

Télémétrie optique à deux longueurs d'onde

Joffray Guillory,

Jean-Pierre Wallerand, Daniel Truong (mécanique), Christophe Alexandre (électronique numérique), Sheherazade Azouigui (réfractométrie).

Laboratoire Commun de Métrologie LNE - Cnam

le cnam

Journée du Club Optique et Micro-ondes OCA Nice, le 10 Juin 2016



Télémétrie optique à deux longueurs d'onde

- 1. Principe de la mesure
- 2. Présentation du système
- 3. Résultats expérimentaux
 - exactitude et résolution sur 50 m
 - exactitude et résolution sur 1 km
 - résolution sur 5 km
- 4. Conclusion et Perspectives

Principe de la télémétrie à deux longueurs d'onde

Campagne de mesure à Braunschweig (Allemagne) Juin 2015

Principe de la télémètrie à deux longueurs d'onde

À une longueur d'onde λ , la distance se mesure à partir de la phase accumulée par une porteuse Radio Fréquence (RF) se propageant dans l'air :

$$L(\lambda, n_{air}) = \frac{1}{2} \times \frac{(\phi_{(rad)} + k \cdot 2\pi)}{2\pi} \times \frac{c}{n_{air} \cdot f_{RF}}$$
 longueur d'onde synthétique

où k est un entier correspondant au nombre de longueurs d'onde synthetique Λ contenue sur la distance mesurée. Ce dernier est determiné grâce à une série de mesure à differentes porteuses RF, entre 100 kHz et 13.5 MHz.

Problème : pour une exactitude de 100 μ m à 1km, la température doit être connue à ±0,1°C le long du chemin optique.

Solution : développement d'un système à deux longueurs d'onde – 785 et 1550 nm – qui compense les fluctuations de l'indice refractive de l'air avec la température. Par exemple, dans le cas de l'air sec :

$$distance = L(\lambda_1, n = 1) - \frac{n(\lambda_1) - 1}{n(\lambda_2) - n(\lambda_1)} \times \left(L(\lambda_2, n = 1) - L(\lambda_1, n = 1)\right)$$

Facteur A qui ne dépend ni de T, ni de P. Il vaut 48 pour les longueurs d'onde 785 et 1550 nm.



Principe de la télémètrie à deux longueurs d'onde

À une longueur d'onde λ , la distance se mesure à partir de la phase accumulée par une porteuse Radio Fréquence (RF) se propageant dans l'air :

$$L(\lambda, n_{air}) = \frac{1}{2} \times \frac{(\phi_{(rad)} + k \cdot 2\pi)}{2\pi} \times \frac{c}{n_{air} \cdot f_{RF}}$$
 longueur d'onde synthétique

où k est un entier correspondant au nombre de longueurs d'onde synthetique Λ contenue sur la distance mesurée. Ce dernier est determiné grâce à une série de mesure à differentes porteuses RF, entre 100 kHz et 13.5 MHz.

Problème : pour une exactitude de 100 μ m à 1km, la température doit être connue à ±0,1°C le long du chemin optique.

Solution : développement d'un système à deux longueurs d'onde – 785 et 1550 nm – qui compense les fluctuations de l'indice refractive de l'air avec la température. Par exemple, dans le cas de l'air humide :

distance =
$$\frac{K(\lambda_1)L(\lambda_2, n=1) - K(\lambda_2)L(\lambda_1, n=1)}{K(\lambda_1) - K(\lambda_2) + p_{\omega}(g(\lambda_1)K(\lambda_2) - g(\lambda_2)K(\lambda_1))}$$

la pression de vapeur d'eau

Présentation du système

the state of the s

Campagne de mesure à Delft (Pays-Bas) Novembre 2014

- S = coupleur RF
- DFB = distributed feedback laser diode
- PD = photodetecteur
- LO = oscillateur local
- EDFA = erbium doped fiber amplifier
- SMF = single mode fiber
- EAM = electro-absorption modulator



Porteuse RF à 4261 MHz.

Composants optoélectroniques abordables provenant de l'industrie des télécommunications.



Miroir parabolique : composant large bande ayant le même comportement aux deux longueurs d'onde. Les deux lasers (773 et 1550 nm) verront le même chemin optique.

Réinjection optique dans la même fibre que précédemment : pertes optiques de l'ordre de 9dB.



Coupleur optique utilisé comme un circulateur optique: il présente une meilleure isolation optique entre ses branches, et ainsi induit moins crosstalk.



Conversion en fréquence intermédiaire (10.75 MHz) : nous effectuons l'amplification RF à fréquence intermédiaire afin d'être moins sensible au couplage amplitude / phase qui a lieu dans les étages électroniques de réception.



Difference de distance entre deux coins de cube.

Le premier coin de cube est monté sur la tête optique de notre instrument.

Montage expérimental complet (à deux longueurs d'onde)



Vue d'ensemble du télémètre



13

Vue de la tête optique

Coin de cube interne : la mesure distance est une mesure différentielle, et ce coin de cube est notre position zero.

Diamètres des spots à 785 et 1550 nm pour des ouvertures numériques de 0.138 et 0.152, respectivement : 4.3 et 4.8 cm

(à 1% de la puissance max).



Février 2016, Varsovie (Pologne) :

Comparaison à un interféromètre sur 50m

environnement de Laboratoire stable

Comparaison à une longueur d'onde

Comparison de notre télémètre avec un interféromètre à 633 nm sur 50 m.

L'indice de l'air est ici calculé grâce à un réseau de capteurs qui nous fournissent 40 valeurs de T, 5 valeurs de RH, 1 valeur de P et 1 valeur de CO₂.





Comparaison à deux longueurs d'onde

Nous appliquons simplement la formule d'un système à deux longueurs d'onde : plus besoin de connaître les valeurs de température et de pression, juste p_{ω} la pression de vapeur d'eau.



Mai 2016, Nummela (Finlande) :

Comparaison à une ligne géodésique de 864 m

Ciel dégagé et absence de vent Température entre 2 et 16 °C, Humidité entre 29 et 90% et Pression entre 998 et 1014.8 hPa

Comparaison à une longueur d'onde

Comparaison avec une ligne géodésique de 864 m étudiée depuis plus de 10 ans. Les distances entre les piliers sont mesurées régulièrement par interférométrie en lumière blanche lorsque l'atmosphère est suffisamment stable (ce qui est possible à ces latitudes, notamment au début de l'automne).



Source de l'erreur :

- une mauvaise estimation de la température de l'air (nous n'avions que trois thermomètres)
- un rapport signal à crosstalk (SCR) faible à 785 nm

Performances à 785 nm limitées à cause du crosstalk

signal sans crosstalk = $sin(2\pi f_0 t + \Delta \phi_{meas})$

signal avec crosstalk = $sin(2\pi f_0 t + \Delta \phi_{meas}) + a \cdot sin(2\pi f_0 t + \Delta \phi_{xtalk})$, avec a = $sqrt(1/10^{SCR/10})$

L'erreur est maximum lorsque $\Delta \phi_{meas} - \Delta \phi_{xtalk} = \pi/2$, et lorsque le SCR est petit.





Comparaison à deux longueurs d'onde

L'erreur est minimisée lorsque le SCR est grand : erreur < 1 mm lorsque SCR > 45 dB.







Résolution à une longueur d'onde sur 4682 m

Puisque le signal est très bruité, nous sélectionnons uniquement les points dont l'amplitude RF est supérieur à -20 dBm. Soit 1001 points sur 37 425 (2.7%).



Résolution à deux longueurs d'onde sur 4682 m

Comme attendu, l'écart-type sur la mesure à deux longueurs d'onde est 50 fois plus important.

Si l'on effectue une moyenne mobile sur une période de 15 s, alors l'écart type n'est plus que de 3.2 mm.





Mesures en Forêt de Montmorency (France) avril 2015

Conclusion et Perspectives

Etang Godard

and the supplicity of the second

Conclusion

Performances actuelles du télémètre :

	785 nm		1550 nm		deux longueurs d'onde	
	résolution	exactitude	résolution	exactitude	résolution	exactitude
sur 50 m	~10 µm	10.8 µm	~2 µm	4.4 µm	~500 µm	444 µm
sur 1 km	30.3 µm	mieux que 500 µm	3.3 µm	mieux que 500 µm	1.46 mm	mieux que 4 mm
					484 µm	
à 5 km	194 µm	-	24 µm	-	8.9 mm	
					3.2 mm	-

Conditions très favorables, température stable sur plus d'une minute.

Exactitude limitée par les mesures de températures.

Exactitude limitée par le crosstalk à 785 nm.

Application d'une moyenne mobile sur 15 s

Perspectives

Supprimer le crosstalk à 785 nm.

Développement d'un télémètre à 532 et 1064 nm \rightarrow le facteur A passe de 48 à 21, soit une amélioration de plus d'un facteur 2 !

Des Questions ?

Mesure de nuit à Nummela (Finlande), Mai 2016

merci de votre attention

joffray.guillory@cnam.fr

Résultats sur 4682 m





Vue de la tête optique



ρ

Vue sur l'interface graphique (Matlab)



Performances à 785 nm limitées à cause du crosstalk

signal sans crosstalk = $sin(2\pi f_0 t + \Delta \phi_{meas})$

signal avec crosstalk = $sin(2\pi f_0 t + \Delta \phi_{meas}) + a \cdot sin(2\pi f_0 t + \Delta \phi_{xtalk})$, with $a = sqrt(1/10^{SCR/10})$

L'erreur est maximum lorsque $\Delta \phi_{meas} - \Delta \phi_{xtalk} = \pi/2$, et lorsque le SCR est petit.



Résolution à 864 m

Dérive de 175 µm pouvant s'expliquer par une variation de la température moyenne le long du chemin de seulement de 0.2 °C en 12 minute

