

Anhang A

Zusammenfassung grundlegender informationstheoretischer Zusammenhänge

Die Entropie H ist der Erwartungswert des Informationsgehaltes \mathcal{I} . Dieser wiederum ist definiert als der negative Logarithmus der Auftretswahrscheinlichkeit p des Zeichens x :

$$\mathcal{I}(x) = -\log p(x). \quad (\text{A.1})$$

Daraus folgt:

$$H(X) = E\{\mathcal{I}(x)\} = E\{-\log p(x)\} = -\sum_y p(y) \cdot \log p(y), \quad (\text{A.2})$$

bzw für die Verbundentropie

$$H(X, Y) = E\{-\log p(x, y)\} = -\sum_x \sum_y p(x, y) \cdot \log p(x, y). \quad (\text{A.3})$$

Mittels des Satzes von Bayes ($p(x, y) = p(x) \cdot p(y|x) = p(y) \cdot p(x|y)$) läßt sich die Verbundentropie umformen zu

$$H(X, Y) = -\sum_x \sum_y p(x, y) \cdot \log\{p(y) \cdot p(x|y)\} = -\sum_x \sum_y p(x, y) \cdot \log\{p(x) \cdot p(y|x)\} \quad (\text{A.4})$$

und

$$H(X, Y) = H(Y) - \underbrace{\sum_x \sum_y p(x, y) \cdot \log p(x|y)}_{H(X|Y)} = H(X) - \underbrace{\sum_x \sum_y p(x, y) \cdot \log p(y|x)}_{H(Y|X)}. \quad (\text{A.5})$$

Die Gleichung $H(X, Y) = H(Y) + H(X|Y) = H(X) + H(Y|X)$ führt unmittelbar zu dem informationstheoretischen Kanalmodell, welches die Beziehung für die Transinformation I

liefert:

$$I(X, Y) = H(Y) - H(Y|X) = H(X) - H(X|Y) \quad (\text{A.6})$$

Ersetzt man jeweils die Entropie mittels obiger Gleichungen, ergibt sich:

$$I(X, Y) = - \sum_x p(x) \cdot \log p(x) + \sum_x \sum_y p(x, y) \cdot \log p(x|y), \quad (\text{A.7})$$

wobei die erste Summe folgendermaßen umgeformt werden kann:

$$I(X, Y) = - \sum_x \sum_y p(x, y) \cdot \log p(x) + \sum_x \sum_y p(x, y) \cdot \log p(x|y), \quad (\text{A.8})$$

was sich wiederum zusammenfassen läßt zu

$$I(X, Y) = \sum_x \sum_y p(x, y) \cdot \log \frac{p(x|y)}{p(x)}. \quad (\text{A.9})$$

Die bedingte Wahrscheinlichkeit läßt sich mit Hilfe des Satzes von Bayes ($p(x, y) = p(x) \cdot p(y|x) = p(y) \cdot p(x|y)$) in eine Verbundwahrscheinlichkeit überführen:

$$I(X, Y) = \sum_x \sum_y p(x, y) \cdot \log \frac{p(x, y)}{p(x) \cdot p(y)}. \quad (\text{A.10})$$

Die Transinformation I läßt sich darüberhinaus allgemein für den Fall einer Z -dimensionalen Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion angeben:

$$I(X^{(1)}, \dots, X^{(Z)}) = \sum_{x^{(1)}} \dots \sum_{x^{(Z)}} p(x^{(1)}, \dots, x^{(Z)}) \cdot \log \frac{p(x^{(1)}, \dots, x^{(Z)})}{\prod_{z=1}^Z p(x^{(z)})}. \quad (\text{A.11})$$

Anhang B

Beschreibung der verwendeten Datenbasen

Sämtliche Daten wurden mit einer konstanten Abtastfrequenz von 200 Hz abgetastet. Dazu wurden ausschließlich Digitalisertabletts der Firma WACOM verwendet. Neben den Kartesischen Koordinaten des Stiftes, die mit einer Auflösung von 300 dpi aufgenommen wurden, wird zu jedem Abtastzeitpunkt der Stiftdruck mit einer maximalen Auflösung von 8 Bit gelesen. Üblicher Weise wird hiervon für die weitere Verarbeitung lediglich das Vorzeichenbit ausgewertet. Die verwendeten WACOM-Boards liefern bei positivem, wie bei negativem Stiftdruck die Information über die Stiftposition. Positiver Stiftdruck bedeutet aufgesetzten Stift, während negativer Stiftdruck bei abgehobener Stiftspitze gemessen wird. Auf diese Weise sind in den Rohdaten auch die Bewegungen des abgesetzten Stiftes (virtuelle Sequenzen) bis zu einer Höhe von ca. 2 cm über dem Board enthalten. Die Daten werden schließlich in kompakter Form in einem speziellen Binärformat abgelegt.

Unter diesen Randbedingungen wurden im wesentlichen drei Datenbasen zusammengestellt. Dies sind die schreiberabhängige Textdatenbasis, die schreiberunabhängige Textdatenbasis und die schreiberabhängige Formeldatenbasis, die nachfolgend näher beschrieben werden.

B.1 Schreiberabhängige Textdatenbasis

Die schreiberabhängige Datenbasis beinhaltet Trainings- und Testdaten von insgesamt drei Schreibern ('ank', 'jmr' und 'vdm'). Es wurden von jedem Schreiber Textpassagen zum Training und Einzelworte für den Test aufgenommen. Die Trainingsmenge umfaßt pro Schreiber 2000 Wörter, während die Testmenge aus je 200 Wörtern besteht. Dies entspricht ca. 500000 (50000) Abtastvektoren zum Training (Test). Des weiteren wurden für die Initialisierung der HMM segmentierte Einzelzeichen mit Hilfe eines Formblattes aufgenommen, sodass sich durch die Anordnung der Felder ein definierter geometrischer Abstand zwischen den einzel-

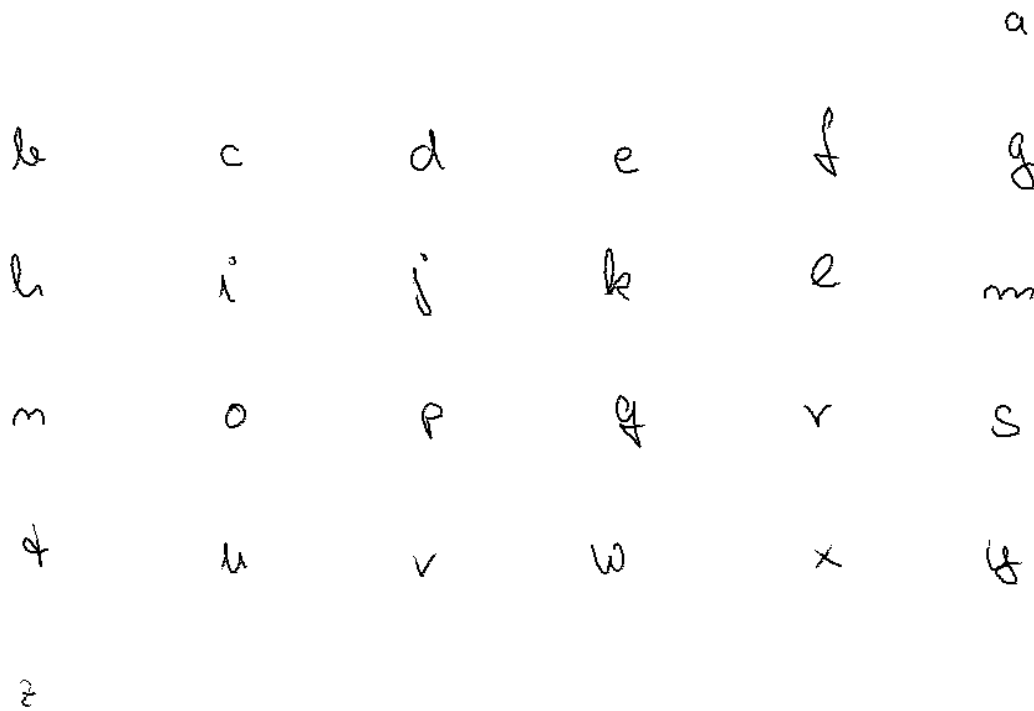


Abbildung B.1: Vorsegmentierte Einzelzeichen

nen Zeichen einstellt. Ein Beispiel zu den vorsegmentierten Einzelzeichen ist in Abb. B.1 gezeigt. In der Datenbasis sind neben Klein- und Großbuchstaben mit Umlauten und dem 'ß' auch Ziffern, sowie sämtliche Satzzeichen enthalten.

B.2 Schreiberunabhängige Textdatenbasis

Die schreiberunabhängige Textdatenbasis läßt sich wie die schreiberabhängige Datenbasis in einen Initialisierungsteil und in eine Trainings- und Testmenge unterteilen. Der Zeichenvorrat ist identisch zu dem der schreiberabhängigen Datenbasis. Von einer relativ kleinen Anzahl von Schreibern wurden in der oben beschriebenen Weise die vorsegmentierten Daten gesammelt.

Die Datensätze der Trainingsdatenbasis bestehen wie im schreiberabhängigen Fall aus Textpassagen. Diese weisen unterschiedliche Längen von etwa 5-20 Wörtern auf. Der einzelne Datensatz reicht dabei durchaus über mehrere Zeilen (Abb. B.2). Über einen Zeitraum von zwei Jahren wurden zwei verschiedene Teilmengen der Trainingsdatenbasis akquiriert (*set0* und *set1*). *set0* umfasst dabei 8000 Beispielwörter von 50 Schreibern, während *set1* 24000 Beispielwörter von 100 Personen enthält. Beide Teilmengen fließen gleichgewichtet in das Training ein. Um eine Aussage über die Schreiberunabhängigkeit zu erhalten, wurde die Testmenge aus 'ungesehenen' Testschreibern zusammengestellt. D. h., dass in den Daten zur Initialisierung, wie auch in den Daten für das Training keine Beispiele von Schreibern

SPIEGEL: Wieviel kostet der denn?

SPIEGEL: Wieviel wartet der denn?

Trübsens im Jahr 2000 kann es
Batterien geben, die vom Gewicht und der
Reichweite her einigermaßen akzeptabel sind,
damit sie keine Versorgungsangelegenheit
Mannheimer Staatsanwaltschaft wurden deshalb
Die Fahnder wollen die Ermittlungen
in den nächsten Wochen abschließen.

Abbildung B.2: Textpassagen für das Training

der Testmenge enthalten sind und umgekehrt. Die Testdaten bestehen wiederum aus Einzelwörtern, die von je 10 männlichen und 10 weiblichen Schreibern gesammelt wurden. Von jeder Testperson wurden jeweils ca. 200 Wörter aufgenommen, sodass sich insgesamt 4000 Wörter im Testset befinden. Diese Testmenge deckt ein Vokabular von ca. 2000 verschiedenen Wörtern ab.

B.3 Schreiberabhängige Formeldatenbasis

Wie bei der schreiberabhängigen Textdatenbasis (Abschnitt B.1) setzt sich die in diesem Abschnitt beschriebene Datenbasis aus einem Initialisierungsteil, einer Trainings- und einer Testmenge zusammen. Die Aufnahmen wurden von insgesamt drei Schreibern gesammelt ('ank', 'bec', 'sla'). Hierbei wurden für die Initialisierung von jedem Schreiber segmentierte Einzelzeichen aller vorkommenden Symbole aufgenommen. Neben dem Standard-Zeichenvorrat, wie er bei der Texterkennung verwendet wird, sind dies verschiedene Operatoren, Sonderzeichen, und griechische Buchstaben.

Der Hauptteil, d. h. die Trainings- und die Testmenge der Formeldatenbasis besteht hingegen aus je 130 unsegmentierten Gleichungen, wie sie beispielhaft in Abb. B.3 dargestellt sind.

Von diesen 130 Trainingsbeispielen werden pro Schreiber 100 Proben für das Training, und die jeweils restlichen 30 Proben für die Evaluierung verwendet.

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \left(1 + \frac{1}{n}\right)^n = e \approx 2,71828$$

$$s = \int_{x_1}^{x_2} \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} dx$$

$$\int_0^2 \left[-\sin\left(\frac{x}{5} + 1\right)\right] dx$$

$$\sum_{k=1}^n (2k-1)^3 = n^2 (2n^2 - 1)$$

$$a \quad \frac{b}{a} \sqrt{a^2 - x^2}$$

$$A = 2 \int_{x=0} \int_{y=0} dy dx = \frac{1}{2} \pi ab$$

$$\prod_{k=1}^n (1 + a_k) \geq 1 + \sum_{k=1}^n a_k$$

Abbildung B.3: Beispiele aus der Formeldatenbasis (Test und Training)

Literaturverzeichnis

- [Abm94] WOLFGANG ABMAYR. *Einführung in die digitale Bildverarbeitung*. B. G. Teubner, Stuttgart, 1994.
- [Bah81] L. R. BAHL, R. BAKIS, P. S. COHEN, A. G. COLE, F. JELINEK, B. L. LEWIS und R. L. MERCER. Continuous parameter acoustic processing for speech recognition of a natural speech corpus. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing*, Seiten 1149–1155, Atlanta, Georgia, April 1981.
- [Bau69] L. E. BAUM. An Inequality and Associated Maximization in Statistical Estimation for Probabilistic Functions of Markov Processes. In *Inequalities-III, Proc. of the third Symposium on Inequalities*, Seiten 1–8, Los Angeles, CA, September 1969.
- [Bec97] DIRK BECKER. Entwicklung eines handschriftlichen Formeleditors. Diplomarbeit, Mercator University Duisburg, 1997.
- [Blo95] DOROTHEA BLOSTEIN. General Diagram-Recognition Methodologies. In *Proc. Int. Workshop on Graphics Recognition*, Seiten 200–212, University Park, Pennsylvania, 1995.
- [Blo96] DOROTHEA BLOSTEIN, HODA FAHMY und ANN GRBAVEC. Issues in the Practical Use of Graph Rewriting. *Lecture Notes in Computer Science*, 1073:38–55, 1996.
- [Blo97] DOROTHEA BLOSTEIN und ANN GRBAVEC. Recognition of Mathematical Notation. In H. BUNKE und P. S. P. WANG, editors, *Handbook of Character Recognition and Document Image Analysis*, chapter 21, Seiten 557–582. World Scientific Publishing, 1997.
- [Bra99a] ANJA BRAKENSIEK, ANDREAS KOSMALA, DANIEL WILLETT und GERHARD RIGOLL. Vergleich verschiedener statistischer Modellierungsverfahren für die

- On- und Off-Line Handschrifterkennung. In *21. DAGM-Symposium, Tagungsband Springer-Verlag*, Seiten 70–77, Bonn, Germany, September 1999.
- [Bra99b] ANJA BRAKENSIEK, ANDREAS KOSMALA, DANIEL WILLET, WENWEI WANG und GERHARD RIGOLL. Performance Evaluation of a New Hybrid Modeling Technique for Handwriting Recognition Using Identical On-Line and Off-Line Data. In *5th International Conference on Document Analysis and Recognition*, Seiten 446–449, Bangalore, India, September 1999.
- [Bra00] ANJA BRAKENSIEK, JÖRG ROTTLAND, ANDREAS KOSMALA und GERHARD RIGOLL. Off-Line Handwriting Recognition Using Various Hybrid Modeling Techniques and Character N-Grams. In *7th International Workshop on Frontiers in Handwriting Recognition (IWFHR)*, Amsterdam, Netherlands, September 2000.
- [Bro87] P. F. BROWN. *The Acoustic-Modeling Problem in Automatic Speech Recognition*. Dissertation, Carnegie-Mellon University, Mai 1987. Also IBM Research Division Technical Report RC 12750.
- [Cla97] P.R. CLARKSON und R. ROSENFELD. Statistical Language Modeling Using the CMU-Cambridge Toolkit. In *Proc. ESCA Eurospeech*, 1997.
- [Cot97] M. COTÉ, M. CHERIET, E. LECOLINET und C. Y. SUEN. Automatic reading of cursive scripts using human knowledge. In *Proc. Int. Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR)*, Volume 1, Seiten 107–108, Ulm, 1997.
- [Eic97a] STEFAN EICKELER, ANDREAS KOSMALA und GERHARD RIGOLL. A New Approach to Content-Based Video Indexing Using Hidden Markov Models. In *Workshop on Image Analysis for Multimedia Interactive Services (WIAMIS)*, Seiten 149–154, Louvain-la-Neuve, Belgium, Juni 1997.
- [Eic97b] STEFAN EICKELER, ANDREAS KOSMALA und GERHARD RIGOLL. Echtzeitfähige Videosequenzerkennung mit statistischen Verfahren. In *19. DAGM-Symposium, Tagungsband Springer-Verlag*, Seiten 105–112, Braunschweig, Germany, September 1997.
- [Eic98] STEFAN EICKELER, ANDREAS KOSMALA und GERHARD RIGOLL. Hidden Markov Model Based Continuous Online Gesture Recognition. In *Int. Conference on Pattern Recognition (ICPR)*, Seiten 1206–1208, Brisbane, August 1998.
- [Eic00] STEFAN EICKELER, STEFAN MÜLLER und GERHARD RIGOLL. Recognition of JPEG Compressed Face Images Based on Statistical Methods. *Image and Vision*

- Computing Journal, Special Issue on Facial Image Analysis*, 18(4):279–287, März 2000.
- [Far94] GERALD FARIN. *Kurven und Flächen im Computer Aided Geometric Design*. Vieweg, second Auflage, 1994.
- [Gon92] RAFAEL C. GONZALES und RICHARDS E. WOODS. *Digital Image Processing*. Addison Wesley, 1992.
- [Haf99] CARSTEN HAFERKAMP. Untersuchung zu Slant- und Größennormalisierung für die Online-Handschrifterkennung. Diplomarbeit, Mercator University Duisburg, 1999.
- [Häm89] GÜNTHER HÄMMERLIN und KARL-HEINZ HOFFMANN. *Numerische Mathematik*. Springer-Verlag, first Auflage, 1989.
- [Hü99] FRANK HÜLSKEN. Untersuchung von Merkmalsextraktionsverfahren für die Online-Handschrifterkennung. Diplomarbeit, Mercator University Duisburg, 1999.
- [Kas95] ROBERT HOWARD KASSEL. *A Comparison of Approaches to On-Line Handwritten Character Recognition*. Dissertation, Massachusetts Institute of Technology, 1995.
- [Kel95] ANDREAS KELDENICH. Anschluß und Erprobung eines Digitalisier-Tableaus zum Aufbau eines adaptiven Handschrifterkennungssystems. Diplomarbeit, Faculty of Electrical Engineering - Computer Science, Gerhard-Mercator-University Duisburg, Februar 1995. in German.
- [Kop94] HELMUT KOPKA. *TEXeine Einführung*. Kontakt und Studium. Eddison-Wesley, 1994. 624 Seiten.
- [Kos97a] ANDREAS KOSMALA, JÖRG ROTTLAND und GERHARD RIGOLL. Improved On-Line Handwriting Recognition Using Context Dependent Hidden Markov Models. In *Proc. Int. Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR)*, Volume 2, Seiten 641–644, Ulm, 1997.
- [Kos97b] ANDREAS KOSMALA, JÖRG ROTTLAND und GERHARD RIGOLL. An Investigation of the Use of Trigraphs for Large Vocabulary Cursive Handwriting Recognition. In *Proc. IEEE Int. Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*, Seiten 3373–3376, Munich, 1997.

- [Kos97c] ANDREAS KOSMALA, JÖRG ROTTLAND und GERHARD RIGOLL. Large Vocabulary On-Line Handwriting Recognition with Context Dependent Hidden Markov Models. In *Mustererkennung*, Seiten 254–261, Braunschweig, Germany, 1997.
- [Kos98a] ANDREAS KOSMALA und GERHARD RIGOLL. A Hybrid NN/HMM approach for Large Vocabulary On-Line Handwriting Recognition. In *European Congress on Intelligent Techniques and Soft Computing (EUFIT)*, Aachen, Germany, 1998. Invited Session on Soft Computing in Communication Terminals.
- [Kos98b] ANDREAS KOSMALA und GERHARD RIGOLL. On-Line Handwritten Formula Recognition Using Statistical Methods. In *International Conference on Pattern Recognition (ICPR)*, Brisbane, 1998.
- [Kos98c] ANDREAS KOSMALA und GERHARD RIGOLL. Recognition of On-Line Handwritten Formulas. In *6th International Workshop on Frontiers in Handwriting Recognition (IWFHR)*, Taejon, Korea, 1998.
- [Kos98d] ANDREAS KOSMALA und GERHARD RIGOLL. Tree-Based State Clustering Using Self-Organizing Principles for Large Vocabulary On-Line Handwriting Recognition. In *International Conference on Pattern Recognition (ICPR)*, Brisbane, 1998.
- [Kos99a] ANDREAS KOSMALA, STEPHANE LAVIROTTE, LOÏC POTTIER und GERHARD RIGOLL. On-Line Handwritten Formula Recognition using Hidden Markov Models and Context Dependent Graph Grammars. In *5th International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR '99)*, Bangalore, India, 1999.
- [Kos99b] ANDREAS KOSMALA und GERHARD RIGOLL. On-line Handwritten Formula Recognition. In SEONG-WHAN LEE, editor, *Advances in Handwriting Recognition*, chapter 9, Seiten 539–548. World Scientific, 1999.
- [Kos99c] ANDREAS KOSMALA und DANIEL WILLET. Datenverarbeitungsverfahren und Datenverarbeitungsvorrichtung zum Erkennen einer zu erkennenden Zeichenfolge, sowie computerlesbares Speichermedium und Computerprogramm-Erzeugnis. DE-Patentanmeldung 199 61 476.8, 12 1999.
- [Kos99d] ANDREAS KOSMALA, DANIEL WILLET und GERHARD RIGOLL. Advanced State Clustering for Very Large Vocabulary HMM-based On-Line Handwriting Recognition. In *5th International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR '99)*, Bangalore, India, 1999.

- [Kos00] ANDREAS KOSMALA und GERHARD RIGOLL. On-line handwritten formula recognition with integrated correction recognition and execution. In *International Conference on Pattern Recognition (ICPR 2000)*, Barcelona, Spain, 2000.
- [Lav97] STÉPHANE LAVIROTTE und LOÏC POTTIER. Optical formula recognition. In *Proc. Int. Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR)*, Volume 1, Seiten 357–361, Ulm, 1997.
- [Lav98] STÉPHANE LAVIROTTE und LOÏC POTTIER. Mathematical Formula Recognition using Graph Grammar. In *Electronic Imaging*, Seiten 44–52, San Jose, USA, 1998.
- [Lee89] KAI-FU LEE. *Automatic Speech Recognition: The Development of the SPHINX System*. Kluwer, Dordrecht, The Netherlands, 1989.
- [Lee90] K. LEE. Context Dependent Phonetic Hidden Markov Models for Speaker-Independent Continuous Speech Recognition. *Trans. on Acoustics, Speech and Signal Processing*, 38(4):599–609, 1990.
- [Mak94] JOHN MAKHOUL, THAD STARNER, RICHARD SCHWARTZ und GEORGE CHOU. On-Line Cursive Handwriting Recognition Using Hidden Markov Models and Statistical Grammars. In *Proc. of the Human Language Technology Workshop*, Seiten 432–436, Plainsboro, NJ, March 1994.
- [Man94] S. MANKE, M. FINKE und A. WAIBEL. Combining Bitmaps with Dynamic Writing Information for On-Line Handwriting Recognition. In *Proc. Int. Conference on Pattern Recognition (ICPR)*, Seiten 596–598, Jerusalem, 1994.
- [Mes99] ANDRE MESSERSCHMIDT. Integration von Korrekturfunktionen in einen handschriftlichen Formeleditor. Diplomarbeit, Mercator University Duisburg, 1999.
- [Mor97] D. MORI und H. BUNKE. Automatic interpretation and execution of manual corrections on text documents. In H. BUNKE und P. S. P. WANG, editors, *Handbook of Character Recognition and Document Image Analysis*, chapter 26, Seiten 679–702. World Scientific Publishing, 1997.
- [Mü98] STEFAN MÜLLER, GERHARD RIGOLL, ANDREAS KOSMALA und DENIS MAZURENOK. Recognition of Hand-Drawn Pictograms Using HMMs with Rotating Feature Extraction. In *6th International Workshop on Frontiers in Handwriting Recognition (IWFHR)*, Taejon, Korea, 1998.
- [Mü99] STEFAN MÜLLER, GERHARD RIGOLL, ANDREAS KOSMALA und DENIS MAZURENOK. Combining Shape Matrices and HMMs for Hand-Drawn Pictogram

- Recognition. In SEONG-WHAN LEE, editor, *Advances in Handwriting Recognition*, chapter 9, Seiten 519–528. World Scientific, 1999.
- [Nat95] KRISHNA S. NATHAN, HOMAYOON S. M. BEIGI und JAYASHREE SUBRAMONIA. Real-Time On-Line Unconstrained Handwriting Recognition Using Statistical Methods. In *Proc. IEEE Int. Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*, Volume 4, Seiten 2619–2622, Detroit, Michigan, 1995.
- [Neu99] CHRISTOPH NEUKIRCHEN. *Integration neuronaler Vektorquantisierer in ein Hidden-Markov-Modell-basiertes System zur automatischen Spracherkennung*. Dissertation, Faculty of Electrical Engineering, Gerhard-Mercator-University Duisburg, 1999.
- [Pfa69] J. PFALTZ und A. ROSENBERG. Web Grammars. In *First Int. Joint Conference on Joint Artificial Intelligence*, Seiten 609–619, Washington, 1969.
- [Pra91] WILLIAM K. PRATT. *Digital Image Processing*. John Wiley & Sons, 1991.
- [Rab85] L. R. RABINER, B. H. JUANG, S. E. LEVINSON und M. M. SONDHI. Recognition of Isolated Digits Using HMMs with Continuous Mixture Densities. *AT&T Tech. J.*, 64(6):1211–1233, 1985.
- [Rab89] LAWRENCE R. RABINER. A Tutorial on Hidden Markov Models and Selected Applications in Speech Recognition. *Proc. of the IEEE*, 77(2):257–285, 1989.
- [Ram97] J. Y. RAMEL, N. VINCENT und J. M. BRUN. Bezier curves as a tool to describe kinetic drawing. In *Proc. Int. Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR)*, Volume 2, Seiten 780–783, Ulm, 1997.
- [Ren95a] STEVE RENALS und MIKE HOCHBERG. Decoder Technology for Connectionist Large Vocabulary Speech Recognition. Technical report, Department of Computer Science, University of Sheffield, 1995.
- [Ren95b] STEVE RENALS und MIKE HOCHBERG. Efficient Search Using Posterior Phone Probability Estimates. In *Proc. IEEE Int. Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*, Seiten 596–599, Detroit, USA, 1995.
- [Rig94] GERHARD RIGOLL. Maximum Mutual Information Neural Networks for Hybrid Connectionist-HMM Speech Recognition Systems. *IEEE Transactions on Speech and Audio Processing, Special Issue on Neural Networks for Speech*, 2(1):175–184, Januar 1994.

- [Rig96a] GERHARD RIGOLL, ANDREAS KOSMALA, JÖRG ROTTLAND und CHRISTOPH NEUKIRCHEN. A Comparison between Continuous and Discrete Density Hidden Markov Models for Cursive Handwriting Recognition. In *Proc. Int. Conference on Pattern Recognition (ICPR)*, Volume 2, Seiten 205–209, Vienna, 1996.
- [Rig96b] GERHARD RIGOLL, ANDREAS KOSMALA und MIKE SCHUSTER. A New Approach to Video Sequence Recognition Based on Statistical Methods. In *IEEE Int. Conference on Image Processing (ICIP)*, Seiten 839–842, Lausanne, September 1996.
- [Rig96c] GERHARD RIGOLL, ANDREAS KOSMALA und MIKE SCHUSTER. High Performance Gesture Recognition Using Probabilistic Neural Networks and Hidden Markov Models. In *5th Intern. Workshop on time-varying Image Processing and Moving Image Recognition*, Seiten 1687–1689, Florence, September 1996.
- [Rig97a] GERHARD RIGOLL und ANDREAS KOSMALA. New Improved Feature Extraction Methods for Real-Time High Performance Image Sequence Recognition. In *IEEE Int. Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP)*, Seiten 2901–2904, Munich, April 1997.
- [Rig97b] GERHARD RIGOLL, ANDREAS KOSMALA und STEFAN EICKELER. High Performance Real-Time Gesture Recognition Using Hidden Markov Models. In *Gesture Workshop*, Seiten 69–80, Bielefeld, Germany, September 1997.
- [Rig98a] GERHARD RIGOLL, STEFAN EICKELER, ANDREAS KOSMALA und STEFAN MÜLLER. Echtzeitfähige Gestikerkennung mit stochastischen Mustererkennungsverfahren. In *28. Jahrestagung der Gesellschaft für Informatik*, Magdeburg, Germany, September 1998.
- [Rig98b] GERHARD RIGOLL und ANDREAS KOSMALA. A Systematic Comparison Between On-Line and Off-Line Methods for Signature Verification with Hidden Markov Models. In *International Conference on Pattern Recognition (ICPR)*, Brisbane, 1998.
- [Rig98c] GERHARD RIGOLL, ANDREAS KOSMALA und DANIEL WILLETT. An Investigation of Context-Dependent and Hybrid Modeling Techniques for Very Large Vocabulary On-Line Cursive Handwriting Recognition. In *6th International Workshop on Frontiers in Handwriting Recognition (IWFHR)*, Taejon, Korea, 1998.

- [Rig98d] GERHARD RIGOLL, ANDREAS KOSMALA und DANIEL WILLETT. A New Hybrid Approach to Large Vocabulary Cursive Handwriting Recognition. In *International Conference on Pattern Recognition (ICPR)*, Brisbane, 1998.
- [Rig99] GERHARD RIGOLL, ANDREAS KOSMALA und DANIEL WILLETT. A Systematic Comparison of Advanced Modeling Techniques for Very Large Vocabulary On-Line Cursive Handwriting Recognition. In SEONG-WHAN LEE, editor, *Advances in Handwriting Recognition*, chapter 2, Seiten 69–78. World Scientific, 1999.
- [Rig00] GERHARD RIGOLL. Kommunikationssystem, Vorrichtung und Verfahren zum Bearbeiten eines zu erkennenden Musters, Vorrichtung und Verfahren zur Erkennung eines Musters. DE-Patentanmeldung 100 06 421.3, 1 2000.
- [Rot00] JÖRG ROTTLAND. *Ein hybrider Ansatz zur automatischen Spracherkennung und Sprecheradaptation für große Wortschätze*. Dissertation, Faculty of Electrical Engineering, Gerhard-Mercator-University Duisburg, Februar 2000.
- [Sch95] MARKUS E. SCHENKEL. *Handwriting Recognition using Neural Networks and Hidden Markov Models*. Hartung-Gorre Verlag, Konstanz, 1995.
- [ST95] E. G. SCHUKAT-TALAMAZZINI. *Automatische Spracherkennung – Grundlagen, statistische Modelle und effiziente Algorithmen*. Künstliche Intelligenz. Vieweg, Braunschweig, 1995.
- [Sun97] CHANGMING SUN und DEYI SI. Skew and slant correction for document images using gradient direction. In *Proc. Int. Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR)*, Volume 1, Seiten 142–146, Ulm, 1997.
- [VNG87] P. MERMELSTEIN V. N. GUPTA, M. LENNING. Integration of Acoustic Information in a Large Vocabulary Word Recognizer. In *Proc. IEEE Int. Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*, Seiten 697–700, Dallas, 1987.
- [Wey96] PATRICK WEYEN. Aufbau eines hybriden NN-HMM Systems zur schreiber- und schreibstilunabhängigen Handschrifterkennung. Diplomarbeit, Faculty of Electrical Engineering - Computer Science, Gerhard-Mercator-University Duisburg, Januar 1996. in German.
- [Wil98] DANIEL WILLETT, CHRISTOPH NEUKIRCHEN und GERHARD RIGOLL. DUCODE — der Stackdecoder. Technical report, Fachbereich Elektrotechnik, Gerhard-Mercator-Universität - Duisburg, 1998.

- [Yan95] LIPING YANG. *Processing and Recognition of Handwriting in Multimedia Environments*. Dissertation, Technische Universiteit Delft, 1995.
- [You92] S. J. YOUNG. The General Use of Tying in Phoneme-Based HMM Speech Recognisers. In *Proc. IEEE Int. Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*, Volume 1, Seiten 569–572, San Francisco, USA, 1992.
- [You93] S. J. YOUNG und P. C. WOODLAND. The Use of State Tying in Continuous Speech Recognition. In *Proc. Eurospeech, European Conference on Speech Communication and Technology*, Seiten 2203–2206, Berlin, 1993.
- [You94] S. J. YOUNG, J. J. ODELL und P. C. WOODLAND. Tree-Based State Tying for High Accuracy Acoustic Modelling. In *Proc. of the Human Language Technology Workshop*, Seiten 307–312, Plainsboro, NJ, USA, März 1994.
- [Zel94] ANDREAS ZELL. *Simulation Neuronaler Netze*. Kontakt und Studium. Eddison-Wesley, 1994. 624 Seiten.