

車載情報機器評価のためのシミュレータ間通信量の削減方式

福山大輔^{†1} 兵藤俊輔^{†1} 高取祐介^{†2} 狩野芳郎^{†3} 清原良三^{†1}

最近の自動車は、自動運転および事故防止をアシストする機能、そのための情報表示と快適なドライブのための情報が様々表示される。これらの情報の表示はドライバの注意散漫の原因になる可能性があり十分な評価が必要である。ドライビングシミュレータは、こういった車載器の情報表示の評価には必須である。より現実に近い評価環境を目指して、我々はドライバが相互に影響しあつた運転をするネットワーク型ドライビングシミュレータを開発してきた。しかし、コストなど点で車両数には限界がある。そこでトラフィックシミュレータと統合することにより、より現実に近い評価環境を実現する。本論文ではシミュレータ間のデータ通信量に着目し、車両数のスケラビリティを確保するためにドライビングシミュレータから見える車両の大きさによってデータの送信受信の必要性を判断することでスケラビリティを確保する手法を提案する。本方式により理論上はネットワークの帯域と、視野的には十分な車両数のデータを交換できることを示し、表示上のデータも違和感のないデータであることを確認し、提案方式が有用であることを示した。

A Method for Reducing the Traffic between Driving and traffic Simulators to Evaluate the Vehicle Information Devices

1. はじめに

交通安全運動や道路設備の充実などにより、国内では交通事故死者数は減っているものの、未だに日本では毎日のように交通事故による死亡事故が発生しており、平成 24 年の死者数は 4411 人もいる[1].

事故の要因としてはスマートフォンやカーナビの普及が進んできたことにより、運転中のスマートフォン操作や、カーナビなど車載器の操作がわき見運転をしてしまう大きな原因となっている。そのため、わき見運転を減らすような工夫をした UI を搭載した車載機の開発が行われている。

例えば音声で入力をする車載器が製品化されている[2]. また、従来の車載器と違和感のない表示をした上で、操作のための体の動きを少なくする工夫の例もある[3][4][5].

これらの車載器を開発する際には、実車走行での評価の前に、安全性の面から見て仮想環境上で評価することが必要不可欠である。そこで、仮想環境としてドライビングシミュレータ(以下 DS)を用いることで、車載機器の評価を行う。しかも、DS は、単なる画面だけでなく、体で感じる車線逸脱間なども必要なため、加速度を感じることのできる DS であるほうがより正確に評価できる。

しかし DS の多くはシナリオで動くものであり、乱数的な要素があっても被験者の運転操作に応じて、DS 上の他車の動作が乱数的な要素以外に変わるわけではないため、操作慣れなどが起こり、正しい評価がしにくいという問題

もある。

そこで、被験者の行動に対して、人間が操作する他の車を仮想空間上に入れることにより、正確性を増した評価環境として、ネットワーク型 DS を我々は開発してきた[6][7](図 1).

ネットワーク型 DS を用いることで、被験者が運転する車両以外にも、他者の運転する車両が現れることによって被験者の動作に応じて周辺車両の動きが変えることができるようになった。事故の分析などをすると、このようなネットワーク上の車両が多いほど正確な分析ができることもわかってきた[6].

周辺車両は対向車両に関しては時々刻々と変わるため多数のシミュレータが必要となるが、協力者の人員確保、シミュレータの数などコストを含めたりソース上の制約も大きい。



図 1 ネットワーク型ドライビングシミュレータの例

^{†1} 神奈川工科大学 情報学部情報工学科
Kanagawa Institute of Technology

^{†2} 神奈川工科大学 電気電子情報工学科
Kanagawa Institute of Technology

^{†3} 神奈川工科大学 自動車システム開発工学科
Kanagawa Institute of Technology

そこで、その問題点を解決するため、マルチエージェント型の交通シミュレータ(以下 TS)を接続することで、仮想的な協力者 DS をエージェントと割り当て、すべての周辺車両が被験者の動作の影響を受けるようにすることにより、より正確な評価環境を構築ができるようになる。

本論文では車載情報機器評価のための TS と DS を接続させた統合ドライビングシミュレータを提案し、その中でも必要な課題であるシミュレータ間のネットワークトラフィックに着目しその通信量の削減方式を提案評価する。

以下、第2章では前提とするネットワーク型 DS 構成に関して述べる。第3章では前提として利用予定のマルチエージェント型 TS について説明する。第4章では DS と TS の統合に関する関連研究について述べ、第5章で開発予定の統合シミュレータについて説明する。第6章では提案手法を示す。7章で評価結果を示し、最後にまとめと今後の課題を述べる。

2. ドライビングシミュレータ

DS は周辺の状況を再現したモニタの映像による視覚情報やスピーカによる聴覚情報を被験者であるドライバへ送ることで、図2に示すように実環境に似た仮想環境を作り出している。本論文で利用する DS のスペックを表1に示す。

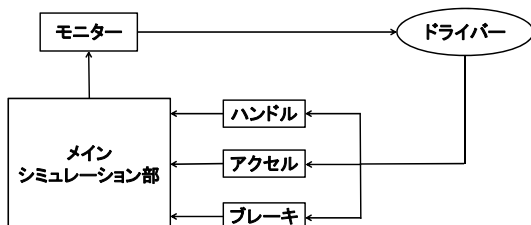


図2 DSの機能構成図

表1 利用する DS のスペック

ハードウェア	視覚映像	前方	3原色透過型液晶シャッター方式(SLDC方式) 786,432画素(水平1,024x垂直768)x3	
		スクリーン	広視野(210°)スクリーン (実解像度: 約 2,730x550)	
		後方	3ミラー独立型液晶ディスプレイ表示 640x480画素(VGA)	
		CG	描画速度 30~60フレーム/秒	
	サウンド	ハード	立体音響・体感振動	
		ソフト	ダイレクトサウンド専機	
	体感機構	モーションベース	機構	機構:6シリンダーによる6自由運動 制御:200V電動ボールベジサーボ方式
			ネットワーク型DS接続可能数	最大5台

体全体で感じることの重要性和安全性を考慮し、6軸の制御足と縦横に引いたレール上でシミュレータをスライドさせることにより、車両の揺れや加速度を体感することが出来るようにしている[7]。

DS の被験者の乗る車両の周辺の車両は基本的にはシナリオで動いており、乱数的な要素はあるものの、被験者の車両の動きに合わせて動作が変わることがない。そのため、操作慣れなどの問題があり、正しい評価ができるとはいえない。

そこで、仮想空間上に被験者以外の他の人が運転する車両を導入させることが可能なネットワーク型 DS を用いることで、被験者の運転する車両の挙動の影響を受けた周辺車両が存在することにより、より正確な評価をできるようにし、実際に事故の分析などでその効果が高いことが示されている[7]。

ネットワーク型 DS は図3に示すように複数の協力者が運転するサブシミュレータ部があり、地図や他の車両のシナリオを共用する。メインのシミュレーション部に対して周辺の協力車両が情報を送信することにより実現している。

このようなネットワーク型 DS では、周辺車両に関して協力者の運転車両が多いほど、より現実近く詳細かつ正確な分析が出来ることが分かっている[7]。

しかしながら、多数のシミュレータを用意することはスペースの制約、人件費などのコストの問題があるため容易に実現することはできない。そこで本論文では一部の協力者をマルチエージェント型の交通シミュレータのエージェントとして実現することで、仮想空間内に仮想的な協力者を用意し、より現実的な評価環境を実現することを提案する。

3. 交通シミュレータ

TS には、大きく分けてマクロ交通シミュレータとマイクロ交通シミュレータがある。前者は交通の流れとしてとらえ、

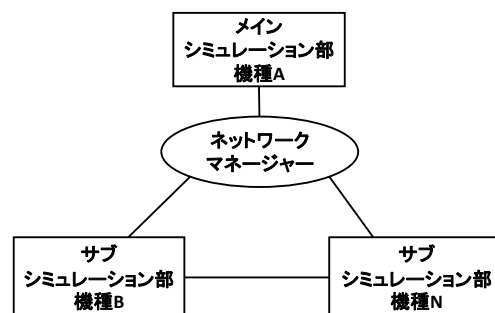


図3 ネットワーク型 DS の構成

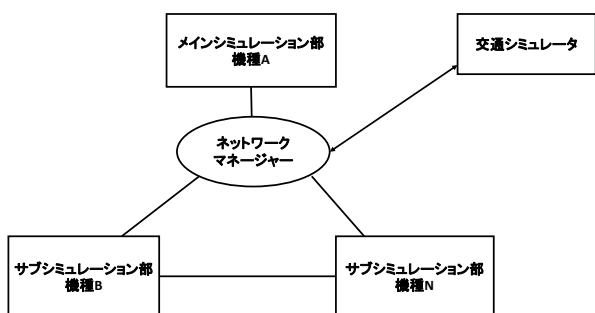


図 4 統合 DS 構成

表 2 交通シミュレータのスペック

シミュレータの種類	マルチエージェント型マイクロシミュレータ
車両走行パターン	ルート設定型
地図	シェイプファイル
シミュレーション間隔	30ms
OS	Windows7

(株)スペースタイムエンジニアリング社
 マルチエージェントシミュレータ

渋滞予測や事故などの影響など信号制御や都市計画をたてる上での参考にする目的で開発されおり比較的広い領域での状況を再現することに利用される[8]. 後者は、各車両をエージェントとして扱い、個々の車両をシミュレートすることにより実現しており、車両の特性や状況の再現を目的に作られており、レーンの変更など細かい動作が再現でき、比較的狭い領域での詳細な車両の動きを再現することができる[9].

車載機器の統合評価環境においては TS と DS を統合し、個々の車両をあたかも人が運転しているように扱うため、本論文ではマルチエージェント型のマイクロ交通シミュレータと DS との統合を考える

マルチエージェント型 DS を利用することにより、各エージェントを協力者があたかも運転しているかのような環境を作成する. 図 4 に統合 DS の構成をまた表 2 に TS のスペックを示す.

図 4 は、前述の図 3 のサブシミュレータの一部を TS 上のエージェントに置き換えたものである. この結果 DS 上の運転状況は TS 中の一つのエージェントとして動作し、TS 上の周辺車両の情報が、DS 上のスクリーン上の周辺車両として実現する.

また、DS 上の動作の結果を出力としてそれを受け取り、TS 上の一台をその結果に基づいて動かすことで、外部から操作をしているように見える.

4. 関連研究

DS と交通シミュレータを統合する試みは複数例ある. 例えば、交通心理に関して、周辺車両の動きによりどう影響するかを測定する目的で DS と TS を統合した例がある[10]. 交通心理の測定が目的であるため、自分の運転の影響を受けるということには重点を置かないため、複数人が実際の運転をすることは想定されていない.

また、広範囲にはマクロ TS を利用し、被験者のいる DS の周囲のみマイクロ TS を利用するという手法も提案されている. この手法は、DS と TS の間の通信量も限定的になり有用な手法であるが、やはり複数人が複数の視点で周辺車両の動作を見るという観点での実装が無い.

本論文では、これらの成果を参考にしつつ、さらにネットワーク型の DS への適用を検討した. また、将来を想定すると自動運転モードと手動運転モードの相互切り換え機能なども必須であり、こういった機能を想定した上での DS, TS の統合方式を提案し、特に本論文では一定のネットワーク帯域が想定される DS, TS 間の通信に対して、自動運転を想定した車両の細かい挙動の情報の送受信に対してスケーラビリティの確保が重要であると考え、通信量の削減方式を提案し、評価する.

5. 統合シミュレータ

5.1 シミュレーション間連携方式

DS のスクリーンは被験者に違和感なく見える必要がある. そのため、最低で 30fps が必要である. これはゲームなどを違和感なく行う時と同様である. じっと見つめる場合は、その倍の 60fps 程度は必要とされている. そのため約 30msec に 1 回は描画が必要であり、シミュレーションの単位時間間隔は約 30msec でリアルタイムに行う.

一方 TS は本来の目的は渋滞などの交通状況の予測などに利用するため、リアルタイムではない. また、その粒度も人が見つめるわけではないため、1 秒といった粒度の荒いケースも多い. しかし、DS と統合し、自動運転モードなども考慮すると 30msec に 1 回はシミュレートする必要がある.

このように DS とシミュレーションのサイクルを合わせ、同期をとってシミュレーションを進める. DS と TS の間の通信には、専用回線での接続が想定されることと汎用的な機能で実現したいため、信頼性は落ちるかもしれないが、オーバーヘッドの少なくリアルタイム性を確保できる UDP/IP を利用する.

実際現在すでにあるネットワーク型 DS でも UDP/IP を採用しておりソフトウェアの改訂量も少なく済む.

5.2 実現上の課題

UDP/IP を利用するため、通信量が増えても一定の時間内で通信を行う限りはリアルタイム性が確保できるが、各エージェントの動作の状況を示す情報量と車両の台数と一定

のネットワーク帯域幅を考えると、通信のスケラビリティの確保は重要であると考えます。また、ネットワーク DS の送る通信と TS の送る通信が同時に行われた場合にパケットロスが発生するのも正確なシミュレーションに影響するため、競合が起きにくいように設計する必要があります。一方でコストを考えた場合、各ネットワーク型 DS と TS とは同じネットワーク上に存在できるようにする必要があります。

また、シミュレーションの動機の取り方、描画のタイミング、信号の動機など他にも課題は多くありますが、本論文では通信量の削減にのみ着目して、その削減方式を提案します。

DS 側から TS に送られる情報の中で、実際に必要な情報は、単純なシミュレーションをするためには、座標点 X-Y-Z・車両の向きである。また TS から送る情報はこれら 2 つに加えて加速度を DS 側に送信すれば良い。これらの情報だけを考えると、わずかな情報量であり、通信帯域が 100MBPS もあれば十分に車両の情報を送ることができる。しかし、実際にはハンドルによるブレや車線変更の途中の状態、アクセルの状態など自動運転も可能な情報が入り、DS で取得できる車両の情報をすべて利用する可能性を想定しておくべきである。現状では、DS では、実写の CAN などに流れてくる情報以上に取得でき、約 57KB にもわたる情報を所持しており、これらを 30msec に 1 回で台数分の情報交換するためなんらかの工夫が必要となる。現実にはそれらの DS のログ情報をすべて TS で利用するわけではないため、5KB もあれば十分と考えている。図 5 にネットワークのトラフィックと車の台数の関係を示すが、一定の通信量に抑えないと、競合の可能性も高くなり違和感が多い状態となりかねない。

6. 提案手法

6.1 通信量削減手法

DS は 30ms 毎に全車両のシミュレーションを行い表示し

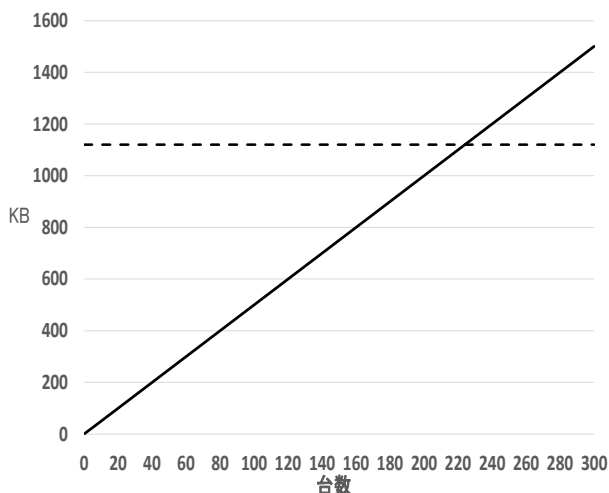


図 5. 車両数と通信量

ているが、前方や後方に遠くに離れている車両に関しては、車両の形は点のように見えるほど小さい。図 6 に 100m 先の自動車の DS スクリーン上で見える大きさの例を示し、図 7 に一般的な乗用車における被験者車両と対象車両の距離とスクリーン上に見える大きさの関係を示す。縦軸が対

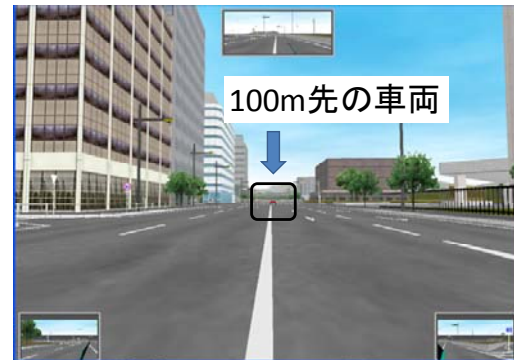


図 6. 100m 先の自動車

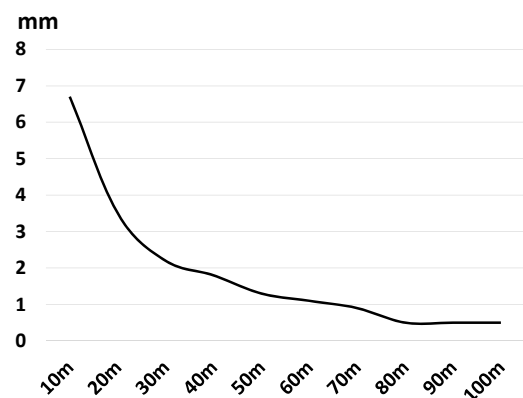


図 7 被験者車両からの距離と車両の見える大きさ

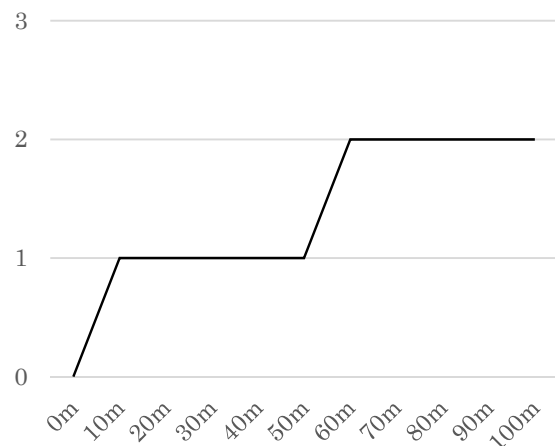


図 8 1mm 以上変化するのに必要なフレーム数と距離

象車両の長辺の長さ(mm)で、横軸が距離(m)である。

車両の進行速度が、時速 50km の場合、フレーム間 (30msec)では約 0.5m しか進まない。即ち、100m 先では 0.5mm しか大きさは変わらない。一方、近くでは 1m あたりで 3mm 程度は大きさが変わるので、その影響は大きい。

そこで、距離の近い車両に関しては毎フレームごとに通信を行い、車両の位置情報を送り、遠い距離の車両に関しては間引きながら車両の位置情報を送ることによる通信量の削減方式を提案する。

図 8 に走行速度 50Km の場合で、車両の見える大きさが 1mm 変化するためのフレーム数と車両からの距離の関係を示す。そこで、距離によってシミュレーション結果の車両情報の送信頻度を定めることで、全体としての通信量を減らす方法を提案する。即ち、一定の長さ $sLimit$ 以上の変化がある場合には必ずその車両の情報を送信することとする。 d を被験者の運転する車両との距離とした場合、その車両が見える大きさを $Size(d)$ とする。ある時刻における距離を d_i とすると、 $Size(d_i) - Size(d_{i-n}) \geq sLimit$ の場合のみその車両の情報を送れば良いことになる。ただし、 $i-n$ は前回送信した時刻である。

車両の見える大きさは変わらないとしても位置は動いているため、この位置の移動は DS 側の機能で十分対応できるため、あたかも通信して得たかのように移動させれば良いが、位置情報など最低限の情報のみを送信することでも対応可能である、その場合数バイト程度の情報になり、無視できる程度となる。

また、実際にはネットワーク型の DS であるため、図 9 に示すように複数の車両からの距離情報を元に、一つでも対象車両がいた場合には情報を送信する。図 9 では各車両の青枠内が車両から見える範囲を示しておりその中のオレンジ色の部分が車両情報を送る範囲になっている。その際、車両 A のオレンジの範囲内に車両 B のオレンジの範囲が入っている場合に、互いに同じ車両の情報を更新するので情報を共有することが可能になる。

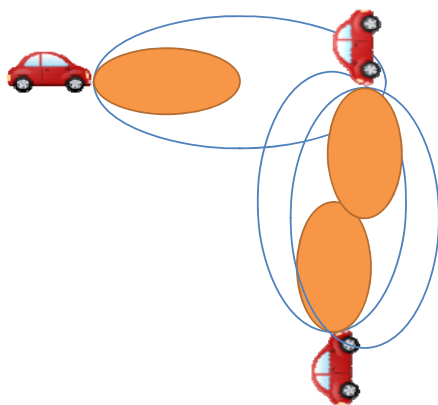


図 9 複数の DS のいずれかの範囲に入る
車両の情報は送信

6.2 競合削減手法

本提案手法では UDP/IP で通信し、ネットワーク上にネットワーク型 DS と TS が混在すると送信時に競合がおき、パケットロスが生じる恐れが十分ある。被験者の車両から近い車両でパケットロスが起きると致命的なことになりかねない。特に、協力者の運転する車両の情報の欠落があると、正しい評価ができない恐れがある。そこで、通信は計画的通信を行うことを前提とする。各フレームごとに同期を取り、最初の一定時間を準にネットワーク型 DS の占有通信時間とし、その中でも順番を決めることによりどの順番で情報を取得するかを知っているため、自己の順番が来たときに情報を流せば良い。これは協力者の運転する車の台数が既知であり、その送信順序もあらかじめ決めることにより可能となっている。

最後の協力者の DS が情報を送り終わるのを DS がしたらその後、TS から各 DS に対してエージェントの情報を送れば良い。このように順序だった送信を行う事により、他の通信がない限りは一定時間内の通信が可能となる。

7. 評価

7.1 要求整理

ここで、本論文で目標とする車載情報評価環境を実現するにあたり、特に通信量を削減に関して要求をまとめると以下ようになる。

- (1) 被験者、協力者が見るディスプレイ上の車両の情報を正確に表示できること。即ち、パケットロスなどが生じない範囲の車両の情報を送受信すること。
- (2) 正確に表示するため、違和感のない表示が出来ること。

前提としては、各シミュレータ間の通信帯域が 100MBPS であり、車両 1 台あたりの情報の交換では最大で 5KB の情報が交換でき、30fps でディスプレイに表示するため約 30ms 間隔で情報を送信することである。

7.2 通信保証に関する評価

通信帯域 100Mbps では、1 台あたりの車両情報を 5KB とすると、1 秒当たり約 2500 台の車両情報をやり取りできる。即ちシミュレーションの時間間隔単位では、約 83 台の車両情報の交換が理論上できることになる。

さらにスケジューリングした通信を行うため競合がおきないと仮定する。ネットワーク型 DS の協力者数を最大 5 台とし、それぞれの車両が TS から情報をもらう必要のある車両に重なりがないとすると 1 車両あたり約 16 台分の情報までは取得できることになる。実際には時速 50km であれば車間距離を 50m 弱はとるべきであるため、100m 先までの車両で 16 台入ることは少ないと考える。しかし、対向車両が信号待ちで並んでる状態で自車両が進み始めた場合で、複数の車線がある場合などではこの台数を超えるケースもあるため十分ではない可能性がある。

そこで、相手車両は動いてないが、自車両のみ動き結果

として見え方が変わる場合は、情報を 5KB も不要であるため動きなしという情報だけを取得し、DS 側で見え方の補正をするということに対応可能である。

7.3 見え方に関する評価

図 10 に 200m 離れた乗用車 150m 離れた乗用車と 100m 離れた乗用車を表示した時の様子を示す。200m と 150m では違いが実際にわからないほどであり、そこを注視し、白線の点の数や周辺の建物との関係を見て初めてわかる程度であった。実際に、それほど離れている場合は、そこまで注視しないと考えられ、通信量を削減した影響はほとんどないと考える。一方 1mm 程度変化する 200m と 100m では明らかに見え方が違い、距離感がつかめた。即ち 0.5m 程



図 10 距離の差による見え方(100m,150m,200m)

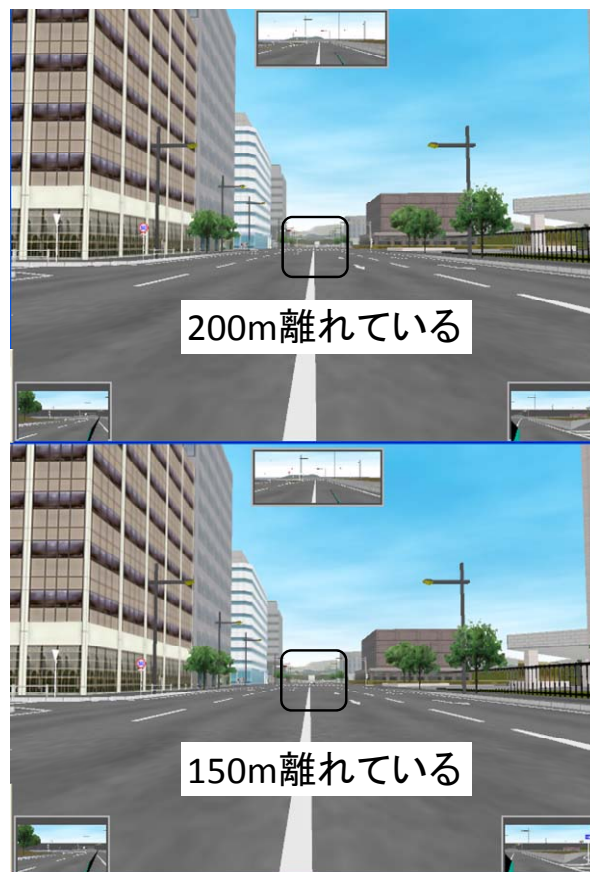


図 11 トラックの場合

度以上変わる場合は車両情報の送信が必要といえることができる。

しかしながら同じ距離であっても車両の大きさの違うトラックであると状況が変わる。乗用車ではほぼ点に見えていたが、トラックではある程度の大きさになる。そのため図 11 に示すように 200 と 150m でも差が明確である。つまり走行する車両の大きさの影響も無視できないことになる。しかし、提案手法における基準の長さは、トラックが存在するケースでの評価を行う場合は、より短めに調整すべきである。

8. まとめ

本論文では、車載情報機器の評価プラットフォームとして、DS と TS の統合に関して述べ、その課題としてシミュレーション間の通信のスケラビリティの確保に関して述べた。

提案手法では、被験者や協力者のディスプレイ上に表示される車両の情報のみを TS から DS に送信すれば良いという点と、ディスプレイ上の表示される車両の大きさの変化に着目した通信量削減方式を提案した。また、通信競合の packet loss を避けるためにもスケジュールされた通信の必

要性を述べた。

評価の結果、提案方式で標準的な環境とも言える実験環境のネットワーク帯域や DS の周辺車両の数においては、一般的なケースでは輻輳することなく通信できることを確認できたが、信号待ちや対向車両が渋滞している時には想定以上の通信量が発生する場合があることもわかった。しかし対向車が動いてない場合には情報量は動いてないという情報だけで良いため、DS 側で単純計算することにより対応できる。しかしながら、ほんのわずかず動作する場合もあるため、これらの場合の情報量削減に関しては今後の課題である。

また、ディスプレイ上の表示で大きさをポイントにしてフレーム上で更新を省略することに関しては違和感がないことを実際の DS 上で環境を再現することにより確認した。

しかしながら、対象とする車両の大きさによっては実装上でパラメータの変更が必要であることもわかった。また主観的な評価であるため、実際にシミュレータ上で統合環境において評価する必要があるため、今後評価を行う予定である。

また、スケジュールされた通信を実現するための同期方式や自動運転を目指したより詳細なシミュレーション方式におけるスケーラビリティの確保および実装による車載器の評価実験を進めていく予定である。

参考文献

- 1) 全日本交通安全協会
<http://www.jtsa.or.jp/topics/T-224.html>
- 2) 富士通 TEN ECLIPSE2013 年秋モデル:
http://www.fujitsu-ten.co.jp/release/2013/10/20131008_01.html
- 3) 高田 晋太郎, 松原 孝志, 森 直樹, “手の近づき検知を利用した車載情報機器の低ディストラクション操作技術の開発,” 情報処理学会研究報告, 2014-CDS-10(2014)
- 4) Takatomo Yamabe, Ryozo Kiyohara, A Study of on-Vehicle Information Devices Using a Smartphone, The 2nd IEEE International Workshop on Consumer Devices and Systems
- 5) Seiji Matsuyama, Takatomo Yamabe, Natsumi Takahashi, Ryozo Kiyohara, Intelligent User Interface of Smartphones for On-vehicle Information Devices, 18th International Conference on Knowledge-Based and Intelligent Information & Engineering Systems, 2014
- 6) 中澤 聖;寺田 崇文;町田 拓也;齊藤 洋太;狩野 芳郎;安部 正人, ネットワークドライビングシミュレータを用いた運転支援システムの事故低減効果に関する研究, 自動車技術会, 学術講演会前刷集 2007
- 7) Yoshio Kano, Takeshi Andoh, Shinsuke Akiyama, Masato Abe, “Networked Driving Simulators for Investigation into Interactive Behaviors among Driver-Vehicle-Systems in Road Traffic Accidents,” FAST-Zero'11 Proceedings, TS3-8-1-3, p1~p6, 2011
- 8) 馬場美也子, 北岡広宣, 棚橋巖, 寺本英二, “交通流シミュレータ NETSTREAM の大型車対応,” 情報処理学会研究報告 2002-ITS-11, pp211-216, 2002
- 9) 尾崎敦夫, 清原良三, 中島克人, 阿倍一裕, 瀬尾和男, “時空間オブジェクトモデルを用いた並列シミュレーション—ミクロ交通シミュレーションへの適用検討—,” 第 13

回シミュレーション・テクノロジー・コンファレンス,
Vol.13, pp.299-302, 1994

- 10) Y. Matsuki, K. Matsunaga, K. Shidoji, A New driving simulator system for discerning suitable headway, Proceedings of International Conference on Traffic and Transport Psychology 2000
- 11) Tomoyoshi Shiraishi, Hisatomo Hanabusa, Masao Kuwabara, Edward Chung, Shinji Taaka, Hideki Ueno, Yoshikazu Ohba, Makoto Furukawa, Ken Honda, Katsuyuki Maruoka, Takatsugu Yamamoto, “Development of a Microscopic Traffic Simulation Model for Interactive Traffic Environment,” Proc. of ITS World Congress'04, 3446, 2004.