

# 実世界ネットワークシステムのための障害発生箇所検知システムの研究

## Study on Failure Occurrence Place Detection System for Real-world Network System



山本 寛 (Hiroshi YAMAMOTO, Ph. D.)

立命館大学 情報理工学部 セキュリティ・ネットワークコース  
准教授

(Associate Professor, Security and Network Course, College of Information Science and Engineering, Ritsumeikan University)

電子情報通信学会 情報処理学会 IEEE

受賞: 電子情報通信学会通信ソサイエティ論文賞 (2016年度優秀論文賞)  
(2017年6月) 電子情報通信学会通信ソサイエティ論文賞 (2013年度マ  
ガジン論文賞) (2014年5月)

研究専門分野: インターネット センサネットワーク IoT

**あらまし** 現実世界を動き回ることのできる通信機能を備えた移動体（歩行者のスマートフォン、自動車、ドローンなど）を利用することで、電力/通信インフラの敷設が困難な場所でも様々な情報を収集することのできるネットワークシステムを構築できる。このようなシステムは、環境/生態観測や被災地など、様々なフィールドへの応用が期待されるが、悪意ある攻撃者による攻撃（移動体の破壊、データの盗難、など）や災害（竜巻や強風など）の発生により、現実世界における移動体の移動に障害が発生する可能性があるため、通信インフラとしての信頼性は低い。移動体が攻撃/

災害を避けて移動するには、その発生箇所を特定することが求められるが、そのために多数のセンサをフィールド上に設置することは非現実的である。そこで本研究では、情報の受信者が把握できる移動体の通信履歴のみを解析することで、攻撃や災害の発生箇所を特定できる障害箇所検知システムを研究開発する[1]。

### 1. 目的

近年では、PC やスマートフォンだけでなく、家電・車両・センサといった様々なモノを相互に接続してネットワークシステムを構築するIoT (Internet of Things) が1つの潮流となっている。特に、現実世界を自由に動き回ることができ、データを蓄積/転送する機能を備えた移動体（歩行者のスマートフォン、自動車、ドローンなど）がバケツリレーのような形でデータを運搬することで、任意の送信者/受信者の間で様々なデータを転送できるDTN (Delay/Disruption Tolerant Network) 技術に注目が集まっている(図1)[1]。DTNを利用したネットワークシステムは、環境/生態観測や被災地など、電力/通信インフラの敷設が困難なフィールドでの活用が期待されている。

しかし、現実世界を移動する移動体は、悪意ある攻撃者から攻撃（移動体の破壊、データの盗難、など）を受ける可能性や、現実世界で発生した災害（竜巻や強風など）に巻き込まれる可能性があり、移動体の移動に障害が発生して通信性能が大幅に低下する可能性がある。このような通信インフラとしての信頼性の低下を防ぐためには、移動体が攻撃/災害の影響を受けず

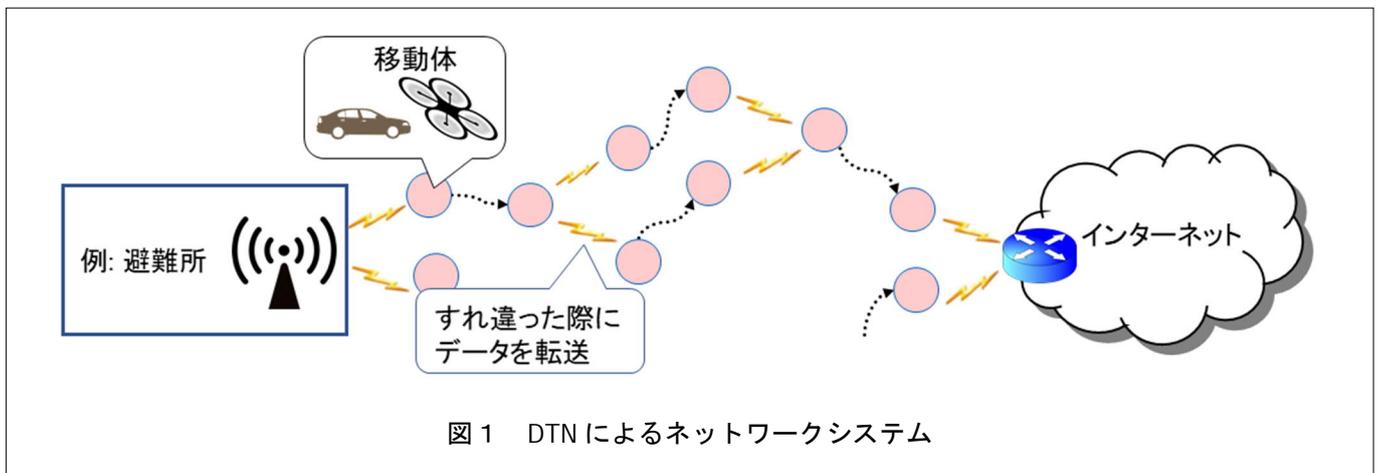


図1 DTNによるネットワークシステム

# 実世界ネットワークシステムのための障害発生箇所検知システムの研究

## Study on Failure Occurrence Place Detection System for Real-world Network System

に移動できるように、その発生箇所を特定することが求められる。これを実現するために、攻撃や災害の発生を検知する機能を備えたセンサをフィールド上の至る所に設置することが考えられるが、莫大なコストを要するため非現実的である。

そこで本研究では、フィールド上にセンサを設置するのではなく、データの受信者が容易に把握できる情報のみを解析対象として、攻撃/災害の発生箇所を特定できる障害箇所検知システムを提案する。特に、障害の発生により大きく変動することが予想される移動体の通信履歴（例：データ転送にかかった時間、移動体の移動経路、など）を解析することで、障害の発生箇所を推定する手法を検討する。

### 2. 障害箇所検知システムの提案

#### 2.1 障害箇所検知システムの全体像

提案システムの全体像を図2に示す。フィールド上にはデータを生成する送信者と、生成されたデータを収集する受信者が存在する。フィールドとして被災地を想定した場合には、送信者が避難所に設置された情報収集用端末、受信者が災害対策本部に設置された受信機などに対応する。送信機と受信機の間では、フィ

ールド上を移動している移動体により構成されるDTNによりデータが転送される。ここで、データの受信者はインターネットに接続しており、収集したデータに加えて、移動体の通信履歴に関する情報をインターネット上の解析サーバに送信する。解析サーバは、この通信履歴を解析することで、障害の発生箇所を特定する。

#### 2.2 障害箇所を検知するために解析する通信履歴

解析対象とする通信履歴としては、「送信者/受信者間のデータ転送にかかった時間（以降、転送遅延）」と、「2台の移動体がすれ違いデータ交換が行われた位置座標（以降、データ交換座標）」を検討している。これは、移動体は障害の発生により移動が妨げられた場合、受信者の方向へ移動するまでにかかる時間が平常時より増加し、また、障害が発生した箇所の周辺では移動体のすれ違いは発生しないと考えられるためである。「データ転送遅延」は、送信者/受信者がデータの送信/受信時に現在時刻を確認することで、「データ交換座標」は、移動体がデータを交換した際にGPSを利用して容易に取得できる。

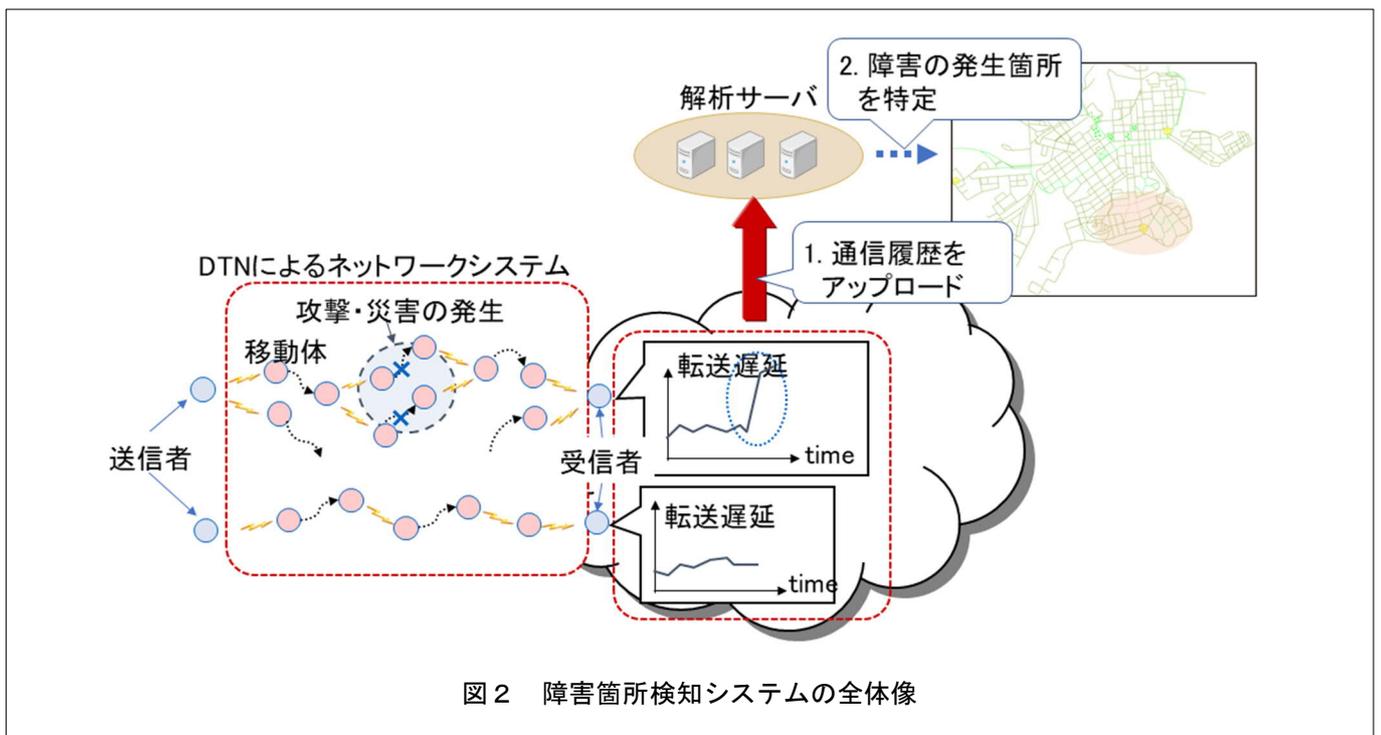


図2 障害箇所検知システムの全体像

# 実世界ネットワークシステムのための障害発生箇所検知システムの研究

## Study on Failure Occurrence Place Detection System for Real-world Network System

### 2.3 「転送遅延」の解析手法

まず、「転送遅延」を解析対象として、障害の発生箇所を推定する手法について説明する。この手法では、図3のように、フィールド上に設置されているデータの送信者/受信者の各組み合わせについて転送遅延を評価し、特定の送信者/受信者が関わっているデータ転送において通信遅延が頻繁に悪化している場合には、その送信者/受信者の周辺で障害が発生していると推定する。具体的には、各送信者/受信者の間における通信遅延の平均値を定期的に算出し、前回算出した値と比べて大きく悪化（例：20%以上増加）している場合には、その送信者/受信者を「不審者リスト」に登録する。この判定を全ての送信者/受信者の組み合わせについて実施し、最終的に不審者リストに登録された回数が多い（例：10回以上）送信者/受信者の周辺で障害が発生していると推定する。

### 2.4 「データ交換座標」の解析手法

次に、「データ交換座標」を解析対象として障害の発生箇所を推定する手法について説明する。この手法では、図4のように、フィールドをグリッド状に分割し、定期的に各セルにおいて2台の移動体がすれ違いデータ交換を行った回数を計測する。本研究では、この回

数を特徴量として入力すると、障害発生箇所を出力として得ることのできる、機械学習を利用した検知手法を検討している。以降で具体例を説明する。図4のように、フィールドを4×4のグリッド状に分割した場合、16個のセルについて、定期的なすれ違いの回数が計測される。このすれ違い回数の16次元ベクトルが、機械学習の学習モデルに入力する特徴量となる。この特徴量を入力することで、学習モデルは障害が発生しているセルの番号(1)~(16)、または障害が発生していないことを示す番号(0)を出力する。

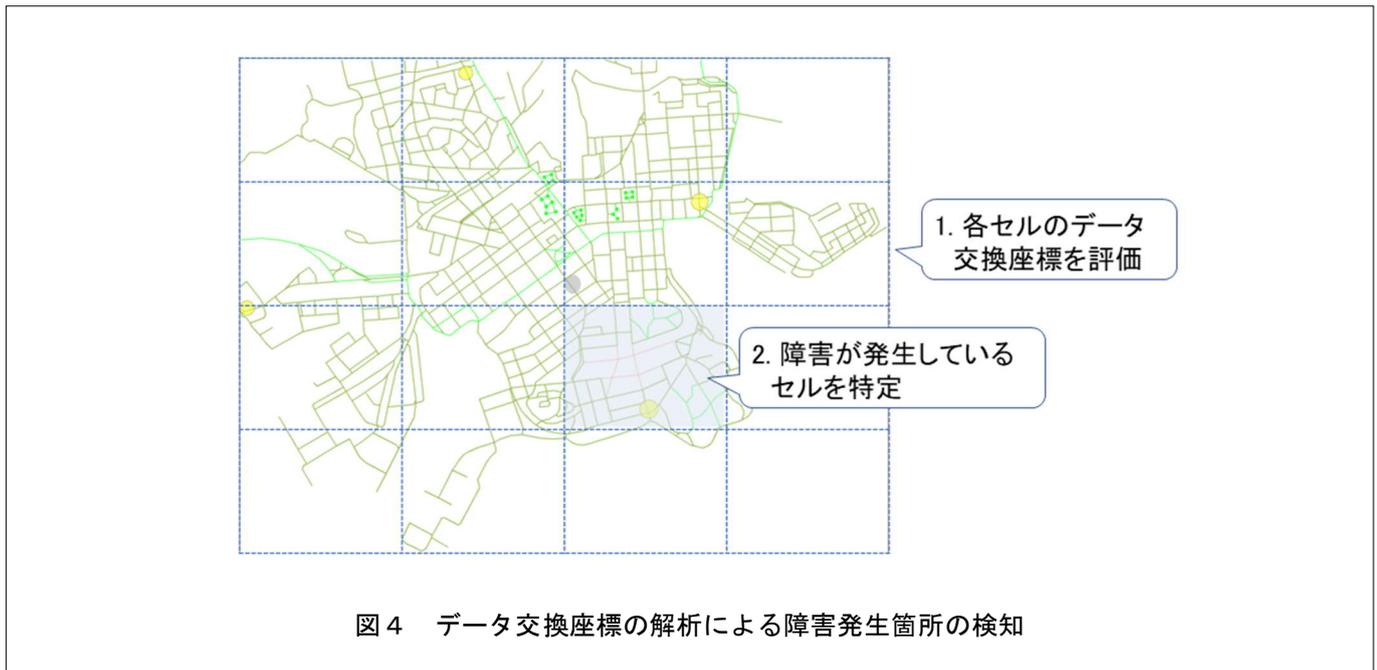
機械学習として、本研究ではSVM (Support Vector Machine) を利用している[3]。SVMとは、現在知られている機械学習手法の中でも精度が優れた手法の一つであり、解析対象となるデータから抽出された入力ベクトルを非線形に写像した高次元の幾何学空間上で、データを2種類のクラス（出力）に分類するための1つの線形識別関数を構成する。この線形識別関数を構成する過程がSVMにおける「学習」であり、学習済みのモデル(学習モデル)に対してクラスが未知のデータから抽出した入力ベクトルを入力し、幾何学空間において線形識別関数のどちら側に位置するか判断して、データに対応するクラスを推定して出力する過程を「推論」と呼ぶ。



図3 転送遅延の解析による障害発生箇所の検知

# 実世界ネットワークシステムのための障害発生箇所検知システムの研究

## Study on Failure Occurrence Place Detection System for Real-world Network System



SVMにおける「学習」の過程を図5に示す。事前に正しいクラスが分かっているデータを多数用意して入力ベクトルを抽出し、幾何学空間上に写像する。ここで、SVMは2種のデータ群を2種類のクラスに分類する際、各クラスに対応する入力ベクトル群の中で、他クラスと最も近い位置にあるものを選択する。ここで選択された入力ベクトルをサポートベクトルと呼び、各クラスについて選択されたサポートベクトルを基準として、二点間のユークリッド距離が最大になる位置に線形識別関数により表現される識別面を設定する。このような方法をマージン最大化と呼び、設定された線形識別関数が最も汎化能力が高いとされている。

本研究では、入力となるデータ交換座標から17種類の出力が得られる必要があるが、標準的なSVMでは出力は2種類となる。SVMを利用して3種類以上の出力を得る多クラス分類を実現する方法として、「1対他分類法」と「1対1分類法」が存在する。「1対他分類」は、全てのクラスの中から1つのクラスを選択し、そのクラスと他のクラスを分類する学習を行い、クラスの数だけ線形識別関数を作成する。一方で「1対1分類」は、全てのクラスの中から2つのクラスの組を選択して学習し、クラスの組み合わせの数だけ線形識別関数を作成する。

### 3. 障害箇所検知システムの評価

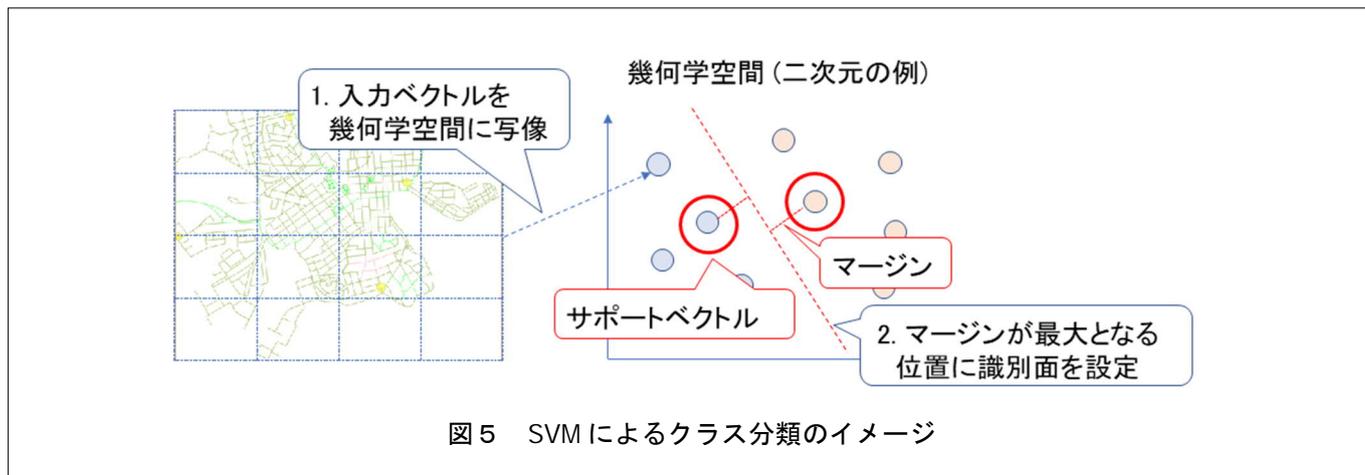
提案した解析手法の有効性を評価するために、DTNによるデータ転送のシミュレーションに対応しているThe ONEシミュレータを利用した実験を行う[4]。この実験では、フィールド上の5箇所にデータの送信者/受信者となるステーションが設置されており、地図上の道路に沿って移動する車と歩行者が持つスマートフォンが移動体となって、ステーション間でデータを運搬する状況を模擬している。フィールド上で障害が発生した場合には、その発生箇所周辺の道路が消失し、移動体はその道路を通過することはできない。

#### 3.1 転送遅延の解析手法に関する評価結果

転送遅延の解析手法については、どのステーションの近くで障害が発生したか正しく検出できた精度を評価する。データ転送における通信遅延の悪化や、不審者リストに登録された回数が多いことを判断するためのパラメータを最適化することで検出精度は向上するが、50%を下回る結果となっている。これは、移動体が障害の発生箇所を迂回して移動することで通信遅延は増加するが、その増加量はデータ転送全体の通信遅延と比較すれば微々たるものであったことが理由と考えられる。

# 実世界ネットワークシステムのための障害発生箇所検知システムの研究

## Study on Failure Occurrence Place Detection System for Real-world Network System



### 3.2 データ交換座標の解析手法に関する評価結果

データ交換座標の解析手法については、図4のように、フィールドを4×4のグリッド状に分割し、どのセルで障害が発生したか、または、障害が発生していないか正しく検出できた精度を評価する。本実験では、学習モデルを構築するための「学習」のためのシミュレーションと、学習モデルの有効性を評価するための「推論」のためのシミュレーションを実施している。結果として、障害が発生した箇所の検出精度は65%と高くなっている。これは、障害の発生により移動者間のすれ違いの傾向に明確な違いが現れていることが理由と考えられる。

### 4. まとめと将来展望

本研究では、車や歩行者のような移動体がデータを運搬/転送するネットワークシステムにおいて、データ転送の通信履歴に関する情報を解析することで、移動体の移動を妨げる障害の発生箇所を特定するシステムを提案した。また、その有効性を評価するためにシミュレーションを用いた実験を実施し、高い精度で障害の発生箇所を特定できることを確認した。

現状、提案システムの有効性はシミュレーションにより評価されており、実際のフィールドを対象とした現実的な実証実験は実施できていない。今後は、データの蓄積/転送といった機能を持つ組み込みシステムやスマートフォン用のアプリケーションを試作し、現実世界の車や歩行者を対象とした実証実験が可能であるか検討を進めたい。

### 参考文献

- [1] M. K. Ling, H. Yamamoto, "Damaged Area Detection System based on Deep Analysis of Communication History on DTN," Proc. The 61<sup>st</sup> Annual Conference of the Institute of Systems, Control and Information Engineering, May 2017.
- [2] L. Gao, S. Yu, T. Luan, W. Zhou, "Delay Tolerant Networks," Springer, 2015.
- [3] C.-C. Chang, C.-J. Lin, "LIBSVM: A Library for Support Vector Machines," ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology, Vol.2, No.3, April 2011.
- [4] M. S. Desta, A. Keranen, T. Karkkainen, E. Hyttia, J. Ott, "Evaluating (Geo) Content Sharing with the ONE Simulator," Proceedings of the 14th ACM Symposium Modeling, Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems (MSWiM), November 2013.

この研究は、平成26年度SCAT研究助成の対象として採用され、平成27～29年度に実施されたものです。