

## C/U 分離を適用した モバイルコアネットワークにおける 通信集約方式の性能評価

阿部 修也<sup>1)</sup> 長谷川 剛<sup>2)</sup> 村田 正幸<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>大阪大学大学院情報科学研究科  
<sup>2)</sup>大阪大学サイバーメディアセンター

## 研究背景 1/2

- セルラネットワークの新たな利用形態が検討されている
  - 従来からのユーザ端末（スマートフォン、携帯電話）通信の收容
  - M2M/IoT 通信の收容
- M2M/IoT 通信の特徴
  - 小容量データ通信、間欠性
  - ユーザ端末より圧倒的に多い端末数
- モバイルコアネットワークを M2M/IoT 通信に対して最適化
  - 收容可能な端末数の増加

出展: Sizing Up the Internet of Things (https://www.complia.org/)

## 研究背景 2/2

- モバイルコアネットワークにおける M2M/IoT 通信收容に伴う課題に対し、様々な解決策が存在
- ノードの仮想化や、プレーン分離によるネットワークのSDN化などによる資源利用の効率化
- M2M/IoT 通信専用のノード、シグナリング処理及びスライシング技術によるネットワークスライスの導入
- 小容量データを制御メッセージに埋め込んで送信することによるデータプレーンのペアラ確立・維持負荷の軽減

具体的な手法の検討や、妥当性のある定量的評価が必要

## 研究目的

- モバイルコアネットワークにおける M2M/IoT 通信の收容能力向上に関する具体的な手法の検討と評価
  - ノード仮想化、プレーン分離、通信集約方式（複数の端末による通信を集約）
  - シグナリング処理負荷を考慮した評価
- 本報告では、通信集約方式を実現する具体的な集約手法を複数定義し、集約手法と通信の收容能力との関係を考察

## ネットワークモデル

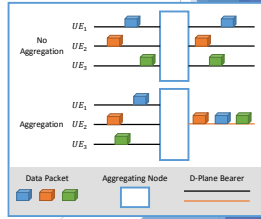
- ノード
  - UE : モバイルコアネットワークに收容される端末
  - eNodeB : LTE方式の無線通信に対応した無線基地局
  - MME : UEの位置管理、認証、データ通信経路の設定を行う
  - SGW/PGW : モビリティの実現、外部ネットワークとの中継
- データを送信する際、UE毎に論理的な伝送路（ペアラ）の設定が必要
  - 制御プレーンにおいてシグナリング処理

## ノードの仮想化とプレーン分離

- SGW/PGWをプレーン分離し、制御プレーンの機能をクラウドに設置
  - 制御プレーンノード間におけるシグナリングの伝搬遅延時間の短縮
  - MMEと処理能力を共有可能
  - SGW/PGWdでのペアラのマッチングは、SDNの経路設定で実現

### 通信集約方式

- UE 毎に設定されるデータプレーンのベアラを複数の UE で共有
  - ボトルネックとなるノードのベアラ確立・維持負荷が減少し、取容能力が向上
  - 集約処理のためのシグナリング増加
  - QoS 保証の難化
- 本報告では、集約手法を詳細に検討
- 集約を行うノード (集約箇所)
  - SGW
  - eNodeB
- 共有ベアラの決定タイミング (集約タイミング)
  - アタッチ時 (UEがNWに接続された時)
  - 通信開始時 (UEによるデータ送信時)



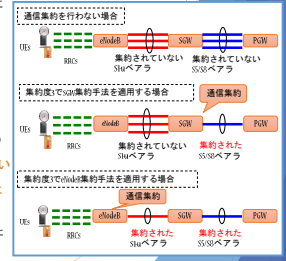
NS研究会

2016/12/21

7

### SGW 集約手法, eNodeB 集約手法

- SGW 集約手法: SGW-PGW 間ベアラ (S5/S8 ベアラ) を複数の UE で共有
  - ベアラの確立及び解放に関する既存のプロトコルに与える影響は小さい
  - S5/S8 ベアラは、UEがアイドル状態に遷移しても維持されるため
- eNodeB 集約手法: eNodeB-SGW 間のベアラ (S1-uベアラ) を複数の UE で共有
  - S5/S8 ベアラの数が削減
    - S1-u ベアラと1対1で設定されるため
  - 既存プロトコルに与える影響は大きい
    - S1-u ベアラは、UEがアイドル状態に遷移する際に解放
  - 本手法では、同一ベアラに集約された全 UE がアイドル状態に遷移するまでベアラを維持



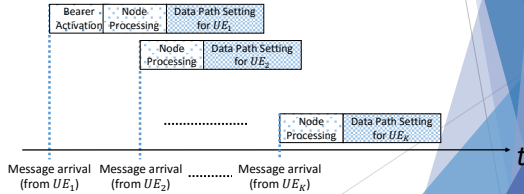
NS研究会

2016/12/21

8

### 事前決定集約手法

- UEと共有ベアラとの対応付けはネットワークへのアタッチ (接続) 時
- データ通信時, 対応する共有ベアラが確立されていないときのみのベアラ確立処理を実行
- SGW/PGW のデータプレーンノードの経路設定 (Data Path Setting) は UE 毎に実行



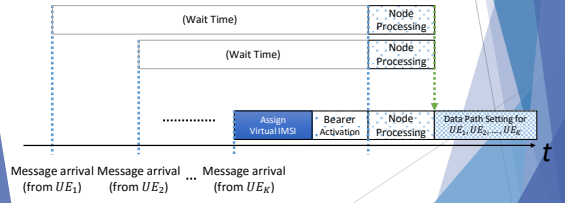
NS研究会

2016/12/21

9

### オンデマンド集約手法

- UEと共有ベアラとの対応付けはデータ通信時
- 同一のベアラに集約される UE のデータ送信に関する経路設定 (Data Path Setting) をまとめて実行
- 同一のベアラに集約される他端末を待機する必要がある



NS研究会

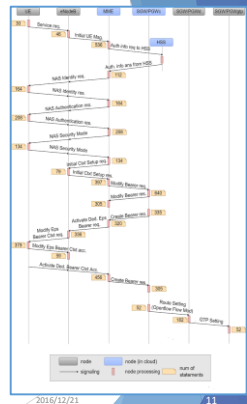
2016/12/21

10

### 解析方法

- 性能評価指標
  - ベアラ確立時間: シグナリング手順 (右図) の実行時間
- ベアラ確立時間  $T$  は以下の総和
  - シグナリングメッセージの伝搬遅延時間  $T_c$  (図中の矢印)
  - メッセージに基づく処理遅延時間  $T_t$  (図中の赤い長方形)
  - 通信要求の待機時間  $T_w$

$$T = T_c + T_t + T_w$$



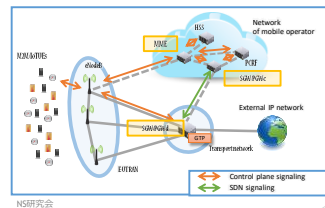
NS研究会

2016/12/21

11

### シグナリングメッセージ伝搬遅延時間

- ノード間の距離に依存
  - ネットワーク内の伝搬: 遅延が小さい
  - ネットワーク間の伝搬: 遅延が大きい
- 伝搬回数はシグナリング手順によって定められる (右図)



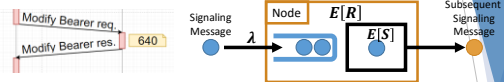
NS研究会

2016/12/21

12

### シグナリングメッセージ処理遅延時間

- 並列数  $r$  の M/G/1/PS 待ち行列モデルを用いて導出



変数名	比例するパラメータ	反比例するパラメータ
到着率 $\lambda$ (メッセージ到着レート)	UE の台数、処理回数	通信周期、ノード $N$ の台数
ワークロード分布の平均 $E[S]$ (メッセージ処理時間分布)	平均命令文数	ノード $N$ の処理能力
システム利用率 $\rho$	$\lambda, E[S]$	

- あるノードにおける平均処理遅延時間  $E[R]$  は以下

$$E[R] = \frac{\rho^r}{1 - \rho} \frac{E[S]^2}{2E[S]} + \frac{1 - \rho^r}{1 - \rho} E[S]$$

### 数値評価

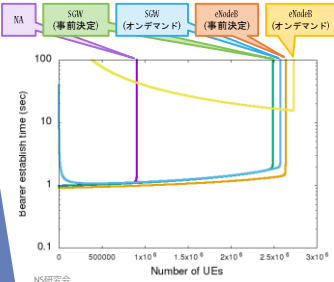
- 評価対象となる手法
  - それぞれ2種類の集約箇所および集約タイミングを用いた集約手法の組合せ
  - 比較対象として、集約なし (NA) についても評価を行う

評価対象の識別名	集約箇所	集約タイミング
集約なし		
事前決定 SGW 集約手法	SGW	事前決定
オンデマンド SGW 集約手法	SGW	オンデマンド
事前決定 eNodeB 集約手法	eNodeB	事前決定
オンデマンド eNodeB 集約手法	eNodeB	オンデマンド

- 各ノードの処理能力、ノード間伝搬遅延時間
  - 広域モバイルコアネットワークを想定して値を設定

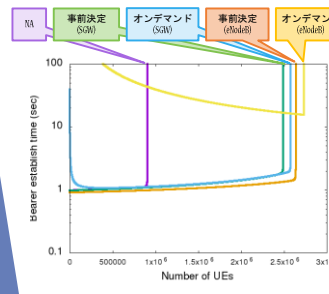
### 評価結果: 集約箇所の影響

- 收容 UE 数 (横軸) がある台数に近づくときペアラ確立時間 (縦軸) が急増
  - その台数を收容可能台数とする



- 收容可能台数は eNodeB 集約の方が SGW 集約よりも大きい
  - 確立・維持するペアラの数が少なく、負荷が小さい

### 評価結果: 集約タイミングの影響



- 收容可能台数は オンデマンド集約の方が事前決定集約よりも大きい
  - 同一ペアラに集約される UE に関するデータプレーンの経路設定をまとめて行えるためシグナリングを減らすことが可能なため
- オンデマンド集約は、收容台数が小さいときのペアラ確立時間が大きい
  - 待ち時間の影響
  - eNodeB 集約と組み合わせると効果が顕著

### 考察

- 收容する M2M/IoT 端末の特性に応じて適切な集約箇所、集約タイミングを適用
  - 多数の通信を効率的に收容可能
- 適用する集約手法によって従来ネットワークからの変更規模が異なる

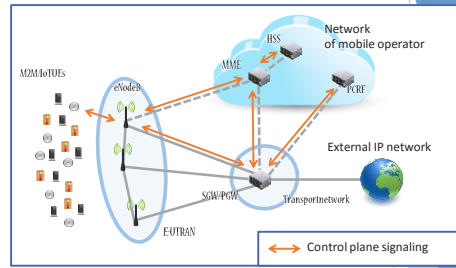
收容する UE の特性	集約箇所	集約タイミング	従来 NW からの変更規模	收容性能
UE の移動性が高い	SGW	事前決定	小さい	低
UE 数が大きく、移動性が高い	SGW	オンデマンド	小さい	中
UE の移動性が低い / 低い	eNodeB	事前決定	大きい	高

### まとめと今後の課題

- まとめ
  - 複数の M2M/IoT 通信を集約する通信集約方式を評価
  - 收容する通信の特性によって適切な集約手法が異なる
    - 適切な手法を適用することで M2M/IoT 通信を効率的に收容可能
- 今後の課題
  - eNodeB に対する仮定化及びプレーン分離を適用したネットワークモデルに対する評価
  - 解析の拡張による各手法の適用による影響の明示
    - モバイルコアネットワークの性能拡大に効率的な設備投資の指針を示す

# Backup Slides

## 従来のネットワークモデル



NS研究会 2016/12/21 20

## 評価の際に用いた数値例 (伝搬遅延時間)

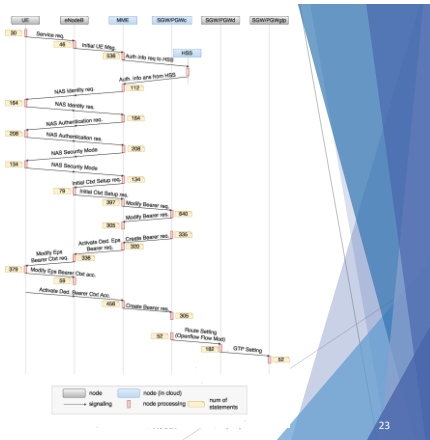
伝搬路	伝搬遅延時間
UE - eUTRAN	20 ms
eUTRAN - トランスポートネットワーク	7.5 ms
eUTRAN - クラウドネットワーク内ノード間	10 ms
トランスポートネットワーク - クラウドネットワーク内ノード間	10 ms
クラウドネットワーク内ノード - クラウドネットワーク内ノード間	1 ms
GTP モジュール - データプレーンノード間	1 ms

NS研究会 2016/12/21 21

## 評価の際に用いた数値例 (ノードの処理能力)

ノード	台数	処理能力 (命令文 / sec)
UE		3,000
eNodeB	2,000	1,500
MME	1	3,000,000
SGW/PGWc	1	3,000,000
SGW/PGWd	1	3,000,000
GTP モジュール	1	600,000

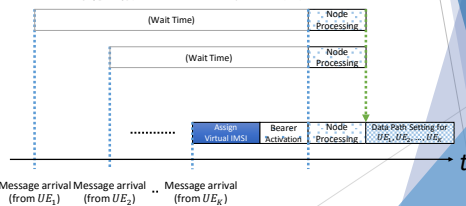
NS研究会 2016/12/21 22



23

## 待機時間

- 同一のペアラに集約される全UEからの通信要求がMMEに到着するのを待機する時間
- オンデマンド集約手法の適用時時のみ発生
- 集約度, UEの通信頻度に比例し, UEの台数に反比例 (eNodeB集約の場合はeNodeBの台数にも比例する)



NS研究会 2016/12/21 24

## シグナリングメッセージ処理遅延時間

- 到着率  $\lambda$  とワークロード分布の平均  $E[S]$  は以下のように表される

$$\lambda = \frac{P_N n_U}{D n_N}, E[S] = \frac{V_N}{A_N}$$

- 到着率は、UEの台数  $n_U$  及びノード  $N$  が実行したシグナリングメッセージ処理回数  $P_N$  に比例し、UEの通信周期  $D$  及びノード  $N$  の台数  $n_N$  に反比例
- ワークロード分布の平均は、ノード  $N$  で行われるシグナリング処理の平均命令文数  $V_N$  に比例し、処理能力  $A_N$  に反比例

NS研究会 2016/12/21

25

## 待機時間

- 平均待機時間  $T_w$  は、集約度  $K$ 、ノード  $N$  の台数  $n_N$ 、UEの台数  $n_U$ 、eNodeBの台数  $n_B$  及び通信周期  $D$  を用いて以下のように表される

$$T_w = \begin{cases} \frac{K D}{2 n_U} & (\text{SGW 集約手法の場合}) \\ \frac{K D n_B}{2 n_U} & (\text{eNodeB 集約手法の場合}) \end{cases}$$

- SGW集約手法を適用した場合
  - 集約度及びUEの通信周期に比例
  - 収容しているUEの台数に反比例
- eNodeB集約手法を適用した場合
  - eNodeB 1台あたりのUE数に反比例→SGW集約手法の  $n_B$  倍

NS研究会 2016/12/21

26