

列車用赤外線通信システムにおける CMOS カメラを用いたビーコン ID の検出

森 康祐† 新美 祐介‡ 金子 晋丈‡ 寺岡 文男‡ 春山 真一郎§

† 慶應義塾大学大学院理工学研究科 ‡ 慶應義塾大学理工学部

§ 慶應義塾大学大学院システムデザイン・マネジメント研究科

1 背景

1.1 列車ネットワーク

近年、オフィスや家庭内だけでなく、高速列車内でも高速で安定なネットワーク環境の需要が増加している。既に列車ネットワークとして運用されている漏洩同軸ケーブル・Wi-Fi・WiMAX はいずれも数 Mbps から数十 Mbps と低帯域である。また列車内においては、携帯電話網によるインターネット環境は電波のマルチパスや頻繁なハンドオーバーによって不安定になる。

1.2 列車用赤外線通信システム

本研究は、高速 (10Gbps 以上) で安定した通信環境を列車内に提供するため、SDM の春山研究室とともに列車用赤外線通信システムの検討を重ねてきた。図 1 に列車用赤外線通信システムの概要を示す。列車の後方に設置された移動局と、線路沿いに設置された複数の地上局は、列車の移動に伴って次々に通信対象を切り替える (= ハンドオーバーする)。本システムでは通信可能な範囲は 300m から 400m となっているため、頻繁なハンドオーバーが発生し、通信が切断されてしまう。本研究における列車用赤外線通信システム (*LaserTrainComm*) は、高速かつ安定したハンドオーバーを目標として検討・開発が行われてきた。

1.3 *LaserTrainComm2014* の問題点

本研究以前の列車用赤外線通信システムである *LaserTrainComm2014* は、通信用光とは別に基地局の位置を知らせるビーコン光を備える。このビーコン光を用いて、CMOS カメラによる大まかな粗追尾と QPD (Quadrant Photo Diode) センサによる精追尾を行う。また強度変調したビーコン光を太陽光等と区別する処理を CMOS カメラに接続した FPGA で行う。*LaserTrainComm2014* においては、CMOS カメラで取得した画像をラベリング処理することでビーコン光の位置を取得している。このとき各ラベルを付与されたグループを追尾・同定しているが、各グループと各基地局は対応させておらず、追尾・ハンドオーバー精度が低下する。またビーコン光の重

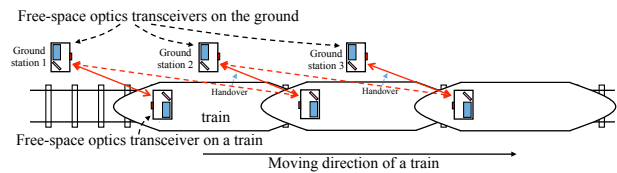


図 1: 列車用赤外線通信システム

心座標の特定と追尾をするために CMOS カメラに接続した FPGA から外部の PC へ画像を転送しており、オーバーヘッドが生じていた。以上の *LaserTrainComm2014* の問題点を解決するために本研究では基地局 ID を用いた基地局の同定を行う。基地局 ID を強度変調でビーコン信号へ埋め込み、CMOS カメラに接続された FPGA 上で複合処理を行う。列車用赤外線通信システムでは頻繁なハンドオーバーが生じるため、ハンドオーバー発生までに間に合うような複合処理を検討し、試作機による基地局 ID の取得のテストを行った。

2 関連研究

列車ネットワークとして検討されているミリ波、LTE についてだが、これらは現時点ではまだ検討段階である [1] また固定された地上局間での光通信装置も既に提案されている [2]。このシステムではビルの屋上に設置した光通信装置同士で通信を行う。大気の流れや装置の駆動に伴う振動がレーザービームの到着角に影響を与える。この影響を抑えるため、この通信装置は電磁石式の 2 軸モータを使ったビーム追尾機能を備えている。このシステムは WDM を用いた高速伝送 (1.28Tbps) を達成しているが、高速移動する列車の追尾やハンドオーバーは対応していない。

3 提案手法

3.1 基地局 ID の埋め込み

本研究では基地局の同定を行うため、基地局 ID を強度変調によりビーコン信号に埋め込む。基地局 ID を埋め込まれたビーコン信号は、CMOS カメラに接続された FPGA 上で処理され復調される。ビーコン光の座標のみが制御用マイコンへ転送される。

†School of Science and Technology, Keio University

‡Graduate School of System Design and Management, Keio University

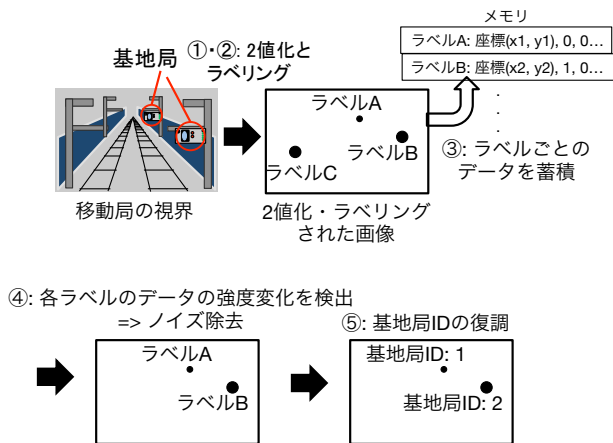


図 2: 復調方法について

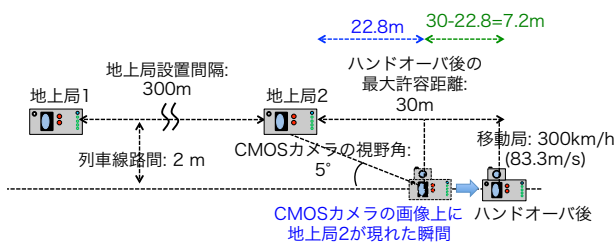


図 3: 復調時間の検討

3.2 処理の流れ

図 2 に FPGA における処理の流れを示す。はじめに CMOS カメラからの受光強度画像を 2 値化し、ラベリング処理を行う。次にラベルごとにデータを蓄積する。各ラベルごとのデータの強度変化を検出し、ノイズ除去を行う。基地局 ID の復調が FPGA 上で行われ、基地局 ID およびラベルの重心座標が出力される。

3.3 復調時間の検討

基地局 ID 復調時間には制限が存在する。図 3 に基地局 ID 復調時間の検討を示す。基地局 ID の復調にかかる時間は最大 76ms となる。

3.4 変調方式

ビーコン光は追尾に用いるため、変調方式は消灯時間が短い I-PPM (Inversed Pulse Position Modulation) を用いる。またフレーム構造はプリアンプルに 6bit・ペイロードに 8bit・CRC16 に 16bit となる。基地局 ID はペイロード部分に格納される。I-PPM では 4 スロット=2bit なので、76ms で 2 フレーム送る。すると 1 スロットは最大 0.63ms、つまり 1.58kHz でやってくる。サンプリング周波数は 1 スロットを 4 分割するものとし、6.4kHz 以上でサンプリングを行う。

4 試作機によるテスト

今回はビーコン光送信装置と、CMOS カメラに接続された FPGA を用いて、基地局 ID の取得のテストを行った。使用する CMOS カメラは数百から数千 Hz でサンプリング可能だが、今回は 30-40fps で動作している。このサンプリング速度にあわせて、今回の I-PPM における 1 スロットは 100ms の長さとした。CMOS カメラの中央付近における 1 ピクセルのみを用いた。正しく基地局 ID が取得できることを確認した。また、ビーコン光が出現してから基地局 ID の復元までにかかったフレーム数が事前の検討に比べて長くかかった。これはスロットを正しくサンプリング結果から取得できなかったためと考えられ、今後スロットの識別手法を改善していく。

5 まとめ

既存の列車ネットワーク環境は低帯域であり、10Gbps 等の高速で安定した通信環境を列車内に提供するため、本研究では SDM の春山研究室とともに列車用赤外線通信システムの検討を重ねてきた。LaserTrainComm2014 は相追尾に CMOS カメラを用いていたが、ラベリング処理された画像上のグループと基地局を対応づけさせることができず、ハンドオーバーやビーコン光の追尾が不正確であった。本研究では基地局の同定を行うため、基地局 ID をビーコン光へ強度変調し、CMOS カメラに接続された FPGA 上で復号する手法をハンドオーバーによる時間制約の観点から検討した。今回は試作機において基地局 ID の復元を行い、正しく基地局 ID が取得できることを確認した。今後、画像上を移動するビーコン光を捕捉する画像処理も FPGA 上に実装していく。

参考文献

- [1] A. Sniady and J. Soler. LTE for Railways: Impact on Performance of ETCS Railway Signaling. *IEEE Vehicular Technology Magazine*, Vol. 9, No. 2, pp. 69–77, June 2014.
- [2] E. Ciaramella, Y. Arimoto, G. Contestabile, M. Presi, A. D’Errico, V. Guarino, and M. Matsumoto. 1.28 terabit/s (32x40 Gbit/s) wdm transmission system for free space optical communications. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. 27, No. 9, pp. 1639–1645, December 2009.