

Osaka University

## ポテンシャル場を用いた実世界表現に基づいた動的リソース制御方式の提案

大阪大学 基礎工学部 情報科学科  
村田研究室 神田幸大

平成28年度 特別研究報告発表会 2017 / 2 / 21

Osaka University

### 研究の背景

- モバイルデバイスの普及
- モバイルデバイスを利用したアプリケーションの増加
  - 例) 実世界センシング
    - モバイルデバイスに搭載されているセンサーを介して、周辺の現実世界の情報を分析
    - その結果を基に、行動ナビゲーションなどのサービスを提供
  - センサー情報をデータセンターに集約
  - 情報分析・情報抽出にもとづきサービスを提供<sup>[1]</sup>

↓

- データセンターにセンサー情報が過度に集中

[1] : D. Taniuchi and T. Maekawa, "Automatic update of indoor location fingerprints with pedestrian dead reckoning," ACM Transactions on Embedded Computing Systems (TECS), vol. 14, no. 2, p. 27, 2015.

Osaka University

### 仮想化技術を用いたリソース配置

- コンピューティングリソースを仮想化技術を用いて配置
  - NFV (Network Function Virtualization) や SDN (Software-Defined Networking) の技術を用いる
  - 仮想化機能の一つとして、実世界センシングなどのアプリケーションへの対応の検討が進められている<sup>[2]</sup>

ユーザーは基本的に最も近いルーターと通信

コンピューティングリソース

動的にリソースを配置

データセンター

ユーザー

エッジルーター

[2] : 田中裕之, 高橋紀之, 川村龍太郎, "IoT 時代を拓くエッジコンピューティングの研究開発," NTT 技術ジャーナル, vol. 27, no. 8, pp. 59-63, Feb. 2016.

Osaka University

### 研究の目的

- 実世界センシングなどを利用するアプリケーションで、従来のリソース制御方式は不適
  - NFV や SDN で用いられる最適化手法では、ネットワーク全体のトラフィック情報が既知となっていることが前提
  - リソース制御の周期が長期化
  - 非正常な事象への対応が困難

↓

- 現実世界で生じる事象の変化に応じたリソースの増減を即座に行うことが可能な制御方式を提案
  - 現実世界で生じる事象をポテンシャルとして表現
  - 事象の変化をポテンシャル更新により反映
  - ポテンシャルを用いたリソースの配置・制御

Osaka University

### 研究のアプローチ

- ポテンシャル場を用いた動的リソース制御方式を提案
  - センサー情報量とユーザーアクセス量をポテンシャル場として表現
  - ポテンシャルに応じてリソースを配置
  - トラフィック情報が既知であることを前提としないため、制御周期が短くなる
- 現実世界で生じる事象の変化に応じてポテンシャルを更新
  - 隣接ノードとの通信により自己組織的にポテンシャルを更新
  - 空間的かつ時間的に環境変動に対応
  - リソース制約に対応
    - リソースが不足した場合は、ポテンシャルを素早く周囲に拡散

Osaka University

### 現実世界の事象に基づいたポテンシャルの形成

- 定常な事象だけでなく、非正常な事象に対しても迅速にポテンシャルを形成
  - 例) 交差点における交通事故の発生
    - 交差点には多くのセンサーデバイスが設置
    - 事故発生直後は事故発生地点にセンサー情報量が大量に発生
    - その地点のコンピューティングリソースを配置するポテンシャルが増加
  - 事故発生からある程度の時間はユーザーによる情報アクセスが増加
    - 情報にアクセスしたいユーザーがいる地点と、アクセスされる情報がある地点のネットワークリソースを配置するポテンシャルが増加

ユーザー

事故発生地点

ポテンシャルが増加

Osaka University 7

### ポテンシャル場の構築

- 3つのレイヤーを導入しポテンシャル場を構築
  - ENV (Environmental) レイヤー
    - 実世界のセンサー情報の発生量をポテンシャルとして表現
    - コンピューティングリソースはこのポテンシャルに基いて制御
  - IR (Information Retrieval) レイヤー
    - ユーザーの情報取得量をポテンシャルとして表現
    - ユーザーの情報取得量はポテンシャルと空間的かつ時間的に相互作用
  - VoI (Value of Information) レイヤー
    - 情報への潜在的なアクセス量をポテンシャルとして表現
    - ENV レイヤー・IR レイヤーと空間的かつ時間的に相互作用
    - ネットワークリソースはこのポテンシャルに基いて制御
    - ポテンシャルは拡散のふるまいを持つ

センサー情報量に基づいてポテンシャルを更新  
VoI レイヤー  
IR レイヤー  
ENV レイヤー

情報利用需要に応じてポテンシャルを増強  
リソース不足のときセンシングを抑制  
本報告では対象外

ENV レイヤーのポテンシャル  
ポテンシャルを更新  
VoI レイヤーのポテンシャル

Osaka University 8

### VoI レイヤーにおけるポテンシャル更新式

- 時間  $t$ , 座標  $(x, y)$  のVoI レイヤーのポテンシャルを  $I(t, x, y)$  と表記
- $I(t, x, y)$  を以下の式にもとづいて更新
  - 本報告ではエッジルーターはグリッド状に配置され、隣接エッジルーターとの通信によりポテンシャルを更新することを想定

ポテンシャル  $I(t, x, y)$  更新式

$$C(t+1, x, y) = (1 - D_u)p(t, x, y) + \frac{1}{4}D_v\{C(t, x+1, y) + C(t, x, y+1)\}$$

$$\frac{\partial I(t, x, y)}{\partial t} = Pf + D_c + D_v \left\{ \frac{\partial^2 I(t, x, y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 I(t, x, y)}{\partial y^2} \right\} - n$$

$$D_c = \begin{cases} D_t \frac{\partial C(t, x, y)}{\partial t}, & \frac{\partial C(t, x, y)}{\partial t} > 0 \\ D_t \frac{\partial C(t, x, y)}{\partial t} \tanh G \cdot I(t, x, y), & \frac{\partial C(t, x, y)}{\partial t} < 0 \end{cases}$$

各定数・パラメータの説明	
$C$	内部変数
$D_u$	$C$ の拡散係数
$p(t, x, y)$	ユーザー数
$I(t, x, y)$	ポテンシャル
$Pf$	IR レイヤーからのフィードバック
$D_v$	ポテンシャルの拡散係数
$n$	固定減少値
$D_t$	$C$ に対する時定数
$G$	減少係数

Osaka University 9

### 動作例：IR レイヤーからのフィードバック

- VoI レイヤーのポテンシャルが、IR レイヤーからのポテンシャルから受ける影響を確認
  - オレンジ：ENV レイヤーのポテンシャル
  - 青色：VoI レイヤーのポテンシャル
- VoI レイヤーのポテンシャルが、ENV レイヤーと IR レイヤーのどちらのポテンシャルからも影響を受けている
- IR レイヤーのポテンシャルが大きい座標では、VoI レイヤーのポテンシャルも増加
- ENV レイヤーのポテンシャルの変動に追従してVoI レイヤーのポテンシャルが変化

IR レイヤーのポテンシャル場  
ENV レイヤーのポテンシャル  
VoI レイヤーのポテンシャル

Osaka University 10

### 動作例：ユーザー移動に対するポテンシャル場の更新

- ユーザー移動
  - 2つの山なりの集団が、直交するように周期的に移動するものを仮定
  - 直行する座標は  $(x, y) = (30, 50)$
  - リソースが不足している場合、ユーザーは周囲の別のノードのリソースを利用
- リソース制約値
  - 座標  $(x, y) = (30, 50)$  では50
  - その他の座標では150
- 観察するノード
  - リソース制約が設けられている座標  $(x, y) = (30, 50)$
  - それに隣接している座標  $(x, y) = (30, 51)$
  - 座標  $(x, y) = (30, 50)$  のポテンシャルが制約値に達したときの、隣接ノードの座標  $(x, y) = (30, 51)$  のポテンシャルに注目

ENV レイヤーのポテンシャル  
リソース制約がないときのVoI レイヤーのポテンシャル

Osaka University 11

### 動作例：ユーザー移動に対するポテンシャル場の更新

- 比較対象
  - リソース制約がない場合のポテンシャル
  - ユーザー移動モデルは同一
- 制御周期は10ステップ
- ポテンシャルの素早い拡散を確認
  - ステップ2200頃に  $(x, y) = (30, 50)$  でポテンシャルが制約値に到達
  - 同ステップから  $(x, y) = (30, 51)$  のポテンシャルがリソース制約がないときと比べて増加
  - パラメータ (拡散係数) を変更することでふるまいが変化

$(x, y) = (30, 50)$   
 $(x, y) = (30, 51)$   
User Potential  
(non-Constraint) (Constraint)

Osaka University 12

### まとめと今後の課題

- まとめ
  - 実世界の変動に高い追従性を持つ動的リソース制御方式が必要
  - ポテンシャル場を用いる動的制御方式を提案
  - ユーザー数の変化やリソース制約を与えた上での挙動の観察
    - ユーザー数の変化に対する追従性
    - リソース制約下における空間的影響
- 今後の課題
  - VoI レイヤーから ENV レイヤーへのフィードバックの検討
  - 各種パラメータのポテンシャル場のふるまいに与える影響の評価