

# マップマッチングの アルゴリズム

羽藤英二・伊藤創太・伊藤篤志編：  
ネットワーク行動学( BinN studies シリーズ),  
pp.84-106,2014.

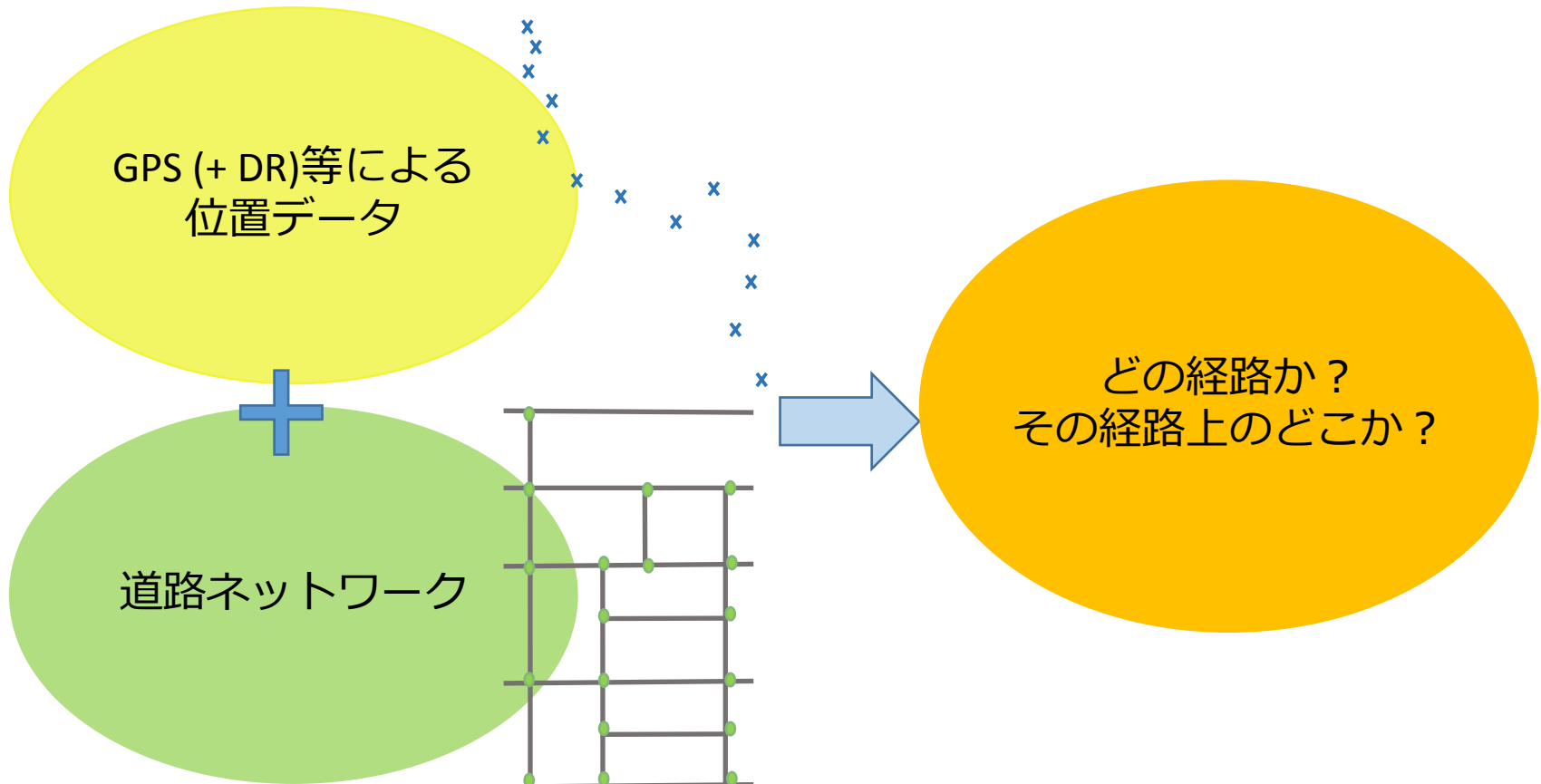
2015/05/29  
理論勉強会 #7  
M1 山本萌美

# もくじ

- マップマッチングとは？
- マップマッチングのバリエーション
- Point to Point map-matching
- Point to Curve map-matching
- Curve to Curve map-matching
- 幾何解析マップマッチング
- 位相幾何解析マップマッチング
- さまざまなマップマッチング

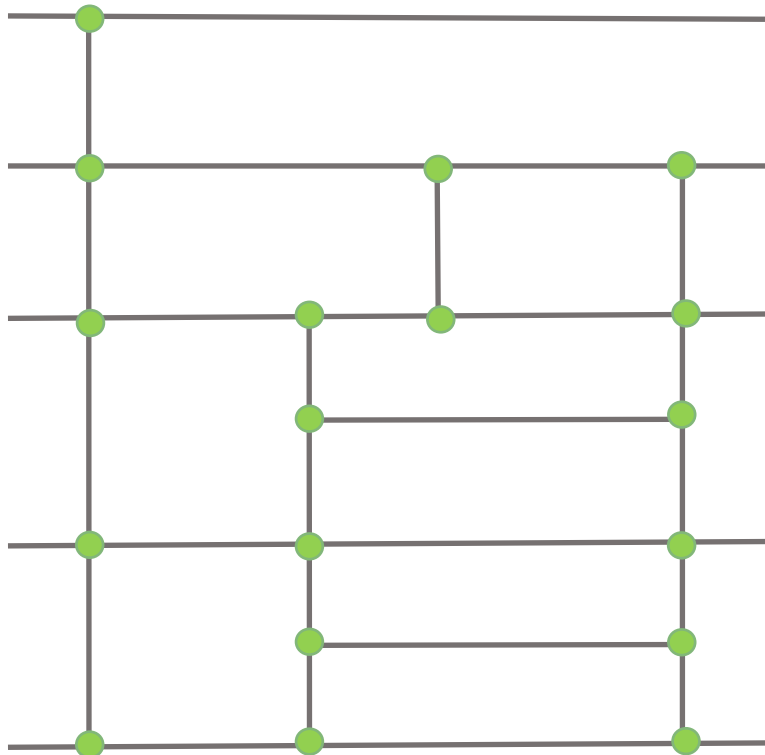
# マップマッチングとは？

GPS やデッドレコグニング技術で得られた位置データを用いて、ある時点で移動者がどの経路を利用しているのか、あるいはその経路上のどこにいるのかを特定する技術



# マップマッチングとは？

道路ネットワーク



凡例

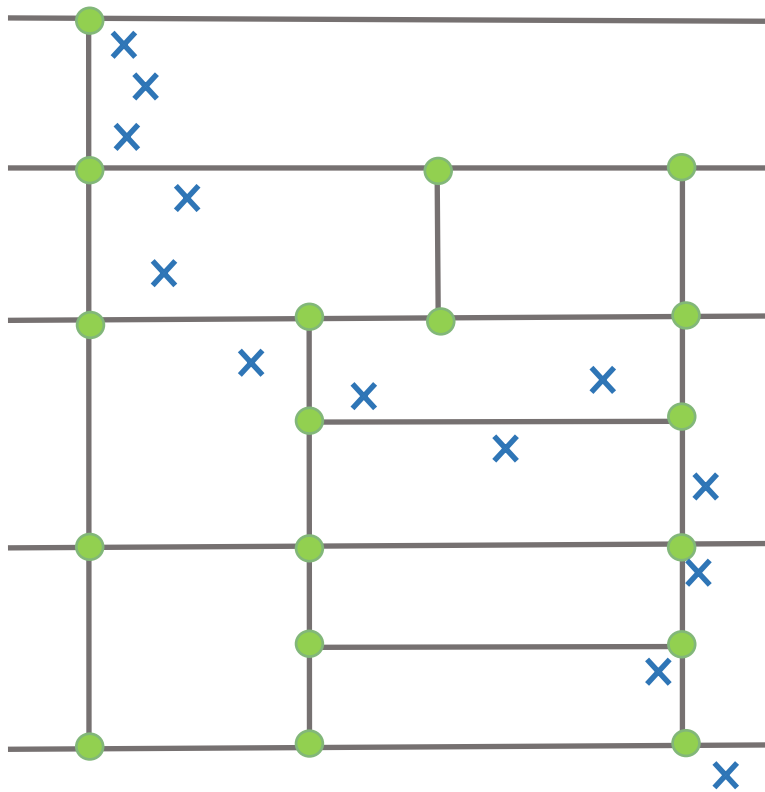
- リンク
- ノード

基本的なアルゴリズム

- STEP1 道路ネットワークを準備
- STEP2 道路ネットワーク上に測位位置データをプロット
- STEP3 位置データとネットワーク上のリンクやノードとの関係を定量化  
→通過リンクの特定
- STEP4 リンクごとのパフォーマンス指標（所要時間や走行速度）の算定

# マップマッチングとは？

道路ネットワーク



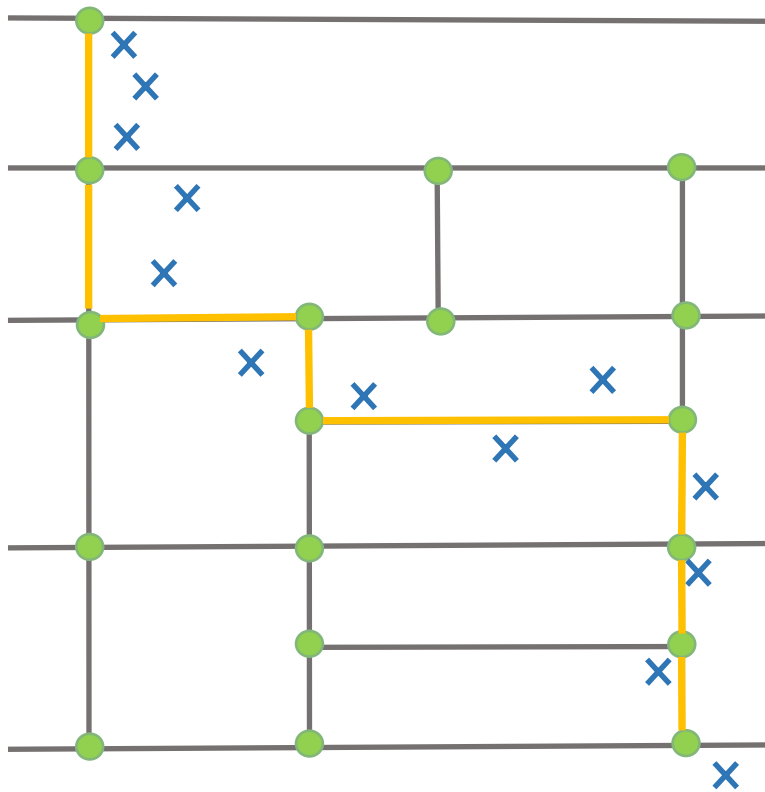
凡例  
× 測位点

基本的なアルゴリズム

- STEP1 道路ネットワークを準備
- STEP2 道路ネットワーク上に測位位置データをプロット
- STEP3 位置データとネットワーク上のリンクやノードとの関係を定量化  
→通過リンクの特定
- STEP4 リンクごとのパフォーマンス指標（所要時間や走行速度）の算定

# マップマッチングとは？

道路ネットワーク



凡例

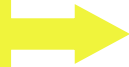
— 通過リンク

基本的なアルゴリズム

- STEP1 道路ネットワークを準備
- STEP2 道路ネットワーク上に測位位置データをプロット
- STEP3 位置データとネットワーク上のリンクやノードとの関係を定量化  
→通過リンクの特定
- STEP4 リンクごとのパフォーマンス指標（所要時間や走行速度）の算定

# マップマッチングとは？

定量化方法や測位補正の方法などによってさまざま手法がある



基本的なアルゴリズム

- STEP1 道路ネットワークを準備
- STEP2 道路ネットワーク上に測位位置データをプロット
- STEP3 位置データとネットワーク上のリンクやノードとの関係を定量化  
→通過リンクの特定
- STEP4 リンクごとのパフォーマンス指標（所要時間や走行速度）の算定

# マップマッチングのバリエーション<sup>[1]</sup>

幾何解析(Geometric)

マップマッチング

- Point to Point
- Point to Curve
- Curve to Curve
- Road Reduction Filter(RRF)

位相幾何(Topological)解析

マップマッチング

- Weighted topological algorithm
- Simplified algorithm by Meng (2006)
- Algorithm based Various Similarity Criteria by Quddus et al.(2003)

確率的(Probabilistic)

マップマッチング

- Elliptical/rectangular confidence region

高度な技術を利用した

マップマッチング

- Kalman filter
- Dempster-Shafer's mathematical theory of evidence
- Flexible state-space model and particle filter
- Interacting multiple model
- Fuzzy logic model



# マップマッチングのバリエーション

幾何解析(Geometric)

マップマッチング

- Point to Point
- Point to Curve
- Curve to Curve
- Road Reduction Filter(RRF)

位相幾何(Topological)解析

マップマッチング

- Weighted topological algorithm
- Simplified algorithm by M...
- Algorithm based Various

確率的(Probabilistic)

マップマッチング

- Elliptical/rectangular cont...

高度な技術を利用した

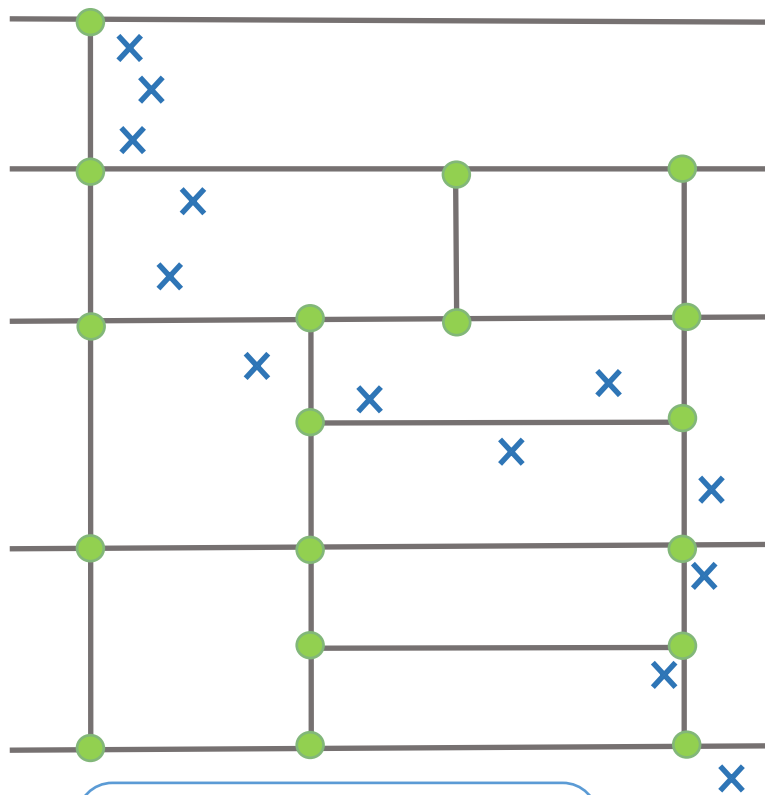
マップマッチング

- Kalman filter
- Dempster-Shafer's mathematical theory of evidence
- Flexible state-space model and particle filter
- Interacting multiple model
- Fuzzy logic model

位置データ取得技術の発達と普及とともに、たくさんの手法が提案されている。まずは幾何解析マップマッチングを勉強します。

# Point to Point map-matching

測位点をネットワーク上の最も近いノードにマッチングする



凡例

x

測位点

●

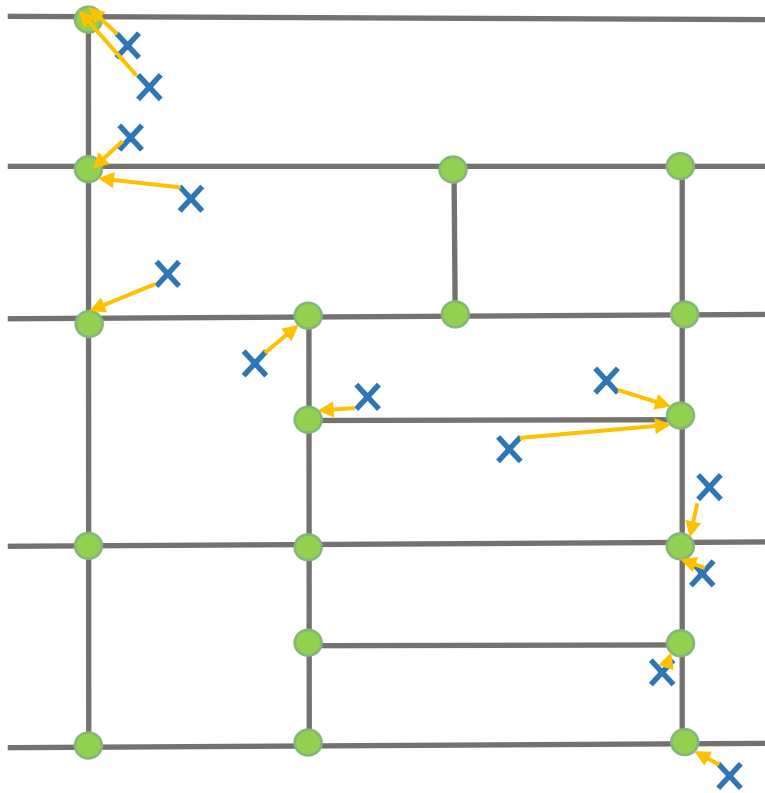
ノード

## アルゴリズム

- STEP1 測位点とネットワーク上のすべてのノードとの距離を計算
- STEP2 測位点を最も距離の小さかったノードにマッチング
- STEP3 すべての測位点でSTEP1, STEP2をおこなう  
すべて終われば終了

# Point to Point map-matching

測位点をネットワーク上の最も近いノードにマッチングする

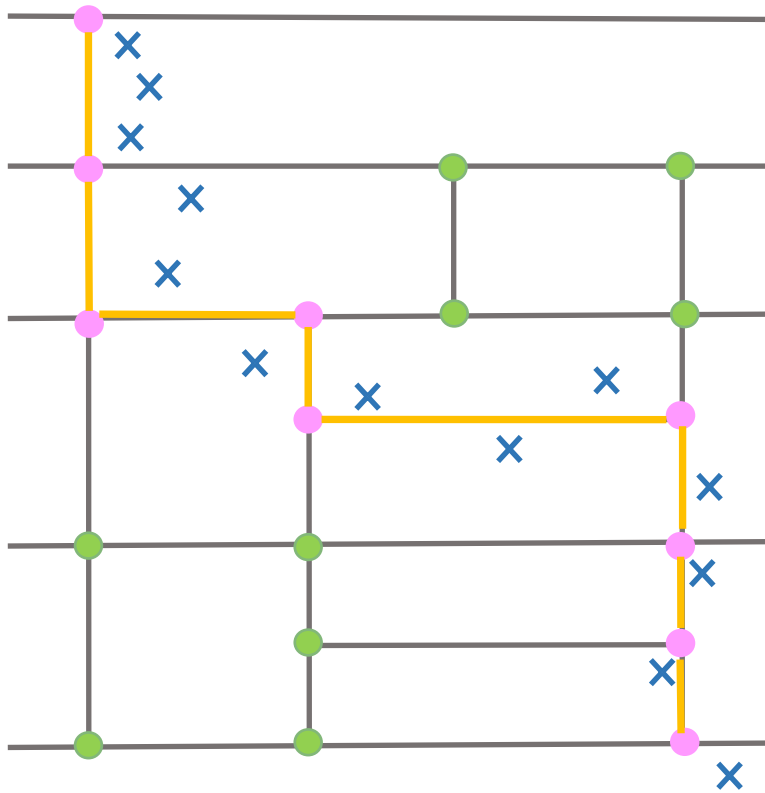


## アルゴリズム

- STEP1 測位点とネットワーク上のすべてのノードとの距離を計算
- STEP2 測位点を最も距離の小さかったノードにマッチング
- STEP3 すべての測位点でSTEP1, STEP2をおこなう  
すべて終われば終了

# Point to Point map-matching

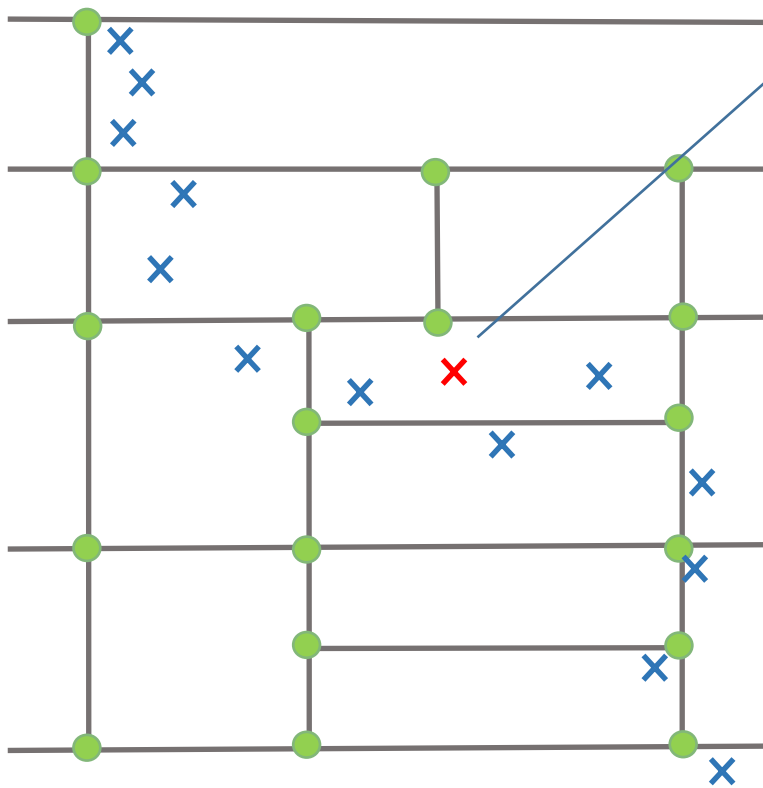
測位点をネットワーク上の最も近いノードにマッチングする



## アルゴリズム

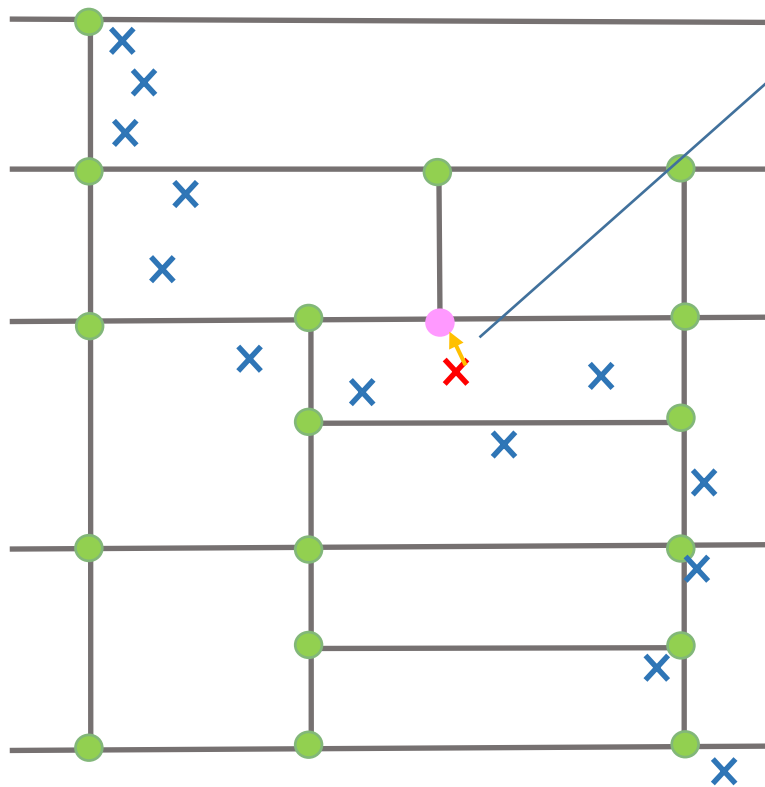
- STEP1 測位点とネットワーク上のすべてのノードとの距離を計算
- STEP2 測位点を最も距離の小さかったノードにマッチング
- STEP3 すべての測位点でSTEP1, STEP2をおこなう  
すべて終われば終了

# Point to Point map-matching



もしも、ここに測位点があったら...

# Point to Point map-matching



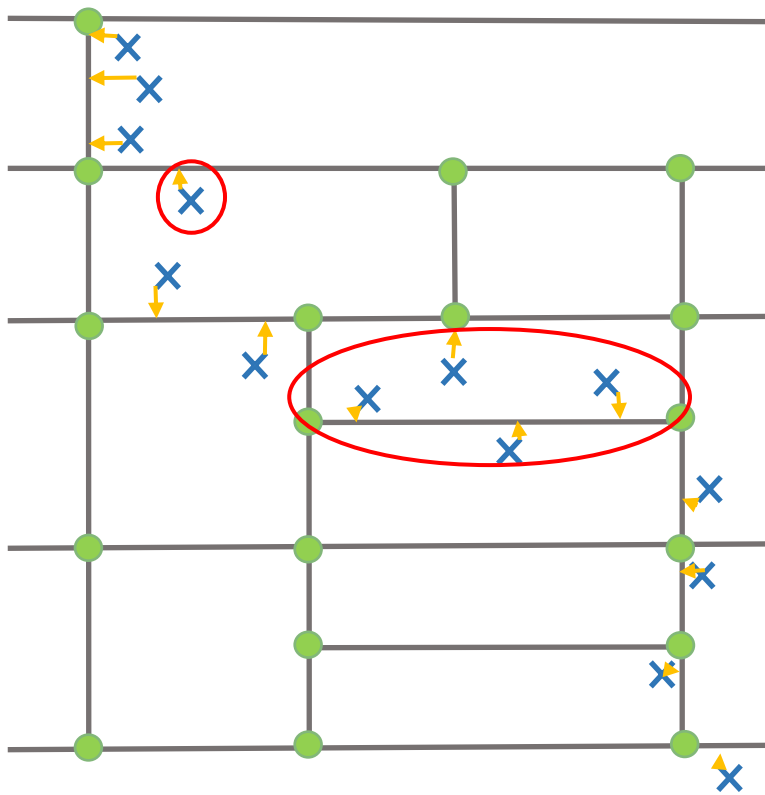
もしも、ここに測位点があったら...

ノードが少ないネットワークは  
誤ってマッチングされやすい

⇔ノードが多いネットワークほど  
正確にマッチングできる

# Point to Curve map-matching

測位点をネットワーク上の最も近いリンクにマッチングする

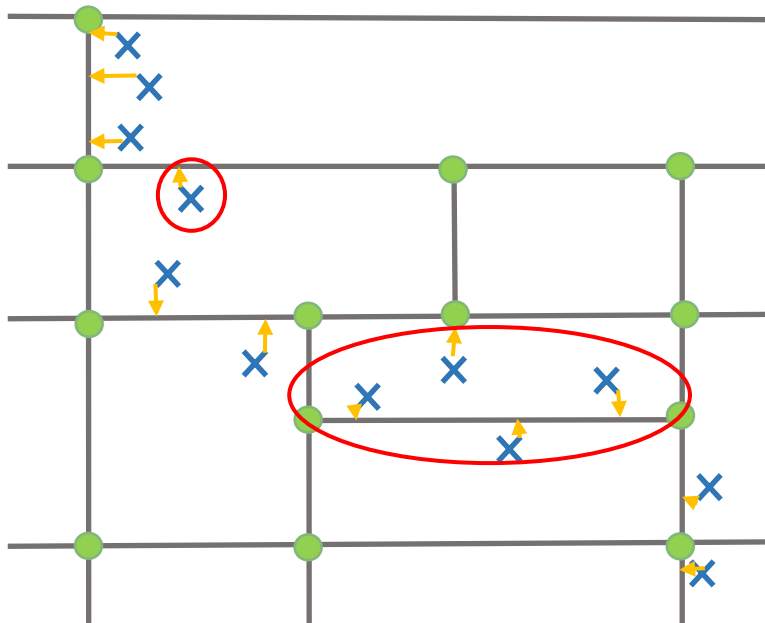


## アルゴリズム

- STEP1 測位点とネットワーク上のすべてのリンクとの距離を計算
- STEP2 測位点を最も距離の小さかったリンクにマッチング
- STEP3 すべての測位点でSTEP1, STEP2をおこなう  
すべて終われば終了

# Point to Curve map-matching

測位点をネットワーク上の最も近いリンクにマッチングする



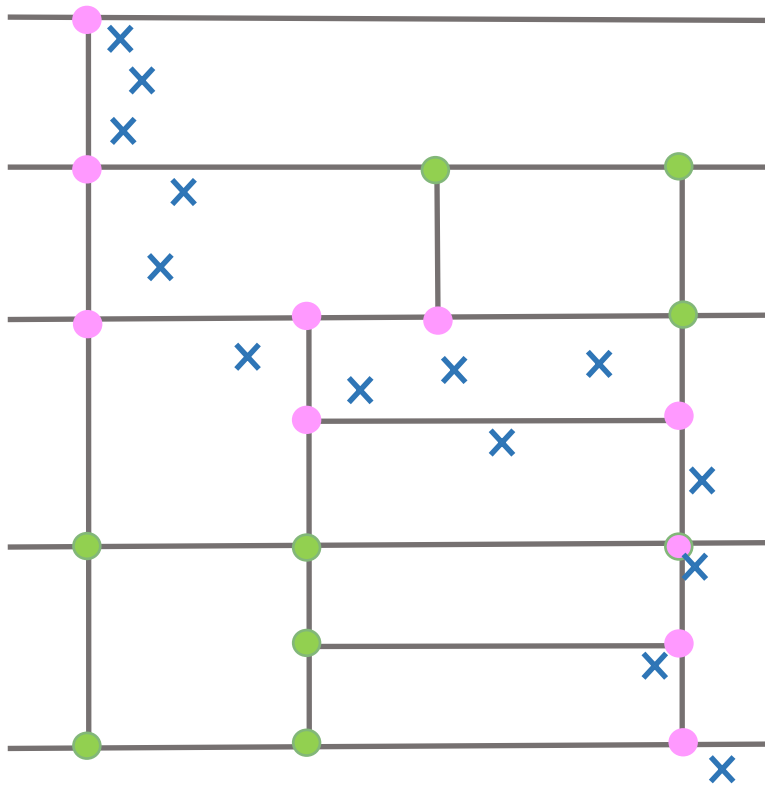
高密度なネットワーク  
(リンク間距離が小さい) では、  
誤りやすい

## アルゴリズム

- STEP1 測位点とネットワーク上のすべてのリンクとの距離を計算
- STEP2 測位点を最も距離の小さかったリンクにマッチング
- STEP3 すべての測位点でSTEP1, STEP2をおこなう  
すべて終われば終了



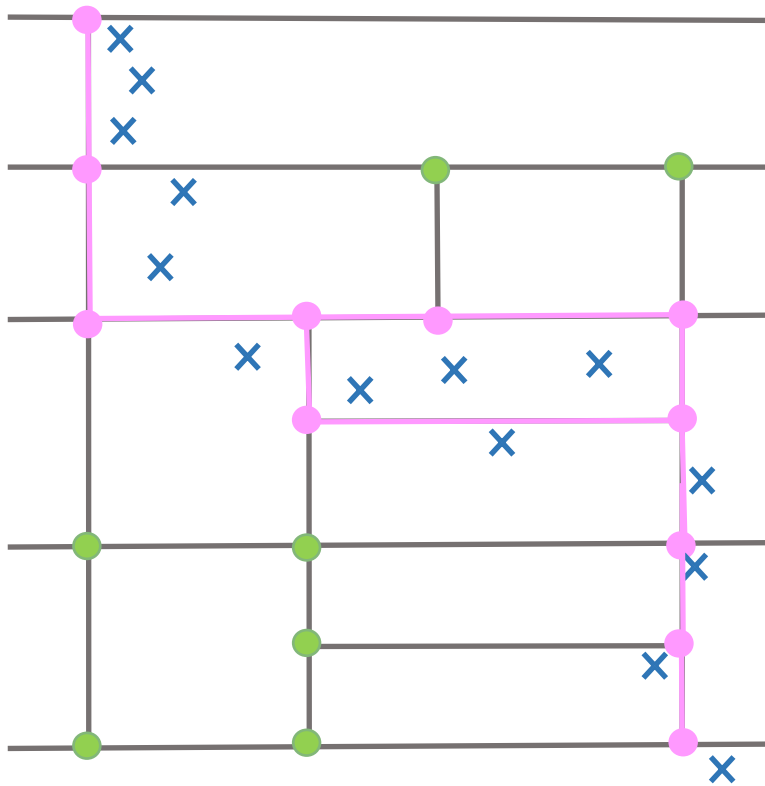
# Curve to Curve map-matching



## アルゴリズム

- STEP1 Point to point matching により候補となるノードを探索
- STEP2 候補ノードから候補リンク探索
- STEP3 候補ノードから候補経路を作成
- STEP4 測位点を結びその線分の距離の和を算出
- STEP5 すべての候補経路のうち最も測位点の経路距離と近いものを真の経路とする

# Curve to Curve map-matching

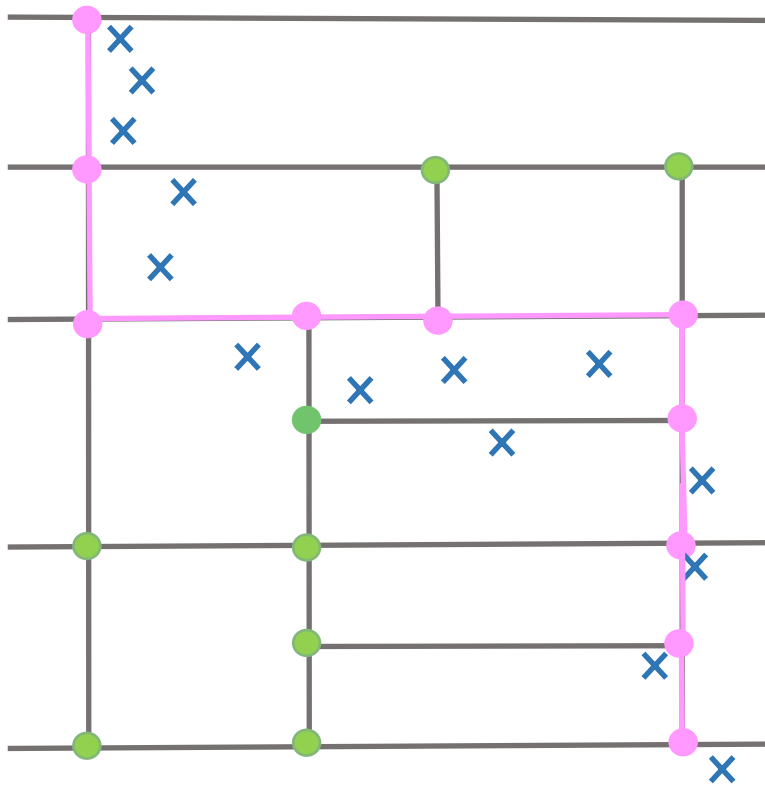


## アルゴリズム

- STEP1 Point to point matching により候補となるノードを探索
- STEP2 候補ノードから候補リンク探索
- STEP3 候補ノードから候補経路を作成
- STEP4 測位点を結びその線分の距離の和を算出
- STEP5 すべての候補経路のうち最も測位点の経路距離と近いものを真の経路とする

# Curve to Curve map-matching

候補経路 1

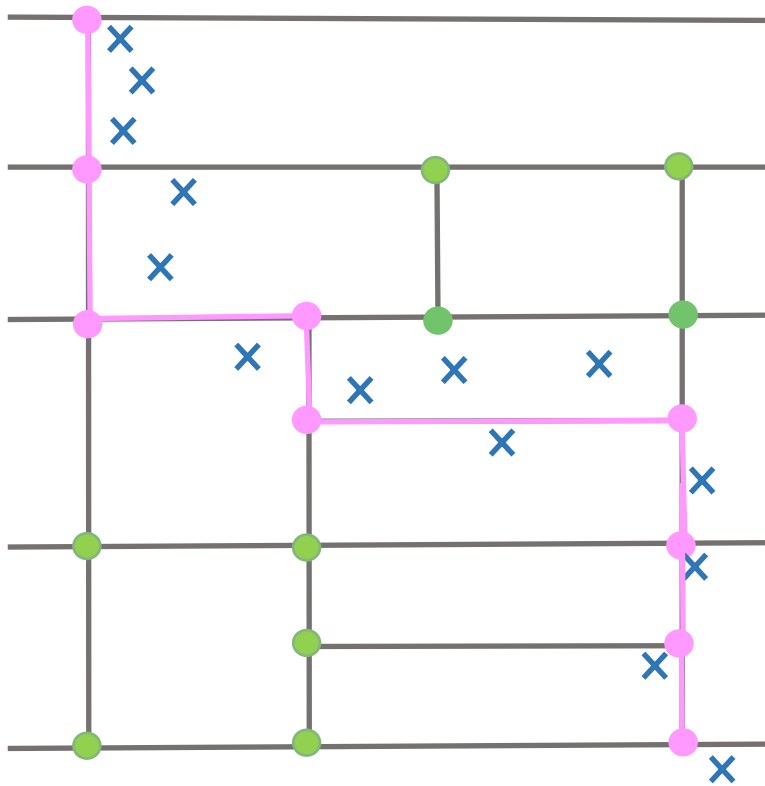


## アルゴリズム

- STEP1 Point to point matching により候補となるノードを探索
- STEP2 候補ノードから候補リンク探索
- STEP3 候補ノードから候補経路を作成
- STEP4 測位点を結びその線分の距離の和を算出
- STEP5 すべての候補経路のうち最も測位点の経路距離と近いものを真の経路とする

# Curve to Curve map-matching

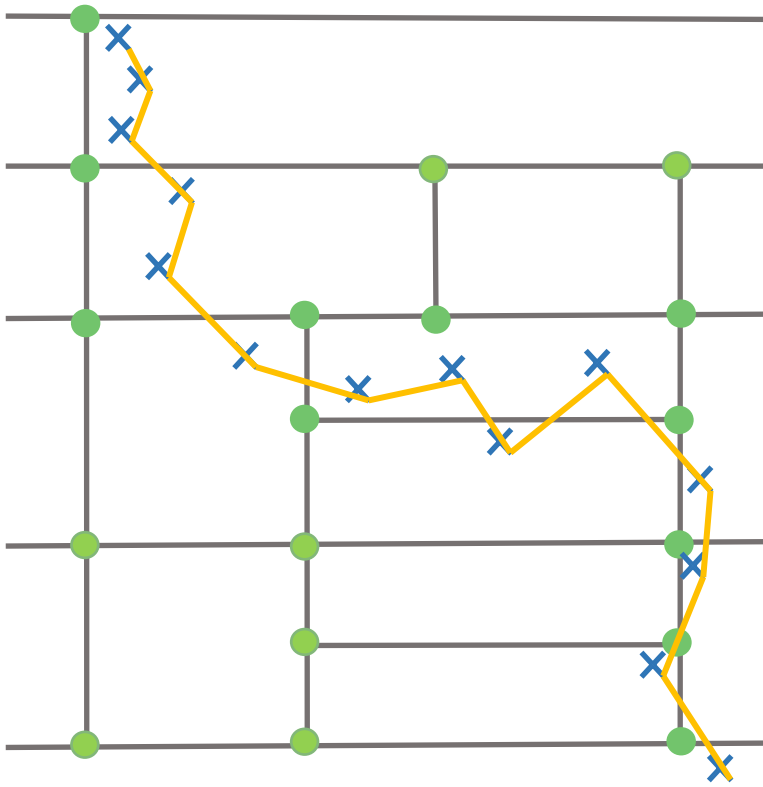
候補経路2



## アルゴリズム

- STEP1 Point to point matching により候補となるノードを探索
- STEP2 候補ノードから候補リンク探索
- STEP3 候補ノードから候補経路を作成
- STEP4 測位点を結びその線分の距離の和を算出
- STEP5 すべての候補経路のうち最も測位点の経路距離と近いものを真の経路とする

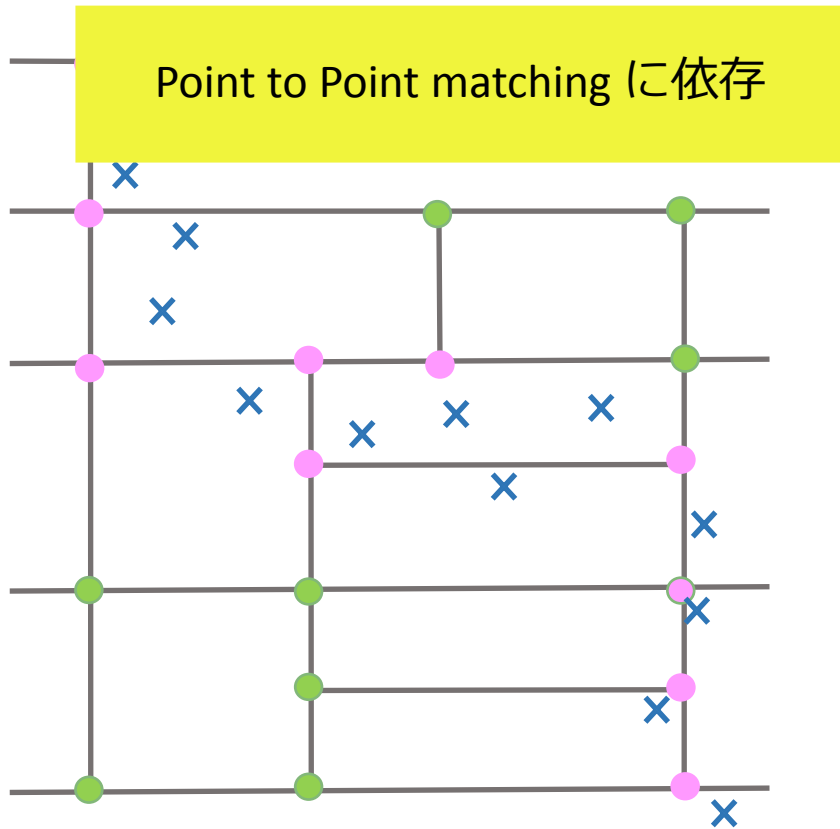
# Curve to Curve map-matching



## アルゴリズム

- STEP1 Point to point matching により候補となるノードを探索
- STEP2 候補ノードから候補リンク探索
- STEP3 候補ノードから候補経路を作成
- STEP4 測位点を結びその線分の距離の和を算出
- STEP5 すべての候補経路のうち最も測位点の経路距離と近いものを真の経路とする

# Curve to Curve map-matching



## アルゴリズム

- STEP1 Point to point matching により候補となるノードを探索
- STEP2 候補ノードから候補リンク探索
- STEP3 候補ノードから候補経路を作成
- STEP4 測位点を結びその線分の距離の和を算出
- STEP5 すべての候補経路のうち最も測位点の経路距離と近いものを真の経路とする

# 幾何解析マップマッチング

## 強み

- ・ シンプル
- ・ 簡単、はやい

## 弱み

- ・ ネットワーク形状に依存
- ・ それまでの点のつながりを考慮しない

# マップマッチングのバリエーション<sup>[1]</sup>

幾何解析(Geometric)

マップマッチング

- Point to Point
- Point to Curve
- Curve to Curve
- Road Reduction Filter(RRF)

位相幾何(Topological)解析

マップマッチング

- Weighted topological algorithm
- Simplified algorithm by Meng (2006)
- Algorithm based Various Similarity Criteria by Quddus et al.(2003)

確率的(Probabilistic)

マップマッチング

- Elliptical/rectangular confidence region

高度な技術を利用した

マップマッチング

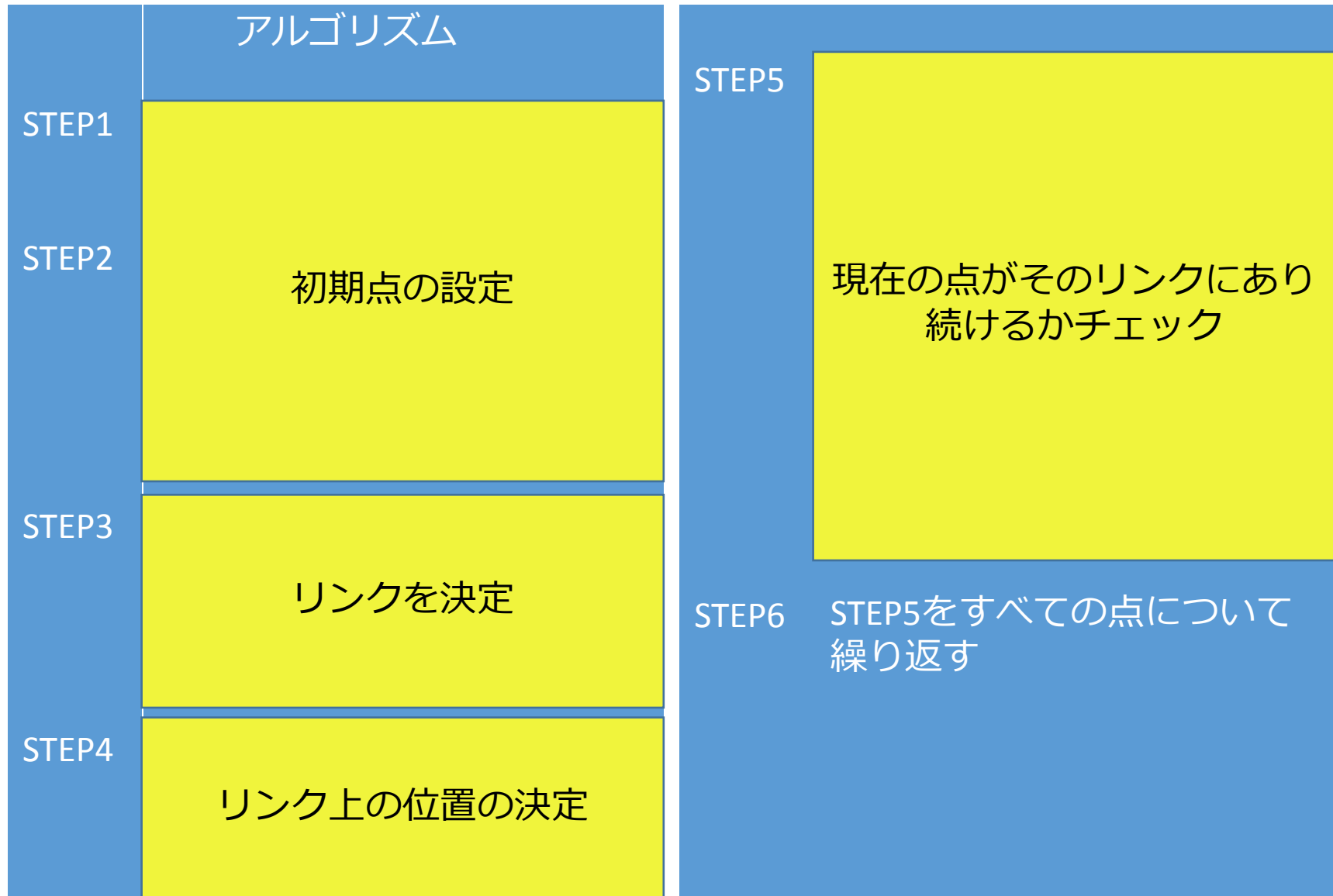
- Kalman filter
- Dempster-Shafer's mathematical theory of evidence
- Flexible state-space model and particle filter
- Interacting multiple model
- Fuzzy logic model



# 位相幾何解析マップマッチング

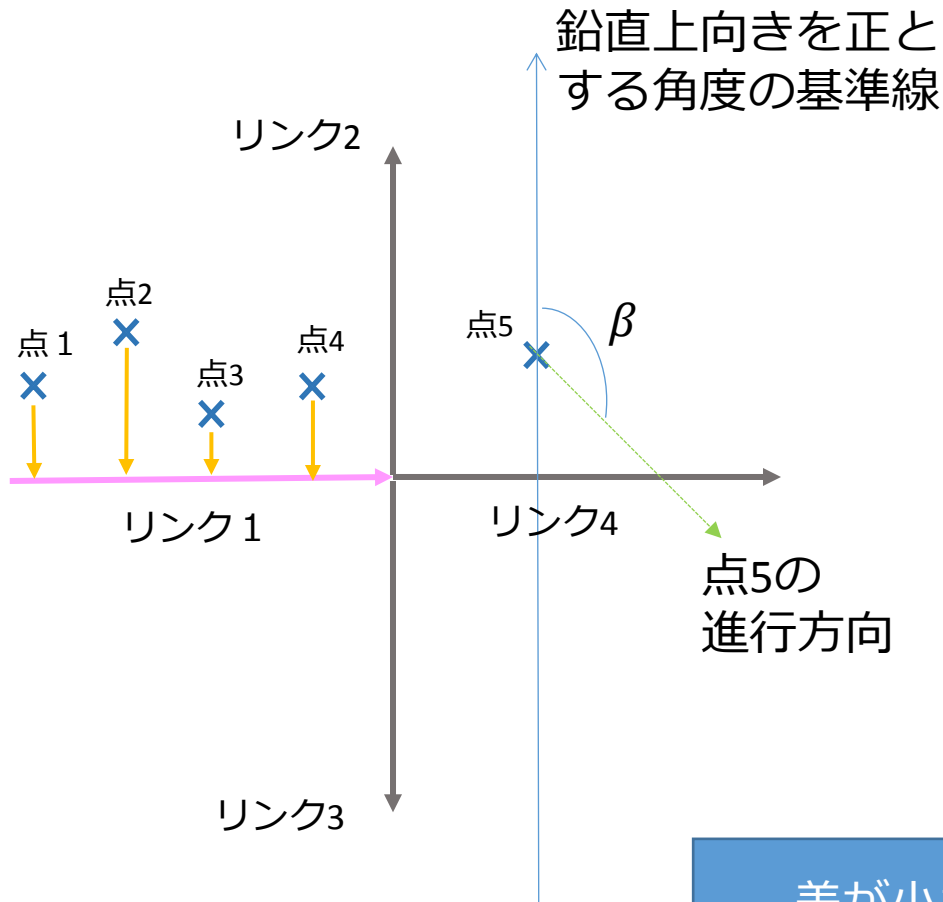
アルゴリズム	
STEP1	最初の測位点と最も近いノードを探索（初期点）
STEP2	次の点が外れ値*か否か判定 そうでないならば、そのノードを通るリンクを探索 そうならば、この点を初期点としてSTEP1へ
STEP3	重み付けの式を用いて、正しいリンクを選択 初期点と次の点はこのリンクにマッチングされる
STEP4	式(?)を用いて、リンク上の移動者の位置を決定  外れ値：大きく逸脱した観測データ <sup>[2]</sup>
STEP5	次の点が外れ値か否か判定 外れ値ならば、この点を初期点としてSTEP1へ そうでないならば、 $\Delta\beta' < 45^\circ$ and $\alpha \leq 90^\circ$ を満たすかどうか判定 満たすならば、この点を同じリンクにマッチングし、式(?)を用いてそのリンク上の位置を決定する→これを繰り返す 満たさないならば、STEP1へ
STEP6	STEP5をすべての点について繰り返す

# 位相幾何解析マップマッチング



# 位相幾何解析マップマッチング

リンクの決定: 進路方向 (heading) を使う



$\beta'_i$  は基準線とリンク  $i$  との角度とする  
→ たとえば、 $\beta'_1 = 90^\circ$

定義

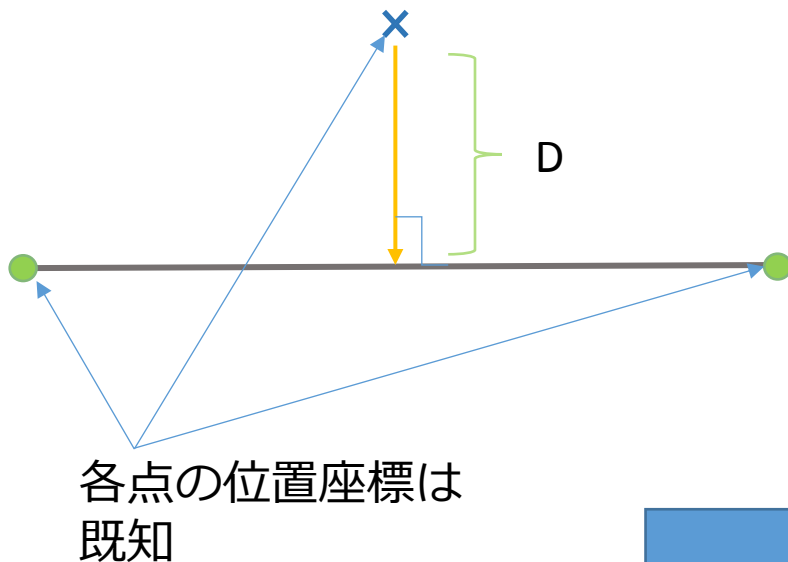
$$\begin{aligned} & \cdot \Delta\beta = \beta - \beta'_i \\ & \cdot \Delta\beta' = \begin{cases} \Delta\beta & (-180^\circ \leq \Delta\beta \leq 180^\circ) \\ 360^\circ - \Delta\beta & (\Delta\beta > 180^\circ) \\ 360^\circ + \Delta\beta & (\Delta\beta < -180^\circ) \end{cases} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rightarrow WS_H &= A_H \cos(\Delta\beta') \\ A_H &\text{ は重み付けパラメータ} \\ WS_H &\text{ は進行方向とリンク方位角} \\ &\text{ の重み付けスコア} \end{aligned}$$

差が小さいほど、 $WS_H$  の値は大きくなる  
→ そのリンクにマッチングされる可能性が高い

# 位相幾何解析マップマッチング

## リンクの決定:近接性のチェック (1)



測位点とリンクの距離をDとする

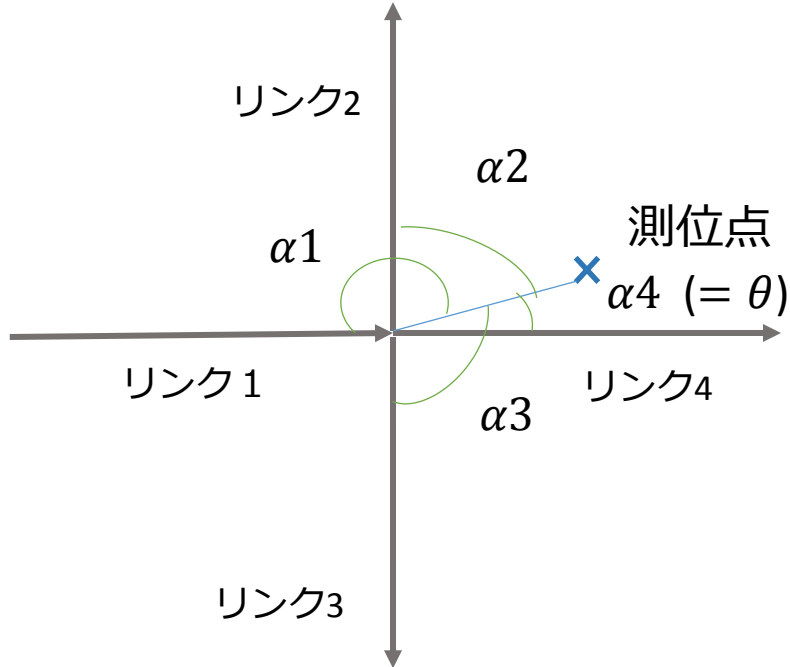
$$WS_{pd} = A_p/D$$

- $WS_{pd}$  は点とリンクの近接性の重み付けスコア
- $A_p$  は重み付けパラメータ

距離Dが小さいほど、スコアは大きくなる  
→測位点がリンクに近いほどスコアは大きくなる

# 位相幾何解析マップマッチング

## リンクの決定:近接性のチェック (2)



測位点と交差点の角度が最も小さいものが、より大きな近接性を示す。

もっとも大きな近接性を示す角度を $\theta$ とする。(この場合は $\alpha_4$ )

$$WS_{PI} = A_p \cos(\theta)$$

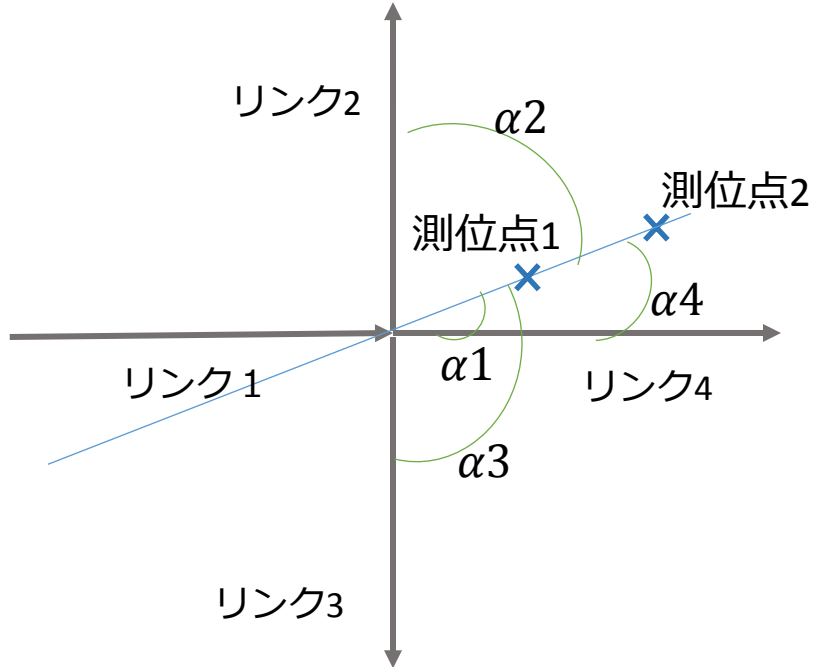
- $WS_{PI}$ は測位点と候補リンクの重み付けスコア
- $A_p$ は重み付けパラメータ

交差点がない場合は0とする

$\theta$ が小さいほどスコアは大きくなる  
→測位点と交差点の線分がそのリンクに  
重なりそうほどスコアは大きくなる

# 位相幾何解析マップマッチング

リンクの決定:近接性のチェック (3)  
進行方向を使う



$\alpha_i$ はリンク*i*と測位点との相対位置を表す。  
 $\alpha$ を測位データと最も近いノードと結んだ線と候補リンクがなす角とする

$$WS_{RP} = ARP_{\cos}(\alpha)$$

- $WS_{RP}$ は測位点と候補リンクに関する重み付けスコア
- $ARP$ は重み付けパラメータ

# 位相幾何解析マップマッチング

重み付けの総和：TWS

$$TWS = W_{SH} + (WSPD + WS_{PI}) + WS_{RP}$$

進行方向

近接性

相対位置

$W_{SH}$  : 進行方向とリンク方位角の重み付けスコア

$W_{SPD}$  : 点とリンクの近接性の重み付けスコア

$W_{PI}$  : 測位点と候補リンクの重み付けスコア

$W_{RP}$  : 測位点と候補リンクに関する重み付けスコア

# 位相幾何解析マップマッチング

重み付けの総和：TWS

$$TWS = W_{SH} + (W_{SPD} + W_{SPI}) + W_{SRP}$$

1 進行方向    3 近接性    2 相対位置

進行方向の方が  
相対位置より重要

相対位置の方が  
近接性より重要

$W_{SH}$  : 進行方向とリンク方位角の重み付けスコア  
 $W_{SPD}$  : 点とリンクの近接性の重み付けスコア  
 $W_{SPI}$  : 測位点と候補リンクの重み付けスコア  
 $W_{SRP}$  : 測位点と候補リンクに関する重み付けスコア



# 位相幾何解析マップマッチング

重み付けの総和：TWS

$$TWS = W_{SH} + (W_{SPD} + W_{SPI}) + W_{SRP}$$

1 進行方向    3 近接性    2 相対位置

進行方向の方が  
相対位置より重要

相対位置の方が  
近接性より重要

この重要度にもとづいて、  
重み付けパラメータの値を決めていく

# 位相幾何解析マップマッチング

## 重み付けパラメータの決定

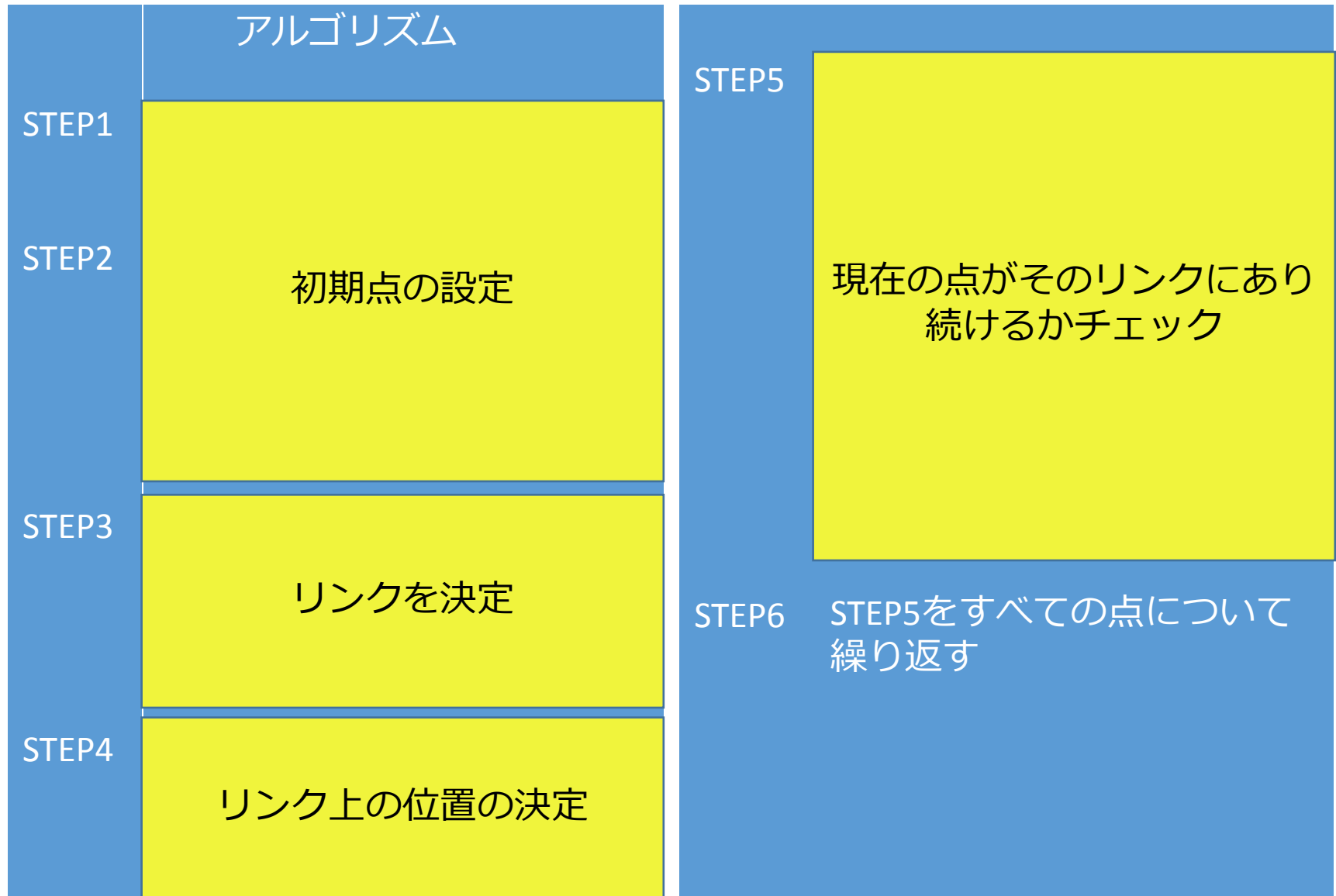
$WS_H$	$A_H$ : 進行方向とリンク方位角の重み付けパラメータ
$WS_{PD}$	$A_p$ : 点とリンクの近接性の重み付けパラメータ
$WS_{PI}$	$A_p$ : 測位点と候補リンクの重み付けパラメータ
$WS_{RP}$	$A_{RP}$ : 測位点と候補リンクに関する重み付けパラメータ

$A_p$  はアプリアリに決まる  
重み付けスコアの重要度によって  $A_H$  と  $A_{RP}$  が決定される

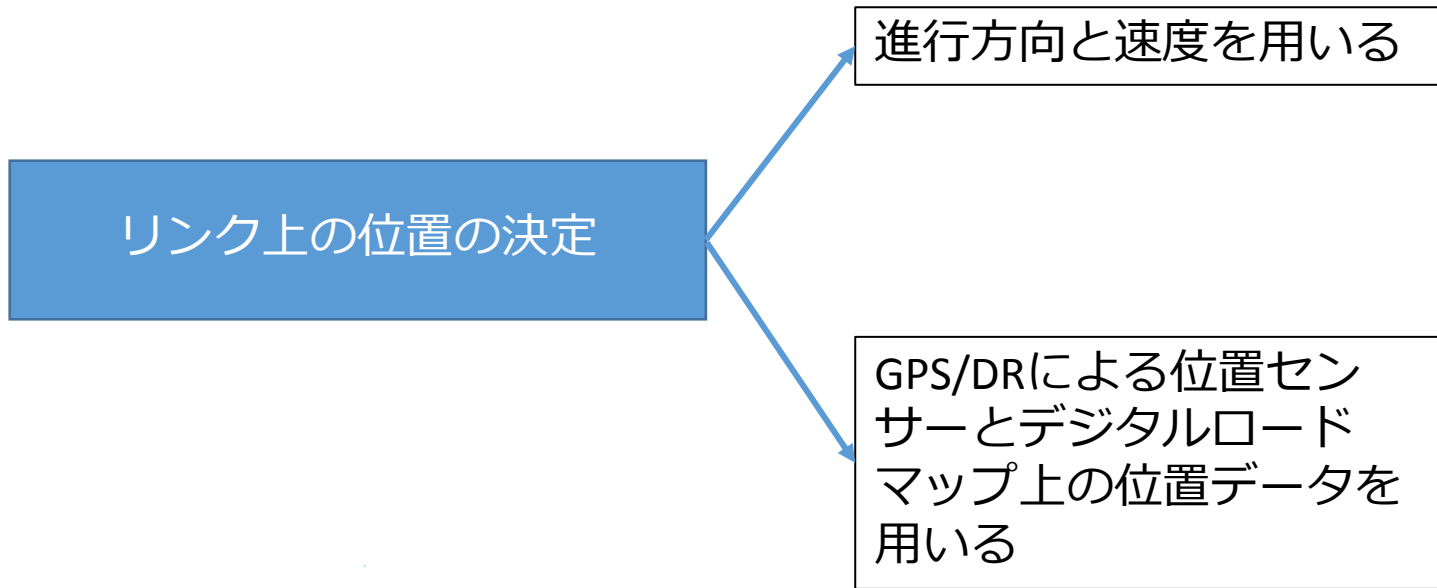
$$\begin{cases} A_H = aA_p \\ A_{RP} = bA_p \end{cases} \quad b > a > 1$$

$a, b$  が決まったら、すべての候補リンクに対して TWS が求まる  
→ もっとも高いスコアのリンクを選ぶ

# 位相幾何解析マップマッチング



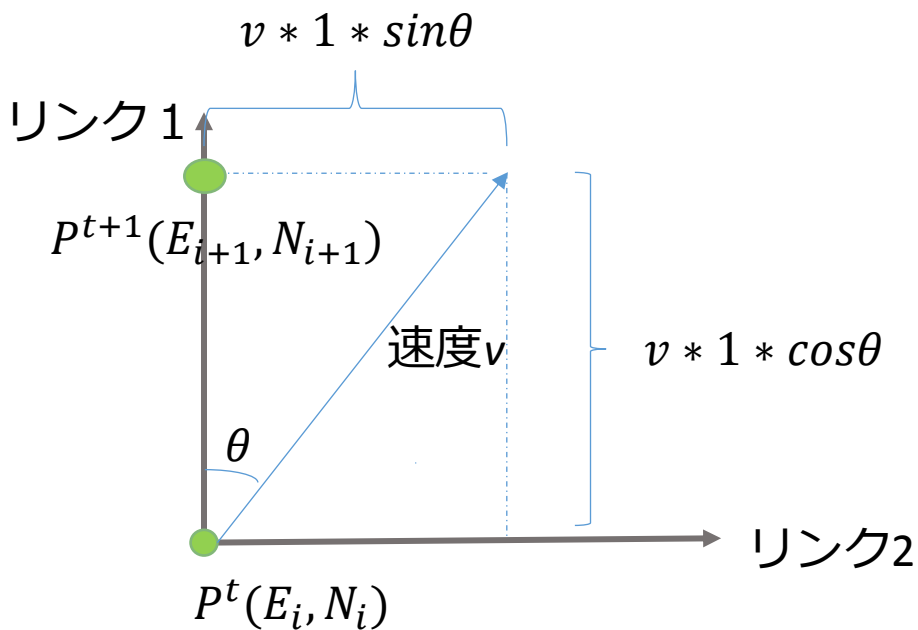
# 位相幾何解析マップマッチング



# 位相幾何解析マップマッチング

リンク上の位置の決定

進行方向と速度を用いる



$P^t(E_i, N_i)$ は時刻tのリンク上の位置

$P^t(E_i, N_i)$ や $P^{t+1}(E_{i+1}, N_{i+1})$ はSTEP3でどのリンクにのっかるかは決定済み

\*この場合はリンク1を仮定

→ $P^{t+1}(E_{i+1}, N_{i+1})$ がリンク1のどこにのっかるか

# 位相幾何解析マップマッチング

リンク上の位置の決定

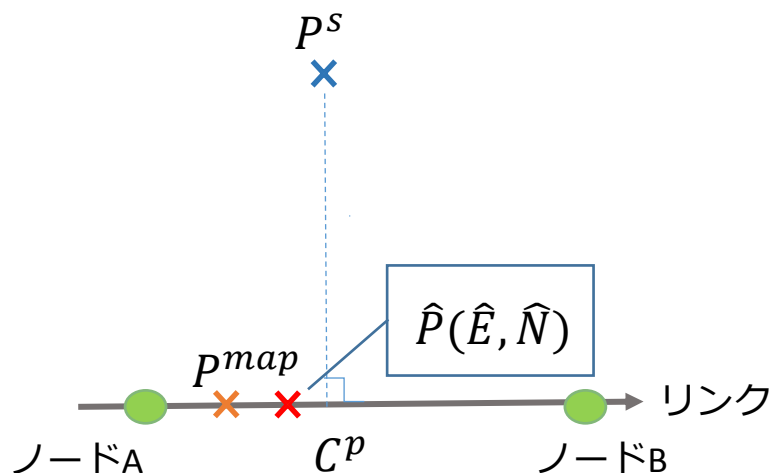
GPS/DRによる位置センサーとデジタルロードマップ上の位置データを用いる

位置センサー  
デジタルロードマップ

$P_s(E_s, N_s)$   
 $p^{map}(E_{map}, N_{map})$

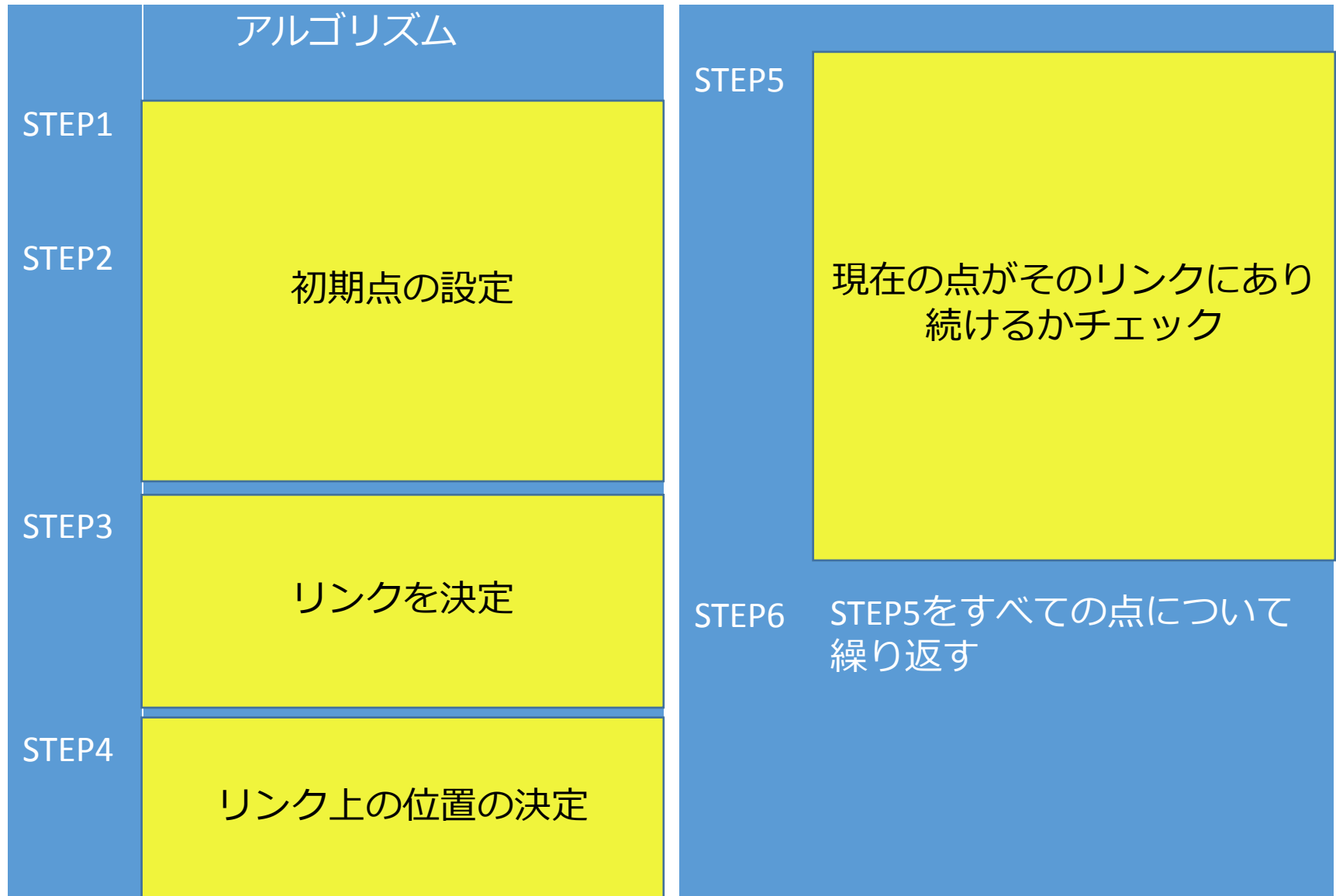
$C^p$ をノードA,Bと $P_s$ の座標で表現

$C^p$ と $p^{map}$ は独立なので



$C^p$ と $p^{map}$ は独立なので、推定位置 $\hat{P}(\hat{E}, \hat{N})$ は、位置センサーとデジタルロードマップがもつ誤差分散の式であらわせる

# 位相幾何解析マップマッチング

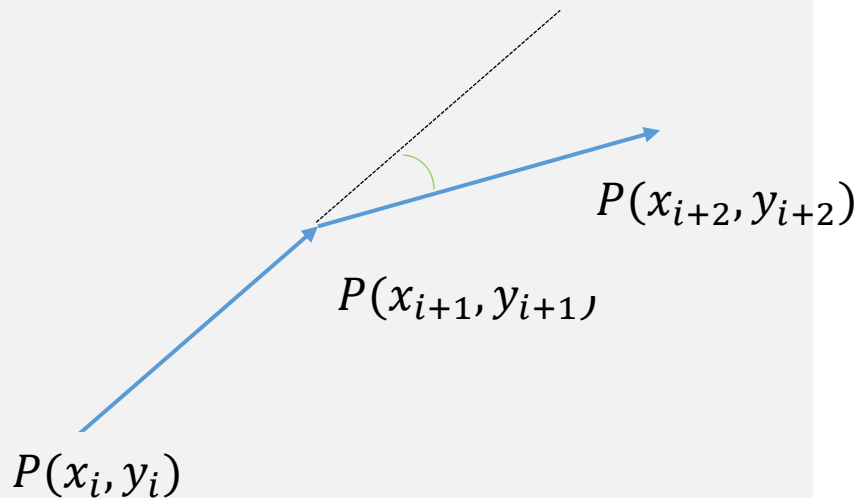


# 位相幾何解析マップマッチング

現在の点はそのリンクにあり続けるかチェック

## 2つの評価基準

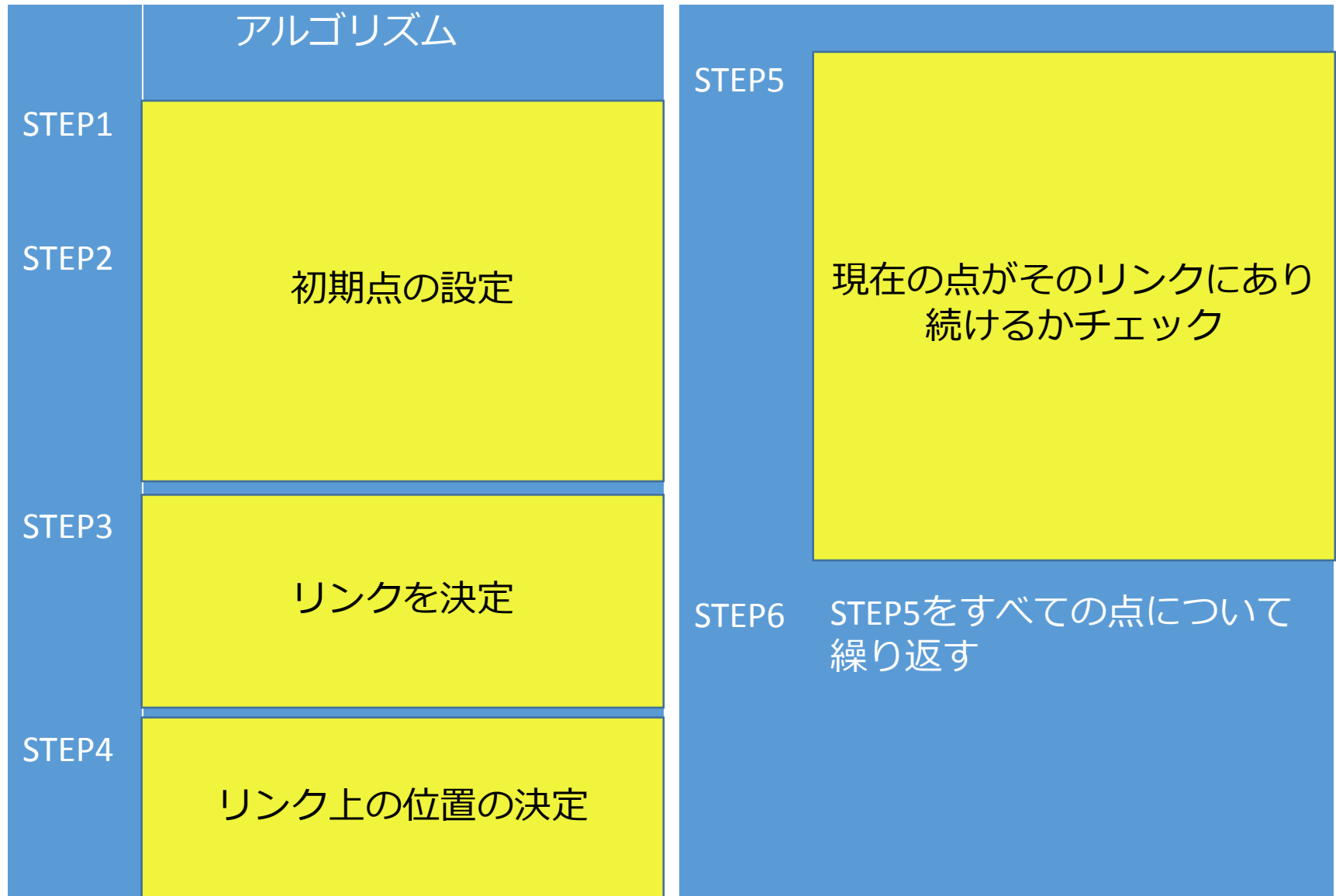
二つの連続する線の交差角が $45^\circ$ より大きいかどうか



- 二つの連続する測位点の進行方向角度が $45^\circ$ より大きいかどうか
- 測位点と最も近いノードを結んだ線とリンクのなす角度( $\alpha$ )が $90^\circ$ より大きいのか



# 位相幾何解析マップマッチング



# さまざまなマップマッチング

幾何解析マッチングと位相幾何解析マッチングの例をそれぞれみてきた。

が、それぞれのアルゴリズムが独立してあるわけではなく、組み合わせて使われている。

→たとえば、

point to curve →位相幾何情報→curve to curve

# 参考文献

- [1] Mohammed A., Quddus, Washington Y. Ochieng, Robert B., Noland:  
Current map-matching algorithms for transport applications: State-of-the art and future research directions, Transportation Research Part C, Vol.15, pp.312-328, 2007
- [2] 「歩行者GPS観測データのオフラインマップマッチングのオフラインマップマッチング オフラインマップマッチング オフラインマップマッチング手法」  
<<http://shiba.iis.u-tokyo.ac.jp/research/poster/pdf/nakamura.pdf>>  
(2015/05/28アクセス)
- [3] Christopher E. White, David Bernstein, Alain L. Kornhauser, Some map matching algorithms for personal navigation assistants, Transportation Research Part C, Vol.8, pp.91-108, 2000
- [4] Mohammed A., Quddus, Lin Zhao, Robert B. Noland, A general map matching algorithm for transport telematics applications, GPS solutions, Vol.7, pp. 157-167