

Bachelor-Kolloquium

An algorithm for map matching on incomplete road databases

Benedikt Budig

Betreuer:

Prof. Dr. Alexander Wolff
Dr. Jan-Henrik Haunert

Teil I: Ein Algorithmus für off-line map matching

Was ist *map matching*?

Das Problem, zu einer gegebenen Folge von Positions punkten ...

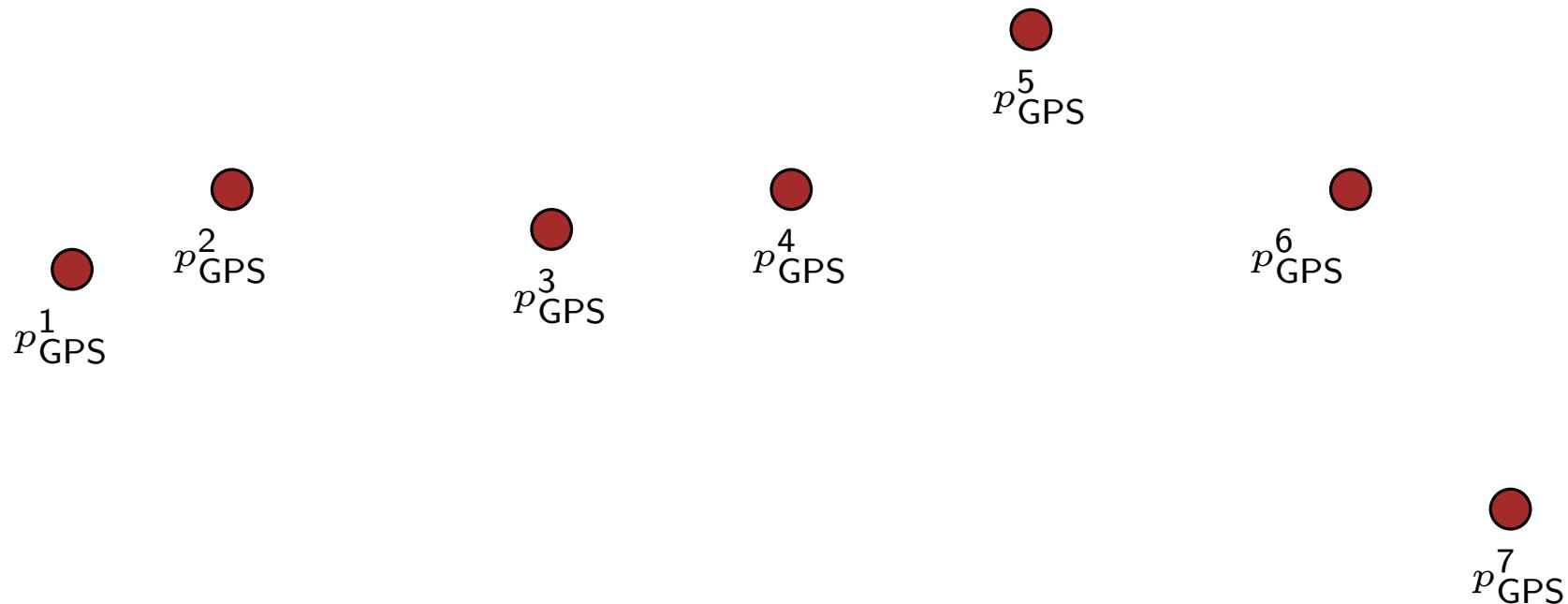
Was ist *map matching*?

Das Problem, zu einer gegebenen Folge von Positions punkten ...
... auf einer Straßenkarte den zurückgelegten Weg zu rekonstruieren.

Was ist *map matching*?

Das Problem, zu einer gegebenen Folge von **Positionspunkten** ...
... auf einer Straßenkarte den zurückgelegten Weg zu rekonstruieren.

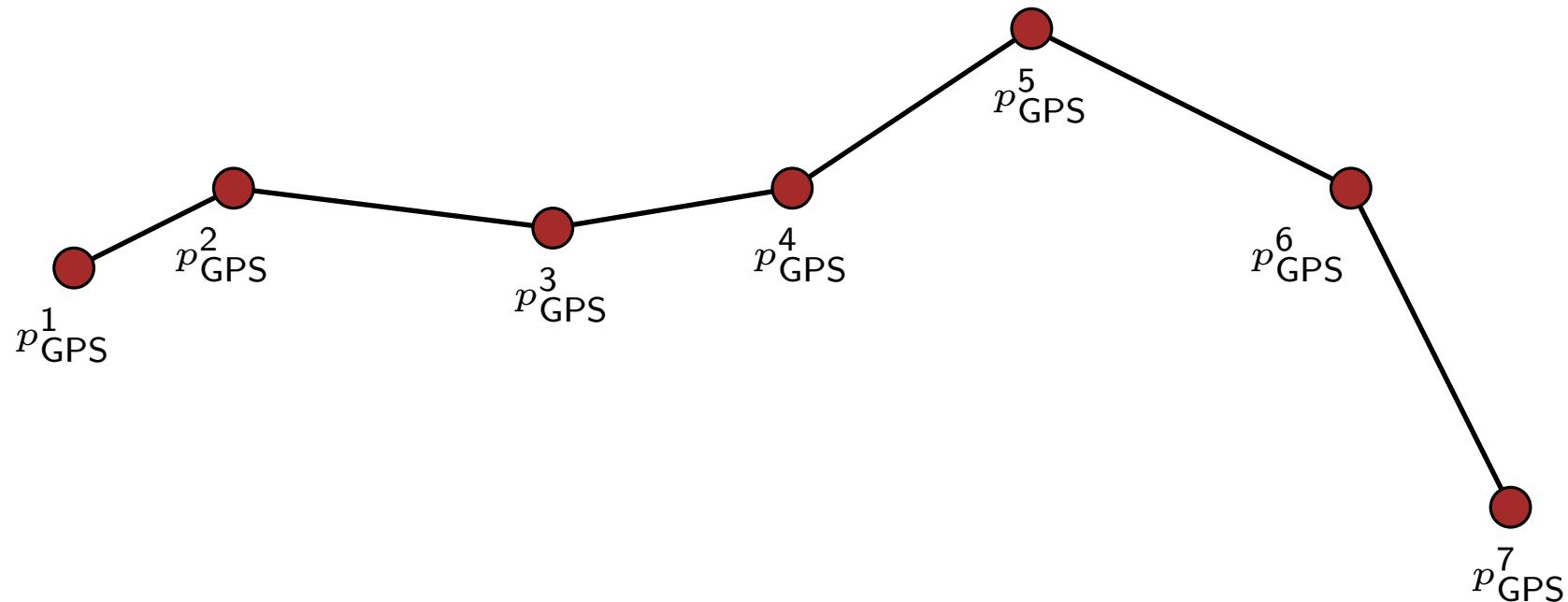
GPS-Punkte



Was ist *map matching*?

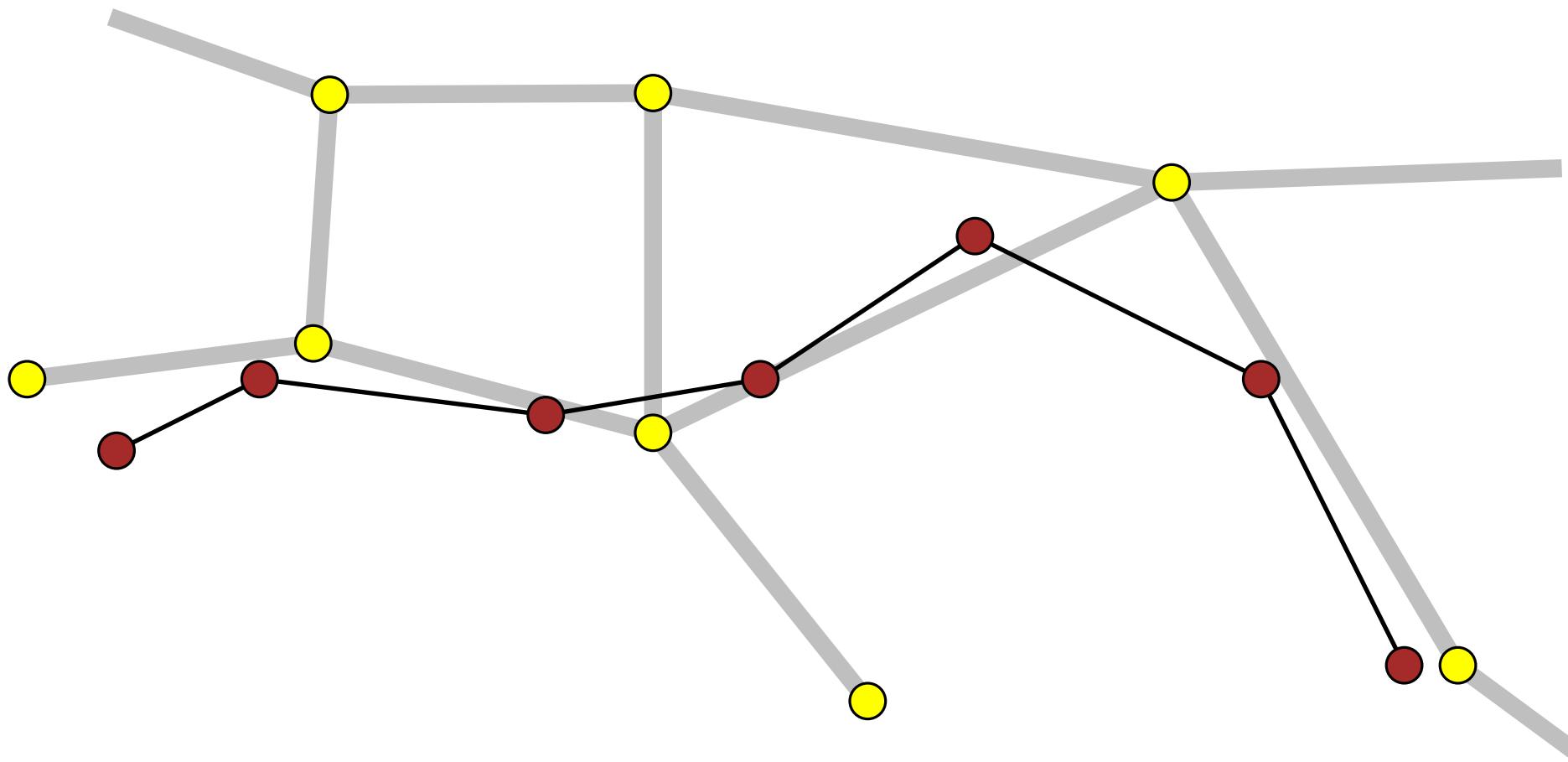
Das Problem, zu einer gegebenen **Folge von Positions punkten** ...
... auf einer Straßenkarte den zurückgelegten Weg zu rekonstruieren.

GPS-Trajektorie



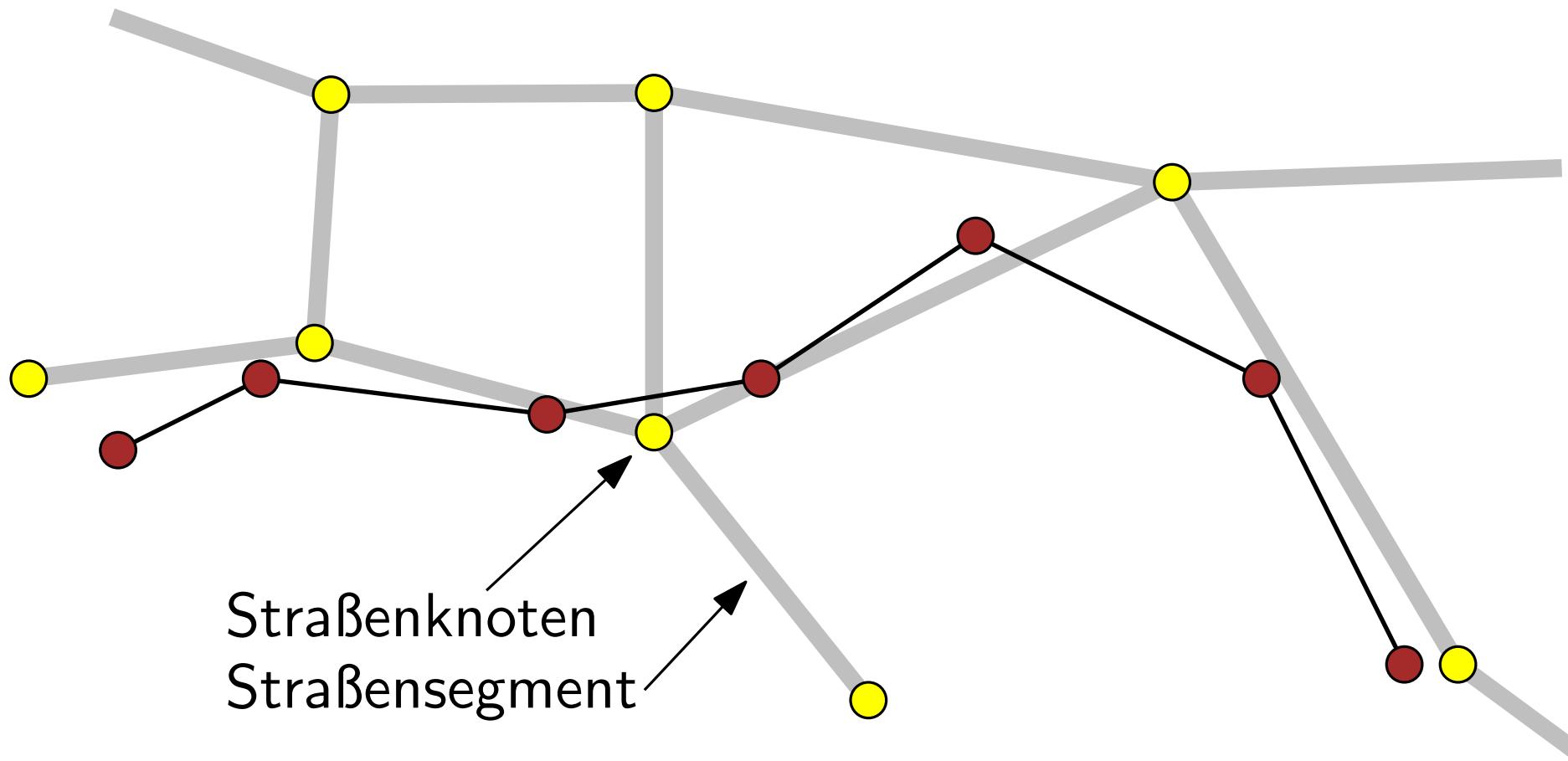
Was ist *map matching*?

Das Problem, zu einer gegebenen **Folge von Positions punkten** ...
... auf einer **Straßenkarte** den zurückgelegten Weg zu rekonstruieren.



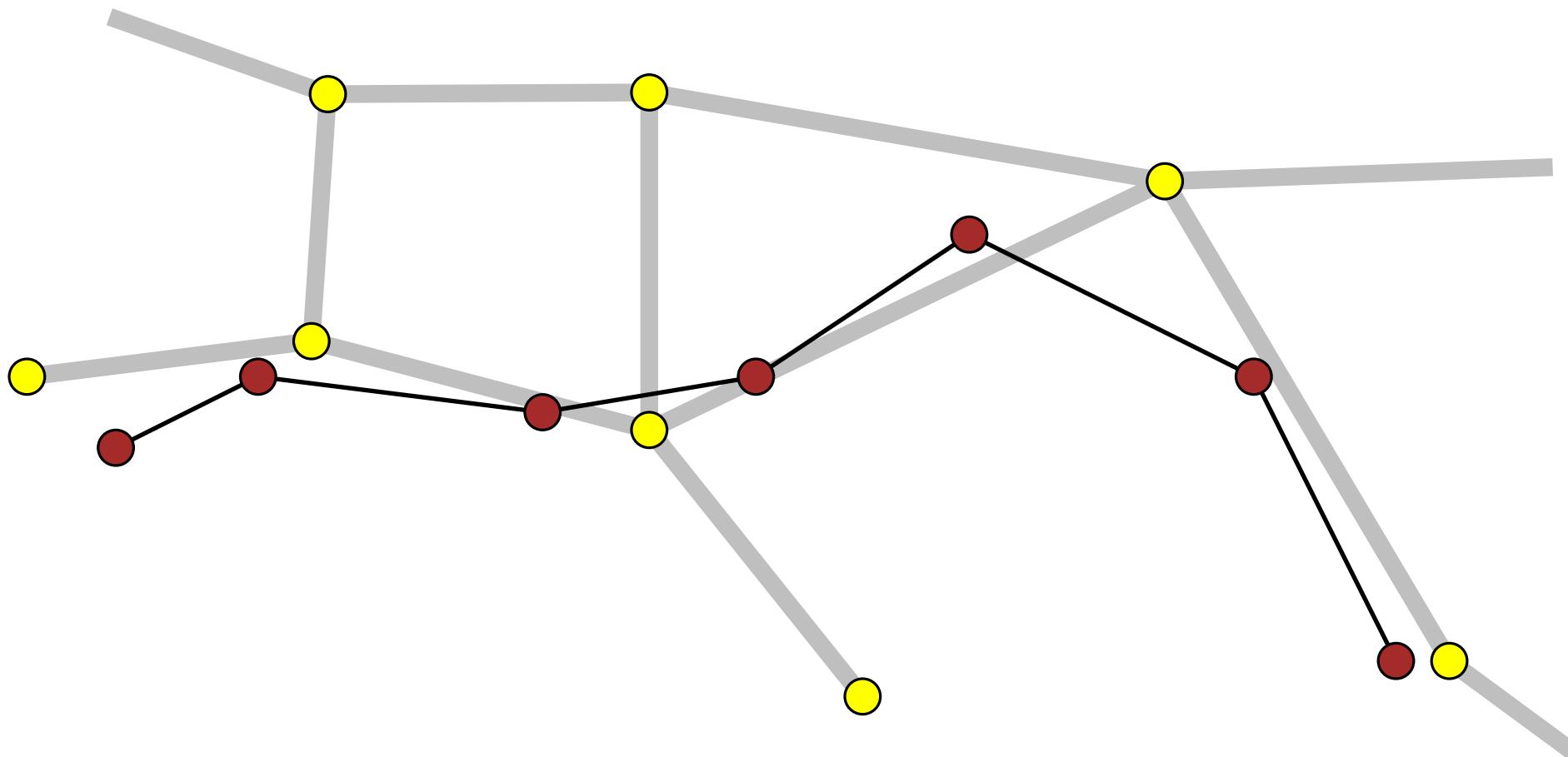
Was ist *map matching*?

Das Problem, zu einer gegebenen **Folge von Positions punkten** ...
... auf einer **Straßenkarte** den zurückgelegten Weg zu rekonstruieren.



Was ist *map matching*?

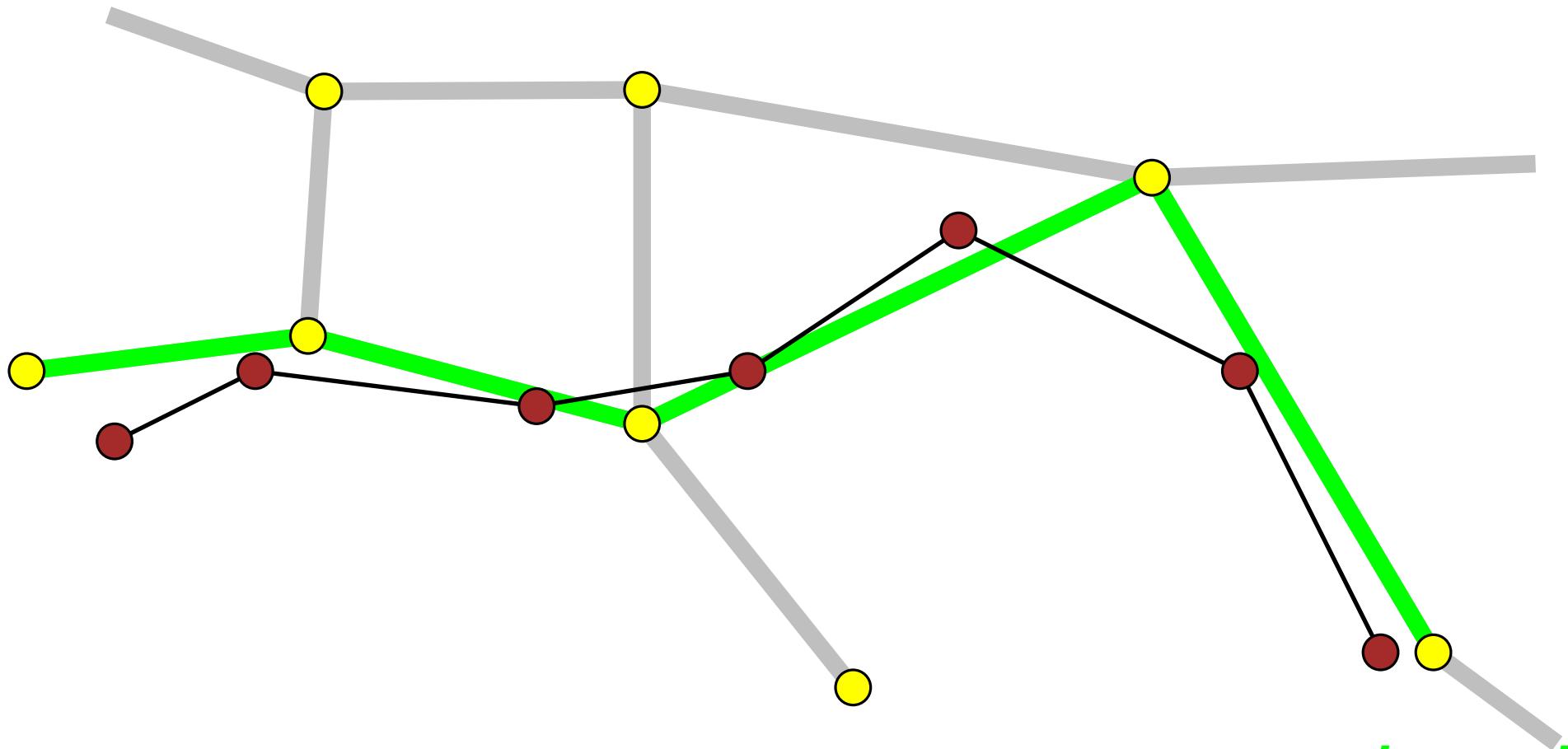
Das Problem, zu einer gegebenen **Folge von Positions punkten** ...
... auf einer **Straßenkarte** den zurückgelegten Weg zu rekonstruieren.



Welcher ist der benutze Weg?

Was ist *map matching*?

Das Problem, zu einer gegebenen **Folge von Positionspunkten** ...
... auf einer **Straßenkarte** den zurückgelegten Weg zu rekonstruieren.



Welcher ist der benutze Weg? *map matching!*

Einsatz-Szenarien

Einsatz-Szenarien



Einsatz-Szenarien



Bildquelle: navi-test-portal.de, abendblatt.de

Einsatz-Szenarien

on-line matching



Bildquelle: navi-test-portal.de, abendblatt.de

Einsatz-Szenarien

on-line matching

- Trajektorie wächst



Einsatz-Szenarien

on-line matching

- Trajektorie wächst
- Echtzeit-Geschwindigkeit



Einsatz-Szenarien

on-line matching

- Trajektorie wächst
- Echtzeit-Geschwindigkeit



off-line matching

Einsatz-Szenarien

on-line matching

- Trajektorie wächst
- Echtzeit-Geschwindigkeit



off-line matching



Einsatz-Szenarien

on-line matching

- Trajektorie wächst
- Echtzeit-Geschwindigkeit



Bildquelle: navi-test-portal.de, abendblatt.de

off-line matching



Bildquelle: instant-de-chine.net, Lou09

Einsatz-Szenarien

on-line matching

- Trajektorie wächst
- Echtzeit-Geschwindigkeit



Bildquelle: navi-test-portal.de, abendblatt.de

off-line matching

- Trajektorie komplett



Bildquelle: instant-de-chine.net, Lou09

Einsatz-Szenarien

on-line matching

- Trajektorie wächst
- Echtzeit-Geschwindigkeit



Bildquelle: navi-test-portal.de, abendblatt.de

off-line matching

- Trajektorie komplett
- möglichst schnell



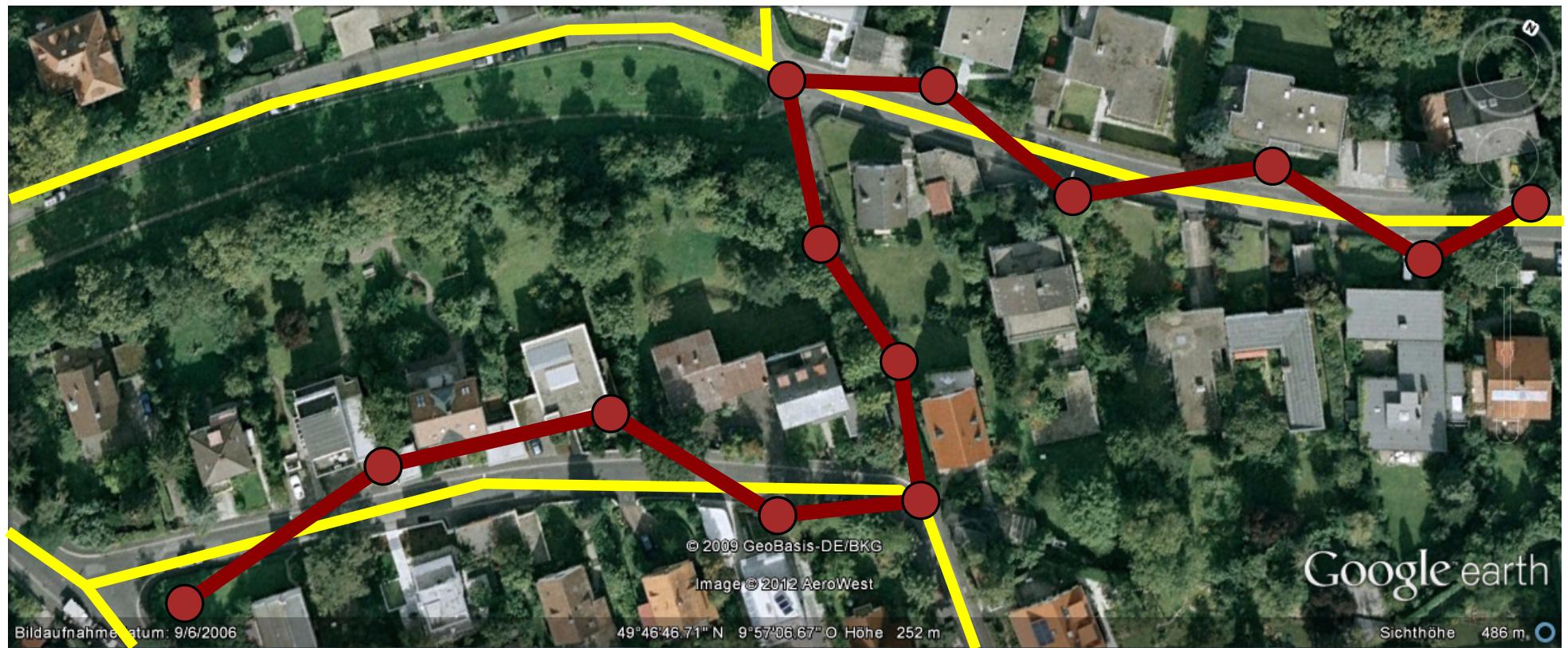
Bildquelle: instant-de-chine.net, Lou09

Einsatz-Szenarien

Matching auf unvollständigem Kartenmaterial

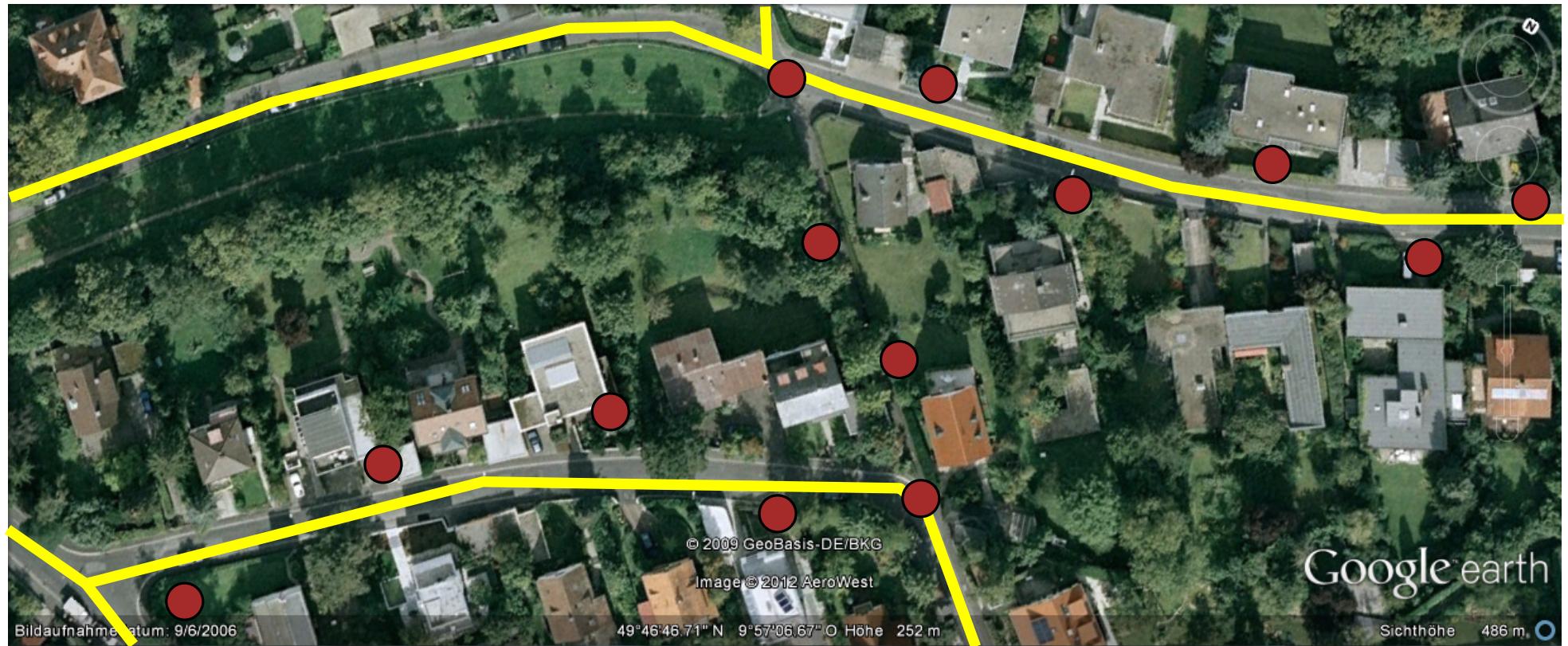
Einsatz-Szenarien

Matching auf unvollständigem Kartenmaterial



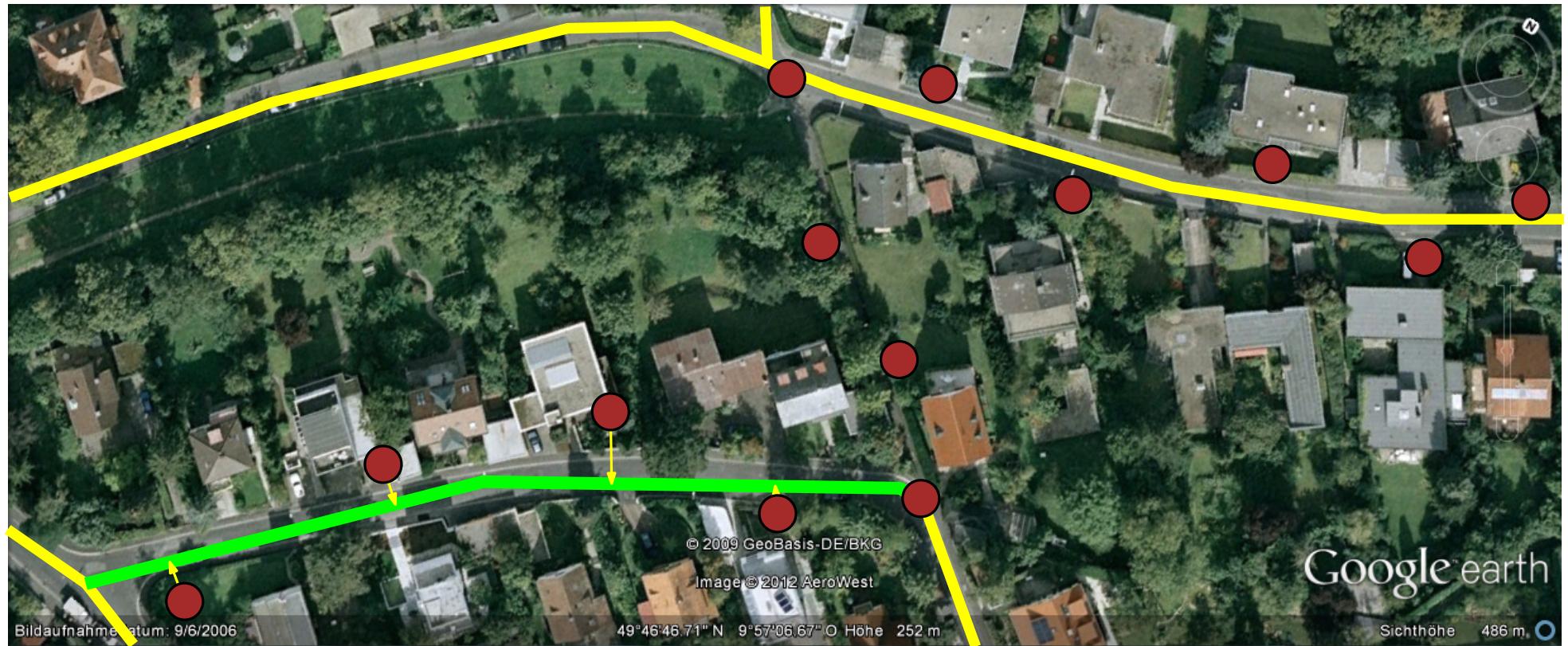
Einsatz-Szenarien

Matching auf unvollständigem Kartenmaterial



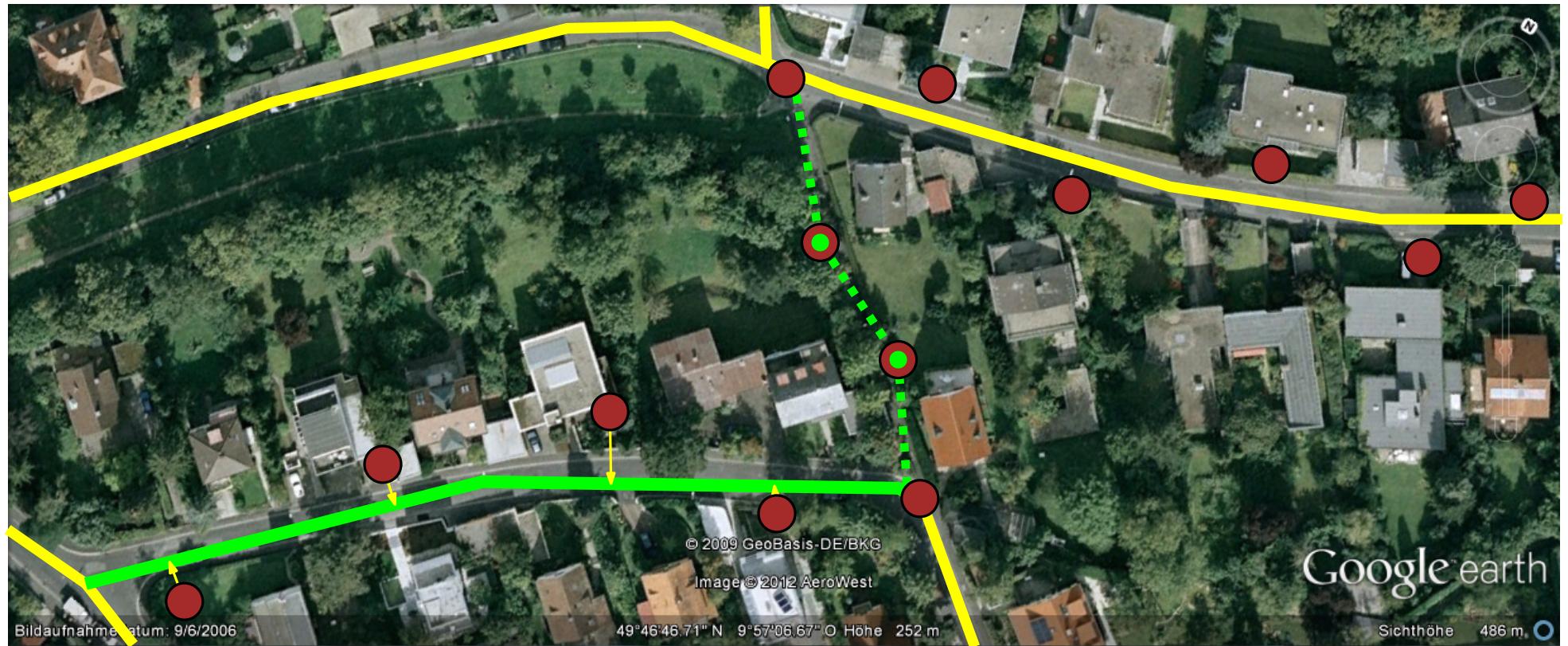
Einsatz-Szenarien

Matching auf unvollständigem Kartenmaterial



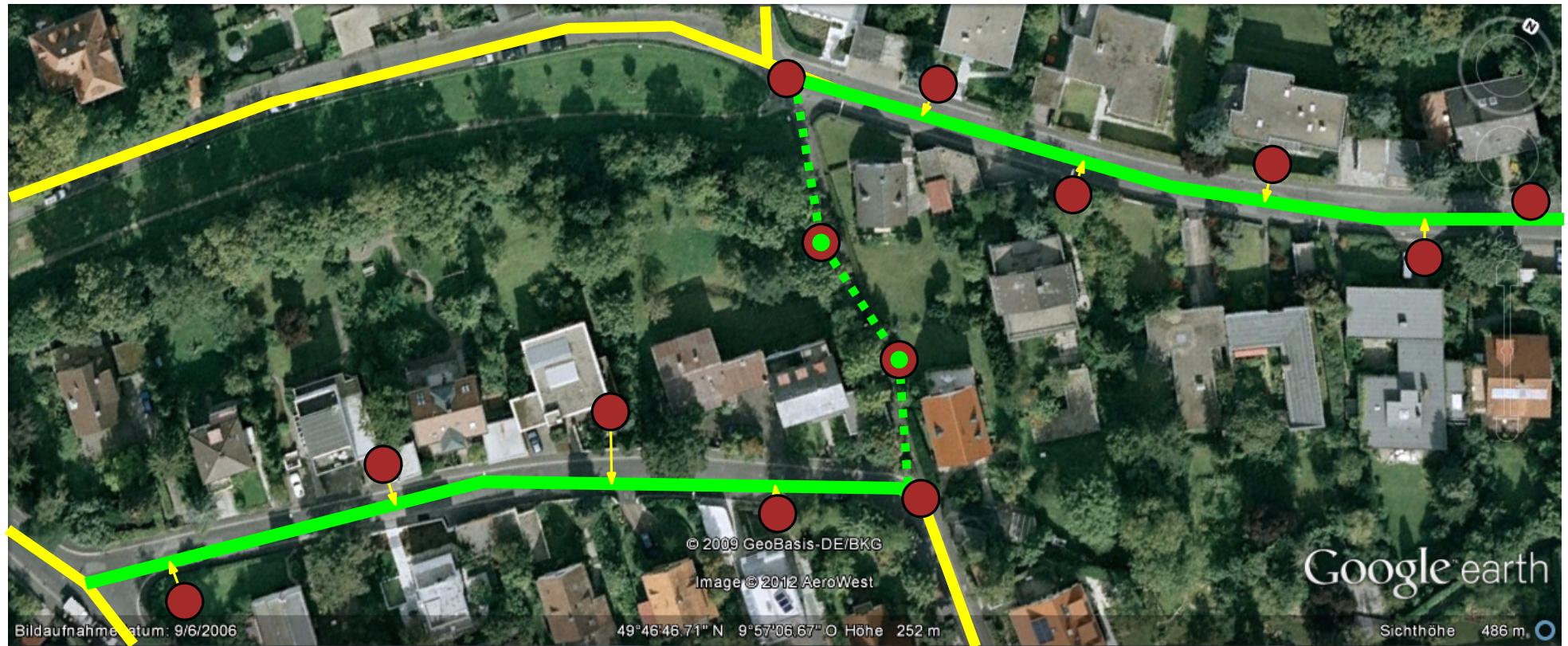
Einsatz-Szenarien

Matching auf unvollständigem Kartenmaterial



Einsatz-Szenarien

Matching auf unvollständigem Kartenmaterial



Einsatz-Szenarien

Matching auf unvollständigem Kartenmaterial

→ Erkennung fehlender
Straßensegmente

Einsatz-Szenarien

Matching auf unvollständigem Kartenmaterial

→ Erkennung fehlender
Straßensegmente



Einsatz-Szenarien

Matching auf unvollständigem Kartenmaterial

→ Erkennung fehlender
Straßensegmente



Bildquelle: gpsmagazine.com, auto-bild.de

Einsatz-Szenarien

Matching auf unvollständigem Kartenmaterial

→ Erkennung fehlender
Straßensegmente

- Relevanz für off-line
und on-line matching



Bildquelle: gpsmagazine.com, auto-bild.de

Einsatz-Szenarien

Matching auf unvollständigem Kartenmaterial

→ Erkennung fehlender
Straßensegmente

- Relevanz für off-line und on-line matching
- Geringere Fehleranfälligkeit



Bildquelle: gpsmagazine.com, auto-bild.de

Einsatz-Szenarien

Matching auf unvollständigem Kartenmaterial

→ Erkennung fehlender
Straßensegmente

- Relevanz für off-line und on-line matching
- Geringere Fehleranfälligkeit
- Konstruktion von Kartenmaterial möglich



Bildquelle: gpsmagazine.com, auto-bild.de

Verwandte Arbeiten

on-line matching

- Trajektorie wächst
- Echtzeit-Geschwindigkeit



Verwandte Arbeiten

on-line matching

- Trajektorie wächst
- Echtzeit-Geschwindigkeit



Wenk et al. (2006): Fréchet-Distanz und Fehlerschätzung



Bildquelle: navi-test-portal.de, abendblatt.de

Verwandte Arbeiten

on-line matching

- Trajektorie wächst
- Echtzeit-Geschwindigkeit



Wenk et al. (2006): Fréchet-Distanz und Fehlerschätzung

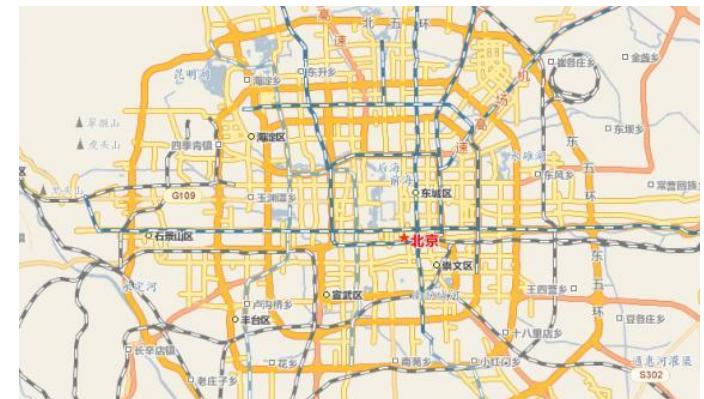
Chawate (2007): Straßensegmente als Folge von Wegpunkten



Verwandte Arbeiten

off-line matching

- Trajektorie komplett
- möglichst schnell



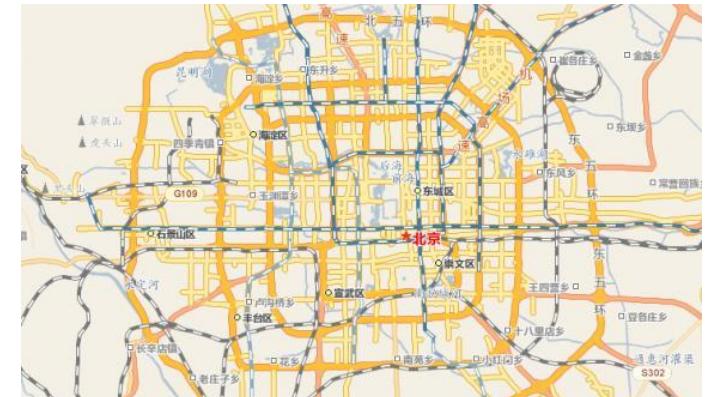
Bildquelle: instants-de-chine.net, Lou09

Verwandte Arbeiten

Chen et al. (2011): Fréchet-Distanz

off-line matching

- Trajektorie komplett
- möglichst schnell



Bildquelle: instants-de-chine.net, Lou09

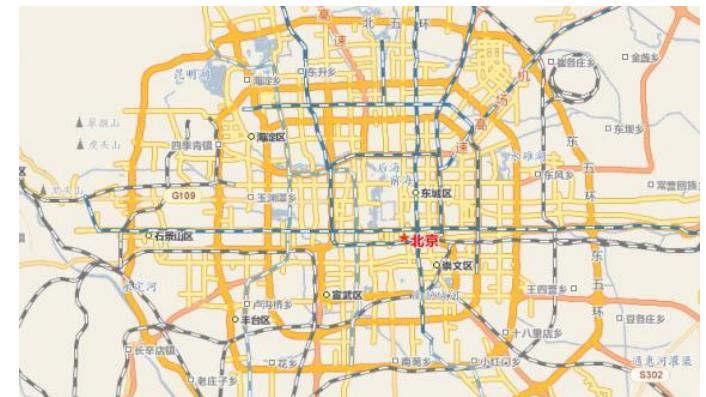
Verwandte Arbeiten

Chen et al. (2011): Fréchet-Distanz

Marchal et al. (2005): Kandidaten-Pfade

off-line matching

- Trajektorie komplett
- möglichst schnell



Bildquelle: instants-de-chine.net, Lou09

Verwandte Arbeiten

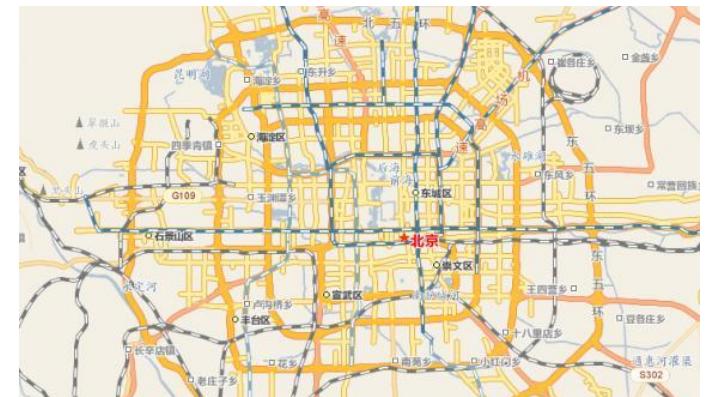
Chen et al. (2011): Fréchet-Distanz

Marchal et al. (2005): Kandidaten-Pfade

Lou et al. (2009): Kandidaten-Punkte und dynamisches Programmieren

off-line matching

- Trajektorie komplett
- möglichst schnell



Bildquelle: instants-de-chine.net, Lou09

Verwandte Arbeiten

Chen et al. (2011): Fréchet-Distanz

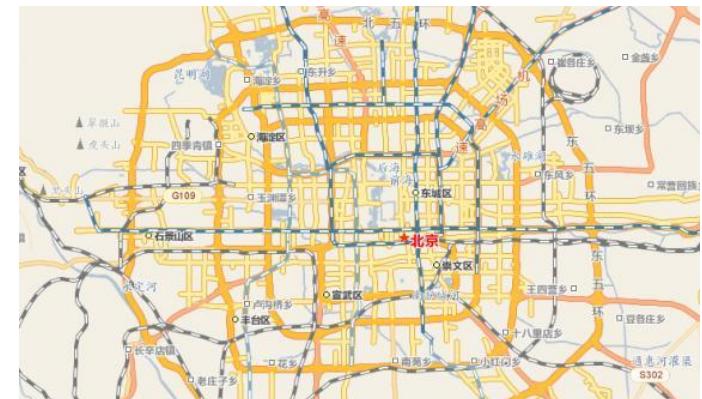
Marchal et al. (2005): Kandidaten-Pfade

Lou et al. (2009): Kandidaten-Punkte und dynamisches Programmieren

Eisner et al. (2011): Verbesserungen zu Lou et al. (2009)

off-line matching

- Trajektorie komplett
- möglichst schnell



Bildquelle: instants-de-chine.net, Lou09

Verwandte Arbeiten

Chen et al. (2011): Fréchet-Distanz

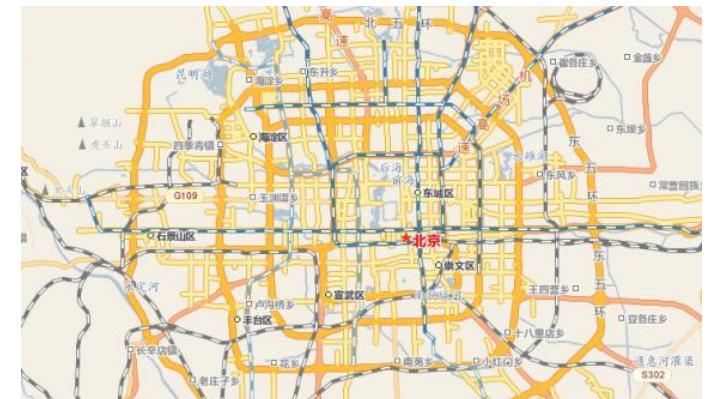
Marchal et al. (2005): Kandidaten-Pfade

Lou et al. (2009): Kandidaten-Punkte und dynamisches Programmieren

Eisner et al. (2011): Verbesserungen zu Lou et al. (2009)

off-line matching

- Trajektorie komplett
- möglichst schnell



Bildquelle: instants-de-chine.net, Lou09

Verwandte Arbeiten

Matching auf unvollständigem Kartenmaterial



Bildquelle: gpsmagazine.com, auto-bild.de

Verwandte Arbeiten

Matching auf unvollständigem Kartenmaterial

Pyo et al. (2001):
on-line matching,
probabilistischer Ansatz



Bildquelle: gpsmagazine.com, auto-bild.de

Verwandte Arbeiten

Matching auf unvollständigem Kartenmaterial

Pyo et al. (2001):
on-line matching,
probabilistischer Ansatz



Pereira et al. (2009):
off-line matching,
Marchals Algorithmus erweitert
zum genetischen *GEMMA*

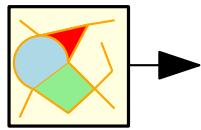


Bildquelle: gpsmagazine.com, auto-bild.de

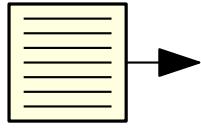
Der Algorithmus von Lou et al. (2009)

Der Algorithmus von Lou et al. (2009)

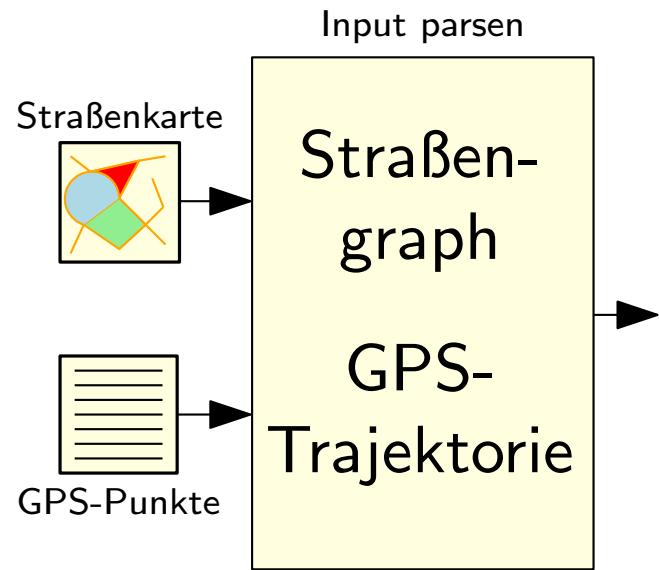
Straßenkarte



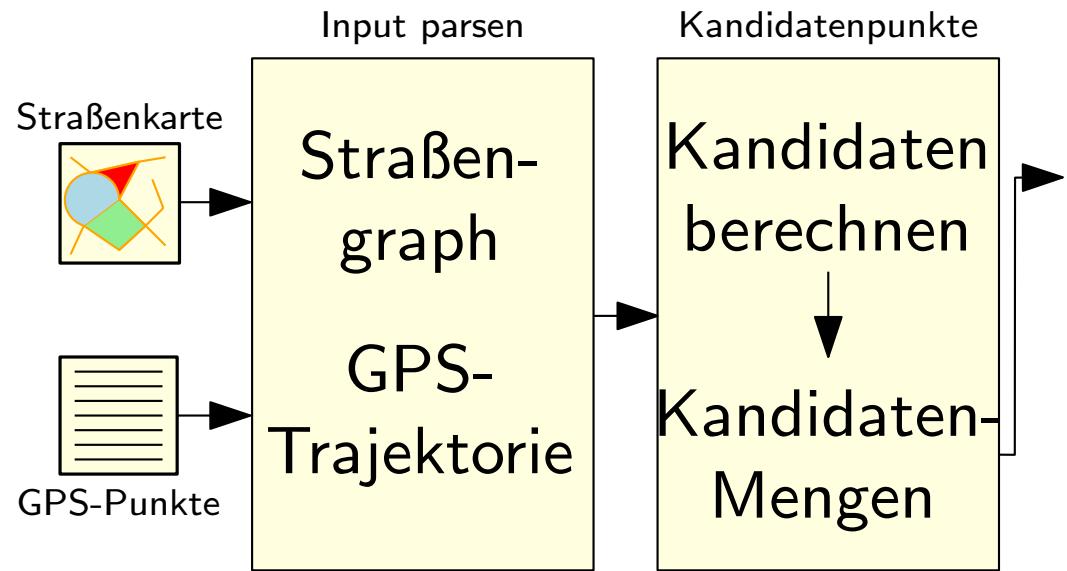
GPS-Punkte



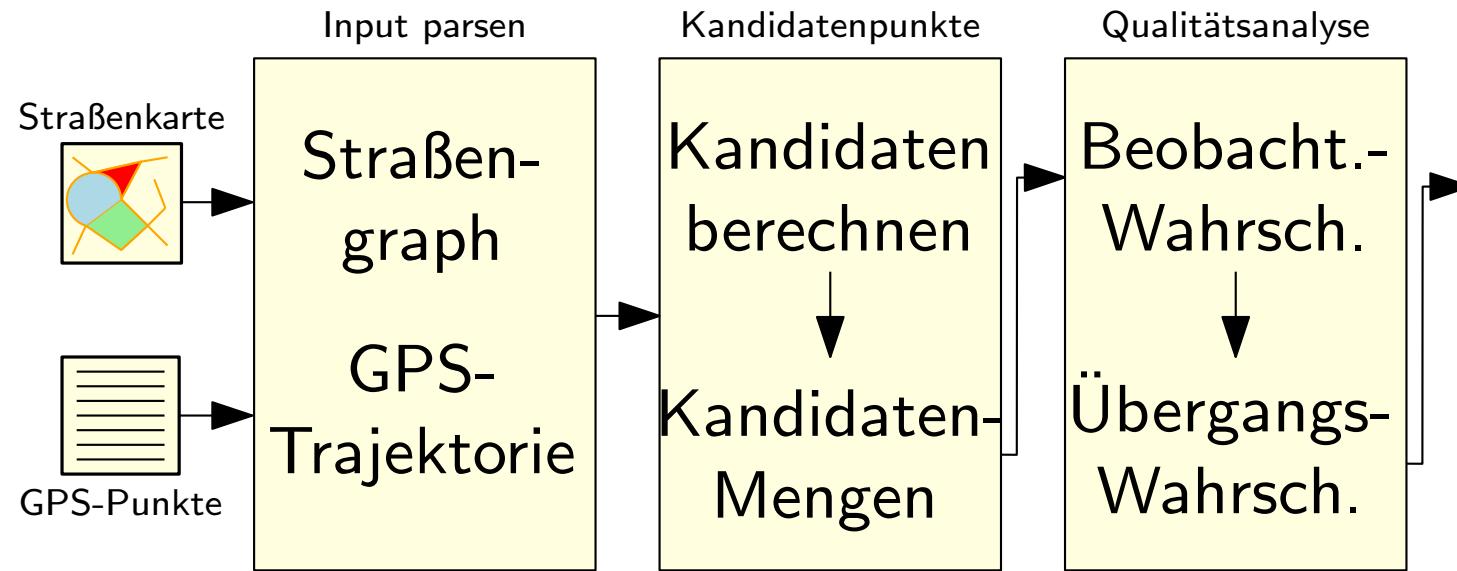
Der Algorithmus von Lou et al. (2009)



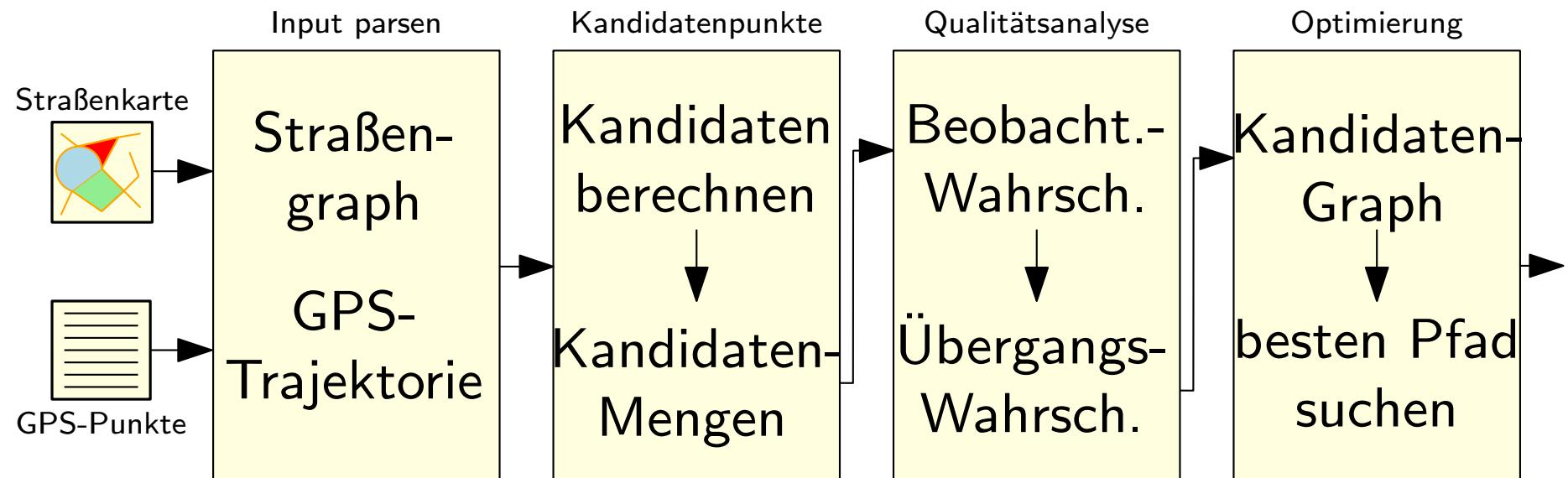
Der Algorithmus von Lou et al. (2009)



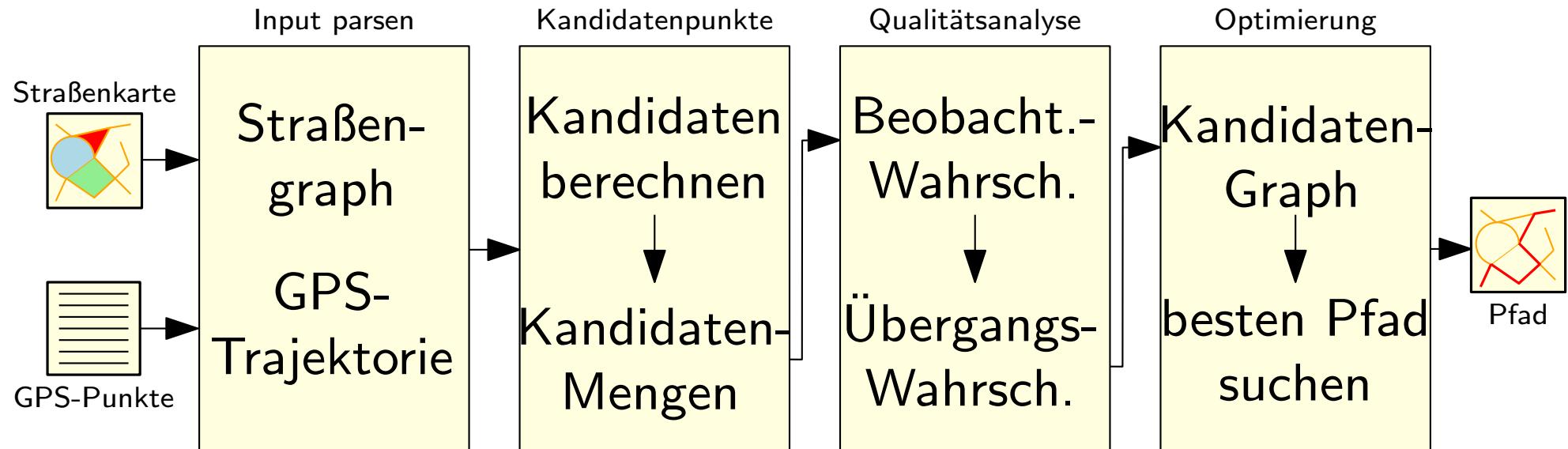
Der Algorithmus von Lou et al. (2009)



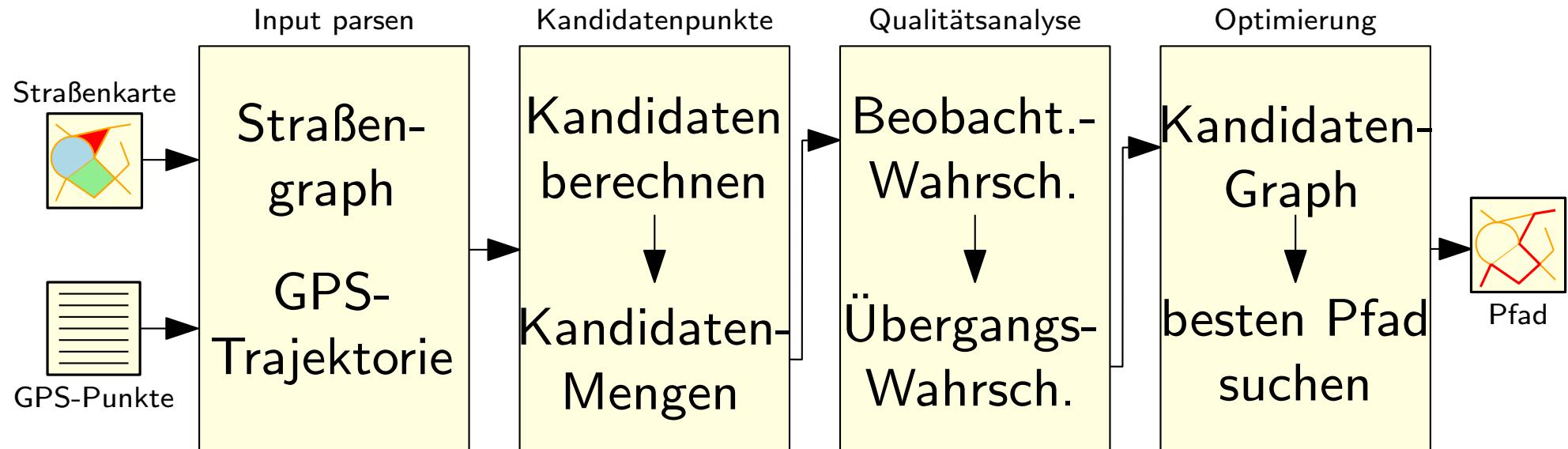
Der Algorithmus von Lou et al. (2009)



Der Algorithmus von Lou et al. (2009)

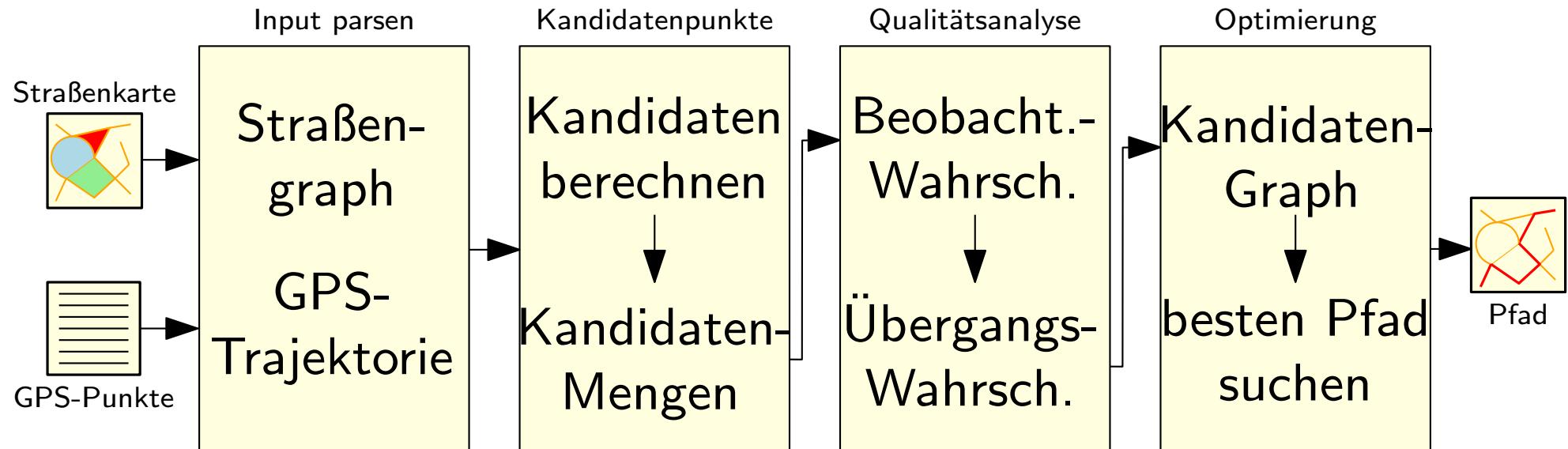


Der Algorithmus von Lou et al. (2009)



Vorteile für Weiterentwicklung:

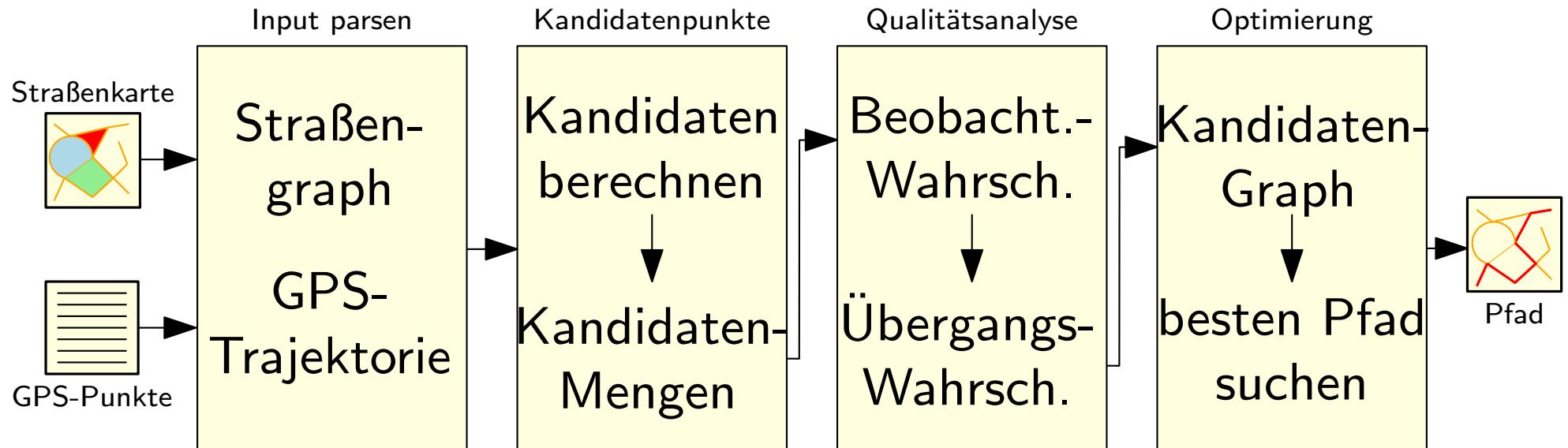
Der Algorithmus von Lou et al. (2009)



Vorteile für Weiterentwicklung:

- Modulare Grundstruktur

Der Algorithmus von Lou et al. (2009)



Vorteile für Weiterentwicklung:

- Modulare Grundstruktur
- Einbettung weiterer Qualitätskriterien möglich

Kandidatenpunkte

Kandidatenpunkte

... sind Punkte auf Straßensegmenten, die mögliche Matching-Kandidaten für einen GPS-Punkt sind.

Kandidatenpunkte

... sind Punkte auf Straßensegmenten, die mögliche Matching-Kandidaten für einen GPS-Punkt sind.

Problem:

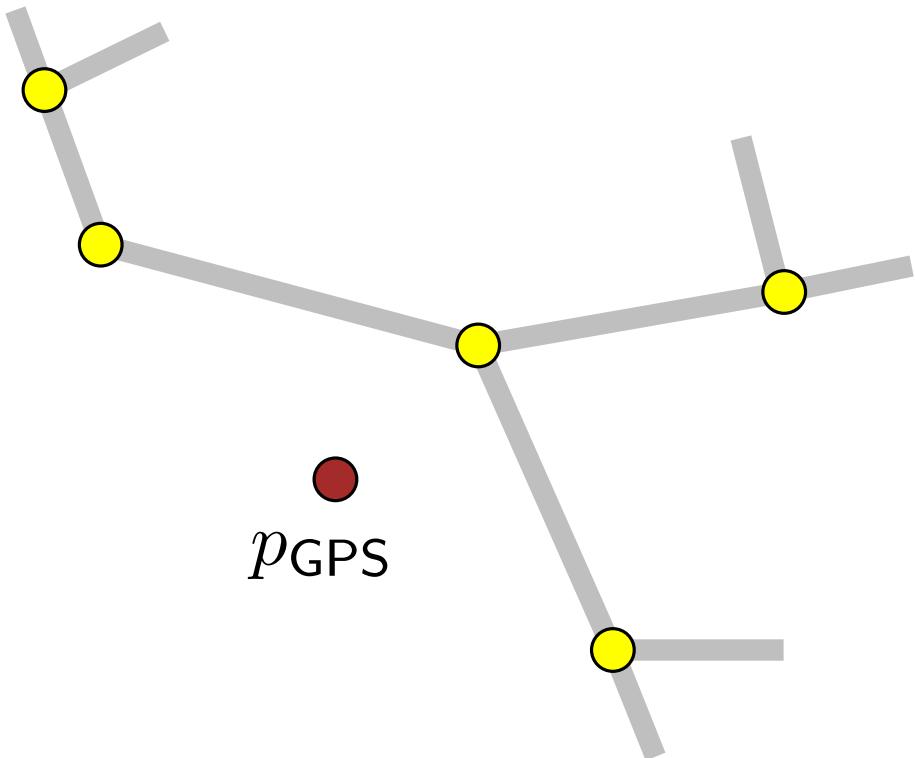
Finde zu jedem GPS-Punkt eine Menge möglicher Kandidatenpunkte!

Kandidatenpunkte

... sind Punkte auf Straßensegmenten, die mögliche Matching-Kandidaten für einen GPS-Punkt sind.

Problem:

Finde zu jedem GPS-Punkt eine Menge möglicher Kandidatenpunkte!

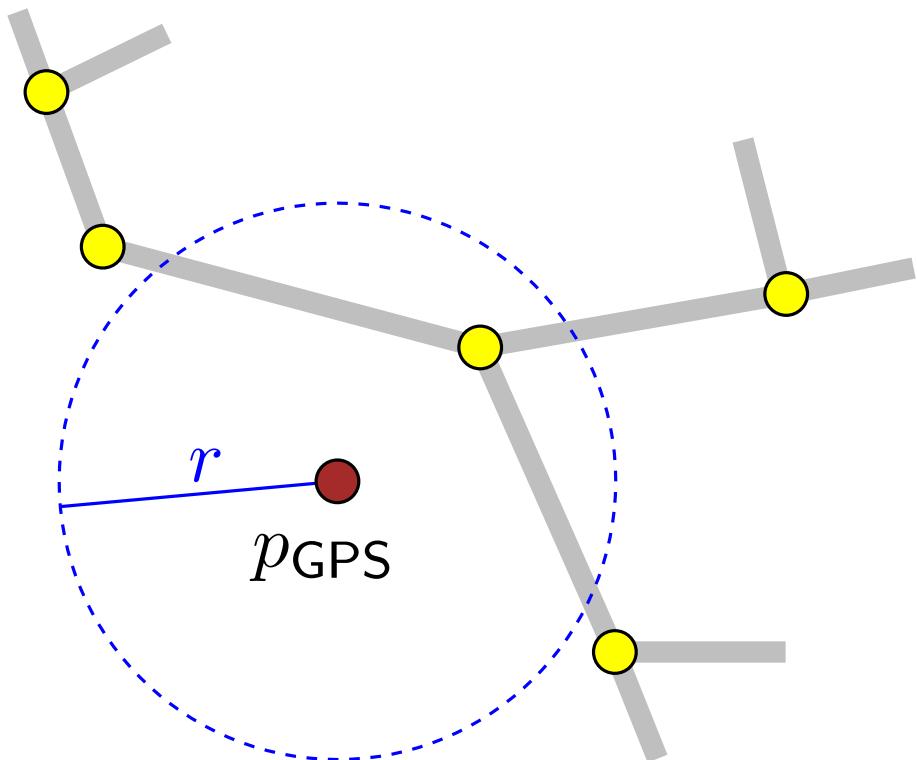


Kandidatenpunkte

... sind Punkte auf Straßensegmenten, die mögliche Matching-Kandidaten für einen GPS-Punkt sind.

Problem:

Finde zu jedem GPS-Punkt eine Menge möglicher Kandidatenpunkte!



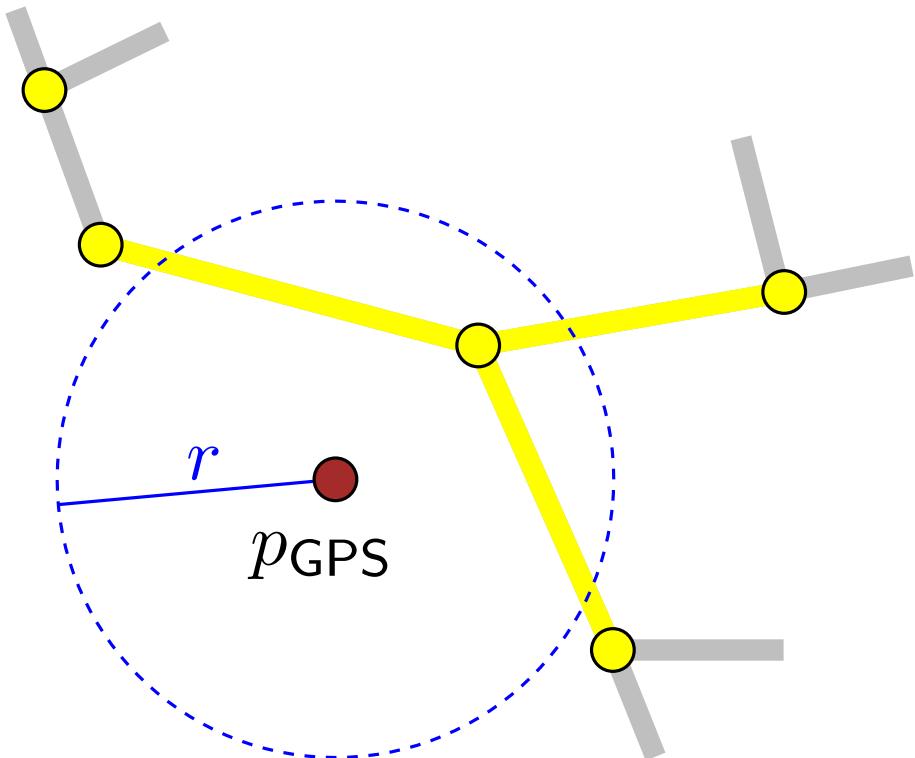
1. Suche nach Straßensegmenten innerhalb von r

Kandidatenpunkte

... sind Punkte auf Straßensegmenten, die mögliche Matching-Kandidaten für einen GPS-Punkt sind.

Problem:

Finde zu jedem GPS-Punkt eine Menge möglicher Kandidatenpunkte!



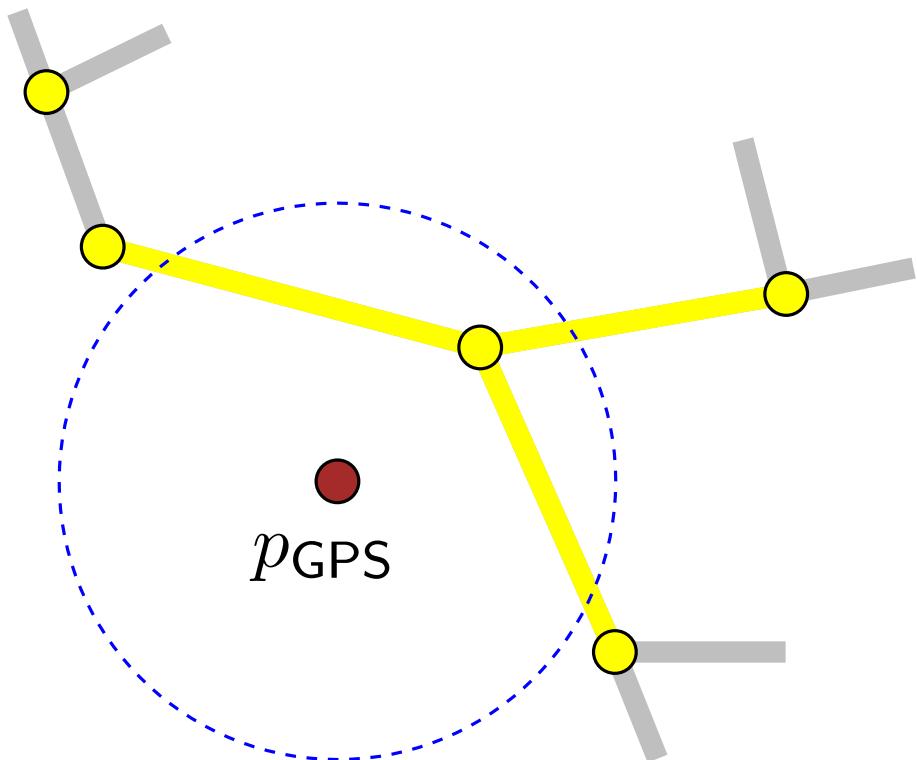
1. Suche nach Straßensegmenten innerhalb von r

Kandidatenpunkte

... sind Punkte auf Straßensegmenten, die mögliche Matching-Kandidaten für einen GPS-Punkt sind.

Problem:

Finde zu jedem GPS-Punkt eine Menge möglicher Kandidatenpunkte!



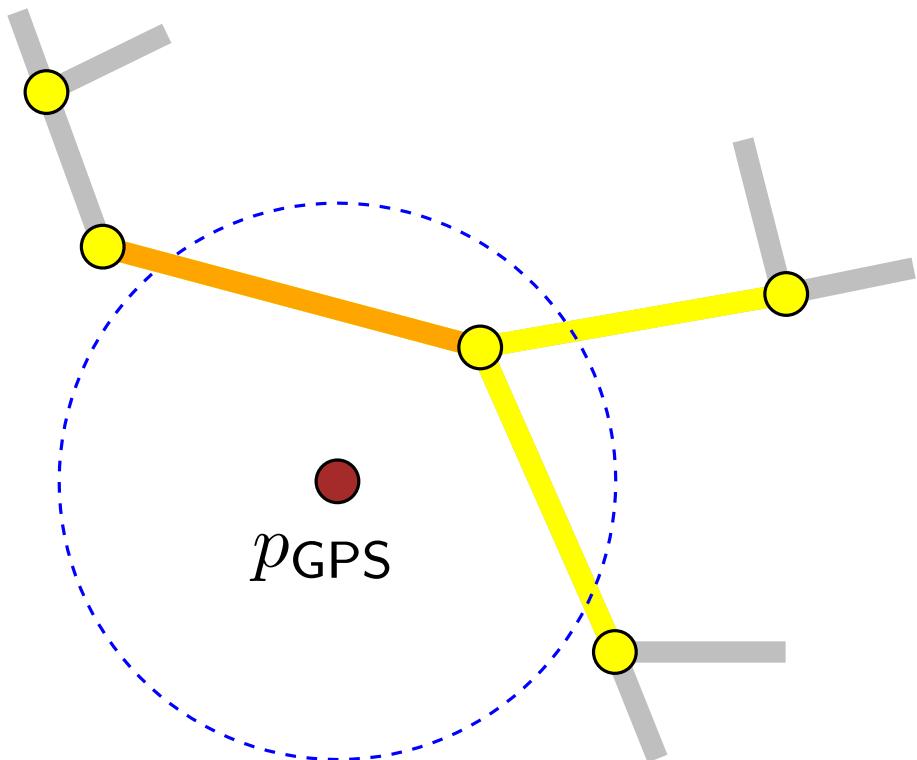
1. Suche nach Straßensegmenten innerhalb von r
2. Senkrechte Projektion, um jeweils den Punkt mit geringstem Abstand zu finden

Kandidatenpunkte

... sind Punkte auf Straßensegmenten, die mögliche Matching-Kandidaten für einen GPS-Punkt sind.

Problem:

Finde zu jedem GPS-Punkt eine Menge möglicher Kandidatenpunkte!



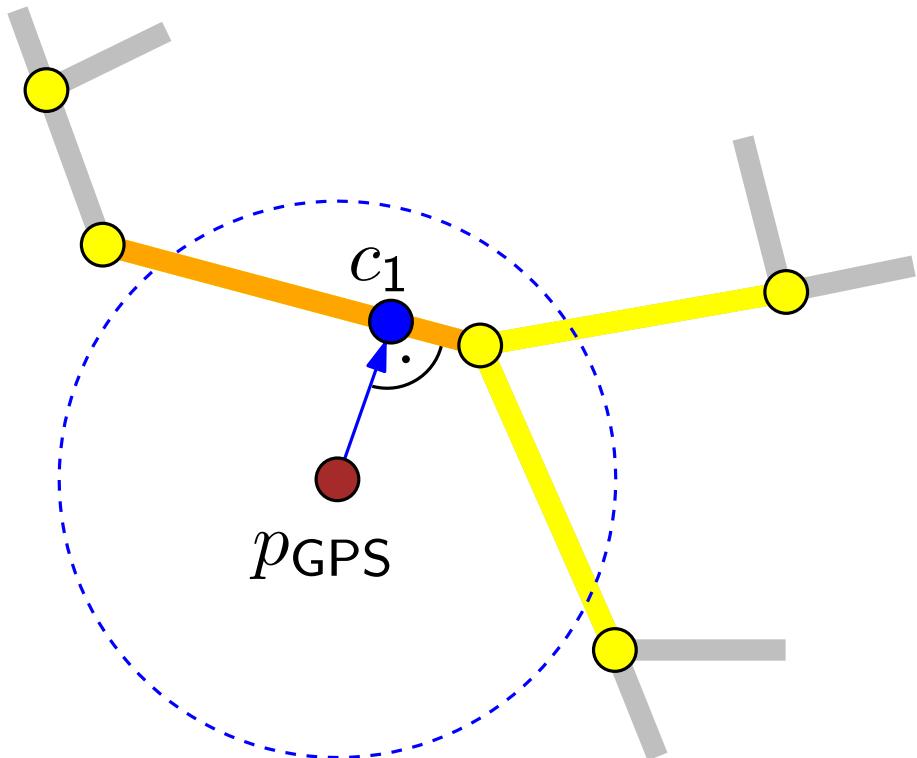
1. Suche nach Straßensegmenten innerhalb von r
2. Senkrechte Projektion, um jeweils den Punkt mit geringstem Abstand zu finden

Kandidatenpunkte

... sind Punkte auf Straßensegmenten, die mögliche Matching-Kandidaten für einen GPS-Punkt sind.

Problem:

Finde zu jedem GPS-Punkt eine Menge möglicher Kandidatenpunkte!



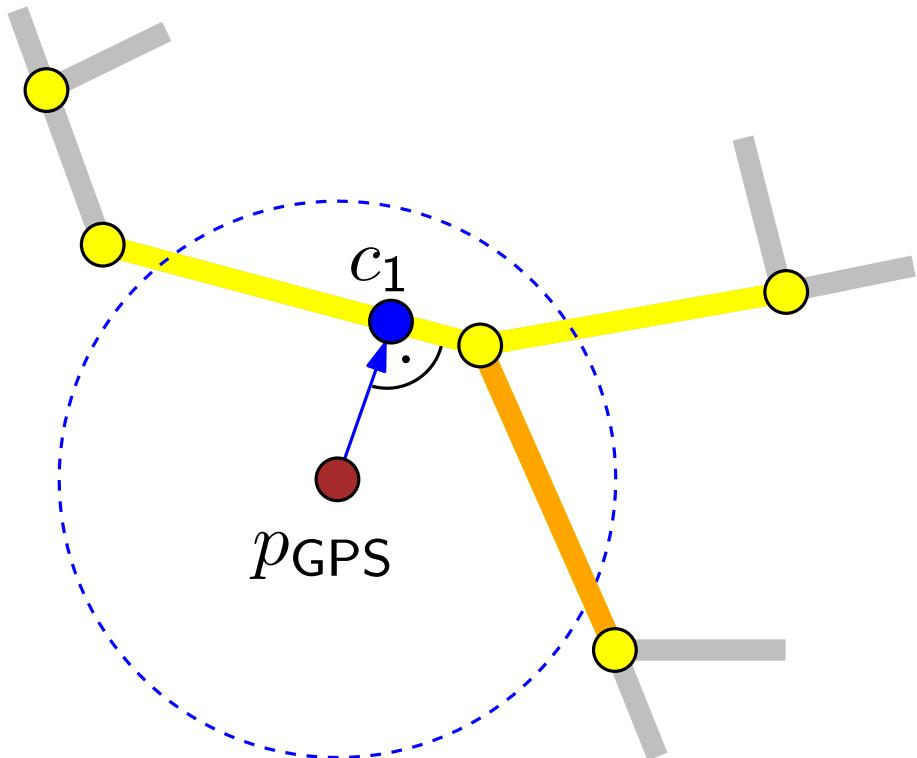
1. Suche nach Straßensegmenten innerhalb von r
2. Senkrechte Projektion, um jeweils den Punkt mit geringstem Abstand zu finden

Kandidatenpunkte

... sind Punkte auf Straßensegmenten, die mögliche Matching-Kandidaten für einen GPS-Punkt sind.

Problem:

Finde zu jedem GPS-Punkt eine Menge möglicher Kandidatenpunkte!



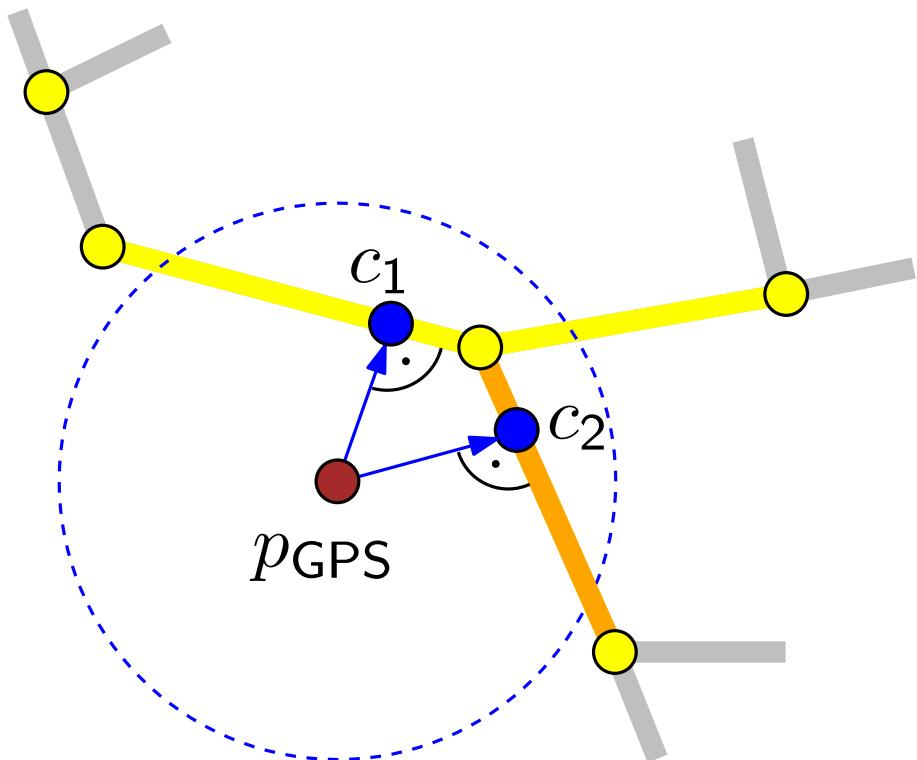
1. Suche nach Straßensegmenten innerhalb von r
2. Senkrechte Projektion, um jeweils den Punkt mit geringstem Abstand zu finden

Kandidatenpunkte

... sind Punkte auf Straßensegmenten, die mögliche Matching-Kandidaten für einen GPS-Punkt sind.

Problem:

Finde zu jedem GPS-Punkt eine Menge möglicher Kandidatenpunkte!



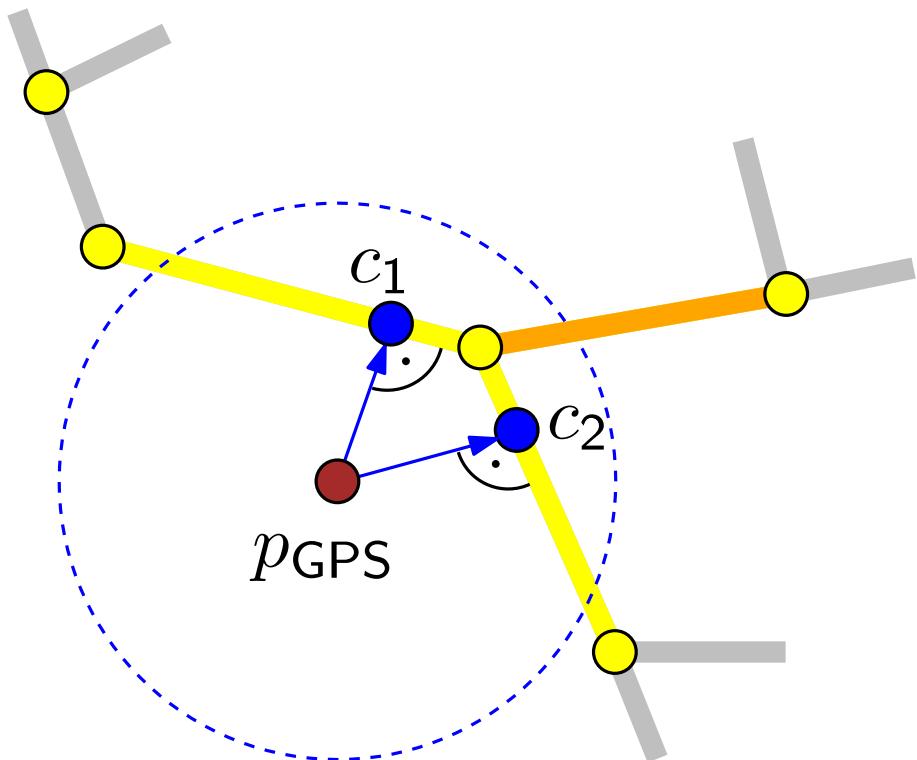
1. Suche nach Straßensegmenten innerhalb von r
2. Senkrechte Projektion, um jeweils den Punkt mit geringstem Abstand zu finden

Kandidatenpunkte

... sind Punkte auf Straßensegmenten, die mögliche Matching-Kandidaten für einen GPS-Punkt sind.

Problem:

Finde zu jedem GPS-Punkt eine Menge möglicher Kandidatenpunkte!



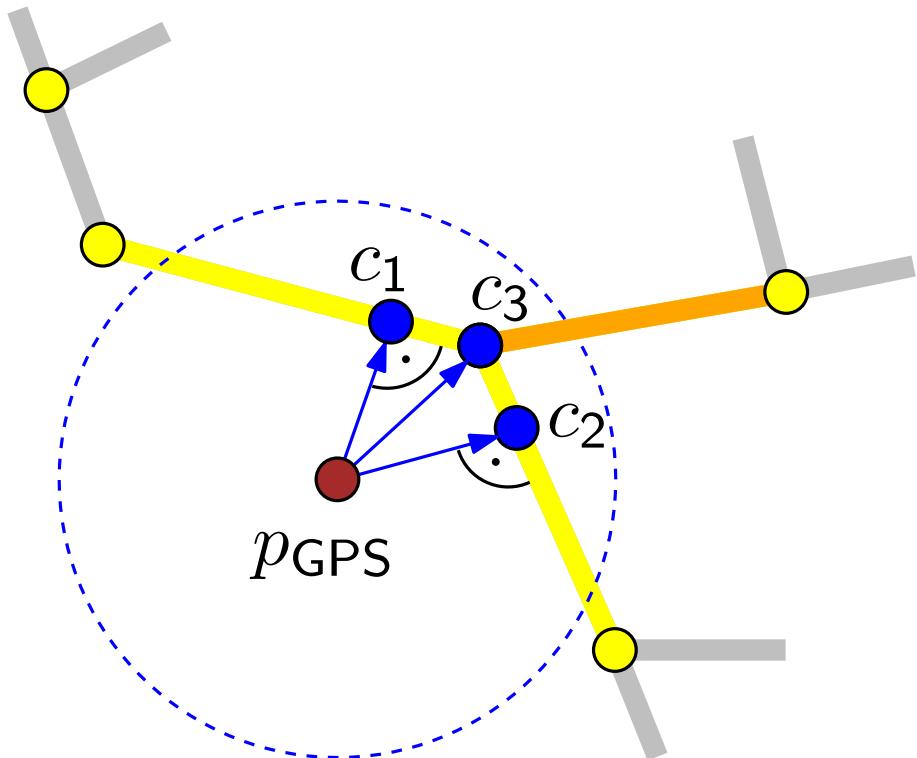
1. Suche nach Straßensegmenten innerhalb von r
2. Senkrechte Projektion, um jeweils den Punkt mit geringstem Abstand zu finden

Kandidatenpunkte

... sind Punkte auf Straßensegmenten, die mögliche Matching-Kandidaten für einen GPS-Punkt sind.

Problem:

Finde zu jedem GPS-Punkt eine Menge möglicher Kandidatenpunkte!



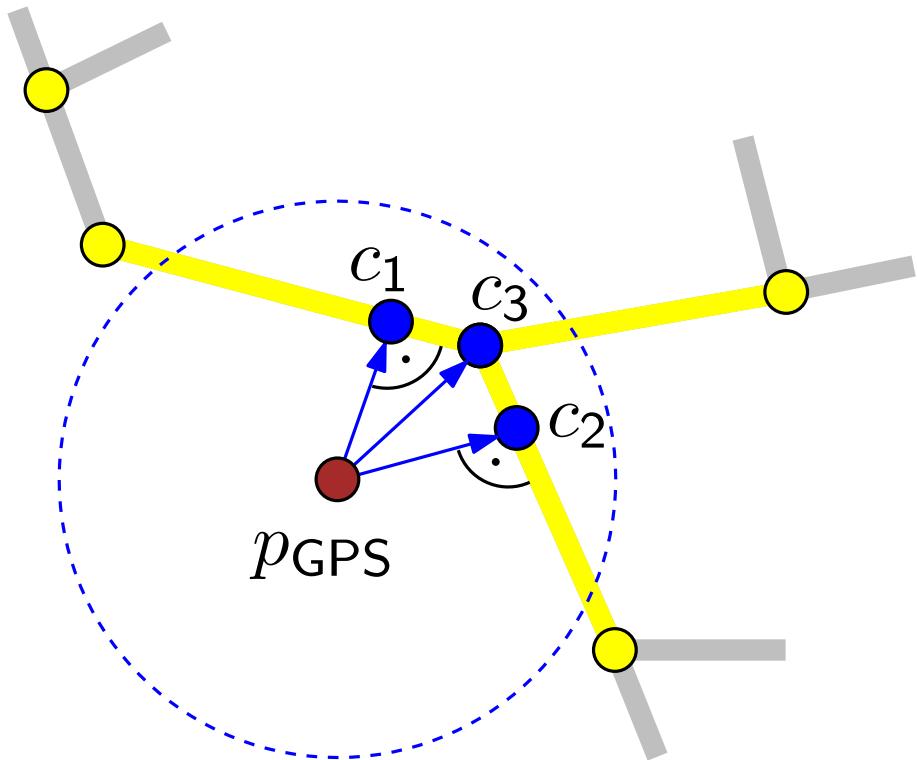
1. Suche nach Straßensegmenten innerhalb von r
2. Senkrechte Projektion, um jeweils den Punkt mit geringstem Abstand zu finden

Kandidatenpunkte

... sind Punkte auf Straßensegmenten, die mögliche Matching-Kandidaten für einen GPS-Punkt sind.

Problem:

Finde zu jedem GPS-Punkt eine Menge möglicher Kandidatenpunkte!



1. Suche nach Straßensegmenten innerhalb von r
2. Senkrechte Projektion, um jeweils den Punkt mit geringstem Abstand zu finden
3. Die Menge $\{c_1, c_2, c_3\}$ bildet die Kandidatenmenge C für p_{GPS}

Qualitätsanalyse

Qualitätsanalyse

Aus allen Kandidatenmengen muss je ein Punkt gewählt werden, so-
dass der Pfad entlang der Punkte bestmöglich zur Trajektorie passt.

Qualitätsanalyse

Aus allen Kandidatenmengen muss je ein Punkt gewählt werden, so-
dass der Pfad entlang der Punkte bestmöglich zur Trajektorie passt.

Problem:

Qualitätsanalyse

Aus allen Kandidatenmengen muss je ein Punkt gewählt werden, so-
dass der Pfad entlang der Punkte bestmöglich zur Trajektorie passt.

Problem: Was heißt „bestmöglich“ ?

Qualitätsanalyse

Aus allen Kandidatenmengen muss je ein Punkt gewählt werden, so-
dass der Pfad entlang der Punkte bestmöglich zur Trajektorie passt.

Problem: Was heißt „bestmöglich“ ?

→ Analyse der Qualität von Kandidatenpunkten...

Qualitätsanalyse

Aus allen Kandidatenmengen muss je ein Punkt gewählt werden, so-
dass der Pfad entlang der Punkte bestmöglich zur Trajektorie passt.

Problem: Was heißt „bestmöglich“ ?

→ Analyse der Qualität von Kandidatenpunkten...
mittels Beobachtungswahrscheinlichkeit

Qualitätsanalyse

Aus allen Kandidatenmengen muss je ein Punkt gewählt werden, so-
dass der Pfad entlang der Punkte bestmöglich zur Trajektorie passt.

Problem: Was heißt „bestmöglich“ ?

→ Analyse der Qualität von Kandidatenpunkten...
mittels Beobachtungswahrscheinlichkeit

Normalverteilung:

$$N(c_j^i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x_j^i - \mu)^2}{2\sigma^2}}$$

Qualitätsanalyse

Aus allen Kandidatenmengen muss je ein Punkt gewählt werden, so dass der Pfad entlang der Punkte bestmöglich zur Trajektorie passt.

Problem: Was heißt „bestmöglich“ ?

→ Analyse der Qualität von Kandidatenpunkten...
mittels Beobachtungswahrscheinlichkeit

Normalverteilung:

$$N(c_j^i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x_j^i - \mu)^2}{2\sigma^2}}$$

- $x_j^i = dist(c_j^i, p_{GPS}^j)$
- Erwartungswert $\mu = 0$
- Standardabweichung $\sigma = 20\text{m}$

Qualitätsanalyse

Aus allen Kandidatenmengen muss je ein Punkt gewählt werden, so dass der Pfad entlang der Punkte bestmöglich zur Trajektorie passt.

Problem: Was heißt „bestmöglich“ ?

→ Analyse der Qualität von Kandidatenpunkten...
mittels Beobachtungswahrscheinlichkeit

Normalverteilung:

$$N(c_j^i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x_j^i - \mu)^2}{2\sigma^2}}$$

Euklidscher Abstand

- $x_j^i = dist(c_j^i, p_{GPS}^j)$
- Erwartungswert $\mu = 0$
- Standardabweichung $\sigma = 20\text{m}$

Qualitätsanalyse

Aus allen Kandidatenmengen muss je ein Punkt gewählt werden, so dass der Pfad entlang der Punkte bestmöglich zur Trajektorie passt.

Problem: Was heißt „bestmöglich“?

→ Analyse der Qualität von Kandidatenpunkten...
mittels Beobachtungswahrscheinlichkeit

Normalverteilung:

$$N(c_j^i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x_j^i - \mu)^2}{2\sigma^2}}$$

Euklidscher Abstand

- $x_j^i = dist(c_j^i, p_{GPS}^j)$
- Erwartungswert $\mu = 0$
- Standardabweichung $\sigma = 20\text{m}$

empirischer Wert

Qualitätsanalyse

Aus allen Kandidatenmengen muss je ein Punkt gewählt werden, so-
dass der Pfad entlang der Punkte bestmöglich zur Trajektorie passt.

Problem: Was heißt „bestmöglich“ ?

- Analyse der Qualität von Kandidatenpunkten...
mittels Beobachtungswahrscheinlichkeit
- ...und der Verbindungen zwischen aufeinanderfolgenden

Qualitätsanalyse

Aus allen Kandidatenmengen muss je ein Punkt gewählt werden, so-
dass der Pfad entlang der Punkte bestmöglich zur Trajektorie passt.

Problem: Was heißt „bestmöglich“ ?

- Analyse der Qualität von Kandidatenpunkten...
mittels Beobachtungswahrscheinlichkeit
- ...und der Verbindungen zwischen aufeinanderfolgenden
mittels Übergangswahrscheinlichkeit

Qualitätsanalyse

Aus allen Kandidatenmengen muss je ein Punkt gewählt werden, so dass der Pfad entlang der Punkte bestmöglich zur Trajektorie passt.

Problem: Was heißt „bestmöglich“ ?

- Analyse der Qualität von Kandidatenpunkten...
mittels Beobachtungswahrscheinlichkeit
- ...und der Verbindungen zwischen aufeinanderfolgenden
mittels Übergangswahrscheinlichkeit

$$V(c_j^{i-1} \rightarrow c_k^i) = \frac{d_{(i-1) \rightarrow i}}{w_{(j, i-1) \rightarrow (k, i)}}$$

Qualitätsanalyse

Aus allen Kandidatenmengen muss je ein Punkt gewählt werden, so dass der Pfad entlang der Punkte bestmöglich zur Trajektorie passt.

Problem: Was heißt „bestmöglich“ ?

- Analyse der Qualität von Kandidatenpunkten...
mittels Beobachtungswahrscheinlichkeit
- ...und der Verbindungen zwischen aufeinanderfolgenden
mittels Übergangswahrscheinlichkeit

$$V(c_j^{i-1} \rightarrow c_k^i) = \frac{d_{(i-1) \rightarrow i}}{w_{(j, i-1) \rightarrow (k, i)}}$$

- $d_{(i-1) \rightarrow i} = \text{dist}(p_{\text{GPS}}^{i-1}, p_{\text{GPS}}^i)$
- $w_{(j, i-1) \rightarrow (k, i)}$: Länge des kürzesten Pfads zwischen c_j^{i-1} und c_k^i

Qualitätsanalyse

Aus allen Kandidatenmengen muss je ein Punkt gewählt werden, so dass der Pfad entlang der Punkte bestmöglich zur Trajektorie passt.

Problem: Was heißt „bestmöglich“ ?

- Analyse der Qualität von Kandidatenpunkten...
mittels Beobachtungswahrscheinlichkeit
- ...und der Verbindungen zwischen aufeinanderfolgenden
mittels Übergangswahrscheinlichkeit

$$V(c_j^{i-1} \rightarrow c_k^i) = \frac{d_{(i-1) \rightarrow i}}{w_{(j, i-1) \rightarrow (k, i)}}$$

- Euklidscher Abstand
- $d_{(i-1) \rightarrow i} = dist(p_{GPS}^{i-1}, p_{GPS}^i)$
 - $w_{(j, i-1) \rightarrow (k, i)}$: Länge des kürzesten Pfads zwischen c_j^{i-1} und c_k^i

Qualitätsanalyse

Aus allen Kandidatenmengen muss je ein Punkt gewählt werden, so dass der Pfad entlang der Punkte bestmöglich zur Trajektorie passt.

Problem: Was heißt „bestmöglich“ ?

- Analyse der Qualität von Kandidatenpunkten...
mittels Beobachtungswahrscheinlichkeit
- ...und der Verbindungen zwischen aufeinanderfolgenden
mittels Übergangswahrscheinlichkeit

$$V(c_j^{i-1} \rightarrow c_k^i) = \frac{d_{(i-1) \rightarrow i}}{w_{(j, i-1) \rightarrow (k, i)}}$$

- Euklidscher Abstand
- $d_{(i-1) \rightarrow i} = \text{dist}(p_{\text{GPS}}^{i-1}, p_{\text{GPS}}^i)$
 - $w_{(j, i-1) \rightarrow (k, i)}$: Länge des kürzesten Pfads zwischen c_j^{i-1} und c_k^i
- Dijkstra

Optimierung

Aus allen Kandidatenmengen muss je ein Punkt gewählt werden, so-
dass der Pfad entlang der Punkte bestmöglich zur Trajektorie passt.

Optimierung

Aus allen Kandidatenmengen muss je ein Punkt gewählt werden, so-
dass der Pfad entlang der Punkte bestmöglich zur Trajektorie passt.

Also:

Optimierung

Aus allen Kandidatenmengen muss je ein Punkt gewählt werden, so-
dass der Pfad entlang der Punkte bestmöglich zur Trajektorie passt.

Also: $c^1 \rightarrow c^2 \rightarrow \dots \rightarrow c^n$

Optimierung

Aus allen Kandidatenmengen muss je ein Punkt gewählt werden, so-
dass der Pfad entlang der Punkte bestmöglich zur Trajektorie passt.

Also: $c^1 \rightarrow c^2 \rightarrow \dots \rightarrow c^n$ mit $c^i \in C^i$

Optimierung

Aus allen Kandidatenmengen muss je ein Punkt gewählt werden, so dass der Pfad entlang der Punkte bestmöglich zur Trajektorie passt.

Also: $c^1 \rightarrow c^2 \rightarrow \dots \rightarrow c^n$ mit $c^i \in C^i$ sodass

$$N(c^1) \cdot V(c^1 \rightarrow c^2) \cdot N(c^2) \cdot \dots \cdot N(c^{n-1}) \cdot V(c^{n-1} \rightarrow c^n) \cdot N(c^n)$$

Optimierung

Aus allen Kandidatenmengen muss je ein Punkt gewählt werden, so dass der Pfad entlang der Punkte bestmöglich zur Trajektorie passt.

Also: $c^1 \rightarrow c^2 \rightarrow \dots \rightarrow c^n$ mit $c^i \in C^i$ sodass

$$N(c^1) \cdot V(c^1 \rightarrow c^2) \cdot N(c^2) \cdot \dots \cdot N(c^{n-1}) \cdot V(c^{n-1} \rightarrow c^n) \cdot N(c^n)$$

maximal ist.

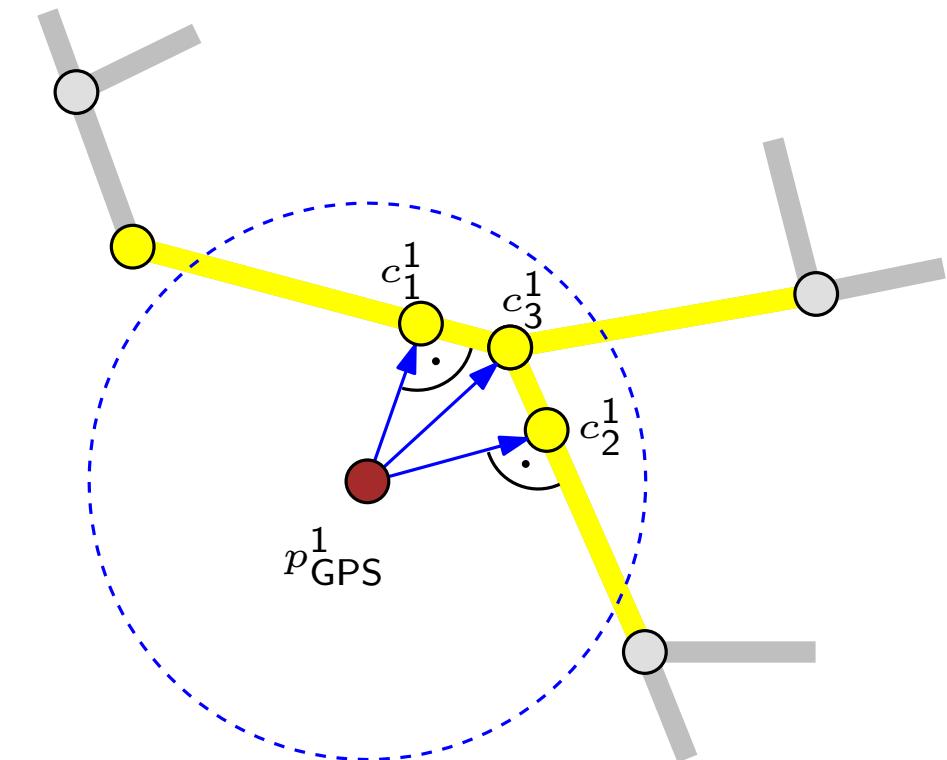
Optimierung

Aus allen Kandidatenmengen muss je ein Punkt gewählt werden, so dass der Pfad entlang der Punkte bestmöglich zur Trajektorie passt.

Also: $c^1 \rightarrow c^2 \rightarrow \dots \rightarrow c^n$ mit $c^i \in C^i$ sodass

$$N(c^1) \cdot V(c^1 \rightarrow c^2) \cdot N(c^2) \cdot \dots \cdot N(c^{n-1}) \cdot V(c^{n-1} \rightarrow c^n) \cdot N(c^n)$$

maximal ist.



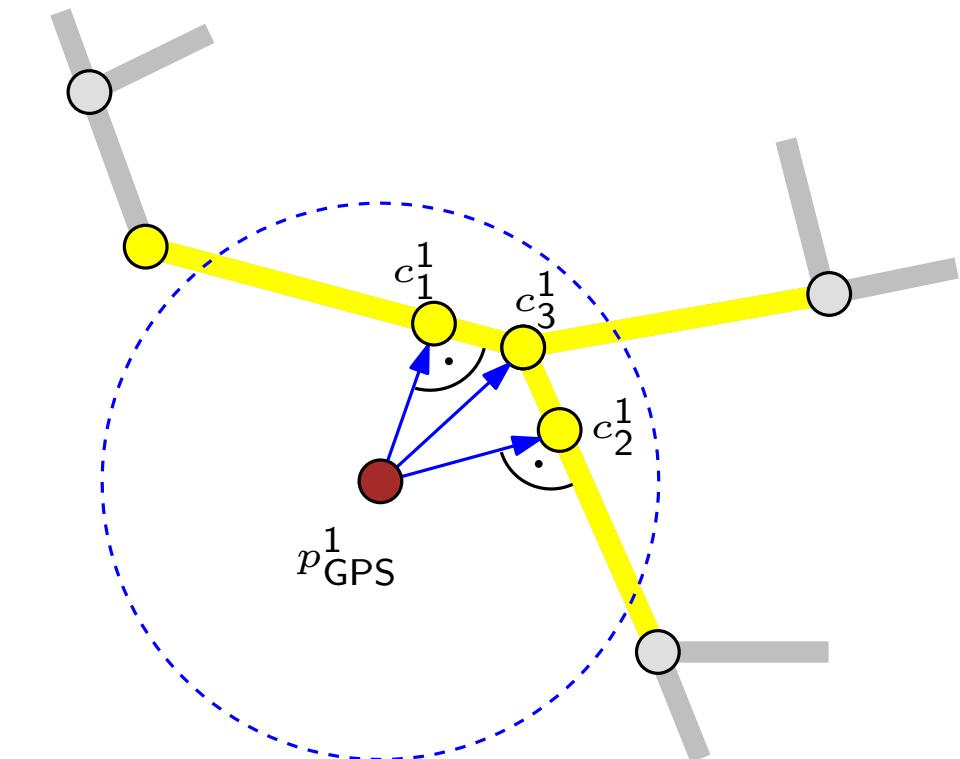
Optimierung

Aus allen Kandidatenmengen muss je ein Punkt gewählt werden, so dass der Pfad entlang der Punkte bestmöglich zur Trajektorie passt.

Also: $c^1 \rightarrow c^2 \rightarrow \dots \rightarrow c^n$ mit $c^i \in C^i$ sodass

$$N(c^1) \cdot V(c^1 \rightarrow c^2) \cdot N(c^2) \cdot \dots \cdot N(c^{n-1}) \cdot V(c^{n-1} \rightarrow c^n) \cdot N(c^n)$$

maximal ist.



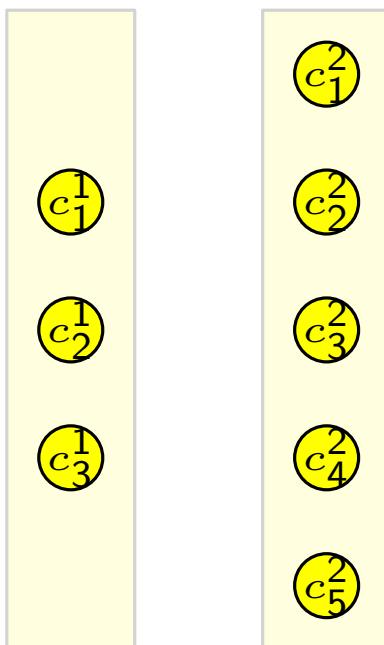
Optimierung

Aus allen Kandidatenmengen muss je ein Punkt gewählt werden, so dass der Pfad entlang der Punkte bestmöglich zur Trajektorie passt.

Also: $c^1 \rightarrow c^2 \rightarrow \dots \rightarrow c^n$ mit $c^i \in C^i$ sodass

$$N(c^1) \cdot V(c^1 \rightarrow c^2) \cdot N(c^2) \cdot \dots \cdot N(c^{n-1}) \cdot V(c^{n-1} \rightarrow c^n) \cdot N(c^n)$$

maximal ist.



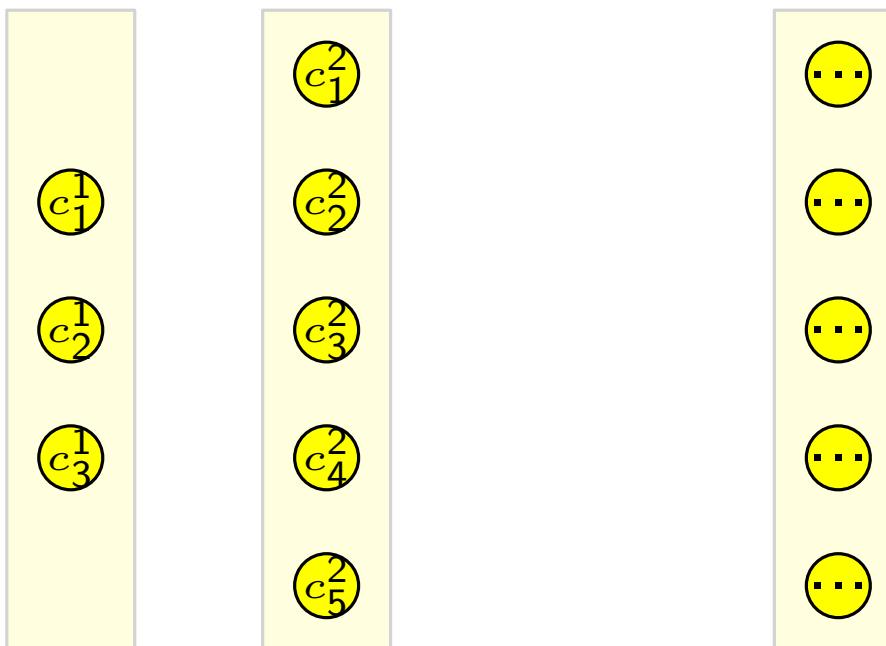
Optimierung

Aus allen Kandidatenmengen muss je ein Punkt gewählt werden, so dass der Pfad entlang der Punkte bestmöglich zur Trajektorie passt.

Also: $c^1 \rightarrow c^2 \rightarrow \dots \rightarrow c^n$ mit $c^i \in C^i$ sodass

$$N(c^1) \cdot V(c^1 \rightarrow c^2) \cdot N(c^2) \cdot \dots \cdot N(c^{n-1}) \cdot V(c^{n-1} \rightarrow c^n) \cdot N(c^n)$$

maximal ist.



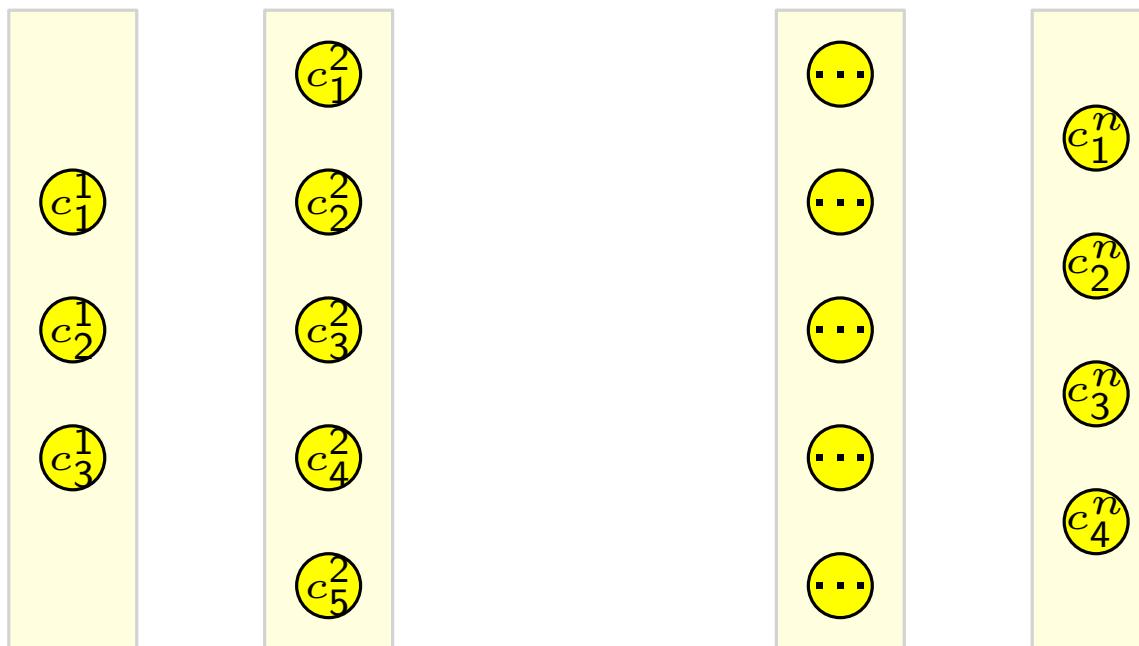
Optimierung

Aus allen Kandidatenmengen muss je ein Punkt gewählt werden, so dass der Pfad entlang der Punkte bestmöglich zur Trajektorie passt.

Also: $c^1 \rightarrow c^2 \rightarrow \dots \rightarrow c^n$ mit $c^i \in C^i$ sodass

$$N(c^1) \cdot V(c^1 \rightarrow c^2) \cdot N(c^2) \cdot \dots \cdot N(c^{n-1}) \cdot V(c^{n-1} \rightarrow c^n) \cdot N(c^n)$$

maximal ist.



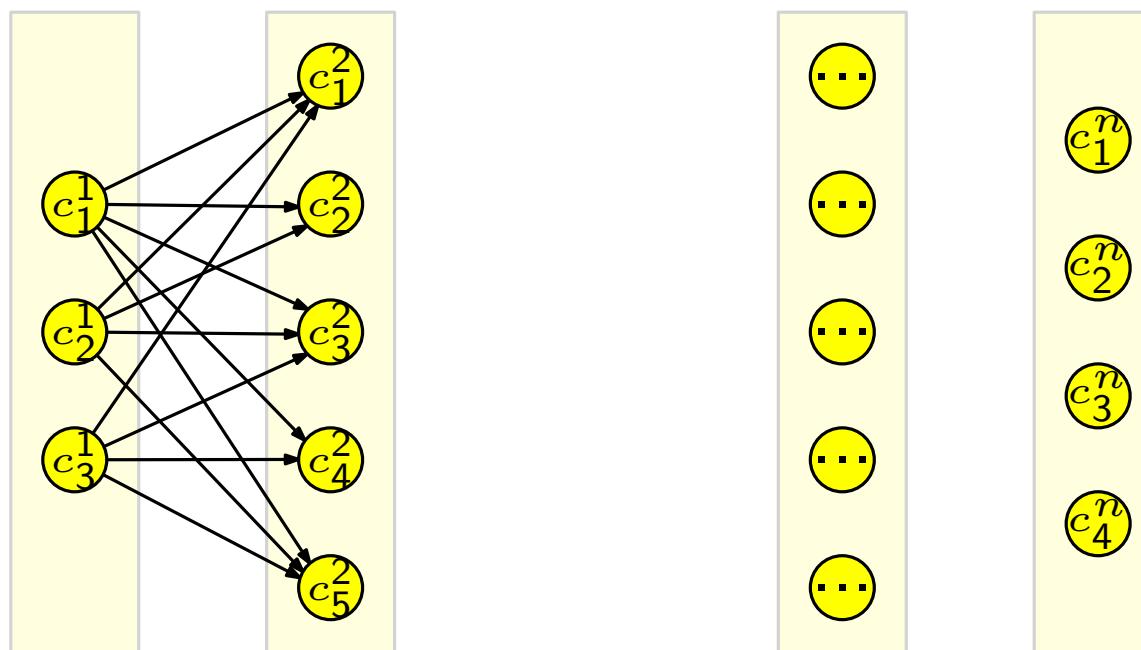
Optimierung

Aus allen Kandidatenmengen muss je ein Punkt gewählt werden, so dass der Pfad entlang der Punkte bestmöglich zur Trajektorie passt.

Also: $c^1 \rightarrow c^2 \rightarrow \dots \rightarrow c^n$ mit $c^i \in C^i$ sodass

$$N(c^1) \cdot V(c^1 \rightarrow c^2) \cdot N(c^2) \cdot \dots \cdot N(c^{n-1}) \cdot V(c^{n-1} \rightarrow c^n) \cdot N(c^n)$$

maximal ist.



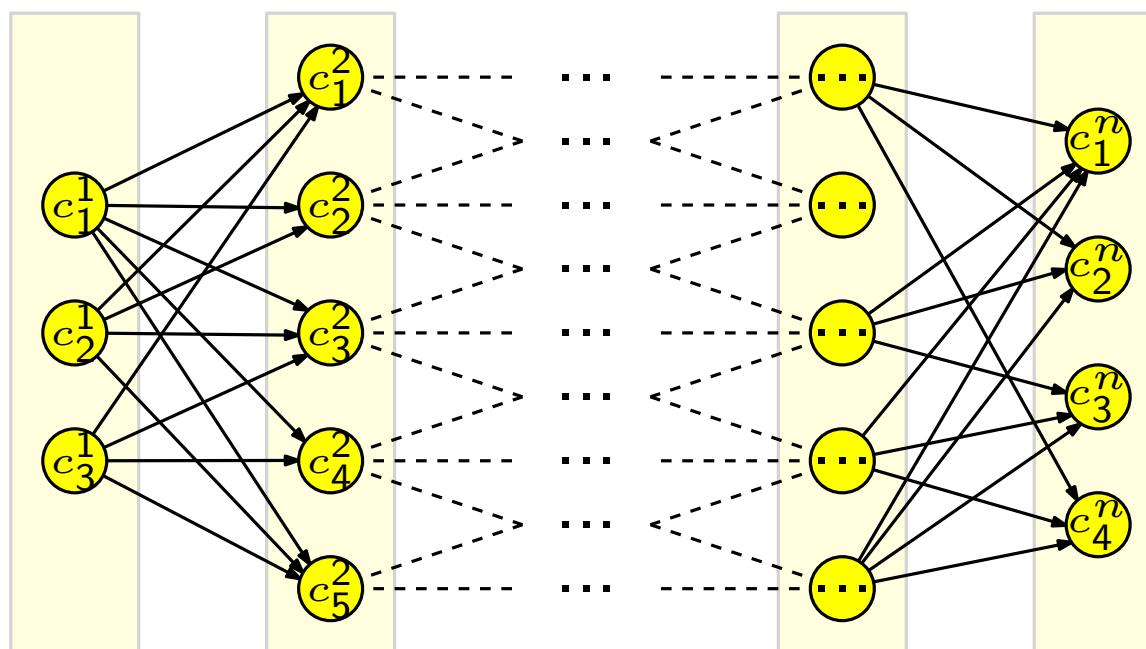
Optimierung

Aus allen Kandidatenmengen muss je ein Punkt gewählt werden, so dass der Pfad entlang der Punkte bestmöglich zur Trajektorie passt.

Also: $c^1 \rightarrow c^2 \rightarrow \dots \rightarrow c^n$ mit $c^i \in C^i$ sodass

$$N(c^1) \cdot V(c^1 \rightarrow c^2) \cdot N(c^2) \cdot \dots \cdot N(c^{n-1}) \cdot V(c^{n-1} \rightarrow c^n) \cdot N(c^n)$$

maximal ist.



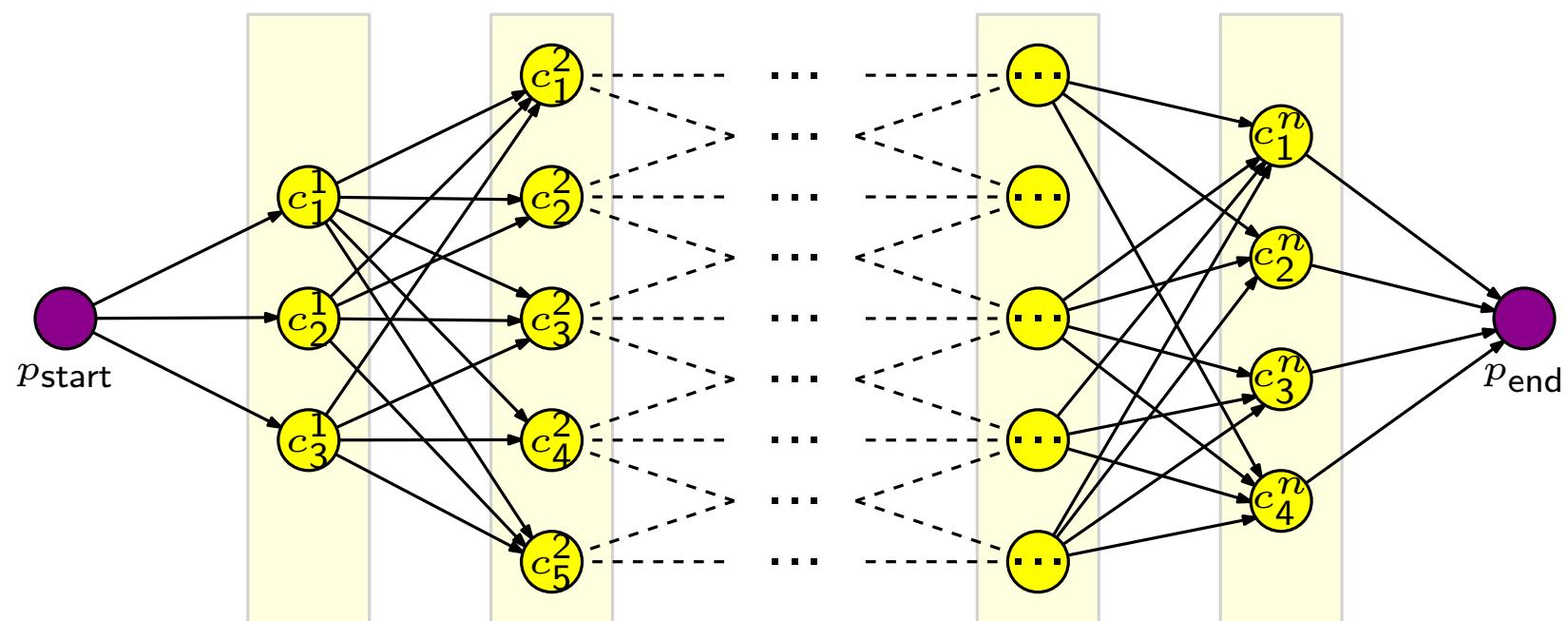
Optimierung

Aus allen Kandidatenmengen muss je ein Punkt gewählt werden, so dass der Pfad entlang der Punkte bestmöglich zur Trajektorie passt.

Also: $c^1 \rightarrow c^2 \rightarrow \dots \rightarrow c^n$ mit $c^i \in C^i$ sodass

$$N(c^1) \cdot V(c^1 \rightarrow c^2) \cdot N(c^2) \cdot \dots \cdot N(c^{n-1}) \cdot V(c^{n-1} \rightarrow c^n) \cdot N(c^n)$$

maximal ist.



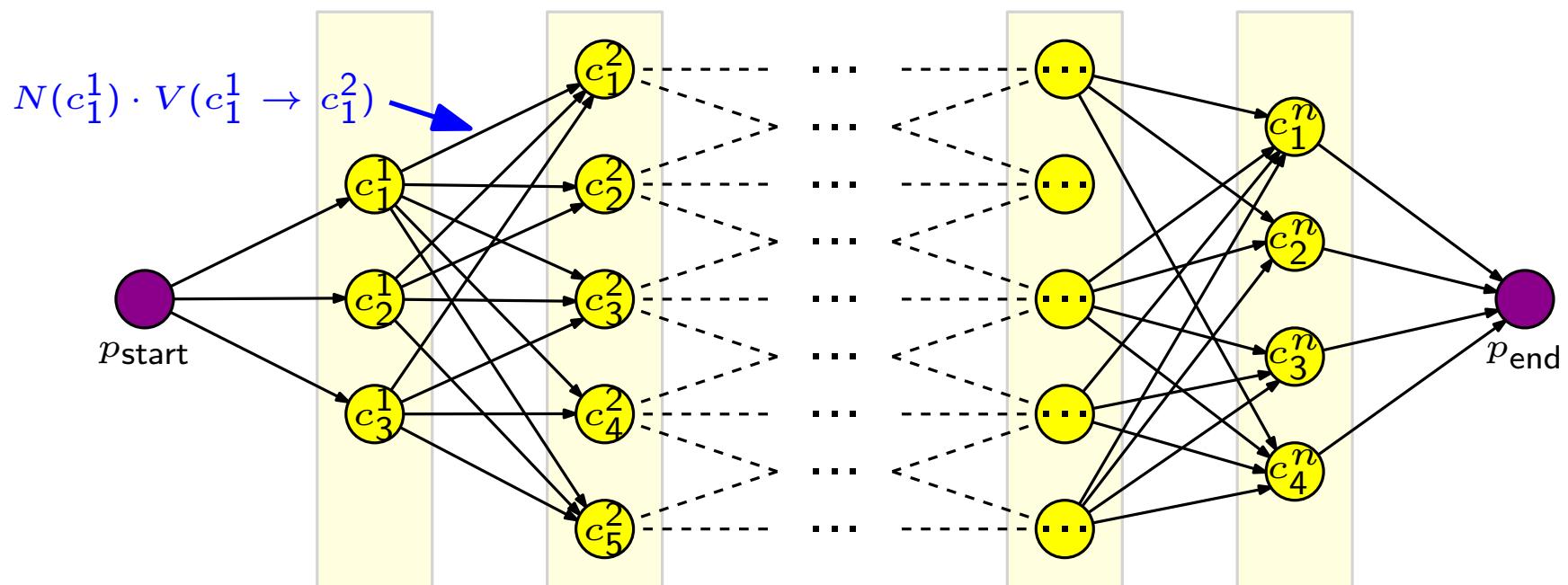
Optimierung

Aus allen Kandidatenmengen muss je ein Punkt gewählt werden, so dass der Pfad entlang der Punkte bestmöglich zur Trajektorie passt.

Also: $c^1 \rightarrow c^2 \rightarrow \dots \rightarrow c^n$ mit $c^i \in C^i$ sodass

$$N(c^1) \cdot V(c^1 \rightarrow c^2) \cdot N(c^2) \cdot \dots \cdot N(c^{n-1}) \cdot V(c^{n-1} \rightarrow c^n) \cdot N(c^n)$$

maximal ist.



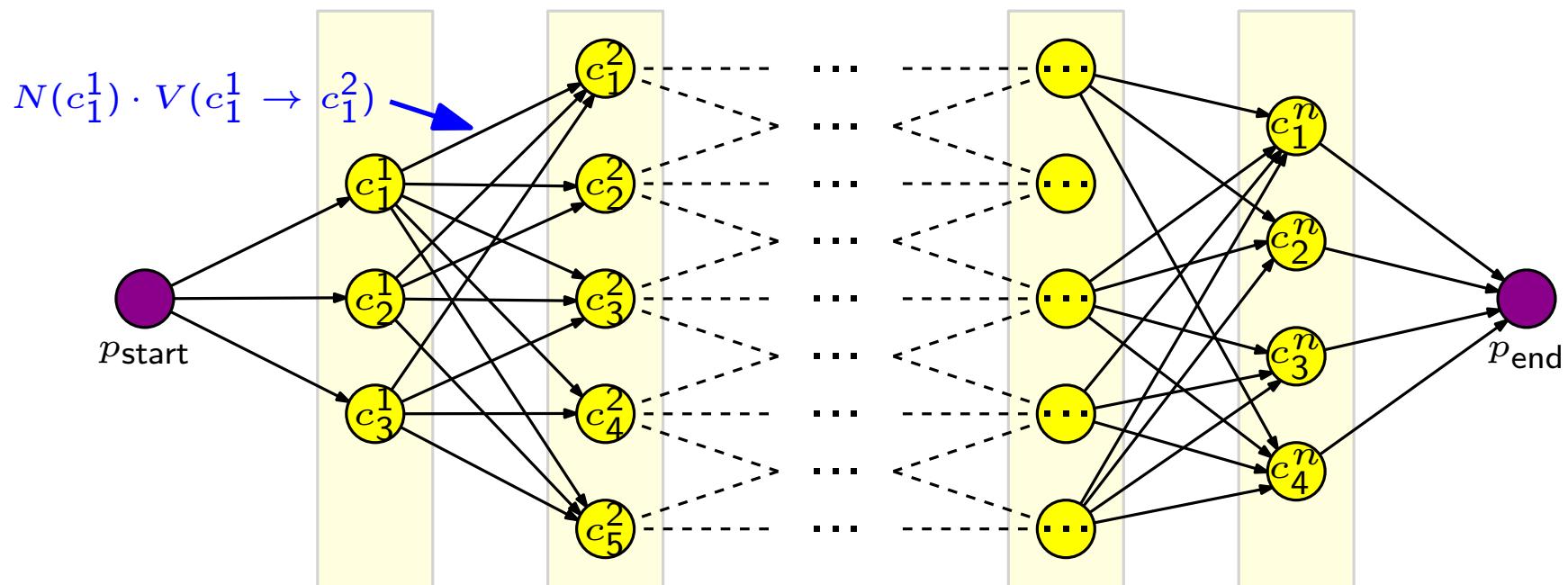
Optimierung

Aus allen Kandidatenmengen muss je ein Punkt gewählt werden, so dass der Pfad entlang der Punkte bestmöglich zur Trajektorie passt.

Also: $c^1 \rightarrow c^2 \rightarrow \dots \rightarrow c^n$ mit $c^i \in C^i$ sodass

$$N(c^1) \cdot V(c^1 \rightarrow c^2) \cdot N(c^2) \cdot \dots \cdot N(c^{n-1}) \cdot V(c^{n-1} \rightarrow c^n) \cdot N(c^n)$$

maximal ist.



Suche optimalen Weg: *dynamisches Programmieren*

Teil II: Verbesserung des Algorithmus'

Normalisierung der Übergangs-WSK

Normalisierung der Übergangs-WSK

Lou et al. (2009) definierten die Übergangswahrscheinlichkeit als

Normalisierung der Übergangs-WSK

Lou et al. (2009) definierten die Übergangswahrscheinlichkeit als

$$V(c_j^{i-1} \rightarrow c_k^i) = \frac{d_{(i-1) \rightarrow i}}{w_{(j, i-1) \rightarrow (k, i)}}$$

- $d_{(i-1) \rightarrow i} = dist(p_{\text{GPS}}^{i-1}, p_{\text{GPS}}^i)$
- $w_{(j, i-1) \rightarrow (k, i)}$: Länge des kürzesten Pfads zwischen c_j^{i-1} und c_k^i

Normalisierung der Übergangs-WSK

Lou et al. (2009) definierten die Übergangswahrscheinlichkeit als

$$V(c_j^{i-1} \rightarrow c_k^i) = \frac{d_{(i-1) \rightarrow i}}{w_{(j, i-1) \rightarrow (k, i)}}$$

- $d_{(i-1) \rightarrow i} = dist(p_{\text{GPS}}^{i-1}, p_{\text{GPS}}^i)$
- $w_{(j, i-1) \rightarrow (k, i)}$: Länge des kürzesten Pfads zwischen c_j^{i-1} und c_k^i

Problem:

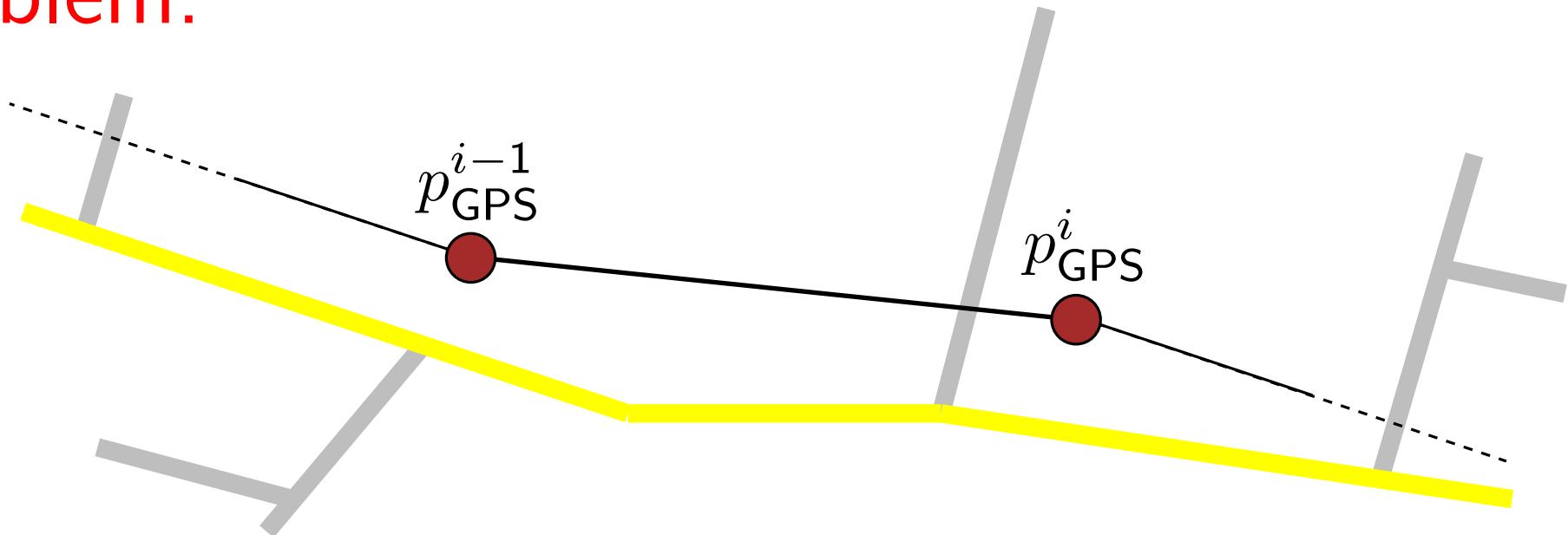
Normalisierung der Übergangs-WSK

Lou et al. (2009) definierten die Übergangswahrscheinlichkeit als

$$V(c_j^{i-1} \rightarrow c_k^i) = \frac{d_{(i-1) \rightarrow i}}{w_{(j, i-1) \rightarrow (k, i)}}$$

- $d_{(i-1) \rightarrow i} = dist(p_{\text{GPS}}^{i-1}, p_{\text{GPS}}^i)$
- $w_{(j, i-1) \rightarrow (k, i)}$: Länge des kürzesten Pfads zwischen c_j^{i-1} und c_k^i

Problem:



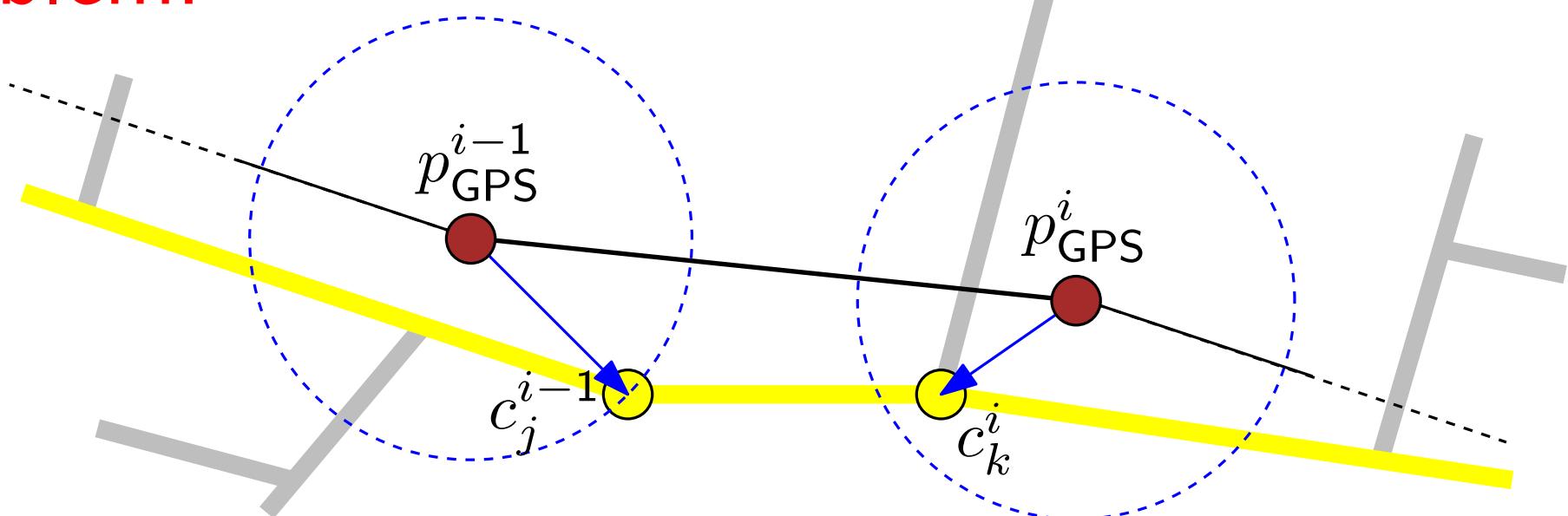
Normalisierung der Übergangs-WSK

Lou et al. (2009) definierten die Übergangswahrscheinlichkeit als

$$V(c_j^{i-1} \rightarrow c_k^i) = \frac{d_{(i-1) \rightarrow i}}{w_{(j, i-1) \rightarrow (k, i)}}$$

- $d_{(i-1) \rightarrow i} = dist(p_{\text{GPS}}^{i-1}, p_{\text{GPS}}^i)$
- $w_{(j, i-1) \rightarrow (k, i)}$: Länge des kürzesten Pfads zwischen c_j^{i-1} und c_k^i

Problem:



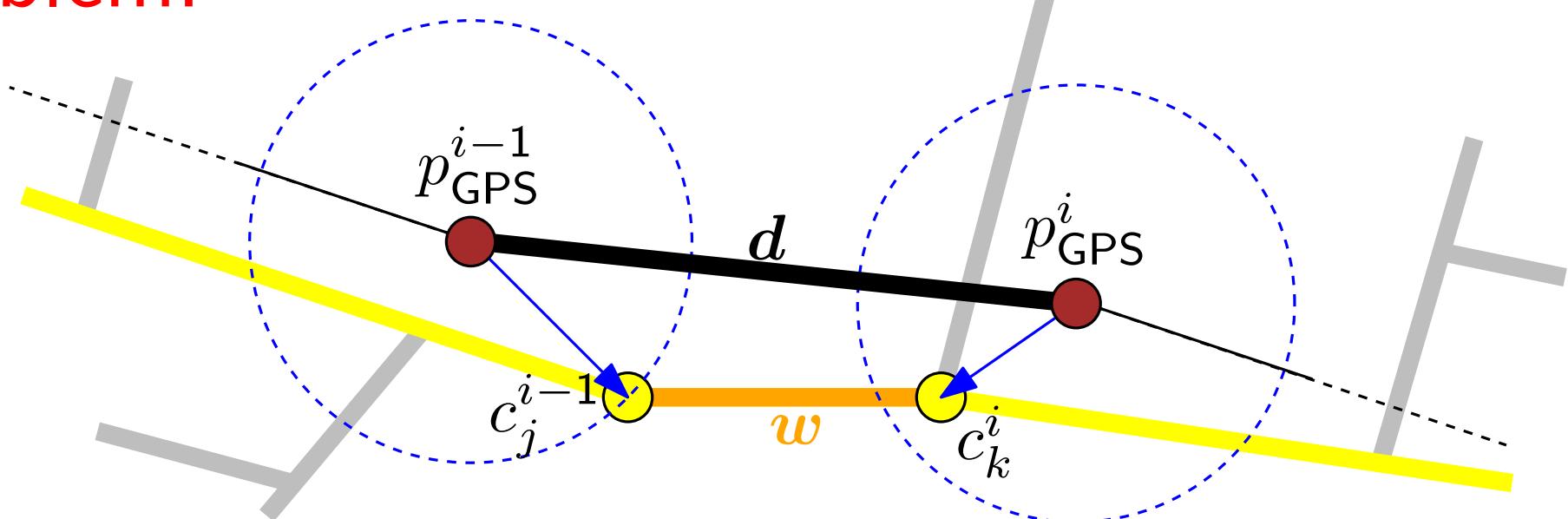
Normalisierung der Übergangs-WSK

Lou et al. (2009) definierten die Übergangswahrscheinlichkeit als

$$V(c_j^{i-1} \rightarrow c_k^i) = \frac{d_{(i-1) \rightarrow i}}{w_{(j, i-1) \rightarrow (k, i)}}$$

- $d_{(i-1) \rightarrow i} = dist(p_{\text{GPS}}^{i-1}, p_{\text{GPS}}^i)$
- $w_{(j, i-1) \rightarrow (k, i)}$: Länge des kürzesten Pfads zwischen c_j^{i-1} und c_k^i

Problem:



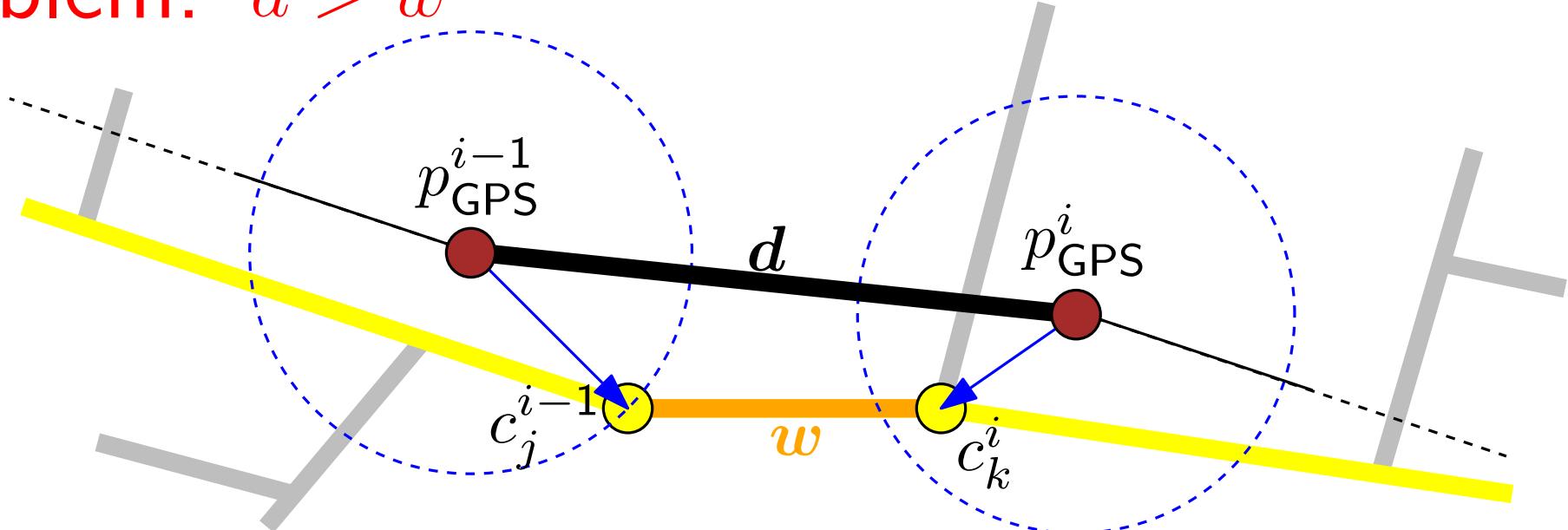
Normalisierung der Übergangs-WSK

Lou et al. (2009) definierten die Übergangswahrscheinlichkeit als

$$V(c_j^{i-1} \rightarrow c_k^i) = \frac{d_{(i-1) \rightarrow i}}{w_{(j, i-1) \rightarrow (k, i)}}$$

- $d_{(i-1) \rightarrow i} = dist(p_{\text{GPS}}^{i-1}, p_{\text{GPS}}^i)$
- $w_{(j, i-1) \rightarrow (k, i)}$: Länge des kürzesten Pfads zwischen c_j^{i-1} und c_k^i

Problem: $d > w$



Normalisierung der Übergangs-WSK

Lou et al. (2009) definierten die Übergangswahrscheinlichkeit als

$$V(c_j^{i-1} \rightarrow c_k^i) = \frac{d_{(i-1) \rightarrow i}}{w_{(j, i-1) \rightarrow (k, i)}}$$

- $d_{(i-1) \rightarrow i} = dist(p_{\text{GPS}}^{i-1}, p_{\text{GPS}}^i)$
- $w_{(j, i-1) \rightarrow (k, i)}$: Länge des kürzesten Pfads zwischen c_j^{i-1} und c_k^i

Problem: $d > w$

Neue Definition der Übergangswahrscheinlichkeit:

Normalisierung der Übergangs-WSK

Lou et al. (2009) definierten die Übergangswahrscheinlichkeit als

$$V(c_j^{i-1} \rightarrow c_k^i) = \frac{d_{(i-1) \rightarrow i}}{w_{(j, i-1) \rightarrow (k, i)}}$$

- $d_{(i-1) \rightarrow i} = dist(p_{\text{GPS}}^{i-1}, p_{\text{GPS}}^i)$
- $w_{(j, i-1) \rightarrow (k, i)}$: Länge des kürzesten Pfads zwischen c_j^{i-1} und c_k^i

Problem: $d > w$

Neue Definition der Übergangswahrscheinlichkeit:

$$V(c_j^{i-1} \rightarrow c_k^i) = \frac{\min\{d_{(i-1) \rightarrow i}, w_{(j, i-1) \rightarrow (k, i)}\}}{\max\{d_{(i-1) \rightarrow i}, w_{(j, i-1) \rightarrow (k, i)}\}}$$

Normalisierung der Übergangs-WSK

Lou et al. (2009) definierten die Übergangswahrscheinlichkeit als

$$V(c_j^{i-1} \rightarrow c_k^i) = \frac{d_{(i-1) \rightarrow i}}{w_{(j, i-1) \rightarrow (k, i)}}$$

- $d_{(i-1) \rightarrow i} = dist(p_{\text{GPS}}^{i-1}, p_{\text{GPS}}^i)$
- $w_{(j, i-1) \rightarrow (k, i)}$: Länge des kürzesten Pfads zwischen c_j^{i-1} und c_k^i

Problem: $d > w$

Neue Definition der Übergangswahrscheinlichkeit:

$$V(c_j^{i-1} \rightarrow c_k^i) = \frac{\min\{d_{(i-1) \rightarrow i}, w_{(j, i-1) \rightarrow (k, i)}\}}{\max\{d_{(i-1) \rightarrow i}, w_{(j, i-1) \rightarrow (k, i)}\}}$$

→ Normierung von V

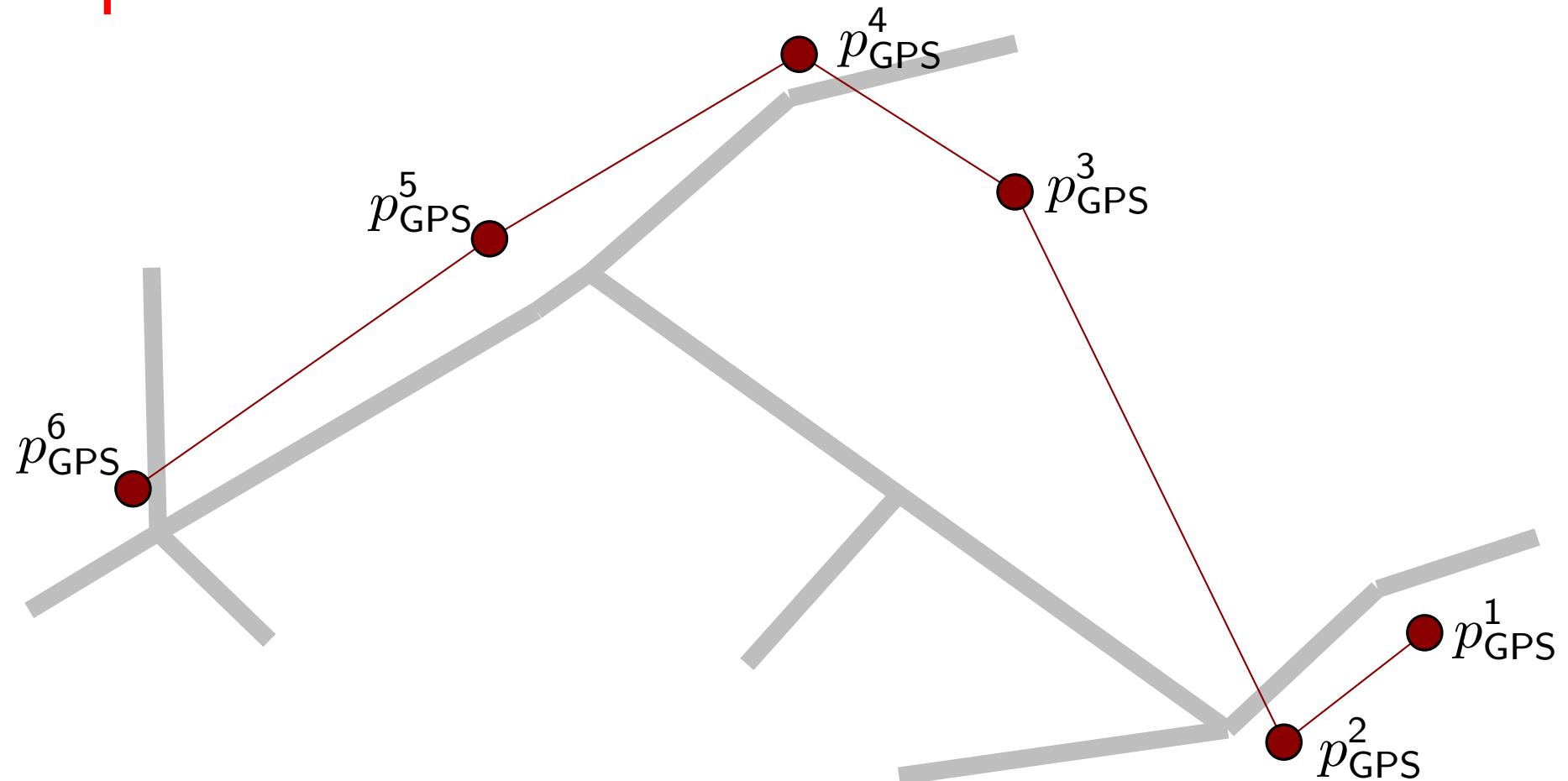
Verhindern von Schleifen

Verhindern von Schleifen

Beispiel:

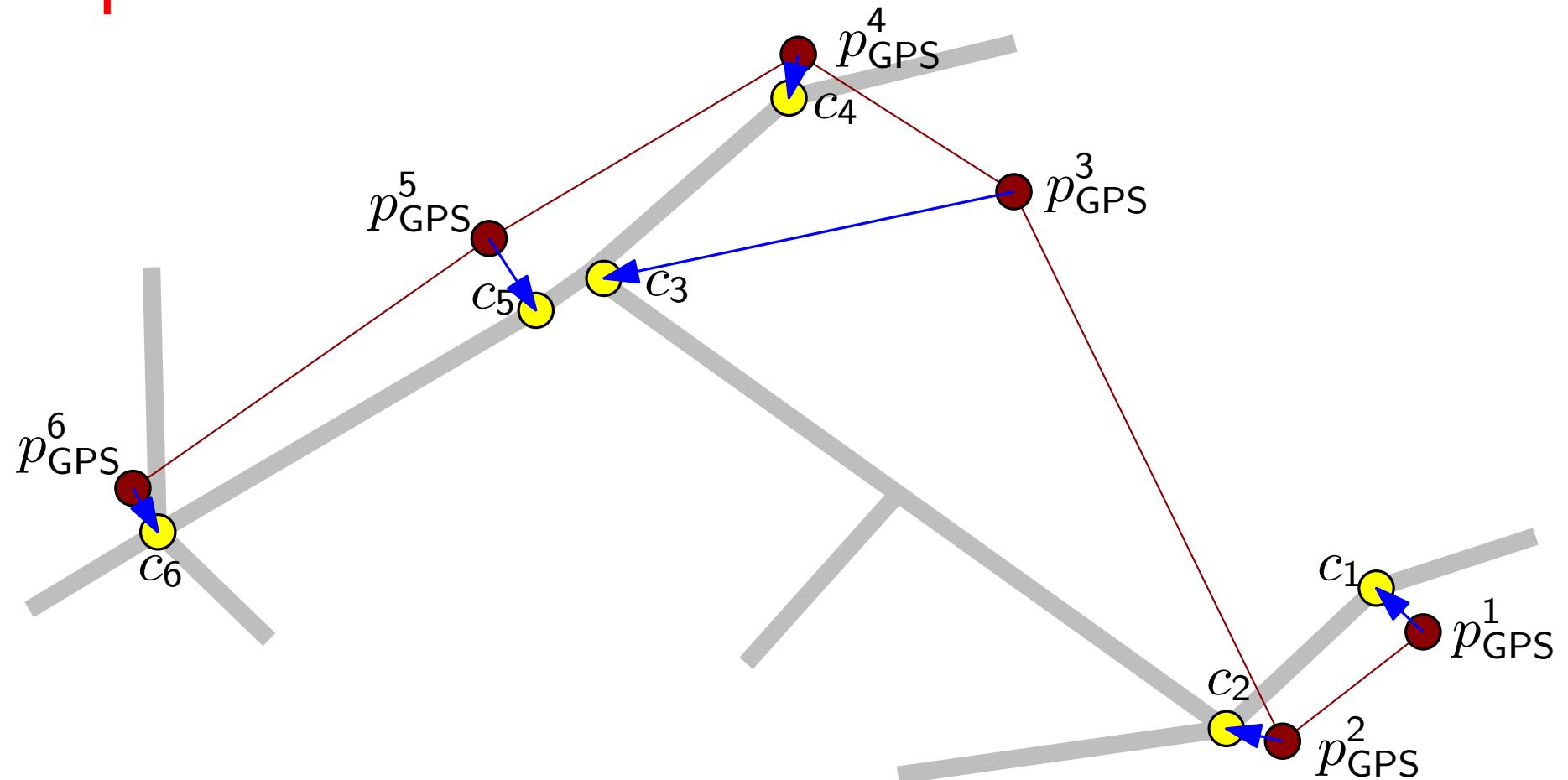
Verhindern von Schleifen

Beispiel:



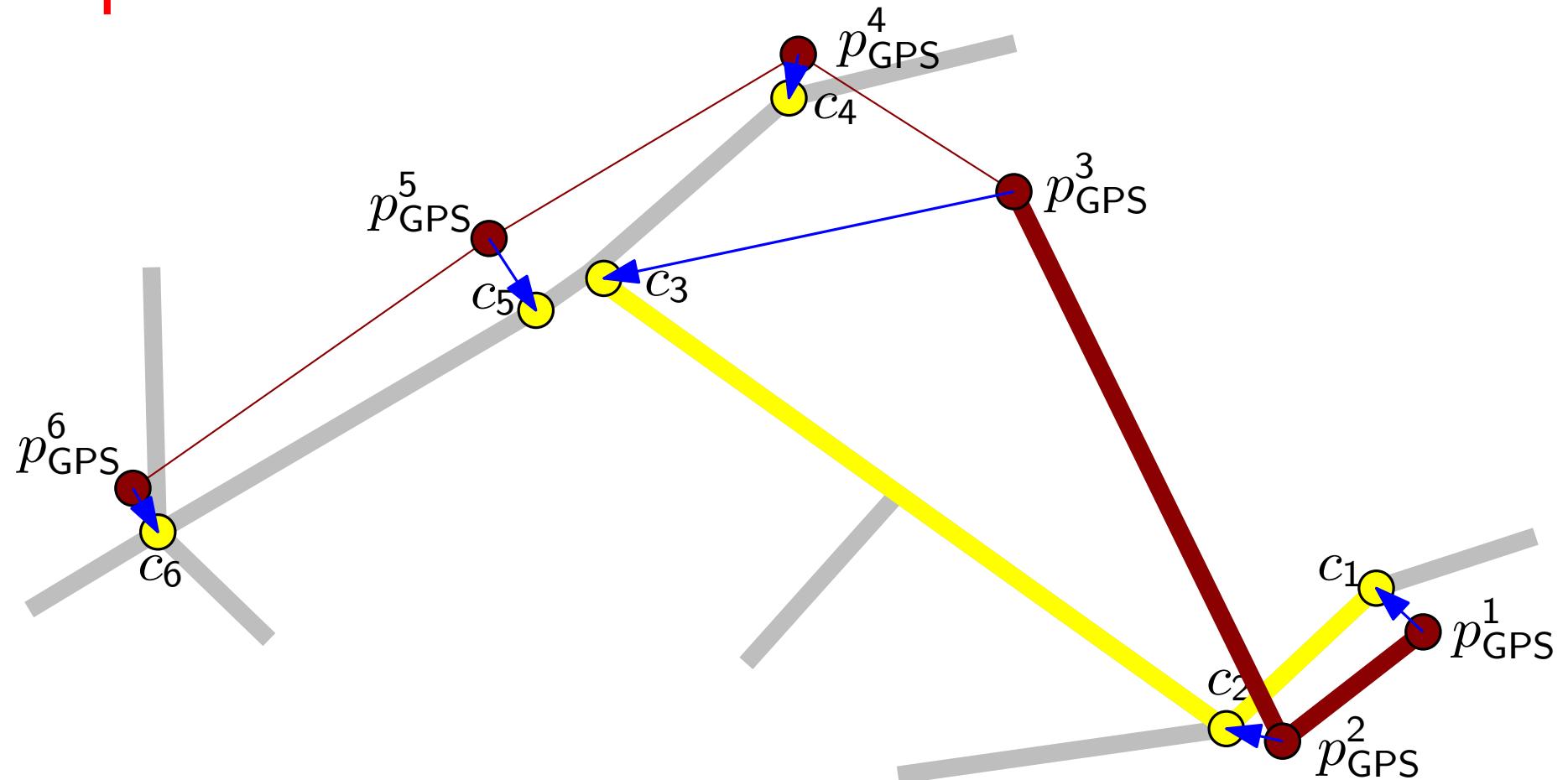
Verhindern von Schleifen

Beispiel:



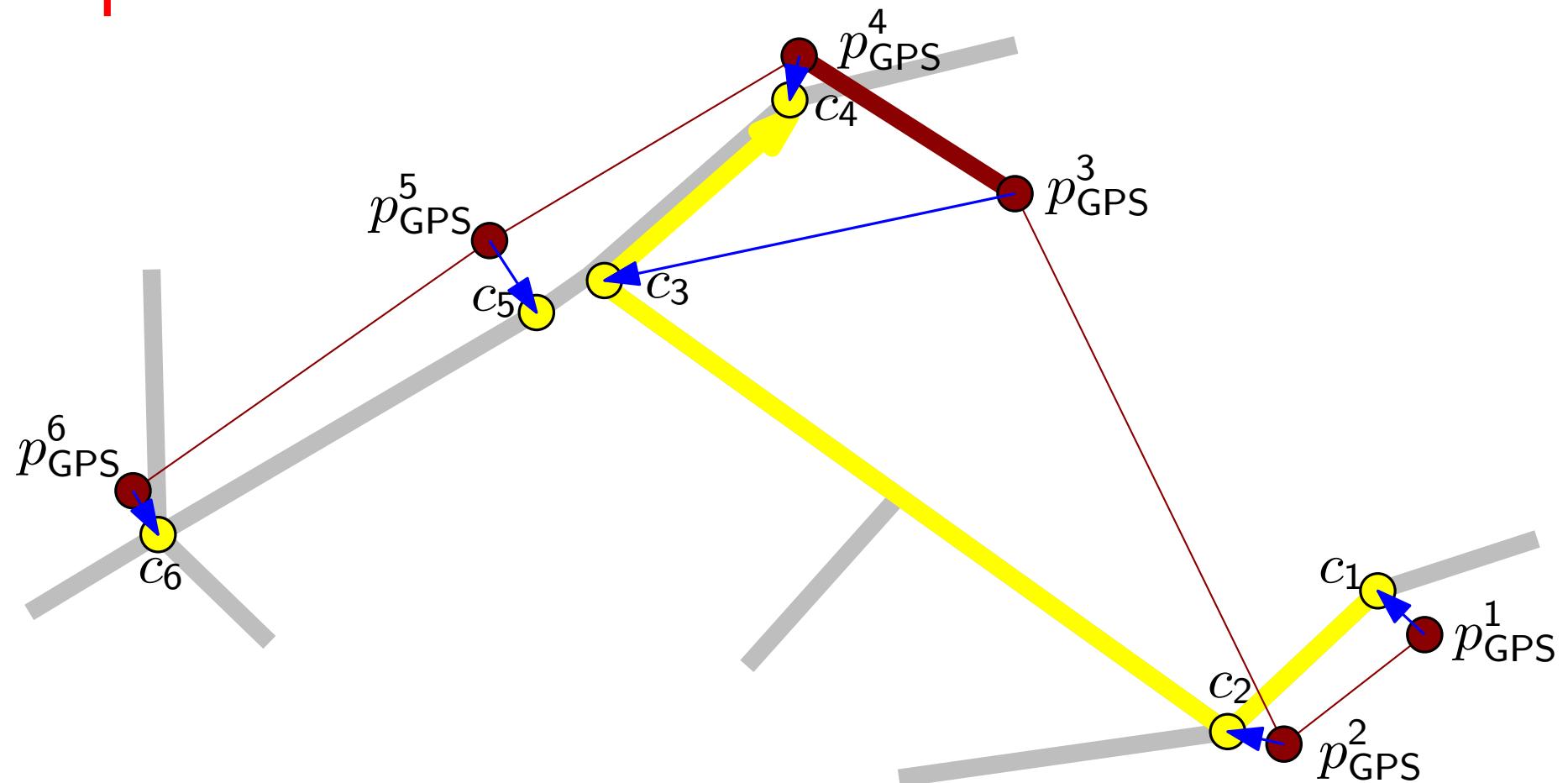
Verhindern von Schleifen

Beispiel:



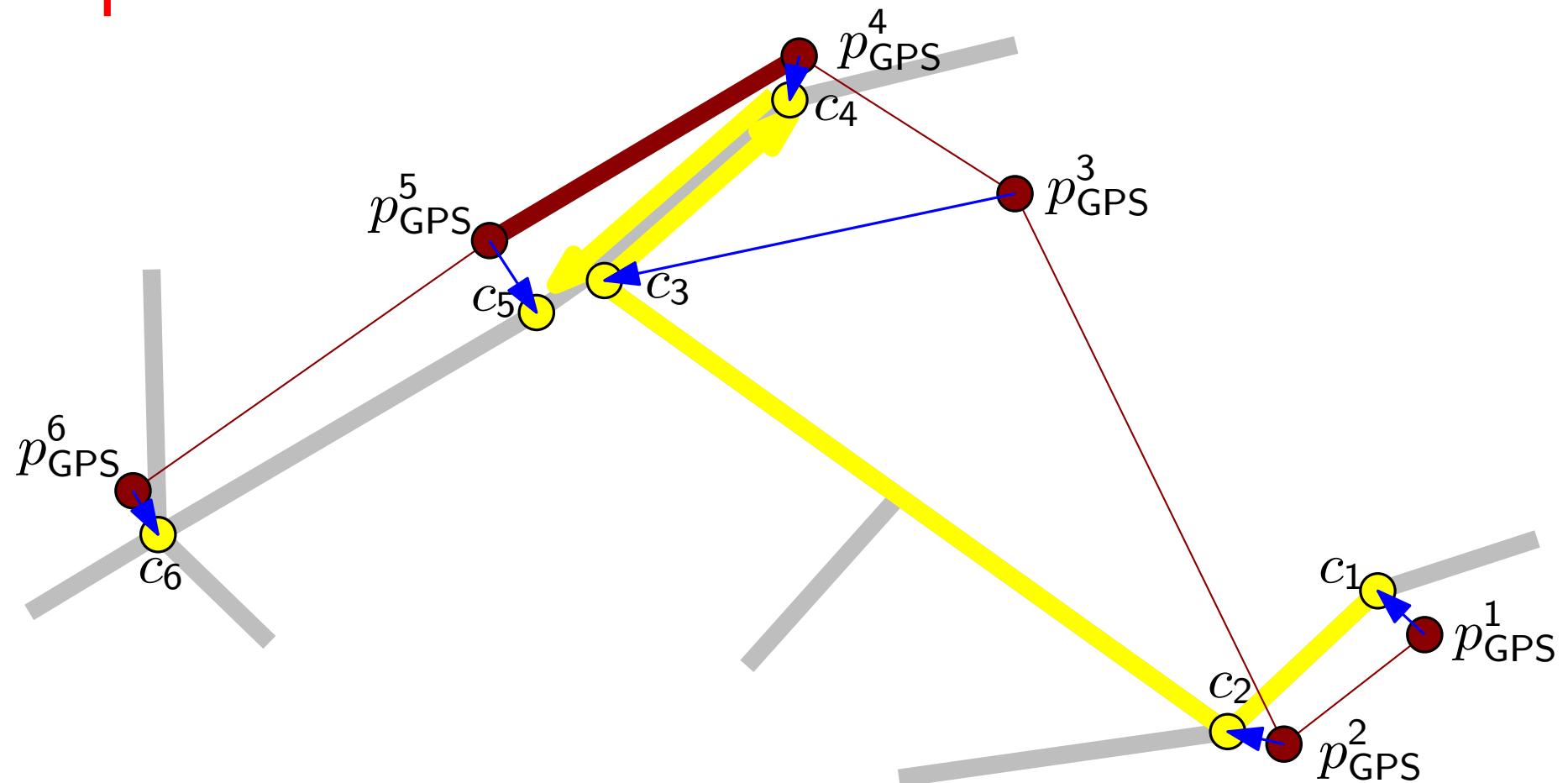
Verhindern von Schleifen

Beispiel:



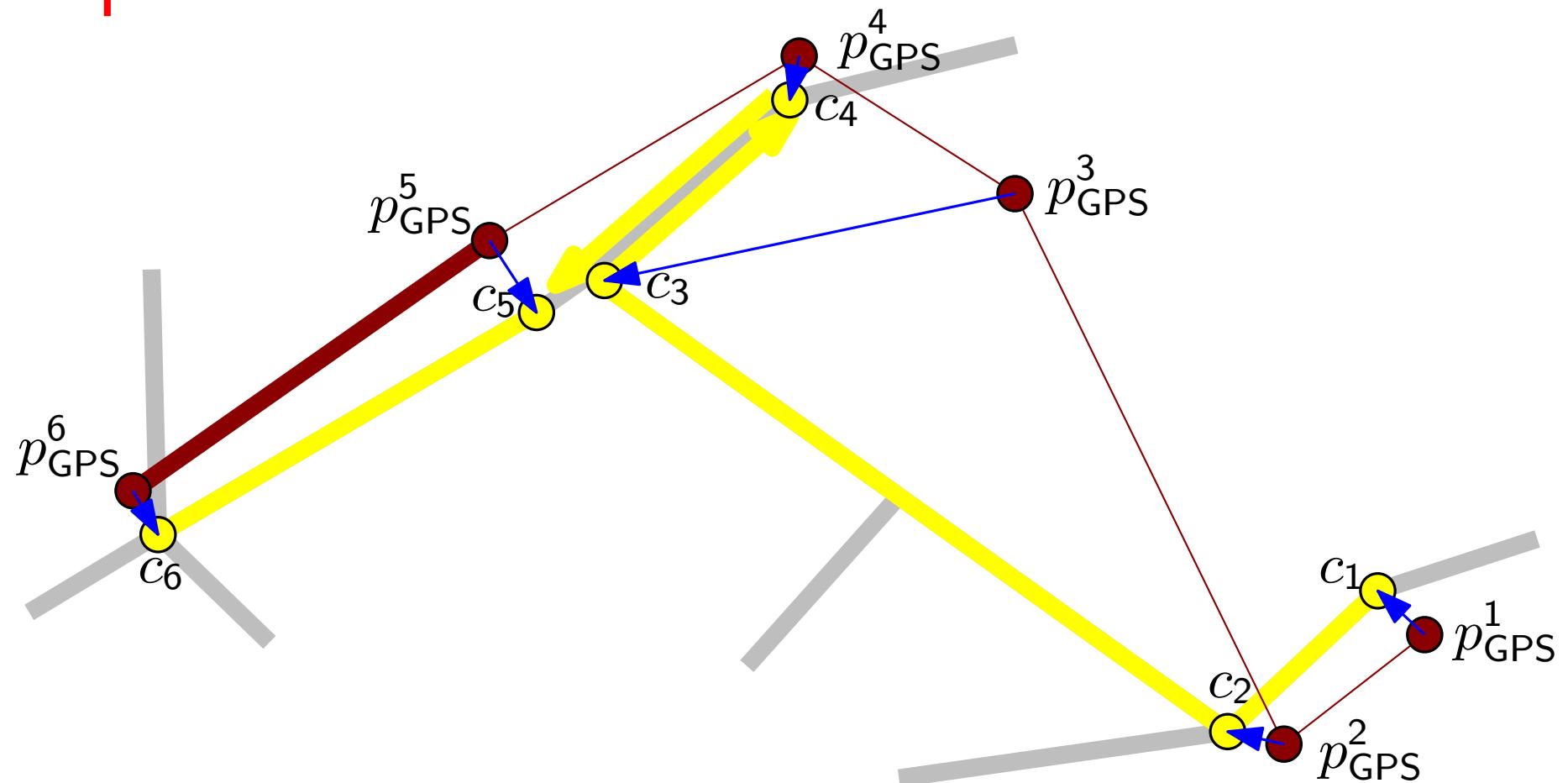
Verhindern von Schleifen

Beispiel:



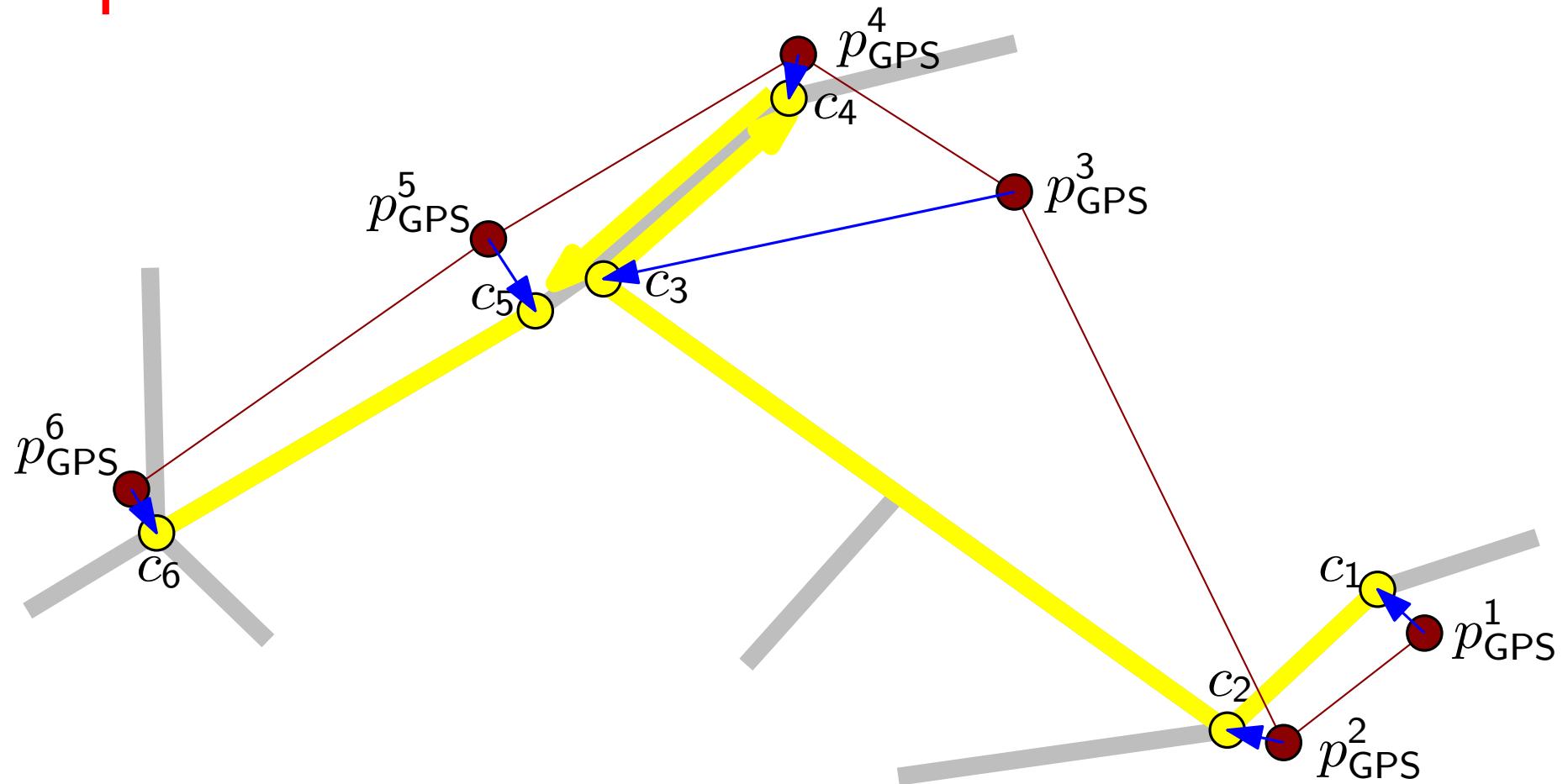
Verhindern von Schleifen

Beispiel:



Verhindern von Schleifen

Beispiel:



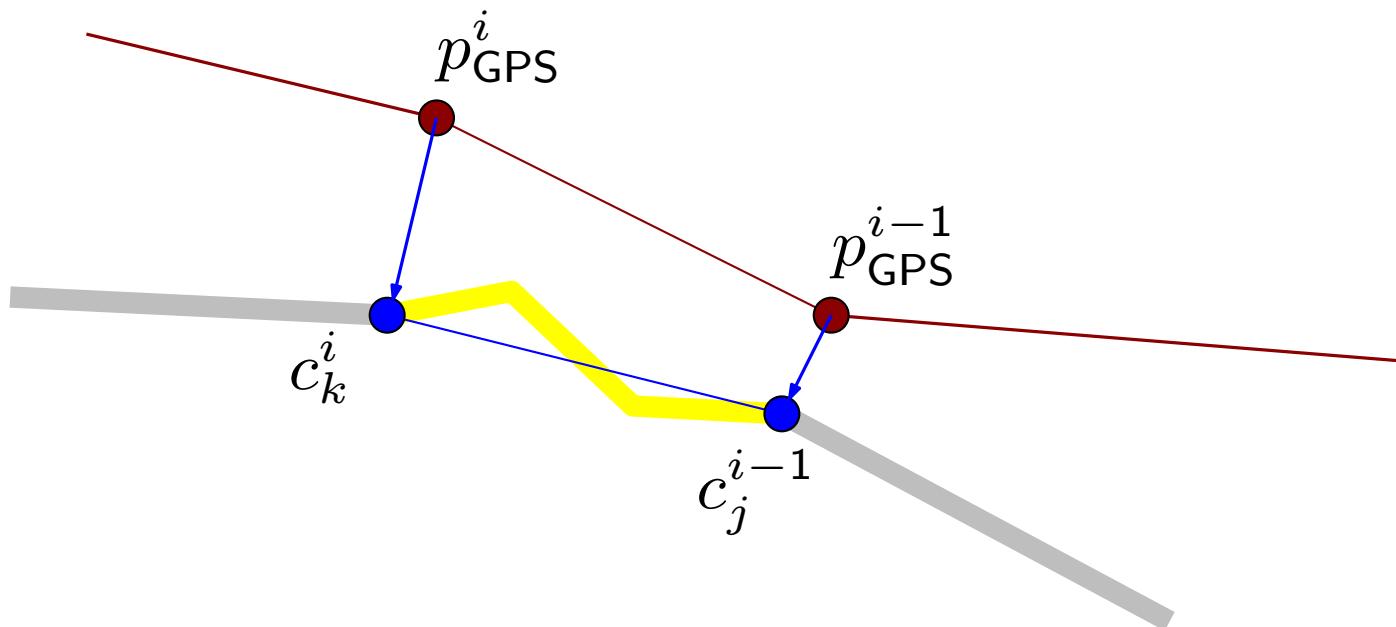
→ Fehlerhaftes Matching einer Schleife

Verhindern von Schleifen

Lösung: Einführung der Richtungswahrscheinlichkeit

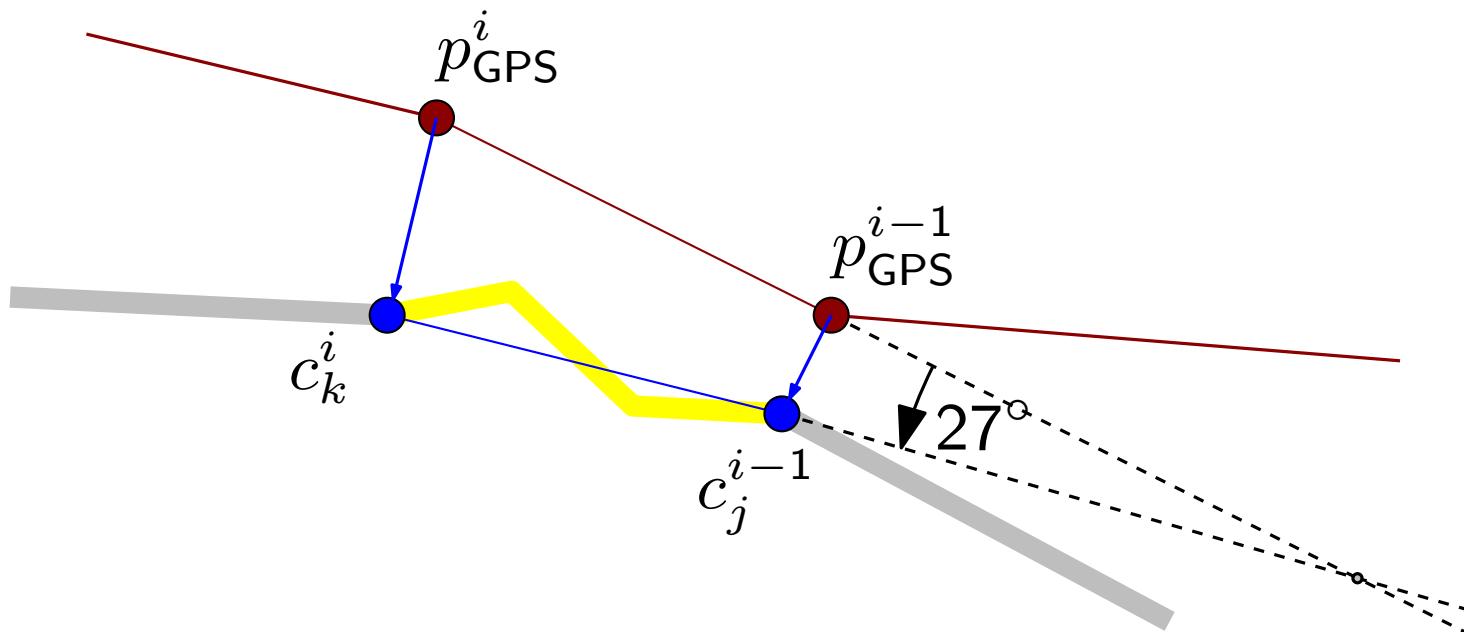
Verhindern von Schleifen

Lösung: Einführung der Richtungswahrscheinlichkeit



Verhindern von Schleifen

Lösung: Einführung der Richtungswahrscheinlichkeit

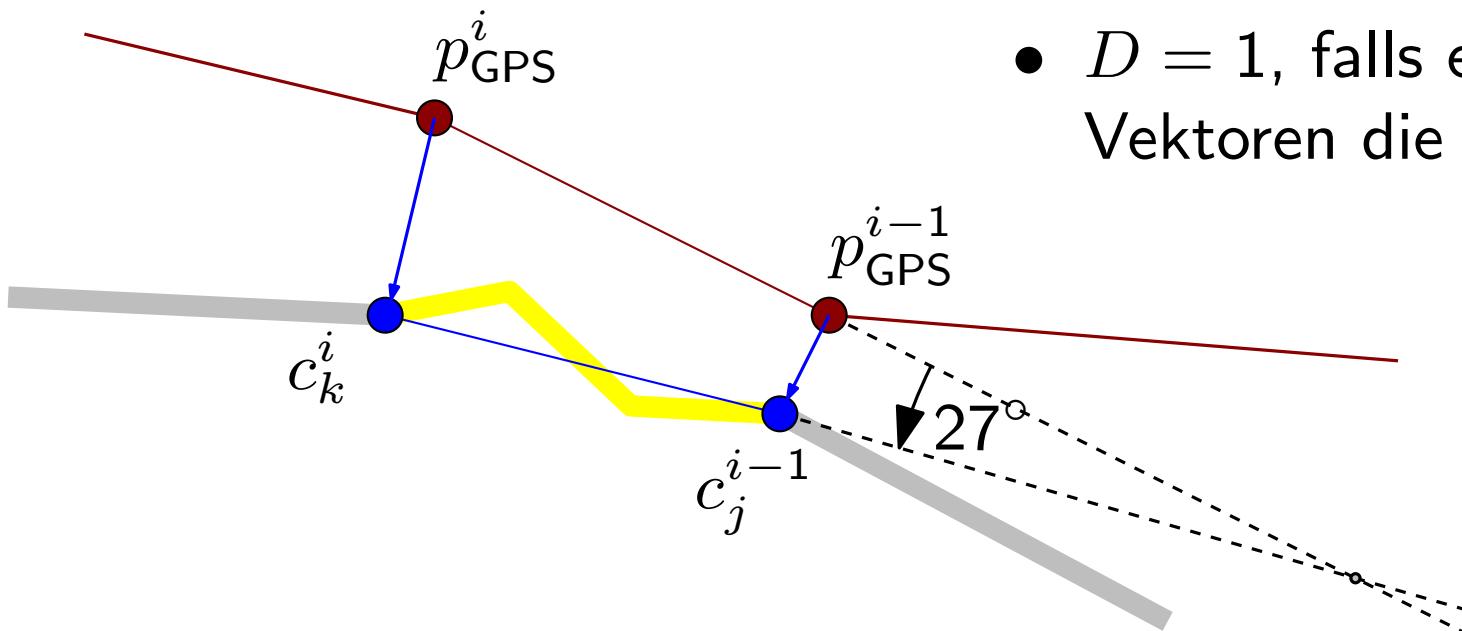


Verhindern von Schleifen

Lösung: Einführung der Richtungswahrscheinlichkeit

$$D(c_j^{i-1} \rightarrow c_k^i) = \frac{180^\circ - \alpha}{180^\circ}$$

- α : Winkelabweichung zwischen den Vektoren $c_j^{i-1} \rightarrow c_k^i$ und $p_{\text{GPS}}^{i-1} \rightarrow p_{\text{GPS}}^i$
- $D = 1$, falls einer der Vektoren die Länge 0 hat

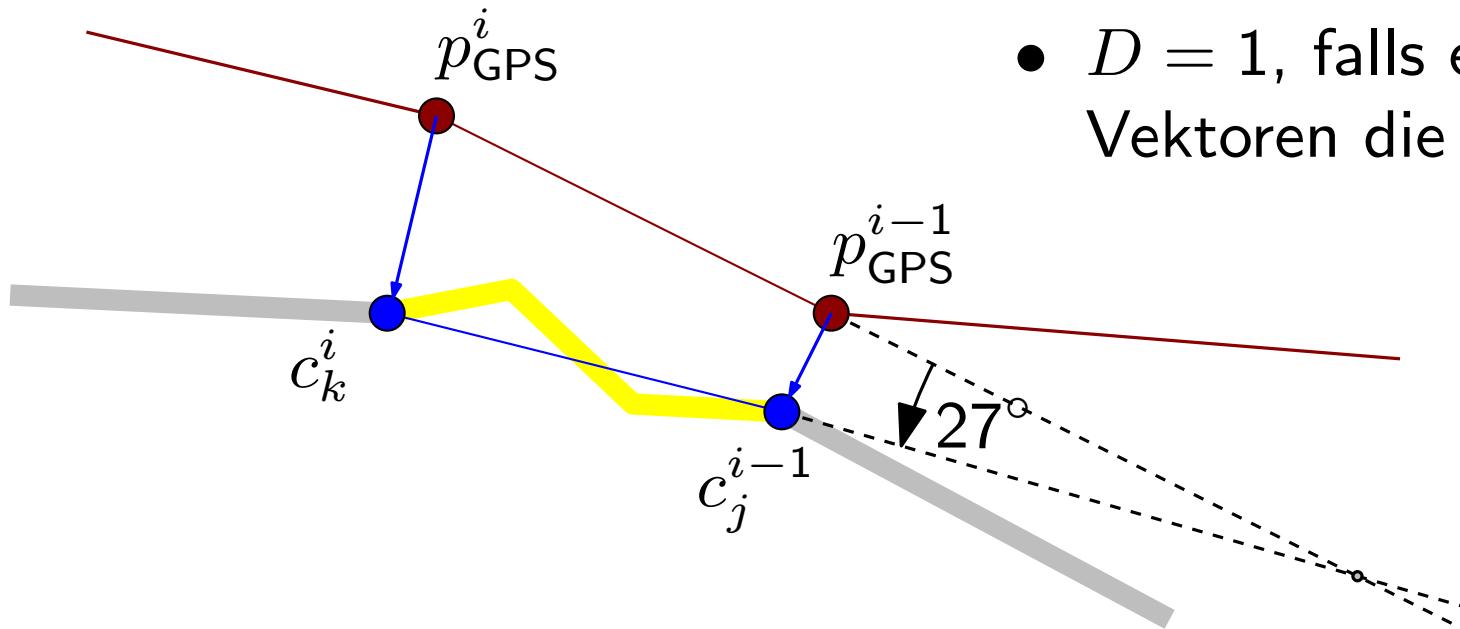


Verhindern von Schleifen

Lösung: Einführung der Richtungswahrscheinlichkeit

$$D(c_j^{i-1} \rightarrow c_k^i) = \frac{180^\circ - \alpha}{180^\circ}$$

- α : Winkelabweichung zwischen den Vektoren $c_j^{i-1} \rightarrow c_k^i$ und $p_{\text{GPS}}^{i-1} \rightarrow p_{\text{GPS}}^i$
- $D = 1$, falls einer der Vektoren die Länge 0 hat



→ Erhebliche Verbesserung der Matching-Ergebnisse

Teil III: Erweiterungen für unvollständiges Kartenmaterial

Erweiterungen für unvollst. Kartenmaterial

Erweiterungen für unvollst. Kartenmaterial

Wozu eigentlich?

Erweiterungen für unvollst. Kartenmaterial

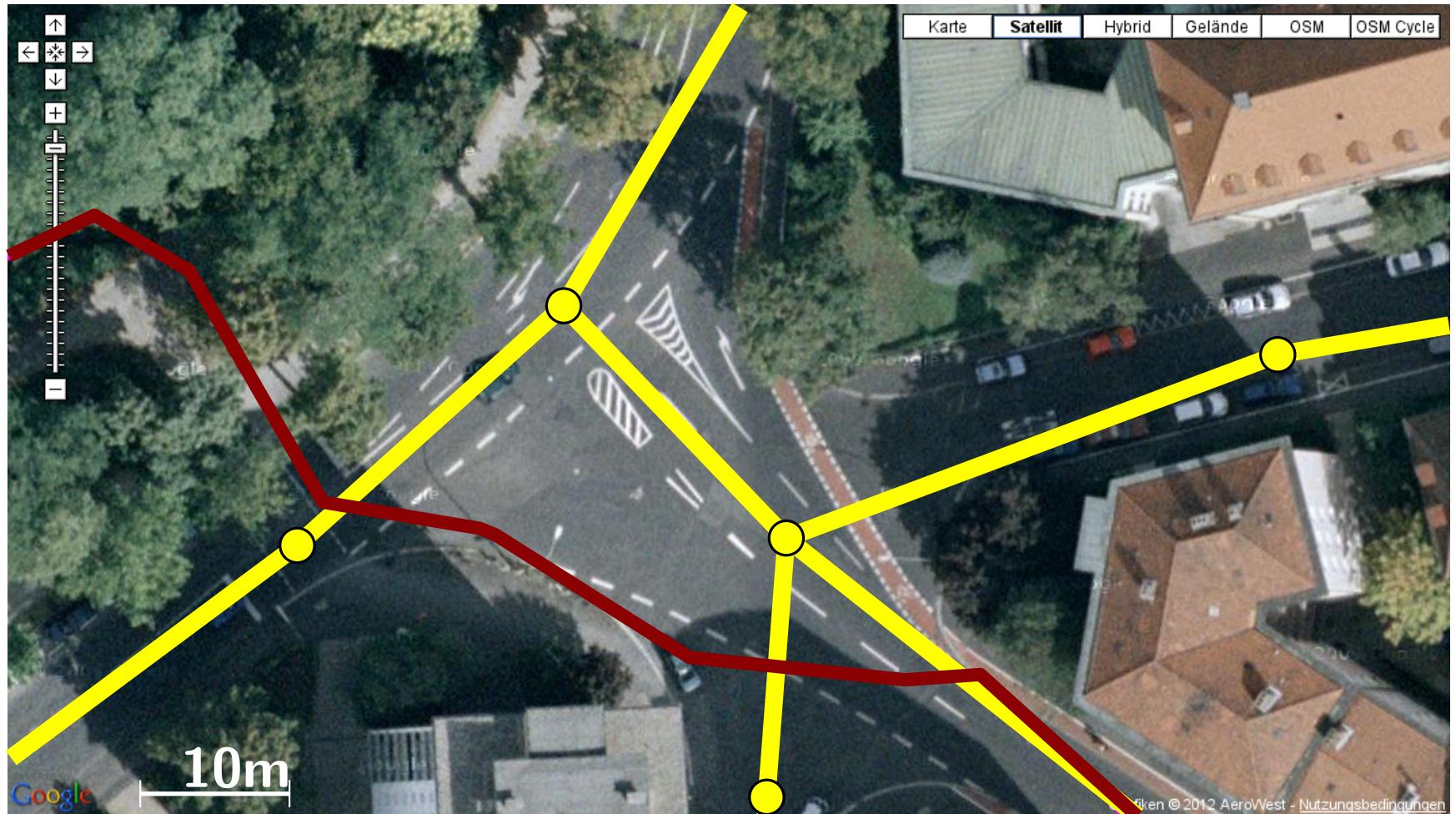
Wozu eigentlich?

1. Genauere Fußgängernavigation

Erweiterungen für unvollst. Kartenmaterial

Wozu eigentlich?

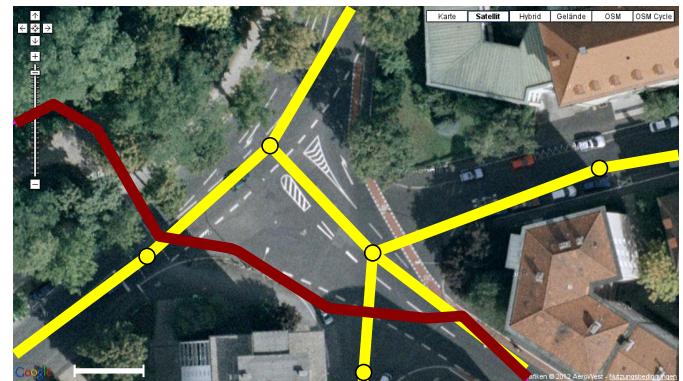
1. Genauere Fußgängernavigation



Erweiterungen für unvollst. Kartenmaterial

Wozu eigentlich?

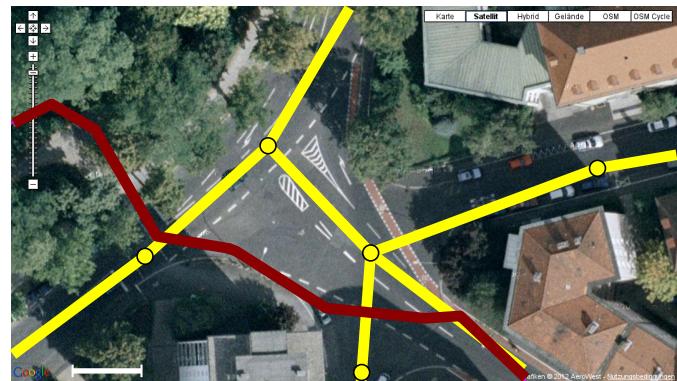
1. Genauere Fußgängernavigation



Erweiterungen für unvollst. Kartenmaterial

Wozu eigentlich?

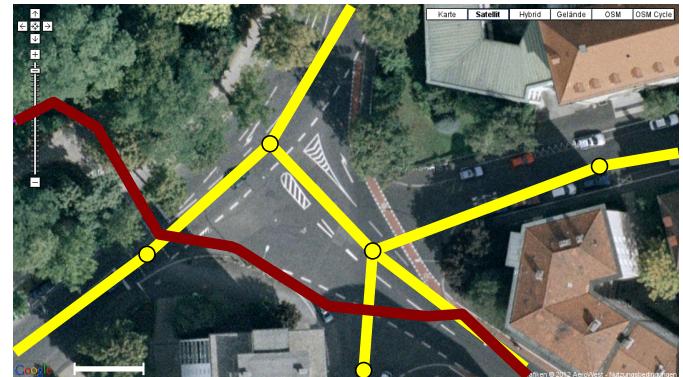
1. Genauere Fußgängernavigation
- Routen abseits vom (Fahrzeug-) Straßennetz werden erkannt



Erweiterungen für unvollst. Kartenmaterial

Wozu eigentlich?

1. Genauere Fußgängernavigation
 - Routen abseits vom (Fahrzeug-) Straßennetz werden erkannt

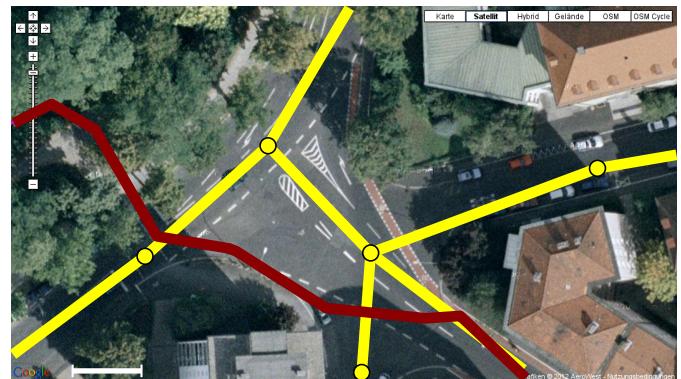


2. Kompensation fehlender Verbindungen

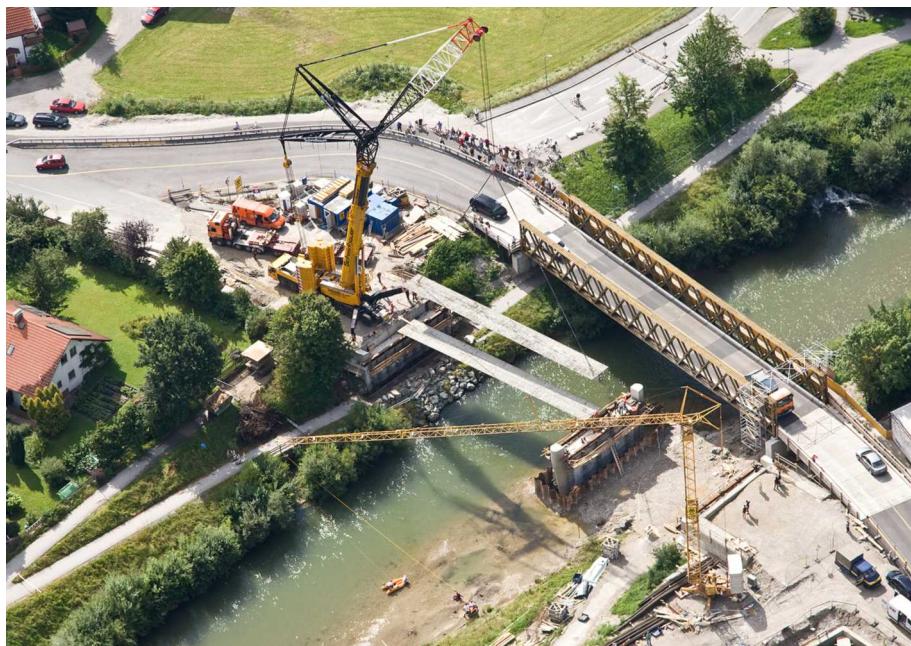
Erweiterungen für unvollst. Kartenmaterial

Wozu eigentlich?

1. Genauere Fußgängernavigation
 - Routen abseits vom (Fahrzeug-) Straßennetz werden erkannt



2. Kompensation fehlender Verbindungen



Erweiterungen für unvollst. Kartenmaterial

Wozu eigentlich?

1. Genauere Fußgängernavigation
 - Routen abseits vom (Fahrzeug-) Straßennetz werden erkannt



2. Kompensation fehlender Verbindungen



Erweiterungen für unvollst. Kartenmaterial

Wozu eigentlich?

1. Genaue Fußgängernavigation

→ Routen abseits vom (Fahrzeug-) Straßennetz werden erkannt



2. Kompensation fehlender Verbindungen

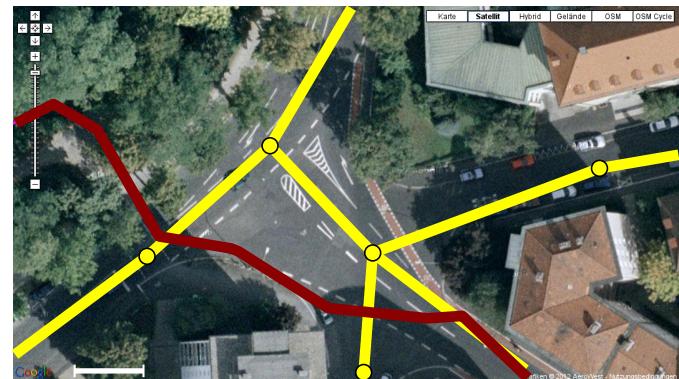
→ Bewegungen über noch nicht erfasste Straßen werden überbrückt



Erweiterungen für unvollst. Kartenmaterial

Wozu eigentlich?

1. Genauere Fußgängernavigation
 - Routen abseits vom (Fahrzeug-) Straßennetz werden erkannt



2. Kompensation fehlender Verbindungen
 - Bewegungen über noch nicht erfasste Straßen werden überbrückt



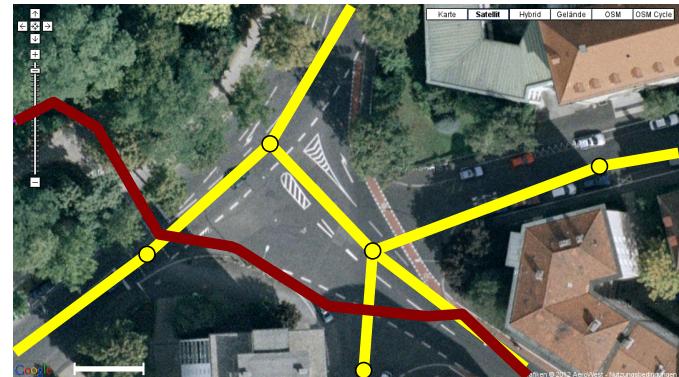
3. Erfassung tatsächlicher Off-Road Bewegungen

Erweiterungen für unvollst. Kartenmaterial

Wozu eigentlich?

1. Genaue Fußgängernavigation

- Routen abseits vom (Fahrzeug-) Straßennetz werden erkannt



2. Kompensation fehlender Verbindungen

- Bewegungen über noch nicht erfasste Straßen werden überbrückt



3. Erfassung tatsächlicher Off-Road Bewegungen

- Pfade außerhalb der befestigten Straßen (z.B. Trampelpfade, Wiesen, Feldwege, etc.) werden erfasst

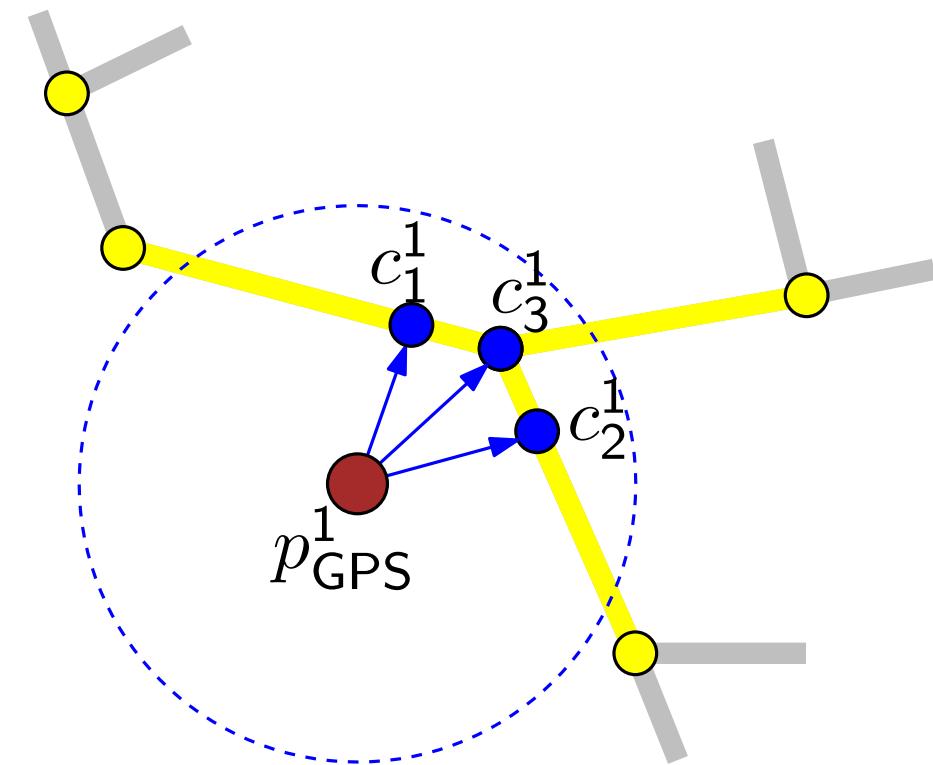
Off-Road-Punkte

Off-Road-Punkte

Zusätzlich zu den Kandidatenpunkten auf dem Straßennetz...

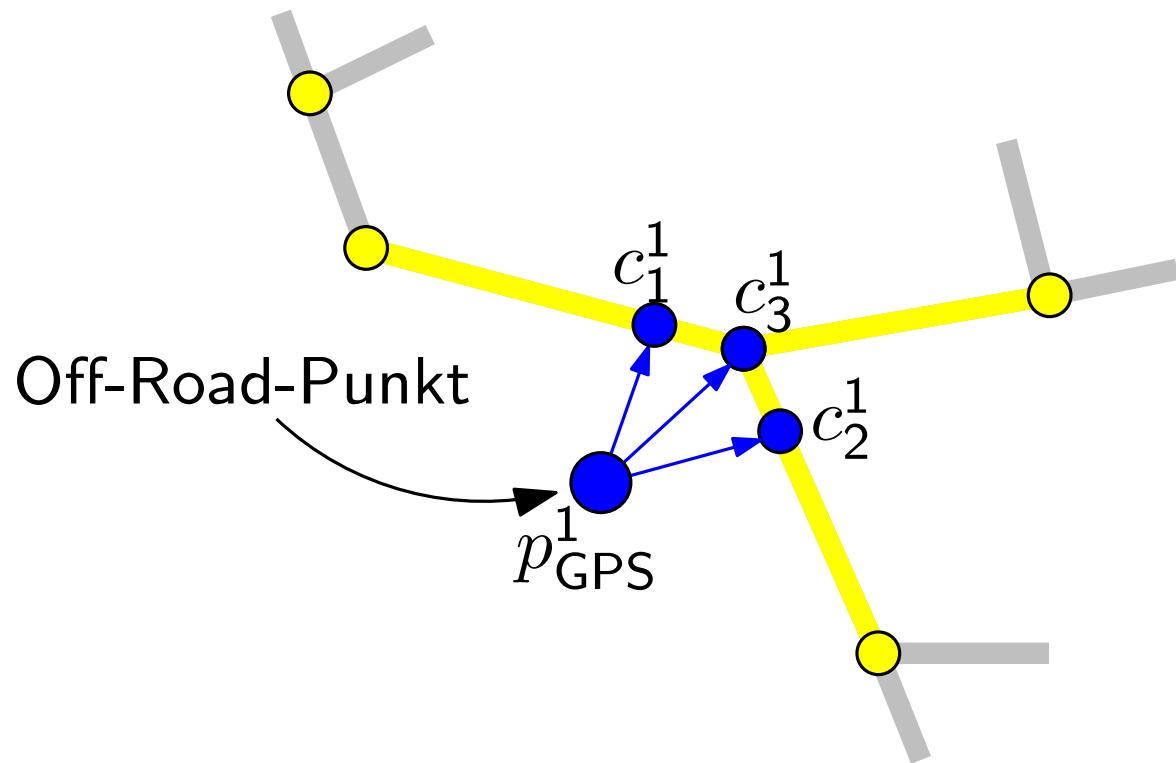
Off-Road-Punkte

Zusätzlich zu den Kandidatenpunkten auf dem Straßennetz...



Off-Road-Punkte

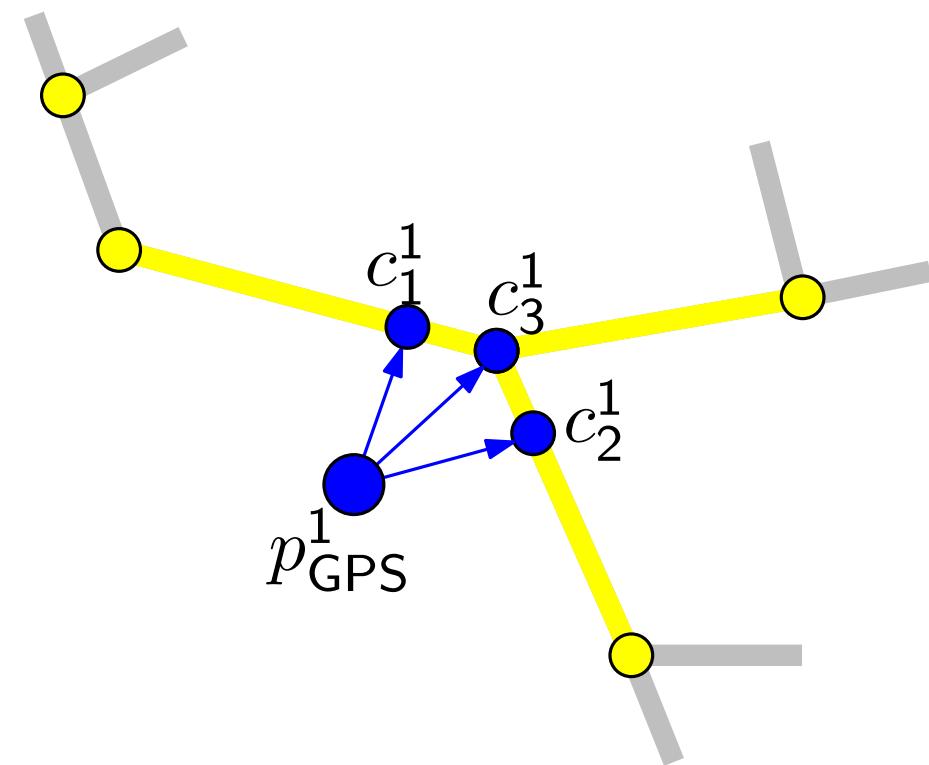
Zusätzlich zu den Kandidatenpunkten auf dem Straßennetz...
...sollen die GPS-Punkte selbst in Betracht gezogen werden.



Off-Road-Punkte

Zusätzlich zu den Kandidatenpunkten auf dem Straßennetz...
...sollen die GPS-Punkte selbst in Betracht gezogen werden.

Problem:

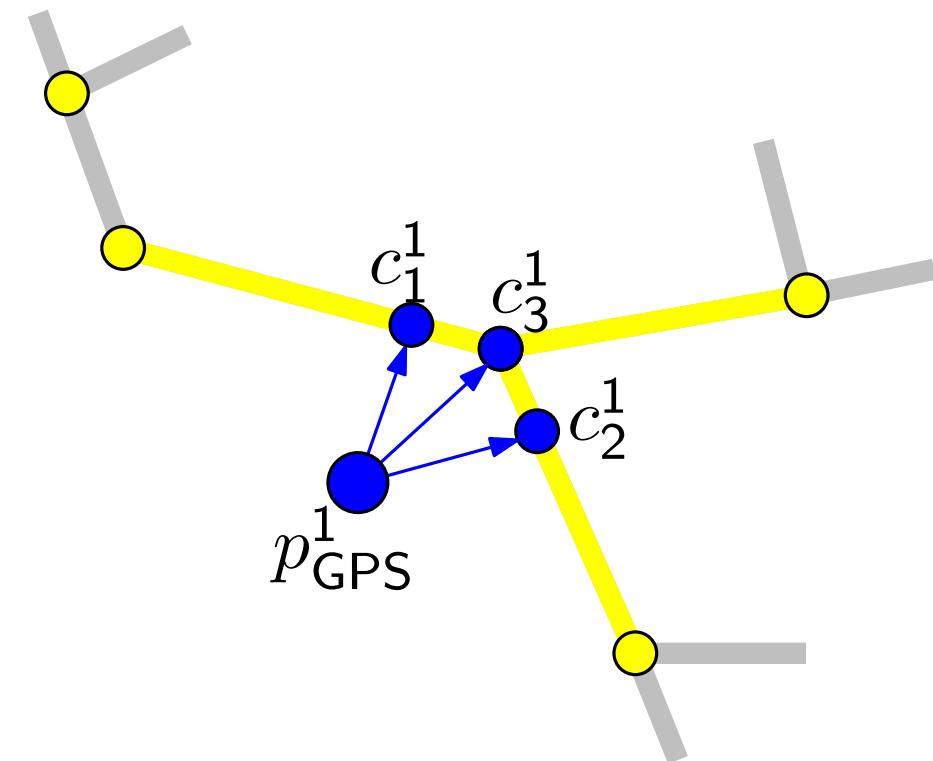


Off-Road-Punkte

Zusätzlich zu den Kandidatenpunkten auf dem Straßennetz...
...sollen die GPS-Punkte selbst in Betracht gezogen werden.

Problem:

p_{GPS}^1 ist über
das Straßennetz
unerreichbar!

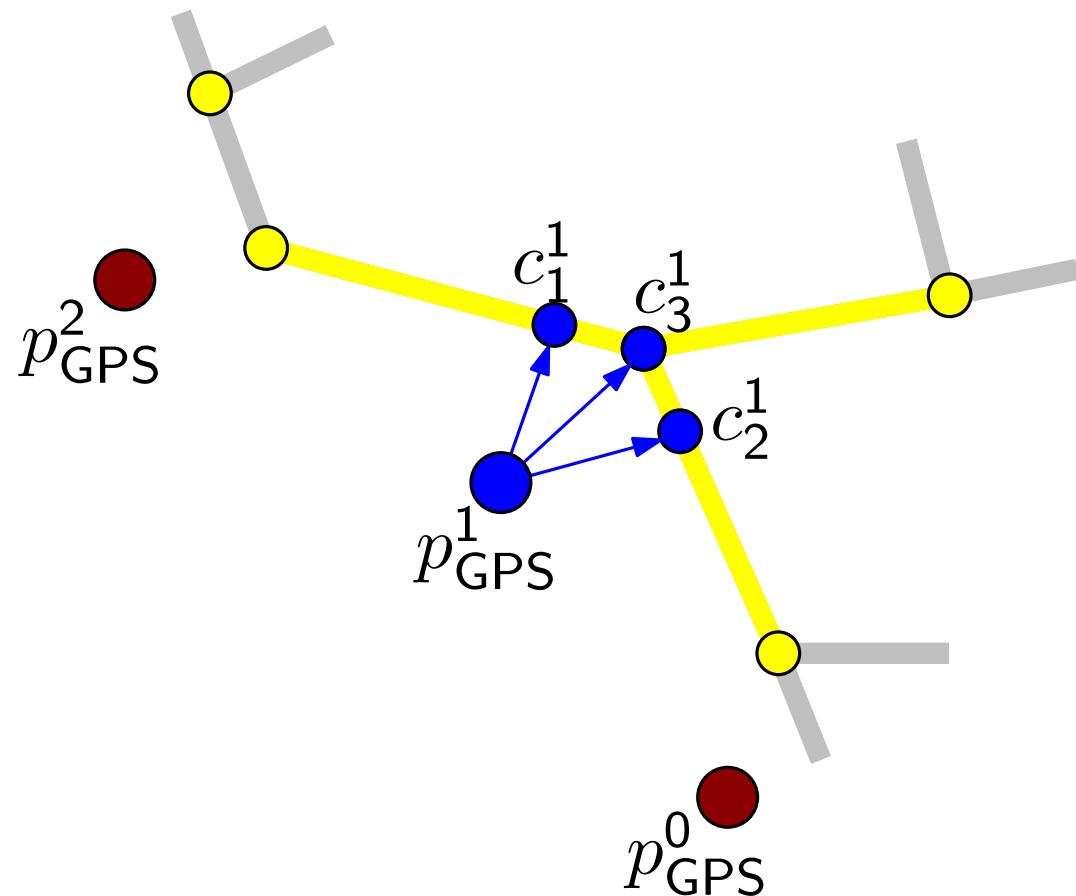


Off-Road-Punkte

Zusätzlich zu den Kandidatenpunkten auf dem Straßennetz...
...sollen die GPS-Punkte selbst in Betracht gezogen werden.

Problem:

p_{GPS}^1 ist über
das Straßennetz
unerreichbar!

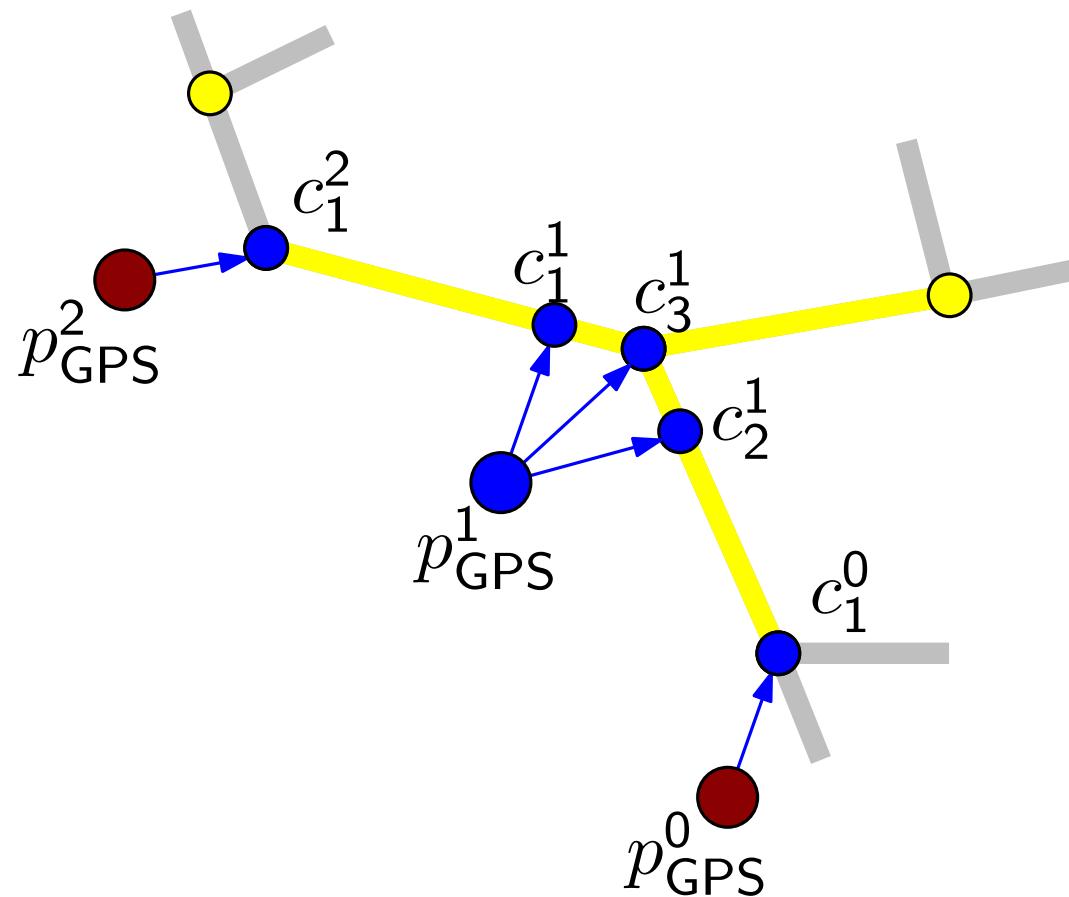


Off-Road-Punkte

Zusätzlich zu den Kandidatenpunkten auf dem Straßennetz...
...sollen die GPS-Punkte selbst in Betracht gezogen werden.

Problem:

p_{GPS}^1 ist über
das Straßennetz
unerreichbar!

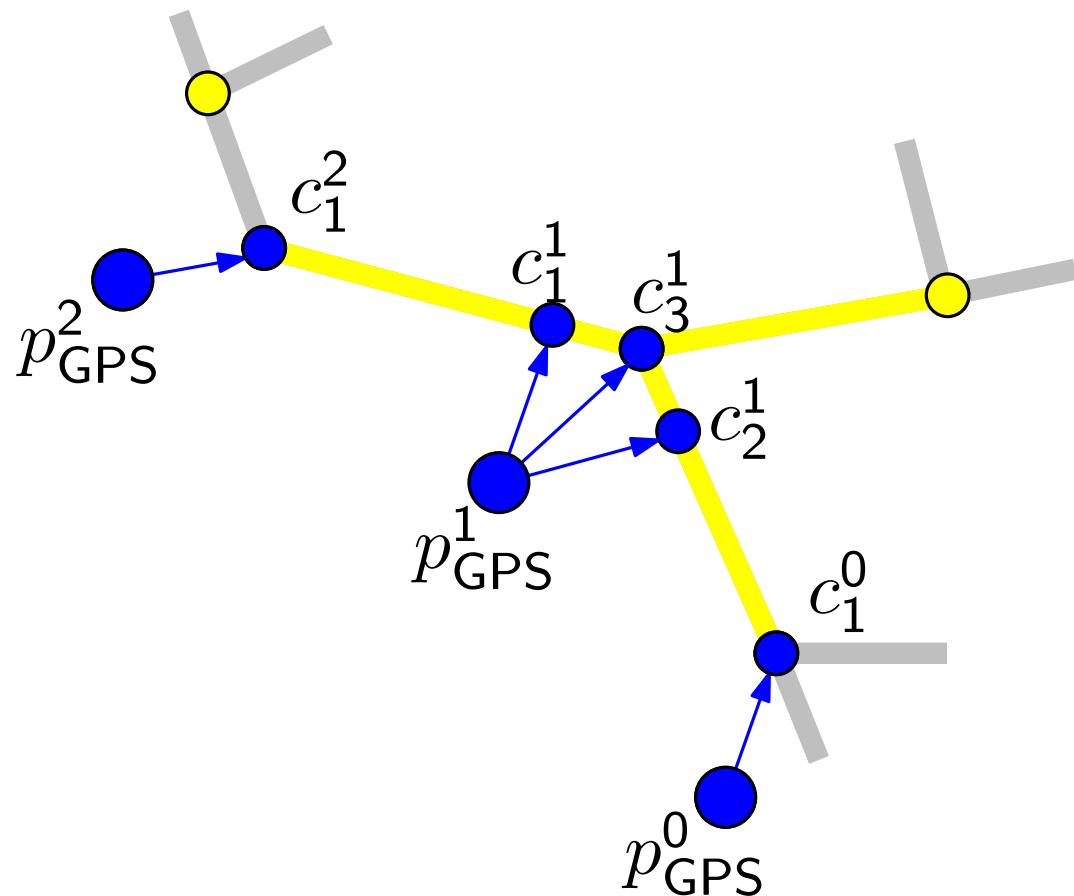


Off-Road-Punkte

Zusätzlich zu den Kandidatenpunkten auf dem Straßennetz...
...sollen die GPS-Punkte selbst in Betracht gezogen werden.

Problem:

p_{GPS}^1 ist über
das Straßennetz
unerreichbar!



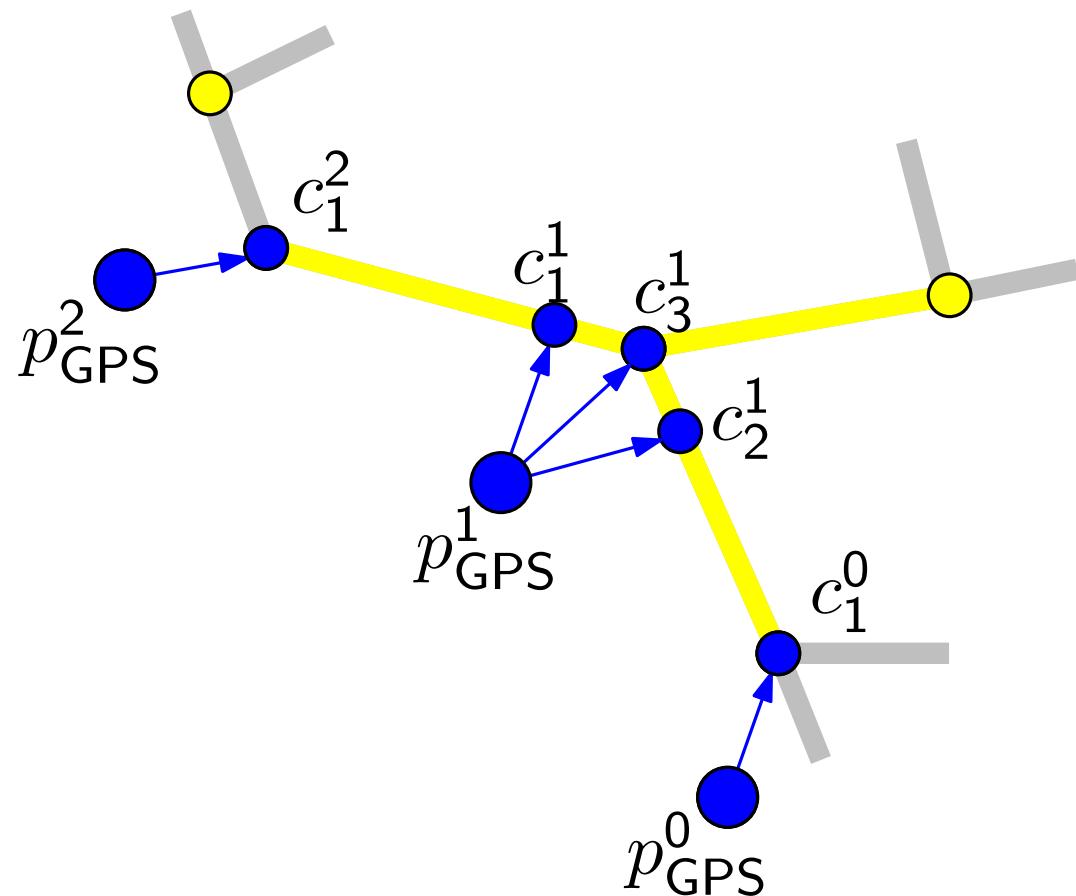
Off-Road-Punkte

Zusätzlich zu den Kandidatenpunkten auf dem Straßennetz...
...sollen die GPS-Punkte selbst in Betracht gezogen werden.

Problem:

p_{GPS}^1 ist über
das Straßennetz
unerreichbar!

Lösung:



Off-Road-Punkte

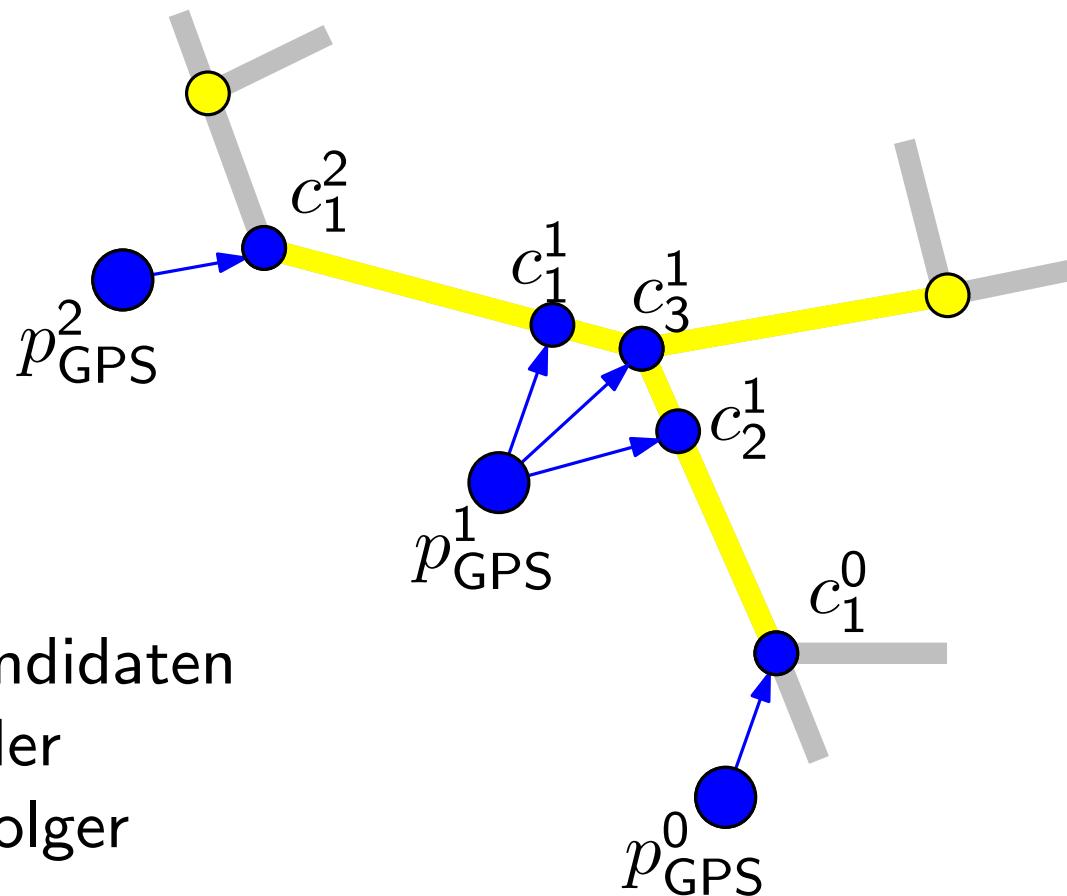
Zusätzlich zu den Kandidatenpunkten auf dem Straßennetz...
...sollen die GPS-Punkte selbst in Betracht gezogen werden.

Problem:

p_{GPS}^1 ist über
das Straßennetz
unerreichbar!

Lösung:

Verbinde die GPS-Kandidaten
mit den Kandidaten der
Vorgänger und Nachfolger



Off-Road-Punkte

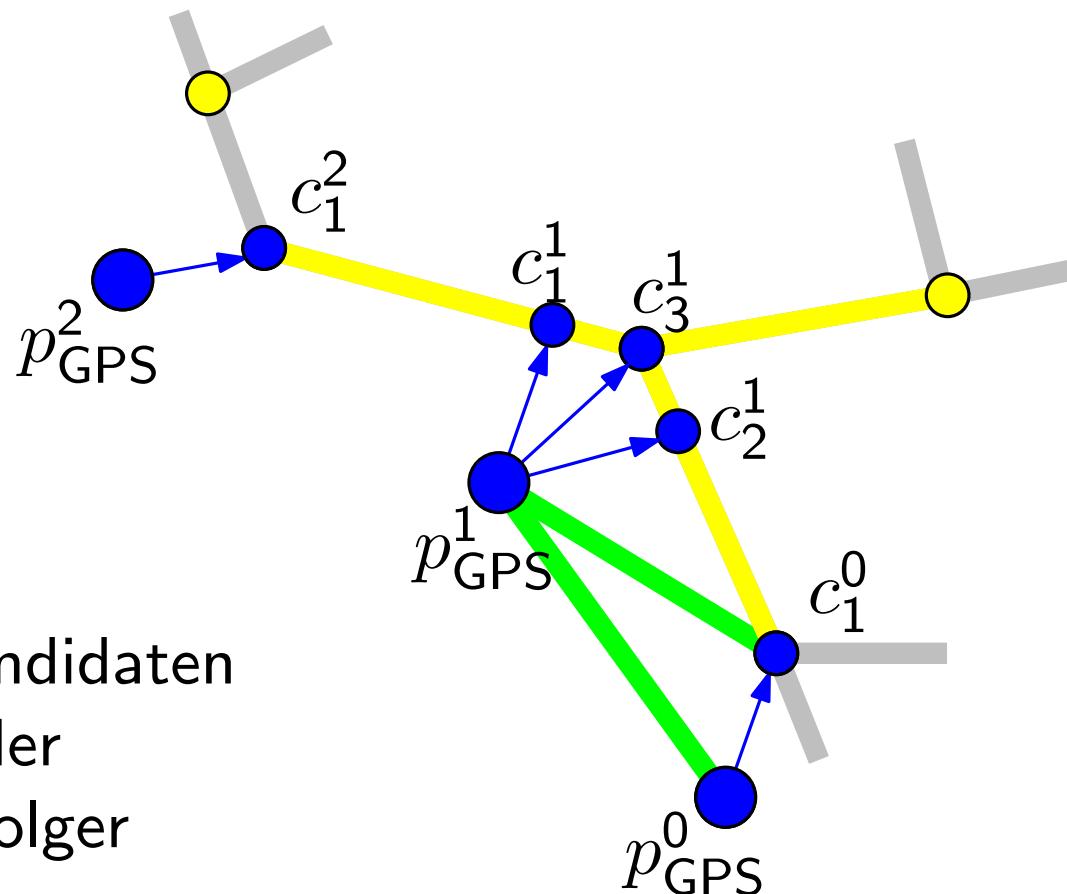
Zusätzlich zu den Kandidatenpunkten auf dem Straßennetz...
...sollen die GPS-Punkte selbst in Betracht gezogen werden.

Problem:

p_{GPS}^1 ist über
das Straßennetz
unerreichbar!

Lösung:

Verbinde die GPS-Kandidaten
mit den Kandidaten der
Vorgänger und Nachfolger



Off-Road-Punkte

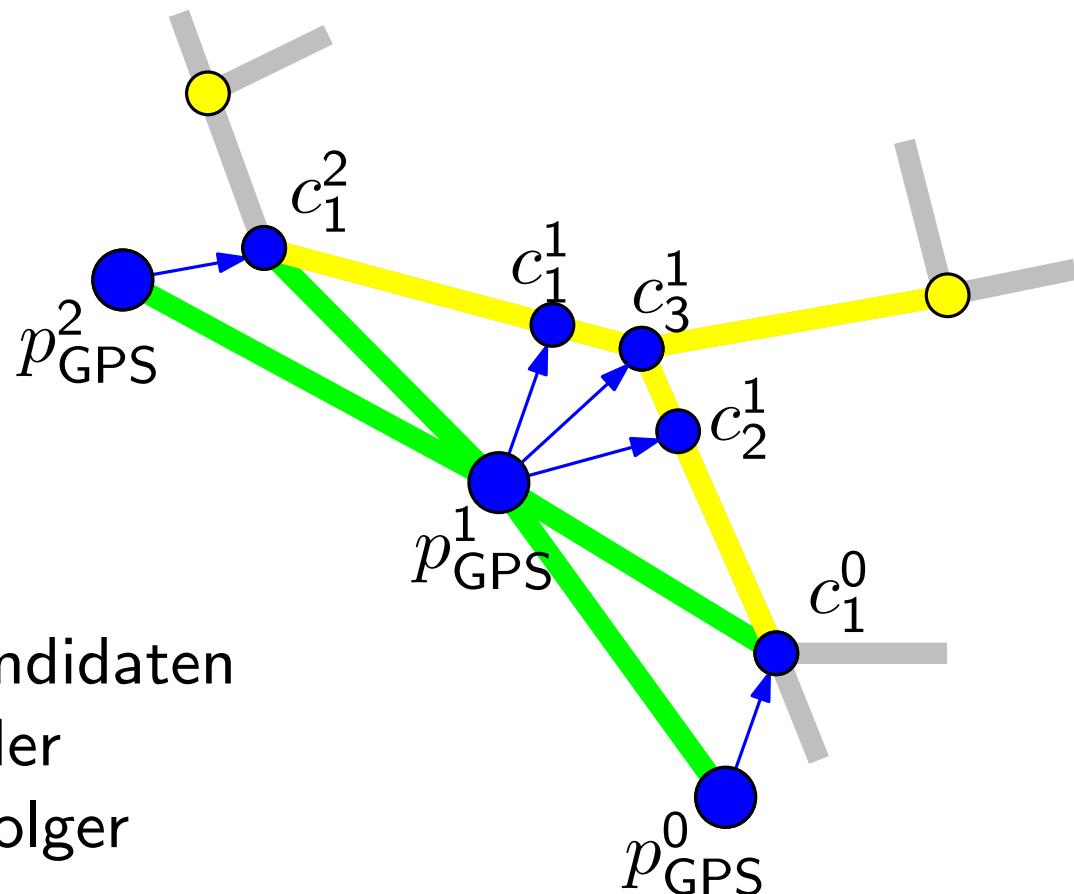
Zusätzlich zu den Kandidatenpunkten auf dem Straßennetz...
...sollen die GPS-Punkte selbst in Betracht gezogen werden.

Problem:

p_{GPS}^1 ist über
das Straßennetz
unerreichbar!

Lösung:

Verbinde die GPS-Kandidaten
mit den Kandidaten der
Vorgänger und Nachfolger



Off-Road-Punkte

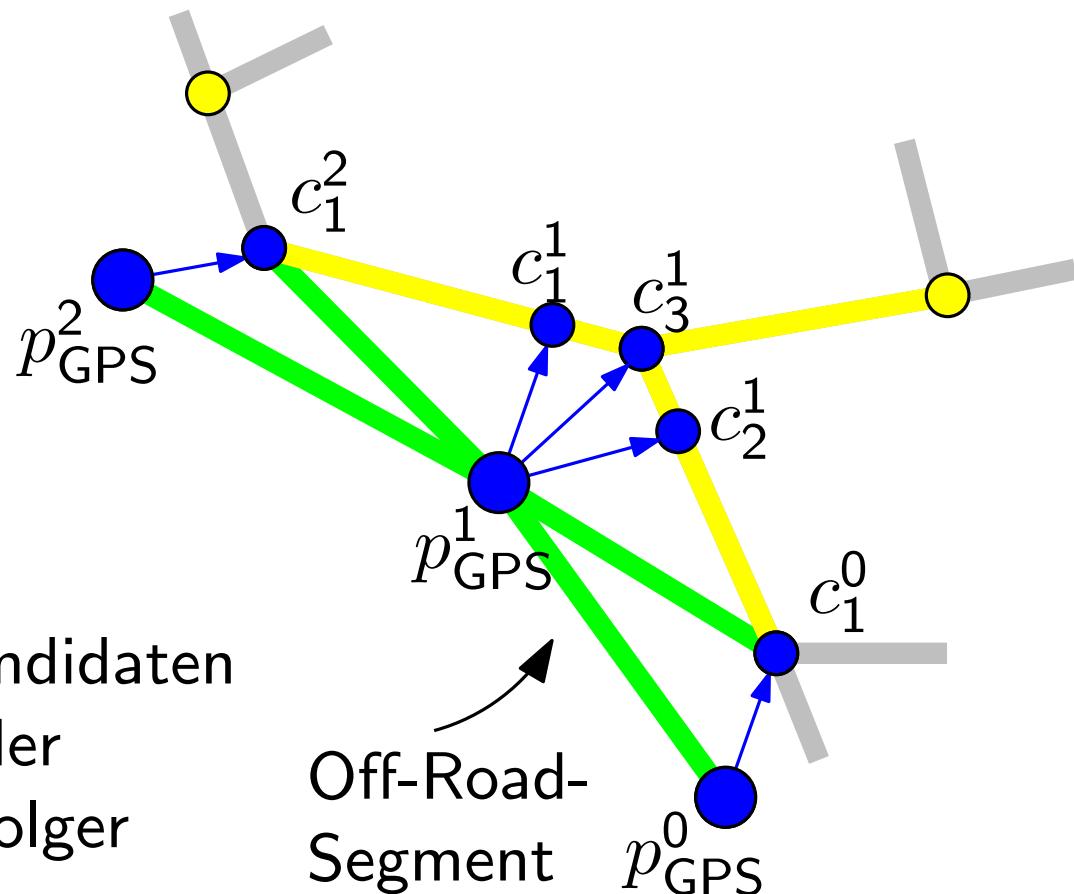
Zusätzlich zu den Kandidatenpunkten auf dem Straßennetz...
...sollen die GPS-Punkte selbst in Betracht gezogen werden.

Problem:

p_{GPS}^1 ist über
das Straßennetz
unerreichbar!

Lösung:

Verbinde die GPS-Kandidaten
mit den Kandidaten der
Vorgänger und Nachfolger



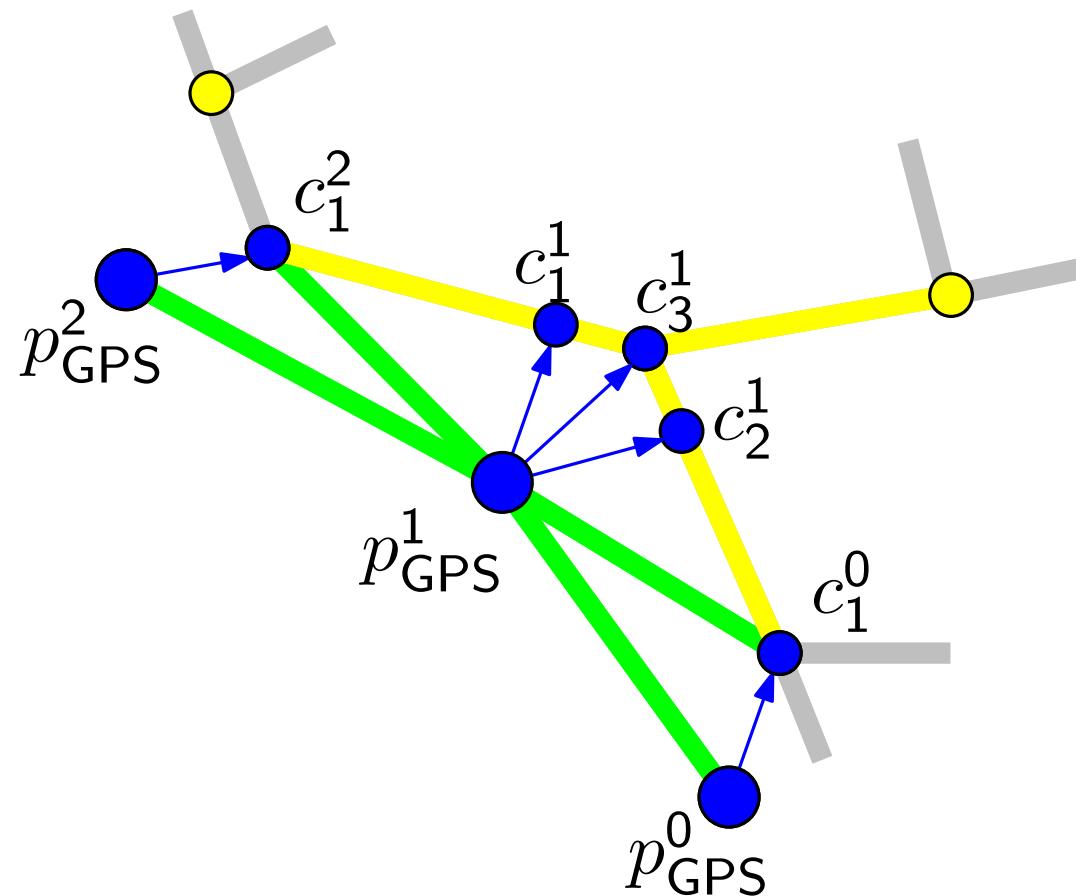
Qualitätsanalyse von Off-Road-Segmenten

Qualitätsanalyse von Off-Road-Segmenten

Wie können Off-Road-Punkte und -Segmente bezüglich ihrer Matching-Qualität bewertet werden?

Qualitätsanalyse von Off-Road-Segmenten

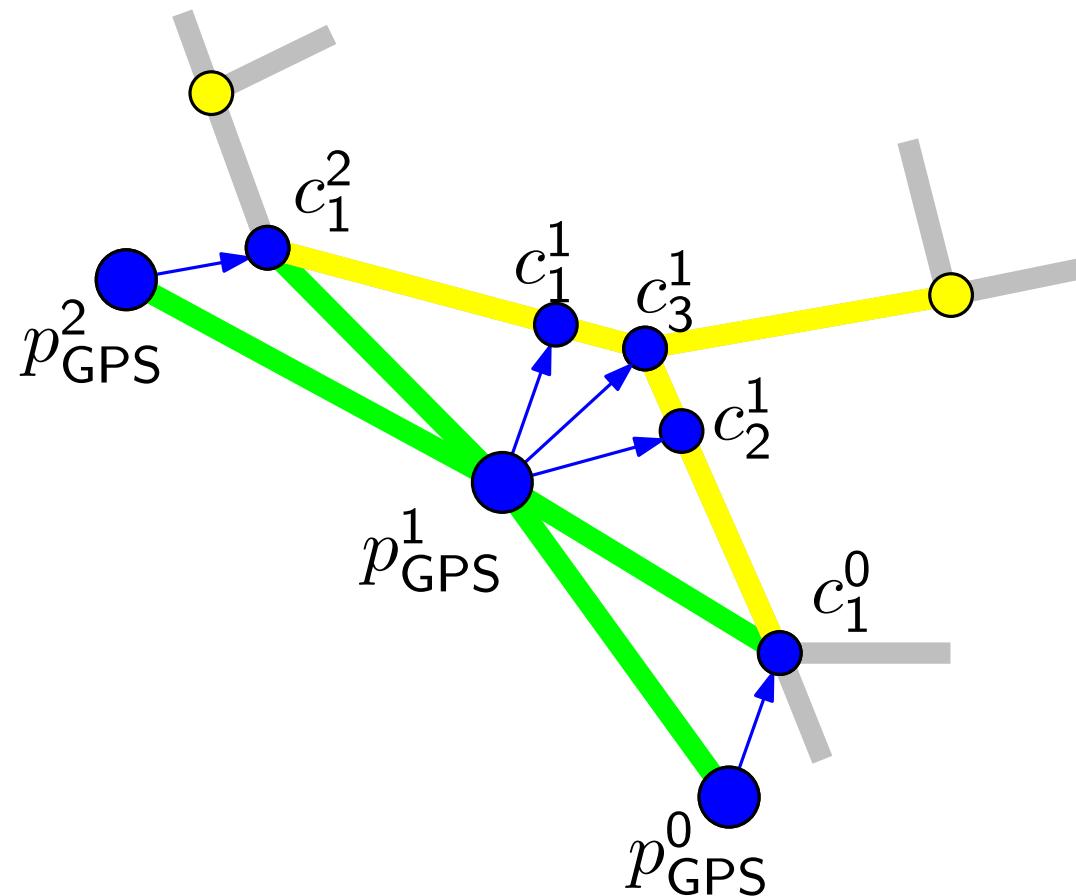
Wie können Off-Road-Punkte und -Segmente bezüglich ihrer Matching-Qualität bewertet werden?



Qualitätsanalyse von Off-Road-Segmenten

Wie können Off-Road-Punkte und -Segmente bezüglich ihrer Matching-Qualität bewertet werden?

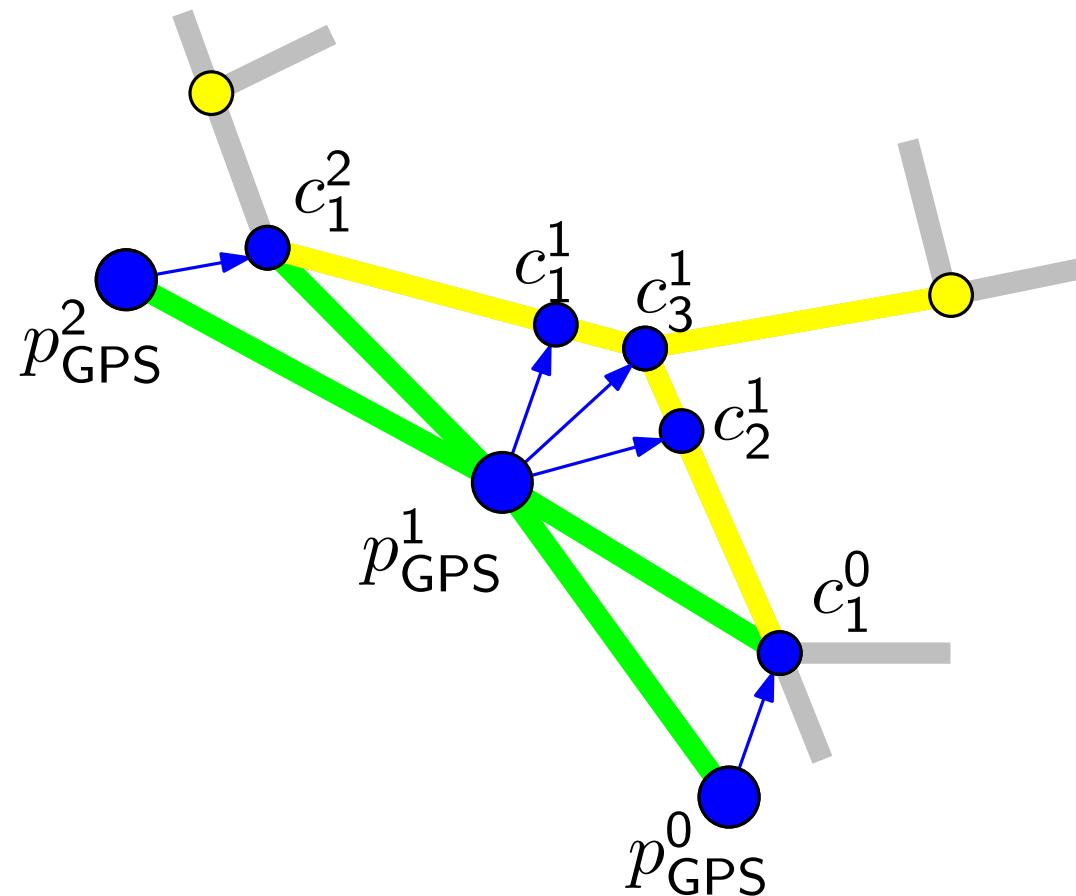
Beobachtungs-
wahrscheinlichkeit



Qualitätsanalyse von Off-Road-Segmenten

Wie können Off-Road-Punkte und -Segmente bezüglich ihrer Matching-Qualität bewertet werden?

Beobachtungs-
wahrscheinlichkeit X

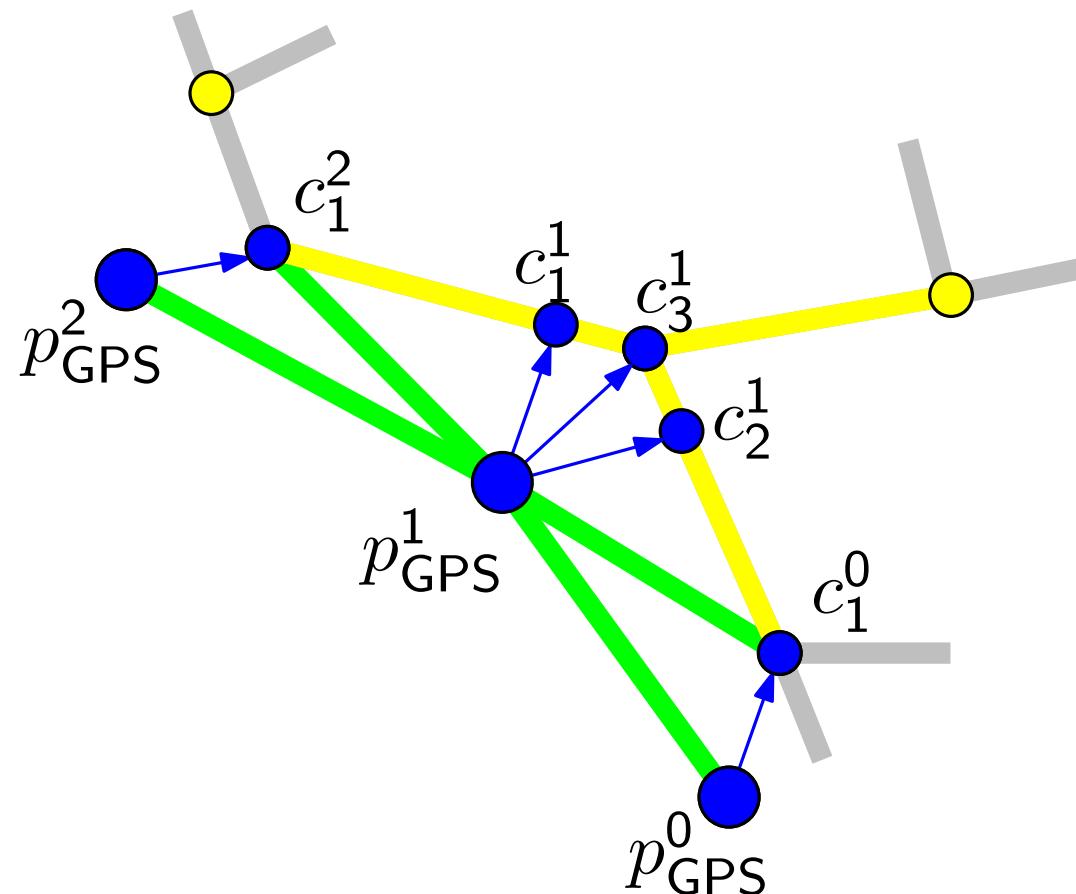


Qualitätsanalyse von Off-Road-Segmenten

Wie können Off-Road-Punkte und -Segmente bezüglich ihrer Matching-Qualität bewertet werden?

Beobachtungs-
wahrscheinlichkeit X

Übergangs-
wahrscheinlichkeit

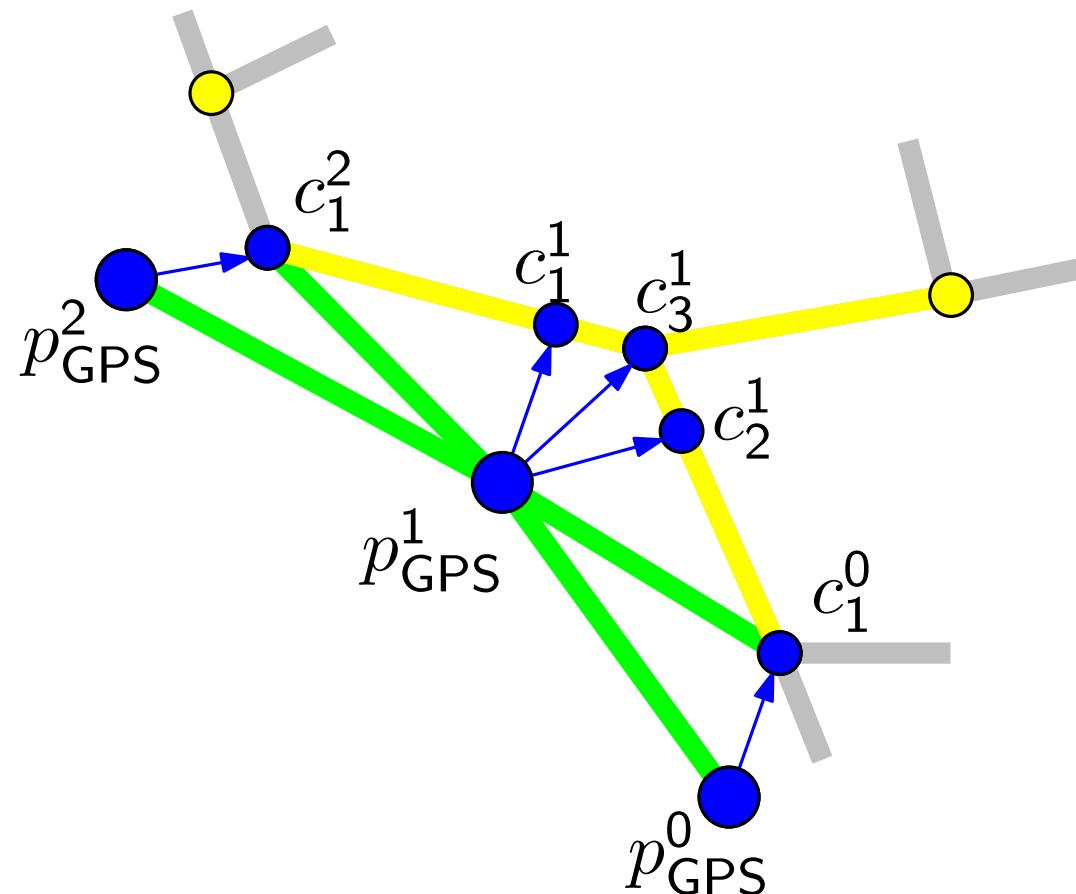


Qualitätsanalyse von Off-Road-Segmenten

Wie können Off-Road-Punkte und -Segmente bezüglich ihrer Matching-Qualität bewertet werden?

Beobachtungs-
wahrscheinlichkeit X

Übergangs-
wahrscheinlichkeit ✓



Qualitätsanalyse von Off-Road-Segmenten

Wie können Off-Road-Punkte und -Segmente bezüglich ihrer Matching-Qualität bewertet werden?

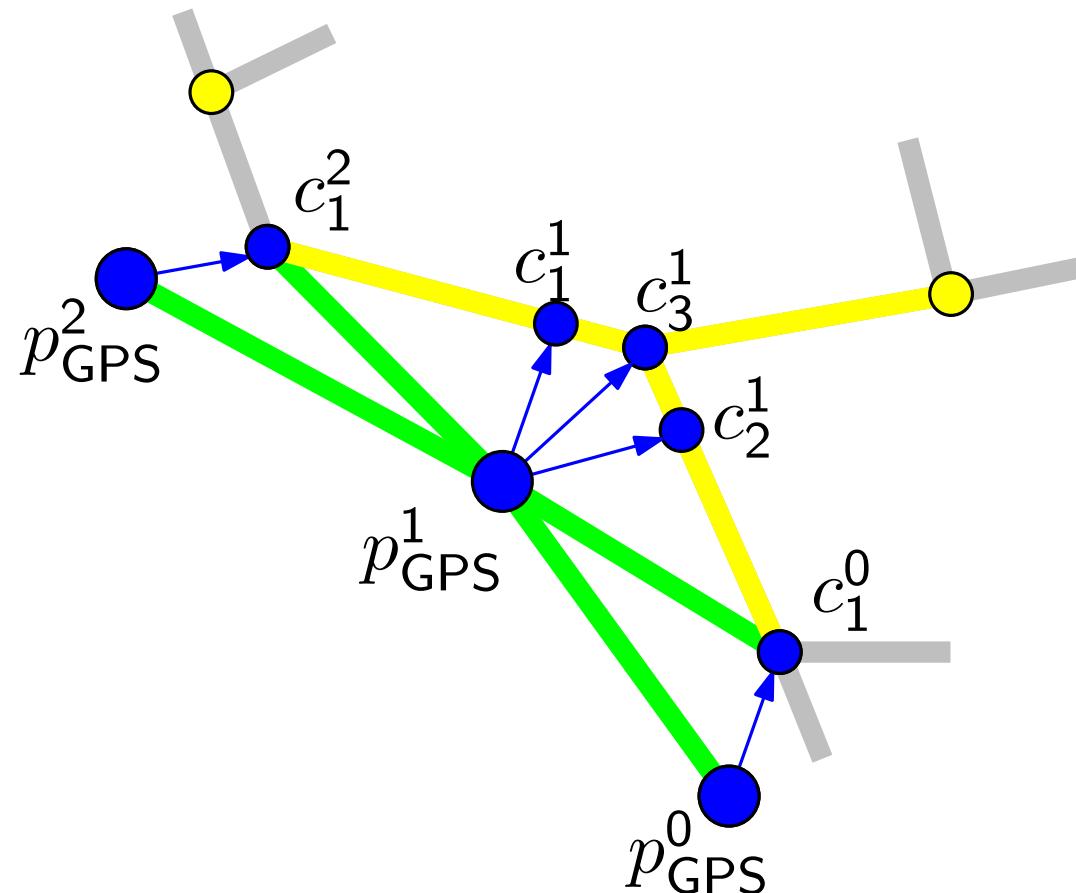
Beobachtungs-
wahrscheinlichkeit



Übergangs-
wahrscheinlichkeit



Richtungs-
wahrscheinlichkeit



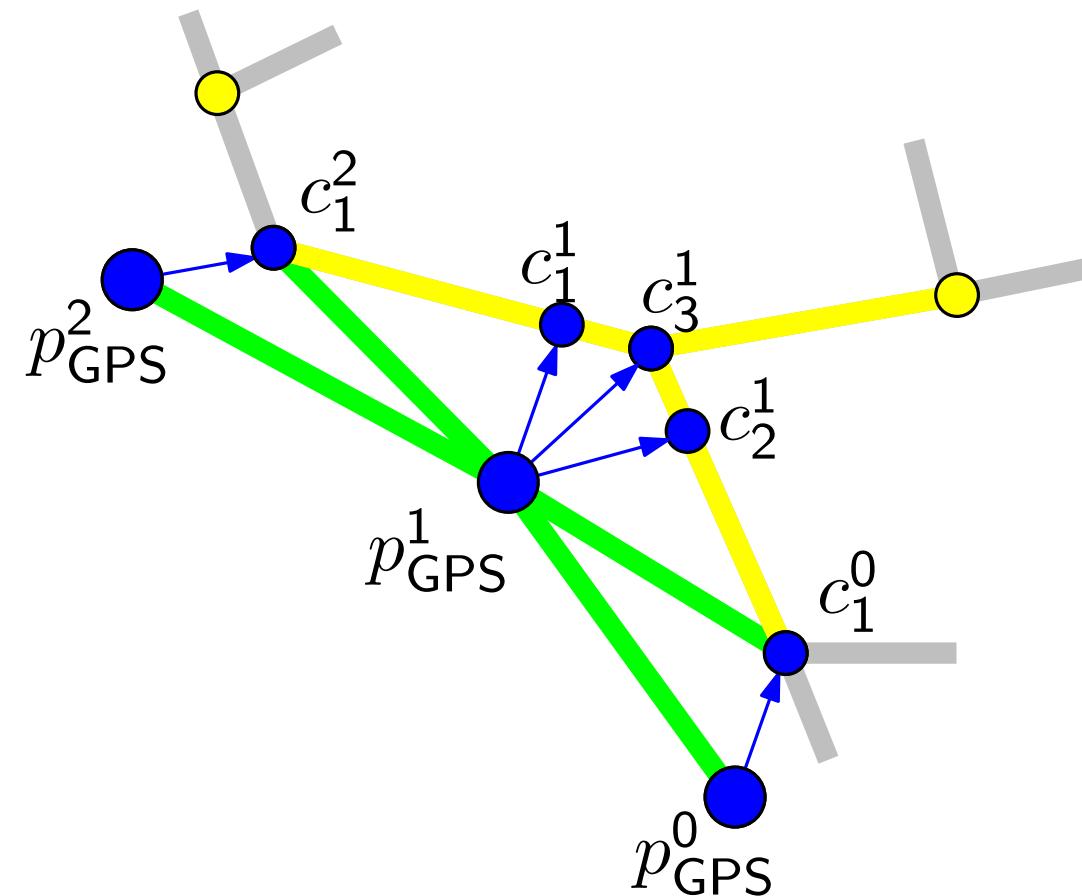
Qualitätsanalyse von Off-Road-Segmenten

Wie können Off-Road-Punkte und -Segmente bezüglich ihrer Matching-Qualität bewertet werden?

Beobachtungs-
wahrscheinlichkeit X

Übergangs-
wahrscheinlichkeit ✓

Richtungs-
wahrscheinlichkeit ✓



Qualitätsanalyse von Off-Road-Segmenten

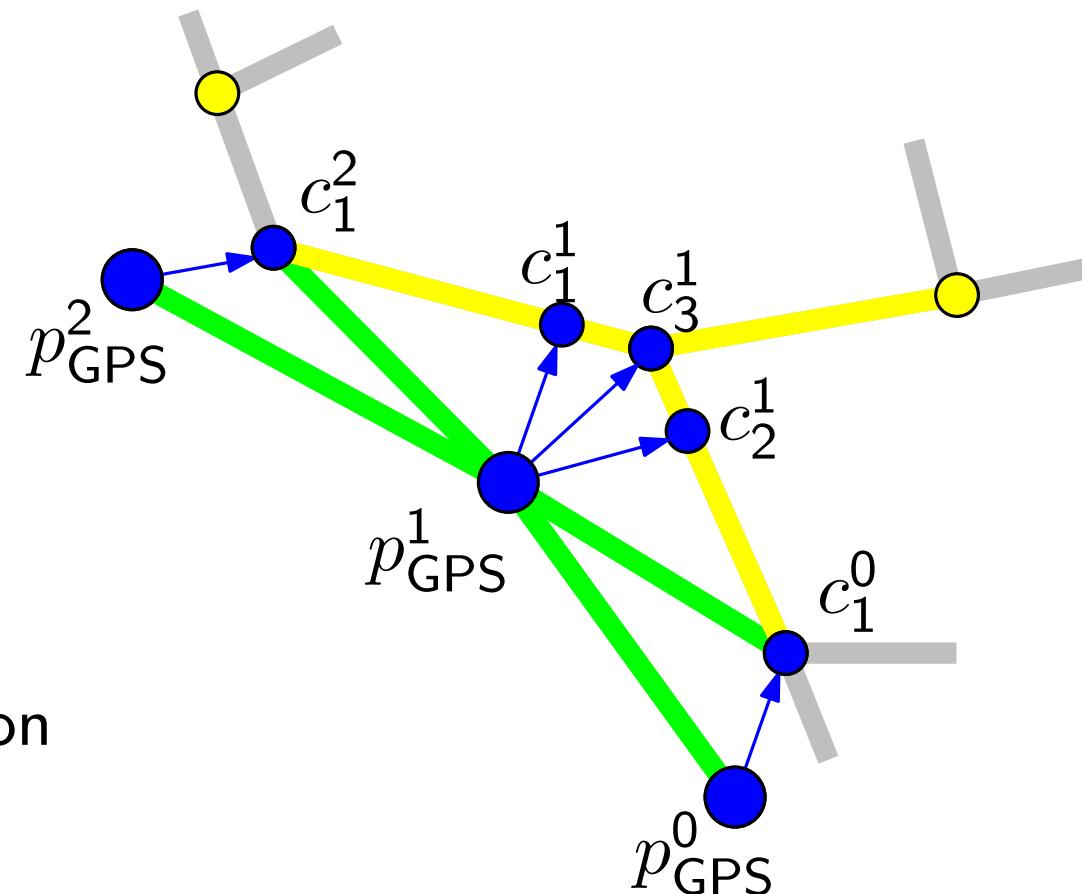
Wie können Off-Road-Punkte und -Segmente bezüglich ihrer Matching-Qualität bewertet werden?

Beobachtungs-
wahrscheinlichkeit X

Übergangs-
wahrscheinlichkeit ✓

Richtungs-
wahrscheinlichkeit ✓

Zusätzlich:
Strafen fürs Benutzen von
Off-Road-Segmenten



Qualitätsanalyse von Off-Road-Segmenten

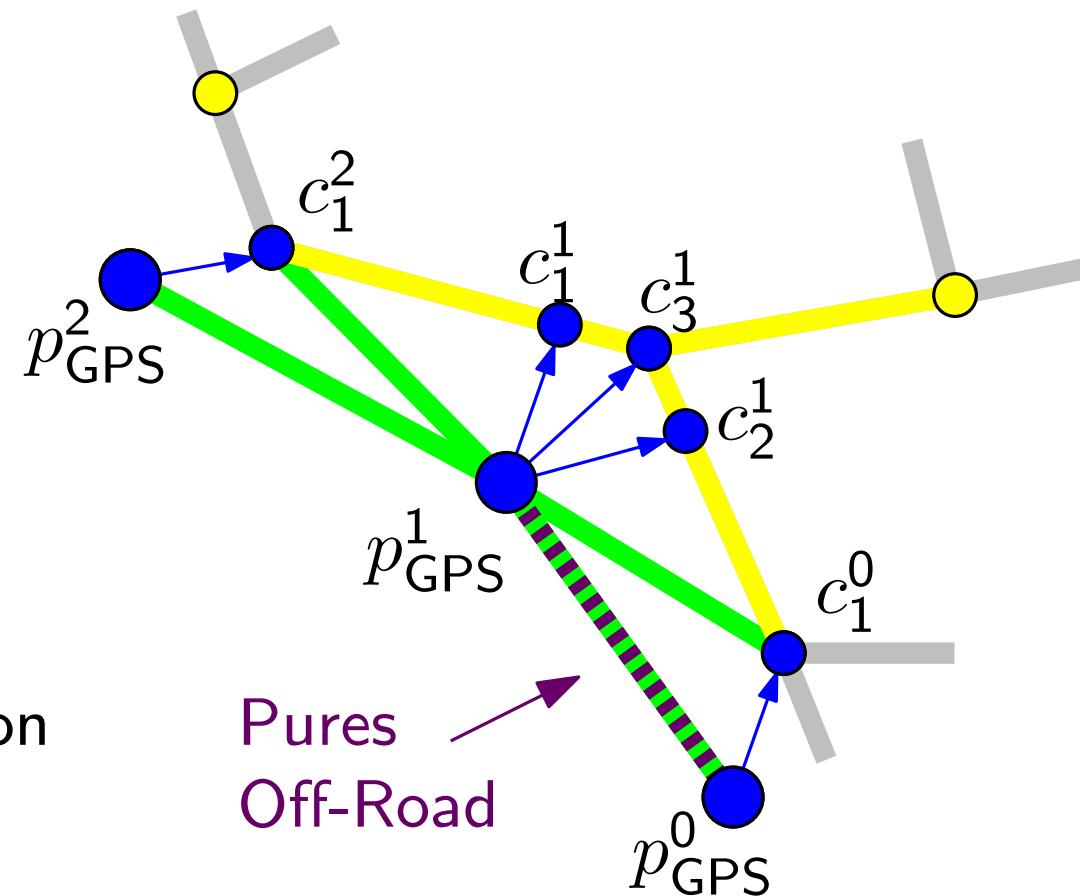
Wie können Off-Road-Punkte und -Segmente bezüglich ihrer Matching-Qualität bewertet werden?

Beobachtungs-
wahrscheinlichkeit X

Übergangs-
wahrscheinlichkeit ✓

Richtungs-
wahrscheinlichkeit ✓

Zusätzlich:
Strafen fürs Benutzen von
Off-Road-Segmenten



Qualitätsanalyse von Off-Road-Segmenten

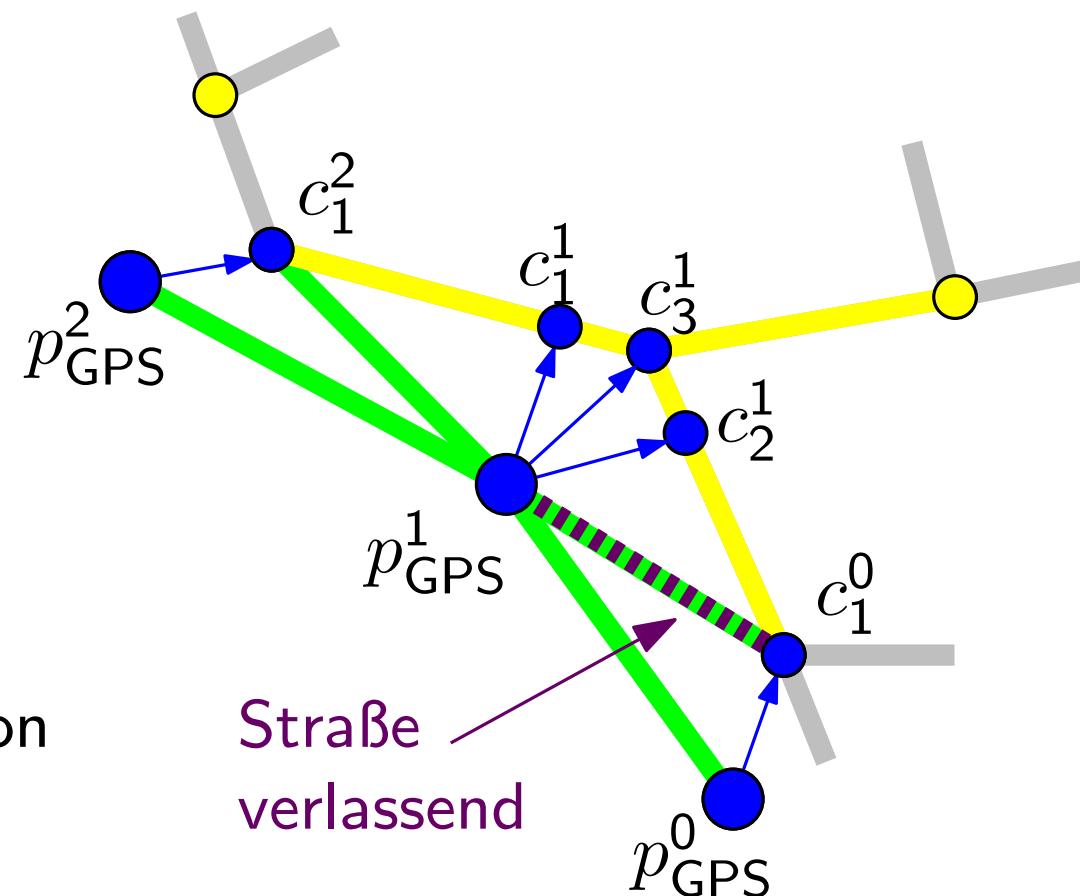
Wie können Off-Road-Punkte und -Segmente bezüglich ihrer Matching-Qualität bewertet werden?

Beobachtungs-
wahrscheinlichkeit X

Übergangs-
wahrscheinlichkeit ✓

Richtungs-
wahrscheinlichkeit ✓

Zusätzlich:
Strafen fürs Benutzen von
Off-Road-Segmenten



Qualitätsanalyse von Off-Road-Segmenten

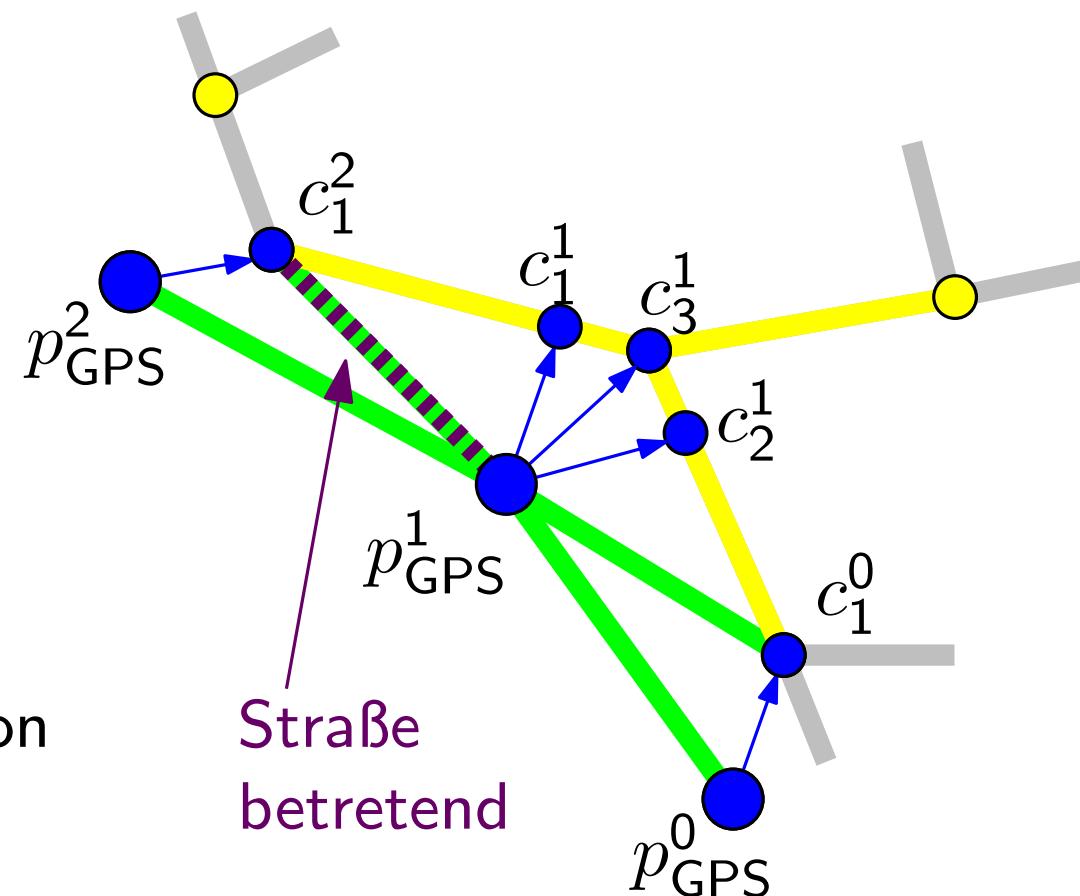
Wie können Off-Road-Punkte und -Segmente bezüglich ihrer Matching-Qualität bewertet werden?

Beobachtungs-
wahrscheinlichkeit X

Übergangs-
wahrscheinlichkeit ✓

Richtungs-
wahrscheinlichkeit ✓

Zusätzlich:
Strafen fürs Benutzen von
Off-Road-Segmenten



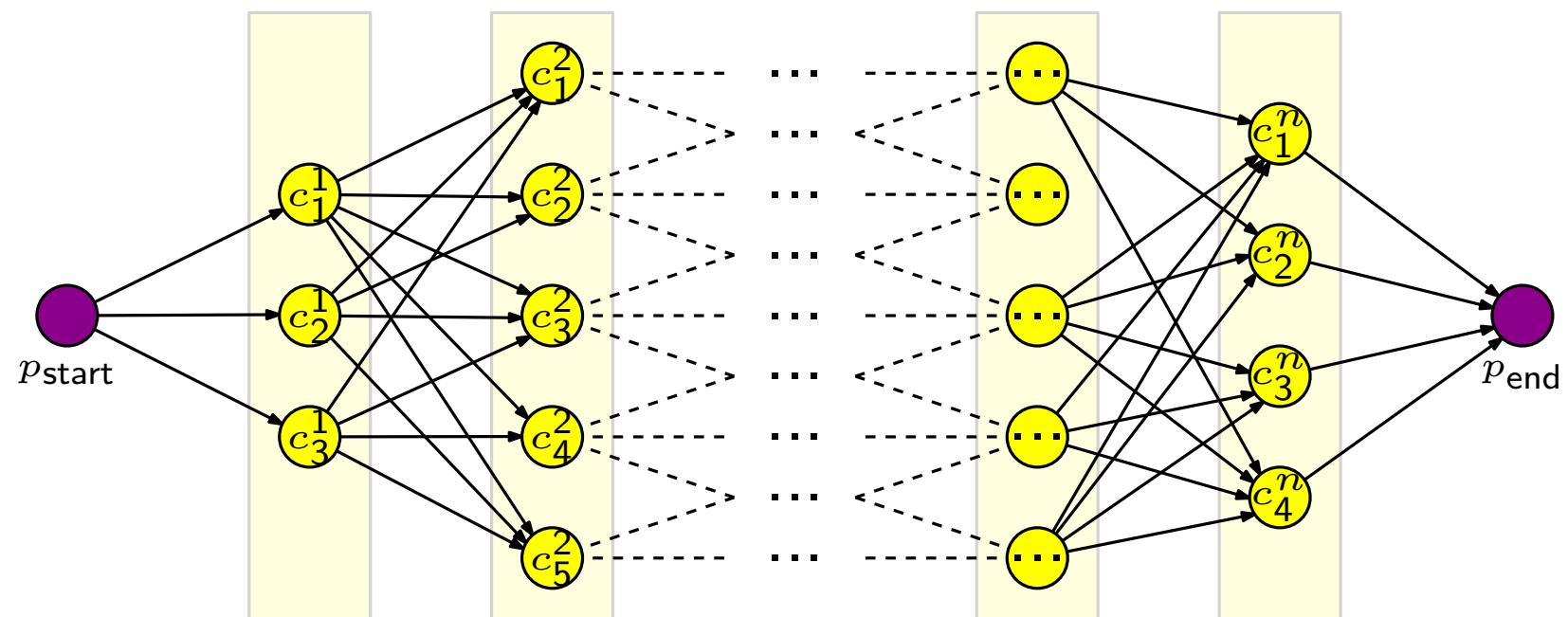
Erweiterter Kandidatengraph

Erweiterter Kandidatengraph

Die Off-Road-Punkte und -Segmente werden im Kandidatengraph repräsentiert:

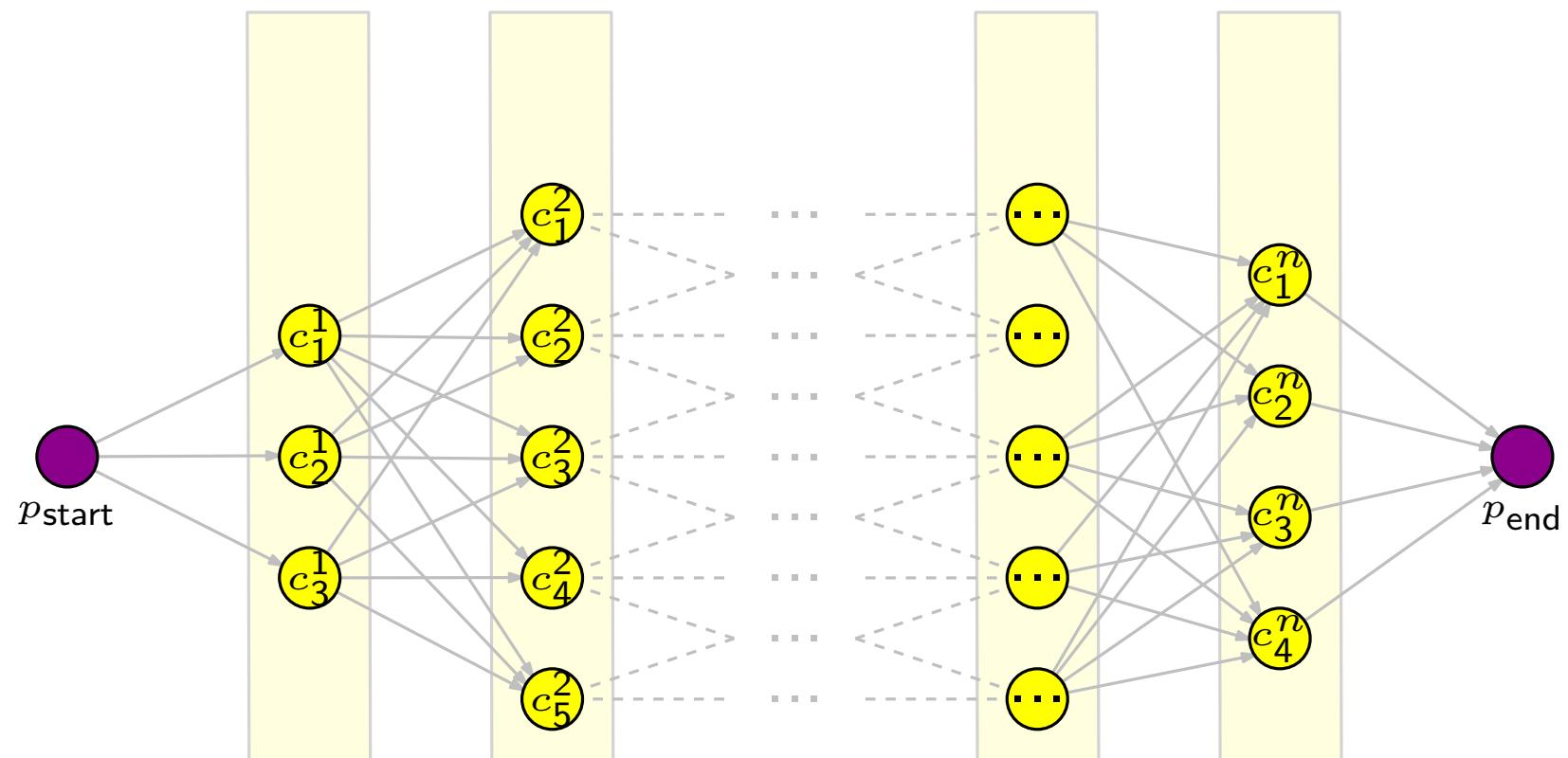
Erweiterter Kandidatengraph

Die Off-Road-Punkte und -Segmente werden im Kandidatengraph repräsentiert:



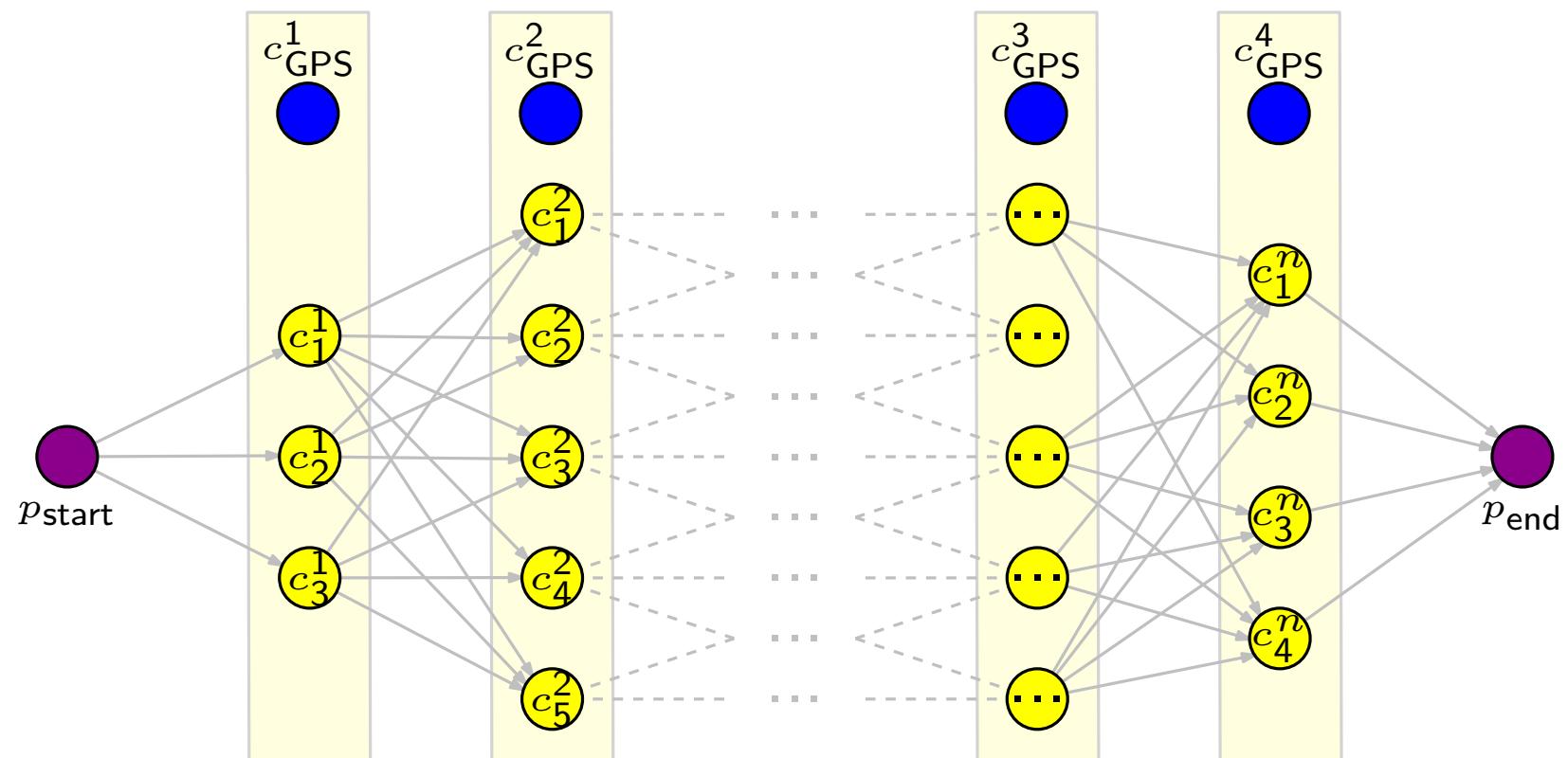
Erweiterter Kandidatengraph

Die Off-Road-Punkte und -Segmente werden im Kandidatengraph repräsentiert:



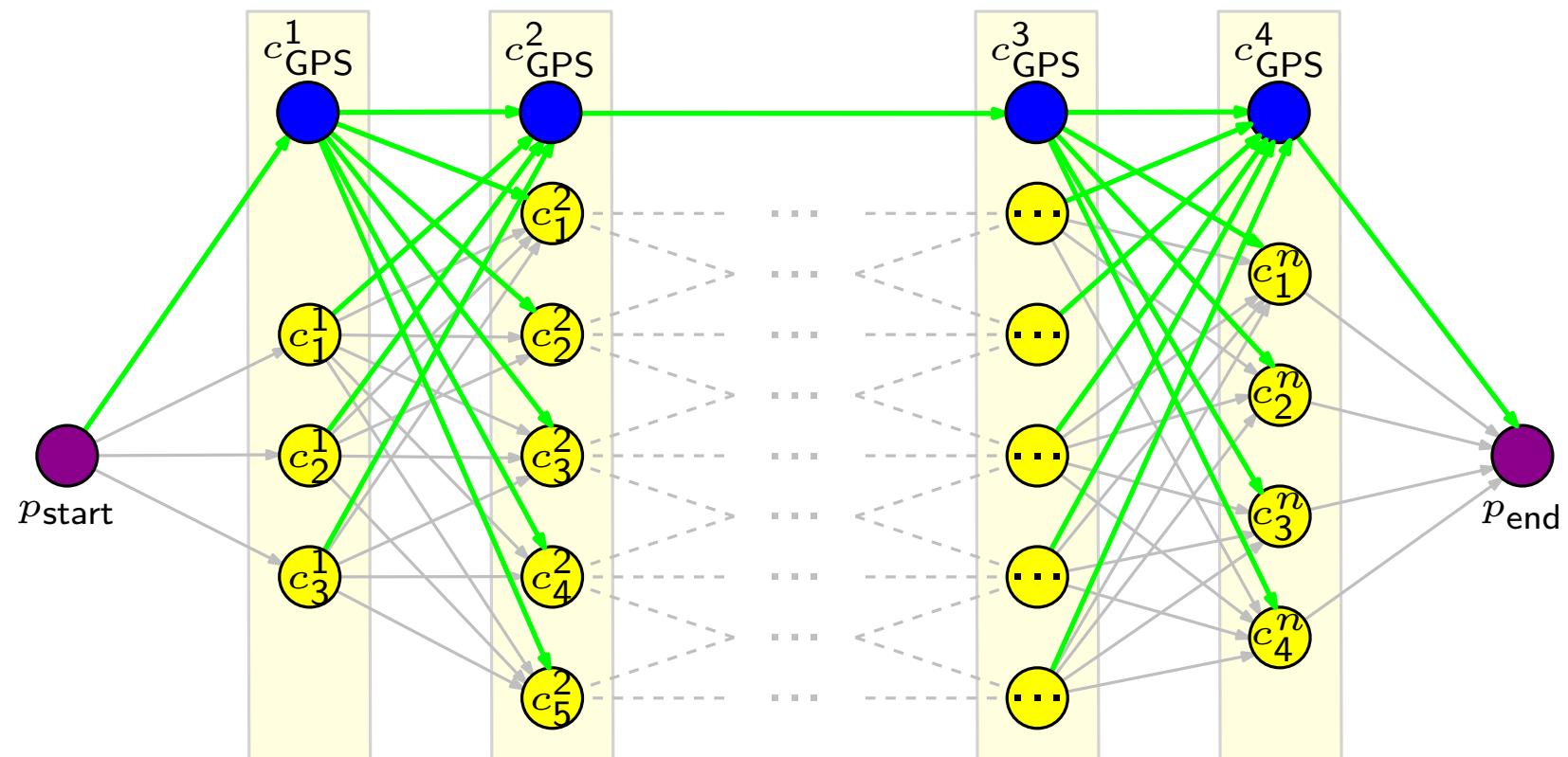
Erweiterter Kandidatengraph

Die Off-Road-Punkte und -Segmente werden im Kandidatengraph repräsentiert:



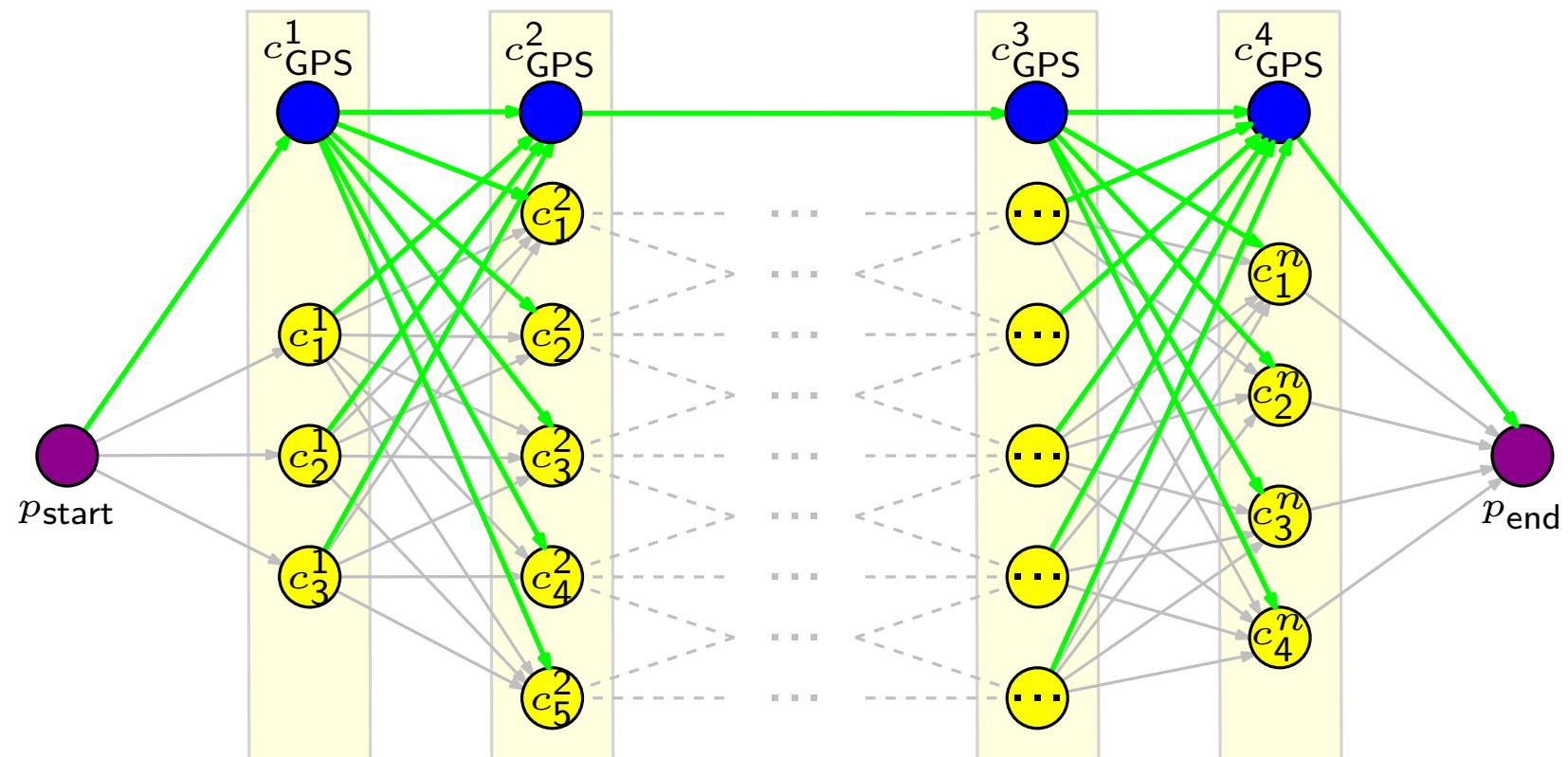
Erweiterter Kandidatengraph

Die Off-Road-Punkte und -Segmente werden im Kandidatengraph repräsentiert:



Erweiterter Kandidatengraph

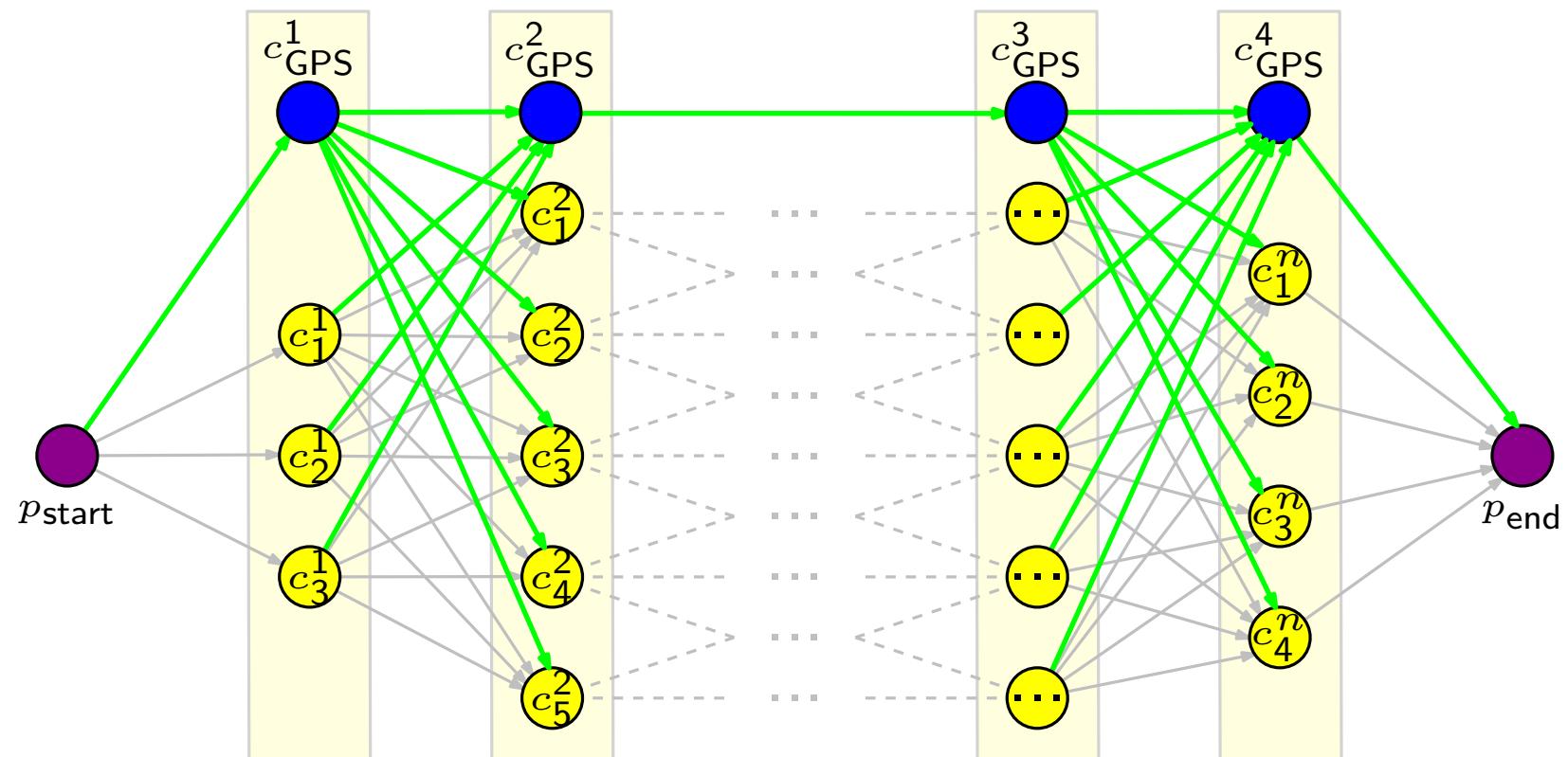
Die Off-Road-Punkte und -Segmente werden im Kandidatengraph repräsentiert:



Aber:

Erweiterter Kandidatengraph

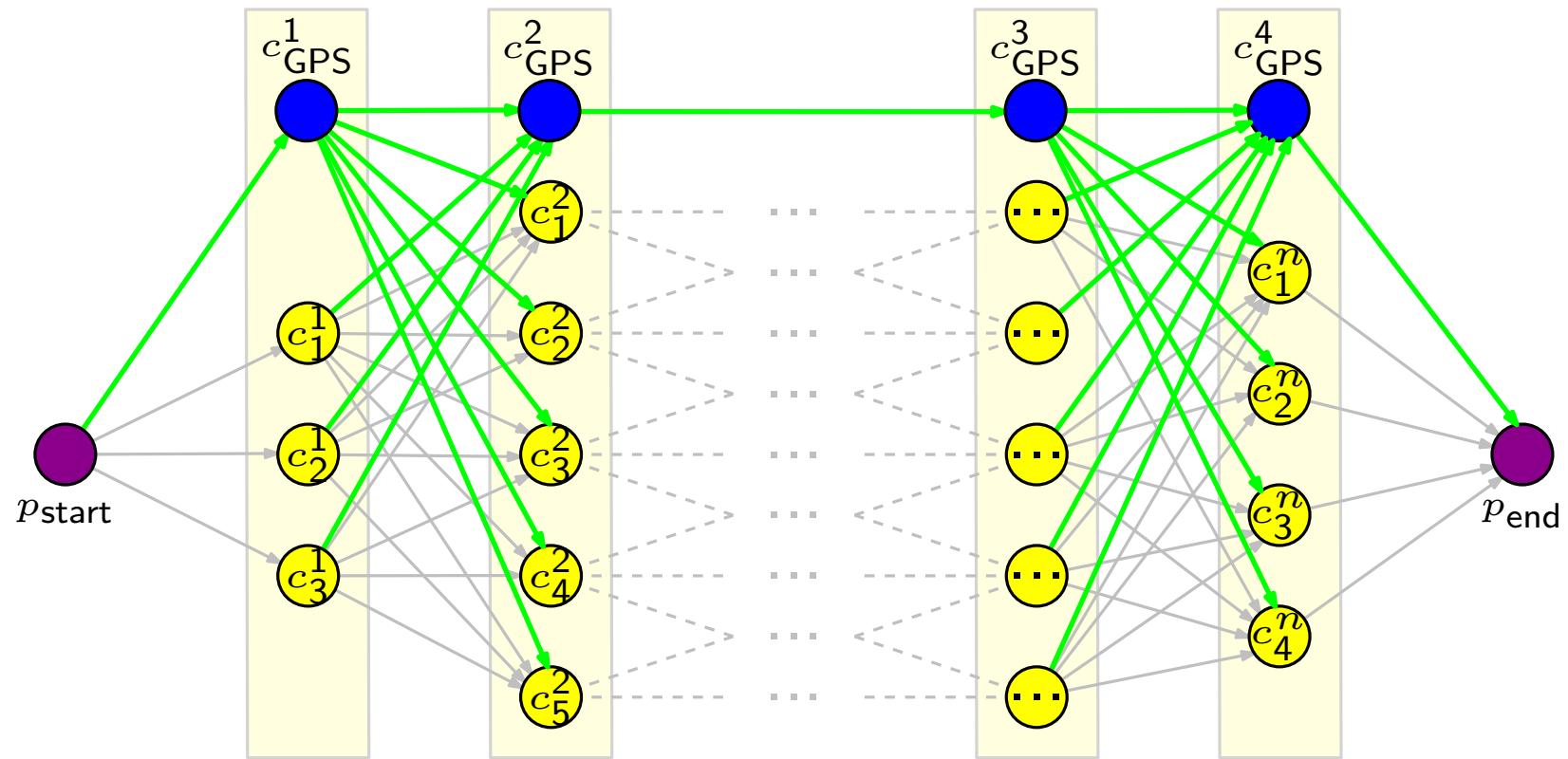
Die Off-Road-Punkte und -Segmente werden im Kandidatengraph repräsentiert:



Aber: Keine Veränderung der Grundstruktur des Graphen

Erweiterter Kandidatengraph

Die Off-Road-Punkte und -Segmente werden im Kandidatengraph repräsentiert:



Aber: Keine Veränderung der Grundstruktur des Graphen

→ Selbe Optimierungsmethode wie im Basissystem

Teil IV: Evaluation und Ausblick

Matching-Qualität bei versch. Bedingungen

Matching-Qualität bei versch. Bedingungen

Das vorgestellte System verbessert die Matching-Qualität in Abhängigkeit von der Sampling-Rate auf unterschiedliche Weise.

Matching-Qualität bei versch. Bedingungen

Das vorgestellte System verbessert die Matching-Qualität in Abhängigkeit von der Sampling-Rate auf unterschiedliche Weise.

SAMPLING-RATE	QUALITÄTSVERBESSERUNG

Matching-Qualität bei versch. Bedingungen

Das vorgestellte System verbessert die Matching-Qualität in Abhängigkeit von der Sampling-Rate auf unterschiedliche Weise.

SAMPLING-RATE	QUALITÄTSVERBESSERUNG
niedrig (1/100 s)	keine

Matching-Qualität bei versch. Bedingungen

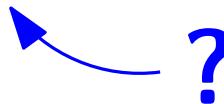
Das vorgestellte System verbessert die Matching-Qualität in Abhängigkeit von der Sampling-Rate auf unterschiedliche Weise.

SAMPLING-RATE	QUALITÄTSVERBESSERUNG
niedrig (1/100 s)	keine
mittel (1/10 s)	besser bei fehlenden neuralgischen Segmenten

Matching-Qualität bei versch. Bedingungen

Das vorgestellte System verbessert die Matching-Qualität in Abhängigkeit von der Sampling-Rate auf unterschiedliche Weise.

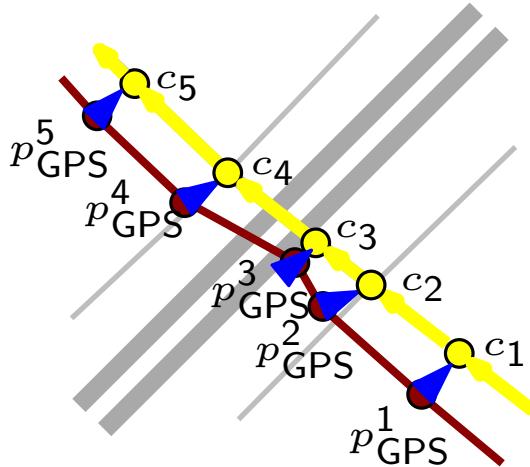
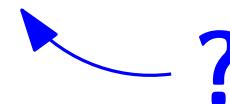
SAMPLING-RATE	QUALITÄTSVERBESSERUNG
niedrig (1/100 s)	keine
mittel (1/10 s)	besser bei fehlenden neuralgischen Segmenten



Matching-Qualität bei versch. Bedingungen

Das vorgestellte System verbessert die Matching-Qualität in Abhängigkeit von der Sampling-Rate auf unterschiedliche Weise.

SAMPLING-RATE	QUALITÄTSVERBESSERUNG
niedrig (1/100 s)	keine
mittel (1/10 s)	besser bei fehlenden neuralgischen Segmenten

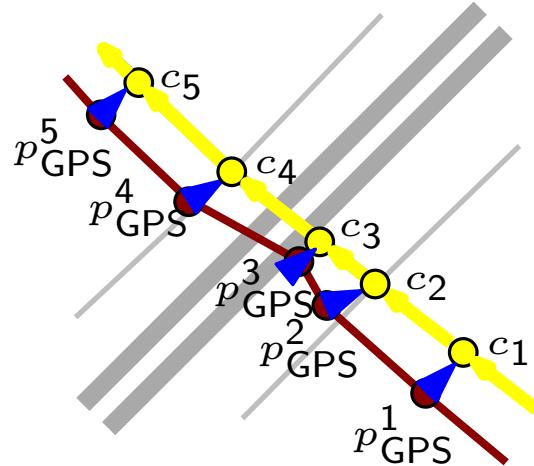


Segment vorhanden

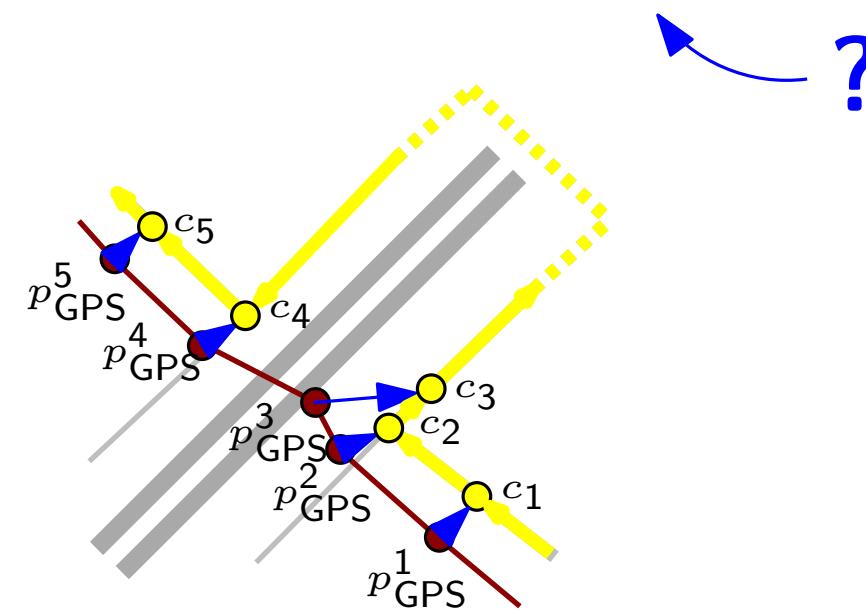
Matching-Qualität bei versch. Bedingungen

Das vorgestellte System verbessert die Matching-Qualität in Abhängigkeit von der Sampling-Rate auf unterschiedliche Weise.

SAMPLING-RATE	QUALITÄTSVERBESSERUNG
niedrig (1/100 s)	keine
mittel (1/10 s)	besser bei fehlenden neuralgischen Segmenten



Segment vorhanden



Segment umgangen

Matching-Qualität bei versch. Bedingungen

Das vorgestellte System verbessert die Matching-Qualität in Abhängigkeit von der Sampling-Rate auf unterschiedliche Weise.

SAMPLING-RATE	QUALITÄTSVERBESSERUNG
niedrig (1/100 s)	keine
mittel (1/10 s)	besser bei fehlenden neuralgischen Segmenten

Segment vorhanden

Segment umgangen

Segment überbrückt

Matching-Qualität bei versch. Bedingungen

Das vorgestellte System verbessert die Matching-Qualität in Abhängigkeit von der Sampling-Rate auf unterschiedliche Weise.

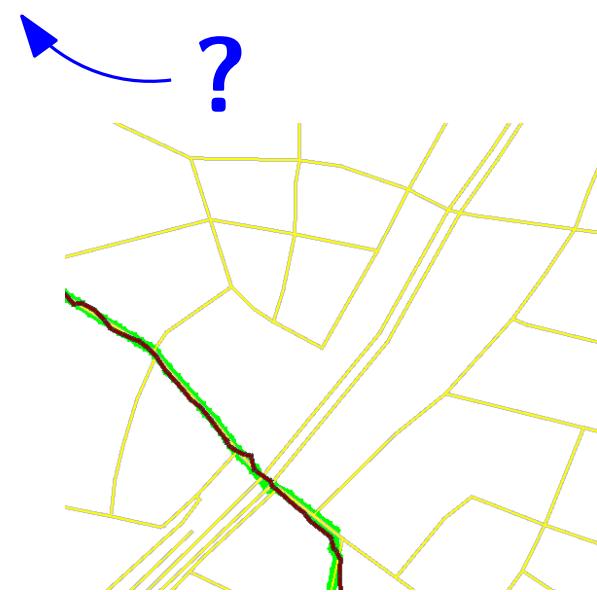
SAMPLING-RATE	QUALITÄTSVERBESSERUNG
niedrig (1/100 s)	keine
mittel (1/10 s)	besser bei fehlenden neuralgischen Segmenten



Segment vorhanden



Segment umgangen



Segment überbrückt

?

Matching-Qualität bei versch. Bedingungen

Das vorgestellte System verbessert die Matching-Qualität in Abhängigkeit von der Sampling-Rate auf unterschiedliche Weise.

SAMPLING-RATE	QUALITÄTSVERBESSERUNG
niedrig (1/100 s)	keine
mittel (1/10 s)	besser bei fehlenden neuralgischen Segmenten

Matching-Qualität bei versch. Bedingungen

Das vorgestellte System verbessert die Matching-Qualität in Abhängigkeit von der Sampling-Rate auf unterschiedliche Weise.

SAMPLING-RATE	QUALITÄTSVERBESSERUNG
niedrig (1/100 s)	keine
mittel (1/10 s)	besser bei fehlenden neuralgischen Segmenten
hoch (1/1 s)	Off-Road-Bewegungen, beliebige fehlende Segmente

Matching-Qualität bei versch. Bedingungen

Das vorgestellte System verbessert die Matching-Qualität in Abhängigkeit von der Sampling-Rate auf unterschiedliche Weise.

SAMPLING-RATE	QUALITÄTSVERBESSERUNG
niedrig (1/100 s)	keine
mittel (1/10 s)	besser bei fehlenden neuralgischen Segmenten
hoch (1/1 s)	Off-Road-Bewegungen, beliebige fehlende Segmente

bei weitestgehend vollständigem Kartenmaterial.

Matching-Qualität bei versch. Bedingungen

Das vorgestellte System verbessert die Matching-Qualität in Abhängigkeit von der Sampling-Rate auf unterschiedliche Weise.

SAMPLING-RATE	QUALITÄTSVERBESSERUNG
niedrig (1/100 s)	keine
mittel (1/10 s)	besser bei fehlenden neuralgischen Segmenten
hoch (1/1 s)	Off-Road-Bewegungen, beliebige fehlende Segmente

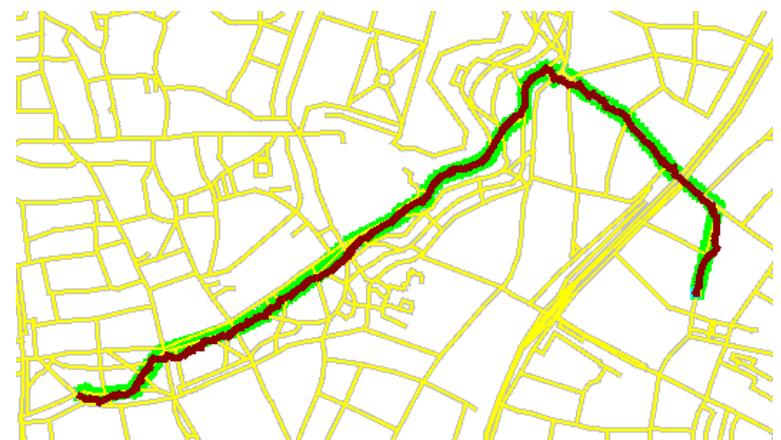
bei weitestgehend vollständigem Kartenmaterial.

Wie verhält sich das System, wenn größere Teile des Kartenmaterials fehlen?

Verhalten auf unvollständigen Karten

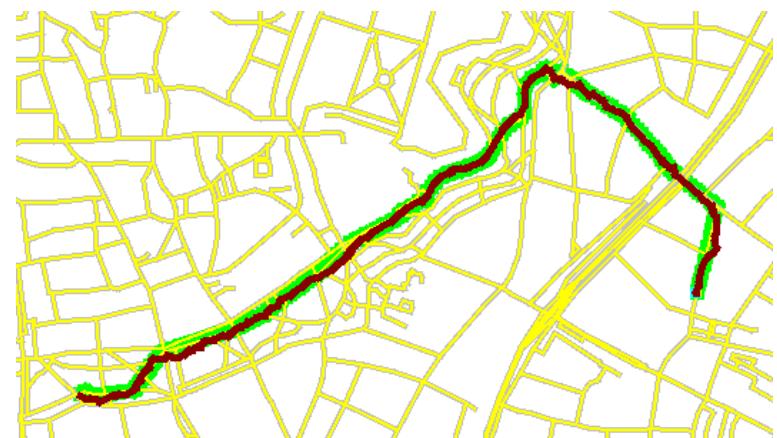
Verhalten auf unvollständigen Karten

Kartenintegrität 100%
Basis-System



Verhalten auf unvollständigen Karten

Kartenintegrität 100%
Basis-System

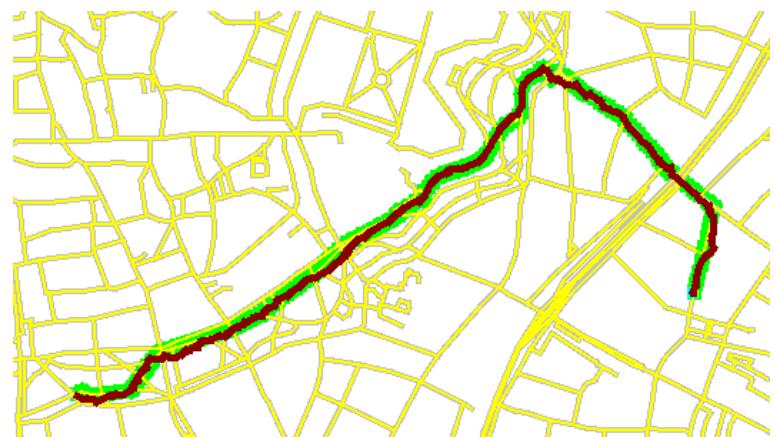


Kartenintegrität 50%
Basis-System



Verhalten auf unvollständigen Karten

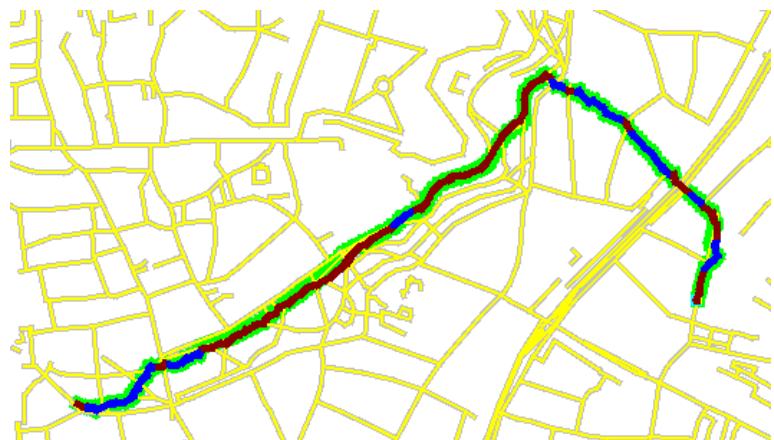
Kartenintegrität 100%
Basis-System



Kartenintegrität 50%
Basis-System

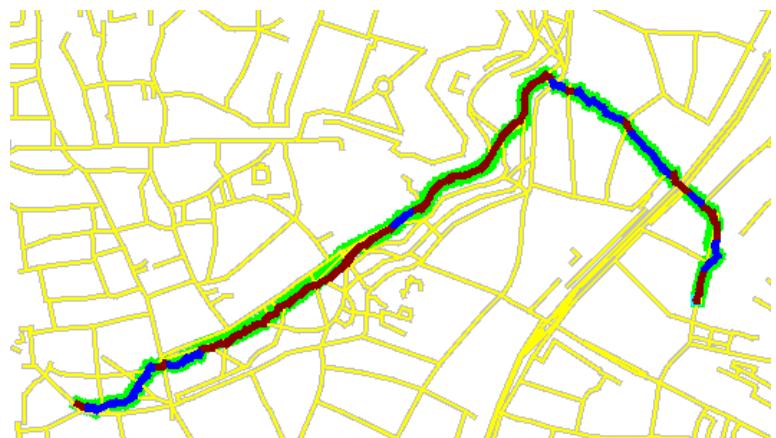
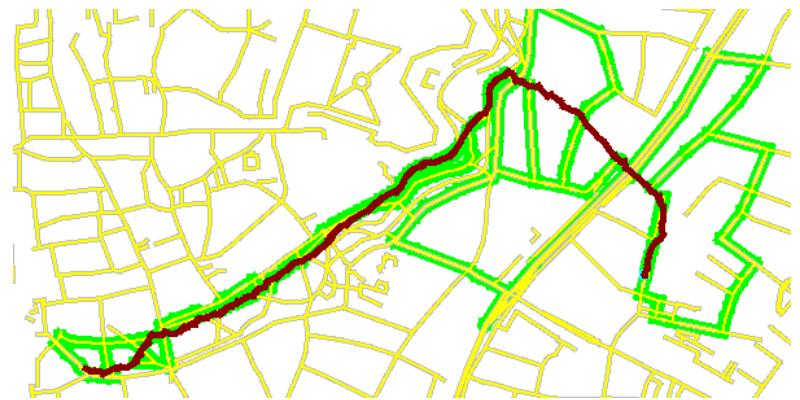


Kartenintegrität 50%
Off-Road-System



Verhalten auf unvollständigen Karten

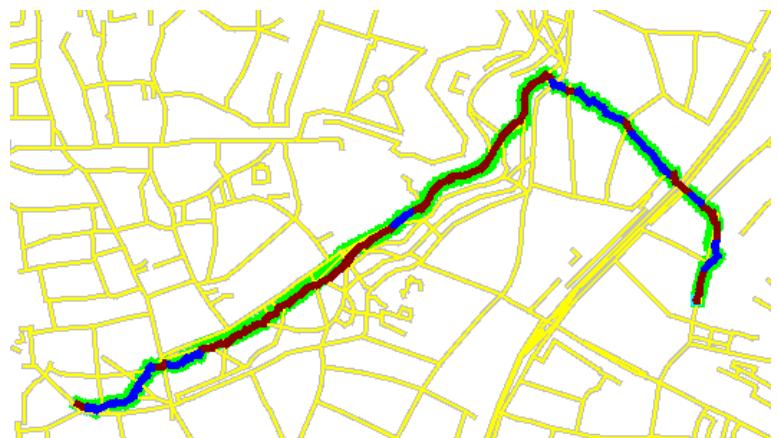
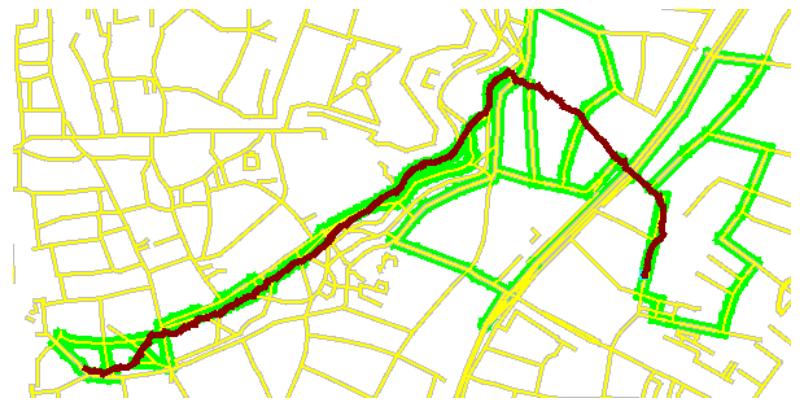
Größere Testbasis benötigt!



Verhalten auf unvollständigen Karten

Größere Testbasis benötigt!

Randomisierte Tests

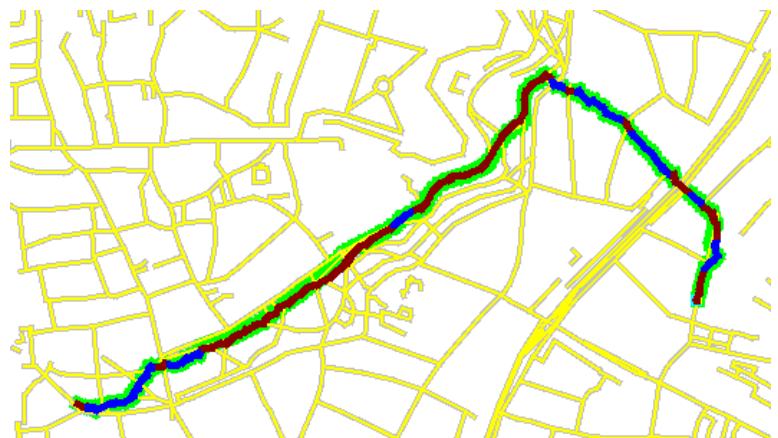
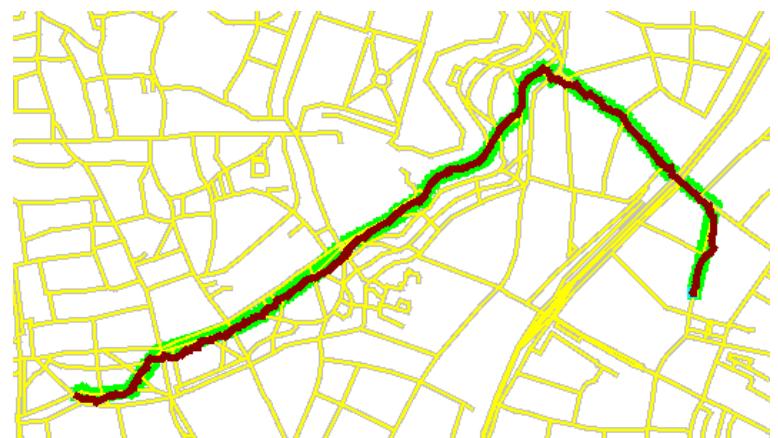


Verhalten auf unvollständigen Karten

Größere Testbasis benötigt!

Randomisierte Tests

- Basis- und Off-Road-System

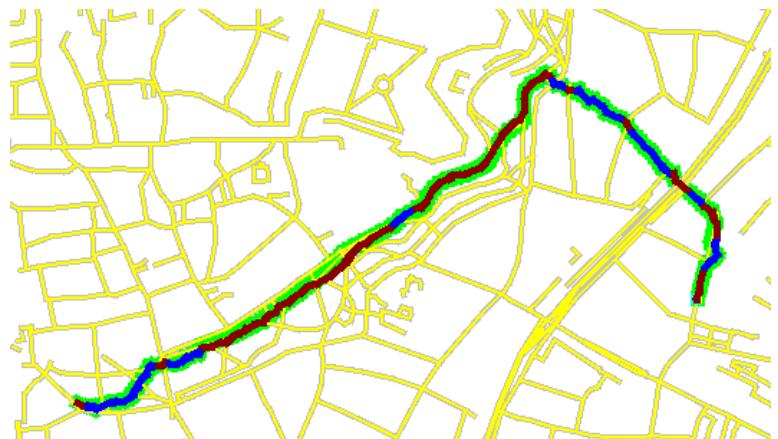
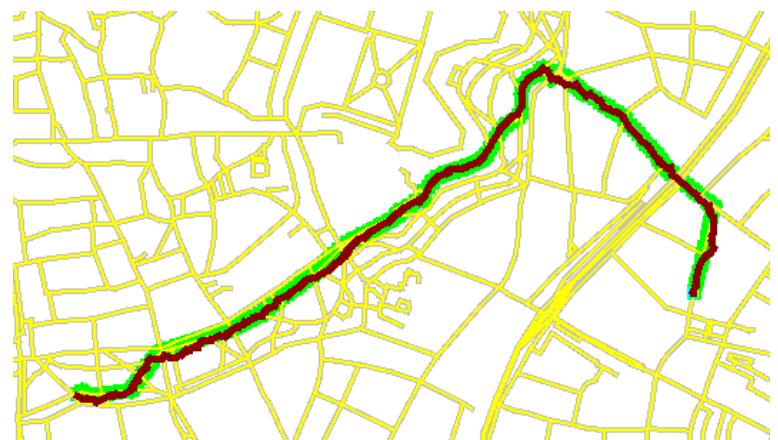


Verhalten auf unvollständigen Karten

Größere Testbasis benötigt!

Randomisierte Tests

- Basis- und Off-Road-System
- 1200 zufällige Testkarten

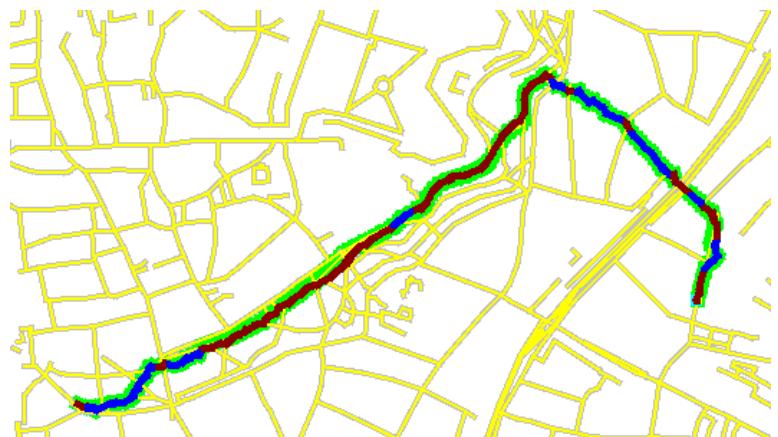


Verhalten auf unvollständigen Karten

Größere Testbasis benötigt!

Randomisierte Tests

- Basis- und Off-Road-System
- 1200 zufällige Testkarten
- Integrität zwischen 25% - 100%



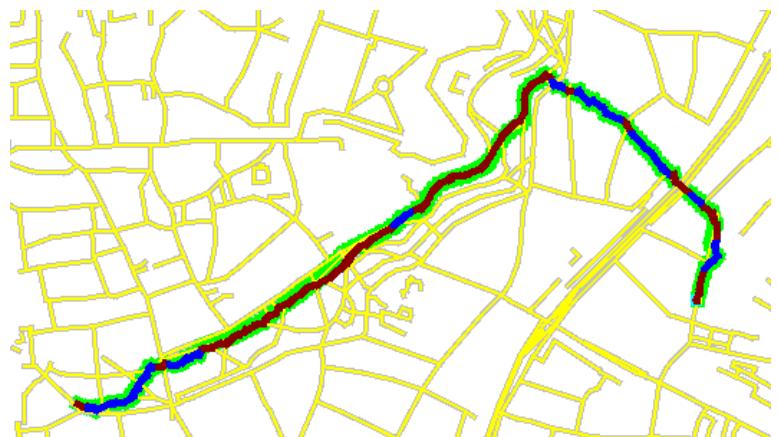
Verhalten auf unvollständigen Karten

Größere Testbasis benötigt!

Randomisierte Tests

- Basis- und Off-Road-System
- 1200 zufällige Testkarten
- Integrität zwischen 25% - 100%

Resultate



Verhalten auf unvollständigen Karten

Größere Testbasis benötigt!

Randomisierte Tests

- Basis- und Off-Road-System
- 1200 zufällige Testkarten
- Integrität zwischen 25% - 100%

Resultate

bei fallender Integrität:



Verhalten auf unvollständigen Karten

Größere Testbasis benötigt!

Randomisierte Tests

- Basis- und Off-Road-System
- 1200 zufällige Testkarten
- Integrität zwischen 25% - 100%

Resultate

bei fallender Integrität:

- Basis-System ermittelt stark abweichende Pfade



Verhalten auf unvollständigen Karten

Größere Testbasis benötigt!

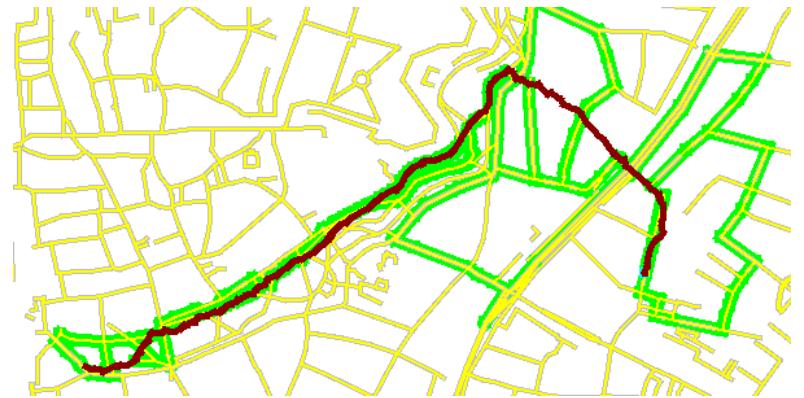
Randomisierte Tests

- Basis- und Off-Road-System
- 1200 zufällige Testkarten
- Integrität zwischen 25% - 100%

Resultate

bei fallender Integrität:

- Basis-System ermittelt stark abweichende Pfade
- Off-Road-System konvergiert gegen Trajektorie



Laufzeitanalyse

Laufzeitanalyse

Keine Veränderung der Komplexität im Vergleich zum Basis-System von Lou et al. (2009).

Laufzeitanalyse

Keine Veränderung der Komplexität im Vergleich zum Basis-System von Lou et al. (2009).

Sei

Laufzeitanalyse

Keine Veränderung der Komplexität im Vergleich zum Basis-System von Lou et al. (2009).

Sei n Anzahl GPS-Punkte

Laufzeitanalyse

Keine Veränderung der Komplexität im Vergleich zum Basis-System von Lou et al. (2009).

Sei n Anzahl GPS-Punkte

m Anzahl Straßensegmente

Laufzeitanalyse

Keine Veränderung der Komplexität im Vergleich zum Basis-System von Lou et al. (2009).

Sei n Anzahl GPS-Punkte
 m Anzahl Straßensegmente
 N Anzahl Straßenknoten

Laufzeitanalyse

Keine Veränderung der Komplexität im Vergleich zum Basis-System von Lou et al. (2009).

Sei n Anzahl GPS-Punkte

m Anzahl Straßensegmente

N Anzahl Straßenknoten

k max. Größe der Kandidatenmenge

Laufzeitanalyse

Keine Veränderung der Komplexität im Vergleich zum Basis-System von Lou et al. (2009).

Sei n Anzahl GPS-Punkte

m Anzahl Straßensegmente

N Anzahl Straßenknoten

k max. Größe der Kandidatenmenge

Asymptotische Laufzeit

Laufzeitanalyse

Keine Veränderung der Komplexität im Vergleich zum Basis-System von Lou et al. (2009).

Sei n Anzahl GPS-Punkte

m Anzahl Straßensegmente

N Anzahl Straßenknoten

k max. Größe der Kandidatenmenge

Asymptotische Laufzeit

Verbindungen zwischen Kandidaten:

Laufzeitanalyse

Keine Veränderung der Komplexität im Vergleich zum Basis-System von Lou et al. (2009).

Sei n Anzahl GPS-Punkte

m Anzahl Straßensegmente

N Anzahl Straßenknoten

k max. Größe der Kandidatenmenge

Asymptotische Laufzeit

Verbindungen zwischen Kandidaten: $(n - 1) \cdot k^2$

Laufzeitanalyse

Keine Veränderung der Komplexität im Vergleich zum Basis-System von Lou et al. (2009).

Sei n Anzahl GPS-Punkte

m Anzahl Straßensegmente

N Anzahl Straßenknoten

k max. Größe der Kandidatenmenge

Asymptotische Laufzeit

Verbindungen zwischen Kandidaten: $(n - 1) \cdot k^2$

Berechnung der Übergangswahrsch.:

Laufzeitanalyse

Keine Veränderung der Komplexität im Vergleich zum Basis-System von Lou et al. (2009).

Sei n Anzahl GPS-Punkte

m Anzahl Straßensegmente

N Anzahl Straßenknoten

k max. Größe der Kandidatenmenge

Asymptotische Laufzeit

Verbindungen zwischen Kandidaten: $(n - 1) \cdot k^2$

Berechnung der Übergangswahrsch.: $O(n \cdot k^2 \cdot (m + N \log N))$

Laufzeitanalyse

Keine Veränderung der Komplexität im Vergleich zum Basis-System von Lou et al. (2009).

Sei n Anzahl GPS-Punkte

m Anzahl Straßensegmente

N Anzahl Straßenknoten

k max. Größe der Kandidatenmenge

Asymptotische Laufzeit

Verbindungen zwischen Kandidaten:

$$\frac{(n-1) \cdot k^2}{}$$

Berechnung der Übergangswahrsch.: $O(n \cdot k^2 \cdot (m + N \log N))$

Laufzeitanalyse

Keine Veränderung der Komplexität im Vergleich zum Basis-System von Lou et al. (2009).

Sei n Anzahl GPS-Punkte

m Anzahl Straßensegmente

N Anzahl Straßenknoten

k max. Größe der Kandidatenmenge

Asymptotische Laufzeit

Verbindungen zwischen Kandidaten:

$\frac{(n - 1) \cdot k^2}{\downarrow}$ Dijkstra

Berechnung der Übergangswahrsch.:

$O(n \cdot k^2 \cdot (m + N \log N))$ \downarrow

Laufzeitanalyse

Keine Veränderung der Komplexität im Vergleich zum Basis-System von Lou et al. (2009).

Sei n Anzahl GPS-Punkte

m Anzahl Straßensegmente

N Anzahl Straßenknoten

k max. Größe der Kandidatenmenge

Asymptotische Laufzeit

Verbindungen zwischen Kandidaten: $(n - 1) \cdot k^2$

Berechnung der Übergangswahrsch.: $O(n \cdot k^2 \cdot (m + N \log N))$

Suche nach optimalem Pfad (Lou09):

Laufzeitanalyse

Keine Veränderung der Komplexität im Vergleich zum Basis-System von Lou et al. (2009).

Sei n Anzahl GPS-Punkte

m Anzahl Straßensegmente

N Anzahl Straßenknoten

k max. Größe der Kandidatenmenge

Asymptotische Laufzeit

Verbindungen zwischen Kandidaten: $(n - 1) \cdot k^2$

Berechnung der Übergangswahrsch.: $O(n \cdot k^2 \cdot (m + N \log N))$

Suche nach optimalem Pfad (Lou09): $O(n \cdot k^2)$

Laufzeitanalyse

Keine Veränderung der Komplexität im Vergleich zum Basis-System von Lou et al. (2009).

Sei n Anzahl GPS-Punkte

m Anzahl Straßensegmente

N Anzahl Straßenknoten

k max. Größe der Kandidatenmenge

Asymptotische Laufzeit

Verbindungen zwischen Kandidaten: $(n - 1) \cdot k^2$

Berechnung der Übergangswahrsch.: $O(n \cdot k^2 \cdot (m + N \log N))$

Suche nach optimalem Pfad (Lou09):
$$\frac{O(n \cdot k^2)}{O(n \cdot k^2 \cdot (m + N \log N))}$$

Laufzeitanalyse

Keine Veränderung der Komplexität im Vergleich zum Basis-System von Lou et al. (2009).

Sei n Anzahl GPS-Punkte

m Anzahl Straßensegmente

N Anzahl Straßenknoten

k max. Größe der Kandidatenmenge

Asymptotische Laufzeit

Verbindungen zwischen Kandidaten: $(n - 1) \cdot k^2$

Berechnung der Übergangswahrsch.: $O(n \cdot k^2 \cdot (m + N \log N))$

Suche nach optimalem Pfad (Lou09):
$$\frac{O(n \cdot k^2)}{O(n \cdot k^2 \cdot (m + N \log N))}$$

k ist in der Praxis klein

Laufzeitanalyse

Keine Veränderung der Komplexität im Vergleich zum Basis-System von Lou et al. (2009).

Sei n Anzahl GPS-Punkte

m Anzahl Straßensegmente

N Anzahl Straßenknoten

k max. Größe der Kandidatenmenge

Asymptotische Laufzeit

Verbindungen zwischen Kandidaten: $(n - 1) \cdot k^2$

Berechnung der Übergangswahrsch.: $O(n \cdot k^2 \cdot (m + N \log N))$

Suche nach optimalem Pfad (Lou09):
$$\frac{O(n \cdot k^2)}{O(n \cdot k^2 \cdot (m + N \log N))}$$

k ist in der Praxis klein $\rightarrow O(n \cdot (m + N \log N))$

Ausblick

Ausblick

Weitere Verbesserung des Systems

Ausblick

Weitere Verbesserung des Systems

- Verfeinerter Ansatz für die Richtungswahrscheinlichkeit

Ausblick

Weitere Verbesserung des Systems

- Verfeinerter Ansatz für die Richtungswahrscheinlichkeit
- Berücksichtigung der *delution of precision* der GPS-Punkte

Ausblick

Weitere Verbesserung des Systems

- Verfeinerter Ansatz für die Richtungswahrscheinlichkeit
- Berücksichtigung der *delution of precision* der GPS-Punkte

Innovative Einsatzmöglichkeiten

Ausblick

Weitere Verbesserung des Systems

- Verfeinerter Ansatz für die Richtungswahrscheinlichkeit
- Berücksichtigung der *delution of precision* der GPS-Punkte

Innovative Einsatzmöglichkeiten

- Fußgängernavigation

Ausblick

Weitere Verbesserung des Systems

- Verfeinerter Ansatz für die Richtungswahrscheinlichkeit
- Berücksichtigung der *delution of precision* der GPS-Punkte

Innovative Einsatzmöglichkeiten

- Fußgängernavigation
- Kartenerstellung z.B. durch Community

Ausblick

Weitere Verbesserung des Systems

- Verfeinerter Ansatz für die Richtungswahrscheinlichkeit
- Berücksichtigung der *delution of precision* der GPS-Punkte

Innovative Einsatzmöglichkeiten

- Fußgängernavigation
 - Kartenerstellung z.B. durch Community
- Pereira et al. (2009): *YouTrace*

Fragen und Diskussion