

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 Positionspunkten ...

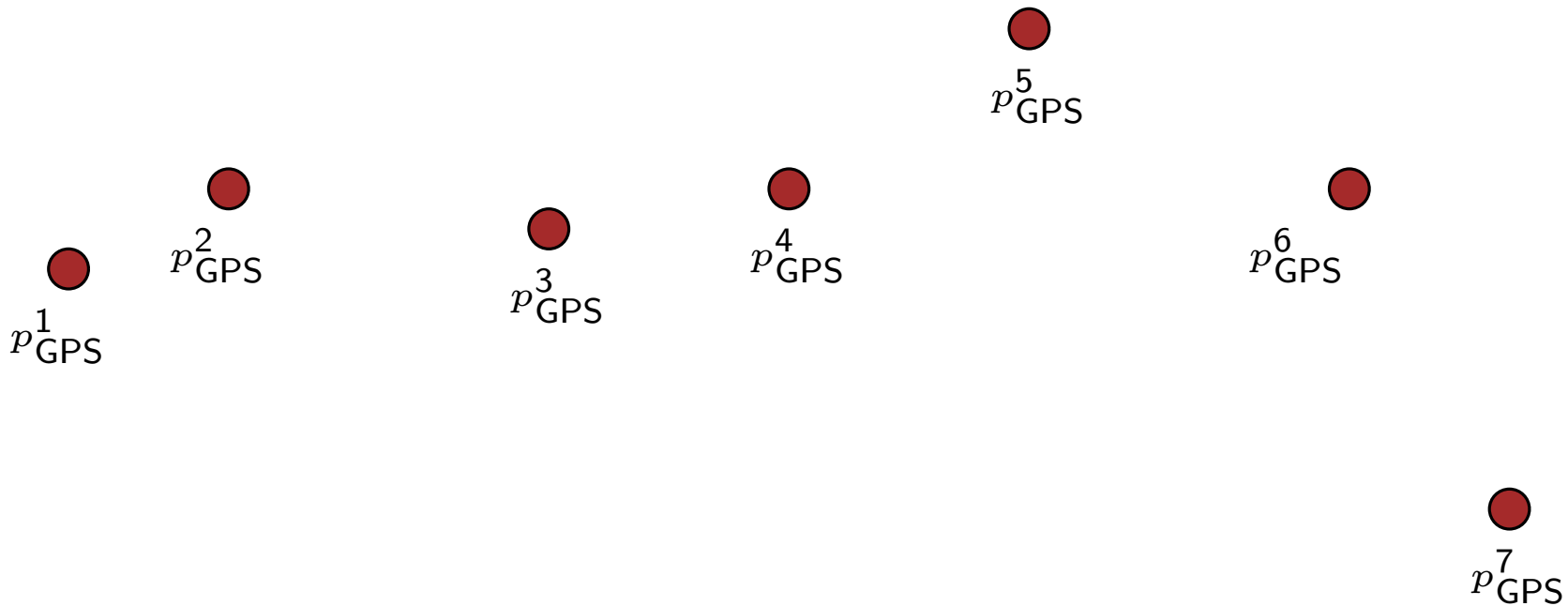
Was ist *map matching*?

Das Problem, zu einer gegebenen Folge von Positionspunkten ...
... 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.

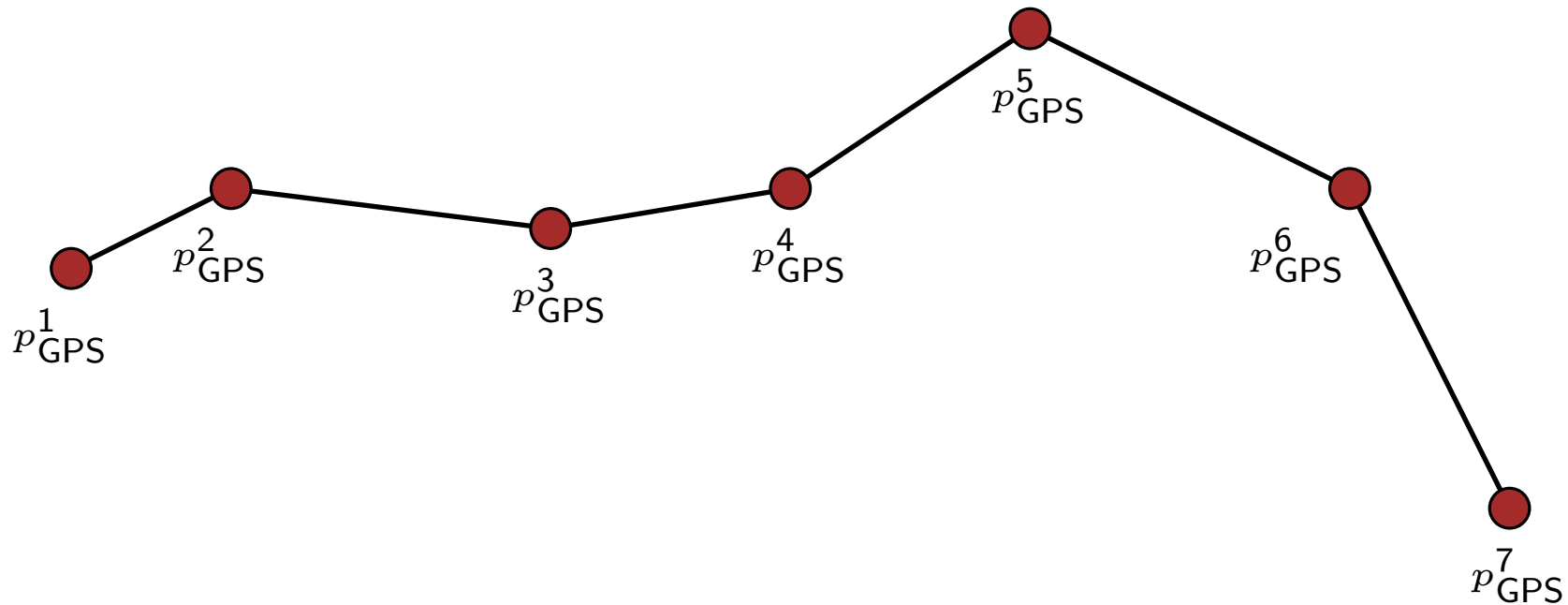
GPS-Punkte



Was ist *map matching*?

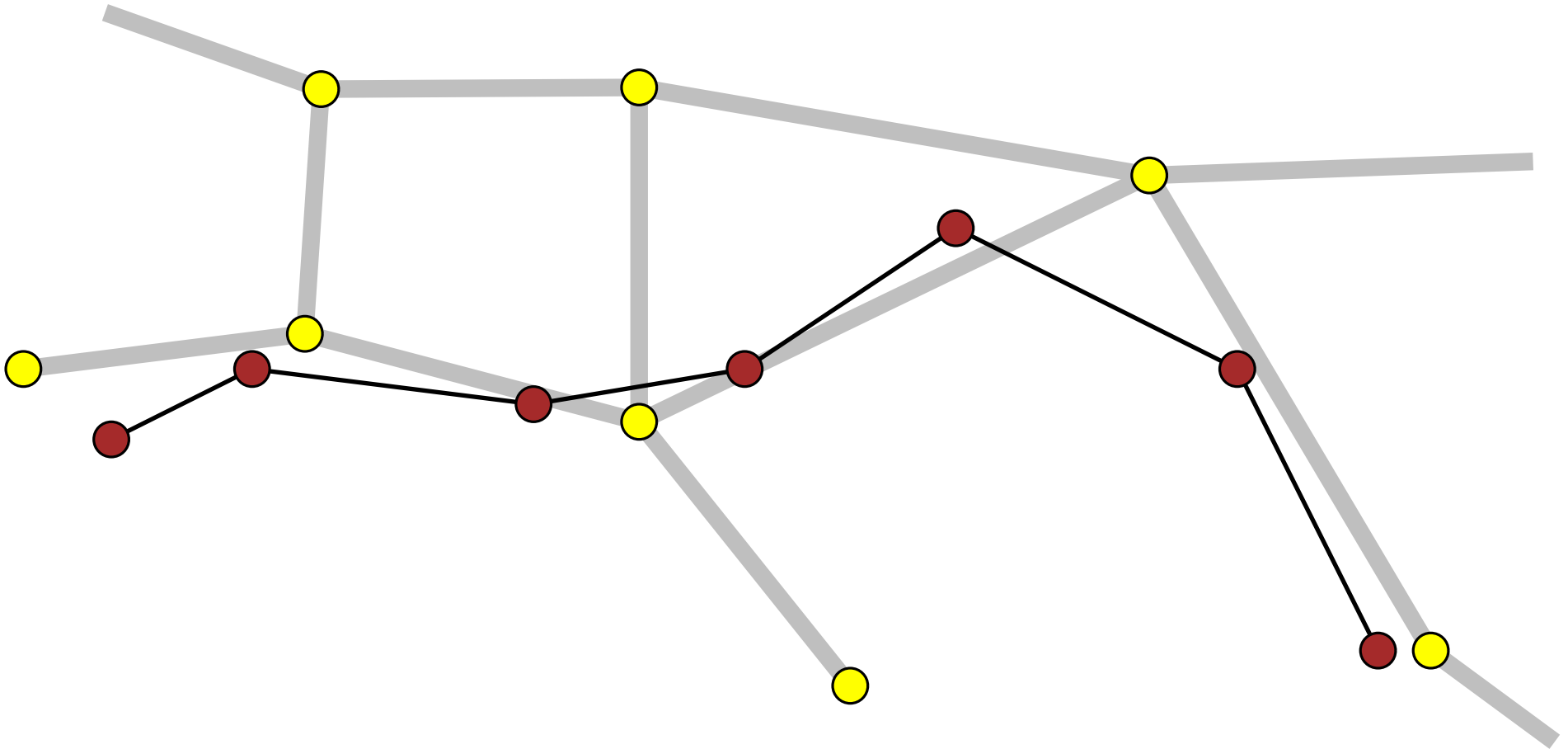
Das Problem, zu einer gegebenen **Folge von Positionspunkten** ...
... auf einer Straßenkarte den zurückgelegten Weg zu rekonstruieren.

GPS-Trajektorie



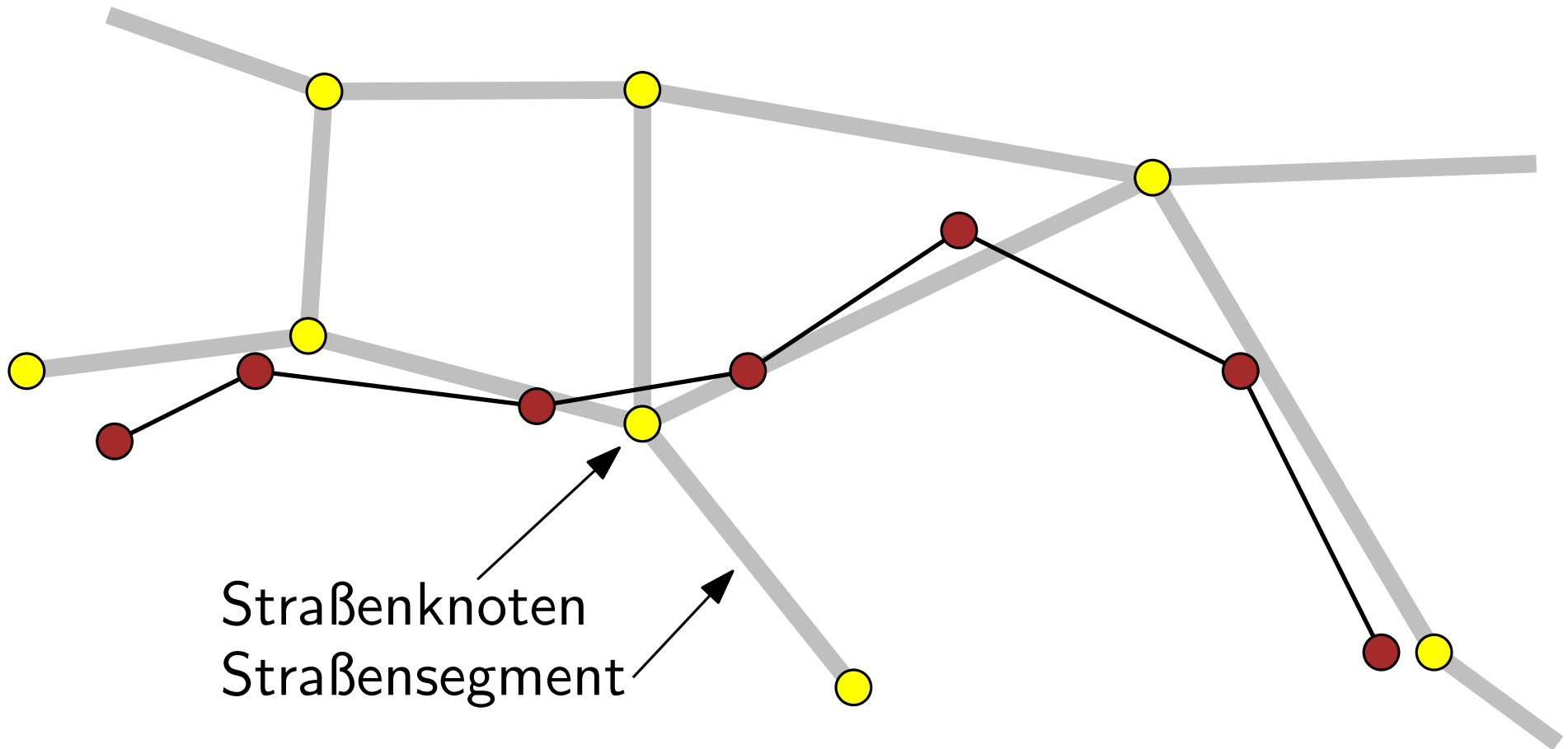
Was ist *map matching*?

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



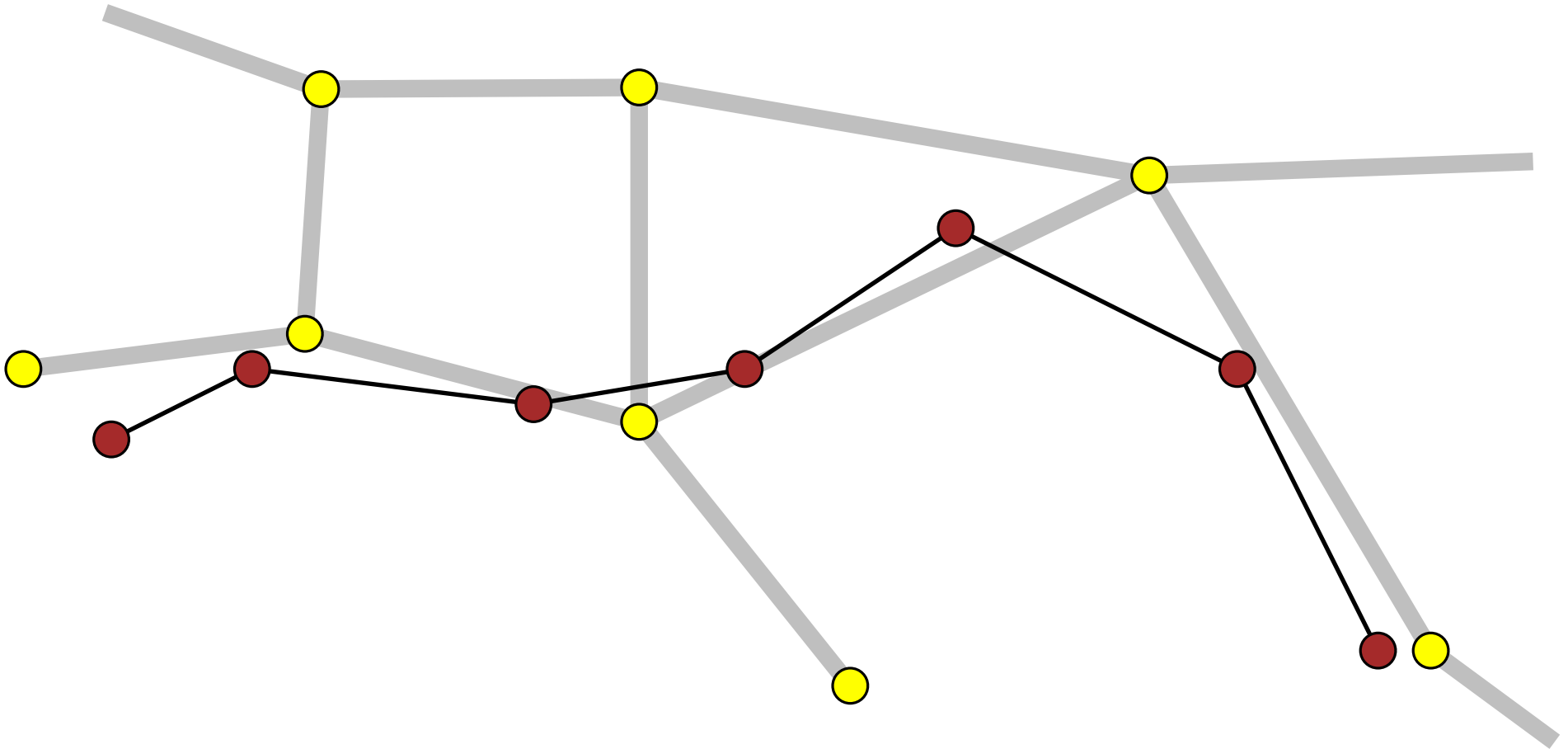
Was ist *map matching*?

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



Was ist *map matching*?

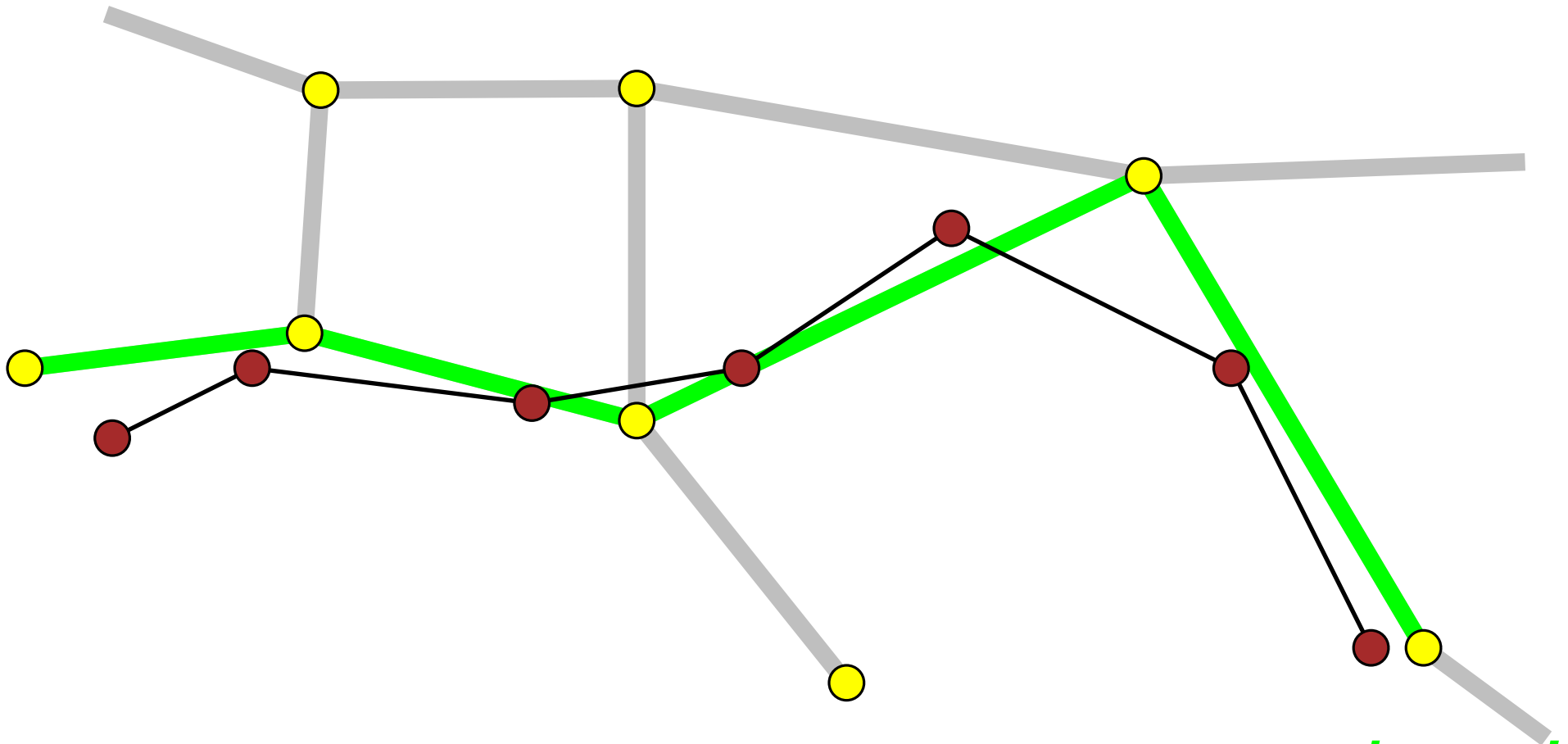
Das Problem, zu einer gegebenen Folge von Positionspunkten ...
... auf einer Straßenkarte den zurückgelegten Weg zu rekonstruieren.



Welcher ist der benutze Weg?

Was ist *map matching*?

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



Welcher ist der benutzte 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



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

off-line matching

Einsatz-Szenarien

on-line matching

- Trajektorie wächst
- Echtzeit-Geschwindigkeit



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

off-line matching



Einsatz-Szenarien

on-line matching

- Trajektorie wächst
- Echtzeit-Geschwindigkeit



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

off-line matching



Bildquelle: instants-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: instants-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



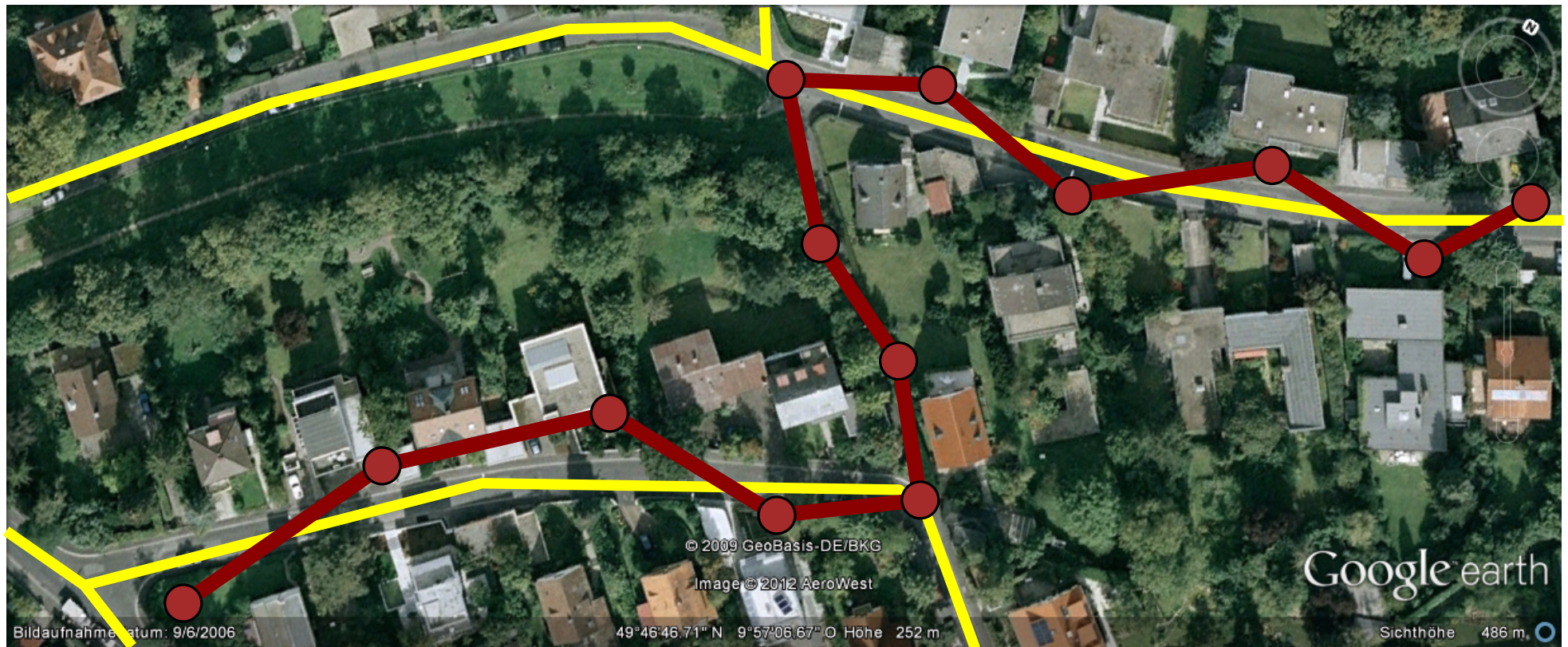
Bildquelle: instants-de-chine.net, Lou09

Einsatz-Szenarien

Matching auf unvollständigem Kartenmaterial

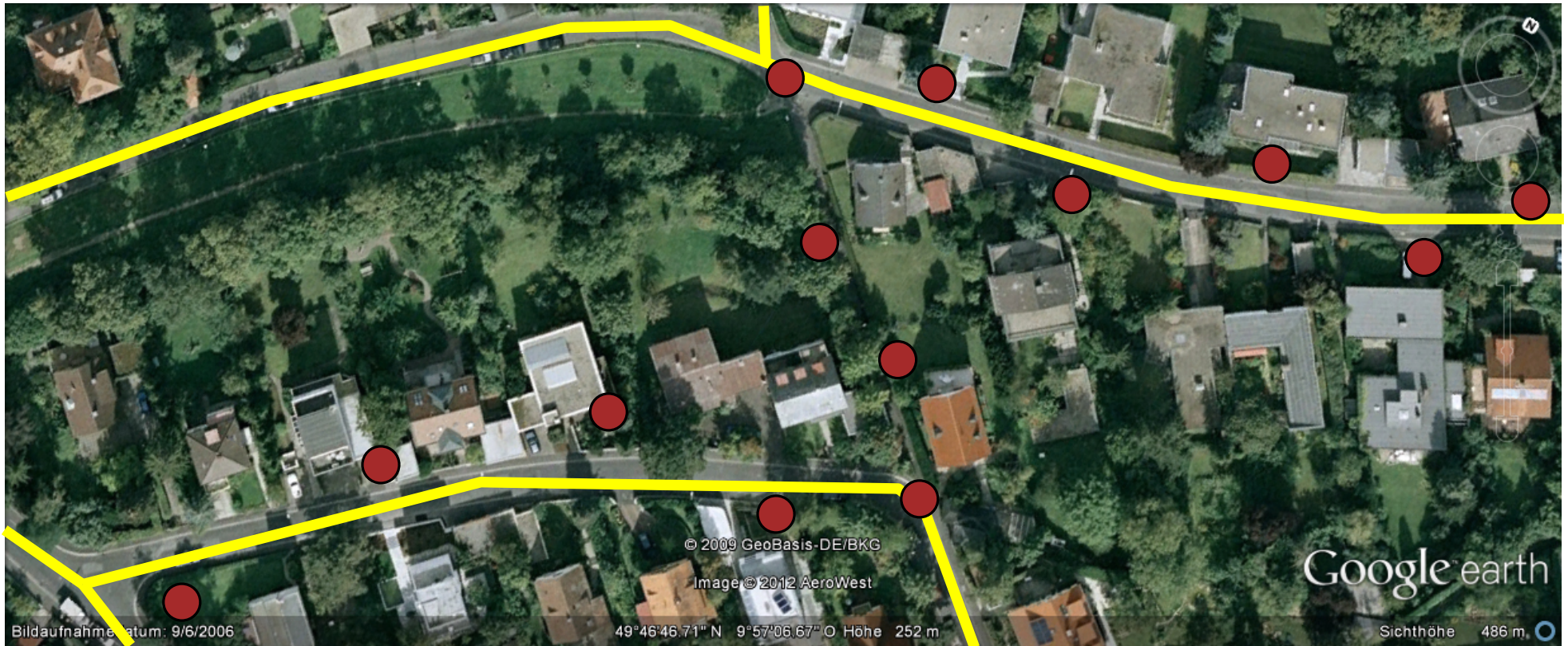
Einsatz-Szenarien

Matching auf unvollständigem Kartenmaterial



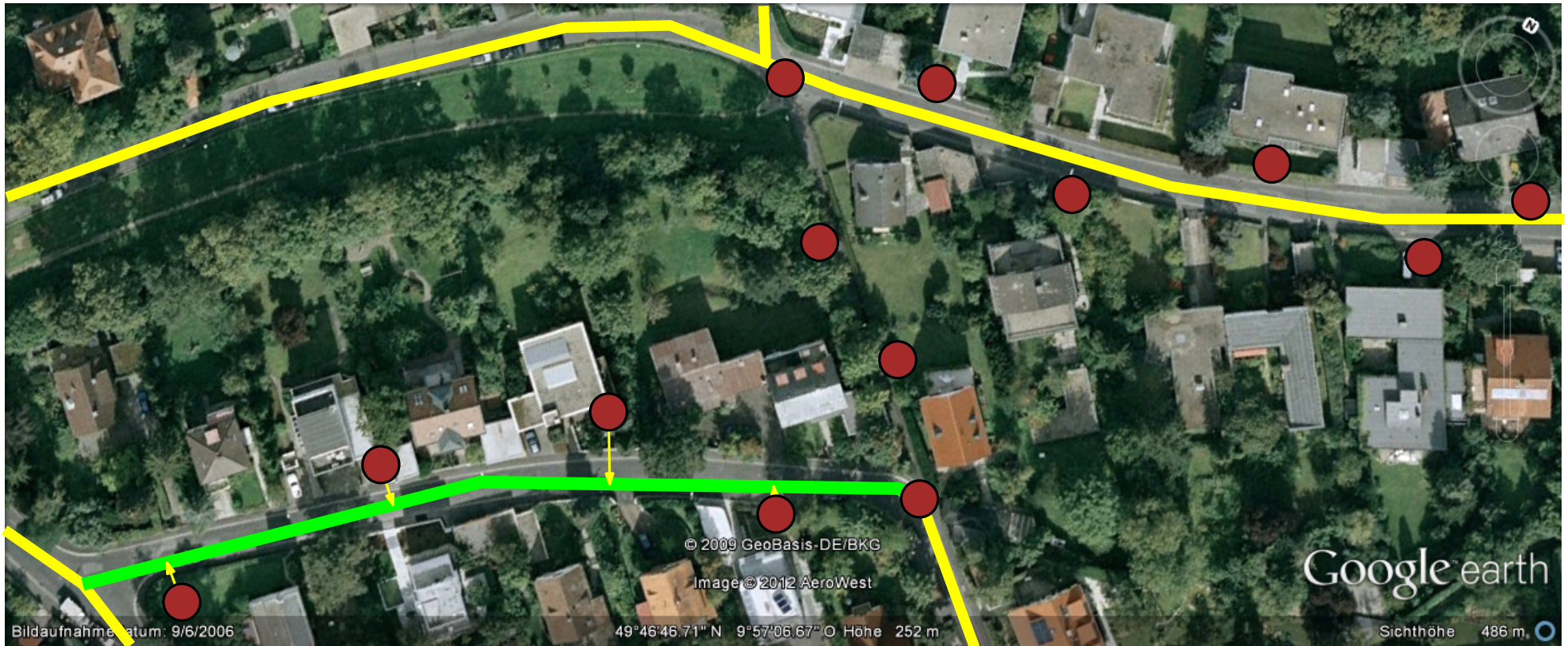
Einsatz-Szenarien

Matching auf unvollständigem Kartenmaterial



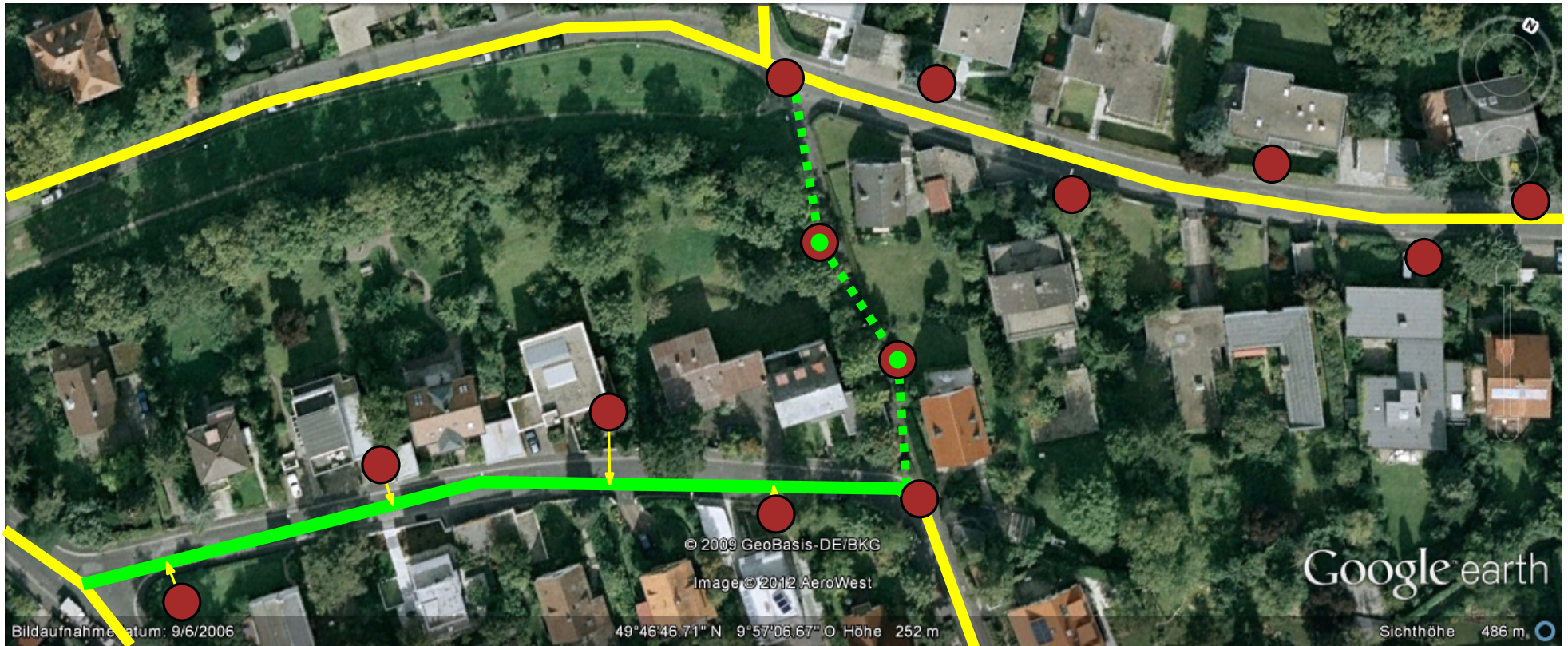
Einsatz-Szenarien

Matching auf unvollständigem Kartenmaterial



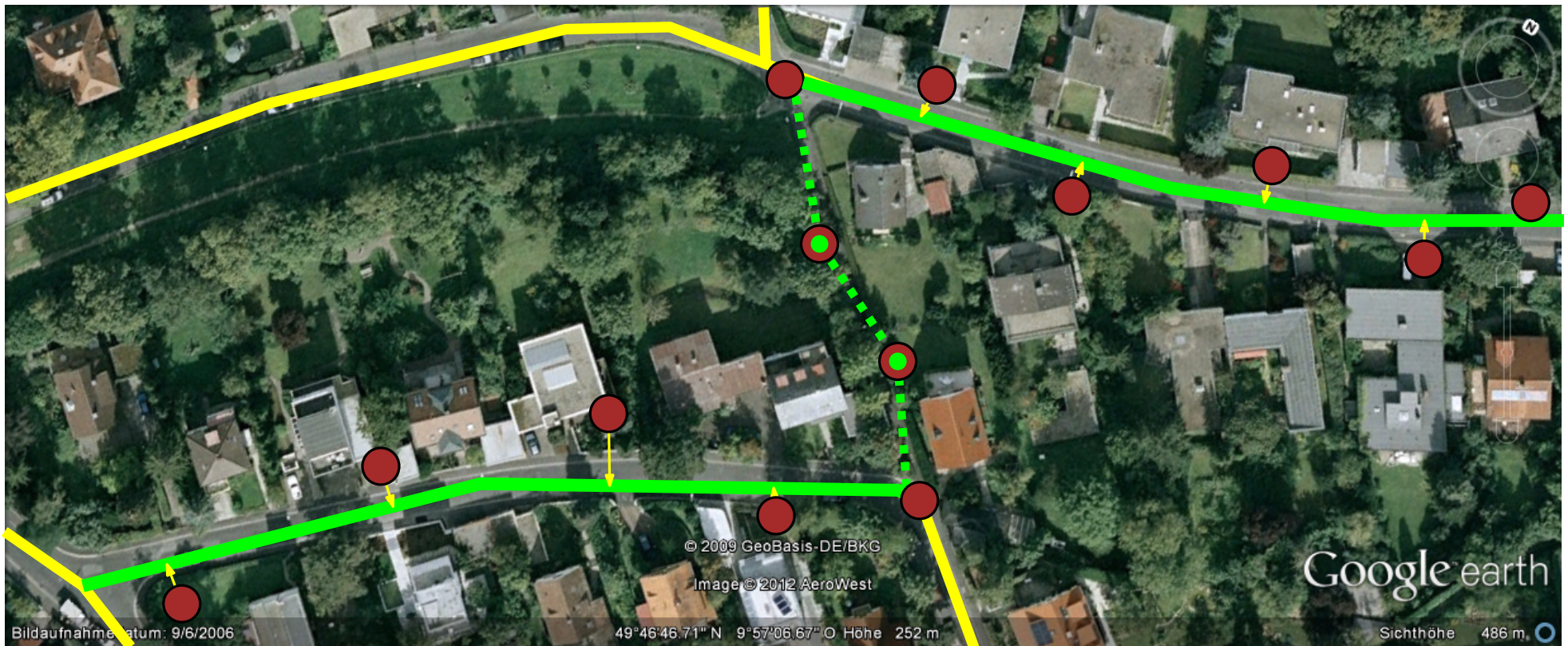
Einsatz-Szenarien

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



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

off-line matching

- Trajektorie komplett
- möglichst schnell

Chen et al. (2011): Fréchet-Distanz

Marchal et al. (2005): Kandidaten-
Pfade



Bildquelle: instants-de-chine.net, Lou09

Verwandte Arbeiten

off-line matching

- Trajektorie komplett
- möglichst schnell

Chen et al. (2011): Fréchet-Distanz

Marchal et al. (2005): Kandidaten-Pfade

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



Bildquelle: instants-de-chine.net, Lou09

Verwandte Arbeiten

off-line matching

- Trajektorie komplett
- möglichst schnell

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)



Bildquelle: instants-de-chine.net, Lou09

Verwandte Arbeiten

off-line matching

- Trajektorie komplett
- möglichst schnell

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)



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*

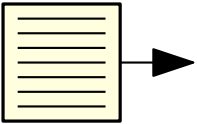
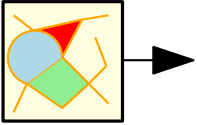


Bildquelle: gpsmagazine.com, auto-bild.de

Der Algorithmus von Lou et al. (2009)

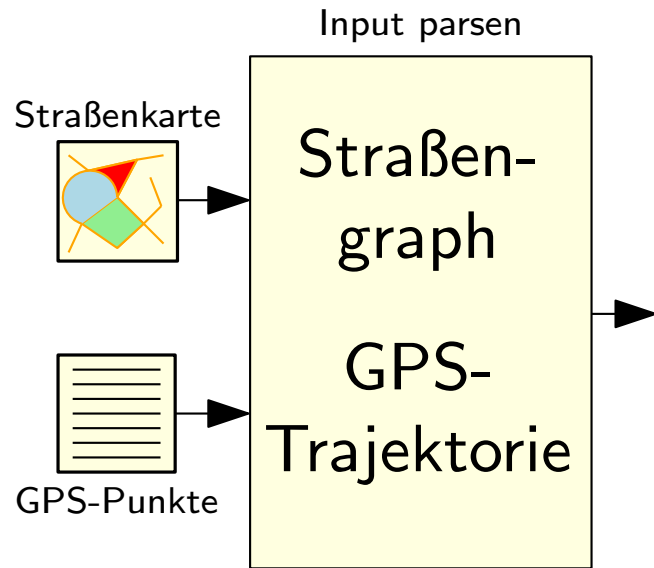
Der Algorithmus von Lou et al. (2009)

Straßenkarte

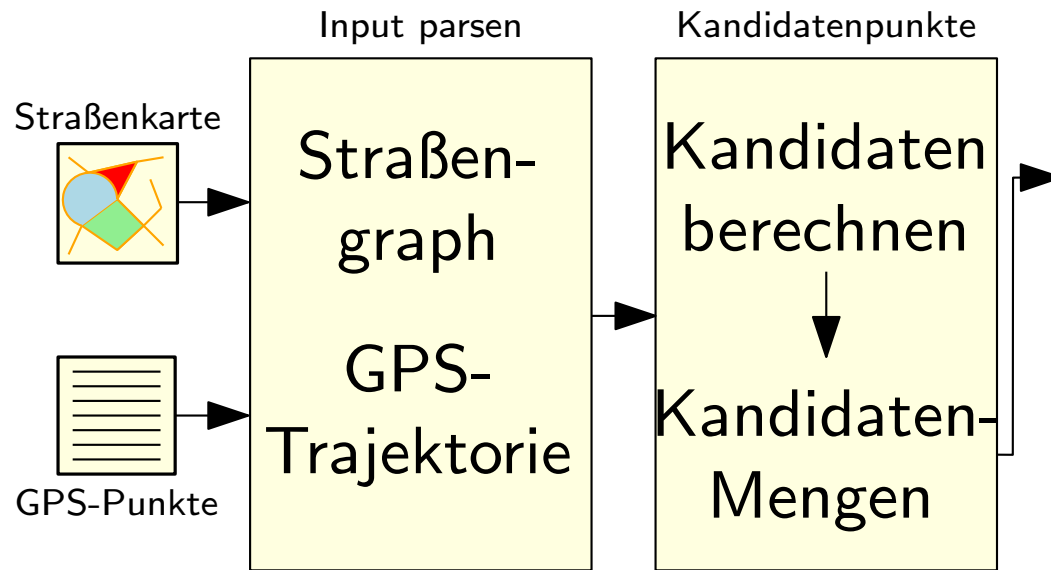


GPS-Punkte

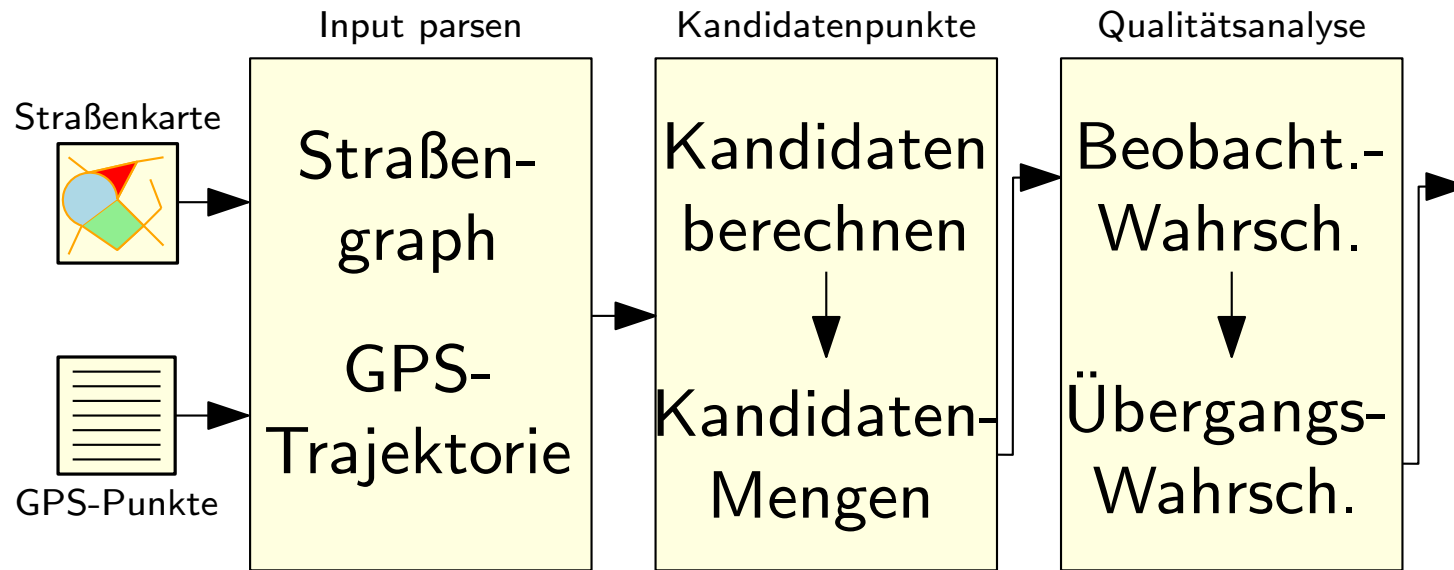
Der Algorithmus von Lou et al. (2009)



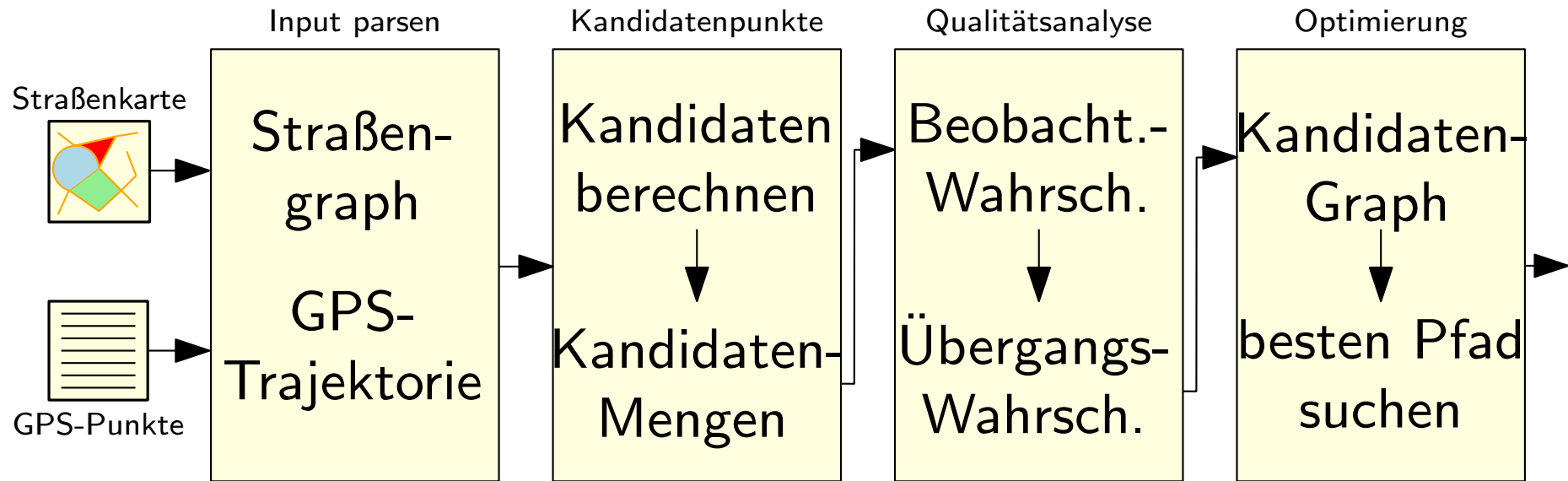
Der Algorithmus von Lou et al. (2009)



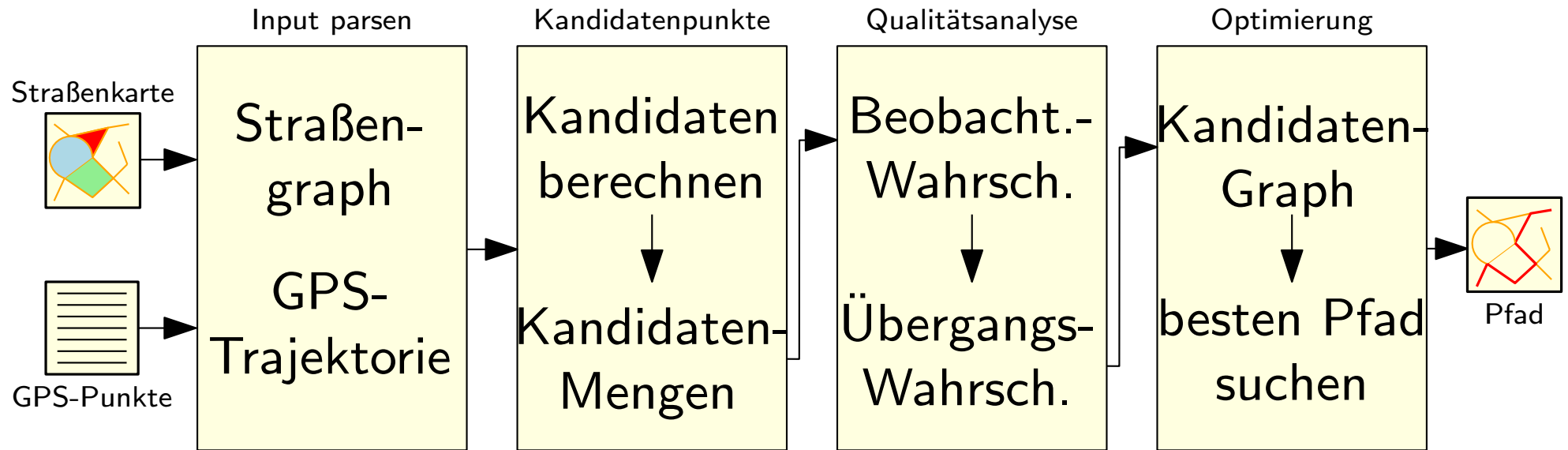
Der Algorithmus von Lou et al. (2009)



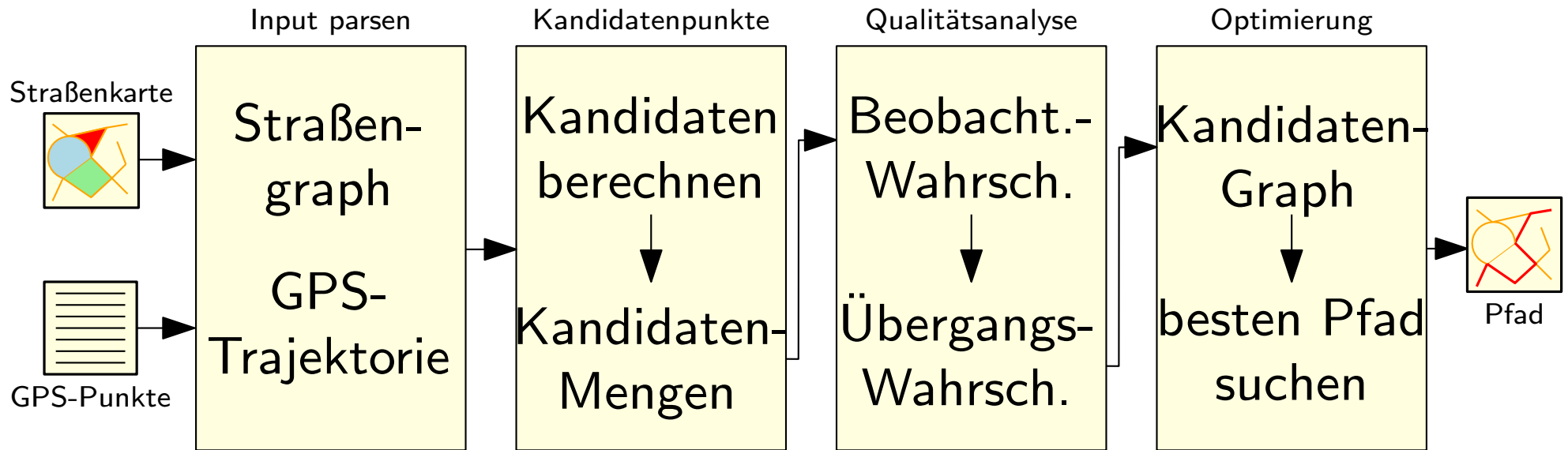
Der Algorithmus von Lou et al. (2009)



Der Algorithmus von Lou et al. (2009)

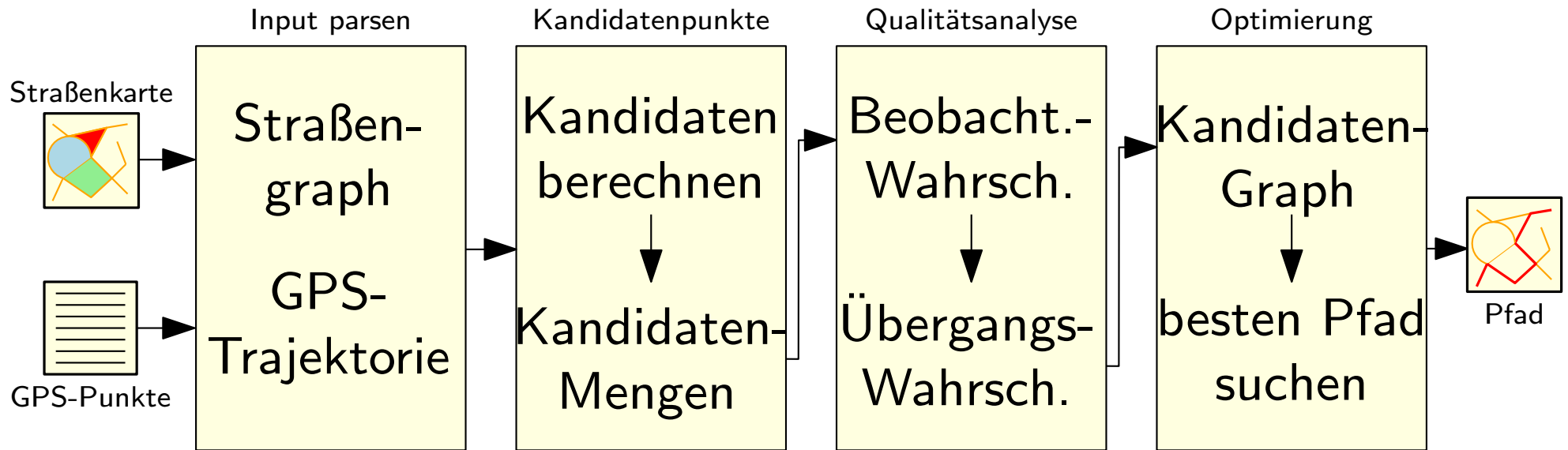


Der Algorithmus von Lou et al. (2009)



Vorteile für Weiterentwicklung:

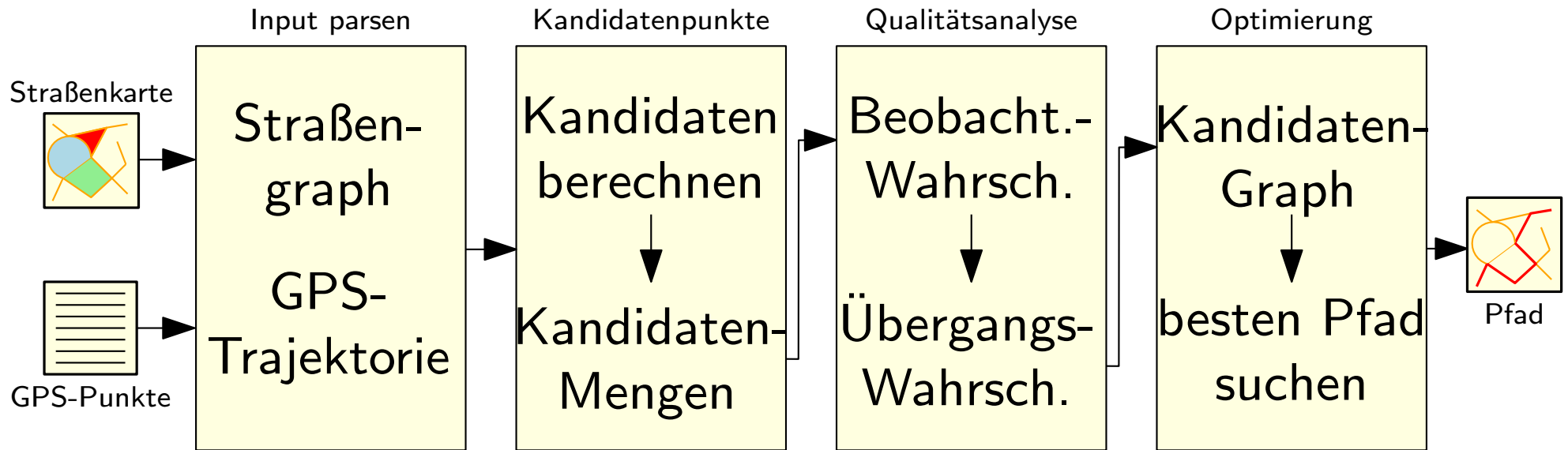
Der Algorithmus von Lou et al. (2009)



Vorteile für Weiterentwicklung:

- Modulare Grundstruktur

Der Algorithmus von Lou et al. (2009)



Vorteile für Weiterentwicklung:

- Modulare Grundstruktur
- Einbettung weiterer Qualitätskriterien möglich

Kandidatenpunkte

Kandidatenpunkte

Kandidatenpunkte

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:

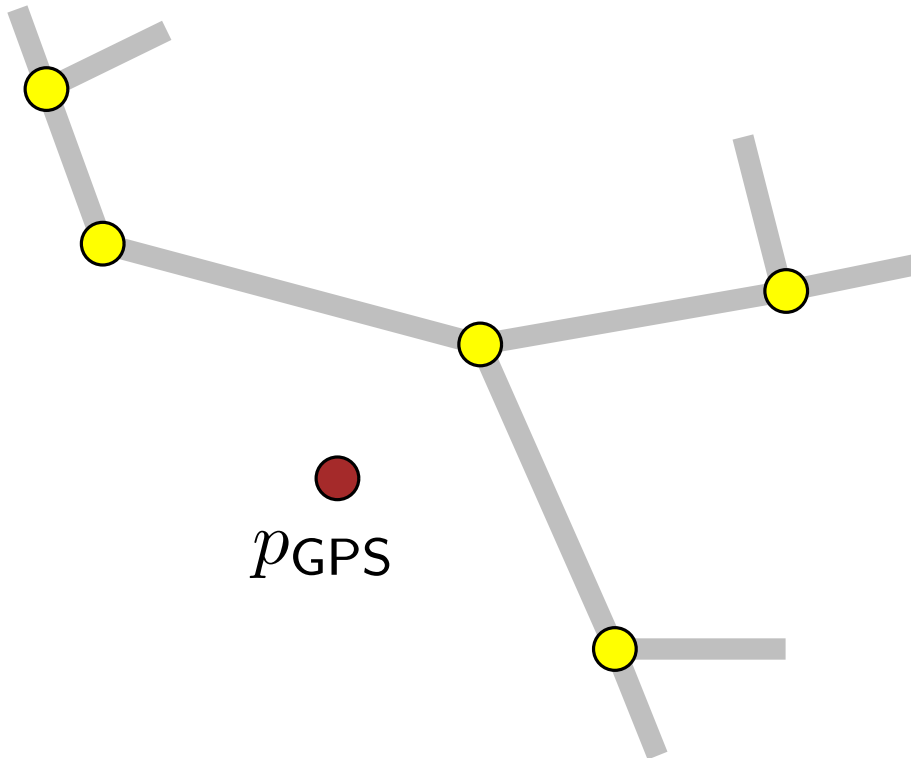
Finde zu jedem GPS-Punkt eine Menge möglicher Kandidatenpunkte!

Kandidatenpunkte

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

Problem:

Finde zu jedem GPS-Punkt eine Menge möglicher Kandidatenpunkte!

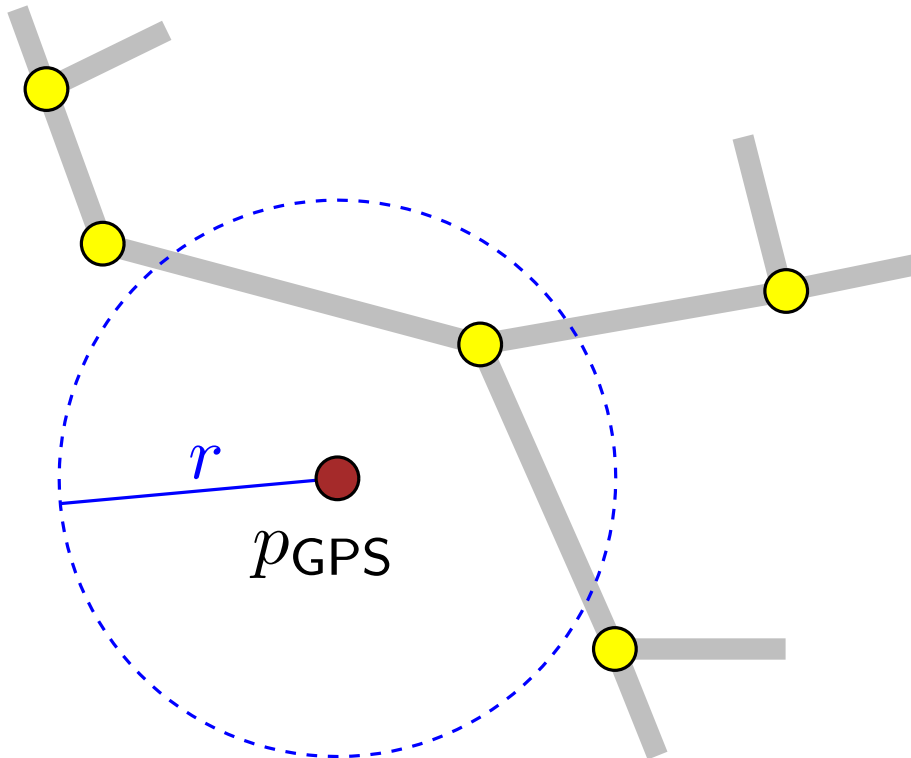


Kandidatenpunkte

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

Problem:

Finde zu jedem GPS-Punkt eine Menge möglicher Kandidatenpunkte!



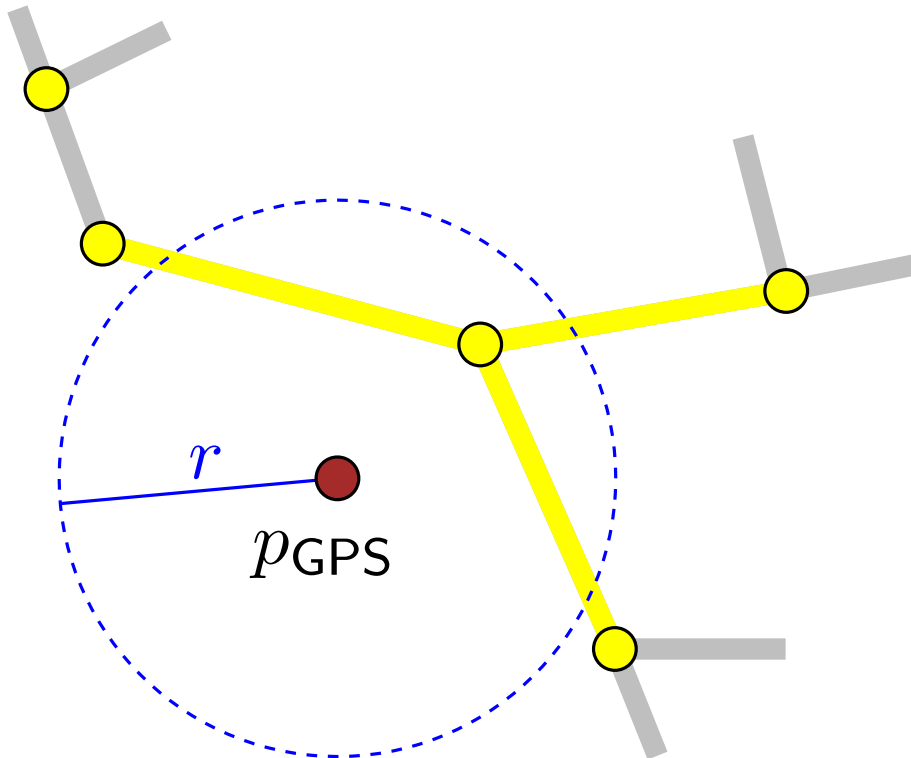
1. Suche nach Straßensegmenten innerhalb von r

Kandidatenpunkte

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

Problem:

Finde zu jedem GPS-Punkt eine Menge möglicher Kandidatenpunkte!



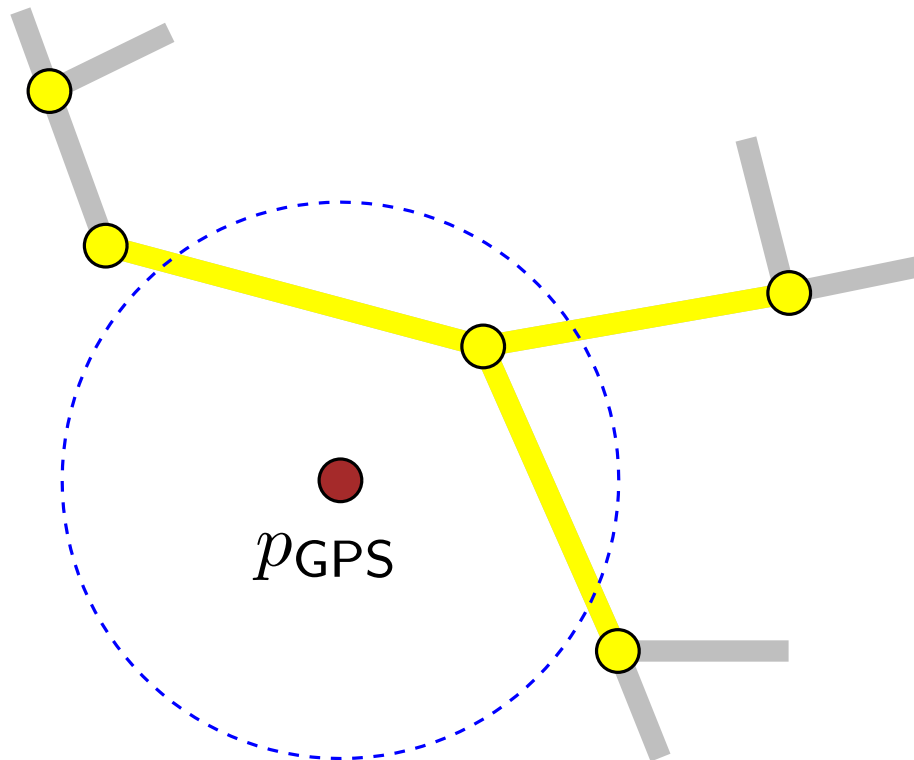
1. Suche nach Straßensegmenten innerhalb von r

Kandidatenpunkte

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

Problem:

Finde zu jedem GPS-Punkt eine Menge möglicher Kandidatenpunkte!



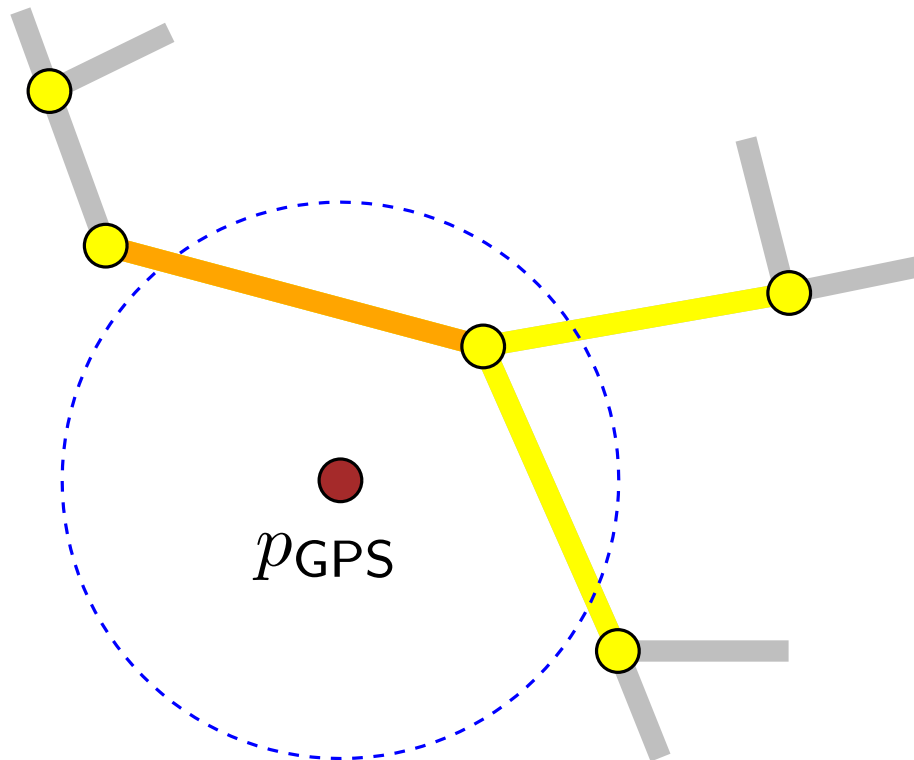
1. Suche nach Straßensegmenten innerhalb von r
2. Senkrechte Projektion, um jeweils den Punkt mit geringstem Abstand zu finden

Kandidatenpunkte

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

Problem:

Finde zu jedem GPS-Punkt eine Menge möglicher Kandidatenpunkte!



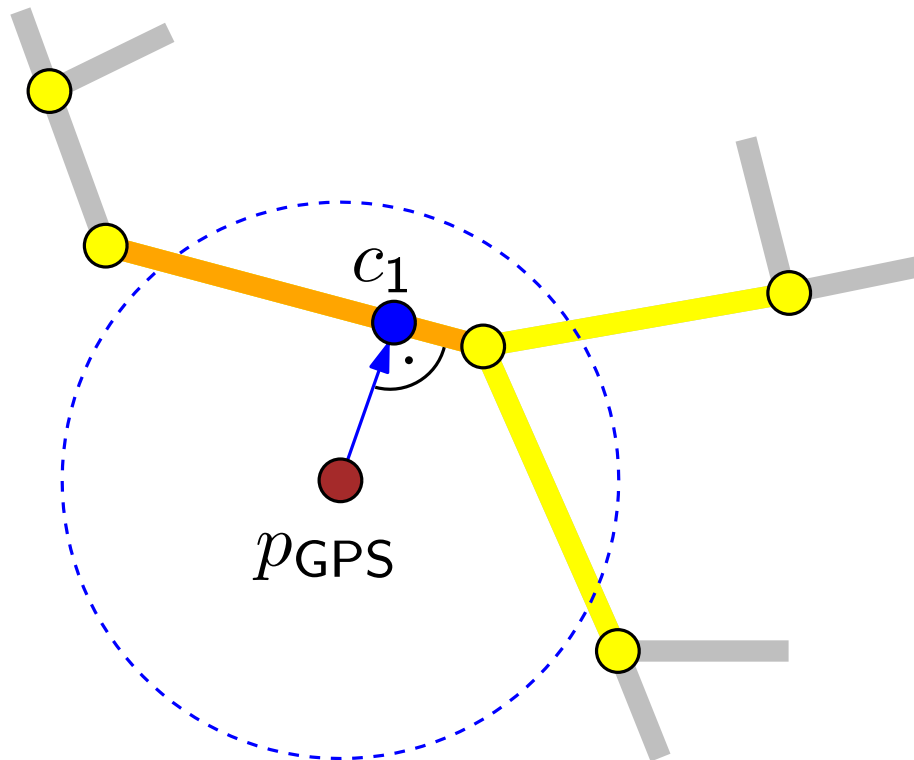
1. Suche nach Straßensegmenten innerhalb von r
2. Senkrechte Projektion, um jeweils den Punkt mit geringstem Abstand zu finden

Kandidatenpunkte

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

Problem:

Finde zu jedem GPS-Punkt eine Menge möglicher Kandidatenpunkte!



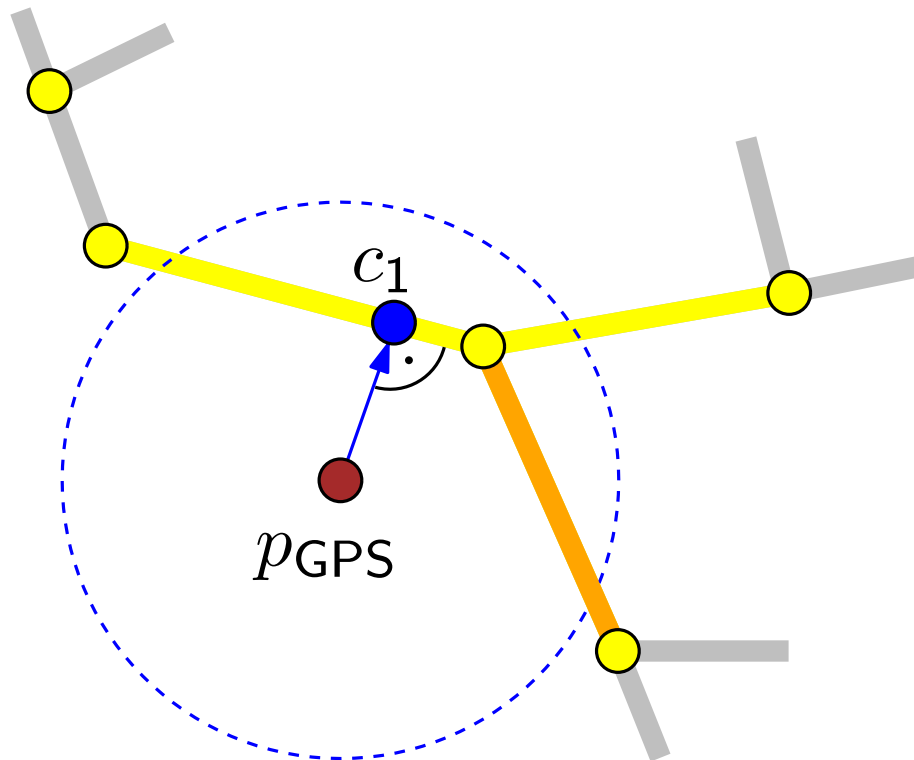
1. Suche nach Straßensegmenten innerhalb von r
2. Senkrechte Projektion, um jeweils den Punkt mit geringstem Abstand zu finden

Kandidatenpunkte

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

Problem:

Finde zu jedem GPS-Punkt eine Menge möglicher Kandidatenpunkte!



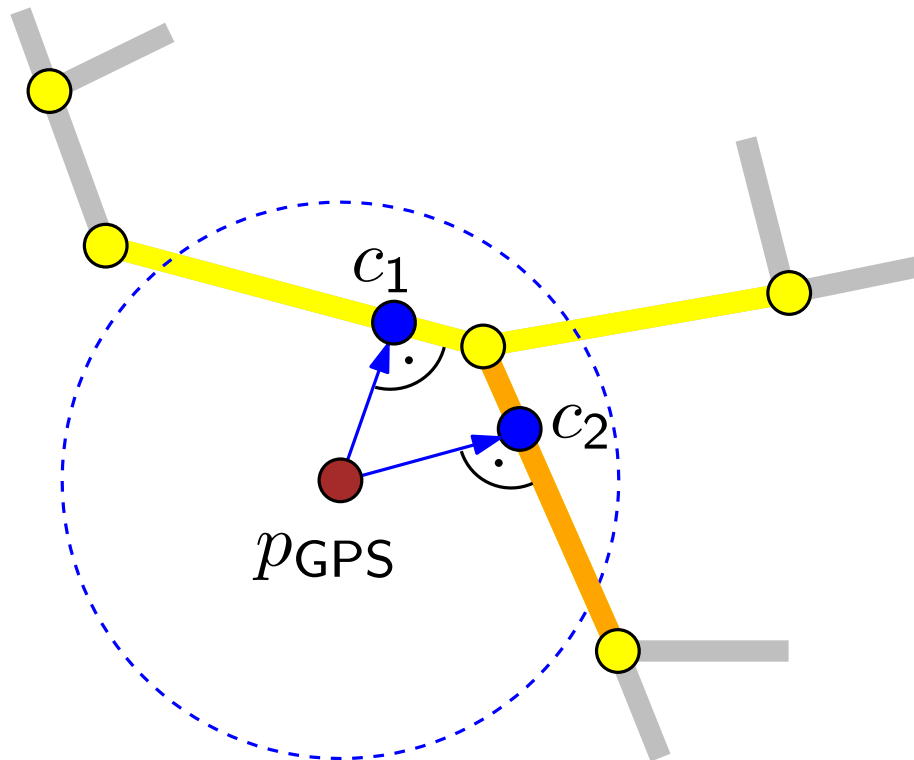
1. Suche nach Straßensegmenten innerhalb von r
2. Senkrechte Projektion, um jeweils den Punkt mit geringstem Abstand zu finden

Kandidatenpunkte

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

Problem:

Finde zu jedem GPS-Punkt eine Menge möglicher Kandidatenpunkte!



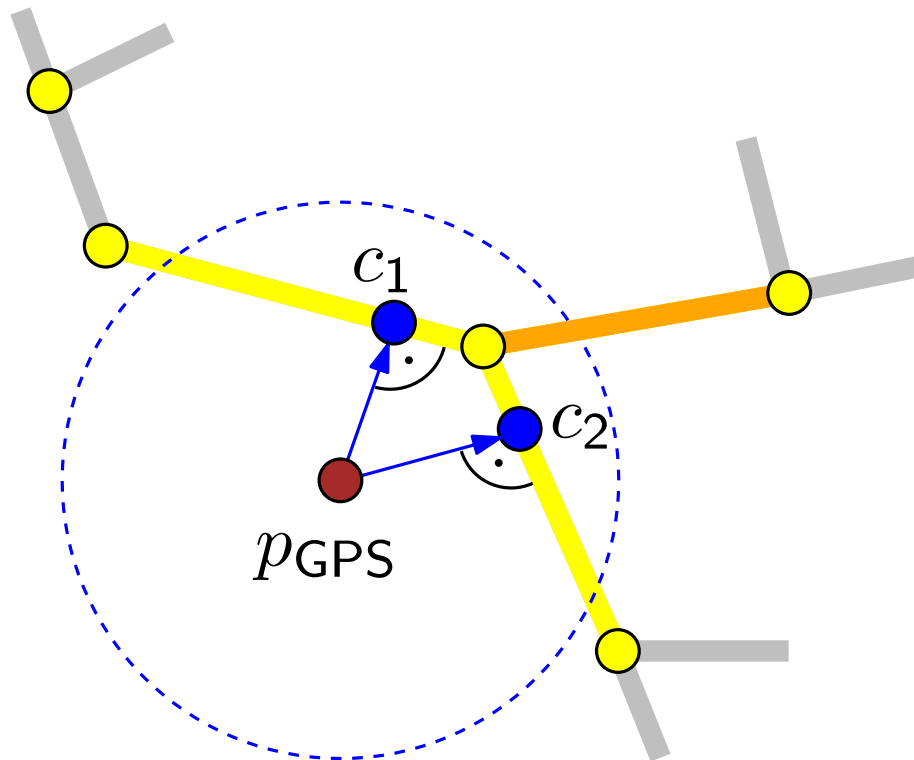
1. Suche nach Straßensegmenten innerhalb von r
2. Senkrechte Projektion, um jeweils den Punkt mit geringstem Abstand zu finden

Kandidatenpunkte

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

Problem:

Finde zu jedem GPS-Punkt eine Menge möglicher Kandidatenpunkte!



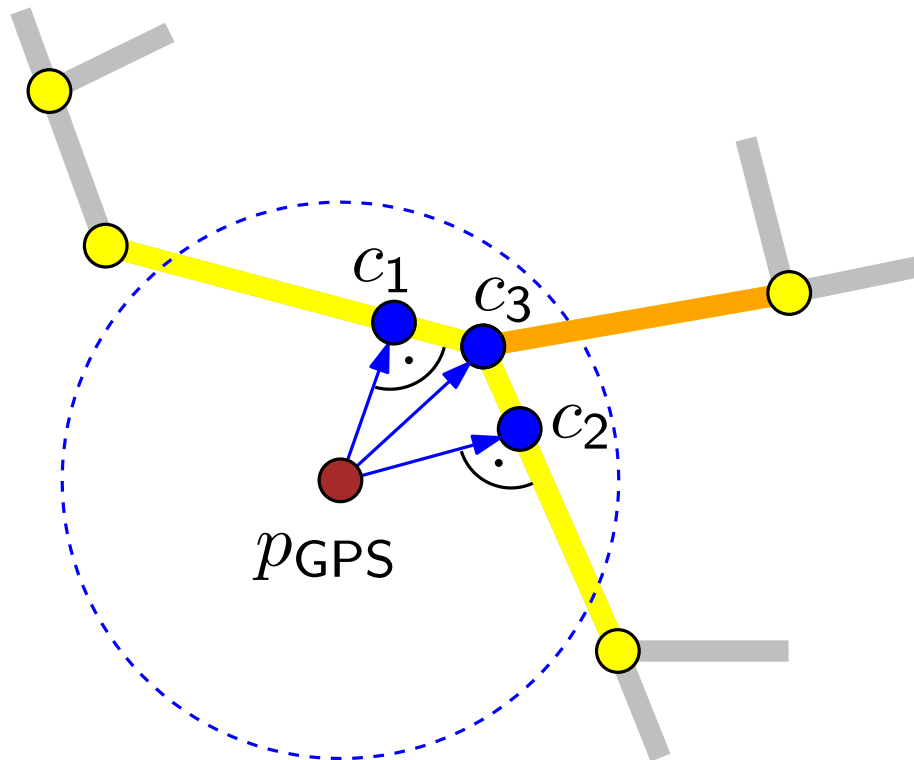
1. Suche nach Straßensegmenten innerhalb von r
2. Senkrechte Projektion, um jeweils den Punkt mit geringstem Abstand zu finden

Kandidatenpunkte

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

Problem:

Finde zu jedem GPS-Punkt eine Menge möglicher Kandidatenpunkte!



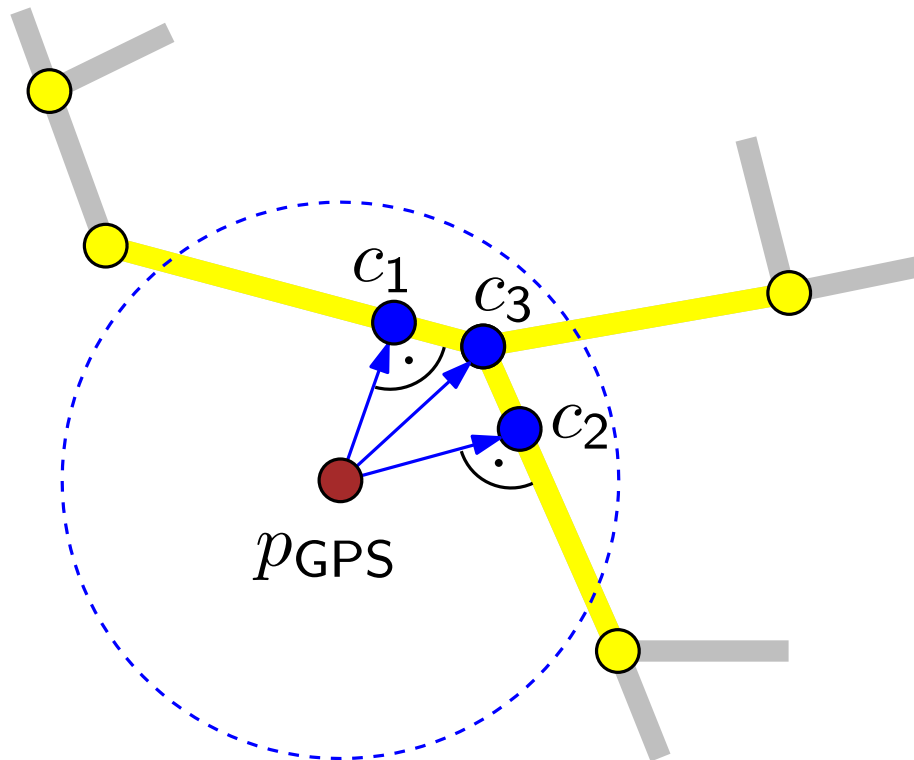
1. Suche nach Straßensegmenten innerhalb von r
2. Senkrechte Projektion, um jeweils den Punkt mit geringstem Abstand zu finden

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

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:

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

- $x_j^i = \text{dist}(c_j^i, p_{\text{GPS}}^j)$
- 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:

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

Euklidischer Abstand



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

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:

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

Euklidischer Abstand

- $x_j^i = \text{dist}(c_j^i, p_{\text{GPS}}^j)$
- 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

Euklidischer Abstand

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

- $d_{(i-1) \rightarrow i} = \text{dist}(p_{\text{GPS}}^{i-1}, p_{\text{GPS}}^i)$
- $w_{(j,i-1) \rightarrow (k,i)}$: 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

Euklidischer Abstand

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

• $d_{(i-1) \rightarrow i} = \text{dist}(p_{\text{GPS}}^{i-1}, p_{\text{GPS}}^i)$

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

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

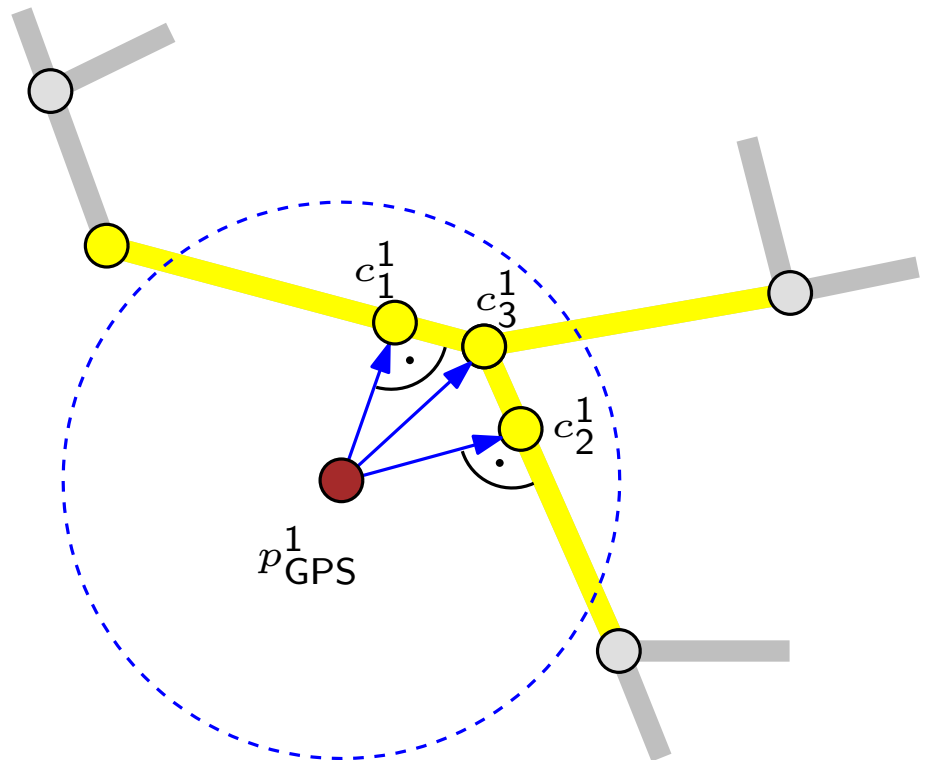
$$N(c^1) \cdot V(c^1 \rightarrow c^2) \cdot N(c^2) \cdot \dots \cdot N(c^{n-1}) \cdot V(c^{n-1} \rightarrow c^n) \cdot N(c^n)$$

maximal ist.

Optimierung

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

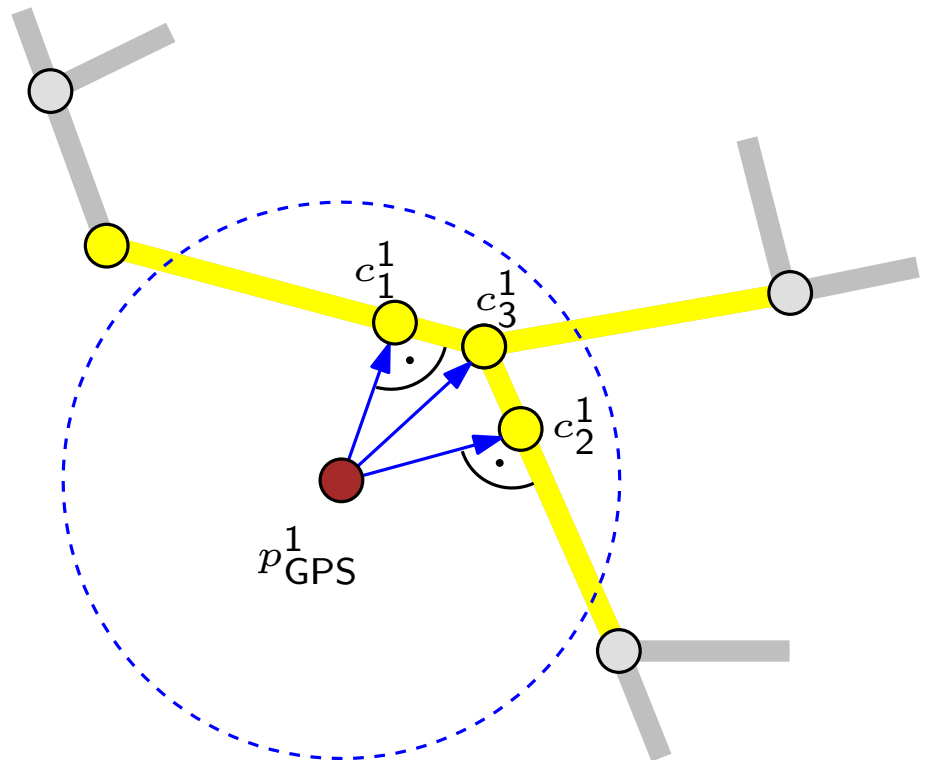
Also: $c^1 \rightarrow c^2 \rightarrow \dots \rightarrow c^n$ mit $c^i \in C^i$ sodass
 $N(c^1) \cdot V(c^1 \rightarrow c^2) \cdot N(c^2) \cdot \dots \cdot N(c^{n-1}) \cdot V(c^{n-1} \rightarrow c^n) \cdot N(c^n)$
maximal ist.



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.



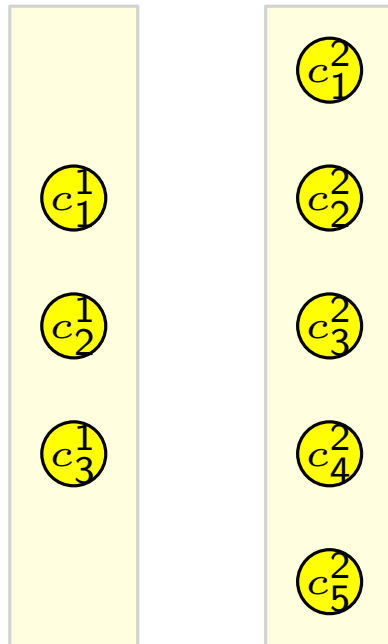
Optimierung

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.



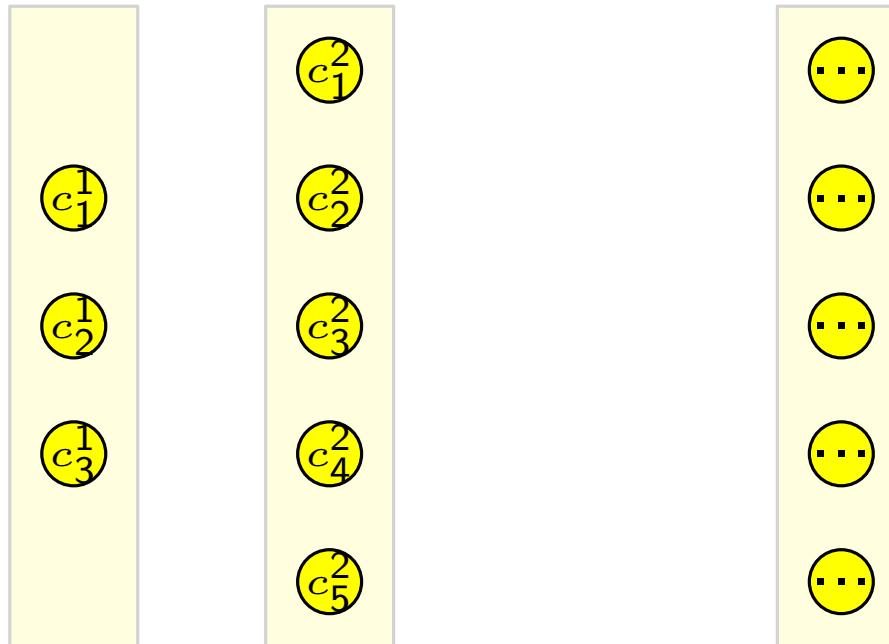
Optimierung

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.



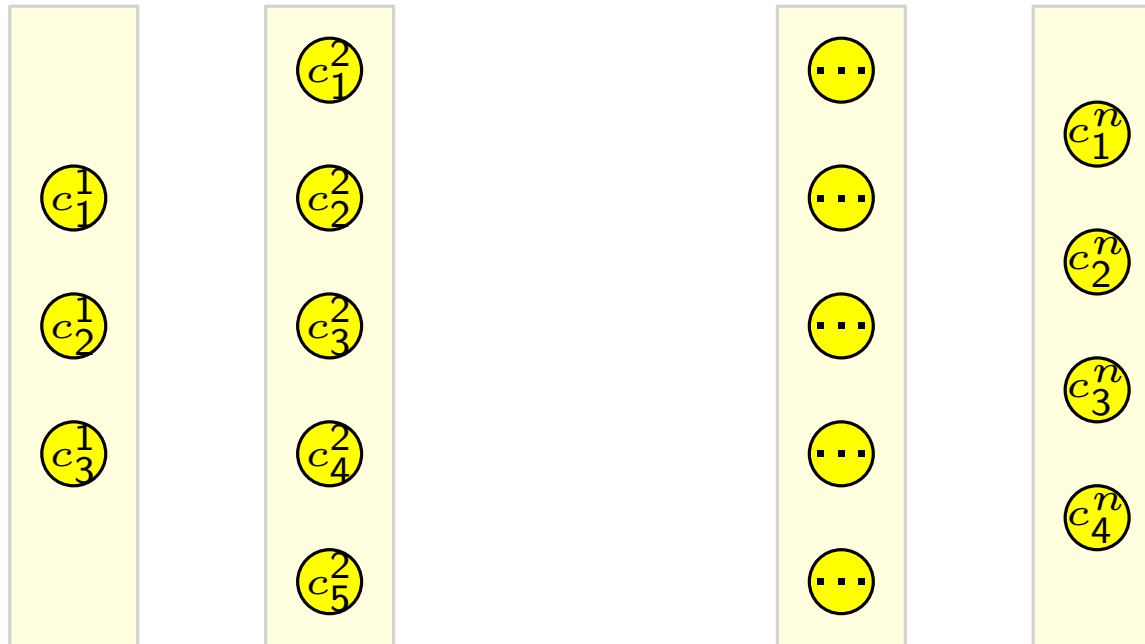
Optimierung

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

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

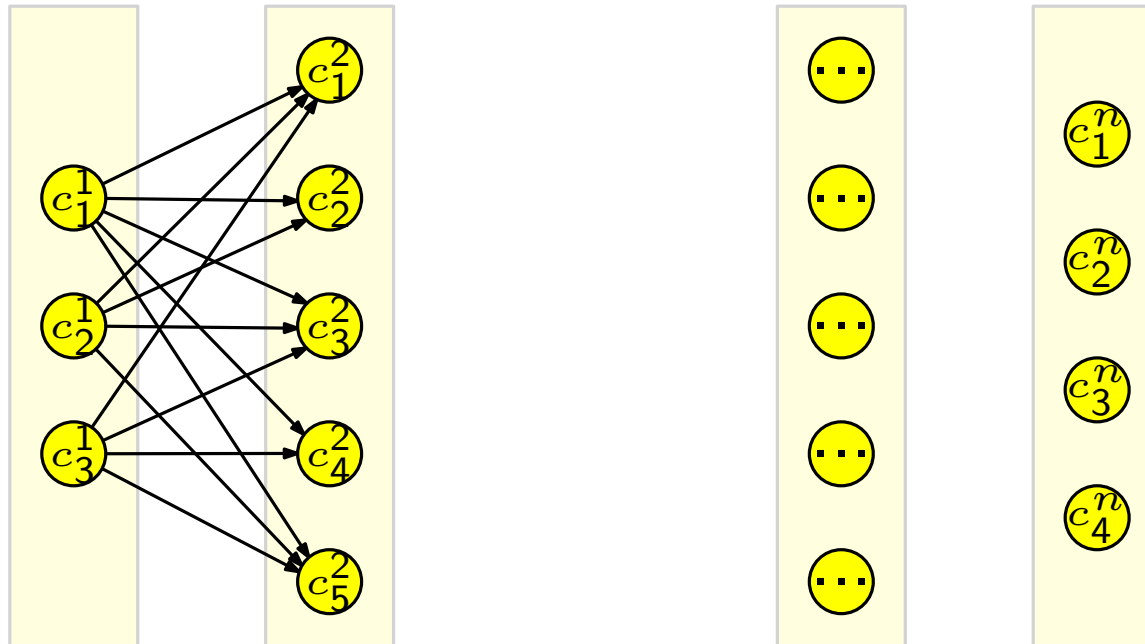
maximal ist.



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.



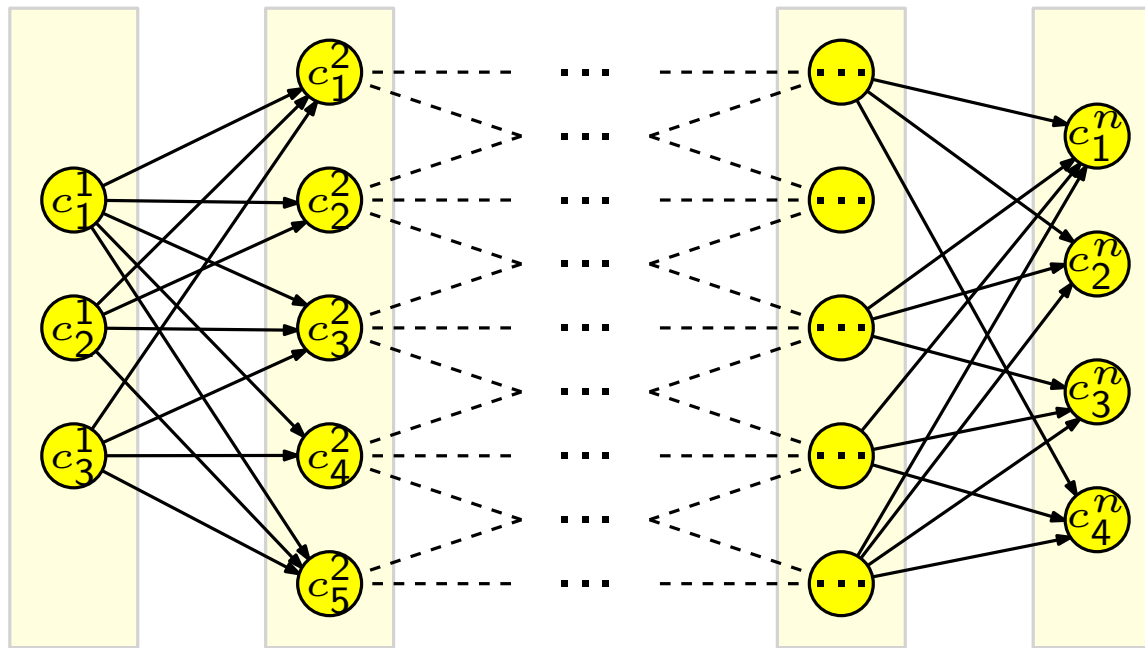
Optimierung

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

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

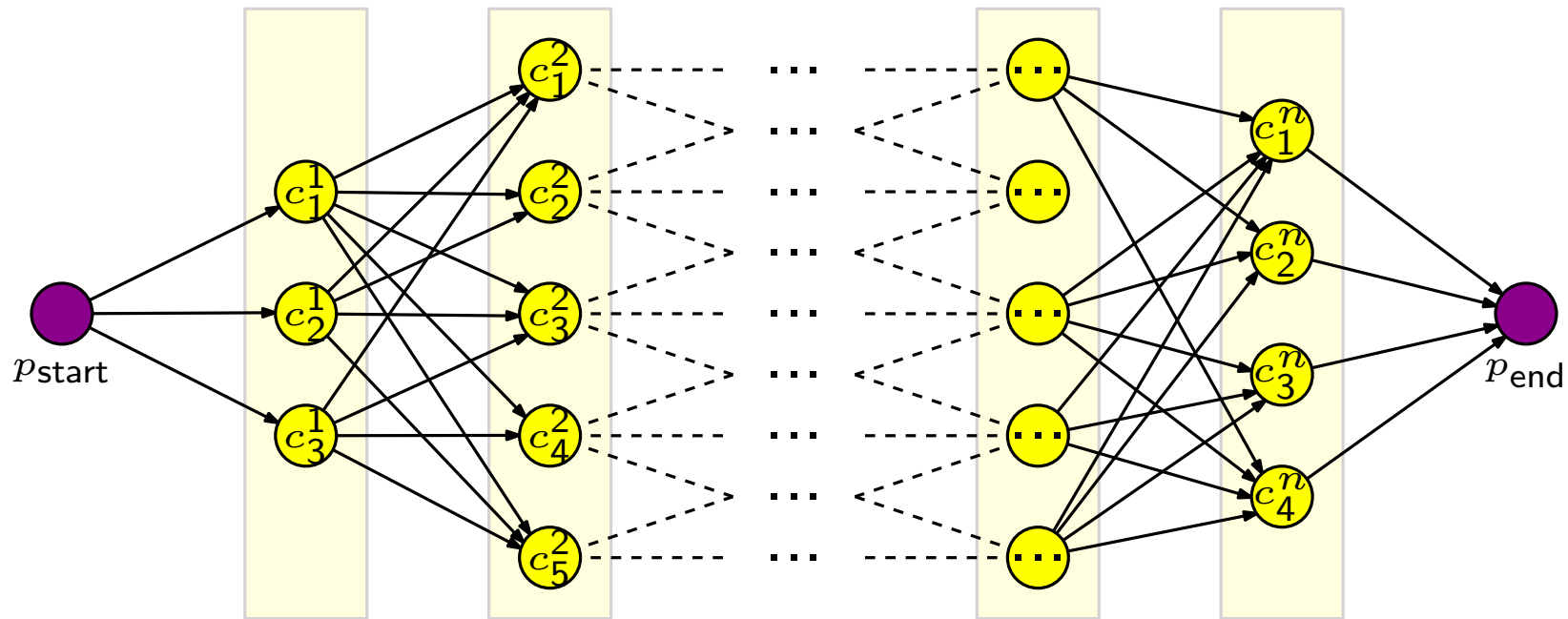
maximal ist.



Optimierung

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

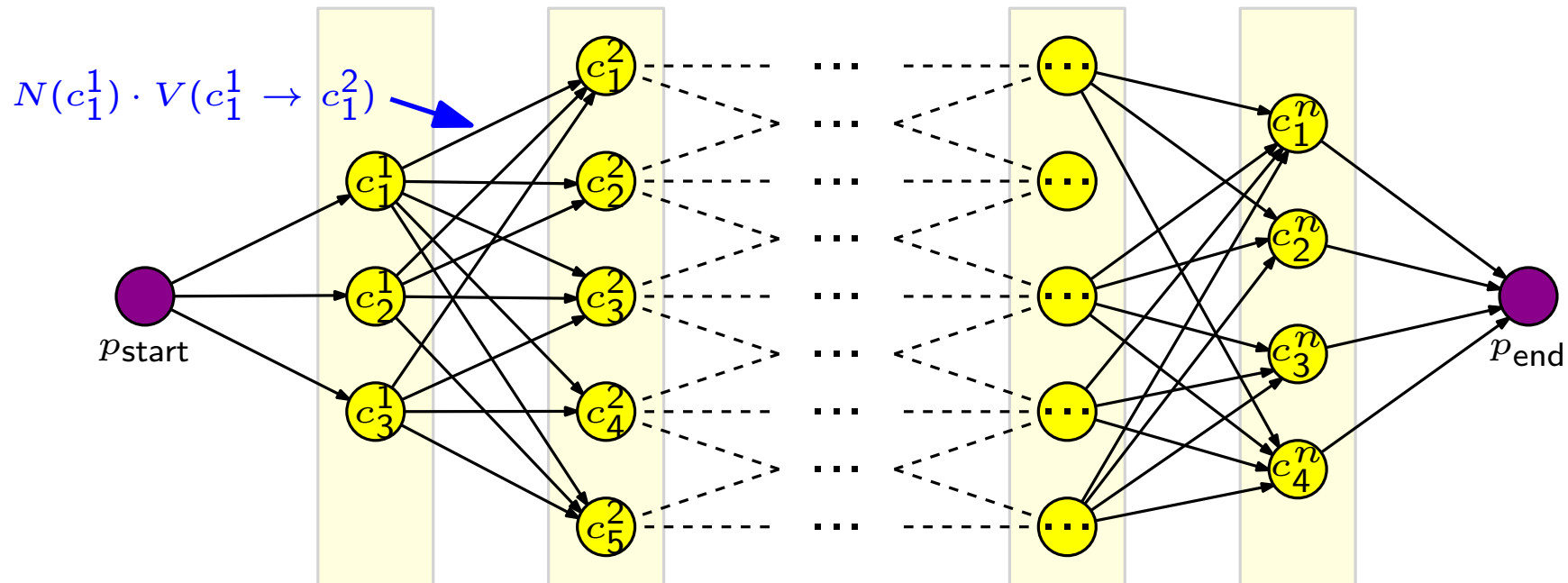
Also: $c^1 \rightarrow c^2 \rightarrow \dots \rightarrow c^n$ mit $c^i \in C^i$ sodass
 $N(c^1) \cdot V(c^1 \rightarrow c^2) \cdot N(c^2) \cdot \dots \cdot N(c^{n-1}) \cdot V(c^{n-1} \rightarrow c^n) \cdot N(c^n)$
maximal ist.



Optimierung

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

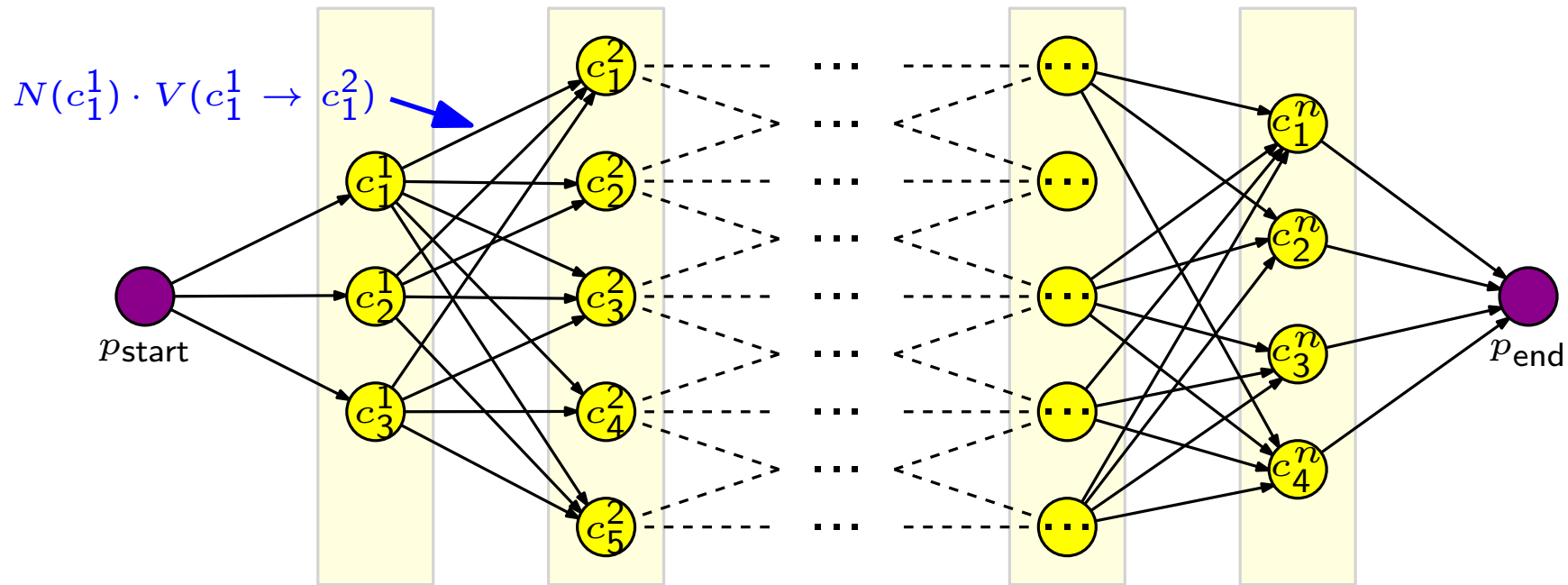
Also: $c^1 \rightarrow c^2 \rightarrow \dots \rightarrow c^n$ mit $c^i \in C^i$ sodass
 $N(c^1) \cdot V(c^1 \rightarrow c^2) \cdot N(c^2) \cdot \dots \cdot N(c^{n-1}) \cdot V(c^{n-1} \rightarrow c^n) \cdot N(c^n)$
maximal ist.



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

Die Übergangs-WSK P_{ij} sind die Wahrscheinlichkeiten, dass ein System von Zustand i zu Zustand j übergeht. Die Übergangs-WSK sind durch die Bedingung $\sum_j P_{ij} = 1$ für alle i charakterisiert.

Die Übergangs-WSK sind durch die Bedingung $\sum_j P_{ij} = 1$ für alle i charakterisiert. Die Übergangs-WSK sind durch die Bedingung $\sum_j P_{ij} = 1$ für alle i charakterisiert.

Die Übergangs-WSK sind durch die Bedingung $\sum_j P_{ij} = 1$ für alle i charakterisiert. Die Übergangs-WSK sind durch die Bedingung $\sum_j P_{ij} = 1$ für alle i charakterisiert.

Die Übergangs-WSK sind durch die Bedingung $\sum_j P_{ij} = 1$ für alle i charakterisiert. Die Übergangs-WSK sind durch die Bedingung $\sum_j P_{ij} = 1$ für alle i charakterisiert.

Die Übergangs-WSK sind durch die Bedingung $\sum_j P_{ij} = 1$ für alle i charakterisiert. Die Übergangs-WSK sind durch die Bedingung $\sum_j P_{ij} = 1$ für alle i charakterisiert.

Die Übergangs-WSK sind durch die Bedingung $\sum_j P_{ij} = 1$ für alle i charakterisiert. Die Übergangs-WSK sind durch die Bedingung $\sum_j P_{ij} = 1$ für alle i charakterisiert.

Die Übergangs-WSK sind durch die Bedingung $\sum_j P_{ij} = 1$ für alle i charakterisiert. Die Übergangs-WSK sind durch die Bedingung $\sum_j P_{ij} = 1$ für alle i charakterisiert.

Normalisierung der Übergangs-WSK

Lou et al. (2009) definierten die Übergangswahrscheinlichkeit als

Normalisierung der Übergangs-WSK

Lou et al. (2009) definierten die Übergangswahrscheinlichkeit als

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

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

Normalisierung der Übergangs-WSK

Lou et al. (2009) definierten die Übergangswahrscheinlichkeit als

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

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

Problem:

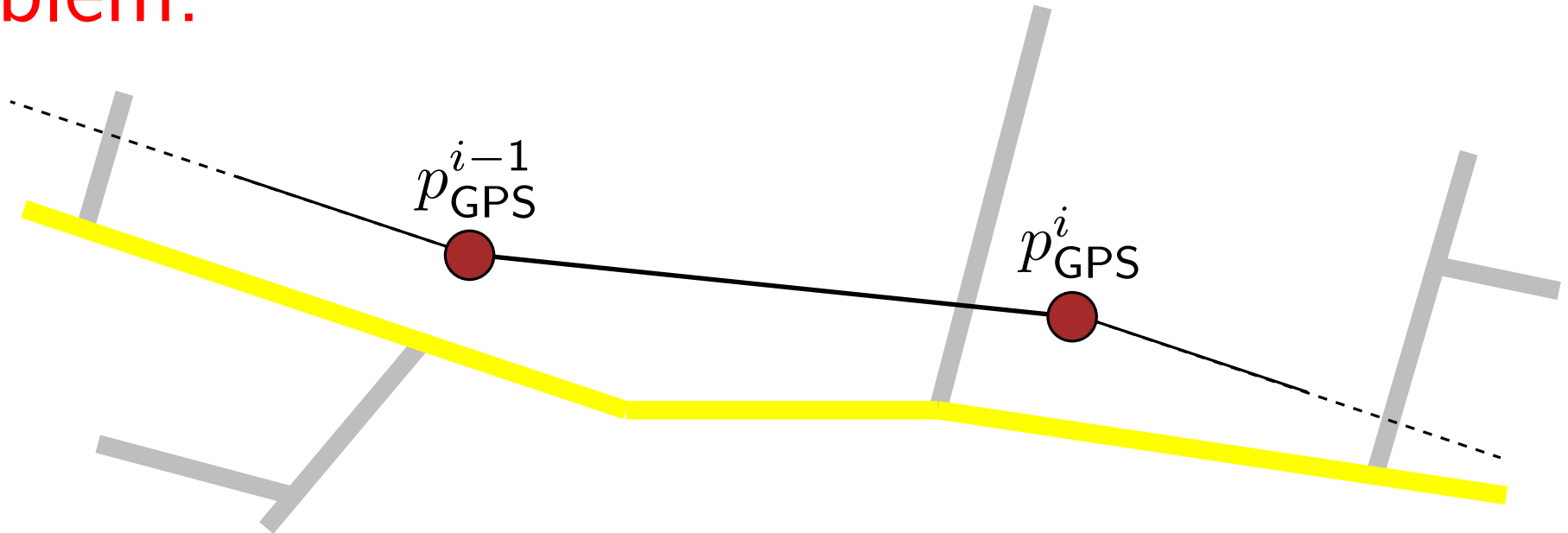
Normalisierung der Übergangs-WSK

Lou et al. (2009) definierten die Übergangswahrscheinlichkeit als

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

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

Problem:



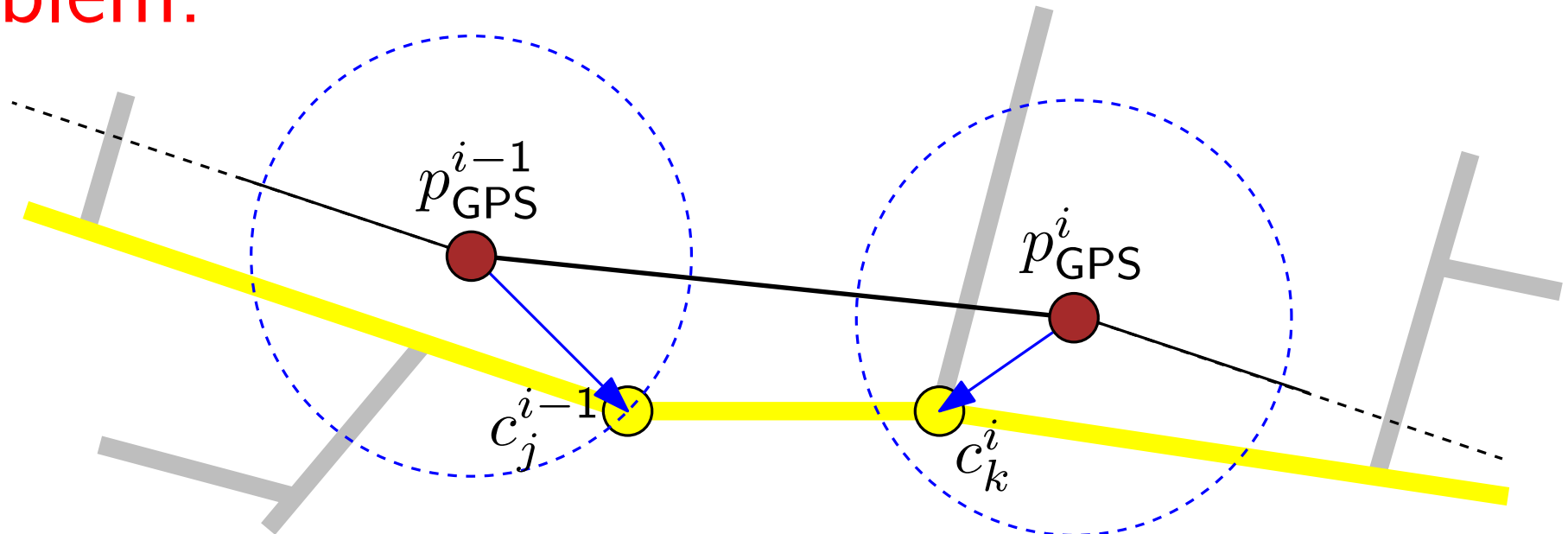
Normalisierung der Übergangs-WSK

Lou et al. (2009) definierten die Übergangswahrscheinlichkeit als

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

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

Problem:



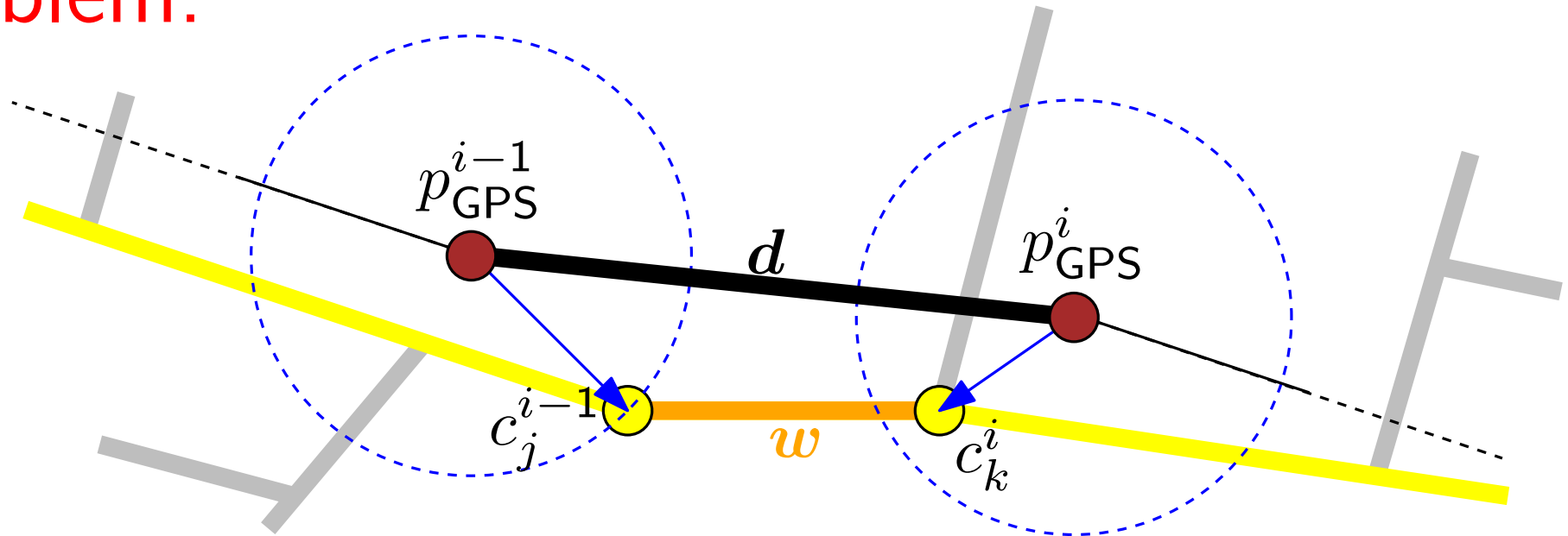
Normalisierung der Übergangs-WSK

Lou et al. (2009) definierten die Übergangswahrscheinlichkeit als

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

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

Problem:



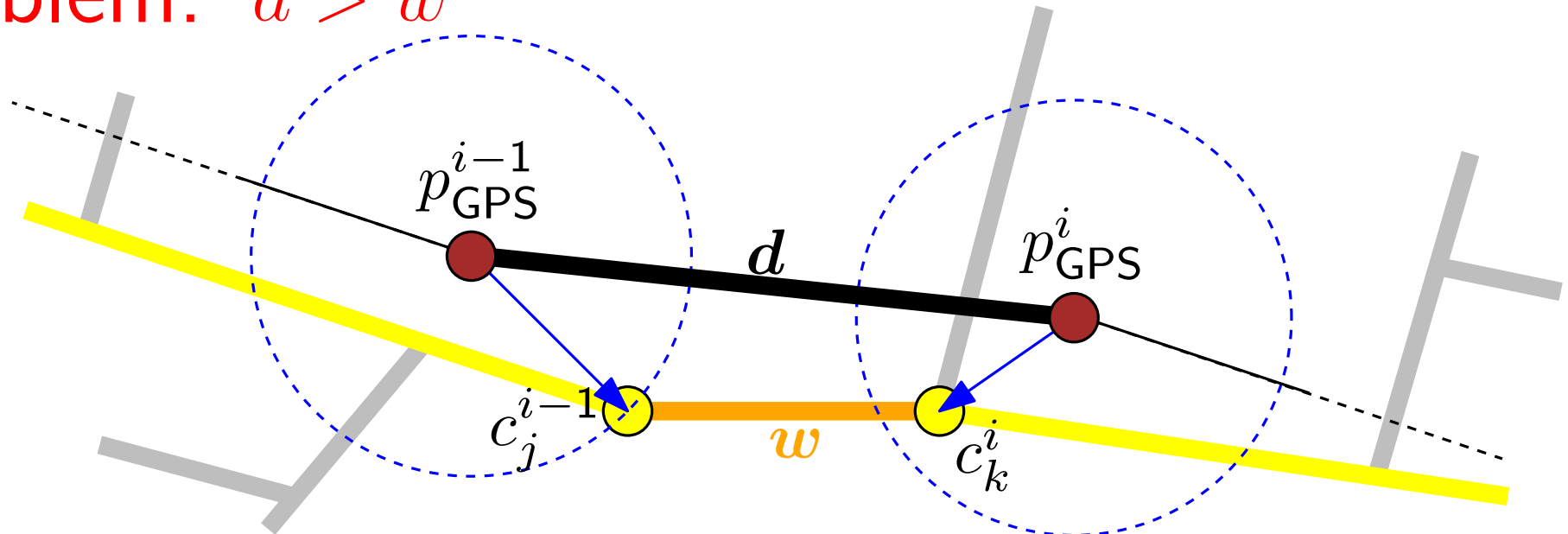
Normalisierung der Übergangs-WSK

Lou et al. (2009) definierten die Übergangswahrscheinlichkeit als

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

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

Problem: $d > w$



Normalisierung der Übergangs-WSK

Lou et al. (2009) definierten die Übergangswahrscheinlichkeit als

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

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

Problem: $d > w$

Neue Definition der Übergangswahrscheinlichkeit:

Normalisierung der Übergangs-WSK

Lou et al. (2009) definierten die Übergangswahrscheinlichkeit als

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

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

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

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

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

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

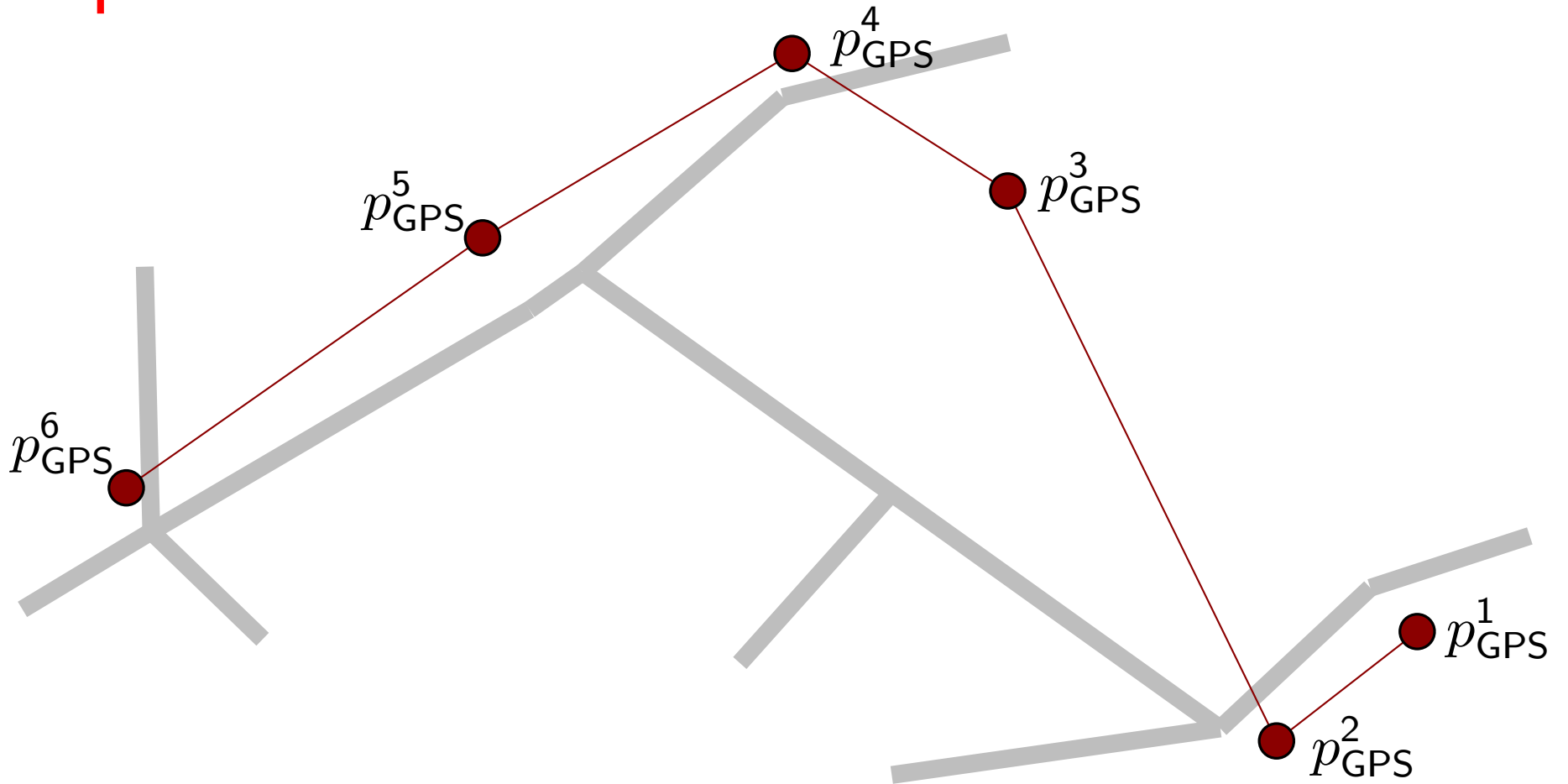
Verhindern von Schleifen

Verhindern von Schleifen

Beispiel:

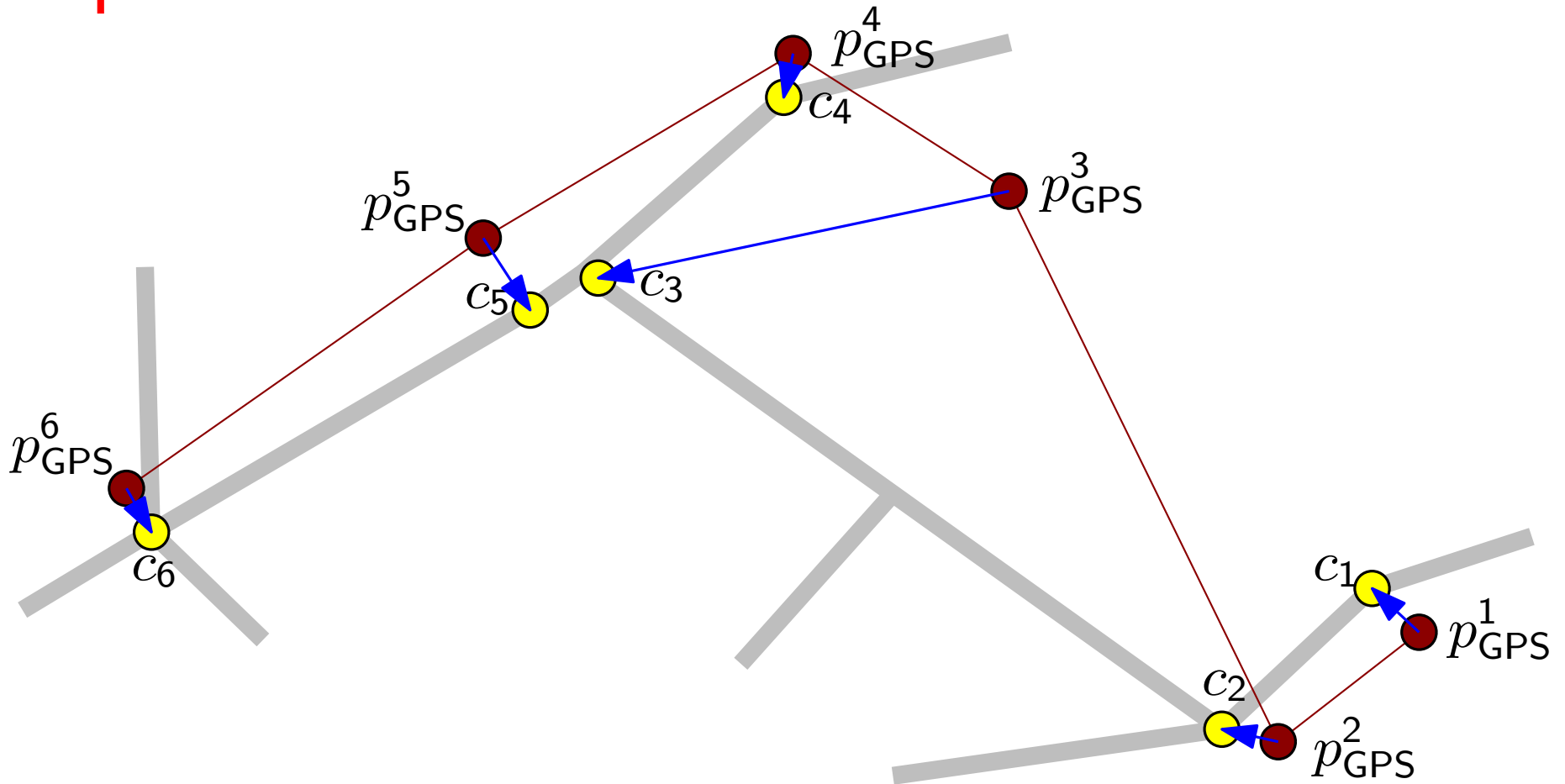
Verhindern von Schleifen

Beispiel:



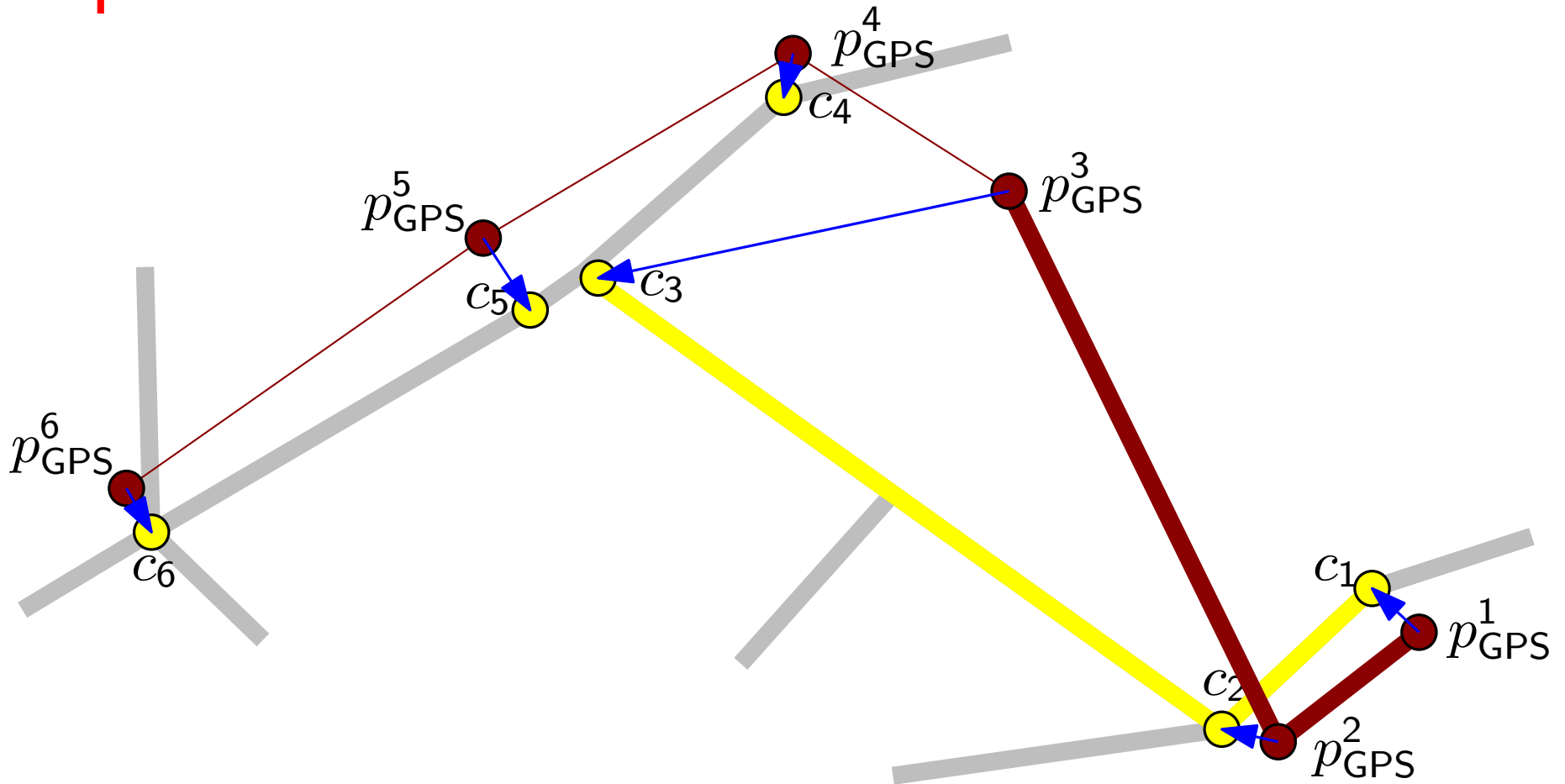
Verhindern von Schleifen

Beispiel:



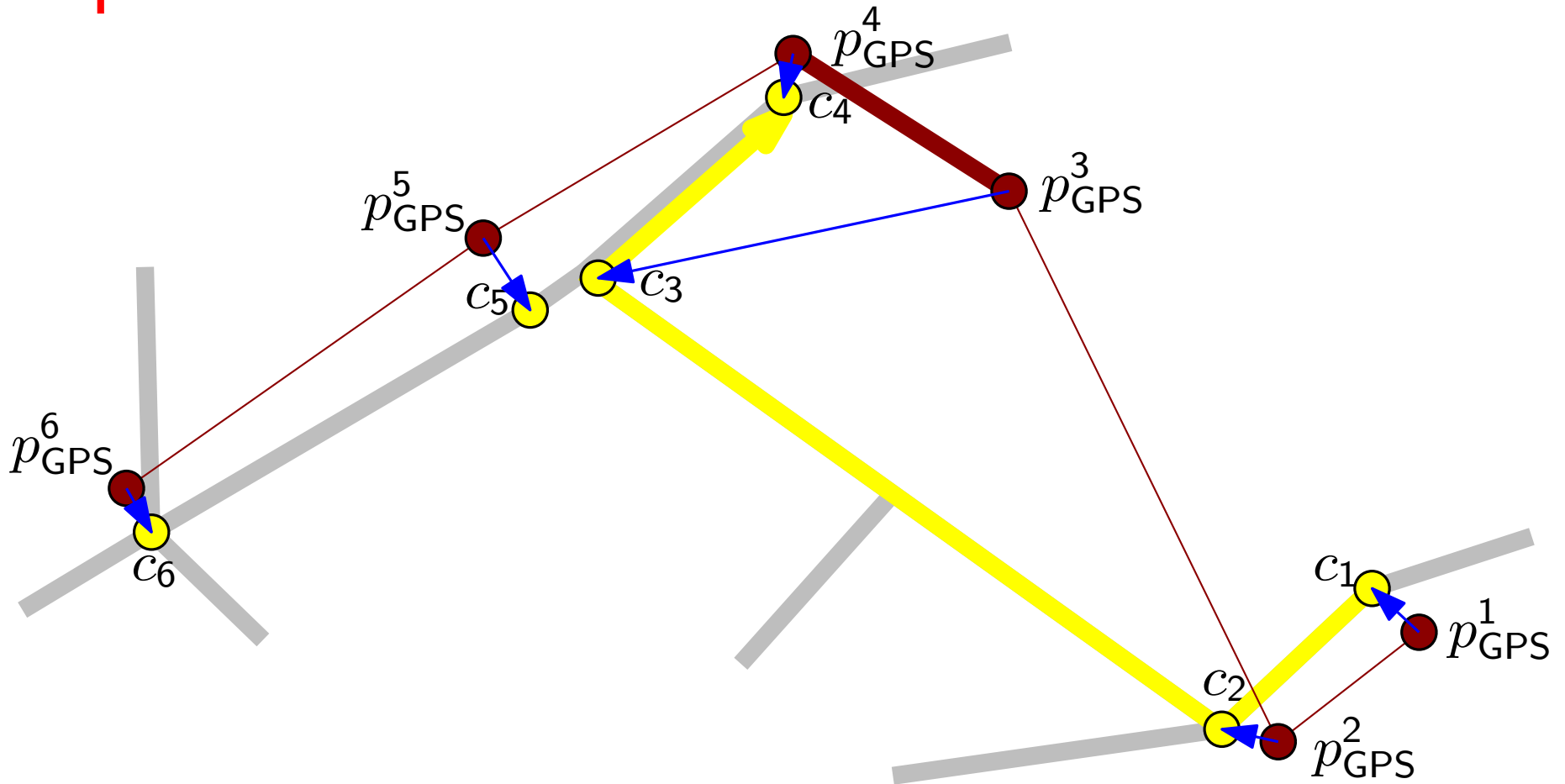
Verhindern von Schleifen

Beispiel:



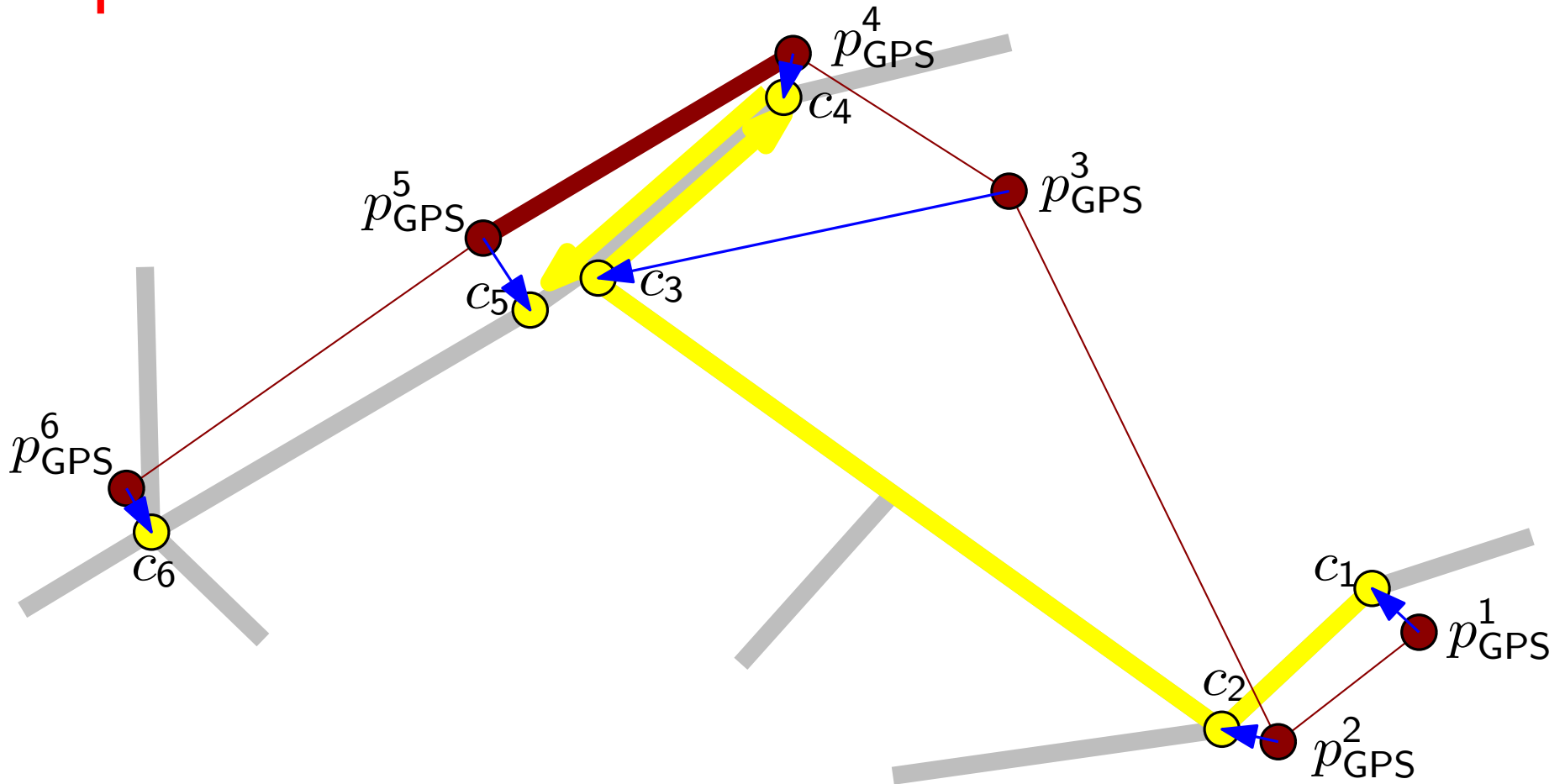
Verhindern von Schleifen

Beispiel:

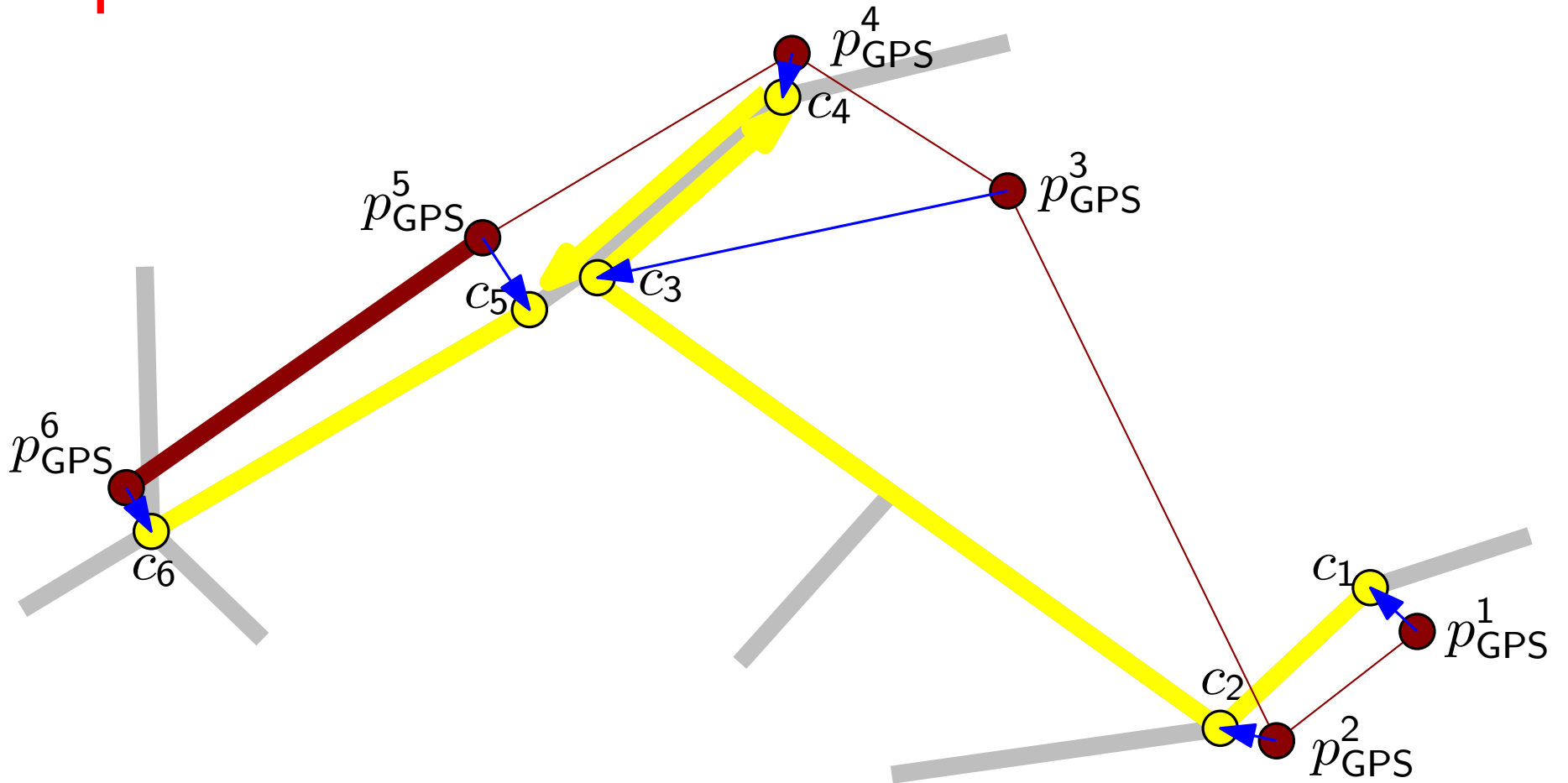


Verhindern von Schleifen

Beispiel:

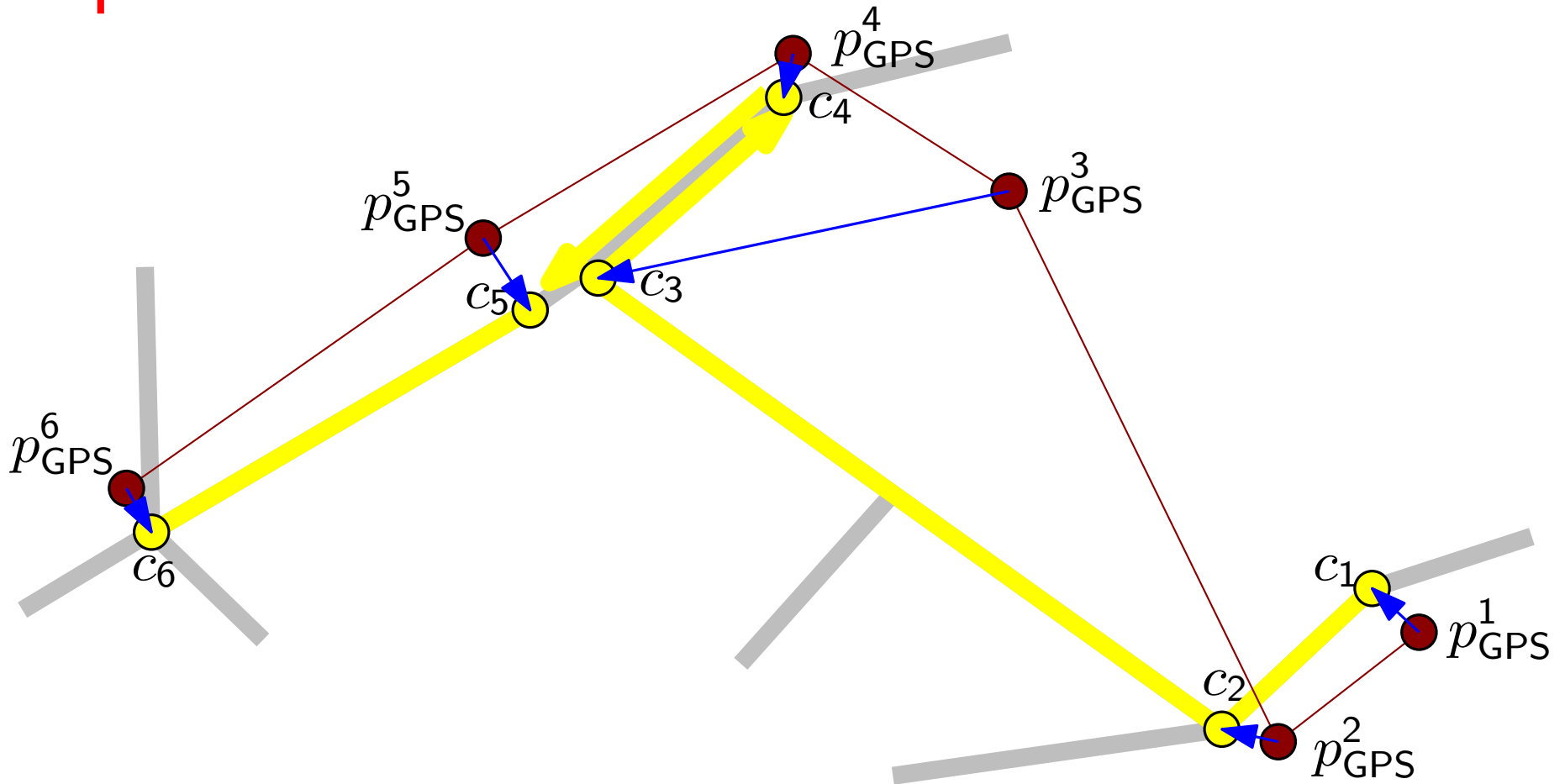


Beispiel:



Verhindern von Schleifen

Beispiel:



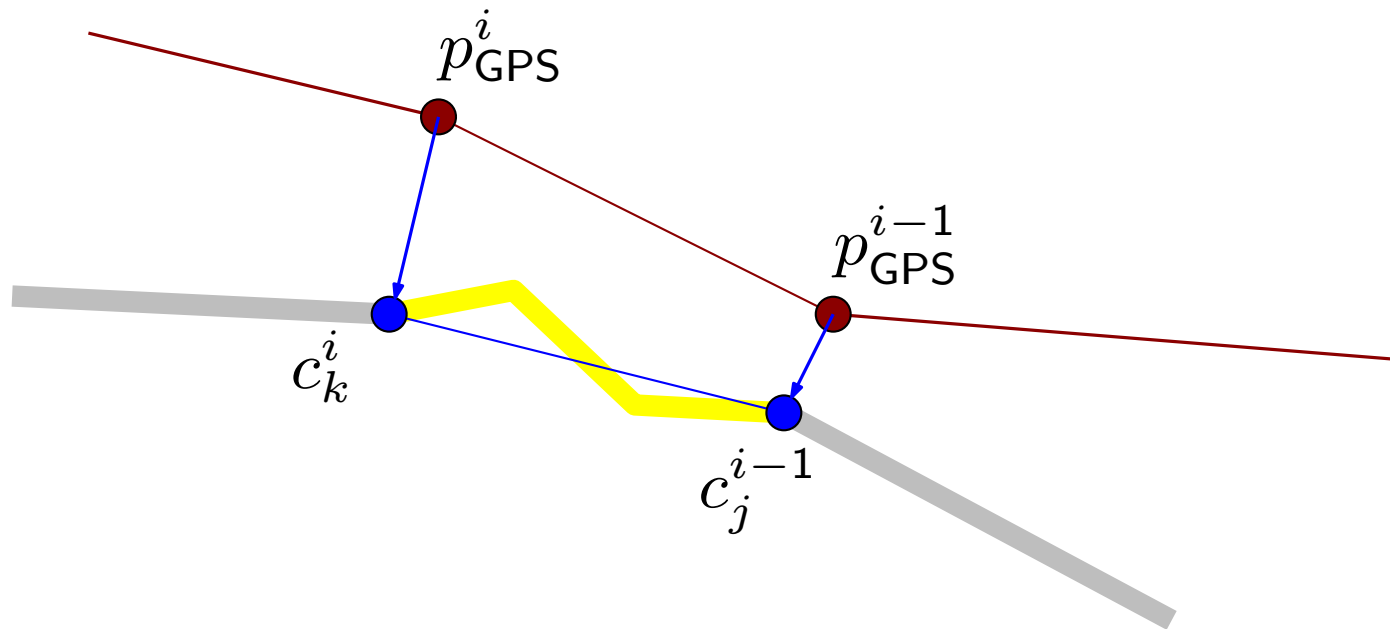
→ Fehlerhaftes Matching einer Schleife

Verhindern von Schleifen

Lösung: Einführung der Richtungswahrscheinlichkeit

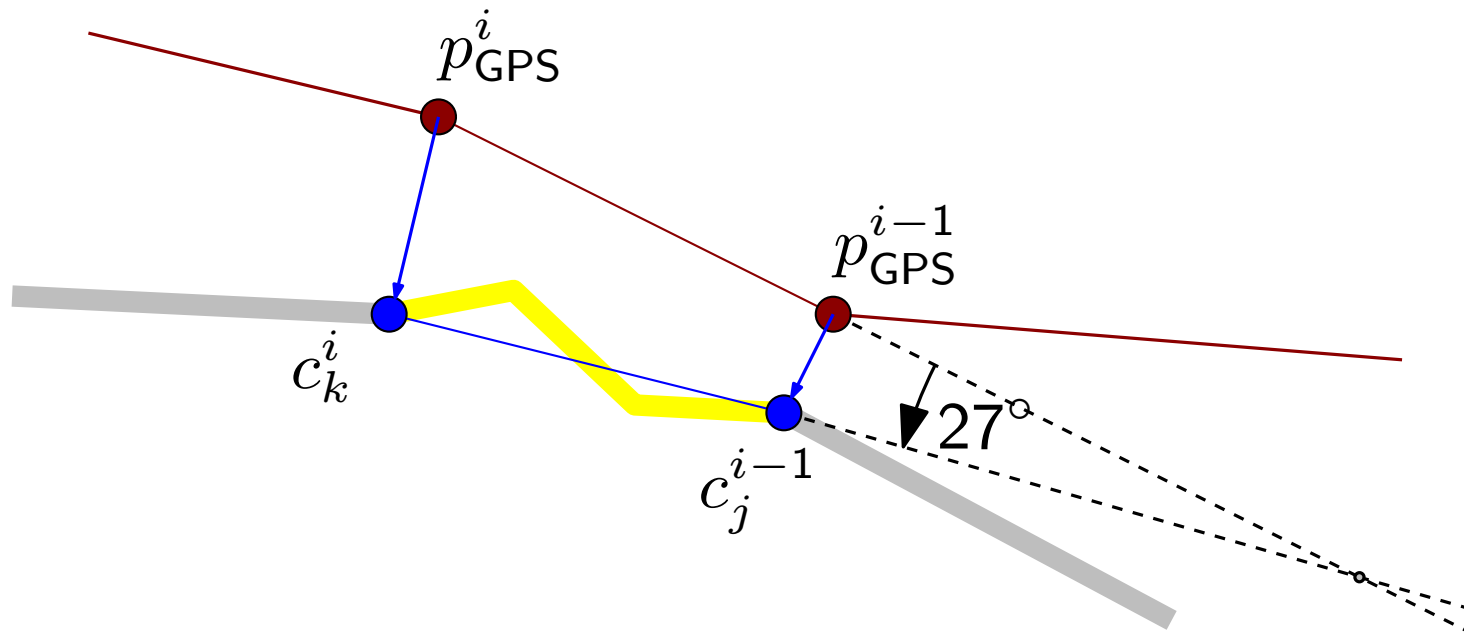
Verhindern von Schleifen

Lösung: Einführung der Richtungswahrscheinlichkeit



Verhindern von Schleifen

Lösung: Einführung der Richtungswahrscheinlichkeit

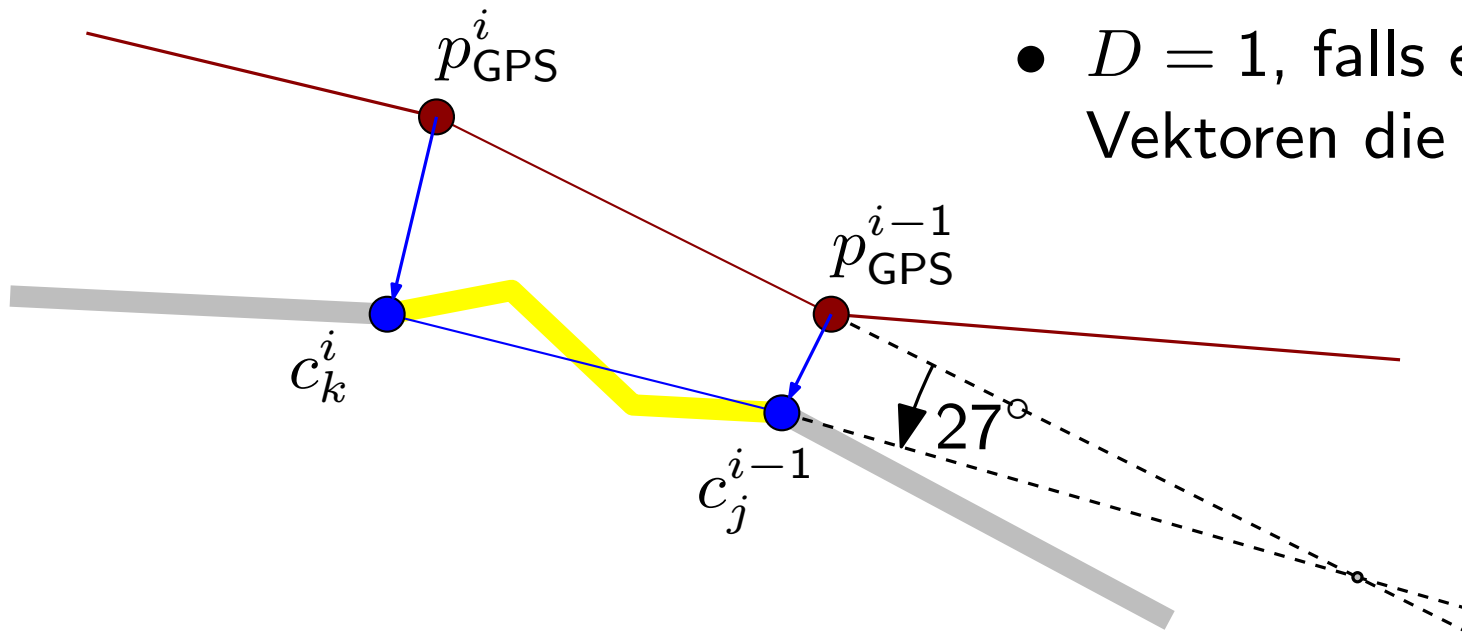


Verhindern von Schleifen

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

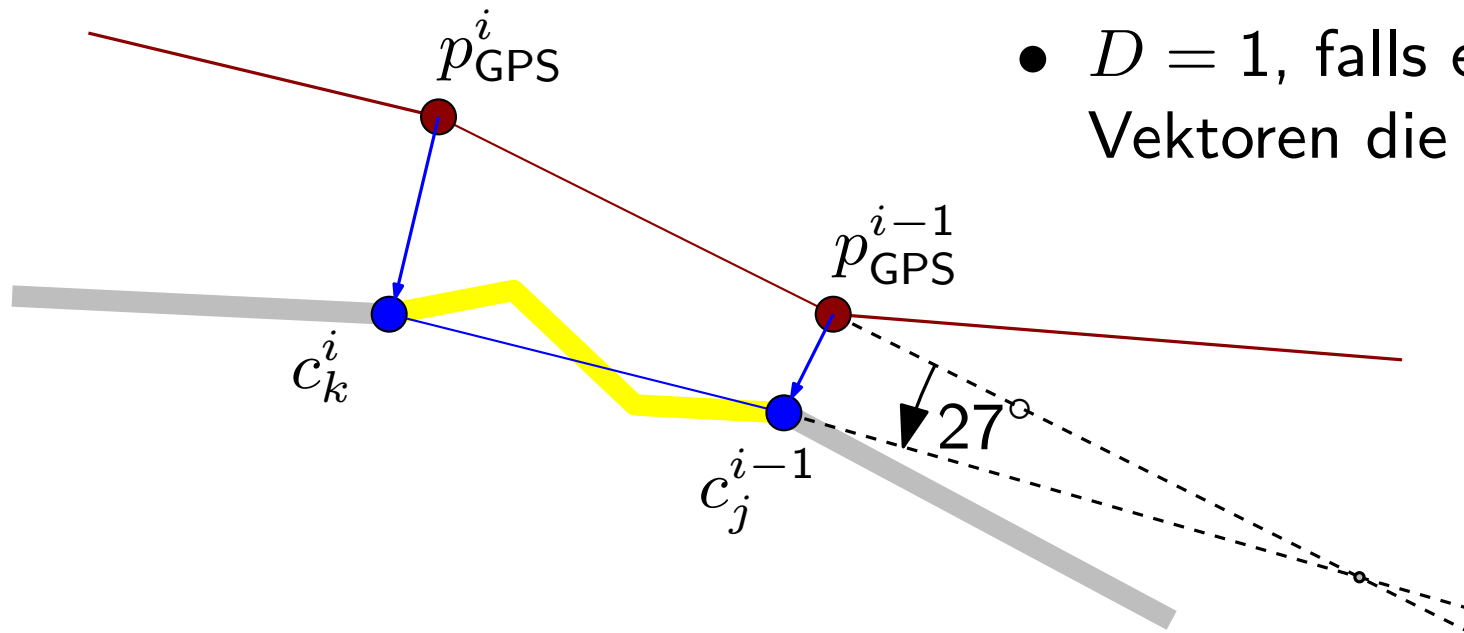


Verhindern von Schleifen

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

Erweiterungen für unvollst. Kartenmaterial

Erweiterungen für unvollst. Kartenmaterial

Erweiterungen für unvollst. Kartenmaterial

Erweiterungen für unvollst. Kartenmaterial

Erweiterungen für unvollst. Kartenmaterial

Erweiterungen für unvollst. Kartenmaterial

Erweiterungen für unvollst. Kartenmaterial

Erweiterungen für unvollst. Kartenmaterial

Wozu eigentlich?

Erweiterungen für unvollst. Kartenmaterial

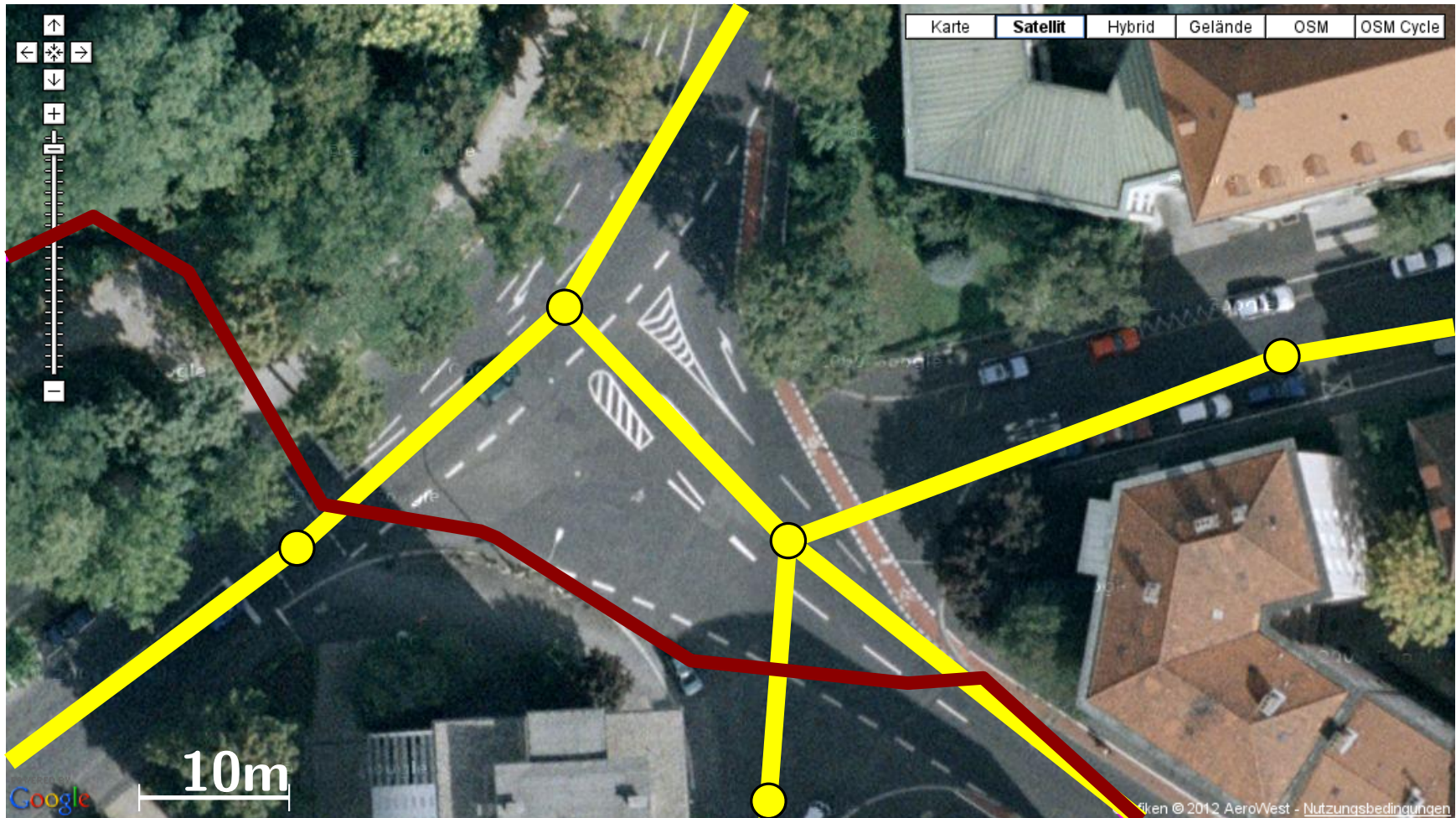
Wozu eigentlich?

1. Genauere Fußgängernavigation

Erweiterungen für unvollst. Kartenmaterial

Wozu eigentlich?

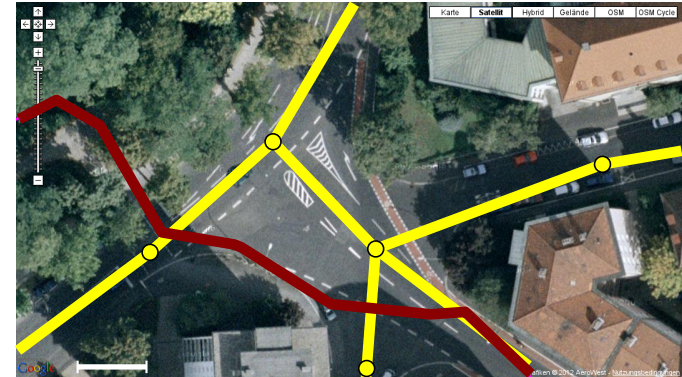
1. Genauere Fußgängernavigation



Erweiterungen für unvollst. Kartenmaterial

Wozu eigentlich?

1. Genauere Fußgängernavigation

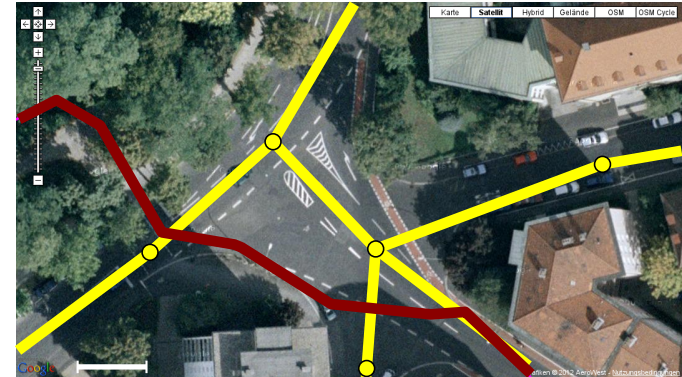


Erweiterungen für unvollst. Kartenmaterial

Wozu eigentlich?

1. Genauere Fußgängernavigation

- Routen abseits vom (Fahrzeug-)Straßennetz werden erkannt

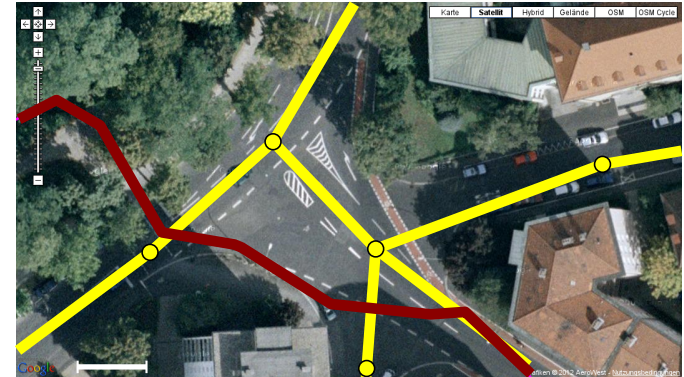


Erweiterungen für unvollst. Kartenmaterial

Wozu eigentlich?

1. Genauere Fußgängernavigation

→ Routen abseits vom (Fahrzeug-) Straßennetz werden erkannt

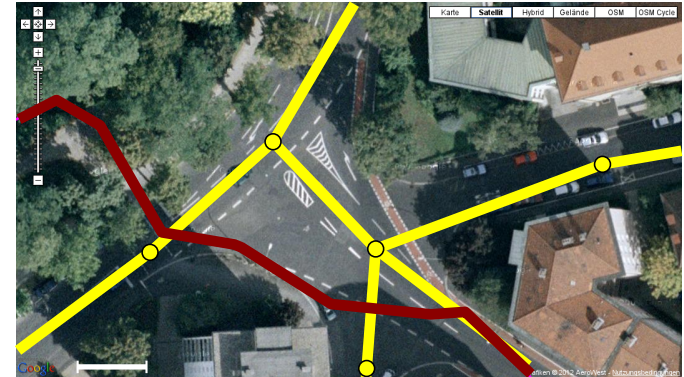


2. Kompensation fehlender Verbindungen

Erweiterungen für unvollst. Kartenmaterial

Wozu eigentlich?

1. Genauere Fußgängernavigation
 - Routen abseits vom (Fahrzeug-) Straßennetz werden erkannt
2. Kompensation fehlender Verbindungen

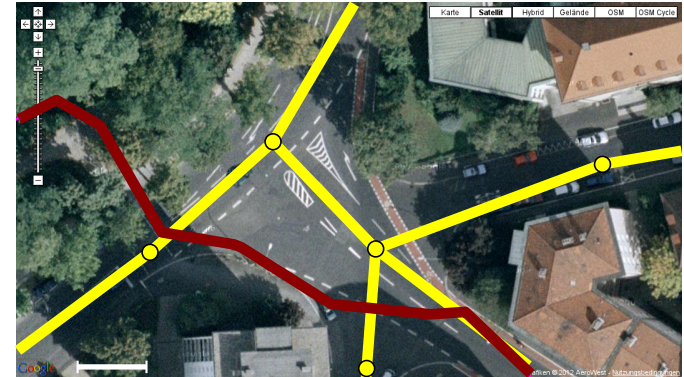


Erweiterungen für unvollst. Kartenmaterial

Wozu eigentlich?

1. Genauere Fußgängernavigation

→ Routen abseits vom (Fahrzeug-) Straßennetz werden erkannt



2. Kompensation fehlender Verbindungen

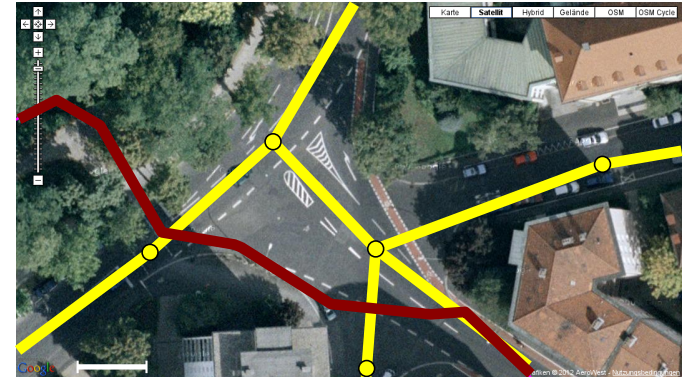


Erweiterungen für unvollst. Kartenmaterial

Wozu eigentlich?

1. Genauere Fußgängernavigation

- Routen abseits vom (Fahrzeug-) Straßennetz werden erkannt



2. Kompensation fehlender Verbindungen

- Bewegungen über noch nicht erfasste Straßen werden überbrückt

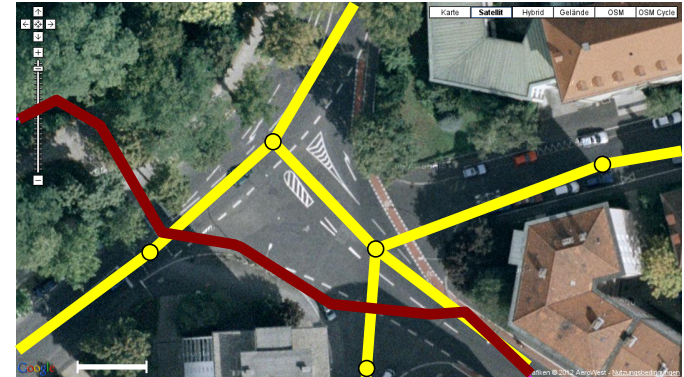


Erweiterungen für unvollst. Kartenmaterial

Wozu eigentlich?

1. Genauere Fußgängernavigation

- Routen abseits vom (Fahrzeug-) Straßennetz werden erkannt



2. Kompensation fehlender Verbindungen

- Bewegungen über noch nicht erfasste Straßen werden überbrückt



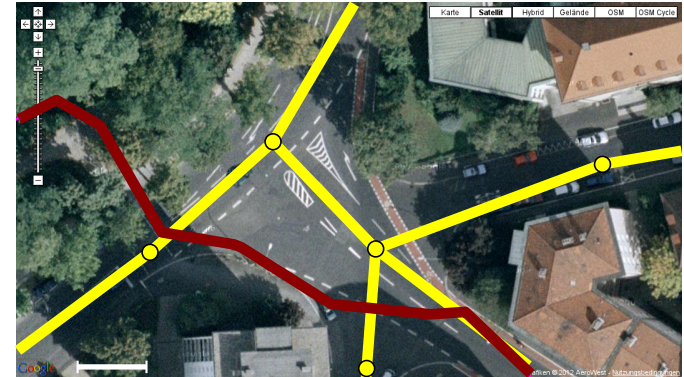
3. Erfassung tatsächlicher Off-Road Bewegungen

Erweiterungen für unvollst. Kartenmaterial

Wozu eigentlich?

1. 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

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

Off-Road-Punkte

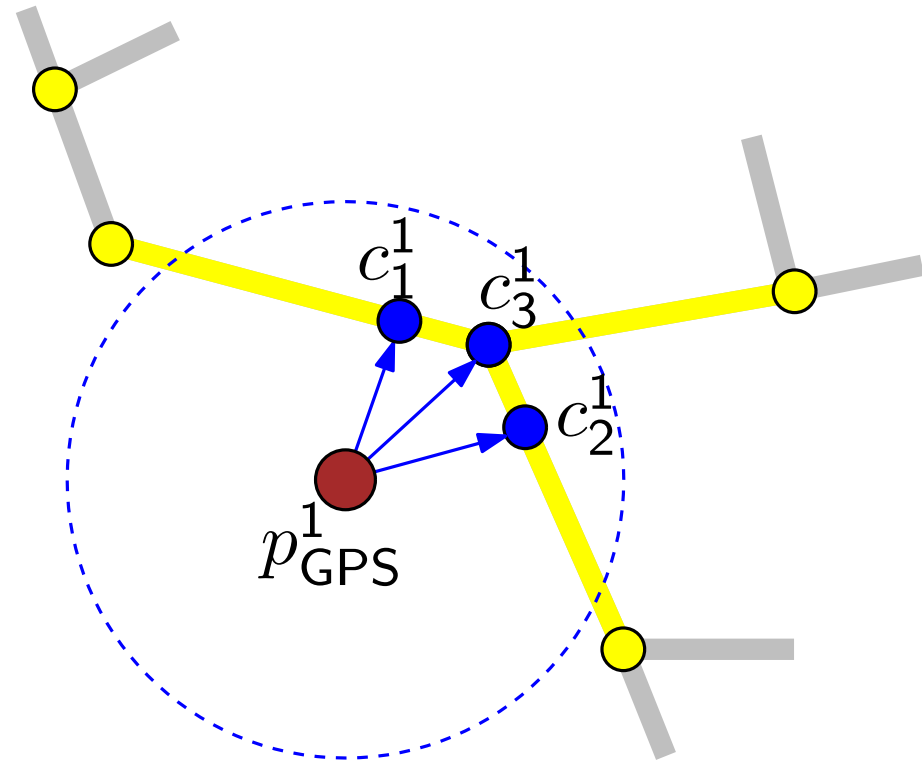
ID	Name	Beschreibung	Status	Anmerkungen
1	Punkt A	Beschreibung von Punkt A	Aktiv	
2	Punkt B	Beschreibung von Punkt B	Inaktiv	
3	Punkt C	Beschreibung von Punkt C	Aktiv	
4	Punkt D	Beschreibung von Punkt D	Inaktiv	
5	Punkt E	Beschreibung von Punkt E	Aktiv	
6	Punkt F	Beschreibung von Punkt F	Inaktiv	
7	Punkt G	Beschreibung von Punkt G	Aktiv	
8	Punkt H	Beschreibung von Punkt H	Inaktiv	
9	Punkt I	Beschreibung von Punkt I	Aktiv	
10	Punkt J	Beschreibung von Punkt J	Inaktiv	
11	Punkt K	Beschreibung von Punkt K	Aktiv	
12	Punkt L	Beschreibung von Punkt L	Inaktiv	
13	Punkt M	Beschreibung von Punkt M	Aktiv	
14	Punkt N	Beschreibung von Punkt N	Inaktiv	
15	Punkt O	Beschreibung von Punkt O	Aktiv	
16	Punkt P	Beschreibung von Punkt P	Inaktiv	
17	Punkt Q	Beschreibung von Punkt Q	Aktiv	
18	Punkt R	Beschreibung von Punkt R	Inaktiv	
19	Punkt S	Beschreibung von Punkt S	Aktiv	
20	Punkt T	Beschreibung von Punkt T	Inaktiv	
21	Punkt U	Beschreibung von Punkt U	Aktiv	
22	Punkt V	Beschreibung von Punkt V	Inaktiv	
23	Punkt W	Beschreibung von Punkt W	Aktiv	
24	Punkt X	Beschreibung von Punkt X	Inaktiv	
25	Punkt Y	Beschreibung von Punkt Y	Aktiv	
26	Punkt Z	Beschreibung von Punkt Z	Inaktiv	
27	Punkt AA	Beschreibung von Punkt AA	Aktiv	
28	Punkt AB	Beschreibung von Punkt AB	Inaktiv	
29	Punkt AC	Beschreibung von Punkt AC	Aktiv	
30	Punkt AD	Beschreibung von Punkt AD	Inaktiv	
31	Punkt AE	Beschreibung von Punkt AE	Aktiv	
32	Punkt AF	Beschreibung von Punkt AF	Inaktiv	
33	Punkt AG	Beschreibung von Punkt AG	Aktiv	
34	Punkt AH	Beschreibung von Punkt AH	Inaktiv	
35	Punkt AI	Beschreibung von Punkt AI	Aktiv	
36	Punkt AJ	Beschreibung von Punkt AJ	Inaktiv	
37	Punkt AK	Beschreibung von Punkt AK	Aktiv	
38	Punkt AL	Beschreibung von Punkt AL	Inaktiv	
39	Punkt AM	Beschreibung von Punkt AM	Aktiv	
40	Punkt AN	Beschreibung von Punkt AN	Inaktiv	
41	Punkt AO	Beschreibung von Punkt AO	Aktiv	

Off-Road-Punkte

Zusätzlich zu den Kandidatenpunkten auf dem Straßennetz...

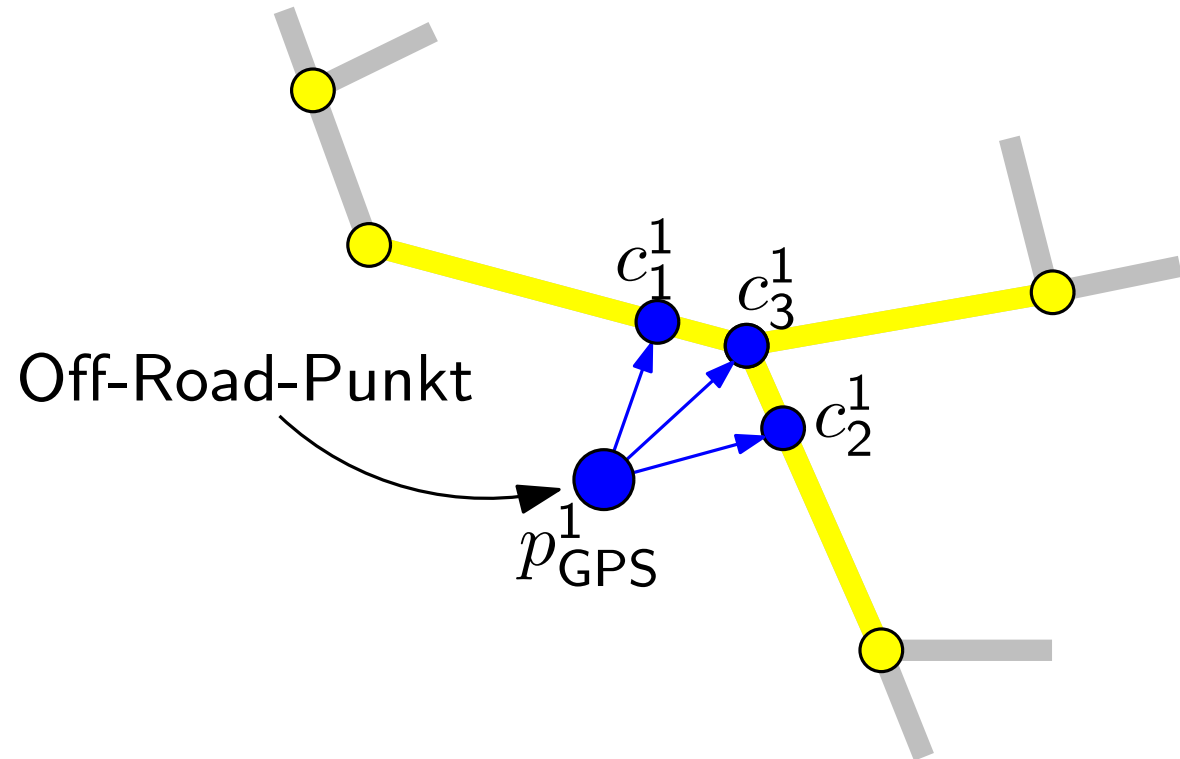
Off-Road-Punkte

Zusätzlich zu den Kandidatenpunkten auf dem Straßennetz...



Off-Road-Punkte

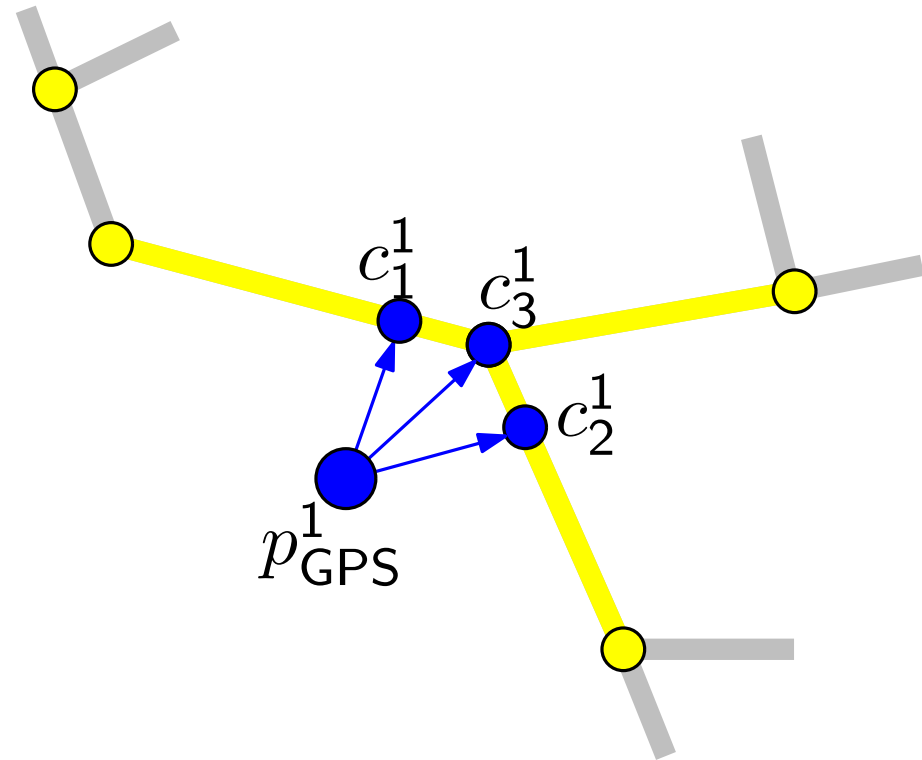
Zusätzlich zu den Kandidatenpunkten auf dem Straßennetz...
...sollen die GPS-Punkte selbst in Betracht gezogen werden.



Off-Road-Punkte

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

Problem:

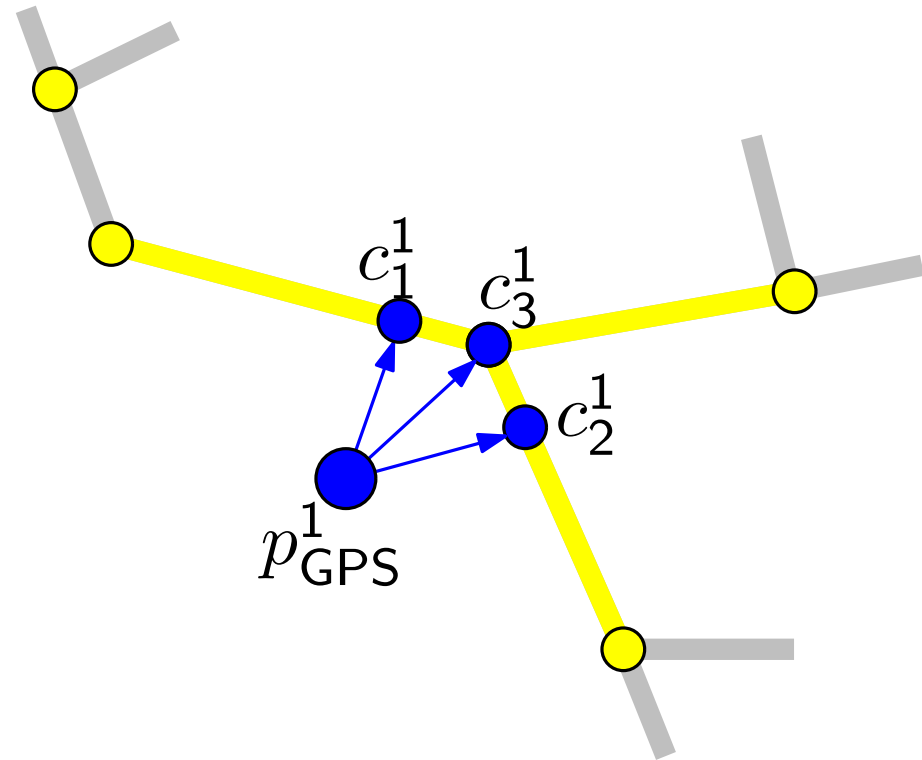


Off-Road-Punkte

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!

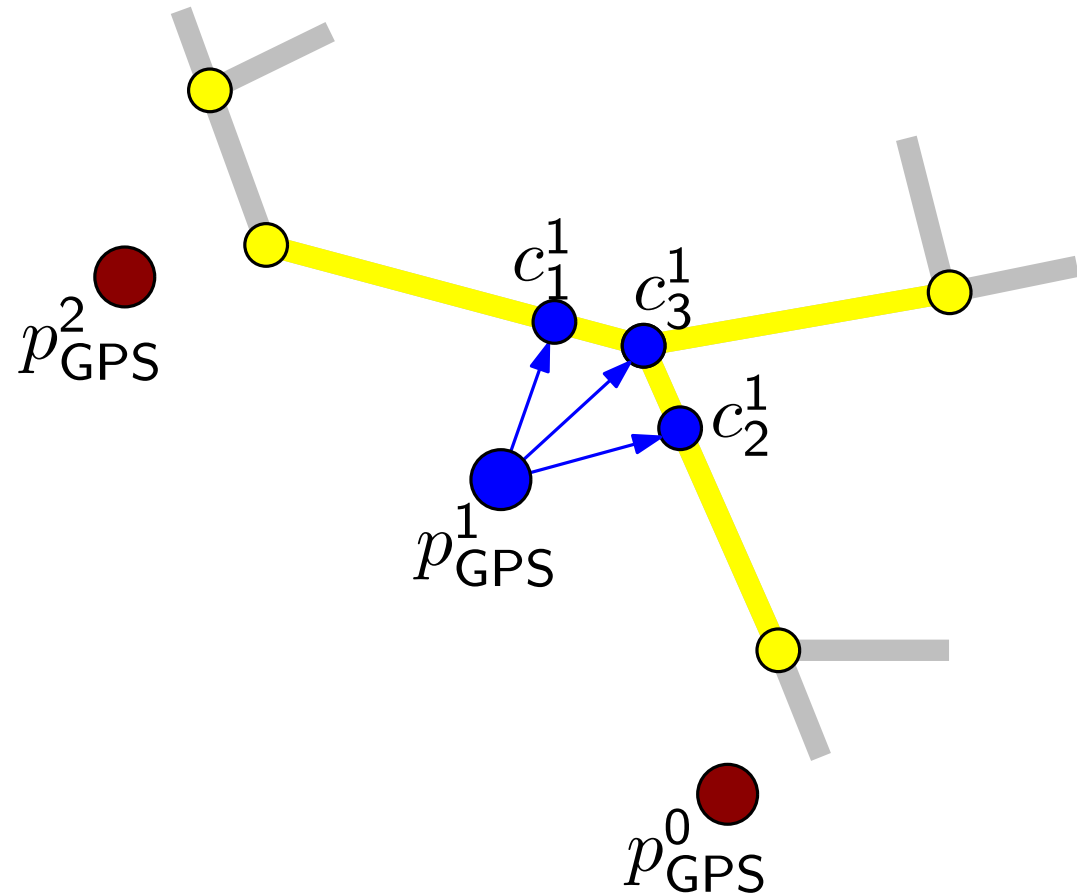


Off-Road-Punkte

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!

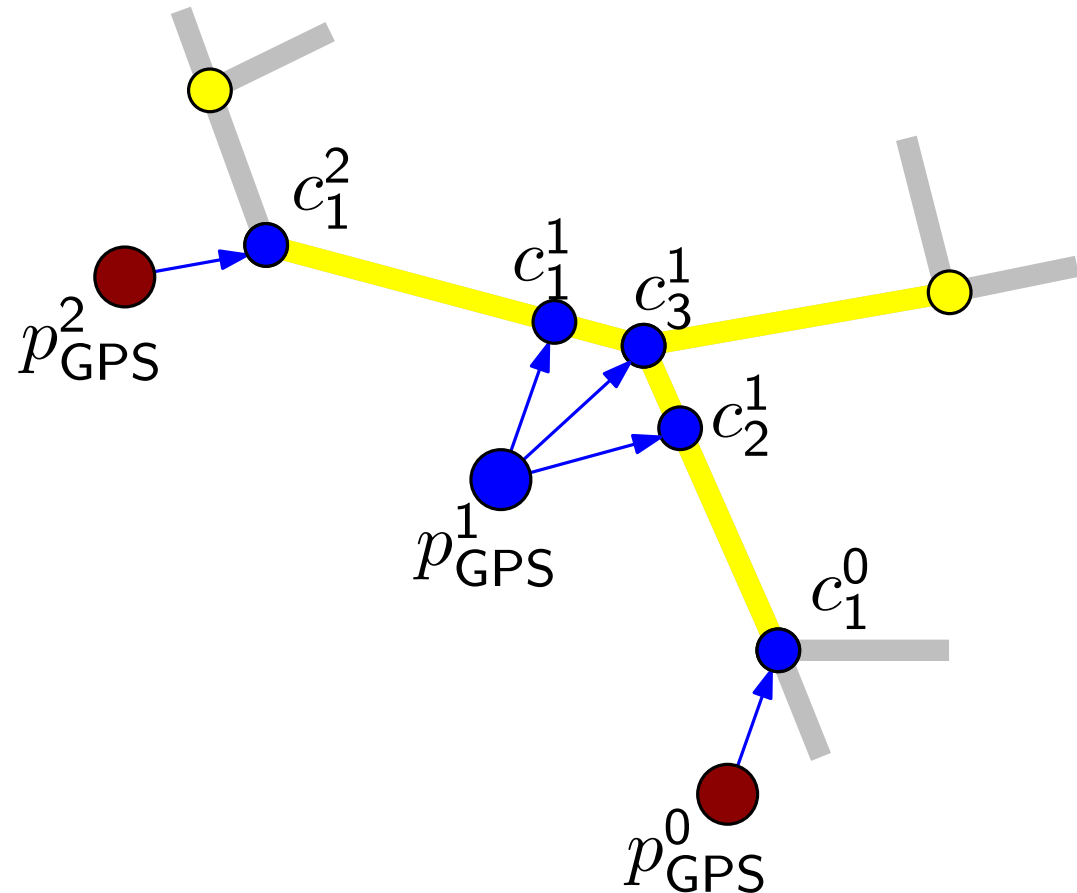


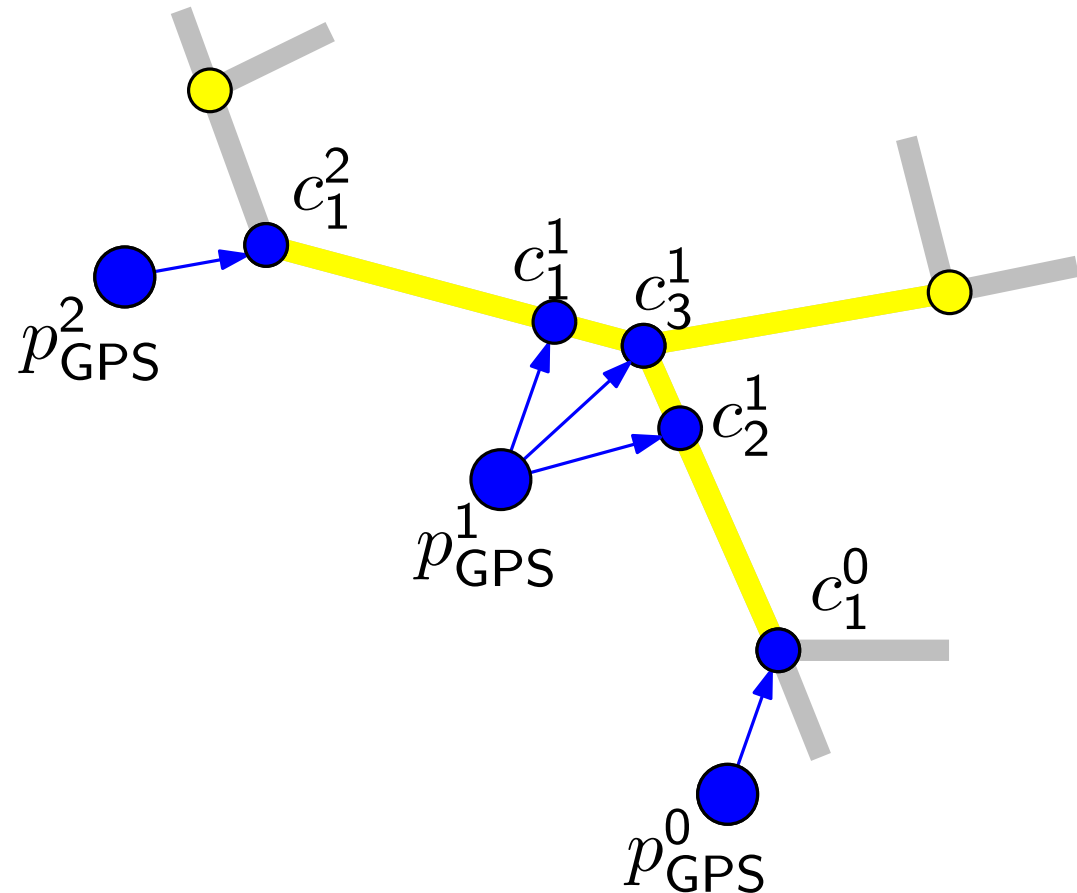
Diagram illustrating a network structure with nodes and edges. The nodes are labeled p^2_{GPS} , c^2_1 , c^1_1 , c^1_3 , c^1_2 , c^0_1 , p^1_{GPS} , and p^0_{GPS} . The edges are colored yellow and blue. The yellow edges form a path: $p^2_{\text{GPS}} \rightarrow c^2_1 \rightarrow c^1_1 \rightarrow c^1_3 \rightarrow c^1_2 \rightarrow c^0_1$. The blue edges connect p^1_{GPS} to c^1_1 , c^1_3 , and c^1_2 , and p^0_{GPS} to c^0_1 . There are also yellow nodes at the ends of the gray lines.

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!



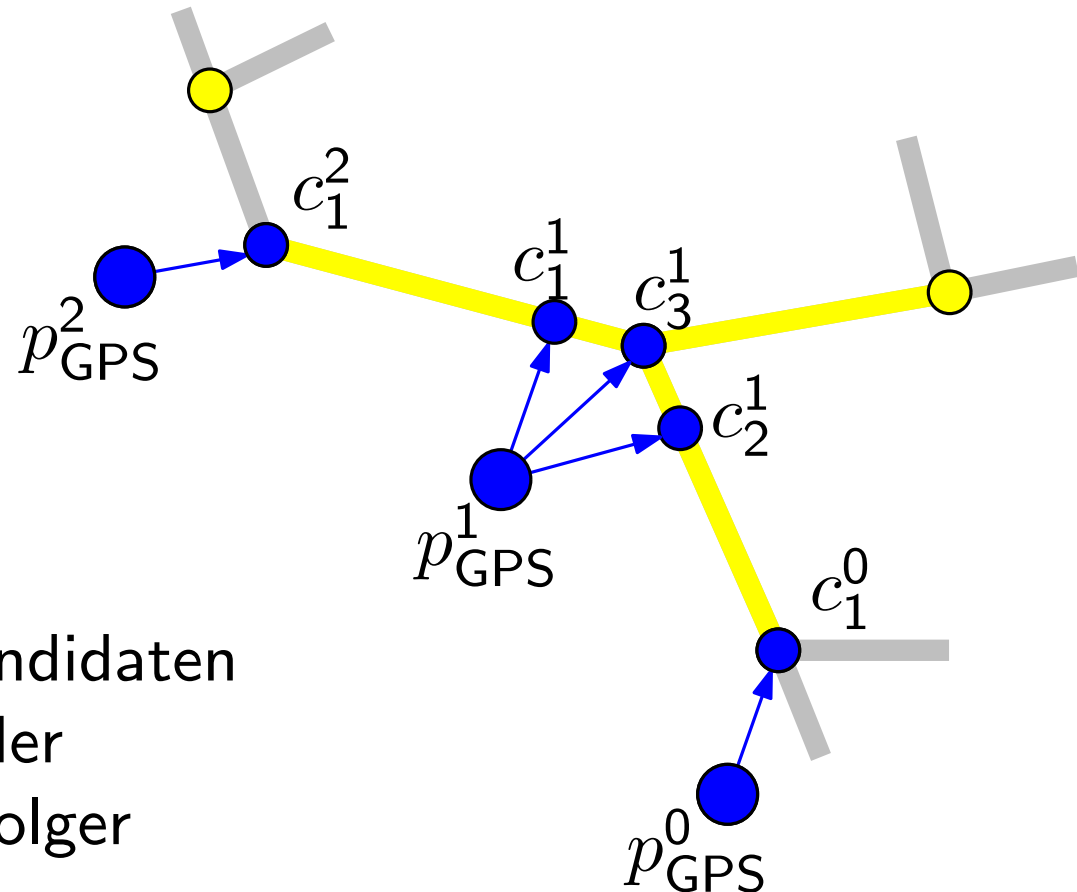
Lösung:

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:

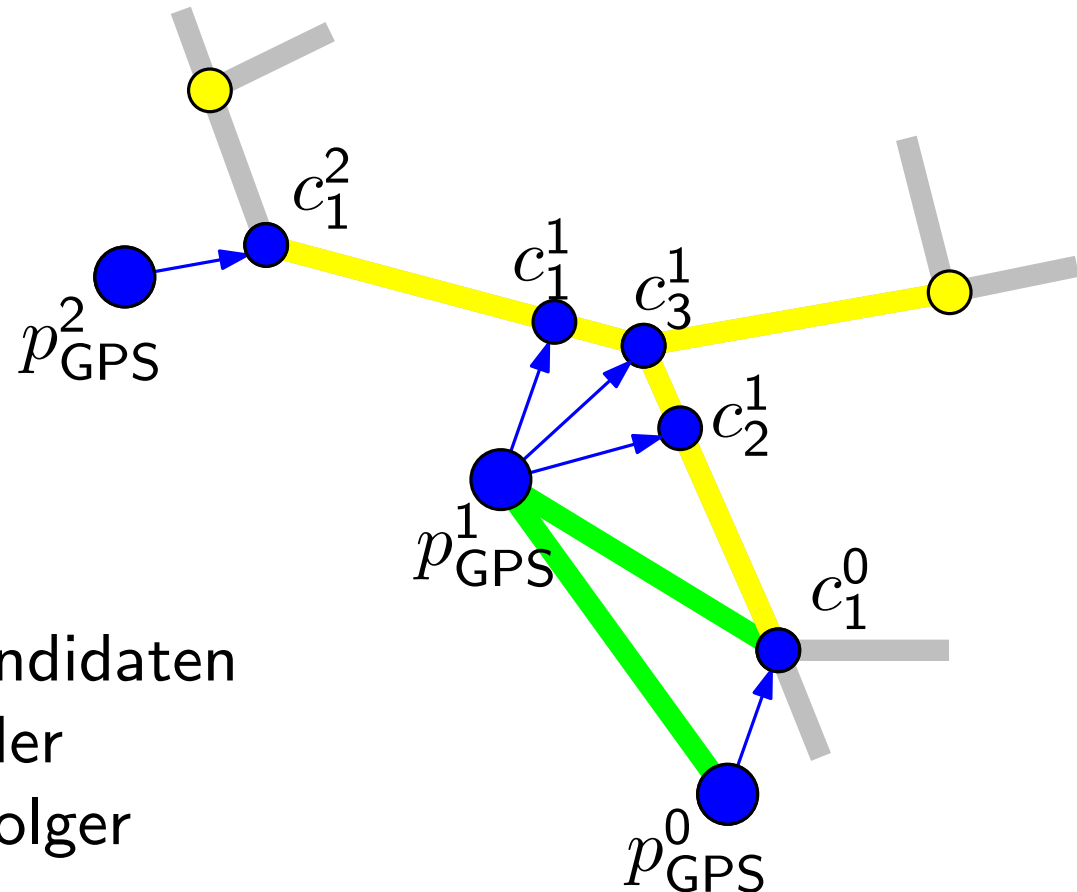
Verbinde die GPS-Kandidaten
mit den Kandidaten der
Vorgänger und Nachfolger

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:

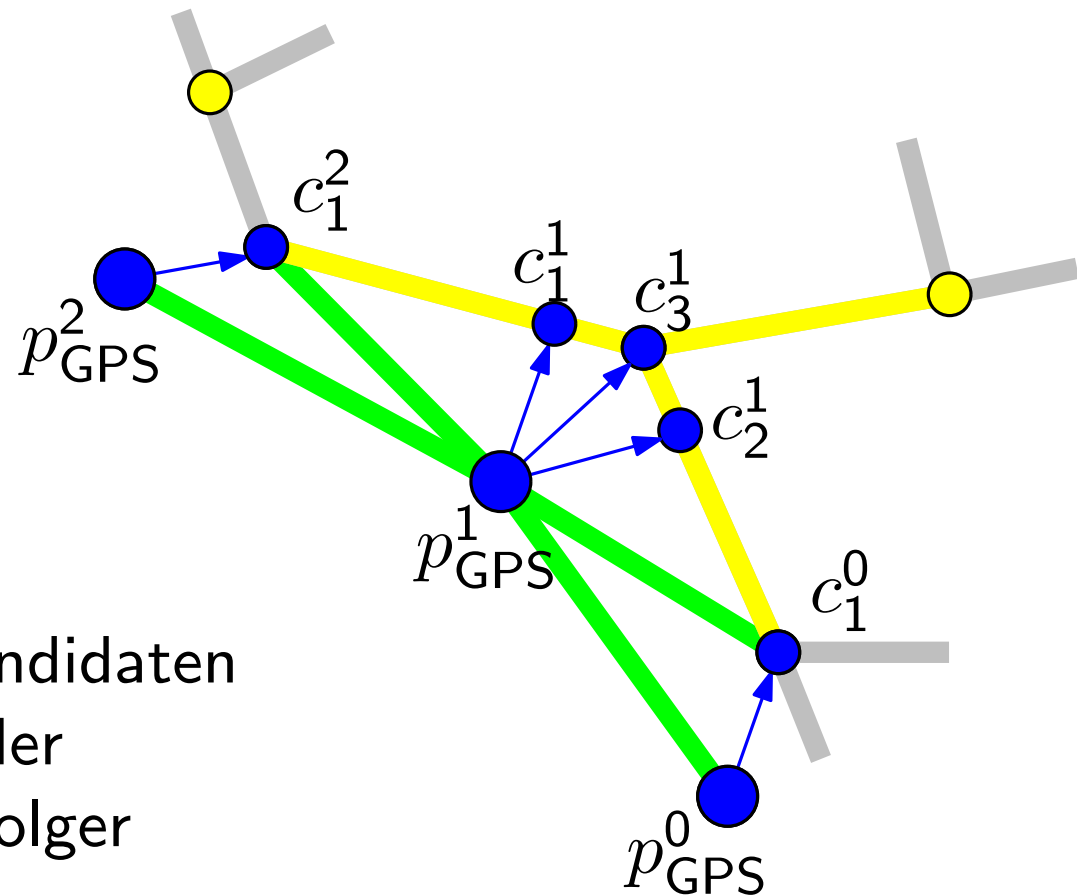
Verbinde die GPS-Kandidaten
mit den Kandidaten der
Vorgänger und Nachfolger

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

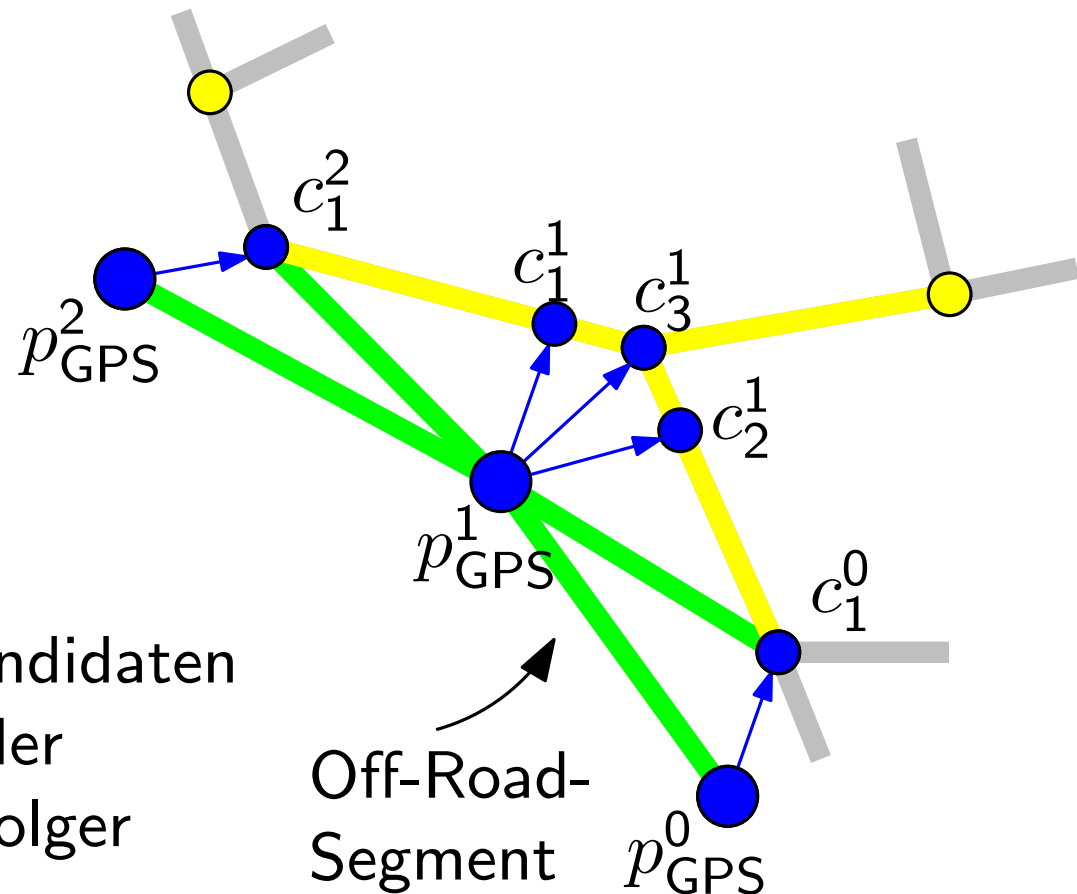
Zusätzlich zu den Kandidatenpunkten auf dem Straßennetz...
...sollen die GPS-Punkte selbst in Betracht gezogen werden.

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

Die Qualitätsanalyse von Off-Road-Segmenten ist ein zentraler Bestandteil der Produktentwicklung und -optimierung. Sie ermöglicht es, die Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit von Off-Road-Fahrzeugen in verschiedenen Umgebungen zu bewerten und zu verbessern.

Die Analyse umfasst die Untersuchung der mechanischen, elektrischen und elektronischen Komponenten sowie der menschlichen Faktoren, die die Fahrleistung beeinflussen. Durch die Identifizierung von Schwachstellen und die Implementierung von Verbesserungen kann die Lebensdauer und die Sicherheit der Fahrzeuge erhöht werden.

Die Qualitätsanalyse von Off-Road-Segmenten ist ein kontinuierlicher Prozess, der von der Konzeption bis zur Produktion und Wartung reicht. Durch die Zusammenarbeit von Ingenieuren, Technikern und Testern können die Herausforderungen der Off-Road-Fahrt besser verstanden und gelöst werden.

Die Analyse von Off-Road-Segmenten ist ein komplexer Prozess, der eine Vielzahl von Faktoren berücksichtigt. Die Qualität der Analyse hängt von der Genauigkeit der Daten und der Expertise der Analysten ab. Durch die Verwendung von modernsten Analysemethoden und Werkzeugen kann die Qualität der Analyse verbessert werden.

Die Qualitätsanalyse von Off-Road-Segmenten ist ein wichtiger Bestandteil der Produktentwicklung und -optimierung. Sie ermöglicht es, die Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit von Off-Road-Fahrzeugen in verschiedenen Umgebungen zu bewerten und zu verbessern. Durch die Identifizierung von Schwachstellen und die Implementierung von Verbesserungen kann die Lebensdauer und die Sicherheit der Fahrzeuge erhöht werden.

Die Analyse umfasst die Untersuchung der mechanischen, elektrischen und elektronischen Komponenten sowie der menschlichen Faktoren, die die Fahrleistung beeinflussen. Durch die Identifizierung von Schwachstellen und die Implementierung von Verbesserungen kann die Lebensdauer und die Sicherheit der Fahrzeuge erhöht werden.

Die Qualitätsanalyse von Off-Road-Segmenten ist ein kontinuierlicher Prozess, der von der Konzeption bis zur Produktion und Wartung reicht. Durch die Zusammenarbeit von Ingenieuren, Technikern und Testern können die Herausforderungen der Off-Road-Fahrt besser verstanden und gelöst werden.

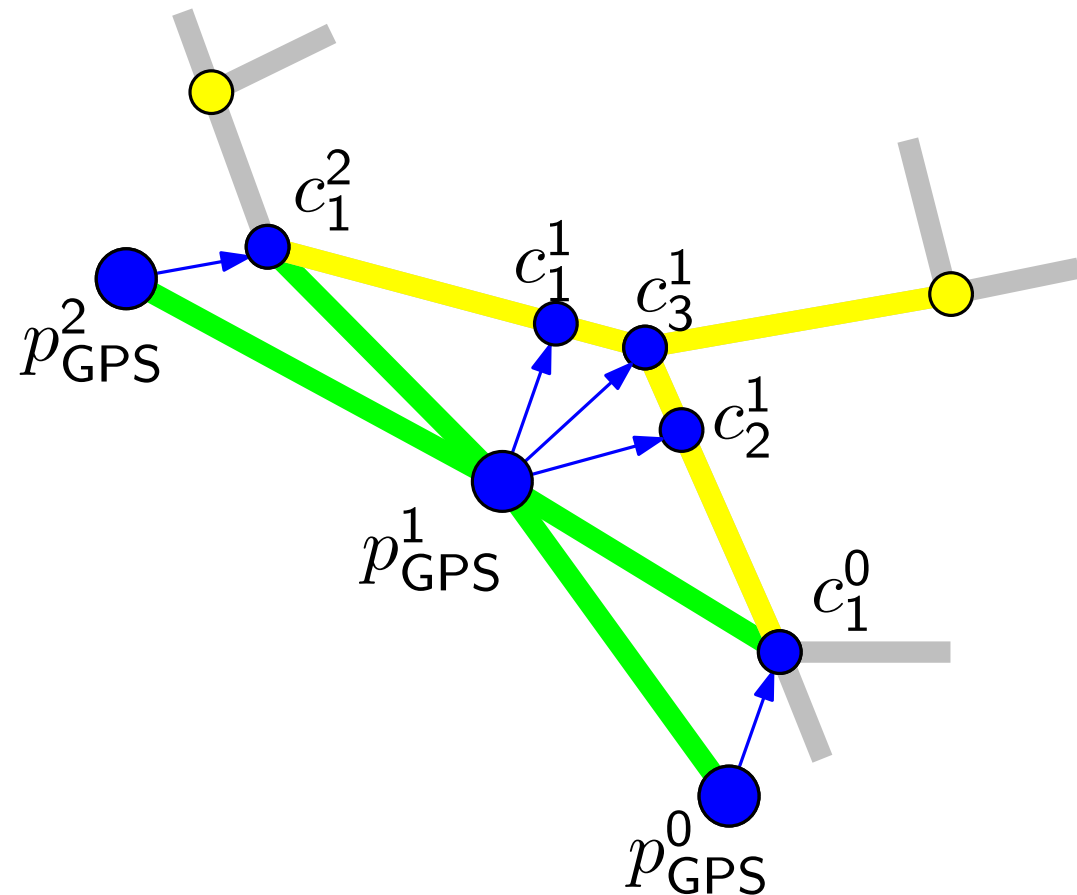
Die Analyse von Off-Road-Segmenten ist ein komplexer Prozess, der eine Vielzahl von Faktoren berücksichtigt. Die Qualität der Analyse hängt von der Genauigkeit der Daten und der Expertise der Analysten ab. Durch die Verwendung von modernsten Analysemethoden und Werkzeugen kann die Qualität der Analyse verbessert werden.

Qualitätsanalyse von Off-Road-Segmenten

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

Qualitätsanalyse von Off-Road-Segmenten

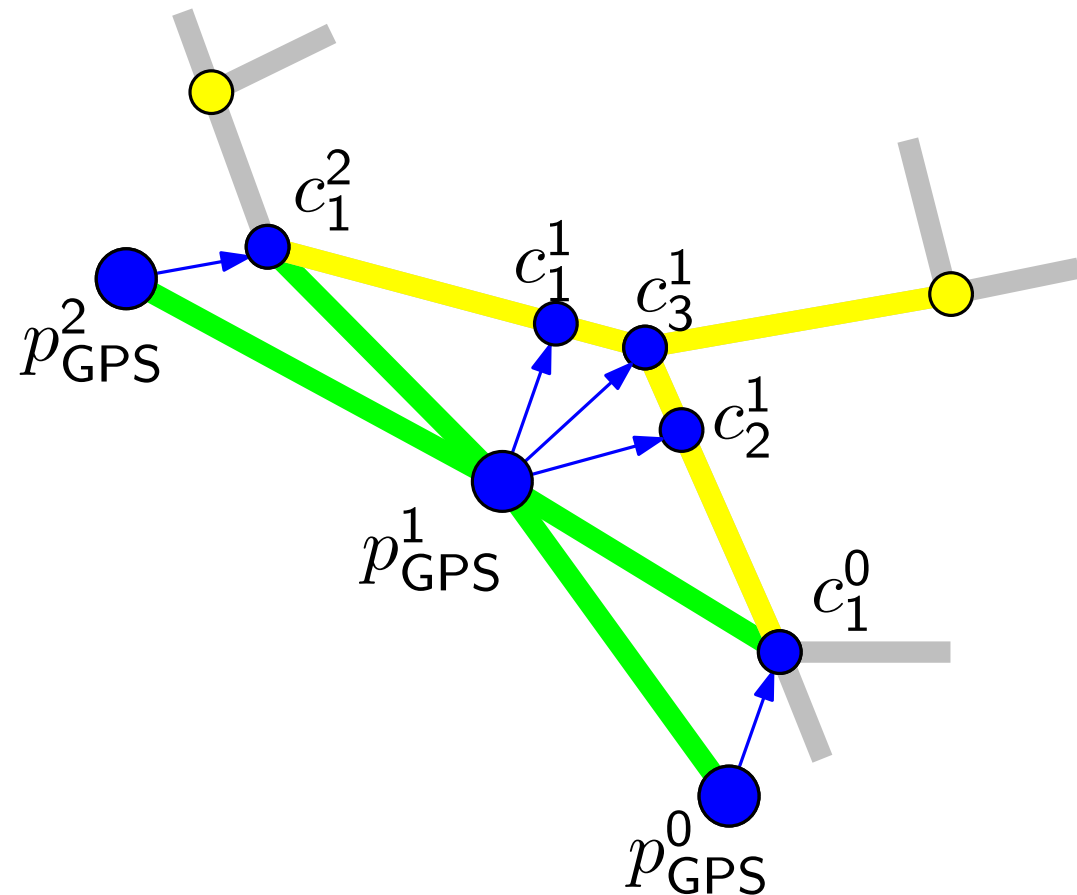
Wie können Off-Road-Punkte und -Segmente bezüglich ihrer Matching-Qualität bewertet werden?



Qualitätsanalyse von Off-Road-Segmenten

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

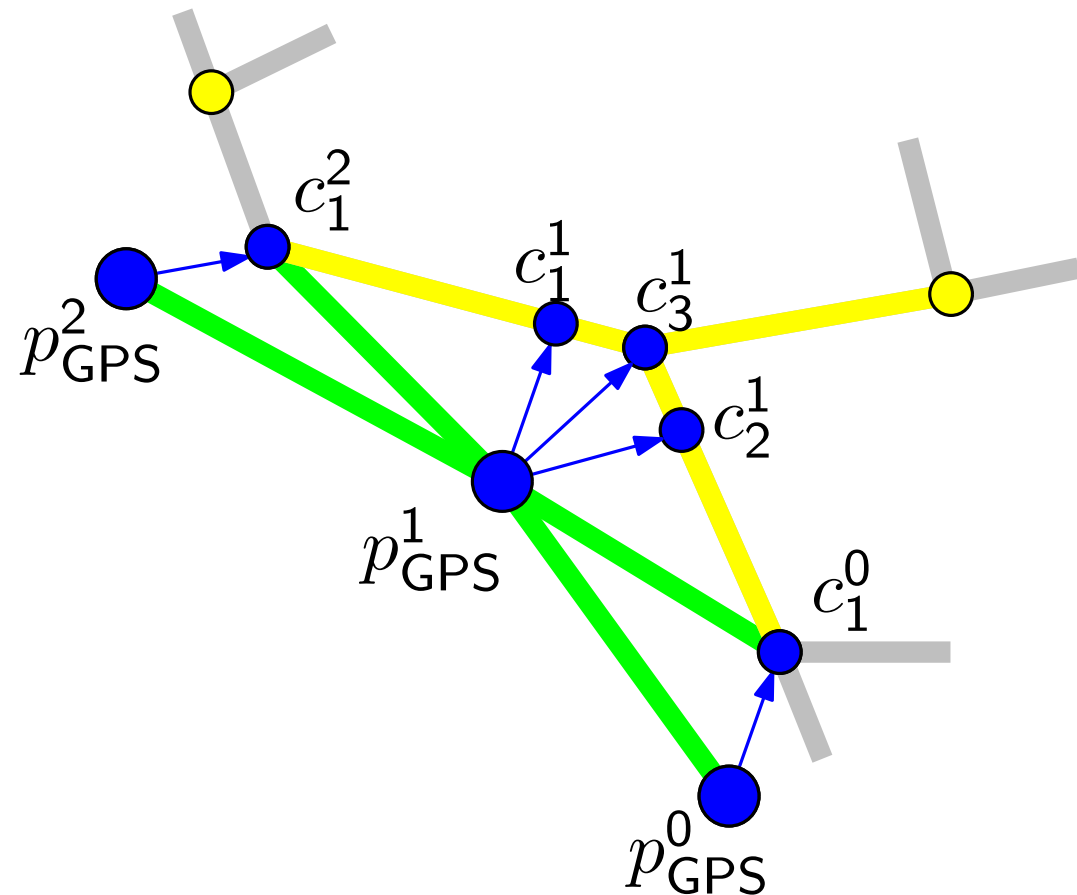
Beobachtungs-
wahrscheinlichkeit



Qualitätsanalyse von Off-Road-Segmenten

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

Beobachtungswahrscheinlichkeit ✗

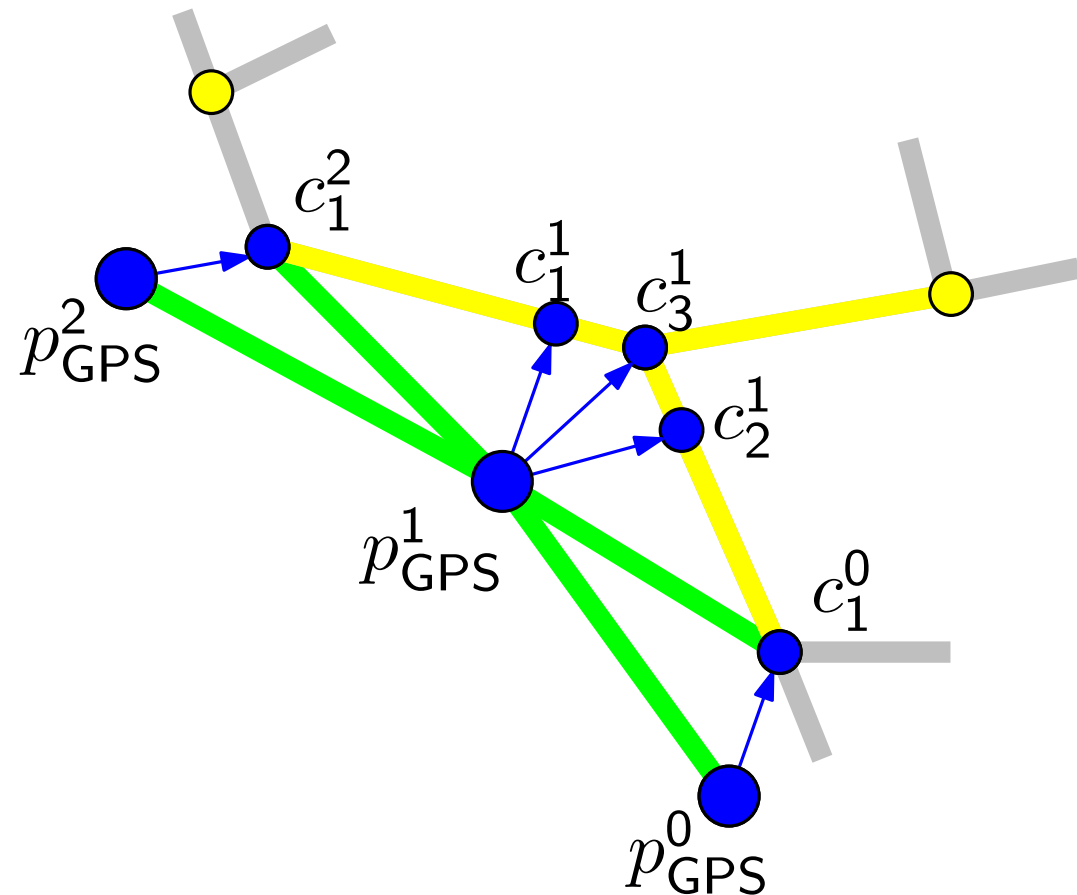


Qualitätsanalyse von Off-Road-Segmenten

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

Beobachtungswahrscheinlichkeit ✗

Übergangswahrscheinlichkeit

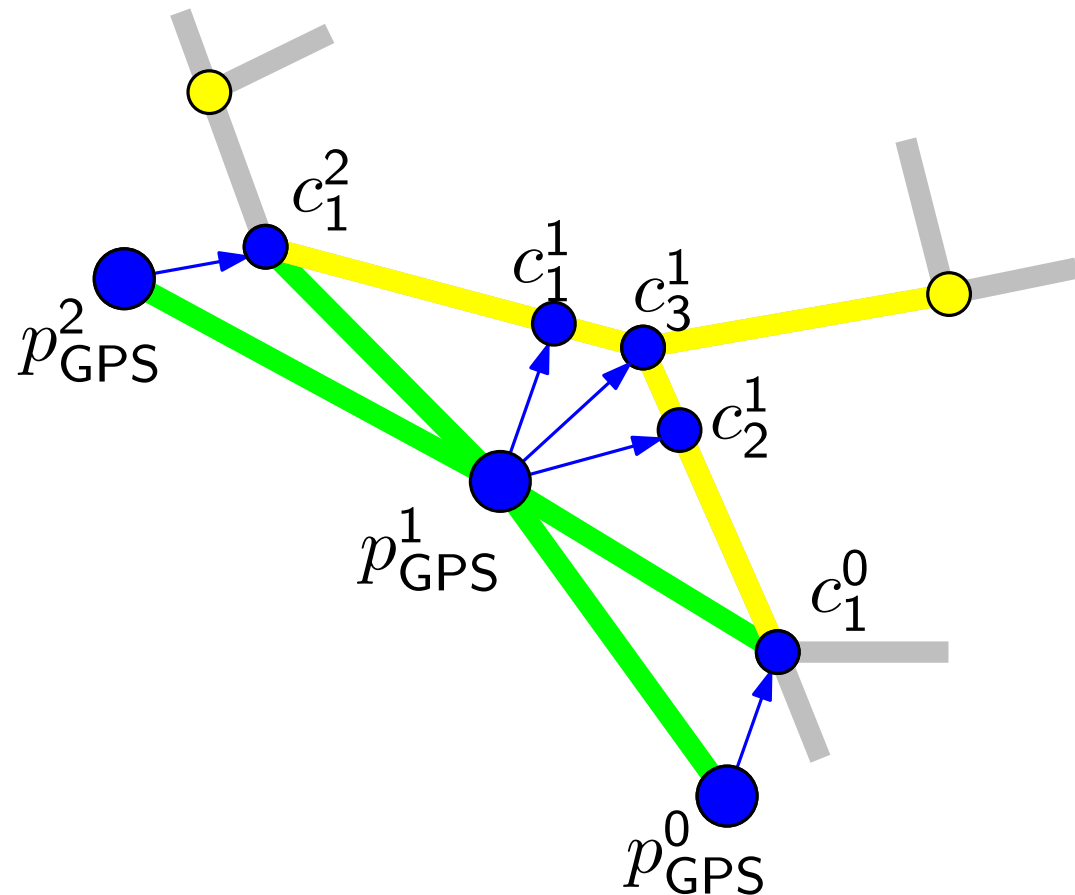


Qualitätsanalyse von Off-Road-Segmenten

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

Beobachtungs-
wahrscheinlichkeit ✗

Übergangs-
wahrscheinlichkeit ✓



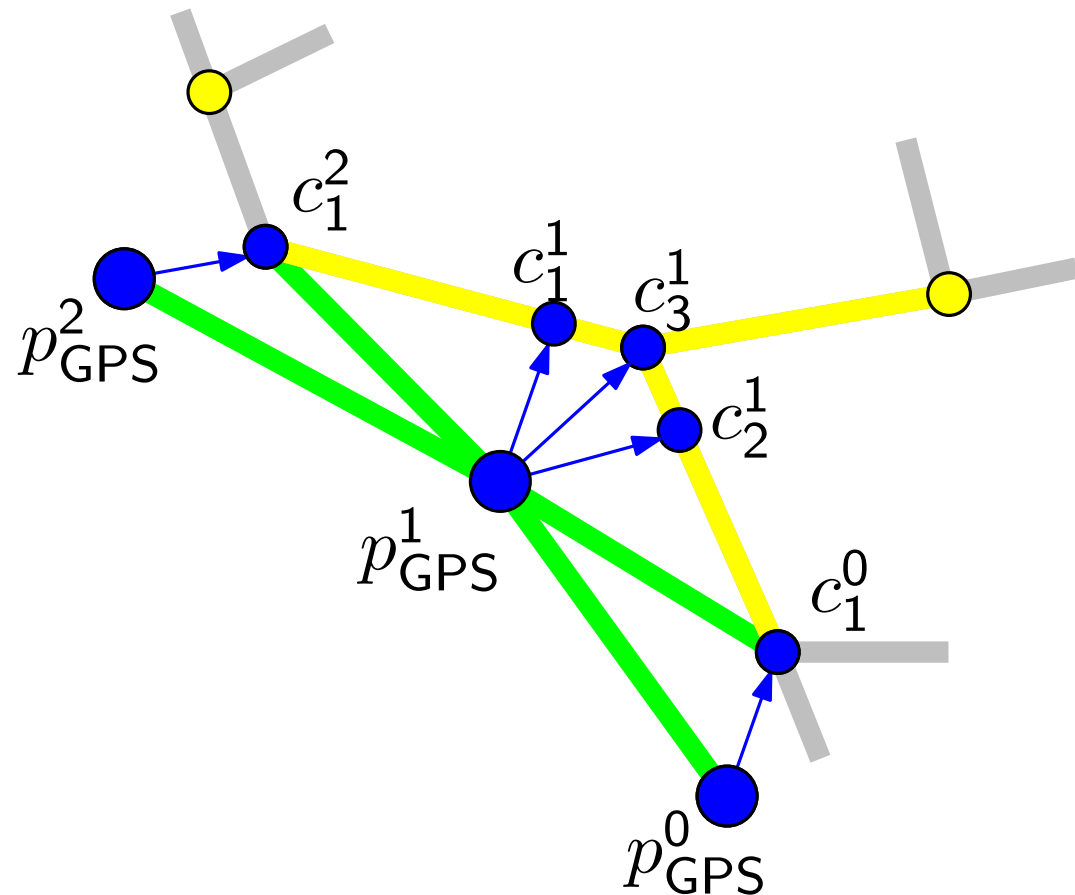
Qualitätsanalyse von Off-Road-Segmenten

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

Beobachtungs-
wahrscheinlichkeit ✗

Übergangs-
wahrscheinlichkeit ✓

Richtungs-
wahrscheinlichkeit



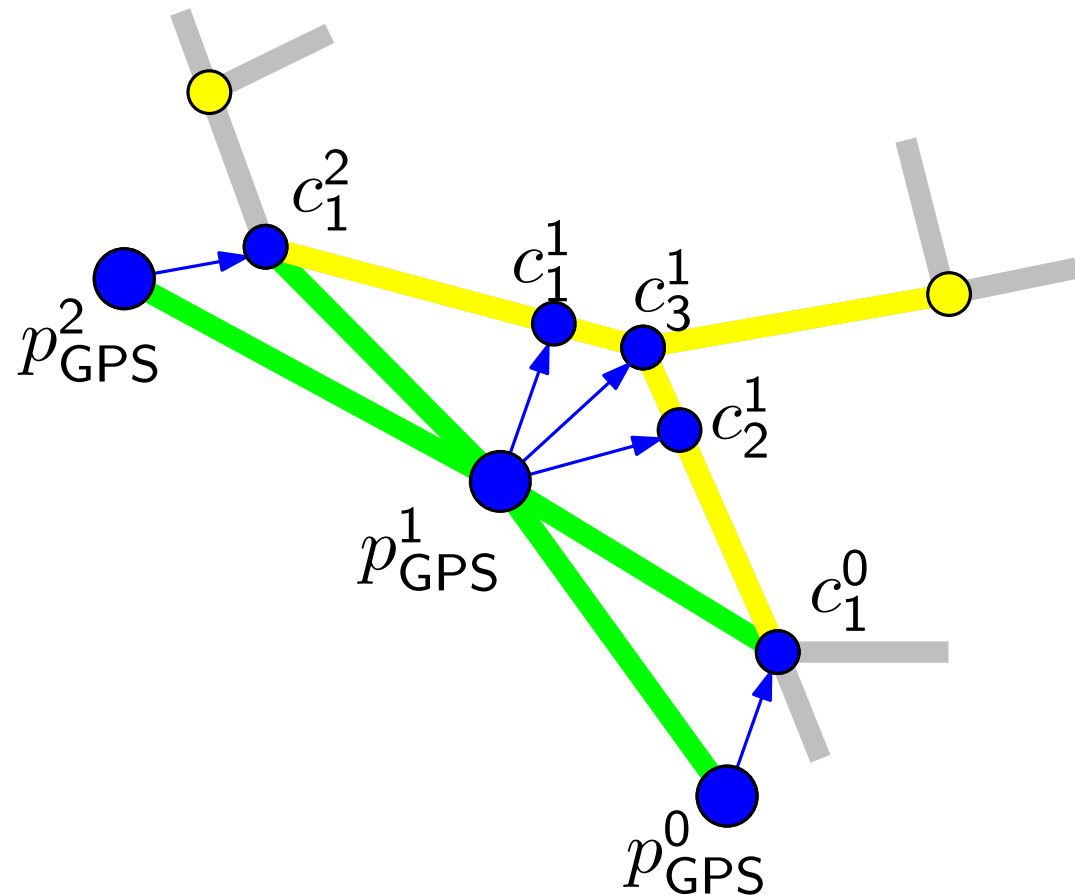
Qualitätsanalyse von Off-Road-Segmenten

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

Beobachtungs-
wahrscheinlichkeit ✗

Übergangs-
wahrscheinlichkeit ✓

Richtungs-
wahrscheinlichkeit ✓



Qualitätsanalyse von Off-Road-Segmenten

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

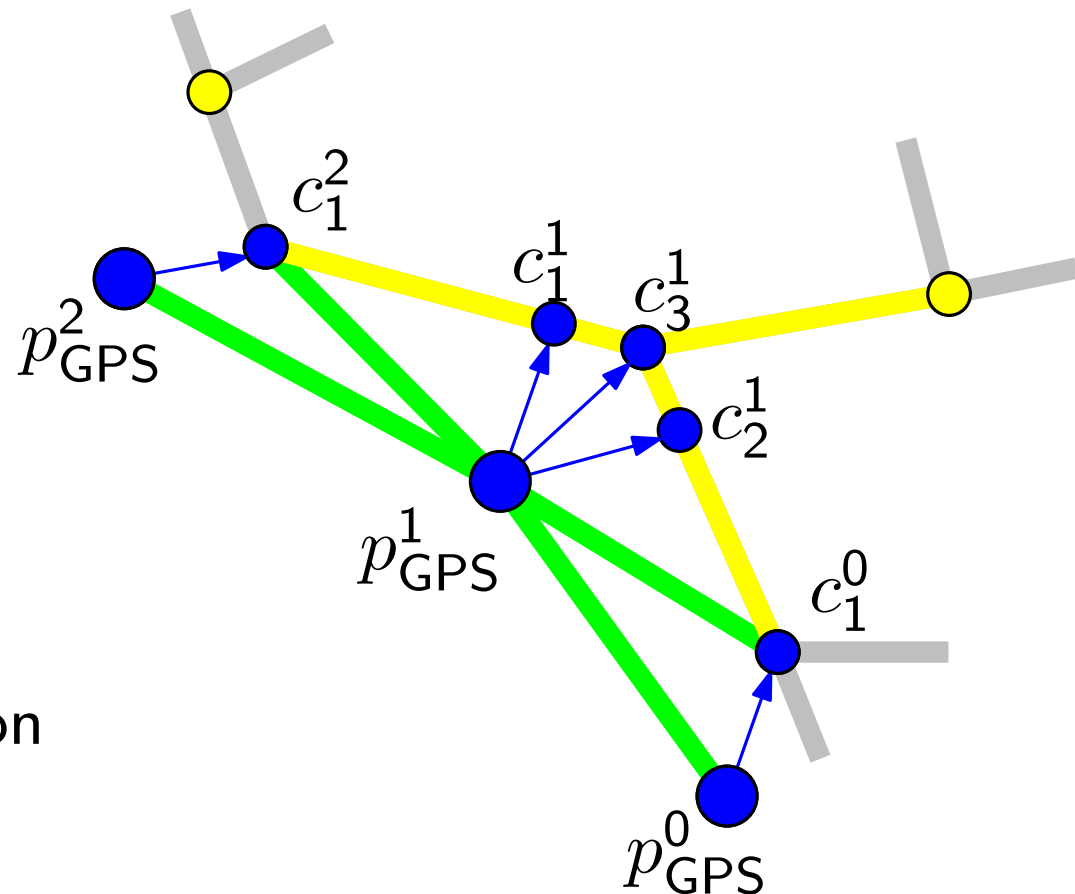
Beobachtungs-
wahrscheinlichkeit ✗

Übergangs-
wahrscheinlichkeit ✓

Richtungs-
wahrscheinlichkeit ✓

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?

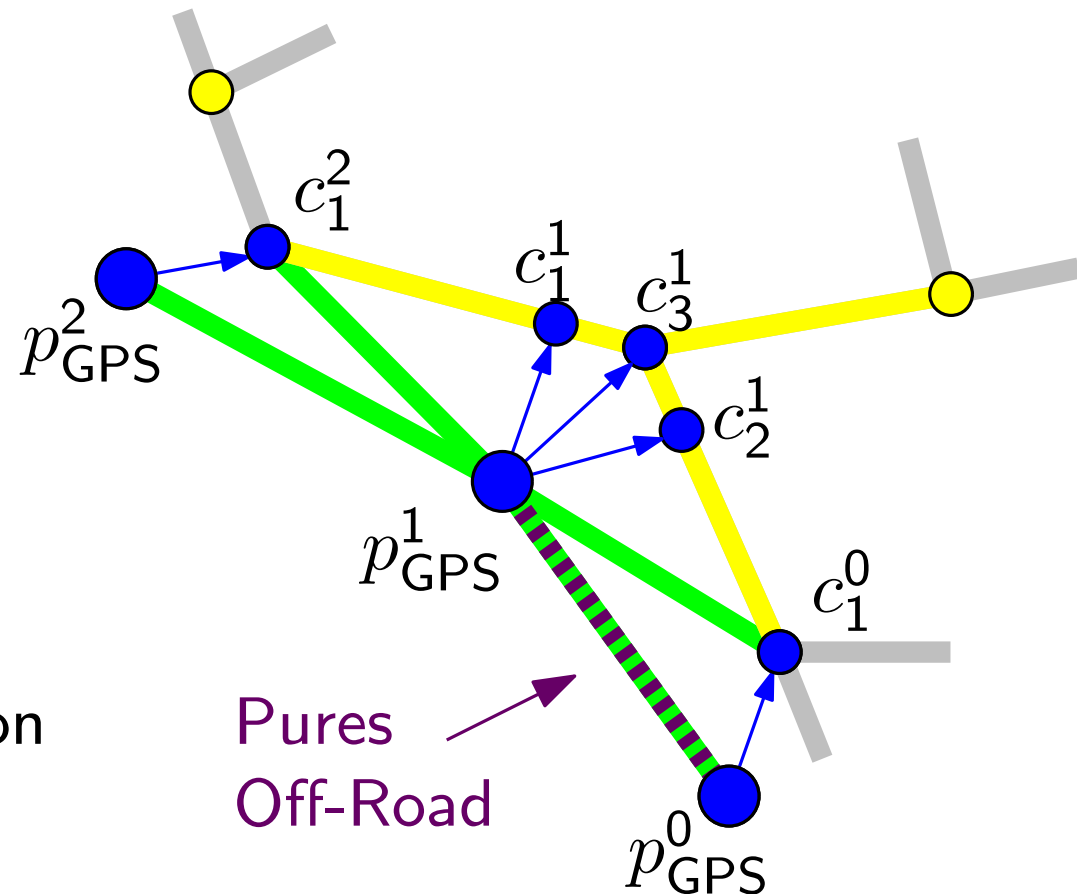
Beobachtungs-
wahrscheinlichkeit ✗

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?

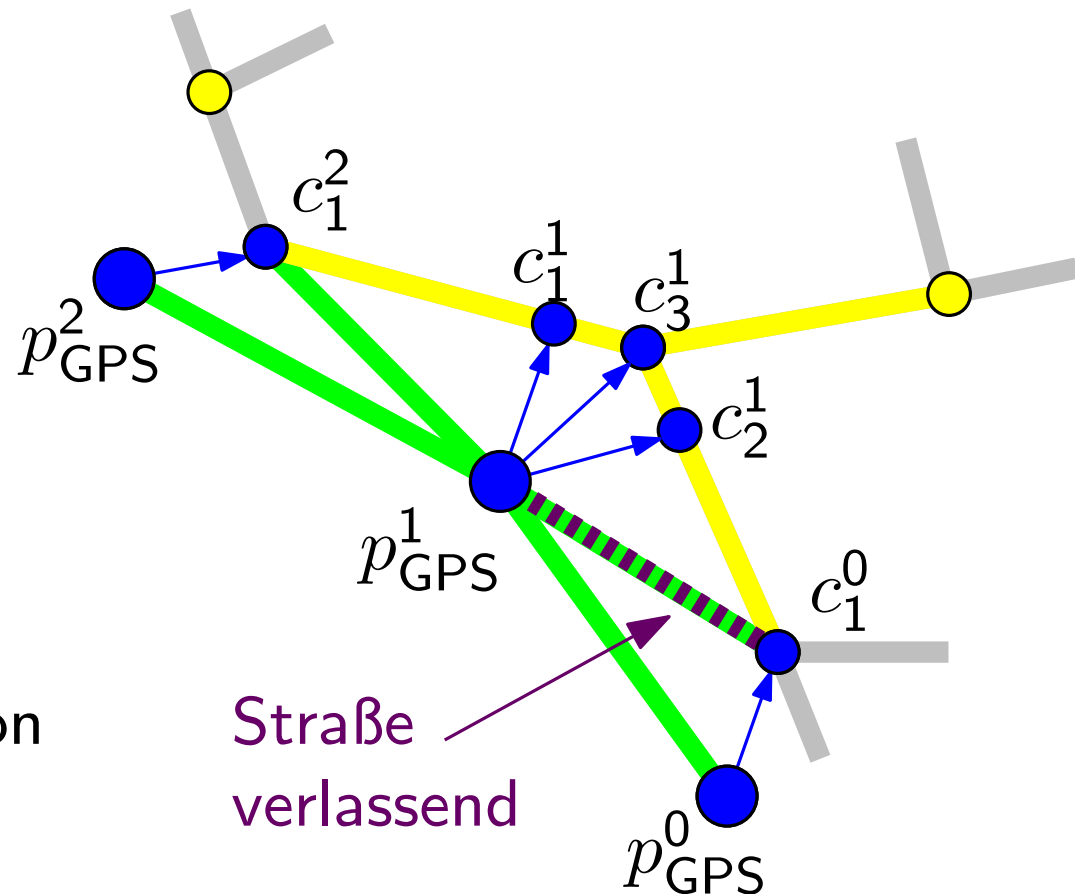
Beobachtungs-
wahrscheinlichkeit ✗

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?

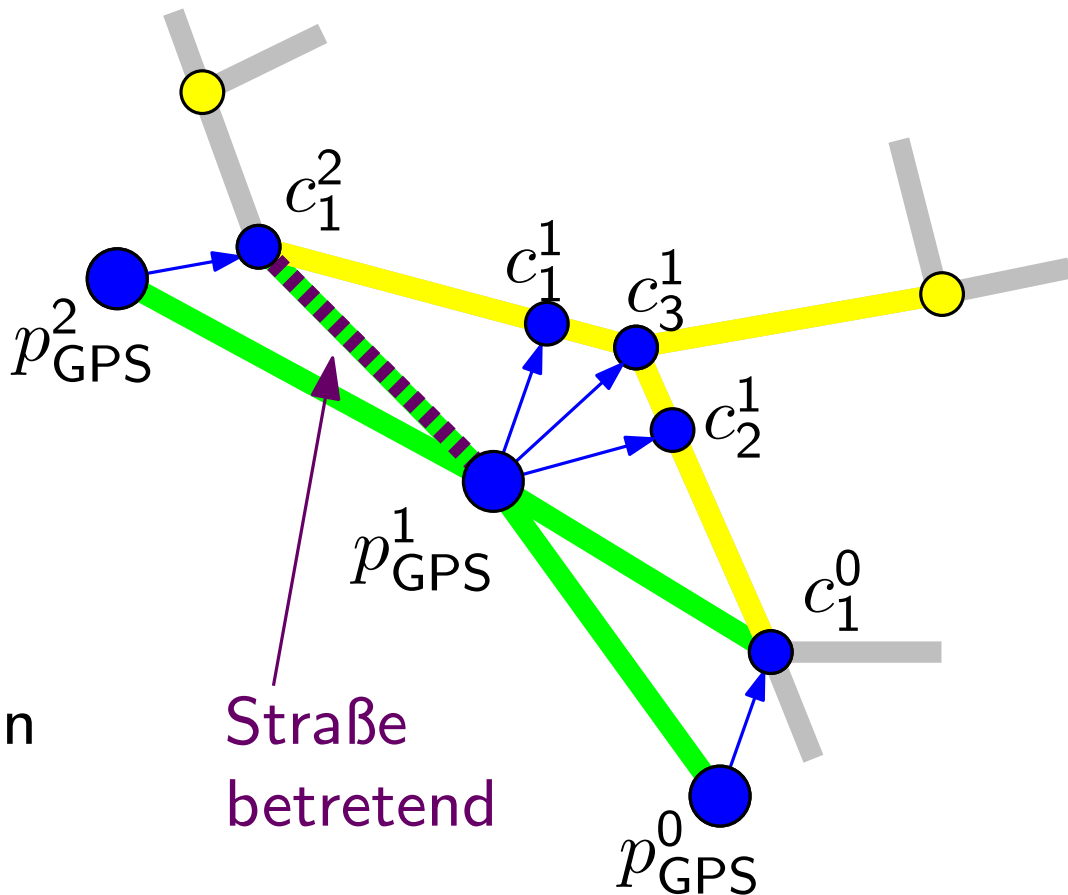
Beobachtungs-
wahrscheinlichkeit ✗

Übergangs-
wahrscheinlichkeit ✓

Richtungs-
wahrscheinlichkeit ✓

Zusätzlich:

Strafen fürs Benutzen von
Off-Road-Segmenten



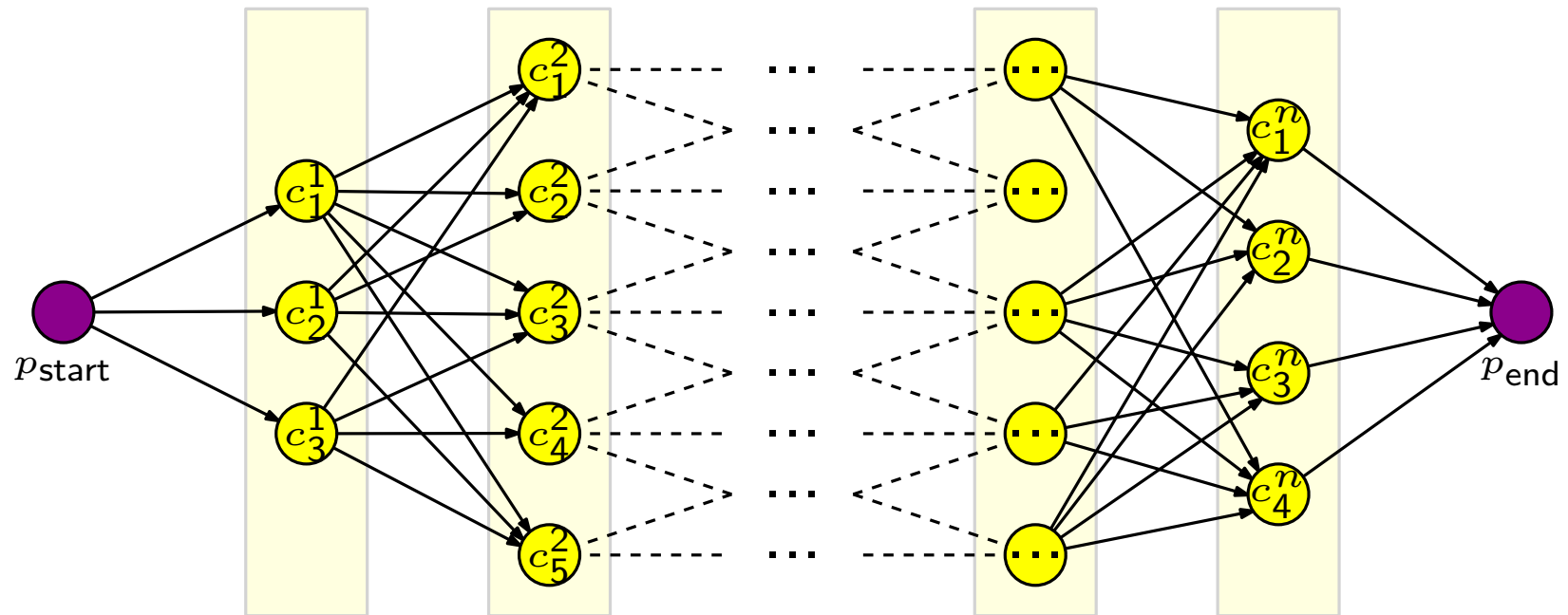
Erweiterter Kandidatengraph

Erweiterter Kandidatengraph

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

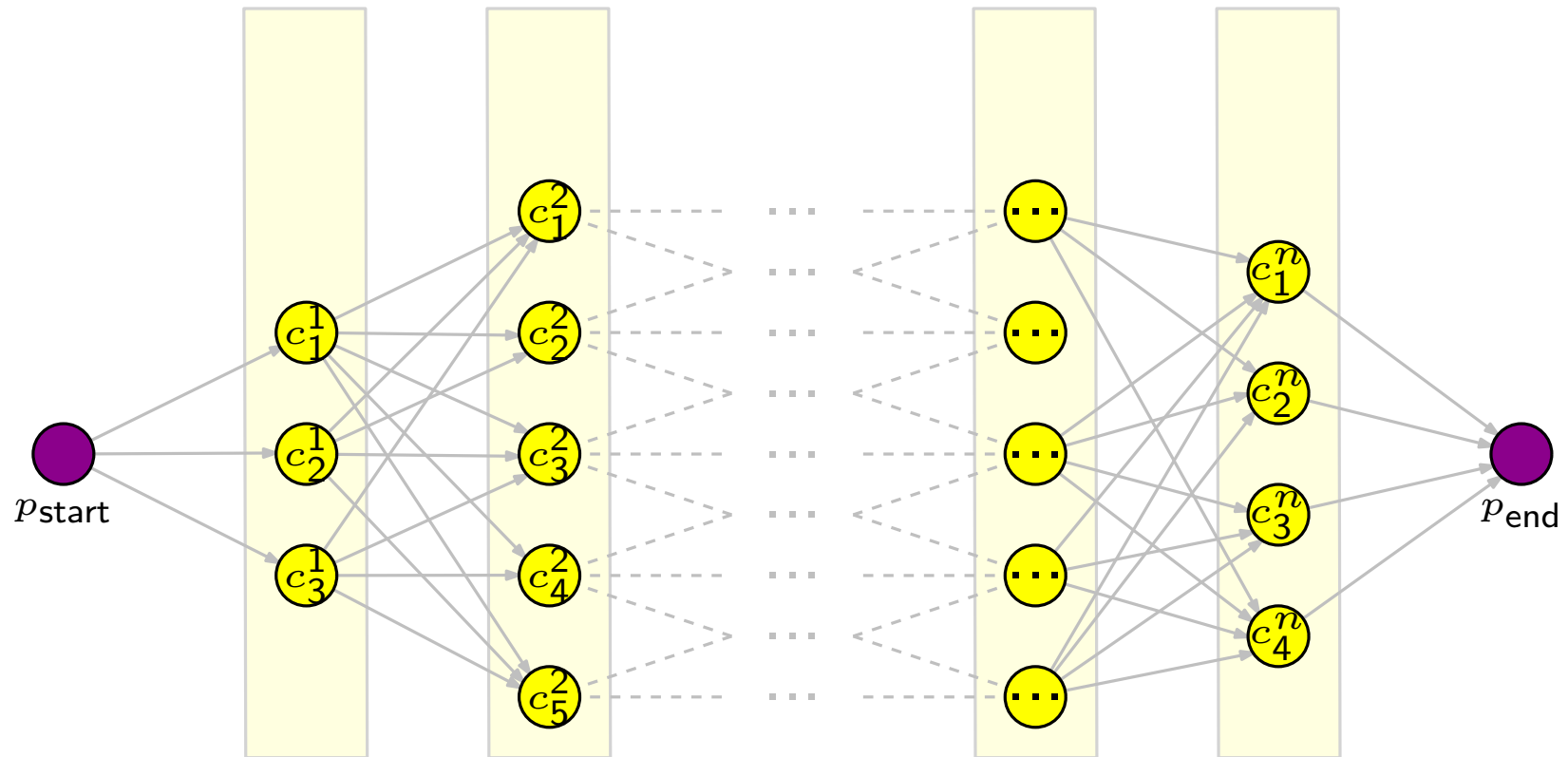
Erweiterter Kandidatengraph

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



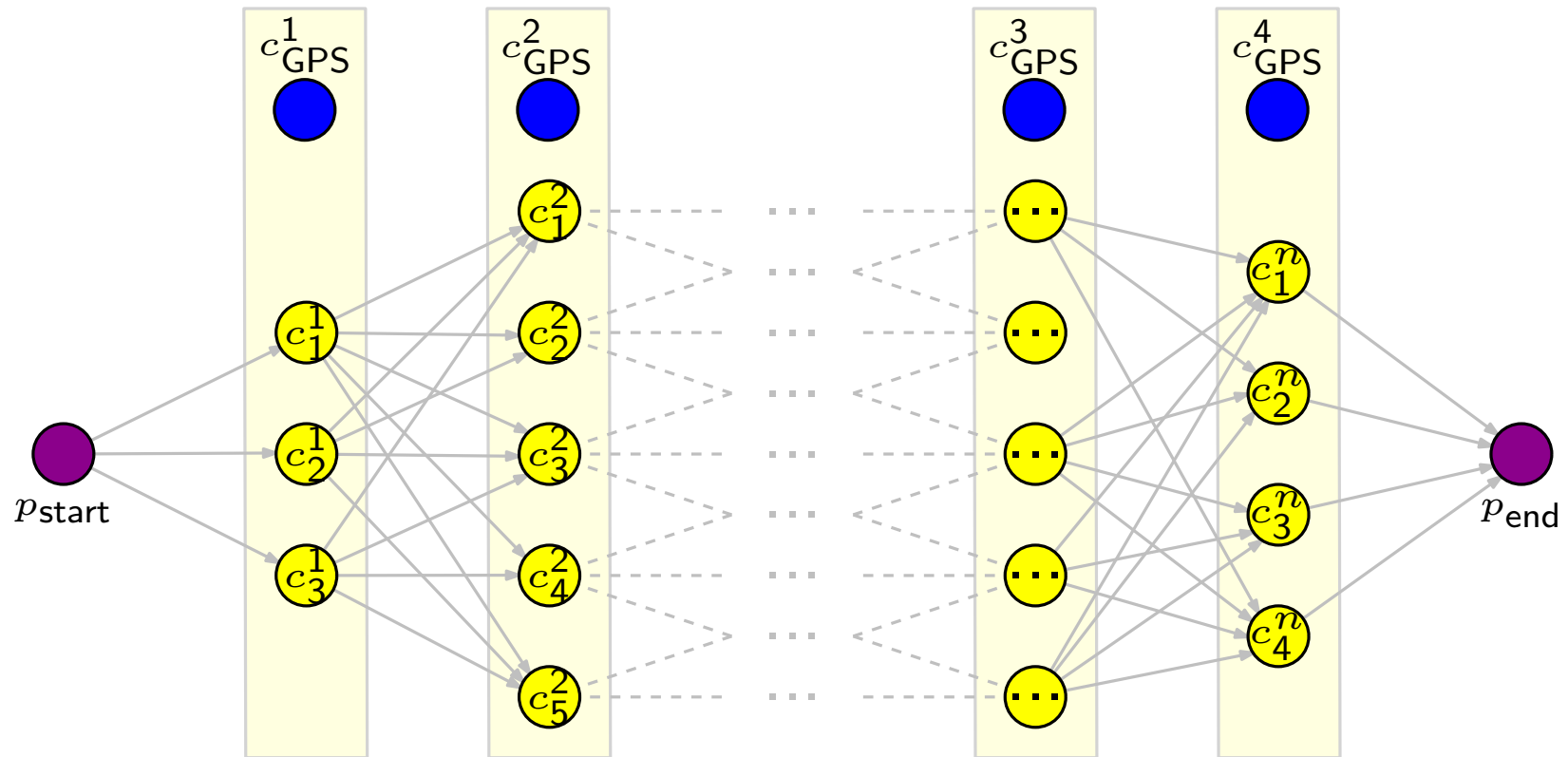
Erweiterter Kandidatengraph

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



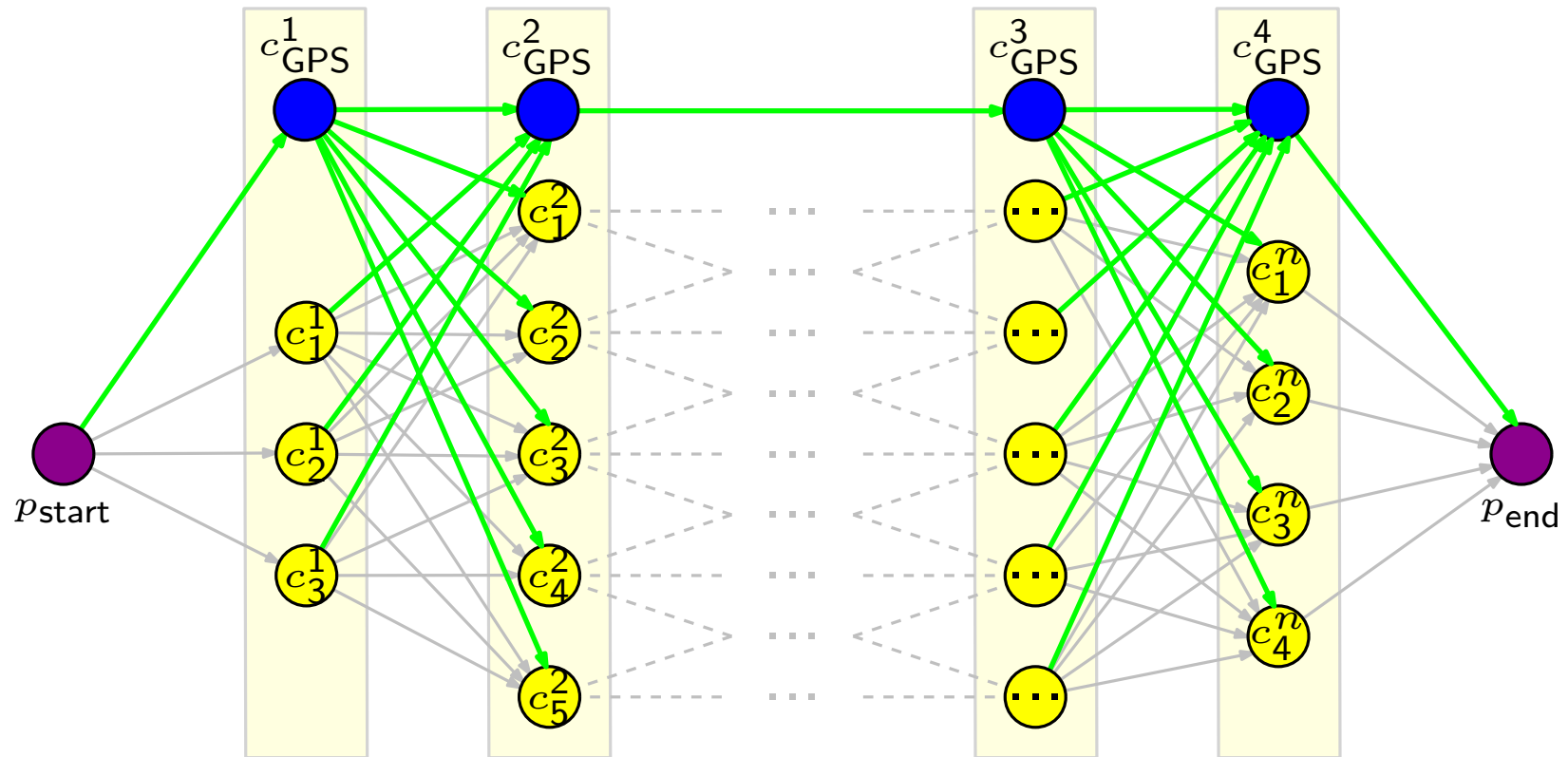
Erweiterter Kandidatengraph

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



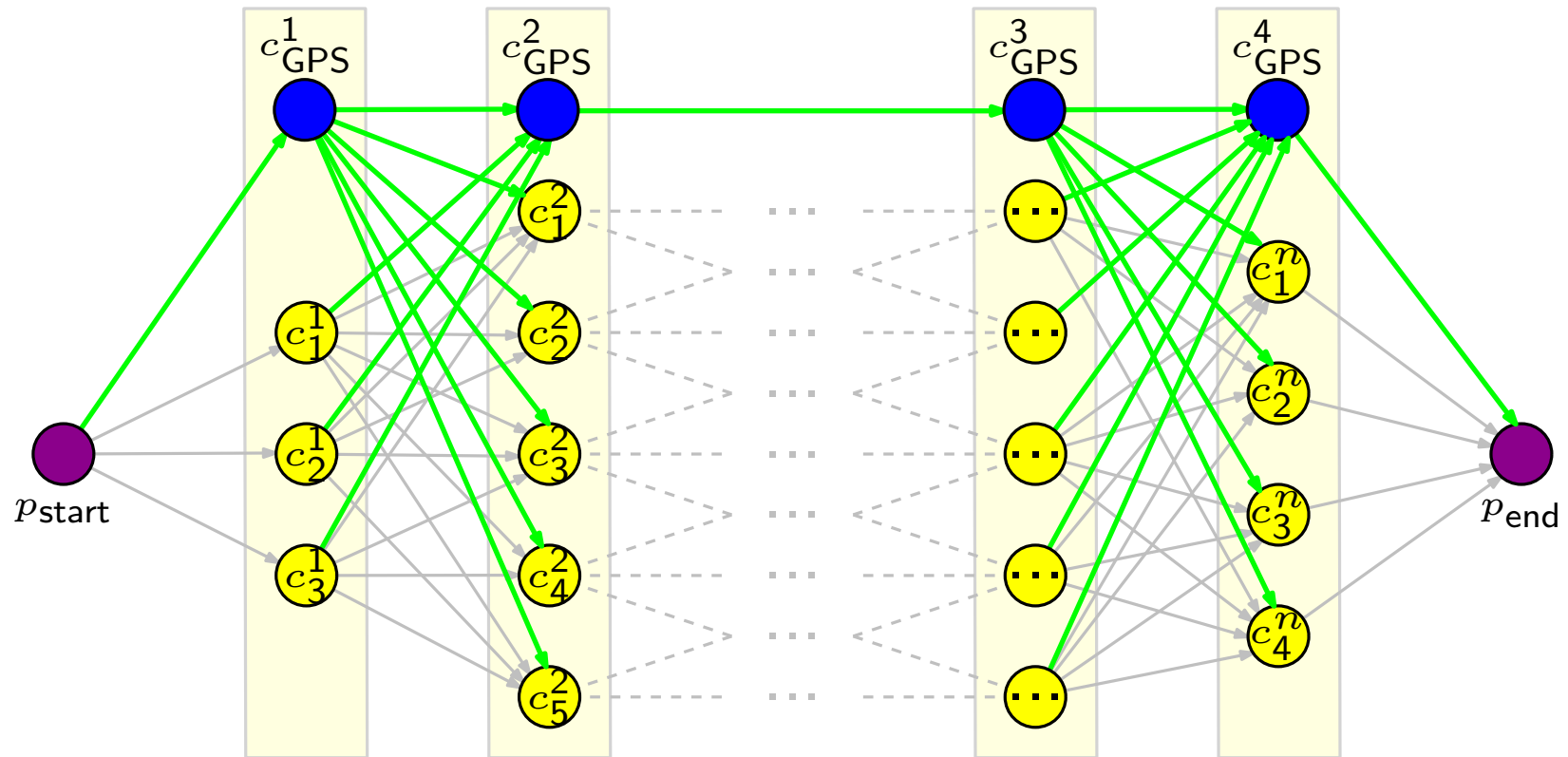
Erweiterter Kandidatengraph

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



Erweiterter Kandidatengraph

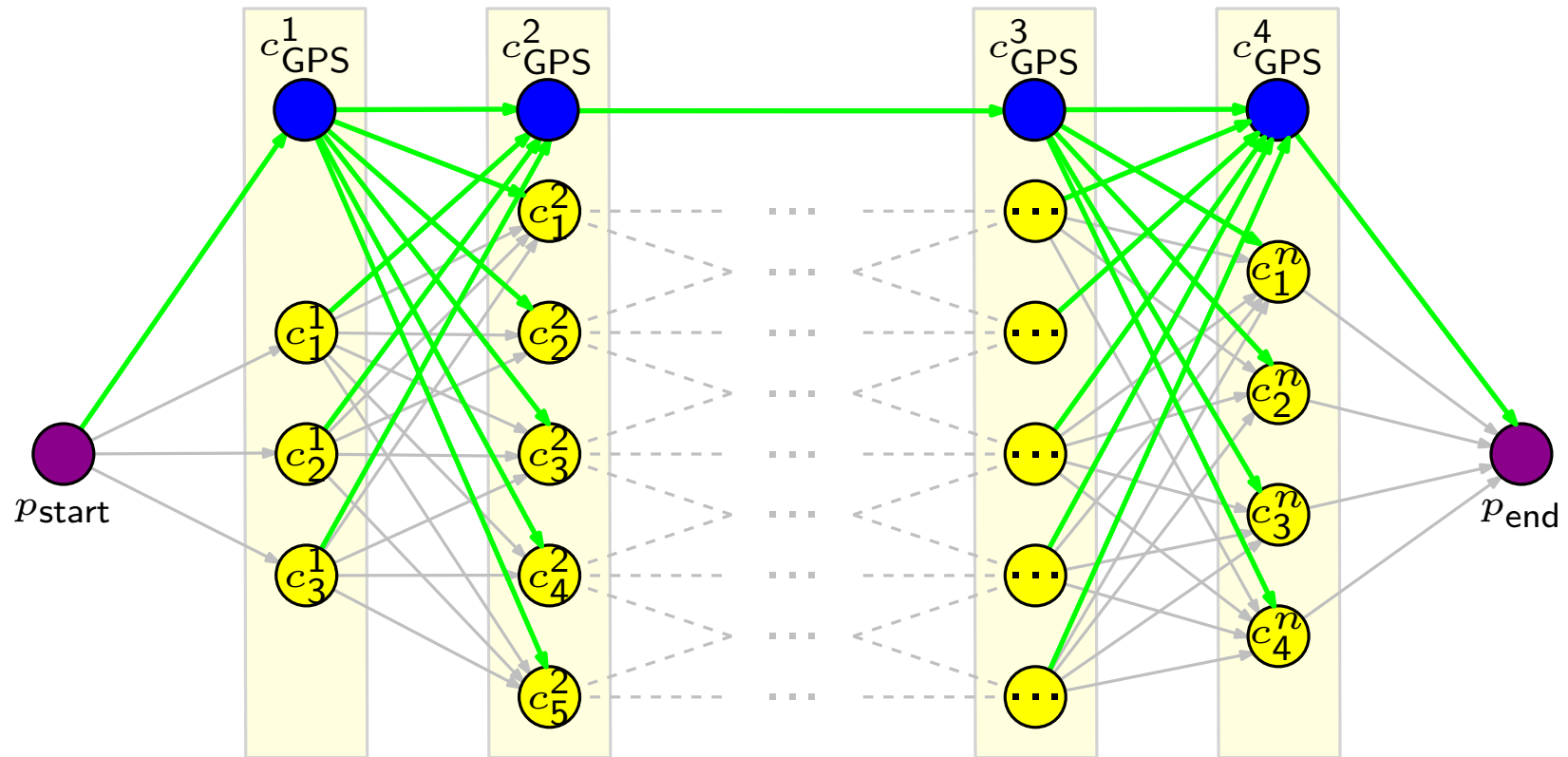
Die Off-Road-Punkte und -Segmente werden im Kandidatengraph repräsentiert:



Aber:

Erweiterter Kandidatengraph

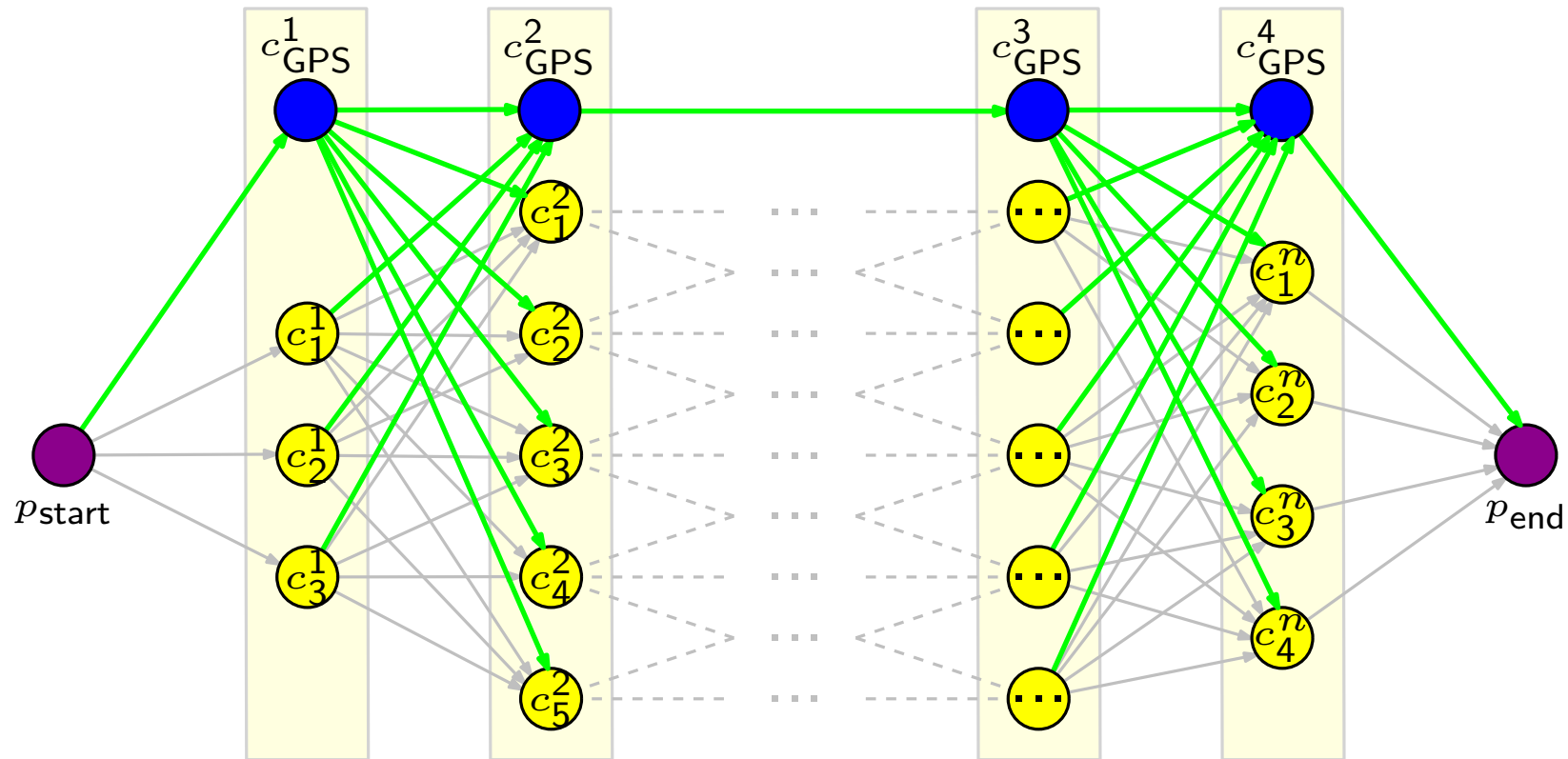
Die Off-Road-Punkte und -Segmente werden im Kandidatengraph repräsentiert:



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-Algorithmus: μ ist ein Matching, wenn es kein M -alternating path gibt

• Matching-Algorithmus: μ ist ein M -alternating path, wenn es einen M -alternating path gibt

• Matching-Algorithmus: μ ist ein M -alternating path, wenn es einen M -alternating path gibt

• Matching-Algorithmus: μ ist ein M -alternating path, wenn es einen M -alternating path gibt

• Matching-Algorithmus: μ ist ein M -alternating path, wenn es einen M -alternating path gibt

• Matching-Algorithmus: μ ist ein M -alternating path, wenn es einen M -alternating path gibt

• Matching-Algorithmus: μ ist ein M -alternating path, wenn es einen M -alternating path gibt

• Matching-Algorithmus: μ ist ein M -alternating path, wenn es einen M -alternating path gibt

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.

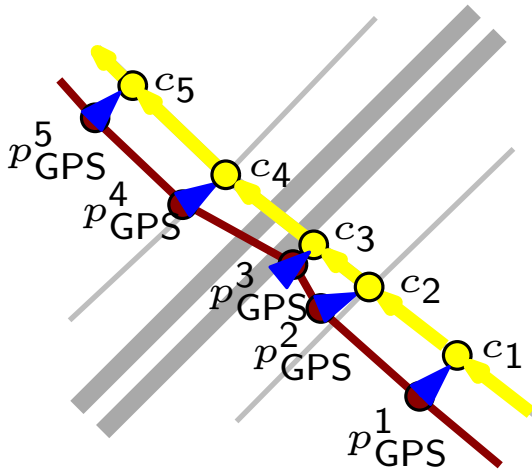
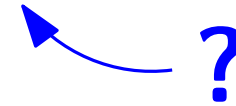
SAMPLING-RATE	QUALITÄTSVERBESSERUNG
niedrig (1/100 s)	keine
mittel (1/10 s)	besser bei fehlenden neuralgischen Segmenten



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

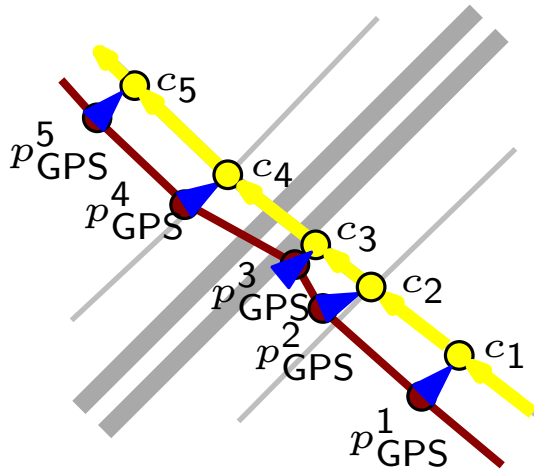


Segment vorhanden

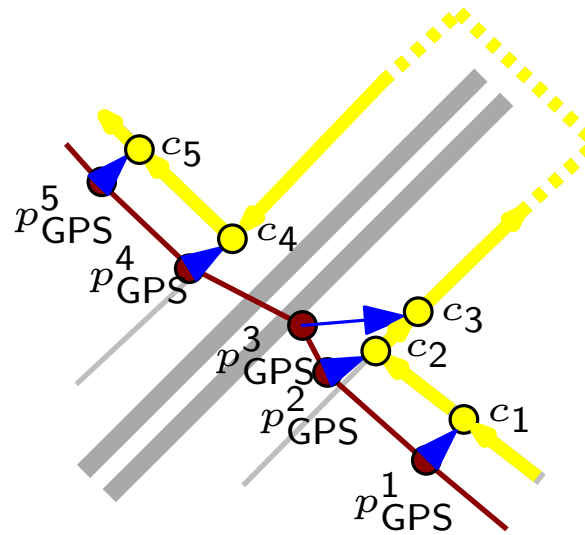
Matching-Qualität bei versch. Bedingungen

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

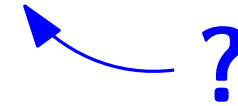
SAMPLING-RATE	QUALITÄTSVERBESSERUNG
niedrig (1/100 s)	keine
mittel (1/10 s)	besser bei fehlenden neuralgischen Segmenten



Segment vorhanden



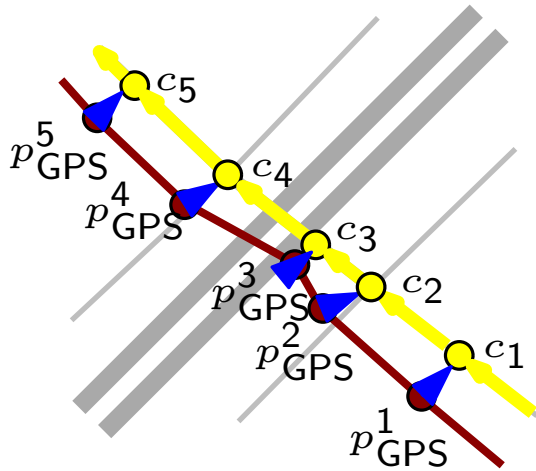
Segment umgangen



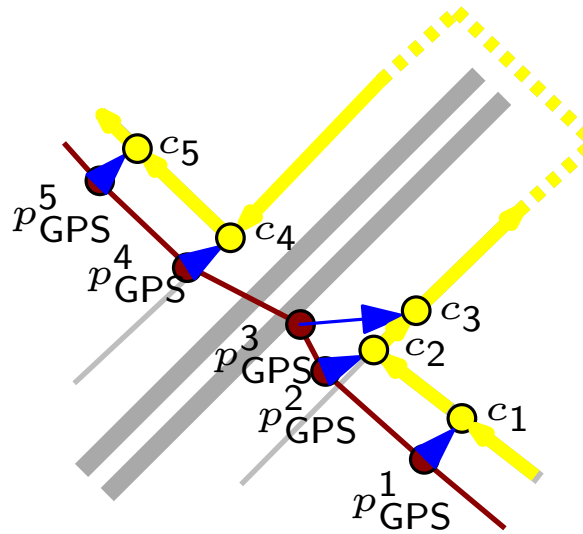
Matching-Qualität bei versch. Bedingungen

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

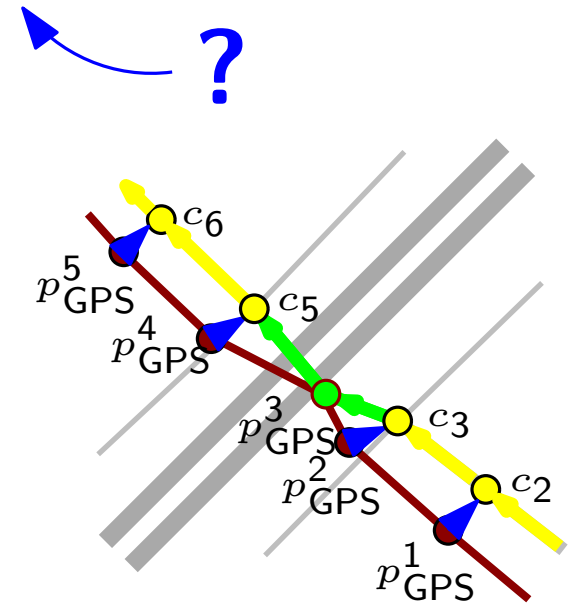
SAMPLING-RATE	QUALITÄTSVERBESSERUNG
niedrig (1/100 s)	keine
mittel (1/10 s)	besser bei fehlenden neuralgischen Segmenten



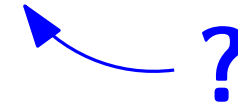
Segment vorhanden



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.

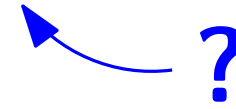
SAMPLING-RATE	QUALITÄTSVERBESSERUNG
niedrig (1/100 s)	keine
mittel (1/10 s)	besser bei fehlenden neuralgischen Segmenten



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

Verhalten auf unvollständigen Karten

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

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

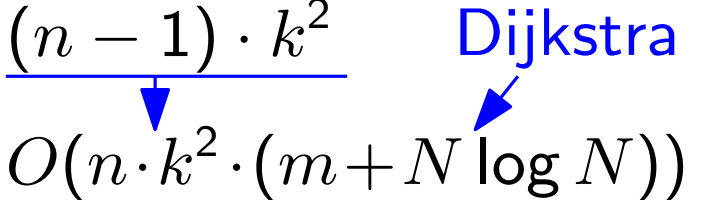
Laufzeitanalyse

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

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