

交通シミュレータを用いた高精度協調相対測位手法による 交通事故防止効果の評価

古川 玲[†] 川西 直[†]
湯 素華[†] 長谷川 晃朗[†] 三浦 龍[†]

車両間の相対位置を正確に把握することは、衝突事故が起こる可能性の正確な予測と、安全運転支援システムによる事故防止につながる。しかしながら、都市部においてGNSSによる測位は、建物の遮蔽・反射の影響を受けやすく、車両間で測位したお互いの絶対位置を交換し、相対位置を算出すると精度が劣化しやすい。筆者らは、比較的近い車両同士では、反射波の擬似距離誤差の空間相関性があることに着目し、2台の車両で共通に受信でき、かつ、擬似距離の相関性の高い衛星を用いて、相対位置を高精度に算出する手法を提案している。本稿では、実験等により得られた位置測位精度と情報交換にかかる遅延時間が、右折衝突事故の防止に与える効果について、運転者の運転行動を模擬した交通シミュレータを用いて、評価した結果について述べる。

Evaluation of Cooperative Relative Positioning for Avoiding Traffic Accidents by Traffic Simulation

REI FURUKAWA[†] NAO KAWANISI[†]
SUHUA TANG[†] AKIO HASEGAWA[†] RYU MIURA[†]

Accurate inter-vehicle relative position is the key to predict and prevent collision accidents from happening. In urban areas, however, multipath propagation of GNSS signals degrades the accuracy of absolute positions and the deduced relative position. In our previous work, we suggested a cooperative relative positioning scheme to exploit correlated information, including reflected signals, in computing accurate relative position. In this paper, we evaluate the proposed scheme by using traffic simulation, with a case study of a right-turn scenario. Specifically, we evaluate both (i) its merit of improving relative positioning precision and (ii) its demerit due to the extra delay in exchanging measured information, and present its total effect in reducing the probability of collision accidents.

1. はじめに

近年、衛星測位システムGNSS(Global Navigation Satellite System)[1]を用いた安全運転支援システムの研究開発が活発に行われている[2]。安全運転支援システムでは車両間通信により、お互いの位置と速度の交換を行い、相対位置と相対速度より衝突までの猶予時間(Time To Collision, 以下TTC)を算出し、その結果により運転者へ情報提供及び注意喚起を行う。一方、GNSSの測位精度は、衛星での誤差(衛星時刻誤差, 軌道誤差), 大気による電波伝搬遅延(電離層遅延, 対流圏遅延), 受信機での誤差(受信機時刻誤差, 熱雑音)と衛星数及び衛星配置に依存する[1]ため、都市部において建物の遮蔽・反射の影響を受けやすく、測位したお互いの絶対位置を車両間で交換し、相対位置を算出すると精度が劣化しやすい。

筆者らは、比較的近い車両同士では、反射波の擬似距離誤差の空間相関性があることに着目し、2台の車両で共通に受信でき、かつ、擬似距離の相関性の高い衛星を用いて、相対位置を高精度に算出する手法(Cooperative Relative Positioning, 以下CoRelPos)を提案している[3]。車両間の相対位置を正確に把握することは、安全運転支援システム

において、衝突事故の正確な予測と注意喚起に繋がるが、CoRelPosは従来方式と比べ、擬似距離情報の交換による通信遅延時間が発生するデメリットがあり、交通事故防止に寄与するか明らかになっていない。

ITS Forumにおいて車両間通信を用いた交通事故防止への安全運転支援システムの利用イメージにおける優先度が高い交通事故防止として、

- 出会い頭衝突事故防止
- 追突事故防止
- 右折時衝突事故防止
- 左折時衝突事故防止

が挙げられている[4]。このうち、出会い頭衝突事故に関しては車両間の擬似距離相関性が低いため[5]、CoRelPosによる事故防止は難しい。左折時衝突事故、追突事故に関しては車両間の擬似距離相関性は高いが、レーダーやカメラ等の既存技術で対応が可能である。右折時衝突防止に関しては、車両間の擬似距離相関性は高いことが多く、また、見通しを防ぐ右折待ち車両がある場合、レーダーやカメラ等による対応は難しいため、CoRelPosが有効に利用出来る可能性が高い。

本稿では、実験等により得られたCoRelPosの位置測位精度と擬似距離交換に要する通信遅延時間が、右折時衝突事故の防止に与える効果について、運転者の運転行動を模

[†] 株式会社国際電気通信基礎技術研究所
Advanced Telecommunication Research Laboratories International

擬した交通シミュレータを用いて、評価した結果について述べる。

2. 高精度協調相対測位手法 (CoRelPos)

CoRelPos では、2 台の車両間で観測した擬似距離を車車間通信により交換し、お互いに受信でき擬似距離の相関性の高い衛星のみを抽出し測位に使用する。図 1 に示すように、都市部においては、GNSS 測位を行う場合、衛星と車両間に見通しがなく発生し、信号が遮蔽されたり、建物による反射・回折が生じる。反射・回折により衛星と車両間の伝搬距離が延長されると、擬似距離のマルチパス誤差となって測位精度に悪影響を及ぼす。車両 a は衛星 s2 から直接波、衛星 s3, s4, s5, s6 から反射波の信号を受信しており、車両 b は衛星 s2, s5 から直接波、衛星 s1, s3, s4 から反射波を受信している。これらの信号を全て用いて、それぞれ絶対位置の測位を行うと、マルチパス誤差の傾向が異なるため、車両間の相対位置には大きな誤差が生じる。しかしながら、この状況において衛星と車両の配置は 2 台の車両間でほぼ同じであるため、共通に受信している信号に含まれるマルチパス誤差の差が小さい場合、それぞれの絶対位置の測位結果は似た傾向で誤差が生じ、相対位置の誤差は小さくなる。図 1 においてはお互いに直接波を受信している衛星 s2 及び、マルチパス誤差の近い衛星 s3, s4 が相関性の高い衛星である。

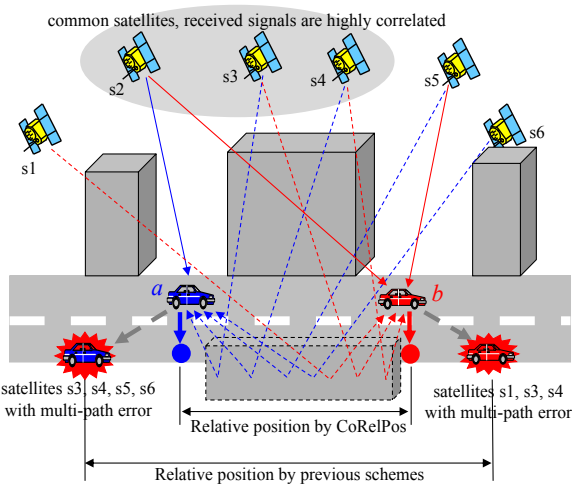


図 1 CoRelPos の概念
 Fig. 1 Concept of CoRelPos.

2.1 相対位置測位精度

既存の測位装置によって算出された相対位置の精度及び、提案手法の誤差分布を検証するために、二台の車両の屋根に GNSS の受信機 (NovAtel OEM6, GPS/GLONASS/QZSS) を載せて、東京八重洲を走行し、擬似距離情報を収集し、NovAtel 受信機の単独測位による相対位置測位、CoRelPos による相対位置測位を行い、二台の車両の相対位置測位誤

差を評価した。仰角マスクは 15 度とした。相対位置誤差を評価するための位置のリファレンスは、ジャイロと RTK GPS などを組み合わせた後処理を用いて取得した。図 2 に相対位置測位誤差の累積確率密度分布を示す。CoRelPos の場合 RMS (Root Mean Square) 誤差は 2.86m, NovAtel 受信機の単独測位の場合 RMS 誤差は 22.6m であり、CoRelPos の方が精度が高い。

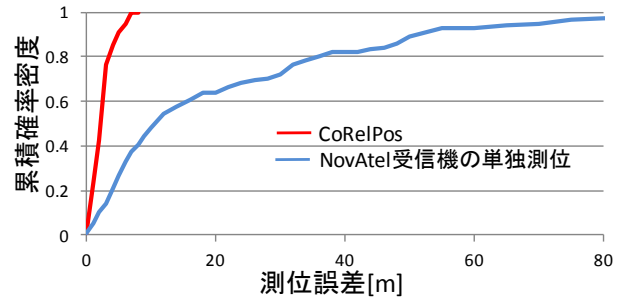


図 2 測位誤差の累積確率密度分布
 Fig. 2 CDF of positioning errors.

2.2 擬似距離の交換

CoRelPos では相関性判断のため、車車間通信を用いて、タイムスタンプ、車両の速度、衛星毎の衛星番号、受信信号の SNR、擬似距離の交換を行う。既存の車車間通信では、700MHz 帯、5.8GHz 帯を用いた規格が ITS 用途として標準化されている[6][7]。図 4 に 700MHz 帯、5.8GHz 帯の車車間通信のフォーマットを示す。車車間通信を利用するさいに、各種アプリケーションのペイロードと共存するため、フォーマットの予備領域 (20Byte) を使うことを想定しているが、擬似距離情報はデータサイズが大きく、複数の衛星の情報を予備領域を用いて迅速に交換するためには、データ量を削減する必要がある。

図 3 に測位誤差算出時の 2 台の GNSS 受信機の可視衛星数の発生確率を示す。可視衛星数は最大 12 機であり、CoRelPos の実施には、12 機分の衛星の擬似距離情報を交換する必要があったことがわかる。

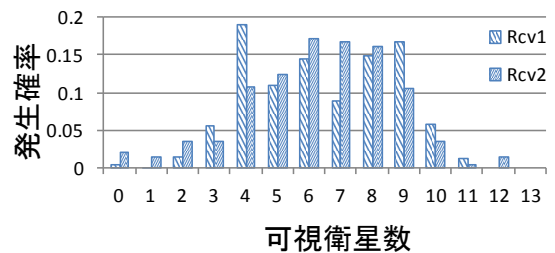


図 3 誤差分布算出時の可視衛星数
 Fig. 3 Number of visible satellites in experiments.

CoRelPos の誤差精度を実現する簡単な送信方式の例と

して、相関性判断に必要な最大 12 機の衛星の擬似距離情報を、3 パケットに分割して格納する方式を示す。図 5 に示すように、擬似距離情報を小数点以下 2 桁までの実数として、下位から 7 桁を車車間通信で送信する。下位から 8 桁目以上は車車間通信の範囲内の車両同士であれば、自車両の位置から推測できるため送信しない。また、下位から 7 桁は固定桁、変動上位桁、変動下位桁に分類し、複数のパケットに分割して格納するものとする。図 6 に示す様に、12 機の衛星情報を 3 つのパケットに分割して格納する。1 番目のパケットにはタイムスタンプ、車両速度、12 機の衛星の衛星番号と SNR 値、2 番目のパケットにはタイムスタンプ、12 機の衛星の擬似距離固定桁のうち上位 2bit と変動上行桁、3 番目のパケットにはタイムスタンプ、12 機の衛星の擬似距離固定桁のうち下位 2bit、変動下位桁を格納する。

PLCP リアン アル	PLCP ヘッダ	MAC ヘッダ	LL C	TY PE	車車間通信で送信する車両の情報 LSDU (100 bytes)	FCS	Tail bit Padding bit
					車車間通信アプリ情報 (80 Bytes)		予備 (20 Bytes)

図 4 700 MHz 帯 5.8GHz 帯の
 車車間通信のパケットフォーマット

Fig. 4 Packet format defined for 700MHz/5.8GHz
 inter-vehicle communication.

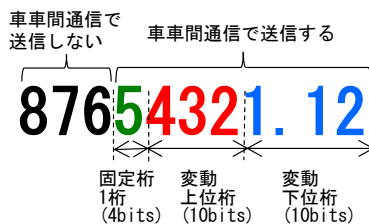


図 5 擬似距離の分割フォーマット
 Fig. 5 Division of pseudorange into groups.

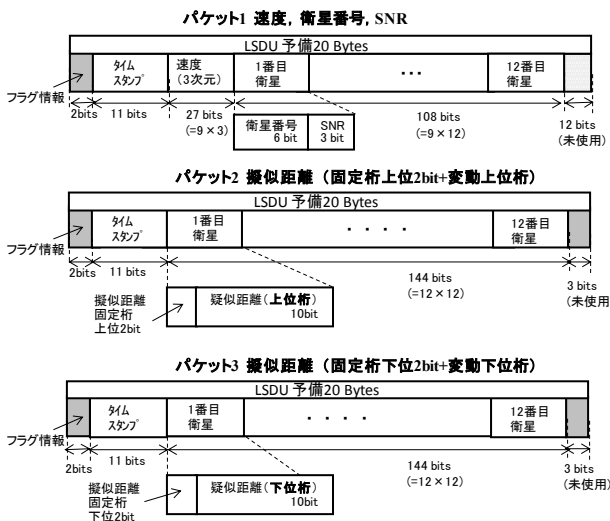


図 6 CoRelPos アプリケーションデータフォーマット
 Fig. 6 Application data format of CoRelPos.

簡単な送信方式を用いた場合、可視衛星数が 12 機以下であれば、擬似距離情報を受信してから相対位置測位を行うまで、車車間通信で 3 パケット通信するまでの時間の遅延が発生する。

3. 交通事故防止効果シミュレーション

3.1 シミュレーションモデル

CoRelPos により実現可能な測位精度に対し、実施に伴う測位情報交換遅延を加味した場合、交通事故防止に対し効果的か評価するために、CoRelPos を組み込んだ安全運転支援システム及び、それを搭載した車両を走行させ、交通事故が発生する状況を模擬する場合、実車両による走行実験、ドライビングシミュレータを用いた実験、数値計算による交通シミュレーション等の方法が挙げられる。実車両による走行実験では、実際の交通事故を再現することは安全上難しい。ドライビングシミュレータを用いた実験では、交通事故の再現は可能であるが、発生頻度の少ない交通事故を再現するために、運転者作業を行う被験者が、多くの試行回数を実施することは困難である。数値計算による交通シミュレーションでは、妥当な計算モデルを構築することが前提となるが、交通事故の再現が可能であり、計算資源に依存するものの、多くの試行回数を実施し統計的な性質を算定することが可能である。本稿では、数値計算による交通シミュレーションを実施し、事故発生確率を算定することにより、相対位置測位精度と遅延時間の影響を評価する。

交通事故の発生理由の多くは、ヒューマンエラーである。そのため、数値シミュレーションを実施する場合、単純な自動車の物理運動のみでなく、運転者の運転行動時の認知、判断などを模擬する必要がある。今回の評価には、安全運転支援システムの評価を目的として開発された、運転者の運転行動を認知・行動の組み合わせとして、モデル化したユニバーサルドライバモデル (以下 UDM) [8]を用い、安全運転支援システムに CoRelPos による相対位置測位と車車間通信を組み込む。図 7 に CoRelPos を組み込んだ、UDM の動作フローを示す。シミュレーションにおいて、車両は指定したルートに沿って、ドライバの意思決定、操作処理に従い走行する。ドライバの意思決定、操作処理は任意に指定した間隔に従い実施される。人間の反応速度を模擬するため、行動計画から、操作までに任意の遅延時間が生じるように指定できるものとした。行動計画におけるリスク評価では、視覚により認知した相手車両の位置と交差点との関係、自車両と交差点との位置関係、自車両と相手車両の優先関係か否か、および安全運転支援システムによる情報提供の内容をもとに、タスク毎のリスク点を評価し、最もリスクが低いタスクを実施する。

視覚により相手車両を認知する際、ドライバは認知誤差

を含んだ距離を把握する。認知誤差は[8]において実施された、ドライビングシミュレータを用いた実験結果に基づいた標準偏差を持った正規分布に従い与えられる。

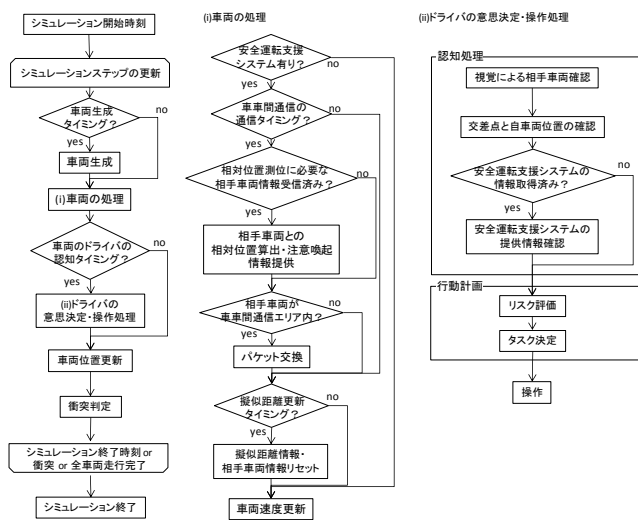


図 7 CoRelPos を組み込んだ UDM 動作フロー
 Fig. 7 Flowchart of UDM including CoRelPos.

安全運転支援システムは、車車間通信タイミングにおいて、擬似距離情報または自車両の絶対位置をパケット交換する。また、擬似距離受信タイミングにおいて擬似距離情報の更新をしており、擬似距離情報または自車両の絶対位置を更新し、その際に相手車両から受信済みの古い擬似距離情報を消去する。そのため、擬似距離受信タイミングから、車車間通信により相手車両との相対位置測位に必要な情報が受信できるまでは、安全運転支援システムによる情報提供、注意喚起は利用出来ず、相対位置測位時には、前回の擬似距離情報の受信タイミングの位置に測位誤差を加えた相対位置を取得する。相対位置を取得すると、TTC を計算し、ドライバーが情報を確認した際に、注意喚起閾値（減速）以下の場合、減速を促すタスクに加点し、注意喚起閾値（停止）以下の場合、停止を促すタスクに加点を行う。

車車間通信の有効範囲は任意に指定できるものとした。相手車両との相対位置測位に必要な情報をパケット数として、指定する。また、相対位置測位を行う際、測位誤差を含んだ相対位置を算出するが、その際の誤差は任意の確率密度分布として与える。

本シミュレーションにおいては、安全運転支援装置の動作タイミングは各車両において同期しているものとした。また、測位演算処理にかかる遅延時間は模擬しない。また、車両の相対位置と近隣の建物などに応じた誤差分布の変化は模擬しない。

3.2 シミュレーション評価

3.2.1 評価シナリオ

700MHz 帯を用いた運転支援通信システムの実験用ガイドライン[9]のアプリケーション要件（付属資料 C、右直事故評価シナリオ）に沿ったケースの模擬を行う。

図 8 に、片側 2 車線の交差点と車両の走行ルート及び、目隠し車両の配置図を示す。車両 1、2 共に交差点の 100m 手前より走行を開始し、車両 1 は進路に沿って右折走行し、車両 2 は進路に沿って直進走行する。見通しを妨げる役割として車両 3 は配置するため、車両 2 側路線の右折位置に停止させる。

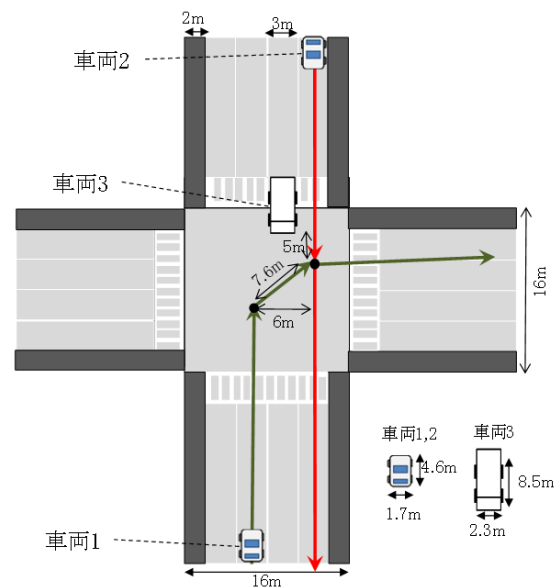


図 8 シミュレーション設定

Fig. 8 Image of Simulation setting

表 1 車両・ドライバー関連パラメータ

Table 1 Parameters of vehicles and drivers.

設定項目	車両1	車両2
発進タイミング[s]	0	基準±3
運転者の認知間隔[ms]	250	250
運転者の反応遅延[ms]	750	750
車種(寸法)	Honda Civic	Honda Civic
車両標準速度[km/h]	60	60
注意速度[km/h]	40	40
徐行速度[km/h]	20	20

表 1 に車両と運転者に関する設定を示す。車両 1、2 は乗用車とし、片側二車線道路を想定しているため、標準速度は 60km/h として、注意速度 40km/h、徐行速度 20km/h とした。運転者の認知間隔は 250ms とした。運転者の認知から行動に移るまでの反応遅延時間は空走時間として一般的な値[10]である 750ms とした。表 2 に安全運転支援システムに関する共通パラメータを示す。擬似距離受信間隔は 1s とした。車車間通信の通信範囲は[9]に従い 89.7m とした。車車間通信の通信間隔は 700MHz 帯高度道路交通システム標準規格[6]に従い 100ms とした。注意喚起の閾値は減速が

5s, 停止を2.5sとした。表3に車両1, 2間の見通し及び、安全運転支援システムの有無, 安全運転支援システムの測位精度と測位情報交換遅延の組み合わせと評価シナリオの対応を示す。

表2 安全運転支援システム共通パラメータ

Table 2 Parameters of support system for safe driving.

設定項目	設定値
擬似距離受信間隔 [s]	1
車車間通信範囲 [m]	89.7
車車間通信間隔 [ms]	100
車車間通信成功率 [%]	100
注意喚起閾値(減速) [s]	5
注意喚起閾値(停止) [s]	2.5

表3 安全運転支援システムの評価組み合わせ

Table 3 Parameters for evaluation scenarios.

	車両3	安全運転支援システム	測位誤差	測位情報交換遅延
評価1	なし	なし	—	—
評価2	あり	なし	—	—
評価3	あり	あり	誤差なし	1/パケット(100ms)
評価4	あり	あり	NovAtel単独測位	1/パケット(100ms)
評価5	あり	あり	CoRelPos	3/パケット(300ms)
評価6	あり	あり	CoRelPos	1/パケット(100ms)

評価1では、車両3を配置せず視覚による相手車両の認知のみにより走行する場合の評価を行い、評価2から6では車両3を配置し、交差点付近で視覚による認知が制限される状況とする。また、評価3から6においては安全運転支援システムを使用した場合において、測位精度及び測位情報交換遅延時間による差異による事故発生確率を評価する。評価3では、測位誤差なしとし、測位情報交換による遅延は1パケット分(100ms)とした、理想的な状況における安全運転支援システムを模擬する。評価4では、測位精度として、八重洲で行った走行実験におけるNovAtel受信機の単独測位で得られた誤差分布を用い、絶対位置を交換することで相対位置を算出すると想定し、測位情報交換による遅延は1パケット分(100ms)とした、従来方式の安全運転支援システムを模擬する。評価5では、測位精度として、走行実験におけるCoRelPosで得られた誤差分布を用い、簡単な送信方式を使用し、測位情報交換による遅延が3パケット分(300ms)含まれた場合の安全運転支援システムを模擬する。評価6は、測位誤差としてCoRelPosの測位精度を維持しつつ、送信方式の改良により測位情報交換による遅延を1パケット分(100ms)まで削減できた場合の安全運転支援システムを模擬する。

図9, 図10に安全運転支援システムの測位情報交換による遅延が1パケット及び3パケットの場合の、擬似距離受信, 車車間通信の送受信, 相対位置測位可能となるタイミング及びドライバ認知時における測位結果取得の関係を示す。

時間[s]	安全運転支援システム			ドライバ		
	擬似距離受信	送信	受信	相対位置測位	認知	測位結果参照
0	擬似距離 t=0			x	○	x
0.05				x		
0.1	絶対位置 t=0	絶対位置 t=0		○		
0.15				○		
0.2	絶対位置 t=0	絶対位置 t=0		○		
0.25				○	○	相対位置 t=0
0.3	絶対位置 t=0	絶対位置 t=0		○		
0.35				○		
0.4	絶対位置 t=0	絶対位置 t=0		○		
0.45				○		
0.5	絶対位置 t=0	絶対位置 t=0		○	○	相対位置 t=0
0.55				○		
0.6	絶対位置 t=0	絶対位置 t=0		○		
0.65				○		
0.7	絶対位置 t=0	絶対位置 t=0		○		
0.75				○	○	相対位置 t=0
0.8	絶対位置 t=0	絶対位置 t=0		○		
0.85				○		
0.9	絶対位置 t=0	絶対位置 t=0		○		
0.95				○		
1	擬似距離 t=1			x	○	x
1.05				x		
1.1	絶対位置 t=1	絶対位置 t=1		○		
1.15				○		
1.2	絶対位置 t=1	絶対位置 t=1		○		
1.25				○	○	相対位置 t=1
1.3	絶対位置 t=1	絶対位置 t=1		○		
1.35				○		
1.4	絶対位置 t=1	絶対位置 t=1		○		
1.45				○		

図9 測位情報交換遅延1パケットの場合の動作間隔

Fig. 9 Simulation sequence (1 packet delay).

時間[s]	安全運転支援システム			ドライバ		
	擬似距離受信	車車間送信	車車間受信	相対位置測位	認知	測位結果参照
0	擬似距離 t=0			x	○	x
0.05				x		
0.1	擬似距離 t=0	擬似距離 t=0		x		
0.15				x		
0.2	擬似距離 t=0	擬似距離 t=0		x		
0.25				x	○	x
0.3	擬似距離 t=0	擬似距離 t=0		○		
0.35				○		
0.4	擬似距離 t=0	擬似距離 t=0		○		
0.45				○		
0.5	擬似距離 t=0	擬似距離 t=0		○	○	相対位置 t=0
0.55				○		
0.6	擬似距離 t=0	擬似距離 t=0		○		
0.65				○		
0.7	擬似距離 t=0	擬似距離 t=0		○		
0.75				○	○	相対位置 t=0
0.8	擬似距離 t=0	擬似距離 t=0		○		
0.85				○		
0.9	擬似距離 t=0	擬似距離 t=0		○		
0.95				○		
1	擬似距離 t=1			x	○	x
1.05				x		
1.1	擬似距離 t=1	擬似距離 t=1		x		
1.15				x		
1.2	擬似距離 t=1	擬似距離 t=1		x		
1.25				x	○	x
1.3	擬似距離 t=1	擬似距離 t=1		○		
1.35				○		
1.4	擬似距離 t=1	擬似距離 t=1		○		
1.45				○		

図10 測位情報交換遅延3パケットの場合の動作間隔

Fig. 10 Simulation sequence (3 packets delay).

交差点で近接するタイミングを基準として、乱数を用いて車両2の発進タイミングに±3秒で調整し、乱数のシード値を変更し、4000回のシミュレーションを実施し、衝突した際に事故が発生したとして、事故発生確率を評価した。

3.2.2 評価結果

事故発生確率を図11に示す。評価1では車両1, 2間の見通しがあるため、視覚による相手車両の認知の誤差と反応遅延のみが事故原因であり、交通事故発生確率は0.95%となった。評価2では車両3が目隠しになり、車両1, 車両2間は交差点接近前より、交差点内で近接するまで見通しがなく、安全運転支援システムもないため、交差点内にて近接し、お互いを視認した際には、既に加減速が間に合わない場合が多く、事故発生確率は15.6%となった。評価3は、安全運転支援システムがあり、注意喚起に基づき、

ドライバが加減速し、事故を回避する。また、測位誤差が無い理想的な状況であり、遅延時間も1パケットと少ない。注意喚起の精度が高いため、事故発生確率は0.3%となった。測位精度が高く、遅延時間が少ない状況は、事故防止に貢献することが解る。評価4では、評価3と同様に安全運転支援システムによる注意喚起が行われるが、測位誤差が大きいつきにTTCに大きな誤差が生じ、注意喚起が行われない場合や、誤ったタイミングで注意喚起が発生することにより、事故を誘発する状況が起こるため、事故発生確率は9.9%となった。評価5では、CoRelPosによる擬似距離交換時の車車間通信の遅延を加味しており、安全運転支援システムによる注意喚起が実施出来ない時間が生じるが、事故発生確率は2.3%となり、従来手法による測位誤差を用いた評価4に比べ低く、遅延時間の増加による性能の悪化を加味しても、CoRelPosによる測位精度の向上が事故防止に貢献していることが解る。評価6では、事故発生確率は0.6%となり、CoRelPosにおいて、送信方式を改良し、遅延時間を減らすことができた場合、事故防止に繋がることを解る。

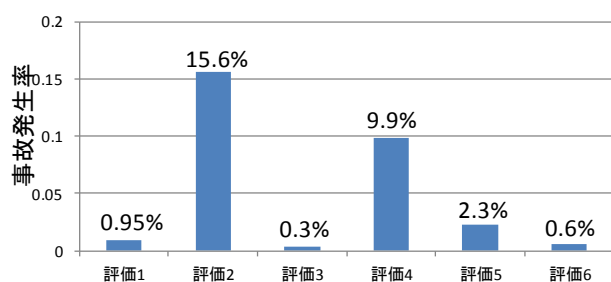


図 11 事故発生確率評価結果

Fig. 11 Probabilities of traffic accidents.

4. おわりに

本稿では、CoRelPosによる安全運転支援システムを用いた場合の交通事故防止効果を、右折時衝突事故を題材として、交通シミュレーションにより評価し、従来方式に比べCoRelPosを用いることで、擬似距離交換に要する遅延時間を加味した上で測位精度の向上が交通事故削減に貢献することが確認出来た。今後の課題として、測位演算実施による遅延時間の考慮、車両の相対位置と近隣の建物などを考慮した誤差分布の変化、車車間通信時のパケットロスなどを考慮した場合の評価や、送信方式の改良等が挙げられる。

謝辞

本研究経費の一部に総務省戦略的情報通信研究開発推進制度 (SCOPE)「移動体間端末協調衛星測位技術の研究開発」を利用した。また、交通シミュレータを構築するにあたり、芝浦工業大学の古川修教授に協力を頂いた。

参考文献

- [1] Paul D. Groves, "Principles of GNSS, Inertial, and Multi Sensor Integrated Navigation Systems," Artech House Publishers, 2007
- [2] ASV4. [Online]. Available: http://www.soumu.go.jp/main_sosiki/joho_tsusin/policyreports/chousa/its/pdf/081219_2_si2-4.pdf.
- [3] 湯素華, 古川玲, 川西直, 長谷川晃朗, 三浦龍, 武内良男, "車両間の協調による高精度相対測位の研究開発," 信学技報 vol. 113, no. 163, ITS2013-10, pp. 25-30, 2013
- [4] ARIB, "700MHz 帯高度道路交通システムの標準規格の概要について," 第 94 回電波利用談話会 <http://www.arib.or.jp/osirase/seminar/no94konwakai.pdf>
- [5] Nao Kawanishi, Rei Furukawa, Suhua Tang, Akio Hasegawa, Ryu Miura and Yoshio Takeuchi, "Simulation Evaluations of Cooperative Relative Positioning around Intersections," In Proc. ITST 2013, pp.372-377, 2013
- [6] ARIB, "700MHz 帯高度道路交通システム標準規格 ARIB STD-T109 1.1 版," http://www.arib.or.jp/english/html/overview/doc/1-STD-T109v1_1.pdf
- [7] ARIB, 狭帯通信(DSRC)システム標準規格 ARIB STD-T75 1.5 版 http://www.arib.or.jp/english/html/overview/doc/1-STD-T75v1_5.pdf
- [8] 川上翔大, 古川修, 伊勢野俊也, 玉田正樹, "交通シミュレータによる予防安全評価用ユニバーサルドライバモデルの開発," 自動車技術会論文集, vol.42, no. 1, pp. 61-66, 2011
- [9] ITS 情報通信システム推進会議, "700MHz 帯を用いた運転支援通信システムの実験用ガイドライン ITS FORUM RC-006 1.0 版," http://www.itsforum.gr.jp/Public/J7Database/p34/ITSFORUMRC006V1_0.pdf
- [10] 茄子川捷久, 汐川満則, 宮下義孝, "自動車の走行性能と試験法," 東京電機大学出版局, 2008