

収集データ間の公平性を考慮した DTN における被災情報の優先中継処理の開発 A development of DTN for gathering disaster information using priority based forwarding considering fairness among senders

諫山 楓花[†] 重安 哲也[†]
Fuka Isayama[†] Tetsuya Shigeyasu[†]

1 はじめに

自然災害発生後の不安定なネットワーク状況下において DTN (Delay/Disruption Tolerant Networking) [1] により情報を収集するシステムが多く提案されている。本稿では、継続的にモニタリングすべきデータの収集を目的としたシステムの性能を AoI (Age of Information) [2] を用いて評価する。

これまで我々は、AoI の向上を目的として重要度に応じたデータの転送やバッファ格納処理を行う手法を開発したが、メッセージ送信元ノード間の位置関係によって重要度が同じ場合でもメッセージ送信ノード間にメッセージ収集率の不公平状態が発生していた。

本稿では、送信元ノードの位置に関わらず公平にメッセージを収集する手法を検討する。具体的には、情報の重要度や鮮度のみでデータの転送・バッファ格納処理を行うのではなく、対象データの過去の中継履歴を考慮した手法を提案し、シミュレーションによりその有効性を明らかにする。

2 AoI

AoI は、時間の経過とともに状態が更新される対象物に関する情報が生成されてからの経過時間を鮮度として示す指標である。自然災害発生後のように、状況が刻々と変化する環境で情報収集を行うネットワークシステムの評価指標に適する。AoI は受信済みの中で最も生成時刻が新しいデータの生成後の経過時間で表す。時刻 t で受信済みの中で最も生成時刻が新しいデータの生成時間を η_t とすると、時刻 t の AoI の値 A_t は式 (1) で算出される。本稿では、AoI の時間平均を評価に用いる。

$$A_t = t - \eta_t \quad (1)$$

3 既存研究

災害発生時に収集する情報には、迅速な対応が必要な情報と対応時間に余裕のある情報が混在する。これまで我々は、迅速な対応が必要なデータの AoI を低減するため、重要度に応じてデータに付与したランクに基づく優先中継手法を提案した (RANK 手法) [3]。同手法では、高ランクで生成時刻が新しいバッファ内のデータから順に転送する。また、バッファ管理では、ランクごとに容量を割り当てるとともに、新たなデータの受信によって、割り当てられた容量が不足する場合は、基地局と送信元ノードとの距離とデータ生成後の経過時間の 2 つの値か

らデータの価値 $value$ を求め、容量が不足するランクのデータの中で $value$ の大きい順にバッファから破棄する。

さて、同手法は低ランクデータのみ AoI が過剰に悪化することを防止するとともに、高ランクデータの AoI を向上できることを確認した。しかし、ランクが同じ場合でもメッセージ送信ノードの位置関係によっては AoI に大きな偏りが生じる。

4 収集データ間の公平性を考慮した中継手法 FDR (Fair Data Relay)

ネットワークの状況に応じて決定するノードごとの目標転送回数に対する達成状況と、データ生成後の経過時間に基づく転送処理とバッファ管理を行う手法を提案する。具体的には、任意の中継ノード j は自身の時間あたりの平均データ転送回数 S_{totalj} を求める。中継ノードは転送履歴から、自身を経由して転送されるノードについて任意のランク $i (1 \leq i \leq r)$ (r はランク数) のデータを送信するノードの数 n_i を把握する。ここで、任意のランク i のデータの送信に中継ノード j が割り当てる送信回数を x_i とすると S_{totalj} は以下となる。

$$S_{totalj} = \sum_i x_i \quad (2)$$

また、同一ランクのデータを送信するノードによるデータの送信に均等に送信回数を割り当てる場合、任意のノード $k (1 \leq k \leq n_i)$ が送信するランク i のデータの時間あたりの中継ノード j における目標転送回数 $S_{k,j,i}$ は、

$$S_{k,j,i} = \frac{x_i}{n_i} \quad (3)$$

となる。提案手法の転送処理・バッファ格納処理は、式 (4) で算出する $value_{FDR}$ を利用する。同式において、 t_{TTL} 、 $t_{elapsed}$ はそれぞれ、データの TTL (Time To Live) とデータ生成後の経過時間を、 m_{actual} 、 m_{assign} は、データの時間あたりの実際の転送回数とデータの目標転送回数をそれぞれ示す。転送処理は、 $value_{FDR}$ の値が小さいデータから順に転送する。バッファ格納処理は、新たにランク i のデータを受信した際、同受信ノードのランク i の割当バッファに同受信データを格納するための残量がない場合、 $value_{FDR}$ が大きいデータから順に破棄する。

$$value_{FDR} = \frac{t_{elapsed}}{t_{TTL}} \beta + \frac{m_{actual}}{m_{assign}} \gamma \quad (4)$$

[†] 県立広島大学大学院 総合学術研究科
Graduate School of Comprehensive Scientific Research, Prefectural University of Hiroshima

5 性能評価

5.1 シミュレーションモデル

シミュレーション諸元を表 1 に、被災地モデルを図 1 にそれぞれ示す。避難所を想定した受信ノードを設置し、同ノードを宛先として、20 台のノードからデータを送信させる。中継ノードは、フィールド内を移動しながらデータを中継する。送信ノードと中継ノードの移動モデルは Homesick lévy walk モデル [4] とした。同モデルは、時々遠距離移動をし、一定確率で拠点に戻る人間の行動を模範した移動モデルである。評価では各ノードの拠点を 100m 間隔に設置し、拠点帰宅率を 20% にした。また、ランク数 r は 3 とし、中継ノード j はランクが 1 つ下がるごとに送信ノード k ノードごとの目標転送回数を 20% 下げる。つまり、 $S_{k,j,3} = 0.8 \cdot S_{k,j,2} = 0.8 \cdot 0.8 \cdot S_{k,j,1}$ となるため、 $S_{k,j,1} : S_{k,j,2} : S_{k,j,3} = 1 : 0.8 : 0.64$ としている。評価における比較手法は Newest 手法、RANK 手法、FDR 手法の 3 つとした。なお、RANK 手法のバッファ管理は、データ生成後の経過時間 (β 項) のみの値から $value$ を算出した。

表 1: シミュレーション諸元

項目	値
送信ノード数	20
受信ノード数 (固定)	1
中継ノード数	169
通信可能距離	100 [m]
バッファサイズ	10 [Mbyte]
データ生成間隔	100~150 [sec]
移動速度	3.0~4.0[m/sec]
β, γ	0.5
バッファ割り当て [%]	ランク 1 : 2 : 3 = 50% : 30% : 20%
シミュレーション時間	12[h]

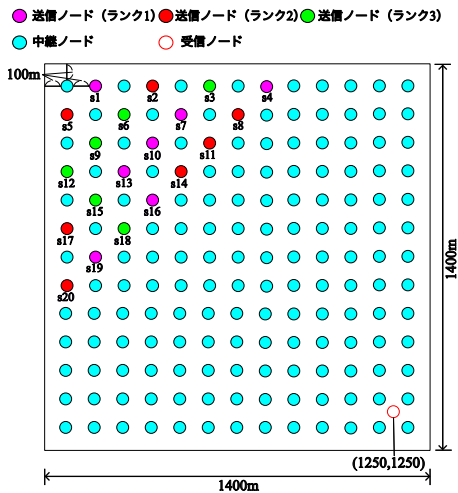


図 1: 評価モデル

5.2 評価結果

図 2 に各シナリオの送信元ノードごとの AoI を、表 2 に Fairness Index [5] をそれぞれ示す。図 2 の結果から、Newest に対する RANK と FDR の AoI の値から、重要度に応じた制御は情報の鮮度向上に効果的であると確認できる。図 2 と表 2 の結果から、RANK よりも FDR の方が Fairness Index が高いことが確認できる。

図 3 に、FDR と RANK のランクごとの平均 AoI を示す。同図に示す結果から、RANK より FDR の方が平均

AoI が RANK1, 2, 3 でそれぞれ約 18%, 14%, 14% 増加したことから、情報の鮮度が悪化したことが確認できる。

表 2: Fairness Index

手法	RANK1	RANK2	RANK3
RANK	0.945	0.840	0.766
FDR	0.992	0.982	0.995

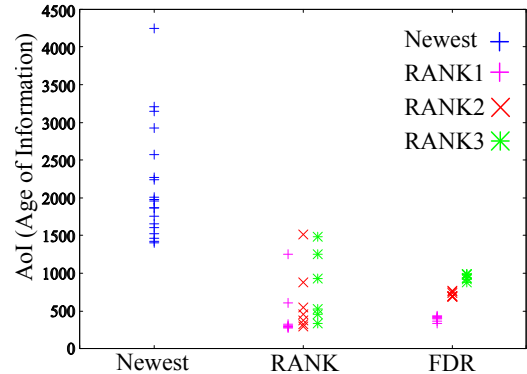


図 2: 送信元ノードごとの AoI

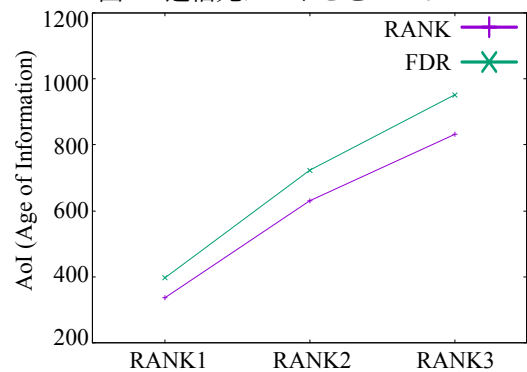


図 3: ランク毎の平均 AoI

6 まとめ

本稿では、ネットワークの状況に応じた公平なデータ中継手法を開発した。評価結果より、FDR は、RANK と比較して Fairness Index が大きく向上することがわかった。しかし、逆に平均 AoI は最大で 18% 悪化することも確認した。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP21K11851 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] S. Farrell and V. Cahill: Delay and Disruption Tolerant Networking, Artech House (2006).
- [2] Y. Inoue, et. al.: Age of Information: Basic Concepts and Its Theoretical Analysis, IEICE Fundamentals Review, vol.13, no.3, pp. 197-208 (2020).
- [3] 諫山, 重安: AoI の低減により被災状況の迅速な把握を可能にする DTN の開発, 情処研究報告 (DPS), vol. 197, no.11, pp. 1-6 (2023).
- [4] A. Fujihara and H. Miwa: Homesick lévy walk and optimal forwarding criterion of utility-based routing under sequential encounters, Internet of Things and Inter-cooperative Computational Technologies for Collective Intelligence, pp. 207-231 (2013).
- [5] R. Jain, et. al.: A quantitative measure of fairness and discrimination for resource allocation in shared computer systems, Tech. Rep. DEC-TR-301, Digital Equipment Corporation (1984).