

平成29年度 卒業論文

縦列走行車同士の車車間通信による
スマートフォンを用いたシースルービュー

指導教員

舟橋 健司 准教授
伊藤 宏隆 助教

名古屋工業大学 工学部 情報工学科

平成26年度入学 26115140 番

名前 三木 翔平

目次

第1章	はじめに	1
第2章	車車間通信によるスマートフォンを用いたシースルービューシステム	4
2.1	システム概要	4
2.1.1	GPS	5
2.1.2	WiFi Direct	5
2.2	接続先端末の決定	6
2.2.1	車両の進行方向ベクトル	7
2.2.2	端末間ベクトル	8
2.2.3	接続判定	9
2.2.4	車両間の前後判定	9
2.3	切断判定	10
2.4	接続先決定用ラベルの作成	11
2.4.1	GPS 座標の桁の吟味	11
2.4.2	接続先決定用ラベル	12
2.5	アプリケーションの UI 表示	13
第3章	死角補完に関する屋外での検証実験	15
3.1	実験概要	15
3.2	結果と考察	19
第4章	本システムの利用による安心感についての評価実験	21
4.1	実験概要	21
4.2	結果と考察	22
第5章	むすび	25
	謝辞	26
	参考文献	27

第1章 はじめに

現代社会において、自動車は移動手段の一つとして、人々の生活に欠かせないものとなっている。だが一方で、平成28年における日本全国の交通事故発生件数は499,201件であり、死者数は3,904人となっている[1]。これらの数字は年度間の推移を見ると、減少傾向にあるものの、多くの生命が交通事故によって失われていることに変わりはない。さらに詳しく統計を見ていくと、法令違反別死亡事故発生件数では漫然運転が最も多く、次いで操作不適、脇見運転、安全不確認等が事故要因として挙げられている[2]。このような事実から運転者の認知不足を原因とした事故への対策が望まれており、周辺環境を運転者に対し通知するような運転支援システムの開発には需要がある。

各車メーカーおよび研究機関では様々なアプローチでこの問題の解決を図っている。運転者が周辺環境を把握する手段は主に2つあり、耳による聴覚的な把握と目による視覚的な把握が考えられる。運転支援システムにおいてもこれは同じであり、マイクロフォンによる音の取得やカメラによる画像の取得により交通状況や道路環境を把握し運転者に通知するという手法が数多く提案されている[3][4][5]。音による環境把握は、夜間など見えにくい状況下でも周辺車両の検出が容易であるという利点がある。しかし、音情報は音源の存在や接近を示す程度に止まるため、詳細な周辺状況を取得することを苦手としている。一方、画像による環境把握は音を利用した場合に比べて高精度な車両検出が行えるという利点があるが、装置が高価になることや演算コストが高くなってしまう問題がある。

ところで、画像情報を用いた運転支援システムの中にはシースルービューを表示する手法というものが提案・開発されている[4][5]。ここでいうシースルービューとは、“see-through”(透けて見える)という言葉が示す通り、運転者の視線で車体の一部もしくは車両そのものを透過させたように見せるもののことである。例えば、トヨタ

自動車株式会社のパノラミックビューモニター [4] には、シースルービュー機能という名前で車内から自車のボディやシートを透過表示する画面モードが用意されている。また、前後車両間での車車間通信によって前方車を透過し合成させた AR 映像をリアルタイムで後続車に提供する技術もある [5]。これらのシースルービューを利用したシステムは本来存在するはずの死角を補完することに成功しており、より直感的に周辺状況を把握可能にした点で有用であるといえる。しかし、実装は専用の装置を用いる場合がほとんどであるため、他の画像を用いる運転支援システム同様に導入コストが高いという問題が依然として存在している。また、車体に内蔵されたカメラを使うような手法においては特定の車種には導入できない場合がある。

そこで本研究では先行車がスマートフォンで取得した周辺環境の画像情報を追従車に提供することで、先行車が存在することで生じる死角を補完するシースルービューシステムをスマートフォンアプリケーション上で実現することを提案する。スマートフォンやタブレットは自動車に同じく社会に広く普及しているため、本システムの導入は容易であることが期待できる。さらに、本システムはスマートフォン端末のみで構成され、他のハードウェアデバイスを必要としないため車種によらずスマートフォン端末を所有する全ての運転者が導入可能である。システムは先行車両のスマートフォン端末からの画像情報の提供という車車間協調を前提としているため、アプリケーションの利用者が単独の場合は機能しない。そこで、本論文では将来的に本システムが普及している状況を想定して議論していきたい。日本でのスマートフォンの世帯保有率は 2015 年の段階で 72.0% である [6]。これは 2010 年の保有率 9.7% から一度も減少することなく著しく増加している。このことから今後もスマートフォンの普及率は増加することが予想される。そこで本研究では全運転者の 8 割が本システムを導入しているという状況を想定して議論したい。すなわち、周囲に本システムを導入した車両が複数存在するという状況下において、最も適切な端末同士を前後判定を行った上で接続する機能が必要である。また、先行車と追従車が通信を構築した後、どちらかの車両が進行方向を変更した場合、車両間の距離が著しく遠くなった場合、および車両間の前後関係が反転した場合においては、通信を切断させなくては不要な画像情報を提供することになり、情報を受け取った追従車の運転者が混乱しかねない。それらの問題に対し本研究では GPS 位置情報を利用し適宜接続、切断の

判定を行うこととした。なお、今回は Android 環境で開発することとしたため、車車間協調の通信手段としては Wi-Fi Direct [7] によるソケット通信を利用した。

また、本システムを用いることで適切な端末同士が接続され、追従車の運転者が先行車によって生じる死角を補完した情報を得られるかどうかを確認する検証実験を行った。結果として、死角の補完の実現を確認した。さらに、システムを利用することで安心した運転をすることが期待できるかどうかを検証する評価実験を行った。結果として、一定以上の効果が期待できるという評価を得た。

本論文では第2章ではスマートフォンを用いたシースルービューシステムについて述べる。第3章では作成したアプリケーションの動作の検証実験とその結果について述べる。第4章では本システムを用いて行った評価実験およびその結果について述べる。第5章では本研究のまとめと今後の課題について述べる。

第2章 車車間通信によるスマートフォンを用いたシースルービューシステム

2.1 システム概要

本研究では、縦列走行している車両間において、先行車によって生じる死角を補完することで追従車の運転者に対して周辺状況の把握を補佐する運転支援を行うことを目的とする。そこで先行車のスマートフォン端末が取得したカメラ映像を追従車のスマートフォン端末に提供することを考案した。これを実現するためには先行車のスマートフォン端末と追従車のスマートフォン端末が通信する機能、車両間の距離および前後関係を判断する機能、画像の提供が不要になった段階で通信を切断する機能が必要である。また、刻々と変化する交通環境においては、接続先端末の探索は迅速に行うことが望ましい。以上の点を考慮し Android アプリを開発した。

システムはまず、GPS 位置情報をもとに自車の進行方向を導出する。次に、この進行方向と GPS 位置情報から Wi-Fi Direct でブロードキャストすることができる接続判定用のラベルを作成する。これは通信を構築せずに周辺端末へ自分の情報を通知するためである。その後、各々の端末はお互いがブロードキャストしたラベル情報から相手端末との端末間ベクトルを導出する。このベクトルを用いて、距離が最も近く同一方向へと進行している車両を接続先に決定する。この際、車両の前後関係も求めておき、前方車の端末は背面カメラから取得した画像情報を提供するサーバとして、追従車の端末は画像を受け取るクライアントとして動作するよう設計した。また、接続の形成時に通信相手との相互関係を保存しておき、通信中に通信の継続が不適であると判断した場合コネクションダウンする。

次に、本システムの構築にあたり用いた既存の技術として GPS と Wi-Fi Direct について紹介する。

2.1.1 GPS

GPSはGlobal Positioning Systemの略であり、人工衛星を用いた測位システムである。1973年の米国国防省での開発を始まりとし、1994年から運用され現在カーナビゲーションシステムや携帯電話に広く導入されている。GPSは異なる6つの軌道の上に4機ずつの人工衛星を投入し、計24機で全地球の測位をカバーしている。軌道高度は20,180km、周期は11時間58分である。各衛星は10.23MHzの基準発振器を持っており、L1信号からL5信号までの周波数の異なる右旋円偏波を送信している。

Android SDKでGPS情報を利用する場合、端末に搭載されているGPS受信回路を用いる端末GPSと、基地局のGPS情報およびWi-Fiを利用したネットワークGPSの2つを用いる。端末GPSを用いた場合、ネットワークGPSを利用したときと比べ精度の高い位置情報が取得できるが、屋内においては衛星の捕捉精度が落ちるため、位置情報の精度が低下する。一方ネットワークGPSは屋外においては端末GPSに精度は劣るものの、屋内においては基地局やWi-Fiアクセスポイントとの通信により位置情報の取得精度が端末GPSより高くなる。取得できる情報は緯度、経度といった二次元座標だけでなく高度も含めた三次元座標、原子時計の時刻がある。

2.1.2 WiFi Direct

Wi-Fi Directは、業界団体のWi-Fi Allianceが定めた無線LAN規格のことであり、Wi-Fi機能を有する機器同士を、無線LANルーターを介さずに直接接続することを可能にしている。Wi-Fi Directに対応している機器はそれ自身がアクセスポイントの役割を果たす。そのため、他のWi-Fi Directをサポートしない通常の無線LANクライアントからはインフラストラクチャーモードのアクセスポイントにみなされる。すなわちひとつでもWi-Fi Directをサポートしている機器があれば、通常の無線LANクライアントともP2P通信を構築することが出来る。また1対1通信だけでなく、1対多通信にも対応している。通信の構築時には事前に機器名や接続状況といった情報をブロードキャストすることが出来る。それぞれの機器はブロードキャストされた情報をもとに接続先端末を選択し通信を開始する。通信における暗号化プロトコルはWPA2を使用している。暗号化の設定には同団体が策定した規格のWi-Fi

Protected Setup を利用する. この設定方法は PBC 接続や PIN コード接続によって通信先デバイスの信頼性チェックと認証を行う. Wi-Fi Direct は通常の Wi-Fi と同様に IEEE802.11a/b/g/n/ac の規格に対応しており, 通信速度は最大 250Mbps に達する. また, 通信距離は最大 110m 程度である. なお Wi-Fi Direct は Windows OS は Windows 7 以降, Android OS は Android 4.0 以降が対応している. 一方 iOS については現状対応しておらず, 類似の機能を提供するものとして Multipeer Connectivity Framework[8] が存在している.

2.2 接続先端末の決定

本システムにおいては縦列走行している車両間で通信を行いたい. また, 接続を構築した先行車と追従車の距離が離れすぎている場合は受信した周辺環境の映像が自身の周辺環境とかけ離れてしまい, かえって追従車の運転者の混乱を招き安全な運転を阻害することになる. 従って, スマートフォンのカメラ映像を要求している車両が存在したとき, この車両の前方を同方向に走行している, 最も距離が近い車両のスマートフォンのカメラ映像が提供されるべきである. 本研究では GPS 位置情報を利用し, 車両の進行方向と車両間の位置関係を求め, 周囲に存在する複数のスマートフォン端末から接続先端末を選択することにした. なお, 計算において地球の半径を必要とするが, 本論文では計算の簡単化のため近似を用いた. すなわち, 経度を考える場合は赤道半径 R [m] を半径とした真円を用い, 緯度について論じる場合は極半径 R' [m] を半径とした真円を用い議論することとした. 地球の赤道半径 R と極半径 R' は以下の値である.

$$R = 6378137 \quad (2.1)$$

$$R' = 6356752.314 \quad (2.2)$$

本節では初めに接続先決定, 車両の前後判定, および切断判定を行うために必要な情報の導出方法について述べ, その後各判定方法について述べる.

2.2.1 車両の進行方向ベクトル

まず、車両の進行方向ベクトルを求めることを考える。現在のひとつ前に取得した時刻 $t-1$ の経度緯度座標 $a_{t-1}(\theta_{t-1}, \phi_{t-1})$ [degree] から現在の時刻 t の経度緯度座標 $a_t(\theta_t, \phi_t)$ [degree] への進行方向ベクトル $\mathbf{d}_t = (\Delta x, \Delta y)$ [m] を、東を x 軸正の方向、北を y 軸正の方向とした二次元座標系において求める。 Δx は $t-1$ から t における経度方向の距離の変位、 Δy は緯度方向の距離の変位である。座標 a_{t-1}, a_t における赤道に平行な地球の断面の半径 r_{t-1}, r_t [m] は以下の式で表せる。 R は前出の赤道半径である。

$$r_{t-1} = R \cos \phi_{t-1} \quad (2.3)$$

$$r_t = R \cos \phi_t \quad (2.4)$$

ここで、車の移動における ϕ の変位は地球の大きさからすると非常に小さいものであるとして、 $r_{t-1} = r_t$ とする近似を用いると、 $\Delta x, \Delta y$ は以下の式で表される。 R' は極半径である。

$$\Delta x = r_t \frac{\pi}{180} (\theta_t - \theta_{t-1}) \quad (2.5)$$

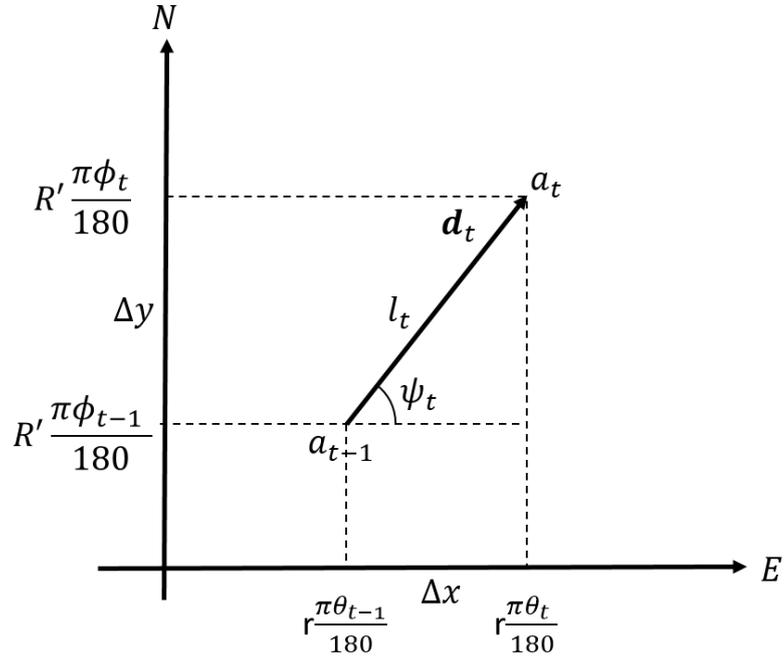
$$\Delta y = R' \frac{\pi}{180} (\phi_t - \phi_{t-1}) \quad (2.6)$$

$\Delta x, \Delta y$ を用いると進行方向ベクトル \mathbf{d}_t の大きさ l_t [m]、偏角 ψ_t [degree] は次の式および図 2.1 のようになる。

$$l_t = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2} \quad (2.7)$$

$$\psi_t = \arctan \frac{\Delta y}{\Delta x} \quad (2.8)$$

以上の議論から求めた進行方向ベクトル \mathbf{d}_t は、接続先端末の決定および通信の切断判定を行う際に用いる。

図 2.1: 進行方向ベクトル d_t

2.2.2 端末間ベクトル

次に車両の位置関係を求めるため、自端末から相手端末への端末間ベクトル $d' = (\Delta x', \Delta y')$ [m] を求める。 $\Delta x', \Delta y'$ は経度方向の距離の変位および緯度方向の距離の変位である。自端末の経度緯度座標を $a'(\theta_{a'}, \phi_{a'})$ [degree], 相手端末の経度緯度座標を $b'(\theta_{b'}, \phi_{b'})$ [degree], 座標 a', b' における赤道に平行な地球の断面の半径を $r_{a'}, r_{b'}$ としたとき、東を x 軸正の方向、北を y 軸正の方向とした二次元座標系において $\Delta x', \Delta y'$ および端末間ベクトルの大きさ l' [m], 偏角 α [degree] は以下の式で表せる。

$$\Delta x' = r_{a'} \frac{\pi}{180} (\theta_{b'} - \theta_{a'}) \quad (2.9)$$

$$\Delta y' = R' \frac{\pi}{180} (\phi_{b'} - \phi_{a'}) \quad (2.10)$$

$$l' = \sqrt{\Delta x'^2 + \Delta y'^2} \quad (2.11)$$

$$\alpha = \arctan \frac{\Delta y'}{\Delta x'} \quad (2.12)$$

なお、進行方向ベクトルと同様の議論より $r_{a'} = r_{b'}$ とする。以上の議論から求めた端末間ベクトル \mathbf{d}' は接続先端末の決定および車両の前後判定を行う際に用いる。

2.2.3 接続判定

本システムでは先行車によって生じた死角の情報を追従車の運転者が把握することを目指している。これを実現するために、通信すべき車両は同方向に進行している距離の最も近い車両である。この判定を行うためには、自車の進行方向ベクトルの偏角 ψ_t 、および相手車両の進行方向ベクトルの偏角 ψ' [degree] が同じ方向であるとする範囲を定める必要がある。本研究では道路は一般的に単路、十字路、T字路であると考え、16方位で分割すれば十分であるとした。すなわち、東を x 軸正の方向、北を y 軸正の方向とした二次元座標系において、東を 0° としたとき、偏角 θ_d [degree] が $-11.25^\circ \leq \theta_d < 11.25^\circ$ のとき東方向、 $11.25^\circ \leq \theta_d < 33.75^\circ$ のとき東北東方向として、以降順番に 22.5° 間隔で反時計回りに東南東まで方位を割り振った。なお等号は隣り合う方位において重複が起きないように定めた。この方位に対し、 ψ_t と ψ' が同じ方位の範囲に含まれている場合、同方向へ進行していると判断し、接続先候補とみなすことにした。接続先候補が1つのみの場合、その端末を接続先として決定する。接続先候補が複数存在した場合、端末間ベクトルの大きさ l' を比較し、値が最も小さい相手を接続先として決定する。以上の手法をもとにアプリケーションに接続判定を実装した。適切な実装がされているか屋外での動作確認を行った。3台のAndroid端末を用い、各々の端末を持った人が一列に並んでいる状態で接続先の探索を行ったところ、同じ向きを取得していた距離の最も近い端末同士が接続されることを確認した。

2.2.4 車両間の前後判定

本システムでは通信を行っている先行車のスマートフォン端末をカメラ画像を提供するサーバとして、追従車のスマートフォン端末をカメラ画像を受け取るクライアントとして動くように設計する。これを実現するには車両間の前後関係を把握する必要がある。そこで、車両の前後判定は車両の進行方向ベクトルの偏角 ψ_t と端末

間ベクトルの偏角 α の関係を用いて判定した。前後判定は、接続判定を行い接続先候補と判定された場合のみ行うため、前提として両車両の進行方向ベクトルの偏角は同じである。この条件下において自車が先行車となる時、進行方向ベクトルの偏角 ψ_t と端末間ベクトルの偏角 α の間には以下の関係が成り立つ。

$$\alpha < \psi_t - 90, \psi_t + 90 \leq \alpha \quad (2.13)$$

一方、自車が追従車となる場合、進行方向ベクトルの偏角 ψ_t と端末間ベクトルの偏角 α の間には以下の関係が成り立つ。

$$\psi_t - 90 \leq \alpha < \psi_t + 90 \quad (2.14)$$

これらの式を用いて車両間の前後判定とし、アプリケーションに実装した。この機能は3章の検証実験で正常に動作することを確認している。

2.3 切断判定

本システムでは同方向に進む最も距離が近い端末同士の接続を想定している。つまり接続が構築された後にこれらの条件を満たさない状態になった場合、すなわち、どちらかの端末が転進したときおよび端末間の距離が離れた場合においては通信を切断し再度接続先の探索を行うべきである。端末が離れた場合の検知は、Wi-Fi Directの通信可能距離がおおよそ100mであることから、距離が離れた場合いずれ物理的にコネクションダウンするため、アプリケーション側からの処理を加える必要がない。一方、どちらかの車両が転進した場合については、接続時の方位を保存しておき、自車の進行方向ベクトルの偏角 ψ_t がこの方位の範囲外に更新された場合コネクションダウンを行うこととした。ところで、走行時においては通信をしている2車両の前後関係が入れ替わることも想定される。この問題については、先行車が画像を提供する際、同時に自身の最新の座標情報を送ることで前後判定を再度行い、接続時の前後関係と逆転していた場合にコネクションダウンを呼び出すことで解決した。以上の手法をもとにアプリケーションに切断処理を実装した。適切な実装がされているか屋外での動作確認を行った。接続されている2台のAndroid端末のうち一台を三脚に固定し、残りの1台の端末を持った状態でその周囲を歩くことで転進および

前後関係の反転を再現した。結果転進と前後関係が反転する2つの場合において正常に切断されることを確認した。

2.4 接続先決定用ラベルの作成

本システムは車両を運転している際に用いるという前提から、接続先端末の決定は迅速に行われるべきである。そのため、周囲に本システムを導入しているスマートフォン端末が複数存在した場合、それらひとつひとつと接続した上で、相手端末の進行方向や緯度経度座標といった情報を取得、接続先としてふさわしいかどうか判定を行い不適であれば切断、次の端末へと接続を試みる、といった手法は時間がかかりすぎるため現実的でない。そこで本システムでは、Wi-Fi Directによってブロードキャストできる情報である機器名に、接続判定に必要な自車の現在のGPS位置情報および進行方向の情報を含めた接続判定用のラベルを自動的に設定することにした。このラベルを接続を構築する前に周囲の端末に通知、受信することで、あらかじめ接続先決定の判定を行うこととした。

2.4.1 GPS座標の桁の吟味

接続先決定用のラベルを作成するにあたり、GPS座標の全ての桁の値を用いる必要はない。なぜなら車両の走行は時速50 km/hの場合1秒で約14 m進むことになるが、これは経度緯度の座標変位としては小数点以下の非常に小さい値となるからである。そこで本システムは数百メートルから数メートルの変位が得られれば良いと考え、これを計算するために必要なGPS座標の桁の吟味を行う。任意の経度緯度座標 $a(\theta, \phi)$ [degree] において経度方向緯度方向それぞれに n [m] 移動した場合の経度緯度情報の変位 $(\Delta\theta_n, \Delta\phi_n)$ [degree] を求める。緯度方向 n あたりの緯度変位 $\Delta\phi_n$ [degree] は極半径 R' を用いると以下の通りである。

$$\begin{aligned}\Delta\phi_n &= 360 \frac{n}{2\pi R'} \\ &= 0.000009013372975n\end{aligned}\tag{2.15}$$

経度方向 n あたりの経度変位 $\Delta\theta_n$ は座標 a における赤道に平行な地球の断面の半径 $r = R \cos \phi$ [m] を用いて次のようになる.

$$\Delta\theta_n = 360 \frac{n}{2\pi r} \quad (2.16)$$

ϕ の値は世界最北の独立国首都であるアイスランドのレイキャヴィクが北緯 64 度, 世界最南の独立国首都がニュージーランドのウェリントンで南緯 41 度であることから, 0° から最大 $\pm 60^\circ$ までの値を取ればよいと考えた [9]. よって経度方向 n あたりの経度変位 $\Delta\theta_n$ は次の範囲を取る.

$$0.00000898315^\circ \leq \Delta\theta_n \leq 0.0000179663^\circ \quad (2.17)$$

ここで $n = 100$ [m] と $n = 1$ [m] の場合を考えると, 緯度変位 $\Delta\phi_{100}$, $\Delta\phi_1$ および経度変位 $\Delta\theta_{100}$, $\Delta\theta_1$ はそれぞれ次のようになる.

$$\Delta\phi_{100} = 0.0009013372975^\circ \quad (2.18)$$

$$\Delta\phi_1 = 0.000009013372975^\circ \quad (2.19)$$

$$0.000898315^\circ \leq \Delta\theta_{100} \leq 0.00179663^\circ \quad (2.20)$$

$$0.00000898315^\circ \leq \Delta\theta_1 \leq 0.0000179663^\circ \quad (2.21)$$

このことより, 緯度は 1 m から 100 m の移動においては小数第 6 位から第 4 位を最上位桁にして変動することがわかる. また, 経度は小数第 6 位から第 3 位を最上位桁にして変動することがわかる. 本議論では桁の変動を追いたいたため, 各場合の最上位桁を四捨五入することで多少のマージンを取ることにした. 以上の議論から, ラベルの作成において用いる GPS の緯度および経度の桁は小数第 2 位から小数第 6 位とした.

2.4.2 接続先決定用ラベル

これまでの議論より, 接続判定, 前後判定, 切断判定の 3 つを行うためには自端末が取得できる情報以外に, 相手端末の進行方向ベクトルの偏角が含まれる方位の範囲および相手端末の現在の緯度経度座標が必要であることがわかる. そこで接続先決定用

ラベルにはこれらの情報を含める。まず、端末の進行方向ベクトルの偏角が含まれる方位の範囲は、16方位であることから0からFの値を用いて16進数で表すことにした。すなわち東を0、東北東を1に対応させ反時計回りに北東が2、北北東が3、北が4、として東南東がFまで割り振った。また端末の現在の緯度経度座標は先述した桁の議論から緯度経度共に小数点第2位から第6位までをラベル情報に設定した。この数字をただ羅列してもよいのだが、明確に本システムの利用者であることを示すため、記号による装飾を施した。以上のことから接続先決定用ラベルは“:(進行方角)-(緯度の小数点第2位から第6位まで)-(経度の小数点第2位から第6位まで)”という形式に定めた。例えば、時刻 $t-1$ の緯度経度座標が $(\phi_{t-1}, \theta_{t-1}) = (35.0000000, 140.0000000)$ 、現在の時刻 t の緯度経度座標が $(\phi_t, \theta_t) = (35.1234567, 140.1234567)$ だった場合、接続先決定用ラベルは“:2-23456-23456:”となる。

2.5 アプリケーションのUI表示

アプリケーションの画面として、自身の端末情報および取得した周囲の端末情報を表示するようにした。アプリケーションの画面例を図2.2、図2.3に示す。自身の端末情報としては、端末名、通信状態、前後関係、および実際に取得した経度緯度情報を表示する。また、周囲の端末情報としては、端末名、取得端末リストの通し番号、通信状態、自端末との端末間の距離を表示する。それに加え、周辺端末の探索を開始するDiscoverボタンを表示させた。接続が構築されると、先行車(サーバ側)の端末には自身のカメラが取得したプレビューが表示される。追従車(クライアント側)の端末には先行車の端末から受信したカメラ映像が表示されるようにした。サーバ、クライアントともにIPアドレス等の接続先端末情報と任意のタイミングで通信の切断が行えるようDisconnectボタンを用意し表示させた。以上を画面構成とし、アプリケーションのUIを作成した。

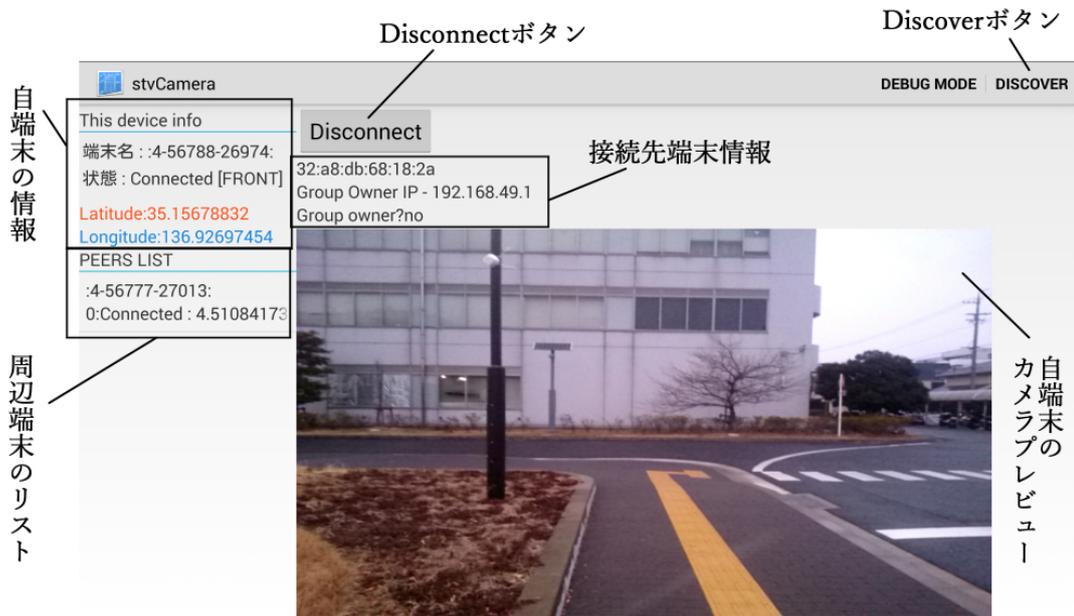


図 2.2: 先行車側のアプリケーション画面例

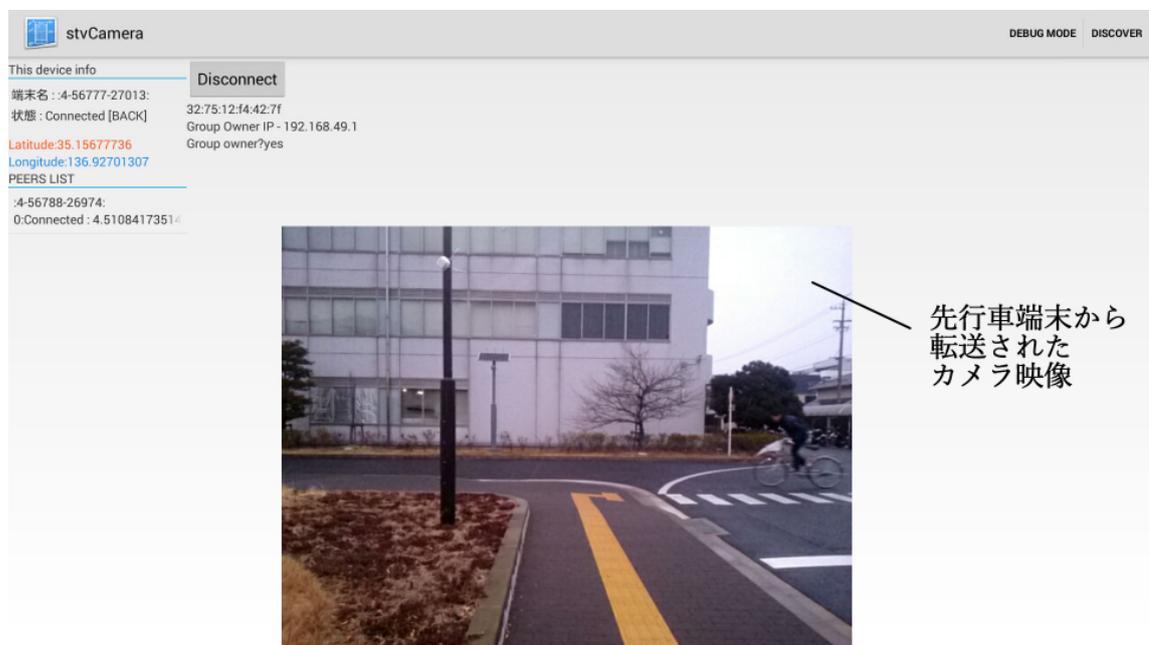


図 2.3: 追従車側のアプリケーション画面例

第3章 死角補完に関する屋外での検証実験

3.1 実験概要

取得した GPS 情報の値に基づき適切な接続が行われ, 先行車端末から死角を補完する画像情報が追従車端末に提供されることを示す検証実験を行った.

実験は信号待ち時において同じ車線に 2 台の本システムを導入した車両が停止している状況を想定する. 場所は大学敷地内の車道で行う. 追従車としてダイハツのムーブを用いた. また, 先行車の背面ボディ相当として段ボール壁を用意しその代わりとした. 先行車の端末としてソニー株式会社の Xperia (TM) Z Ultra[10] を用いた. また, 追従車の端末としてソニー株式会社の Xperia (TM) Z2 tablet[11] を用いた. 両端末とも OS バージョンは 4.4.2 である. 実験参加者は先行車の運転者役, 追従車の運転者役, および段ボール壁補佐の 3 名である. 想定状況のイメージ図を図 3.1 に示す. 実験環境の様子を図 3.2, 図 3.3, 実験における先行車の運転車の視界を図 3.4, 追従車の運転者の視界を図 3.5 に示す. 実験の手順は, 準備段階と実行段階の 2 段階に分けて行う. まず, 準備段階として進行方向の取得を行う. 先行車の運転者役および追従車の運転者役には待機位置の手前から移動することで GPS 情報を数回取得してもらい, システムに進行方向を導出させる. 両者が待機位置までたどり着いたら信号待ちをしている状況が再現できたとして, 実験を開始する. このとき理想的な静止状態をつくるため, 両者には待機位置に着いた段階で本体設定から GPS 機能を一度 off にしてもらうこととした. 実行段階では, 先行車の運転者役と追従車の運転者役の間に先行車の背面ボディを想定した壁を立て, 追従車の運転者役の視界に死角をつくる. この状態で接続先の探索を行ってもらい, 通信が構築され実際にデバイスから得た画像情報で追従車の運転者の死角補完が行われるかどうかを確認する.



図 3.1: 想定状況のイメージ図



図 3.2: 前方から見た実験風景



図 3.3: 後方から見た実験風景



図 3.4: 先行車の運転者の視界



図 3.5: 追従車の運転者の視界

3.2 結果と考察

先行車のスマートフォン端末のスクリーンショットを図3.6に、追従車のスマートフォン端末のスクリーンショットを図3.7に示す。この画像から先行車のスマートフォン端末で撮影されたカメラ映像が追従車のスマートフォン端末の画面に表示されていることが確認できる。また、先行車の運転者の視界(図3.4)、追従車の運転者の視界(図3.5)とこれらのスクリーンショットを比較すると、段ボール壁で見ることのできない建物の入り口や曲がり角の様子が確認できた。このことから追従車の運転者に対し、周辺状況を把握するために役立つ画像情報の提供が行われていると判断できる。また、追従車のスマートフォン端末を先行車のスマートフォン端末だと誤判定することなく、縦列停止している車両を接続することが出来たので、判定の実装は適切に行われていると言える。なお今回の実験は信号待ちでの停車状態を想定して行ったため、実車で走行時に正常に動作するかまでは検証できていない。今後の課題として、移動中の不安定な通信環境においても正常に動作する実装が確かめることが挙げられる。

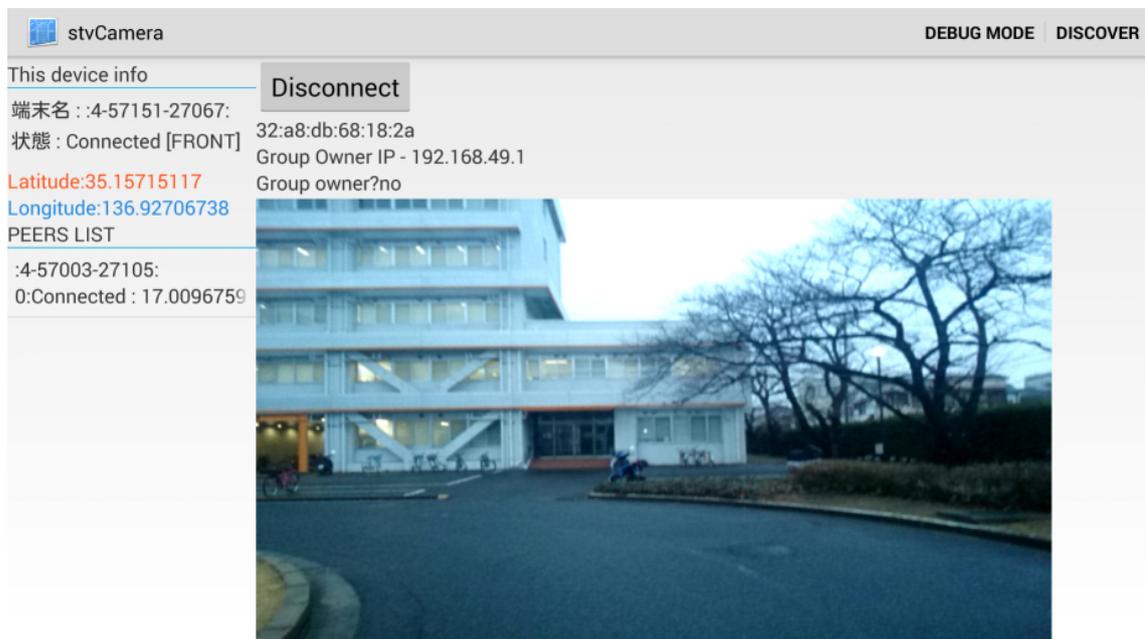


図 3.6: 先行車の端末のスクリーンショット

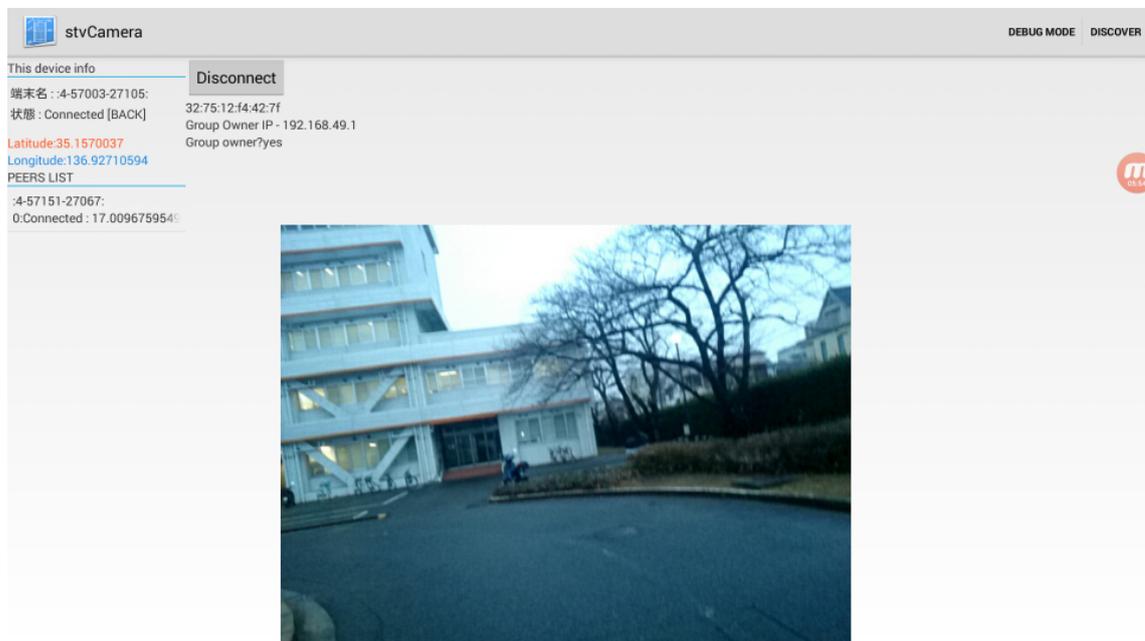


図 3.7: 追従車の端末のスクリーンショット

第4章 本システムの利用による安心感についての評価実験

4.1 実験概要

本研究の目的は運転者が安心して運転することができる視覚的な運転支援を行うことである。そこで車両の運転席を疑似的に再現し、本システムを利用した場合の安心感について主観評価による評価実験を行った。

実験は車両を運転している際、同じ車線を走っている先行車が存在しているため、先行車のさらに先に存在する信号機が視認できないという状況を想定する。実験環境として、追従車の運転席を机やステアリングコントローラーによって簡易的に再現した。追従車の端末としてソニー株式会社の Xperia Z2 Tablet を用い、コントローラーの横に設置する。また、先行車の背面ボディはホワイトボードおよび段ボールによる壁を作成し、その代わりとする。先行車の端末としてソニー株式会社の Xperia Z Ultra をカメラスタンドに固定し、運転席から見て壁の裏側に設置する。信号機は懐中電灯を用い、簡易的に再現した。この実験は室内で行うため GPS 情報の取得が困難である。そこで実験用にダミーラベルを作成し、これを機器名に設定することでその代わりとした。以上の設備をもって実験環境とする。図 4.1, 図 4.2, および図 4.3 に実験の様子を示す。実験の流れは、まず、あらかじめダミーラベルを設定した端末を所定位置に固定した後、接続しておく。通信の構築が確認できたら、実験参加者は追従車相当の疑似的な運転席に座る。その後先行車の端末前で信号機を青から赤に順に点灯させていく。実験参加者はこの様子をアプリケーションの画面を通して確認することで実際に運転した状況を想定する。実験参加者は本システムを体感した後、

- 質問 1：実際の運転を想定したとき、本システムを利用した場合、安心して運転することが出来ると感じたか

● 質問2：また、本システムを用いることで安全な運転が期待できると思うかの2点について評価を行う。評価は5段階評価(5:とてもそう思う, 4:そう思う, 3:どちらともいえない, 2:そう思わない, 1:まったくそう思わない)で行う。またその点数をつけた理由や感想についても伺うこととした。実験参加者は運転免許証を所有する大学生および大学院生の12人である。

4.2 結果と考察

評価結果を表4.1に示す。

表 4.1: 評価結果

実験参加者	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	平均
質問1	5	4	3	5	5	3	5	4	4	5	5	3	4.25
質問2	5	5	4	4	5	4	4	4	4	4	4	5	4.33

2つの質問とも平均は4点を越えたため、一定の効果が期待できる結果となった。点数をつけた理由については、

- 参加者1：確かに自身の前方にトラック等がいた場合、このシステムは欲しい。
- 参加者e：アプリを入れるだけでいいのは手軽でありがたい。

などの好意的なものがあった。また、一方で

- 参加者f：通信のラグで逆に危険になる場合もありそうだ。
- 参加者i：便利だが画面ばかりみてしまうかもしれない。
- 参加者k：UIが分かりにくいので改善すべきだ。

などの指摘も受けた。質問2については4点を下回る回答がなかったが、質問1にはどちらとも言えないに2人が回答している。これは感想にもある通り通信のラグによる画像表示の遅延が起きてしまったケースによるものだと考えられる。そこで実験環境を再現し、通信を構築した状態で追従車のスマートフォン端末からログを取り、画面更新の平均処理速度を求めた。ログの取得は連続取得した100回分の平均

を算出している。結果として、平均として約 2.4 fps で受信画像の更新が行われていることが分かった。処理速度は、プログラムの実装形態だけでなく、使用した端末の性能による部分が大いと考えられる。そこで、今後の課題として、様々な機種、OSバージョンでの検証を行い、必要に応じて実装の改善をしていきたい。また、検証実験に同じく評価実験も、より厳密な評価を得るために実車走行での評価実験を行うことが考えられる。



図 4.1: 実験の様子

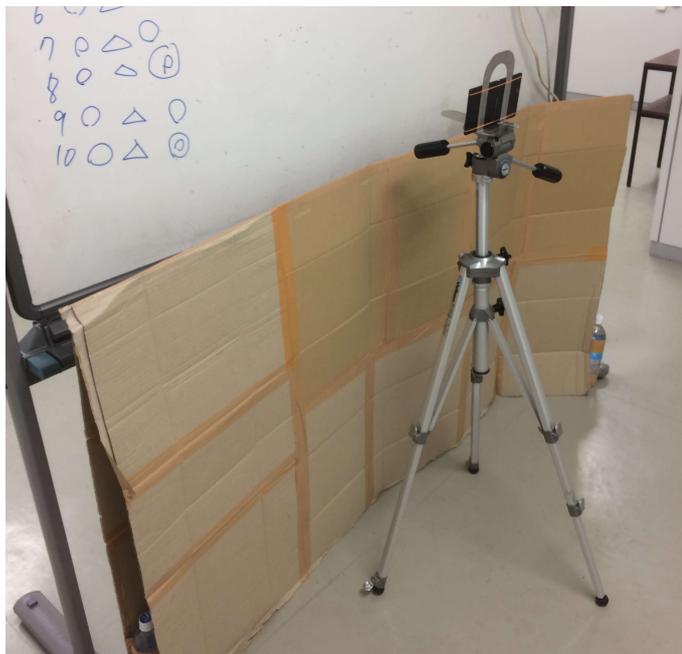


図 4.2: 先行車相当のホワイトボードの裏側の端末

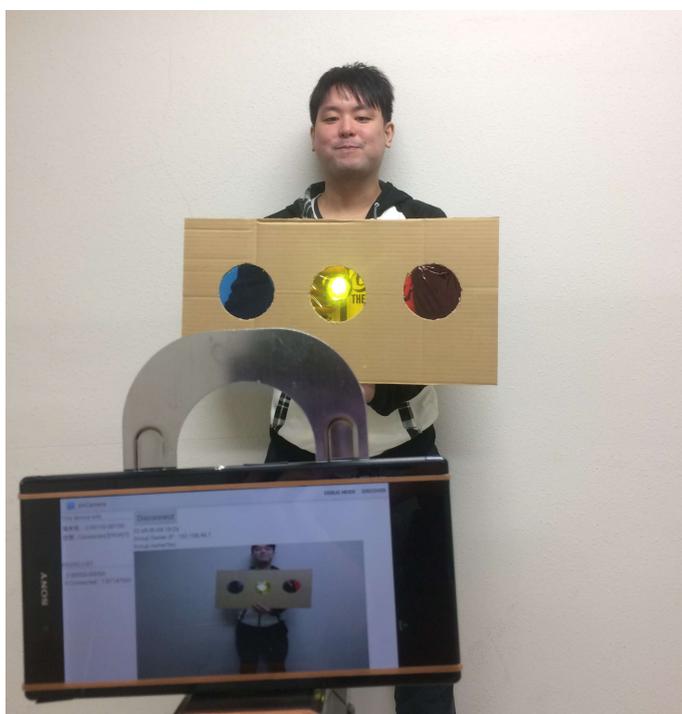


図 4.3: 先行車の端末と簡易な信号機

第5章 むすび

本研究では、先行車が存在することで生じる死角を補完するシースルービューシステムをスマートフォンアプリケーション上で実現することを提案した。シースルービューを構成するにあたり、先行車がスマートフォンで取得した周辺環境を映したカメラの画像情報を追従車のスマートフォン端末に提供することを考え、これを実現するアプリケーションを Android 環境で開発した。本アプリケーションを用いることで、実際に先行車によって生じた死角が補えることを確認した。また、このシステムを使用した疑似的な運転席での評価実験では、一定の効果が期待できることが示された。本論文では走行中の車両において利用できることの実証実験はまだ行っていない。今後の課題としては、実車を用いた走行時においても正常に動作することを確認することや、実車での評価実験を行うことが考えられる。これらの問題を達成するには、移動時の不安定な通信環境に適した実装であるかを検証することや、GPS 情報の取得方法を検討する必要があるだろう。また、iOS ユーザーにも対応できるように iOS 対応のアプリケーションを作成することも課題である。

謝辞

本研究を進めるにあたって、日頃から多大な御尽力を頂き、御指導を賜りました名古屋工業大学、舟橋健司 准教授、伊藤宏隆 助教に心から感謝致します。最後に、本研究に多大な御協力頂きました舟橋研究室諸氏に深く感謝致します。

参考文献

- [1] 警察庁 <https://www.npa.go.jp/publications/statistics/koutsuu/index.html>
- [2] 内閣府平成 29 年交通安全白書
http://www8.cao.go.jp/koutu/taisaku/h29kou_haku/zenbun/index.html
- [3] 岩佐 要, 藤角 岳史, マウリシオ クグレ, 黒柳 奨, 岩田 彰, 段野 幹男, 宮治 正廣,
“ 車載用安全運転支援装置のためのパルスニューロンモデルによる音源接近検出
及び音源種類識別システム ”, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J91-D, No. 4, pp.
1130-1141, 2008.
- [4] トヨタ自動車株式会社 パノラミックビューモニター
<http://toyota.jp/technology/comfortable/panoramicviewmonitor/>
- [5] Francois Rameau, Hyowon Ha, Kyungdon Joo, Jinsoo Choi, Kibeak Park, In So
Kweon, “ A Real-time Augmented Reality System to See-Through Cars ”, IEEE
TRANSACTIONS ON VISUALIZATION AND COMPUTER GRAPHICS, Vol.
22, No. 11, NOVEMBER 2016.
- [6] 総務省 情報通信白書 平成 28 年版
<http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/h28.html>
- [7] Wi-Fi Alliance Wi-Fi Direct <https://www.wi-fi.org/ja/discover-wi-fi/wi-fi-direct>
- [8] Apple Developer Documentation MultipeerConnectivity
<https://developer.apple.com/documentation/multipeerconnectivity>
- [9] 外務省 国, 地域 <http://www.mofa.go.jp/mofaj/area/index.html>
- [10] ソニー株式会社 Xperia (TM) Z Ultra http://www.sony.jp/tablet/products/Z_ultra/specification.html

[11] ソニー株式会社 Xperia (TM) Z2 Tablet

<http://www.sony.jp/tablet/products/Z2/spec.html>