

災害時のセルラーネットワークにおける 不確実な観測情報に基づくトラフィックエンジニアリング

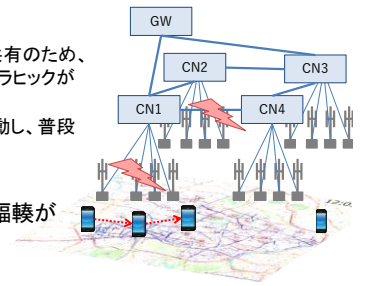
佐竹 幸大
大下 裕一
石橋 圭介
星合 擁湖
村田 正幸

2018/3/19

1

災害時のセルラーネットワークにおける輻輳

- 災害発生時の人の行動
 - 安否確認、被災状況／避難情報共有のため、スマートフォン等の移動端末からトラフィックが急増
 - 普段とは異なる移動パターンで移動し、普段とは異なる箇所の人流の増大
- セルラーネットワークにおいて輻輳が発生

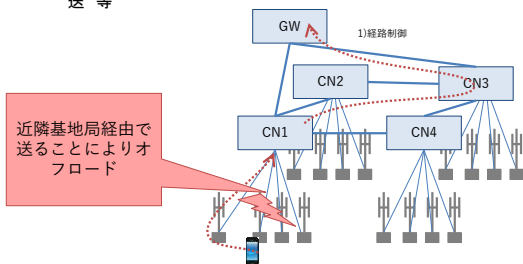


2018/3/19

2

セルラーネットワークにおけるオフロード

- 輻輳の発生を防止するために、輻輳が発生した通信をオフロード
 - 輻輳が発生している基地局配下の端末のうち、一定の割合を近隣基地局経由で流すことにより、オフロード
 - 各セルのエリアの動的調整、別の通信チャンネル(D2D等)を用いて別エリアまで転送等



2018/3/19

3

セルラーネットワークのオフロードにおける課題

人の移動に伴い、輻輳が発生するエリアは時々刻々変化する。
↓
その時刻に応じたタイムリーな制御が必須

従来型の制御



従来型制御の問題点

- 大規模ネットワークでは、ネットワークの全地点からトラフィック情報を収集・解析を短い周期で行うことは困難
→タイムリーな制御が困難

2018/3/19

4

タイムリーな制御を実現するための手法

解決すべき課題

- 各制御周期において観測できる情報は限定的(情報の不完全性)
- 短時間で制御を実現することが必要

各時刻において得られる不完全な情報をもとに、判断を行い、制御をする手法を考案^[1]

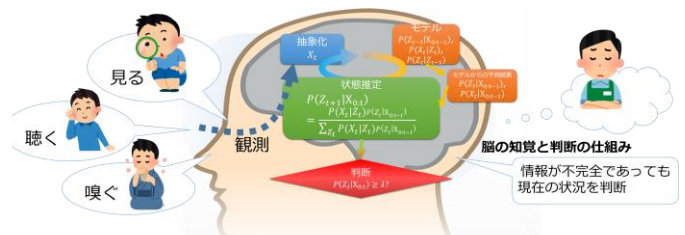
本研究では、当該手法を災害時のセルラーネットワークにおける制御に利用

[1] K. Satake, T. Otoshi, Y. Ohsita, and M. Murata, "Traffic engineering cooperating with traffic monitoring for the case with incomplete information," in Telecommunication Networks and Applications Conference (ITNAC), 2017 27th International, pp. 1-7, IEEE, 2017

2018/3/19

5

不完全な情報をもとに判断しているもの: 脳



- 抽象化、モデル化、状態推定、判断のループをベイズ的に行っている

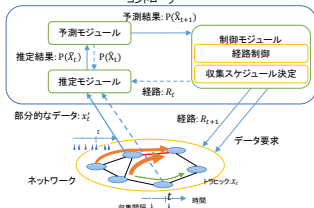
- 逐次得られる情報が、不完全・不正確なものであっても、認知の判断を行う

2018/3/19

6

不完全な情報を用いた制御

- トラヒック量を確率分布として扱い、各時刻で得られる情報をもとに制御
 - 推定: 各時刻において得られた部分的な情報をもとに、トラヒック量の確率分布を更新
 - 予測: 得られた確率分布をもとに、将来のトラヒック変動を確率分布として求める
 - 制御: 確率分布をもとにして、制御を決定



2018/3/19

推定

- トラヒック観測を行った結果、部分的なトラヒック量 X'_t が観測
 - ↓
 - 過去の推定結果を、得られた観測値をもとに補正

$$P(X_t | X'_{0:t}; O_{0:t}) = \frac{1}{P(X'_t)} P(X'_t | X_t; O_t) P(X_t | X'_{0:t-1}; O_{0:t-1})$$

真のトラヒック量と観測値の関係 (観測誤差のモデルとして与える)

前ステップの推定結果の確率分布

2018/3/19

予測

- 予測モデルを適用して、将来のトラヒック量の確率分布を予測

$$P(X_{t+1:t+n} | X'_{0:t}; O_{0:t}, \theta) = \sum_{X_{t-m:t}} P(X_{t+1:t+n} | X_{t-m:t}; \theta) P(X_{t-m:t} | X'_{0:t}; O_{0:t})$$

過去のトラヒック量 → 将来のトラヒック量の分布のモデル

過去のトラヒック量の推定値の分布

- 上記を繰り返すことにより、kステップ先の予測も可能

$$P(X_{t+k} | X'_{0:t}; O_{0:t}, \theta) = \sum_{X_{t+k-1}, X_{t+k-2}, \dots, X_{t+1}} P(X_{t+1:t+k} | X'_{0:t}; O_{0:t}, \theta)$$

2018/3/19

9

制御1: 経路制御

- 将来にわたる確率分布を考慮したモデル予測制御

$$\text{minimize: } E \left[\sum_{t=t+1}^{t+h} \{(1-w)f(X_t, R_t) + w\|R_t - R_{t-1}\|^2\} \right]$$

$$\text{subject to } \forall i \leq k, \forall l, P \left[\sum_{f,j} G^l R_{t+k}^l x_{t+k,f} > q \right] \leq p_k$$

$$\forall 1 \leq k \leq h, \forall i, \forall j, R_{t+k}^l \in [0, 1]$$

$$\forall 1 \leq k \sum_{i \in \{i,j\}} R_{t+k}^l = 1$$

コスト最小化

輻輳が発生する確率をp以下にする

2018/3/19

10

制御2: 次の時刻の情報収集箇所の決定

- 限られた観測リソースの制約の下で、経路制御に有用な情報を取り出すように、収集対象を決定

制御の目的関数の最大化

$$\text{minimize: } E_{P(X_{t+1})P(X'_{t+1}|O_t)} [f(X_{t+1}, R_{k+1}(X'_t, O_t))]$$

$$\text{s.t. } C(O_t) \leq W$$

2018/3/19

11

セルラーネットワークのオフロード制御への適用

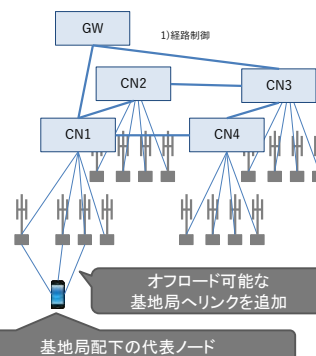
- 補助グラフ上の経路設定問題への置き換え

- 補助グラフの作成手順

- コアネットワーク、基地局を含むネットワークポジをグラフに挿入
- 各基地局に対してノードを1つ追加、追加したノードと対応する基地局をリンクで結ぶ
- 2で追加された各ノードに対して、当該基地局配下の端末のオフロード先となりうる基地局とのリンクを追加する
- 1、2で追加されたリンクの重みを0に設定、3で追加されたリンクの重みを1と設定する。

- コスト関数の設定

- オフロードされたトラヒック数



2018/3/19

12

評価環境

- 評価環境
 - 状況: 東京都新宿区で、震災が発生した場合を想定
 - 移動: 自宅や避難所に向けて徒歩で移動
 - 通信行動: 平均 10 分の指数分布に従う時間間隔で通信要求
 - 観測対象: 全 492 か所の基地局のうち、各時刻に観測可能な基地局は、5 か所のみ
 - 事前情報: 人の初期配置状況が異なる場合の人流シミュレーション結果をもとに、混みややすい地点の情報を事前に投入
- 比較対象

	トラフィック量の推定された確率分布の考慮	次時刻の観測箇所の設定
SCCU(提案手法)	あり	制御性能を考慮
SCRS	あり	ランダム
CBER	なし	ランダム

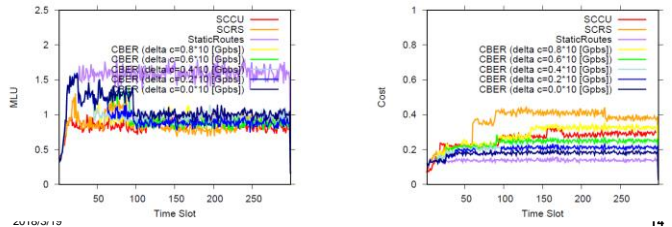
2018/3/19

評価結果

- SCCUで輻輳が発生する時間は他手法の1/8程度
- SCCUでオフロードしたトラフィック量はCBERと同程度

SCCUは効果的なオフロードを実現可能

- SCCU が基地局から流入するトラフィック量の分散を考慮し、観測箇所を決定
→早めに過負荷の発生を認識して、オフロード



まとめ

- 不完全な観測情報をもとに、短周期でネットワークを制御する手法を災害時のセルラーネットワークにおけるオフロード制御に適応
 - 確率分布を保持、観測時に更新
 - 確率分布にもとづいて制御

2018/3/19

15