

車車間通信用カメラシステムの研究

Image Sensor Based V2V Optical Wireless Communication System

青 山 千 秋*

Chiaki AOYAMA

要 旨

複数の自動運転車両が協調するためには、相互の相対位置と ID による個体識別が必要とされる。そこで、高速に点滅させて ID をのせた光信号を、カメラにより撮影し ID と相対位置を検出するシステムを車車間通信のために開発した。デジタル情報を位相変化する変調光で送信し、電荷振り分け画素により位相変化を検出することで信号を受信する。さらに、相対的にサンプリングタイミングを変えることで距離も検出している。640 bps の信号を同時に 7 チャンネル受信しつつ、600 m まで ± 5.6 m の不確かさで距離検出可能な技術を実現した。

ABSTRACT

In order for multiple autonomous vehicles to interact, they will need to identify one another according to their relative position and ID. With this objective, a camera-based system for vehicle-to-vehicle communication was developed to detect vehicle IDs and relative position by imaging optical signals loaded with an ID and blinking at high speed. Digital information is sent with modulated light that changes in phase, and phase changes are detected by lock-in pixel camera to receive the signals. The system also detects distance by shifting the relative sampling timing. The implementation can receive 640 bps signals simultaneously on seven channels and detect distances up to 600 m with an uncertainty of ± 5.6 m.

1. まえがき

IT 技術の進歩により自動運転車実現されようとしている。自動運転車では、衝突することなく自律的に移動するために、周囲の環境を検知する多数の距離センサ（ステレオカメラ、ミリ波レーダ、レーザーレンジファインダ等）を配置している。

車両単独の進化の他に、通信により車両と車両が協調しあうことで、合流時に譲り合ったり、追従走行で遅れなく加減速するように、交通が円滑で安全になる方向でも進化している。国内では総務省が中心となり車車間通信と路車間通信を利用したシステムの研究が進められている⁽¹⁾。そこでは無線通信と全地球衛星航法システム（Global Navigation Satellite System: GNSS）による位置情報を使った協調システムが研究されている（Fig. 1）。

協調システムでは ID による個体識別を伴う相対位置を意識した通信が求められている。

そこで、通信しながら相対位置の安定した検出が課題となる。協調システムでは約 300 m 以内の周囲にある多数の

車から 10 Hz の周期で常に車両情報を受け取るようになっている^{(2),(3)}。車両情報には車両の位置、移動速度、加減速の程度、進行方向などが含まれている。多くの車両情報の中から特定の位置にある車両情報を選択するために、受信した車両情報の中にある位置情報から自分の位置と比較して所定の位置にいる車両情報を決定する。位置を検出する

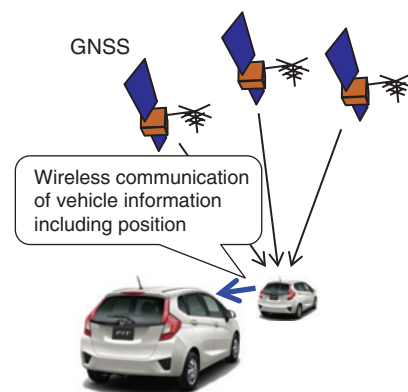


Fig. 1 V2V communication

*基礎技術研究センター

ためにはGNSSを利用しているので、GNSSの位置検出原理から複数の衛星が観測されないと位置精度が低下したり、位置検出不能となる。このような状況は市街地やトンネル内で発生し、協調運転が困難になる。

相対位置を検出するだけであれば距離センサが使えるが、個体識別に課題がある。個体識別ができればあらかじめ登録されている相手のアドレスを得て、そのアドレスによって通信可能である。ところが、距離センサは約100 mまでの相対位置を計測するものであり、検出点を細かくすることで形状や動きから検出した対象の種別が分かったとしても、車の形からナンバを推定できないように、個体識別はできない。つまり、距離センサと移動体通信システムや近距離無線を組み合わせても、特定の車両と通信できない。

相対位置検出と個体識別が同時に行えれば、次世代通信技術の5Gを初めとする様々な無線通信手段を通じて特定の車両との通信が可能となる。たとえば車両のナンバを読み取って、そのナンバからアドレスを検索するシステムがあれば、ナンバが読み取れる車両との通信が可能となる。画像からナンバを読みとっていることで相対位置も検出可能である。しかし、遠距離からナンバを読み取ろうとしたら、望遠カメラによるナンバ読み取り装置が必要となり、防振機構や首ふり機構により複雑なシステムとなる。また、側方の車両を知るためにはナンバを側方にも取り付ける必要が出てくる。

そこで、本稿ではLEDを使った光源による送信機から送られた信号をカメラで受信するシステムを構築(Fig. 2)し、個体識別と相対位置の同時検出を実現し、性能評価を実施したのでそれを報告する。

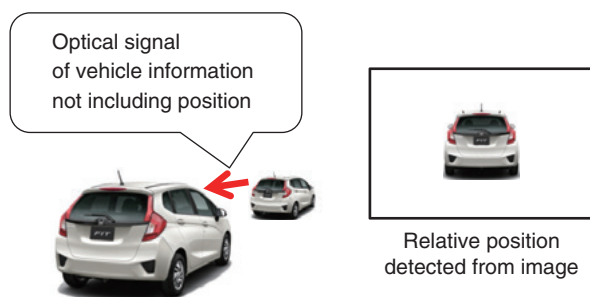


Fig. 2 Optical wireless communication camera

2. 従来技術と課題

カメラを使って個体識別をするための手法と位置検出するための手法についてそれぞれ説明する。

個体識別をするために、光源を変化させることで少ない画素数であっても、信号を解読するというカメラを使った光通信方法の研究が進んでいる⁽⁴⁾⁻⁽⁸⁾。通信は前方の車両

だけでなく隣の車線の車両とも同時に行うことが求められ、少なくとも三つの通信が同時にできることが必要である。光源の位置から自己位置を検出する際にも複数光源との通信が求められる。

相対位置を検出するための手法として、約100 m以内での近距離では立体視やその他の距離センサが使えるため、遠距離でも相対位置検出が可能な方法を扱う。検出限界距離は低速車の追い越し時に、対向車と通信する場合には400 mが求められる。カメラを使えば、画像位置から方向が検出できるので、同時に距離が検出できれば、相対位置は検出できる。

2.1. 光通信方式

光信号をカメラ(2次元の受光素子)を使って受信する光通信手法は、カメラの種類で大きく分けて、汎用カメラ、複眼カメラ、画素直結カメラ、電荷振り分けカメラに分類される。

汎用カメラで光信号を連続的に撮影することで、光の強度変化を時系列的に追跡し、信号を復調する方式がある⁽⁴⁾。通常のカメらは1秒間に30枚から60枚の画像が取り込めるため、信号の時間軸の分解能として16 msから33 ms程度となる。そのため1 bitの信号を解読するために3枚画像が必要だとすると毎秒5 bitから11 bitの信号レートとなる。

汎用のカラーカメラで光信号を連続的に撮影することで、光の色変化を時系列的に追跡し、信号を復元する方式がある⁽⁵⁾。色変化は人にも敏感に見えるため、多数の光源が配置された場合の健康や心理的影響が課題である。

スマートフォンで良く使用されている汎用のローリングシャッターカメラを用いて、強度が変化する面発光光源を撮影した際に発生する縞模様から、信号を復元する方式がある⁽⁶⁾。発光光源が走査線に対して垂直な方向にある程度の長さが必要とされる。そのため、光源の大きさに制限があり、遠距離での通信が課題である。

複眼カメラという光信号を受信できる素子を2次元に並べる方式がある⁽⁷⁾。赤外線リモコンの受光部を2次元に並べて、その前にレンズを配置したようなカメラである。光通信の手法がそのまま利用できるため、高速であるが、画素数を増やすのが難しい。

画素直結カメラという、画素に入射している光によって発生する電流を連続的に外部に読み出すことで、従来からの光信号解読技術がそのまま適用できる方式がある⁽⁸⁾。特殊な撮像素子が必要であり、光電変換によって発生した電子を電流として連続して読み出すため感度が低く、広視野のカメラで遠距離通信することが容易でない。また、複数の光源と通信することも難しい。

電荷振り分けカメラという、変調光の周期に同期して光電変換素子によって発生した電子を異なる電荷蓄積部に蓄

積していくことで、変調光の振幅と位相を検出する方式がある⁽⁹⁾。本研究では位相変化を信号として解読する方式として上記方式を採用した。この方式によりカメラのフレームレートを上回る周波数での変調光の検出が可能である。周波数が高くでき、位相を変えるだけなので点滅していても人は点滅を感じない。さらに、変調光を使うため1フレームで信号源の候補を絞り込みやすい。そして、電子を積分してから検出するため、画素直結方式より感度が高い。伝送速度は画素直結方式より低い、5Gのような高速の無線通信技術と併用することで伝送速度はシステムとして増やすことができるため、遠距離でも使える感度の高さから本方式を選択した。

2.2. 距離検出方式

カメラを使って距離を検出する手法は大きく分けて単眼視、視差立体視、Time Of Flight (TOF) 方式に分類される。

単眼視は位置関係の分かった対象の画像上の特徴位置から距離を算出する方式である⁽¹⁰⁾。複数の特徴が十分離れて検出できれば精度はよい。

視差による立体視は複数の視点から撮影した同一対象の画像位置に基づいて距離を算出する方式である⁽¹¹⁾。遠距離でも距離精度を保つためには広いカメラ間隔か高い解像度が求められる。

TOF は光が空間を移動するのに要する時間から距離を算出する方式である。光源から光が出た時刻とカメラに光が入った時刻の差に光速を乗じて距離に換算する。対象の大きさは関係なく、本研究では数百メートル先まで検出範囲とするため TOF を利用することにした。

TOF はさらに、電荷振り分けカメラによる方式と電荷排出カメラによる方式に分けられる。

電荷振り分けカメラは、複数の電子を蓄える電荷蓄積部と光を電子に変換する光電変換部を持った画素を持つカメラにおいて、発生した電子を異なるタイミングで電荷蓄積

部に振り分けて、複数の電荷蓄積部にたまった電子の数の比から空間を光が移動するのに要する時間を算出して距離を検出する方式である⁽¹²⁾。正確な距離を検出するためには、電荷蓄積部ごとの特性を反射光強度、環境光強度、温度に応じてキャリブレーションすることが必要になる。三つのパラメータについてキャリブレーションすることは容易ではない。

電荷排出カメラ⁽¹³⁾は光電子を電荷排出機能により任意のタイミングで捨てることができ、100 ns 以下の露光期間を繰り返し実現することで、距離を検出する方式である。複数画素でタイミングを変えて検出すれば、電荷振り分けカメラと同じように距離が検出できる。同じ面積での感度を電荷振り分けカメラと比較すると、捨てる電荷のため低下する。画素間のタイミングが同じでも、時系列でタイミングを変えて複数回撮影することで、電荷振り分けカメラと同じ効果が得られる。反射光に比べて直接光を撮影する場合は光源強度が大きくなるため、感度が低くても検出可能となるので、電荷排出方式を利用することにした。

まとめると、本研究では4振り分けのうち位相検出で三つの電荷蓄積部を使い、残り一つの電荷蓄積部で距離検出可能な方式とした。

3. システム原理

本システムは信号を載せた変調光を投光する投光器と、変調光から信号を復号し、距離を検出するパルス (TOF パルス) を検出するカメラによる受光部とそれらに信号を送る変調器と信号を解読する復調器と発振器より構成される (Fig. 3)。発振器は GNSS により周波数が安定すると距離検出性能が向上し、さらに、時刻が同期すれば、検出遅れ時間が低下する。GNSS が受信できない場合は検出時間が延びることがあるだけで、検出不能になるわけではない。

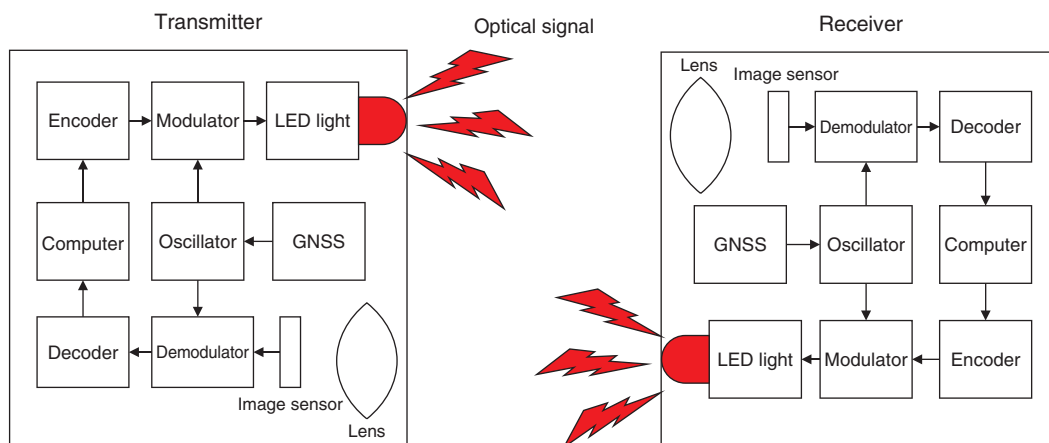


Fig. 3 System configuration

3.1. 画素機能

1画素内の回路は Fig. 4 のように構成されている。光電変換部は光を電子に変換する。転送ゲートの先は電荷蓄積部につながっていて、発生した電子は転送ゲートが開くたびに蓄積（積分）される。ドレインゲートの先は電源につながっていて、発生した電子は消滅する。電荷蓄積部に蓄積された電子は読み出し回路により電流の大きさに変換されて画素の外に読み出される。

四つの電荷蓄積部のうち、通信にそのうち三つを使用し、距離検出に残り一つを利用する。TX1, TX2, TX3 と順番に異なるタイミングで転送ゲートを開けることで電子を電荷蓄積部に順次8回蓄積する。TX1, TX2, TX3 期間の間に TX4 を短く開ける期間が含まれている。TX4 を開けている間に他の転送ゲートは閉じている (Fig. 5)。

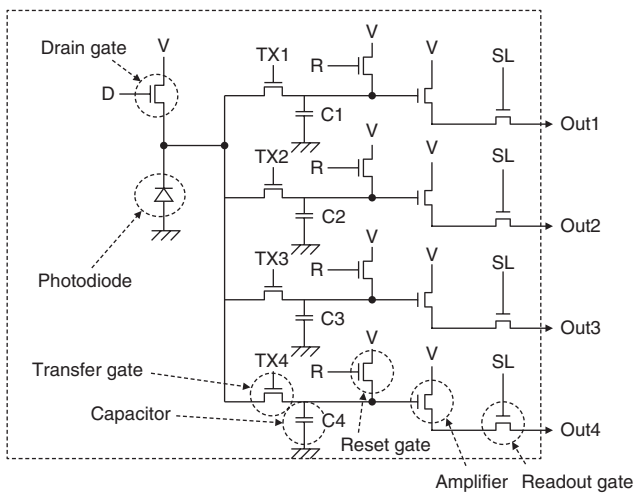


Fig. 4 Pixel circuit

3.2. 送信波形

送信波形は通信に使用する $36 \mu\text{s}$ 周期 (27.8 kHz) のパルス信号を基本波形 SP とする (Fig. 6)。このパルスが 24 回連続し、そのあとに 8 周期分の空白期間が続く。この 32 回周期を 1 bit の期間とし、信号ブロック SB と呼ぶ。パルス信号の位相を前のブロックと変えることで 0/1 を表現する。0 では $2/3\pi$ (120°) 進め、1 では $2/3\pi$ 遅らす (Fig. 8)。つまり、 $\pm 60^\circ$ の範囲であればノイズがあってもエラーとならない。信号列の開始は同じ位相を続けることでリーダ部とする。その後に 0/1 を表現する位相が変化する区間が続き最後に信号のない期間が続く。これらのパルス列がリーダと無信号期間をそれぞれ二つ分加わった 84 個のパルス列で一つの信号列（シーケンス）を構成する。シーケンスの周期を車車間通信で求められる $100 \text{ ms}^{(2)}$ とするために無信号期間の後にさらに調整用期間が挿入される。これで、毎秒 10 回 ID を受信できる。

$36 \mu\text{s}$ 周期の基本波形はその中に距離検出に使用する 200 ns 周期のパルス信号列を含んでいる。このパルス列の開始タイミングは信号ブロックごとに 25 ns ずつずれていき、80 回で元に戻る。

3.3. 光信号検出方式

パルス光の位相と振幅は、変調光の 1 周期を三つの電荷蓄積部でサンプリングした値から求める (Fig. 7)。ただし、1 回だけのサンプリングではレベルが不足するため、同じ周期でのサンプリングを 8 回繰り返し、同じタイミングの信号を積分していった積分値から位相と振幅を計算する。

位相変化により、0/1 を表現した信号について、位相変化を検出して 0/1 に復号する (Fig. 8)。3 サンプルングで

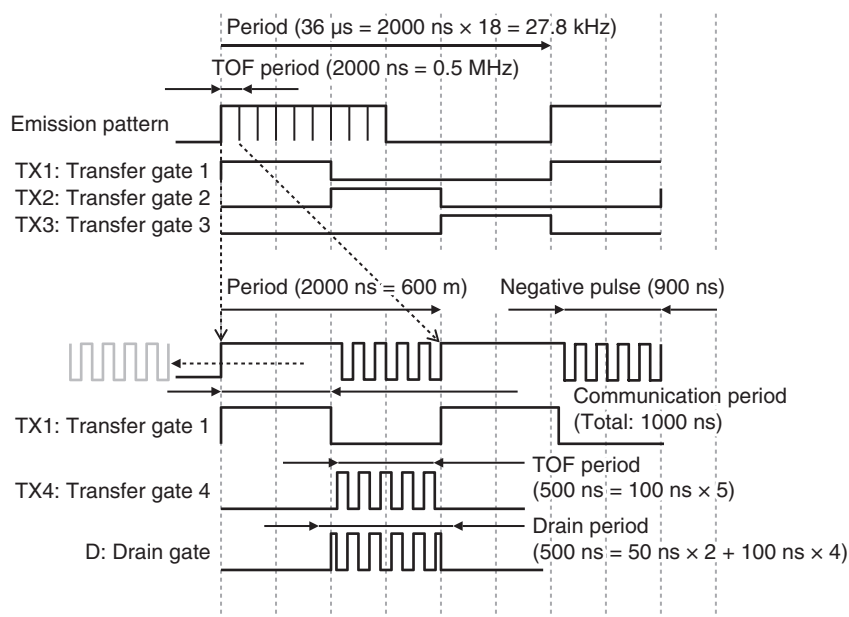


Fig. 5 Transfer gate timing

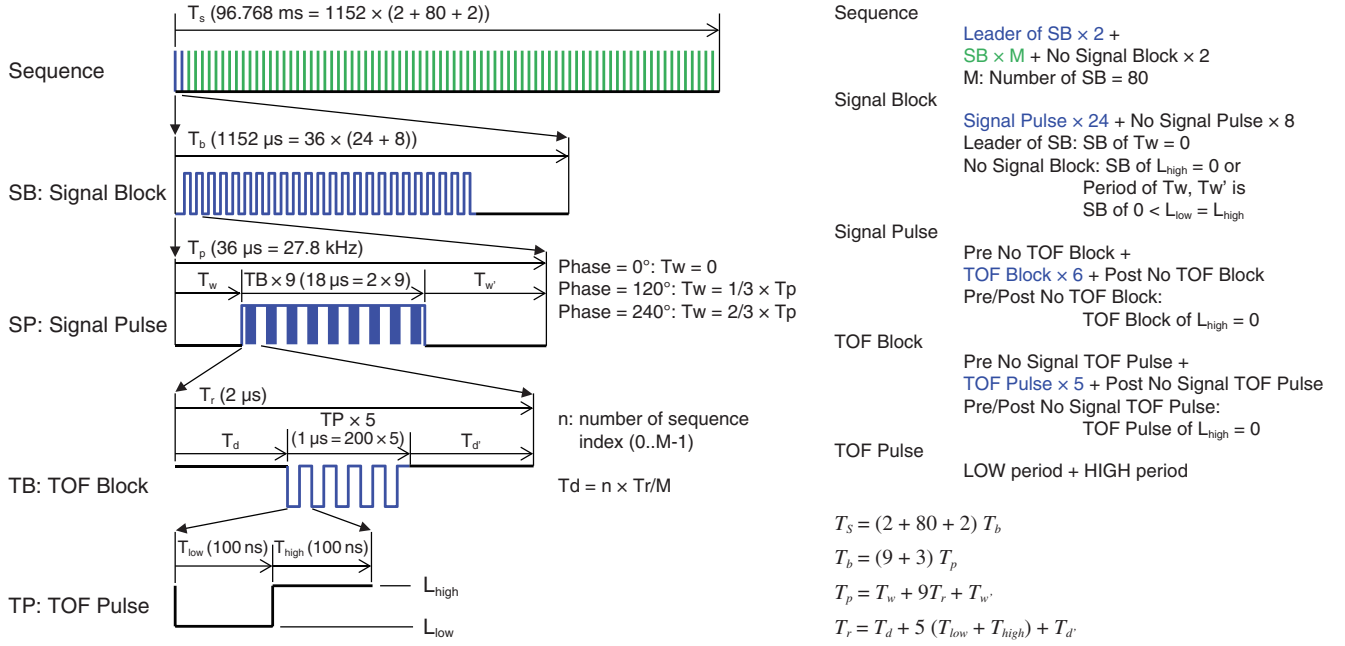


Fig. 6 Wave configuration

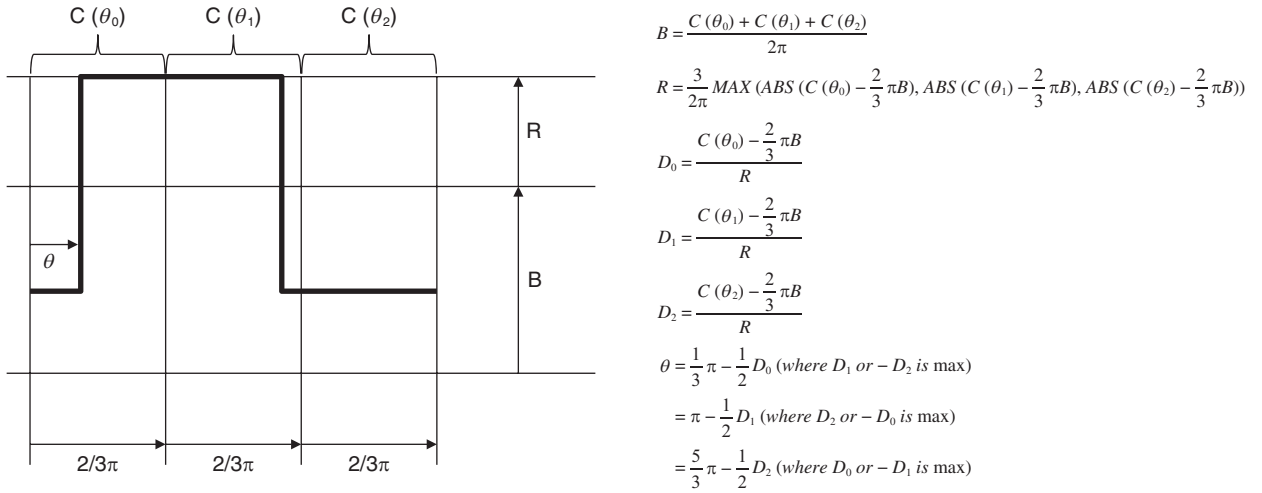
 Detecting phase θ of three integrated values obtained by shifting integration period


Fig. 7 Phase calculation

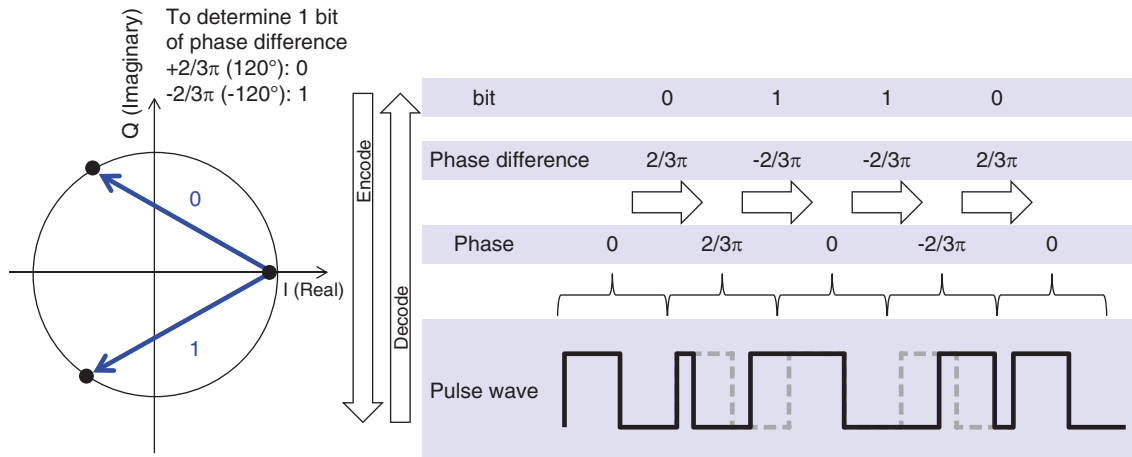


Fig. 8 Encoding and decoding process

誤差の少ない $2/3\pi$ ごとに位相を割り当てるようにしている。

3.4. 距離検出方式

遠距離での距離計測を実現するために、航空機の二次監視レーダ方式⁽¹⁴⁾に似た、互いに発光源を持つシステムによる通信を使った距離検出方式としている (Fig. 9)。反射光による距離検出では、光源を撮影したときの画像上のサイズが1画素以下の場合、光強度は距離の4乗に反比例して減少するが、直接光の場合は距離の自乗に反比例して減少するため、遠距離で有利となる。二次監視レーダ方式と

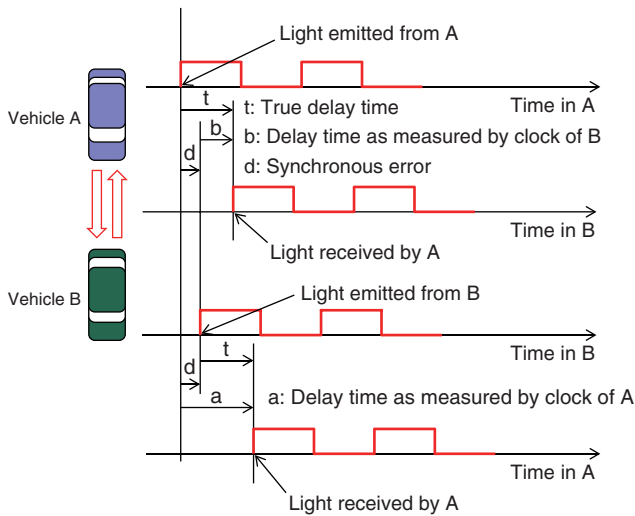


Fig. 9 Distance calculation

異なり、信号を離散的にサンプリングしているため、信号を受信してから一定の遅れ時間で信号を送り返すことができない。そこで、独立して相互に連続して信号を送りあい、そのとき検出した遅れ時間を互いに通信することで同期誤差を打ち消し、真の遅れ時間を算出する。車両 A が出したパルス光を車両 B が受信したときに車両 B の時計で測定した遅れ時間を b として、車両 B が出したパルス光を車両 A が受信したときの遅れ時間を a としたときに、相互の時計の同期誤差が d の場合、真の遅れ時間 t はそれぞれ

$$t = b + d$$

$$t = a - d$$

なので、未知数 d が消去でき

$$t = (a + b)/2$$

で算出できる。

パルス光の遅れ時間計測は、相対的サンプリングタイミングを少しずつ変えていき、一致度から遅れ時間を算出する。五つの負パルスに対して5回のゲートタイミングが一致する時に最も出力が低くなり、タイミングがずれるたびに出力が増加していくため、最も出力が小さくなるタイミングを見つけて遅れ時間とする (Fig. 10)。単一のパルスに対して短いパルスの方がピーク位置の推定精度が向上するが、検出感度が低下するため、バースト状にパルスを繰り返すことで感度と検出精度を向上させている。そして、負パルスを通信パルスに融合させることで、通信と距離計測を分けずに、通信しながら距離検出を可能とした。

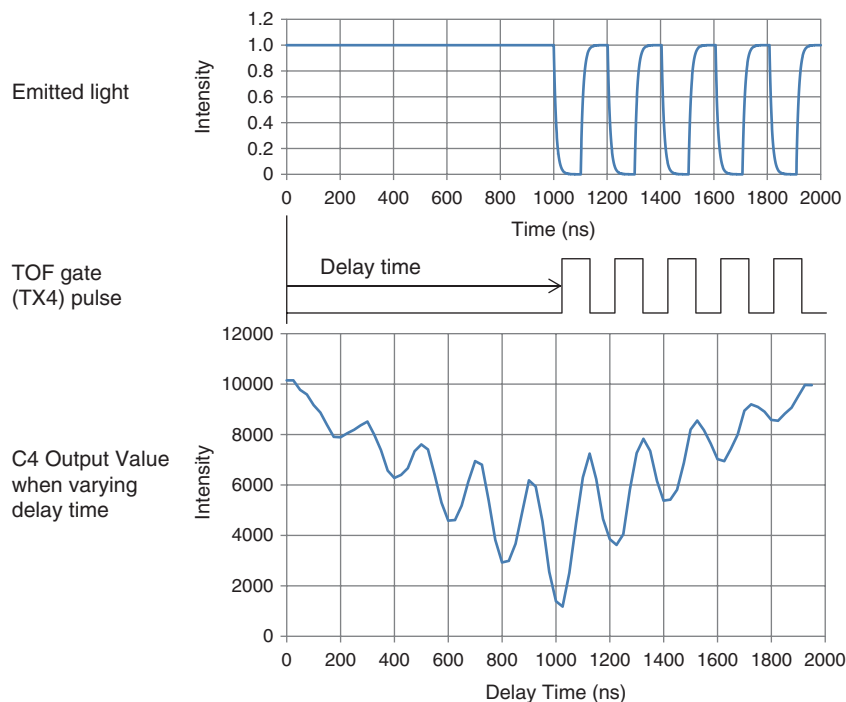


Fig. 10 Delay time detection

4. システム実装

4.1. システム構成

片側のシステムは通信距離カメラ、レンズ、投光器、任意波形発振器、GNSS オシレータ、計算機より構成されている (Fig. 11)。

GNSS オシレータは 10 MHz のパルス信号と 1 PPS のパルス信号を時刻に同期して出力する。

任意波形発生器は 10 MHz に同期したカメラで使うクロック信号と投光器が発光する通信距離波形信号を出力する。

通信距離カメラは撮像素子、制御基板、インターフェース基板で構成されている。撮像素子から出力された映像信号は、制御基板、インターフェース基板を経て PC へ転送される。

投光器は、任意波形発生器より入力したパルス信号をドライバにより LED を駆動して通信距離光信号として発光する。

4.2. 画素構造

撮像素子は差分カメラ⁽¹⁵⁾と同じものを使用しており、1 画素のサイズは一辺が 12 μm の正方形で、有効画素は横に 640、縦に 480 である。

4.3. 読み出し領域 (Region Of Interest: ROI)

画像の読み出しを高速化するために小領域の読み出しを利用する。八つの小領域が指定可能である。領域は発見領域と追跡領域に任意の数で分けられる。今回の設定では一つの発見領域は 64×24 画素の領域で左上から右下にスキャンしていき、変調光領域を見つけたら 8×8 画素の七つの追跡領域で変調光を解読する。発見領域は 27.8 kHz

の変調光を光源候補とするため、連続した明るさの太陽光や、周波数が低く点滅している照明は光源候補とならない。

4.4. 投光器

投光器は 940 nm もしくは 860 nm で出力が約 1 W の近赤外 LED 10 個を一列に並べて配置した。半値角は約 $\pm 35^\circ$ であり、拡散板は利用していない。車車間通信には 940 nm を使用し、路車間通信の路側には 860 nm を使用することを想定している。860 nm は赤色に視認できるため、可視光による通信を禁じる法規上不適切であり、940 nm は撮像素子の感度としては不利であるが不可視であるため、940 nm を車載 LED の波長とした。

5. システム性能

5.1. 通信性能

エラー訂正無しでの 1 シーケンスは 80 bit であり、データ部 64 bit, エラー訂正 12 bit, 付加情報 4 bit で運用した。毎秒 10 シーケンスを同時に 7 ch 受信可能であることから、1 ch あたりの帯域は 640 bps で、全体で 4480 bps となる。データ部には ID だけのせた。応用に応じてデータ送信順を示す番号や車速情報をのせるようにする。

通信性能を測定するために、カメラと投光器を対向させ、任意波形発生器から発生する投光パルスのタイミングを 1 周期にわたって変化させていき、さらに、検出する画素位置を変えて性能を評価した。

位相検出値の標準不確かさは基準強度から 1/8 強度の範囲で 5.4° 以下であり、0/1 を判定する $\pm 60^\circ$ の範囲に対して十分小さいことが確認できた。

水平画角が 56.5° のレンズに赤外透過フィルターを付け、

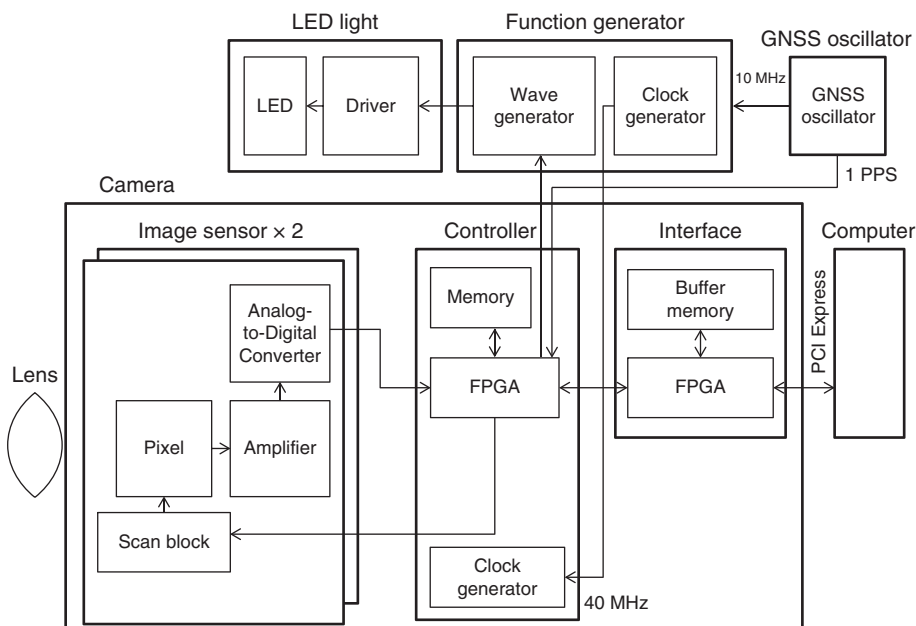


Fig. 11 Block diagram

屋外で太陽光がある場合の通信限界距離は 118 m であった。赤外透過フィルターは 800 nm 以上の波長の光を透過する。レンズや反射ミラーにより上下の照射角を狭めるだけで通信限界距離を 300 m 以上に延長できると推測される。

5.2. 距離検出性能

距離検出性能を測定するために、通信性能と同様に遅延時間を変えることで距離に換算して評価した。

距離検出の標準不確かさは基準強度から 1/8 強度の範囲で 5.6 m 以下であった。この時検出可能な距離は 600 m までである。温度変化による変動は 5℃ から 35℃ の範囲で ±0.3 m 以下であり、この温度範囲によるキャリブレーションは不要であり、この範囲を超えても不要と予想される。

5.3. 追跡性能

移動する光源を追跡する性能を評価するためにカメラを回転ステージに乗せて、角速度を変えて追跡可能な角速度を評価した。

ROI による小領域で信号解読を行う際に追跡可能な光源の移動速度は毎秒 480 画素以下で可能であった。たとえば、水平画角が 60° のレンズを使用した場合、毎秒 68° の角速度で移動する光源が追跡できることになる。相対速度が時速 50 km の場合に、すれ違い 1 秒前の位置における角速度は毎秒 23° であり、68° は十分である。

6. 通信カメラの応用例

車車間や路車間通信のように相互通信するシステムは普及するまでに時間がかかると予想されるため、局所的に光ビーコンを設置するだけで利用可能な位置決め手法の応用先として、自宅における自動駐車を想定した。

屋内の壁面 7 か所に設置した位置が既知の光ビーコンを利用し、自己位置を算出するテストを行った (Fig. 12)。光

ビーコンを使うことで昼夜を問わず利用可能となる。

カメラには水平方向の画角が 180° のキャリブレーションされた魚眼レンズ⁽¹⁶⁾を使用し、光源が見える高度から光源との距離を算出することで、二つ以上の光源から位置と姿勢を算出した。車載することを想定してカメラは水平方向を向けたため、前方に見える 2 光源または 3 光源だけで位置を算出している。屋内専用であればカメラが天井を向くようにすることで、光源の数を減らせる。

位置の標準不確かさは 0.10 m、角度の標準不確かさは 0.64° であった。位置を確定するまでに 200 m 秒必要で、その後の位置検出は光源が追跡できていれば、250 Hz で算出できる。位置精度については従来手法⁽¹⁷⁾と同等であり、角度については 1 桁精度が高く、検出時間も 1/5 であり、本手法の優位性がわかった。

7. まとめ

本稿では、自動車におけるアプリケーションを想定した LED による光源で送信し、カメラで受信する通信カメラシステムを提案した。そして、デジタル信号が重畳されたパルス光を電荷振り分けカメラで撮像することで以下の性能を達成した。

- (1) 640 bps で光信号を同時に七つまで受信可能
- (2) 最大 480 画素 / 秒の角速度まで追跡可能
- (3) 0 から 600 m の範囲で 5.6 m の不確かさで距離検出可能

また、駐車支援を想定して、通信カメラを使った位置決めシステムを構築することにより約 15 m の範囲で以下の性能を確認した。

- (4) 位置決めの標準不確かさは 0.10 m
- (5) 角度の標準不確かさは 0.64°

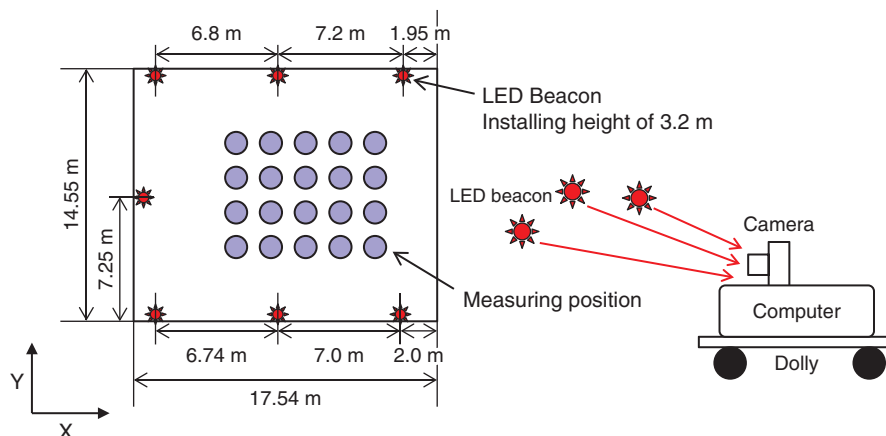


Fig. 12 Position detection

参考文献

- (1) 平成 26 年度情報通信技術の研究開発に係る提案の
公募 SIP(戦略的イノベーション創造プログラム)
の対象課題「自動走行システム」, 総務省報道資料,
2016/7/11
- (2) 700 MHz 帯高度道路交通システム 標準規格 ARIB
STD-T109 1.0 版, 電波産業会, 2013/2/14
- (3) 700 MHz 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, ITS 情報
通信システム推進会議, 2009/2/12
- (4) 松下伸行, 日原大輔, 後輝行, 吉村真一, 暦本純一: ID
Cam: シーンと ID を同時に取得可能なイメージセン
サ, 電子情報通信学会技術研究報告. IT, 情報理論,
Vol. 101, No. 728, p. 105-110, (2002)
- (5) 飯塚宣男, 菊池正哲: ピカピカカメラ: カメラを用いた可
視光通信スマホアプリ, 照明学会誌, Vol. 98, No. 10,
p. 546-549, (2014)
- (6) 大嶋光昭, 青山秀紀, 中西幸司, 前田敏行: イメー
ジセンサ受信型可視光通信技術の開発, Panasonic
Technical Journal, Vol. 61, No. 2, p. 118-123, (2015)
- (7) 松本佳宣, 中田啓道: 可視光通信用 2 眼式受信シス
テムの光学設計と受信特性, 電気学会論文誌. E, セ
ンサ・マイクロマシン準部門誌, Vol. 131, No. 10,
p. 351-356, (2011)
- (8) 高井勇, 川人祥二: LED とカメラでつながる光車車間
通信システム, 自動車技術, Vol. 68, No. 2, p. 42-48,
(2014)
- (9) 安藤繁, 来海暁: 時間相関イメージングとその応用,
電気学会論文誌 E (センサ・マイクロマシン部門誌),
Vol. 129, No. 5, p. 129-137, (2009)
- (10) 大隅隆史, 竹村治雄, 横矢直和: 拡張現実感システム
のための画像からの実時間カメラ位置姿勢推定, 電
子情報通信学会論文誌 D-II, Vol. J82-D-II, No. 10,
p. 1784-1792, (1999)
- (11) 青山千秋, 峯田憲一, 岡田泰仕: ステレオカメラ
による高分解能距離センサシステム, Honda R&D
Technical Review, Vol. 10, p. 179-188
- (12) Izhal, A. H., Ushinaga, T., Sawada, T., Homma, M.,
Maeda, Y., Kawahito, S.: A CMOS Time-of-Flight
Range Image Sensor with Gates on Field Oxide
Structure, IEEE Sensors Journal, Vol. 7, No. 12,
p. 141-144, (2005)
- (13) 韓相萬: ラテラル電界制御型電荷変調に基づく TOF
距離画像センサに関する研究, 静岡大学博士論文,
(2014)
- (14) 橋田芳男, 大友恒, 久慈義則: 航空管制用二次監視
レーダ SSR モード S, 東芝レビュー, Vol. 59, No. 2,
p. 58-61, (2004)
- (15) 青山千秋: 太陽光下で利用可能な投影式 2 眼立体
視システムの研究, Honda R&D Technical Review,
Vol. 25, No. 1, p. 128-135
- (16) 青山千秋: 光線追跡によるカメラキャリブレーション,
Honda R&D Technical Review, Vol. 17, No. 1,
p. 138-145
- (17) 中澤陽平, 牧野秀夫, 西森健太郎, 若月大輔, 小林真,
駒形英樹: ナビゲーションを目的とした可視光通信に
よる屋内歩行者位置計測法, 電子情報通信学会論文
誌 D, Vol. J99-D, No. 2, p. 165-177, (2016)

■ 著 者 ■



青山千秋