

# 長距離高速光無線ネットワークの実用化検討

Study on Optical wireless system MIMO

## 光軸調整手法および新たな信号方式の検討について

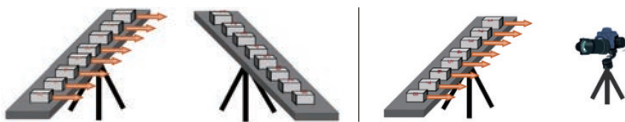
光無線通信は信頼性・耐干渉性など電波無線通信にない長所がある。一方屋外などの実用環境では、送受信機の正確な位置合わせや天候などによる伝送品質低下を考慮する必要がある。そこで、本研究では姿勢方位基準装置を用いた光軸調整手法の有効性や新しい信号方式について実用化検討した結果を紹介する。



執筆者  
先端技術応用研究所  
情報技術グループ  
説田 武文

### 1 背景と目的

光無線通信とは、光源の光強度に変調を加えて送信した光を光検出器で受信することで無線通信を実現するものである。そのシステム構成を第1図に示す。光無線通信は電磁雑音に強く既存の無線との干渉が無い・盗聴や妨害に対する耐性が高い・免許が不要などの特徴がある。また、電波が持つ課題に対し、電磁イミュニティ・エミッション、セキュリティ等で優位な面があり、周波数資源の枯渇対策からも、電波の代替手段として有望である。しかし、現状では速度・通信距離等の観点で実用に至っていない。目に安全な LED 素子を利用することで、回路構成が容易で安価かつ低消費電力が可能となるため、今後実用的な距離での高速通信が期待される。



s-MIMO (Space-Separated MIMO) i-MIMO (Imaging MIMO)  
第1図 光無線システムの送受信光器

従来から、太陽光や天候（降雨や霧等）の影響を受ける屋外通信に適用する光無線ネットワーク技術について検討してきた。今回、システムの実用化を目指し「送受信光器の正確な位置合わせ（キャリブレーション）の手法の確立」、「降雨等の天候の影響による屋外通信特性の検証」、「信号強度の低下やキャリブレーション不完全の存在下でも高性能な通信を実現する新しい信号方式の検討」について検討した。

### 2 光軸調整手法の確立

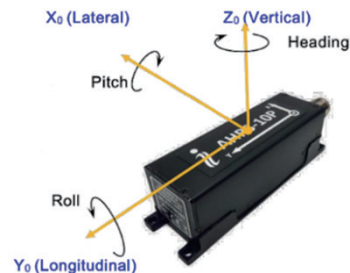
光軸調整（キャリブレーション）においては、送受信素子を正確に対向させることが必要になる。第2図に示す姿勢方位基準装置AHRS-10 (Altitude & Heading Reference System) は加速度センサ・ジャイロセンサ・磁力計センサを有しており、3軸角度（Roll, Pitch, Heading）の数値化により光軸調整（粗調整）

を行った。

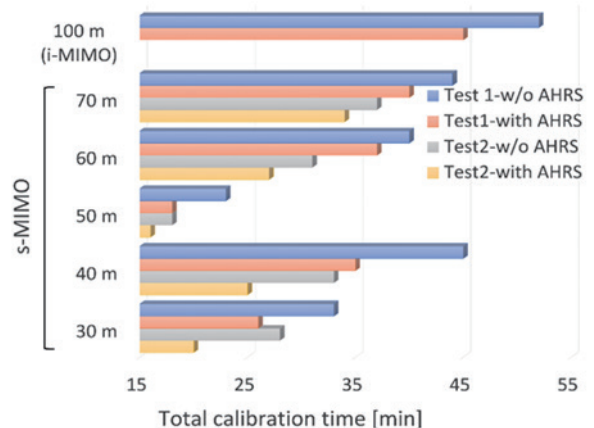
#### 【姿勢方位基準装置（AHRS-10）を利用した光軸調整法】

- (1) 送信機側アレイ、受信機側アレイが同じ地上高で対向するように設置する。
  - (2) 送信機側アレイにAHRS-10を取付け、三脚の調節ねじでPitch、Rollを0°にする。
  - (3) 受信機側アレイにAHRS-10に移動し、三脚の調節ねじでPitch、Rollを0°にする。さらに送受信側双方のアレイのHeadingの差が180°になるよう調整する。
  - (4) 受光機の周波数スペクトラムを確認して微調整する。
- ※従来の光軸調整は、上記(2),(3)の部分で周波数スペクトラムを用いて少なくとも1つの信号の受信により粗調整する手法を行っており、試行錯誤で調整している。

試験結果を第3図に示す。姿勢方位基準装置を用いることで光軸調整にかかる所要時間が短縮できている。



第2図 検証に用いた姿勢方位基準装置



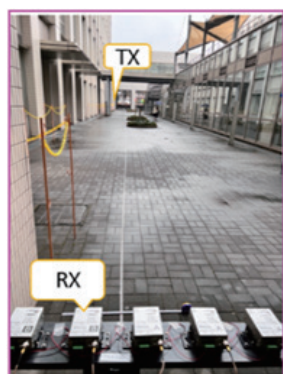
第3図 試験結果（光軸調整の所要時間）

### 3 雨天時における屋外通信特性の検証

雨天時には降雨により光路が遮られ信号強度低下が生じるおそれがある。そのため屋外環境で光無線通信伝送試験を実施し、降雨による減衰がシステム性能に与える影響を評価した。試験状況を第4図に、試験結果を第5図に示す。

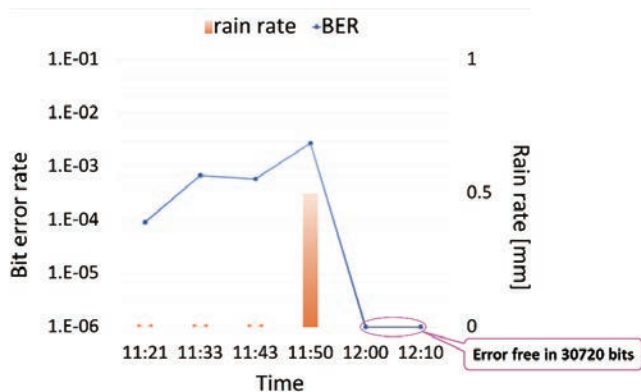
#### 【結果】

- ・降雨による信号強度の低下が見られビット誤り率特性の劣化があるが、小雨程度であれば70mの通信が可能である。(ビット誤り率は $1 \times 10^{-2}$ 以下であり、誤り訂正符号化を行うことで実用可能)
- ・規格化伝送路行列、行列の大きさ(フロベニウスノルム)を確認し、降雨の影響は伝搬路行列の各要素を均等に低下させる信号減衰であった。



光変調器台数	4[台]
光変調器間隔	17.5[cm]
送信データ速度	25M×4[bps]
対向距離	70[m]

第4図 屋外試験状況 (4×4 s-MIMO)



第5図 試験結果 (降雨によるビット誤り率の変化)

### 4 新しい送信信号と受信方式の検討

光変調器と伝送距離の増加に伴い、平均誤り率特性劣化や各送信光器からの信号誤り率特性のばらつき増大が生じる。そこで光変調器毎の性能(誤り率特性)が異なり、かつそれが時間的に大きく変化しないという光無線通信の特徴から、光変調器毎のビット誤り率特性を利用した誤り訂正符号化方式として、LDPC(Low-Density Parity Check)符号を検討しシミュレーションで効果を確認した。

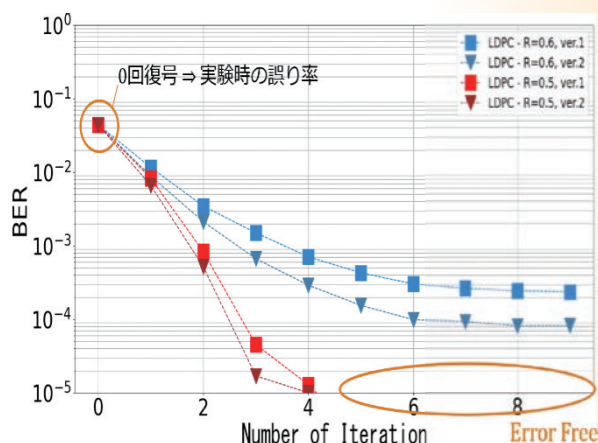
#### 【LDPC符号の特長】

- ・疎な検査行列によって定義される線形符号
- ・高い符号化率かつ現実的な計算量で誤り訂正が可能

#### 【シミュレーション内容】

- (1) 検査行列の生成  
検査行列をギャラガーの構成法により生成
- (2) LDPC符号の生成  
情報シンボル列をランダムに作成し、上記の検査行列からLDPC符号化を行う
- (3) 受信語の生成  
各チャンネルの誤り率に基づきランダムに誤りを与える
- (4) 送信語の推定  
前記の受信語に対し、検査行列、各冗度にに基づき確立領域 sum-product 復号法により送信語の推定を行う

シミュレーション結果を第6図に示す。2種類の符号化率(R=0.5, 0.6)の各2パターン(計4つの検査行列)にて復号を繰り返しビット誤り率の性能改善を確認した。



第6図 シミュレーション結果

### 5 まとめ

姿勢方位基準装置を用いた光軸調整手法の有効性が確認できた。また、新しい信号方式を利用することで、屋外通信に対してもビット誤り率の改善を図ることが確認できた。本研究により高速長距離光無線の要素技術として有用性が確認できた。一方で製品化やシステムへの実装、他の通信技術との経済性等の課題があるため、今後の技術動向に注目していきたい。

### 6 あとがき

本研究は名古屋大学未来材料・システム研究所片山正昭教授、Chedlia Ben Naila助教との共同研究により実施した。