

A Study on Optical Wireless Communication Systems and Their Applications

(光無線通信方式とその応用システムに関する研究)

田 中 裕 一

論 文 の 内 容 の 要 旨

近年、ユビキタスコンピューティング、あるいはユビキタスネットワークングという概念が注目を集めている。この「ユビキタスコンピューティング」という言葉は、ただ単にコンピュータや端末をどこにでも持っていけるという事を意味しているだけではない。ユーザは有線ネットワークにおいて得られるサービスと同じ品質のサービスをどこにいても享受できなくてはならないのである。このように、次世代の通信環境は、非常に大容量のバックボーンネットワークと非常に高速な多数のアクセスネットワークから構成されなければならない。このような高速なアクセスネットワークを実現するためには、高速な無線ネットワークが必要となる。これを受けて、過去5年間の間にも無線通信技術は急速な発展をし、また、ユーザ数も急激に増加した。このため、周波数資源は枯渇してきており、また、用いられている周波数帯も高くなってきている。

高速な無線ネットワークを実現する一つの方法として、光無線通信システムが注目を集めている。光無線通信システムは電波を用いた無線通信システムと比較して、次のような特徴を持っている。

1. 光無線通信システムで用いられる光搬送波は広い帯域を持っているので高速伝送に適している。
2. 光無線通信システムに用いられるデバイスは低コストで実現可能であるため、コンシューマ通信ネットワークに適している。
3. 光波は壁のような不透明な物質を通過する事ができない。このため、光波は秘匿性に優れており、ネットワーク構成が簡単になる。
4. 光無線通信ネットワークは電波を用いるわけではないので、病院内や飛行機など電磁干渉が問題となる場所でも使用する事ができる。
5. 光無線通信システムには、法的規制がない。

これらの特徴を持つため、光無線通信システムは高速無線アクセスネットワークを実現する手段として注目を集めている。

しかし、光無線通信システムに関する研究はまだまだ少なく、多くの問題が解決されていないままである。たとえば、光無線LANを室内拡散チャネルにおいて構成する場合、壁やその他の物質によって反射されるためマルチパスが生じ、波形にひずみが生じる事になる。したがって、室内光空間伝送においては高速な伝送が難しい。さらに、光波は不透明な物質を通過しないので、シャドウイングが大きな問題となる。

本論文では、光無線通信システムにおけるこれらの問題を解決するためにいくつかの新しい方式を提案する。

第1章では、光無線通信システムの概要について解説する。また、光無線通信システムにおける基礎的な技術を紹介し、本論文の目的について述べる。

第2章では、室内拡散チャネルにおける符号間干渉の影響を低減するために、複数の波長を用いた並列伝送方式を提案する。室内拡散チャネルでは、マルチパスがあるため符号間干渉を生じる。とくに1Gbit/s以上を達成できるような高速な光無線LANを想定した場合、この問題は深刻である。符号間干渉は著しく通信品質を劣化させる事になる。この章では符号間干渉の影響を小さくするために、複数の波長を用いた並列伝送方式を光無線通信システムに適用する。本方式は、並列伝送を用いて、チャネル当たりの伝送速度を低減する事ができるので、通信品質を改善する事ができ、また超高速無線LANを実現する事ができる。さらに本方式においては、波長方向に符号化を行う、パラレルコーディングを適用する事で、全体の伝送速度を下げる事無く符号化を適用する事が可能である。

一方でLine-of-Sight (LOS) リンクは拡散チャネルと比べて高速な伝送を可能とするが、シャドウイングが重要な問題となる。そこで第3章では、白色LED照明を用いた室内照明光データ伝送方式を提案する。白色LEDは近年急速に注目をされているデバイスであり、次世代の照明用光源になると考えられている。本提案方式では、これら白色LED照明がただ単に部屋を明るくするだけではなく、光無線通信システムのためのデバイスとして用いられる事になる。一般に、照明設計を行う段階で照明技術者は、部屋全体に光が行き届くように照明を配置する。通信技術者としてこれを見ると、天井にうまく配置されたLED照明は、シャドウイングの生じにくいLOSリンクを実現する事ができる。さらに本方式は輝度の高いLED照明を用いているので、光無線通信システムとして高品質な通信を達成する事ができる。第3章では、照明工学の観点と通信工学の観点から、本方式の可能性について議論される。一方で、本方式では多くのLEDを用いているので光路差によって生じる符号間干渉が問題となる。したがって、ここではこの光路差の影響について調べ、また、この問題を軽減する二つの方式を提案する。一つは、On-Off Keying, Return-to-Zero (OOK-RZ) 符号を適用する方法であり、もう一つは光OFDM方式を適用する方法である。これらの方式について、計算機シミュレーションを行い、これらが室内照明光データ伝送方式において有効な方式である事を示す。

第4章では、屋外における光無線通信方式の応用として、集合住宅のための光サブキャリア変調を用いたワイヤレスCATVシステムを提案する。CATV伝送路は広い帯域を持っており高品質な伝送を可能にするため、データ伝送路としても近年注目をされており、多くのケーブルテレビ事業者がアナログ映像と同時にインターネットサービスプロバイダ (ISP) として双方向データ伝送サービスを提供している。しかしながら、CATVチャネルは樹上構造をしているため、上りリンクを考えた場合に、流合雑音が生じ通信品質を劣化させる。この問題は古い集合住宅において顕著である。古

い集合住宅ではデータ伝送対応していない古い同軸ケーブルを用いている事が多いため、雑音の影響を受けやすいのである。提案した光無線通信方式を用いたワイヤレスCATVシステムでは、システムの末端を無線化する事で各加入者宅内で生じた雑音の影響を受けずに済む。本方式では、光無線送信機を各加入者宅のベランダに設置し、光アクセスポイントを集合住宅の屋上に設置する。このように垂直方向の光無線リンクを実現する事で、集合住宅のそばにたっている樹木などの影響を受けにくくし、シャドウイングによって通信が遮られる事を防ぐ。また、光サブキャリア変調を用いており、あるキャリアで変調された電気信号が直接光強度に変調される。したがってサブキャリア変調は光アクセスポイントの構成を単純にし、ケーブルヘッドエンドにおいて映像信号と同時にデータ信号を扱う事を容易にする。さらに二つ以上のチャンネルを用いて並列伝送をする事ができるので、高速な伝送が可能である。

最後に第5章において本論文がまとめられる。

以上