal time	22. <input type="checkbox"/> Speed wrt Sun & observer	> 37. <input type="checkbox"/> Plane-of-sky error ellipse
8. <input type="checkbox"/> Airmass & extinction	23. <input checked="" type="checkbox"/> Sun-Observer-Target ELONG angle	> 38. <input type="checkbox"/> POS uncertainty (RSS)
9. <input checked="" type="checkbox"/> Visual mag. & Surface Brght	24. <input checked="" type="checkbox"/> Sun-Target-Observer ~PHASE angle	> 39. <input type="checkbox"/> Range & range-rate 3-sigmas
10. <input type="checkbox"/> Illuminated fraction	25. <input type="checkbox"/> Target-Observer-Moon angle/ Illum%	> 40. <input type="checkbox"/> Doppler & delay 3-sigmas
11. <input type="checkbox"/> Defect of illumination	26. <input type="checkbox"/> Observer-Primary-Target angle	41. <input type="checkbox"/> True anomaly angle
12. <input type="checkbox"/> Satellite angular separ/vis.	27. <input type="checkbox"/> Sun-Target radial & -vel pos. angle	42. <input type="checkbox"/> Local apparent hour angle
13. <input type="checkbox"/> Target angular diameter	28. <input type="checkbox"/> Orbit plane angle	43. <input type="checkbox"/> PHASE angle & bisector
14. <input type="checkbox"/> Observer sub-lon & sub-lat	29. <input type="checkbox"/> Constellation ID	
15. <input type="checkbox"/> Sun sub-longitude & sub-latitude	30. <input type="checkbox"/> Delta-T (CT - UT)	

Notes:
 * affected by optional atmospheric refraction setting (below)
 > statistical value that uses orbit covariance if available

Slika 2 - Dodatne možnosti prikaza (horizons)

Revised: Jul 26, 2016	Moon / (Earth)	301
PHYSICAL PROPERTIES:		
Radius (IAU), km	= 1737.4	Mass, 10 ²⁰ kg = 734.9
Radius (gravity), km	= 1738.0	Geometric albedo = 0.12
Density, gm cm ⁻³	= 3.3437	GM, km ³ /s ² = 4902.80007
V(1,0)	= +0.21	Surface gravity = 1.62 m s ⁻²
Earth/Moon mass ratio	= 81.3005691	Farside crust. thick. = ~80 - 90 km
Nearside crust. thick.	= 58+-8 km	Heat flow, Apollo 17 = 2.2+-0.5 mW/m ²
Heat flow, Apollo 15	= 3.1+-0.6 mW/m ²	k2 = 0.024059
Mean crustal density	= 2.97+-0.07g/cm ³	Magnetometer moment = 435+-15
Induced magnetic mom.	= 4.23x10 ²² Gcm ³	
DYNAMICAL CHARACTERISTICS:		
Mean angular diameter	= 31'05.2"	Orbit period = 27.321582 d
Obliquity to orbit	= 6.67 deg	Eccentricity = 0.05490
Semi-major axis, a	= 384400 km	Inclination = 5.145 deg
Mean motion, rad/s	= 2.6616995x10 ⁻⁶	Nodal period = 6798.38 d
Apsidal period	= 3231.50 d	Mom. of inertia C/MR ² = 0.393142
beta (C-A/B), x10 ⁻⁴	= 6.310213	gamma (B-A/C), x10 ⁻⁴ = 2.277317

Slika 3 - vedno prikazano (horizons)

Results

```

*****
Ephemeris / WNW_USER Tue Oct  4 01:07:54 2016 Pasadena, USA / Horizons
*****
Target body name: Moon (301) (source: DE431mx)
Center body name: Earth (399) (source: DE431mx)
Center-site name: (user defined site below)
*****
Start time : A.D. 2016-Oct-03 00:00:00.0000 UT
Stop time : A.D. 2016-Oct-04 00:00:00.0000 UT
Step-size : 60 minutes
*****
Target pole/equ : IAU MOON (East-longitude +)
Target radii : 1737.4 x 1737.4 x 1737.4 km (Equator, meridian, pole)
Center geodetic : 12.6167000,41.8667000,1.014E-12 (E-lon(deg),Lat(deg),Alt(km) )
Center cylindrical: 12.6167000,4756.89324,4234.5894 (E-lon(deg),Dxy(km),Dz(km) )
Center pole/equ : High-precision EOP model (East-longitude +)
Center radii : 6378.1 x 6378.1 x 6356.8 km (Equator, meridian, pole)
Target primary : Earth
Vis. interferer : MOON (R_eq= 1737.400) km (source: DE431mx)
Rel. light bend : Sun, EARTH (source: DE431mx)
Rel. light bnd GM: 1.3271E+11, 3.9860E+05 km^3/s^2
Atmos refraction: NO (AIRLESS)
RA format : HMS
Time format : CAL
EOP file : eop.161003.p161225
EOP coverage : DATA-BASED 1962-JAN-20 TO 2016-OCT-03. PREDICTS-> 2016-DEC-24
Units conversion: 1 au= 149597870.700 km, c= 299792.458 km/s, 1 day= 86400.0 s
Table cut-offs 1: Elevation (-90.0deg=NO),Airmass (>38.000=NO), Daylight (NO )
Table cut-offs 2: Solar Elongation ( 0.0,180.0=NO ),Local Hour Angle( 0.0=NO )
*****
Date__ (UT) __HR:MN R.A._ (ICRF/J2000.0) _DEC APmag S-brt delta deldot S-O-T /r S-T-O
*****
SSSOE
2016-Oct-03 00:00 14 04 09.46 -08 53 16.7 -6.01 6.37 0.00274411765514 0.0539009 22.2706 /T 157.6700
2016-Oct-03 01:00 14 06 45.55 -09 01 39.5 -6.07 6.38 0.00274441023455 -0.0295285 22.8870 /T 157.0520
2016-Oct-03 02:00 14 09 20.32 -09 10 24.1 -6.12 6.38 0.00274271988038 -0.1100394 23.4991 /T 156.4383
2016-Oct-03 03:00 14 11 51.30 -09 19 30.3 -6.18 6.38 0.00273917753829 -0.1826380 24.0969 /T 155.8391
2016-Oct-03 04:00 A 14 14 16.26 -09 28 55.9 -6.23 6.38 0.00273402944961 -0.2427826 24.6712 /T 155.2634
2016-Oct-03 05:00 C 14 16 33.30 -09 38 37.5 -6.28 6.38 0.00272762300237 -0.2866520 25.2143 /T 154.7191
2016-Oct-03 06:00 * 14 18 40.99 -09 48 30.4 -6.33 6.38 0.00272038641123 -0.3113877 25.7202 /T 154.2122
2016-Oct-03 07:00 * 14 20 38.45 -09 58 28.6 -6.38 6.38 0.00271280303186 -0.3152951 26.1851 /T 153.7463
2016-Oct-03 08:00 *m 14 22 25.48 -10 08 25.5 -6.42 6.38 0.00270538148908 -0.2979870 26.6078 /T 153.3228
2016-Oct-03 09:00 *m 14 24 02.53 -10 18 13.7 -6.45 6.38 0.00269862321426 -0.2604528 26.9899 /T 152.9399
2016-Oct-03 10:00 *m 14 25 30.74 -10 27 46.3 -6.49 6.37 0.00269298939233 -0.2050361 27.3355 /T 152.5936
2016-Oct-03 11:00 *m 14 26 51.86 -10 36 56.7 -6.52 6.37 0.00268886963380 -0.1353127 27.6514 /T 152.2770

```

Figure 4 - Prikaz izbranih dodatnih možnosti (horizons)

2 Direktna metoda za merjenje G/T faktorja

Za merjenje G/T razmerja poznamo dve metodi, in sicer, indirektno metodo in direktno metodo. V indirektni metodi ločeno merimo dobitek (smernost) antene in šumno število sprejemnika iz katerega lahko izvlečemo šumno temperaturo sprejemnika. Smernost antene lahko izmerimo pomočjo geostacionarnega satelita ali pomočjo drugega RF vira (lahko kakšna RF zvezda). Če kot RF vir uporabljamo RF zvezdo ali telo, postavimo se na tirnico vira in spremljamo prelet vira preko glavnega snopa (če je vir močen lahko vidimo tudi stranske snope). Šumno temperaturo antene pogosto estimiramo z krivuljami podanimi v ITU priporočilu, medtem ko šumno temperaturo sprejemnika lahko izmerimo z merilcem šumnega števila ali pa pomočjo Y-faktorja. Na koncu dobljene vrednosti za dobitek antene (korigirana smernost za izgube antene) in šumno temperaturo sistema (antena + sprejemnik) podelimo v linearnem prostoru in dobimo želeno razmerje.

V diplomu pa obravnavam ne več indirektno metodo, pač direktno metodo podano z [številne reference]:

$$\frac{G}{T} = \frac{8\pi k_B (Y-1)}{\lambda^2 S} K_1 K_2 [K^{-1}]$$

$$\left(\frac{G}{T}\right)_{dB} = 10 * \log_{10} \left(\frac{G}{T}\right) [dB/K]$$

Enačba vsebuje dobitok antene G [], šumno temperaturo sistema T [K], valovno dolžino λ [m], osvetlitev Lune (flux density) S [$W/m^2/Hz$], korekcijski faktor za telo z zornim kotom večjim od zornega kota antene K_2 [], ter znane konstante k_B (Boltzmann) in π (Pi). K_1 [] je korekcijski faktor zaradi slabljenja signala v atmosferi. Korekcijski faktor K_3 [] običajno implementiran zaradi polarizacijske neskladnosti sem namenoma izpustil, ker je Luna naključno polarizirana in je faktor gotovo enak 1. Y predstavlja razmerje sprejetih moči šuma ko je antena obrnjena v vir (P_1 [W]) in ko je obrnjena v hladno nebo (P_2 [W]).

$$Y = \frac{P_1}{P_2}$$

Enačba v dani obliki odvisna je le od dve meritvi: P_1 in P_2 .

Osvetlitev Lune lahko potem približamo kot osvetlitev uniformnega diska z povprečno temperaturo Lune:

$$S_{moon} = 7.349 \times f_{GHz}^2 \times \bar{T} \times d^2 \times 10^{-26} \text{ [W/m}^2\text{/Hz]}$$

Največji vpliv na negotovost G/T računa z uporabo direktne metode imajo negotovost zaradi majhnega Y-faktorja in negotovost zaradi slabe estimacije K_2 korekcijskega faktorja.

Korekcijski faktor podan je z formulo:

$$K_2 = \frac{\iint_{\Omega_{Moon}} S(\theta, \phi) d\Omega}{\iint_{\Omega_{Moon}} S(\theta, \phi) g(\theta, \phi) d\Omega}$$

S tem da je $g(\theta, \phi)$ [] normaliziran radiacijski diagram in $S(\theta, \phi)$ [$W/m^2/Hz$] osvetlitev Lune (črnega telesa). Če Luno vzamemo kot uniformni disk ki se obnaša kot črno telo, sepravi povemo da je v danem trenutku meritve temperature Lune konstantna na celotni površini, t.i. da je temperatura diska konstanta in enaka povprečni temperaturi Lune (naredimo zanemarljivo napako $\sim 0.18\%$) dobimo:

$$K_2 = \frac{\iint_{\Omega_{Moon}} 1 d\Omega}{\iint_{\Omega_{Moon}} g(\theta, \phi) d\Omega}, \quad g(\theta, \phi) = \frac{D(\theta, \phi)}{D_{max}}$$

Sedaj pa imamo korekcijski faktor ki je odvisen le od radiacijskega diagrama in kotnega polmera lune.

3 Meritve

Meritve se lahko izvajajo v fazah polnjenja in praznjenja lune, dovolj da je luna nad 30° elevacije, zaradi manjše negotovosti pri računu slabljenja zaradi atmosfere. Tudi tako, nujno je preveriti da se nobeno RF telo ne nahaja blizu RF telesa v katerega gledamo, optimalno v kotni razdalji $\sim 7^\circ$ po azimutu in 5° po elevaciji od RF telesa.

1. Središčna frekvenca: IF (običajno 750 MHz)

2. Span:	0 Hz
3. dB/div:	0,5
4. RBW:	300 kHz
5. VBW:	10 Hz
6. Marker:	ON
7. Sweep Time:	50 ms
8. Povprečenje:	10

Meritve se izvajajo vsakih pet minut, tako da v eni uri prikupimo 12 meritev.

Vsaka meritev je sestavljena od tri različne vrednosti:

- Sprejeta moč šuma ko je antena obrnjena v Luno (RF vir)
- Sprejeta moč šuma ko je antena obrnjena v hladno nebo 5° po azimutu od Lune (ista elevacija)
- Sprejeta moč šuma ko je antena obrnjena v hladno nebo na izbrani referenčni elevaciji.

4 Literatura

[1] W. C. Daywitt: An Error Analysis for the use of presently available lunar radio flux data in broadbeam antenna-system measurements

[2] Zdenek Kopal: Advances in Astronomy and Astrophysics, Opseg 8

[3] A.D. Kuzmin, A.E. Salomonovich: Radioastronomical methods of antenna measurements