

ULSI 超高速ワイヤレス配線システム (3)

—CMOS ウルトラワイドバンド受信回路の設計—

佐々木信雄 (COE 研究員)

Pran Kanai Saha (COE 研究員)、

吉川公磨 (ナノデバイス・システム研究センター教授, 先端研半導体集積科学専攻)

1. 研究目的

我々は ULSI の RC 遅延を解決するためワイヤレス配線技術として集積化アンテナを開発してきた[1, 2]。一方、近距離通信手段として注目されている UWB(超広帯域)通信技術[3, 4]をワイヤレス配線技術に応用し、0.18 μ m CMOS 設計ルールを用いて 4-5GHz で動作するシングルチップ UWB 受信回路の開発を目指している。

2. これまでの研究成果概要

図 1 及び 2 は、CMOS 0.18 μ m 設計ルールを用いて開発した UWB 受信回路の顕微鏡写真及び回路ブロック図である。UWB 受信回路は、入力インピーダンス 200 Ω (1GHz) ~ 107 Ω (10GHz) のインピーダンス整合回路、ゲイン 15.6dB の 2 段低雑音増幅回路 (LNA)、パルス相関回路 (ミキサ+積分回路)、アナログ・デジタル変換回路 (S/H 回路+比較回路) などで構成される。入力信号 $V_{in}(t)$ は、ガウシアン・モノサイクルパルス列 (以下 GMP) である (中心周波数 $f_c = 5$ GHz、パルス幅=0.2ns、3dB バンド幅=5.8GHz)。周期 $2T$ 、周波数 $f_n = n/2T$ 、中心周波数 f_c を持つ GMP のフーリエ展開及びフーリエ係数は、次式で与えられる。

$$V_{in}(t) = -\frac{\sqrt{2\pi}}{T} \sum_{n=1}^{+\infty} F_n \sin(2\pi f_n t) \quad (1)$$

$$F_n = \frac{A}{2} \left(\frac{f_n}{f_c} \right) e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{f_n}{f_c} \right)^2} \left[\operatorname{erf} \left\{ \frac{i}{\sqrt{2}} \left(\frac{f_n}{f_c} \right) + \sqrt{2\pi} f_c T \right\} - \operatorname{erf} \left\{ \frac{i}{\sqrt{2}} \left(\frac{f_n}{f_c} \right) - \sqrt{2\pi} f_c T \right\} \right] \quad (2)$$

変調方式はパルス位置変調 (PPM) である。すなわち、データ $d=1$ を送信する場合、パルスを微小時間 δ だけ遅らせて発振する。復調は、入力信号とテンプレート信号の相関 (T_0 は積分時間)

$$\int_{-T_0/2}^{T_0/2} V_{in}(t) \cdot V_{template}(t) dt \begin{cases} > 0 & \text{for } d=1 \\ < 0 & \text{for } d=0 \end{cases} \quad (3)$$

を取ることで行う。テンプレート信号は入力信号の差分で定義される。図 3 と 4 は HSPICE による、受信回路のシミュレーション結果であり、データの復調に成功している。

しかしながら、LNA の周波数特性は GMP の波形の歪みや位相シフトを引き起こし PPM ではビットエラー率の増加に繋がる。そこで、GMP の群遅延特性を詳しく調べた。図 5 の LNA 回路の出力信号は、伝達関数 $|A_v(f_n)|$ と位相特性 $\theta(f_n)$ を用いて

$$V_{out}(t) \approx -\frac{A\sqrt{2\pi}}{T} \sum_{n=1}^{+\infty} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{f_n}{f_c} \right)^2} \left(\frac{f_n}{f_c} \right) |A_v(f_n)| \sin(2\pi f_n t + \theta(f_n)) \quad (4)$$

と表される。図 6 は小信号等価回路モデル及び

HSPICE から、周波数特性を計算した結果であり、(4) 式に周波数特性を代入して計算した結果が図 7 である。小信号等価回路は、HSPICE の結果を再現する。LNA 後の波形は、明らかにパルス幅が伸長している。図 8 は LNA 前後の GMP の周波数スペクトルであり、5GHz から 4GHz へ中心周波数がシフトする。すなわち、パルス幅は 0.25ns となる。これは、LNA の周波数特性が単調減少なため、高周波域がカットされたと解釈できる。LNA におけるパルス幅の伸長分をあらかじめ考慮に入れてテンプレート信号の波形を与えれば、ビットエラー率を減少させることが可能である。

3. まとめと今後の展望

0.18 μ m CMOS 設計ルールを用いて 4-5GHz 帯域で動作するシングルチップ UWB 受信回路の開発設計を行った。ガウシアン・モノサイクルパルスの、LNA から受ける群遅延に関し、小信号等価回路解析を行った、LNA 後の波形ではパルス幅の伸長が確認された。従って、ビットエラー率を減少させるためには、LNA の周波数特性を考慮したテンプレート信号波形が必要となる。今回の理論的解析については、SSDM 2004 に投稿中である。

4. 参考文献

- [1] B. A. Floyd and Kenneth K. O., IEEE J. of Solid State Circuits, 37 (2002) pp543-592.
- [2] A. B. M. H. Rashid, S. Watanabe and T. Kikkawa, Jpn. J. Appl. Phys. Part 1, 4B, 42(2003) 2204.
- [3] M. Z. Win and R. Scholtz, IEEE Trans. on Comm. 48 (2000) pp679-691.
- [4] S. Yoshizumi, T. Terada, J. Furukawa, Y. Sanada and T. Kuroda, IEEE Ultra Wideband Systems and Technologies (UWBST' 03), pp.438-442.

5. 研究業績

プロシーディング

1. N. Sasaki, P.K. Saha and T. Kikkawa, "Small Signal Analysis of Gaussian Monocycle Pulse for CMOS UWB Receiver Circuits", submitted to International Solid-State Devices and Materials SSDM2004, Tokyo, Japan.
3. N. Sasaki, P.K. Saha and T. Kikkawa, "A single chip UWB receiver based on 0.18 μ m CMOS technology for wireless interconnection", Proceedings of 2nd Hiroshima International Workshop on Nanoelectronics for Tera-Bit Information Processing, pp98-103.

口頭発表

- 1." UWB 受信回路の設計、"第 1 回アナログ RF 研究会、大阪大学、2003 年 10 月 7 日
2. "シングルチップ UWB 受信回路の設計とシミュレーション", 第 51 回 応用物理学関係連合講演会講演予稿集 (2), 28a-ZH-10, p.958 東京工科大学 2004 年 3 月 28 日 - 31 日

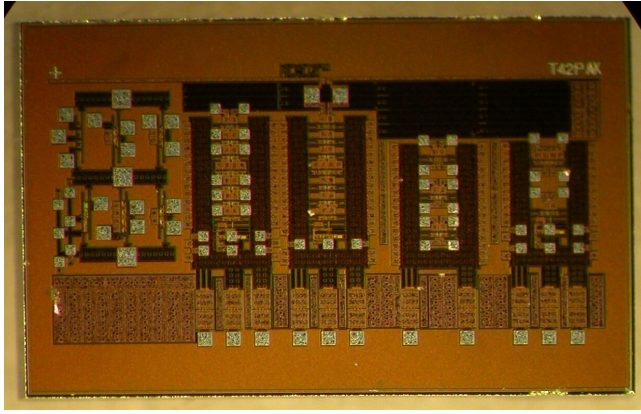


Fig. 1. Photograph of UWB receiver circuit (TSMC CMOS 0.18- μm mixed signal, $V_{dd}=1.8\text{V}$).

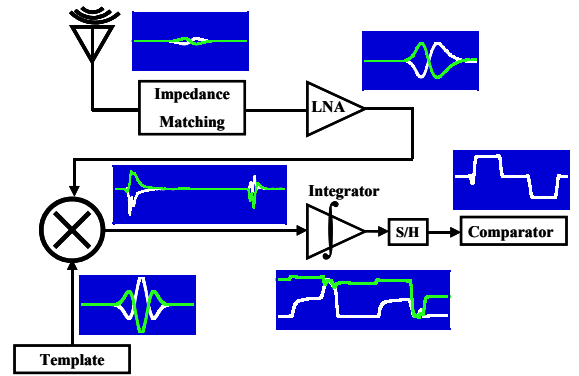


Fig. 2. Block diagram of UWB receiver circuits

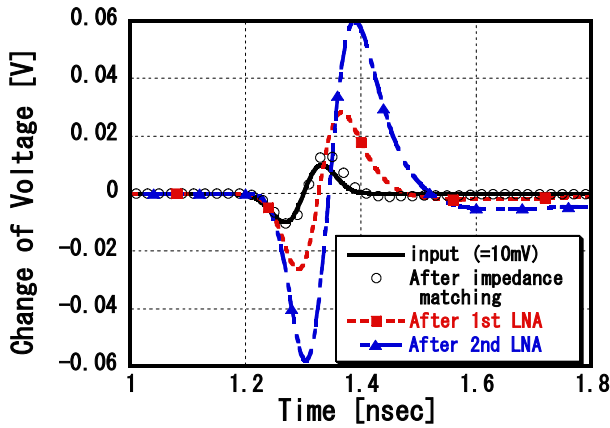


Fig. 3. Output wave form of receiver circuits (HSPICE).

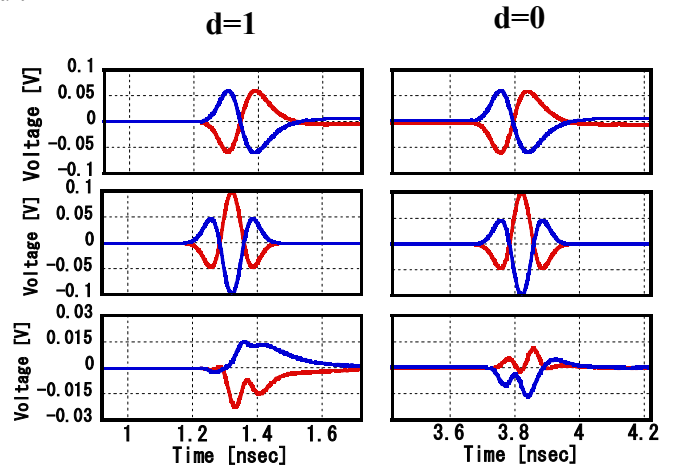


Fig. 4. Mixer input, template and output wave forms for data=1 and data=0.

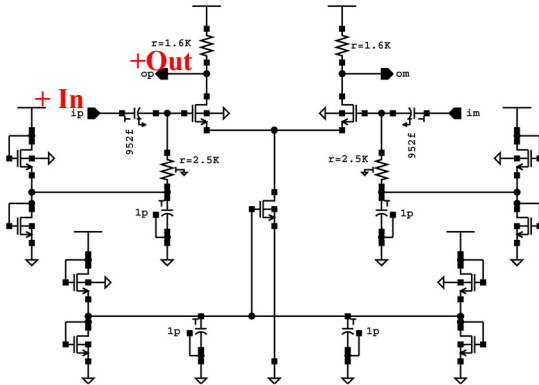


Fig. 5. Circuit diagram of differential amplifier.

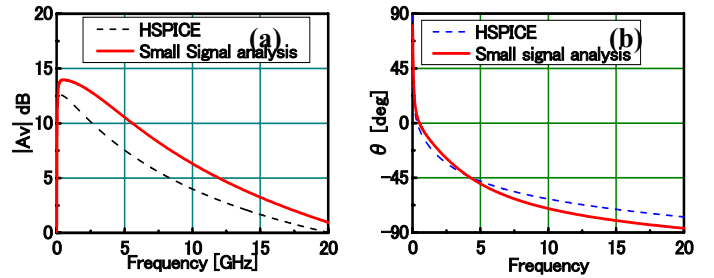


Fig. 6. Frequency response of LNA. (a) Gain (b) phase shift.

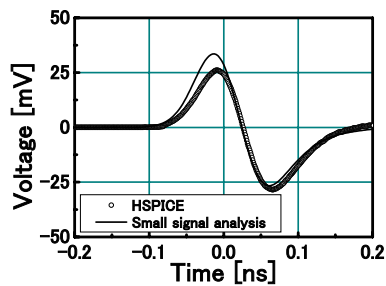


Fig. 7. Output wave form of LNA.

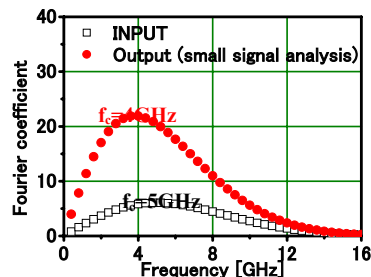


Fig. 8. Frequency spectra of LNA input and output.