

Алгоритм орбітальної калібровки СканПол.

Вступ

Узагальнене рівняння, що пов'язує між собою безпосередньо вимірювані величини (цифрові відліки на виходах АЦП - $R_{0^\circ, 90^\circ, 45^\circ, 135^\circ}$) та шукані нормовані параметри Стокса $q=Q/I$ та $u=U/I$ випромінювання на вході скануючої системи СканПол, має вигляд:

$$\begin{aligned} \frac{RD_{0^\circ} - K1 \cdot RD_{90^\circ}}{RD_{0^\circ} + K1 \cdot RD_{90^\circ}} &= \frac{a_q^{-1} [(-q + q_{inst}) \cos(2\varepsilon_1) + (-u + u_{inst}) \sin(2\varepsilon_1)]}{1 + q_{inst}q + u_{inst}u} \\ \frac{RD_{45^\circ} - K2 \cdot RD_{135^\circ}}{RD_{45^\circ} + K2 \cdot RD_{135^\circ}} &= \frac{a_u^{-1} [(-q + q_{inst}) \sin(2\varepsilon_2) + (-u + u_{inst}) \cos(2\varepsilon_2)]}{1 + q_{inst}q + u_{inst}u} \end{aligned} \quad (1)$$

де

де $RD_{0^\circ, 90^\circ, 45^\circ, 135^\circ} = R_{0^\circ, 90^\circ, 45^\circ, 135^\circ} - D_{0^\circ, 90^\circ, 45^\circ, 135^\circ}$ - відліки АЦП, компенсовані на нульовий рівень.

$R_{0^\circ, 90^\circ, 45^\circ, 135^\circ}$ - сирі (безпосередні) відліки АЦП у відповідних поляризаційних каналах.

$D_{0^\circ, 90^\circ, 45^\circ, 135^\circ}$ - сирі (безпосередні) відліки АЦП у відповідних поляризаційних каналах при закритій вхідній апертурі (нульові рівні сигналів у каналах, які необхідно виміряти та компенсувати).

$K1$ – відношення пропусків у каналах 0° та 90° .

$K2$ – відношення пропусків у каналах 45° та 135° . (рис.1).

$\varepsilon_1, \varepsilon_2$ – відхилення осей пропускання першої та другої призми Волластона від точних значень 0° та 45° , відповідно у системі координат XOY приладу (рис.2.).

q_{inst}, u_{inst} – паразитні доданки до шуканих параметрів Стокса q та u , викликані поляризаційною недосконалістю телескопів та дзеркал приладу.

a_q, a_u – параметри, що враховують паразитну деполаризацію випромінювання у вимірювальному тракті приладу внаслідок недосконалості поляризаторів та неоднорідності поляризаційних характеристик телескопів та дзеркал у межах перетину робочого променя.

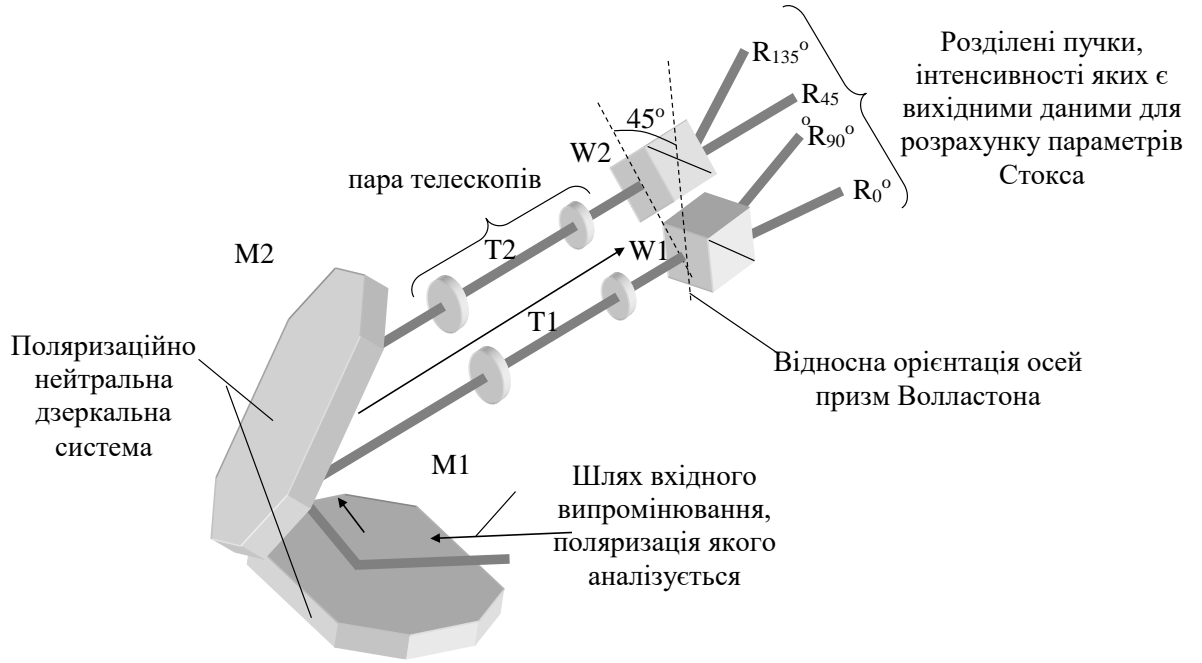


Рисунок 1. – Схематичне представлення повного поляризаційного каналу СканПол.

$$K1 = \frac{(R_{0^\circ} - D_{0^\circ})}{(R_{90^\circ} - D_{90^\circ})}, \quad K2 = \frac{(R_{45^\circ} - D_{45^\circ})}{(R_{135^\circ} - D_{135^\circ})} \quad (2)$$

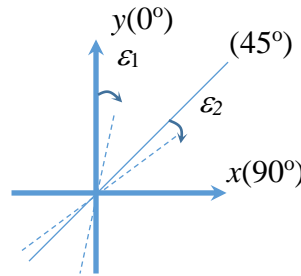


Рисунок 2. – Відлік поляризаційних кутів у системі координат приладу. Пунктиром наведено поляризаційні осі призм Волластона.

З (1) можемо отримати вирази для шуканих параметрів Стокса у вигляді:

$$q = \frac{q_{inst} s_2 (s_1 + u_{inst} \Delta I_{0^\circ, 90^\circ}) - (1 + u_{inst}^2) (c_2 \Delta I_{0^\circ, 90^\circ} - s_1 \Delta I_{45^\circ, 135^\circ}) + c_1 q_{inst} (c_2 + u_{inst} \Delta I_{45^\circ, 135^\circ})}{s_1 s_2 + c_2 q_{inst} \Delta I_{0^\circ, 90^\circ} + s_2 u_{inst} \Delta I_{0^\circ, 90^\circ} - q_{inst} s_1 \Delta I_{45^\circ, 135^\circ} + c_1 (c_2 + u_{inst} \Delta I_{45^\circ, 135^\circ})} \quad (3)$$

$$u = \frac{c_1 c_2 u_{inst} - (s_2 + q_{inst}^2 s_2 - c_2 q_{inst} u_{inst}) \Delta I_{0^\circ, 90^\circ} - c_1 (1 + q_{inst}^2) \Delta I_{45^\circ, 135^\circ} + s_1 u_{inst} (s_2 - q_{inst} \Delta I_{45^\circ, 135^\circ})}{s_1 s_2 + c_2 q_{inst} \Delta I_{0^\circ, 90^\circ} + s_2 u_{inst} \Delta I_{0^\circ, 90^\circ} - q_{inst} s_1 \Delta I_{45^\circ, 135^\circ} + c_1 (c_2 + u_{inst} \Delta I_{45^\circ, 135^\circ})}$$

$$\text{де } c_{1,2} = \sin(\varepsilon_{1,2}), \quad s_{1,2} = \sin(\varepsilon_{1,2}), \quad \Delta I_{0^\circ, 90^\circ} = \frac{RD_{0^\circ} - K1 \cdot RD_{90^\circ}}{RD_{0^\circ} + K1 \cdot RD_{90^\circ}} a_q, \quad \Delta I_{45^\circ, 135^\circ} = \frac{RD_{45^\circ} - K2 \cdot RD_{135^\circ}}{RD_{45^\circ} + K2 \cdot RD_{135^\circ}} a_u.$$

Таким чином, визначивши калібрувальні коефіцієнти для вимірювального тракту СканПол, можемо відновити параметри Стокса поляризації вхідного випромінювання з (3).

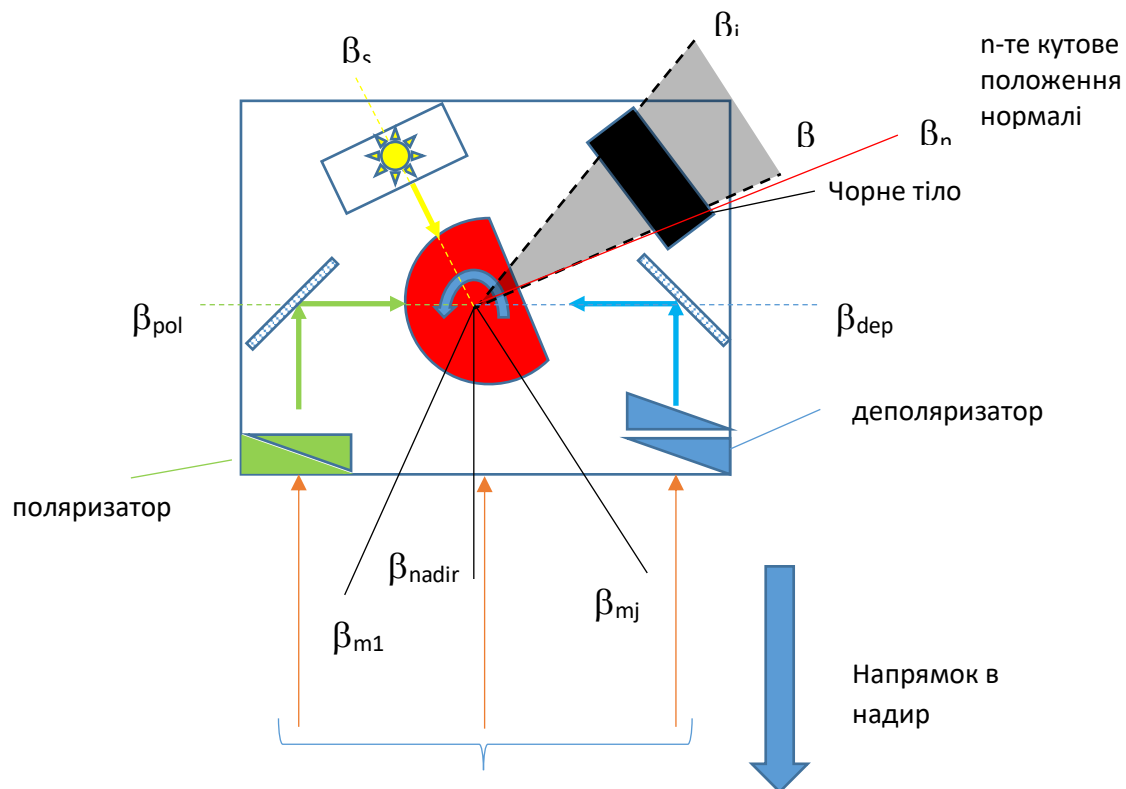


Рисунок 3. – Схема скануючої системи Скан Пол.

Алгоритм орбітальної калібровки

1. Визначаємо середнє значення рівнів «нуля» у каналах ($D_{0^{\circ}, 90^{\circ}, 45^{\circ}, 135^{\circ}}$) як:

$$D_{0^{\circ}, 90^{\circ}, 45^{\circ}, 135^{\circ}} = \frac{\sum_{k=0}^i D_{0^{\circ}, 90^{\circ}, 45^{\circ}, 135^{\circ}, \beta_k}}{(i-1)} \quad (4)$$

Де $D_{0^{\circ}, 90^{\circ}, 45^{\circ}, 135^{\circ}, \beta_k}$ - відлік АЦП знятий при погляді дзеркальної системи на чорне тіло для кутового положення нормалі β_k . Далі всі безпосередні відліки АЦП для інших положень нормалі системи дзеркал компенсуємо на це середнє темнове значення, отримуючи $RD_{0^{\circ}, 90^{\circ}, 45^{\circ}, 135^{\circ}} = R_{0^{\circ}, 90^{\circ}, 45^{\circ}, 135^{\circ}} - D_{0^{\circ}, 90^{\circ}, 45^{\circ}, 135^{\circ}}$

2. Розраховуємо радіометричний коефіцієнт А. Для напрямку нормалі вікна дзеркал β_s – вимірюємо інтенсивність каліброваного джерела і з неї маємо розрахувати спільний радіометричний масштабуючий множник А, що дозволить нуль компенсовані відліки АЦП перевести у інтенсивність відповідно NIST.

3. Калібруємо К1 та К2, спираючись на попередньо відомі q_{inst} , u_{inst} та a_q , a_u . При огляді в надир через деполіаризатори (положення нормалі вікна дзеркал - β_{dep}) можемо покласти $q = 0$ та $u = 0$, відповідно рівняння (1) спроститься:

$$\frac{RD_{0^\circ} - K1 \cdot RD_{90^\circ}}{RD_{0^\circ} + K1 \cdot RD_{90^\circ}} = a_q^{-1} [q_{inst} \cos(2\varepsilon_1) + u_{inst} \sin(2\varepsilon_1)]$$

$$\frac{RD_{45^\circ} - K2 \cdot RD_{135^\circ}}{RD_{45^\circ} + K2 \cdot RD_{135^\circ}} = a_u^{-1} [-q_{inst} \sin(2\varepsilon_2) + u_{inst} \cos(2\varepsilon_2)]$$
(5)

звідки:

$$K1 = \left(\frac{1 - \alpha_q q'_{inst}}{1 + \alpha_q q'_{inst}} \right) \frac{RD_{90^\circ}}{RD_{0^\circ}}; K2 = \left(\frac{1 - \alpha_u u'_{inst}}{1 + \alpha_u u'_{inst}} \right) \frac{RD_{135^\circ}}{RD_{45^\circ}};$$
(6)

де

$$q'_{inst} = q_{inst} \cos(2\varepsilon_1) + u_{inst} \sin(2\varepsilon_1)$$

$$u'_{inst} = -q_{inst} \sin(2\varepsilon_2) + u_{inst} \cos(2\varepsilon_2)$$
(7)

4. Калібруємо a_q , a_u для щойно уточнених $K1$ та $K2$. При погляді в надир через поляризатори поляризація вхідного випромінювання матиме лінійну поляризацію з встановленим азимутром (задається в лабораторних умовах на землі). Таким чином, параметри Стокса вхідного випромінювання точно відомі і їх використовують як калібрувальні q_{cal} та u_{cal} . Підставляючи q_{cal} та u_{cal} в (1), можемо знайти значення двох калібрувальних параметрів a_q та a_u , при відомих інших:

$$\alpha_q = \frac{q'_{cal} + q'_{inst}}{\frac{RD_{0^\circ} - K1 \cdot RD_{90^\circ}}{RD_{0^\circ} + K1 \cdot RD_{90^\circ}} (1 + q_{cal} q_{inst} + u_{cal} u_{inst})}; \alpha_u = \frac{u'_{cal} + u'_{inst}}{\frac{RD_{45^\circ} - K2 \cdot RD_{135^\circ}}{RD_{45^\circ} + K2 \cdot RD_{135^\circ}} (1 + q_{cal} q_{inst} + u_{cal} u_{inst})};$$
(8)

де

$$q'_{cal} = -q_{cal} \cos(2\varepsilon_1) - u_{cal} \sin(2\varepsilon_1)$$

$$u'_{cal} = q_{cal} \sin(2\varepsilon_2) - u_{cal} \cos(2\varepsilon_2)$$
(9)

Для калібрування оптимально використовувати призми Глана орієнтовані під кутом 22.5° , до осей призм Волластона оскільки при цьому значення калібрувальних параметрів Стокса будуть однаковими:

$$q_{cal} = \cos(2 \cdot \pi / 8) = \frac{\sqrt{2}}{2}, \quad u_{cal} = \sin(2 \cdot \pi / 8) = \frac{\sqrt{2}}{2}.$$
(10)

5. Розраховуємо параметри поляризації сцени за формулою (3). Визначаємо ступінь поляризації (DoLP) як:

$$DoLP = p = \sqrt{q^2 + u^2} \quad (11)$$

6. Визначаємо кут поляризації (AoLP) як:

$$AoLP = \theta_{real} = \frac{1}{2} \arctg \left(\frac{u}{q} \right) - \theta_{TMS} \quad (12)$$

де $\theta_{TMS} = 90^\circ - \beta_{nadir}$ оскільки кут поляризації повертається синхронно зі скануючою системою.