

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN
FAKULTÄT ELEKTROTECHNIK UND
INFORMATIONSTECHNIK
Institut für Nachrichtentechnik

DIPLOMARBEIT

„Automatisierter Entwurf von Netzwerkcodes“

von

Andreas Krinke

geboren am 18. Juni 1984 in Dresden

zur Erlangung des akademischen Grades

DIPLOMINGENIEUR

(Dipl.-Ing.)

Tag der Einreichung: 31. Dezember 2009

Betreuer der Diplomarbeit: Prof. Dr.-Ing. E. Jorswieck

Verantwortlicher Hochschullehrer: Prof. Dr.-Ing. E. Jorswieck

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN

FAKULTÄT ELEKTROTECHNIK UND INFORMATIONSTECHNIK

Aufgabenstellung für die Diplomarbeit

für Herrn Andreas Krinke

Thema Automatisierter Entwurf von Netzwerkcodes

Zielsetzung:

Vor 10 Jahren wurde die Netzwerkcodierung als neues Konzept eingeführt und es konnte gezeigt werden, dass eine gemeinsame Codierung mehrerer Pakete an Netzwerkknoten zu einer substantiellen Durchsatzsteigerung führen kann [Ahl00]. Für statische Netzwerktopologien kann ein deterministischer Netzwerkcode entworfen werden, der mit minimaler Alphabetgröße den min-cut max-flow Wert des Netzwerkes erreicht [Fra07].

In der Diplomarbeit soll der systematische Entwurf von Netzwerkcodes weiter entwickelt und besser verstanden werden. Dazu soll ein Werkzeug entwickelt werden, welches erlaubt

1. eine Netzwerktopologie zu definieren als gewichteten und gerichteten azyklischen Graphen $G = (V, E)$ (mit/ohne Verzögerungen) und mit h Quellen und N Empfängern und
2. das multi-cast Netzwerkcodierungsproblem automatisiert in den folgenden Schritten zu lösen:
 - (a) Berechnung des min-cut max-flow Wertes mithilfe des Ford-Fulkerson Algorithmus für alle Empfänger.
 - (b) Erzeugung und Darstellung des Linengraphens nach [Fra07, Abs. 3.1.2].
 - (c) Minimale Teilbaumzerlegung und Darstellung nach [Fra07, Abs. 3.3.1].
 - (d) Konstruktion der Zustandsübergangsfunktionen $\mathbf{A}_1, \dots, \mathbf{A}_N$ nach [Fra07, Abs. 3.2].
 - (e) Entwicklung eines Algorithmus zur Bestimmung der Netzwerkcodierungskoeffizienten über einem geeigneten Alphabet F_q zum Beispiel nach [Fra07, Abs. 5.2], so dass $\prod_{k=1}^N \det(\mathbf{A}_k) \neq 0$.

Das Werkzeug wird mit den Standardmodellen in der Literatur getestet und auf minimale Alphabetgröße und geringe Komplexität optimiert. Analytische Abschätzungen der minimalen Alphabetgröße werden diskutiert und illustriert.

Literatur:

[Ahl00] Rudolf Ahlswede, Ning Cai, Shuo-Yen Robert Li und Raymond W. Yeung: 'Network Information Flow', IEEE Trans. on Inf. Theory, vol. 46, no. 4, Juli 2000.

[Fra07] Christina Fragouli und Emina Soljanin: 'Network Coding Fundamentals', Foundations and Trends in Networking, vol. 2, no. 1, Now publishers, 2007.

Betreuer Prof. Dr.-Ing. E. Jorswieck

Ausgehändigt am 01.07.2009

Einzureichen bis 31.12.2009

Prof. Dr.-Ing. Großmann
Vorsitzender des Prüfungsausschusses

Prof. Dr.-Ing. Jorswieck
Verantwortlicher Hochschullehrer

Kurzfassung

Das vor circa zehn Jahren entstandene Fachgebiet der Netzwerkcodierung beschäftigt sich mit Netzwerken, deren einzelne Knoten die ankommenden Pakete nicht nur weiterleiten, sondern auch kombinieren können. Im Rahmen dieser Arbeit entstand ein Werkzeug, das nach Eingabe einer Netzwerktopologie automatisch Netzwerkcodes für ein Multicast-Szenario entwerfen kann. Der Prozess ist in mehrere Zwischenschritte unterteilt, minimiert die auftretenden Verzögerungen und unterstützt zwei verschiedene Algorithmen zur Bestimmung der Codes. Durch die Anwendung der Netzwerkcodierung kann der Durchsatz erhöht und die Ressourcenauslastung verbessert werden.

Nach der Vermittlung der zum Verständnis notwendigen Grundlagen wird der Hauptsatz der Netzwerkcodierung erläutert. Den Hauptteil bildet die Beschreibung der Implementation des Werkzeugs.

Abstract

The scientific field of network coding had its advent about ten years ago. It introduced networks in which the nodes not only route incoming packets, but also combine them. Within the scope of this diploma thesis a tool was created that can automatically design network codes for multicasting in a specified network. This process consists of several steps, minimizes the delays until the receivers can decode a packet and supports two different algorithms for the design of the code. The utilization of network coding increases the throughput and performance of the network.

At the beginning, the basics which are necessary to understand network coding are imparted. Afterwards, the foundation of the field, the main theorem of network multicast, is explained and analyzed. In the main part the details of the implementation of the tool are described.

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	1
Kapitel 1 Grundlagen	3
1.1 Grundlegende Definitionen der Graphentheorie	3
1.1.1 Gerichtete Graphen	6
1.1.2 Weitere Darstellungen	9
1.2 Verwendete Algorithmen	11
1.2.1 Breitensuche	12
1.2.2 Tiefensuche	13
1.2.3 Topologische Sortierung	15
1.3 Flüsse auf Graphen	16
1.3.1 Algorithmus von Ford und Fulkerson	21
1.3.2 Algorithmus von Edmonds und Karp	22
Kapitel 2 Hauptsatz der Netzwerkcodierung	24
2.1 Erweiterung des Hauptsatzes	30
2.2 Multicast-Modell	31
2.2.1 Grundlegendes Modell	31
2.2.2 Liniengraph-Modell	34
2.2.3 Teilbaumgraph-Modell	35
2.3 Algebraische Interpretation	38
Kapitel 3 Beschreibung der Implementation	42
3.1 Überblick	42
3.2 Benutzerschnittstelle	45
3.2.1 Anzeige und visuelle Modifikation von Graphen	47
3.2.2 Automatisches Layout	48
3.2.3 Laden, Speichern und Export	49
3.3 Interne Repräsentation des Netzwerks	50
3.3.1 Validierung	51
3.3.2 Vorverarbeitung	52
3.4 Bestimmung des maximalen Flusses	53
3.5 Erzeugung und Minimierung des Liniengraphen	55

3.5.1	Minimierung	56
3.6	Teilbaumzerlegung	57
3.7	Konstruktion der Transfermatrizen	60
3.7.1	Konstruktion der benötigten Matrizen	60
3.7.2	Symbolische Lösung	62
3.8	Bestimmung der Netzwerkcodierungskoeffizienten	65
3.8.1	Erschöpfende Suche zur Minimierung der Alphabetgröße	66
3.8.2	Linearer Informationsfluss - Algorithmus	71
Kapitel 4	Ausgewählte Beispiele	75
4.1	Beispiel 1	75
4.2	Beispiel 2	79
4.3	Beispiel 3	82
4.4	Beispiel 4	86
	Zusammenfassung	90
	Literaturverzeichnis	92
	Abbildungsverzeichnis	93
	Algorithmenverzeichnis	94