



テーマ名	ドップラ速度及び多重散乱波を用いた悪天候・見通し外でも劣悪環境下でも適用可能なマイクロ波・ミリ波レーダイメージング技術
組織名	国立大学法人電気通信大学 情報・通信工学専攻 木寺 正平 准教授
技術分野	IT、ものづくり

概要

粉塵・暗闇・高濃度ガス・強い逆光等の劣悪な環境下では、通常のカメラやセンサでは救助者や障害物などの検知性能が劣化してしまいます。本研究では、UWB レーダに RPM(Range Points Migration)法という独自技術と人体のドップラー速度の推定技術を組合せ、劣悪環境下でもリアルタイムかつ高精度に目標対象物・障害物を検知します。透過性が高く地中埋没物などの資源探査にも応用できるため、救助・資源探査用ロボットセンサや見通しが悪い車載センサ等に活用可能です。本研究を活用した製品開発に意欲がある企業を歓迎いたします。

簡略図

マイクロ波・ミリ波センサ (波長 : 10mm-100mm)

自動運転:

衝突回避・周囲環境モニタリングセンサの需要が高まる

→ **昼夜全天候型**のレーダは必須

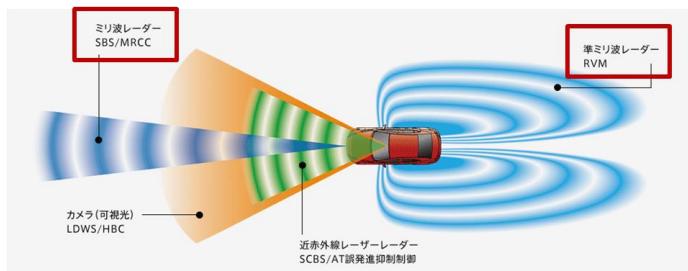
(**粉塵・濃霧・夜間・悪天候**でも計測可能)

→ **回折波** 及び **多重散乱波**による

見通し外イメージングによる事故軽減



課題: 分解能・精度: cm級 + 人体検出が困難



自動運転における各種センサの統合例

回折波及び多重散乱波
による死角領域イメージング

背景

粉塵・暗闇・高濃度ガス・強い逆光等の劣悪な環境下では、通常のカメラやセンサでは救助者や障害物などの検知性能が劣化してしまいます。本研究では、UWB レーダに RPM



法という独自技術、ドップラ推定技術を組み合わせることにより、劣悪環境下でもリアルタイムかつ高精度に目標対象物・障害物を検知します。透過性が高いため地中埋没物などの資源探査にも応用できるため、救助・資源探査用ロボットセンサに活用可能です。また、波長が長いレーダは見通し外も回折して観測可能なため、例えば車載レーダなどにも応用可能です。本研究を活用した製品開発に意欲がある企業を歓迎いたします。

技術内容

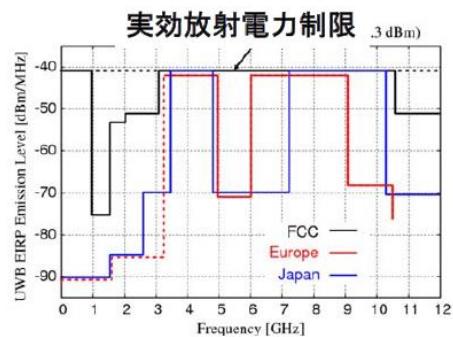
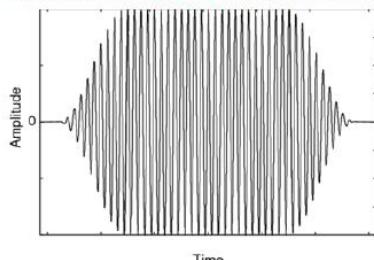
超広帯域のUWB帯を使用したレーダ計測技術を研究しています。一般的なレーダと比較し、UWBパルスでは距離分解能が数cm～数mmと高いことが特徴です。例えば3GHz帯を使用した場合には距離分解能は5cmです。

超広帯域(UWB)信号

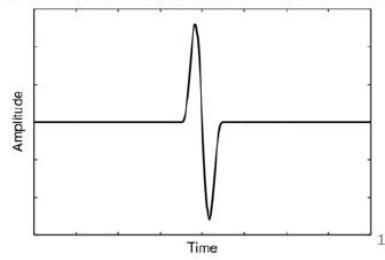
UWB(Ultra Wide-Band)信号:
近年各国で小電力に限り
空間利用が認可

UWB信号の定義
・比帯域幅が25%以上
・10 dB帯域幅が 500 MHz以上
(FCC,2002)

従来のレーダパルス
距離分解能: 1.5 m (帯域幅: 100 MHz)



UWBパルス
距離分解能: 5 cm (帯域幅: 3GHz)



UWB(超広帯域)レーダ: 高い距離分解能 (数cm～数mm)
・粉塵・暗闇・高濃度ガス・強い逆光等の環境下で適用可能

レーダを用いた画像化技術では、従来手法として「合成開口レーダ (SAR)」という手法が用いられていました。本研究では新たに「RPM法 (Range Points Migration)」という手法を研究しています。比帯域が 100%のモノサイクルパルスを用いた場合、その中心波長に対して、精度が 1/100 波長と高精度化し、分解能が 1/10 と高分解能化し、計算の超高速処理を実現しています。



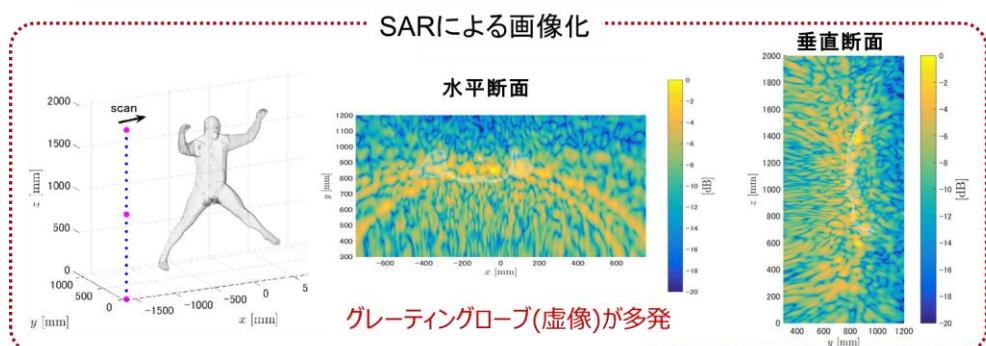
従来の画像解析法

マイクロ波・ミリ波の波長：10mm～100mm

従来の画像化法：合成開口処理(SAR:Synthetic Aperture Radar)

原理：反射点への結像処理

- ・空間分解能：波長程度（回折限界）
- ・コヒーレント処理による虚像生成



独自の画像化法(RPM法)

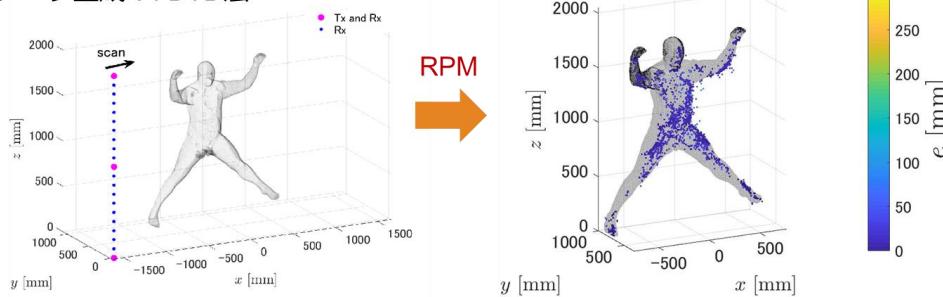
提案法：RPM(Range Points Migration)法 [1,2]

原理：観測される距離点(Range point)を反射点に写像
(ガウスカーネル密度推定による統計的アプローチ)

→ 距離と方向のJoint問題をほぼ完全に解決

主な性能・精度：1/100波長・分解能：1/10波長
・高速処理（3次元問題：数秒程度）

データ生成：FDTD法



また、屋内において目標対象物が複数・複雑に渡る場合、壁にあたっての散乱が多重に発生し、虚像の要因となり、精度が劣化します。従来の手法はこの虚像を抑圧することに主眼が置かれていましたが、本研究では多重散乱波が一回散乱波ではない目標形状の



情報を含んでいるという点に着目し、従来では再現できなかった影となる領域を再現させる手法を考案しました。

具体的には、RPM 法に加えて二重散乱波合成という技術を考案し、一回散乱波では見ることのできなかった領域（影領域）を高速かつ高精度に推定することを可能にしました。

多重散乱波による影領域イメージング

複数・複雑目標の場合：

多重散乱波が存在 \Rightarrow 虚像の要因

逆転の発想

多重散乱波：

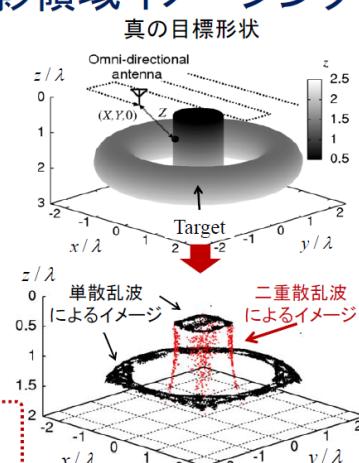
複数散乱点の位置情報を有する
↓
目標再現範囲を拡大
(不可視領域のイメージング)

RPM法+二重散乱波合成

\Rightarrow 従来の画像領域を飛躍的に拡大
(S. Kidera and T. Kirimoto, IEEE Trans. 2012)

各種応用への利点

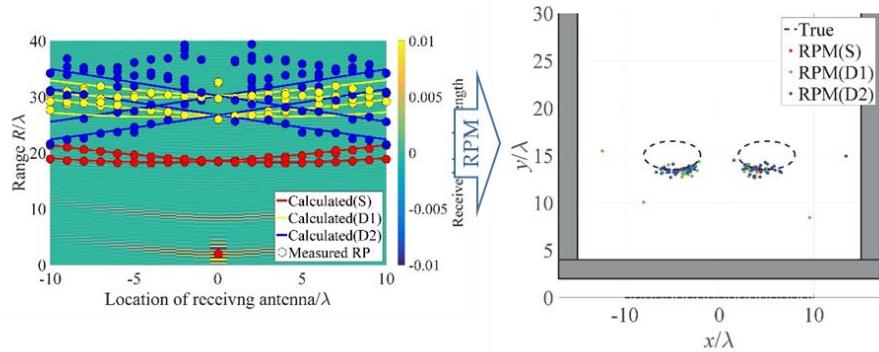
・目標認識性能の向上



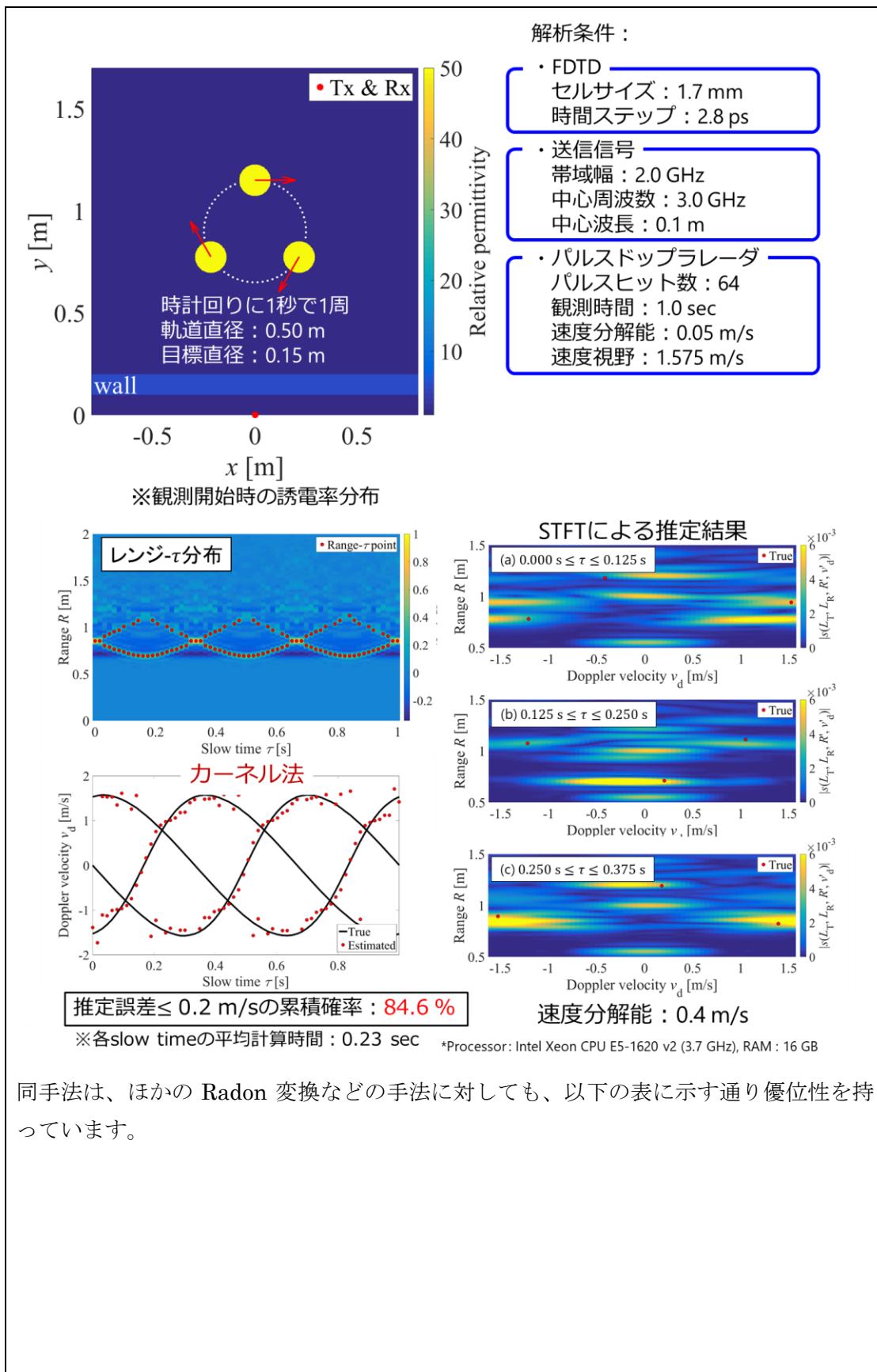
一方、上記の技術は多重散乱波の各信号が何回反射したかという情報が与えられた状況で画像化をしています。一般に反射波系のみでは、多重散乱波の反射回数を推定することは困難です。同識別のため、RPM 法による推定像をドップラ速度を用いて、多重散乱波の回数を識別する方法も検討しています。下図は、壁で囲まれた人体を想定した場合に、各壁や人体の間で多重散乱が多数発生します。人体の速度ベクトルを RPM 像より推定することで、伝搬経路より多重散乱回数を識別しています。これによる虚像を抑え、画像情報量を増大させることができます。この技術は特に、狭い路地での見通し外環境下等での飛び出しを事前に察知する自動運転センサ等の基盤技術として有望であると考えられます。



ドップラ速度による多重散乱波識別とRPM法の統合



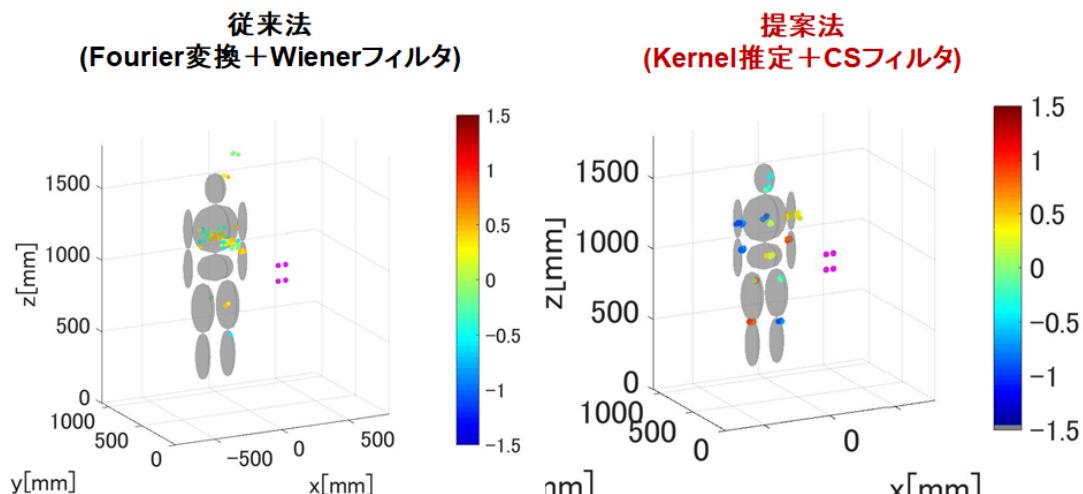
また、ドップラー速度の速度ベクトルを推定する技術により、人体とそれ以外の物体との分離検出の精度を高めることに成功しています。人間の表面は絶えず揺れており、その揺らぎ情報をマイクロ波により検知し、画像化を行う際の信号処理に応用しています。一方で、人体の各部の動きは 0.1 m/s 程度の動きであり、マイクロドップラーと呼ばれ、高分解能にドップラ速度を推定する必要があります。しかし、従来のフーリエ変換に基づく手法では、特に数 GHz 程度の低い周波数帯では、十分な速度分解能を得ることが難しくなります。これに対して本研究室では、RPM 法の原理を拡張した、ガウスカーネル密度推定によるドップラ速度推定法を提案し、フーリエ変換で問題となる時間分解能と速度分解能トレードオフを本質的に解決しました。下の図では、3 つの円形状ターゲットが回転しており、ドップラ速度が時間とともに大きく変動するケースを示しています。この際に従来法である STFT(Short Time Fourier Transform)法では、ドップラ速度の分解能が不十分であり、また時間分解能は時間窓幅で決まるため、時間分解能及びドップラ速度分解能の両方が不足していることがわかります。これに対して、ガウスカーネル法では、各時刻のドップラ速度を逐次推定することが可能となり、高分解能・高精度なドップラ速度推定を各時刻で達成しており、従来の速度分解能と時間分解能のトレードオフを本質的に解決していることがわかります。





	STFT	Radon変換	Kernel 法
ドップラ 速度分解能	波長/観測時間	波長/観測時間	下限なし
時間分解能	観測時間 (PRI×ヒット数)	観測時間 (PRI×ヒット数)	PRI
トラッキング 処理・補正	不要	必要	不要
ノイズ耐性	コヒーレント 積分処理	コヒーレント 積分処理	インコヒーレント 積分処理
精度	下限：ドップラ速 度分解能/2	下限：ドップラ速 度分解能/2	下限：なし(SNR で決定)
計算時間	非常に短い	長い	短い
RWへの対応	不可	可	可

同技術は特に超分解能距離推定法である圧縮センシング(Compressed Sensing :CS)フィルタとの相性が非常に良い手法です。本研究では、kernel 推定と CS フィルタという独自の信号処理技術により、ドップラ推定を高精度に行うことで、人の挙動をより細かく把握することができます。



誤差10mm以内 : 3.47%
RMSE:543mm
処理時間 : 1.2s*

誤差10mm以内 : 74.3%
RMSE:11.2mm
処理時間 : 1600 s*

*CPU : Intel(R)Xeon(R) 2.40GHz プロセッサ



技術・ノウハウの強み(新規性、優位性、有用性)

災害現場・宇宙空間等の人体にとって危険または有害な環境下で活動する自律型ロボットは、幅広い用途（救助補助・資源探査・災害復旧等）に有用であり、非常に高い社会的・産業的需要があります。

代表的な三次元距離センサである TOF (Time Of Flight) カメラ（赤外線パルス）は、毎秒 30 フレーム程度の距離画像化を実現しますが、環境光に対する誤差感度が高く、また 2~3m 程度の計測範囲で推定誤差は 10cm 程度まで劣化してしまいます。

一方で、赤外線レーザいわゆるレーザレーダは、距離計測精度が高く、夜間でも使用可能ですが、悪天候下では適用が難しく、速度計測精度がよくありません。

これに対し、ミリ波レーダ技術は、粉塵・高濃度ガス・強い逆光・高熱・高圧・極低圧環境等の劣悪な測定環境下でも適用可能であり、その測距性能(数 mm)は、遠方領域でも保持されます。また目標対象物と数十 m~数 m 離れていても測定可能です。

車載センサ比較

	光学カメラ	赤外線レーザ (LiDAR)	ミリ波レーダ
波長帯	300-700 nm	760 nm	1mm – 10mm
コスト	○	○	△
距離計測	×	○	○
速度計測	×	△	○
空間分解能	○	○	△
視界不良状況での探知	×	夜間：○ 悪天候：×	夜間：○ 悪天候：○
探知距離	近距離(数m)	近距離(数m)	遠近両用(数m~数十m)

連携企業のイメージ

災害救助・資源探査関連の機器メーカーやロボットメーカー、レーダメーカーなど、本装置の事業化・普及に意欲がある企業を歓迎いたします。レーダに関するノウハウは研究室にあるため、企業側にレーダの知見が無くても連携可能です。



技術・ノウハウの活用シーン(イメージ)

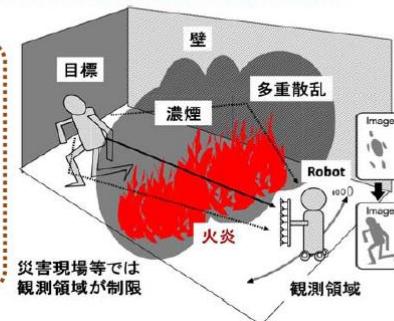
UWB レーダは高い距離分解能のほか、粉塵・暗闇・高濃度ガス・強い逆光等の環境下でも適用可能です。その特徴を生かして救助・資源探査ロボットセンサ等への適用可能性があります。屋内・屋外でも利用可能です。

UWBレーダによる近距離計測

UWB(Ultra Wide-Band)信号: 500MHz 以上の周波数帯域
⇒ 近年、欧米・日本で小電力に限り空間利用が認可

UWB(超広帯域)レーダ: **高い距離分解能** (数cm~数mm)
・粉塵・暗闇・高濃度ガス・強い逆光等の環境下で適用可能

- UWBレーダセンサの用途
- ・救助・資源探査ロボットセンサ
(劣悪な環境下での目標認識・障害物検知)
 - ・セキュリティセンサ
(プライバシー保護+高い監視性能の両立)
⇒ 単独生活の老齢者・身障者監視



前項の二重散乱波合成技術を用いることにより、3次元イメージングも可能です。また、その透過性を生かして地中内の埋没物の探査、金属などの資源探査にも応用可能です。他、車載レーダなどにも活用可能です。

技術・ノウハウの活用の流れ

本技術の活用にご興味があればお気軽にお問合せください。UWB レーダの装置デモや技術内容など詳しいご紹介をさせていただきます。

専門用語の解説

【UWB (ウルトラワイドバンド)】

無線通信の方式のひとつで、データを 1GHz 程度の極めて広い周波数帯に拡散して送受信を行う手法です。それぞれの周波数帯に送信されるデータはノイズ程度の強さしかないため、同じ周波数帯を使う無線機器と混信することができなく、消費電力も少ないことが特徴です。位置測定、レーダ、無線通信の 3 つの機能を合わせ持つておらず、独特な無線応用技術です。

【レーダ】

電波を対象物に向けて発射し、その反射波を測定することにより、対象物までの距離や方向を明らかにする装置です。遠くにある物との距離を電波によって計測し、図示する



オープンイノベーション推進ポータル

株式会社キャンパスクリエイト

ことで航空機・船舶の位置把握や雨雲の雨量計測に、また物体の速度測定や障害物検知などのシステムに使われています。

【災害救助ロボット】

災害救助ロボットは、地震や水害などの災害で被災した人間を救助したりすることなどを目的として設計されたロボットです。現在開発が進められているもの多くは、要救助者の探索を目的としており、瓦礫や建物内の中を移動するための特殊な移動機構や、人間を発見するためのセンサ技術などの開発が焦点となっています。

お問合せ先

下記から御問合せください。

https://www.open-innovation-portal.com/university/it/radar_imaging.html