

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 30 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25350505

研究課題名(和文) 小型高分解能レーダネットワーク信号処理手法の開発

研究課題名(英文) Radar Network Signal Processing Technique in Small-scale High Resolution Radar

研究代表者

金 寛(KIM, GWAN)

大阪大学・工学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：90243170

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：圧縮センシングを用いた気象用レーダの大容量観測データの圧縮手法を開発し、分解能が異なる2種類のレーダ(PAR、BBR)で観測されたレーダ反射因子のデータに適用した結果、圧縮率0.3以上で復元率80%以上を達成でき、圧縮率0.3で1mm/hの精度を保証できることを示した。また、高精度な再構成手法で約6%の精度向上が図られた。

2台のPARを対象とした降雨減衰補正手法を提案した。本手法は各PARのHB解の分散の重みにより各PARで求めたHB解を合成する手法であり、平均絶対誤差が各PARに比し約1dB改善され、有効に機能した。また、二重偏波レーダネットワークに適用可能な減衰補正手法の検討も行った。

研究成果の概要(英文)：We proposed a compression of the large-volume data by using Compressed Sensing(CS), which can realize highly efficient data compression for sparse signals. By applying the CS-based data compression scheme to data of spatial distribution of radar reflectivity factor obtained by two kinds of radars(PAR and BBR) with high resolution, more than 80% of reconstruction ratio was obtained in case of compression ratio of more than 0.3, and when compression ratio was 0.3, accuracy of rainfall rate of 1mm/h was achieved. The accuracy of 6% was improved by using high-quality reconstruction method.

Precipitation attenuation correction technique in two PARs was developed. The technique synthesized HB solutions calculated in each PAR, based on the weight of variance of HB solution in each PAR. The obtained results showed that mean absolute error was improved 1 dB compared with that of each PAR's HB solution. Probabilistic attenuation correction in dual-pol radar network was investigated.

研究分野：システム工学

キーワード：気象災害 フェーズドアレイレーダ Ku帯広帯域レーダ レーダネットワーク 大容量データ 圧縮センシング 降雨減衰補正 レーダ反射因子

1. 研究開始当初の背景

竜巻や集中豪雨等の気象災害は年々増加する傾向にあり、その被害は甚大となっている。一般に、竜巻、集中豪雨、ダウンバースト等の気象災害は局地的かつ短時間で変化する。従って、気象災害の監視・短時間予測を行い、高精度な警戒情報をリアルタイムで配信することは防災上の緊急課題である。

竜巻や集中豪雨は、マイクロスケール現象と呼ばれ、発生する領域の空間スケールが幅約 10m、高さ 2 km、発生から消滅までの期間の時間スケールが約 10 分と極めて局地的な現象である。これらの現象は、降水強度や降水帯に存在する 3 次元風速場を直接観測するレーダにより観測される。しかし、従来の大型レーダによる観測網では、時間分解能が不十分で低高度の観測も行えないため、マイクロスケール現象の有益な観測データを取得することができない。

この問題に対し、我々の研究グループでは、高時間・空間分解能を有した 4 台の小型レーダを開発している。そのうち、3 台の Ku 帯広帯域レーダ (BBR: Broad Band Radar) は時空間スケールが 1 分、5 m で半径 20 km 内の高度 20 km までをフルボリュームスキャンすることができる。また、1 台のフェーズドアレイレーダ (Phased Array Radar (PAR)) は 30 秒、100m で半径 15~60 km 内の高度 14 km までをアンテナを 1 回転させるだけでフルボリュームスキャンすることが可能な高性能な気象レーダである。これらのレーダを用いて気象現象を観測した結果、マイクロスケール現象の時間・空間分解能の問題については解決する道筋を得られた。これらのレーダは単体でも高精度観測を可能とするが、小型レーダの特徴を活かし、多地点に配置して複数のレーダを協調動作させるネットワーク観測手法により、超高精細気象観測を広範囲にわたり実現できる。

我々の研究グループの最終的な目標は、小型レーダを多数配置したネットワーク観測による超高精細気象観測結果のリアルタイム配信である。しかし、小型レーダは高時間空間分解能で気象現象を観測できる利点を有するがその反面、大容量の観測データが発生するという問題も有し、現時点では迅速かつ正確な警戒情報のリアルタイム配信という目的は達成できていない。この要求に応えるため膨大な観測データの収集・統合分析処理をリアルタイムかつロバストで実施できるレーダネットワーク信号処理手法の開発が必要であるという本研究計画の着想に至った。

具体的に我々は、以下の 2 点の問題に直面している。

BBR、PAR で 1 分毎に観測されるデータ量は各々 180 MB、520MB であり、大容量である。現状の通信回線では通信速度の点において、リアルタイムでこれら観測データ全てを転送して一元処

理するのは実現不可能である。

積乱雲の 3 次元構造や竜巻や集中豪雨等の気象災害の原因を解明するための各種指標を導出するために用いるレーダネットワークから得られる観測データに基づいた統合処理解析を行うレーダネットワーク信号処理手法が開発されていない。

これら問題点を解決するための圧縮手法および信号処理手法を開発することは実用上必須の課題である。

2. 研究の目的

本研究では、従来の大型レーダによる観測網では捉えることが困難であった竜巻や集中豪雨等の気象災害に対し、迅速かつ正確な警戒情報を提供するレーダネットワークを用いた観測システムの開発に必須となる小型高分解能レーダネットワーク信号処理手法を開発し、本手法の有効性を評価することを目的とする。本研究は、1) 各レーダで観測される大容量データの圧縮センシングを用いた高効率圧縮手法の開発とその有効性評価、2) 気象災害の原因解明に用いる降水量を高精度で推定するためのレーダネットワーク信号処理手法 (降雨減衰補正手法) の開発とその有効性評価、の 2 項目により構成される。

3. 研究の方法

研究課題は以下の 2 つのサブテーマで構成し、これまでの研究活動を考慮して配置した研究者 (代表者 (金) と分担者 (牛尾)) をリーダーに、研究分担者、連携研究者と担当する。また、レーダの運用や観測作業などについては、大阪大学大学院工学研究科の大学院生に研究協力者として協力を願う。

(1) 各レーダで観測される大容量データの圧縮センシング^{*1,2} (Compressed Sensing: CS) を用いた高効率圧縮手法を開発・改良する。この開発・改良により通信のリアルタイム性、通信網のロバスト性および高精度な復元によるデータのロバスト性を達成する。これらはネットワーク環境における統合解析処理 (ネットワーク信号処理) のために解決しておく必要のある最初の課題である。

(2) 気象災害の原因解明に用いる降水量を高精度で推定するためのレーダネットワーク信号処理手法 (降雨減衰補正手法) を開発・改良する。

開発する両手法を用いてレーダネットワークから得られる観測データの統合解析処理を行うことにより、気象災害解明のための降雨量や多次元風速等の各指標の導出が可能となる。

4. 研究成果

(1) 3 年間の研究期間を通じて開発した圧縮

手法（レンジ方向の1次元データの圧縮・復元）を分解能が異なる PAR と BBR で観測された6事例と1事例のレーダ反射因子の各々のデータに対し、適用した結果をまとめた論文「圧縮センシングを用いた気象用レーダの大容量観測データの圧縮」が電気学会論文誌A部門に掲載された。

(1)圧縮率0.3以上で復元率80%以上を達成できたことを示した。

(2) PAR の6事例のレーダ反射因子の値が10dBZ以上、20dBZ以上および30dBZ以上の各データに対する復元データと元データとの平均誤差を図1に示す。図において青色、黒色および赤色の各ラインは10dBZ以上、20dBZ以上および30dBZ以上の平均誤差を示す。10dBZ以上と20dBZ以上の平均誤差には差異がなく、30dBZ以上のレーダ反射因子の値が大きいほど、誤差が大きくなった。各圧縮率0.2、0.3、0.4、0.5、および0.6における30dBZ以上の平均誤差は-4.55dBZ、-2.72dBZ、-1.57dBZ、-1.00dBZ および-0.73dBZで、これら平均誤差を降雨量(mm/h)に換算すると、-1.31、-0.89、-0.55、-0.37 および-0.27 となり圧縮率0.3で降雨量1mm/hの精度(30dBZ以上の場合)を保証できることを示した。

(3)BBRの観測データの空間スケールはPARのそれと比較するとかなり小さいため、空間相関が高く、したがって低周波成分が大部分を占めるので離散コサイン変換(離散ウェーブレット変換でも可能)を用いる方が適しており、PARでは逆にBBRのそれと比べて大きく、急峻な変化に対応するため、離散ウェーブレット変換を用いる方が適していることも示した。

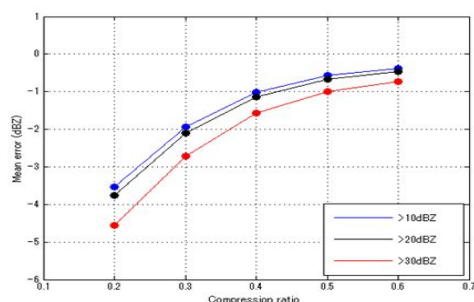


図1 圧縮率と復元精度との関係

(4)復元率向上のためのより高精度な再構成手法(レンジ方向と方位角方向の2次元データの圧縮・復元)を適用した結果、約6%の精度の向上が図られることを確かめた。

本研究で得られた手法を気象用レーダの大容量観測データに対して適用することにより、ネットワーク上の転送問題の解決やデー

タ蓄積に必要な記憶容量の大幅な削減が図られるものと期待される。また、本研究を通して開発された手法と小型高分解能レーダを全国に配備することにより各地で多発している気象災害の防止対策に十分活用されるものと期待される。

(5)2台のPAR(大阪大学吹田キャンパス(PAR1)と神戸市西区(PAR2)にそれぞれ設置)を対象としたレーダネットワーク状況下における降雨減衰補正手法を提案した。本手法は既存の降雨減衰補正手法の一つであるHitchfeld Bordan (HB)法^{*3}を元に、ネットワーク領域内のある観測点に対して、各PARのHB解の理論的分散値の逆数による重み付けによって各PARで求めたHB解を合成する手法である。提案手法を適用した結果、平均絶対誤差はPAR1、PAR2に比し約1dB改善され、提案手法が有効に機能することを確認した。また、二重偏波レーダネットワークに適用可能な確率的減衰補正手法の検討も行った。

<引用文献>

- *1 E. J. Candes and M. B. Wakin, An Introduction to compressive sampling, IEEE, Signal Processing Magazine, Vol. 25, no. 2, 2008, pp. 21-30
- *2 E. Candes and J. Romberg, ℓ_1 -MAGIC: Recovery of Sparse Signals via Convex Programming, Caltech, 2005, pp. 1-19 (<http://users.ece.gatech.edu/~justin/l1magic/downloads/l1magic.pdf>)
- *3 W. Hirschfeld and J. Bordan, Errors Inherent in the Radar Measurement of Rainfall at Attenuating Wavelengths, J. Meteor., 11, 1954, pp. 58-67

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 1件)

嶋村重治、菊池博史、松田崇弘、金寛、吉川栄一、中村佳敬、牛尾知雄、圧縮センシングを用いた気象用レーダの大容量観測データの圧縮、電気学会論文誌A、査読有、Vol. 135、No. 11、2015、pp. 704-710

〔学会発表〕(計 10件)

嶋村重治、菊池博史、松田崇弘、金寛、吉川栄一、中村佳敬、牛尾知雄、圧縮センシングを用いたKu帯レーダの大容量観測データの圧縮、平成25年電気学会基礎・材料・共通部門大会、2013年9月12日、横浜国立大学(神奈川県横浜市)
嶋村重治、菊池博史、松田崇弘、金寛、吉川栄一、中村佳敬、牛尾知雄、圧縮センシングを用いたフェーズドアレイレーダの観測データの圧縮手法の検討、日本大気電気学会第90回研究発表会、2014年1月9日、東京学芸大学(東京都小金

井市)
嶋村重治、吉川栄一、金寛、牛尾知雄、
Ku帯広帯域レーダネットワークにおける
降雨減衰補正アルゴリズムの開発、日本
大気電気学会第90回研究発表会、2014
年1月9日、東京学芸大学(東京都小金
井市)

嶋村重治、菊池博史、松田崇弘、金寛、
吉川栄一、中村佳敬、牛尾知雄、圧縮セ
ンシングによるKu帯広帯域レーダの大
容量観測データの圧縮、平成26年電気学
会電子・情報・システム部門大会、2014
年9月5日、島根大学松江キャンパス(島
根大学松江市)

嶋村重治、菊池博史、松田崇弘、金寛、
吉川栄一、中村佳敬、牛尾知雄、フェー
ズドアレイレーダ観測データの高精度圧
縮手法とその評価、日本大気電気学会第
92回研究発表会、2015年1月9日、千
葉大学西千葉キャンパス(千葉県千葉市)

藤田秀平、嶋村重治、平野裕基、妻鹿友
昭、菊池博史、呉亭、金寛、牛尾知雄、
吉川栄一、Xバンドフェーズドアレイレ
ーダネットワークにおける降雨減衰補正
手法の検討、日本大気電気学会第92回
研究発表会、2015年1月9日、千葉大学
西千葉キャンパス(千葉県千葉市)

藤田秀平、嶋村重治、妻鹿友昭、菊池博
史、呉亭、金寛、牛尾知雄、吉川栄一、
フェーズドアレイレーダネットワークに
おける降雨減衰を考慮した合成手法の検
討、JPGU、2015年5月24日、千葉幕張
メッセ(千葉県千葉市)

Shimamura, S., H. Kikuchi, T. Matsuda,
G. Kim, T. Ushio, E. Yoshikawa, Y.
Nakamura, Large-volume Data
Compression Using Compressed Sensing
for Meteorological Radar, 37th
Conference on Radar Meteorology, 2015
年9月17日、Oklahoma, US

藤田秀平、嶋村重治、妻鹿友昭、菊池博
史、呉亭、金寛、牛尾知雄、吉川栄一、X
帯フェーズドアレイレーダネットワー
クにおける降雨減衰補正手法、日本大気
電気学会第94回研究発表会、2016年1
月8日、電気通信大学(東京都調布市)

嶋村重治、佐藤和輝、牛尾知雄、金寛、
V. Chandrasekar、二重偏波レーダネ
ットワークにおける新たな降雨減衰補正
手法、日本大気電気学会第94回研究發
表会、2016年1月8日、電気通信大学(東
京都調布市)

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0件)

名称：
発明者：

権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計 0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

金寛(KIM Gwan)
大阪大学・大学院工学研究科・助教
研究者番号：90243170

(2) 研究分担者

牛尾知雄(USHIO Tomoo)
大阪大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号：50332961

中村佳敬(NAKAMURA Yoshitaka)
神戸市立工業高等専門学校・准教授
研究者番号：70609817

(3) 連携研究者

松田崇弘(MATSUDA Takahiro)
大阪大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号：50314381

(4) 研究協力者

吉川栄一(YOSHIKAWA Eiichi)
菊池博史(KIKUCHI Hiroshi)
嶋村重治(SHIMAMURA Shigeharu)

