

複数のモバイルリレーを用いた 孤立データサーバ間のデータ転送方式

穴澤和也† Peng Li† 宮崎敏明†

会津大学コンピュータ理工学部†

1. はじめに

我々は、被災後、インターネットなどの公共通信インフラへの接続が困難となる状況下でも情報を効率よく取得するための手法を検討している。本稿では、複数のモバイルリレー[1]を孤立したデータサーバ間を巡回させ、効率の良いデータ共有を行う手法を提案する。

2. 問題と提案手法

2.1. システムモデル

被災後、効率の良いデータ共有を行うために、孤立したデータサーバ（以下、サーバ）全体へ迅速、かつ、なるべく多くのデータ転送を行うことが望まれる。ここでは、図1に示すように1つの基地局から孤立した各サーバへデータを転送することを考える。具体的には、各モバイルリレーの経路及び転送するデータ数をどのように決定すれば効率的なデータ転送が行えるかを考察する。

基地局を s_0 、 n 個のサーバの集合を $S = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$ とし、各サーバがデータ Q_i を要求しているとする。また、 m 個のモバイルリレーの集合を $M = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$ とし、各モバイルリレー a_t は各サーバへ $q_i \leq Q_i$ だけのデータを経路 $P_t = \{s_0, s_{n_1}, \dots, s_{n_t}, s_0\}$ に沿って転送する。ここで s_{n_t} は、モバイルリレー a_t が i 番目に巡回するサーバであり、 n_t は巡回するサーバの総数である。また、 s_i から s_j へ向かう際に発生する遅延を d_{ij} とする。サーバ s_i はモバイルリレーが到着した後、速度 r_i でデータを読み込む。このとき、各サーバの待ち時間は、サーバ s_i に到着する以前まで他のサーバを巡回した時間及びデータの読み込み時間の和として、次式で与えられる。

$$l_i = \sum_{j: \pi_{j+1}=s_i} d_{\pi_j, \pi_{j+1}} + \sum_{j: \pi_j=s_i} \frac{q_{\pi_j}}{r_{\pi_j}} \quad (1)$$

次に、各サーバにおけるデータ数と待ち時間を示す指標として、以下を導入する。

$$w_i = U(q_i) - P(l_i), \forall 1 \leq i \leq n \quad (2)$$

ここで、 $U(q_i)$ と $P(l_i)$ はそれぞれ効用関数、ペナルティ関数を表しており、 α と β を定数として次のように定義する。

$$U(q_i) = \alpha q_i, \forall 1 \leq i \leq n \quad (3)$$

$$P(l_i) = \beta l_i, \forall 1 \leq i \leq n \quad (4)$$

また、問題を定式化するために、2つの0-1変数 x_{ij}^t 、 y_{ij}^t 及び整数変数 e_i^t をそれぞれ以下のように定義する。

$$x_{ij}^t = \begin{cases} 1, & \text{リレー } a_t \text{ が } s_i \text{ から } s_j \text{ データを転送する;} \\ 0, & \text{それ以外;} \end{cases}$$

$$y_{ij}^t = \begin{cases} 1, & \text{経路 } P_t \text{ において、} s_i \text{ が } s_j \text{ の前にある;} \\ 0, & \text{それ以外;} \end{cases}$$

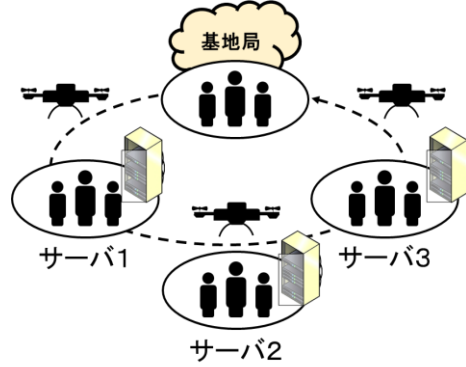


図1. 想定するシナリオ

$$e_i^t = \begin{cases} \text{経路 } P_t \text{ における } s_i \text{ の場所, } s_i \text{ が経路 } P_t \text{ にある;} \\ 0, & \text{それ以外;} \end{cases}$$

これらの定義のもとに、各モバイルリレーの経路及びそれによって実際に運ばれるデータ数 q_i を決定し、最小の w_i (=目的関数 W)を最大化することを考える。この問題を定式化すると、以下のようになる。

$$\max W$$

$$\text{Subject to } W \leq w_i, \forall 1 \leq i \leq n; \quad (5)$$

$$l_j = \sum_{t=1}^m \sum_{i=0}^n y_{ij}^t \left(\frac{q_i}{r_i} + \sum_{k=0}^n x_{ik}^t d_{ik} \right) + \frac{q_j}{r_j}, \forall 1 \leq j \leq n; \quad (6)$$

$$q_i \leq Q_i, \forall 1 \leq i \leq n; \quad (7)$$

$$\sum_{j=0}^n x_{ij}^t = 1, \forall 0 \leq i \leq n, 1 \leq t \leq m; \quad (8)$$

$$\sum_{k=0}^n x_{ki}^t = 1, \forall 0 \leq i \leq n, 1 \leq t \leq m; \quad (9)$$

$$\sum_{t=1}^m x_{ij}^t \leq 1, \forall 0 \leq i, j \leq n; \quad (10)$$

$$\sum_{t=1}^m y_{ij}^t \leq 1, \forall 0 \leq i, j \leq n; \quad (11)$$

$$0 \leq e_i^t \leq n_t, \forall 1 \leq i \leq n, 1 \leq t \leq m; \quad (12)$$

$$n_t x_{ij}^t - n_t + 1 \leq e_j^t - e_i^t \leq (n_t - 1) - (n_t - 2)x_{ij}^t, \forall 1 \leq i \neq j \leq n, 1 \leq t \leq m; \quad (13)$$

$$\frac{e_j^t - e_i^t}{n_t} \leq y_{ij}^t \leq \frac{e_j^t}{e_i^t}, \forall 1 \leq i \neq j \leq n, 1 \leq t \leq m; \quad (14)$$

(2), (3) and (4)

2.2. 提案アルゴリズム

各モバイルリレーの最適な経路を求めるために、本稿

Data Transfer Method among Isolated Data Servers Using Multiple Mobile Relays

†Kazuya Anazawa, †Peng Li, †Toshiaki Miyazaki

†School of Computer Science and Engineering, the University of Aizu

では遺伝的アルゴリズム(GA)を適用する。GAにおいて染色体へ経路情報のみを与え、目的関数 W の値を適応度とする。このとき、目的関数を最大化するようにデータ数 q_i を決定する。提案アルゴリズムの枠組みはアルゴリズム1の通りである。

遺伝的操作として、交叉及び突然変異を定義した。例を図2に示す。交叉では、交叉点をランダムに選択し、その点より右側の染色体の並びを他方の染色体の並びとして置き換え、2つの新たな染色体を得る。その後、得られた2つの染色体に対し、突然変異操作を行う。突然変異操作は、2つのリレーの担当箇所をランダムに選択し、選択した2つの担当箇所においてそれぞれ2つの点をランダムに選び、その範囲における染色体を入れ替えることと定義する。

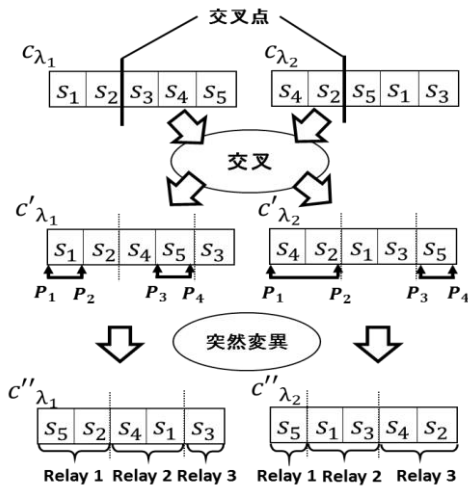


図2. 遺伝的操作

0-1変数の値は経路が染色体により与えられ、それらを \hat{x}_{ij}^t 及び \hat{y}_{ij}^t とすると、上述したGAを適用することにより各モバイルリレーの経路が求まる。それを式(6)に代入し、式(6)'を得る。よって、前述した最適化問題は、 q_i を変数とした下記の線形計画問題に帰着でき、汎用パッケージを用いて解くことができる。

$$\max W \quad \text{Subject to} \quad W \leq w_i, \forall 1 \leq i \leq n; \quad (5)$$

$$l_j = \sum_{i=1}^m \sum_{t=0}^n \hat{y}_{ij}^t \left(\frac{q_i}{r_i} + \sum_{k=0}^n \hat{x}_{ik}^t d_{ik} \right) + \frac{q_j}{r_j}, \forall 1 \leq j \leq n; \quad (6)'$$

$$q_i \leq Q_i, \forall 1 \leq i \leq n; \quad (7)$$

(2), (3) and (4)

表1. シミュレーションパラメータ

項目	条件
エリアサイズ	100×100 [km ²]
トポロジ	ランダム
リレーの速度	0.5 [km/min]
要求データ数 Q_i	平均10000及び分散1000に従う正規分布から生成
データ取得速度 r_i	平均10及び分散2に従う正規分布から生成
染色体の数 k	10
ループ数 Δ	100
定数	$\alpha=5, \beta=0.2$

アルゴリズム1. 遺伝的アルゴリズムの枠組み

- 1: k 個の染色体を含む初期集団 $P = \{c_1, c_2, \dots, c_k\}$ を生成;
- 2: $round = 0$;
- 3: **while** $round \leq \Delta$ **do**
- 4: それぞれの染色体の適応度を評価し、次のように昇順に並べる: $W(c_{\lambda_1}) \geq W(c_{\lambda_2}) \geq \dots \geq W(c_{\lambda_k})$;
- 5: 最大の適応度を持つ2つの染色体 c_{λ_1} 及び c_{λ_2} を選択する;
- 6: 交叉操作を c_{λ_1} および c_{λ_2} に対して行い、 c'_{λ_1} 及び c'_{λ_2} を生成する;
- 7: 突然変異操作を c'_{λ_1} および c'_{λ_2} に対して行い、 c''_{λ_1} 及び c''_{λ_2} を生成する;
- 8: 最小の適応度を持つ2つの染色体 c_{λ_k} 及び $c_{\lambda_{k-1}}$ を c''_{λ_1} 及び c''_{λ_2} と置き換え、集団 P を更新する;
- 9: $round = round + 1$;
- 10: **end while**

3. 実験

3.1. 実験環境

Python 言語及びそれをベースとした数理最適化ソルバーである PuLP を用いて、評価環境を構築した。実験で使用したパラメータは表1の通りである。

3.2. 実験結果

図3にデータサーバ数 n を10から30、モバイルリレー数 m を2, 3, 4と変化した場合の目的関数の値を示す。より多くのモバイルリレーを用いることにより、目的関数の値が高く、安定している。これにより、多数のモバイルリレーを用いることの有用性が確認できる。

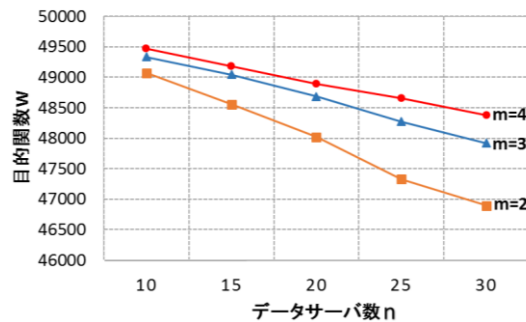


図3. シミュレーション結果

4. おわりに

本稿では、通信インフラへの接続が困難となる被災後において、複数のモバイルリレーを用いた孤立サーバ間のデータ転送を効率的に行う方式を提案した。実験の結果、より多くのモバイルリレーを用いることにより、効率的なデータ転送が実現できることを確認した。

謝辞 本研究の一部は、総合科学技術・イノベーション会議の SIP (戦略的イノベーション創造プログラム) 「レジリエントな防災・減災機能の強化」(管理法人: JST) によって実施された。

参考文献

[1] Wenrui Zhao, Mostafa Ammar and Ellen Zegura, "A Message Ferrying Approach for Data Delivery in Sparse Mobile Ad Hoc Networks," in Proceeding of the 5th ACM international symposium on Mobile ad hoc Networking and computing, 187-198(2004).