

Séminaire I3S

Modèles Tensoriels et Applications

INTRODUCTION

Les tenseurs d'ordre élevé sont très utiles pour représenter et analyser des données multidimensionnelles. Les décompositions tensorielles et les modèles tensoriels ont tout d'abord été appliqués en psychométrie, dans les années 70, puis en chimiométrie, dans les années 90. Au cours de la dernière décennie, les tenseurs se sont avérés utiles dans de nombreux domaines d'application comme, par exemple, la vision par ordinateur pour la reconnaissance de visages et de mouvements humains, la fouille de données, tout particulièrement pour l'analyse de données de trafic Internet et de réseaux sociaux, le traitement du signal et des images, et plus spécialement les communications numériques, la séparation de sources audio, le traitement de signaux biomédicaux (EEG, MEG), et l'imagerie cérébrale, appelée aussi neuro-imagerie.

Le but de ce séminaire est à la fois d'introduire les tenseurs et modèles tensoriels de façon pédagogique, à l'aide de quelques exemples simples de tenseurs de données, de décrire les principaux modèles tensoriels et leurs propriétés, puis de présenter des méthodes d'analyse de sous-espace multilinéaires pour la classification de données tensorielles. Les modèles tensoriels et les méthodes d'analyse multilinéaires seront illustrés à l'aide de différents domaines d'application, et plus particulièrement l'imagerie cérébrale, la séparation de sources musicales, et la conception de systèmes de communication numériques.

Partie 1

Jeudi 3 Octobre 2013

14h - 16h

Modèles tensoriels et Applications

Gérard Favier, Laboratoire I3S

Partie 2

Jeudi 10 Octobre 2013

Applications de modèles tensoriels dans trois domaines différents

14h - 15h : Morten Morup (Techn. Univ. of Denmark, DTU Informatics, Lyngby, Denmark)
"Application of tensor decomposition for the modeling of neuroimaging data".

15h - 15h15: Pause

15h15 - 15h45: Cédric Févotte (Laboratoire Lagrange, CNRS-OCA-UNS)
"Décompositions tensorielles non-négatives du spectrogramme multicanal pour la séparation de sources musicales".

15h45 - 16h15 : Gérard Favier (Laboratoire I3S, CNRS-UNS)
"Modèles tensoriels avec contraintes appliqués à la conception de systèmes de communication".

Résumés des interventions

Partie 1 : Tenseurs et modèles tensoriels

Gérard Favier
Laboratoire I3S

Après un bref historique sur les tenseurs et leurs applications, nous décrirons les principales motivations pour leur utilisation en traitement du signal et en analyse de données. Quelques résultats relatifs au calcul matriciel seront rappelés avant d'introduire les notations et définitions relatives aux tenseurs. Des exemples de tenseurs issus de divers domaines d'application seront présentés. Puis, les principales opérations tensorielles seront décrites (reformatage d'un tenseur sous forme d'un tenseur d'ordre réduit, avec comme cas particuliers les opérations de matricisation et de vectorisation ; produit mode-n d'un tenseur avec un vecteur ou une matrice).

Dans une deuxième partie de l'exposé, nous présenterons différentes décompositions tensorielles et modèles tensoriels. Deux décompositions seront tout d'abord introduites comme extensions de la SVD (singular value decomposition) matricielle. Il s'agit de la décomposition de Tucker [1] et de la décomposition CANDECOMP/PARAFAC, appelée aussi décomposition CP [2], [3]. Les notions de rang et d'unicité seront discutées, et des algorithmes d'estimation paramétrique seront décrits. Puis, nous présenterons les principaux modèles tensoriels avec contraintes (PARATUCK [4], PARALIND [5], CONFAC [6], PARATUCK généralisé [7]).

Une troisième partie de l'exposé sera consacrée à l'utilisation d'approches tensorielles pour l'analyse de données. Deux exemples seront tout d'abord brièvement présentés : la reconnaissance de visages et la classification de genres musicaux. La méthode d'analyse de sous-espace PCA sera ensuite rappelée dans un contexte de classification, puis la notion de projections multilinéaires sera introduite avant de décrire le principe des méthodes d'analyse de sous-espace multilinéaires pour la classification de données tensorielles [9].

En conclusion, nous indiquerons quelques problèmes importants à résoudre lors d'une application des décompositions tensorielles (prétraitement des données, cas de données manquantes, détermination du nombre de composantes...), avant de résumer les avantages des approches tensorielles et de donner quelques pistes de recherche.

[1] L. R. Tucker, "Some mathematical notes on three-mode factor analysis".
Psychometrika, vol. 31, pp. 279–311, 1966.

[2] R. A. Harshman, "Foundations of the PARAFAC procedure: Model and conditions for an "explanatory" multi-mode factor analysis".
UCLA Working Papers in Phonetics, vol. 16, pp. 1–84, Dec. 1970.

[3] J. D. Carroll and J. Chang, "Analysis of individual differences in multidimensional scaling via an N-way generalization of "Eckart-Young" decomposition".
Psychometrika, vol. 35, no. 3, pp. 283–319, 1970.

[4] R. A. Harshman and M. E. Lundy, "Uniqueness proof for a family of models sharing features of Tucker's

three-mode factor analysis and PARAFAC/CANDECOMP”. Psychometrika, vol. 61, pp. 133–154, 1996.

[5] R. Bro, R. A. Harshman, and N. D. Sidiropoulos, “Modeling multi-way data with linearly dependent loadings”. KVL tech. report 176, 2005.

[6] A. L. F. de Almeida, G. Favier, and J. C. M. Mota, “A constrained factor decomposition with application to MIMO antenna systems”. IEEE Transactions on Signal Processing, vol. 56, no. 6, pp. 2429–2442, 2008.

[7] G. Favier, M. N. da Costa, A. L. F. de Almeida, and J. M. T. Romano, “Tensor space-time (TST) coding for MIMO wireless communication systems”. Signal Processing, vol. 92, no. 4, pp. 1079–1092, 2012.

[8] M.A.O. Vasilescu, D. Terzopoulos, “Multilinear analysis of image ensembles: Tensorfaces”. ECCV 2002, Copenhagen, Denmark, LNCS 2350, pp. 447-460, 2002.

[8] H. Lu, K.N. Plataniotis, A.N. Venetsanopoulos, “A survey of multilinear subspace learning for tensor data”, Pattern recognition 44, 1540-1551, 2011.

Partie 2 : Applications de modèles tensoriels

Application of tensor decomposition for the modeling of neuroimaging data

Morten Morup

Technical University of Denmark, DTU Informatics, Lyngby, Denmark

Tensor (multi-way) decomposition has become an important tool for the analysis of large scale tensorial structured data which emerge in practically all fields of research including neuroimaging. There are several advantages to tensor factorizations when compared to traditional (two-way) matrix factorization approaches for unsupervised learning/exploratory data analysis. This includes identifying components facing large fractions of missing data, uniqueness of the decomposition and the ability to take explicitly into account the multi-way structure which is lost when collapsing modes of the tensor in order to make the data suitable for matrix factorization approaches. The aim of this talk is to introduce basic as well as advanced tensor decomposition concepts as well as to demonstrate benefits and challenges modeling multi-way data. The talk will primarily focus on application to the modeling of neuroimaging data such as electroencephalography (EEG) and functional magnetic resonance imaging (fMRI) where important challenges include from noisy measurements to extract the consistent, reproducible patterns of activation across multiple trials, multiple subjects and/or multiple conditions.

- M. Mørup, Applications of tensor (multiway array) factorizations and decompositions in data mining, Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery, vol. 1(1), pp. 24-40, Wiley Interdisciplinary Reviews, 2011.

[bibtex]<<http://www2.imm.dtu.dk/pubdb/views/bibtex.php?id=5993>>

- M. Mørup, L. K. Hansen, K. H. Madsen, Frequency Constrained ShiftCP Modeling of Neuroimaging Data*, invited paper, Asilomar-SSC, 2011.

[bibtex] <<http://www2.imm.dtu.dk/pubdb/views/bibtex.php?id=6200>>

[pdf]<http://www2.imm.dtu.dk/pubdb/views/edoc_download.php/6200/pdf/imm6200.pdf>

- M. Mørup, L. K. Hansen, K. H. Madsen, Modeling Latency and Shape Changes in Trial Based Neuroimaging Data, invited paper, Asilomar-SSC, 2011.
[bibtex]<<http://www2.imm.dtu.dk/pubdb/views/bibtex.php?id=6201>>
[pdf]<http://www2.imm.dtu.dk/pubdb/views/edoc_download.php/6201/pdf/imm6201.pdf>
- M. Mørup, K. H. Madsen, A. M. Dogonowski, H. Siebner, L. K. Hansen, Infinite Relational Modeling of Functional Connectivity in Resting State fMRI, To appear in Neural Information Processing Systems 2010, 2010.
[bibtex]<<http://www2.imm.dtu.dk/pubdb/views/bibtex.php?id=5952>>
[pdf]<http://www2.imm.dtu.dk/pubdb/views/edoc_download.php/5952/pdf/imm5952.pdf>
- M. Mørup, L. K. Hansen, Automatic Relevance Determination for Multiway Models, Journal of Chemometrics, Special Issue: In Honor of Professor Richard A. Harshman, vol. 23(7-8), pp. 352 - 363, John Wiley & Sons, Ltd, 2009
[bibtex]<<http://www2.imm.dtu.dk/pubdb/views/bibtex.php?id=5806>>
[pdf]<http://www2.imm.dtu.dk/pubdb/views/edoc_download.php/5806/pdf/imm5806.pdf>
- M. Mørup, L. K. Hansen, S. M. Arnfred, Algorithms for Sparse Non-negative TUCKER, Neural Computation, vol. 20(8), pp. 2112-2131, 2008.
- M. Mørup, L. K. Hansen, S. M. Arnfred, L. Lim, K. H. Madsen, Shift Invariant Multilinear Decomposition of Neuroimaging Data, accepted for publication NeuroImage, vol. 42(4), pp. 1439-50, 2008. [bibtex]<<http://www2.imm.dtu.dk/pubdb/views/bibtex.php?id=5551>>
- M. Mørup, L. K. Hansen, S. M. Arnfred, ERPWAVELAB A toolbox for multi-channel analysis of time-frequency transformed event related potentials, Journal of Neuroscience Methods, vol. 161, pp. 361-368, 2007.
[bibtex] <<http://www2.imm.dtu.dk/pubdb/views/bibtex.php?id=4828>>
[pdf]<http://www2.imm.dtu.dk/pubdb/views/edoc_download.php/4828/pdf/imm4828.pdf>
- M. Mørup, L. K. Hansen, C. S. Hermann, J. Parnas, S. M. Arnfred, Parallel Factor Analysis as an exploratory tool for wavelet transformed event-related EEG, NeuroImage, vol. 29(3), pp. 938-947, 2006.

Décompositions tensorielles non-négatives du spectrogramme multicanal pour la séparation de sources musicales

Cédric Févotte

Laboratoire Lagrange; CNRS, OCA & Université de Nice

La factorisation en matrices non-négatives ou "NMF" (pour "nonnegative matrix factorization") connaît actuellement un vif intérêt dans le domaine du traitement du signal audio. Appliquée au spectrogramme d'un enregistrement sonore monocanal, elle permet d'extraire les motifs se répétant dans le signal (e.g. une note, un accord, un coup de cymbale) et a permis d'obtenir des résultats spectaculaires en transcription musicale et en séparation de sources.

Dans cet exposé nous présentons des généralisations de cette approche pour le traitement d'enregistrements multicanaux. Les spectrogrammes des différents canaux forment un tenseur canal-temps-fréquence dont nous décrivons diverses formes de décompositions. Nous montrerons en particulier que la décomposition PARAFAC classique peut s'interpréter dans notre contexte comme une méthode de séparation de sources dans un modèle de mélange linéaire instantané, mais qui n'exploite pas - dans ce modèle de mélange particulier - l'information mutuelle entre les canaux de manière optimale. Nous présenterons un nouveau

modèle de décomposition tensorielle, appelé "multichannel NMF", accompagné d'une méthode d'estimation au sens du maximum de vraisemblance, qui permet de dépasser les limites de la décomposition PARAFAC pour notre problème, et de traiter en outre le cas de mélanges convolutifs (sur- ou sous-déterminés).

Des résultats de séparation d'enregistrements musicaux réels, issus de CD, seront présentés.

Travail en collaboration avec Alexey Ozerov (Technicolor, Rennes).

A. Ozerov, C. Févotte, R. Blouet, and J.-L. Durrieu. Multichannel nonnegative tensor factorization with structured constraints for user-guided audio source separation. In Proc. International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), Prague, Czech Republic, May 2011.

<http://perso.telecom-paristech.fr/~fevotte/Proceedings/icassp11d.pdf>

C. Févotte and A. Ozerov. Notes on nonnegative tensor factorization of the spectrogram for audio source separation : statistical insights and towards self-clustering of the spatial cues. In Proc. 7th International Symposium on Computer Music Modeling and Retrieval (CMMR), volume 5493 of Lecture Notes in Computer Science, pages 102–115, Malaga, Spain, June 2010. Springer.

<http://perso.telecom-paristech.fr/~fevotte/Proceedings/cmmr10.pdf>

A. Ozerov and C. Févotte. Multichannel nonnegative matrix factorization in convolutive mixtures for audio source separation. IEEE Transactions on Audio, Speech and Language Processing, 18(3) :550–563, Mar. 2010.

http://www.tsi.enst.fr/~fevotte/Journals/ieee_asl_multinmf.pdf

Modèles tensoriels avec contraintes appliqués à la conception de systèmes de communication

Gérard Favier
Laboratoire I3S

Depuis les travaux de pionnier de Sidiropoulos, Giannakis et Bro, en 2000 [1], les communications numériques constituent un domaine d'application privilégié des outils tensoriels. Cet exposé a pour objectif de montrer comment la conception de différents systèmes de communication MIMO a abouti au développement de nouveaux modèles tensoriels avec contraintes [2]. Après avoir indiqué quels sont les compromis à réaliser pour les futurs systèmes de communication sans fils, nous donnerons les motivations concernant l'utilisation des tenseurs pour la conception de systèmes de communication MIMO. Puis, nous décrirons le schéma de principe d'un tel système basé sur une modélisation tensorielle. Deux systèmes de base seront présentés : le système CDMA-PARAFAC [1] et le système de codage KRST-PARAFAC [3]. Quatre systèmes MIMO conduisant à de nouveaux modèles tensoriels contraints seront ensuite décrits:

- Systèmes CDMA/TST avec codage spatio/temporel tensoriel et allocation de ressources [4];
- Systèmes OFDM/STF avec codage/étalement spatio/temporel/fréquentiel et allocation de ressources [5];
- Systèmes NL-CDMA avec codage non linéaire [6].
- Systèmes coopératifs avec antennes relais et codage spatio/temporel à la source [7].

Nous montrerons comment ces modèles tensoriels permettent d'estimer de façon conjointe et semi-aveugle les symboles transmis et les canaux de communication. Des résultats de simulations seront présentés pour illustrer les performances de ces systèmes de communication.

[1] Sidiropoulos N.D., Giannakis G., Bro R. (2000), "Blind PARAFAC receivers for DS-CDMA systems". IEEE Transactions on Signal Processing, 48 (3): 810-822, March 2000.

[2] Favier G., de Almeida A., "Constrained tensor models – Part 1: Overview of constrained PARAFAC models", submitted to IEEE Transactions on Signal Processing, July 2013.

[3] Sidiropoulos N.D., Budampati R.S. (2002), "Khatri-Rao space-time codes", IEEE Transactions on Signal Processing, 50 (10): 2396-2407, Oct. 2002.

[4] Favier G., da Costa M., de Almeida A., Romano J.M., "Tensor space-time (TST) coding for MIMO wireless communication systems". Signal Processing, Elsevier, 92:1079–1092, April 2012.

[5] de Almeida A., Favier G., Ximenes L. (2013), "Space-time-frequency (STF) MIMO communication systems with blind receiver based on a generalized PARATUCK2 model". IEEE Transactions on Signal Processing, 61(8): 1895-1909, Aug. 2013.

[6] Favier G., Bouilloc T., de Almeida A. (2012) "Blind constrained block-Tucker2 receiver for multiuser SIMO NL-CDMA communication systems", Signal Processing, Elsevier, 92 (7):1624–1636, July 2012.

[7] Ximenes L., Favier G., de Almeida A., Silva Y. "PARAFAC-PARATUCK based blind receivers for dual-hop cooperative MIMO relay systems", submitted to IEEE Transactions on Signal Processing, May 2013.