

# 自動車を中心とした陸上交通のリアルタイム位置マネジメント方式の検討

佐藤永欣<sup>1</sup> 松倉龍之介<sup>†1</sup> 村田嘉利<sup>1</sup> 鈴木彰真<sup>1</sup>

**概要:** この論文では陸上交通の次世代の管理方式を実現する方法を検討し、そのうちの一つについて評価を行う。陸上交通に参加する移動体の数が膨大である、航空交通のように詳細に管理しなくても重大な事故には直接つながらない、大型船舶と違って比較的操縦が容易であり目視後の対応で事故を防げるなどの理由から、陸上交通の移動体はマスとしては把握されていたが個々の移動体としては把握されていなかった。そこで、陸上交通を対象に個々の移動体の位置などを把握し管理するための方式を提案する。移動体の位置情報の用途により、どのようなアーキテクチャが望ましいのかを検討し、典型的と思われる用途に特化したシステムの設計を行い、シミュレーションにより評価した。

## A Discussion on Real-time Location Management for Land Traffics that Focused on Automobiles

NOBUYOSHI SATO<sup>1</sup> RYUNOSUKE MATSUKURA<sup>†1</sup>  
YOSHITOSHI MURATA<sup>1</sup> AKIMASA SUZUKI<sup>1</sup>

### はじめに

この論文では、次世代の陸上交通の交通管理を実現する方法の一つを検討する。現状では、交通管理という視点で見ると、個々の自動車は区別されずに単なる交通流として把握されている。例えば、従来、高速道路では路面に埋め込まれたループコイルにより車両の台数と速度を、一般道では車両検知器などにより台数を検知している。カーナビゲーション各社や自動車会社は携帯電話回線を通じて自動車の位置情報を収集しているが、現状のサービスでは所要時間や通行可能かどうかといった交通流としての情報しか利用されていない。この論文では、交通流といった集合・流動としての把握ではなく、個々の自動車を個々の自動車のまま位置情報を収集し、管理する方法を検討する。

航空交通や海上交通の分野では、現在、航空機の ADS-B ビーコンを利用した Flightradar24 や、大型船舶の AIS ビーコンを利用した Marine Traffic、Ship Finder といった個々の航空機や船舶の位置を把握するサービスが一般向けにも提供されている。この論文では、これらの海上・航空交通の管理方法を陸上交通に持ち込み、次世代の陸上交通を管理する方法とする際にはどのような実現方法が考えられるかを検討する。この際、航空機や船舶は全世界でそれぞれ 3 万機、12 万隻と比較的少数であり、位置情報の収集や蓄積、管理は比較的容易であるが、自動車の台数は膨大であることが問題となる。日本での自動車登録台数は乗用車 6100 万台、トラック 1400 万台、バス 23 万台であり、世界中では 13 億台を超えられている。

我々は、自動車のリアルタイム位置管理システムを提案してきたが[1][2]、航空交通や海上交通と比較した検討や、自動車を中心とする陸上交通の位置管理をどのように・どこまで実現するべきかの検討、性能評価が不足していた。さらに、管理区域の分割・サーバの負荷分散方法に関してあらたな手法を持ち込んだ。

以下では、まず、航空交通と海上交通における交通管理の概観を述べ、陸上交通の交通管理を整理する。次に、陸上交通に要求される交通管理の要件について検討し、設計指針を検討する。そして提案システムの概要と述べ、特定の用途を考慮した設計における評価を示す。最後に関連研究とまとめを述べる。

## 2. 関連研究: 交通管理の歴史と陸上への適用

### 2.1 航空・海上交通における交通管理

個々の移動体を意識した交通管理は、まず航空交通で第二次世界大戦前に導入された[1]。これは航空機の数が他の交通手段と比べると少なく、コンピュータを利用しなくても実現が容易だったこともあるが、空港周辺などの混雑地域での事故を避ける必要性からである。すなわち、既存の交通手段と比べて航空機の速度が速いうえに船舶ほど大きくはなく、目視してからの衝突回避だけでは十分ではなかった。離着陸前後の速度も高度も余裕がない場合は可能な回避に限られるほか、航空機による事故はたいへいの場合で死亡事故につながったからである。

航空交通における交通管理は空港周辺の交通整理、すなわち離着陸の順番や方向などの管理から始まり、徐々に巡

<sup>1</sup> 岩手県立大学  
Iwate Prefectural University  
<sup>†1</sup> 現在、富士通 BSC

航空にまで広げられていった。当初は地上の無線標識などに基づく人力による航空機からの位置通報とレーダーでの地上からの監視であったが、レーダーに映っていても位置通報がなければ航空機を識別することはできなかった。その後、ADS-B (Automatic Dependent Surveillance-Broadcast)が導入されたことにより、一定以上の大きさの航空機がここに識別され、その位置が常時把握されるようになった。

海上交通における交通管理も、歴史は古いが航空機と類似した発展の経過をたどっている。すなわち、港周辺に限った音声信号・発光信号や水先案内人の移乗といった手段による交通整理と、狭隘な海峡などでの音声信号や発光信号による交通整理が行われていたが、AIS (Automatic Identification System)の導入により、ある程度以上の大きさの船舶の位置は全て定期的に通報され、位置が把握されている。

航空交通と海上交通における個々の移動体を意識した位置管理はそれぞれ ADS-B と AIS に基づいているが、これらのシステムは特定の周波数の無線によるブロードキャストに基づいている。すなわち、移動体の数が少なく、特定の周波数で時分割多重通信を行ってれば十分であること、ある移動体は自分の周辺の他の移動体の情報を把握できれば十分であり、無線通信が可能な距離の制限はかえって好都合であることなどの理由による。

航空交通と海上交通における一般向けの位置情報サービスとして、Flightrader24[3]や Marine Traffic[4]、Ship Finder[5]などがある。これらは、それぞれ ADS-B や AIS に基づいており、航空管制当局や海上保安当局が把握している情報とほぼ同じものを、民間で受信アンテナ等を整備することで利用できるようにしている。

## 2.2 陸上交通における交通管理の歴史と現状

陸上交通における交通管理として、まず考えられるのは交差点における交通整理である。交差点における交通整理では、優先的に通行できる場合、他の交通に譲る場合、通行してはいけない場合などがルールとして細かく定められており、詳細は異なるものの考え方は世界各国で共通である。このルールは一種の分散プロトコルとして機能し、移動体がルールを守っていれば、操作ミスなど以外では事故は発生しないはずである。このルールには色灯式の信号機や一時停止、優先道路、移動体の種類による優先順位などといった概念を含む。

陸上の移動体の管理として、次に考えられるのが渋滞の検出といった交通量の把握、通行止めや事故、渋滞といった交通障害の情報の提供である。まず、交通量の把握については、モータリゼーションの進行と前後して道路側に設置した設備による把握が行われるようになった。その後、自動車が自らの位置情報をインターネット経由で発信し、収集する方式が用いられるようになった。

道路側の設備による交通の把握では、例えば、高速道路

ではループコイルを用いた車両台数と速度の計測が行われている[2]。路面に埋め込まれたループコイル直上を車両が通過するときに発生する電流により車両を検知し、近接して埋め込まれたループコイルにおいて電流が発生する時間間隔から車両の速度を測定する。ループコイルはインターチェンジ近傍と、インターチェンジ間をいくつかの区間に分割した境界に設置されており、各設置場所での断面交通量という形で渋滞の検出や予測などに利用されている。このほか、電波を用いた方式などでも交通量が測定されている。同様に一般道でも、市街地を中心に赤外線や超音波を用いた車両感知器により交通量を測定している。測定されたデータは日本道路交通情報センターに集約され、渋滞情報や事故情報などとして提供されているが[6]、近年はオープンデータとしての提供も始まりつつある。

カーナビゲーションシステムが自動車に搭載されるようになると、カーナビが測定した自車の位置情報をインターネット経由でサーバに送信する、プローブ情報に基づく道路交通の把握が行われるようになった。一般向けサービスの嚆矢はパイオニアのスマートスプーで 2006 年の開始である。スマートループにはパイオニア以外のカーナビメーカー数社と自動車会社数社が相乗りしている。このほかにも、国内各社による同様のサービスが行われている。厳密な意味でのプローブ情報に当たるかは何とも言えないが、Android スマートフォンがほぼ常時送信している位置情報も、Google Map における渋滞情報の提供に使用されている。これらのプローブ情報は、個々の車両の情報を匿名化したうえで、渋滞情報などの提供や、大規模災害時における通行可能な道路の情報の提供に用いられている。

この他、トラックや、バス、タクシーといった陸運業界では、自社の車両の位置情報を取得し、運行管理や労務管理に利用することが以前から行われてきた。古くは MCA 無線を用いたタクシーの位置情報収集などがあげられるが、現在は携帯電話回線を通じたプローブデータの収集に移行している。

## 2.3 陸上交通における交通管理の展開と望まれるサービス

陸上交通の交通管理は、航空交通や海上交通のような、個々を識別しつつ、個々の移動履歴なども蓄積するようには現在のところなっていない。また、社会的にもコンセンサスは得られていないのが現状である。これは、車両の移動履歴は特に自家用車では個人の移動履歴とほぼ等しく、レンタカーやタクシーであっても誰が乗ったのかが明確であれば個人の移動履歴と考えて差し支えないからである。したがって、現在の日本社会のプライバシーの意識からは、匿名化を実施したとしても個々の自家用車の移動履歴の大々的な利用には(スマートループやスマートフォンが常時送信している位置情報等で利用されている現状にもかかわらず)反発が予想される。一方で、バスのような乗合自動

車やトラックのような主として荷物を運搬する自動車であればここを区別したプローブデータの利用は反発されないかもしれない。

この論文では、これらの社会的な理由による反発やセキュリティ上のリスクはいったん考慮しないことにして、陸上交通において航空交通や海上交通のような、個々の移動体を意識した位置情報管理手法を提案し、位置情報管理を行った結果、一般向けにどのようなサービスが望まれるのかを検討することにする。

航空交通や海上交通の交通管理として、前述のように電波によるビーコンに基づくシステムが使用されている。これらのビーコンを導入した最も大きな動機は衝突防止である。例えば、ADS-B のビーコンは TCAS (Traffic alert and Collision Avoidance System, 空中衝突防止システム) のビーコンと同じ周波数を用いている。よって、陸上交通であっても、衝突防止や危険の防止は交通管理システムのアプリケーションとして有望である。このほか、個々の移動体を意識したアプリケーションとしては、犯罪捜査のようにある特定の地点や特定の車両周辺を通行した移動体を抽出するアプリケーション、運行管理のようにある特定の車両の移動履歴を抽出するアプリケーションが考えられる。当然ながら、個々の車両を意識しない、現状の陸上交通の管理として提供されている交通量の調査や渋滞情報などのアプリケーションも包含される。

### 3. 提案システムの設計方針

まず、個々の移動体を意識したプローブデータを収集する方法を検討し、その後、それを蓄積、利用するために望ましいアーキテクチャを検討する。それに基づき、提案システムの設計を行う。

自動車交通では ADS-B や AIS のようなビーコンは使用されていない。ビーコンを使用する方式によるプローブデータの収集も考えられるが、自動車の台数や電波の到達距離などを考えるとあまり現実的ではない。交差点近傍での車々間アドホック通信や路車間アドホック通信なども提案されているが、建物の影などで通信できないといった問題もあり、実用化はされていない。これらを考慮すると携帯電話回線を利用したインターネット経由での位置情報の収集がいちばん現実的と思われる。インターネット経由で収集することになると、情報を受信するサーバの負荷分散や受信した情報の管理手法を考慮する必要が出てくる。

#### 3.1 地域分割方法の検討

自動車は都市部では狭い地域に台数が集中し、地方では広い地域にごく少数が存在するため、台数を考慮したうえで、地域ベースで管理することが望ましいと思われる。したがって柔軟な区域の切り分けが必要であり、単純な方が

望ましい。

まず、単純な地域の区切りとして、都道府県や市町村のような自治体単位やさらに小さな地名に基づく方式が考えられる。このほか、道路の路線名などに基づく方式も、陸上交通の管理手法としては考えられる。自家用車などの行動範囲は本拠となる自治体とその周辺であることが多く、自治体の境界は山や川などの自然の障害物であり、人間の行動範囲を制限する要素でもある。また、自動車は道路を通行するため、一見するとよい方式のように思える。しかし、これらの地名や道路の路線に基づく方式では、GNSS により測位して得られた緯度経度を地名や道路番号に変換する必要がある。変換するためには変換表が必要であり、変換表を移動体に持たせるかインターネット経由で問い合わせを行って返還する必要がある。また、地名は常に変わり、道路は新しく増えたり廃止されたりするため、変換表のメンテナンスとすべての移動体と同じ変換表を使う必要が出てくる。よって、プローブデータを送信するサーバを分散させるための方式としてはよいとは言えない。

つぎに、地名などによらずに機械的に区域を分割する方法を検討する。機械的な地域区分としては、メッシュ状に地域を分割する方法が比較的素直である。そこで、大きさが可変のメッシュ状のエリアに分割し、エリアごとに自動車の位置情報を管理することを検討する。

メッシュ状のエリアを管理する方法として、緯度経度そのものを用いる方法、UTM (Universal Transverse Mercator) 直交座標系のような赤道からの距離と中心子午線からの距離に基づくもの、マップコードのように詳細は公表されていないが緯度経度を人口密度などに基づく変換表と組み合わせるものなどが考えられる。マップコードは日本国内のみしか考慮されていないうえ、人口密度を考慮した変換表を参照しないと緯度経度とコードの相互変換ができないので、採用できない。

この研究では、UTM 直交座標系の一種である MGRS (Military Grid Reference System)[7][8]を利用する。MGRS は NATO を中心として使用されている米軍発祥の軍用地理コードの標準であり、北緯 84 度以南、南緯 80 度以北の世界中で共通の計算で MGRS コードと緯度経度の相互変換が可能である a。日本でも自衛隊で使用されているほか、大規模災害時には警察や消防、自治体等の機関も使用する。MGRS ではコードの長さにそのコードが表現している地理情報の精度が含まれており、100km 四方から 1m 四方まで、10 倍単位でスケールを扱うことができる。例えば、北緯 39 度 48 分 10 秒、東経 141 度 8 分 11 秒を表す MGRS コードは 54SWK1169005902 である。54SWK までで 100km 四方の地域を表し、それ以降の数字がこの地域の南西端を原点とする Easting と Northing と呼ばれるメートル単位の直交座

a 極地でも UPS (Universal Polar Stereographic) 基づく別のコード体系が存在し、南極大陸とグリーンランドよりも北の北極で用いられる。

標で、それぞれ 11690m と 5902m である。Easting と Northing のそれぞれの桁数で表している座標の精度を表現する。すなわち各 2 桁ならば 1km 四方である。なお、Easting と Northing の桁数は同じでなければならない。

MGRS のこの性質を利用すると、都市部では細かいメッシュ、地方では大まかなメッシュにより区域を切り分けることができる。送信先のサーバ名などを MGRS コードに基づいて命名することで、機械的な送信先の振り分けができる。具体的な振り分け方法はプローブデータの受信用サーバのゲートウェイの設計などに依存する。

メッシュの命名方法はそのメッシュが切り分けられている精度を利用する。例えば、上記の MGRS コードの座標を 1km 単位のメッシュに入れると、メッシュの名称は 54SWK1105 である。自動車の速度や密度を考慮すると、10km、1km、100m 単位のメッシュを考慮すればよいと思われるが、これらの中間の単位、例えば 500m 単位も必要かもしれない。この場合はメッシュの命名方法が考慮する必要があるほか、メッシュの大きさが 10 の約数の単位であること、すなわち 200m、500m とすると、より上位のメッシュの区切りとの整合性が失われずに済む。

### 3.2 プローブデータの取り扱いと時系列

プローブデータを取り扱う方針を決める前に、プローブデータの量を概算する。日本国内での自動車保有台数は 7600 万台を超えているが、そのすべてが常時稼働しているわけではない。しかし、7時から 19 時の間の交通量は延べ 1 億台とされており、道路交通センサによる 19 万キロの道路での昼間 12 時間の自動車の台数と走行距離の積は 1 億 13 百万台キロである[11]。プローブデータの量を見積もるためには、自家用車を含む自動車の稼働時間や走行距離が必要であるが、推定するしかない。

文献[11]の巻末資料に 2010 年の自家用乗用車(軽自動車を除く)、バス、貨物車(軽自動車を除く)の(年間)走行キロがそれぞれ 3512 億キロ、62 億キロ、1269 億キロというデータがある。軽自動車は車検の機関が異なるためかデータがない。文献[11]によれば 2010 年の登録台数は乗用車 5 千 935 万台、バス 23 万台、貨物車 606 万台である。すると、平均年間走行距離はそれぞれ 5917km、2 万 7 千 km、2 万 km である。主要道路のピーク時平均速度が 35km/h 前後なので、1 台当たりの年間稼働時間はそれぞれ、169 時間、771 時間、571 時間であり、1 日当たり 0.46 時間、2 時間、1.6 時間と計算できる。貨物車やバスの稼働時間が短いようにも思われるが、自家用乗用車については妥当であろう。

毎秒 1 回のプローブデータを送信するとして、1 日 1 台当たり、自家用乗用車、バス、貨物車それぞれで 1656 回、7200 回、5760 回のデータ送信がある計算であり、すべての登録車では自家用乗用車 982 億回、バス 16 億 6 千万回、トラック 349 億回のデータ送信がある計算である。自家用車は数が多いが週に 1、2 日しか使用されない例も多い

えに、ピーク時の同時稼働数は不明である。このためプローブデータのピークの見積もりは非常に難しい。一定時間ごとではなく、一定距離ごとにプローブデータを送信する方式も考えられるが、データ数が数十分の 1 になる程度であり、劇的にデータ数が減るわけではない。

以上より、送信されるプローブデータが 1 回あたり 1KB と仮定しても、サーバのほかにエンドポイントも分散させざるを得ない量の通信となる。

移動体から送信される位置情報のプローブデータは、個々の移動体についての時系列データである。このデータを保管・利用するために、時間・時刻を重視すべきなのか、個々の車両を重視すべきなのかで、システムの影響がある。このため、陸上交通の位置管理を実現した際に利用されると思われるアプリケーションと、それらがどのようなデータを要するかについて検討する。

収集された自動車のような移動体の位置情報を利用するケースとして、(1)ある自動車や特定地点の周辺の他の自動車の情報を利用する、(2)特定の車両の時系列データを利用する、の二つの方向性が考えられる。(1)の利用例として衝突防止や交通量の計測、(2)の利用例として運行管理や不審車両の洗い出しなどである。これらのアプリケーションのうち、高いリアルタイム性が必要なものに関しては、位置管理システムの応答速度が必要であり、設計する際に考慮が必要な可能性が高い。これらのうち高いリアルタイム性が要求されるのは衝突防止である。交通量の計測も衝突防止ほどではないがリアルタイム性が必要である。一方で(2)のアプリケーションはどちらもさほどのリアルタイム性は必要ない。さらに、個々の車両についてみると、すべてのプローブデータが保存されている必要はなく、間引きされていても POI を中心に記録されていてもよい。

以上よりシステムを設計する際には十分に高いリアルタイム性をもって、特定地点やある自動車周辺の自動車の位置情報を取り出すことを考慮する必要がある。上記の条件から、(a)時系列順にデータを記録する、(b)新しいデータほど取り出しが容易である、(c)古いデータの取り出しには時間がかかってもよい、設計が望ましい。

## 4. 提案システムの概要

前節までの議論に基づき、容易に地域をメッシュ状に分割できる、分割されたメッシュサーバを機械的に決定できる、データ記録は原則時系列順、新しいデータはすべて取り出せるが、古いデータの取り出しには時間がかかり、同じ車両の近い時刻のデータで代替されることもあるという方針で設計を行った。提案システムの地域分割とサーバへの収容のイメージを図 1 に示す。図 1 のメッシュ状に分割されたエリアに付した数字を組み合わせてエリアを特定する。例えば、図 1 でバイクがいるエリアは 631013 である。一つまたは複数のエリアが一つのサーバにまとめて収容さ

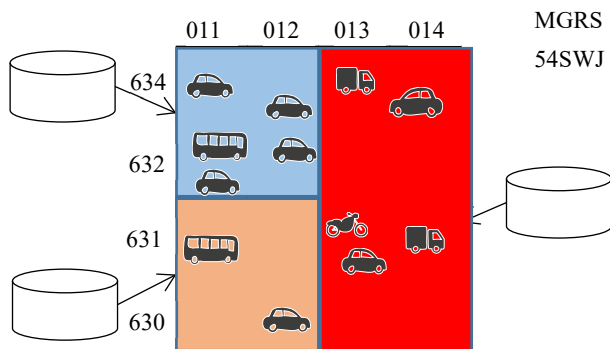


図1 提案システムの概要

れる。

受信した位置情報をまず記録するオンメモリのリングバッファと、リングバッファ内で古くなったデータを收容するHDD上のファイルからなるデータベースを設計した。リングバッファには、プローブデータが到着し次第順番に書き込み、古いプローブデータはリングバッファからは消去され、選択的にHDDへ書き出す。物理的に1台のサーバに複数のリングバッファが收容されることを想定している。

このデータベースをメッシュに分割されたエリアに1台用意し、自動車はこのデータベースに対して、自車の位置や速度、IDなどを含むプローブデータを送信する。ある地点周辺の最新の自動車を得るだけであれば、オンメモリのリングバッファの新しい部分だけをまとめて読み出すだけで高速である。一方、特定の車両を追跡する場合はリングバッファとHDDの全探索が必要である。一つのリングバッファに收容する自動車の台数により、問合せへの応答速度が変化する。また、問い合わせを行って得たプローブデータに、真に必要な特定地点のプローブデータ含まれている割合も自動車の密度により変化する。

まず、リングバッファの構造を図2に示す。リングバッファにはデータ挿入用ポインタとデータ書き出し用ポインタが用意され、書き出し用ポインタが挿入用ポインタに追いつかないように制御する。リングバッファが十分大きければ、書き出し用ポインタが挿入用ポインタに追いつかれることは考えにくい、HDDにデータを書きださずに間引く割合を変えることで書き出し用ポインタを早く進めることは可能である。

リングバッファのサイズを決定する際には、どの程度新しいデータが必要であるかをもとに決定する。例えば、最大で5分以内のデータが必要であれば5分強でデータ挿入用ポインタが1周するようにする。すなわち、自動車などの移動体の密度にも依存する。

次に、地域を分割する方法について検討する。この際、リングバッファのサイズ、すなわちサーバのメモリサイズと周辺車両の抽出に必要な時間を一定以下にする。プローブデータを到着順に格納しているため、周辺車両の抽出は

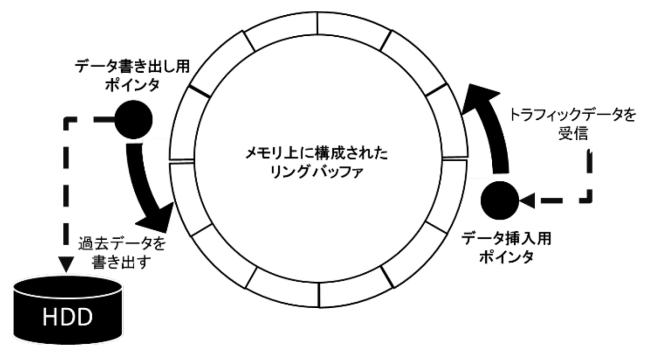


図2 オンメモリのリングバッファの構造

単なる線形探索であり扱うデータ数を  $n$  として  $O(n)$ となる。車両が  $t$ 秒間に1回プローブデータを送信していると、周辺車両を最低でも  $t$ 秒間分のデータがあれば周辺車両すべてを検出できる。分割された地域内にある車両数を  $m$  とすると、 $n=mt \cdot 1/t=m$  である。よって、プローブデータの送信間隔にかかわらず車両密度とリングバッファに使用するメモリのサイズだけで地域を分割する決定をしてよい。

プローブデータの送信間隔  $t$  があまりに大きいとプローブデータの車両の位置と実際の車両の位置がずれてしまう。例えば  $60\text{km/h}$  で走行していれば、 $t=10$  秒の場合で最大約  $167\text{m}$  の位置ずれの可能性があるため衝突防止としては機能しない。よって  $t$  としては、1、2秒程度が適切と思われる。

次に、分割されたエリアの辺縁部の取り扱いを述べる。辺縁部の自動車はいずれ他のエリアに移動するが、どの隣接エリアに移動するかは、自動車の速度に対してエリアのサイズが十分に大きければ、エリアのどの付近にいるかで推定は可能である。一方で、辺縁部に自車両がいる場合に周辺の自動車のプローブデータを取得するには別のリングバッファを参照しなければならない。つまり分割されたエリアの角付近にいるときは最大四つのエリアを参照しなければならないことを意味し、周辺の車両を取得するコストが4倍になることを意味する。さらに、リングバッファが異なるサーバによって管理されていた場合は通信等のコストがさらに上がる。

ここでは、この問題に対する解決策を述べるのみにとどめておく。解決策として考えられるものは、(1)常時隣接エリアも検索することにする、(2)隣接エリアの境界付近のプローブデータを隣接するリングバッファにもコピーしておく、(3)一つのエリアを構成するリングバッファを例えば9分割して隣接エリアも検索するコストを抑えるなどである。

## 5. 評価

上記のような条件で設計したシステムのうち、サーバのみを実装し、シミュレーション用に車両データを発生させるプログラムを作成した。リングバッファ一つに收容可能

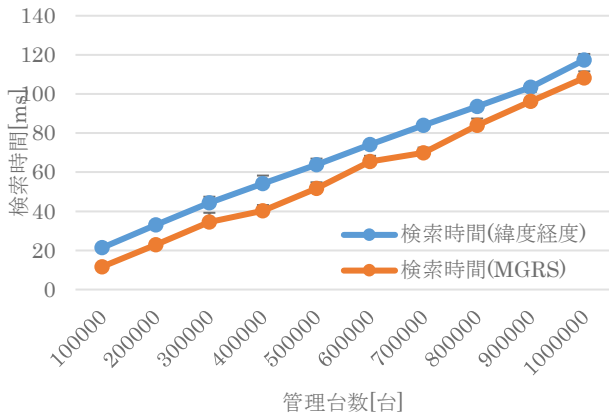


図3 検索時間のシミュレーション結果

な自動車の台数といった観点から、主にサーバが何台まで収容できるかの評価を行った。

まず、車両の生成方法について述べる。メッシュによりエリア分割したマップ上に車両を生成する。生成された車両は、ランダムな方向に40~60km/hのランダムな一定速度で走行する。メッシュ分割された一つのエリアから他のエリアに移動することもある。プローブデータの送信間隔を定め、その時間間隔ごとに該当するリングバッファ内に車両のデータをプローブデータとして書き込む。

このようにして生成されたプローブデータをリングバッファに格納し、周辺車両の探索を行う評価を行った。このとき、緯度経度を二つの浮動小数点数の組で扱う方法、MGRSに変換して二つの整数型の組で扱う方法で評価した。プローブデータのサイズは1件当たり100 Bytesである。また、実行環境はCore i5シリーズを使用したWindows PCである。

一つのリングバッファで管理する台数を10万台から100万台まで変化させたときの、周辺車両の検索時間の測定結果を図3に示す。図3では10回測定した平均と標準偏差を示している。10万台、20万台では標準偏差は非常に小さいが、30万台を超えたあたりから、標準偏差が大きくなる。例えば60万台の緯度経度で直接管理した場合では62msから63msで検索できるのが大半であるが、72msという例があった。詳細は検討していないが、コンテキストスイッチなどにより実行権が一旦なくなったものと思われる。

メモリの使用量については100万台であっても95MBであるので、現代的な環境では特に考慮の必要はないと思われる。ただし、検索を行うのがサーバであれば、線形探索を行うためCPU負荷を考慮すると、数万台のオーダーに対してサービスを行うことは困難である。例えば、20msで検索を終える10万台であっても、シングルスレッドの実行では1秒間に50台までしか検索することができない。コア数が多くても1000台程度が限界であろうと考えられる。このためサーバが検索を行わずに済む、またはサーバのCPU負荷がさらに下がる方法が必要である。

## 6. まとめ

本論文では、自動車を中心とする陸上交通を対象に、個々の移動体を識別して追跡する交通管理システムを提案した。陸上交通は膨大な数の移動体が参加するため、航空交通や海上交通のような方法では個々を識別した位置管理システムを実現することは非常に難しい。航空交通や海上交通の場合、航空機や船舶のIDや位置、速度といった情報が電波ビーコンにより一定間隔で送信されており、これを利用してここを識別した交通管理が行われている。さらに、このビーコンを受信することでFlightradar24をはじめとした、航空管制システムでない民間のサービスとしても利用できる。

陸上交通では、移動体の数が膨大であることがこういった管理システムを実現するためのハードルであり、現在提供されている渋滞情報、渋滞予測や所要時間情報といったサービスでは交通流としての把握にとどまっている。この一方で、自動車交通においてもテレメトリやプローブ情報をインターネット経由で送信し続けることが一般的になりつつあり、将来には個々の移動体を識別した自動車の交通管理が実現される可能性がある。本論文ではどのように移動体を管理すべきかの提案を行い、想定されるアプリケーションのひとつに基づいて簡単な評価を行った。

## 参考文献

- [1] 松倉 龍之介, 村田 嘉利, 鈴木 彰真, 佐藤 永欣: 自動車のリアルタイム位置管理方式の提案, 第79回情報処理学会全国大会講演論文集, Vol.1, pp.485-486. (2017)
- [2] 松倉 龍之介, 村田 嘉利, 佐藤 永欣, 鈴木 彰真: 自動車のリアルタイム位置管理方式の一検討, 第74回情報処理学会高度交通システムとスマートコミュニティ (ITS) 研究会, 2018-ITS-74, Vol.4, pp.1-7. (2018)
- [3] 齋藤 靖: 航空交通管制システムの発展プロセス, 西南学院大学学術研究所商学論集, Vol. 53, No. 3-4, pp.341-381. (2007)
- [4] 卷上安爾: 高速道路における交通量計測についての基礎的研究, 土木学会論文報告集, No.252, pp.97-108. (1976)
- [5] Flightradar24, <http://www.flightradar24.com/>
- [6] Marine Traffic, <https://www.marinetraffic.com/>
- [7] Ship Finder, <http://jp.shipfinder.com/>
- [8] 日本道路交通情報センター: 情報提供事業者サービス, [http://www.jartic.or.jp/jartic\\_web/jsystem/jlink.html](http://www.jartic.or.jp/jartic_web/jsystem/jlink.html) (2019年5月8日閲覧)
- [9] National Geospatial-Intelligence Agency: Universal Transverse Mercator (UTM), the Military Grid Reference System (MGRS), and the Universal Polar Stereographic (UPS), [http://earth-info.nga.mil/GandG/coordsys/grids/universal\\_grid\\_system.html](http://earth-info.nga.mil/GandG/coordsys/grids/universal_grid_system.html) (2019年5月8日閲覧)
- [10] QuinStreet, Inc. (ArmyStudyGuide.com): Locate a point using the US Army Military Grid Reference System (MGRS), [https://www.armystudyguide.com/content/Prep\\_For\\_Basic\\_Training/Prep\\_for\\_basic\\_land\\_navigation/locate-a-point-using-the-.shtml](https://www.armystudyguide.com/content/Prep_For_Basic_Training/Prep_for_basic_land_navigation/locate-a-point-using-the-.shtml) (2019年5月8日閲覧)
- [11] 日本交通政策研究会: 自動車交通研究 環境と政策 2017, <http://www.nikkoken.or.jp/pdf/publication/2017j/2017j.pdf>, (2019年5月9日閲覧)