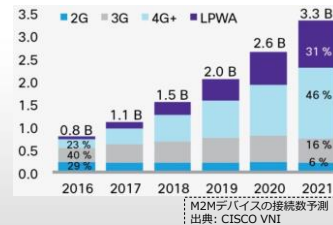


IoT/M2M通信を収容するための モバイルコアネットワークアーキテクチャ

*長谷川 剛 (ごう)、**村田正幸
*大阪大学サイバーメディアセンター
**大阪大学大学院情報科学研究科

モバイル通信需要の増大とM2M/IoT通信

- **モバイル通信需要の増大**
 - モバイルネットワークトラフィックは過去5年で18倍に成長、今後5年で7倍に成長
 - キャリアの投資コストの増大
- **新たな通信需要: M2M/IoT通信**
 - 1回あたりの通信時間は短く、周期的/間欠的な通信を行う
 - 接続デバイス数の増大: 8億 (2016年) → 33億 (2021年)
 - ARPU (1加入あたりの月間電気通信事業収入) は電話端末に比べて小さい (例: ~3 USD程度)



M2M/IoT通信の特性

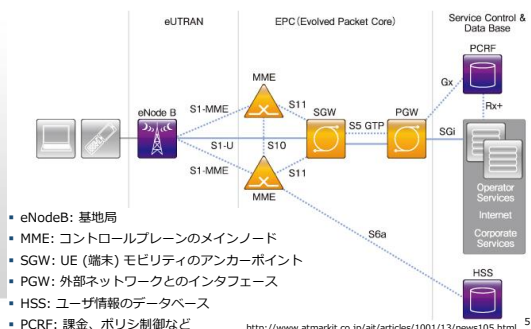
- **通信特性の例**
 - 接続されるデバイス数が非常に多く、設置密度が高い場合と、設置範囲が大きい場合がある
 - 送受信されるデータは小さい
 - 通信頻度はアプリケーションによって異なる
 - モビリティは小さいか、全く無い場合がある
 - 1つのデバイスに大きなコストを掛けることができない
 - デバイスはセルラネットワークに接続される前にグループ化されることがある
 - 低消費電力性が求められる
 - 通信の遅延に対する許容範囲は大きい場合がある
 - 周期的な通信やスケジュールされた通信などの場合には、データ送受信のための時間が限定される

D. Bouillouche, "Congestion control in the context of machine type communications in 3GPP LTE networks," Master thesis internship report, University of Rennes, Aug. 2012.

LPWA(N)技術

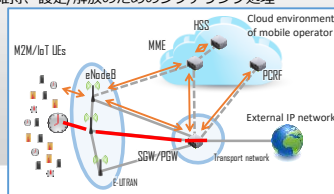
- **Low Power, Wide Area (Network)**
- Bluetooth等ではカバーできないカバレッジを実現する無線アクセス
- 低消費電力、低ビットレート、広域カバレッジ
 - M2M/IoT通信に適している
- **セルラ網を用いるもの**
 - NB-IoT (LTE), LTE-M (eMTC) (LTE), EC-GSM-IoT (GSM)等
 - 広いカバレッジが最初から利用可能、LTE以上のカバレッジが得られる場合もある
 - ~1Mbps
- **セルラ網を用いないもの**
 - LoRa, SIGFOX等
 - 無免許で使える周波数帯 (920MHzなどのSub-GHz帯) を利用する
 - 干渉による性能低下の懸念
 - カバレッジのために設備投資が必要
 - ~250Kbps

モバイルコアネットワーク (1)



モバイルコアネットワーク (2)

- **端末 (UE) 毎にベアラを設定し、パケットを中継転送する**
 - Radio ベアラ (無線区間)
 - S1ベアラ (eNodeB - SGW間)
 - S5/S8ベアラ (SGW - PGW間)
- **端末が増えるとオーバーヘッドが増大**
 - ベアラ維持、設定/解放のためのシグナリング処理



EPCの仮想化とプレーン分離 (2)

■ EPC仮想化 (+NFV化) の適用

- モビリティの低コストでのサポート
 - G. Premsankar, K. Ahokas, and S. Luukkainen, "Design and Implementation of a Distributed Mobility Management Entity on OpenStack," in Proceedings of IEEE CloudCom 2015, Nov. 2015, pp. 487-490. 他
- シグナリングトラフィックを減少し、デバイスコストやインフラコスト、消費電力を低減できる
 - H. Hawilo, A. Shami, M. Mirahmadi, and R. Asal, "NFV: State of the Art, Challenges, and Implementation in Next Generation Mobile Networks (vEPC)," IEEE Network, vol. 28, no. 6, pp. 18-26, Nov. 2014. 他

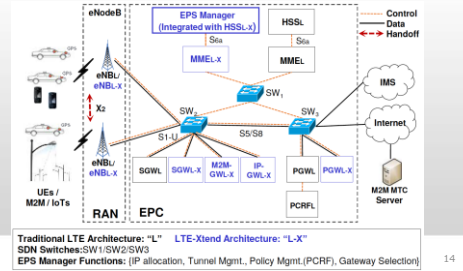
■ SDNの適用

- ネットワークスライシング
- 発生する制御トラフィックの評価
 - M. R. Sama, S. Ben, H. Said, K. Guilloard, and L. Suclu, "Enabling Network Programmability in LTE / EPC Architecture Using OpenFlow," in Proceedings of IEEE WiOpt 2014, May 2014 他

13

M2M/IoT通信EPCアーキテクチャの検討

- V. Nagendra, H. Sharma, A. Chakraborty, and S. R. Das, "LTEXtend: Scalable Support of M2M Devices in Cellular Packet Core," in Proceedings of the 5th Workshop on All Things Cellular: Operations, Applications and Challenges, Oct. 2016, pp. 43-48.
- M2M向けのベアラ管理・シグナリングフローの簡素化、複数端末でのベアラ共用

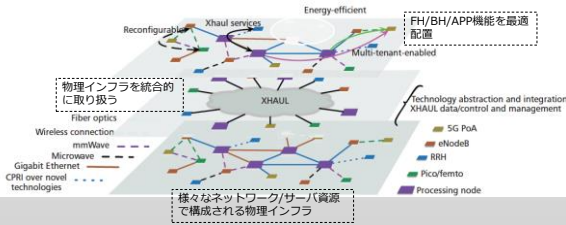


Traditional LTE Architecture: "L+" LTE-Xtend Architecture: "L-X"
SDN Switches: SW1/SW2/SW3
EPS Manager Functions: [IP allocation, Tunnel Mgmt., Policy Mgmt. (PCRF), Gateway Selection]

14

モバイルネットワーク全体のアーキテクチャ検討

- V. Nagendra, H. Sharma, A. Chakraborty, and S. R. Das, "XHAUL: TOWARD AN INTEGRATED FRONT-HAUL/BACK-HAUL ARCHITECTURE IN 5G NETWORKS," IEEE Wireless Communications, pp.32-40, Oct. 2015
- フロントホール/バックホール/IPコア網で物理資源を共有し、効率化を図る



15

研究紹介

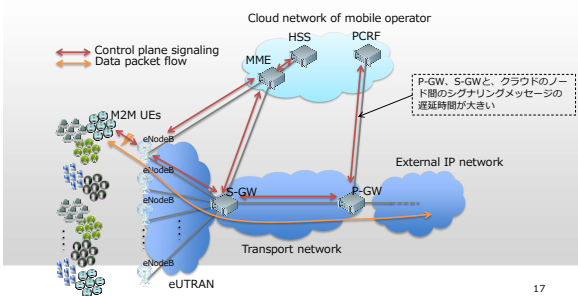
- M2M/IoT通信を低コストで収容するためのモバイルコアネットワークアーキテクチャの検討

- ノード仮想化、SDN化を適用したモバイルコアネットワークの性能評価
- 従来シグナリングの変更点少ないベアラ集約手法の提案
- OAIを用いた実機実験による評価
- ...

- Shuya Abe, Go Hasegawa and Masayuki Murata, "Design and performance evaluation of bearer aggregation method in mobile core network with CU plane separation," in Proceedings of Networking 2017, June 2017.
- G. Hasegawa and M. Murata, "Joint Bearer Aggregation and Control-Data Plane Separation in LTE EPC for Increasing M2M Communication Capacity," in Proceedings of 2015 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM), Dec. 2015, pp. 1-6.
- 長谷川剛, 村田正幸, "M2M通信収容のための仮想モバイルコアネットワークアーキテクチャに関する一検討," 電子情報通信学会技術研究報告, vol.114, no.477, pp.493-498, NS2014-261, Mar. 2015.
- 阿部孝也, 長谷川剛, 村田正幸, "シグナリング処理負荷を考慮したノード仮想化及びプレーン分離を適用したモバイルコアネットワークの性能評価," 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 115, no. 507, ICM2015-49, pp. 41-46, 2016年3月.
- 長谷川剛, 村田正幸, "ノード仮想化とプレーン分離を適用した広域モバイルコアネットワークの性能評価," 電子情報通信学会ネットワークシステム研究会, 2016年4月.
- 阿部孝也, 長谷川剛, 村田正幸, "CU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," 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 116, no. 382, NS2016-122, pp. 25-30, 2016年12月.

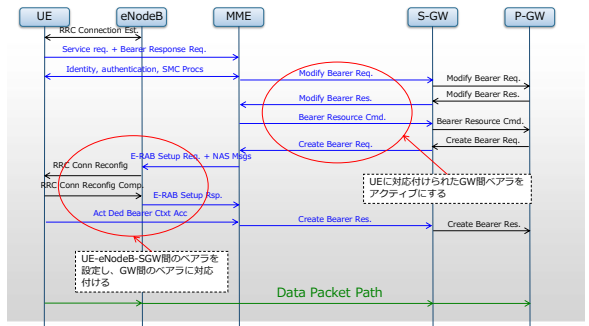
ネットワークモデル

- 集中制御用のノード (MME, HSS, PCRFなど) がクラウドに置かれる



17

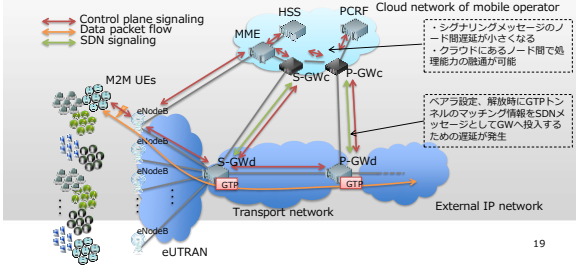
データ送信要求時のシグナリング手順 (1)



18

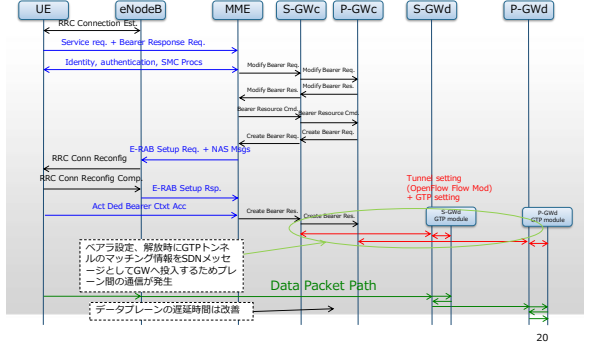
プレーン分離の適用

- P-GW、S-GWのコントロールプレーンとデータプレーンを分離し、コントロールプレーンをクラウドネットワークに設置
- GTPトンネルのマッチング機能をデータプレーン側へ実装
 - middlebox実装、GWへのハードウェア/ソフトウェア実装など



19

データ送信要求時のシグナリング手順 (2)



20

通信集約手法 (1)

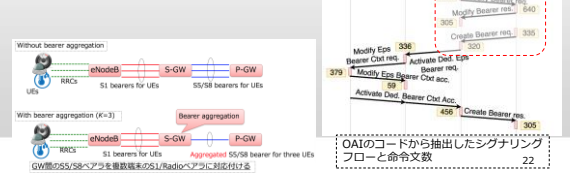
- 集約された通信のための仮想的なIMSI (加入者情報管理のためのID) を定義
- MMEが端末のIMSIと、対応する集約通信の仮想IMSIの対応を管理
 - アタッチ時、あるいは、端末からの通信発生時に、MMEが対応する仮想IMSIを得る
 - S-GW-PGW間のトンネルは仮想IMSIを用いて設定する
 - 着信はIMSIの対応を決定する際にP-GWに通知することで実現できると考えられる
 - 無線ベアラ、S1ベアラ、S5/S8ベアラ設定のためのシグナリングは修正不要
- eNodeB (基地局) でのベアラ集約も可能だが、シグナリングの変更が多い



21

通信集約手法 (2)

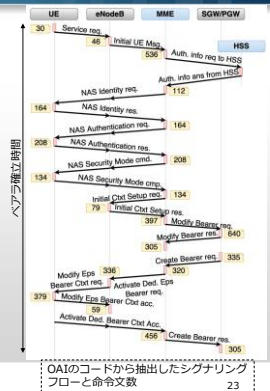
- SGW-PGW間で発生するベアラ確立・維持のためのシグナリングを削減できる
 - EPCノード負荷 (CPU、メモリ) の削減により、収容可能端末数の増加が期待できる
- 実IMSI-仮想IMSIの対応を管理するテーブルの更新・維持の手間が発生する
- 課金、QoS制御の粒度が低下する
 - 同じカスタム/性能要件を持つ端末群を集約対象にすることで適用可能と考える



22

性能解析

- 端末で通信要求が発生してから、PGWまでのベアラが確立されるまでの時間 (ベアラ確立時間) の評価
 - シグナリング手順にかかる時間
 - シグナリングメッセージの伝播遅延時間
 - ノード間距離に応じて決定
 - ノードにおけるシグナリングメッセージの処理遅延時間 (後述)
- ベアラ確立後のデータ転送にかかる時間の評価
 - TCPあるいはUDPを用いる
 - プロトコルオーバーヘッドを考慮
 - データパスの変化の影響を確認する



OAIのコードから抽出したシグナリングフローと命令文数 23

ノードにおけるシグナリングメッセージの処理遅延時間

- ノードでのシグナリングメッセージ処理の様子を、最大並列度 r の $M/G/1/PS$ 待ち行列でモデル化する
 - 最大で r 個のメッセージを同時にサーバで処理するモデル
 - ワークロード分布が $S(x)$ 、システム利用率が ρ である時の、平均メッセージ処理時間 $E[R]$:

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

- ワークロード分布=シグナリングメッセージの処理時間
- 指数分布に従うと仮定
- ノードにおけるシグナリングメッセージ処理回数とUE台数、UEの通信頻度から、シグナリングメッセージ処理頻度を導出し、メッセージ処理の到着レートとして用いる
- ノードが行うシグナリング処理の重みは、実装コードの命令文数で決定
 - Open Air Interface (OAI)

24

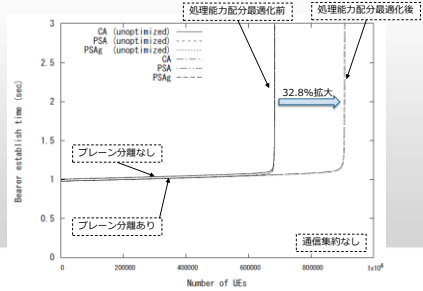
シグナリング処理の重みを考慮した評価

- シグナリングメッセージ処理に必要なサーバリソース量の違いを考慮
- 実装コードの命令文数を用いて重みを決定し、評価に用いる
 - OAI (Open Air Interface)
 - <http://www.openairinterface.org/>
 - EPC, EUTRANのオープンソースのコード (C言語) が利用できる
- SDN処理や通信集約に必要なシグナリングは、OAIの類似のコードから推定

25

数値例: ネットワークアーキテクチャの比較

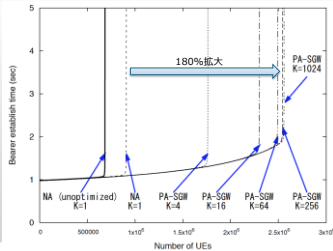
- プレーン分離によるノード間距離短縮の効果は限定的
 - ノードにおけるシグナリング処理時間が支配的であるため
- クラウド環境化のノードの処理能力の配分最適化の効果は大きい



26

数値例: 通信集約の効果

- 低負荷時のベアラ確立時間は各方式に差はほとんど無い
- プレーン分離と通信集約を行う場合、ノード処理能力配分最適化によって、収容可能台数が180%拡大

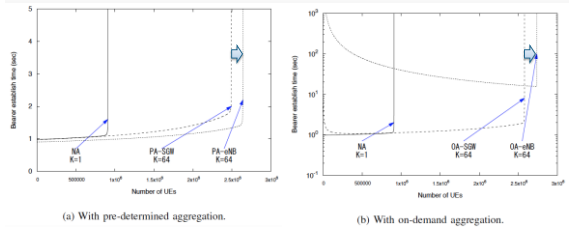


(a) Pre-determined aggregation at SGW

27

数値例: 集約箇所の影響

- SGWでの集約に比べて、eNBでの集約による収容可能台数が大きい
 - eNBでの集約は、SGW-PGW間のSS/S8ベアラの集約効果も同時に得られる



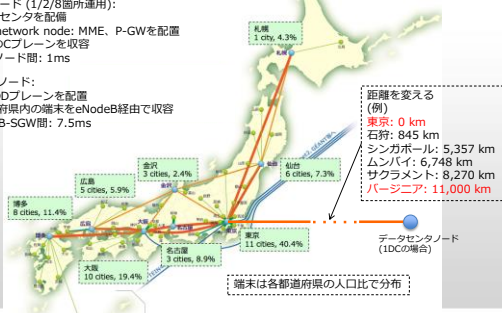
(a) With pre-determined aggregation.

(b) With on-demand aggregation.

28

広域モバイルコアネットワークモデル

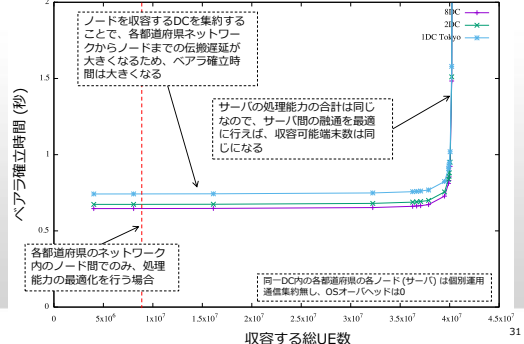
- コアノード (1/2/8箇所運用):
 - データセンターを配備
 - Core network node: MME, P-GWを配置
 - SGWのプレーンを収容
 - DC内ノード間: 1ms
- エッジノード:
 - SGWのDCを配備
 - 各都道府県内の端末をeNodeB経由で収容
 - eNodeB-SGW間: 7.5ms



http://w4a.sinet.ad.jp/about_sinet/7full_permalink=about_sinet%2F

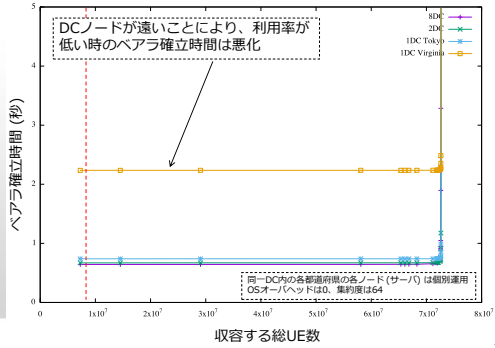
30

用いるDC数の影響



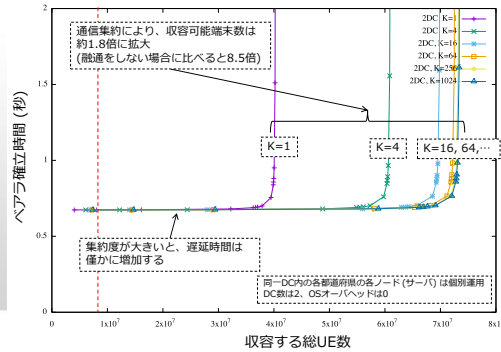
31

DCノードの距離が与える影響



32

通信集約手法の効果



33

考察と課題

- C/U分離を行うことによって、クラウド環境による処理能力の最適化が可能となるが、その効果は通信集約を適用することによって拡大する
- UEの通信・移動特性に応じた適切な集約箇所とタイミングが存在

UE's characteristics	Aggregation point	Aggregation timing	Required modification	Bearer establishment time	Network capacity
high mobility	S-GW	pre-determined	small (MME)	large	low
massive, high mobility	S-GW	on-demand	small (MME)	large	medium
low/no mobility	eNodeB	pre-determined	large (UE, eNodeB and MME)	small	high

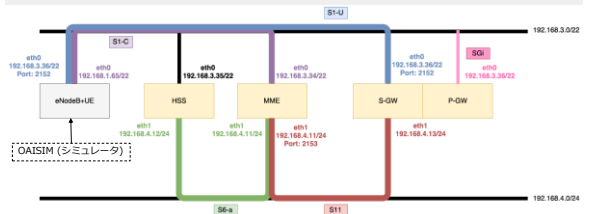
課題

- シグナリング処理の推定方法の改善 (命令文数による評価の妥当性の検証)
- 実機評価

35

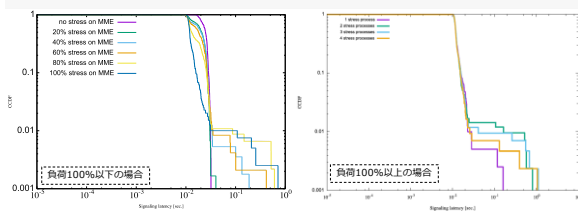
実機評価 (1)

- OAI (<http://www.openairinterface.org/>) を用いた実験
 - アタッチ時のペアラ確立までにかかる時間を評価
 - EPCノードの負荷に対する評価
 - 接続されるUE台数に対する評価
 - 通信集約手法の実装評価



実機評価 (2)

- MMEにCPU負荷を掛けた場合の評価結果 (総シグナリング処理時間分布)
 - M/G/1/PSモデルは妥当では無い可能性がある
 - 収容するUE、eNB台数の増加によって負荷を増大させた場合の評価が必要



37

まとめと今後の課題

- M2M/IoT通信を収容するためのモバイルコアネットワークアーキテクチャ
- 研究紹介
 - コアノードのコントロールプレーン間のサーバ資源の融通と通信集約手法を組み合わせることで、収容可能な端末数が80%拡大
 - データセンターの位置、サーバ収容方法などの影響を確認
- 今後の課題
 - 集約箇所の違いの影響の評価
 - サーバの処理時間モデルの検討
 - 実装実験
 - ペアラ (トンネル) を構築しない場合との比較
 - MEC (Mobile Edge Computing) 環境への適用

38