

論文内容の要旨

博士論文題目

圧縮センシングを用いた漏洩同軸ケーブル侵入者検出システムの信頼性向上

氏名

佐藤 智紀

(論文内容の要旨)

近年、鉄道線路内、空港、学校などの広域エリアでの不審者侵入の防止が重要な課題となっており、不審者侵入を検出するための高信頼性センシング技術に対する要求が高まっている。センシング技術の1つとして、広範囲に検出領域をもつ漏洩同軸ケーブル (LCX : Leaky Coaxial cable) による侵入者検出が注目されている。この LCX を用いた侵入者位置検出システムは、送信、受信用の 2 本の LCX を設置し、送信ケーブルから測距用広帯域信号を送信する。受信ケーブルで得られた受信信号と送信信号との相互相関を求めることで、送信端と受信端の間のインパルス応答を求める。そして、このインパルス応答の変動量を測定することで侵入者の有無、及び位置の検出を行う。

しかし、LCX を用いた侵入者検出システムは、熱雑音や風によるケーブルの揺れが原因となる誤検出が大きな問題となる。この問題に対する解として、受信信号から遅延時間とドップラー周波数を示すチャンネル散乱行列を得ることで、侵入者成分と外乱成分を分離した上で侵入者の位置を推定する処理が考えられるが、従来手法である Least Square (LS) 方式を用いた場合、雑音成分が強くなると外乱成分の分離に影響を与え誤検出率を増大させてしまう。

本論文では圧縮センシング (CS : Compressed Sensing) を用いた方式で雑音成分を除去した上でチャンネル散乱行列を得るアルゴリズムを提案する。CS は、L1 再構成と呼ばれる問題を解くことでスパース解の推定を高精度に行うことが可能であり、これを侵入者検出システムに用いることで誤検出率を改善することが可能になる。

また、CS 方式において問題となる計算量増大に対する一つの対処として、CS 方式と LS 方式を組み合わせた方式も提案し、計算機シミュレーションを用いて 3 方式の誤検出率を比較し、評価を行った。その結果、LS 方式と比較して CS 方式及び組み合わせ方式の誤検出率がそれぞれ、1/10, 1/5 に改善されることが

確認された。

次に、より大幅な計算量の削減を行うため、CSにおけるスパース解の推定方式の1つである Matching Pursuit (MP) を用いて侵入者検出処理における計算量削減を図る手法を提案する。本検出システムのように検出処理を連続的に繰り返して行うことを考えた場合、ある時間 t と $t+1$ の間で侵入者の移動量は本システムにおいて判別可能な最小距離に比べてわずかであり、得られるインパルス応答において大きな変化が起こらないと考えられる。このことを利用すれば t の推定結果を $t+1$ の推定に利用することで、処理時間を削減できる。そこで、スパース解の推定で L1 再構成問題を解く際に用いられる MP 方式における計算量削減アルゴリズムを提案する。計算機シミュレーションによる評価により、誤検出率を下げることなく、前回の推定結果を利用しない場合と比較して計算量を半分程度に下げることが可能であることを示した。

氏名	佐藤 智紀
----	-------

(論文審査結果の要旨)

平成 24 年 12 月 19 日に開催された公聴会を参考に、平成 25 年 2 月 18 日に、本博士論文の審査を実施した。

本論文は鉄道線路内、空港、学校などの広域エリアにおける不審者侵入を検出するための高信頼性センシング技術に関するものである。ここで想定している漏洩同軸ケーブル (LCX : Leaky Coaxial cable) を用いた侵入者位置検出システムは、送信、受信用の 2 本の LCX 間を伝搬する信号の変化を観測し、伝搬区間のインパルス応答を求める。そして、このインパルス応答の変動量を測定することで侵入者の有無、及び位置の検出を行っている。

しかし、LCX を用いた侵入者検出システムは、熱雑音や風によるケーブルの揺れが原因となる誤検出が大きな問題となっている。この問題に対する解として、本論文は、圧縮センシング (CS : Compressed Sensing) を用いた方式で雑音成分を除去した上でチャンネル散乱行列を得るアルゴリズムを提案する。CS は、L1 再構成と呼ばれる問題を解くことでスパース解の推定を高精度に行うことが可能であり、これを侵入者検出システムに用いることで誤検出率特性が改善されることを明らかにしている。

また、CS 方式において問題となる計算量増大に対する一つの対処として、CS 方式と LS 方式を組み合わせた方式も提案し、計算機シミュレーションを用いて 3 方式の誤検出率を比較し、評価を行った。その結果、LS 方式と比較して CS 方式及び組み合わせ方式の誤検出率がそれぞれ、1/10、1/5 に改善されることを示した。さらに、CS におけるスパース解の推定方式の 1 つである Matching Pursuit (MP) を用いて侵入者検出処理における計算量削減を図る手法を提案している。本検出システムでは、検出処理を連続的に繰り返して行っている。この場合、ある時間 t と $t+1$ の間で侵入者の移動量は本システムにおいて判別可能な最小距離に比べてわずかであり、得られるインパルス応答において大きな変化が起これないと考えられる。このことを利用すれば t の推定結果を $t+1$ の推定に利用することで、処理時間を削減できるとかんがえられる。本論文では、この特長を用いて、スパース解の推定で L1 再構成問題を解く際に用いられる MP 方式における計算量削減アルゴリズムを新たに提案している。計算機シミュレーションによる評価により、誤検出率を下げることなく、前回の推定結果を利用しない場合と比較して計算量を半分程度に下げることが可能であることが示されている。

このように、本論文は LCX を用いた侵入者検知システムの性能改善に大きく資するものである。また、この成果は、ブロードバンド無線通信システムの伝搬路推定手法など他のインパルス応答推定問題に応用することが可能であり、学術的にも大きな意義のあるものである。よって本論文は、博士 (工学) の学位論文として十分な価値があるものと認める。