Indice

1 Introduzione 1

2 Modelli diretti: il modello radiativo dell'atmosfera 7
2.1 L'equazione di trasferimento radiativo per la diffusione della luce in una atmosfera planetaria 9
2.2 Diffusione semplice e multipla 11
2.3 Soluzione approssimata della Intensità di radiazione 13
2.3.1 Atmosfera omogenea 24
2.3.2 Atmosfera non omogenea 25
2.4 Trasferimento radiativo per la componente ad onda lunga emergente da una atmosfera planetaria 26
2.5 Accoppiamento della soluzione della RTE con i gas 29
2.5.1 Metodi a distribuzione k e distribuzione k correlata 29
2.6 Calcolo della diffusione dovuto alle particelle 31
2.6.1 Calcolo dei polinomi di Legendre dai coefficienti di Mie . . . 35
2.7 Modelli radiativi in rete 38

3 Modelli diretti: la teoria del raggio sismico 41
3.1 L'equazione elastodinamica 41
3.2 Soluzione delle equazioni iconali 47
3.3 Soluzione dell'equazione del trasporto 49
3.4 Approssimazione dei raggi parassiali 51
3.5 Modelli della teoria del raggio sismico in rete 54

4 Regolarizzazione di problemi mal posti 55
4.1 L'equazione integrale di Freedholm 57
4.2 Espansione ai valori singolari (SVE) 58
4.3 Discretizzare il problema inverso 60
4.4 Decomposizione ai valori singolari (SVD) 60
4.5 Cercare una soluzione 64
4.5.1 Soluzione ai minimi quadrati 64

4.5.2 Matrice di varianza covarianza 66
4.6 I metodi di regolarizzazione 67
4.6.1 La decomposizione ai valori singolari troncata TSVD 67
4.6.2 La regolarizzazione di Tikhonov-Phillips 68
4.6.3 Il criterio della curva L 70
4.7 La regolarizzazione in rete 72

5 Teoria dell'inversione statistica 73
5.1 Metodi Bayesiani 73
5.1.1 Ipotesi esaustive ed esclusive 76
5.2 Assegnare la probabilità 78
5.2.1 Caso di un parametro 78
5.2.2 Caso in cui sia coinvolto più di un parametro 80
5.2.3 Generalizzazione ad una multivariata 83
5.2.4 Rumore gaussiano e medie 85
5.2.5 Teoria della stima 86
5.2.6 Assegnare la probabilità 90
5.2.7 Il rasoio di Ockham e la selezione del modello 93

6 Metodi ottimali per problemi inversi lineari e non lineari 99
6.1 Formulazione del problema inverso 99
6.1.1 Inversione ottimale lineare 100
6.1.2 Il metodo di Backus e Gilbert 106
6.1.3 Inversione ottimale non lineare 108
6.1.4 Soluzione al secondo ordine 110
6.1.5 Metodi iterativi numerici 113
6.2 Statistica Bayesiana in rete 115

7 Markov Chain Monte Carlo 117
7.1 Le catene di Markov 118
7.1.1 Catene di Markov discrete (DTMC) 119
7.1.2 Catene di Markov continue nel tempo (CTMC) 120
7.1.3 Matrice di probabilità di transizione 121
7.1.4 Gli algoritmi per la soluzione di un integrale con il metodo Monte Carlo 121
7.1.5 L'algoritmo di Metropolis - Hastings 123
7.1.6 Simulazione con il metodo dell'annealing 125
7.1.7 L'algoritmo di Gibbs 127
7.2 Markov Chain Monte Carlo in rete 129

8 I filtri di Kalman 131
8.1 Sistemi lineari e loro discretizzazione 134
8.2 Costruendo il filtro di Kalman 136
8.3 Altri filtri di Kalman 140
8.3.1 Il filtro di Kalman esteso EKF 140
8.3.2 Sigma Point Kalman Filter (SPKF) 142

8.3.3 Unscented Kalman Filter (UKF) 150
8.3.4 Ensemble Kalman Filter (EnKF) 153
8.4 I filtri di Kalman in rete 156

9 Assimilazione dei dati 159
9.1 Cosa si intende per assimilazione 159
9.2 Assimilazione come problema inverso 160
9.3 L'approccio probabilistico 163
9.4 Metodi stazionari 167
9.4.1 Metodo di discesa del gradiente 167
9.4.2 Interpolazione ottimale 167
9.4.3 Approccio variazionale: 3-D VAR 168
9.5 Metodi evolutivi 168
9.5.1 Metodo 4D-Var 169
9.5.2 Filtro di Kalman 172
9.6 Stima della qualità dell'analisi 173
9.7 Assimilazione in rete 174

10 Il metodo della diffusione inversa 175
10.1 Evoluzione degli autovalori e autofunzioni 176
10.2 La trasformata della diffusione inversa 182
10.3 La diffusione inversa in rete 186

11 Applicazioni 187
11.1 Contenuto informativo di un risultato 187
11.2 Gradi di libertà 188
11.3 Applicazioni in campo atmosferico 192
11.3.1 Applicazioni per la selezione delle righe utili a misurare i gas nelle bande di assorbimento 192
11.3.2 Analisi dei canali utili ad ottenere il contributo atmosferico degli aerosol e calcolo della distribuzione dimensionale 194
11.3.3 Definizione del modello di radianza dell'atmosfera 196
11.3.4 Preparazione di un modello veloce per il calcolo della radianza 199
11.3.5 Il problema inverso per ottenere i parametri fisici dell'atmosfera 202
11.3.6 Misura dei gas in traccia mediante la tecnica DOAS 203
11.3.7 Misura della pressione alla cima di una nube mediante la banda A dell'Ossigeno 210
11.3.8 Studio del profilo di aerosol utilizzando la banda A dell'Ossigeno 213
11.4 Applicazioni di problemi inversi in geofisica della Terra solida: Tomografia sismica 217

12 Analisi alle Componenti Principali 223
12.1 Le Componenti Principali 223
12.2 La rotazione delle Componenti Principali 229
12.3 L'analisi alle Componenti Principali in rete 232

13 Kriging e Analisi Oggettiva 233
13.1 Kriging 233
13.2 Analisi Oggettiva 237
13.3 Kriging e Analisi Oggettiva in rete 239

Appendici

A Algoritmi di Minimizzazione 243
A.1 Introduzione ai minimi quadrati di una funzione arbitraria 243
A.1.1 Alla ricerca dei parametri dello spazio n-dimensionale 244
A.1.2 La ricerca della griglia 244
A.1.3 La ricerca del gradiente 245
A.1.4 Estrapolazione di χ^2 246
A.1.5 Espansione iperbolica di χ^2 247
A.1.6 Espansione parabolica 248
A.1.7 Matrice degli errori 248
A.1.8 Metodo di calcolo 249

B Caratteristiche delle matrici 251
B.1 La matrice inversa 251
B.2 La matrice inversa generalizzata 251
B.2.1 Alcune operazioni con le matrici 253
B.2.2 Matrici di risoluzione dei dati (DRM) 254
B.3 Matrici di Christoffel 255

C Gli integrali di Gauss, da univariati a multivariati 257
C.1 Il caso univariato 257
C.2 Estensione bivariata 258
C.3 Generalizzazione all'integrale multivariato 259

D Variabili Casuali 263
D.1 Valore atteso e statistica delle variabili casuali 263

E Calcolo differenziale 265
E.1 Metodo delle caratteristiche 265
E.2 Calcolo variazionale 266
E.2.1 Soluzione dell'equazione semplificata di circolazione oceanografica 268

F Spazi funzionali e Integrazione di Monte Carlo 275
F.1 Spazi funzionali 275
F.2 Integrazione di Monte Carlo 276
F.3 Operatori aggiunti 278

Bibliografia 279

Indice analitico 285

http://www.springer.com/978-88-470-2494-6

Introduzione ai metodi inversi
Con applicazioni alla geofisica e al telerilevamento
Guzzi, R.
2012, XIII, 290 pagg., Softcover
ISBN: 978-88-470-2494-6