

**動物の習性を利用した環境調査のための
省電力データ転送プロトコルの研究**
A Study on Data Transmission Protocol for
Environmental Monitoring Leveraging Animal Behavior

学籍番号 47-126793
氏 名 中川 慶次郎 (Nakagawa, Keijiro)
指導教員 瀬崎 薫 教授

1. 背景

2011年3月11日の東日本大震災により福島第一原子力発電所の放射能漏れ事故が発生した。現在も復旧活動が行われている一方、周辺地域の農作物や動植物への放射能の長期的な影響が懸念されている[1]。特に、福島第一原子力発電所から周辺30キロ圏内の森林地域では、放射能汚染による生態系の影響が懸念されており長期的な調査が必要とされている。森林地域における野生動物の調査手法として、調査員が森林地域を巡回し動物の糞等を採取して生態系の影響を推定する手法が行われている。近年では情報通信技術の発展に伴い、センサや情報通信機器により音声・映像・行動軌跡・気象などの環境情報を取得し、森林地域の生態系調査に役立たせている。具体的には、ねぐらや獣道付近にビデオやマイクを設置し動物観察を行う手法や、動物にGPSロガーを装着させて無線機器などによって環境情報を取得する手法が用いられている。しかし、上記に挙げた調査手法は人手に頼る部分が大きく、対象の森林地域が広範囲に及ぶため多くの調査員が必要となる場合や、絶滅危惧種（イリオモテヤマネコ等）に指定されている保全種や熊などの危険・有害

動物と接触する危険性が存在し、調査員の環境調査における負荷が大きい。加えて、放射能汚染地域では調査員の立入りが困難であり、従来の野生動物の調査手法では効果的な観測は難しい。人手に頼らない方法で環境調査を効率的かつ長期的に行う手法が求められている。

2. 目的と手法の概要

人の立入りが困難な森林地域における環境調査を行うため、動物間マルチホップ転送方式(Fig.1 左)が提案されている[1]。「動物指向クラウドネットワーク」と呼ばれる、動物に取り付けた首輪と動物基地（ねぐら・獣道）に生態音収集マイクとリモートセンサを設置し、動物の個体間接触と集団行動の習性を利用する「動物間ネットワーク」により森全域の生態・環境情報の取得を試みている。従来の調査手法と異なり、動物の習性行動を利用することで効果的な環境調査が可能となる。森林地域で調査員が行っていたセンシングやデータ運搬の役割を動物に移管させることで、長期的な環境調査の負荷を軽減する事ができる。

本研究では、動物間マルチホップ転送方式による調査手法の「動物間ネットワーク」の実現のために、動物の個体間遭遇時のデ

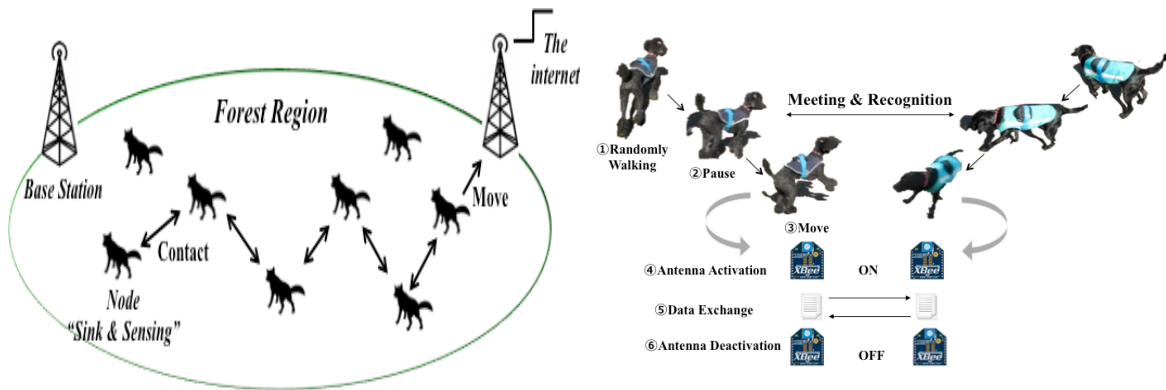


Fig.1 動物間マルチホップ転送方式 (左) , 習性行動を利用したデータ転送の概要 (右)

ータ運搬に着目する. 従来の手法と技術的な課題を整理し, 動物の習性行動を逆利用した効率的かつ長期的な調査が可能なデータ運搬手法の提案を行う. 具体的には, 動物同士が接近した際に生じる習性行動を 3 軸加速度センサで解析し, 動物間通信の引き金とすることで動物の習性を利用したデータ転送を実現する(Fig.1 右). これにより通信時間の省電力化を行い, 立入れない森林地域の長期的な環境調査を実現させることを目的とする.

3. 動物の習性を利用したデータ転送手法の提案

3.1 通信機器の Wake 制御

動物個体間の遭遇時における特徴量を 3 軸加速度センサの合成加速度として取得し, 閾値で通信機器の Wake 制御を行なう事で効率的なデータ運搬を実現させる. 動物が森林地域で他の動物個体と遭遇した際, その個体が引き起こす認識, 判断, 行動の一連動作の分類を行った(Fig.2 左). 以下の手順で動作の特徴量を抽出する.

1. 静止判定
 2. 静止時間の判定
 3. 興味に基づく動作判定
- 対象動物個体に対する興味や関心の差によ

り静止後 (認識後) の動作の違いを識別する事で, 森林地域で遭遇時における対象個体の推定を可能にする. 通信機器 Wake アルゴリズム(Fig.2 右)で, 20Hz の頻度で 3 軸加速度センサから各値を取得し, 3 軸加速度センサから得られた x, y, z 軸の値 a_x, a_y, a_z から L2 ノルム $\|A\|$ を算出して定める.

$$\|A\| = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2} \quad (3.1)$$

L2 ノルム $\|A\|$ を, 静止判定と動作判定の閾値 T_0 として定める. Fig 4.1.2 で述べたように, 何らかの外的要因と遭遇した場合, 次の行動に移る前に判断するための静止時間 (認識時間) が存在する. まず, 取得された L2 ノルム $\|A\|$ と閾値 T_0 を比較し, 現在の動作の静止 (認識) 判定を行う. この判定を 20Hz 毎に行い, 静止と判定された場合は初めに静止と判断されてからの経過時間 t を算出する. 静止時間の閾値の下限 t_0 , 上限 t_1 を下記のように定め, 動作判定のために t と比較を行う.

$$t_0 < t < t_1 \quad (3.2)$$

t の静止時間判定で (3.2) の条件が満たされる場合, t 後の L2 ノルム $\|A\|$ と動作判定の閾値 T_0 と比較を行う. 動作判定にて行動開始が判定された場合, 通信機器の電

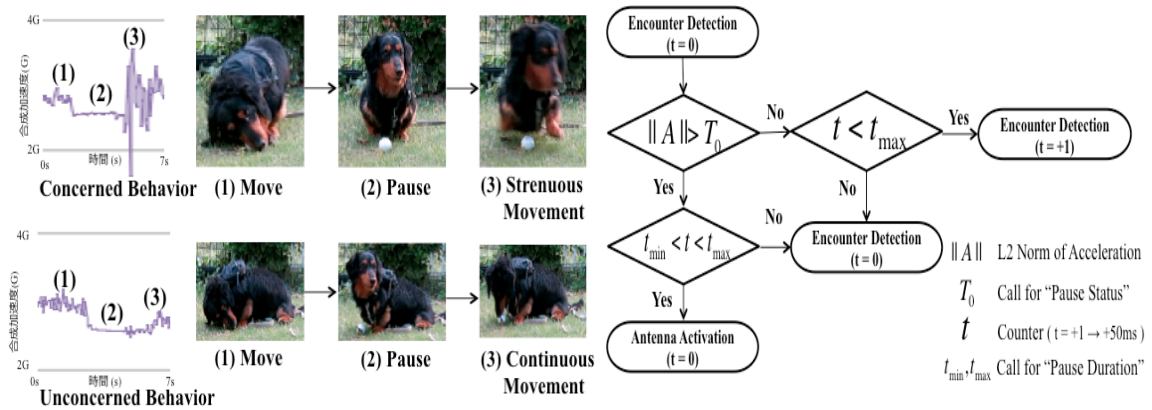


Fig. 2 対象個体の興味により異なる動作比較（左），通信機器 Wake 制御アルゴリズム（右）

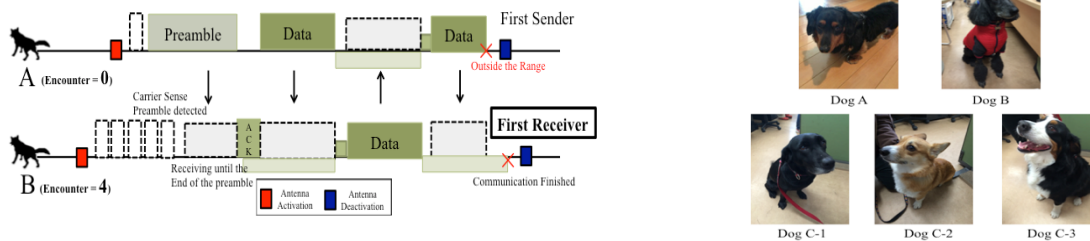


Fig. 3 遭遇回数に応じた中継ノードの重み付け（左），実験に用いた 4 匹のイヌ（右）

源を入れて他の個体に対して通信を開始する。

3.2 遭遇履歴を用いたデータ転送

3.1 で述べた通信機器 Wake 制御アルゴリズムを用いて，動物間で通信機器 Wake 後のデータ転送を実現するためには，以下の技術要件が求められる。

- 通信機器 Wake のずれの考慮
- 送信側と受信側の順序決定
- データ転送の継続性

以上の条件を達成するため，動物同士の接触時(すれ違い)の習性行動を利用したデータ送受信では，スケジューリングの非同期手法を用いて，低消費電力なデータ転送を実現する。

通信機器 Wake のずれを考慮するため，各動物個体はデータ送信前に Preamble を送信することで，動物間の習性行動の違い

の調整を行なうことが可能である。動物間での送信側と受信側の順序決定方法として，データ送信側が Preamble 送信後，データ受信側から返答 (ACK) がない場合はデータ受信側に役割を変えて一定時間 Preamble の検知 (Carrier Sense) を試みる。具体的には，Fig.3(左)のようなデータ送受信が行なわれ，データ転送完了もしくは圏外になった時点で通信機器を Sleep 状態に移行する。

最大行動域の広い個体程、他の動物個体との遭遇可能性が高くなる事から，最大行動域の広い個体を遭遇回数の多い動物個体として定義し，最大行動域の広い動物個体に対して中継ノードの重み付けを適用する。提案プロトコルとして，遭遇回数に応じて CS (Carrier Sense) と Preamble の回数を増やす PreSR-P, 遭遇回数に応じて CS を増やす PreR-P を評価実験で用いる。

4. フィールドでの評価実験

4.1 通信機器 Wake 制御の予備実験

通信機器 Wake 制御の有効性を検証する方法として、Fig.3(右)の Dog A を用いて個体間の遭遇時を再現するためにボールを他の個体と見立てて検証を行った。再現性を検証するために、この実験を 30 秒毎に 1 回、1 セット 3 分×5 回行った (合計 30 回)[2]。

4.2 データ転送手法の評価実験

複数のイヌを用いてイヌ同士の遭遇機会を人為的に作り、遭遇履歴を用いたデータ転送プロトコルの有効性の評価実験を行なった(Fig.1 右)。本実験では、Fig.3(右)の 4 匹のイヌ (Dog B, Dog C-1, Dog C-2, Dog C-3) と 5 名の実験参加者 (4 人がイヌの散歩, 1 人は動画撮影) を用いて、Dog B は 20 分間で計 30 回の遭遇回数により評価を行った。本実験の評価対象は以下となる。

- 複数のイヌを用いた、遭遇時の通信機器 Wake 制御アルゴリズムの評価
- 各プロトコルでの Preamble フレームの送受信確率の評価
- 各プロトコルでの通信時間に基づく低消費電力性の評価

5. 評価結果と考察

5.1 通信機器 Wake 制御の評価

対象個体が動物の場合でも、以下の図より約 70.0%以上の信頼性の高い Wake 制御を実現している[2]。

Table.1 Wake 制御の成功割合

Threshold for Synthetic Acceleration	Dog A vs Balls	Dog B vs Dog C-1,2,3 (ex.1)	Dog B vs Dog C-1,2,3 (ex.2)
$T_0 \leq 0.2$	89.2%	70.0%	73.3%

5.2 データ転送手法の評価

Preamble フレームの送受信成功率は、Dog B~Dog C-3 でそれぞれ約 23.5%から

66.7%と送受信確率は個体毎にばらつきがあった。

低消費電力では、提案プロトコル PreR-P が既存プロトコルに比べて全イヌ個体で約 56.5%~96.4%の低消費電力を実現し、Dog C-2 が最も有効性が高かった。

体高と消費電力量に相関関係があり、想定される通信時間の割合 T_d に対して、 x を体高 (cm) とすると以下の式より求まる。

$$T_d = 0.022x - 0.6666 \quad (5.1)$$

消費電力量について、 T は実験時間、 I は送受信時の電流 (mA)、 I' は待機中の電流 (mA) とすると、下の関係式より求まる。

$$[mWh] = VT(I T_d + I'(1 - T_d)) \quad (5.2)$$

6. まとめ

以上の提案手法と実験結果から、動物間のマルチホップ転送方式による調査手法に対して、動物同士の接触時(すれ違い時)の効率的なデータ転送を示した。それにより、同手法の実現可能性を高めた。今後の課題として、データ転送率の向上と実際の森林環境化での消費電力の算出が必要になると考えられる。本論文により、情報通信学分野と動物の生態行動学分野を繋ぐ橋渡しになることを願う。

文献

[1] 安田 真悟, 小林 博樹, 崔 舜星, 篠田 陽一, “動物指向クラウドネットワークの設計と課題”, 第 13 回インターネットテクノロジーワークショップ, 2012.

[2] K. A. Houpt, Domestic animal behavior for veterinarians and animal scientists, 5th ed., Wiley- Blackwell, Ames, Iowa, 2011.