

DTN 環境の任意地点でのデータ回収を目的とした シンクノード機能割当方式の転送回数削減手法の提案

岸田隆祐^{†1} 鈴木智文^{†2} 指吸未来^{†2} 塚田晃司^{†2}

概要: 山間部等の既存の通信インフラが使えない場所でのセンサデータ回収を、任意地点で行うことでデータ回収者の負担を軽減したいと考えた。そのため、センサネットワークを構築しシンクノードとなるノードを動的に変更する手法を提案した。この手法では安定した回収率を確認したが、変更が繰り返されると通信量の大幅な増加とそれに伴う回収時間の増加の課題がある。各ノードにはシンクノードから順に影響度を設定しているが、本研究では、複数のシンクノード候補からの影響度をもとに、シンクノード変更の傾向を算出する。事前にシンクノードとなり得る複数のノードにセンサデータを分散して集めることで、転送回数を削減する手法を提案する。

キーワード: DTN, センサネットワーク

Reduction the Number of Transfers on Assign Protocol of Sink-node to Gather Data at Any Point in DTN Environments

RYUSUKE KISHIDA^{†1} TOMOYA SUZUKI^{†2}
MIKU YUBISUI^{†2} KOJI TSUKADA^{†2}

Abstract: In mountainous areas where existing communication infrastructure can not be used, we worked on gathering sensor data at any point. Therefore, we proposed to assign roles of sink-node. In this research, we solve the problem of increasing the number of transfers on previous research. We propose a method to make settings reflecting the trend of sink-node change to reduce the number of transfers.

Keywords: DTN, Sensor Networks

1. はじめに

近年, IoT をはじめ, 様々な場面でセンサの利用が進んでいる。山間部など人里から離れた電力・通信インフラが整備されていない地域においても, 生態調査や環境モニタリングなどの多数のニーズがある。しかし, インターネットなどの既存の通信インフラが利用できない地域では, 宛先であるデータサーバまでの通信路が常に存在しないため, 劣悪な通信環境であると言える。こうした通信の中断や大きな遅延が発生する環境で, データの高い到達性を実現する手法として, 遅延・途絶耐性ネットワーク (DTN: Delay/Disruption Tolerant Network) の研究が盛んに行われている[1]。

想定環境である和歌山県古座川町の北海道大学和歌山研究林[2]も, 人里から離れたインターネット接続可能エリア外であるため, 劣悪な通信環境である。現在は全て手作業による回収を行っているが, 他にも多数の作業があるため大きな負担となっている。先行研究[3]では, 作業場所に近いノードに対してシンクノードの役割を割り当てることで, 任意地点でのセンサデータ回収を実現するための手法を提案した。シミュレーションによって安定した回収率を確認

することができたが, シンクノードの変更が連続すると, 大量のデータ転送が発生するため, 回収完了までの時間が伸び, それに伴い回収率が悪化する課題があった。

本研究では, センサデータの転送回数に着目し, これを削減するための手法を提案する。先行研究ではシンクノードの変更の実績は関係なく, 同じ動作を行うよう設計していた。シンクノードまでのデータ転送を実現するため, 各ノードにはシンクノードから順に大きい値の影響度を設定し, その大小関係の比較を行っている。この影響度を利用し, 車両が離れている時間帯のデータ転送を, それまでの影響度の平均に従って行う。これによって, 過去の実績からシンクノードになり得る可能性のあるノードに集めておくことができ, 転送回数の削減につながる。

2. 関連研究

2.1 森林内におけるセンサネットワーク

山間部や森林内において, センサを設置し, データ回収を行っている事例として, Harvard Forest Field Wireless Network[4]や, 東京大学のサイバーフォレスト[5]などがある。[4]では, 電波塔を建てインフラを整備することで, 環境モニタリングや生態調査を行っている。また, [5]では,

^{†1} 和歌山大学大学院システム工学研究科
Graduate school of Systems Engineering Wakayama University

^{†2} 和歌山大学システム工学部
Faculty of Systems Engineering Wakayama University

環境教育のための森林情報基盤として、ライブ音やウェブカメラで撮影した映像などを配信している。こちらは、パラポラアンテナを用いた衛星通信によって実現している。

これらは、建設や設置、および維持管理に大きなコストが必要となり、容易に導入することが困難である。

2.2 Message Ferrying [6]

メッセージフェリーは、移動端末をフェリーノードとして使用し、隔たれたエリア間でのデータ運搬をさせることで、情報の共有を実現するための転送方式である。本研究の想定環境である研究林も、既存の通信インフラが使えないインターネット接続地域から隔たれたエリアとなっている。そのため、研究林に入り作業を行う車両をフェリーノードとすることで、研究林からのデータ運搬を行う。

3. 先行研究

ここでは、先行研究における提案システム、およびシミュレーションによる評価結果を示す。3.1節では先行研究の目的やシステムなどの概要について説明し、3.2節でシステムの詳細について述べる。また、3.3節ではシミュレーションによる実験結果から判明した先行研究における課題について述べる。

3.1 概要

先行研究では、インターネットに接続することが可能なエリアではない場所にセンサが設置された環境を想定している。人里から離れた山間部である想定環境[2]において、気象観測用のセンサや、動植物の観察を目的としたカメラやセンサからデータの回収を行うための手段が必要となる。ここでは、研究林の管理の一環として林業のような作業をはじめ、多数の業務に従事しているため、センサデータの回収にかかる負担の軽減が求められる。

そこで、センサ同士で無線通信を行うセンサネットワークの構築が必要となる。従来はシンクノードを特定の場所に設置することでデータの回収を行っていた。しかし、日常の業務で必ず停車する場所というのが定まっていない場合は、シンクノードを設置すべき場所を決めることが難しくなる。また、シンクノードの設置された場所と作業場所が異なる際には、作業場所へ向かうものとは別の移動が必要となるため負担が大きくなる。そこで、センサー一つひとつに対して回収を行わずに済み、かつ、事前にシンクノードを設置する必要がない回収方法として、作業を行う場所の近くにあるノードにシンクノードの働きをさせることで、作業中にデータ回収を行う手法を提案した。想定環境では大掛かりな作業が多く、頻繁な移動は少ないため、長時間にわたる通信が可能である。

3.2 任意地点でのデータ回収手法

シンクノードの決定には、作業場所で停まった車両が発信するビーコンを利用する。受信した近くのノードがシンクノードとなる。シンクノードは自身の影響度の設定後、

周囲のノードに対し、影響度を設定するためのデータを送信する。設定と送信を繰り返すことで、シンクノードからホップ数が少ない順に大きい値が設定される。

設定した影響度は、センサデータをシンクノードまで届けるために使用する。センサデータの送信元の影響度と、それを受信したノード自身の影響度の大小関係を比較し、送信元の方が小さければ転送し、そうでなければ破棄する。センサデータは影響度の高いノード、つまりシンクノードの方へと転送されていく(図1)。

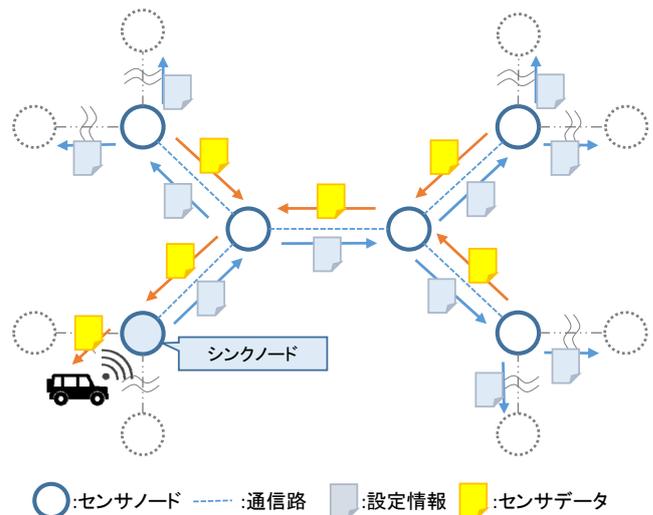


図1 センサデータ回収の流れ

また、シンクノードの役割は車両が山から離れたあとも、再び車両が来るまで続ける。同じ場所で作業があった場合、事前に集められているため、効率的に回収ができる。作業場所が変更された場合は、事前に集められていたデータを優先的に新しく決まったシンクノードへ転送することで、古いデータが回収されずに残らないようにする。

3.3 先行研究における課題

研究林の一区画にある実際の道路と作業場所を想定し、シミュレーションを行った。シミュレーション時間は5日間で、1日毎に停車位置をランダムに変更する。

このシミュレーションから、先行研究の手法における回収率が高く安定していることが確認できた。

しかし、シミュレータ内の時間の経過と共に、回収量にばらつきが出てくる。これは、シンクノードの変更が連続して起きた場合、大量のデータ転送が発生することが原因であった。センサデータの転送回数の増加によって、回収が完了するまでの時間が伸び、それに伴って車両の停車時間内に回収が完了せずのにこされてしまうデータが出てくるためである。

4. 提案手法

本研究では、先行研究の課題であるシンクノードの変更

が連続した場合の転送回数の増加に着目し、この削減に取り組む。4.1節では今回新たに追加した機能についての概要について示し、4.2節ではシステム構成について述べる。4.3節で転送回数について先行研究との比較を行う。

4.1 概要

車両が離れている間の動作を変更し、シンクノードの役割を担った実績のあるノードに分散して集めておくことで、転送回数の削減を実現する。

先行研究では、車両が離れても各ノードに設定している影響度をそのまま用いて転送を行っており、またシンクノード変更の際は過去の影響度の記録は残さずに設定しなおしていた。そのため、シンクノード変更の傾向は考慮しないものとなっていた。そこで本研究では、車両が離れている間の転送には、各ノードにそれまで設定してきた影響度の平均値を用いる。

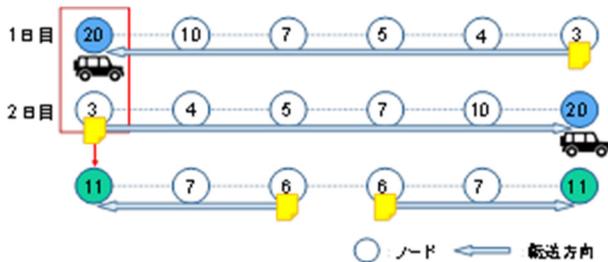


図2 シンクノード実績を反映した転送

各ノードに設定する影響度は、車両が停まっている時間帯のものを式(1)に、車両が離れている時間帯のものを式(2)に基づいて算出する。

$$E_m = a/hop \quad (1)$$

$$E_n = \alpha E_m + (1 - \alpha)E_{n-1} \quad (2)$$

E_m は車両が停まっている時、 E_n は車両が離れている時の影響度である。(1)は、シンクノードからのホップ数に反比例する形で設定を行う。また、(2)はパラメータ α を用い、直前まで車両が停まっていた時の影響度と、それまでの離れている時の影響度から求める。今回は $\alpha=0.5$ 、つまり平均として進める。

これによってシンクノードになった実績のあるノード、すなわち今後再びシンクノードとなる可能性のあるノードへ、事前にセンサデータを集めておくことが可能となる。

4.2 システム構成

4.2.1 ノードの状態遷移

先行研究および本研究は、各ノードが状態遷移によってデータの処理を変更することで実現されている。先行研究では、初期状態、影響度設定、データ回収の3つの状態を用いて運用されていた。そのため、車両がいる間も離れている間も、常に同じ処理によってデータの転送が行われて

いた。この点が先行研究における課題の原因となるため、本研究の提案手法であるシンクノードの実績を反映した転送を実現するために、新たに「分散転送」状態を追加する。

ノードの状態遷移を表したものを図3に示す。

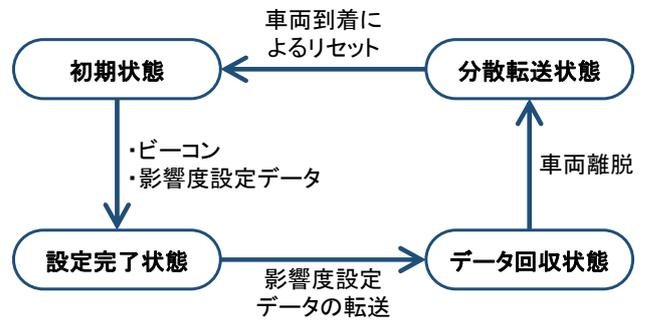


図3 ノードの状態遷移

4.2.2 ノード内の処理

各ノードにおける設定やセンサデータの転送に関する処理は、先行研究と同様に行う。今回新たに設けた状態への遷移に関する処理を以下の図4に示す。

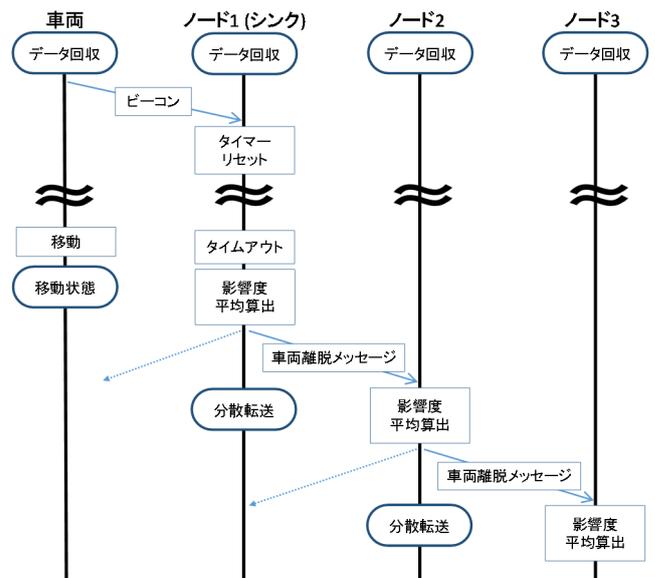


図4 車両離脱による状態遷移に係る処理

車両が離れたことを判定するために、シンクノードにタイマーを設定し、タイムアウトを状態遷移のトリガとした。車両が停車中にビーコンを一定間隔で発信し、それを受信したシンクノードがタイマーのリセットを行う。車両が移動し、ビーコンを受信できなくなるとリセットが行われずタイムアウトする。

タイムアウトすると、シンク候補に分散して転送するために利用する値の算出をした後、車両が離れたことを他のノードに伝えるためのメッセージを送信する。このメッセージによって、各ノードは分散転送のための影響度の算出

と状態遷移を行う。

4.3 転送回数の比較

先行研究のシステムにおける転送回数と、本研究の提案手法における転送回数の比較を行う。シンクノードの候補を sink 1 ~ sink 4 の 4ヶ所、データの発生は 1 回の 50 個とする。また、提案手法では 4ヶ所に 1 度ずつ停車した後の転送回数とする。これをまとめた表を以下の表 1 に示す。上から 4 行が先行研究におけるもので、縦の変更前のシンクノードから横の変更後のシンクノードまでの転送回数を表している。

表 1 データ回収までの転送回数

	sink 1	sink 2	sink 3	sink 4
sink 1	744	1394	1994	2144
sink 2	1084	434	1034	1184
sink 3	1860	1210	610	960
sink 4	2136	1486	1086	736
提案手法	953	594	734	894

転送回数を求めるための計算は以下のように行った。センサデータの発生回数を t 、発生 1 回あたりのデータ数を d とし、今回は $t=1$ 、 $d=50$ とする。また、 $n=50$ (ノード数)、 $s \leq 4$ (シンクノードの候補数) である。先行研究を式(3)、提案手法を式(4)に示す。

$$t\{\sum_{k=1}^n(hop_k(A)) + d \cdot hop(B)\} \quad (3)$$

$$t\{\sum_{k=1}^n(hop_k(C)) + \sum_{k=1}^s(d_k \cdot hop_k(D))\} \quad (4)$$

それぞれの hop が意味するのは、次の通りである。

- A) 各データ発生源のノードから、変更前のシンクまで
- B) 変更前のシンクから、変更後のシンクまで
- C) 各データ発生源のノードから、各シンク候補まで
- D) 各シンク候補のノードから、変更後のシンクまで

表から、先行研究ではシンクノードの変更が起きると、変更なしの場合と比べて転送回数は最低 1.48 倍、最大で 3.05 倍に増加している。一方、提案手法では 1.20~1.37 倍に抑えられている。

また、例として sink 1 から sink 4 に順に停車し、次に 1 に来るといったシナリオでは、卒業研究の sink 4 から sink 1 への 2136 回に対し、提案手法は 958 回と半分以下に削減されることが確認できる。

5. 評価

本研究の評価をするため、先行研究と同様の条件でシミュレーションを行った。センサデータの回収率と、回収までに要する時間の調査を行い、先行研究と比較することで提案手法の有効性を確認する。

5.1 シミュレーション環境

シミュレーションは、実際の研究林の一区画、約 1200m 四方に存在する道路および作業場所を想定して行う(図 5)。このエリアにセンサノードが 50 個設置されているものとし、各ノードの通信可能距離内には必ず最低 1 つ他のノードが存在していることを前提とする。

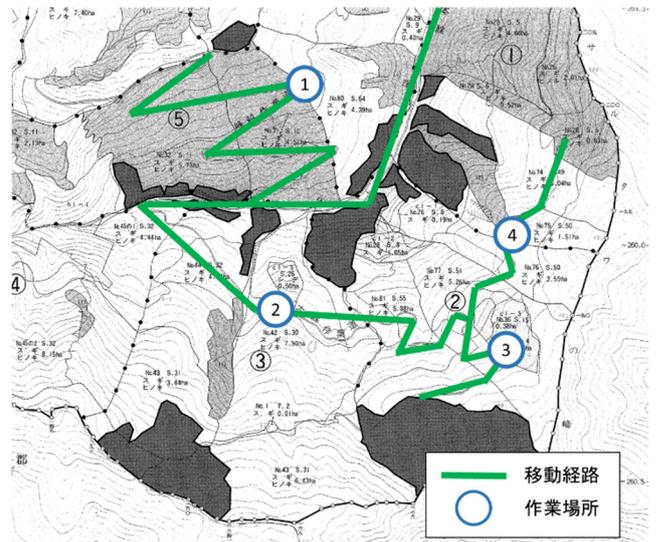


図 5 シミュレーションエリア

また、その他シミュレーションを行うにあたって設定した値をまとめたものを表 2 に示す。

表 2 シミュレーション諸元

通信距離	70 m
伝送速度	40 kbps
車両移動速度	30 km/h
移動経路	規定経路からランダム選択
停車箇所	4
ノード数	50 個
センサデータ数	6,000 個
シミュレーション時間	5 日
試行回数	50 回

5.2 データ回収率

本研究の提案手法と、先行研究で行ったシミュレーションによるセンサデータの回収量の平均および標準偏差を表したグラフを図 6 に示す。

グラフの横軸はシミュレータ時間、縦軸はデータ数である。面が発生させたセンサデータの総量、折れ線がそれぞれの手法による回収量を表している。また、今回の提案手法における回収量は 8 時間毎に計測しているのに対し、先行研究・従来手法は 24 時間毎のものとなっている。

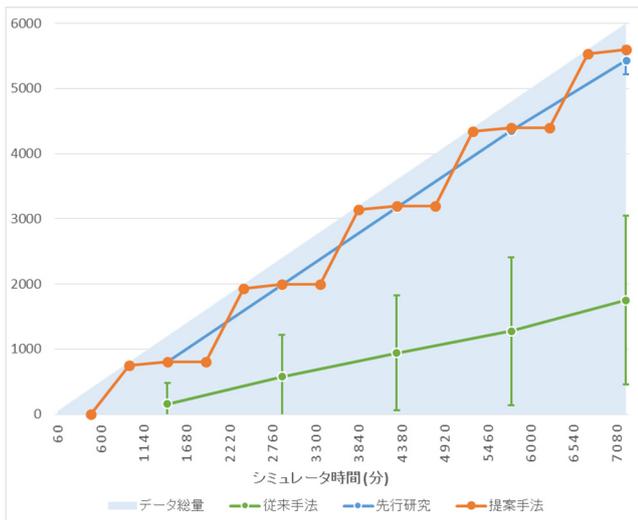


図 6 センサデータ回収量

この結果から、本研究の提案手法によって、センサデータの回収量のバラつきを抑えることができ、かつ回収率が向上していることが確認することができる。また、1日の終わる時間で回収率を見ると車両が離れる夕方から夜にかけて発生したデータ分回収率が悪く見えるが、車両が停車している間に回収可能なデータは全て集められており、特定の時間においては回収率が100%といえる場合もあることが確認できた。

5.3 回収時間の比較

シンクノードの変更が起きた場合に、車両が離れている間に発生したセンサデータを回収し終えるまでに要した時間の比較を行う。先行研究では、シンクノードの変更起きると回収完了までに平均で約5時間25分であった。一方、本研究の提案手法では、平均で約5時間12分となり、わずかに短縮されていることが確認された。

おわりに

本研究では、先行研究におけるシンクノードの変更が連続して起きた際に、センサデータの転送が大量に発生することによって、回収時間の増加や回収率が悪化する問題に取り組んだ。センサデータの転送回数を削減するために、シンクノードの役割となった実績を反映する手法を提案した。

この提案手法によって、シンクノードの変更が連続して起きた場合において転送回数の増加を大きく抑えられており、またシミュレーションによって回収量のバラつきや回収率も改善されることが確認できた。

謝辞 本研究は、JSPS 科研費 15K00127 の助成を受けたものです。また、調査にご協力していただいた北海道大学和歌山研究林の方々に感謝致します。

参考文献

- [1] V. Cerf et al.: Delay-Tolerant Networking Architecture, RFC 4838, 2007
- [2] “北海道大学 北方生物圏フィールド科学センター 森林圏ステーション 和歌山研究林” .
<http://www.za.ztv.ne.jp/hokudai/new-home/new-index.html>
- [3] 岸田隆祐, 塚田晃司 : DTN 環境において任意地点でデータ回収を可能にするシンクノード機能割当方式, 情報処理学会 GN 研究会ワークショップ 2016, pp.1-7, 2016
- [4] The Harvard Forest Field Wireless Network
<http://harvardforest.fas.harvard.edu/research/field-wireless>
- [5] “環境教育のための森林情報基盤・サイバーフォレスト” .
<http://cf4ee.nenv.k.u-tokyo.ac.jp/drupal7/>
- [6] W.Zhao, and H.M.Ammar : Message Ferrying: Proactive Routing in Highly-partitioned Wireless Ad Hoc Networks, IEEE, pp.308-314, 2003