

レーダを利用する目標の画像化処理に関する研究

生産科学研究科 山本 和彦

画像レーダは電波で目標を画像化する装置であり、光学カメラと比較して日照条件に左右されず、また、波長を適切に選択することで、雲、霧、樹木他を透過できる特長がある。この特長を活かして地形計測、資源探査、災害監視等の各種リモートセンシングでの利用が進められている。

合成開口レーダ (Synthetic Aperture Radar: SAR) は代表的な画像レーダである。SAR では、相対位置を変えながら目標にパルス状の電波を照射して反射波を受信する。そして、蓄積された受信信号を信号処理してレンジとドップラー周波数を軸とする画像を得る。SAR では、相対運動に含まれる回転運動と並進運動のうちの前者を積極的に利用する。回転する目標上の各反射点の速度ベクトルは、回転角速度ベクトルと、回転中心を基準とした各反射点の位置ベクトルの外積で与えられる。その速度ベクトルとレンジ軸方向の単位ベクトル（レンジベクトル）の内積はレーダに対するラジアル速度であり、回転角速度ベクトルとレンジベクトルの外積方向の軸（クロスレンジ軸）上の各反射点の位置に比例する。ドップラー周波数がラジアル速度と比例することを踏まえると、SAR 画像がレンジ軸とクロスレンジ軸の両者を含む平面（投影面）への反射点の分布の投影像となることが分かる。

一方、相対運動に含まれる並進運動成分は、各反射点のレンジとドップラー周波数の時間変化を生じさせ、画像の分解能の劣化を引き起こす。そこで、高分解能なレーダ画像を得るためには、並進運動成分を補償する必要がある。しかし、一般的に並進運動成分は未知なため、受信信号に基づいて補償量を推定する技術が必要となる。

また、画像レーダの応用の一つに目標の識別が挙げられる。ここでは、観測で得られた画像（観測画像）を、観測する可能性のある様々な目標（候補目標）の画像（参照画像）と照合する方法を想定する。この場合、参照画像の投影面を観測画像と一致させる必要がある。そこで、観測画像の投影面を推定する技術が必要になる。

以上を踏まえ、本論文では、レーダを利用した目標の画像化処理の高性能化のために、受信信号のレンジとドップラー周波数の変化を推定して補償する方法と、観測画像の投影面を推定して参照画像を生成する方法を提案する。

まず、第一章では、画像レーダの発展の歴史を概観し、本研究の位置づけを明らかにする。次に、第二章では、画像レーダの動作原理を説明するとともに、以下で取り扱う画像レーダの受信信号モデルと問題点を定式化する。

第三章と第四章では、画像の分解能の劣化を防ぐために受信信号を補償する方法について述べる。まず第三章では、主にレンジの時間に対する一次変化が問題となる場合を想定する。この補償量の推定は、受信信号の振幅をレンジと送信パルス番号を軸とする画像とみなした場合の、画像上の直線群の傾きを推定する問題と捉えることができる。そこで、二次元フーリエ変換を適用することで、空間周波数画像上の定点（原点）を通る一本の直線の推定問題に簡単化して解く方法を提案する。

次に、第四章では、相対運動が複雑になり、ドップラー周波数の変化が増大し、かつ、受信信号の画像上の軌跡を直線として取り扱えない場合を想定する。ここでは、相対運動で発生する受信信号の位相変化に基づいて、ドップラー周波数の変化とレンジの時間に対する二次以上の変化を同時に補償する方法を提案する。位相の推定の際には、 2π ラジアンごとの位相折り返しが含まれることと、雑音や複数の反射点の干渉の影響で位相が変動することを踏まえ、これらの影響

をなるべく低減する工夫を施している．提案方法により，複雑な運動を行う目標を観測する場合や，レーダプラットフォームの運動の安定性が低い場合にも高分解能なレーダ画像を生成できる．

第五章では，観測画像と照合して目標を識別するための参照画像の生成方法について述べる．画像の投影面は目標とレーダの間の相対位置と相対運動によって変化し，これを推定するのは容易ではない．ここでは，船舶のように進行方向に対して細長い目標を想定し，その形状的な特徴を利用して投影面を推定する方法を提案する．この方法では，まず，三次元空間内における直線の方法ベクトル，レーダ画像上でのその軸の向きと投影面の関係を明らかにする．次に，レーダで目標を追尾して目標の長手方向すなわち進行方向の軸の方法ベクトルを推定し，さらにこの軸のレーダ画像上での方向を計測する．そして，これらと上で述べた関係から投影面を決定する．各候補目標の三次元形状に電磁界理論を適用して推定される反射点の分布を，既に定まった投影面に投影することで，観測画像と投影面の一致した参照画像を生成できる．これにより，高精度な目標識別を実現できる．

第六章は結論であり，本研究で得られた結果を総括する．