

災害に強い医療情報ネットワークのための通信システム

見越 大樹¹⁾
1) 日大工・情報

1 はじめに

医師不足の問題に起因して、地域医療の疲弊が過疎地域において深刻な問題になってきており、ICTを活用した遠隔医療が期待されている。遠隔医療を実現するためには、安定した通信ネットワークを低コストで実現する必要がある。低コストなネットワークを実現するためには、専用の優先ネットワークを整備するのでは無く、既設のネットワークインフラを利用する事が有効である。災害に強い安定したネットワークを実現するためには、無線ネットワークを利用することが有効である。

図1に想定するネットワーク形態を示す。集会所や家庭に血圧計などの医療機器と無線端末（ホームゲートウェイ）があり、医療機器にはBluetoothが搭載されている。ホームゲートウェイはBluetoothで医療機器から情報を受信して、インターネット上の情報管理サーバに情報を送信する。情報管理サーバはクラウド上に配置される。利用者のデータを処理せずサーバに送信する場合はデータ量が膨大となるため、サーバ及びネットワークの負荷が増大する。このため、ネットワークの入口（エッジ）でデータのフィルタリング・圧縮を実施する必要がある。エッジで一次処理を行うネットワークをエッジコンピューティングと呼ぶ（図2）。エッジコンピューティングでは、どのエッジで処理を行うか、どのデータセンタにサーバを配置するかが重要となる。

ホームゲートウェイから情報管理サーバへの接続は3つの形態を想定している。1つ目は光ネットワーク、2つ目はセルラーネットワーク、3つ目は近距離無線ネットワークである。光ネットワークとセルラーネットワークは、通常時の接続形態であり、近距離無線ネットワークは非常時の接続形態である。なお、光ネットワークとセルラーネットワークについては、既設の通信インフラを利用して接続される。一方、近距離無線ネットワークについては、ネットワークを新たに開発する必要がある。

このような背景のもと、エッジコンピューティングにおけるエッジサーバの割当方式、および、非常時の無線ネットワークについて研究を行った。

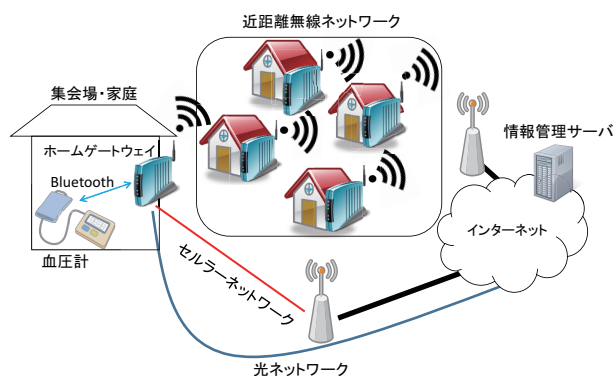


図1 想定するネットワーク形態

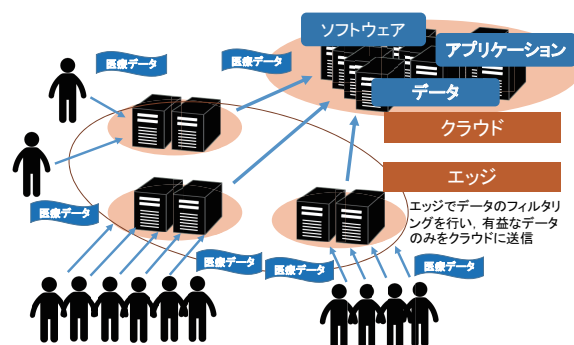


図2 エッジコンピューティング

2 エッジコンピューティング

医療情報ネットワークで収集する情報は利用者数に応じてデータ量が膨大な物となり、このようなビッグデータの活用には、膨大なデータを集約、分析する必要がある。分析環境はデータセンタ内に構築されるが、データの集約や分析処理において帯域や処理能力の不足による輻輳の発生が深刻となっている。この問題に対して、エッジコンピューティングにおいてユーザ近傍に配置されるエッジサーバでデータの形式変更やフィルタリングといった一次処理を行う試みが注目されている。ビッグデータの一次処理を行うエッジサーバをネットワーク上に配置する際には、データ伝送における使用帯域や遅延を考慮して配置先を決定する必要がある。この問題に対して我々は、エッジサーバ配置問題を使用物理資源と遅延時間を考慮した線形計画問題として定式化し、線形計画問題を解く事で、最適なエッジサーバ配置を決定する方式を提案した[1]。

2.1 エッジサーバ配置問題

エッジサーバ配置問題では、ビッグデータの一次処理及びアプリケーションを実行する処理サーバを効率的にネットワーク上へ配置する問題を扱う。従来研究では、帯域や処理量といった物理資源を考慮し、エッジサーバ及びデータ伝送リンクを同時に割り当てる数理計画問題を提案している。しかし、この方式では遅延といったQoEやエッジサーバに対するユーザの割り当てなどが考慮されていない。これらの課題を解決するため、エッジサーバ配置問題を使用物理資源と遅延時間を考慮した線形計画問題(ILP: Integer Linear Programming)として定式化した[1]。

2.2 性能評価

提案方式の線形計画問題について、最適なエッジサーバ割り当てが行えているかを確認するための評価を行った。評価条件を以下に示す。評価に使用する物理ネットワークモデルとして、14ノード21リンクNSFNETモデルをベースとした28ノード35リンクのトポロジを用いた。シミュレーションにおける各パラメータは、ルー

タ数は 14, サービス数は 1, サービスのユーザー一人あたりのデータ量は 10, エッジサーバの配置コストは 20, エッジサーバの要求処理能力は 100, 遅延限界は 30, 各エッジサーバの処理可能データ量は 30, 物理ノードの初期処理量は 100, 物理リンクの初期帯域は 10000 であり, ユーザ数は 10 人, 各ユーザをランダムにトポロジ上に配置し最近傍のルータにデータを集約する. 実行環境は, Intel Core i7-6700 3.40GHz を用い, 主記憶は 64GB とし, OS は windows10 64bit バージョンを用いた. また ILP のソルバには CPLEX[2] を用いた.

2.3 実行結果

図 3 は提案方式の ILP の計算結果を図で示したものである. エッジサーバの割り当てにおいては, 経路遅延を優先し各ルータ近傍にエッジサーバを割り当てるとサーバの配置コストが増加, 配置コストを優先しサーバの割り当てを行うと経路遅延が増大する. その点において提案方式は, エッジサーバの台数と遅延のトレードオフを最適に行いエッジサーバを配置, 各ルータからエッジサーバ経由でデータセンタまでデータを送信するための経路を計算できていることが分かる.

図 4 はユーザ数の増加に伴う経路遅延の値を表しており, ユーザ数 10000 人の際の経路遅延を基に正規化を行っている. この図から, ユーザ数 14000 人から経路遅延が増加していることが分かる. これは収集するデータ量の増加に伴い, データ送信に使用する帯域を削減するために経路遅延よりも使用するリンク数の削減を優先, また使用されるリンクが集中した際, リンクの帯域幅を超える可能性があるため, データが集中するリンクを迂回する経路を探索するためだと考えられる. 以上の結果から, 提案方式の ILP は与えられた条件下で物理ネットワーク資源, 経路遅延を抑えるエッジサーバ配置の配置先を計算できていると有効であるといえる.

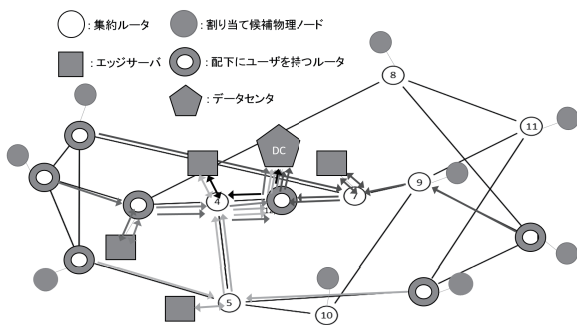


図 3 割当結果

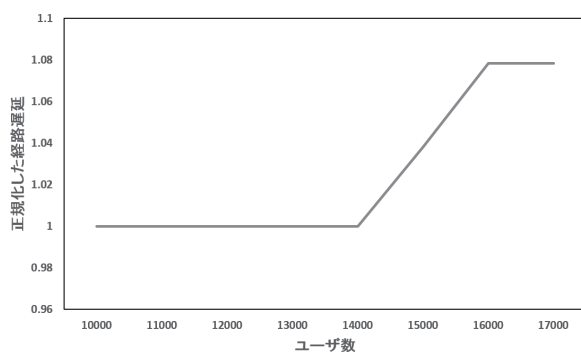


図 4 正規化した経路遅延

3 近距離無線ネットワーク

近距離無線ネットワークを利用した通信方式では, 無線端末がデータの中継を行うマルチホップ通信が一般的に利用されるが, 過疎地域においては通信端末の台数が少ないため通信可能範囲に他の端末が存在せず, マルチホップ通信が利用できない事が予想される. このため, 近距離無線通信を応用した通信方式である DTN(Delay/Disruption/Disconnection Tolerant Network)[3]に着目した. 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.

3.1 フェリー支援型 DTN

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 [4]. 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様々な場所に設置されたサーバに蓄積された情報を収集し, 収集した情報を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データを収集し, 基地局まで配送するため, 各収集箇所から基地局までの遅延が問題となる. 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, すべての収集箇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サーバ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. 文献 [5] では収集箇所をクラスターと呼ばれるグループに分け, クラスター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経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, この方式ではメッセージフェリーのバッテリーやストレージ容量などの性能の部分は考慮されていない.

この問題に対して我々は, 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した [6].

3.2 想定システム

本稿で対象とするシステム (図 5) は, 市単位を想定しており, 地震などの大規模災害発生により広い範囲に渡り, 通信ケーブルや携帯電話基地局のような通信インフラが損傷し, 広範囲に渡って通信を行えない状態での運用を想定している. 基地局とメッセージフェリーは 1 台

ずつの構成であり、メッセージは、UAV を用いて収集する。収集したメッセージは、基地局のサーバに集め、衛星通信などの外部アクセス回線を利用してクラウド上のサーバへアップロードする。

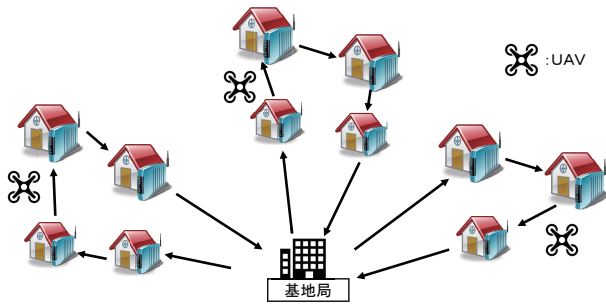


図5 想定システム

3.3 提案方式

前章で述べた課題を解決するため、バッテリー持続時間内での飛行可能距離やストレージ容量といったメッセージフェリーの性能やデータ量を考慮した収集箇所のクラスタリング法を提案した [6]。クラスタリングには遺伝的アルゴリズムを (GA: Genetic Algorithm) を用いる。遺伝的アルゴリズムは、生物の進化原理をモデル化した最適化手法である。自然界では、環境に適応できない生物は淘汰され、適応する生物は生き残り子孫を増やしていく。遺伝的アルゴリズムはこの自然界の進化原理をモデル化し、与えられた問題において最も適応したもの、つまり評価関数に対して最適値を取る解を探索する方法である。解探索は、個体と呼ばれる解の集合に対し、評価、選択、交叉、突然変異と呼ばれる遺伝的オペレータを繰り返し行うことで実現する。

3.4 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収集箇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。

3.5 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。収集箇所の配置は国土交通省国土政策局国土情報課 [7] 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。1人当たり 1Mbyte のデータを発生させ、すべての収集箇所は収容人数に応じたデータ量が発生すると想定する。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。

3.6 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 6 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 は収集箇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、距離が離れた収集箇所もクラスタに加えてしまい距離が長くなる。

図 7 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、収集箇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。

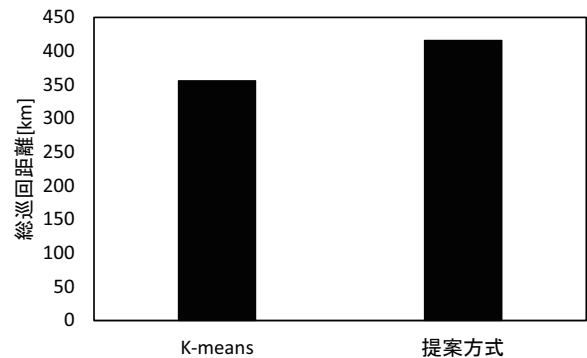


図6 メッセージフェリーの総移動距離

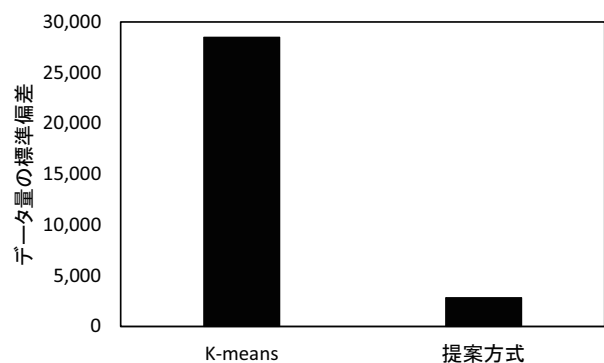


図7 クラスタ内のデータ量の標準偏差

4 むすび

本稿では、災害に強い医療情報ネットワークのための通信システムの提案を行い、膨大の医療情報を処理するためのエッジコンピューティングを紹介すると共に、線形計画問題を用いたサーバ割当方式の提案を行った。また、非常時の通信方式として、近距離無線ネットワークとフェリー支援型 DTN を利用した通信方式の提案を行った。

エッジコンピューティングについては、提案した線形計画問題を解き性能を評価し、エッジサーバの配置および、各ルータからエッジサーバ経由でデータセンタまでデータを送信するための経路が正しく最適化されていることを確認すると共に、物理ネットワーク資源、経路遅延を抑えるエッジサーバ配置を計算可能である事を示した。フェリー支援型 DTN については、数値計算評価により、提案方式の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、非常時のデータ収集方式として有効である事を示した。

参考文献

- [1] 伊藤颯一郎, 見越大樹, 大山勝徳, 西園敏弘, “エッジコンピューティングにおけるパケットフィルタリングのための ILP に基づくエッジサーバ配置方式”, 信学技報, 2019 年 3 月
- [2] IBM ILOG CPLEX Optimizer, <http://www-01.ibm.com/software/integration/optimization/cplex-optimizer/>
- [3] 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.
- [4] K. Fall, “ A Delay-Tolerant Network Architecture for Challenged Internets, ” in ACM SIGCOMM, August 2003.
- [5] 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 .
- [6] 田中直樹, 見越大樹, 大山勝徳, 西園敏弘, “フェリー支援型 DTN における収集データ量を考慮した遺伝的アルゴリズムによるクラスタリング法”, 信学技報 NS2017-187, pp.113-118, 2018 年 3 月
- [7] 国土交通省国土政策局国土情報課,
“<http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/index.html>”.