technische universität
dortmund

fakultät für informatik

Master-Thesis

Convolutional Neural Networks auf Graphrepräsentationen von Bildern

Matthias Fey

10. Mai 2017

Gutachter:

Prof. Dr. Heinrich Müller

M.Sc. Jan Eric Lenssen

Lehrstuhl Informatik VII

Graphische Systeme

TU Dortmund

Inhaltsverzeichnis

Mathematische Notationen

$\|\cdot\|_2$

1 Einleitung

Homepage[1]
N
„wdawd“

1.1 Problemstellung

1.2 Aufbau der Arbeit

[1] https://github.com/rusty1s/embedded_gcnn

2 Grundlagen

2.1 Mathematische Notationen

2.2 Graphentheorie

2.3 Convolutional Neural Networks

3 Graphrepräsentationen von Bildern

3.1 Gitter

3.2 Superpixel

3.2.1 Verfahren

SLIC [1]
Simple Linear Iterative Clustering (SLIC)

Quickshift [6]

Weitere Verfahren [3]

3.2.2 Adjazenzmatrixbestimmung

3.2.3 Merkmalsextraktion

4 Räumliches Lernen auf Graphen

4.1 Räumliche Graphentheorie

Färbung von Knoten awdawd

Isomorphie und kanonische Ordnung awdawd

4.2 Räumliche Faltung

Knotenauswahl awdawd

Nachbarschaftsgruppierung awdawd

Normalisierung awdawd

4.3 Erweiterung auf eingebettete Graphen

4.4 Netzarchitektur

5 Spektrales Lernen auf Graphen

5.1 Spektrale Graphentheorie

5.1.1 Eigenwerte und Eigenvektoren reell symmetrischer Matrizen

$\mathbf{M} \in R^{N \times N}$. $\mathbf{u} \in R^N$. $\lambda \in R$, $\lambda \neq 0$. Eigenwertproblem $\mathbf{Mu} = \lambda\mathbf{u}$. Zu einem Eigenwert λ gibt es unendlich viele (skalierte) Eigenvektoren $\mathbf{u}$. Wir definieren den Eigenvektor $\mathbf{u}$ eines Eigenwertes λ daher eindeutig über die Bedingung $\|\mathbf{u}\|_2 = 1$. Sei $\mathbf{M}$ weiterhin reell symmetrisch, d.h. $\mathbf{M} = \mathbf{M}^\top$. Dann gilt für zwei unterschiedliche Eigenvektoren $\mathbf{u}_1$ und $\mathbf{u}_2$, dass $\mathbf{u}_1 \perp \mathbf{u}_2$. Weiterhin hat $\mathbf{M}$ genau N reelle Eigenwerte mit $\{\lambda_i\}_{i=1}^N$.
Wir definieren die orthogonale Eigenvektormatrix $\mathbf{U} = [\mathbf{u}_1, \dots, \mathbf{u}_n] \in R^{N \times N}$ mit $\mathbf{U}\mathbf{U}^\top = \mathbf{I}$ und dessen korrespondierende Eigenwertdiagonalmatrix $\mathbf{\Lambda} = \operatorname{diag}([\lambda_1, \dots, \lambda_N])$. Dann gilt $\mathbf{MU} = \mathbf{U\Lambda}$ und insbesondere ist $\mathbf{M}$ diagonalisierbar über

$$\mathbf{M} = \mathbf{MUU}^\top = \mathbf{U\Lambda U}^\top. \tag{5.1}$$

Weiterhin gilt für die $k$te Potenz von $\mathbf{M}$, $k \in N$,

$$\mathbf{M}^k = \left(\mathbf{U\Lambda U}^\top\right)^k = \mathbf{U\Lambda}^k\mathbf{U}^\top. \tag{5.2}$$

Dieser Zusammenhang lässt sicht leicht zeigen, wenn man die Potenz als ausschreibt:

$$\left(\mathbf{U\Lambda U}^\top\right)^k = \mathbf{U\Lambda U}^\top\mathbf{U\Lambda U}^\top \prod_{i=1}^{k-2} \mathbf{U\Lambda U}^\top = \mathbf{U\Lambda}^2\mathbf{U}^\top \prod_{i=1}^{k-2} \mathbf{U\Lambda U}^\top = \mathbf{U\Lambda}^k\mathbf{U}^\top \tag{5.3}$$

Falls $\mathbf{M}$ weiterhin *schwach diagonaldominant* ist, d.h.

$$\sum_{j=1}^{n} |\mathbf{M}_{ij}| \leq |\mathbf{M}|_{ii} \text{ für alle } i \in \{1, \dots, N\}, \tag{5.4}$$

sind ihre Eigenwerte λ_i positiv reell und es lässt sich auf diesen eine Ordnung definieren mit $0 \leq \lambda_1 \leq \cdots \lambda_N$. Insbesondere ist $\mathbf{M}$ damit *positiv-semidefinit*, d.h. $\mathbf{x}^\top \mathbf{M} \mathbf{x} \geq 0$ für alle $\mathbf{x} \in R^N$.

elle, weil
e eigen-
ktoren
ößer gleich
ll

5.1.2 Laplace-Matrix

Visuelle Interpretation

Eigenschaften

5.2 Spektraler Faltungsoperator

5.2.1 Graph-Fourier-Transformation

5.2.2 Polynomielle Approximation

Tschebyschow-Polynome

5.3 Graph Convolutional Networks

5.3.1 Faltungsoperator

Weisfeiler-Lehman Analogie

5.3.2 Erweiterung auf eingebettete Graphen

B-Spline-Kurven

Faltungsoperator

5.4 Pooling auf Graphen

5.4.1 Graphvergröberung

Clustering von Knoten

5.4.2 Erweiterung auf eingebettete Graphen

5.5 Netzarchitektur

6 Evaluation

6.1 Versuchsaufbau

6.1.1 Datensätze

MNIST [5]

Cifar-10 [4]

Pascal VOC [2]

6.1.2 Metriken

6.1.3 Parameterwahl

Vorstellung aller Parameter Superpixelalgorithmen Parameterwahl

6.2 Merkmalsselektion

6.3 Ergebnisse

Vergleich mit anderen Implementierungen

6.4 Laufzeitanalyse

Vergleich mit anderen Implementierungen

6.5 Diskussion

7 Ausblick

Weitere Anwendungsgebiete

Augmentierung von Graphen

Spatial-Pyramid-Pooling

Attention-Algorithmus

A Weitere Informationen

Abbildungsverzeichnis

Algorithmenverzeichnis

Literaturverzeichnis

[1] Achanta, Radhakrishna; Shaji, Appu; Smith, Kevin; Lucchi, Aurelien; Fua, Pascal; Susstrunk, Sabine: SLIC Superpixels Compared to State-of-the-Art Superpixel Methods. In: *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* (2012), S. 2274–2282

[2] Everingham, Mark; Eslami, S.M. Ali; Van Gool, Luc; Williams, Christoper K. I.; Winn, John; Zisserman, Andrew: The Pascal Visual Object Classes Challenge: A Retrospective. In: *International Journal of Computer Vision* (2015), S. 98–136

[3] Felzenszwalb, Pedro F.; Huttenlocher, Daniel P.: Efficient Graph-Based Image Segmentation. In: *International Journal of Computer Vision* (2004), S. 167–181

[4] Krizhevsky, Alex: *Learning Multiple Layers of Features from Tiny Images*, Department of Computer Science, University of Toronto, Diplomarbeit, 2009

[5] LeCun, Yann; Cortes, Corinna; Burges, Christopher J.C.: The MNIST Database of Handwritten Digits. (2010)

[6] Vedaldi, Andrea; Soatto, Stefano: Quick Shift and Kernel Methods for Mode Seeking. In: *European Conference on Computer Vision*, 2008, S. 705–718

Eidesstattliche Versicherung

Name, Vorname　　　　　　　　　　　　　　　　　　　Matr.-Nr.

Ich versichere hiermit an Eides statt, dass ich die vorliegende Bachelorarbeit/Masterarbeit* mit dem Titel

selbstständig und ohne unzulässige fremde Hilfe erbracht habe. Ich habe keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt sowie wörtliche und sinngemäße Zitate kenntlich gemacht. Die Arbeit hat in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner Prüfungsbehörde vorgelegen.

Ort, Datum　　　　　　　　　　　　　　　　　　　Unterschrift

*Nichtzutreffendes bitte streichen

Belehrung:

Wer vorsätzlich gegen eine die Täuschung über Prüfungsleistungen betreffende Regelung einer Hochschulprüfungsordnung verstößt, handelt ordnungswidrig. Die Ordnungswidrigkeit kann mit einer Geldbuße von bis zu 50.000,00 € geahndet werden. Zuständige Verwaltungsbehörde für die Verfolgung und Ahndung von Ordnungswidrigkeiten ist der Kanzler/die Kanzlerin der Technischen Universität Dortmund. Im Falle eines mehrfachen oder sonstigen schwerwiegenden Täuschungsversuches kann der Prüfling zudem exmatrikuliert werden. (§ 63 Abs. 5 Hochschulgesetz - HG -)

Die Abgabe einer falschen Versicherung an Eides statt wird mit Freiheitsstrafe bis zu 3 Jahren oder mit Geldstrafe bestraft.

Die Technische Universität Dortmund wird gfls. elektronische Vergleichswerkzeuge (wie z.B. die Software „turnitin“) zur Überprüfung von Ordnungswidrigkeiten in Prüfungsverfahren nutzen.

Die oben stehende Belehrung habe ich zur Kenntnis genommen:

Ort, Datum　　　　　　　　　　　　　　　　　　　Unterschrift