

NE アナログ・イノベーション・アワード 2016

## ミリ波を使う無線通信で56Gビット/秒、 「周波数インターリーブ」方式で実現

東京工業大学 松澤・岡田研究室

日経エレクトロニクス 2016/11/18 00:00

携帯電話の基地局と基地局の間の通信には、非常に高いデータ伝送速度が求められる。このため光ファイバー通信を適用するのが一般的だ。しかし、すべての場所に光ファイバーケーブルを敷設できるわけではない。河川や湖沼、山間部などでは、敷設が難しい。こうしたケースに対応するために、光ファイバー通信に代わる高速な無線通信技術の開発が進んでいる。

### 目標は100Gビット/秒

東京工業大学 工学院 電気電子系 准教授の岡田健一氏は、ミリ波帯（30G～300GHz）を使うことで、データ伝送速度が光ファイバー通信と同程度の無線通信技術の開発に挑戦している。目標として掲げるデータ伝送速度は100Gビット/秒だ。

ミリ波を使うメリットは2つある。1つは、未使用の周波数帯域が比較的広く存在すること。このため、高速化には欠かせない広い周波数帯域を利用できる。もう1つは、現状のCMOSプロセス技術を使ってRFトランシーバーICを製造できることだ。高速な無線通信システムを比較的低いコストで実現できる可能性が高い。

しかし、ミリ波帯域を使って100Gビット/秒と高速な無線通信を実現することは極めて難しい。ISSCCなどの国際学会において、これまで報告された最大伝送速度は42Gビット/秒にとどまっている。少なくとも、これを約2.5倍に高めなければ100Gビット/秒には達しない。

### 新アーキテクチャーを考案

無線通信のデータ伝送速度を高める方法は、「シャノンの伝送容量定理」を見れば明らかだ<sup>注1</sup>。信号対雑音比（S/N）を高めるか、もしくは周波数帯域幅を広げるかのいずれかであ

る。S/Nを高めるには、16値QAM（直交振幅変調）や64値QAMなどの多値変調技術を使えばいい。周波数帯域幅については、数GHzや数十GHzといったように可能な限り広い領域を確保したいところだ。

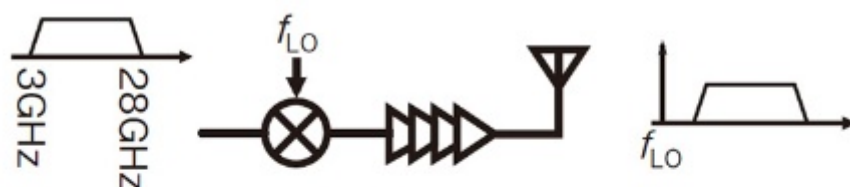
注1) シャノンの伝送容量定理は「 $C = BW \log_2 (1 + S/N)$ 」で表される。

この2つの方法をどのように組み合わせればいいのか。岡田氏の評価/検討によると、「帯域幅を広げる方が、効率的に伝送速度を高められる」という。その結果、導き出された答えは、「25GHzの帯域幅で、変調方式に16値QAMを適用すれば100Gビット/秒を達成できる」（同氏）というものだ。

しかし、25GHzと極めて広い周波数帯域幅を確保することはそう簡単ではない。送信回路と受信回路それぞれのベースバンド処理が技術的に難しくなるからだ。特に、A-D変換器とD-A変換器の負担が重くなる。

そこで同氏は、周波数帯域を高周波側と低周波側の2つに分けてRF信号を処理するアーキテクチャーを考案した（図1）。これを「周波数インターリーブ」と呼ぶ。実際には、68G～102GHzのミリ波帯域で、低周波側（LB）の12.5GHz帯域幅と高周波側（HB）の12.5MHz帯域幅を使う。変調方式は16値QAMである。「無線通信技術では、周波数インターリーブの採用は業界初めて」（同氏）という<sup>1)</sup>。

### (a) 一般的な手法



### (b) 今回開発した手法

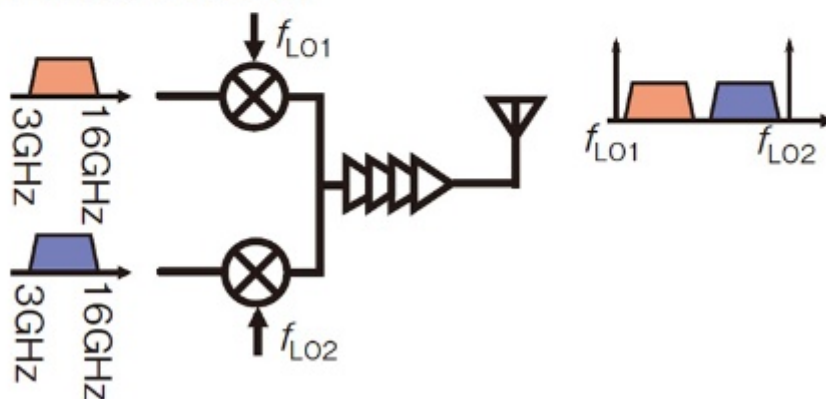


図1 周波数インターリーブ方式

(a) は一般的な手法。(b) は今回開発した手法。25GHzの帯域幅を、2種類の局所発振器（LO）信号で、低周波側と高周波側の2つに分ける。こうすることでベースバンド処理の負担を軽減する。

周波数インターリーブのメリットとしては、ベースバンド回路の設計が比較的簡単になると同時に、高いS/Nを確保しやすいことが挙げられる。しかし、デメリットもある。大きく分けて3つある。1つめは、LO（局所発振器）が2個必要になること。2つめは、使用する周波数帯域内に高調波（ハーモニクス）雑音が発生すること。3つめは、クロスモジュレーション（混変調）と呼ぶ現象が発生することである。

## 回路工夫で課題を克服

今回は、この3つのデメリットすべてを解決した。1つめのデメリットについては、周波数逡倍器（マルチプライヤー）を活用することで解決した。LOを1個だけ用意し、この出力を2つに分けて、それぞれの出力に対して逡倍比が異なるマルチプライヤーを適用するという回路構成である。こうして、必要とする2つのLO信号を得た。

さらに、2つめのデメリットである帯域内のハーモニクス雑音の発生を防止するために、LOの出力周波数を34GHzと高い値に設定した。LOの出力周波数が低いと、5次や6次などの高調波雑音が生域内に発生してしまう。しかし、高い出力周波数を使用することで、低周波側のLO信号は2逡倍（68GHz）で、高周波側のLO信号は3逡倍（102GHz）で生成できるようになり、帯域内に不要な高調波雑音は発生しない。

3つめのデメリットであるクロスモジュレーションについては、ミキサーの回路構成を工夫することで解決した。クロスモジュレーションとは、低周波側のLO信号が高周波側に、高周波側のLO信号が低周波側に回り込んでしまうことで発生する現象で、S/Nの劣化などを招く。特に送信回路で大きな影響が出る。

原因は、ミキサーにおけるLO信号の漏れだ。これを抑えるには、ダブルバランسدミキサーを採用すれば良い。ただし「ミリ波帯では、レイアウトの制約で差動回路を作ることや、マルチプライヤーの出力を差動化することが難しい」（岡田氏）。

今回は、この問題を回路工夫で克服した（図2）。具体的には、LO信号については、差動アンプと受動バランを組み合わせることで、IF（中間周波）信号については擬似負荷によるインピーダンス調整で差動化を実現した。この結果、シングルエンド形式のRF信号出力に漏れ出すLO信号を約20dB抑えることに成功した。

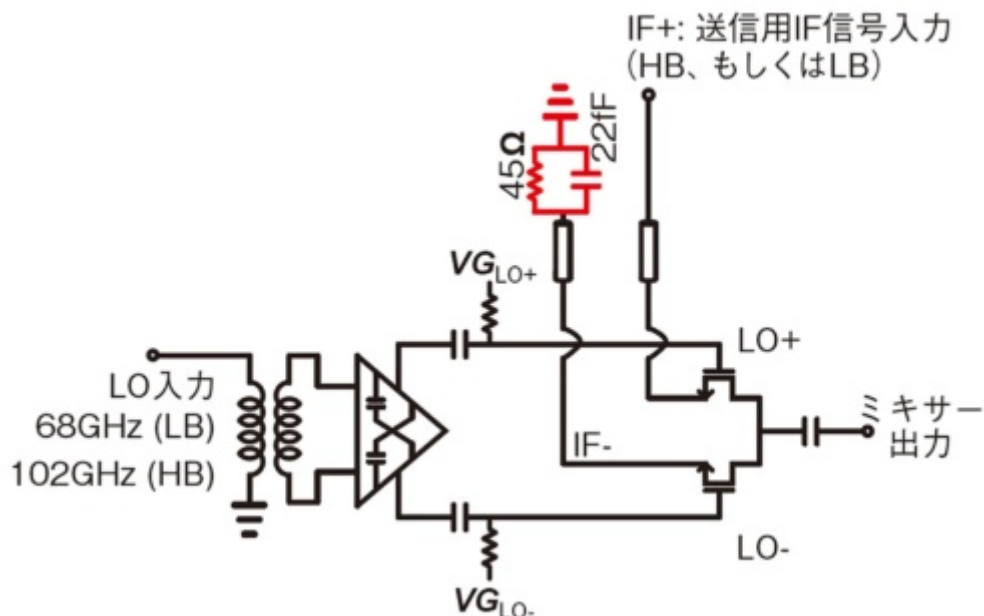


図2 ミキサの回路構成

局所発振器（LO）信号入力は差動アンプと受動バランを組み合わせることで、中間周波（IF）信号入力は擬似負荷を使うことで差動化した。ミキサの出力であるRF信号はシングルエンド形式である。HBは高周波側、LBは低周波側である。

## 56Gビット/秒を達成

こうして作成したミリ波対応のRFトランシーバーICを使って、10cmの距離の伝送実験を行った（図3）。その結果、56Gビット/秒と高い伝送速度が得られた。ミリ波帯では、過去最高値を達成したことになる。

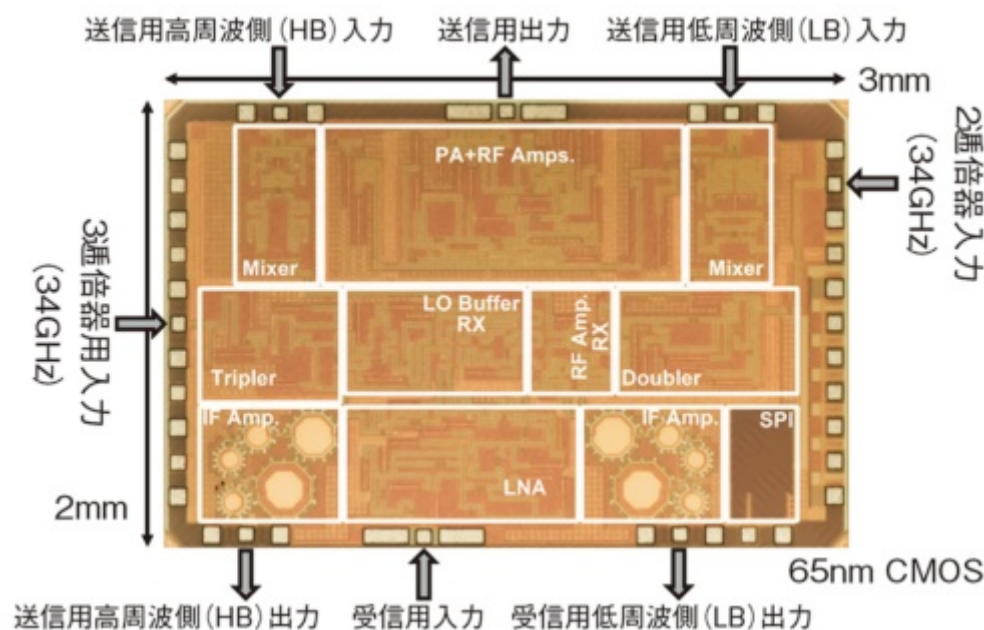


図3 試作したミリ波対応RFトランシーバーICのチップ写真

台湾TSMCの65nmルールのCMOSプロセス技術で製造した。チップ面積は2mm×3mmである。

ただし、目標とする100Gビット/秒には足りない。その原因は、クロスモジュレーションの発生を完全に防止できなかった点にある。その結果、信号対（雑音+歪み）比が劣化してしまい、低周波数側では6.5GHz、高周波側では7.5GHzのナイキスト帯域しか確保できなかった。

しかし、目標を達成できなかった原因は分かっている。「再設計で改善できる問題である。今回開発した新しい無線通信技術を使えば、近い将来、100Gビット/秒を達成できるはずだ」（岡田氏）。

#### <参考文献>

1) K. K. Tokgoz, S. Maki, S. Kawai, N. Nagashima, J.Emmei, M. Dome, H. Kato, J. Pang, Y. Kawano, T. Suzuki, T.Iwai, Y. Seo, K. Lim, S. Sato, Li Ning, K. Nakata, K. Okada and A. Matsuzawa, "A 56Gb/s W-Band CMOS Wireless Transceiver," Digest of Technical Papers IEEE International Solid-State Circuits Conference (ISSCC) 2016 , pp. 242-244, Feb. 2016.

---

この記事のURL : <http://techon.nikkeibp.co.jp/atcl/column/15/090500065/00010/>

Copyright © 2016 Nikkei Business Publications, Inc. All Rights Reserved.

このページに掲載されている記事・写真・図表などの無断転載を禁じます。著作権は日経BP社、またはその情報提供者に帰属します。