The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	Study on Design and Performance Evaluation of Free Space Optical Communication System for Radio Signal Transmission
Author(s)	Kim, Kyung-Hwan
Citation	大阪大学, 2012, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/1947
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

【132】

氏　　名	金（キム）　經（キョン）　桓（ハン）（Kyung-Hwan Kim）
博士の専攻分野の名称	博　士（工学）
学　位　記　番　号	第　２５５２３　号
学位授与年月日	平成24年３月22日
学位授与の要件	学位規則第４条第１項該当 工学研究科電気電子情報工学専攻
学　位　論　文　名	Study on Design and Performance Evaluation of Free Space Optical Communication System for Radio Signal Transmission （電波信号を伝送する自由空間光通信システムの設計と性能評価に関する研究）
論文審査委員	（主査） 教　授　小牧　省三 （副査） 教　授　三瓶　政一　　准教授　塚本　勝俊　　教　授　滝根　哲哉 教　授　北山　研一　　教　授　馬場口　登　　教　授　井上　　恭 教　授　鷲尾　　隆　　教　授　溝口理一郎

論文内容の要旨

The primary objective of this thesis is to study design and performance evaluation of radio on free space optical (RoFSO) communication system for radio signal transmission. This thesis is organized as the following five chapters:

Chapter 1 addresses the background of the research on free space optical communication system for radio signal transmission. The object of the research, RoFSO communication system, is introduced, and its basic configuration, characteristics, merits, and differences with the conventional free space optical (FSO) communication systems are discussed. From the discussion, the necessity of a research on design and performance evaluation of RoFSO system is explained. Also, the objective and significance of the thesis are described.

Chapter 2 proposes models of optical scintillation and optical transmission loss for design and performance evaluation of RoFSO system. Firstly, a spectral model of optical scintillation applicable to RoFSO system is proposed, which enables us to estimate the spectral parameters of cutoff frequency and spectral slope in the power spectral density (PSD) of optical scintillation from a given conditions of time-zones, temperature, and rainfall intensity. Dependencies of the spectral parameters on the weather parameters, and the difference between daytime and night are investigated. Secondly, dependency of scintillation index on the weather parameters is investigated for FSO system, and the results are extended to estimate the scintillation index for RoFSO system. Thirdly, a new optical transmission loss model applicable to RoFSO system is proposed on the basis of measured data in a long-term experiment of RoFSO transmission. Estimation of RoFSO link margin is conducted by the use of the model.

Chapter 3 evaluates the effect of optical scintillation on the system performance, especially on the throughput of WLAN signal transmitted over RoFSO system, because it is expected that WLAN system is susceptible to the effect of optical scintillation due to its high bit rates and modulation level. In this analysis, both optical intensity fluctuation speed and strength are considered. The normalized Gamma distribution is introduced as a statistical model of optical scintillation in the analysis. Time-correlated optical scintillation model is proposed, which can express the time correlation characteristic and the probability density function of optical scintillation. The evaluation is performed for the worst case that the scintillation index is largest. Changes of throughput performance caused by optical scintillation are quantitatively evaluated. Moreover, the evaluations under the radio communication environments like office and corridor are also conducted, and the effects of optical scintillation in RoFSO channel and shadowing in radio channel are compared and discussed.

Chapter 4 proposes WDM optical power allocation method as a design method for RoFSO system. The proposed method can effectively guarantee the regulation for each of heterogeneous radio signals at a remote station of RoFSO downlink under the condition that total optical transmitted power is limited by Eye-safety regulation. To effectively guarantee different requirement on each wireless service signal, a ratio of WDM optical power allocation is theoretically derived for the fixed

optical modulation indexes (OMI) and the optimum OMIs. The results show that the proposed method can improve the tolerable optical transmission loss and the achievable RoFSO link distance, compared with the equal WDM power allocation method, for the cases of the fixed OMIs and the optimum OMIs.

Chapter 5 summarizes obtained in the original works mentioned previous chapters and gives the important role of originally proposed methods in the RoFSO system study, and the thesis is concluded.

論文審査の結果の要旨

本論文は、電波信号を伝送する自由空間光通信システムの設計と性能評価に関する研究成果をまとめたものであり、以下の5章より構成されている。

第1章では、本研究の背景となる従来技術であるディジタル自由空間光通信方式と、本研究で新しく提案する光ファイバ中に閉じ込められた無線信号をそのまま自由空間光信号として伝送する方式（RoFSO: Radio on Free Space Optics)との相違点を述べ、提案方式の基本構成と優位性を明らかにしている。 また、RoFSO方式については、これまでと異なった構成となるため、空間光伝搬路のシンチレーション変動など新たに性能評価とその設計法を明らかにする必要があることを述べ、本研究の位置づけと目的を明らかにしている。

第2章では、RoFSO方式の特性評価を行うための光伝搬路モデルを構築し、新しく光シンチレーション評価モデルを提案している。すなわち、シンチレーション速度と時間相関を表現するため、カットオフ周波数とスペクトル傾斜パラメータを用いたシンチレーションスペクトルモデルを提案し、長期間にわたる実測データにもとづき、それらのパラメータと昼夜間などの時間帯、温度、降雨との関係を明らかにしている。

第3章では、高速伝送ならびに多値変調を使用する無線LAN信号が、RoFSO伝送時に光空間におけるシンチレーションの影響を最も受けやすい方式と想定されるため、当該方式を選択し、光シンチレーションによる影響をシミュレーション計算を用いて評価している。本評価では、シンチレーション変動とともに、さらに光強度分布として従来から提案されている各種の分布を実測結果と比較し、ガンマ分布が最も適切であることを明らかにしている。この分布を使用し、最悪シンチレーション状況下での定量的な評価を実施している。伝搬路としては、オフィス室内並びに廊下状の通路を選択し、シンチレーションと伝搬路遮蔽効果を考慮したシミュレーション計算によりスループット特性を定量的に明らかにし、シンチレーションと遮蔽効果のいずれかのみが存在した場合に比べ両者が同時に存在した場合の劣化が著しいことを明らかにしている。

第 4 章では、光波長分割多重を用いて異なった無線システムを伝送するRoFSO方式に対し、各システムの所要特性と光変調強度(OMI: Optical Modulation Index)などのリンク設計法の関係を明らかにしている。 さらに、眼球防護指針で定められた総合光信号強度制限条件下において、各種無線システムが所要の特性を満足するためのOMI最適配分手法を提案し、その具体的設計法を明らかにしている。この結果、従来から採用されてきたOMIを等配分する手法に比べ、RoFSOリンク距離の増大、光損失に対する耐性向上が可能であることを明らかにしている。

第5章では、本論文をまとめ本研究で得られた結果の総括を行っている。

本論文で得られた成果は、下記のとおりである。

(1) 空間光伝搬路におけるシンチレーションモデルとして、シンチレーションスペクトルモデルを新たに提案し、長期の実測データを使用して、このモデルで使用する各種パラメータと昼夜間等の時間帯、温度、降雨の関係を明らかにし、RoFSO 方式の評価を可能にした。

(2) 最も光シンチレーションの影響を被りやすい無線 LAN を用いた RoFSO 方式のシミュレーション計算を実施し、シンチレーションならびに光伝送路遮断を同時に含む条件下でのスループットを含む特性の定量的評価を可能にした。

(3) 光波長分割多重を用いて各種の異なった無線信号を伝送する RoFSO 方式において、光送信出力制限条件下で最適な光変調度配分を行う手法を新しく提案構築し、光リンク距離を増大可能とした。

以上のように、得られた成果は、携帯基地局ネットワーク、地上デジタル放送、無線 LAN などの各種無線通信システムに柔軟かつ共通に利用可能な通信基盤の構築に大きく寄与している。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。