

コンシューマ・システム論文

カーナビ連携車両制御のための経路情報変換の高信頼化

関口 隆昭^{1,a)} 丸 三徳¹ 尾崎 友哉¹ 天谷 真一²

受付日 2017年9月30日, 採録日 2018年2月14日

概要: カーナビの経路情報を自動運転システムに伝達する方式について述べる. カーナビで設定した目的地まで自動運転で案内するシステムの実現が求められているが, カーナビと自動運転システムが異なる地図データを使用している場合, 差異がある地図データ間で経路を正しく変換する必要がある. 本稿で提案する方式は, 位置参照方式の1つである OpenLR の一致率を, 物理データフォーマットと最短経路計算に起因する誤りを削減することにより改善するとともに, 変換前後の経路の形状の差異を確認することにより一致を自動判定することを図ったものである. 提案方式を実装し, 特定の地図データを用いて評価することで, 提案方式の実現性を確認した.

キーワード: カーナビ, 経路情報, 位置参照方式, OpenLR

Reliable Route Conversion for Car-navigation Cooperative Control

TAKAAKI SEKIGUCHI^{1,a)} MITSUNORI MARU¹ TOMOCHIKA OZAKI¹ SHINICHI AMAYA²

Received: September 30, 2017, Accepted: February 14, 2018

Abstract: In this paper, we describe a method to send route information provided by car navigation systems to autonomous driving systems. There is a growing need to navigate vehicles autonomously to their destinations set by drivers. However, in case that each system uses different digital maps, it is necessary to match routes accurately between dissimilar maps. We propose a method to improve success rates of OpenLR, one of dynamic location referencing methods, by reducing errors due to its physical data format and shortest-path principle. In addition, we propose a method to judge route equivalence automatically by checking geometric dissimilarities between original routes and decoded routes. We implemented the method and evaluated its performance. The presented result shows feasibility of proposal method on particular map data.

Keywords: car navigation system, route information, location referencing method, OpenLR

1. はじめに

カーナビゲーションシステム（以降, カーナビ）と自動運転システムの連携が進みつつある. たとえば, カーナビで設定した経路に沿って自動で走行し, 目的地まで自動でユーザを案内するシステムの実現が求められている.

本稿では, カーナビの経路情報を自動運転システムに伝達する方式について述べる. 図 1 に本稿で対象とするアプリケーションの概要を示す. 図は, ユーザからの目的地

の入力を受けて, ナビゲーション用の地図データ（以降, カーナビ用地図）を参照して経路を計算し, それを自動運転用の高精度地図上の経路に変換し, この経路と高精度地図を参照して自動運転の進行方向を制御する一連の流れを記載したものである. カーナビ用地図は基本的に経路を計算して運転者を案内するためのデータである一方, 高精度地図は車両の制御のためのデータであり経路計算用のデータは含まれないため, カーナビの経路に沿って自動運転を行うためには上記のような経路の変換処理が必要になる.

カーナビ用地図と高精度地図は, どちらも道路を複数のリンクで表現しており, 各リンクには ID が振られている. ただし双方の地図データで ID に関連性はなく, 同じ道路を表現する ID が同一とは限らない. 経路はリンクの ID の

¹ 株式会社日立製作所研究開発グループ
Research & Development Group, Hitachi, Ltd., Yokohama,
Kanagawa 244-0817, Japan

² クラリオン株式会社
Clarion Co., Ltd., Saitama 330-0081, Japan

a) takaaki.sekiguchi.fh@hitachi.com

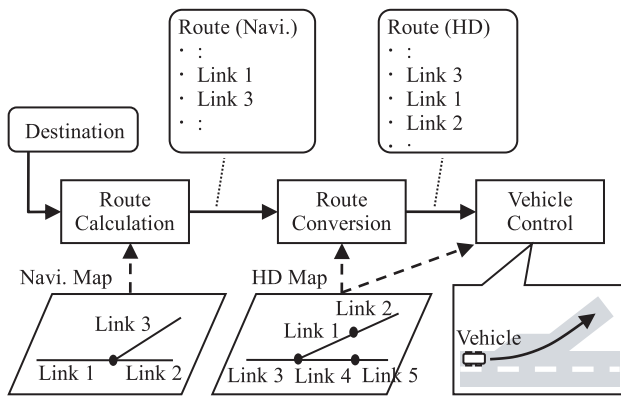


図 1 対象アプリケーション

Fig. 1 Target application.

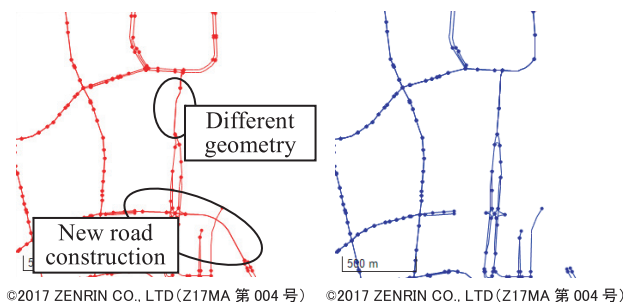


図 2 地図データの差異の例

Fig. 2 Example of map data differences.

並びで表現されており、図は、カーナビ用地図上の Link 1, Link 3 で示される経路が、高精度地図上の Link 3, Link 1, Link 2 を含む経路に変換される様子を示している。

上記の変換処理は、双方の地図データに何も差異がなければ問題はない。しかし、地図会社ごとに地図の整備仕様（道路の採択基準や、道路に付与する属性、形状等）は異なり、また整備時期によって道路の状況も変わるため、一般的に異なる地図データには何らかの差異が存在する。図 2 に、整備時期が異なる 2 つの地図データにおける差異の例を示す。図の左側は整備時期が新しい地図であり、図の右側は古い地図である。双方の地図データは、道路の形状が異なる場所や、一方には存在しない道路が新設されている場所がある。このような差異が原因でリンクの選択を誤るとカーナビの経路とは異なる方向に車両が進行する可能性があるため、この変換を正確に行うことが重要となる。

本稿では、位置参照方式の 1 つである OpenLR におけるライン方位角のビット長拡大と最短経路選択処理に起因する誤りの削減により変換前後の経路の一致率を向上させる方式について述べる。また、変換前後の経路の形状を一定の基準で比較することにより一致を自動判定する手法を提案する。従来の位置参照方式では交通情報配信を対象に一致率 95% 程度が目標とされているが、上記アプリケーションでは誤変換は安全に関わるため、一致率および一致判定の正解率を 100% に近付けることを目標とする。

以下、2 章で関連研究、3 章で前提システムと課題を説明する。4 章において提案方式の詳細を述べ、5 章で提案方式を実装して評価した結果を述べる。最後に 6 章でまとめる。

2. 関連研究

2.1 位置参照方式

地図データには 1 章に記載したような差異があるため、ある地図データ上での位置（対象の交差点や経路等）を緯度経度のような絶対座標を用いて伝達すると、受け手の地図データ上では誤った交差点や経路を示す可能性がある。この誤りを抑止し、異なる地図データを用いるシステム間で正確に位置を伝達する技術を位置参照方式と呼ぶ。

位置参照方式は、大きく Pre-coded Location Referencing [1] と Dynamic Location Referencing（以降、DLR）[2] に分けられる。前者は、地図データを構成するリンク等に共通の ID を付与する方式であり、VICS, RDS-TMC 等が実用化されている。この方式は正確に位置を示すことが可能な一方、道路の新設等、地図が変化した場合に ID を整備するコストの問題がある。そのため近年では、経年変化が少ない交差点等の地点に ID を振り、その地点からの相対的な道程を用いて位置を示す区間 ID 方式 [3] の標準化と ID 整備が進められている。

一方の DLR は、位置情報を送信する側の地図データ上での座標や属性をもとに受信側の地図データ上で類似する地点を推定する方式であり、これまでに AGORA-C [4], OpenLR [5] が実用化されている。DLR は ID の管理が不要である一方、送信側の地図データ上での位置と、受信側の地図上で推定した位置の一致率が地図データの差異に応じて低下するという問題がある。欧州プロジェクト ROSSATE（2008～2010）において各国地図を用いて行った評価では、AGORA-C や OpenLR の一致率は使用する地図データに応じて 60% から 90% 程度とされている [6]。近年では、OpenLR が少ない通信量で正確な位置を伝達することを目標としているのに対し、道路の形状データも受信側へ送信する前提で、地図の形状マッチングにより一致率を高める研究がなされている [7]。この結果では、特定の地図の組合せにおいて一致率 99.7% を達成している。また、一致率に加えて、文献 [8] では、DLR の結果の正誤は人間が地図を見ないと判断が難しく、自動で評価を行う仕組みが必要であるという問題に言及している。

DLR については ROSSATE の後継プロジェクトである TN-ITS（2013/6～）[9] で継続検討されているが、任意の地図の組合せに対して一致率 100% を達成する方式や自動評価の仕組みは実現されていない。

2.2 高精度地図

従来のカーナビ用地図は、基本的に交差点をノードとし、

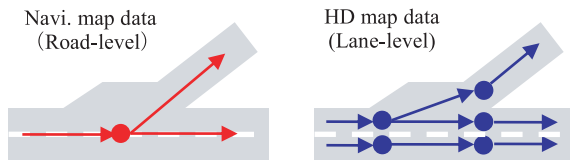


図 3 カーナビ用地図と高精度地図の差異

Fig. 3 Differences between Navi. map and HD map.

交差点の間を結ぶ道路をリンクとするグラフ構造のデータである。一方の高精度地図データは、主に道路の物理的な構造が変化する地点をノードとしたレーンレベルの詳細度を持つデータである。図 3 に双方の地図データの差異の具体例を示す。カーナビ用地図では通常は分岐点には 1 つのノードが生成される一方、高精度地図のノードは交差点への進入地点および退出地点に置かれ、ノード間の接続関係（リンク）はレーンレベルで表現される。高精度地図のデータ形式としては、NDS Association において標準化が進められているほか [10]、地図データの標準交換フォーマットである GDF をベースにしてレーンレベルの情報を収録する研究等がなされている [11]。位置参照の観点では、レーンレベルでの位置参照方式の研究が行われている [12]。

高精度地図については現時点で標準的に用いられている仕様やデータは存在しないが、上記のいずれの取組みでも、ノード間の接続関係を示す情報は有すると考えられている。そのため本稿では、高精度地図はカーナビ用地図と同様にグラフ構造のデータであるという前提で検討を行う。

3. 課題

3.1 前提システム

以上の関連研究をふまえ、本稿で前提とするシステムと課題を述べる。まず、カーナビで経路を設定して自動運転を行うためのアプローチとして、経路計算をカーナビ用地図と高精度地図のどちらを参照して行うかという観点があり、本稿ではカーナビ用地図を用いて計算した経路を高精度地図上に変換するアプローチをとる。高精度地図を用いて経路を計算するアプローチもあるが、経路計算に必要な各リンクのコスト値や規制情報（時間/曜日規制、車両規制等）は必ずしもレーンレベルである必要はなく、一方で経路計算時間はノードが多いほど増加するためである。

図 4 は、カーナビ用地図上の経路を高精度地図上の経路に変換するアプローチをとったうえで、カーナビ用地図と高精度地図の結合度の観点でシステムを分類したものである。図 4(a) は、双方の地図が密に結合しているケースであり、各地図を同一の地図会社が同時期に整備する場合を想定したものである。この場合、カーナビ用地図の各リンクと高精度地図のレーン情報の対応関係が明確なため、位置参照を行わなくても経路を正確に変換できる。前述の NDS Association で標準化されているデータ形式では、この方式をサポートしている。(b) は、双方の地図が疎結合

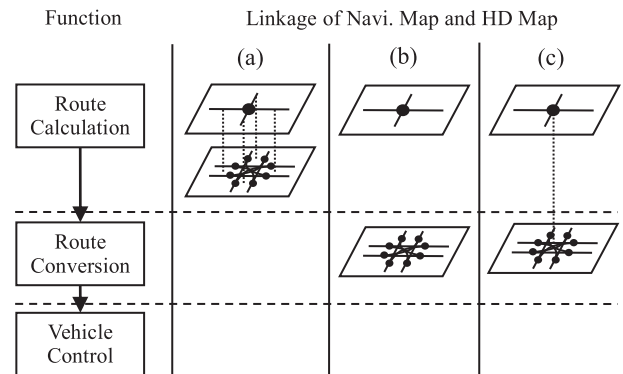


図 4 対象システムの分類

Fig. 4 Classification of target systems.

のケースであり、各地図を異なる地図会社が提供する場合は想定したものである。この場合、カーナビ用地図の各リンクと高精度地図のレーン情報の対応関係が明確ではないため、DLR を行ってカーナビ用地図上の経路を高精度地図上の経路に変換する必要がある。(c) は、前述した VICS や区間 ID 方式のように、地図上の地点に付与された共通の ID を介して各地図を結合する方式であり、各地図を同一の地図会社が提供するが、整備時期が異なる場合を想定したものである（付与する ID が標準化されている場合は異なる会社から提供される場合も含む）。この場合、共通の ID を基準にして経路を変換することが可能だが、適用可能な範囲は ID を整備済の地域に限定される。

上記の分類に対し、(a)、(c) に関しては基本的には地図開発時に双方の地図を結合可能である。ただし、(a) に関しては同一の地図会社でも各地図を整備するサイクルや作成部門が異なる場合は実現が難しく、また (c) に関しては ID を整備するためのコストの問題がある。そこで本稿では、ID が整備されていない地域を対象に (b) の場合の解決方法を提案する。(b) に関しては、それぞれの地図会社から提供された地図を結合してから車両に配信することも考えられるが、そのようにすると数カ月ほど地図のリリースが遅れるため、本稿では疎結合のまま最新地図をカーナビに配信し、経路の変換が必要になった際にカーナビ上で動的に結合するシステムを前提として検討を行う。

3.2 課題

上記 (b) の場合、DLR を行ってカーナビ用地図上の経路を高精度地図上の経路に変換する。そのため、双方の地図データに 1 章で記載したような差異が多数存在すると DLR の一致率は低下する。この問題に対し、任意の地図の組合せに対して一致率 100% を達成することは困難なため、本稿では以下の 2 つのアプローチで検討を行う。

(1) DLR の一致率向上

一致率の低下要因には、地図データの整備仕様や整備時期の差異に起因するものと、DLR のロジックに起因する

ものがあると考えられる．そこでまず，整備仕様と整備時期が同一の地図を対象にして，仕様およびサンプル実装が公開されている OpenLR をベースに，OpenLR のロジック上の問題を改善することにより一致率を向上させる．

(2) 変換前後の経路の一致判定

整備仕様や整備時期の差異による一致率の低下に対しては，一致率 100%を達成することは困難である．そこで本稿では，整備仕様や整備時期が異なる場合に双方の地図データに起こりうる基本的な変化をふまえて一定の基準を定義し，この基準に従って変換前後の経路の形状を比較することにより一致を自動で判定することを図る．

3.3 目標

以上をふまえ本研究の目標を記載する．目標の定義に際し，まず変換結果を表 1 のように分類する．これは，位置参照の成否（高精度地図上の経路に変換できたか），プログラムによる一致判定の結果，および実際の結果（人間による目視確認結果）の観点で変換結果を分類したものである．

表 1 の分類のうち，A は，位置参照が成功し，変換前後の経路を一致と判定し，目視確認でも一致している場合である．この場合は特に問題はない．一方 B は，一致と判定したが，この判定処理に誤りがあり実際には一致していない場合である．C は，不一致と判定し，実際に一致していない場合である．D は，不一致と判定したが，実際には一致している場合である．E から H は，DLR に失敗して，対応する経路が出力されない場合である．E と H は，対応する道路が実際にない場合であり，別経路を探す処理は必要になるが位置参照方式としては問題ない．一方 F と G は対応する道路が実際には存在する場合である．

変換した経路の正誤をこのように分類したうえで，カーナビで生成した経路の総数を S とし，その変換結果を表 1 に従って分類した数をそれぞれ $S_A, S_B \dots S_H$ とする．このとき課題 (1) に関して，位置参照に成功した経路の総数に対する，位置参照が成功して実際に経路が一致している A と D の合計の比率を DLR の一致率 R_1 とする (式 (1))．双方の地図データの整備仕様と整備時期が同一であればこの値を 100%に近付けることを目標とする．

$$R_1 = \frac{S_A + S_D}{S_A + S_B + S_C + S_D} \quad (1)$$

次に課題 (2) に関して，一致判定の結果と実際の結果が合致している比率を一致判定の正解率 R_2 とする (式 (2))．整備仕様と整備時期が異なる場合でもこの値を 100%に近付けることを目標とする．

$$R_2 = \frac{S_A + S_C + S_E + S_G}{S} \quad (2)$$

4. 提案方式

4.1 概要

本章では，提案方式の詳細を述べる．図 5 は，カーナビ用地図上の経路を高精度地図上の経路に変換して，高精度地図と合わせて自動運転制御用の ECU (Electric Control Unit) に提供するシステムを示している．提案方式では，カーナビ用地図を用いて経路を計算後，OpenLR によって経路を変換する (4.2 節で詳細を述べる)．その後，変換前後の経路形状を一定の基準に従って比較して一致を確認する (4.3 節で詳細を述べる)．位置参照に成功し，かつ経路に不一致がなければ，経路を車両に送信する．

なお，上記方式には，経路に不一致がある場合は自動運転を行えないという問題や，高精度地図の情報を経路計算に反映できないという問題が残っているが，本稿では検討できていない．前者について，不一致がある場合はカーナビ用地図と高精度地図の整備時期を比較して新しい地図上の経路を選択する方式も考えられるが，地図の整備サイクルに応じてカーナビ用地図のほうが新しい場所と高精度地図のほうが新しい場所の混在がありうるため，新旧を単純に比較することは難しい．後者については，高精度地図に含まれるレーンレベルの接続情報をカーナビ用地図に取り込む開発や，ダイナミックマップの情報（高精度地図と関連付けて保持される）を提案方式とは逆方向の位置参照を行って経路計算に反映させる手段が必要になる．

表 1 変換結果の定義

Table 1 Definition of converted results.

分類	位置参照	一致判定結果	実際の結果
A	成功	一致	一致
B			不一致
C		不一致	不一致
D			一致
E	失敗	対応する道路なし	道路なし
F			道路あり
G		対応する道路の有無不明	道路あり
H			道路なし

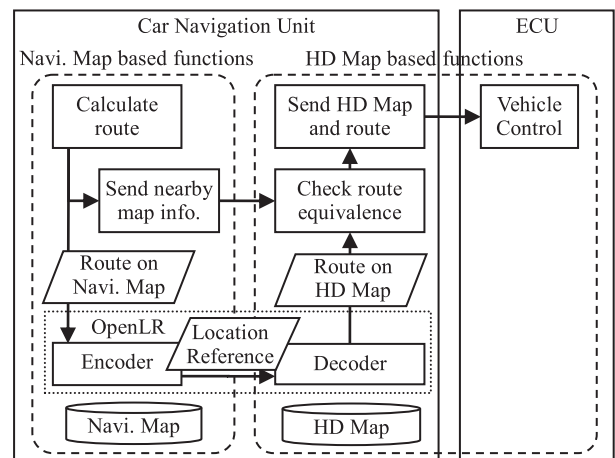


図 5 提案方式概要

Fig. 5 Overview of proposal method.

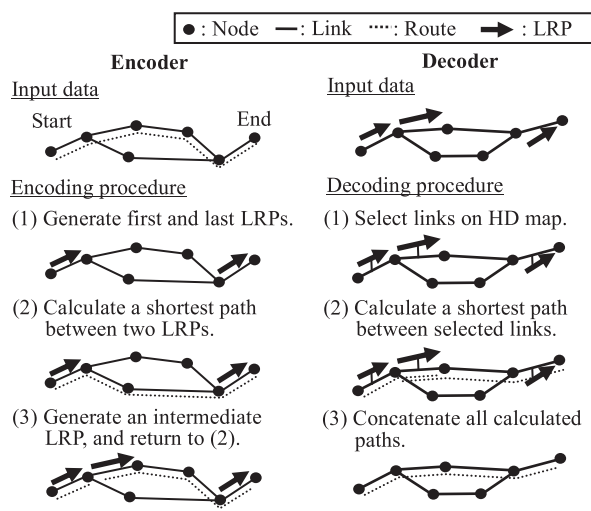


図 6 OpenLR エンコード・デコード手順

Fig. 6 Procedures of OpenLR encoder and decoder.

4.2 DLR の一致率向上

上記手順のうち、OpenLR を用いて経路を変換する際の一致率向上について述べる。OpenLR は TomTom 社が開発した位置参照方式であり、最短経路計算を用いることでエンコーダとデコーダ間の通信サイズを大幅に削減可能にした方式である。OpenLR によって伝達したい経路（伝達経路）をエンコードおよびデコードする手順の概要を以下に記載する。図 6 に手順の実行例を記載する。

エンコード手順

- (1) 伝達経路の始点および終点に対応する LRP (Location Reference Point) を生成する。
- (2) 生成した 2 つの LRP 間の最短経路を計算する。
- (3) 上記の最短経路が伝達経路を含んでいなければ、差異がある地点に新たに LRP を生成して (2) に戻る。最短経路が伝達経路を含めば、生成した LRP を出力する。

デコード手順

- (1) LRP が示す座標の近傍に存在し、LRP が示す属性と類似する属性を持つリンクを候補として選択する。
- (2) 連続する 2 つの LRP に関して、選択されたリンク間の最短経路をそれぞれ計算する。
- (3) (2) で計算したそれぞれの最短経路を連結した経路を位置参照結果として出力する。

表 2 に各 LRP に含まれる情報と、バイナリ形式で LRP を出力する際の各項目のサイズを示す。LRP に含まれる情報のうち、座標およびライン属性はデコード手順 (1) において候補リンクを選択する際の指標として用いられる。ライン属性のうち、FRC は道路の機能レベル（高速道路、細街路等）を示す属性、FOW は道路の物理的な態様（本線、側線等）を示す属性、BEAR はリンクの方位を示す属性である。経路属性はデコード手順 (2) で最短経路を計算する際の制約条件であり、LFRCNP は経路を構成する各

表 2 各 LRP に含まれる情報

Table 2 Information included in each LRP.

分類	項目	サイズ
座標 (Coordinates)	Latitude	24 bit
	Longitude	24 bit
ライン属性 (Line Attributes)	FRC (Functional Road Class)	3 bit
	FOW (Form of Way)	3 bit
	BEAR (Road Bearing)	5 bit
経路属性 (Path Attributes)	LFRCNP (Lowest FRC to Next Point)	3 bit
	DNP (Distance to Next Point)	8 bit

リンクの FRC のうち最下位の値、DNP は経路の長さである。なお、OpenLR 仕様ではバイナリ形式のほかに XML で出力することも可能で、その場合は表 2 に記載したデータサイズの制限はなくなる。図 5 に示す構成では経路の変換（LRP の伝達）はカーナビ内部で閉じて行われるため通信サイズは重視されないが、高精度地図をカーナビとは別の装置に格納して、LRP を通信経由で伝達する構成も可能とするため、本稿ではバイナリ形式を対象に検討する。

以上の仕様に対して、整備仕様と整備時期が同一である場合に経路を正しく伝達できない要因を考察する。この要因としては、デコード手順 (1) でリンクの選択を誤る場合と、デコード手順 (2) で最短経路の選択を誤る場合がある。

まず前者について、整備仕様と整備時期が同一であれば、一方の地図に存在する道路は、必ずもう一方の地図にも存在するといえる。よって、リンクの選択を誤るケースは、LRP に合致するリンクが 2 つ以上存在して正解を 1 つに絞れない場合である。これに対して現実世界では、高架道路を除けば、同一形状の複数の道路が地表上の同じ場所に存在することはないため、上記の問題が起きる条件は、バイナリ形式で LRP を出力し、かつ道路の情報を表 2 のサイズで表現した際に精度が足りず、同一の値に丸められてしまう場合である。表 2 に記載した項目のうち、座標については OpenLR 仕様に従って算出される 24 bit 値の解像度は約 2.4 m であり問題は少ない。一方、ライン属性のうち BEAR については、5 bit の場合は全方位を 2^5 区画（1 区画 11.25° ）で表現することになる。現実世界で考えると、たとえば本線と並走する側線への分岐点では各分岐道路の方位の差が小さいため、 11.25° 単位では正確に道路を特定できない場合がありうる。BEAR に必要なビット長を、図 7 のように車線が増加する地点を例に考える。道路構造に関する基準 [13], [14] を参考に 1 車線の幅を 3.5 m, 設計速度 80 km/h の地方道における本線シフト区間長を 85 m とすると、分岐地点の角度 θ は約 2.358° になる。そのため少なくとも 8 bit（1 区画約 1.41° ）は必要と思われる。

次に後者の、最短経路の選択を誤る場合について考察する。最短経路計算を用いることによりエンコーダとデコーダ間の通信サイズを削減可能だが、この影響については文献 [9] でも詳細な評価が必要とされている。この点につい

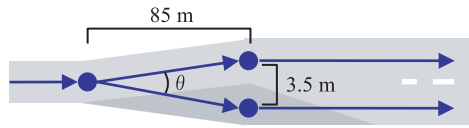


図 7 車線増加地点の例

Fig. 7 Example of a point lane number increases.

て Dijkstra のアルゴリズム [15] を例に考えると、同一のネットワークトポロジに対して最短経路計算の結果が異なる要因は、重みが同一である経路が複数存在し、かつどの経路も前述の LFR CNP と DNP による条件を満たすため、最短経路として選ばれる経路が実装依存になっている場合である。たとえばリンクの重みを距離としたとき、本線に並走する側線が存在し、その本線と側線の分岐から合流までの距離が同一の場合はこのようなことが起こりうる。よって提案方式では、得られた最短経路上にリンク属性が異なる道路への分岐がある場合、LRP を出力して進行方向を明示する。

4.3 変換前後の経路の一致判定

次に、双方の経路の不一致を検出する処理について述べる。提案方式では、一定の基準を定義して双方の経路が一致しているかを自動で判定することを図る。

まず以降の基準で用いる記号を定義する。地図上の点 a と点 b の距離を $d(a, b)$ 、経路 L 上の点の集合を Q_L としたとき、経路 E と経路 D の形状の差異（以降、形状差異） $G_1(E, D)$ を式 (3) のように定義する。なお、 $d_1(a, L)$ は点 a と経路 L 上の最近傍点の距離である。

$$G_1(E, D) = \max(\max\{d_1(a, D); a \in Q_E\}, \max\{d_1(a, E); a \in Q_D\}) \quad (3)$$

$$d_1(a, L) = \min\{d(a, b); b \in Q_L\}$$

同様に、経路 L 上の分岐点の集合を B_L としたとき、経路 E と経路 D の分岐点の差異（以降、分岐差異） $G_2(E, D)$ を式 (4) のように定義する。なお、 $d_2(a, L)$ は地図上の点 a と経路 L 上の分岐点のうち最も近い分岐点との距離である。

$$G_2(E, D) = \max(\max\{d_2(a, D); a \in B_E\}, \max\{d_2(a, E); a \in B_D\}) \quad (4)$$

$$d_2(a, L) = \min\{d(a, b); b \in B_L\}$$

以降、一致判定の基準を記載する。一致判定の基準として、以下の 6 つを定義する（図 8）。位置参照に成功した場合（表 1 の分類 A から D）、まず基準 1 の判定を行い、条件を満たせば経路が一致していると判定する。基準 1 の条件を満たさない場合、条件を満たさない経路上の全地点について基準 2 から基準 5 の判定を行い、全地点について一致していると判断できれば、経路は一致していると判定す

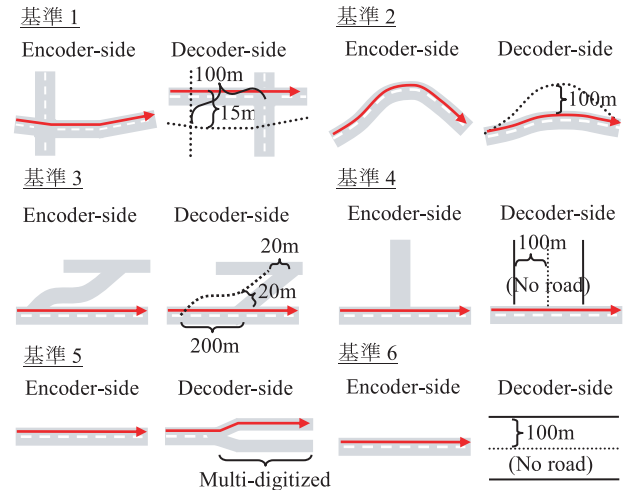


図 8 一致判定基準

Fig. 8 Rules for route equivalence judgement.

る。いずれかの地点で一致と判断できなければ経路は不一致と判定する。一方、位置参照に失敗した場合（表 1 の分類 E から H）は、基準 6 により道路有無の判定を行う。

基準 1：基本判定

次の 2 つの条件を両方とも満たす場合、一致と判定する。

(1) $G_1(E, D) < 15 \text{ m}$

形状差異が 15 m 未満であれば同一の道路と考える。閾値 15 m は、高速道路の本線と側線（各 2 車線）を例に、以下のように考えた値である。道路構造令 [13] を参考に 1 車線の幅を 3.5 m、左路肩 2.5 m、右路肩 1.25 m とすると、本線と側線は $3.5 \times 2 + 2.5 + 1.25 = 10.75 \text{ m}$ 離れている。これに中間の構造物や空間等があることを考慮して 15 m とした。

(2) $G_2(E, D) < 100 \text{ m}$

分岐差異が 100 m 未満であれば経路上の分岐点に差異はないと考える。閾値 100 m は、文献 [14] において交差点の間隔は 200 m 以上とすることが望ましいとされている点をふまえて設定した値である。

基準 2：道路形状変化

整備仕様の差異により、形状差異が基準 1 の閾値 15 m 以上変化する場合がある。そのため、次の条件をすべて満たす場合、形状差異が 15 m 以上でも一致と判定する。

(1) $G_1(E, D) < 100 \text{ m}$

形状差異が 100 m 未満であれば整備仕様による差異と考える。閾値 100 m は、交差点（1 街区）の間隔を前述の 200 m と考えて設定した値である。

(2) 道路の属性（FRC, FOW）が双方の経路で一致。

(3) 双方の経路の間に他の類似する道路が存在しない。

基準 3：分岐位置変化

整備仕様の差異により、分岐差異が基準 1 の閾値 100 m 以上変化する場合がある。そのため、次の条件をすべて満たす場合、分岐差異が 100 m 以上でも一致と判定する。

(1) $G_2(E, D) < 200$ m

分岐差異が 200 m 未満であれば整備仕様による差異と考える．閾値 200 m は，分岐専用車線がある Y 字分岐を例に，基準 1 の閾値 100 m に分岐専用車線の長さ（仮に交差点間隔の半分 100 m とする）を加えた値である（分岐専用車線区間のどこを分岐点とするか整備仕様次第である）．

(2) それぞれの分岐点から始まる道路（分岐道路）の形状を比較し，分岐道路の形状差異が 20 m 未満，あるいは分岐道路の終端が同一の交差点である（同一の交差点か否かは距離が 20 m 以内かどうかで判定する）．閾値 20 m は，基準 1 の閾値 15 m に分岐専用車線の幅 3.5 m と導流帯（ゼブラゾーン）の幅を考慮して設定した．

基準 4：分岐道路の新設/廃止

経路沿いの道路に接続する道路が新設あるいは廃止された場合，一方の地図のみに分岐点が存在することになる．そのため，一方の地図のみに存在する分岐道路の近傍 100 m 未満にもう一方の地図上で道路が存在しない場合，分岐差異が 200 m 以上でも一致と判定する．閾値 100 m は，前述の交差点の間隔 200 m をふまえて設定した．

基準 5：二条化

一方の地図では 1 つのリンクで表現している道路を，もう一方の地図では上りと下りを別リンクで表現する場合がある（二条化）．二条化の始点または終点の分岐点（一方の地図にのみ存在する）が要因で分岐差異が 200 m 以上になった場合は，分岐差異が 200 m 以上でも一致と判定する．

基準 6：道路新設/廃止

伝達経路の近傍 100 m 未満の範囲に，もう一方の地図上で道路が存在しない場合，対応する道路はないと判定する．閾値 100 m は基準 4 と同様の考え方で設定した．

5. 評価

提案方式を実装し，実際のカーナビ用地図を使用して評価を行った．評価に用いた地図データと範囲（東京近郊）を表 3 に記載する．評価は，高速道路と一般道路を対象にそれぞれ無作為に 100 個のテスト用経路（経路長約 10 km）を作成し，これをデータ 1 上でエンコードし，データ 2 およびデータ 3 上でデコードすることにより行った．データ 2 を用いた評価は整備仕様と整備時期が同一の場合の評価であり，データ 3 を用いた評価は整備時期が異なる場合の評価である．なお，データ 2 およびデータ 3 は，2.2 節に記

表 3 評価用地図データ

Table 3 Map data for performance evaluation.

データ	地図提供者	データ形式	データ作成日
1	A 社	B 社形式	2014 年 12 月
2	A 社	C 社形式	2014 年 12 月
3	A 社	B 社形式	2010 年 12 月

範囲：緯度 35.5831～35.7502，経度 139.6247～139.8751（WGS84）

載したように適正に評価できる高精度地図を入手困難だったためカーナビ用地図を用いたが，一致率を低下させる要因は実際の高精度地図でもあてはまると考えられる．

なお，評価で使用した OpenLR は，TomTom 社が公開している仕様 [5] に従って著者らが実装したものである．

5.1 DLR の一致率の評価

まず，DLR の一致率について評価した結果を示す．エンコードおよびデコードは，4.2 節で述べた内容をふまえて表 4 に示す 3 つの方式で行い，変換結果を目視確認して表 1 の分類に従って集計した．表 5 に結果を，図 9 にこの結果から求まる一致率（式 (1)）を示す．高速道路と一般道の両者とも，方式 3 によりデータ 2 の場合は 100% になったが，データ 3 の場合は一般道路で 92% にとどまった．図 10 に正しく変換できなかった例を記載する．データ 1 とデータ 3 で経路が異なっており，原因は，差異がある区間の経路長がほぼ同一のため異なる最短経路を選択したためであった．提案方式では分岐道路の属性が異なる場

表 4 OpenLR 改善方式

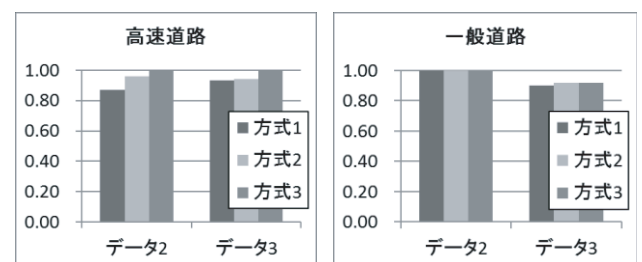
Table 4 Methods for OpenLR improvement.

方式	説明
1	標準の OpenLR 仕様
2	属性が異なる道路への分岐がある場合 LRP を出力
3	方式 2 に加え，方位のサイズを 8 bit に拡大

表 5 評価結果

Table 5 Evaluation results.

対象	地図	方式	A	B	C	D	E	F	G	H
高速道路	データ 2	1	87	13	0	0	0	0	0	0
		2	96	3	0	0	0	0	1	0
		3	100	0	0	0	0	0	0	0
	データ 3	1	78	6	0	3	13	0	0	0
		2	79	4	0	3	13	0	1	0
		3	84	0	0	3	13	0	0	0
一般道路	データ 2	1	100	0	0	0	0	0	0	0
		2	100	0	0	0	0	0	0	0
		3	100	0	0	0	0	0	0	0
	データ 3	1	84	0	10	6	0	0	0	0
		2	86	0	8	6	0	0	0	0
		3	86	0	8	6	0	0	0	0

図 9 DLR の一致率 (R_1)Fig. 9 Matching rate of DLR (R_1).

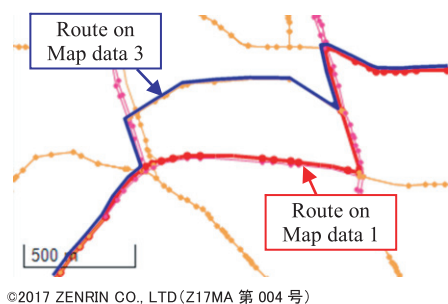


図 10 誤変換の例

Fig. 10 Example of incorrect conversion.

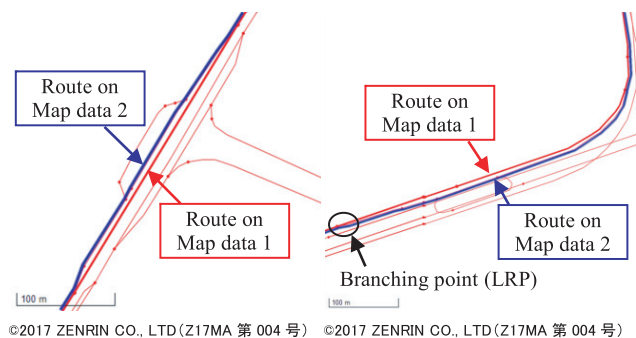


図 11 経路不一致の例

Fig. 11 Example of route mismatch.

合のみ LRP を出力したため、一般道路における同一属性の道路どうしの交差点でこのような誤りが発生した。

以降、表 5 の結果の詳細を記載する。高速道路については、データ 2 に関して 1 行目（方式 1）で 13 件が分類 B（位置参照に成功したが実際には不一致）になった。図 11 左側に不一致の例を示す。データ 1 での経路は高速道路の本線であるのに対し、データ 2 での経路は、本線に並走する、サービスエリアへ進入する側線になっている。この原因は、本線と側線の経路長がほぼ同一であり、異なる最短経路を選択したためである。

2 行目（方式 2）において分類 B は 3 件になったが、これは方式 2 により上記 13 件が分類 A になった一方、新たに別の 3 件が分類 B、1 件が分類 G になった結果である。この原因は、方式 2 によって新たに追加された LRP に対応するリンクを選択する際に誤ったものであった。図 11 右側に例を示す。この地点では、方式 1 では LRP は出力されなかったが、方式 2 により LRP が追加され、かつ方位の差が小さかったためリンクの選択を誤った。

3 行目（方式 3）は、方位のサイズを 8bit に拡大することで上記の 3 件が修正されたことを示している。以降の分類 B の件数の変化についても上記と同様の理由であった。

5.2 一致判定の正解率の評価

次に、変換前後の経路の一致判定に関する評価結果を記載する。図 12 は、表 5 の方式 3 での結果から求まる一致判定の正解率（式 (2)）を示したものである。データ 3 に

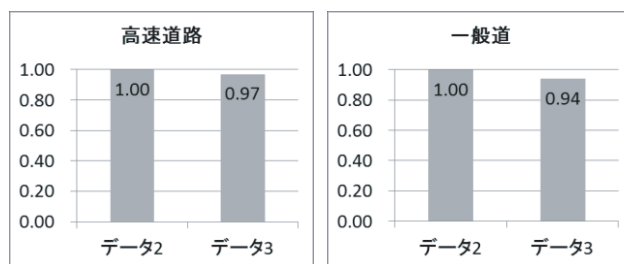
図 12 一致判定の正解率 (R_2)Fig. 12 Accuracy rate of route equivalence test (R_2).

表 6 各基準の実行結果（データ 3）

Table 6 Execution results of each rule (Data 3).

対象	基準	実行回数	正解数	誤り数
高速道路	基準 2	5	5	0
	基準 3	0	0	0
	基準 4	5	3	2
	基準 5	0	0	0
	基準 6	13	13	0
一般道路	基準 2	8	8	0
	基準 3	9	8	1
	基準 4	7	5	2
	基準 5	84	81	3
	基準 6	1	1	0

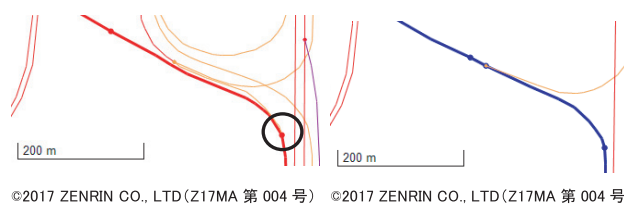


図 13 判定誤り地点の例（Rule 4）

Fig. 13 Example of misjudge point (Rule 4).

関して、4.3 節の基準では判定を誤るケースが存在した。

表 6 に、変換前後の経路で差異がある地点に関して、各基準（基本判定である基準 1 を除く）が実行された回数と、正しく判定した数、判定を誤った数を集計した結果を示す。なお、いずれの誤りも、不一致と判定したが実際には経路は一致（分類 D）であった。

高速道路を対象にした評価ではおおむね正しく判定したが、基準 4 で 2 件の誤りがあった。図 13 に判定を誤った例を示す。図の左側はデータ 1 での経路を、右側はデータ 3 での経路を示したものである。図中の丸で示した地点に新しい連絡線への分岐があり、基準 4 によって新設道路への分岐と判断するべきところを、閾値 100m 内に他の連絡線があるため基準 4 に記載した処理では新設道路と判断できず、実際には経路は一致しているが不一致と判定した。

一般道路を対象にした評価では、基準 3、基準 4、基準 5 で誤りがあった。基準 3 の 1 件の誤りの発生地点を図 14 に示す。図の左側の丸で示した分岐点と同一座標にデータ 3 のノードはあるが、このノードは進入するリンクが

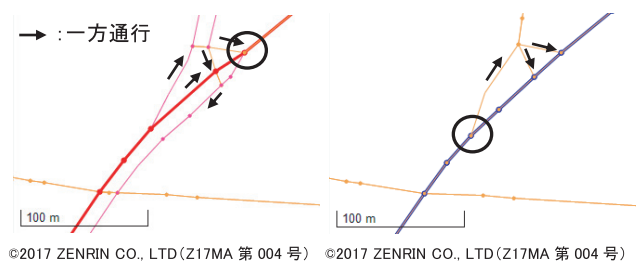


図 14 判定誤り地点の例 (Rule 3)

Fig. 14 Example of misjudge point (Rule 3).

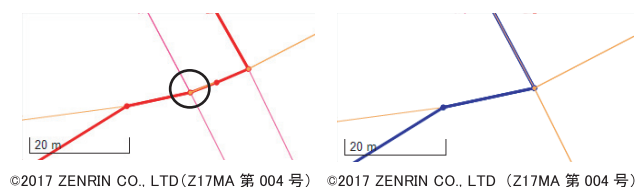


図 15 判定誤り地点の例 (Rule 5)

Fig. 15 Example of misjudge point (Rule 5).

2 本, 退出するリンクが 1 本であり分岐ではないため, 閾値 200m 未満の距離に存在する別のノード (図の右側の丸で示す) を対応する分岐点として選択してしまい, 双方の分岐道路を比較した結果, 不一致と判定した. 基準 4 の 2 件の誤りは, 高速道路の場合と同様に分岐道路近傍の閾値 100m 内に道路が存在したため判定を誤ったものであった. 基準 5 の 3 件の誤りは, 図 15 の丸で示したような交差点 (二条化道路との交差点) で発生しており, 経路に対応する道路自体は二条化されていないため基準 5 に記載した処理では正しく判定できず, 不一致と判定した.

以上の結果から, 提案方式による一致判定はある程度有効であるが, 特に一般道路において精度良く判定するためには, 本稿で記載した基準よりもいっそう複雑なロジックが必要になると考えられる. 特に基準 4 については, 新設道路への分岐が否かを一律に閾値 100m 内の道路有無で判断している点に問題があった. 道路構造令等を参考にして設定した値をベースとして, 道路種別や周辺の道路状況に応じて幅を変化させる等, 改善の余地があると思われる.

6. まとめ

本稿では, カーナビと自動運転システムが異なる地図データを使用している場合に, カーナビの経路情報を自動運転システムに伝達する方式について述べた. 位置参照方式の 1 つである OpenLR をベースにカーナビ用地図上の経路と高精度地図上の経路の一致率を向上させるとともに, 変換前後の経路の一致を判定することで車両へ誤った経路を出力することの抑止を図った. 提案方式を実装して評価した結果, 一致率については双方の地図データの整備仕様と整備時期が同一であれば 100% に近付けられる見込みを得た. 変換前後の経路の一致判定については, 双方の地図データの整備時期が異なる場合であってもある程度判定で

きる見込みを得たが, 精度を向上させるためには本稿で記載した基準よりもいっそう複雑なロジックが必要である.

今後, 本稿で述べた経路情報の伝達に限らず, システム間で高精度な自車位置やレーンレベルの情報交換が進むと考えられる. 高精度地図の整備状況等をふまえ, 提案方式の改善や地図データ更新による双方のデータの同期等の技術開発に取り組んでいく予定である.

参考文献

- [1] ISO 17572-2: 2015 Intelligent transport systems (ITS) – Location referencing for geographic databases – Part 2: Pre-coded location references (pre-coded profile).
- [2] ISO 17572-3: 2015 Intelligent transport systems (ITS) – Location referencing for geographic databases – Part 3: Dynamic location references (dynamic profile).
- [3] 今井龍一, 中條 寛, 松山満昭, 重高浩一, 石田 稔, 浜田隆彦: 道路関連情報の流通のための位置参照方式に関する研究, 土木学会論文集 F3 (土木情報学), Vol.69, No.1, pp.34-46 (2013).
- [4] ISO 17572-3: Intelligent transport systems (ITS) – Location Referencing for Geographic Databases – Part 3: Dynamic Location References (AGORA-C).
- [5] TomTom, OpenLR™ White Paper Version 1.5 revision 2 (2012).
- [6] ROSSATE D5.4 Aggregated test report including detailed test reports version 1.0 (2010).
- [7] Ebendt, R., Calvin, L. and Tcheumadjeu, T.: An approach to geometry-based dynamic location referencing, *European Transport Research Review*, Vol.9, No.3 (2017).
- [8] Schuetzle, R.: Validation of “Location Referencing”-Methods, University of Stuttgart (2012), available from <http://www.uni-stuttgart.de/fovus/NfM/presentations/NfM2012.Schuetzle.Evaluation.of.Dynamic.Location.Referencing.Algorithms.pdf>.
- [9] Transport Network ITS Spatial Data (TN-ITS), available from <http://tn-its.eu>.
- [10] Navigation Data Standard (NDS) Open Lane Model, NDS Association, available from <http://openlanemodel.org/>.
- [11] 渡辺陽介, 高木建太郎, 手嶋茂晴, 二宮芳樹, 佐藤健哉, 高田広章: 協調型運転支援のための交通社会ダイナミックマップの提案, 第 7 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム, pp.1-8 (2015).
- [12] 中條 寛, 柴崎亮介: レーンレベルの位置参照方式具体化へ向けて, 第 13 回 ITS シンポジウム (2015).
- [13] 道路構造令 (改正平成 23・12・26・政令 424 号).
- [14] 道路構造の手引き (愛知県建設部), 平成 23 年 4 月.
- [15] Dijkstra, E.W.: A Note on Two Problems in Connexion with Graphs, *Numerische Mathematik*, Vol.1, No.1, pp.269-271 (1959).

OpenLR は, TomTom 社の登録商標です.



関口 隆昭

2001 年京都大学大学院情報学研究科
通信情報システム専攻修士課程修了。
同年（株）日立製作所入社。車載情報
システムに関する研究開発に従事。



丸 三徳

2011 年東北大学大学院情報科学研究
科システム情報科学専攻修士課程修
了。同年（株）日立製作所入社。車
載情報システムに関する研究開発に
従事。



尾崎 友哉

1990 年名古屋大学大学院工学研究科
修士課程修了。同年（株）日立製作所入
社。組み込みシステム、ユーザインタ
フェース, EMS (Energy Management
System) に関する研究開発に従事。



天谷 真一

1987 年（株）日立製作所入社。1991 年
（株）ザナヴィ・インフォマティクス
に出向, 2009 年よりクラリオン（株）
に出向。現在, 車載情報システムの設
計, 開発に従事。