

# フェムト秒レーザーパルス整形法を応用した超広帯域無線通信用可変信号源

## UWB Signal Source with Arbitrary Pulse Shapes using Femtosecond Laser Pulse Shaping

河野太貴(M2), 中島和真(B4)

T. Kono and K. Nakazima

### Abstract

A UWB signal source with arbitrarily variable pulse shapes is developed using pulse shaped femtosecond laser pulses and O-E conversion. The most advantage of this scheme is that transfer functions of electric devices such as amplifier, filter and antenna can be compensated for by shaped laser pulse. The group delay is compensated UWB signals ranging in 3-6 GHz are successfully transmitted with an antenna. setup

### 1 はじめに

3~10 GHz 帯の電磁波を用いる超広帯域(UWB)無線 [1]は、搬送波を必要とせず、高速通信や低消費電力の点からさまざまな通信応用に期待されている。ただし、無線 LAN などの既存の無線通信と周波数帯を共用しているため、そのシステム間干渉が問題となり、これまでも UWB と既存無線通信との相互干渉や UWB が通信以外の電磁波源から受ける影響など多くの研究がなされている [2-5]。超短パルスを用いる UWB-IR(Impulse Radio)方式では、パルスのピーク強度が強くなるため、既存無線通信に与える影響がとくに大きくなるが、周波数特性、特に群遅延のない UWB-IR パルス発生は容易ではないため、正確な干渉度合いの測定が難しく、UWB-IR 方式の策定が遅れている。

一方、フェムト秒レーザーパルスの光電変換を利用した高周波可変電磁波源が数例報告されている [6-8]。UWB 通信用アンテナ、増幅器、フィルタには、それぞれ振幅、位相周波数特性があるので、広帯域パルス電磁波においては波形の歪み、群遅延特性が無視できなくなる。フェムト秒レーザー光パルス整形法は、細かい振幅制御が可能であることから、システム全体の周波数特性を把握して、それらの振幅、位相周波数特性の両者を入射レーザーパルス波形で補償することでより

波形精度の良い UWB 電磁波伝送実験が可能となる。ひいては、群遅延のない UWB-IR 伝送実験も可能になる。

本論文では、波長 800 nm のフェムト秒レーザーと波形整形器、および正常分散光ファイバを用いて、3.1-5 GHz 帯の可変 UWB 電磁波パルスの送受信を行い、精度良い伝送が実現できることを報告する。

### 2 実験

本研究では数 GHz 帯の UWB-IR パルスを生成させた結果について報告する。Fig.1 に示す実験セットアップにおいて、光源としてモード同期チタンサファイアレーザー(パルス幅 40 fsec, 中心波長 800 nm, スペクトル幅 40 nm, 繰り返し周波数 76 MHz)を用いた。整形前の光源スペクトルを Fig.2 に示す。光ファイバ伝播後のスペクトルは非線形効果により若干広がる。光電変換には 45 GHz 帯高速フォトダイオードを用い、増幅率 42dB, カットオフ周波数 8.5 GHz の増幅器を用いて電圧増幅した。しかしフォトダイオードは強度信号に対応する光電変換を行うので、信号を正負両方にとることができない。そこで本実験では光スペクトルのベースラインの上に UWB 信号に対応する振幅変調を整形し、Fig.3 のような時間波形を光電変換で発生させ、その後ベースライン成分をフィルタ(帯域 2.6 ~ 9.0 GHz)にてカットした。生成された UWB パルスは、同軸ケーブルを UWB 用広帯域アンテナ(YKC 社製自己補対アンテナ, 帯域 3~11 GHz)に半田付けて伝送した。

本研究における各素子の特性をインパルス応答により求めた。実際には SLM4pixel 分のみを透過させることでパルス幅 60 psec, 帯域幅 10 GHz のパルスを生成し、それを全システム、すなわちフォトダイオード、増幅器、ハイパスフィルタ、アンテナにて伝送した際の応答をインパルス応答とした。Fig.4 に測定した全システムインパルス応答である。Fig.5, Fig.6 はこのイン

パルス応答のFFTより算出した振幅伝達周波数特性及び群遅延である。有効な周波数帯が6 GHz程度までしかないが、これはアンテナを半田付けしたことによる影響だと考えられる。

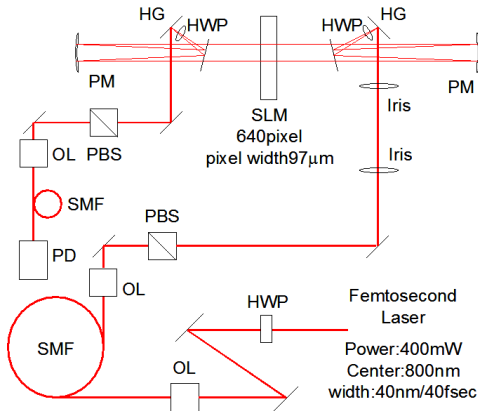


Fig.1 An experimental setup of femtosecond laser pulse shaper and fiber pulse stretcher.

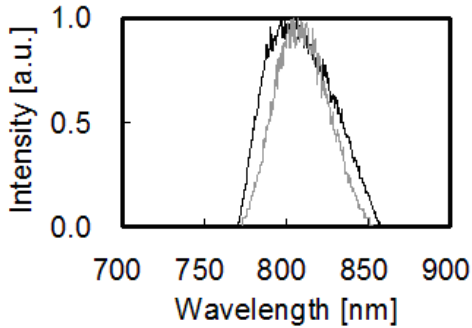


Fig.2 The spectrum of an femtosecond laser source (black: after the fiber, gray: before the fiber).

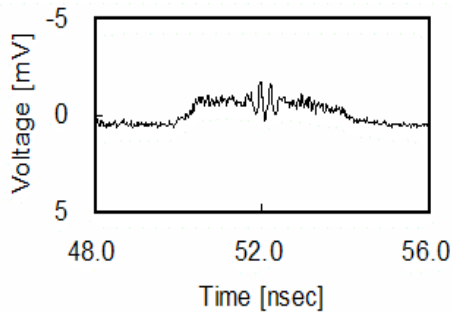


Fig.3 GHz amplitude modulation created on a trapezoid pulse.

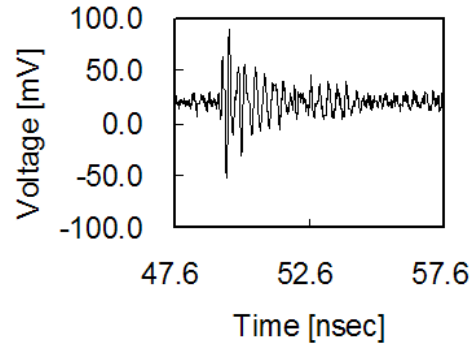


Fig.4 Impulse response of the whole transmission system.

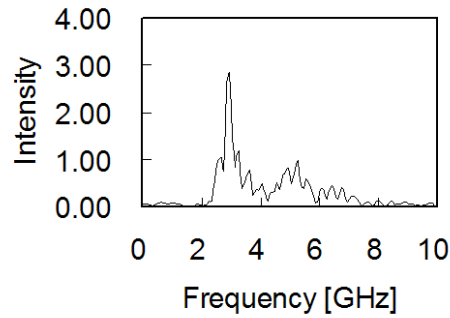


Fig.5 FFT spectrum of the impulse response shown in Fig.4.

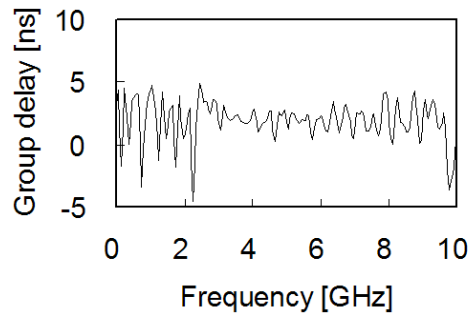


Fig.6 Group delay of the impulse response.

### 3 実験結果

3.1-5 GHz 帯 Low-band UWB 信号の全システムを介した出力波形を Fig.7 に、その理論波形との比較、スペクトル、群遅延特性をそれぞれ Fig.8, Fig.9, Fig.10 に載せた。Fig.7 の曲線において黒色が測定波

形を示し、灰色が理論波形を示す。相関係数は 0.91 と高い値が得られ、理論波形に近い出力を得る事が出来た。また別に 4-6GHz 帯においても同様の実験を行い、同様に相関係数 0.88 と高い値が得られていることから、可変信号源として機能することがわかる。本実験では周波数特性の補償は行わなかった為、スペクトルの形が矩形からずれてしまっている。分散についてはほぼゼロとなっている。

また全体を通してスペクトルの位置が理論的な場合と比較して多少ずれてしまっている。これには様々な要因が考えられるが、特にスペクトル分解能の問題が挙げられる。これは設計波形が厳密にスペクトル整形（時間波形）に転写されないという意味である。それは、フーリエ面上のピクセル幅が有限の値を持つことに起因する。その為たとえ連続的な時間信号を想定したとしても、変調マスクに直す際に量子化されてしまう。結果変調マスクはステップ状の関数となってしまい、時間波形では見えてこない微量の誤差がスペクトルに影響されてしまっているものと考えられる。スペクトル領域において、周波数振幅に若干のずれが見受けられるが、ほぼ設定した範囲に収まっているといえる。群遅延は設定した周波数範囲内では一定の値を保っている為、分散はほとんど印加されていない。これらの結果より、パルスの裾部分の不一致がスペクトル領域の微量なずれとして現れると結論付けられる。

またここでは Fig.5 のような周波数振幅特性により高周波側の振幅特性の減衰が大きいため、Low-band に限定したが、3.1-10.5 GHz 帯の UWB 信号においても各素子をそれぞれ帯域の十分大きいものに置き換えるのみで十分可能である。また 5 GHz 帯の成分を除く作業もフィルタを使わずに出来、技術的に難しい部分はほとんど無い。

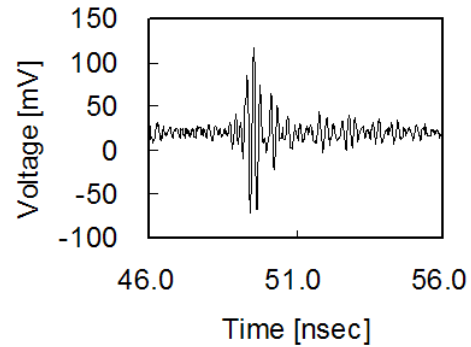


Fig.7 Transmitted 3.1-5 GHz UWB-IR signal.

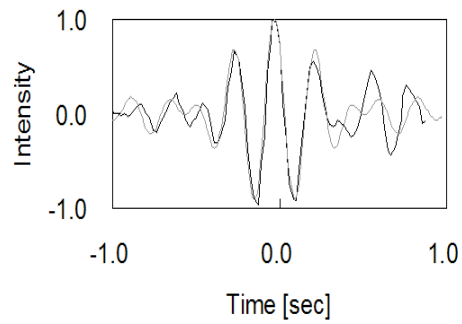


Fig.8 Transmitted 3.1-5 GHz UWB-IR signal (black: measurement, gray: calculation).

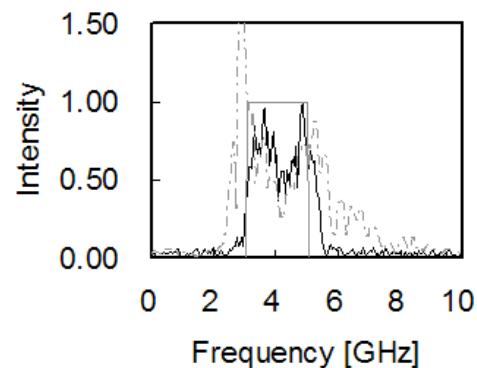


Fig.9 FFT spectrum of 3.1-5 GHz UWB-IR signal (black: measurement, gray: calculation, dotted gray: impulse response).

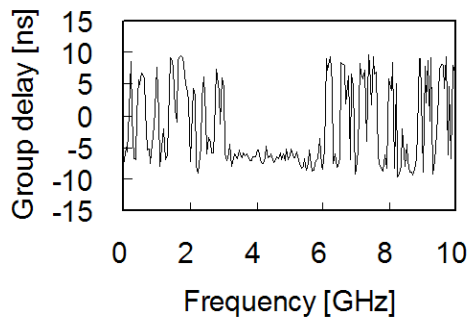


Fig.10 Group delay of the 3.1-5 GHz UWB-IR signal.

#### 4 結論

本研究では UWB-IR 方式の 3.1-6 GHz 帯において歪の無いインパルス波形生成を行った。フェムト秒レーザパルス整形法による波形整形技術を適用し、理論値と比較して高い相関を得ることが出来た。

これを既存無線通信システムとの干渉度合いを調べる実験に応用することが出来ると考えられる。制御に要する、つまり SLM の変調にかかる時間が数秒である為、繰り返しに相当するパルス一つ一つに二相位変調等の一次変調を行う事は出来ない。しかしそれでも波形を自由に制御する事が可能である為、既存無線に与える UWB-IR 方式の影響を調べる上で有用なツールになると考えられる。

#### References

- [1] "First report and order (revision of part 15 of the Commission's rules regarding ultra-wideband transmission systems)," FCC, Washington, DC, eT Docket 98-153, adopted February 14, 2002, released April 22, 2002.
- [2] L. Zhao and A.M. Haimovich, "Performance of Ultra-Wideband Communications in the Presence of Interference," IEEE J. Selected Areas in Commun. vol.20, no.9, pp.1684-1691, 2002.
- [3] E. Baccarelli, M. Biagi, and L. Taglione, "A novel approach to In-Band Interference Mitigation in Ultra Wide Band Radio Systems," IEEE Conf. Ultra Wideband Systems and Technologies, IEEE Press, pp.297-391 2002.
- [4] M. Hämäläinen, V. Hovinen, R. Tesi, J. H. J. Iinatti,

and M. Latva-aho, "On the UWB System Coexistence With GSM900,UMTS/WCDMA, and GPS," IEEE J. Selected Areas in Commun. vol. 20, no.9, pp.1712-1721, 2002.

- [5] IEEE P802.15-05/0643r1, "UWB Interference Measurement Report of Japan," 2005.
- [6] J. Chou, Y. Han, and B. Jalali, "Adaptive RF-phonic arbitrary waveform generator," IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 15, no. 4, pp.581-583, 2003.
- [7] I. Lin, J. D. McKinney, and A. M. Weiner, "Photonic synthesis of broadband microwave arbitrary waveforms applicable to ultra-wideband communication," IEEE Microw. Wireless Compon. Lett., vol.15, no.4, pp.226-228, 2005.
- [8] J. D. McKinney and A. M. Weiner, "Compensation of the Effects of Antenna Dispersion on UWB Waveforms via Optical Pulse-Shaping Techniques," IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques, vol.54, no.6, 2006