

雪中レーダにおける位相情報を用いた

2R-4

微小距離変化の検出

*河野 元之 *青木 由直 **三橋 龍一

*北海道大学 工学部, **北海道工業大学

1 はじめに

積雪内の探査を目的とした雪中レーダ [1] は、多周波マイクロ波ホログラフィ技術を応用した3次元映像化レーダシステムである。このシステムでは、方位方向はホログラフィック処理によって圧縮され、高い分解能を有する。一方、距離方向の分解能は原理的に周波数掃引幅で決定される。試作した実験システムでは、方位方向と距離方向の分解能が同程度になるよう設計を行なっているが、周波数掃引幅はできるだけ狭い方が望ましい。そこで、いままで無視していた位相情報を利用して、同一距離上のデータから距離情報を抽出し [2]、今まで検出できなかった微小距離変化を検出する。

2 多周波ホログラムからの像再生

多周波ホログラムとして記録されたデータから再生像を得るには、周波数方向に1次元フーリエ逆変換を施したものに、さらに方位方向に2次元フレネル逆変換 [3] を施す。

Fig.1に示す座標系において、簡単のため点物体の多周波ホログラムの再生について考察する。距離方向圧縮である周波数に関する1次元フーリエ逆変換を行なった $h'(x, y, z_s)$ は次式で与えられる。

$$h'(x, y, z_s) = \int_{-\frac{F}{2}}^{\frac{F}{2}} \exp[-j2\pi f \frac{f}{v}] \cdot \left\{ 2z_0 + \frac{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2}{z_0} \right\} \cdot \exp(j2\pi f_d \frac{2z_s}{v}) df_d$$

$$= \exp(-j2\pi f_0 \frac{\Delta r + 2z_s}{v}) \cdot F \cdot \text{sinc}(\pi F \frac{\Delta r}{v})$$

$$\Delta r = 2(z_0 - z_s) + \frac{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2}{z_0}$$

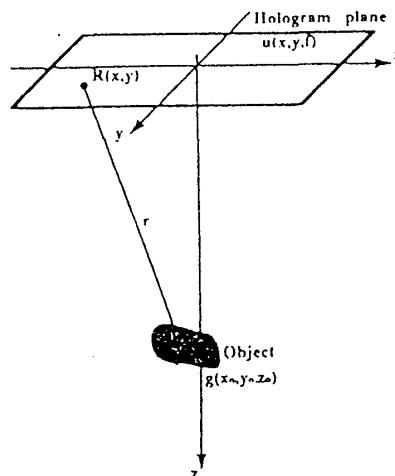


Fig. 1 多周波ホログラムにおける座標系

ただし、 f は送信周波数、 F は周波数掃引幅、 f_0 は中心周波数、 f_d は周波数と中心周波数との差、 v は電波の速度、 z_s は再生距離である。ここで、上式の距離情報を持つ \exp 項に着目し、 $z_0 = z_s$ として方位方向に関して2次元フレネル逆変換を行うと次式のようになる。

$$g'(x, y, z_s) = \int_{-\frac{l_y}{2}}^{\frac{l_y}{2}} \int_{-\frac{l_x}{2}}^{\frac{l_x}{2}} \exp(-j2\pi f_0 \frac{2z_0}{v}) \cdot \exp\{-j2\pi f_0 \frac{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2}{vz_0}\} \cdot \exp\{j2\pi f_0 \frac{(x - x_s)^2 + (y - y_0)^2}{vz_s}\} dx dy$$

$$= l_x \cdot l_y \cdot \exp(-j2\pi f_0 \frac{2z_0}{v})$$

Minute distance change of Snow Search Radar
by Detecting the Phase Information

*Motoyuki KOUNO, *Yoshinao AOKI
and **Ryuichiru MITSUHASHI

*Faculty of Engineering, Hokkaido University

**Hokkaido Institute of Technology

$$\cdot \text{sinc}\left\{2\pi f_0 \frac{x_s - x_0}{v z_0} l_x\right\}$$

$$\cdot \text{sinc}\left\{2\pi f_0 \frac{y_s - y_0}{v z_0} l_y\right\} \quad (2)$$

$$(3)$$

ここで、 l_x, l_y は x, y 方向の合成開口幅である。従来は強度データに変換し再生像としていたが、本来の同一距離のデータにも上式のように距離方向に関する位相項が含まれている。そこで位相の変化を求めるこにより相対的な距離変化の推定が可能になる。

3 実験

実際のシステムでは、 $50\text{cm} \times 50\text{cm}$ の平面を x, y 方向各 32 点にサンプリングを行ない、8~10GHz の X -band のマイクロ波を用いている。そのブロックダイアグラムを Fig.2 に示す。半径が 15cm のパイプを想定したシミュレーションデータを作製する (Fig.3) と共に、実際に半径 15cm のパイプを用いて実験を行ない (Fig.4)、それぞれに距離変化の推定を行なった。パイプの中央 (最頂) 部を定めてそこを基準とし、パイプと垂直方向にデータをサンプリングし、パイプの中央 (頂点) とパイプ上の点を定めて、その 2 点間をフーリエ変換し位相変化の空間周波数を求め、その結果から基準点からの相対的な距離変化を推定する。スペクトル推定法としてフーリエ変換を用いると、1.5cm 程度までの推定が可能である。ただし実際のデータはノイズが多く、パイプの最頂部を定めるのが困難である。そこで Hough 変換を施し、直線成分を検出し、その中央部を最頂点と定めている。その結果、パイプ中央から、パイプ端までの距離変化がわかる。パイプ端までの距離変化からパイプの太さも推定できる。

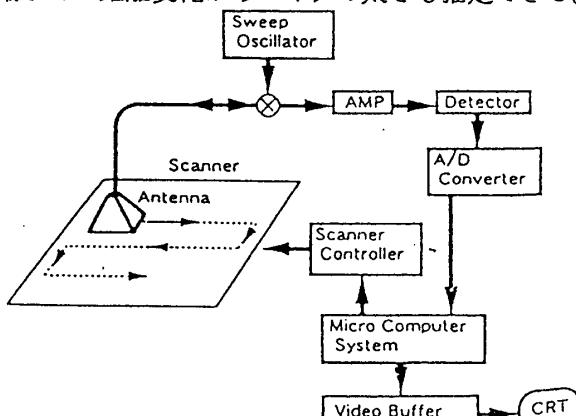


Fig. 2 雪中レーダーシステムのブロックダイアグラム

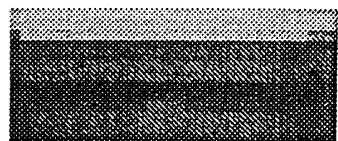
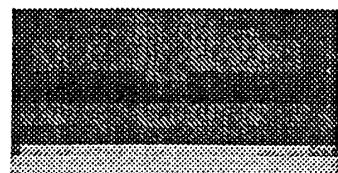


Fig. 3 シミュレーションデータの再生像

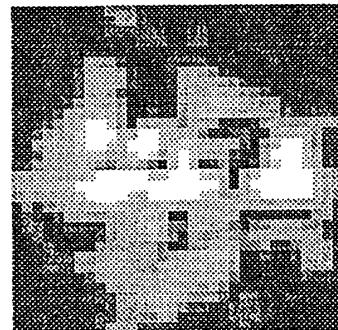


Fig. 4 半径 15cm のパイプの再生像（実験データ）

4 まとめ

多周波ホログラムの同一距離の方位方向再生像に残された位相情報を抽出し、それを用いてパイプの微小距離変化の推定を行なった。本手法を用いることにより、微妙な表面形状の推定、物体の断面図の作製也可能であろう。今後は、より複雑な物体に対して本手法を適用してみるつもりである。

参考文献

- [1] 三橋, 青木 : 信学論 (B-II), J75-B-II, 8, pp.580-587(1992-8)
- [2] 三橋, 初田, 河野, 青木 : 1993 秋信学全大, B-131(1993-9)
- [3] 青木, 石塚 : 信学論 (B), J57-B, 8, pp.511-518(昭 49-8)