

Tracking and Fast Handover Mechanisms
Using Station Identification for Ground-to-Train
Free-Space Optical Communication

March 2023

Kosuke Mori

報告番号	① 乙 第	号	氏 名	森 康祐
主 論 文 題 名 : Tracking and Fast Handover Mechanisms Using Station Identification for Ground-to-Train Free-Space Optical Communication (地上列車間自由空間光通信における装置識別を用いた追尾と高速ハンドオーバー手法)				
(内容の要旨) 近年、高速列車の車内でインターネットを利用する要望が高まっている。列車内では携帯電話などのモバイル端末が利用可能だが、高速列車では Wi-Fi 通信によるインターネットへのブロードバンド通信回線を乗客に提供することが望ましい。漏えい同軸ケーブル、Wi-Fi, WiMAX, LTE-R など既存の地上列車間通信技術のスループットが数十 Mbps であるのに対し、高速列車への要求スループットは 2030 年には 11~35Gbps に達すると言われている。移動体との通信にミリ波を利用する研究でも、現状ではスループットが 10Gbps 以下である。 このような高スループットの地上列車間通信の要求に応えるため、自由空間光通信技術が注目されている。地上列車間光通信では、列車に搭載された移動局は鉄道沿線に設置された地上局を追尾しながら通信を行い、移動局が対応する地上局を切り替え（ハンドオーバー）ながら列車を走らせる。既存研究として LaserTrainComm2012 (LTC12) と呼ばれるシステムが提案されている。LTC12 ではビーコン光とミラーアクチュエータを用いて通信相手を追尾する。時速 60km で L2 ハンドオーバー時間は約 40s であった。 本論文の主な貢献は 4 つである。1 つ目は LaserTrainComm2014 (LTC14) と呼ばれる改良されたシステムにおける追尾時間の短縮である。LTC14 ではカメラの画像認識による粗追尾と QPD (Quadrant Photo Diode) による精追尾を組み合わせることで高速かつ高精度なトラッキングを実現する。その結果、時速 60km での L2 ハンドオーバー時間は約 21ms となった。しかし LTC14 はミラーアクチュエータのアナログ制御による不安定なトラッキング、大型ミラーの慣性によるオーバーシュート、基地局ごとに識別ができないなどの課題があった。そこで 100Mbps の通信装置を搭載した LaserTrainComm2022 (LTC22) という新しいシステムを開発した。2 つ目の貢献はミラーアクチュエータをデジタル制御することで追尾精度とハンドオーバー速度を向上させたことである。3 つ目の貢献は大型ミラーを送信用と受信用の小型ミラーに分離することでハンドオーバー直後の通信品質を安定化させたことである。最後の貢献として 2PPM (Pulse position modulation) により装置 ID をビーコン光に符号化し基地局を識別している。広視野と狭視野の画像を同時に取得できるデュアルポートカメラを用い				

て粗追尾と精追尾を行った。ビーコン光の点滅は広視野画像でビーコン光の強度を、狭視野画像で装置 ID を検出できるように制御されている。

車両用テストコースで L2 ハンドオーバー時間とハンドオーバー時の TCP スループットを測定した。移動局として LTC22 を 1 台車に搭載し、2 台の LTC を地上局として 30m 離れた道路上に設置した。時速 40km で走行した場合、L2 ハンドオーバー時間は約 1ms だった。TCP スループットはハンドオーバー前後で約 94Mbps、ハンドオーバー時のみ 75~77Mbps に低下した。解析の結果、時速 300km や 500km の速度でも追尾とハンドオーバーが可能であることが示された。ハンドオーバー時間は通信装置のスループットに影響されないため、通信装置のスループットが 10Gbps 以上であっても L2 ハンドオーバー時間は 1ms である。

Thesis Abstract

No. 1

Registration Number	<input checked="" type="checkbox"/> "KOU" <input type="checkbox"/> "OTSU" No. _____ *Office use only	Name	Kosuke Mori
Thesis Title Tracking and Fast Handover Mechanisms Using Station Identification for Ground-to-Train Free-Space Optical Communication			
Thesis Summary <p>Users' demands for using the Internet in a high-speed train have been increasing in recent years. Although mobile terminals such as cellular phones are available for the passengers in a train, it is better to provide a high-speed train with a broadband communication link to the Internet and Wi-Fi communication is provided to the passengers. Existing ground-to-train communication technologies, such as leaky coaxial cables, Wi-Fi, WiMAX, and LTE-R, have throughput of tens of hundreds Mbps while the required throughput to a high-speed train will reach 11-35 Gbps by 2030. Even in research using millimeter waves for communication with mobile vehicles, the current throughput is less than 10 Gbps. To meet the demands of broadband ground-to-train communication, free-space optical communication technology has attracted significant attention. With this technology, a mobile station installed on a train communicates with one of the ground stations installed along the railway as both stations track each other while the mobile station performs handovers to switch the correspondent ground station as the train runs. In one of the existing proposals, a laser communication system called LaserTrainComm2012 (LTC12) was developed. LTC12 employs a beacon beam and a mirror actuator to track the communication peer. Since LTC12 cannot precisely detect the location of the beacon light, it repeatedly moves the mirror little by little. The Layer-2 handover time is approximately 40 ms at 60 km/h.</p> <p>This dissertation has four main contributions. The first contribution is reduction of tracking time in an improved laser communication system called LaserTrainComm2014 (LTC14). LTC14 employs a high-speed camera which enables detecting the position of the beacon light. The combination of rough tracking with camera image recognition and precise tracking with QPD (Quadrant Photo Diode) enables faster and more accurate tracking than that in LTC12. As a result, the Layer-2 handover time is approximately 21 ms at a speed of 60 km/h. LTC14, however, has several problems such as unstable tracking due to analog control of the mirror actuator, overshooting of mirror actuation due to inertia caused by the large mirror, and inability to identify each LTC14. Thus, a new laser communication system called LaserTrainComm2022 (LTC22) was developed with a 100 Mbps laser communication device. The second contribution is improvement of tracking accuracy and handover speed by employing digitally controlled mirror actuators. The third contribution is stabilization of communication quality just after handover by separating a large mirror into two small mirrors for transmission and reception, respectively. The final contribution is identification of each LTC22 with station ID, which is encoded and modulated into the beacon light with 2PPM (Pulse Position Modulation). As a result, LTC22 correctly detects the communication peer at handover. The rough and precise tracking is performed with a</p>			

Thesis Abstract

No. 2

dual-port camera capable of simultaneously acquiring wide and narrow images. The blinking of the beacon light is controlled so that the intensity of the beacon light can be detected in the wide image and the station ID can be detected in the narrow image. Layer-2 (L2) handover time and TCP throughput during handover were measured in a test course for vehicles. A LTC22 was installed on a car as a mobile station and two LTC22s were installed on the road at a distance of 30 m as the ground stations. At 40 km/h, the handover time is approximately 1 ms. The TCP throughput is approximately 94 Mbps before and after handover and only dropped to 75-77 Mbps during handover. Analysis results show that tracking and handover are possible even at a speed of 300 km/h or 500 km/h. Since the handover time is not affected by the link rate of a communication device, the handover time will be 1 ms even if the link rate of communication device is 10 Gbps or higher.