

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^[1]

↓

- 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^[2]

ユーザーは基本的に最も近いルーターと通信

ユーザー

エッジルーター

データセンター

動的にリソースを配置

コンピューティングリソース

[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

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

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

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

定数	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
Time

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