

MOTİVASYON

- Optik türbülans, astronomik gözlemler ve yüksek çözünürlüklü görüntüleme için atmosferik bir sınırlama unsurudur.
- Kırılma indisi yapı parametresi $C_n^2(z)$, optik türbülansın temel bir tanımlayıcısıdır.
- Özellikle tüm atmosferik sütun boyunca $C_n^2(z)$ 'nin doğrudan ve sürekli ölçümü zordur.
- GNSS'den elde edilen yağışa dönüşebilen su buharı (PWV), atmosferik nem durumu üzerinde bağımsız ve entegre bir kısıtlama sağlar.

PROBLEM TANIMI

Atmosferik durum, ayrıklaştırılmış sıcaklık ve nem profilleri ile tanımlanır:

$$\mathbf{x} = \begin{bmatrix} \mathbf{T} \\ \mathbf{q} \end{bmatrix} \in \mathbb{R}^{2N}$$

Burada:

$T(z)$: sıcaklık profili

$q(z)$: nem ile ilişkili atmosferik durum değişkeni
Gözlem vektörü:

$$\mathbf{y} = \begin{bmatrix} C_n^2 \\ PWV \end{bmatrix}$$

Temel amaç

Atmosferik optik türbülans ve su buharı bilgilerinden, **fiziksel olarak tutarlı atmosferik termodinamik profilleri** geri elde etmek.

FİZİKSEL TEMEL

Kuru kırılma indisi:

$$n_d - 1 = 79 \times 10^{-6} \frac{P}{T}$$

Potansiyel sıcaklık:

$$\theta = T \left(\frac{P_0}{P} \right)^\kappa$$

Kuru türbülans katkısı:

$$C_{n,dry}^2 = \left[79 \times 10^{-6} \frac{P}{T^2} \right]^2 \frac{a^2}{2} L_0^{4/3} \left(\frac{d\theta}{dz} \right)^2$$

Yaş türbülans katkısı:

$$C_{n,wet}^2 = a_w^2 L_0^{4/3} \left(\frac{\partial n_w}{\partial \theta_v} \right)^2 \left(\frac{d\theta_v}{dz} \right)^2$$

Sonuç:

$$C_n^2 = C_{n,dry}^2 + C_{n,wet}^2$$

DÜZENLİLEŞTİRİLMİŞ TERS ÇÖZÜCÜ

$$\min_{\delta \mathbf{x}} \| W_j (K \delta \mathbf{x} - \mathbf{r}) \|_2^2 + \lambda \| L \delta \mathbf{x} \|_2^2$$

Ağırlıklandırılmış veri uyumsuzluğu
Düzenleştirme
Fiziksel tutarlılık

İLERİ MODEL

$$T(z), q(z)$$

Hidrostatik Yeniden Yapılandırma

$$P(z)$$

Termodinamik Dönüşüm

$$\theta(z), \theta_v(z), e(z)$$

Kırılma İndisi

$$n_d(z), n_w(z)$$

Optik Türbülans Modeli

$$C_n^2(z)$$

Aynı atmosferik durumdan:

$$q(z), P(z), T(z) \rightarrow \rho_v(z) \rightarrow [PWV]$$

$$F_h: \mathbf{x} \rightarrow \mathbf{y} = \begin{bmatrix} C_n^2(z) \\ PWV \end{bmatrix}$$

İleri model, atmosferik termodinamik durumu gözlem uzayındaki $C_n^2(z)$ ve PWV büyüklüklerine dönüştüren fiziksel eşleme olarak tanımlanır.

GNSS-PWV KISITI

$$PWV = \int_0^\infty \rho_v(z) dz$$

GNSS gözlemlerinden elde edilen PWV, atmosferik su buharının **düşey kolon boyunca bütünleşik ölçüsünü** sağlar.

Bu bilgi, yükseklikle değişen

$C_n^2(z)$ profiline tamamlayıcı bir kısıt getirir.

Gözlem vektörü:

$$\mathbf{y}_{obs} = \begin{bmatrix} C_{n,obs}^2 \\ PWV_{GNSS} \end{bmatrix}$$

Buraya **GNSS uyduları + yer istasyonu** şeklinde küçük bir şema koyabilirsin.

SAYISAL DOĞRULAMA ÇERÇEVESİ

1 — Referans Atmosfer

$$\mathbf{x}_{true}$$

2 — Sentetik Gözlemler

$$\mathbf{y}_{syn} = F_h(\mathbf{x}_{true})$$

3 — Tersine Çıkarım

$$\mathbf{y}_{syn} \rightarrow \mathbf{x}_{retr}$$

4 — Doğrulama

$$\mathbf{x}_{retr} \leftrightarrow \mathbf{x}_{true}$$

TERSİNE ÇIKARIM MİMARİSİ

$$\mathbf{x}_k$$

İleri Model

$$\mathbf{y}_k = F_h(\mathbf{x}_k)$$

Artık Hesabı

$$\mathbf{r}_k = \mathbf{y}_{obs} - \mathbf{y}_k$$

Jakobiyen

$$\mathbf{K}_k = \frac{\partial F_h}{\partial \mathbf{x}}$$

Düzenleştirilmiş Çözücü

$$\delta \mathbf{x}_k$$

Adım Uzunluğu / Line Search

$$\mathbf{x}_{k+1}$$

Yakınsama Kontrolü

$$\mathbf{x}_{retr}$$

JAKOBİYEN YAPISI

$$\mathbf{K} = \frac{\partial F_h}{\partial \mathbf{x}}$$

Blok yapı:

$$\mathbf{K} = \begin{bmatrix} K_{TT} & K_{Tq} \\ K_{PT} & K_{Pq} \end{bmatrix}$$

Burada:

$$K_{TT} = \frac{\partial C_n^2}{\partial T}$$

$$K_{Tq} = \frac{\partial C_n^2}{\partial q}$$

$$K_{PT} = \frac{\partial PWV}{\partial T}$$

$$K_{Pq} = \frac{\partial PWV}{\partial q}$$

Sayısal yaklaşım:

$$K(:, j) = \frac{F_h(\mathbf{x} + h_j \mathbf{e}_j) - F_h(\mathbf{x} - h_j \mathbf{e}_j)}{2h_j}$$

GELECEK ÇALIŞMALAR

- Sentetik atmosferik testlerin tamamlanması
- Jakobiyen hesabının sonlu farklar yöntemiyle doğrulanması
- Duyarlılık ve koşulluluk analizlerinin gerçekleştirilmesi
- GNSS-PWV gözlemleri ile doğrulama
- Meteorolojik gözlemlerin sisteme dahil edilmesi
- DAG-400 saha verilerine uygulanması
- Gerçek zamanlı atmosferik optik türbülans izleme altyapısının geliştirilmesi