

Algorithmen für Routenplanung – Vorlesung 12

Daniel Delling

Lehrstuhl für Algorithmik I
Institut für theoretische Informatik
Universität Karlsruhe (TH)
Forschungsuniversität · gegründet 1825

Letztes Mal: Multikriterielle Wege

Szenario:

- » schnellste Verbindung häufig nicht die Beste
- » Anzahl Umstiege, Fahrtkosten, Distanz, etc.
- » multikriterielle kürzeste Wege



Zusammenfassung Multikriterielle Wege

Basismodule:

- ? bidirektionale Suche
- ? landmarken
- + Kontraktion
- + arc-flags
- ? Table Look-ups

angepasst haben wir:

- » SHARC
- » aber nur effizient mit Einschränkung des Pareto-Sets

Heute: Multi-Modale, Zusammenfassung

Multi-Modale Routenplanung:

- » beste Verbindungen in kombinierten Netzwerken

Zusammenfassung der Vorlesung

- » Schwerpunkte festzurren

Motivation

Bisher: uni-modale Routenplanung

- ›› Beschränkung auf ein Transportnetz
- ›› zeitunabhängig und zeitabhängig getrennt von einander

letztenendes wollen wir:

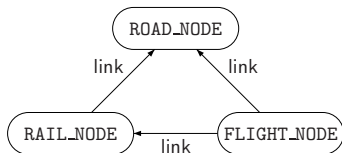
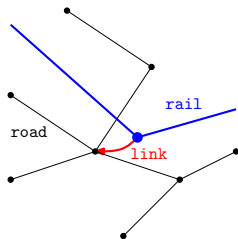
- ›› wähle Start und Ziel,
- ›› gewünschte Typen von Transportmitteln (Auto, Zug, Flug, ...)
- ›› ... in einem gemischten Netzwerk



Combination der Netzwerke

Zwei phasen Algorithmus:

1. Verbinde alle Graphen,
2. und verbinde sie durch einfügen von Kanten



- »» Benötigt effiziente Lösung des Nearest Neighbor Problem.
- »» Label Knoten und Kanten entsprechend ihres Ursprungs.

Das Earliest Arrival Problem

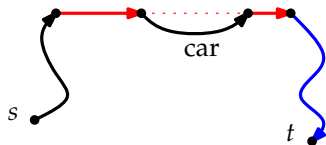
Definition (Earliest Arrival Problem)

Gegeben ein (multi-modales) Netzwerk, ein Startknoten s und Zielknoten t , sowie eine Abfahrtszeit τ_s . Finde die Route mit möglichst früher Ankunftszeit an t .

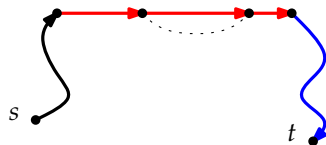
Entspricht zeitabhängigen kürzesten Wege Problem.

Problem

Unerwünschte Routen



shortest path



desirable path

⇒ Ändere die Anfragen

Label Constrained Shortest Path Problem

Definition (Label Constr. Shortest Path Problem)

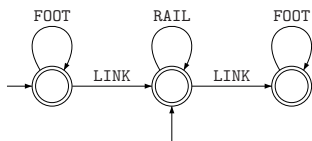
Gegeben ein Σ -gelabelter Graph $G = (V, E)$, ein Startknoten s und Zielknoten t , sowie eine Abfahrtszeit τ_s . Finde die Route mit möglichst früher Ankunftszeit an t , so dass die kanten-label ein Wort einer Sprache $L \subseteq \Sigma^*$ bilden.

Theorem (Barrett et al., 2000)

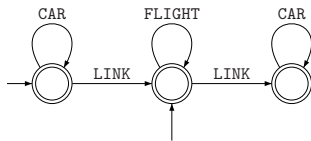
Das Label Constrained Shortest Path Problem (LCSP) lösbar in polynomialer Zeit wenn L eine reguläre Sprache ist.

Label Constrained Shortest Path Problem

Beschränkungen an Transporttypen durch endliche Automaten \mathcal{A}



foot and rail



car and flight

Löse das Label Constrained Shortest Path Problem:

- » Dijkstra's algorithm auf Produktnetzwerk $G \times \mathcal{A}$ mit
- » impliziter Berechnung von $G \times \mathcal{A}$.

Module

- » **Bidirektionale Suche** [Dantzig, 1962]
einfach anpassbar (zeitabhängigkeit?)
- » **Zielgerichtete Suche**
ALT [Goldberg et al., 2005] anpassbar, geringe Beschleunigung,
Arc-Flags [Lauther, Möhring et al., 2005] schwierig
- » **Kontraktion** [Sanders et al., 2005]
anpassbar mit Einschränkung
- » **Table-Lookups** [Bast et al. 2007]

Heute: **Access-Node Routing**

- » Ideen von Transit-Node Routing (Table-Lookups)

Kontraktion

Beobachtung:

- » Knoten mit niedrigem Grad unwichtig

kontrahier Graphen:

- » entferne Knoten
- » füge Shortcuts hinzu

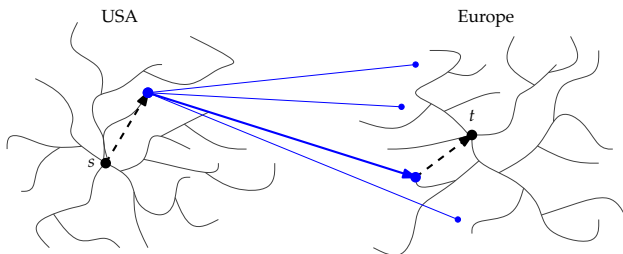
Adaption:

- » kontrahiere keine Knoten mit inzidenten Link-Kanten
- » dadurch keine Transfers auf den Kanten

Access-Node Routing: Idee

Annahme: Straßennetzwerk nur am Anfang und Ende

Beobachtung: Anzahl der “relevanten” Einstiegspunkte klein



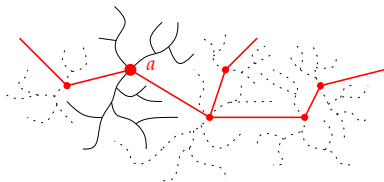
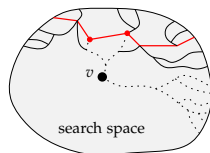
Idee: berechne für alle Straßenknoten seine Access-Nodes
berechne auch Distanzen

Access-Node Routing: Vorberechnung

Zwei Ansätze für Bestimmung von Access-Nodes:

Vorwärts

- » Exakte Access-Nodes
- » Benötigt Profil-Suchen für jeden Straßenknoten



Inverser Ansatz

- » Approximation (zu viele Access-Nodes)
- » nur eine Profil-Suche pro Knoten im public transport netz

Vorwärts-Ansatz (momentan) zu langsam

Access-Node Routing: Anfragen

Gegeben: Knoten s und t im Straßennetz

Zwei Phasen Anfrage

- » Springe ins PTN durch **access-nodes** zu s bzw. t
- » Berechne Distanzen zwischen Access-Knoten

Anfragealgorithmus in PTN unabhängig

Problem:

- » nicht alle Wege durch das PTN
- » keine effiziente Locality-Filter wie bei TNR
- » Check-Anfrage auf Straßennetzwerk
- » mit CHASE

Core-Based Access-Node Routing

Idee:

- » Reduziere Speicherverbrauch
- » Kombiniere Access-Node Routing mit Contraction

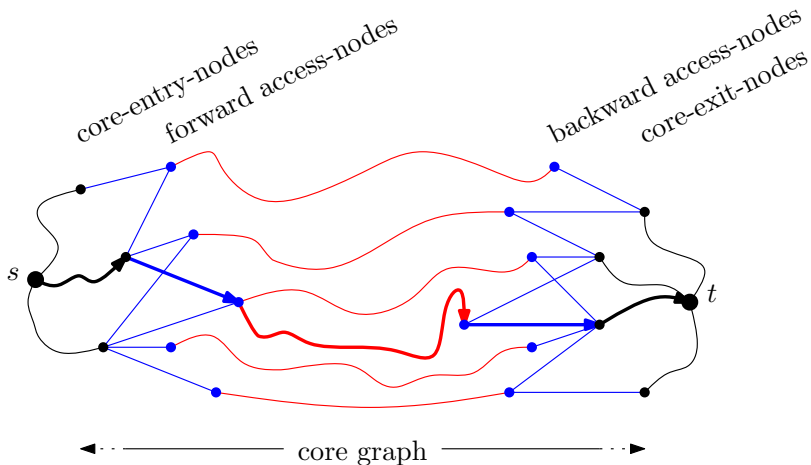
Vorbereitung:

- » Kontraktion auf Straßennetzwerk
- » Access-Nodes nur für nicht kontrahierte Knoten berechnen (auf Kern)

Anfrage:

- » Dijkstra bis zum Kern
- » dann ANR-Anfrage

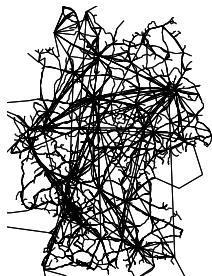
Core-Based Access-Node Routing: Beispiel



Inputs

Zwei Eingaben: **Deutschland** und **Nord Amerika & Europa**

#	germany	na-eur
road crossings	4 692 524	50 181 903
road segments	11 279 784	124 458 952
railway stations	498	—
railway connections	18 096	—
airports	—	359
flight connections	—	32 621



Einfluß der Automaten

Dijkstra's auf na-eur:

Automaton	Relaxed Edges	Settled Nodes	time [s]
car	67 741 290	14 156 302	16.74
everything	108 677 456	22 672 284	39.50
car-and-flight	169 075 629	35 155 882	45.43
everything-reas.	213 882 663	44 599 766	87.32

Beobachtung:

» Anfrage massiv abhängig vom Automaten

Access-Node Routing: Vorberechnung

Network	Core- Based	AN- Cand.	Forw. ANs	Backw. ANs	Time [min]	Space [B/n]
germany		473	6.8%	4.4%	143	435.2
germany	✓	473	6.5%	4.1%	26	55.6
na-eur	✓	359	33.0%	33.1%	161	223.5

Beobachtung:

» Speicherverbrauch sinkt durch Kontraktion

Access-Node Routing: Anfragen

Network	Dijkstra		Access-Node Routing			
	Settled Nodes	Time [ms]	Core-Based	Settled Nodes	Time [ms]	Speed-up
germany	2 483 030	3 491.7		13 779	4.7	742.9
germany	2 483 030	3 491.7	✓	14 017	6.1	572.4
na-eur	46 244 703	72 566.3	✓	4 337	2.3	31 550.5

Beobachtung:

- große Beschleunigung für ANR
- Kontraktion kaum Einfluß auf Performance

Drei Phasen

Network	initialization phase	access-node lookup	public transport	total [ms]	local queries
germany	0.15 (2.4%)	0.08 (1.4%)	5.87 (96.2%)	5.8	2.3%
na-eur	0.42 (18.2%)	0.18 (7.9%)	1.70 (73.9%)	2.3	24%

Beobachtung:

- » meiste Zeit in PTN
- » viel Zeit in Initialisierung

Momentan:

- » ersetze Suchen in PTN durch table-lookups
- » multi-kriterielle Wege
- » weitere Beschleunigung auf unter 0.5 ms

Zusammenfassung Multi-Modale Routenplanung

- » kombiniere mehrere Transportnetze zu multi-modalen Netzwerk
- » beste Verbindungen sind label-constrained kürzeste Wege
- » **Access-Node Routing**: überspringe das Straßennetzwerk
- » **Kombiniere** Access-Node Routing mit **Kontraktion** um Vorberechnungsplatz zu reduzieren

Public transp. Netzwerk kann vom Straßennetz *separiert* werden,
damit unabhängige Algorithmen

Offene Probleme

Hiwi/Studien-/Diplomarbeiten:

- » Multi-Modale Routenplanung (wir sind erst am Anfang)
- » Schnelle Berechnung von Arc-Flags
- » Visualisierung ALT
- » Reintegration von CH in "ältere" Shortcutbasierte Techniken (RE, HH, SHARC)
- » Algorithm Engineering für Flußnetzwerke (Ideen aus Routenplanung)
- » Straßengraphengeneratoren
- » effiziente Implementation einer gemischten Schienenfunktion

bei Interesse bei Thomas Pajor oder Reinhard Bauer melden

Grundlagen

- » Dijkstra
- » worst-case Laufzeiten
- » Abbruchkriterium
- » bidirektionaler Dijkstra
- » Strategien zum Abwechslern der Suchen

Zielgerichtete Techniken

- » A^*
- » ALT
- » birektionaler ALT
- » Geometrische Container
- » Arc-Flags

Hierarchische Techniken

- » Reach
- » Reach + Shortcuts (RE)
- » Highway Hierarchies
- » Highway-Node Routing
- » Contraction Hierarchies
- » Transit-Node Routing

Kombinationen

- » REAL
- » SHARC
- » Core-ALT
- » CH + Arc-Flags
- » TNR + Arc-Flags*

Zeitabhängigkeit

Grundlagen:

- » Funktionen
- » Operationen auf Funktionen (Laufzeit)
- » Zeit- vs. Profilanfragen
- » Graph-Datenstruktur

Beschleunigungstechniken:

- » Modulgedanke
- » Anpassung der einfachen Techniken
- » Welche Beschleunigungstechniken somit gut anpassbar

Multikriterielle Wege

Grundlagen:

- » Was sind multi-kriterielle Wege
- » Modellierung
- » Einschränkung des Paretosets

Beschleunigungstechniken:

- » Modulgedanke
- » Anpassung der einfachen Techniken
- » Welche Beschleunigungstechniken somit gut anpassbar

Multi-Modale Routenplanung

Grundlagen:

- » Was ist multi-modale Routenplanung
- » Modellierung

Beschleunigungstechniken:

- » Modulgedanke
- » Access-Node Routing

Prüfungstermine

- » **bevorzugt:** 31.8./1.9.
- » **alternative:** Ende September/Anfang Oktober (bei Prof. Wagner)

Vielen Dank für die Mitarbeit!