

イベントトリガ型車両運行管理システムの提案

菊池保文 高橋真之 榎本孝 久保田浩司
日本電信電話株式会社 NTT サービスインテグレーション基盤研究所
E-mail: {kikuchi, takahashi, enomoto, koji}@nttmhs.tnl.ntt.co.jp

我々は、ITS における商用車の効率化を目指し、最適な運行管理を実現するイベントトリガ型車両運行管理システムの開発に取り組んでいる。本システムは、車両の目的地への到着、あるいは次の目的地への出発や、任意の指定地点の通過(本稿では、これらを“イベント”と呼ぶこととする)と運行計画との連携を行うことを特徴とする。これにより、適切な車両運行管理が可能になり、上記イベントを自動的に検出することにより、運転手の操作負担低減が可能となる。また、車載器と管理センタ間のデータ通信は、イベントごとの通信でよいいため、通信費の削減が可能となる。

本稿では、本システムの概要について述べ、イベント検出アルゴリズムの検討と、本システムの動作確認の結果について報告する。

A Proposal of an Event-Triggered Vehicle Operation Management System

Yasufumi KIKUCHI Takashi ENOMOTO Masayuki TAKAHASHI Koji KUBOTA
NTT Service Integration Laboratories, NTT Corporation

As a part of the Intelligent Transport Systems (ITS) initiative, we are developing a management system for the efficient operation of commercial vehicles. Our proposed system is characterized by associating the vehicle operation plan with the actual movements of a vehicle, such as the vehicle's arrival at its destination, the start of its onward journey to the next destination, and its passing through any specified points (all of which are called “events” in this paper). This association makes appropriate vehicle operation management possible. In addition, we developed an algorithm for automatically detecting these events, which can reduce the operational load on the driver, and the cost of data communications between the vehicle and the management center.

This paper outlines the system and presents the results of the preliminary study using a logistics system as an application example.

1. はじめに

ITS における商用車の効率化は、輸送効率の向上、業務交通量の低減、輸送の安全性向上を目的とし、運行管理支援と連続自動運転という2つの側面から、さまざまな取り組みがなされている^[1]。商用車の運行管理とは、車両の現在位置や活動状況等を、事務所において把握することである。たとえば物流においては、車両の現在位置を把握することにより、荷物の配送状況をリアルタイムかつ詳細に追跡することができる。あるいは、車両位置に加え、現在の作業内容や積載量などを把握することにより、緊急の集荷に対応できるなど、広範な応用が期待できる。

一方、日本における物流業界を取り巻く環境は、荷主ニーズの多様化、国内外価格差の是正要求、競争の激化など、日に日に厳しさを増している。物流事業者は

IT化による効率的かつ自由度の高い物流サービスの構築を目指し、さまざまな取り組みを行っている^[2]。しかしながら、日本では物流事業者の98.4%が車両保有台数100台以下の中小事業者で占められており^[3]、一般的に多額の投資を必要とする物流情報システムの導入はあまり進んでいないのが現状である。

我々は、最適かつ安価な運行管理システムの実現を目的とし、車両の目的地への到着、あるいは次の目的地への出発や、任意の指定地点の通過(本稿では、これらを“イベント”と呼ぶ)を自動的に検出し、これらイベントと運行計画との連携を行うことを特徴とした、イベントトリガ型車両運行管理システムを開発した。

次章では、従来の運行管理システムの問題点について述べる。第3章、第4章で本システムおよびイベント検出アルゴリズムについて述べる。第5章では上記アルゴ

リズムにおける各パラメータについて検討し、第6章で模擬試験の結果について述べ、第7章でまとめる。

2. 従来システムとその問題点

2.1. 代表的な従来システム

従来の車両運行管理システム²⁾は、車両に GPS を搭載し、携帯電話等の通信手段によってセンタに位置情報を送信することが主眼であった。

従来システムの代表的な構成を図 1 に示す。車両位置座標は、定期的あるいはポーリングによって、センタに通知される。位置情報を送信する手段としては、DoPa 端末(MobileArk⁴⁾)が用いられることが多い。センタでは、通知された位置座標を記憶する。

物流事業者の事務所では、インターネットを介してセンタにアクセスし、車両位置履歴を地図上にマッピングした図を用いて、車両の運行を管理する。

2.2. 従来システムの問題点

従来システムには大きく三つの問題点があると考えられる。

一つは、車両位置と車両状態との関係である。そもそも、物流における車両の運行は、荷物の集荷先、あるいは届け先といった、荷物の積み下ろし作業が発生する地点の連続によって構成される。「今車両がどこにいるか」とともに、「どこまで作業が終了しているか」という作業の進捗状況を管理することは、運行管理を行う上で重要な要素である。従来方法で作業の進捗状況を把握するためには、車両の詳細な運行軌跡から類推するか、ドライバーのボタン操作等による通知しか方法はない。前者は、次に述べるように通信費が増大する可能性があることや、地下駐車場などの GPS による位置取得が不可能な地点に入ったとき観測不可能になるといった問題点がある。後者は、ドライバーの操作負担が大きく、押し忘れが発生するなどの問題点がある。

二つ目の問題点は、通信費と車両管理精度がトレードオフの関係にある点である。通信間隔を長くにとって通信回数を少なくすると、とびとびの車両位置しか取得できないため、正確な車両の現在位置および現在の状態を把握することが難しくなる。また、車両管理を綿密に行おうとすれば、位置情報を短い間隔で把握する必要があるが、通信回数が増加することにより、通信費の増大につながる。

三つ目の問題点は、DoPa 網にはトランスポート層のプロトコルしか用意されていないため、アプリケーションごとに専用のプロトコルを作成しなければならない点で

ある。また、機能拡張にも大きな投資が必要となる。

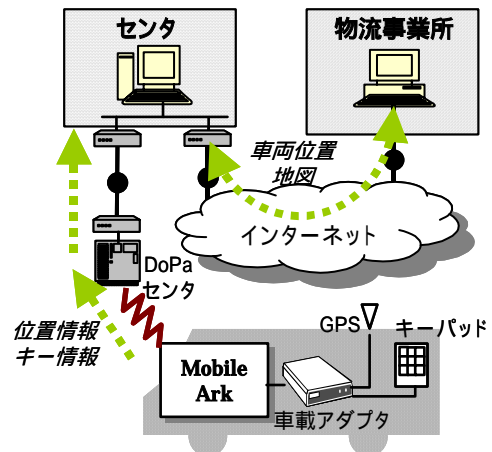


図 1 従来の運行管理システム(例)

3. 提案システム

3.1. システム概要

提案システムは、イベントトリガ型通信技術によって、上記問題点を解決する。ここでイベントとは、所望の場所に対して到着/通過/出発した時を意味する。イベントトリガ型通信技術とは、特定の位置情報を事前に端末側に設定し、そこでイベントが発生した時のみ、車両の位置情報をセンタに送信する技術である。

本システムの構成図を図 2 に示す。物流事業者は、一日の運行計画をセンタに設定する。運行計画は、目的地/通過点と、その到着予定時刻から構成される。センタは、設定された運行計画を基に、目的地や通過点を車載器に通知する。

車載器は、i-mode 携帯電話と車載アダプタで構成される。車載アダプタは GPS 受信機を備えており、位置情報を 1 秒ごとに測定、演算し、イベントの検出を行うことができる。

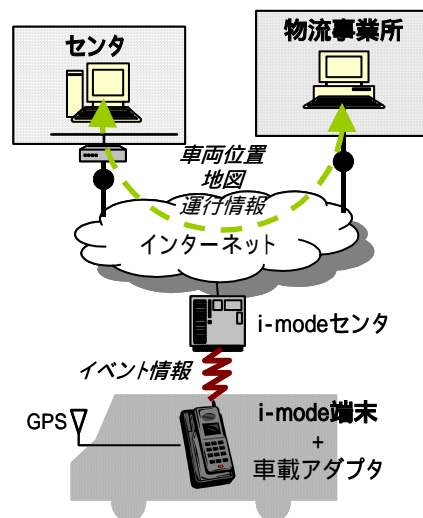


図 2 提案システムの構成図

本システムの特徴を以下に列挙する；

運行計画とイベントが連携した車両運行管理

運行計画を元に目的地や通過点を車載器に設定するため、到着/出発/通過というイベントをトリガーにして、運行計画の進捗を管理できる。

イベントの自動検出

車載器単体でイベントを自動的に検出できる。イベントが発生した時のみ管理センタに情報を発信すればよいので、通信費の削減が可能である。また、運転手の操作負担を低減できる。

i-mode を用いた通信インターフェイスを採用

イベントは、i-mode メールを用いて送信される。また、イベント以外の情報の授受は、i-mode を用いて web 上で通信できる。したがってセンタシステムは、SMTP や HTML といった汎用のプロトコルで構築でき、今後の機能拡張が容易である。

3.2. 車載器

開発した車載器の外観を図 3 に示す。

本車載アダプタは、GPS アンテナ及び GPS 受信機を内蔵している。また、i-mode 携帯電話と連携し、センタから送信された地点情報のメールをアダプタにメモリ転送して蓄積できる。蓄積した地点情報と GPS 受信部により検出した現在位置とを比較することで、イベントを自律的に検出できる。イベントを検出すると、アダプタ主導でメールを作成し、i-mode 携帯電話のメール機能を用いてセンタに通知する。

本車載アダプタは、目的地、通過点ともに最大で 10 点まで記憶できる。目的地はシーケンシャルに、通過点はパラレルに観測し、イベントを検出することができる。



図 3 車載器外観

4. イベント検出アルゴリズム

4.1. 到着/出発検出方法

図 4 に目的地に対する車両の走行モデルを示す。図の縦軸は、車載器が測定した車両の現在位置と、設定された目的地の座標との相対距離を示している。

車両は、任意の地点から目的地に接近し、停車する。このとき、周辺の道路事情等により、必ずしも目的地に重なる地点で停車するとは限らない。

目的地付近のエリアとして目的地設定座標からある半径 d_{os} を考えると、「到着」とは、「目的地エリア内であればの間滞在している」状態を意味すると考えられる。したがって、判定時間 t の間、車両位置座標が目的地エリア内で観測されたとき「到着」と判定する。

出発の判定は、到着判定のあと、車両位置が目的地エリア外に出た時点を「出発」とする。

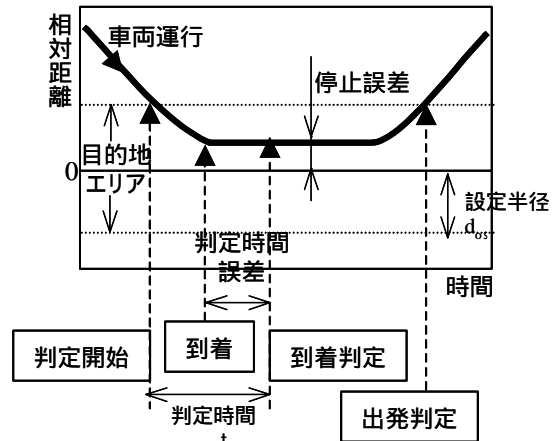


図 4 目的地に対する車両走行モデル

4.2. 通過検出方法

図 4 と同様に、通過時の走行モデルを図 5 に示す。車両は通過点に接近し、ある時点を境に離れていくことから、車両位置座標が最も通過点座標に近づいた時点が通過の瞬間であると考えられる。したがって、通過点座標と車両位置座標との相対距離を考え、距離が減少から増加に転じたときを「通過」と判定する。

上記距離の反転現象は、通過点より遠方で頻繁に起こる可能性があることを考慮し、車両位置座標が通過点近傍にきたときに通過判定を開始することとした。通過点エリアとして半径 d_{ps} を設定し、車両現在位置がエリア内に入ったとき、通過判定を開始する。

もうひとつの考慮すべき点として、通過点座標に接近した次の瞬間にエリア外に出た場合、通過点エリア内において位置情報が 1 点しか得られない場合がある。これらの問題を考慮し、通過点エリア内において、車両

位置座標が 1 点以上測定できれば、それら測定点のうち相対距離が最も小さくなった点を「通過」と判定する。

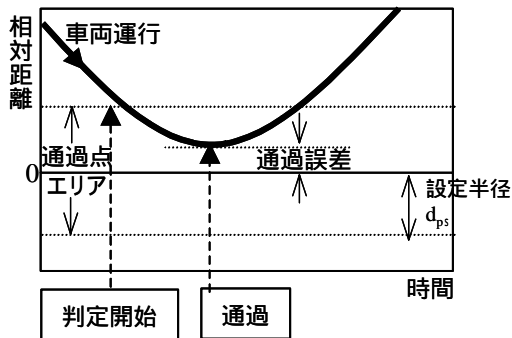


図 5 通過点に対する車両走行モデル

5. パラメータ検討

5.1. 車載アダプタ測位精度

車載アダプタの測位誤差は、イベント検出アルゴリズムにおける各種パラメータ(目的地設定半径 d_{os} 、到着判定時間 t 、通過点設定半径 d_{ps})を決定する上で重要な要素のひとつである。

横浜市内の住宅街の 7 地点において、静止状態での測位実験を 2001 年 1 月 30 日の日中に行った。測定はそれぞれ 17 分程度、連続して行っている。測定結果の平均値を中心とした距離の変動半径を表 1 に示す。

表 1 車載アダプタの測位変動半径

地点番号	1	2	3	4	5	6	7
距離変動半径[m]	6	32	34	6	20	40	12

表 1 から、測位座標は、最も悪くとも中心座標から半径 40m 以内の円内に収まることがわかった。

5.2. パラメータ評価の基準

設定したパラメータが適切かどうかを判定する基準として、次の視点を考える。

実用上、イベント検出の誤り(到着していないのに到着と判定される、到着しているのに到着と判定されない、等)が少ない

実際にイベントが発生した時刻と、アルゴリズムがイベントを検出した時刻との時間誤差が許容範囲内である

物流車両での使用を考えた場合、この視点がより重要であると考えられる。実用上考慮すべき点として、車両の走行パターンや目的地周辺の街路パターンなどが考えられる。本稿では、走行パターンとして車両の進入速度に着目し、車両速度によらず、上記の視点を満

足するパラメータを抽出する。

5.3. 到着検出におけるパラメータ検討

到着検出におけるパラメータである、目的地設定半径 d_{os} および判定時間 t の検討を行った。

まず、到着判定時間 t を一定とし、車両速度を変化させたときの、設定半径 d_{os} と時間誤差との関係を調べた。ほぼ一定速度で走行した後、速やかに減速し、目的地設定地点上で停車するモデルを考え、シミュレーションおよび実車での測定を行った。結果を図 6 に示す。有効な設定半径は、例えば 20km/h のシミュレーション結果(図の理論値)では、時間誤差を 10 秒以下とすると、点 AB 間の判定距離となる。

また、シミュレーションと実測の結果について比較すると、実測では GPS 測位誤差があるため若干ふらついているものの、シミュレーション結果とほぼ同様の結果が得られている。シミュレーション結果と実測値との相関値を表 2 にまとめる。

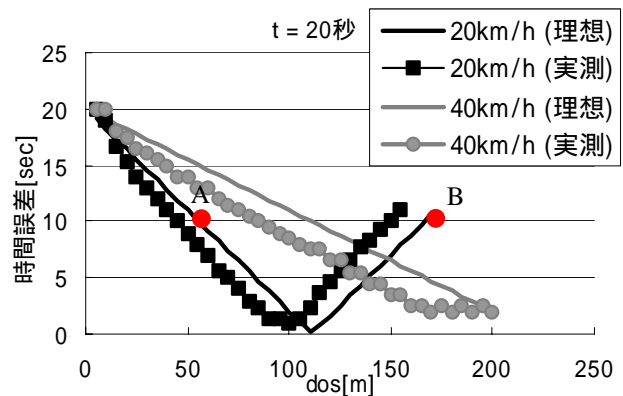


図 6 到着判定パラメータの検討結果

表 2 シミュレーション結果と実測結果との相関

車速	t	相関値
20 [km/h]	10 [sec]	0.970
	20 [sec]	0.909
	30 [sec]	0.997
40 [km/h]	10 [sec]	0.773
	20 [sec]	0.995
	30 [sec]	0.995
	平均	0.94

5.4. 到着検出パラメータに対する考察

目的地到着判定において、測位誤差によって測位座標が目的地エリア外に計測されてしまうと、到着と判定されない可能性がある。表 1 の結果より、測位座標のばら

つきは40m以内に収まっていることから、目的地設定半径はすくなくとも40mとすれば、測位誤差による影響を除くことができると考えられる。

図6では、実測値と比べシミュレーション値が右にシフトしたような形状になっている。これは、実際に車両が停止する際には、シミュレーションの走行モデルに比べ、より時間をかけてゆっくりと減速することが原因と考えられる。実際の車両は、減速過程の間だけ、図4に示すモデルと比べ長い距離を移動することができる。したがって、シミュレーション値よりも早く目的地に到着するため、図6のような結果が得られたと考えられる。表2において、車速40km/h、到着判定時間10secにおいて0.773と相関値が低いことも、比較的速い状態では静止するまでの減速に時間がかかるため、影響が顕著に現れたことが原因と考えられる。しかしながら、相関値は平均で0.94となっていることから、シミュレーションの妥当性が確認できたと考える。

一般道路について考えたとき、車両速度は20km/h～60km/h程度を想定すればよい。許容時間誤差を一定に定めたとき、上記速度範囲内において、有効な設定半径範囲(図6の点AB間)の重なる領域が存在すれば、車両速度によって設計パラメータを変化させることなく、到着判定を行うことができる。上記速度範囲において有効な設定半径の重なる領域を抽出した結果を図7に示す。データはシミュレーションの結果を用いた。縦軸は到着判定時間を示しており、許容時間誤差ごとに3つずつセットになっている。上から、許容時間誤差10秒、30秒、60秒である。例えば、到着判定の時間誤差として30秒まで許容するとし、到着判定時間を30秒とすると、目的地設定半径は0～325mの間であればよいということになる。

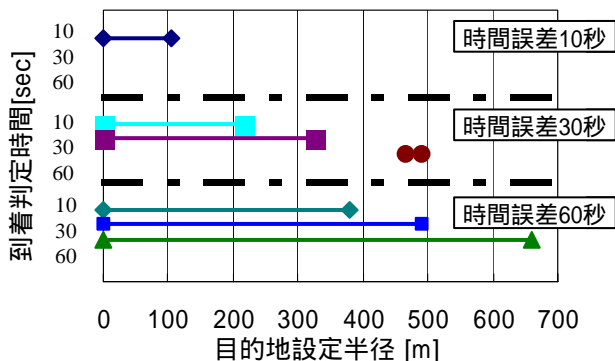


図7 目的地パラメータの有効範囲

以上の結果より、車両速度と到着判定パラメータとの関連において、パラメータの設計における基礎的な指

針が得られたと考える。実用上許容される時間誤差等が決定されれば、図7より適切なパラメータを設定できる。今後の課題として、街路パターンによる影響を実証実験によって導き、パラメータの有効範囲を確定する必要がある。

5.5. 通過検出におけるパラメータ検討

同様に、通過判定におけるパラメータである通過点設定半径 d_{ps} の検討を行った。通過判定においては、誤判定が少ないことを念頭にパラメータ評価を行った。

4.2節で述べたように、「通過」の判定は、通過点エリア内において車両位置座標が最低1サンプル検出されればなされるため、サンプリングタイミングと通過点設定半径の関係が非常に重要となる。3.2節で述べたように、本車載器のGPSサンプリング周期は1[Hz]である。

例えば、速度20[km/h]で走行中の車両は1秒間に約5.6[m]進む。この場合、通過点エリア内に少なくとも車両位置座標が1サンプル測定されるためには、通過点エリアの直径を5.6[m]以上にする必要がある。つまり、対象とする車両速度において、車両が一秒間に進む距離の半分を通過点設定半径とすれば良い。以上の考察のもとに算出した通過点設定半径を表3に示す。

表3 車両速度と通過点設定半径の関係

速度 [km/h]	速度 [m/s]	設定半径 d_{ps} [m]
20	5.6	2.8
40	11.1	5.6
60	16.7	8.4
80	22.2	11.1
100	27.8	13.9

表3の結果を検証するために、走行実験を行った。実験は、神奈川県横須賀市内の一般道路において行った。車両はほぼ一定速度で走行し、設定した通過点を走り抜けた。車両速度は20[km/h]、40[km/h]、60[km/h]で走行し、通過点付近において5秒分(すなわちサンプル数は5)のGPS測位データを収集して、後処理によって通過判定を行った。

図8に、各速度において「通過」と判定される最小の通過点設定半径を示す。図では、表3の値を理論値として示している。図より、実測値と理論値はかならずしも一致しておらず、ばらつきを持っていることがわかる。また、速度40[km/h]を境に、実測値は理論値の上下に分布していることがわかる。

5.6. 通過検出パラメータに対する考察

図8において、車両速度 20[km/h]の結果は、理論値よりも大きな値となっている。これは、第一に GPS の位置検出誤差によるものと考えられる。GPS の誤差は、表1に示したとおり、測位状態の悪い市街地で 40m 程度のばらつきを含んでいる。また、測位条件が良い場合でも、2drms で 15m 程度の測位誤差があるといわれている¹⁵⁾。したがって、通過判定距離も 15m 以下の値は測位誤差に包含されてしまう。第二の理由は、通過点設定座標と実際に通過した車両位置とのずれであると考えられる。同じ道路を通過していても、通過点として設定した座標上を車両が通過することはまれであり、ほとんどの場合はすこし離れた地点を通過することになるためである。

速度 60[km/h]において、理論値よりも実測値の最小設定半径が小さくなっていることは、サンプリングのタイミングによるものだと考えられる。表3の理論値は必要最小限の設定半径を求めているが、実際には測位タイミングによっては理論値よりも小さな半径であっても、測位されることが予想される。実測値のばらつきもこれが原因であると考えられる。

実用上、本システムにおいて通過判定を行う場合には、今回の実験対象地点よりも測位状態の悪い場所も想定される。また、車線数の多寡など道路構造による影響も想定される。したがって、少なくとも理論値以上の値に通過点判定半径を設定しなければならないと考えられる。

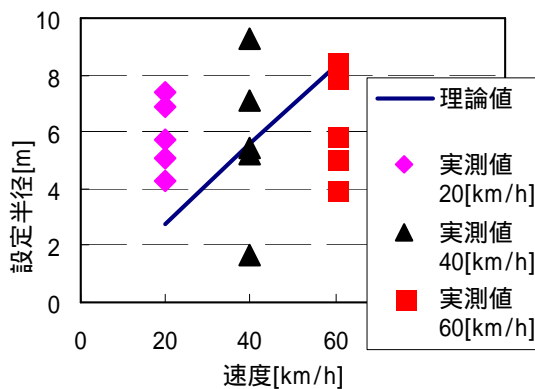


図8 通過点パラメータの検討結果

6. 模擬試験

6.1. 運行実験

物流事業者の車両運行を模擬した試験を行った。投入した運行データおよび運行結果を表5に示す。網掛が目的地を示している。イベント検出パラメータは、パラメータの検討で得られた指針を元に、目的地設定半径および通過点設定半径を 70m、判定時間を 15 秒とした。表の到着時間、出発時間ともに車載アダプタがイベントを判定した時間となっている。

結果より、各地点ごとに到着、出発、通過を検出していることがわかる。

表5 模擬試験における運行計画

地点名	緯度 (度略)	経度 (度略)	到着 時間	出発 時間	状態
通研南	13/177	40/0984	20:08	20:11	終了
通研入口	13/3798	37/16	20:13	20:13	通過
衣笠交差点	14/195	39/562	20:16	20:16	通過
レストラン	14/159	40/1691	20:17	20:21	終了
コンビニ	13/153	39/567	20:22	20:25	終了
YRP 入口	13/1171	41/1513	20:40	20:40	通過
通研下	14/1461	40/3387	20:40	--:--	終了

6.2. 近接地点のイベント検出実験

宅配事業者等を考えた場合、近接した地点を目的地や通過点を設定することが考えられる。地点が近接した場合、それぞれの地点が重なることも想定される。地点エリア近接時における車載器の動作を確認するための試験を行った。

図9に判定エリア隣接試験のエリアモデル図を示す。判定エリアの重なり具合はさまざまなパターンが考えられるが、今回は一検討として約 50% 重なりが生じている場合を想定し、2 つの判定エリアに対して車両が遠方から走行してくるものとした。走行パターンとしては、目的地(到着)-目的地(到着)、通過点(通過)-通過点(通過)、目的地(到着)-通過点(通過)、通過点-目的地(到着)の以上 4 パターンについて行った。実験は、神奈川県横須賀市内の一般道路において、2 つの実験エリア(判定エリア no.1/no.2 と no.3/no.4)について実験を行った。設定した地点の情報を表4に示す。

目的地(到着)-目的地(到着)、通過点(通過)-通過点(通過)、目的地(到着)-通過点(通過)、通過点-目的地(到着)の判定結果をそれぞれ図10~図13に示す。図の数字は、判定がなされた順番を示す。

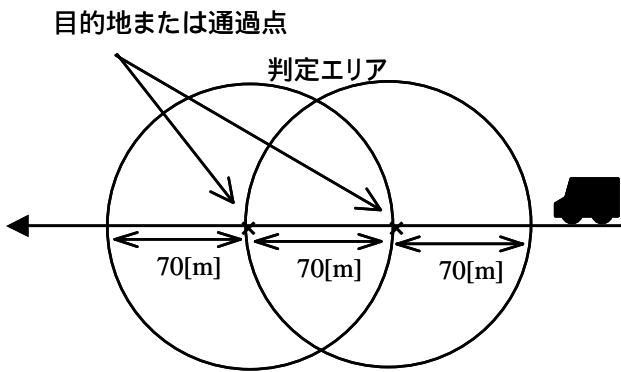


図9 地点近接のエリアモデル

表4 地点近接時の動作試験における地点情報

地点名称	緯度 (度略)	経度 (度略)	半径	時間
no.1	13/4252	42/5121	70m	15s
no.2	13/4002	42/5425	70m	15s
no.3	13/4313	42/9444	70m	15s
no.4	13/4491	42/9008	70m	15s

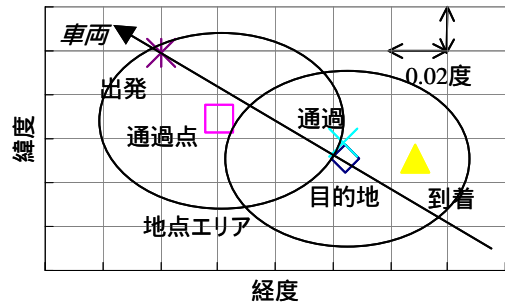


図12 目的地・通過点の判定結果

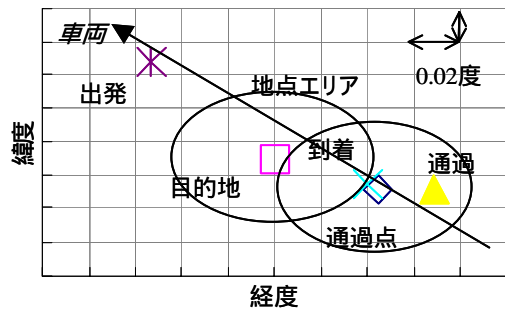


図13 通過点・目的地の判定結果

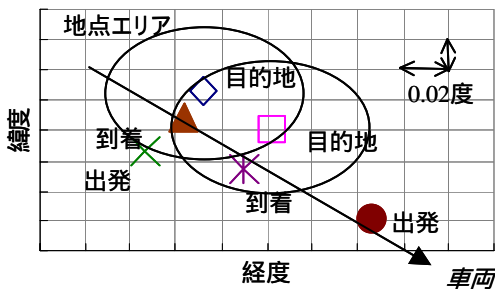


図10 目的地-目的地の判定結果

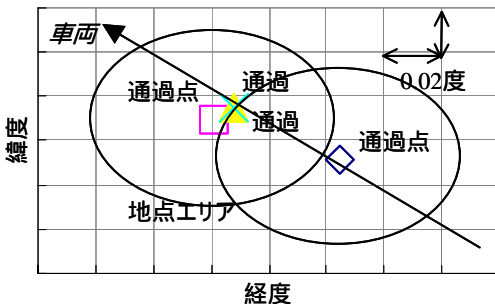


図11 通過点-通過点の判定結果

6.3. 考察

模擬試験によって、物流における車両運行管理において、本システムが有効に機能することが確認できた。また、イベント検出パラメータの妥当性も確認できた。

地点においてあらかじめ設定した到着・通過予定時間に対し、時間の遅れや進み具合が検出できるため、荷物の到着遅れなどを荷主に通知するなどの応用が可能となると考えられる。

図10の結果より、目的地(到着)-目的地(到着)に関して判定処理の順番が正しく行われていることが分かる。しかしながら、出発の判定がエリアから離れたところで行われている。これは、到着のメール送信処理中にエリアを出たために、車載器内部での出発判定の処理が遅れたためであると考えられる。

図11の結果より、通過点(通過)-通過点(通過)に関して判定処理の順番が正しく行われていることが分かる。しかしながら、通過の通過判定は通過点付近で行われているのに対して、通過の通過判定は通過点付近ではなく、通過点エリアを出た直後に行われている。これは測位条件によるものと考えられる。通過点エリア進入時に測位ができない状況になったり、GPS測位誤差などによって、相対距離が単調に減少しない場合、通過エリアを出た瞬間に通過判定がなされる。

図12の結果より、目的地(到着)-通過点(通過)に関して、判定処理の順番が到着、通過、出発となり、

判定の順番に逆転が生じてしまっている。これは、到着/出発と通過の判定処理が別処理として同時に行われ、到着/出発判定処理中に通過の判定が行われたためであると考えられる。また、出発の判定が判定エリアから大きく離れたところで行われている。これは、出発判定処理中に通過の判定がなされメール送信が開始されたため、その間判定処理が中断されたためであると考えられる。また、通過の判定が通過点に近づく前に判定エリア近傍で行われてしまっている。これは、GPSの測位誤差により、極小点が検出されてしまったためであると考えられる。

図13の結果より、通過点・目的地(到着)に関して、判定処理の順番が正しく行われていることがわかる。しかしながら、出発の判定がエリアから大きく離れている。これも、上述した出発判定に関する理由と同じものであると考えられる。

以上より、メール処理によってアダプタ内部の処理が妨げられることを防げば、近接した地点を設定しても問題ないことがわかった。したがって、近接した地点を目的地として設定した際には、車載器がメール処理を行うだけの時間的余裕が必要である。

車載器のメール処理時間を測定したところ、41秒であった。物流事業者が本システムを用いる場合、目的地に対しては荷積み・荷卸し作業が発生し、少なくとも数分の時間がかかると予想される。したがって、上記時間的な余裕は、ドライバーの作業によって確保できると考えられるため、実用上、問題はないと考える。

7. おわりに

運行計画を元に目的地や通過点を設定し、地点に対する到着/出発/通過というイベントをトリガーにして運行計画の進捗を管理するシステムと、イベントを自動検出する車載器を試作した。物流事業者の車両運行を模擬した試験によって、適切な車両運行管理が可能となることを明らかにした。

イベント検出アルゴリズムについて、到着判定および通過判定におけるパラメータの基礎的検討を行い、今後のパラメータ設計に関する指針を得た。

今後は、実際の物流事業者に本システムを適用し、実証実験を行うことにより、提案するイベントトリガ型車両運行管理システムの有効性を明らかにしていくとともに、イベント検出アルゴリズムのパラメータについて、実用上最適なパラメータの組み合わせを抽出する予定である。

謝辞

本研究を進めるにあたり、多方面にわたりご協力いただきました、(株)NTT アドバンステクノロジーの関係各位、NTT サービスインテグレーション基盤研究所関根宗徳氏に感謝いたします。

参考文献

- [1] 国土交通省道路局 ITS ホームページ,
<http://www.mlit.go.jp/road/ITS/index.html>
- [2] “運行動態管理のIT革命”, ロジスティクスジャーナル, 2001年8月号, pp.18-63
- [3] (社)日本自動車会議所, “陸運統計要覧(平成10年版)”
- [4] DoPa Mobile Ark 9601D,
<http://www.nttdocomo.co.jp/products/dopa/keitai/9601d.html>
- [5] 安田明生, “GPS/GNSSの測位原理”, GPS国際シンポジウム'01, Tutorial-1, 2001.2.6