Understanding Mathematics: A System for the Recognition of On-Line Handwritten Mathematical Expressions

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades
eines Doktors der Naturwissenschaften
im Fachbereich Mathematik und Informatik
der Freien Universität Berlin
vorgelegt von

Ernesto Tapia

Berlin
2004

Gutachter:
Prof. Dr. Raúl Rojas
Prof. Dr. Johan van Horebeek

Datum der Disputation:
10. Dezember 2004

Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit stellt ein System für die Online-Erkennung handgeschriebener mathematischer Formeln vor. Das System besteht aus zwei verschiedenen Komponenten, einem Klassifikator einzelner handgeschriebener Online-Symbole und einem Analysator mathematischer Strukturen.

Die Erkennung der einzelnen Symbole erfolgt mittels Support-Vektor-Maschinen. Aus unserer Experimenten ergab sich, dass unser Klassifikator gegenüber den klassischen Techniken bessere Erkennungsraten erreichte. Diese Ergebnisse wurden durch intensive Vorbearbeitung der Symbole und Suche optimaler Parameter ermöglicht. Unsere Experimente lassen den Schluss zu, dass Support-Vektor-Maschinen den Kompromiss zwischen Trainingszeit und Klassifikationsrate optimieren.

In der Arbeit wird eine neue Methode für die Online-Strukturanalyse handgeschriebener mathematischer Ausdrücke besprochen, die sich auf der Aufbau eines minimalen spannenden Baums und Symboldominanz basiert. Diese Technik ermöglicht eine natürliche Eingabe der mathematischen Formeln, d.h., die Symbole und Formeln werden ohne Beschränkungen nach der üblichen mathematischen Notation geschrieben. Unsere Methode lässt sich einfach erweitern, um andere mathematische Strukturen zu erkennen, z.B. Matrizen und andere ungewöhnliche Strukturen, wie die in der LaTeX-Sprache definierte Struktur `\sideset{^{*}_{*}}{^{*}_{*}}`

Unser Erkennungssystem wurde in der Programmiersprache Java implementiert und ist das Standard-Formelerkennungssystem des E-Kreide Systems.

Acknowledgments

I would like to thank Prof. Raúl Rojas for his knowledge and guidance. He introduced me into the area of artificial intelligence and pattern recognition by giving me a very interesting subject for my Ph.D. research.

I am deeply grateful to Prof. Dr. Johan van Horebeek. His insightful comments and suggestions helped me improve this thesis.

My research took place at the Institut für Informatik at the Freie Universität Berlin; without the use of its infrastructure, this work would not have been possible. My gratitude also goes to the E-Chalk team (Gerald Friedland, Lars Knipping, Kristian Jantz and Christian Zick) for providing technical support and assistance with all things related with E-Chalk, as well as to all members of the Artificial Intelligence Group of the institute.

I thank the Mexican National Council for Science and Technology (CONACyT) for its financial support during my research via the credit-scholarship number 154901. I would also like to thank the German Academic Exchange Service (DAAD) for their financial support during the instruction of German language and their support in solving all sorts of problems related to German bureaucracy.

I want to express my deep gratitude to my parents, brothers, and sisters for their support and love during the years I spent in Germany. I am grateful to my friends, Waldemar Barrera, Erik Cuevas, Marco A. Tagle, and Daniel Zaldívar, for their support and discussions, which made my stay in Germany much more pleasant. Finally, my deepest gratitude to Anja for her company and support, in particular during the last months of the preparation of this manuscript.

Contents