

経路履歴を用いた車両実時間モニタリング

茂木 恭兵・Aye Thida Hlaing・大沢 裕・曾根原 登

Moving Object Monitoring Method Based on Moving History
Kyouhei Moteki・Aye Thida Hlaing・Yutaka Ohsawa・Noboru Sonehara

Abstract: This paper proposes a real-time monitoring method targeting on a large amount of cars. For efficient monitoring of cars, highly aculate prediction method of a car near future position is necessary. For this purpose, a linear prediction method such as dead-reckoning has been used. This paper proposes another prediction method using trajectory history of cars. The authors have proposed a method supposing for clients having facility like as a in-car navigation system, which is equipped a GPS receiver, communication facility, and road map. This paper describes another model which is suitable more economical terminal such as a mobile phone, which do not have road map.

KeyWords: 移動体、モニタリング、経路履歴

1. はじめに

近年，道路混雑状況の把握や，移動体へのLBS(location based services)の提供などを目的として，移動体モニタリングの方式が活発に研究されている。例えば，一定の時間間隔で移動体が移動履歴を報告し，それをサーバが集約する形のプローブカードが実用に供されている。そこでは，経路の履歴を5分または10分程度の間隔でサーバにまとめて送出される。ここでサーバへの報告間隔を短く設定すれば，多くの通信が発生し，スケーラビリティーの低下を招き，一方，報告間隔を長く設定した場合には，リアルタイム性が低下する。

リアルタイム性を高めるために，移動体の現在位置をリアルタイムに捕捉する研究も活発に行われている。しかしそれらは，バスロケーションシステム [1] のような定められた経路を移動する場合を除いて移動体の移動経路に関する知識を持たないことから，デッドレコニング (dead-reckoning) による予測，即ち，移動体が同じ速度で同じ方向に移動するとの予測 [2] にとど

まっている。デッドレコニング移動体のリアルタイムモニタリングにおいては，移動体の現在位置とサーバの予測位置との同期を取るために多くの通信が発生し，スケーラビリティーの低下を招いている。

もし，移動体の目的地や経路を的確に予測できれば，予測がより高精度になり，通信回数を抑制させることができると考えられる。そこで，筆者らは移動体の行動を観察し，それを基に移動体がよく通るルート情報を収集し，それを個々の移動体の位置予測に反映させる方式を提案した [3]。そこで提案した方式では，移動体がGPSによる測位機能，通信機能，および道路地図を有するモデルを想定した。これをリッチ (rich) クライアントモデルと呼ぶ。一方，本方式ではより簡易な端末，即ち，GPSによる測位機能と通信機能のみを有するモデルを想定している。これをシン (thin) クライアントモデルと呼ぶ。

以下，本稿では移動履歴をベースに精度高い経路予測を行い，少ない通信量で高精度なモニタリングを簡易な端末で実現する方式について述べる。

2. 提案方式の概要

2.1. システム構成

図1は、本研究で対象とするモニタリングシステムの概要を示している。サーバは、通信モジュール、モニタリングスレッド、及びLBS 対応モジュールの3つからなる。

通信モジュールは、大量の移動体との通信を担当する。新たな移動体の移動が開始されたときには、その移動体のモニタリングの為のモニタリングスレッドを立ち上げる。一方、その移動体の移動が終了したときには、そのモニタリングスレッドを閉じる。

LBS 対応モジュールは、現在モニタリングしている個々の移動体の位置や近未来位置をベースとして、それらに位置に関連した情報サービス (LBS: location based services) を提供するためのモジュールであるが、この部分は本稿の対象外である。但し、モニタリングされた結果を LBS で利用する際に、位置捕捉精度を制御したい場合がある。この制御を LoD(level of detail) 制御と呼び、2.3 で述べる。この制御は LBS 対応モジュールで行われる。

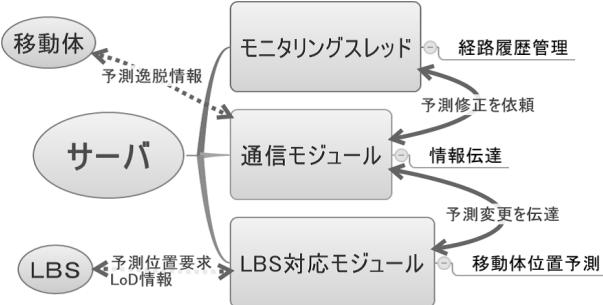


図 1: thin クライアントモデル

システム全体では、個々の移動体をクライアントとし、それらへの情報提供と現在位置の収集を行うサーバ・クライアントモデルを採用する。サーバのモニタリングスレッドは、個々の移動体毎の過去の移動履歴から近未来的のルートを予測し、そのルートの道路地図を移動体に提供する。個々の移動体は、GPS で取得する現在位置と、送られた予測ルートからのずれを監視し、予測ルートから外れた場合や大幅な遅れや進みがあった場合に、その補正情報を通信モジュールを経てモニタリングスレッドに伝達する。

サーバ側では、個々の移動体の移動履歴を基に、そ

の移動体の良く通るルート情報を保有している。基本的には、この情報を基に近未来位置を予測する。一方、移動体が良く通るルートから外れて移動する場合には、同じ道路を道なりに同じ速度で移動するという仮定に基づく予測、即ちデッド・レコニング [2] で近未来位置を予測する。移動体は道路地図も過去の履歴も保有しない為、近未来にとるルート情報をサーバから取得する。

2.2. 移動体モニタリングの基本方式

本方式では、移動体の経路予測を、まず経路履歴に基づき予測し、移動体がその経路履歴に無いリートを移動する場合には、予測方式を道路網上に拘束されたデッド・レコニングに切り替える。サーバはいずれの場合にも、近未来に通行すると仮定した経路をクライアントに送出する。クライアントは、その経路との位置ずれを常に監視し、状況に応じて表1に示すコードをサーバに送出する。

表 1: 通信モジュール受信コード

コード	内容
0	移動開始 (移動体 ID, 位置情報)
1	予測位置との同期 (移動体 ID, 位置情報) 予測経路からの逸脱
2	(移動体 ID, 位置情報, 移動方向)
3	一時停止 (移動体 ID, 位置情報)
4	移動再開 (移動体 ID, 位置情報)
5	移動終了 (移動体 ID, 位置情報)

まず、コード0は移動開始時に送出されるコードであり、このコードは通信モジュールで処理される。通信モジュールはこのコードの受信により、その移動体をモニタリングするスレッドを立ち上げ、経路履歴を参照し、その現在位置から予測されるルートの位置・形状情報をクライアントに送出する。

コード1から4は通信モジュールから個々のモニタリングスレッドに送られ、モニタリングスレッド内でそれぞれのコードに応じた処理がなされる。コード1は移動体が予測ルート上にあり、しかし現在位置が予測位置から大きく遅れ、または進んだ場合に位置補正の為に送られる。サーバはこのコードを受け取ったとき、現在位置をパラメータにより補正する。

コード 2 は、移動体から送られてきた予測経路から逸脱した場合に送出される。サーバはこのコードを受け取ったとき、次の予測経路を作成する。経路予測の方式は、2.4 で述べる良く通るルートによる予測と、デッドレコニングによる予測である。後者では、パラメータの現在位置と移動方向から移動体が採用した道路を決定し、その道路を道なりに進むものとして近未来経路を予測する。そのルートを移動体に送出する。

コード 3 は移動体が一時停止した場合に送出される。サーバは、このコードの受信により、その移動体の未来位置予測を一時停止する。コード 4 は、一時停止が終了し、移動が再開された場合に送出される。サーバはこのコードの受信により、移動体の位置予測を再開する。

コード 5 は移動体の移動終了時に送出される。サーバの通信モジュールは、このコードの受信によりその移動体に割り当てられていたスレッドを閉じる。

2.3. LoD の制御

サーバの構成は図 1 に示した。この内、LBS 対応モジュールが、各種 LBS の提供を行う。その際に、移動体の捕捉精度を制御したい場合がある。一般に、移動体の実時間モニタリングにおいては、位置精度高く移動体位置を捕捉する際には頻度高い通信が必要になり、逆に通信頻度を抑えようすると、位置精度を低く設定せざるを得ない。

LBS のアプリケーションでは、ある特定の範囲内の移動体に対して高い精度での位置捕捉を行いたい場合がある。例えば、タクシーの管制において、顧客からの依頼があった場合、その顧客に近いタクシーに対しては高い精度での位置の報告を求める。一方、他の地域のタクシーに関しては、低い精度の位置捕捉で十分という場合である。このような要求に応えるため、提案方式では LoD(level of detail) という考えを導入する。

クライアントには、位置の進みや遅れに際して一定の許容誤差 θ_P が設定されており、現在位置と予測位置の差の絶対値が θ_P を超えたとき、位置補正の情報(表 1 のコード 1)を送出する。その際の θ_P を LoD により制御することにより、通常のモニタリングコストは低く、かつ必要な場合には高い精度でのモニタリン

グが可能になる。

2.4. 良く通るルートを用いた予測方式

モニタリングシステムの中核となる、移動体の位置予測には文献 [3] で用いている方式と同じである。移動体の移動履歴を基に、ある出発地毎に経路グラフを作成しておく。経路予測に際しては、そのグラフを参照する。経路グラフ上の交差点に達したとき、過去の履歴で最も頻度高く採用された枝が予測として採用される。本稿の方式と文献 [3] の方式との大きな相違点は、この過去の履歴グラフをサーバのみが持つ点である。また、道路地図情報もサーバのみが有している。従って、全ての予測経路はサーバがクライアントに対して送出しなければならない。最も高い頻度でとられたルートの予測が外れた場合、クライアントは表 1 のコード 2 を送出する。サーバ側がこのコードを受け取ったとき、経路グラフから次の頻度の経路を送出する。また、もし次の頻度の経路が存在しない場合には経路予測方式をデッド・レコニングに切り替える。

3. 実験

3.1. 評価実験環境

提案方式を C#により実装し、道路網上でのデッド・レコニング(以下 DRRN)との比較実験を行った。道路地図には、数値地図 25000(空間データ基盤)のさいたま市範囲を用いた。また移動経路は、実際に自動車で走行した約 1 年間(2008 年 7 月 12 日～2009 年 9 月 11 日)のデータを使用した。実験に用いた GPS 軌跡の大部分は、2 地点(1 つは図中の A 点、また他の 1 つは図中の B 点であり、両者間の移動距離は約 9km)の移動である。但し、移動経路には複数のものが含まれている。

移動体の現在位置は、GPS 受信機により 1 秒間隔で取得されている。ここで用いた移動軌跡は A から B に向かう 165 本分の経路である。このうち取得日時が古いもの 140 本を予めマップマッチングすることで経路履歴を作成した(図 2)。経路履歴に追加していない残りの 25 本の GPS 軌跡に対して、提案方式と DRRN での移動体モニタリングをシミュレーションし、通信パケット数の平均をとり性能を比較した。



図 2: 経路履歴

3.2. 実験結果

実験結果を図 3 に示す。この図において、横軸は位置捕捉の許容誤差 (θ_P) を示している。これは実際の位置と予測位置との誤差を絶対値で表しており、ここでは 100m から 1km まで変化させている。縦軸には、移動体とサーバ間で行われた通信のパケット数を示している。この実験では、1 パケットのサイズを 64B とした。位置予測の際の移動体の速度は、提案方式では経路履歴に付与されたサブルート毎の平均速度を用いた。一方、DRRN では速度を 9km/h, 18km/h, 27km/h に設定した。信号による停止や渋滞などが含まれる為、実際の移動速度は 10km ~ 15km 程度である。この実験結果に示されているように、提案方式は全ての速度設定の DRRN よりも優れている。

DRRN の速度ごとの結果を比較すると、許容誤差が小さい時には、移動速度が送信パケット量に与える影響が大きい。一方、許容誤差が大きくなるにつれてその差は小さくなっている。これは許容誤差が大きくなつた時、移動体予測経路を逸脱することによる通信が支配的になるのに対して、許容誤差が小さい時には、予測位置と現在位置との誤差による通信がパケット量に大きな影響を与えるためと考えられる。

提案方式では、許容誤差が 100m の場合には DRRN に対して約 4 分の 3 から 3 分の 2 程度の通信量に抑えられており、許容誤差が 1km の場合には DRRN に対して半分以下のパケット量に抑えられている。このことから、移動体の実時間モニタリングにおいて、通信量及び回数がスケーラビリティに支配的な場合は、提案方式により大幅な改善が期待できる。

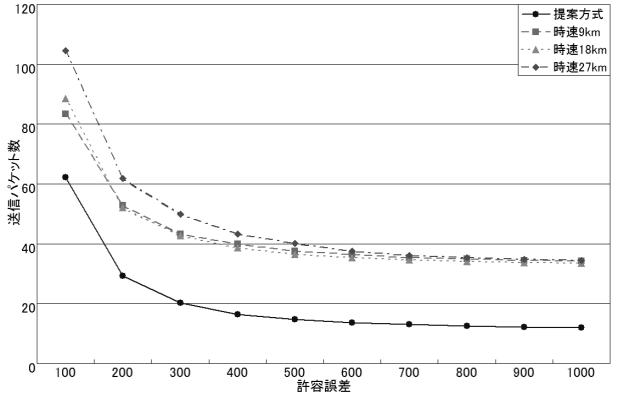


図 3: 実験結果

4. まとめ

本稿では、移動体位置の実時間モニタリングの為の位置捕捉方式として、移動体の経路履歴を用いた位置予測方式を提案した。また、携帯電話程度の機能を想定した端末を移動体の位置捕捉の為に想定した。位置予測に経路履歴を用いることにより位置予測を高い精度で行なうことができ、移動体とサーバ間で行なわれる通信量を大幅に減少させられることを、実際の GPS 軌跡を用いた実験により示した。

本実験は、経路予測精度の高さを示す結果となった。しかし、予測速度としてサブルートごとの移動履歴の平均速度を用いたが、この移動速度は曜日や時間帯によって変動する。従って、今後は移動速度についてはこれらの要素を加味した履歴が望まれる。または、移動速度に関しては VICS などのオンライン情報を用いることにより、より精度高い位置予測が可能になるものと思われる。

謝辞

本研究は、一部科研費（基盤研究 (C)21500093）の補助による。

参考文献

- [1] Dalia Tiesyte and Christian S. Jensen. Efficient cost-based tracking of scheduled vehicle journeys. In *The 9th MDM*, pp. 9–16, 2008.
- [2] Zhiming Ding and Ralf Hartmut Güting. Managing moving objects on dynamic transportation networks. In *Proc. 16th SSDBM*, pp. 287–296, 2004.
- [3] Yutaka Ohsawa, Kazuhisa Fujino, Htoo Htoo, Aye Thida Hlaing, and Noboru Sonehara. Real-time monitoring of moving objects using frequently used routes. In *DASFAA 2011, LNCS 6588*, pp. 119–133, 2011.