

水色 CCD 相机信噪比的估算 ——与 SeaWiFS 的比较

崔敦杰 任建伟

(中国科学院长春光学精密机械研究所, 长春 130022)

摘要 对拟意中的三通道水色 CCD 相机估算了信噪比, 并与美国 SeaWiFS 遥感器进行了比较。

关键词: 遥感; 传感器

1 引 言

对于光学遥感器来说, 足够大的信噪比是设计成败的关键之一, 对于水色遥感器更是如此, 因为水色遥感信息是测量海水中悬浮物质对太阳光的漫反射而获得的, 这种漫反射光往往只占入射光的 4—16%, 所以对信噪比提出更高的要求。

然而, 水色遥感器的信噪比不仅与仪器的各种参数和探测器的性能有关, 还与太阳高度角、大气透过率、海水漫反射比、卫星高度等外部条件有关。从定量遥感应应用角度考虑, 在典型的测量条件下各通道中的噪音等效反射比 ($NE\Delta\rho$) 希望能达到 5×10^{-4} , 这是因为海水的漫反射比很低, 只有达到这种辐射测量精度, 才能用来计算叶绿素浓度等, 满足定量水色遥感的真正目的。以海洋水色测量为主要目的的各国水色遥感器, 如美国的中分辨率成像光谱仪 (MODIS-T)、欧空局的中分辨率成像光谱仪 (MERIS)、日本的海洋水色与温度扫描仪 (OCTS)、美国的海洋宽视场扫描仪 (SeaWiFS) 等都以 $NE\Delta\rho$ 达到 5×10^{-4} 为设计目标, 兰色波段要求达到 1×10^{-3} 。

我们在设计以观测近海大陆架、海岸带、河口与滩涂为目的的海洋水色 CCD 相机, 其地面分辨率为 250 m、刈幅为 250 km, 希望在典型的测量条件下 $NE\Delta\rho$ 能达到 5×10^{-4} 的水平。

对于“典型”测量条件, 国际遥感界还没有公认的规定, 但有一种水色遥感器可与之比较, 它就是美国原计划在 1995 年发射的 SeaStar 卫星上的有效载荷 SeaWiFS。自从美国 Nimbus-7 卫星上的海岸带水色扫描仪 (CZCS) 在 1986 年停止工作以来, 它是第一个可用于水色测量的遥感器, 世界海洋遥感界对它的期望很高。R. A. Barnes 等人曾利用“典型”的海水光谱辐亮度值计算过 SeaWiFS 各通道的信噪比^[1]。我们也利用他所采用的“典型”光谱辐亮度值计算了拟议中的水色 CCD 相机的信噪比。为了便于比较, 所有通带波长位置、通带宽度均采用与

SeaWiFS 相同的值,而实际上我们设计的水色 CCD 相机的通带宽度比 SeaWiFS 宽得多,对提高信噪比更为有利。

2 信噪比方程

对于用线阵 CCD 探测器按推扫方式工作的遥感器而言,在一个窄光谱通带内探测器一个像元所产生的信号电子数可按下式表示(假定已完成了大气程辐射的修正):

$$Se(\lambda) = Ad/4F^2 \cdot \lambda/hc \cdot Tint \cdot \eta(\lambda) \cdot \tau \cdot (\lambda) \cdot \tau \cdot E(\lambda) \cdot \rho(\lambda) \cdot \cos Z \cdot \Delta\lambda \quad (1)$$

其中:

- $Se(\lambda)$: 探测器一个像元产生的信号电子数
- Ad : 探测器阵元面积(μm^2)
- $F = f/D$: 光学系统的 F 数
- $\tau(\lambda)$: 光学系统的效率(包括滤光片透过率)
- $E(\lambda)$: 太阳在地面上的光谱辐照度($\text{W}/\text{cm}^2 \cdot \mu\text{m}$)
- $\tau(\lambda)$: 大气透过率
- $\rho(\lambda)$: 地物光谱反射比
- $Tint$: 探测器的积分时间(s)
- Z : 太阳天顶角($^\circ$)
- h : Planck 常数 = $6.624 \times 10^{-34}\text{J} \cdot \text{S}$
- c : 光速 = $3 \times 10^8\text{m}/\text{s}$
- $\eta(\lambda)$: 列阵器件的量子效率
- λ : 通带中心波长(μm)
- $\Delta\lambda$: 等效光谱带宽(μm)
- λ/hc : 波长为 λ 的通带内单位能量中的光子数

固态成像器件的信噪比(SNR)可表示为:

$$\text{SNR} = Se / (Ne + D + Se(\lambda)) \quad (2)$$

其中:

- Ne : 探测器的读出噪声电子数,由复位噪声与放大器噪声组成
- D : 暗电流电子数

如果将地物(海水)看做漫反射体,则在辐照度 $E(\lambda)$ 与辐亮度 $L(\lambda)$ 之间有如下关系:

$$L(\lambda) = E(\lambda) \cdot \rho(\lambda) / \pi \quad (3)$$

3 SeaWiFS 的各通道辐亮度水平与信噪比^[1]

表 1 中列出了 SeaWiFS 的通带波长范围、信噪比与辐亮度水平。

Table 1 Ocean color data bands, signal-to-noise ratios (RNRs), and radiance levels

Band	Band Edge Wavelengths (nm ± 2 nm)	Saturation Radiance(1) Lmax	Input Radiance(1) Ltypical	SNR(2)	Cloud Radiance(1. 3) Lcloud
1	402—422	13. 63	9. 10	499	57. 5
2	433—453	13. 25	8. 41	674	58. 5
3	480—500	10. 50	6. 56	667	54. 0
4	500—520	9. 08	5. 64	640	54. 0
5	545—565	7. 44	4. 57	596	53. 0
6	660—680	4. 20	2. 46	442	47. 0
7	745—785	3. 00	1. 61	455	37. 3
8	845—885	2. 13	1. 09	467	28. 6

(1)in milliwatts/(cm²micrometer steradian)

(2)measured at input radiance (Ltypical),unity gain

(3)at 22. 5° solar zenith angle, for reference

Lcloud ——Spectral radiance from a 100% reflectance Lambertian scene

Lmax ——Maximum spectral radiance in a spectral band

Ltypical ——Typical spectral radiance in a spectral band.

为了便于与 SeaWiFS 相比较,采用了表 1 中各通带的典型辐亮度值,并且用相同的通带宽度进行了计算。

4 各种参量的取值

根据初步确定的光学系统、探测器等因素,按公式

(1)–(3)进行计算时采用如下参量:

4.1 $F, \tau(\lambda), \cos Z, \tau(\lambda)$

$$Ad = 25 \times 25 \mu\text{m}^2 = 6.25 \times 10^{-10} \text{m}^2$$

$$F = 2.5$$

$$\tau(\lambda) = 0.4(\text{第 1 通道}); 0.5(\text{其他通道})$$

$$\tau(\lambda) = 0.7$$

$$\cos Z = \cos 30^\circ = 0.87$$

4.2 Tint

假设卫星为 730 km,这时量下点速度为 6.65 km,地面分辨率为 250 m 时,探测器的积分 Tint 为 0.038 s。

4.3 探测器的噪声

在公式(2)中, N_e 为探测器读出噪声,由复位噪声和放大器噪声组成,复位噪声由公式 $(KTC)1/2/q$ 给出,其中 K 为 Boltzmann 常数($1.381 \times 10^{-23} \text{JK}$), T 为绝对温度, C 为 CCD 或硅光二极管阵元的电容, q 为电子电荷($1.6022 \times 10^{-19} \text{C}$),放大器的噪声只能根据产品说明书估算,暗电流由产品性能表查出。表 2 中列出了两种候选探测器估算出的各类噪声电子数^[3]。

Table 2 Noise electrons of typical detectors

model	manufacture	pixel number	pixel size	reset noise	amp. noise	dark current	$Ne^2=D$
S3903	Hamamatsu	1024	25 $\mu\text{m} \times$ 0.5 mm	568	1000	1.0×10^4	1.33×10^6
RL2048	EG&G	2048	25 $\mu\text{m} \times$ 2.5 mm	2400	1000	1.14×10^6	8.00×10^6

Note: $T=25^\circ\text{C}$, $T_{\text{int}}=0.04\text{ s}$

4.4 量子效率 $\eta(\lambda)$

不同的探测器的量子效率有差异,在各个波段有不同的值,滨松 S3903 和 EG&G RL2048 在各通道上的 $\eta(\lambda)$ 值列于表 3。

Table 3 $\eta(\lambda)$ of the typical detector for various bands

model	bands(μm)							
	0.412	0.423	0.490	0.510	0.555	0.670	0.765	0.865
S3903	0.48	0.56	0.61	0.63	0.66	0.55	0.41	0.26
RL2048	0.57	0.64	0.66	0.73	0.78	0.79	0.73	0.60

5 信噪比的计算

利用以上对各种参量的取值,按公式(1)、(2)、(3)计算信噪比时,辐亮度值采用 SeaWiFS 所采用的典型辐亮度值,针对候选的两种探测器,分别计算了设计中的 CCD 相机各波段的信噪比,结果列于表 4,可与表 1 Barnes 的数据比较。

Table 4 Signal-to-noise ratio of the proposed CCD camera evaluated with two kind of typical detectors

bands	λ	$\Delta\lambda$	L_{typical}	ρ_{typical}	S/N (S3903)	S/N (RL2048)
1	0.412	20	9.10	0.16	838	579
2	0.423	20	8.41	0.14	1100	716
3	0.490	20	6.56	0.12	1050	632
4	0.510	20	5.64	0.10	1010	660
5	0.555	20	4.59	0.09	934	603
6	0.670	20	2.46	0.05	586	410
7	0.765	40	1.61	0.04	639	545
8	0.865	40	1.06	0.04	335	364
unit	μm	nm	$\times 10^{-7}\text{W/m}$			

另外还要指出的是,我们设计的水色 CCD 相机只设三个通道,带宽为 90-100 nm,对提高信噪比更为有利。

6 结 束 语

利用 SeaWiFS 提出的 8 个通道海水典型光谱辐亮度值, 计算了拟议中的水色 CCD 相机的信噪比, 针对两种候选探测器进行了计算。从表 4 可以看出, 在相同的带宽条件下, 按推扫方式工作的 CCD 相机各通道的信噪比明显优于 SeaWiFS, 这可能是工作模式的不同引起的, SeaWiFS 是按垂直于轨道方向的摆扫方式工作的, 而水色 CCD 相机是沿轨道方向的推扫方式工作的, 探测器的积分时间较长, 容易提高信噪比。前者可以达到宽视场(刈幅), 后者可以达到高分辨率, 有互补性。采用两种探测器时的信噪比的差异是探测器的噪声差异引起的, RL2048 探测器的像元比 S3903 大 5 倍, 噪声也较大。

参 考 文 献

- [1] R. A. Barnes et al. , Overview of the SeaWiFS ocean sensor. Proc. SPIE, 1993, 1939:224
- [2] A. L. Broadfoot et al. , Application of the intensified CCD to airglow and auroral measurements. Appl. Opt. , 1992, 31:3097
- [3] Hamamatsu, MOS Linear Image Sensors. 1992/1993 Catalog:27
- [4] EG&G Reticon, Image Sensing Products. 1992/1993 Catalog:58

Evaluation of Signal-to-noise Ratio of the Ocean Color CCD Camera ——Comparison with SeaWiFS

Cui Dunjie, Ren Jianwei

(Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics,
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022)

Abstract

The signal-to-noise ratio of the proposed three channel ocean color CCD camera is evaluated and the results are compared with those of SeaWiFS remote sensor from U. S. A.

Key words: Remote sensing, Sensors

崔敦杰 1962年毕业于吉林大学物理系,多年从事光辐射测量与遥感器辐射定标工作,现从职中科院长春光机所。