

従来の24GHz帯から 最新の77GHz帯レーダへの 移行



Karthik Ramasubramanian,
Radar Systems Manager
Texas Instruments

Kishore Ramaiah,
Product Manager, Automotive Radar
Texas Instruments

Artem Aginskiy,
Marketing Manager, Industrial Radar
Texas Instruments

レーダ・テクノロジーは1世紀近い期間にわたって存続しており、 軍事分野から商用まで多様なアプリケーションで活用されてきました。 車載用と産業用の分野では、最近10年にわたって レーダの活用に対する関心が飛躍的に高まってきました。

車載用の分野で、主なレーダ・アプリケーションを大分類すると、コーナー・レーダとフロント・レーダに大別できます。コーナー・レーダ(後方コーナーと前方コーナーの両方)は、通常は短距離レーダ(SRR)センサであり、ブラインド・スポット検出(BSD)、車線変更支援(LCA)、フロント/リア・クロス・トラフィック・アラート(F/RCTA)の要件を満たします。一方、フロント・レーダは、通常は中距離と長距離のレーダであり、自動緊急ブレーキ(AEB)とアダプティブ・クルーズ・コントロール(ACC)に対応します。産業用の分野では、レーダのアプリケーションとして、液面検出、固体レベル・センシング(粒状の比較的小さい固体を容器内で積み上げた高さなど)、交通監視、ロボットなどを挙げることができます。

このホワイト・ペーパーでは、2つの周波数として、24GHzと77GHzについて説明します。これらは、上記のアプリケーションで一般的に採用されています。産業用レーダが77GHzレーダへの移行を進めており、さまざまな利点を実現できることを説明します。テキサス・インスツルメンツ(TI)は高集積レーダ・センサ・ファミリを提供しており、お客様は車載用と産業用両方の市場で77GHzの周波数帯を活用することができます。

24GHzと77GHzの周波数帯

これらの分野に関係する、このホワイト・ペーパーで注目する両方の周波数帯について確認してみましょう(図1参照)。24GHz帯は、産業、科学、および医療(Industry Science Medical)帯域であり、24.0GHz～24.25GHzが該当しますが、多くの場合、この帯域を狭帯域(ナローバンド、NB)と呼び、帯域幅は250MHzです。この帯域は免許不要であり、法令に従って使用することができます[1、2、3]。

また、24GHz帯にはウルトラワイドバンド(UWB)も含まれており、UWBは5GHzの帯域幅を使用します。短距離レーダの場合、24GHzのNBとUWBどちらの帯域も、従来の車載センサで使用されてきました。基本的なブラインド・スポット検出(BSD)の場合はNB ISMを使用できますが、超短距離レーダ・アプリケーションを含めた多くの状況では、高い距離分解能が必要とされることが主な理由となり、UWB帯域を使用する結果になります。

スペクトル規制と、欧州電気通信標準化機構(ETSI)および米連邦通信委員会(Federal Communications Commission)によって策定された複数の規格が原因で、UWB帯はすぐに使用されなくなる見通しです[4、5、6、7]。24GHzのUWB帯は、2022年1月1日以降利用できなくなり、日本ではすでに2016年末で利用できなくなっています。

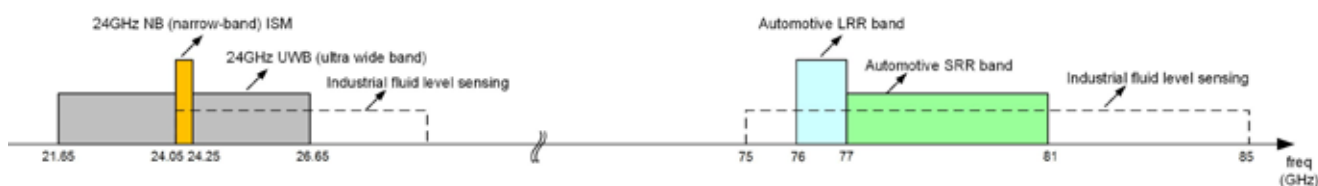


図1：24GHzと77GHzの周波数帯。

この日付は、欧州と米国の両方で「sunset date」（終了日）として知られており、長期的に使用できるのは狭帯域 ISM 帯のみになります。このように24GHz帯で広帯域が利用できない状況と、新しいレーダ・アプリケーションにおける高性能のニーズの組み合わせにより、レーダの新規実装は24GHz帯を選択肢として扱わなくなっています。自動車業界で想定されている自動駐車機能や360度視野（全方位視野）のような先進的なアプリケーションを真剣に考慮する場合、このような価値判断が特に当てはまります。

一方、77GHzに注目すると、76～77GHz帯は輸送機器の長距離レーダ・アプリケーションで利用可能です。この帯域には、広い等価等方放射電力（EIRP）が許容されるという利点があり、アダプティブ・クルーズ・コントロールのようなフロント長距離レーダ・アプリケーションを実現できます。この帯域は固定的な輸送用インフラ・レーダ・システムを目的として、日本 [9] と欧州 [7] の両方でも利用可能であり、車両数計測、交通渋滞検出や事故検出、車両速度測定、信号機制御用途の車両検出などのアプリケーションで利用できます。77～81GHzの短距離レーダ（SRR）帯域は新しい用途の1つです。この帯域は、世界的な規制の観点と業界の採用の両者において、近年著しい進展を見せています。この帯域は最大4GHzの広い掃引帯域幅を利用できるので、高い距離分解能を必要とするアプリケーションにとって魅力的な選択肢になっています。大半の24GHz車載用レーダ・センサは今後、77GHz帯へ徐々に移行する可能性が高いと考えられます。

75～85GHz帯は、産業用の液面検出と固体レベル・センシングのようなアプリケーション [5] でも利用できるので、77GHzセンサは産業用アプリケーションにとって同様に魅力的な選択肢になっています。車載用と産業用両方のアプリケーションで77GHz周波数帯を使用する場合のさまざまな利点について考えてみましょう。

高い距離分解能と高い距離精度

77GHzの主な利点の1つは、この帯域で広い帯域幅が利用できることです。24GHzで利用できる200MHzのISM帯に比較すると、77GHzではそれより大幅に広い帯域幅を利用できます。特に、77～81GHzのSRR帯は最大4GHzの掃引帯域幅を実現します。

広い帯域幅が利用できることで、距離分解能と距離精度は大幅に改善されます。レーダ・センサの距離分解能は、密接した距離にある2つの物体を分離できる能力を意味するのに対し、距離精度は単一の物体の距離を測定する場合の精度を表します。距離分解能と距離精度は掃引帯域幅に反比例するので、77GHzレーダ・センサは24GHzレーダに比べて、距離分解能と距離精度において20倍良好な性能を実現できます。実現可能な距離分解能は4cmです（これに対し、24GHzレーダの場合は75cmです）。

高い距離分解能により、隣接した複数の物体（たとえば、1台の自動車の近くに立っている1人の人）の分離が良好になり、検出した複数の物体で構成されている高密度のポイント・クラウドを提供するので（図2参照）、環境モデル化と物体分類が改善されます。このような特性を重視するのは、先進運転支援アルゴリズムであり、自律的な運転機能も可能になります。

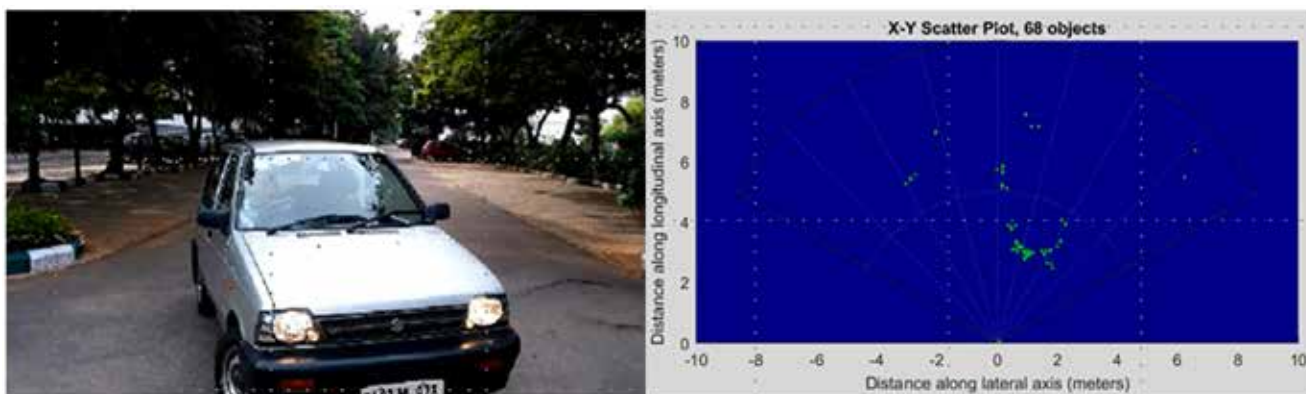


図 2：77GHzレーダの高い分解能により、自動車の影を示す高密度のポイント・クラウドを生成することが可能。

¹ 世界各国の規制は継続的に進化しており、特定の帯域で許可されるアプリケーションが入手できる情報は時間の経過に応じて変化する可能性がある。

また、高い距離分解能は、センサが検出できる最小距離の改善にも役立ちます。パーキング・アシストのような車載用アプリケーションにとって、検出可能な最初距離は非常に重要なので、超音波センサのようなテクノロジーに比べると77～81GHzレーダの採用は大きな利点をもたらします。

産業用液面検出のようなアプリケーションにとって、距離精度（最小1mm未満）は非常に優先順位の高い事項です。77GHz帯域で利用できる帯域幅により、距離測定の精度が大幅に向上します。また、高い分解能は、液面と、タンク底面からの望ましくない反射を分離するのに役立ちます。この結果、センサは最後の1滴に至るまで液面を測定でき、図3に示すように、タンクの底付近でセンサが検出不可能として扱う不感帯を最小化することができます。また、高い分解能により、測定可能な距離の最小値が改善され、タンクがいっぱいの場合でも、タンクの本当に最上位の位置に達するまで液面を測定するのに役立ちます。

速度分解能と速度精度の改善

速度分解能と速度精度は、無線周波数（RF）に反比例します。したがって、RF周波数が高いほど、速度分解能と速度精度が改善されることにつながります。24GHzセンサに比べて、77GHzセンサは距離分解能と距離精度を3倍に改善します。車載用のパーキング・アシスト・アプリケーションの場合、速度分解能と速度精度は非常に重要です。駐車しようとするときは、低速で自動車を正確に動かす必要があるからで

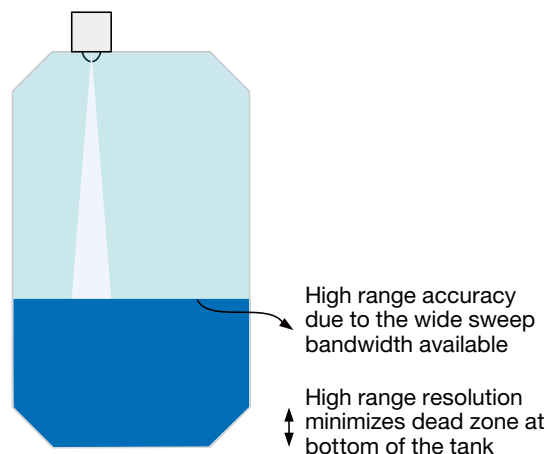


図3：高分解能の77GHzレーダは、産業用液面検出の性能を向上させる。

す。図4に、代表的な2D高速フーリエ変換（FFT）による距離 - 速度のイメージを示します。これは、1mの距離に点の形状をした物体を配置し、77GHzを使用したときに得られる2Dイメージの分解能改善を図示したものです。

さらに、最近の研究によって、センサから得られる高分解能とマイクロドップラー・シグネチャを使用し、レーダを活用して歩行者の検出や高度な物体分類を実施するアルゴリズムが進歩する結果になりました。速度測定の精度向上は、産業用アプリケーションや、自律型の工場内車両の分野で、交通監視などの向上につながっています。

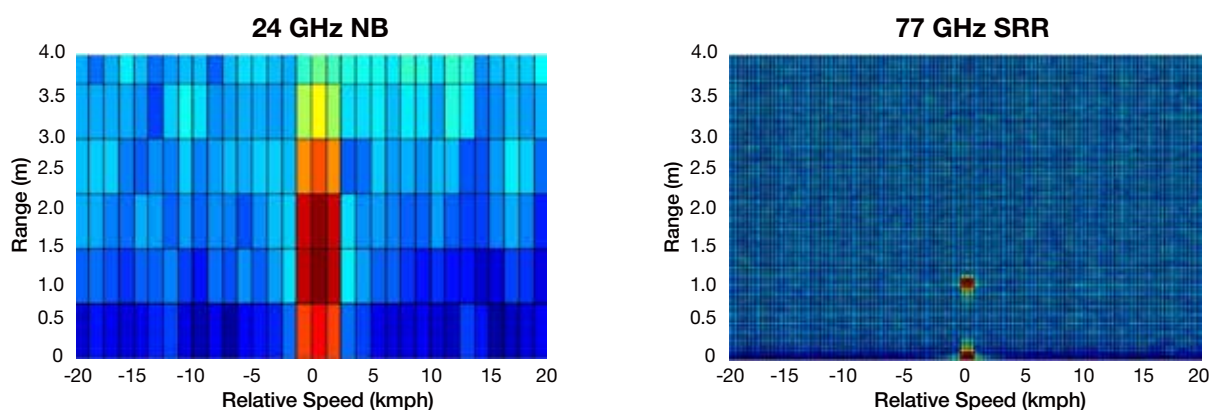


図4：超短距離レーダのイメージ図示 - 77GHzにより、距離分解能は20倍改善、速度分解能は3倍に改善。

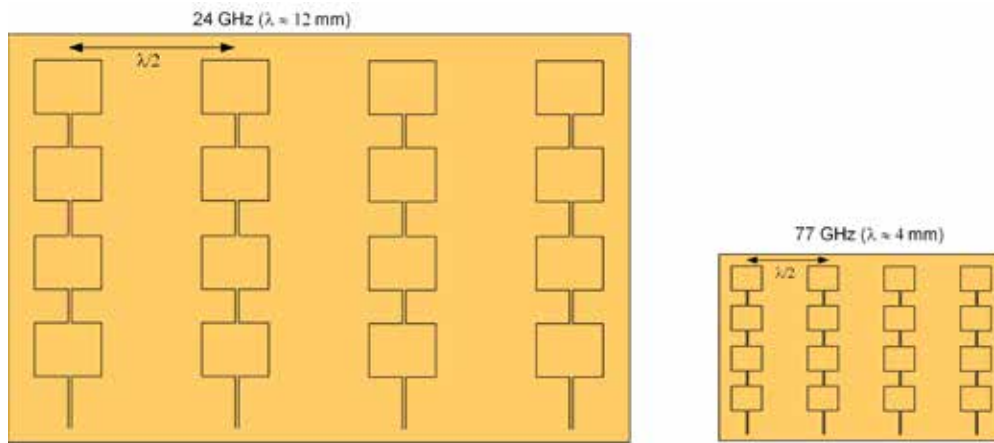


図5：RF周波数が高いと、センサ用アンテナ・アレイのフォーム・ファクタが小型化。

フォーム・ファクタの小型化

高いRF周波数に伴う主な利点の1つは、アンテナ・サイズを小型化できることです。アンテナで望まれる視野とゲインについて言うと、77GHzを使用する場合、24GHzに比べて、X軸とY軸のそれぞれに関してアンテナ・アレイのサイズを最小で1/3にすることができます(図5を参照)。このサイズ縮小は、車載アプリケーションで特に有用です(バンパーの内部にある狭いスポットにセンサを配置する必要があるため)。何らかの近接アプリケーションを使用するドアやトランク、また車内アプリケーションを使用する車室内など、自動車の周辺にある他のスポットも類似の状況です。

産業用液面測定アプリケーションに話を切り替えると、センサ・サイズとアンテナ・サイズが同じ場合、RF周波数が高い方がビームを狭めることができるので、大きな利点を実現できます。図6に示すように、ビームが狭い方が、タンクの側面による望ましくない反射の影響や、タンク内にある他の干渉型障害物による緩和でき、この結果、クラッタ(散乱)を減らして、高品質の測定を実現できます。代わりに、同じビーム幅を使用する場合、RF周波数が高い方がセンサを小型化でき、小型で取り付けやすいフォーム・ファクタを実現できる結果になります。

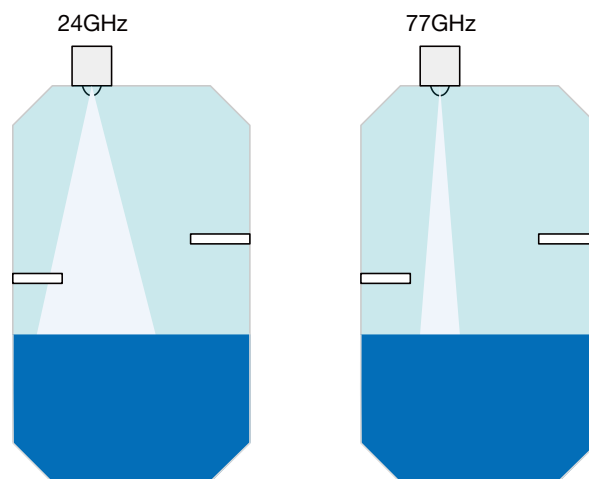


図6：RF周波数が高い方がより収束度の高いビームを実現可能。

まとめ

24GHzには免許不要（日本国内では技術適合証明の取得が必要）のISM帯域と世界各国の周波数規制によるサポートという利点がありますが、利用可能な帯域幅がわずか200MHzであるという事実によって魅力が減少します。これは、4GHzの帯域幅が利用できる77GHzとの大きな違いです。77GHzレーダ・センサが主流になり、その利点を活用できる時代が訪れました。利点とは、より広い帯域幅と、より高いRF周波数であり、距離と速度の測定的大幅な精度向上、またセンサにとっては大幅な小型化につながります。テキサス・インスツルメンツ (TI) の高集積で使いやすい77GHzレーダ・デバイス・ファミリを採用すると、小型で高性能のレーダ・センサを開発し、車載用や産業用のさまざまなアプリケーションで活用することができます。

参考資料

1. ETSI EN 300 400 – Radio Equipment to be used in the 1 GHz to 40 GHz frequency range
2. FCC 47 CFR 15.245 - Operation within the bands 902-928 MHz, 2435-2465 MHz, 5785-5815 MHz, 10500-10550 MHz, and 24075-24175 MHz
3. FCC 47 CFR 15.249 - Operation within the bands 902-928 MHz, 2400-2483.5 MHz, 5725-5875 MHz, and 24.0-24.25 GHz
4. FCC 47 CFR 15.253 – Operation within the bands 46.7-46.9 GHz and 76.0-77.0 GHz.
5. FCC Report and Order – Radar services in the 76-81 GHz band, ET docket No. 15-26.
6. ETSI EN 302 264 – Short-range radar equipment operating in the 77 GHz to 81 GHz band.
7. ETSI EN 301 091 – Radar equipment operating in the 76 GHz to 77 GHz range.
8. FCC 47 CFR 15.256 – Operation of level probing radars within the bands 5.925-7.250 GHz, 24.05-29.00 GHz, and 75-85 GHz.
9. ARIB STD-T48 Version 2. 1, Millimeter-wave radar equipment for specified low power radio station



TIの設計情報およびリソースに関する重要な注意事項

Texas Instruments Incorporated ("TI")の技術、アプリケーションその他設計に関する助言、サービスまたは情報は、TI製品を組み込んだアプリケーションを開発する設計者に役立つことを目的として提供するものです。これにはリファレンス設計や、評価モジュールに関する資料が含まれますが、これらに限られません。以下、これらを総称して「TIリソース」と呼びます。いかなる方法であっても、TIリソースのいずれかをダウンロード、アクセス、または使用した場合、お客様(個人、または会社を代表している場合にはお客様の会社)は、これらのリソースをここに記載された目的にのみ使用し、この注意事項の条項に従うことに合意したものとします。

TIによるTIリソースの提供は、TI製品に対する該当の発行済み保証事項または免責事項を拡張またはいかなる形でも変更するものではなく、これらのTIリソースを提供することによって、TIにはいかなる追加義務も責任も発生しないものとします。TIは、自社のTIリソースに訂正、拡張、改良、およびその他の変更を加える権利を留保します。

お客様は、自らのアプリケーションの設計において、ご自身が独自に分析、評価、判断を行う責任がお客様にあり、お客様のアプリケーション(および、お客様のアプリケーションに使用されるすべてのTI製品)の安全性、および該当するすべての規制、法、その他適用される要件への遵守を保証するすべての責任をお客様のみが負うことを理解し、合意するものとします。お客様は、自身のアプリケーションに関して、(1) 故障による危険な結果を予測し、(2) 障害とその結果を監視し、および、(3) 損害を引き起こす障害の可能性を減らし、適切な対策を行う目的で、安全策を開発し実装するために必要な、すべての技術を保持していることを表明するものとします。お客様は、TI製品を含むアプリケーションを使用または配布する前に、それらのアプリケーション、およびアプリケーションに使用されているTI製品の機能性を完全にテストすることに合意するものとします。TIは、特定のTIリソース用に発行されたドキュメントで明示的に記載されているもの以外のテストを実行していません。

お客様は、個別のTIリソースにつき、当該TIリソースに記載されているTI製品を含むアプリケーションの開発に関連する目的でのみ、使用、コピー、変更することが許可されています。明示的または黙示的を問わず、禁反言の法理その他どのような理由でも、他のTIの知的所有権に対するその他のライセンスは付与されません。また、TIまたは他のいかなる第三者のテクノロジーまたは知的所有権についても、いかなるライセンスも付与されるものではありません。付与されないものには、TI製品またはサービスが使用される組み合わせ、機械、プロセスに関連する特許権、著作権、回路配置利用権、その他の知的所有権が含まれますが、これらに限られません。第三者の製品やサービスに関する、またはそれらを参照する情報は、そのような製品またはサービスを利用するライセンスを構成するものではなく、それらに対する保証または推奨を意味するものでもありません。TIリソースを使用するため、第三者の特許または他の知的所有権に基づく第三者からのライセンス、あるいはTIの特許または他の知的所有権に基づくTIからのライセンスが必要な場合があります。

TIのリソースは、それに含まれるあらゆる欠陥も含めて、「現状のまま」提供されます。TIは、TIリソースまたはその仕様に関して、明示的か暗黙的にかかわらず、他のいかなる保証または表明も行いません。これには、正確性または完全性、権原、続発性の障害に関する保証、および商品性、特定目的への適合性、第三者の知的所有権の非侵害に対する黙示的保証が含まれますが、これらに限られません。

TIは、いかなる苦情に対しても、お客様への弁済または補償を行う義務はなく、行わないものとします。これには、任意の製品の組み合わせに関連する、またはそれらに基づく侵害の請求も含まれますが、これらに限られず、またその事実についてTIリソースまたは他の場所に記載されているか否かを問わないものとします。いかなる場合も、TIリソースまたはその使用に関連して、またはそれらにより発生した、実際の、直接的、特別、付随的、間接的、懲罰的、偶発的、または、結果的な損害について、そのような損害の可能性についてTIが知らされていたかどうかにかかわらず、TIは責任を負わないものとします。

お客様は、この注意事項の条件および条項に従わなかったために発生した、いかなる損害、コスト、損失、責任からも、TIおよびその代表者を完全に免責するものとします。

この注意事項はTIリソースに適用されます。特定の種類の資料、TI製品、およびサービスの使用および購入については、追加条項が適用されます。これには、半導体製品(<http://www.ti.com/sc/docs/stdterms.htm>)、評価モジュール、およびサンプル(<http://www.ti.com/sc/docs/sampterm.htm>)についてのTIの標準条項が含まれますが、これらに限られません。