

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA
DO RIO DE JANEIRO



Adrian Heringer Pizzinga

**Filtro de Kalman Restrito: Teoria,
Métodos e Aplicações**

Tese de Doutorado

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica do Departamento de Engenharia Elétrica da PUC-Rio como parte dos requisitos parciais para obtenção do título de Doutor em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Cristiano Augusto Coelho Fernandes

Rio de Janeiro
Janeiro de 2008



Adrian Heringer Pizzinga

**Filtro de Kalman Restrito: Teoria,
Métodos e Aplicações**

Tese apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica do Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Técnico Científico da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Dr. Cristiano Augusto Coelho Fernandes

Orientador

Departamento de Engenharia Elétrica – PUC-Rio

Dr. Caio Ibsen Rodrigues de Almeida

IBMEC

Dr. Carlos Kubrusly

Departamento de Engenharia Elétrica – PUC-Rio

Dr. Eduardo Lima Campos

ENCE

Dr. Pedro Alberto Morettin

Universidade de São Paulo

Prof. José Eugenio Leal

Coordenador Setorial do Centro
Técnico Científico

Rio de Janeiro, 18 de janeiro de 2008

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização do autor, do orientador e da universidade.

Adrian Heringer Pizzinga

Ficha Catalográfica

Pizzinga, Adrian Heringer

Filtro de Kalman Restrito: Teoria, Métodos e Aplicações / Adrian Heringer Pizzinga; orientador: Cristiano Augusto Coelho Fernandes. – 2008.

70 f. ; 30 cm

Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

Inclui bibliografia

1. Engenharia elétrica – Teses. 2. Filtro de Kalman. 3. Modelos em espaço de estado. 4. Restrições lineares. I. Fernandes, Cristiano Augusto Coelho. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Elétrica. III. Título.

CDD: 621.3

Agradecimentos

Primeiramente, eu registro que a realização deste Doutorado, que durou quase quatro anos, não teria sido possível sem o apoio financeiro proveniente do CNPq e da FAPERJ .

Eu dedico agradecimentos aos meus Amigos e Colegas que sempre estiveram presentes - não vou listar um a um porque cada um deles sabe que está sendo lembrado aqui -, e aos ilustres Membros da Banca Avaliadora, que muito contribuíram, com seus comentários e sugestões, para o aprimoramento da versão final da Tese.

Por último, o agradecimento mais importante de todos: à minha mãe Rose Nânie Heringer da Silva, pelo amor incondicional e pela imensa paciência dedicada à minha “ausência” durante esses anos todos dedicados à minha pós-graduação. A ela devo muito também por sua competência como Tradutora, no tocante à correção dos textos em inglês dos artigos provenientes dessa Tese - e do próprio texto da Tese.

Resumo

Pizzinga, Adrian Heringer; Fernandes, Cristiano Augusto Coelho (Orientador). **Filtro de Kalman Restrito: Teoria, Métodos e Aplicações**. Rio de Janeiro, 2008. 70p. Tese de Doutorado – Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Nesta Tese, eu me concentro em desenvolvimentos sobre o filtro de Kalman sujeito a restrições lineares gerais. Há essencialmente três tipos de contribuições: (i) provas alternativas para resultados previamente estabelecidos na literatura sobre o filtro de Kalman com restrições; (ii) resultados que presumidamente destacam aspectos teóricos e metodológicos para modelagens em espaço de estado sob restrições; e (iii) aplicações que parecem ser inéditas até então em finanças (análise de investimentos) e em macroeconomia, nas quais os métodos propostos são ilustrados e avaliados. No final, eu sugiro algumas extensões adicionais sobre o tema, as quais, novamente, dividem-se em teoria, métodos e aplicações.

Palavras-chave

filtro de Kalman, modelos em espaço de estado, restrições lineares.

Abstract

Pizzinga, Adrian Heringer; Fernandes, Cristiano Augusto Coelho (Advisor). **Restricted Kalman Filtering: Theory, Methods and Applications**. Rio de Janeiro, 2008. 70p. PhD Thesis – Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

In this Thesis, I bring the attention to developments on Kalman filtering subject to general linear constraints. There are essentially three kinds of contributions: (i) new proofs for already established results within the restricted Kalman filtering literature; (ii) new results which are supposed to shed light on theoretical and methodological frameworks for linear state space modeling under linear restrictions; and (iii) applications that seem to be new in investment analysis and in macroeconomics, where the proposed methods are illustrated and evaluated. At the end, I suggest some further extensions in the subject, which, again, step into theory, methods and applications.

Keywords

linear restrictions, Kalman filtering, state space models.

Summary

1	Introduction	8
1.1	Motivation	8
1.2	A glimpse at the literature	9
1.3	This Thesis's contributions	10
1.4	Thesis's organization	12
2	Linear state space models and the Kalman filtering	13
2.1	The model	13
2.2	The Kalman equations	13
2.3	Introducing linear restrictions	14
3	Restricted Kalman filtering: theoretical issues	16
3.1	Augmented restricted Kalman filtering: alternative proofs	16
3.2	Statistical efficiency	21
3.3	Restricted Kalman filtering versus restricted recursive least squares	24
3.4	Initialization	26
4	Restricted Kalman filtering: methodological issues	31
4.1	Random walk state vectors under time-invariant restrictions	31
4.2	Reduced restricted Kalman filtering	32
4.3	Predictions from a restricted state space model	38
5	Applications	41
5.1	Case I: Semi-strong dynamic style analysis	42
5.2	Case II: Estimation of dynamic exchange rate past-through	54
5.3	Case III: GNP benchmarking estimation and prediction	61
6	Further extensions	64
	References	66