

Algorithmen für Routenplanung

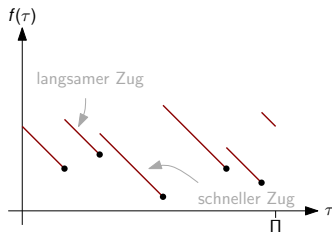
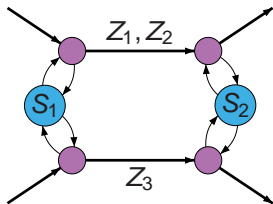
18. Sitzung, Sommersemester 2012

Thomas Pajor | 9. Juli 2012

INSTITUT FÜR THEORETISCHE INFORMATIK · ALGORITHMIK · PROF. DR. DOROTHEA WAGNER



Einführung in die Fahrplanauskunft



Funktion f durch Punkte: $I^f := \{(t_1^f, w_1^f), \dots, (t_k^f, w_k^f)\}$

Graph-Modelle?

Bis jetzt:

- Modelliere Fahrplan als gerichteten Graphen
- Zeitexpandiert vs zeitabhängig
- Verschiedene Varianten von Dijkstra's Algorithmus
- Earliest Arrival, Profil-, Multi-Criteria Suchen

Bis jetzt:

- Modelliere Fahrplan als gerichteten Graphen
- Zeitexpandiert vs zeitabhängig
- Verschiedene Varianten von Dijkstra's Algorithmus
- Earliest Arrival, Profil-, Multi-Criteria Suchen

Probleme

- Viele Knoten und Kanten
- Overhead von Priority Queue
- Wenig explizites Ausnutzen der Fahrplanstruktur
- Dynamische Szenarien erfordern Updates der Graph-Topologie
- Außerdem: Beschleunigungstechniken funktionieren nicht gut

Bis jetzt:

- Modelliere Fahrplan als gerichteten Graphen
- Zeitexpandiert vs zeitabhängig
- Verschiedene Varianten von Dijkstra's Algorithmus
- Earliest Arrival, Profil-, Multi-Criteria Suchen

Probleme

- Viele Knoten und Kanten
- Overhead von Priority Queue
- Wenig explizites Ausnutzen der Fahrplanstruktur
- Dynamische Szenarien erfordern Updates der Graph-Topologie
- Außerdem: Beschleunigungstechniken funktionieren nicht gut

Sind Graphen die beste Art Fahrpläne zu modellieren?

Anforderungen:

Anforderungen:

- Berechnen von Pareto-sets,
mindestens Ankunftszeit und # Umstiege

Anforderungen:

- Berechnen von Pareto-sets, mindestens Ankunftszeit und # Umstiege
- Nutzt die Struktur der Fahrpläne aus, benutzt Routen und Trips explizit?

Anforderungen:

- Berechnen von Pareto-sets, mindestens Ankunftszeit und # Umstiege
- Nutzt die Struktur der Fahrpläne aus, benutzt Routen und Trips explizit?
- funktioniert in dynamischen Szenarien, Verspätungen, Zugausfälle, Routenänderungen; keine Vorberechnung

Anforderungen:

- Berechnen von Pareto-sets, mindestens Ankunftszeit und # Umstiege
- Nutzt die Struktur der Fahrpläne aus, benutzt Routen und Trips explizit?
- funktioniert in dynamischen Szenarien, Verspätungen, Zugausfälle, Routenänderungen; keine Vorberechnung
- Kann auf zusätzliche Kriterien erweitert werden, z.B. Tarifzonen, Umstiegssicherheit, etc

Anforderungen:

- Berechnen von Pareto-sets, mindestens Ankunftszeit und # Umstiege
- Nutzt die Struktur der Fahrpläne aus, benutzt Routen und Trips explizit?
- funktioniert in dynamischen Szenarien, Verspätungen, Zugausfälle, Routenänderungen; keine Vorberechnung
- Kann auf zusätzliche Kriterien erweitert werden, z.B. Tarifzonen, Umstiegssicherheit, etc
- und ist hinreichend schnell für interaktive Szenarien

Anforderungen:

- Berechnen von Pareto-sets, mindestens Ankunftszeit und # Umstiege
- Nutzt die Struktur der Fahrpläne aus, benutzt Routen und Trips explizit?
- funktioniert in dynamischen Szenarien, Verspätungen, Zugausfälle, Routenänderungen; keine Vorberechnung
- Kann auf zusätzliche Kriterien erweitert werden, z.B. Tarifzonen, Umstiegssicherheit, etc
- und ist hinreichend schnell für interaktive Szenarien

RAPTOR: Round-bAsed Public Transit Optimized Router

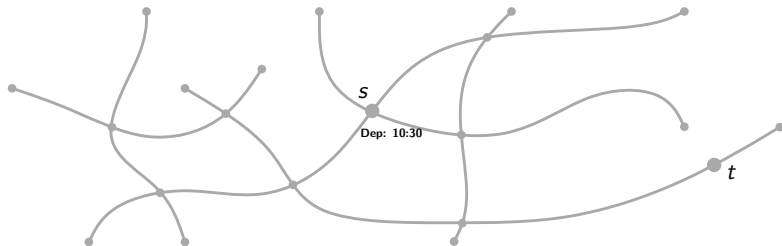
Beobachtung: Wechseln zw. Trips führt immer zu einem Umstieg.

Beobachtung: Wechseln zw. Trips führt immer zu einem Umstieg.

Idee: Eine *Runde* für jeden genommenen Trip.

Beobachtung: Wechseln zw. Trips führt immer zu einem Umstieg.

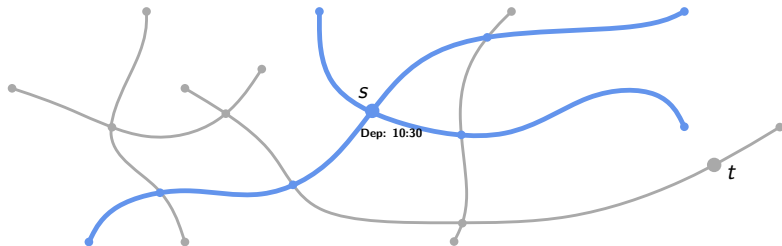
Idee: Eine *Runde* für jeden genommenen Trip.



Ansatz: In Runde k werden Ankunftszeiten für k Trips berechnet.

Beobachtung: Wechseln zw. Trips führt immer zu einem Umstieg.

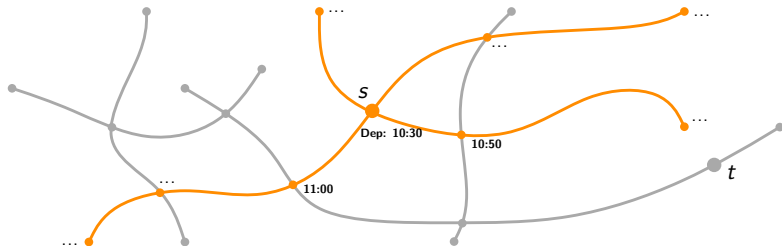
Idee: Eine *Runde* für jeden genommenen Trip.



Ansatz: In Runde k werden Ankunftszeiten für k Trips berechnet.

Beobachtung: Wechseln zw. Trips führt immer zu einem Umstieg.

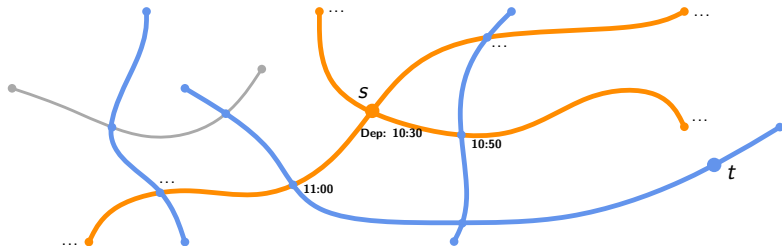
Idee: Eine *Runde* für jeden genommenen Trip.



Ansatz: In Runde k werden Ankunftszeiten für k Trips berechnet.

Beobachtung: Wechseln zw. Trips führt immer zu einem Umstieg.

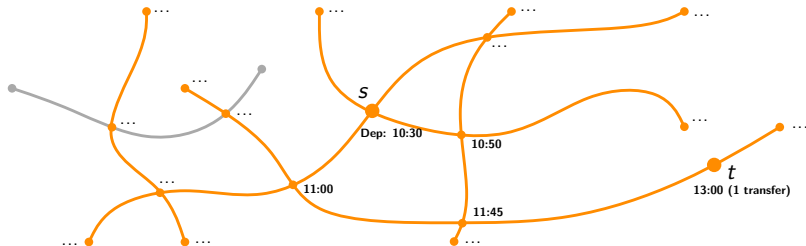
Idee: Eine *Runde* für jeden genommenen Trip.



Ansatz: In Runde k werden Ankunftszeiten für k Trips berechnet.

Beobachtung: Wechseln zw. Trips führt immer zu einem Umstieg.

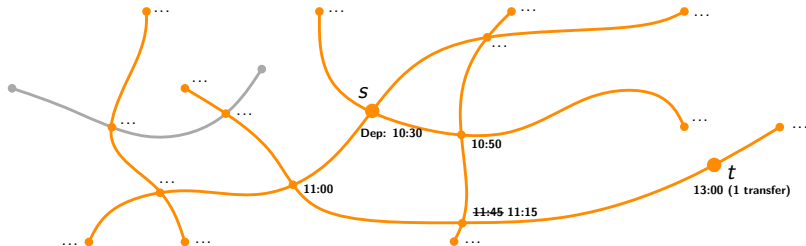
Idee: Eine *Runde* für jeden genommenen Trip.



Ansatz: In Runde k werden Ankunftszeiten für k Trips berechnet.

Beobachtung: Wechseln zw. Trips führt immer zu einem Umstieg.

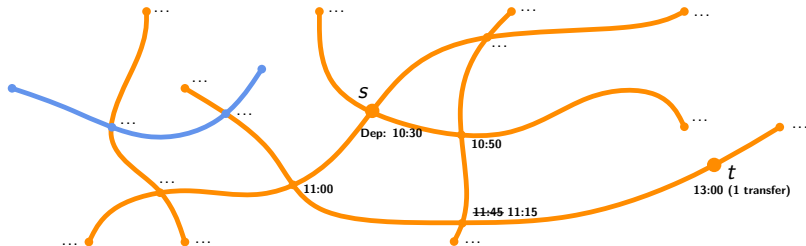
Idee: Eine *Runde* für jeden genommenen Trip.



Ansatz: In Runde k werden Ankunftszeiten für k Trips berechnet.

Beobachtung: Wechseln zw. Trips führt immer zu einem Umstieg.

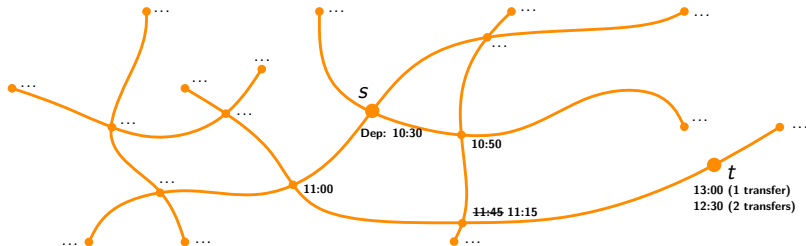
Idee: Eine *Runde* für jeden genommenen Trip.



Ansatz: In Runde k werden Ankunftszeiten für k Trips berechnet.

Beobachtung: Wechseln zw. Trips führt immer zu einem Umstieg.

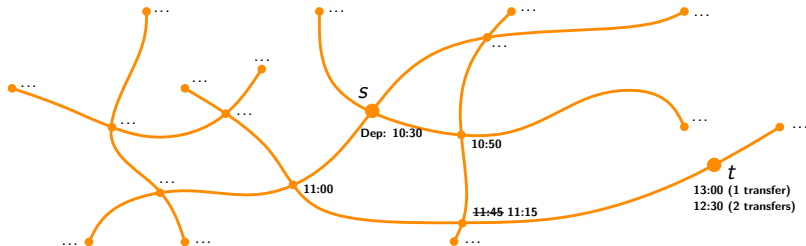
Idee: Eine *Runde* für jeden genommenen Trip.



Ansatz: In Runde k werden Ankunftszeiten für k Trips berechnet.

Beobachtung: Wechseln zw. Trips führt immer zu einem Umstieg.

Idee: Eine *Runde* für jeden genommenen Trip.



Ansatz: In Runde k werden Ankunftszeiten für k Trips berechnet.

Scanne jede **Route** höchstens einmal pro Runde.

Some route

Current Trip: \perp



	
$k-1$	∞	9:16	9:58	8:43	7:25	∞	9:07
k	∞	∞	∞	8:19	7:12	∞	∞

- Jeder Stop hat ein Label (Ankunftszeit) *pro Runde*
- Aktiver Trip entlang der Route wird stets verbessert.

In Runde k :

- Update Labels von Runde k mit Labels aus Runde $k - 1$.

Some route

Current Trip: \perp



...	
$k-1$	∞	9:16	9:58	8:43	7:25	∞	9:07
k	∞	∞	∞	8:19	7:12	∞	∞
...

- Jeder Stop hat ein Label (Ankunftszeit) *pro Runde*
- Aktiver Trip entlang der Route wird stets verbessert.

In Runde k :

- Update Labels von Runde k mit Labels aus Runde $k - 1$.

Some route

Current Trip: \perp



	
$k-1$	∞	9:16	9:58	8:43	7:25	∞	9:07
k	∞	∞	∞	8:19	7:12	∞	∞

- Jeder Stop hat ein Label (Ankunftszeit) *pro Runde*
- Aktiver Trip entlang der Route wird stets verbessert.

In Runde k :

- Update Labels von Runde k mit Labels aus Runde $k - 1$.

Some route

Current Trip: 13



\dots	\dots	\dots	\dots	\dots	\dots	\dots
$k-1$ ∞	9:16	9:58	8:43	7:25	∞	9:07
k ∞	∞	∞	8:19	7:12	∞	∞
\dots	\dots	\dots	\dots	\dots	\dots	\dots

- Jeder Stop hat ein Label (Ankunftszeit) *pro Runde*
- Aktiver Trip entlang der Route wird stets verbessert.

In Runde k :

- Update Labels von Runde k mit Labels aus Runde $k - 1$.

Some route

Current Trip: 13



9:26

...	
$k-1$	∞	9:16	9:58	8:43	7:25	∞	9:07
k	∞	∞	∞	8:19	7:12	∞	∞
...

- Jeder Stop hat ein Label (Ankunftszeit) *pro Runde*
- Aktiver Trip entlang der Route wird stets verbessert.

In Runde k :

- Update Labels von Runde k mit Labels aus Runde $k - 1$.

Some route

Current Trip: 13



9:26

...	
$k-1$	∞	9:16	9:58	8:43	7:25	∞	9:07
k	∞	∞	9:26	8:19	7:12	∞	∞
...

- Jeder Stop hat ein Label (Ankunftszeit) *pro Runde*
- Aktiver Trip entlang der Route wird stets verbessert.

In Runde k :

- Update Labels von Runde k mit Labels aus Runde $k - 1$.

Some route

Current Trip: 13



...
$k-1$	∞	9:16	9:58	8:43	7:25	∞
k	∞	∞	9:26	8:19	7:12	∞
...

- Jeder Stop hat ein Label (Ankunftszeit) *pro Runde*
- Aktiver Trip entlang der Route wird stets verbessert.

In Runde k :

- Update Labels von Runde k mit Labels aus Runde $k - 1$.

Some route

Current Trip: 11



...
$k-1$	∞	9:16	9:58	8:43	7:25	∞
k	∞	∞	9:26	8:19	7:12	∞
...

- Jeder Stop hat ein Label (Ankunftszeit) *pro Runde*
- Aktiver Trip entlang der Route wird stets verbessert.

In Runde k :

- Update Labels von Runde k mit Labels aus Runde $k - 1$.

Some route

Current Trip: 11

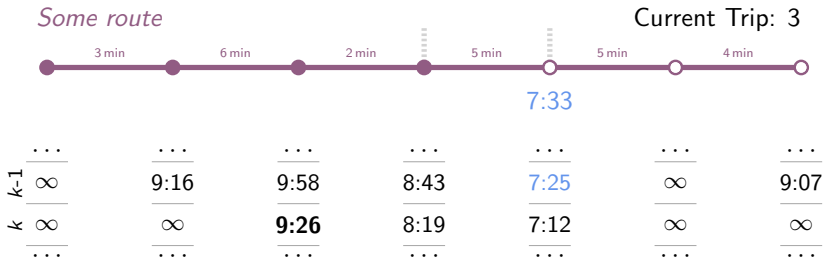


...	
$k-1$	∞	9:16	9:58	8:43	7:25	∞	9:07
k	∞	∞	9:26	8:19	7:12	∞	∞
...

- Jeder Stop hat ein Label (Ankunftszeit) *pro Runde*
- Aktiver Trip entlang der Route wird stets verbessert.

In Runde k :

- Update Labels von Runde k mit Labels aus Runde $k - 1$.



- Jeder Stop hat ein Label (Ankunftszeit) *pro Runde*
- Aktiver Trip entlang der Route wird stets verbessert.

In Runde k :

- Update Labels von Runde k mit Labels aus Runde $k - 1$.

Some route

Current Trip: 3



7:38

...	
$k-1$	∞	9:16	9:58	8:43	7:25	∞	9:07
k	∞	∞	9:26	8:19	7:12	∞	∞
...

- Jeder Stop hat ein Label (Ankunftszeit) *pro Runde*
- Aktiver Trip entlang der Route wird stets verbessert.

In Runde k :

- Update Labels von Runde k mit Labels aus Runde $k - 1$.

Some route

Current Trip: 3



7:38

...	
$k-1$	∞	9:16	9:58	8:43	7:25	∞	9:07
k	∞	∞	9:26	8:19	7:12	7:38	∞
...

- Jeder Stop hat ein Label (Ankunftszeit) *pro Runde*
- Aktiver Trip entlang der Route wird stets verbessert.

In Runde k :

- Update Labels von Runde k mit Labels aus Runde $k - 1$.

Some route

Current Trip: 3



...
$k-1$	∞	9:16	9:58	8:43	7:25	∞
k	∞	∞	9:26	8:19	7:12	7:38
...

- Jeder Stop hat ein Label (Ankunftszeit) *pro Runde*
- Aktiver Trip entlang der Route wird stets verbessert.

In Runde k :

- Update Labels von Runde k mit Labels aus Runde $k - 1$.

Some route

Current Trip: 3



...
$k-1$	∞	9:16	9:58	8:43	7:25	∞
k	∞	∞	9:26	8:19	7:12	7:38
...

- Jeder Stop hat ein Label (Ankunftszeit) *pro Runde*
- Aktiver Trip entlang der Route wird stets verbessert.

In Runde k :

- Update Labels von Runde k mit Labels aus Runde $k - 1$.

Some route

Current Trip: 3



\dots	\dots	\dots	\dots	\dots	\dots	\dots	
$k-1$	∞	9:16	9:58	8:43	7:25	∞	9:07
k	∞	∞	9:26	8:19	7:12	7:38	7:42
\dots	\dots	\dots	\dots	\dots	\dots	\dots	\dots

- Jeder Stop hat ein Label (Ankunftszeit) *pro Runde*
- Aktiver Trip entlang der Route wird stets verbessert.

In Runde k :

- Update Labels von Runde k mit Labels aus Runde $k - 1$.

Some route

Current Trip: 3



...
$k-1$	∞	9:16	9:58	8:43	7:25	∞
k	∞	∞	9:26	8:19	7:12	7:38
...

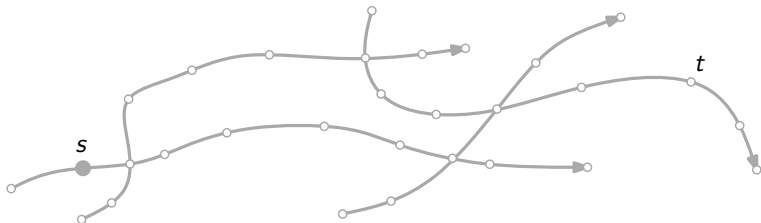
- Jeder Stop hat ein Label (Ankunftszeit) *pro Runde*
- Aktiver Trip entlang der Route wird stets verbessert.

In Runde k :

- Update Labels von Runde k mit Labels aus Runde $k - 1$.

Dynamischer Programmierungsansatz.

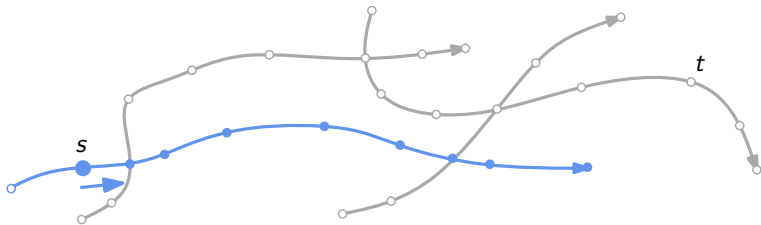
Beobachtung: Nicht alle Routen werden in jeder Runde erreicht.



Markieren und Pruning

- Route scannen: Markiere Stop falls Ankunftszeit verbessert.
- Nächste Runde: Nur Routen von markierten Stops scannen.
- Scanne jede Route ab ihrem ersten markierten Stop.

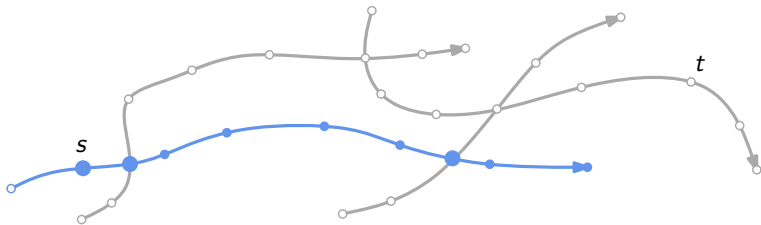
Beobachtung: Nicht alle Routen werden in jeder Runde erreicht.



Markieren und Pruning

- Route scannen: Markiere Stop falls Ankunftszeit verbessert.
- Nächste Runde: Nur Routen von markierten Stops scannen.
- Scanne jede Route ab ihrem ersten markierten Stop.

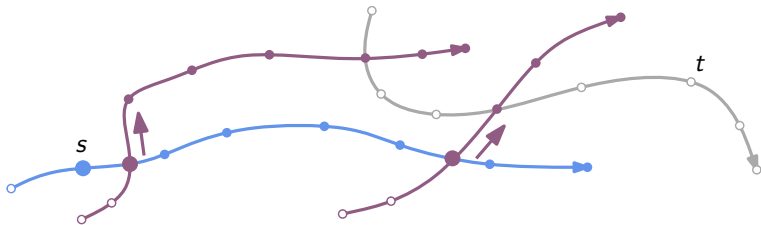
Beobachtung: Nicht alle Routen werden in jeder Runde erreicht.



Markieren und Pruning

- Route scannen: Markiere Stop falls Ankunftszeit verbessert.
- Nächste Runde: Nur Routen von markierten Stops scannen.
- Scanne jede Route ab ihrem ersten markierten Stop.

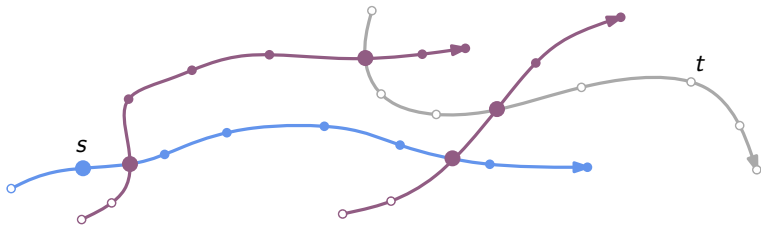
Beobachtung: Nicht alle Routen werden in jeder Runde erreicht.



Markieren und Pruning

- Route scannen: Markiere Stop falls Ankunftszeit verbessert.
- Nächste Runde: Nur Routen von markierten Stops scannen.
- Scanne jede Route ab ihrem ersten markierten Stop.

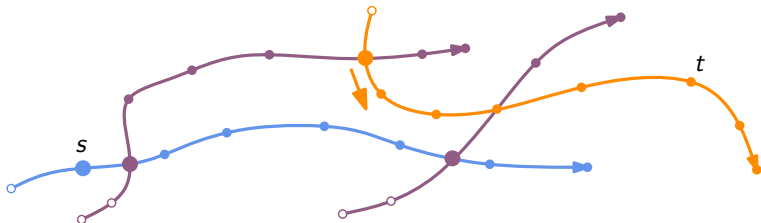
Beobachtung: Nicht alle Routen werden in jeder Runde erreicht.



Markieren und Pruning

- Route scannen: Markiere Stop falls Ankunftszeit verbessert.
- Nächste Runde: Nur Routen von markierten Stops scannen.
- Scanne jede Route ab ihrem ersten markierten Stop.

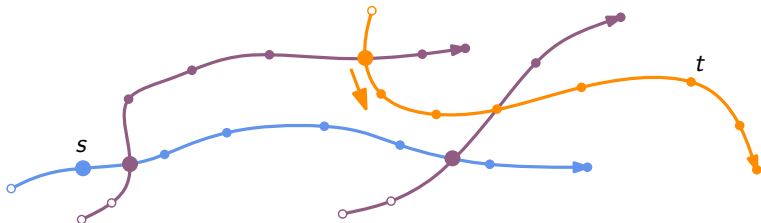
Beobachtung: Nicht alle Routen werden in jeder Runde erreicht.



Markieren und Pruning

- Route scannen: Markiere Stop falls Ankunftszeit verbessert.
- Nächste Runde: Nur Routen von markierten Stops scannen.
- Scanne jede Route ab ihrem ersten markierten Stop.

Beobachtung: Nicht alle Routen werden in jeder Runde erreicht.

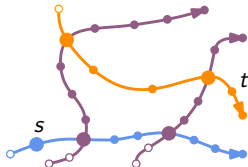


Markieren und Pruning

- Route scannen: Markiere Stop falls Ankunftszeit verbessert.
- Nächste Runde: Nur Routen von markierten Stops scannen.
- Scanne jede Route ab ihrem ersten markierten Stop.
- Markiere nur Stops die beste Ankunftszeit am Ziel verbessern.

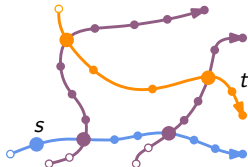
Für jede Runde $k \leftarrow 1, 2, \dots$

- 1 Wähle erreichte Routen aus letzter Runde
- 2 Scanne diese Routen
- 3 Relaxiere Fußwege



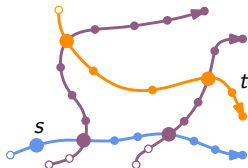
Für jede Runde $k \leftarrow 1, 2, \dots$

- 1 Wähle erreichte Routen aus letzter Runde
- 2 Scanne diese Routen
- 3 Relaxiere Fußwege



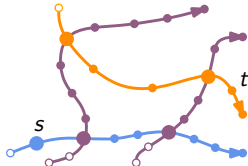
Für jede Runde $k \leftarrow 1, 2, \dots$

- 1 Wähle erreichte Routen aus letzter Runde
- 2 Scanne diese Routen
- 3 Relaxiere Fußwege



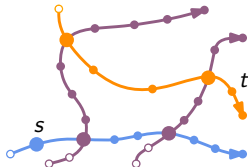
Für jede Runde $k \leftarrow 1, 2, \dots$

- 1 Wähle erreichte Routen aus letzter Runde
- 2 Scanne diese Routen
- 3 Relaxiere Fußwege



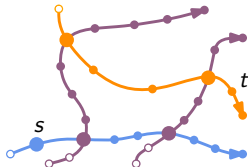
Für jede Runde $k \leftarrow 1, 2, \dots$

- 1 Wähle erreichte Routen aus letzter Runde
- 2 Scanne diese Routen
- 3 Relaxiere Fußwege



Für jede Runde $k \leftarrow 1, 2, \dots$

- 1 Wähle erreichte Routen aus letzter Runde
- 2 Scanne diese Routen
- 3 Relaxiere Fußwege



Terminiere, wenn kein Stop markiert wurde.

Beobachtung: Routen werden in bel. Reihenfolge gescannt.

Beobachtung: Routen werden in bel. Reihenfolge gescannt.

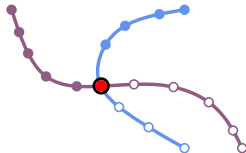
Verteile Routen auf verschiedene CPU Kerne; Scanne parallel.

Beobachtung: Routen werden in bel. Reihenfolge gescannt.

Verteile Routen auf verschiedene CPU Kerne; Scanne parallel.

Vermeiden von Race-Conditions

- Lock auf Schreiben von Labels (teuer).
- Synchronisiere Labels nach jeder Runde.
- Sicherstellen dass nur „unabhängige“ Routen gleichzeitig gescannt werden.

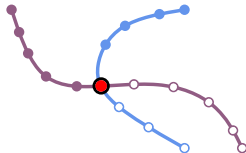


Beobachtung: Routen werden in bel. Reihenfolge gescannt.

Verteile Routen auf verschiedene CPU Kerne; Scanne parallel.

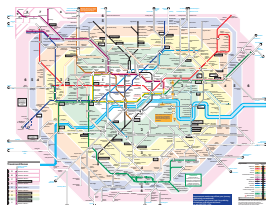
Vermeiden von Race-Conditions

- Lock auf Schreiben von Labels (teuer).
- Synchronisiere Labels nach jeder Runde.
- Sicherstellen dass nur „unabhängige“ Routen gleichzeitig gescannt werden.



Mögliche Erweiterungen

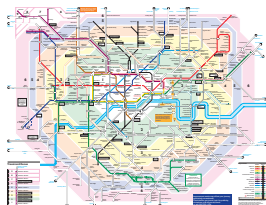
- Intervallanfragen (Profil-Anfragen), Flexible Abfahrtszeiten.
- Tarifzonen, Längere Routen könnten billiger sein.
- Umstiegssicherheit, Routen könnten knappe Umstiege haben.
- ...



Performance hängt von Anzahl *nichtdominierter* Routen ab.

Mögliche Erweiterungen

- Intervallanfragen (Profil-Anfragen), Flexible Abfahrtszeiten.
- Tarifzonen, Längere Routen könnten billiger sein.
- Umstiegssicherheit, Routen könnten knappe Umstiege haben.
- ...



Performance hängt von Anzahl *nichtdominierter* Routen ab.

More Criteria: McRAPTOR

Ziel: Erweitern von RAPTOR auf zusätzliche Kriterien.



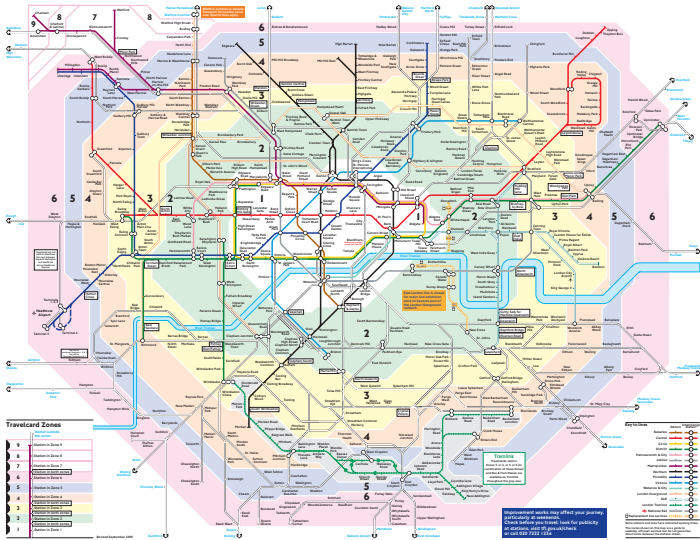
Ziel: Erweitern von RAPTOR auf zusätzliche Kriterien.



Ansatz

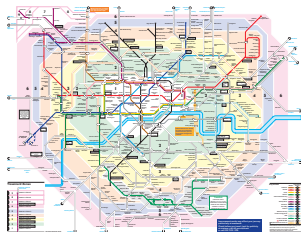
- Labels haben Wert für jedes zusätzliche Kriterium.
- Mehrere nichtdominierte Labels pro Stop und Runde.
- Mehrere aktive Trips beim Scannen von Routen.
- Lösche dominierte Labels on-the-fly.

McRAPTOR Beispiel: Tarifzonen



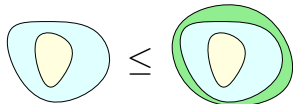
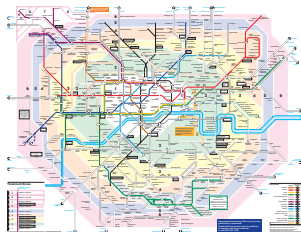
Tarifzonen einbauen

- Direkte Preise (£) können nicht handhabbar.
- ⇒ Berechne alle Kombinationen von Tarifzonen,
- und filtere im Postprocessing.



Tarifzonen einbauen

- Direkte Preise (£) können nicht handhabbar.
- ⇒ Berechne alle Kombinationen von Tarifzonen,
- und filtere im Postprocessing.



Implementierung

- Mengen von Tarifzonen als Kriterium.
- Dominieren $\hat{=}$ Teilmengenrelation.
- Benutze Bits von `int64` für Mengen.

Intervallanfragen: rRAPTOR

Problem: Finde alle besten Verbindungen die in einem Zeitintervall Δ abfahren.



Intervallanfragen: rRAPTOR

Problem: Finde alle besten Verbindungen die in einem Zeitintervall Δ abfahren.

- Lösbar mit McRAPTOR...
- ... mit Abfahrtszeit als Kriterium.



Problem: Finde alle besten Verbindungen die in einem Zeitintervall Δ abfahren.

- Lösbar mit McRAPTOR...
- ... mit Abfahrtszeit als Kriterium.



Effizienterer Ansatz: rRAPTOR

- Sammle alle Abfahrten aus Intervall Δ in Menge Ψ .
- Dann: RAPTOR für jedes $\tau \in \Psi$ geordnet absteigend nach Zeit.
- Reinitialisiere keine Labels zwischen den Aufrufen!

Problem: Finde alle besten Verbindungen die in einem Zeitintervall Δ abfahren.

- Lösbar mit McRAPTOR...
- ... mit Abfahrtszeit als Kriterium.



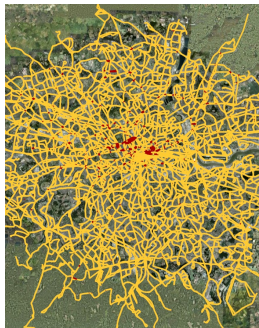
Effizienterer Ansatz: rRAPTOR

- Sammle alle Abfahrten aus Intervall Δ in Menge Ψ .
- Dann: RAPTOR für jedes $\tau \in \Psi$ geordnet absteigend nach Zeit.
- Reinitialisiere keine Labels zwischen den Aufrufen!

Prunt implizit Routen die früher abfahren und später ankommen.

Das vollständige Londoner Netzwerk

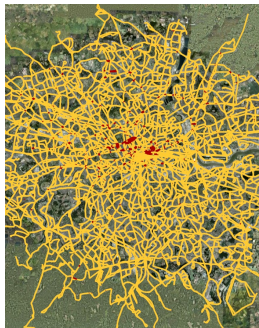
- Ein Dienstag.
- Beinhaltet Tube, Bus, DLR, Tram. . .
- 20 843 Stops,
- 2 225 Routen mit 133 011 Trips,
- 5 132 672 einzelne Abfahrten pro Tag.



Das vollständige Londoner Netzwerk

- Ein Dienstag.
- Beinhaltet Tube, Bus, DLR, Tram. . .
- 20 843 Stops,
- 2 225 Routen mit 133 011 Trips,
- 5 132 672 einzelne Abfahrten pro Tag.

Experimente: 10 000 zufällige $s-t$ -Anfragen.



Vergleich der Algorithmen

(Hardware: Intel Xeon X5680 mit 3.33 GHz und 96 GiB DDR3-1333 RAM)

Algorithm	Ar	R	Tr	Fz	Rounds	Journeys	[ms]
Dijkstra	●	○	○	○	—	0.9	14.2
RAPTOR	●	○	●	○	8.4	1.9	7.3
LD	●	○	●	○	—	1.9	44.5
MLC	●	○	●	○	—	1.9	67.2
McRAPTOR	●	○	●	●	10.8	9.0	107.4
MLC	●	○	●	●	—	9.0	399.5
McRAPTOR	●	●	●	○	9.5	16.3	259.8
rRAPTOR	●	●	●	○	138.5	16.3	87.0
SPCS	●	●	○	○	—	7.8	183.6

(Ar: Arrival Time, R: Range, Tr: Transfers, Fz: Fare Zones)

Vergleich der Algorithmen

(Hardware: Intel Xeon X5680 mit 3.33 GHz und 96 GiB DDR3-1333 RAM)

Algorithm	Ar	R	Tr	Fz	Rounds	Journeys	[ms]
Dijkstra	●	○	○	○	—	0.9	14.2
RAPTOR	●	○	●	○	8.4	1.9	7.3
LD	●	○	●	○	—	1.9	44.5
MLC	●	○	●	○	—	1.9	67.2
McRAPTOR	●	○	●	●	10.8	9.0	107.4
MLC	●	○	●	●	—	9.0	399.5
McRAPTOR	●	●	●	○	9.5	16.3	259.8
rRAPTOR	●	●	●	○	138.5	16.3	87.0
SPCS	●	●	○	○	—	7.8	183.6

(Ar: Arrival Time, R: Range, Tr: Transfers, Fz: Fare Zones)

- RAPTOR schneller als Dijkstra-basierte Ansätze.

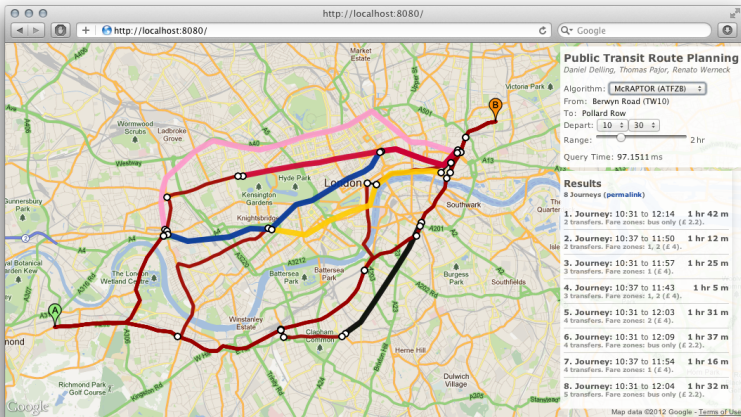
Algorithm	Ar	R	Tr	Fz	1 core [ms]	3 cores [ms]	6 cores [ms]	12 cores [ms]
RAPTOR	●	○	●	○	7.7	5.0	4.1	3.7
McRAPTOR	●	○	●	●	118.6	49.4	29.9	26.1
rRAPTOR	●	●	●	○	92.3	39.5	26.8	21.6
SPCS	●	●	○	○	183.6	69.1	44.9	38.9

(Ar: Arrival Time, R: Range, Tr: Transfers, Fz: Fare Zones)

Algorithm	Ar	R	Tr	Fz	1 core [ms]	3 cores [ms]	6 cores [ms]	12 cores [ms]
RAPTOR	●	○	●	○	7.7	5.0	4.1	3.7
McRAPTOR	●	○	●	●	118.6	49.4	29.9	26.1
rRAPTOR	●	●	●	○	92.3	39.5	26.8	21.6
SPCS	●	●	○	○	183.6	69.1	44.9	38.9

(Ar: Arrival Time, R: Range, Tr: Transfers, Fz: Fare Zones)

- Exzellente Speedups auf bis zu 6 Kernen.
- RAPTOR immer ≤ 30 ms.





Daniel Delling, Thomas Pajor, and Renato F. Werneck.

Round-Based Public Transit Routing.

In *Proceedings of the 14th Meeting on Algorithm Engineering and Experiments (ALENEX'12)*, pages 130–140. SIAM, 2012.

Montag, 16.7.2012