Karlsruher Institut für Technologie

Algorithmen für Routenplanung

11. Vorlesung, Sommersemester 2017

Moritz Baum | 12. Juni 2017

Institut für Theoretische Informatik · Algorithmik · Prof. Dr. Dorothea Wagner

Zwischenstand

1. Grundlagen
   - Datenstrukturen
   - Algorithmen
   - “Basisoperation” Kontraktion
2. Beschleunigungstechniken in Straßennetzen
3. Erweiterte Problemstellungen in Straßennetzen
4. Fahrplanauskunft
5. Multimodale Routenplanung

Zwischenstand

1. Grundlagen
2. Beschleunigungstechniken in Straßennetzen
   - ALT
   - Arc-Flags
   - Reach
   - MLD
   - (C)CH
   - HL
   - TNR
3. Erweiterte Problemstellungen in Straßennetzen
4. Fahrplanauskunft
5. Multimodale Routenplanung

Zwischenstand

1. Grundlagen
2. Beschleunigungstechniken in Straßennetzen
3. Erweiterte Problemstellungen in Straßennetzen
   - Alternativrouten
   - zeitabhängige Routen
   - one2all, one2many, many2many
   - POIs
   - Isochronen
   - Abbiegekosten
   - multikriterielle Routen
   - Elektromobilität
4. Fahrplanauskunft
5. Multimodale Routenplanung

1. Dynamische Szenarien

Szenario:

- Unfall auf einer Straße
- Reisezeit ändert sich auf dieser Straße
- berechne schnellsten Weg bezüglich der aktualisierten Reisezeiten

Hauptproblem:

- Kantengewichte ändern sich
- Vorberechnung basiert auf ursprünglichen Kantengewichten
- komplette Vorberechnung für jeden Stau wenig sinnvoll

Lösung:

- “Customizable” Techniken (MLD, CCH)
- Anpassungen auch für ALT und “klassische” CH möglich

2. Zeitabhängiges Szenario

Szenario:

- Historische Daten für Verkehrssituation verfügbar
- Verkehrssituation vorhersagbar
- Berechne schnellsten Weg bezüglich der erwarteten Verkehrssituation (zu einem gegebenen Startzeitpunkt)

Rest der heutigen Vorlesung behandelt dieses Szenario. . .

Herausforderung

Hauptproblem:

- Kürzester Weg hängt von Abfahrtszeitpunkt ab
- Eingabegröße steigt massiv an

Herausforderung

Hauptproblem:

- Kürzester Weg hängt von Abfahrtszeitpunkt ab
- Eingabegröße steigt massiv an

Vorgehen:

- Modellierung
- Anpassung Dijkstra
- Anpassung Beschleunigungstechniken

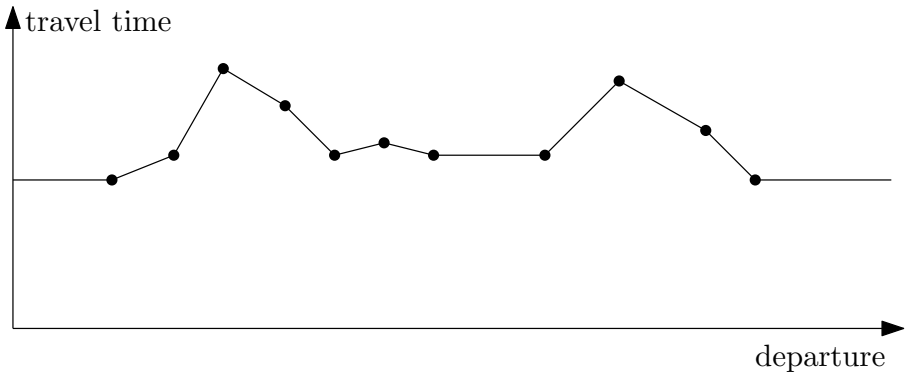
Zeitabhängige Straßennetzwerke

Eingabe:

- Durchschnittliche Reisezeit zu bestimmten Zeitpunkten
- Jeden Wochentag verschieden
- Sonderfälle: Urlaubszeit

Somit an jeder Kante:

- Periodische stückweise lineare Funktion
- Definiert durch Stützpunkte
- Interpoliere linear zwischen Stützpunkten



FIFO-Eigenschaft

Definition

Sei $f : \mathbb{R}_0^+ \to \mathbb{R}_0^+$ eine Funktion. f erfüllt die *FIFO-Eigenschaft*, wenn für jedes $\varepsilon > 0$ und alle $\tau \in \mathbb{R}_0^+$ gilt, dass

$$\tau + f(\tau) \leq \tau + \varepsilon + f(\tau + \varepsilon).$$

Diskussion

- Interpretation: “Warten/Später ankommen lohnt sich nie”
- Kürzeste Wege auf Graphen mit non-FIFO Funktionen zu finden ist NP-schwer.
  (wenn warten an Knoten nicht erlaubt ist)

  $\Rightarrow$ Sicherstellen, dass Funktionen FIFO-Eigenschaft erfüllen.

Diskussion

Eigenschaften “Zeitabhängigkeit”:

- Topologie ändert sich nicht
- Kanten gemischt zeitabhängig und konstant
- variable (!) Anzahl Interpolationspunkte pro Kante

Diskussion

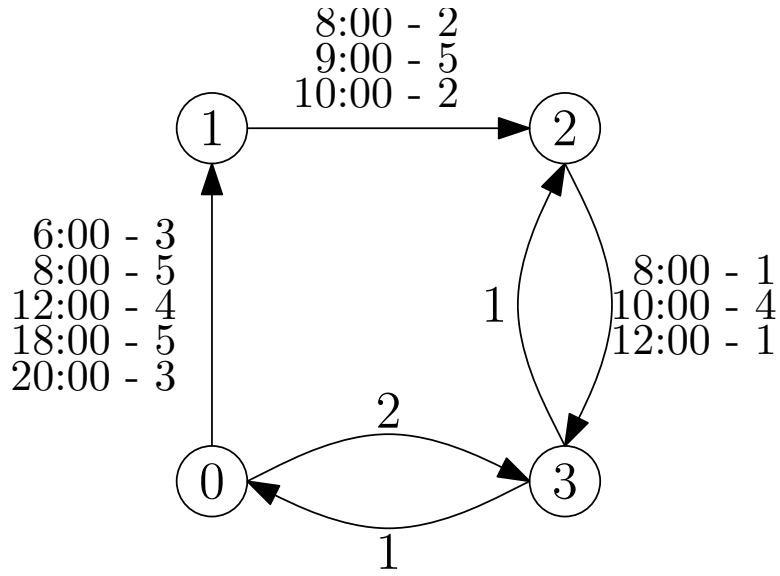
Eigenschaften “Zeitabhängigkeit”:

- Topologie ändert sich nicht
- Kanten gemischt zeitabhängig und konstant
- variable (!) Anzahl Interpolationspunkte pro Kante

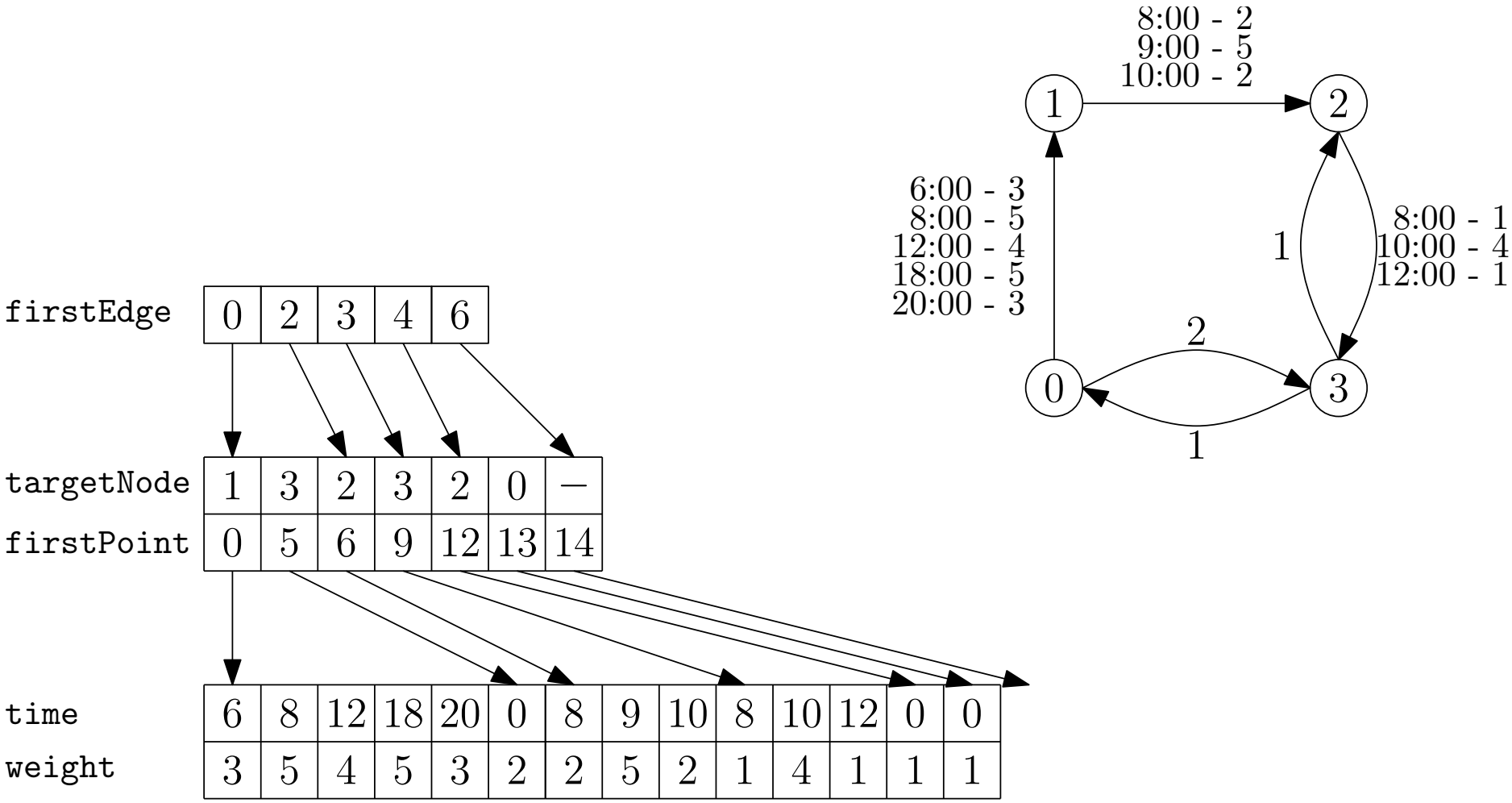
Voraussetzung:

- FIFO gilt auf allen Kanten

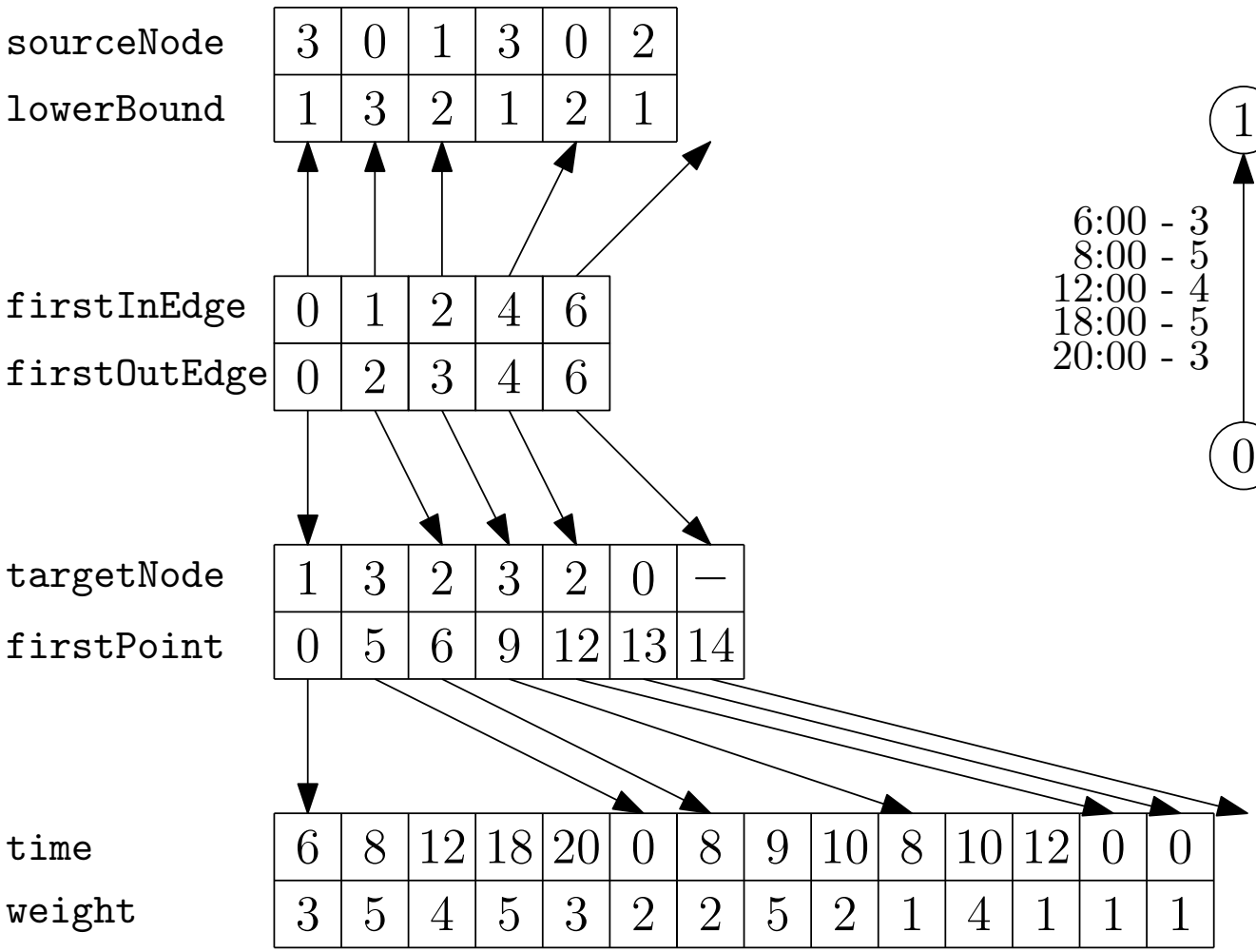
Datenstruktur

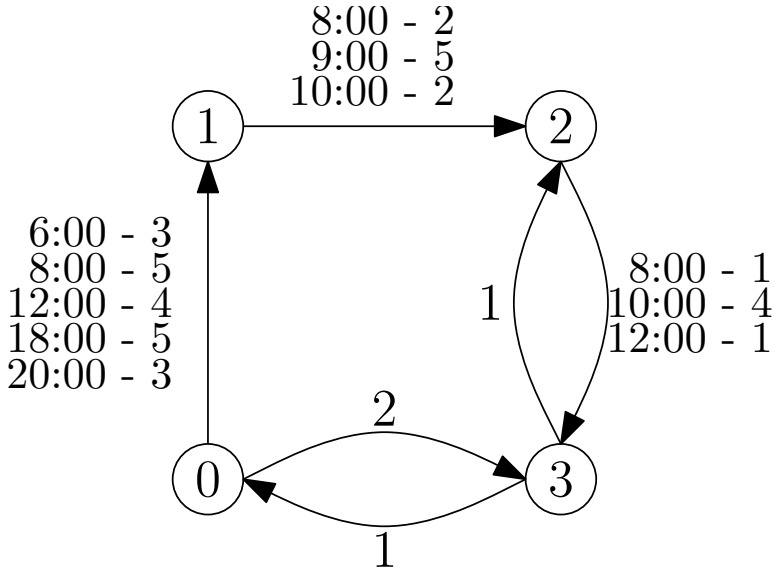


Datenstruktur



Datenstruktur





Anfrageszenarien

Zeit-Anfrage:

- finde kürzesten Weg für Abfahrtszeit τ
- analog zu Dijkstra?

Anfrageszenarien

Zeit-Anfrage:

- finde kürzesten Weg für Abfahrtszeit τ
- analog zu Dijkstra?

Profil-Anfrage:

- finde kürzesten Weg für alle Abfahrtszeitpunkte
- analog zu Dijkstra?

Zeit-Anfragen

Ziel: finde kürzesten Weg für Abfahrtszeit τ

`Time-Dijkstra`$(G = (V, E), s, \tau)$

```
1  d_τ[s] = 0
2  Q.clear(), Q.add(s, 0)
3  while !Q.empty() do
4      u ← Q.deleteMin()
5      for all edges e = (u, v) ∈ E do
6          if d_τ[u] + len(e, τ + d_τ[u]) < d_τ[v] then
7              d_τ[v] ← d_τ[u] + len(e, τ + d_τ[u])
8              p_τ[v] ← u
9              if v ∈ Q then Q.decreaseKey(v, d_τ[v])
10
11             else Q.insert(v, d_τ[v])
```

Diskussion Zeit-Anfragen

Beobachtung:

- Nur ein Unterschied zu Dijkstra
- Auswertung der Kanten

Diskussion Zeit-Anfragen

Beobachtung:

- Nur ein Unterschied zu Dijkstra
- Auswertung der Kanten

non-FIFO Netzwerke:

- Im Kreis fahren kann sich lohnen
- NP-schwer (wenn warten an Knoten nicht erlaubt ist)
- Transportnetzwerke sind meist FIFO modellierbar

Profil-Anfragen

Ziel: finde kürzesten Weg für alle Abfahrtszeitpunkte

`Profile-Search`$(G = (V, E), s)$

```
1  d_*[s] = 0
2  Q.clear(), Q.add(s, 0)
3  while !Q.empty() do
4      u ← Q.deleteMin()
5      for all edges e = (u, v) ∈ E do
6          if d_*[u] ⊕ len(e) ≱ d_*[v] then
7              d_*[v] ← min(d_*[u] ⊕ len(e), d_*[v])
8              if v ∈ Q then Q.decreaseKey(v, d[v])
9
10             else Q.insert(v, d[v])
```

Diskussion Profil-Anfragen

Beobachtungen:

- Operationen auf Funktionen
- Priorität im Prinzip frei wählbar
  ($\underline{d}[u]$ ist das Minimum der Funktion $d_*[u]$)
- Knoten können mehrfach besucht werden $\Rightarrow$ label-correcting

Herausforderungen:

- Wie effizient $\oplus$ berechnen (Linken)?
- Wie effizient Minimum bilden?

Operationen

Funktion gegeben durch:

- Menge von Interpolationspunkten
- $I^f := \{(t_1^f, w_1^f), \ldots, (t_k^f, w_k^f)\}$

3 Operationen notwendig:

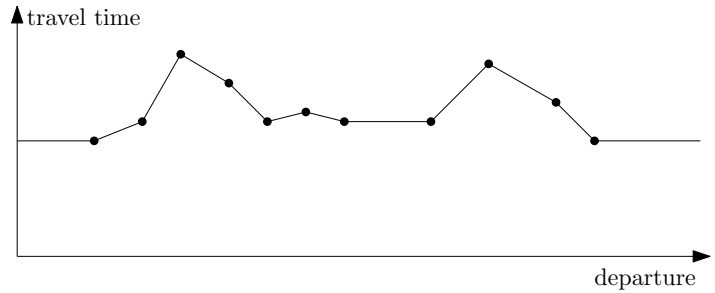
- Auswertung
- Linken $\oplus$
- Minimumsbildung
- Vergleich $\not\geq$
  (ist analog zu Minimumsbildung)

Auswertung

Evaluation von $f(\tau)$:

- Suche Punkte mit $t_i \leq \tau$ und $t_{i+1} \geq \tau$
- dann Evaluation durch

$$f(\tau) = w_i + (\tau - t_i) \cdot \frac{w_{i+1} - w_i}{t_{i+1} - t_i}$$

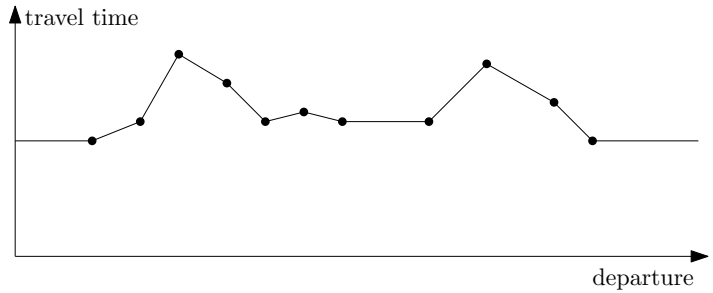


Auswertung

Evaluation von $f(\tau)$:

- Suche Punkte mit $t_i \leq \tau$ und $t_{i+1} \geq \tau$
- dann Evaluation durch

$$f(\tau) = w_i + (\tau - t_i) \cdot \frac{w_{i+1} - w_i}{t_{i+1} - t_i}$$



Problem:

- Finden von t_i und t_{i+1}
- Theoretisch:
  - Lineare Suche: $\mathcal{O}(|I|)$
  - Binäre Suche: $\mathcal{O}(\log_2 |I|)$
- Praktisch:
  - $|I| < 30 \Rightarrow$ lineare Suche
  - Sonst: Lineare Suche mit Startpunkt $\frac{\tau}{\Pi} \cdot |I|$
    wobei Π die Periodendauer ist

Linken

Definition

Seien $f : \mathbb{R}_0^+ \to \mathbb{R}_0^+$ und $g : \mathbb{R}_0^+$ zwei Funktionen die die FIFO-Eigenschaft erfüllen. Die Linkoperation $f \oplus g$ ist dann definiert durch

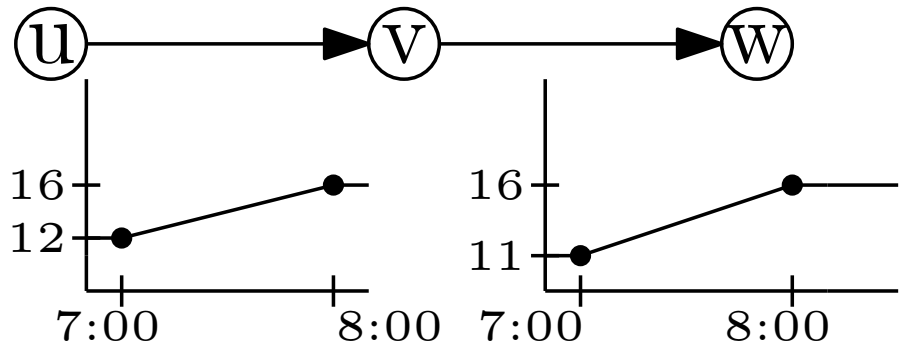
$$f \oplus g := f + g \circ (\mathrm{id} + f)$$

Oder

$$(f \oplus g)(\tau) := f(\tau) + g(\tau + f(\tau))$$

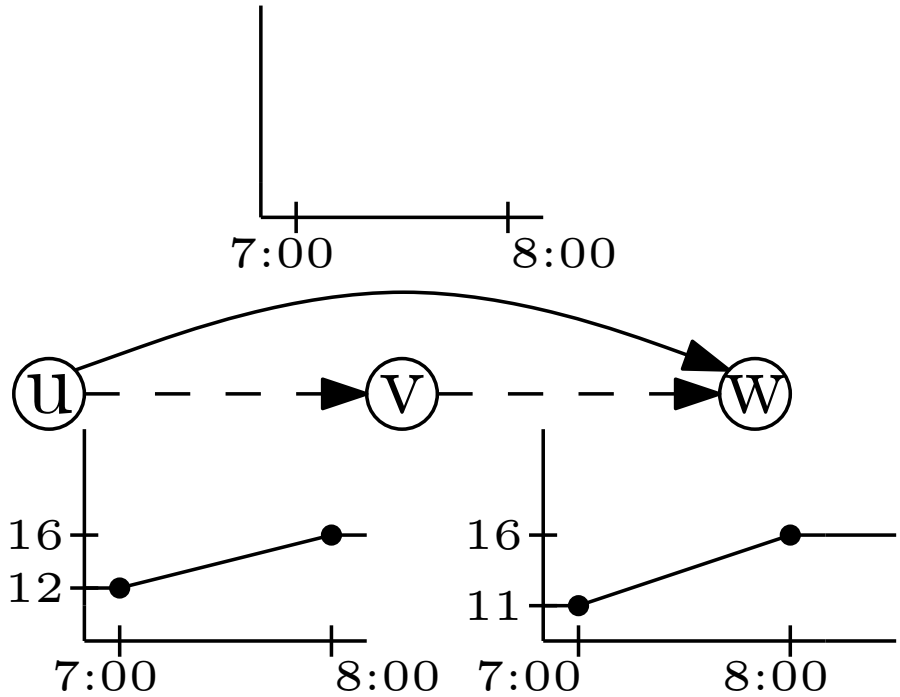
Linken

Linken zweier Funktionen f und g



Linken

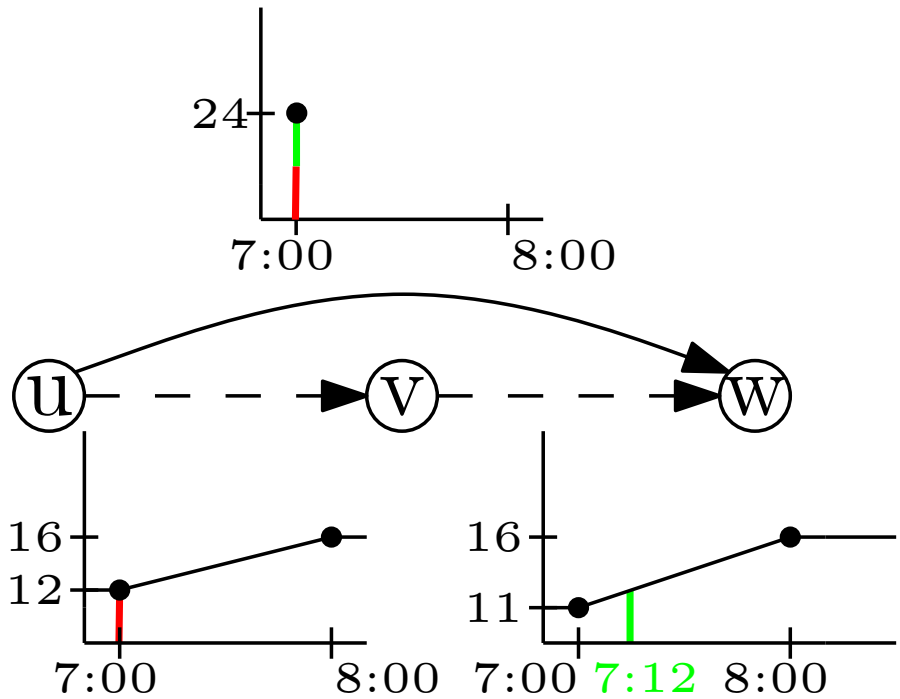
Linken zweier Funktionen f und g



Linken

Linken zweier Funktionen f und g

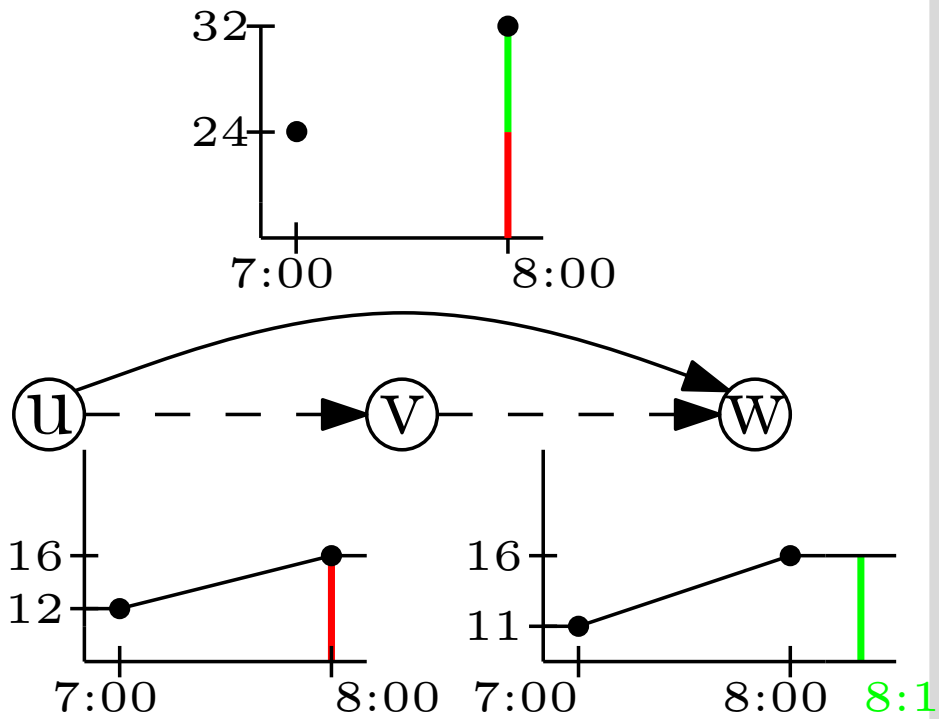
- $f \oplus g$ enthält auf jeden Fall
  $\{(t_1^f, w_1^f + g(t_1^f + w_1^f)), \ldots, (t_l^f, w_l^f + g(t_l^f + w_l^f))\}$



Linken

Linken zweier Funktionen f und g

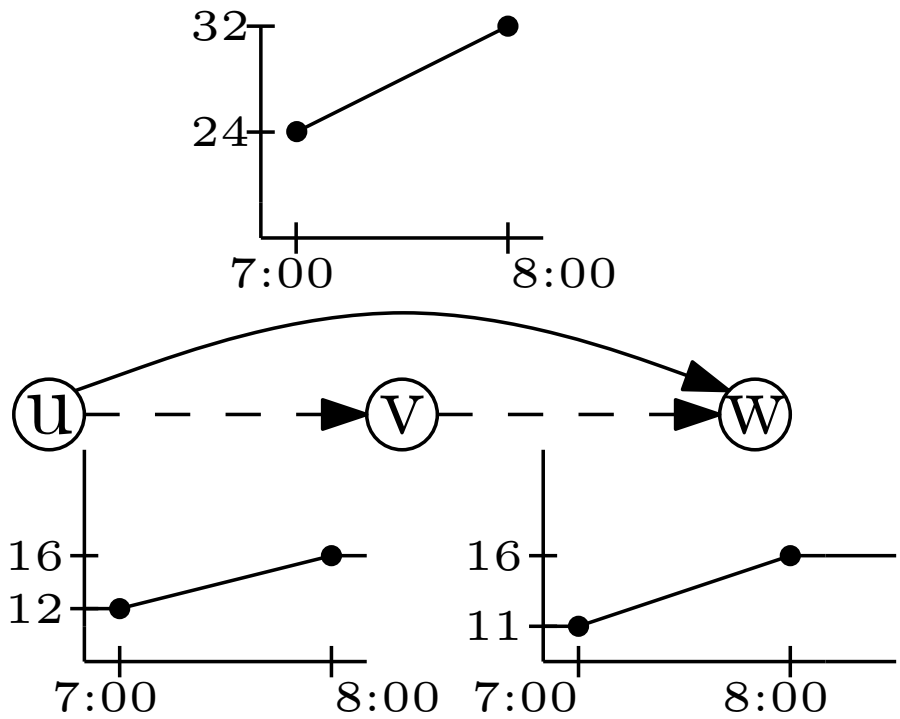
- $f \oplus g$ enthält auf jeden Fall
  $\{(t_1^f, w_1^f + g(t_1^f + w_1^f)), \ldots, (t_l^f, w_l^f + g(t_l^f + w_l^f))\}$



Linken

Linken zweier Funktionen f und g

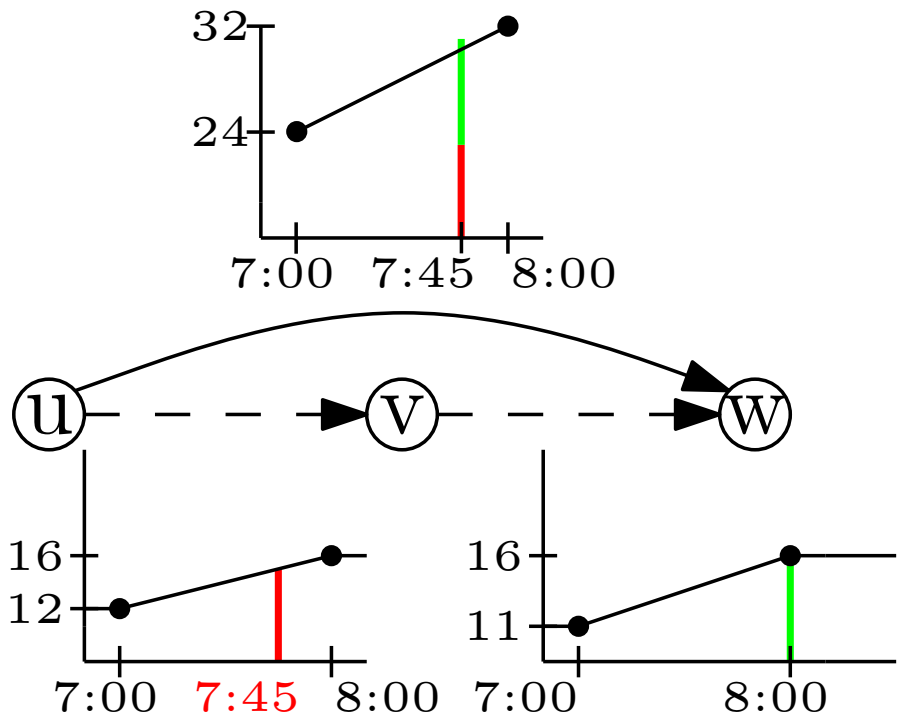
- $f \oplus g$ enthält auf jeden Fall
  $\{(t_1^f, w_1^f + g(t_1^f + w_1^f)), \ldots, (t_l^f, w_l^f + g(t_l^f + w_l^f))\}$



Linken

Linken zweier Funktionen f und g

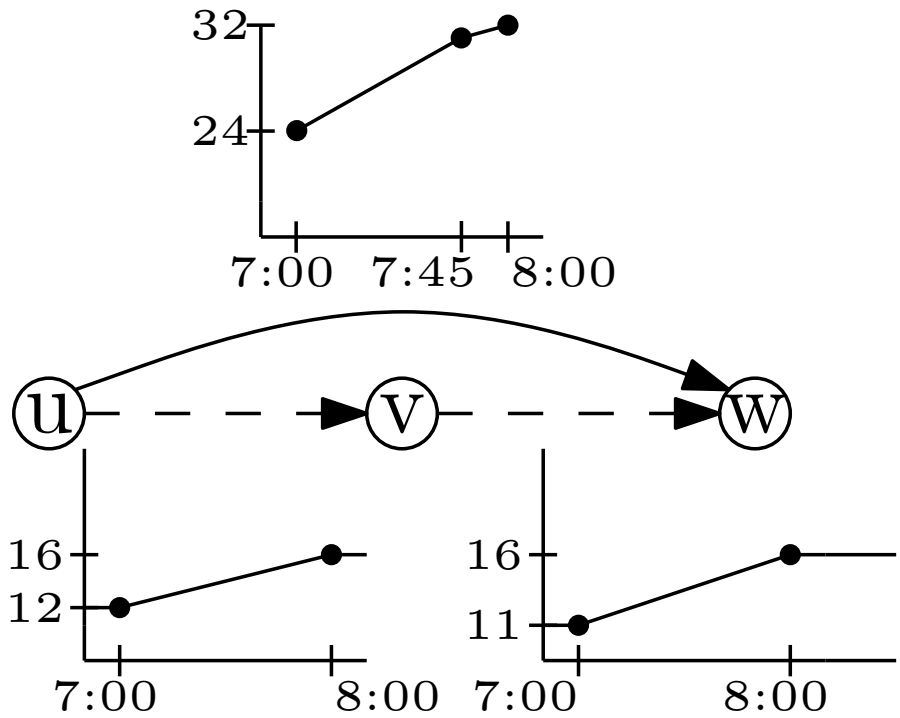
- $f \oplus g$ enthält auf jeden Fall
  $\{(t_1^f, w_1^f + g(t_1^f + w_1^f)), \ldots, (t_l^f, w_l^f + g(t_l^f + w_l^f))\}$



Linken

Linken zweier Funktionen f und g

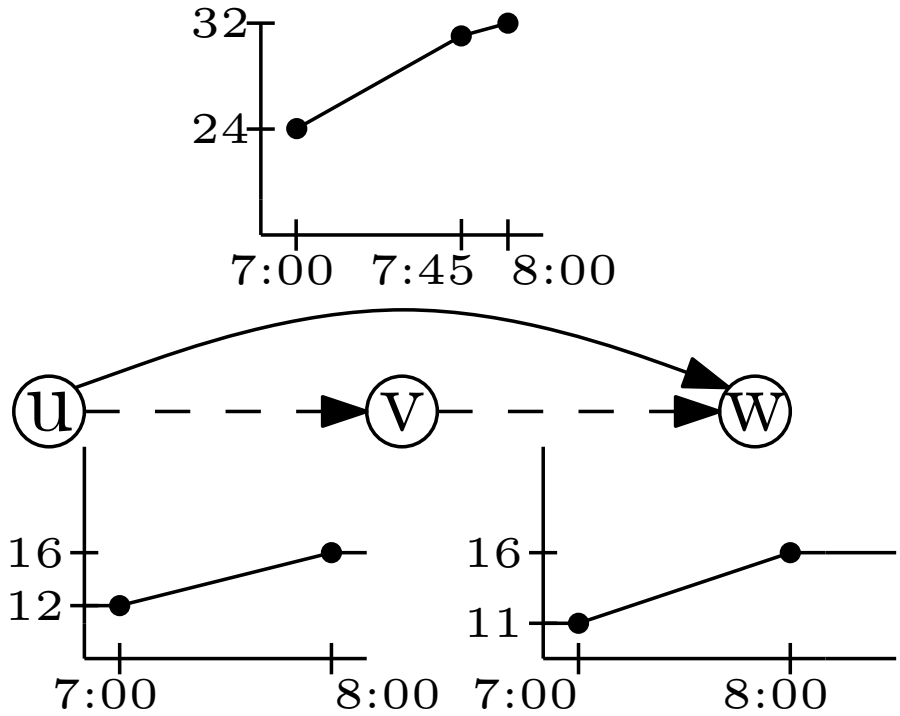
- $f \oplus g$ enthält auf jeden Fall $\{(t_1^f, w_1^f + g(t_1^f + w_1^f)), \ldots, (t_l^f, w_l^f + g(t_l^f + w_l^f))\}$
- Zusätzliche Interpolationspunkte an t_j^{-1} mit $f(t_j^{-1}) + t_j^{-1} = t_j^g$



Linken

Linken zweier Funktionen f und g

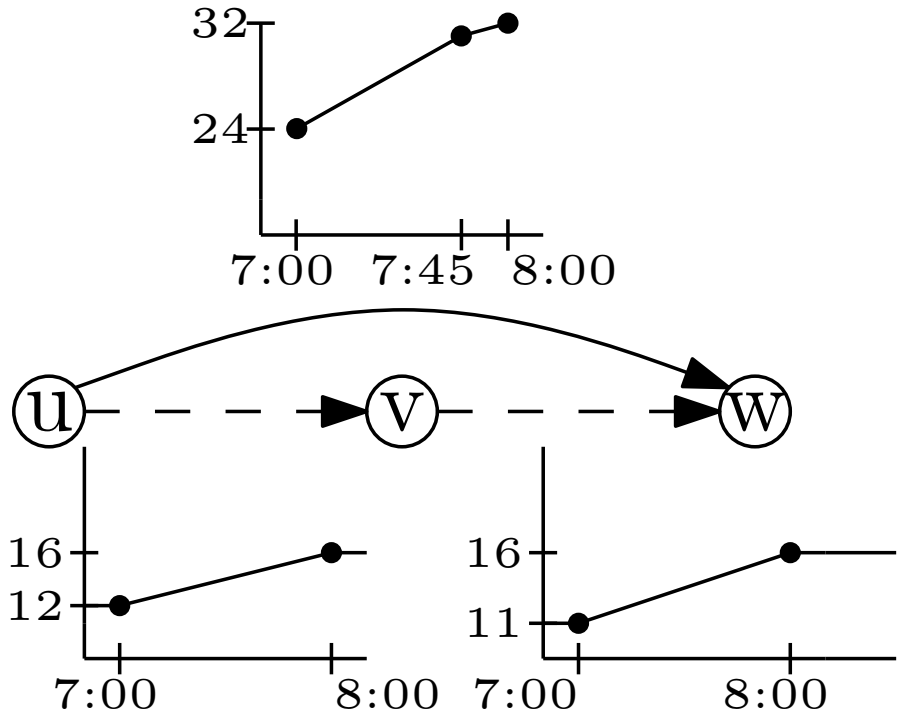
- $f \oplus g$ enthält auf jeden Fall $\{(t_1^f, w_1^f + g(t_1^f + w_1^f)), \ldots, (t_l^f, w_l^f + g(t_l^f + w_l^f))\}$
- Zusätzliche Interpolationspunkte an t_j^{-1} mit $f(t_j^{-1}) + t_j^{-1} = t_j^g$
- Füge $(t_j^{-1}, f(t_j^{-1}) + w_j^g)$ für alle Punkte von g zu $f \oplus g$



Linken

Linken zweier Funktionen f und g

- $f \oplus g$ enthält auf jeden Fall $\{(t_1^f, w_1^f + g(t_1^f + w_1^f)), \ldots, (t_l^f, w_l^f + g(t_l^f + w_l^f))\}$
- Zusätzliche Interpolationspunkte an t_j^{-1} mit $f(t_j^{-1}) + t_j^{-1} = t_j^g$
- Füge $(t_j^{-1}, f(t_j^{-1}) + w_j^g)$ für alle Punkte von g zu $f \oplus g$
- Durch linearen Sweeping-Algorithmus implementierbar



Diskussion Linken

Laufzeit

- Sweep Algorithmus
- $\mathcal{O}(|I^f| + |I^g|)$
- Zum Vergleich: Zeitunabhängig $\mathcal{O}(1)$

Diskussion Linken

Laufzeit

- Sweep Algorithmus
- $\mathcal{O}(|I^f| + |I^g|)$
- Zum Vergleich: Zeitunabhängig $\mathcal{O}(1)$

Speicherverbrauch

- Gelinkte Funktion hat $\approx |I^f| + |I^g|$ Interpolationspunkte

Diskussion Linken

Laufzeit

- Sweep Algorithmus
- $\mathcal{O}(|I^f| + |I^g|)$
- Zum Vergleich: Zeitunabhängig $\mathcal{O}(1)$

Speicherverbrauch

- Gelinkte Funktion hat $\approx |I^f| + |I^g|$ Interpolationspunkte

Problem:

- Während Profilsuche kann ein Pfad mehreren Tausend Kanten entsprechen

Diskussion Linken

Laufzeit

- Sweep Algorithmus
- $\mathcal{O}(|I^f| + |I^g|)$
- Zum Vergleich: Zeitunabhängig $\mathcal{O}(1)$

Speicherverbrauch

- Gelinkte Funktion hat $\approx |I^f| + |I^g|$ Interpolationspunkte

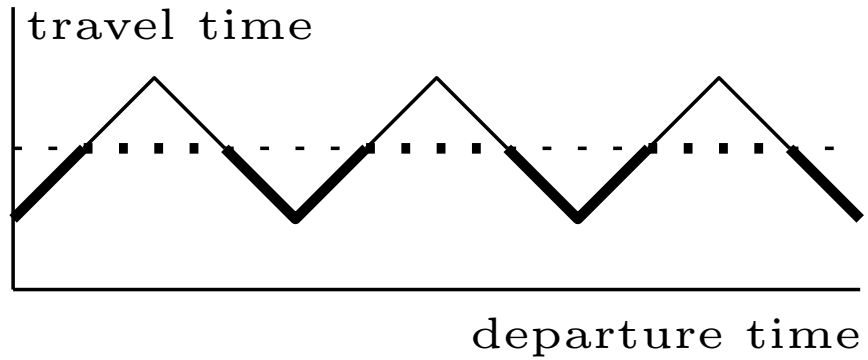
Problem:

- Während Profilsuche kann ein Pfad mehreren Tausend Kanten entsprechen
- Shortcuts...

Merge von Funktionen

Minimum zweier Funktionen f und g

- Für alle (t_i^f, w_i^f): behalte Punkt, wenn $w_i^f < g(t_i^f)$
- Für alle (t_j^g, w_j^g): behalte Punkt, wenn $w_j^g < f(t_j^g)$
- Schnittpunkte müssen ebenfalls eingefügt werden



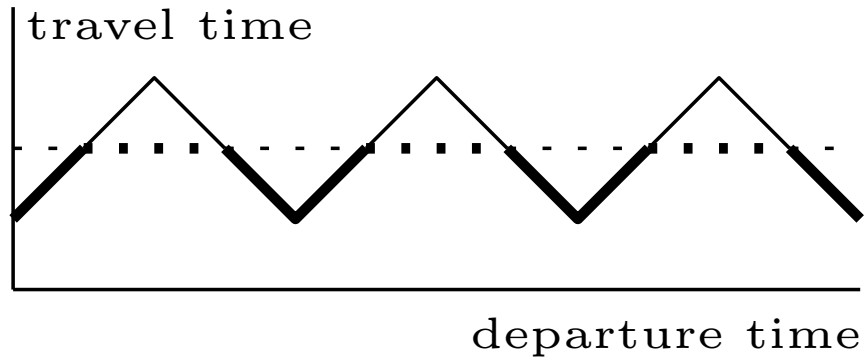
Merge von Funktionen

Minimum zweier Funktionen f und g

- Für alle (t_i^f, w_i^f): behalte Punkt, wenn $w_i^f < g(t_i^f)$
- Für alle (t_j^g, w_j^g): behalte Punkt, wenn $w_j^g < f(t_j^g)$
- Schnittpunkte müssen ebenfalls eingefügt werden

Vorgehen:

- Linearer sweep über die Stützstellen
- Evaluiere, welcher Abschnitt oben
- Checke ob Schnittpunkt existiert
- Vorsicht bei der Numerik



Diskussion Merge

Laufzeit

- Sweep Algorithmus
- $\mathcal{O}(|I^f| + |I^g|)$
- Zum Vergleich: Zeitunabhängig: $\mathcal{O}(1)$

Diskussion Merge

Laufzeit

- Sweep Algorithmus
- $\mathcal{O}(|I^f| + |I^g|)$
- Zum Vergleich: Zeitunabhängig: $\mathcal{O}(1)$

Speicherverbrauch

- Minimum-Funktion kann mehr als $|I^f| + |I^g|$ Interpolationspunkte enthalten

Diskussion Merge

Laufzeit

- Sweep Algorithmus
- $\mathcal{O}(|I^f| + |I^g|)$
- Zum Vergleich: Zeitunabhängig: $\mathcal{O}(1)$

Speicherverbrauch

- Minimum-Funktion kann mehr als $|I^f| + |I^g|$ Interpolationspunkte enthalten

Problem:

- Während Profilsuche werden Funktionen gemergt
- Laufzeit der Profilsuchen wird durch diese Operationen (link + merge) dominiert

Eingabe

- Netzwerk Deutschland $|V| \approx 4.7$ Mio., $|E| \approx 10.8$ Mio.
- 5 Verkehrszenarien:
  - Montag: $\approx 8\%$ Kanten zeitabhängig
  - Dienstag - Donnerstag: $\approx 8\%$
  - Freitag: $\approx 7\%$
  - Samstag: $\approx 5\%$
  - Sonntag: $\approx 3\%$

”Grad” der Zeitabhängigkeit

	#delete mins	slow-down	time [ms]	slow-down
kein	2,239,500	0.00%	1219.4	0.00%
Montag	2,377,830	6.18%	1553.5	27.40%
DiDo	2,305,440	2.94%	1502.9	23.25%
Freitag	2,340,360	4.50%	1517.2	24.42%
Samstag	2,329,250	4.01%	1470.4	20.59%
Sonntag	2,348,470	4.87%	1464.4	20.09%

Beobachtung:

- kaum Veränderung in Suchraum
- Anfragen etwas langsamer durch Auswertung

Profilsuchen

Beobachtung:

- Nicht durchführbar auf Europa-Instanz durch zu großen Speicherbedarf ($>$ 32 GiB RAM)
- Extrapoliert:
  - Suchraum steigt um ca. 10%
  - Suchzeiten um einen Faktor von bis zu 2 500 über Dijkstra

$\Rightarrow$ inpraktikabel

Zusammenfassung

Zeitabhängige Netzwerke (Basics)

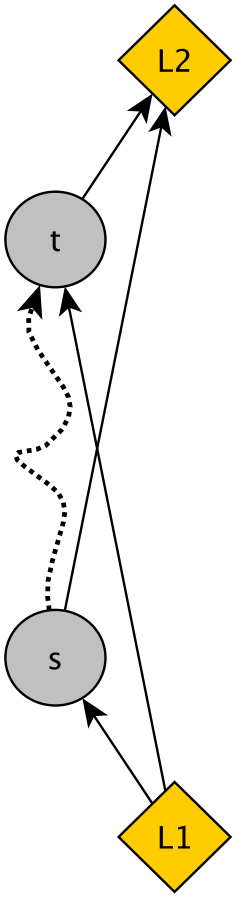
- Funktionen statt Konstanten an Kanten
- Operationen werden teurer
  - $\mathcal{O}(\log |f|)$ für Auswertung
  - $\mathcal{O}(|f^f| + |f^g|)$ für Linken und Minimum
  - Speicherverbrauch explodiert
- Zeitanfragen:
  - Normaler Dijkstra
  - Kaum langsamer (lediglich Auswertung)
- Profilanfragen
  - nicht zu handhaben

Beschleunigungstechniken

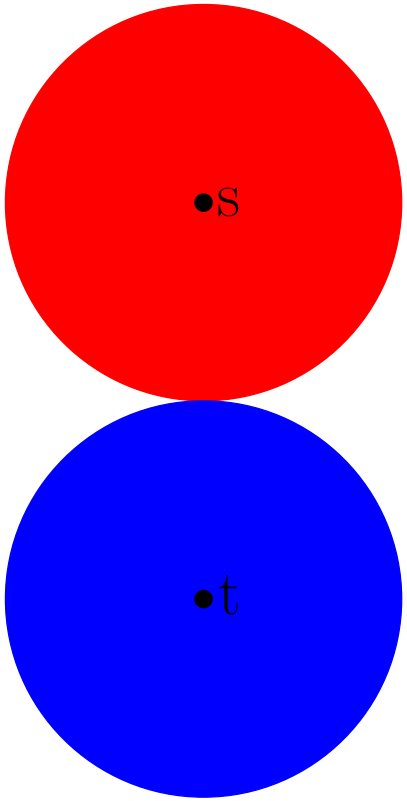
Institut für Theoretische Informatik
Lehrstuhl Algorithmik

Beschleunigungstechniken

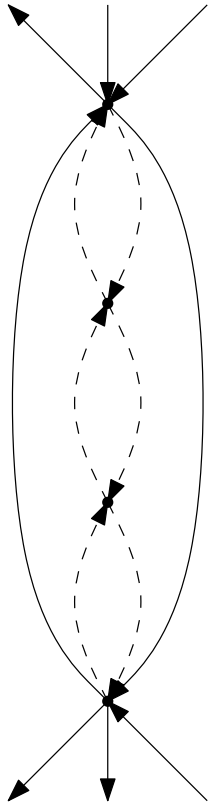
Landmarken



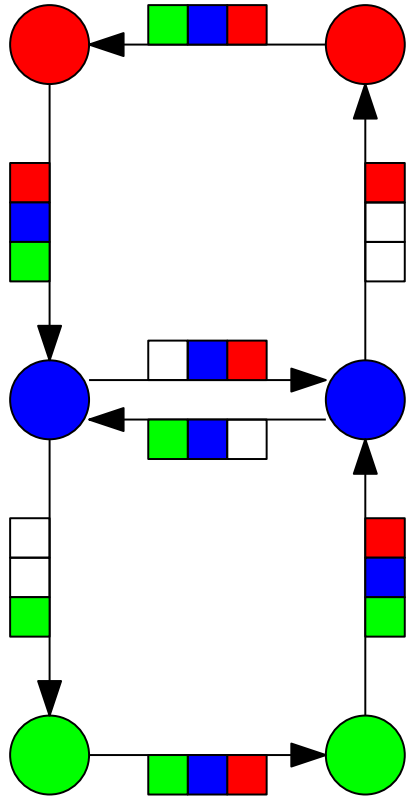
Bidirektionale Suche



Kontraktion



Arc-Flags



Institut für Theoretische Informatik
Lehrstuhl Algorithmik

Landmarken

Vorberechnung:

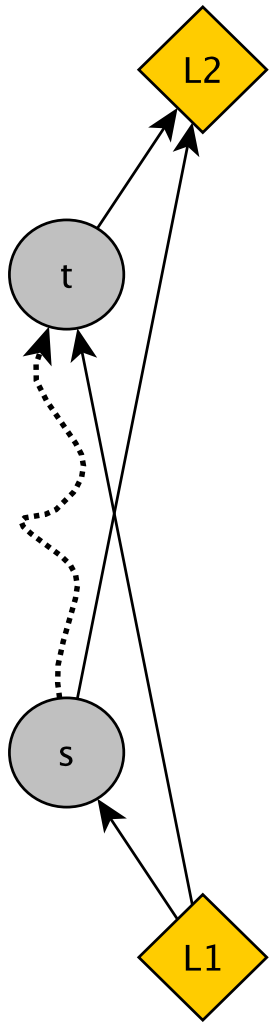
- wähle eine Hand voll (≈ 16) Knoten als Landmarken
- berechne Abstände von und zu allen Landmarken

Anfrage:

- benutze Landmarken und Dreiecksungleichung um eine untere Schranke für den Abstand zum Ziel zu bestimmen

$$\begin{aligned} d(s,t) &\geq d(L_1,t) - d(L_1,s) \\ d(s,t) &\geq d(s,L_2) - d(t,L_2) \end{aligned}$$

- verändert Reihenfolge der besuchten Knoten



Anpassung

Beobachtung:

- Korrektheit von ALT basiert darauf, dass reduzierte Kosten größer oder gleich 0 sind

$$\text{len}_\pi(u, v) = \text{len}(u, v) - \pi(u) + \pi(v) \overset{!}{\geq} 0$$

- durch Erhöhen der Kantengewichte wird dies nicht verletzt

Anpassung

Beobachtung:

- Korrektheit von ALT basiert darauf, dass reduzierte Kosten größer oder gleich 0 sind

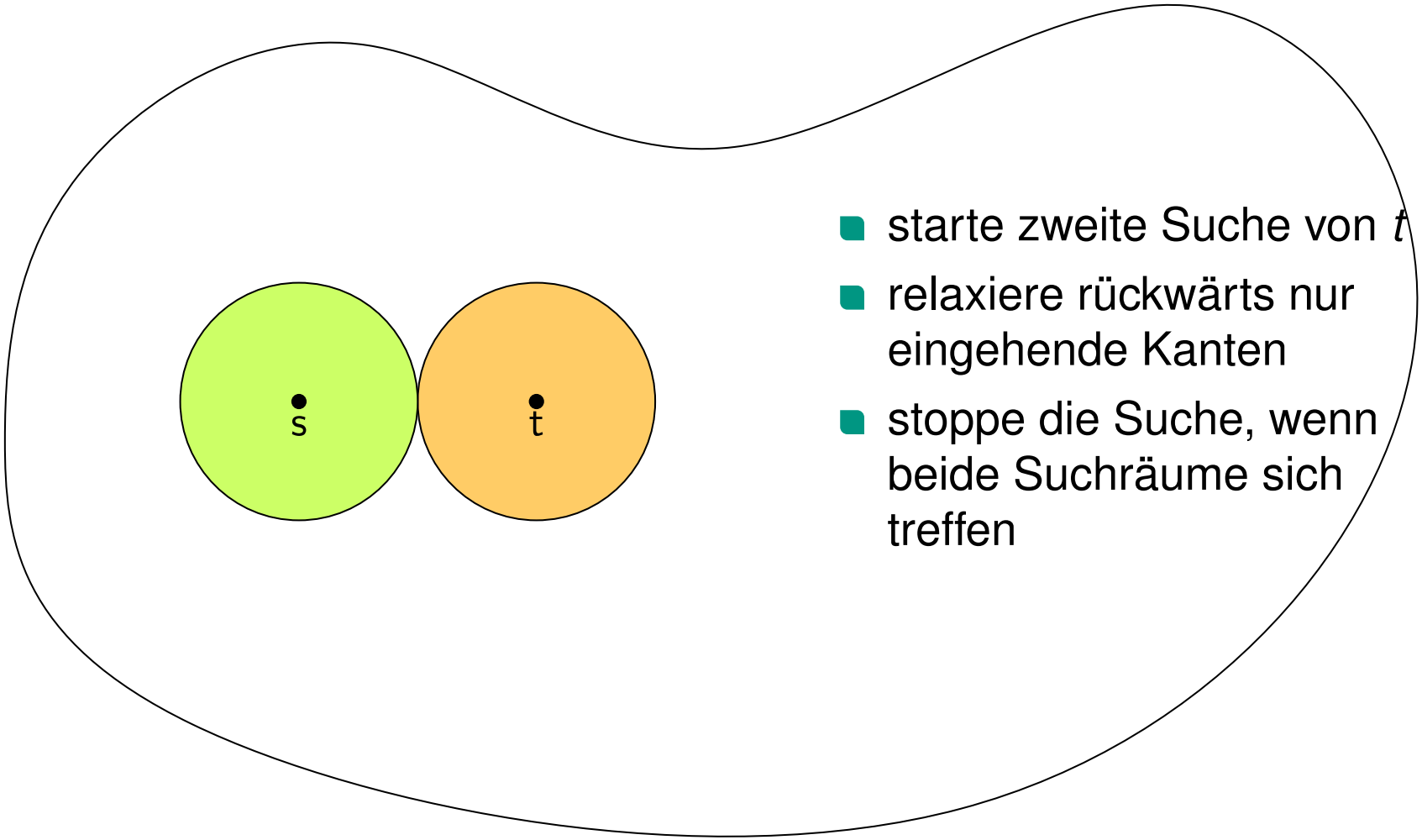
$$\text{len}_\pi(u,v) = \text{len}(u,v) - \pi(u) + \pi(v) \overset{!}{\geq} 0$$

- durch Erhöhen der Kantengewichte wird dies nicht verletzt

Somit:

- Definiere lowerbound-Graph $\underline{G} = (V, E, \underline{\text{len}})$ mit $\underline{\text{len}} := \min \text{len}$
- Vorberechnung auf lowerbound-Graph
- korrekt aber eventuell langsamere Anfragezeiten

Bidirektionale Suche



- starte zweite Suche von t
- relaxiere rückwärts nur eingehende Kanten
- stoppe die Suche, wenn beide Suchräume sich treffen

Anpassung

Zeitanfragen:

- Ankunft unbekannt $\Rightarrow$ Rückwärtsuche?

Anpassung

Zeitanfragen:

- Ankunft unbekannt $\Rightarrow$ Rückwärtsuche?
- Rückwärtssuche nur zum Einschränken der Vorwärtssuche benutzen
- je nach Beschleunigungstechnik verschieden $\rightsquigarrow$ später

Anpassung

Zeitanfragen:

- Ankunft unbekannt $\Rightarrow$ Rückwärtsuche?
- Rückwärtssuche nur zum Einschränken der Vorwärtssuche benutzen
- je nach Beschleunigungstechnik verschieden $\rightsquigarrow$ später

Profilanfragen:

- Anfrage zu allen Startzeitpunkten
- somit Rückwärtsuche kein Problem
- μ: tentative Abstandsfunktion
- breche ab, wenn $\text{minKey}(\overrightarrow{Q}) + \text{minKey}(\overleftarrow{Q}) \geq \overline{\mu}$
  Erinnere: key von v ist der lowerbound seiner Profilfunktion

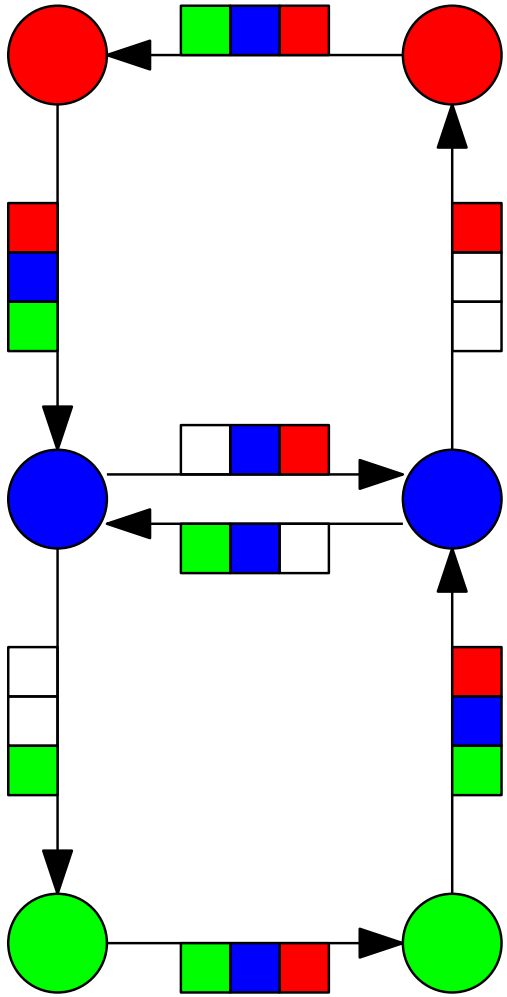
Arc-Flags

Idee:

- partitioniere den Graph in k Zellen
- hänge ein Label mit k Bits an jede Kante
- zeigt ob e wichtig für die Zielzelle ist
- modifizierter Dijkstra überspringt unwichtige Kanten

Beobachtung:

- Partition wird auf ungewichtetem Grahen durchgeführt
- Flaggen müssen allerdings angepasst werden



Anpassung

Idee:

- ändere Intuition einer gesetzten Flagge
- Konzept bleibt gleich: Eine Flagge pro Kante und Region
- setze Flagge wenn Kante mindestens ein mal am Tag “wichtig” ist

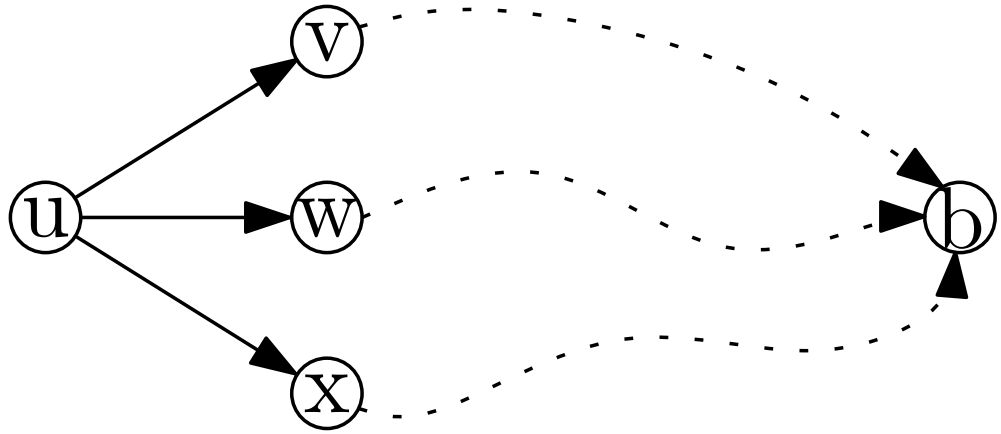
Anpassung

Idee:

- ändere Intuition einer gesetzten Flagge
- Konzept bleibt gleich: Eine Flagge pro Kante und Region
- setze Flagge wenn Kante mindestens ein mal am Tag “wichtig” ist

Anpassung:

- für alle Randknoten b und alle Knoten u:
- Berechne Abstandsfunktion $d_*(u, b)$
- setze Flagge wenn gilt $\text{len}(u, v) \oplus d_*(v, b) \not\succ d_*(u, b)$



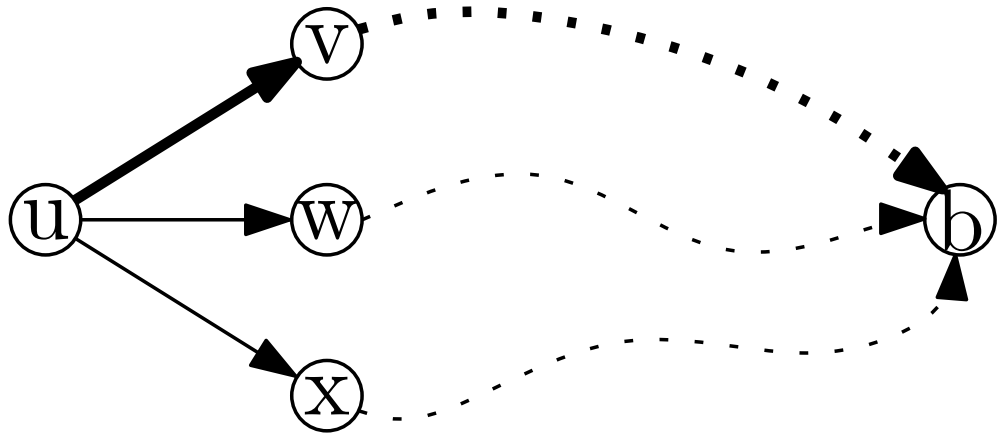
Anpassung

Idee:

- ändere Intuition einer gesetzten Flagge
- Konzept bleibt gleich: Eine Flagge pro Kante und Region
- setze Flagge wenn Kante mindestens ein mal am Tag “wichtig” ist

Anpassung:

- für alle Randknoten b und alle Knoten u:
- Berechne Abstandsfunktion $d_*(u, b)$
- setze Flagge wenn gilt $\text{len}(u, v) \oplus d_*(v, b) \not\succ d_*(u, b)$



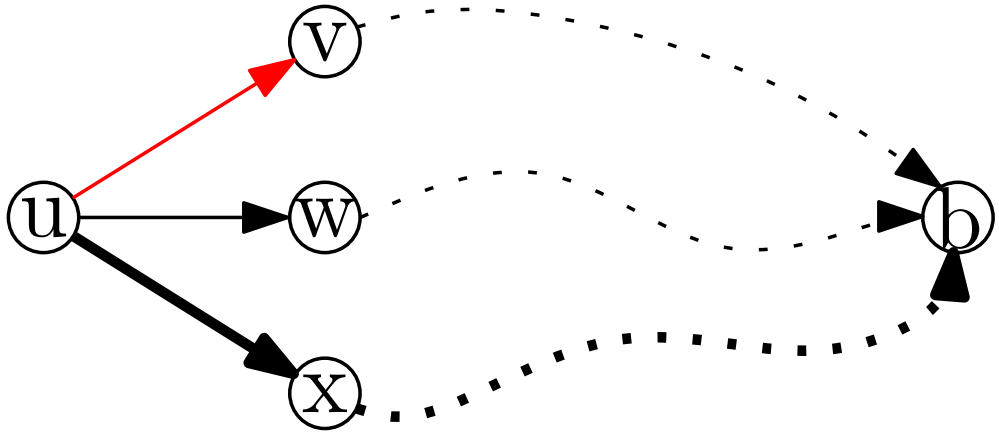
Anpassung

Idee:

- ändere Intuition einer gesetzten Flagge
- Konzept bleibt gleich: Eine Flagge pro Kante und Region
- setze Flagge wenn Kante mindestens ein mal am Tag “wichtig” ist

Anpassung:

- für alle Randknoten b und alle Knoten u:
- Berechne Abstandsfunktion $d_*(u, b)$
- setze Flagge wenn gilt $\text{len}(u, v) \oplus d_*(v, b) \not> d_*(u, b)$



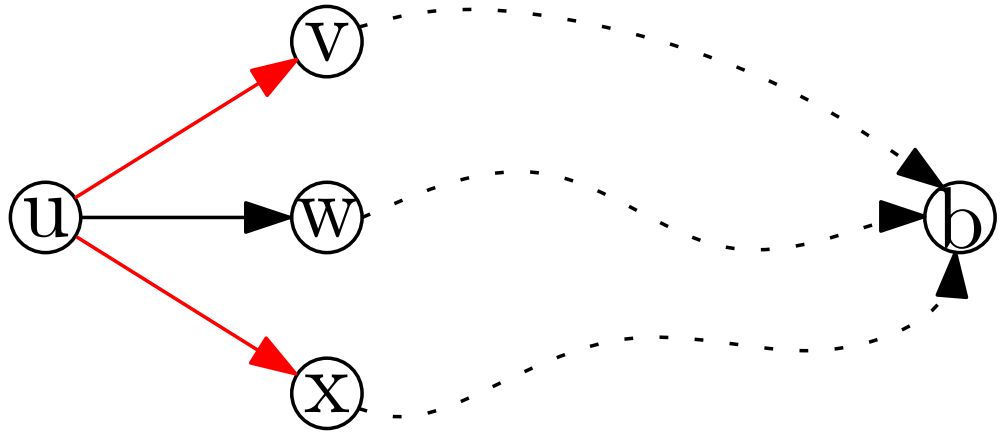
Anpassung

Idee:

- ändere Intuition einer gesetzten Flagge
- Konzept bleibt gleich: Eine Flagge pro Kante und Region
- setze Flagge wenn Kante mindestens ein mal am Tag “wichtig” ist

Anpassung:

- für alle Randknoten b und alle Knoten u:
- Berechne Abstandsfunktion $d_*(u, b)$
- setze Flagge wenn gilt $\text{len}(u, v) \oplus d_*(v, b) \not\succ d_*(u, b)$

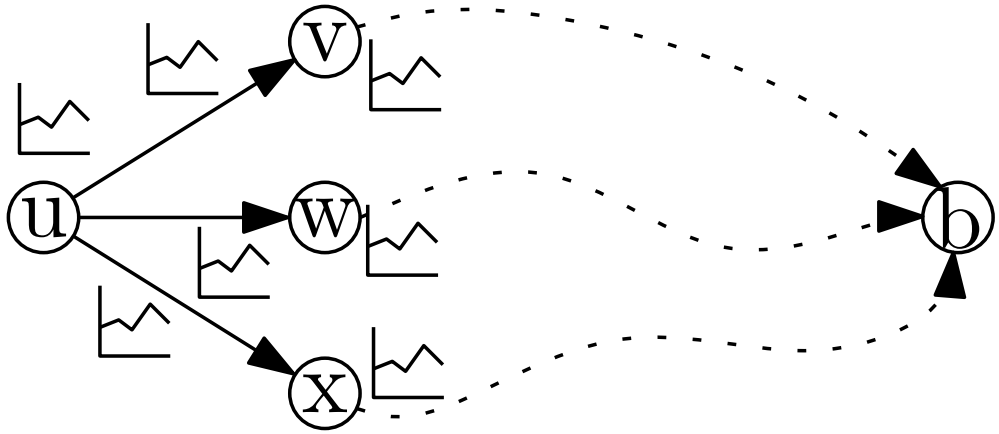


Approximation Arc-Flags

Beobachtung:

- viele Interpolationspunkte (Straße)
- Berechnung der Abstandsfunktionen ist sehr zeitintensiv
- Laufzeit stark abhängig von der Komplexität der Funktionen

Idee:



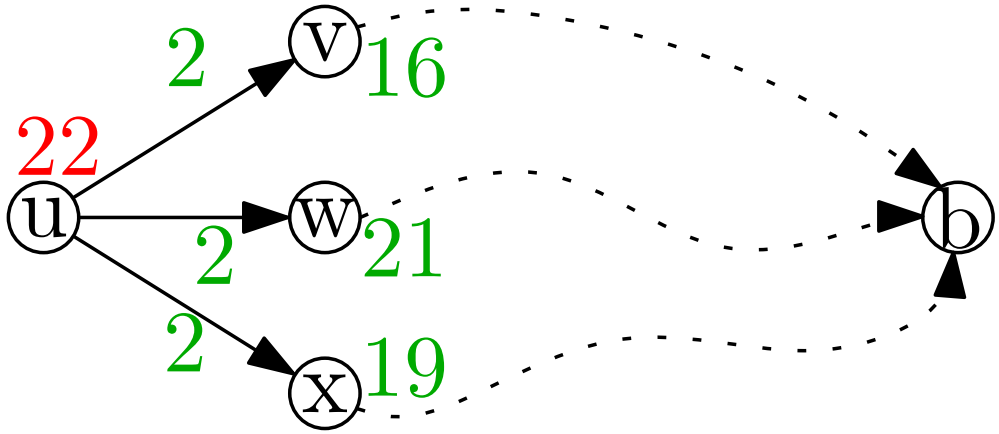
Approximation Arc-Flags

Beobachtung:

- viele Interpolationspunkte (Straße)
- Berechnung der Abstandsfunktionen ist sehr zeitintensiv
- Laufzeit stark abhängig von der Komplexität der Funktionen

Idee:

- benutze über- and Unterapproximation



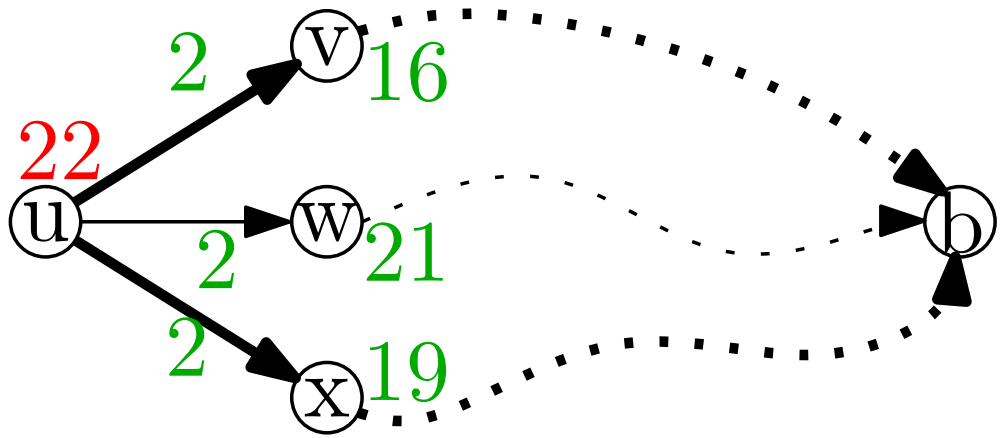
Approximation Arc-Flags

Beobachtung:

- viele Interpolationspunkte (Straße)
- Berechnung der Abstandsfunktionen ist sehr zeitintensiv
- Laufzeit stark abhängig von der Komplexität der Funktionen

Idee:

- benutze über- and Unterapproximation



Approximation Arc-Flags

Beobachtung:

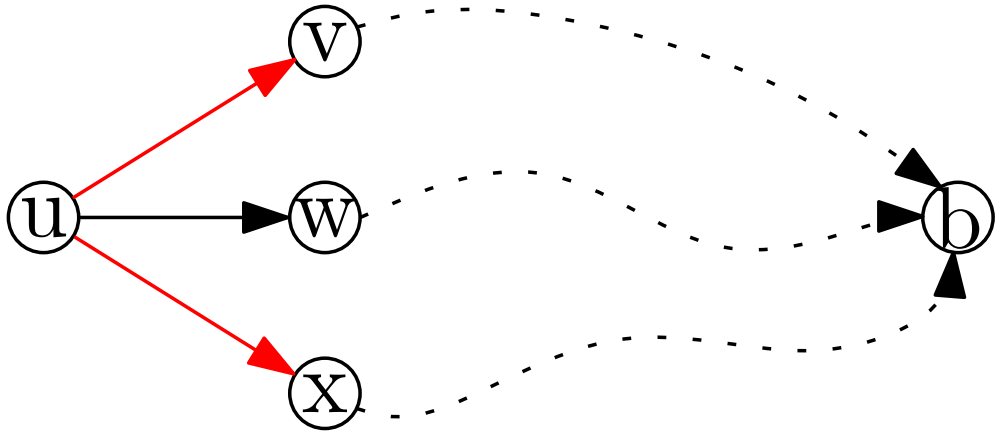
- viele Interpolationspunkte (Straße)
- Berechnung der Abstandsfunktionen ist sehr zeitintensiv
- Laufzeit stark abhängig von der Komplexität der Funktionen

Idee:

- benutze über- and Unterapproximation

$\Rightarrow$ schnellere Vorberechnung, langsamere Anfragen

$\Rightarrow$ aber immer noch korrekt



Heuristische Flaggen

Idee:

- führe von jedem Randknoten K Zeitanfragen aus
- mit fester Ankunftszeit
- setze Flagge, wenn Kante auf einem dem Bäume eine Baumkante ist

Heuristische Flaggen

Idee:

- führe von jedem Randknoten K Zeitanfragen aus
- mit fester Ankunftszeit
- setze Flagge, wenn Kante auf einem dem Bäume eine Baumkante ist

Beobachtungen:

- Flaggen eventuell nicht korrekt
- ein Pfad wird aber immer gefunden
- Fehlerrate?

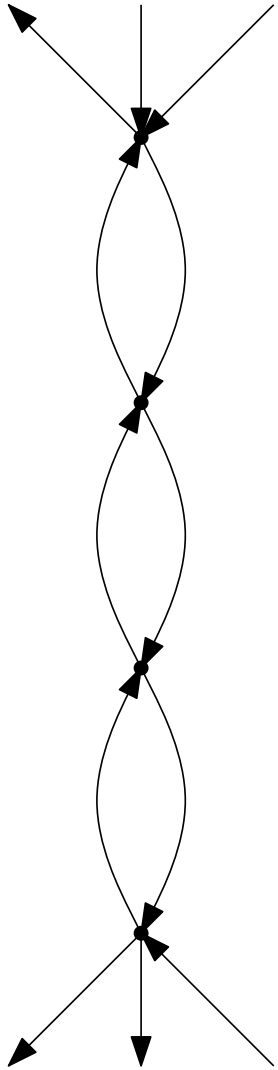
Kontraktion

Knoten-Reduktion:

- entferne Knoten
- füge neue Kanten (Shortcuts) hinzu, um die Abstände zwischen verbleibenden Knoten zu erhalten

Zeugensuche:

- behalte nur relevante Shortcuts
- lokale Suche während oder nach Knoten-Reduktion



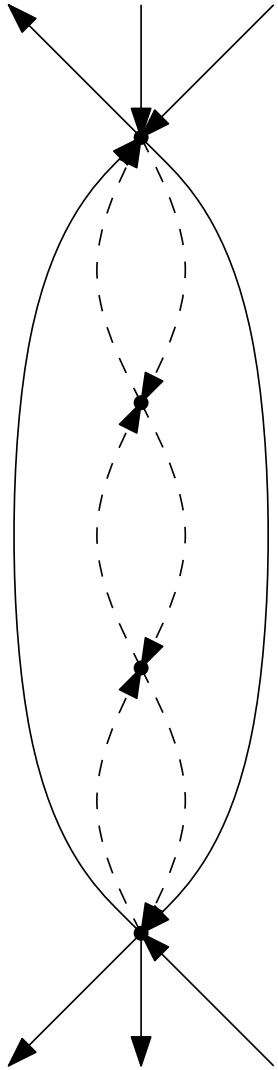
Kontraktion

Knoten-Reduktion:

- entferne Knoten
- füge neue Kanten (Shortcuts) hinzu, um die Abstände zwischen verbleibenden Knoten zu erhalten

Zeugensuche:

- behalte nur relevante Shortcuts
- lokale Suche während oder nach Knoten-Reduktion



Anpassung Zeugensuche

Zeitunabhängig:

- Kante (u, v) nicht nötig, wenn (u, v) nicht Teil des kürzesten Weges von u nach v ist, also $\text{len}(u, v) > d(u, v)$
- lokale Dijkstra-Suche von u

Zeitabhängig:

Anpassung Zeugensuche

Zeitunabhängig:

- Kante (u, v) nicht nötig, wenn (u, v) nicht Teil des kürzesten Weges von u nach v ist, also $\text{len}(u, v) > d(u, v)$
- lokale Dijkstra-Suche von u

Zeitabhängig:

- Kante (u, v) nicht nötig, wenn (u, v) nicht Teil eines kürzesten Wege von u nach v ist, also $\text{len}(u, v) > d_*(u, v)$
- lokale Profilsuche
- Problem: deutlich langsamer

Korridorsuche

Idee:

- führe zunächst zwei Dijkstra-Suchen mit $\underline{\text{len}}$ und $\overline{\text{len}}$ durch
- relaxiere dann nur solche Kanten (u, v), für die $\underline{d(s,u)} + \underline{\text{len}(u,v)} \leq \overline{d(s,v)}$ gilt
- lokale Profilsuche in diesem Korridor

Anmerkung:

- auch zur Beschleunigung von s-t Profil-Suchen

Approximation der Shortcuts

Problem:

- hoher Speicherbedarf der Shortcuts (Straße)

Ideen:

- Shortcuts nur approximieren, inexakte Anfragen
- Keine Gewichte am Shortcut speichern, stattdessen on-the-fly entpacken und Pfad linken spart Speicher, kostet Laufzeit
- speichere auf Shortcuts Über- und Unterapproximation der Funktionen
  - induzieren wieder Korridor (aber genaueren als nur Min/Max!)
  - entpacke Shortcuts im Korridor, dies gibt einen Teil des Originalgraphen
  - benutze nun die nicht-approximierten Originalkanten für eine exakte Suche

Anpassung der Basismodule

Basismodule:

0 Bidirektionale Suche
+ Landmarken
+ Kontraktion
+ Arc-Flags

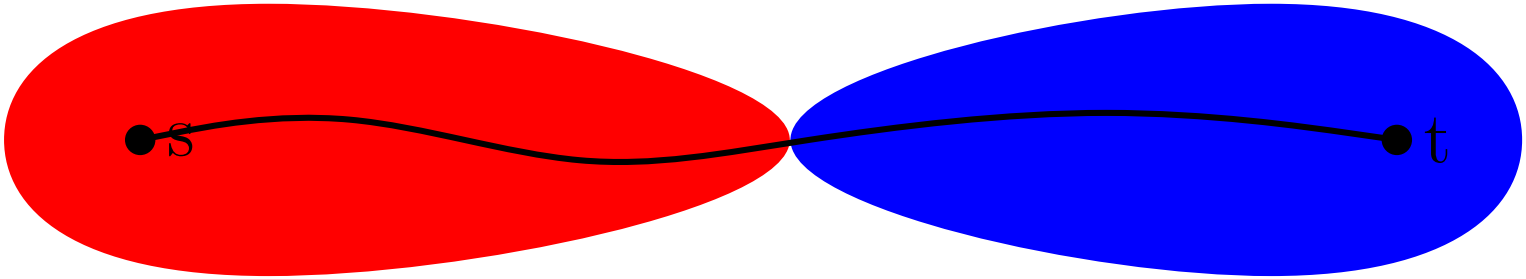
Somit sind folgende Algorithmen gute Kandidaten

- ALT
- Core-ALT
- SHARC
- Contraction Hierarchies
- MLD (CRP)

Bidirektionaler zeitabhängiger ALT

Idee - Drei Phasen:

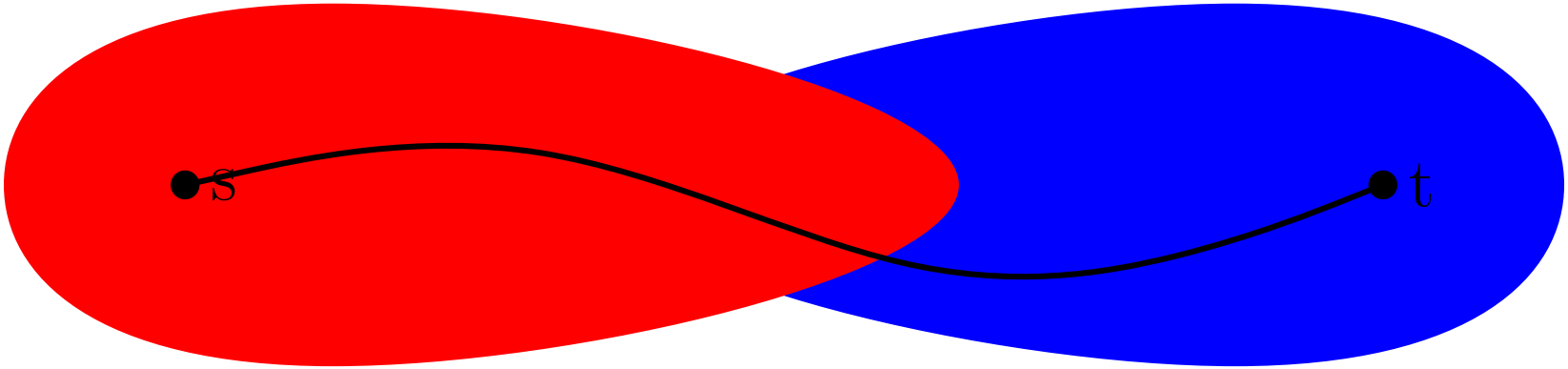
Bidirektionaler zeitabhängiger ALT



Idee - Drei Phasen:

1. Vorwärts zeitabhängig, Rückwärtssuche benutzt Minima der Funktionen. Fertig wenn Suchen sich treffen. Berechne zeitabhängige tentative Distanz μ
   - Distanz der Rückwärtssuche: untere Schranke $\Rightarrow$ nicht geeignet
   - Variante 1: Durch Auswerten des gefundenen Pfades
   - Variante 2: Rückwärtssuche schleift auch Maxima durch

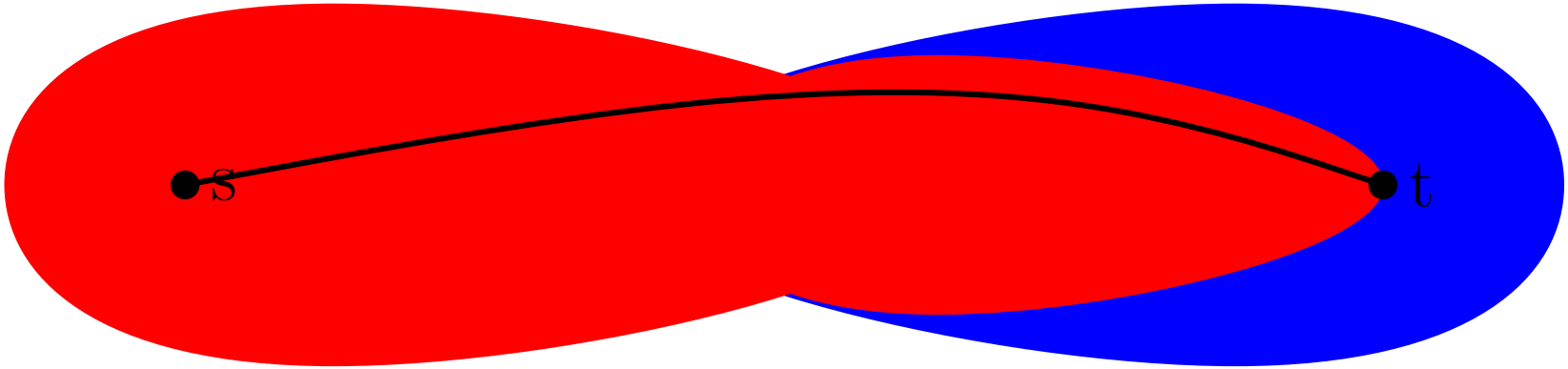
Bidirektionaler zeitabhängiger ALT



Idee - Drei Phasen:

1. Vorwärts zeitabhängig, Rückwärtssuche benutzt Minima der Funktionen. Fertig wenn Suchen sich treffen. Berechne zeitabhängige tentative Distanz μ
   - Distanz der Rückwärtssuche: untere Schranke $\Rightarrow$ nicht geeignet
   - Variante 1: Durch Auswerten des gefundenen Pfades
   - Variante 2: Rückwärtssuche schleift auch Maxima durch
2. Rückwärtssuche weiter bis $\text{minKey}(\overleftarrow{Q}) > \mu$

Bidirektionaler zeitabhängiger ALT



Idee - Drei Phasen:

1. Vorwärts zeitabhängig, Rückwärtssuche benutzt Minima der Funktionen. Fertig wenn Suchen sich treffen. Berechne zeitabhängige tentative Distanz μ
   - Distanz der Rückwärtssuche: untere Schranke $\Rightarrow$ nicht geeignet
   - Variante 1: Durch Auswerten des gefundenen Pfades
   - Variante 2: Rückwärtssuche schleift auch Maxima durch
2. Rückwärtssuche weiter bis $\text{minKey}(\overleftarrow{Q}) > \mu$
3. Vorwärtssuche arbeitet weiter bis t abgearbeitet worden ist und besucht nur Knoten, die die Rückwärtssuche zuvor besucht hat

Approximation

Beobachtung:

- Phase 2 läuft recht lange weiter, bis $\text{minKey}(\overleftarrow{Q}) > \mu$ gilt
- insbesondere dann schlecht, wenn die lower bounds stark vom echten Wert abweichen

Approximation:

- breche Phase 2 bereits ab, wenn $\text{minKey}(\overleftarrow{Q}) \cdot K > \mu$ gilt
- dann ist der berechnete Weg eine K-Approximation des kürzesten Weges

Experimente (TD Germany)

			Error			Query		
				relative		#sett.	#rel.	time
scen.	algorithm	K	rate	av.	max	nodes	edges	[ms]
mid	uni-ALT	–	0.0%	0.000%	0.00%	200 236	239 112	147.20
	TDALT	1.00	0.0%	0.000%	0.00%	116 476	138 696	98.27
		1.15	12.4%	0.094%	14.32%	50 764	60 398	36.91
		1.50	12.5%	0.097%	27.59%	50 742	60 371	36.86
Sat	uni-ALT	–	0.0%	0.000%	0.00%	148 331	177 568	100.07
	TDALT	1.00	0.0%	0.000%	0.00%	63 717	76 001	47.41
		1.15	10.5%	0.088%	13.97%	50 042	59 607	36.00
		1.50	10.6%	0.089%	26.17%	50 036	59 600	35.63
Sun	uni-ALT	–	0.0%	0.000%	0.00%	142 631	170 670	92.79
	TDALT	1.00	0.0%	0.000%	0.00%	58 956	70 333	42.96
		1.15	10.4%	0.088%	14.28%	50 349	59 994	36.04
		1.50	10.5%	0.089%	32.08%	50 345	59 988	35.74

Core-ALT

Idee

- begrenze Beschleunigungstechnik auf kleinen Subgraphen (Kern)

Vorberechnung

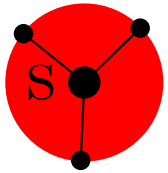
- kontrahiere Graphen zu einem Kern
- Landmarken nur im Kern

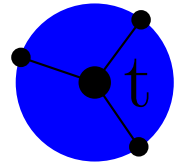
Anfrage

Core-ALT

Idee

- begrenze Beschleunigungstechnik auf kleinen Subgraphen (Kern)





Vorberechnung

- kontrahiere Graphen zu einem Kern
- Landmarken nur im Kern

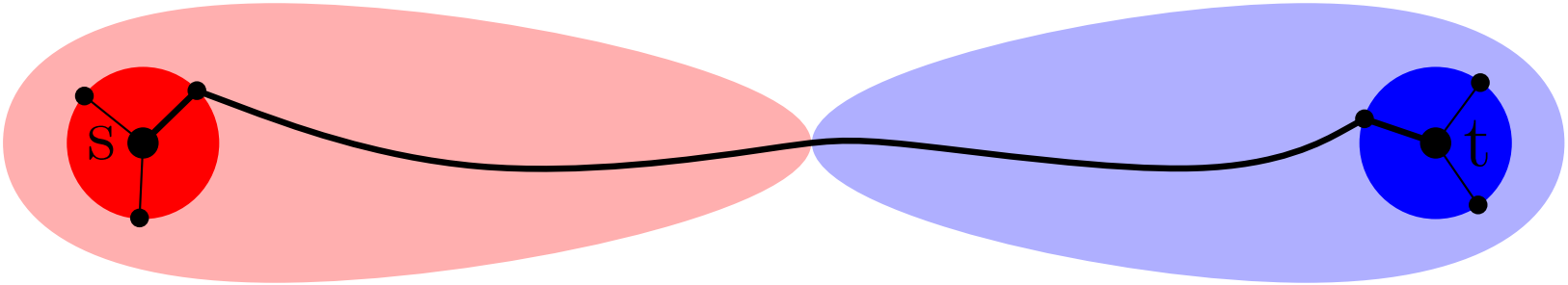
Anfrage

- Initialphase: normaler Dijkstra

Core-ALT

Idee

- begrenze Beschleunigungstechnik auf kleinen Subgraphen (Kern)



Vorberechnung

- kontrahiere Graphen zu einem Kern
- Landmarken nur im Kern

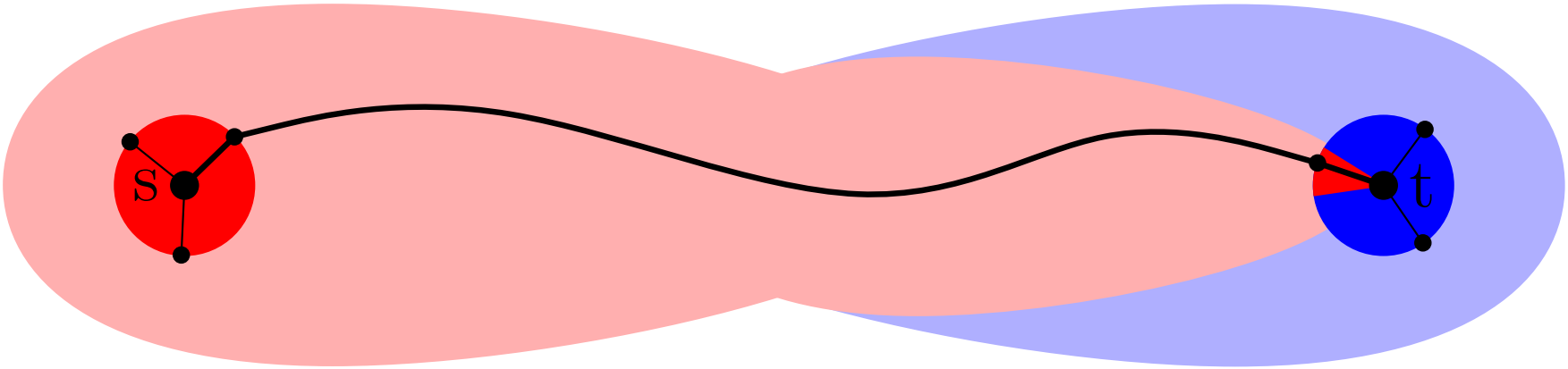
Anfrage

- Initialphase: normaler Dijkstra
- benutze Landmarken nur im Kern

Core-ALT

Idee

- begrenze Beschleunigungstechnik auf kleinen Subgraphen (Kern)



Vorberechnung

- kontrahiere Graphen zu einem Kern
- Landmarken nur im Kern

Anfrage

- Initialphase: normaler Dijkstra
- benutze Landmarken nur im Kern
- zeitabhängig:
  - Rückwärtssuche ist zeitunabhängig
  - Vorwärtssuche darf alle Knoten der Rückwärtssuche besuchen

Experimente (Synth. TD Europe)

Core			Preprocessing				Exact Query	
par.		core	time	space	increase in		#sett.	time
c	h	nodes	[m]	[B/n]	edges	points	nodes	[ms]
0.0	0	100.0%	28	256	0.0%	0.0%	2931080	2939.3
0.5	10	35.6%	15	99	9.8%	21.1%	1165840	1224.8
1.0	20	6.9%	18	41	12.6%	69.6%	233788	320.5
2.0	30	3.2%	30	45	9.9%	114.1%	108306	180.0
2.5	40	2.5%	39	50	9.1%	138.0%	84119	149.7
3.0	50	2.0%	50	56	8.7%	161.2%	70348	133.2
3.5	60	1.8%	60	61	8.5%	181.1%	60636	122.3
4.0	70	1.5%	88	74	8.5%	223.1%	52908	115.2
5.0	100	1.2%	134	89	8.6%	273.5%	45020	110.6

Experimente (TD Germany)

		Preproc.		Error			Query		
		time	space	relative			#settled	#relaxed	time
scenario	K	[min]	[B/n]	rate	av.	max	nodes	edges	[ms]
	1.00	9	50.3	0.0%	0.000%	0.00%	2 984	11 316	4.84
Monday	1.15	9	50.3	8.3%	0.051%	11.00%	1 588	5 303	1.84
	1.50	9	50.3	8.3%	0.052%	17.25%	1 587	5 301	1.84
	1.00	9	50.3	0.0%	0.000%	0.00%	3 190	12 255	5.36
midweek	1.15	9	50.3	8.2%	0.051%	13.84%	1 593	5 339	1.87
	1.50	9	50.3	8.2%	0.052%	13.84%	1 592	5 337	1.86
	1.00	8	44.9	0.0%	0.000%	0.00%	3 097	12 162	5.21
Friday	1.15	8	44.9	7.8%	0.052%	11.29%	1 579	5 376	1.82
	1.50	8	44.9	7.8%	0.054%	21.19%	1 579	5 374	1.82
	1.00	6	27.8	0.0%	0.000%	0.00%	1 856	7 188	2.42
Saturday	1.15	6	27.8	4.4%	0.031%	11.50%	1 539	5 542	1.71
	1.50	6	27.8	4.4%	0.031%	24.17%	1 539	5 541	1.71
	1.00	5	19.1	0.0%	0.000%	0.00%	1 773	6 712	2.13
Sunday	1.15	5	19.1	4.0%	0.029%	12.72%	1 551	5 541	1.68
	1.50	5	19.1	4.1%	0.029%	17.84%	1 550	5 540	1.68

SHARC (Kontraktion, Arc-Flags)

Vorberechnung:

- Multi-Level-Partition
- iterativer Prozess:
  - kontrahiere Subgraphen
  - berechne Flaggen
- Flaggenverfeinerung

Anpassung (grob):

- Kontraktion und Flaggen berechnung anpassen
- Verfeinerung durch (lokale) Profilsuchen

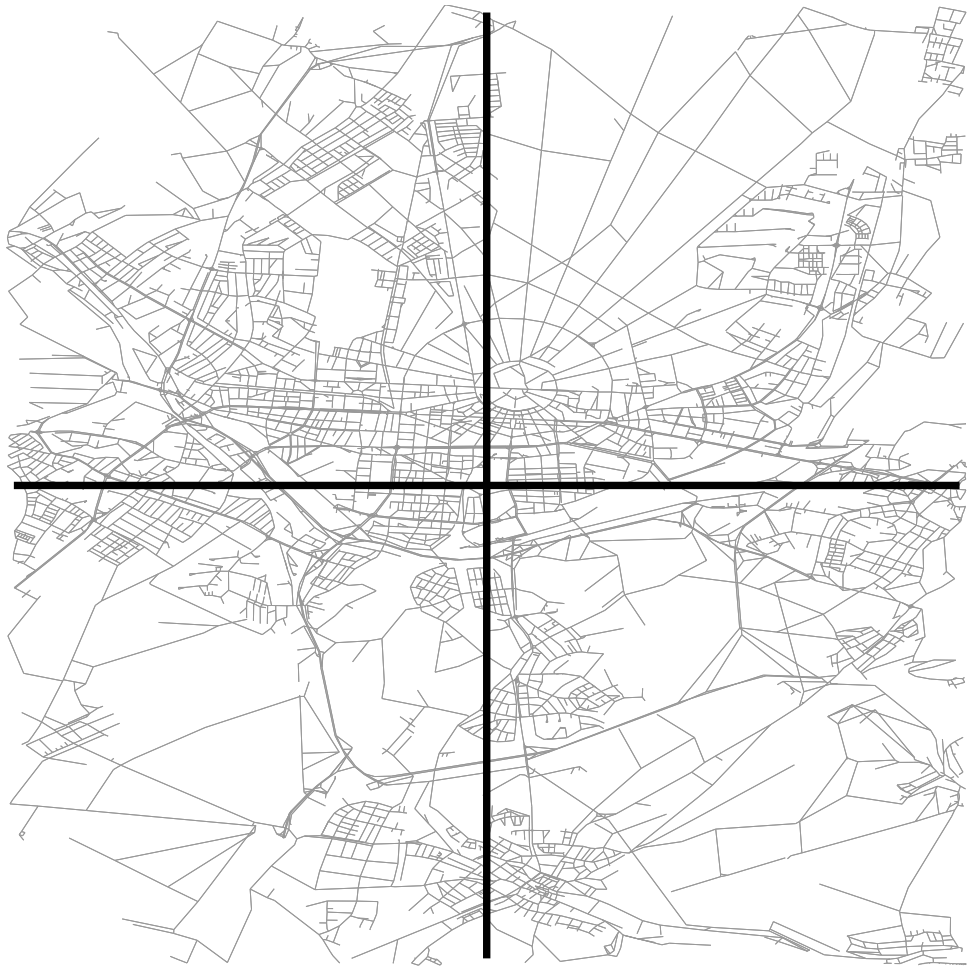
SHARC (Kontraktion, Arc-Flags)

Vorberechnung:

- Multi-Level-Partition
- iterativer Prozess:
  - kontrahiere Subgraphen
  - berechne Flaggen
- Flaggenverfeinerung

Anpassung (grob):

- Kontraktion und Flaggen berechnung anpassen
- Verfeinerung durch (lokale) Profilsuchen



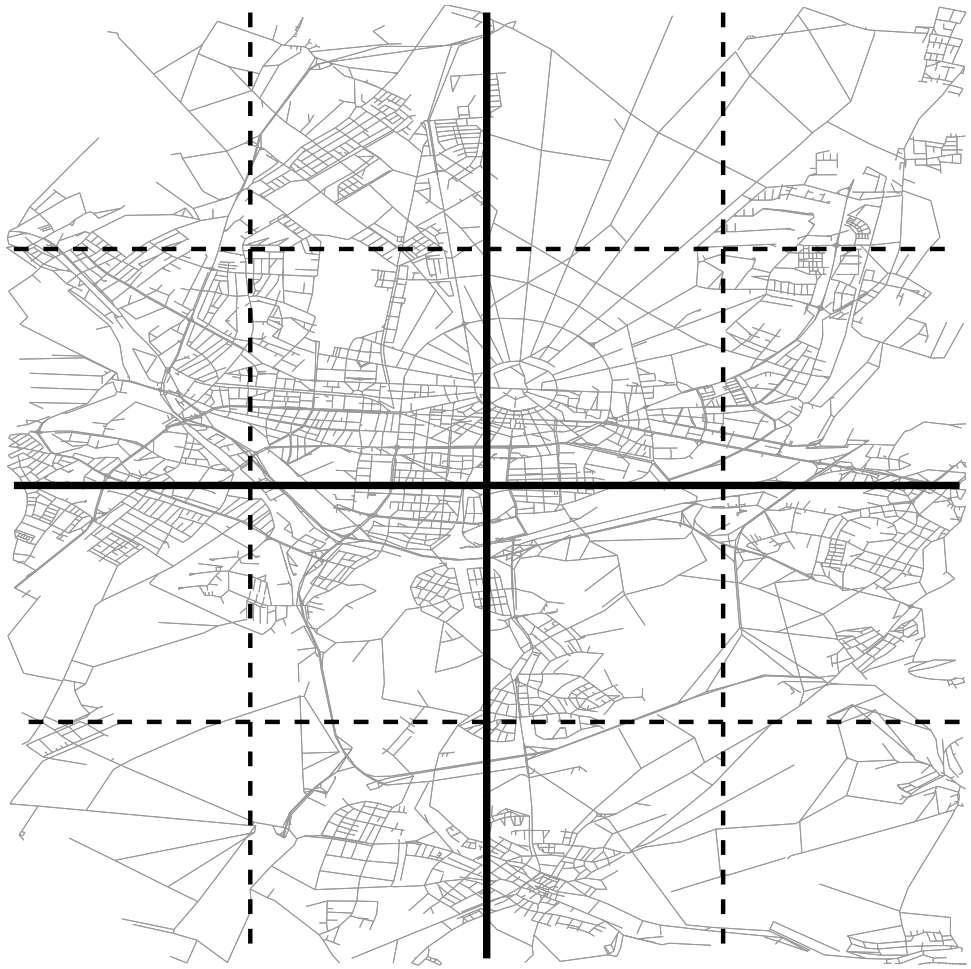
SHARC (Kontraktion, Arc-Flags)

Vorberechnung:

- Multi-Level-Partition
- iterativer Prozess:
  - kontrahiere Subgraphen
  - berechne Flaggen
- Flaggenverfeinerung

Anpassung (grob):

- Kontraktion und Flaggen berechnung anpassen
- Verfeinerung durch (lokale) Profilsuchen



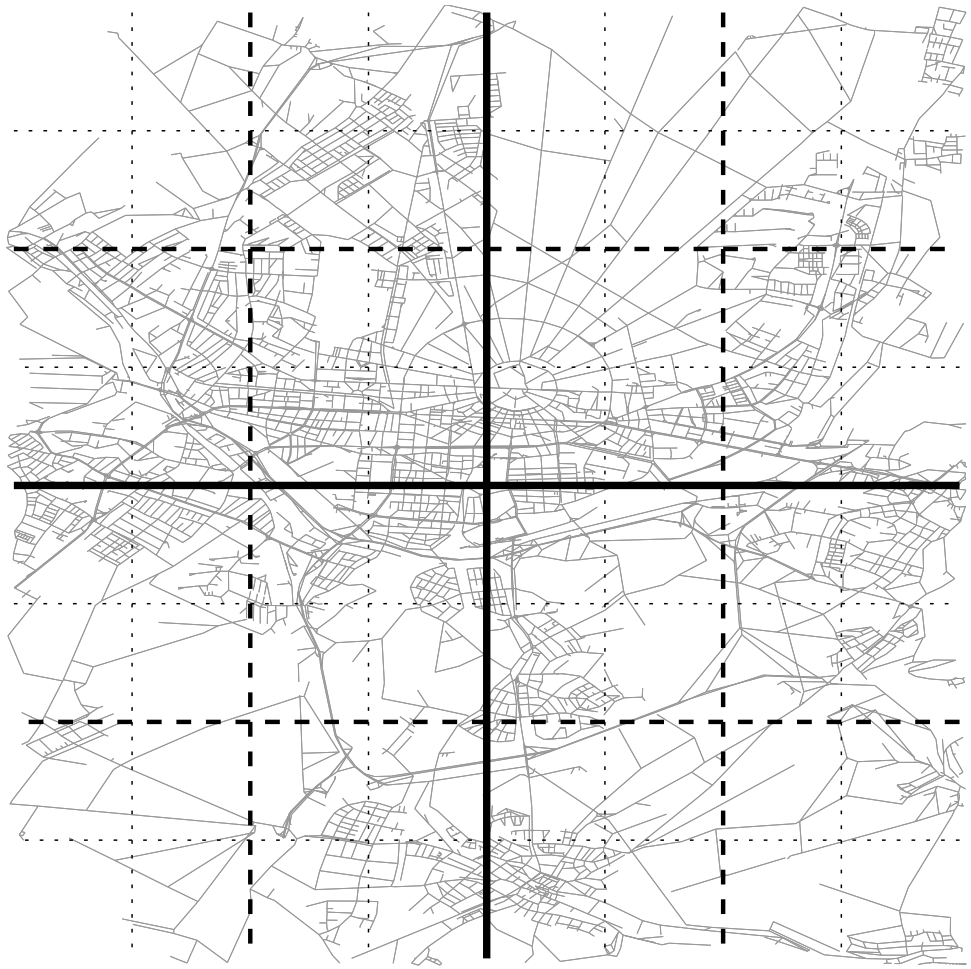
SHARC (Kontraktion, Arc-Flags)

Vorberechnung:

- Multi-Level-Partition
- iterativer Prozess:
  - kontrahiere Subgraphen
  - berechne Flaggen
- Flaggenverfeinerung

Anpassung (grob):

- Kontraktion und Flaggen berechnung anpassen
- Verfeinerung durch (lokale) Profilsuchen



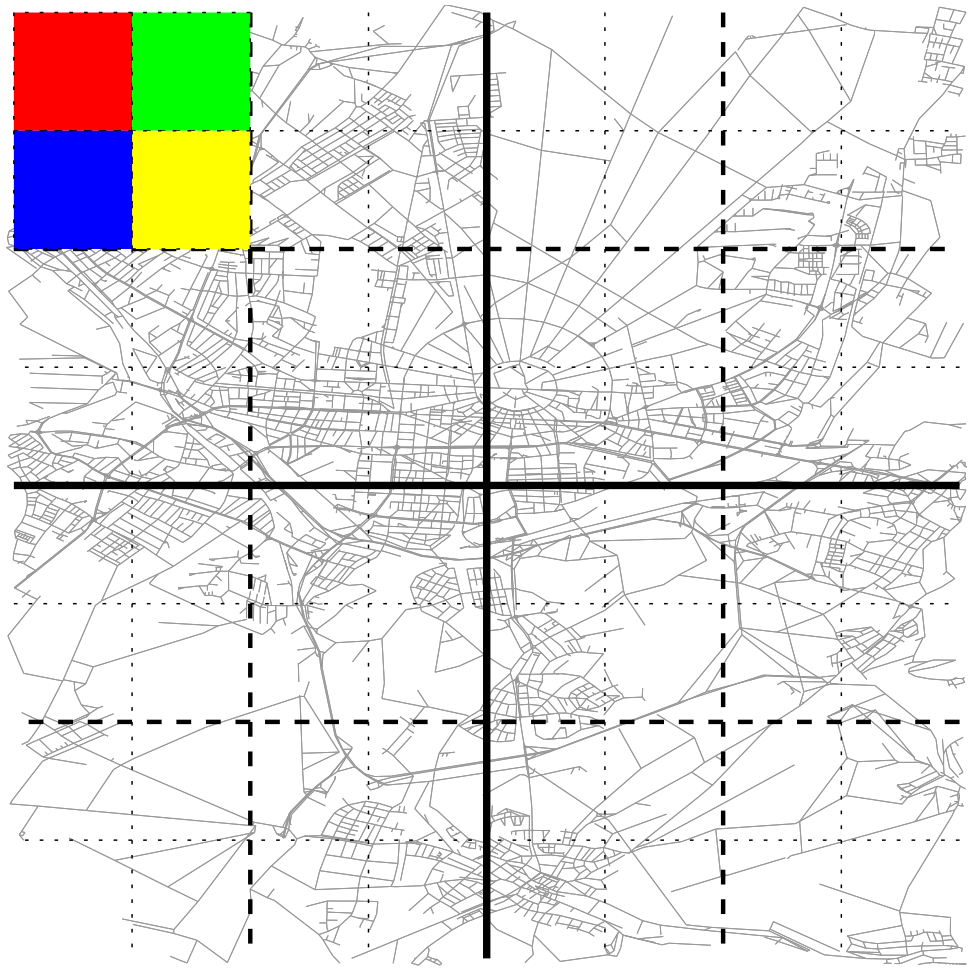
SHARC (Kontraktion, Arc-Flags)

Vorberechnung:

- Multi-Level-Partition
- iterativer Prozess:
  - kontrahiere Subgraphen
  - berechne Flaggen
- Flaggenverfeinerung

Anpassung (grob):

- Kontraktion und Flaggen berechnung anpassen
- Verfeinerung durch (lokale) Profilsuchen



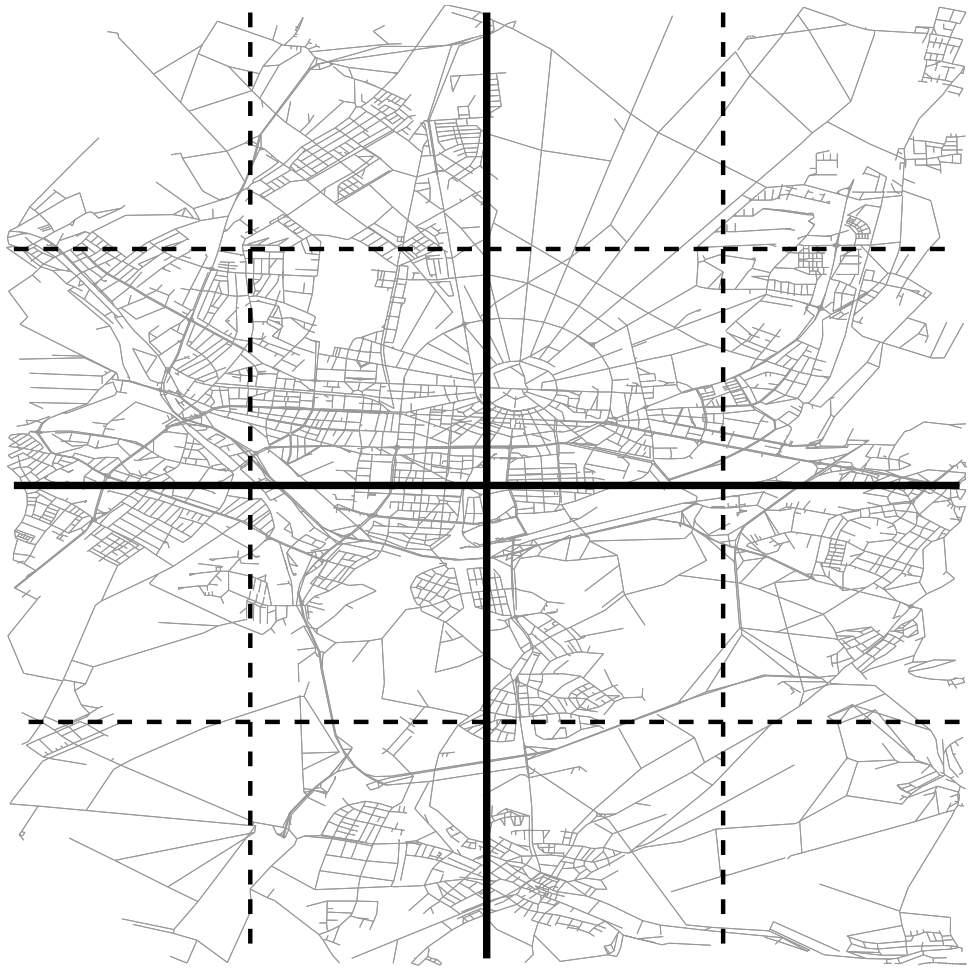
SHARC (Kontraktion, Arc-Flags)

Vorberechnung:

- Multi-Level-Partition
- iterativer Prozess:
  - kontrahiere Subgraphen
  - berechne Flaggen
- Flaggenverfeinerung

Anpassung (grob):

- Kontraktion und Flaggen berechnung anpassen
- Verfeinerung durch (lokale) Profilsuchen



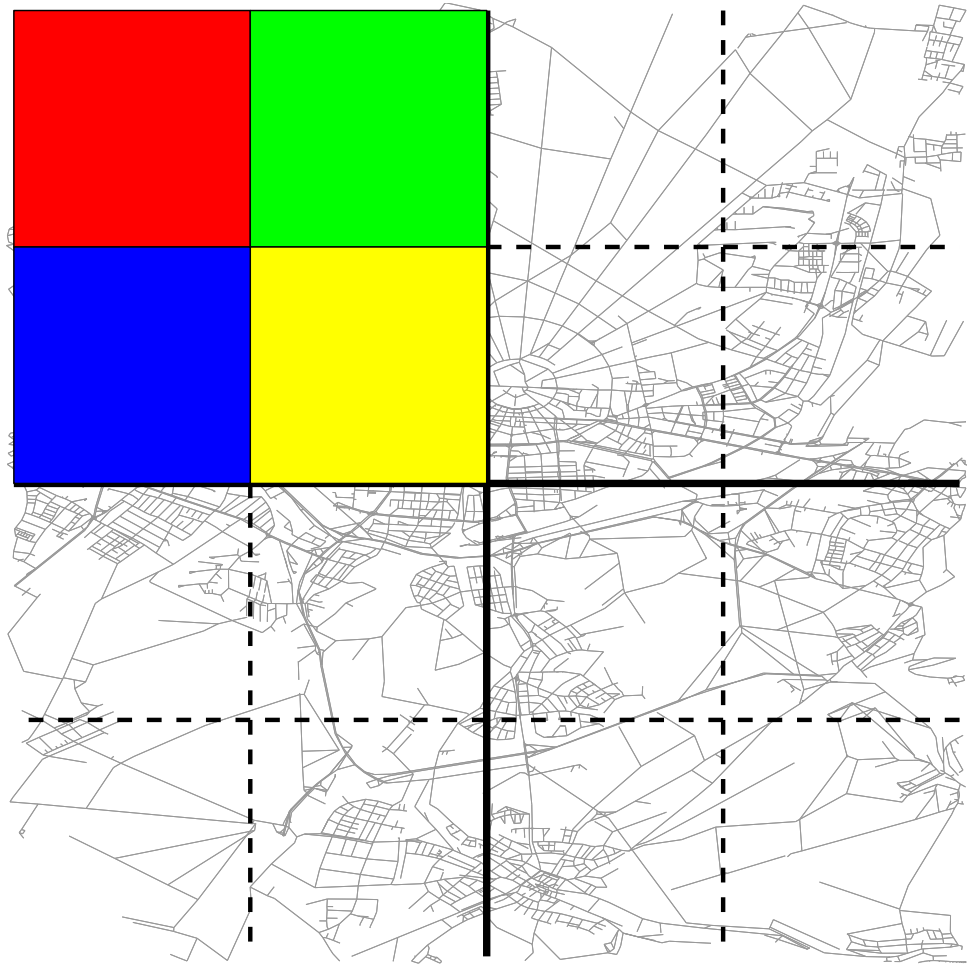
SHARC (Kontraktion, Arc-Flags)

Vorberechnung:

- Multi-Level-Partition
- iterativer Prozess:
  - kontrahiere Subgraphen
  - berechne Flaggen
- Flaggenverfeinerung

Anpassung (grob):

- Kontraktion und Flaggen berechnung anpassen
- Verfeinerung durch (lokale) Profilsuchen



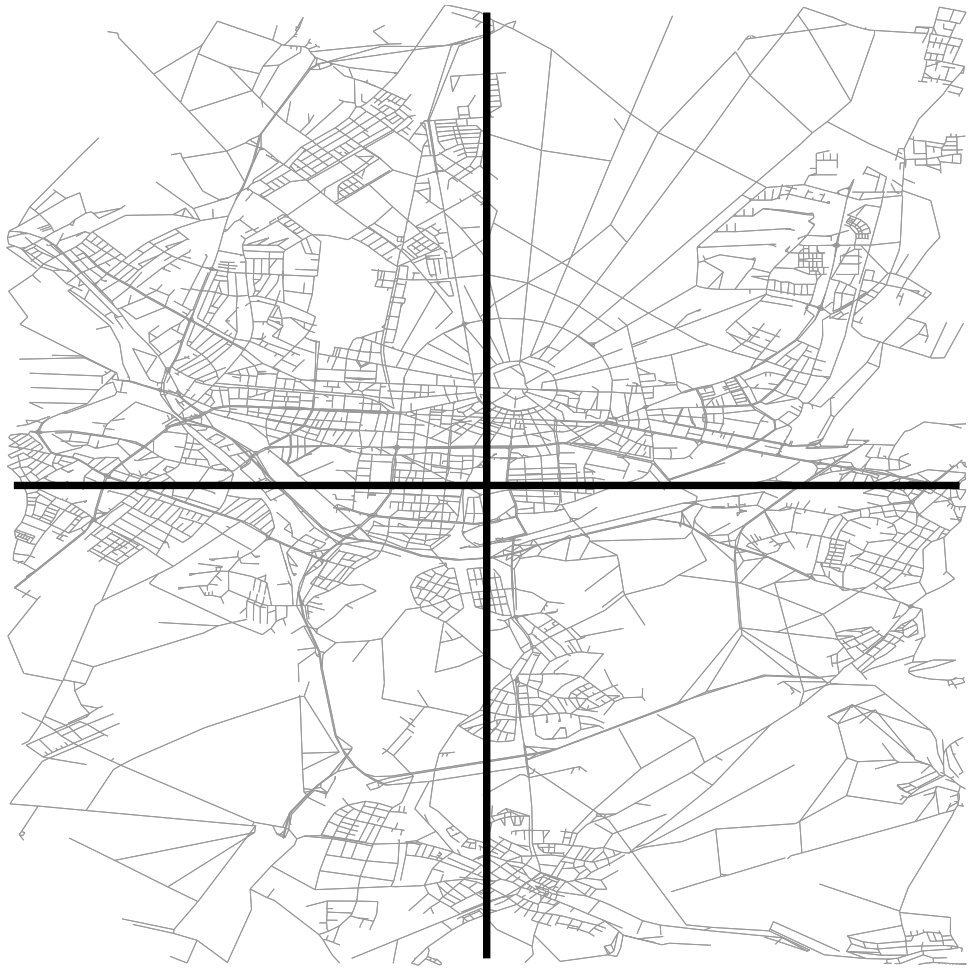
SHARC (Kontraktion, Arc-Flags)

Vorberechnung:

- Multi-Level-Partition
- iterativer Prozess:
  - kontrahiere Subgraphen
  - berechne Flaggen
- Flaggenverfeinerung

Anpassung (grob):

- Kontraktion und Flaggen berechnung anpassen
- Verfeinerung durch (lokale) Profilsuchen



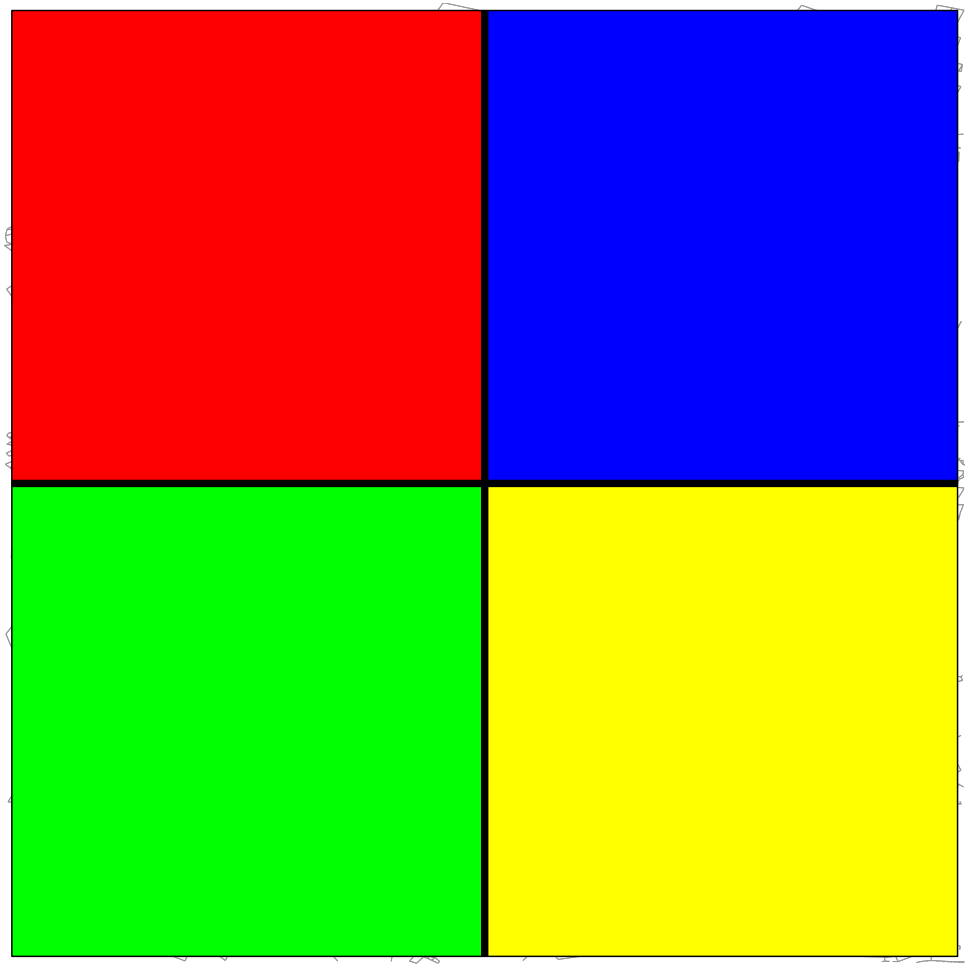
SHARC (Kontraktion, Arc-Flags)

Vorberechnung:

- Multi-Level-Partition
- iterativer Prozess:
  - kontrahiere Subgraphen
  - berechne Flaggen
- Flaggenverfeinerung

Anpassung (grob):

- Kontraktion und Flaggen berechnung anpassen
- Verfeinerung durch (lokale) Profilsuchen



Experimente (TD Germany)

		Preprocessing				Time-Queries	
scenario	algom	time [h:m]	space [B/n]	edge inc.	points inc.	time [ms]	speed up
Monday	eco	1:16	156.6	25.4%	366.8%	24.55	63
midweek	eco	1:16	154.9	25.4%	363.8%	25.06	60
Friday	eco	1:10	142.0	25.4%	358.0%	22.07	69
Saturday	eco	0:42	90.3	25.0%	283.6%	5.34	276
Sunday	eco	0:30	64.6	24.6%	215.8%	1.86	787
no traffic	static	0:06	13.5	23.9%	23.9%	0.30	4 075

Approximation

		Prepro		Error			Time-Queries	
scenario	algo	time [h:m]	space [B/n]	error -rate	max rel.	max abs.[s]	time [ms]	spd up
Monday	heu	3:30	138.2	0.46%	0.54%	39.3	0.69	2 253
midweek	heu	3:26	137.2	0.82%	0.61%	48.3	0.69	2 164
Friday	heu	3:14	125.2	0.50%	0.50%	50.3	0.64	2 358
Saturday	heu	2:13	80.4	0.18%	0.23%	16.9	0.51	2 887
Sunday	heu	1:48	58.8	0.09%	0.36%	14.9	0.46	3 163
no	static	0:06	13.5	0.00%	0.00%	0.0	0.30	4 075

Beobachtung:

- Fehler sehr gering
- hoher Speicherverbrauch

Profilsuchen

		Time-Queries		Profile-Queries			
traffic	var.	#del. mins	time [ms]	#del. mins	#re-ins.	time [ms]	profile /time
Monday	eco	19 136	24.55	19 768	402	51 122	2 082.6
	heu	810	0.69	1 071	24	1 008	1 460.9
midweek	eco	19 425	25.06	20 538	432	60 147	2 400.3
	heu	818	0.69	1 100	27	1 075	1 548.4
Friday	eco	17 412	22.07	19 530	346	52 780	2 391.9
	heu	769	0.64	1 049	21	832	1 293.2
Saturday	eco	5 284	5.34	5 495	44	3 330	624.0
	agg	721	0.58	865	9	134	232.5
	heu	666	0.51	798	8	98	191.9
Sunday	eco	2 142	1.86	2 294	12	536	288.1
	agg	670	0.50	781	5	57	113.5
	heu	635	0.46	738	5	45	97.9

Contraction Hierarchies

Vorberechnung:

- benutze gleiche Knotenordnung
- kontrahiere zeitabhängig
- erzeugt Suchgraphen $G' = (V, \uparrow E \cup \downarrow E)$

Contraction Hierarchies

Vorberechnung:

- benutze gleiche Knotenordnung
- kontrahiere zeitabhängig
- erzeugt Suchgraphen $G' = (V, \uparrow E \cup \downarrow E)$

Anfrage

- Rückwärtssuche schwierig (Ankunftszeit unbekannt)
- Kompletten Rückwärtsaufwärtssuchraum markieren?

Contraction Hierarchies

Vorberechnung:

- benutze gleiche Knotenordnung
- kontrahiere zeitabhängig
- erzeugt Suchgraphen $G' = (V, \uparrow E \cup \downarrow E)$

Anfrage

- Rückwärtssuche schwierig (Ankunftszeit unbekannt)
- Kompletten Rückwärtsaufwärtssuchraum markieren?
- Rückwärts aufwärts mittels min-max Suche (Phase 1)
  - Intervallsuche: jeder Knoten bekommt eine untere und obere Reisezeitschranke
  - markiere alle Kanten (u, v) aus $\downarrow E$ mit $\underline{d(u, v)} + \underline{d(v, t)} \leq \overline{d(u, t)}$
  - diese Menge sei $\downarrow E'$
- zeitabhängige Vorwärtsuche in $(V, \uparrow E \cup \downarrow E')$ (Phase 2)

Experimente (TD Germany)

input	type of ordering	Contr. ordering [h:m]	Contr. const. [h:m]	Contr. space [B/n]	Queries time [ms]	Queries speed up
Monday	static min	0:05	0:20	1 035	1.19	1 240
	timed	1:47	0:14	750	1.19	1 244
midweek	static min	0:05	0:20	1 029	1.22	1 212
	timed	1:48	0:14	743	1.19	1 242
Friday	static min	0:05	0:16	856	1.11	1 381
	timed	1:30	0:12	620	1.13	1 362
Saturday	static min	0:05	0:08	391	0.81	1 763
	timed	0:52	0:08	282	1.09	1 313
Sunday	static min	0:05	0:06	248	0.71	1 980
	timed	0:38	0:07	177	1.07	1 321

Approximation

Idee:

- speicher jeden Shortcut als Approximation
- reduziert Speicher um bis zu Faktor 10
- Aber: selbst die Vorwärtssuche liefert jetzt nur noch (Earliest Arrival) Approximationsintervalle!

Approximation

Idee:

- speicher jeden Shortcut als Approximation
- reduziert Speicher um bis zu Faktor 10
- Aber: selbst die Vorwärtssuche liefert jetzt nur noch (Earliest Arrival) Approximationsintervalle!

Query (viele Phasen!):

- Phase 1: Rück-auf: Min/max-Intervall, Vor-auf: Ankunfts-Intervall
- Phase 2: Vor-ab: Ankunftsintervall
- Phase 3: Rück-auf: Reisezeit-Intervall (verschärft Schranken)
- alle Knoten an denen Suchen sich treffen: Kandidaten C
- entpacke alle (approximierten) Shortcuts auf s–C–t Pfaden
- erzeugt (exakten weil Originalkanten) Subgraphen (Korridor)
- Time-dependent Dijkstra im Korridor (Phase 4)
- nicht viel langsamer (Faktor 2)
- ist exakt

Approximation (TD Germany), Zeitanfragen

method	ε [%]	space [B/n]	GRO	time [ms]	SPD	delMin #	SPD	edges #	SPD	evals #	SPD	error [%] MAX	AVG
Germany midweek													
TCH	–	994	10.4	0.72	1 440	520	4 616	5 813	951	1 269	162	0.00	0.00
TCH (cor.)	0.0	994	10.4	0.74	1 401	639	3 756	7 092	780	76	2 704	0.00	0.00
	0.1	286	3.0	0.71	1 460	642	3 739	7 128	770	77	2 669	0.10	0.02
	1.0	214	2.3	0.72	1 440	654	3 670	7 262	762	84	2 446	1.01	0.27
	10.0	113	1.2	1.03	1 006	897	2 676	10 096	548	223	921	9.75	3.84
ATCH (UoD)	0.1	308	3.2	1.10	942	554	4 332	7 734	715	3 080	67	0.00	0.00
	1.0	239	2.5	1.27	816	582	4 124	8 338	664	3 347	61	0.00	0.00
	10.0	163	1.7	2.40	432	824	2 913	21 036	263	7 486	27	0.00	0.00
	∞	118	1.2	1.45	714	698	3 439	20 116	275	3 153	65	0.00	0.00

Profilsuchen

Variante 1:

- normale Profilsuche in der CH
- langsam

Institut für Theoretische Informatik
Lehrstuhl Algorithmik

Profilsuchen

Variante 1:

- normale Profilsuche in der CH
- langsam

Variante 2:

- normale Profilsuche im Korridor (min/max, Approximation)
- besser, aber es geht noch besser

Profilsuchen

Variante 1:

- normale Profilsuche in der CH
- langsam

Variante 2:

- normale Profilsuche im Korridor (min/max, Approximation)
- besser, aber es geht noch besser

Variante 3:

- Kontraktion des Korridors:
  - halte Start- und Zielknoten fest
  - Führe exakte Kontraktion durch (Linken von Kanten, keine Approximation)
  - Priorisiere Knoten mit unkomplexen inzidenten Kanten
- Balanzierte Berechnung

$\Rightarrow$ ca. 30 ms

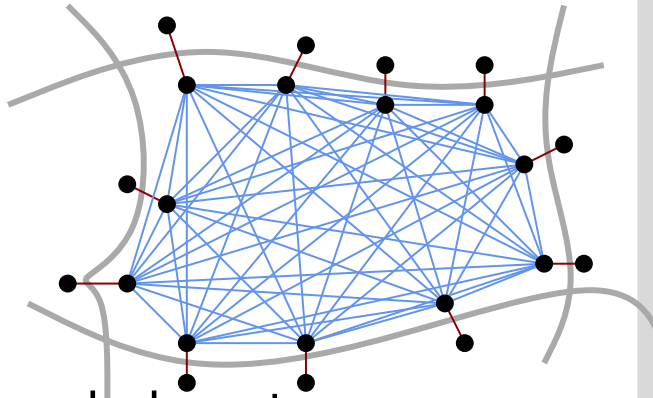
Profilsuchen (TD Germany)

method	ε [%]	space [B/n]	GRO	time [ms]	delMin #	edges #	points #	error [%] MAX	AVG
Germany midweek									
TCH	–	994	10.4	1 112.02	570	6 796	20 623 155	0.00	0.00
TCH (cor.)	0.0	994	10.4	88.87	646	7 170	1 437 892	0.00	0.00
	0.1	286	3.0	6.13	650	7 208	86 391	0.10	0.02
	1.0	214	2.3	2.94	662	7 348	35 769	1.03	0.27
	10.0	113	1.2	2.48	923	10 361	23 010	9.69	3.84
ATCH (CC)	0.1	308	3.2	36.22	650	29 551	576 099	0.00	0.00
	1.0	239	2.5	32.75	675	32 131	531 795	0.00	0.00
	10.0	163	1.7	105.45	889	92 740	1 731 359	0.00	0.00
	∞	118	1.2	76.58	578	59 368	1 278 095	0.00	0.00

Vergleich (TD Germany)

method	ε [%]	prepro. [h:m]	ovh. [B/n]	EA SPD	TTP REL	err. [%]
		Germany midweek				
TCH	–	0:28+0:09	899	1 440	11.66	0.00
ATCH	1	0:28+0:09	144	816	31.65	0.00
ATCH	∞	0:28+0:09	23	714	13.49	0.00
CALT	–	0:09	50	280	–	0.00
SH	–	1:16	155	60	0.02	0.00
L-SH	–	1:18	219	238	–	0.00
inex TCH	1	0:28+0:09	119	1 440	352.59	1.03
inex TCH	10	0:28+0:09	18	1 006	417.99	9.75
app CALT	–	0:09	50	804	–	13.84
heu SH	–	3:26	137	2 164	1.40	0.61
heu L-SH	–	3:28	201	3 915	–	0.61
spc eff SH	–	3:48	68	1 177	–	0.61
spc eff SH	–	3:48	14	491	–	0.61

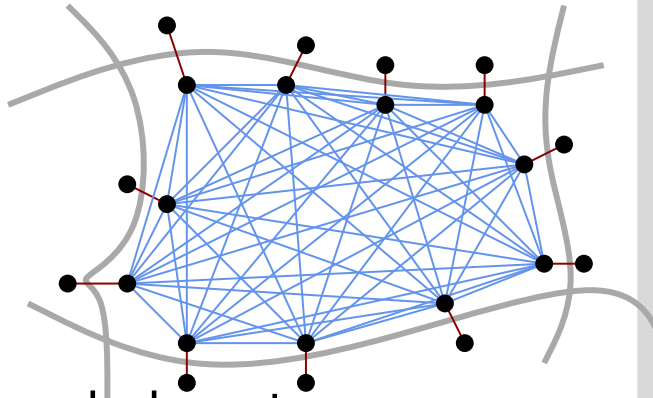
MLD (CRP)



Beobachtungen

- Partitionierung metrik-unabhängig
- Viele Shortcuts / Overlay-Kanten
- Großer Vorteil von MLD (eigentlich):
  Komplettes Speicherlayout nach Partitionierung bekannt
- Uni-direktionale Anfragen möglich (Partition steuert Suchlevel)

MLD (CRP)



Beobachtungen

- Partitionierung metrik-unabhängig
- Viele Shortcuts / Overlay-Kanten
- Großer Vorteil von MLD (eigentlich):
  Komplettes Speicherlayout nach Partitionierung bekannt
- Uni-direktionale Anfragen möglich (Partition steuert Suchlevel)

TDCRP

- Speicherlayout hängt an Komplexität der
  Overlay-Kanten-Funktionen; die ist aber vorab unbekannt
- Lohnt sich noch das Speichern der kompletten Cliquen?
- Hilft geschickte Approximation?

Approximation (TDCRP)

Approximation hilft auch hier (sehr viel)

ε [%]		Lvl 1	Lvl 2	Lvl 3	Lvl 4	Lvl 5	Lvl 6
0	breakpoints	99 M	397 M	813 M	1 356 M	—	—
	td.arc.cplx.	21	69	188	507	—	—
0.1	breakpoints	65 M	126 M	142 M	121 M	68 M	26 M
	td.arc.cplx.	14	22	33	45	50	47
1.0	breakpoints	51 M	73 M	62 M	41 M	21 M	8 M
	td.arc.cplx.	11	13	14	15	15	14
10.0	breakpoints	28 M	28 M	19 M	12 M	6 M	1 M
	td.arc.cplx.	6	5	5	5	4	2

Approximation nach jedem Level.

Performance (Synth. TD Europe)

	ε [%]	Custom. [s]	EA query [ms]	Max err [%]
Dijkstra	—	—	1652.6	—
TDCRP	0.1	449	4.1	0.34
	1.0	201	3.2	3.02
	10.0	77	2.5	24.27
inex.TCH	0.1	—	1.8	0.14
	1.0	—	1.4	1.46
	10.0	—	1.3	15.34
ATCH	0.1	—	1.1	0.00
	1.0	—	1.2	0.00
	10.0	—	3.6	0.00

Performance (Synth. TD Europe)

	ε [%]	Custom. [s]	EA query [ms]	Max err [%]
Dijkstra	—	—	1652.6	—
TDCRP	0.1	449	4.1	0.34
	1.0	201	3.2	3.02
	10.0	77	2.5	24.27
inex.TCH	0.1	—	1.8	0.14
	1.0	—	1.4	1.46
	10.0	—	1.3	15.34
ATCH	0.1	—	1.1	0.00
	1.0	—	1.2	0.00
	10.0	—	3.6	0.00

ATCH-ähnliche exakte TDCRP-Anfrage möglich:

- uni-direktional $\Rightarrow$ weniger Phasen
- Aber: Unpacking ist teurer, Hopping bei LC-Suchen (kein DAG)
- bisher nicht implementiert

Robustheit (Synth. TD Europe)

TDCRP robuster gegen Veränderungen in der Eingabe

	TCH		TDCRP	
Network	Pre. [s]	Q. [ms]	Cust. [s]	Q. [ms]
Europe	1 479	1.37	109	5.75
Europe, bad traffic	7 772	5.87	208	8.01
Europe, avoid highways	8 956	19.54	127	8.29

Ende

Literatur:

- Daniel Delling:
  Enginering and Augmenting Route Planning Algorithms
  Ph.D. Thesis, Universität Karlsruhe (TH), 2009.
- Gernot Veit Batz, Robert Geisberger, Peter Sanders, Christian Vetter:
  Minimum Time-Dependent Travel Times with Contraction Hierarchies
  Journal of Experimental Algorithmics, 2013.
- Moritz Baum, Julian Dibbelt, Thomas Pajor, Dorothea Wagner:
  Dynamic Time-Dependent Route Planning in Road Networks with User Preferences
  In: *Proceedings of the 9th International Symposium on Experimental Algorithms (SEA'16)*, 2016.

Nächster Termin

Karlsruher Institut für Technologie

Montag, 19.06.2017