

THIẾT KẾ VÀ MÔ PHỎNG HỆ THỐNG UWB VÀ ĐỀ XUẤT GIẢI PHÁP KẾT NỐI UWB TRONG MẠCH TÍCH HỢP 3-D

DESIGN AND SIMULATION OF ULTRA-WIDEBAND (UWB) SYSTEM AND PROPOSED A SOLUTION TO UWB CONNECTION IN THE THREE-DIMENSIONAL INTEGRATED CIRCUITS

Nguyễn Chí Nhân,
Nguyễn Văn Thái Bình,
ĐH Khoa học Tự Nhiên, Tp. Hồ Chí Minh.
Dương Hoài Nghĩa,
ĐH Bách Khoa, Tp. Hồ Chí Minh.
Đình Văn Ánh,
University of Saskatchewan, Canada.

TÓM TẮT

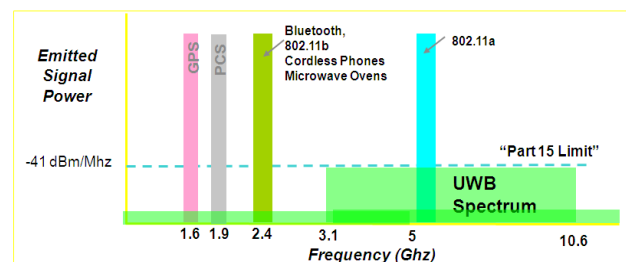
Hiện nay, vấn đề kết nối bên trong chip đối với các hệ thống kết nối truyền thống có thể sớm gặp phải những giới hạn về vật liệu cơ bản. Để vượt qua các giới hạn này, hệ thống kết nối không dây đã được đề xuất, nhằm thực hiện việc kết nối bên trong chip thông qua sóng điện từ bằng cách sử dụng hệ thống thu phát UWB. Hệ thống kết nối UWB có thể được sử dụng cho việc truyền tải cả hai tín hiệu xung clock và dữ liệu [6]. Trong bài báo này, chúng tôi tập trung nghiên cứu, thiết kế và mô phỏng hệ thống thu phát UWB, phân tích các yếu tố như: công suất tiêu thụ, tỷ lệ lỗi bit (BER) và đề xuất giải pháp kết nối UWB trong mạch tích hợp 3-D.

ABSTRACT

Today, traditional wire interconnect systems may soon encounter their fundamental material limits. To surpass these fundamental limits, wireless interconnect systems have been proposed, which realize intra-chip interconnection at the speed of light via electromagnetic waves using UWB transceiver. UWB interconnect systems can be used for both clock and data signals [6]. In this paper, we focus on research, design and simulation of UWB transceiver, analyze the factors such as power consumption, the bit error rate (BER) and propose a solution to UWB connection in the three-dimensional integrated circuits.

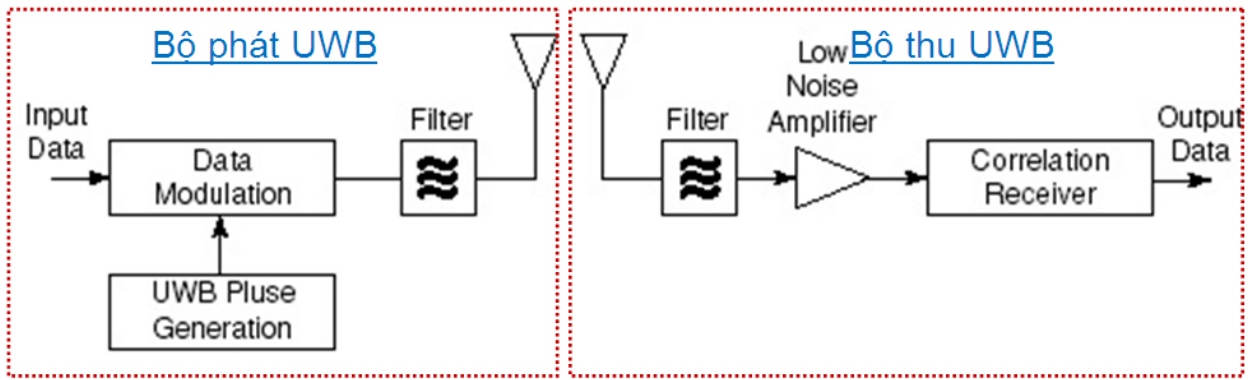
I. GIỚI THIỆU

Công nghệ truyền thông không dây băng siêu rộng Ultra-Wide Band (UWB) sử dụng những tín hiệu xung có tần số rất cao để truyền đi các bit dữ liệu qua môi trường không dây mà không cần thông qua quá trình điều chế cao tần như các hệ thống sử dụng công nghệ RF (Radio Frequency) thông thường. UWB cho phép truyền và nhận các xung dạng cơ bản được nén trong miền thời gian khác với việc truyền và nhận các sóng hình sin liên tục được nén trong miền tần số như trong các hệ thống thu phát truyền thống. UWB sử dụng một băng cực rộng của phổ tần số để truyền dữ liệu.



Hình 1: Quy định của FCC đối với hệ thống UWB (FCC: Federal Communication Community)

Hệ thống UWB được trình bày như trong hình 2, nó bao gồm các khối điển hình của bộ thu phát UWB.



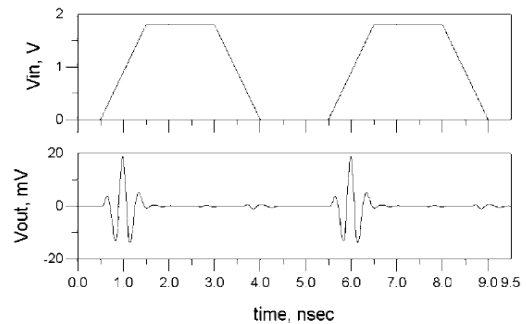
Hình 2: Mô hình bộ thu phát UWB

Trong đó:

-Bộ phát UWB bao gồm các khối: khối tạo xung UWB, khối điều chế dữ liệu, anten truyền.

-Bộ thu UWB bao gồm các khối: anten nhận, LNA, bộ thu tương quan (bộ lọc thích ứng)

Dữ liệu được đưa vào bộ phát kết hợp với dạng xung UWB thông qua điều chế tín hiệu để tạo ra các xung chuyên đến anten truyền đi. Ở bộ thu thực hiện chuyển đổi tương tự sang số cần thiết và giải điều chế tín hiệu được thực hiện trong miền tần số. Qua phân tích sơ lược về bộ thu phát UWB, cho chúng ta thấy rằng độ phức tạp chủ yếu trong hệ thống UWB nằm ở bộ thu.

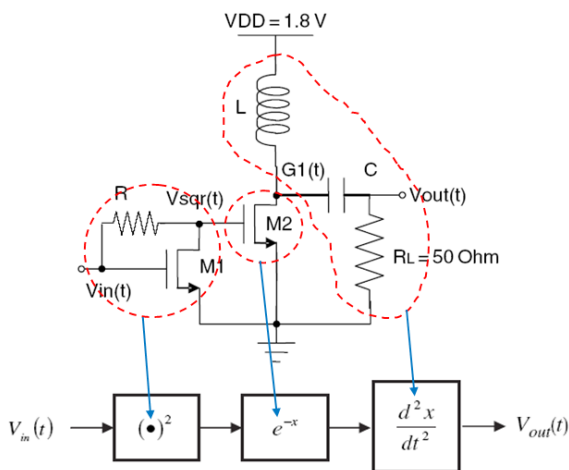


Hình 3: Mạch tạo xung UWB [3] và kết quả mô phỏng mạch tạo xung UWB

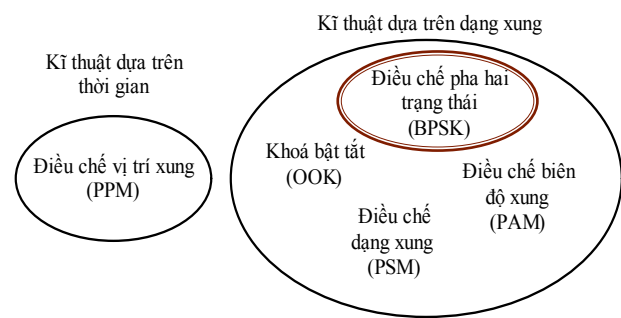
II. THIẾT KẾ HỆ THỐNG UWB

2.1 Kiến trúc bộ phát UWB

-Tạo xung UWB: Hầu hết hệ thống UWB sử dụng xung Gaussian [2] cho việc truyền nhận dữ liệu. Một mạch tạo xung được thiết kế gồm các hàm bình phương, hàm mũ, và đạo hàm bậc hai. Các hàm này được thực hiện qua ba giai đoạn như được trình bày trong sơ đồ khối ở hình 3. Chi tiết mạch tạo xung được trình bày trong hình sau:



-Phương pháp điều chế tín hiệu: Trong hệ thống UWB, một xung đơn bản thân nó không chứa thông tin. Chúng ta cần đưa thông tin số vào các xung, bằng các phương pháp điều chế. Các phương pháp điều chế được chia thành hai loại cơ bản dựa trên thời gian và dựa trên dạng xung:



Hình 4: Các phương pháp điều chế trong hệ thống UWB

Trong đó, phương pháp điều chế pha hai trạng thái (BPSK) được quan tâm. Phương pháp điều chế BPSK có thể định nghĩa như là một phương pháp điều chế dạng xung, phương pháp này điều chế bằng cách đảo dạng xung của một xung nào đó, do đó có công thức sau:

$s_i = \sigma_i p(t)$ (1), trong đó $\sigma_i = 1, -1$ được gọi là tham số dạng xung.

Với một hệ thống nhị phân hai dạng xung s_1, s_2 được định nghĩa đơn giản là

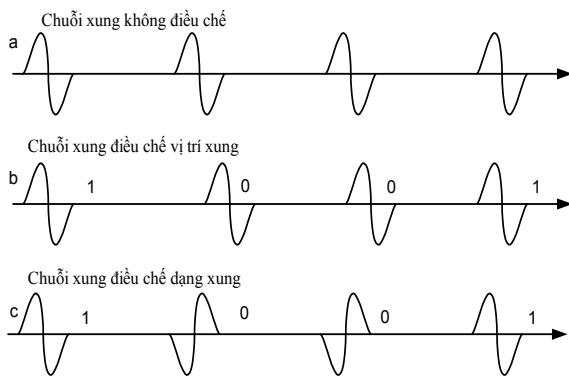
$$s_1 = p(t) \text{ và } s_2 = -p(t).$$

Điều chế BPSK trong hệ thống UWB có một số ưu điểm sau:

- Tỷ lệ công suất đỉnh tới trung bình nhỏ hơn 8dB. Do đó, điều pha hai trạng thái không cần bất cứ diode tunnel hay mạch khuếch đại công suất nào. Thay vào đó nó có thể hoạt động trực tiếp từ IC CMOS tốc độ cao công suất thấp.

- Điều chế pha hai trạng thái giảm các yêu cầu về rung pha. Trong PPM, quá trình đồng bộ phải bao gồm các phần tử điều khiển nhanh và chính xác để phù hợp với các thời điểm xung đến tùy ý. Nhưng hệ thống điều pha hai trạng thái cần chỉ một đồng hồ ổn định, nhiều pha thấp bởi vì các xung xuất hiện ở các thời điểm cách nhau cố định. Kết quả là công suất thấp hơn và mạch đơn giản hơn.

Ví dụ 1: Điều chế chuỗi thông tin 1 0 0 1



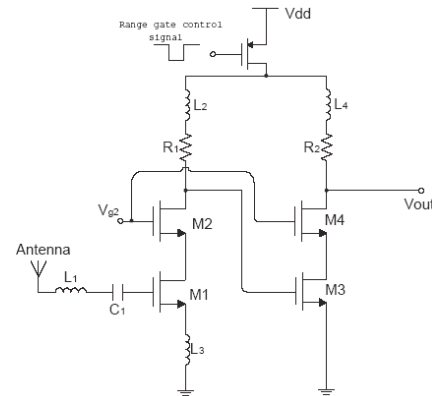
Hình 5: Minh họa phương pháp điều chế PPM và BPSK trong truyền thông UWB

2.2 Kiến trúc bộ thu UWB

Trong thiết kế hệ thống UWB, độ phức tạp chủ yếu nằm ở bộ thu. Trong hệ thống UWB ngoài việc tạo được tín hiệu với các đặc tính phổ mong muốn, còn cần phải có hệ thống thu tối ưu. Kỹ thuật thu tối ưu, kỹ thuật thường được sử dụng trong UWB là bộ thu tương quan (correlation receiver) hay còn được gọi là bộ lọc thích ứng.

-Bộ khuếch đại tạp âm thấp-LNA (Low Noise Amplifier): Khởi đầu tiên trong bộ thu là bộ khuếch đại tạp âm thấp (LNA). Trong hình 5 cho thấy sơ đồ mạch của LNA [4], nó bao gồm hai tầng khuếch đại: source chung, gate chung. Ở ngõ

vào bao gồm cuộn cảm L1, tụ điện C1 và cuộn cảm L3. Trong đó những cuộn cảm được thay thế bằng việc kết nối dây và điều này sẽ tiết kiệm diện tích chip và giảm bớt tín hiệu dội (signal ringing) và cải thiện được thời gian thiết lập ở ngõ ra [5]. Kích thước của các transistor đã được chọn lựa để tối đa hoá độ lợi trong khi trong khi duy trì mức tiêu thụ điện năng thấp.

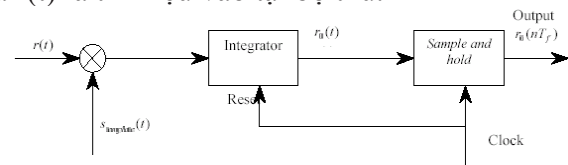


Hình 5: Bộ khuếch đại tạp âm thấp-LNA

- Bộ thu tương quan (Bộ lọc thích ứng): Bộ lọc thích ứng là mô hình bộ thu tối ưu. Bộ lọc thích ứng có thể được thực hiện bằng cách tương quan tín hiệu đầu vào với tín hiệu mong đợi.

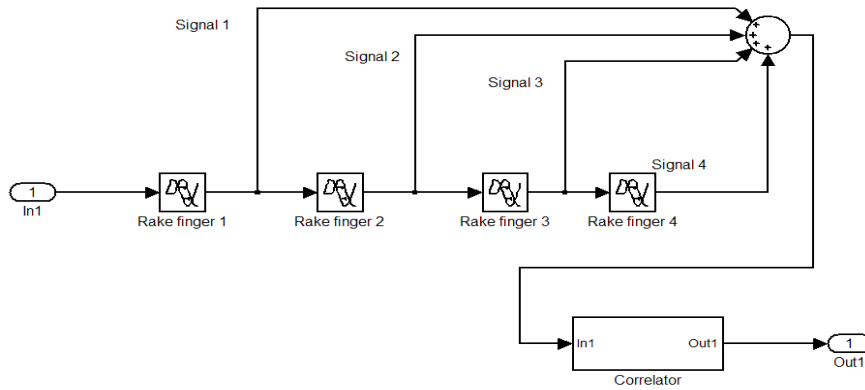
$$r_0(t_0) = \int_{t_0-T}^{t_0} r(t) S_{template}(t) dt \quad (2)$$

trong đó $S_{template}(t)$ là xung mẫu đã được biết trước và $r(t)$ là tín hiệu vào tại bộ thu.



Hình 6: Bộ lọc thích ứng trong hệ thống UWB

- Bộ thu Rake: Trong các hệ thống UWB ý tưởng kết hợp bộ thu Rake cũng có thể được sử dụng để tách tín hiệu trong môi trường đa đường. Việc triển khai kiến trúc bộ thu Rake ở đây chủ yếu vì mục đích thu năng lượng từ tín hiệu đa đường.



Hình 7: Kiến trúc bộ thu Rake (5 fingers) với một bộ tương quan

So với bộ thu tương quan, bộ thu Rake thu được tín hiệu từ nhiều đường và bổ sung năng lượng từ các đường thu được đó nên đạt được một tín hiệu có tính tương quan trước (pre-correlation) tốt hơn. Khoảng cách về thời gian tối thiểu giữa các finger của Rake được thiết lập là 250ps như là giới hạn vật lý phù hợp cho phần cứng của bộ thu.

III. Phân tích một số yếu tố ảnh hưởng đến bộ thu phát UWB

3.1 Hệ số độ lợi xử lý

Có hai hệ số độ lợi SNR về cấu trúc bộ thu Rake. Một là độ lợi xử lý do nhiều Rake finger và hệ số còn lại là do bộ lọc thích ứng. Ta có, công thức độ lợi xử lý do nhiều Rake lên SNR như sau:

$$Gain_{Rake} = 10 \log \left(\frac{P_{si}}{P_{ni}} \right) \quad (3)$$

Trong đó: P_{si} : năng lượng của xung, P_{ni} : năng lượng tạp âm

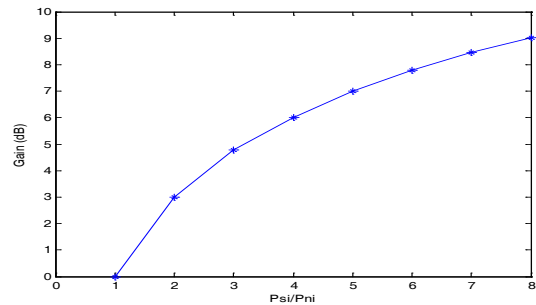
Ví dụ 2: Ta có năng lượng của xung $P_{si} = 25$ lần xung đơn và năng lượng của tạp âm $P_{ni} = 5$ lần xung đơn. Ta suy ra độ lợi xử lý như sau:

$$Gain_{Rake} = 10 \log \left(\frac{P_{si}}{P_{ni}} \right) = 10 \log(25/5) = 7 \text{dB}$$

$$Gain_{Rake} = 10 \log \left(\frac{P_{si}}{P_{ni}} \right) = 10 \log(25/5) = 7 \text{dB}$$

$$Gain_{Rake} = 10 \log \left(\frac{P_{si}}{P_{ni}} \right) = 10 \log(25/5) = 7 \text{dB}$$

$$Gain_{Rake} = 10 \log \left(\frac{P_{si}}{P_{ni}} \right) = 10 \log(25/5) = 7 \text{dB}$$

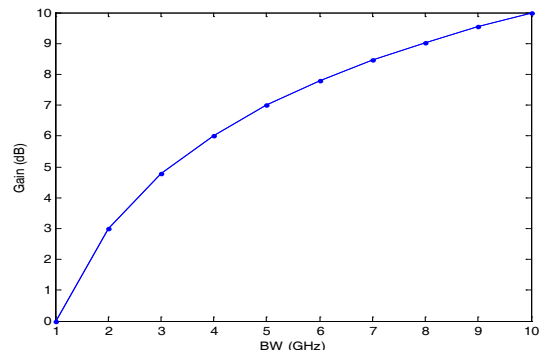


Hình 8: Độ lợi xử lý do nhiều Rake finger trên SNR

Độ lợi xử lý của bộ lọc thích ứng trên SNR:

$$Gain_{Matched_filter} = 10 \log(2.T.BW) \quad (4)$$

Trong đó, T: là chu kỳ tín hiệu tương quan và BW: là băng tần tạp âm.



Hình 9: Độ lợi xử lý của bộ lọc thích ứng trên SNR (với $T = 0.5 \text{ns}$)

3.2 Công suất tiêu thụ

Theo qui định của FCC, giới hạn công suất cho

vùng tần số từ 3,1 GHz đến 10,6 GHz là -41,25 dBm/MHz. Do toàn bộ băng tần làm việc là 7,5 GHz nên giới hạn tối đa của công suất truyền dẫn P_{Tx} trong hệ thống UWB có thể được tính toán như sau:

$$P_{Tx} = 10 \log \left(\int_0^\infty S(f)^2 \cdot df \cdot 10^{-41.25/10} \cdot 10^{-6} \right) \quad (5)$$

Trong đó, $S(f)$: đường bao phổ.

Dựa trên giá trị công suất phát tối đa P_{Tx} , chúng ta có thể tính toán công suất thu tối đa P_{Rx} tại bộ thu UWB (theo đề xuất của trung tâm nghiên cứu Philips Research Redhill).

-Đối với môi trường tầm nhìn thẳng (LOS):

$$P_{Rx} = e^{-1.9d} + P_{Tx}$$

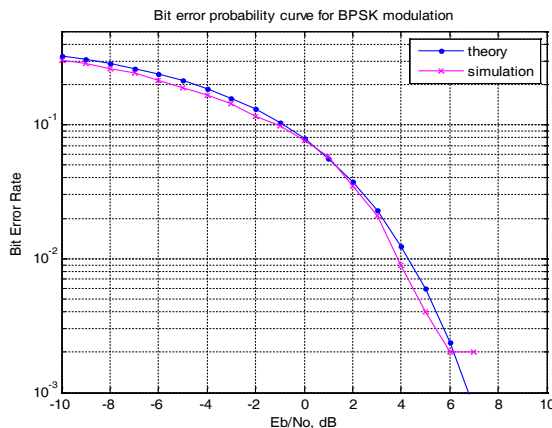
-Đối với môi trường tầm nhìn bị che khuất (non-LOS): $P_{Rx} = e^{-3.4d} + P_{Tx}$

trong đó d là khoảng cách giữa Tx và Rx tính theo đơn vị mét.

3.3 Hệ số BER [6]

Hệ số BER trong hệ thống kết nối không dây UWB sử dụng điều chế BPSK được trình bày bởi công thức sau:

$$BER = \int_0^\infty P_e(X)p(X)dX \quad (6)$$



Hình 10: BER với số bit dữ liệu 10^3 bit

Trong đó: $P_e(X)$ xác suất lỗi đối với điều chế BPSK tại một giá trị cụ thể của hệ số tín hiệu trên nhiễu X .

$$P_e(X) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}(\sqrt{X}) \quad (7)$$

erfc : hàm lỗi bổ sung (complementary error function)

X : hệ số tín hiệu trên nhiễu.

$$X = \alpha^2 E_{rb} / (N_0 + S_0)$$

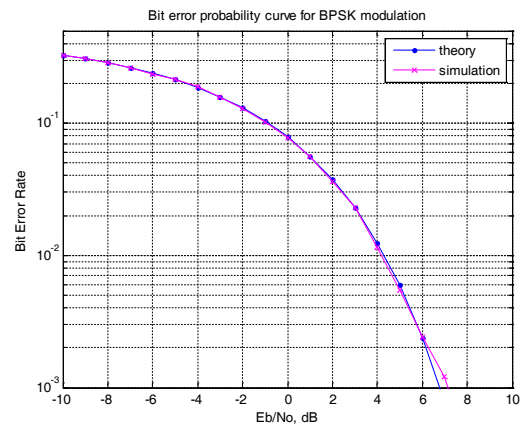
$P(X)$: là hàm mật độ xác suất của X (kênh fading).

$$P(X) = \frac{1+K}{\Gamma} \exp \left[-\frac{X(1+K)+K\Gamma}{\Gamma} I_0 \left(\sqrt{\frac{4(1+K)KX}{\Gamma}} \right) \right] \quad (8)$$

K : là tỷ số phân chiếu ngẫu nhiên trong phân bố Rician

$I_0(y)$: là hàm Bessel loại 1

$\Gamma = \bar{\alpha}^2 E_{rb} / (N_0 + S_0)$: là giá trị trung bình của tỷ số tín hiệu trên nhiễu.



Hình 11: BER với số bit dữ liệu 10^4 bit

IV. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG HỆ THỐNG UWB

Chúng tôi đã xây dựng chương trình mô phỏng hệ thống UWB bằng phần mềm Matlab. Giao diện chính của chương trình như trình bày trong hình 12.

Giao diện chính của chương trình gồm 3 khối chính:

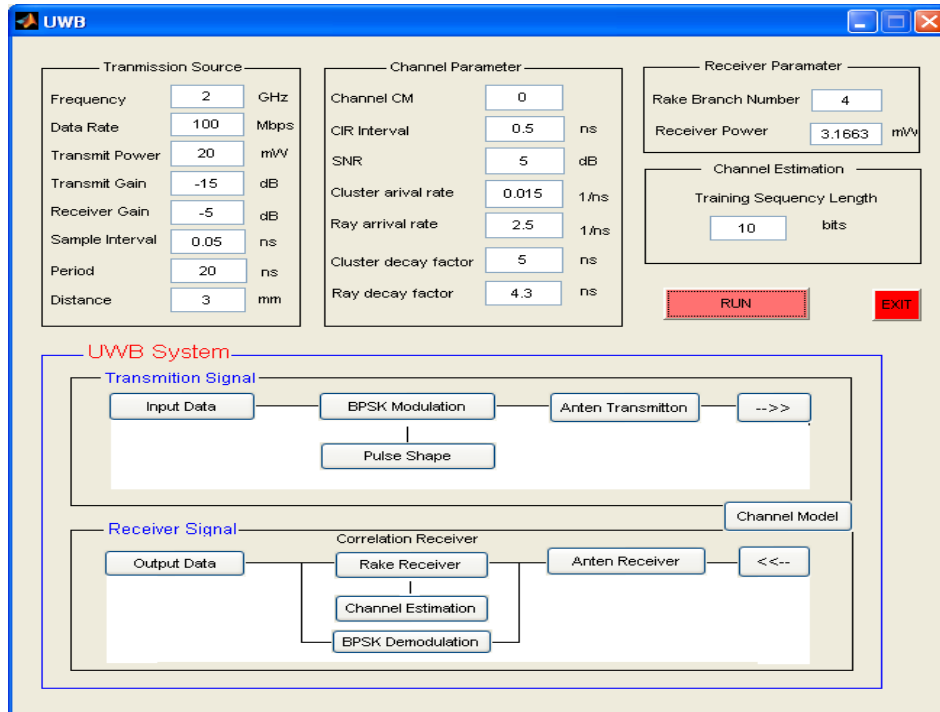
- **Thành phần thông số truyền:** tần số xung truyền (Frequency), tốc độ truyền dữ liệu

(Data rate), công suất truyền (Transmit Power), độ lợi anten truyền (Transmit Gain), độ lợi anten nhận (Receiver Gain), khoảng thời gian lấy mẫu (Sample interval), chu kỳ xung truyền (Period), khoảng cách truyền-nhận giữa 2 anten (Distance).

- **Thành phần thông số mô hình kênh:** kênh truyền CM0-CM1, đáp ứng xung của kênh truyền (CIR interval), tín hiệu nhiễu (SNR), tỉ lệ *cluster* xuất hiện

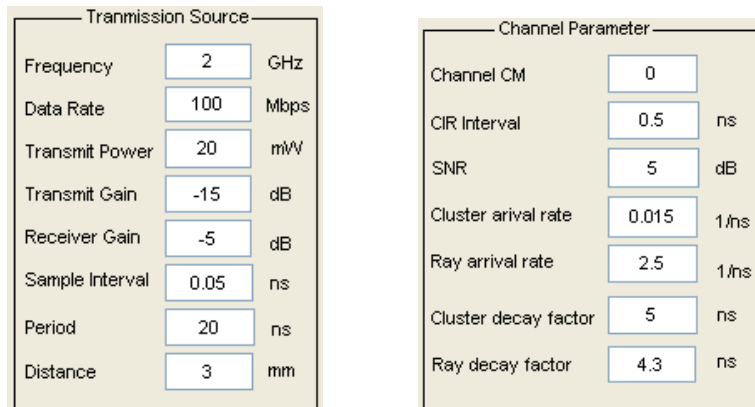
(cluster arrival rate), tỉ lệ *ray* xuất hiện (Ray arrival rate), hệ số suy hao *cluster* (Cluster decay factor), hệ số suy hao *ray* (Ray decay factor).

- **Thành phần thông số nhận:** bộ lọc tương thích với số finger của bộ thu Rake (Branch Rake Number), công suất nhận (Receiver Power) và chiều dài số bits chuỗi ước lượng kênh truyền (Training Sequence length).

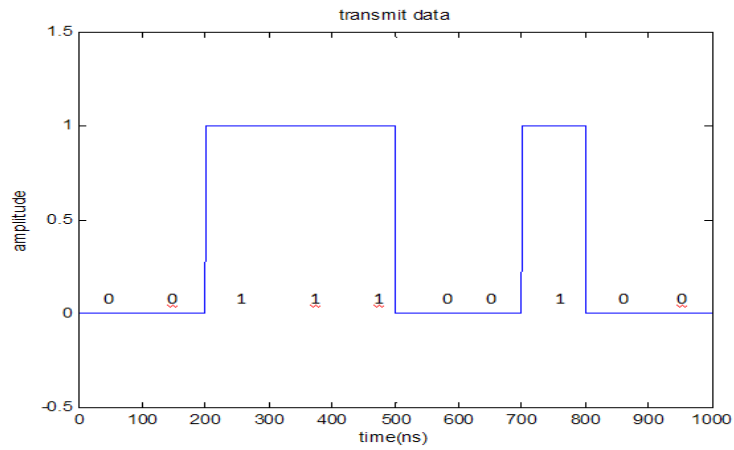


Hình 12: Cửa sổ giao diện chương trình chính

Thực hiện việc chạy mô phỏng hệ thống UWB với các thông số sau:



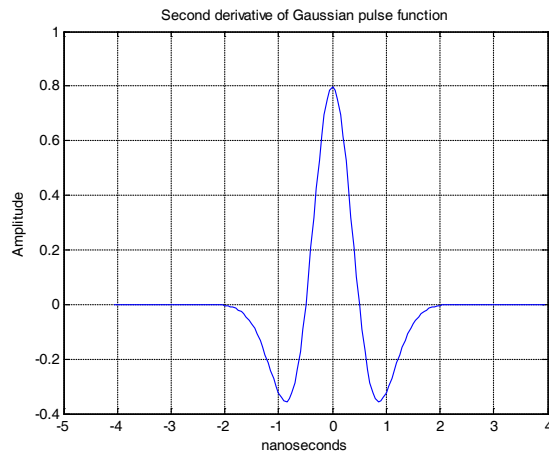
Hình 13: Các thông số đầu vào



Hình 14: Chuỗi xung tín hiệu với 10 bits dữ liệu.

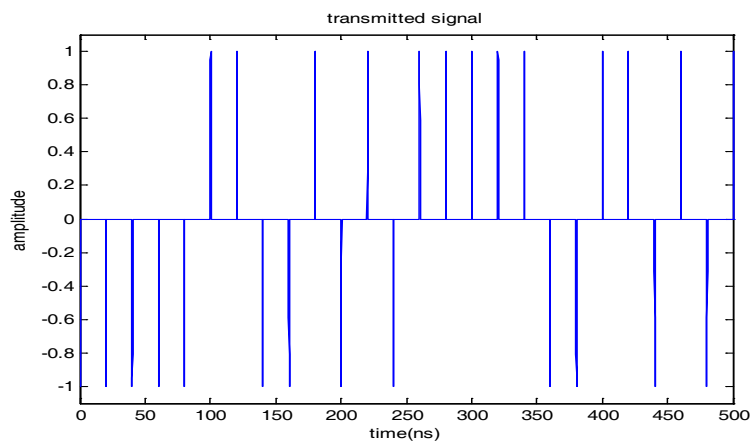
Chúng tôi thu được một số kết quả mô phỏng như sau:

-Tạo xung UWB



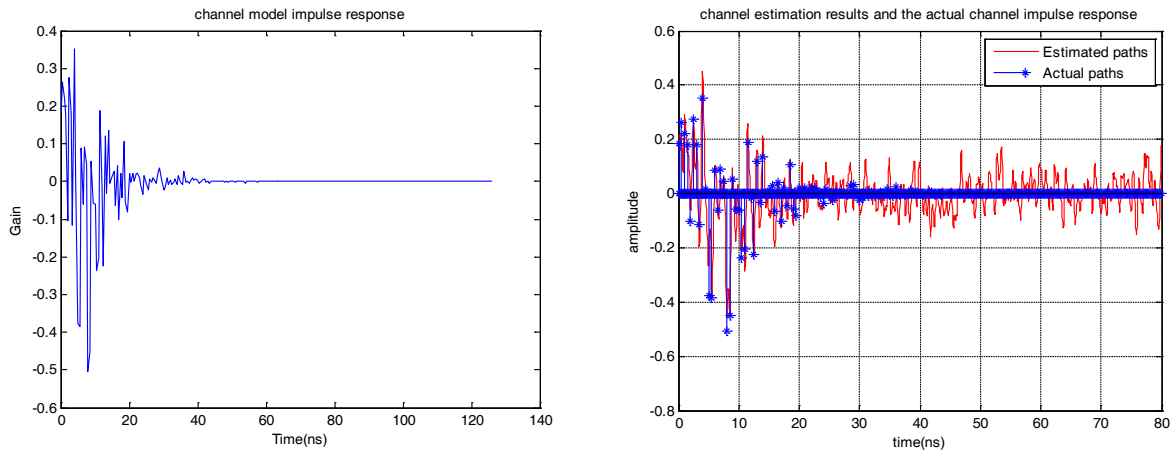
Hình 13: Đạo hàm bậc hai của xung Gaussian

- Điều chế tín hiệu (BPSK)



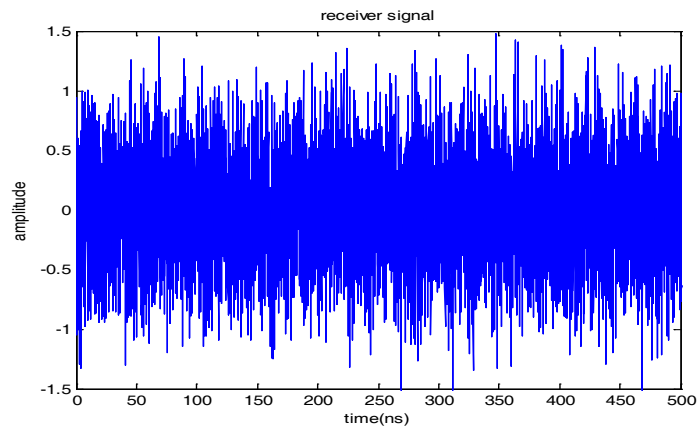
Hình 14: Tín hiệu sau khi qua điều chế BPSK

- Đáp ứng xung kênh truyền



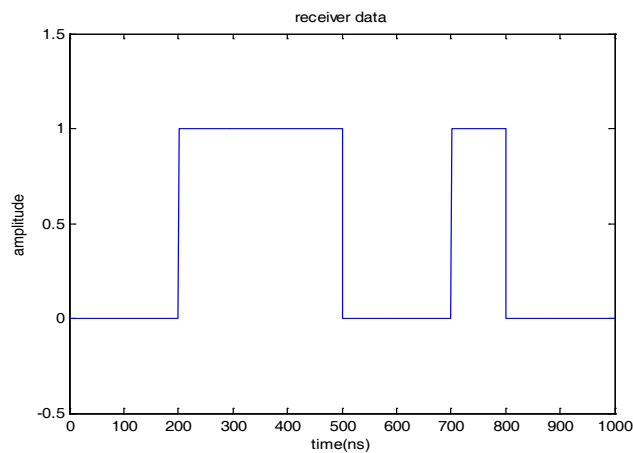
Hình 15: Đáp ứng xung của mô hình kênh đã đề xuất và thiết lập kênh truyền

-Tín hiệu nhận: Tại bộ lọc tương thích, máy thu Rake thu được tín hiệu chưa lọc nhiễu (hình 16). Tín hiệu thu được là tín hiệu truyền cộng với nhiễu gauss trắng.



Hình 16: Tín hiệu nhận tại bộ thu Rake

Ta thu được tín hiệu ban đầu (hình 17) sau khi qua giải điều chế BPSK. Ở đây tín hiệu nhận được đúng với tín hiệu truyền ban đầu.



Hình 17: Tín hiệu nhận sau khi qua giải điều chế BPSK

Nhận xét kết quả mô phỏng: Với số lượng 10 bit dữ liệu ban đầu được truyền đi, thông qua xung truyền (đạo hàm bậc hai của xung Gaussian), điều chế BPSK và qua mô hình kênh đã đề xuất với các thông số của mô hình kênh được đề nghị (như trình bày trong hình 13). Ở đầu thu, với 4 Rake finger, chúng tôi thu được chính xác dữ liệu ban đầu và tính toán được công suất nhận là 3.1663mW.

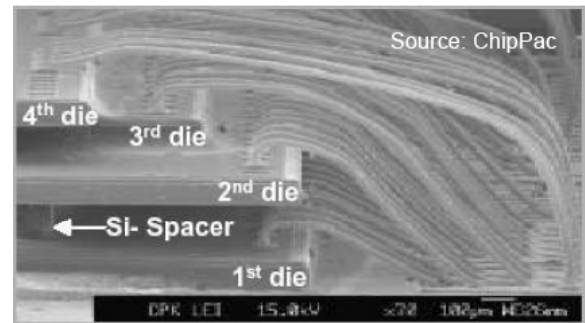
V. ĐỀ XUẤT GIẢI PHÁP KẾT NỐI UWB TRONG MẠCH TÍCH HỢP 3-D

Với những hệ thống vi mạch ngày nay có mật độ tích hợp cao và việc kết nối giữa các die (wafer) trong chip cho dù đã ứng dụng công nghệ 3-D packaging và các kỹ thuật kết nối trong chip 3-D [7]. Tuy nhiên các kỹ thuật kết nối này sử dụng dây để kết nối thì vẫn có những hạn chế như: hệ thống lớn, nhiều dây kết nối phức tạp (hình 18), chia sẻ bus, giới hạn khả năng thiết lập kết nối trên đế mỏng, vấn đề về tiêu thụ năng lượng và tốc độ truyền tải dữ liệu là những vấn đề cần được quan tâm nhất trong các hệ thống lớn có mật độ tích hợp cao.

Trước những vấn đề trên, chúng tôi tiến hành nghiên cứu và đề xuất một giải pháp kết nối giữa các die (wafer) trong chip bằng cách sử dụng công nghệ truyền thông vô tuyến băng siêu rộng (Ultra-Wide Band-UWB).

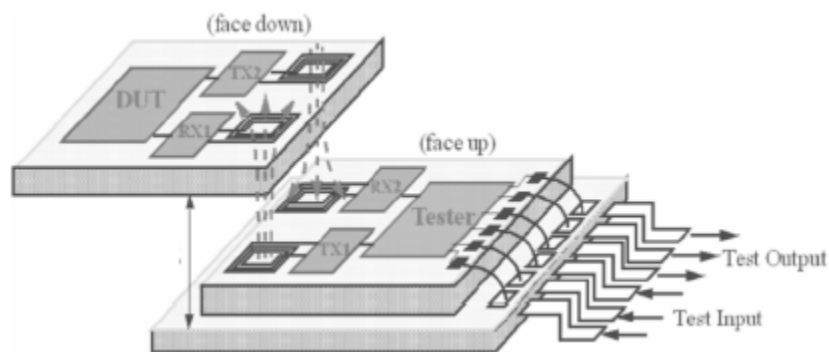
Các hệ thống kết nối vô tuyến UWB bao gồm các bộ thu và phát với ăng-ten được tích hợp trên chip để giao tiếp giữa các die trên cùng một chip

duy nhất hoặc giữa nhiều chip với tốc độ của ánh sáng thông qua sóng điện từ. Kết nối vô tuyến UWB có thể cung cấp nhiều lợi ích.



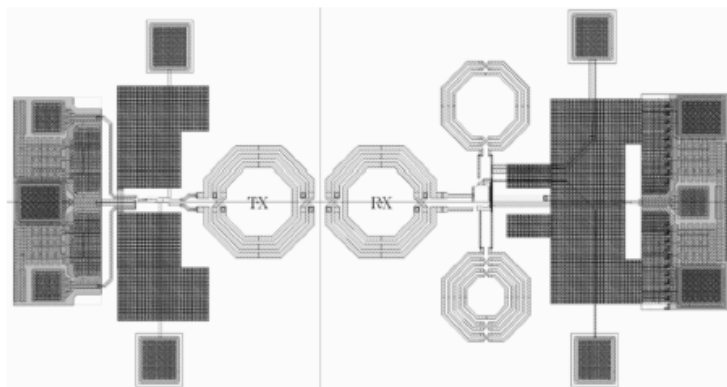
Hình 18: Các die được xếp chồng lên nhau và kết nối với nhau bằng dây [8]

Cụ thể, độ trễ trong kết nối vô tuyến UWB dự kiến sẽ nhỏ hơn nhiều so với các kỹ thuật kết nối bằng dây dẫn, bởi vì các tín hiệu có thể truyền đi với tốc độ của ánh sáng. Bên cạnh đó, hệ thống cũng dễ dàng được tích hợp trong chip CMOS. Kết nối vô tuyến UWB có thể được sử dụng để truyền tải cho cả dữ liệu và tín hiệu xung clock. Trong kết nối vô tuyến UWB thì việc phân phối tín hiệu xung clock và việc truyền dữ liệu thì phức tạp hơn nhiều so với các kỹ thuật kết nối trước đây, nó đòi hỏi phải có các phương pháp điều chế tín hiệu phù hợp. Các hình bên dưới là các mô hình đề xuất kết nối UWB trong mạch tích hợp 3-D.



Devices Under Test (DUT)

Hình 19: Mô hình kết nối không dây giữa 2 die bên trong chip sử dụng UWB [9]



Hình 20: Layout hệ thống thu phát UWB [9]

IV. KẾT LUẬN

Trong bài báo này chúng tôi đã nghiên cứu, thiết kế và mô phỏng hệ thống UWB ở khoảng cách ngắn. Trong đó, bộ thu phát UWB được quan tâm nghiên cứu kỹ và sử dụng mô hình kênh đã đề xuất trước đây trong thiết kế hệ thống UWB, nhằm ứng dụng trong truyền thông bên trong chip. Đồng thời phân tích và tính toán một số thông số ảnh hưởng đến bộ thu phát UWB như: công suất tiêu thụ, tỷ lệ lỗi bit (BER). Đồng thời, đề xuất giải pháp kết nối UWB trong mạch tích hợp 3-D. Ngoài ra, với chương trình mô phỏng này có thể xem như là một công cụ rất hữu ích cho người thiết kế hệ thống UWB. Những người thiết kế có thể dùng chương trình mô phỏng này để kiểm tra hoạt động của hệ thống thu phát UWB, nhằm lựa chọn những thông số đầu vào thích hợp trước khi tiến hành thiết kế vật lý.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Faranak Nekoogar, “Ultra-Wideband Communications: Fundamentals and Applications,” Publisher: Prentice Hall, ISBN: 0-13-146326-8, Pages: 240, Pub Date: August 31, 2005.
- [2] Yuanjin Zheng, Rajinder Singh, and Yong-Ping Xu, “Pulse-Based UWB Integrated Transceiver Circuits and Systems,” *Institute of Microelectronics, Integrated Circuits and Systems Lab, Singapore 117685, Springer Science+Business Media, LLC* 2008.
- [3] Y. J. Zheng, D. Han, and Y. P. Xu, “A novel CMOS/BiCMOS UWB pulse generator and modulator,” *Digest of International Microwave Symposium, WEIF-61*, pp. 1269–1272, June, 2004. © [2004] IEEE.
- [4] X. Wang, A. Dinh, D. Teng, L. Chen, S. B. Ko, Y. Shi, V. Dal Bello-Hass, and J. Basran, “Impulse Based Range-Gated UWB Wireless Transceiver IC in 90nm CMOS for Medical Sensing Applications and Communications,” *to appear in The 2009 IEEE International Conference on Ultra-Wideband (ICUWB 2009)*, Vancouver, Canada, September 9-11, 2009.
- [5] T. Terada, S. Yoshizumi, M. Muq̄sith, Y. Sanada and T. Kuroda, “A CMOS Ultra-wideband impulse radio transceiver for 1-Mb/s data communications and +- 2.5-cm range finding,” *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, Vol. 41, No. 4, pp. 891-898, April 2006.
- [6] Y. P. Zhang, “Bit-Error-Rate Performance of Intra-chip Wireless Interconnect Systems,” *IEEE Communications letters*, Vol.8, Iss.1, January 2004.
- [7] Krishna C. Saraswat, K. Banerjee, A. R. Joshi, P. Kalavade, P. Kapur and S. J. Souri, 3-D ICs: Motivation, Performance Analysis, and Technology *Department of Electrical Engineering, Stanford University, Stanford, CA, 94305, USA*.
- [8] B. Swinnen, E. Beyne, “Introduction to IMEC’s research programs on 3D-technology”, *IMEC 2007*.
- [9] Yanjie Wang, Ali M. Niknejad, Vincent Gaudet, Kris Iniewski, “A CMOS IR-UWB Transceiver Design for Contact-Less Chip Testing Applications,” *IEEE Transactions on Circuits and Systems—II: express briefs*, vol. 55, no. 4, april 2008.