

UWB レーダーの最先端と応用

佐藤 亨¹

¹ 京都大学大学院情報学研究所

Current status and applications of UWB radar

Toru Sato¹

¹ Graduate School of Informatics, Kyoto University

UWB (Ultra-Wideband) signal has opened new application areas of radio waves since US FCC defined it in 2002-2005 as the weak radio emission having absolute bandwidth of larger than 500MHz or relative bandwidth larger than 20%. It is especially useful in enhancing the capability of short-range communication and target detection. UWB radar is now regarded as one of key technologies in realizing automated driving systems. This report briefly overviews the current status and promising applications of UWB radar technology with main emphasis on human imaging and remote vital monitoring. Possible applications of the technology in the scope of polar science will also be suggested.

レーダー技術は従来、大電力を送信して遠方の目標を観測することに用いられてきた。PANSY レーダーに代表される大型大気レーダーはその典型であり、大気乱流や電離圏自由電子による大気屈折率の微弱な擾乱からのエコーを検出するため、送信電力は数百 kW～数 MW、アンテナ開口径は数十 m～数百 m という大規模な装置が用いられる。このような場合には、他の通信に影響を与えないよう特定の排他的な周波数帯域が割り当てられる。レーダーにおける距離分解能は帯域幅に反比例し、1MHz の半値帯域幅が約 150m の距離分解能に対応する。

しかし、例えば車載レーダーで個々の歩行者を識別するためには 10cm 程度の距離分解能が求められ、それに必要な 1GHz を超える帯域幅を占有することは非現実的である。そこで米国連邦通信委員会(FCC)は 2002～2005 年にかけて他の通信に影響を与えない電波強度の基準を定め、小電力で超広帯域(UWB; Ultra-wideband)の電波の利用を認める方針に転換した。その後我が国を含む各国で同様の基準が制定され、UWB 技術が急激に発展した。現在は国際的にミリ波帯の 76～81GHz がレーダー用途に割り当てられており、近距離では数 cm の距離分解能が可能となっている。

車載レーダーなどの応用において競合する技術は光学計測、特にレーザーレーダーである。現在のレーザーレーダーはビームを機械的に走査する必要があり、高価で小型化にも限界があるが、数年内には電子走査が可能になって大幅な小型化と低価格化が進むと予想されている。これに対して電波は降雨や霧に対する透過性が高いという利点があり、特に屋外の用途では完全に光学計測に置き換えられることはないと思われ。

電波計測の最大の欠点は、波長が光に比べて長く、角度分解能が劣ることである。同一のレンジセル（距離分解能で決まる距離方向の単位）内に存在する目標が単一である場合には、2 つのアンテナで受信される信号の位相差を用いて到来方向を推定する干渉計法が有効である。しかし複数の目標が同一距離に存在する場合にはこの方法は利用できない。この問題を回避する有効な手法の一つがドップラー効果の利用である。通常のレーダーにおいては受信信号のドップラー偏移を用いて目標の速度を推定することが行われるが、歩行人体のように各部が異なる運動をする複合目標の場合には、ドップラーспекトルに分解することで、異なる速度を有する各部を分離することが可能である。その後、分離した身体各部分を干渉計法で方向推定する手法をドップラー分離干渉計法と呼ぶ。図 1 に歩行人体を正面から測定した場合について、単純な干渉計法（左）と本手法（右）の比較結果を示す (Saho *et al.*, 2013)。図中の各点の色は視線方向速度を表す。この手法により、形状推定精度が大幅に向上すると共に、速度情報から歩行形態の同定なども可能となる。この手法では受信アンテナは 3 素子で済むが、同一距離かつ同一速度の目標が複数存在すると偽像を生じる。受信アンテナ素子数を増やしてアレイ構成とし、アダプティブアンテナ技術を用いることで、この問題に対応することができる(Anabuki *et al.*, 2017)。ここでは、所望方向の利得を一定に拘束し、出力電力を最小化することで不要応答を抑圧する Capon 法が利用されている。

人体の計測においてドップラー効果を利用する応用のもう一つの例が遠隔バイタル（呼吸や心拍などの生体情報）モニターである。体表面は呼吸や心拍動により微小な変位を生じており、体表面に相当する距離の信号位相の時間変化から距離変動を推定することが可能である。図 2 は、UWB レーダーで約 60cm の距離から計測された人体表面の信号位相（黒線）と心電計(ECG)電圧（赤線）を時間の関数として示す。レーダー信号では呼吸周期に相当する約 5 秒間隔の成分が卓越するが、ECG に同期する微小な心拍成分も重畳していることがわかる。呼吸成分をフィルタで除去した後、変動波形の特徴点の相関に着目した処理手法（トポロジー相関法）により、心拍成分を抽出することが可能となった(Sakamoto *et al.*, 2016)。図 3 は瞬時心拍間隔の時間変動を示す。黒線が心電計、

赤丸がレーダーによる推定結果であり、呼吸周期に同期した心拍間隔の変動も含めて心電計に匹敵する精度で推定が行えていることがわかる。これにより体表面にセンサーを接触させることなく呼吸と心拍を連続的に遠隔計測することが可能となった。ミリ波の電波は衣服や寝具を透過するため、就寝中の計測も可能である。

上述の通り、UWB レーダーは小電力に限られるため、大気レーダーのような遠距離の計測には適さない。極域科学の分野でこの技術が応用できるとすれば、対象としては無人航空機に搭載して海氷の厚みを測定することや、ペンギンなどの野生動物のバイタル情報をモニターすることなどが考えられる。

References

- Anabuki, M., S. Okumura, T. Sakamoto, K. Saho, T. Sato, M. Yoshioka, K. Inoue, T. Fukuda and H. Sakai, Ultra-Wideband Radar Imaging using Adaptive Array and Doppler Separation, IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst., Vol.53, No.1, pp.190-200, 2017.
- Saho, K., T. Sakamoto, T. Sato, K. Inoue, and T. Fukuda, Pedestrian Imaging Using UWB Doppler Radar Interferometry, IEICE Trans. Commun., Vol.E96-B, No.2, pp.613-623, 2013.
- Sakamoto, T., R. Imasaka, H. Taki, T. Sato, M. Yoshioka, K. Inoue, T. Fukuda, and H. Sakai, Feature-based Correlation and Topological Similarity for Interbeat Interval Estimation using Ultra-Wideband Radar, IEEE Trans. Biomed. Eng., Vol.63, No.4, pp.747-757, 2016.

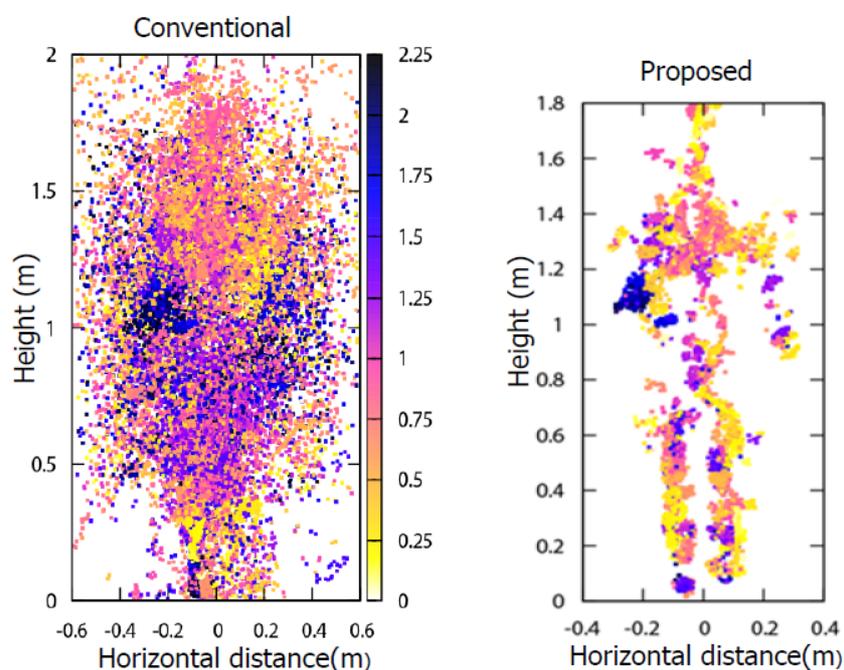


Figure 1. Imaging of walking human with (left) conventional interferometry and (right) Doppler interferometry techniques.

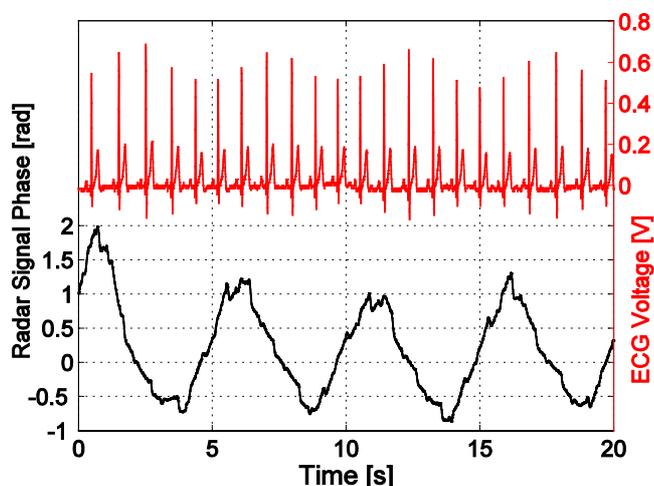


Figure 2. Displacement of human body surface measured by UWB radar (black line) and electrocardiogram voltage (red line).

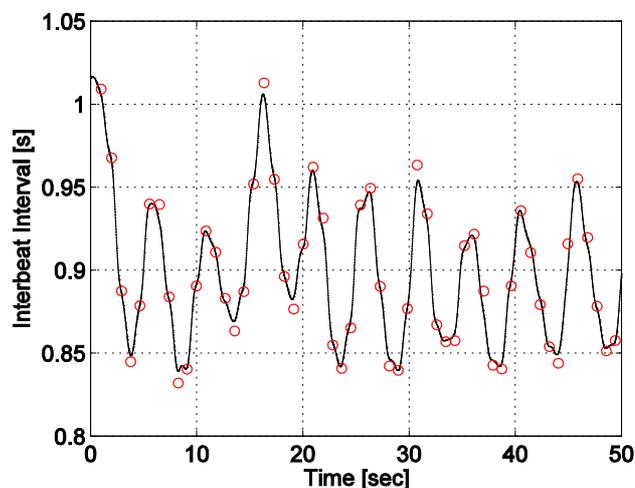


Figure 3. Instantaneous interbeat interval as measured by UWB radar (red circles) and electrocardiogram (black line).