

災害に強いネットワークのための 巡回端末を用いたデータ収集法の開発

見越 大樹¹⁾
1) 日大工・情報

1 はじめに

近年、世界各地で地震や異常気象の影響による災害が多発しており、災害による通信インフラの途絶が懸念されている。東日本大震災では、津波や建物倒壊により通信ケーブルの切断や通信基地局の倒壊により、被災地域と連絡を取ることが困難となった地域が存在した [1][2]。通信インフラが利用できる地域では、主な安否確認方法として Google の避難所名簿共有サービス [3] が利用されていた。このサービスは避難所ごとの避難者名簿を作成するため、写真や氏名をメールでサービス担当者へ送る必要がある。しかし、通信インフラの機能が停止している地域ではこのサービスを利用することは困難である。そのため、通信インフラに依存しない代替ネットワークが求められている。

そこで、大幅な遅延や通信路途絶が予想されるような劣環境下においても通信を可能とする技術として DTN(Delay/Disruption/Disconnection Tolerant Network)[4][5] が注目を集めている。DTN では、スマートフォンなどの通信端末(ノード)が受信したデータをバッファに蓄積し、運搬しながら通信範囲内に通信可能なノードが存在した場合にデータを転送する。このように、各ノードがデータを蓄積・運搬・転送することで、通信インフラが途絶した環境において通信を実現する。

この DTN 技術を応用したシステムとして、フェリー支援型 DTN が提案されている [6][7]。フェリー支援型 DTN とは、メッセージフェリーと呼ばれる移動型ノードが各避難所に設置されたサーバに蓄積された安否情報などのメッセージを収集し、収集したメッセージを衛星通信などの外部とのアクセス回線を有する基地局へ運搬し転送することで、遠方までメッセージを転送することが可能となる技術である。現在、メッセージフェリーとして車両や UAV(Unmanned Aerial Vehicle) の利用が想定されている。特に UAV は、地震や津波などにより建物が倒壊した場合でも移動の制約を受けづらいため、東日本大震災のような激甚災害時には有効である。

フェリー支援型 DTN ではメッセージフェリーが各避難所のデータを収集し、基地局まで配送するため、各避難所から基地局までの配送遅延が重要となる。しかし、バッテリー駆動の UAV をメッセージフェリーとして利用する場合、長時間の飛行には適していないため、すべての避難所を一度の航行で巡回することは不可能である。また、収集経路中に積載ストレージ以上のデータを持つ避難所がある場合データを収集することが不可能となる。このため、冗長な経路を移動せず、データ量のばらつきを抑えた巡回経路の決定が重要な課題となる。

本稿では、メッセージフェリーの飛行可能距離やストレージ容量に制約がある中で配送遅延を抑え、収集データ量の分散を抑えるために遺伝的アルゴリズム

(GA:Genetic Algorithm) 用いた避難所のデータ量を考慮したクラスタリング法を提案する。また、数値計算評価により、提案方式により形成されたクラスタを配送遅延とクラスタ間のデータ量の分散を標準偏差を用いて評価する。

2 関連研究

通信路途絶地域の情報収集方法としてメッセージフェリーを利用した代替ネットワークに関する研究が行われている。本章では、DTN について紹介し、DTN を応用したフェリー支援型 DTN に関する研究 [8] を紹介する。

2.1 DTN

惑星通信に起源を持つ DTN は、大幅な遅延や通信路の途絶が頻発するような劣悪な環境下においても、任意のノード間通信を可能とすることを目的とした通信技術であり、災害時にも利用可能な通信手段として注目されている。現在主流である TCP/IP などの従来の通信技術は、エンドツーエンドが常時接続可能であることを前提としており、不安定なリンク状態を想定している DTN では、そのまま TCP/IP の技術を用いることは難しい。そのため、DTN ではノードがデータをバッファに保持・運搬し、遭遇した端末に対してデータを複製し、転送することで不安定なリンク状態でも任意のノード間通信を可能としている。現在、主な通信方式として Epidemic Routing が研究されている。Epidemic Routing とは、自らの電波範囲内に存在する通信可能な全てのノードに対して、自らが保持している全てのメッセージを複製し転送する手法である。そのため、ノードと接触するごとに保持するメッセージが感染的に拡散されていく。この手法は、ノードのバッファなどの資源が十分にある場合、最もデータが拡散される手法であるが、無制限にデータの複製と転送を繰り返すため、ネットワーク負荷が増大するという問題点がある。また、災害発生時は自宅や会社から近い避難所に避難することが考えられるため、離れた地域の避難所に避難している避難者との接触機会は少なくなり、データが宛先ノードの存在する地域まで拡散されない可能性が高くなる。

2.2 フェリー支援型 DTN

前述の Epidemic Routing では、データ数の増大や宛先までメッセージが拡散されない問題がある。この問題に対して、メッセージフェリーを広範囲に移動させデータ収集や配送を行うフェリー支援型 DTN が研究されている。文献 [8] ではクラスタごとのデータ発生率が異なる場合に、メッセージフェリーの巡回路の移動時間と平均配送遅延を抑えるために、巡回セールスマン問題とポーリングモデル型訪問順序を組み合わせたハイブリッド型訪問順序決定法を提案している。しかし、この方式では

クラスタ内のデータ量の合計を元に、クラスタ全体のデータ量の標準偏差を式 (2) で計算し、その逆数を与える。標準偏差を考慮することで、クラスタ間で一度の飛行で収集可能なメッセージ量を均一化するためである。その時、式 (3) により計算されるデータ量の最大値を分子に考慮することで、クラスタに含まれるデータ量を多くする。 δ は、適応度の重み付け係数であり、式 (4) により求められる相対誤差 ϵ が許容範囲上の場合に適応度を 1/10 する。これにより、メッセージフェリーの移動距離を抑え、データ量の分散を考慮したクラスタリングを可能とする。しかし、この適応度関数だけではメッセージフェリーの航続可能距離やストレージ容量を考慮していないため、メッセージフェリーの墜落やクラスタ内の避難者数増加によるストレージ溢れの可能性が考えられる。そのため、メッセージフェリーが一度の飛行で移動することが可能な距離より大きい場合やクラスタに含まれる避難者数が上限を超える場合に適応度を強制的に 0 とする。それにより、メッセージフェリーが一度の飛行で基地局からクラスタ内の避難所をすべて訪問することが可能なクラスタを選択可能となり、また収集するデータ量がストレージの容量を超えることを防ぐことが可能となる。

$$fit = \begin{cases} \frac{M_{\max}}{|N| \times S_m} \times \delta, & \text{if } d_i < D_{\max} \wedge m_i < C_{\max} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

$$S_m = \sqrt{\frac{1}{|N|} \sum_{i \in N} (m_i - \mu)^2} \quad (2)$$

$$M_{\max} = \max_{i \in N} m_i \quad (3)$$

$$\epsilon = \frac{d_i - d_{\min}}{d_{\min}} \quad (4)$$

$$\delta = \begin{cases} 1.0, & \epsilon < \phi \\ 0.1, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

fit : 適応度

N : クラスタ集合

S_m : データ量の標準偏差

M_{\max} : データ量の最大値

m_i : クラスタ i 内のデータ量

d_i : クラスタ i の巡回距離

μ : クラスタ間のデータ量の平均

D_{\max} : メッセージフェリーの最大移動可能距離

C_{\max} : メッセージフェリーのストレージ容量

d_{\min} : 集団中の個体の最小巡回距離

δ : 適応度の重み付け係数

ϵ : 相対誤差

ϕ : 相対誤差の許容範囲

手順 3 : 選択

選択では g 世代個体から $g+1$ 世代個体を生成するため操作を行う。 g 世代の α 個の個体から適応度が高い上位 25% のエリート個体を選択し、 $g+1$ 世代の個体とする。

また、 g 世代の α 個の個体からランダムに $\alpha/4$ 個選出し、 $g+1$ 世代の個体とする。このように 25% のエリート個体を $g+1$ 世代に残すことで、手順 4 や手順 5 の処理によって遺伝子が壊れ適応度関数の値が著しく低下することを防ぐ。また、全体からランダムに選出することで解の多様性を保ち、局所解に陥ることを回避する。この操作のみでは、 $g+1$ 世代に必要な個体数の半分しか生成できていないため、残りの個体は手順 4 の交叉によって生成する。

手順 4 : 交叉

交叉をするにあたり、親となる個体対を作成する必要がある。以下に個体対選択方法を示す。適応度が高い上位 50% の中から復元抽出で 1 個体ランダムに選出し親とする。他方の親個体の選択は、確率によって選出方法を変える。確率 λ で、適応度が高い上位 50% の中から復元抽出で 1 個体ランダムに選出する。確率 $1-\lambda$ で、 g 世代個体からランダムに復元抽出で 1 個体選出する。以上の操作で選択した 2 個体を親とし、交叉を行う。一度の交叉で新たな個体が 2 個生成される。このため、交叉は $\alpha/4$ 回繰り返す。一様交叉を用いて子個体を作成し、生成された 2 個体は、 $g+1$ 世代の個体とする。

手順 5 : 突然変異

手順 4 によって生成された個体の遺伝子に対し、すべての要素を独立に確率 β で変化させる。突然変異は遺伝子の一部を変化させるため、集団中の遺伝子の多様性を図る働きがある。以上の手順 2~5 を任意に設定した g_{\max} 世代数繰り返すことで最適解を探索する。

5 数値計算評価

本章では、提案方式によって生成されたクラスタについて、総巡回距離及び、クラスタ間のデータ量の分散、計算時間について評価を行う。配送遅延は総巡回距離に大きく影響するため、メッセージフェリーがすべての避難所を巡回するために必要な距離が短くなると、配送遅延も同様に短くなると定義する。そのため、メッセージフェリーの総巡回距離の比較を行う。今回は提案方式を評価するための簡易的な実験として K-means との比較を行う。以下に評価条件を示す。

5.1 評価条件

評価に使用する都市には、宮城県仙台市を用いる。避難所の配置は国土交通省国土政策局国土情報課 [10] により公開されている仙台市指定避難所 195 箇所を使用した。基地局は仙台市市役所とする。今回、すべての避難所は収容人数だけ避難者が避難していることを想定する。避難者は必ず 1 通メッセージを送信し、その時のメッセージサイズは、写真とテキストメッセージを合わせ 1Mbyte とする。メッセージフェリーは、UAV を想定する。UAV の性能は、速度 80km/h としバッテリー持続時間を 1 時間とした。また、積載するストレージサイズは 128Gbyte とする。

遺伝的アルゴリズムに関するパラメータは以下の通りである。各世代での個体数 400、適応度計算時に使用する相対誤差の許容値 ϕ は 0.25、突然変異確率は 0.5、終了条件は世代数 10,000 世代とする。遺伝子の初期化は、分割数 $K=11$ とした K-means で行う。 $K=11$ とした理

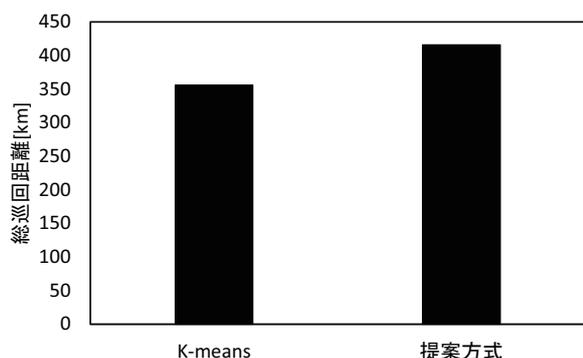


図2 メッセージフェリーの総移動距離

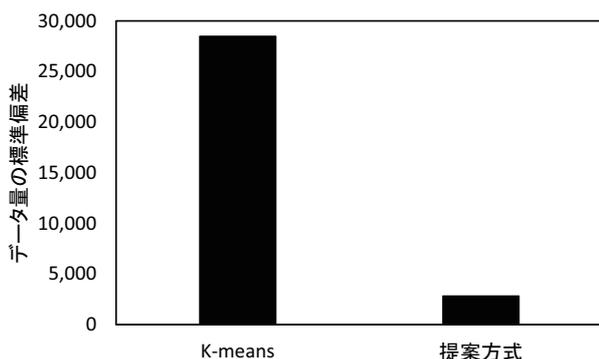


図3 クラスタ内のデータ量の標準偏差

由は、予備実験より $K=10$ 以下で計算した結果、解を得ることができなかったため、解を得ることができた最小の K を今回用いた。比較に用いる K-means の K の値も同様に $K=11$ とする。以上の条件で計算した数値結果を以下に示す。

5.2 評価結果

K-means は 1 度の計算では、メッセージフェリーの性能を満たすクラスタを形成できないため、50 回実行した中で適応度関数の値が最も高いものを採用した。K-means と提案方式においてメッセージフェリーの総移動距離を図 2 に示す。提案方式のメッセージフェリーの総移動距離は、K-means に比べ約 60km 長い結果となった。提案方式のメッセージフェリーの総移動距離が K-means に比べ長くなるのは、K-means は避難所同士の距離の近さを考慮しているのに対し、提案方式は適応度関数でクラスタ間のデータ量の標準偏差を考慮しているため、距離が離れた避難所もクラスタに加えてしまい距離が長くなる。

図 3 に分割されたクラスタ内のデータ量の標準偏差について示す。提案方式は K-means に比べ約 1/10 程度の標準偏差の値となった。K-means は、避難所間の距離の近さのみを考慮しているため標準偏差の値は大きい値となった。それに対し提案方式は、適応度関数においてクラスタ内のデータ量の標準偏差を考慮したためクラスタ間でデータ量のばらつきが小さくなるという結果となった。

以上の結果から、提案方式はクラスタ間のデータ量の分散を抑えたクラスタを形成できる方式である。

6 むすび

本稿では、大規模災害時に通信インフラが使用できない状況において避難者が避難先の避難所から、被災地の外に生存確認などのメッセージを送信可能なシステムについて紹介し、メッセージフェリーに UAV を用いた際の問題点を示した。問題点を解決するため、バッテリー持続時間内の飛行可能距離やストレージといったメッセージフェリーの性能と避難所のデータ量を考慮した遺伝的アルゴリズムを用いたクラスタリング法を提案した。数値計算評価により、メッセージフェリーの総巡回距離は 60km ほど劣化したが、クラスタ間のデータ量の分散を約 1/10 程度に抑えることが可能なことを示した。今後は、クラスタ間のデータ量の分散を保ちつつ、メッセージフェリーの総巡回距離の短縮を図る方式を提案する。また、評価トポロジを変更し提案方式の有効領域を検証する。

参考文献

- [1] 東日本大震災における情報通信の状況, “平成 23 年版情報通信白書,” p2-11.
- [2] 能島暢呂, “東日本大震災におけるライフライン復旧概況 (時系列編),” 岐阜大学工学部社会基盤工学科, 2011.
- [3] 避難所名簿共有サービス, “<https://www.google.co.jp/intl/ja/crisisresponse/japanquake2011mnganbare.html>”.
- [4] S. Farrell, V. Cahill, D. Geraghty, I. Humphreys, and P. Mc-Donald, “When TCP breaks: Delay and Disruption-tolerant networking,” in Proc. IEEE Internet Comput, vol 10, no.4, July/Aug. 2006, pp. 72-78.
- [5] V. Cerf, S. Burleigh, A. Hooke, L. Torgerson, R. Durst, K. Scott, K. Fall, and H. Weiss, “Delay Tolerant Networking Architecture,” REC4348 (Informational), April. 2007.
- [6] K. Fall, “A Delay-Tolerant Network Architecture for Challenged Internets,” in ACM SIGCOMM, August 2003.
- [7] K.H.Kabir, M.Sasabe, T.Takine, “Integer programming formulation for grouping clusters in ferry-assisted DTNs,” Proc.26th International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops, pp.11251130, 2012.
- [8] 泉 芳明, 笹部 昌弘, 滝根 哲哉, “フェリー支援型 DTN におけるクラスタ間の近傍性を考慮した訪問順序決定方式,” 信学技法, NS2014-266 .
- [9] 加藤常員, “遺伝的アルゴリズムを用いた非階層的クラスタリング,” 情報処理学会論文誌, vol.37, no.11, p.1950-1959.
- [10] 国土交通省国土政策局国土情報課, “<http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/index.html>”.