LTE網におけるサービス単位のトラヒック収容技術の検討

鈴木 理基[1,a)] 渡里 雅史[1,b)] 横田 英俊[1,c)] 阿野 茂浩[1,d)]

概要：モバイルネットワークにおける，LTE 商用サービスの開始，スマートフォンの普及，コンテンツのリッチ化に伴い，トラヒックデータ量は爆発的に増え続け，無線アクセスの圧迫につながっている．通信キャリアでは基地局増設によりトラヒックの収容能力を向上させる取組みを進めているが，設備増設には限界があり，収容能力を超えたトラヒックが流入した場合には，通信性能が低下する．したがって，流入トラヒックを調整し，抑制する取組みが急務となっている．既に 3GPP では，無線アクセスの混雑状況に応じた制御を実現するため，基地局 (eNB) から課金ポリシ制御機能 (PCEF) への擬似的なベアラ (擬似ベアラ) を用いて輻輳を通知する仕組みを策定している．しかしながら，通知を受けた PCEF が実際に無線アクセスへの流入トラヒックを抑制する仕組みについては，検討が開始されたばかりで，十分な議論に至っていない．そこで本稿では，上記の擬似ベアラを利用し，無線アクセスの混雑状況に応じて，PCEF がトラヒックを抑制する方式を提案する．具体的にはまず，eNB が無線アクセスの混雑状況を監視し，輻輳時には PCEF に通知する．次いで，PCEF が課金ポリシルール (PCRF) を参照のうえ，ゲートウェイ (PDN Gateway) およびユーザデバイス (UE) に制御情報を通知することで，無線アクセスへの流入トラヒックを抑制する．本提案方式は通信サービスによって要求性能が異なることを考慮し，サービス単位でトラヒックを抑制することを特徴とする．本稿は，コンピュータ・シミュレーションにより，収容効率の観点から，提案方式の有効性を示す．

キーワード：LTE，輻輳制御，トラヒック収容効率化

Study for Service-level Traffic Control Mechanism in LTE Network

Suzuki Masaki[1,a)] Watari Masafumi[1,b)] Yokota Hidetoshi[1,c)] Ano Shigehiro[1,d)]

1. 序論

モバイルネットワークにおける，Long Term Evolution (LTE) 商用サービスの開始，ならびにスマートフォンの普及に伴い，ユーザはソーシャルゲームや動画視聴など，リッチコンテンツを用いたアプリケーションを利用するようになり，トラヒックデータ量は爆発的に増加している．特に，スマートシティ [1] に象徴されるように，今後はユーザがトリガーとなる通信だけでなく，スマートメータやセンサ等のデバイスが自律的に行う通信によって，無線アクセスに対して，大きな負荷となることが予想される [2]．これに対応するため，モバイルネットワークのトラヒック収容能力を向上する取組みが進み，現在はマクロセルに加えてピコセル，フェムトセルが展開されている [3], [4]．しかし，トラヒックの増加速度に対応するための上記アプローチには限界があり，収容能力を超えたトラヒックが流入する場合には，通信性能が低下する．そのため，トラヒックを抑制する取組みが急務となっている [5], [6]．

現在の LTE の規格では，無線アクセス区間の混雑状況に応じてユーザトラヒックを抑制する仕組みを実現できない．なぜなら，ユーザデバイス (UE) と無線基地局 (eNB) との間での無線アクセスの混雑状況を把握する eNB と，トラヒック制御を行う Packet Data Network Gateway (PGW)，Policy Charging Enforcement Function (PCEF) 間では，混雑情報を送受信する仕組みが検討されていないためである．The Third Generation Partnership Project (3GPP) の User Plane Congestion Management (UPCON) では，無線アクセスの混雑状況に応じたトラヒック抑制を実現す

[1] 株式会社 KDDI 研究所
KDDI R&D Laboratories, Inc.
[a)] masaki-suzuki@kddilabs.jp
[b)] watari@kddilabs.jp
[c)] yokota@kddilabs.jp
[d)] ano@kddilabs.jp

るため，eNB から PCEF への擬似的なベアラ（擬似ベアラ）を用いた輻輳通知の仕組みを策定している．しかし，UPCON の取組みでは，通知後の抑制方式については検討が開始されたばかりで，十分な議論に至っていない．

そこで本稿では，LTE における基地局の混雑情報を用いたトラヒック抑制方式を提案する．本提案方式は，通信性能要件がサービス毎に異なることを考慮し，サービス単位のトラヒック抑制を特徴とする．提案方式ではまず，eNB が無線リソースの混雑状況を監視し，輻輳検知時に 3GPP にて現在標準化が進められている，擬似ベアラを利用して，PCEF へ通知する．次いで PCEF が通信品質ポリシを保持する Policy and Charging Rules Function (PCRF) を参照し，トラヒック抑制ルールを決定する．eNB へ流入するトラヒックにはアップリンクとダウンリンクがあるが，アップリンクについては PCEF への通知を行った eNB に紐づくユーザデバイスに対して，ダウンリンクについては PGW に対して，PCEF からの流量制御の指示を行うことで，サービス単位の制御を可能とする．また，提案方式の流量制御では，エンドツーエンドの指標のみを用いる TCP のウィンドウ制御とは異なり，eNB が観測する無線レイヤーのリソースブロック使用率に基いて，混雑時にアプリケーションレイヤーの通信ビットレートを制限し，非混雑時には制限を緩和するクロスレイヤーのトラヒック抑制を導入する．本方式によって，TCP，UDP 通信の区別なく制御可能となる．さらには，従来，ユーザならびにデバイスが単独では検知できなかった，無線リソースの混雑状況を利用して，サービス単位でトラヒックを抑制することで，アプリケーションレイヤーにおいて，高い実効スループットを得ることが可能となる．

本稿では，提案方式の有効性を検証するため，コンピュータ・シミュレーション上に LTE 網を構築し，種々のアプリケーションを対象に，収容効率の観点から実効スループット，データ到着率，および無線リソース使用率を評価する．

以下，2 章では，UPCON での標準化の取組みを紹介し，本稿の位置付けおよびモチベーションを明確化する．次いで 3 章で，擬似ベアラを用いた輻輳情報通知およびトラヒック抑制方式を提案する．4 章では，提案方式をコンピュータ・シミュレーションにより評価し，提案方式の有効性を示す．最後に 5 章にて，本稿の結論を述べる．

2. LTE の仕組みならびに混雑緩和の標準化動向

2.1 Long Term Evolution

LTE の規格は，the Third Generation Partnership Project (3GPP) によって標準化され，3G 規格に比して少ない設備構成によって収容端末，収容トラヒック量を向上し，低遅延，広帯域の通信を実現する [7]．2014 年現在，日本においても，スマートフォン等によるリッチなコンテンツのデータトラヒックを収容するための，主要かつ必要不可欠な通信方式となっている．

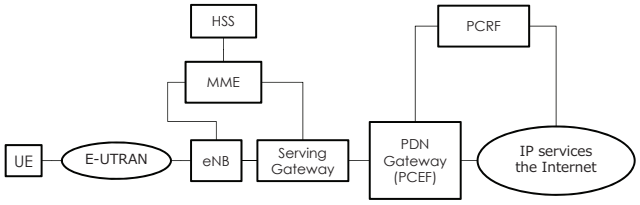

図 1 3GPP ネットワークの構成図
Fig. 1 System architecture of 3GPP network

3GPP で示されている LTE のネットワーク主要機能の構成を図 1 に示す [8]．ユーザデバイスである User Equipment (UE)，は Evolved UMTS Terrestial Radio Access (E-UTRAN) を通じて，基地局 (eNB) と直接通信を行う．eNB は Mobility Management Entity (MME) と通信インタフェースを持ち，UE の位置登録やページング，eNB 間のハンドオーバ，認証を行う．認証等の処理のため MME は Home Subscriber Server (HSS) に問合せ，携帯電話番号や端末識別情報等のユーザ情報を取得する．また，UE から送信されるユーザデータを転送するため，eNB からゲートウェイである Serving Gateway (SGW) との通信インタフェースを持つ．SGW は，ハンドオーバ中のアンカーの機能を持つと同時に，LTE のユーザデータを 2G および 3G システムに接続する機能を持つ．SGW が受信したユーザデータは，Packet Data Network Gateway(PGW) に転送される．PGW は内部に Policy Charging Enforcement Function (PCEF) を具備し，PCEF は課金情報や制御ポリシを保持する Policy and Charging Rules Function (PCRF) を参照することで，ポリシに基いた通信サービス品質を制御する．また，PGW は外部の IP サービスならびにインターネットとのゲートウェイの役割を担う．以上の機能要素を利用して，UE はインターネット上のサーバとデータを送受信する．

3GPP ではさらに，通信制御ポリシの取扱いに関する仕様を規定しており [9]，図 2 に，通信制御ポリシを提供する PCRF と，それに接続される機能ノードの関係を示す．図の Gateway に記載されている PCEF において，PCRF が保持するポリシに基いて通信トラヒックの制御を行う．PCRF は，加入者情報を格納している Subscription Profile Repository (SPR) や，課金情報を保持している Online/Offline Chargin System (OCS/OFCS)，ユーザデータの品質を制御する Application Function (AF)，PDN Gateway (PGW) から受信したデータのベアラを特定する Bearer Binding and Event Reporting Function (BBERF)，トラヒックを識別しユーザやアプリケーションを特定する Traffic Detection Function (TDF) 等の機能ノードと接続し，トラヒックの制御に関わるポリシを決定する．

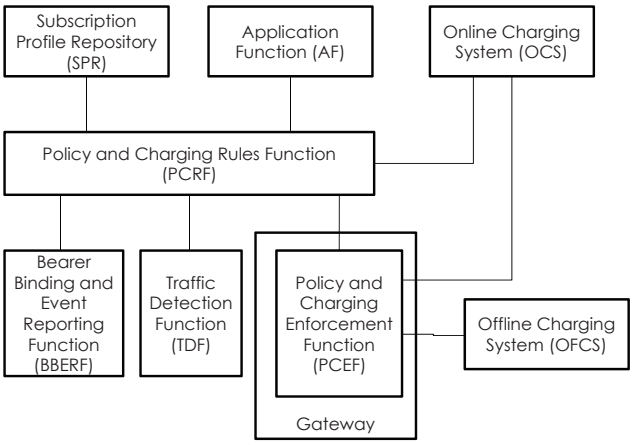

図 2　通信制御ポリシに関係する機能ノードの接続構成図

Fig. 2　Function block diagram of nodes for traffic control policy

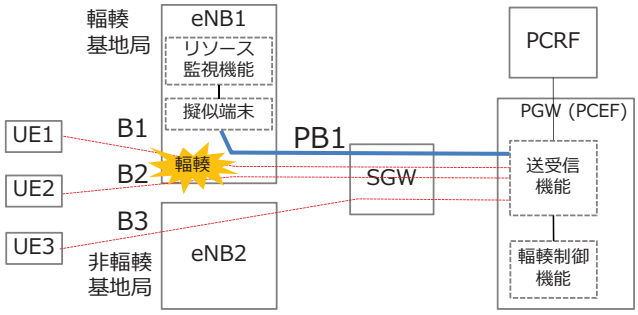

図 3　擬似ベアラ

Fig. 3　Pseudo bearer

しかし，図 1 および図 2 の構成では，PCEF が，無線アクセスを監視する eNB とのインタフェースを保有していないため，無線アクセスの混雑状況を，PCRF が保持するポリシに反映させることができない．基地局を管理するシステムが輻輳情報を通知する機能を具備している場合でも，人手を介した運用オペレーションを要するため，各基地局の輻輳状況を即時に伝達できず，トラヒックの抑制を行う目的に，満足する性能は得られない．また，このような基地局の管理システムは，任意の時点において，各基地局に接続されている端末情報（ID 等）を提供できないため，PCEF において，どのユーザの通信を抑制すべきかの判断に利用できない．

一方，eNB と，PCEF の間に新たにインタフェースを作成することも考えられるが，既存システムへの変更が大きいため，全国展開に際して，コストが大きくなる問題があり，新たなインタフェースを規定すること無く情報を通知し，トラヒックを抑制することが望まれる．

2.2　User Plane Congestion Management

3GPP の User Plane Congestion Management (UPCON)[10] では，LTE におけるユーザプレーンの輻輳制御技術を検討し，eNB から PCEF に対して擬似的なベアラ（擬似ベアラ）を確立し，eNB で検知した混雑情報等の，トラヒック制御に必要な情報を PCEF に通知する方式を検討している．

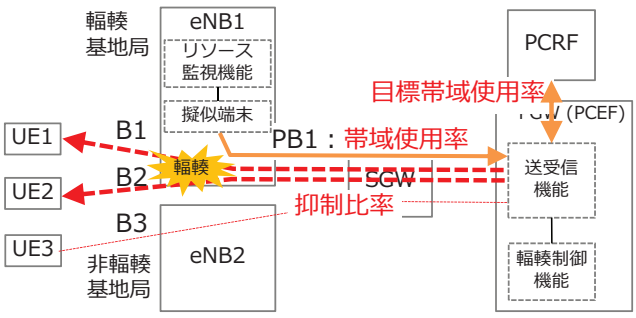

図 4　擬似ベアラを用いた通知および抑制の概要

Fig. 4　Overview of notification and traffic control using pseudo bearer

図 3 に，基地局から擬似ベアラを確立する例を示す．図の例では，端末 (UE1 から UE3) が基地局 (eNB1 および eNB2) を介して PCEF に対してベアラ (B1 から B3) を確立している．基地局は帯域使用率等のリソースを監視する機能を有しており，輻輳を検知した基地局 (eNB1) は基地局内に擬似端末を作成し，擬似端末から PCEF に対してベアラを確立する．このベアラを擬似ベアラ (PB1) と呼び，eNB1 は擬似ベアラを用いて PCEF へ輻輳を通知する．また，基地局は，その基地局を利用する端末の情報を保持しており，eNB1 は輻輳検知時に，UE1 および UE2 のトラヒックを制御すればよいことを，PCEF に通知する．PCEF では，基地局から通知された情報を，PCRF が保持するサービス品質の制御ポリシ情報と紐付けることで，該当端末のトラヒック制御方法を決定し，トラヒックを抑制する．

上記の通り，UPCON では擬似ベアラを策定しているが，擬似ベアラを用いて PCEF が実際に無線アクセスへの流入トラヒックを抑制する方式は検討が開始されたばかりで，十分な議論に至っていない．

3.　LTE におけるサービス単位のトラヒック収容方式

3.1　概要

本稿では無線アクセスにおける輻輳を回避するため，擬似ベアラを利用して，eNB から PCEF への輻輳情報の通知，ならびに PCEF によるトラヒック抑制を実現する．そのため，提案方式ではまず，eNB が輻輳の発生を PCEF に通知する．次いで PCEF はポリシとして抑制目標となる無線帯域の使用率を PCRF から取得し，PCEF はトラヒックの抑制比率を PGW および UE に通知する．提案方式は通信サービスによって性能要件が異なることを考慮し，サービス単位でトラヒックを抑制することを特徴とする．ここでサービスとは，発信元／着信先アドレス，発信元／着信先ポート番号，プロトコル番号で識別されるフローとする．

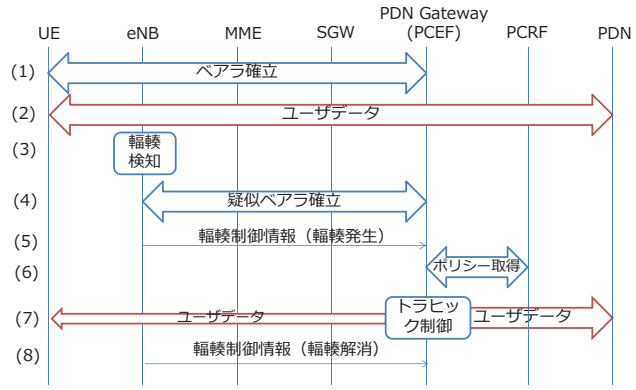

図 5　擬似ベアラを用いた輻輳制御シーケンス

Fig. 5　Sequence chart of congestion control with pseudo bearer

通知および抑制の仕組みを以下それぞれ説明する．

3.2　擬似ベアラを用いた輻輳情報通知

図 5 に，擬似ベアラを用いた輻輳制御シーケンスを示す．まず，端末 (UE) が PDN Gateway (PCEF) との間に通信用のベアラを確立する（シーケンス 1）．次いで，端末がインターネットや外部事業者 IP サービス等の外部ネットワーク (PDN) のサーバと通信を開始する (シーケンス 2)．その後，基地局 (eNB) が輻輳を検知した場合 (シーケンス 3)，eNB が PCEF との間に擬似ベアラ (PB) を確立する (シーケンス 4)．eNB は PB を用いて輻輳制御に必要なリソースの使用状況，ならびに制御対象となる UE の情報 (輻輳制御情報) を PCEF に伝達する (シーケンス 5)．PCEF は eNB から通知された情報をもとに，PCRF から制御ポリシ情報を取得する (シーケンス 6)．PCEF は輻輳制御情報および制御ポリシ情報に基づき，UE に通知，あるいは PCEF 自身が制御を実行することで，トラヒック抑制を実施する (シーケンス 7)．最後に，eNB が輻輳解消を検知すると，eNB は PB を用いて PCEF へ輻輳解消を通知し，PCEF は UE に通知，あるいは自身が，トラヒック抑制を解除する (シーケンス 8)．

3.3　輻輳情報通知に基いた流量制御

eNB における処理フローチャートを図 6 に示す．eNB は周期的に処理を実施し，その周期はおよそ 100 msec を想定する．その処理ではまず，帯域使用率を観測する．次いで，観測した帯域使用率を輻輳閾値および非輻輳閾値と比較する．ここで，輻輳閾値は非輻輳閾値よりも大きいものとする．帯域使用率が輻輳閾値よりも高い場合，eNB は PCEF との擬似ベアラを確立しているか否かを判定し，確立していない場合は擬似ベアラを確立する．既に確立している場合は，その擬似ベアラを利用する．確立された擬似ベアラにより，影響を受ける利用端末情報および帯域使用率，輻輳を通知するための輻輳判定フラグを合わせて送信する．帯域使用率が輻輳閾値よりも低く，非輻輳閾値よりも高い場合，何も処理をしない．これは，流量制御中であれば，正しく制御されていることを意味し，流量制御中でなければ，制御が不要であることを意味している．帯域使用率が非輻輳閾値よりも低い場合，流量制御中の端末の有無を判定し，制御中の端末が無ければ何も処理を実施せず，制御中の端末が存在する場合は，制御を解除するため，PCEF に対して，影響を受ける利用端末情報および，帯域使用率，非輻輳を通知するための輻輳判定フラグを合わせて送信する．

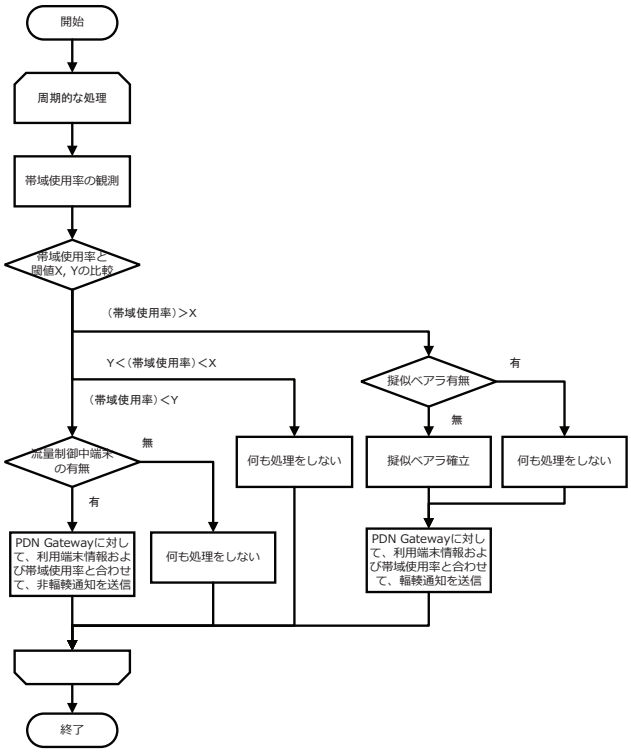

図 6　eNB における制御フロー

Fig. 6　Flow chart of congestion control at eNB

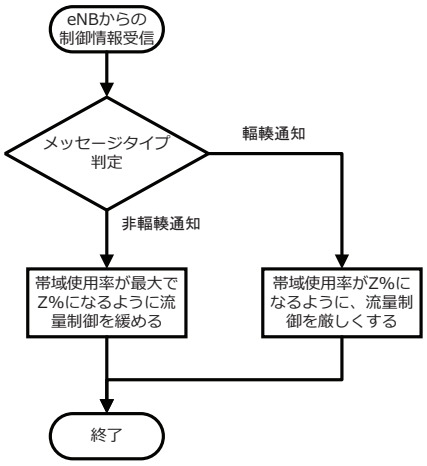

図 7　PCEF における制御フロー

Fig. 7　Flow chart of congestion control at PCEF

PCEF における処理フローチャートを図 7 に示す．PCEF は基地局からメッセージを受信すると，処理を開始し，ま

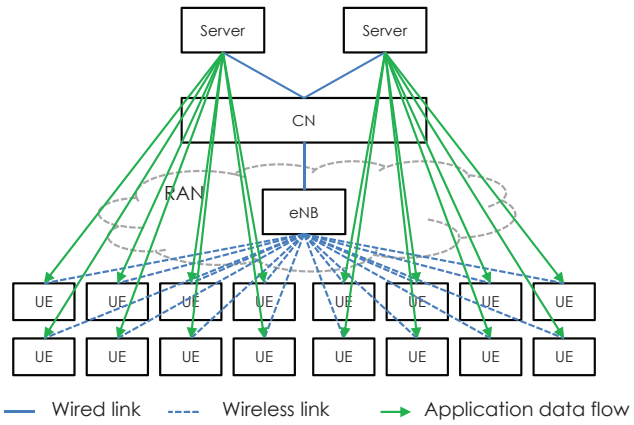

図 8　シミュレーショントポロジ概要
Fig. 8　Overview of simulation topology

ず，受信したメッセージ内容を判定する．メッセージ内容は輻輳通知あるいは非輻輳通知のいずれかであり，輻輳通知だった場合，流量制御による制限を厳しくする．一方，非輻輳通知だった場合，流量制御による制限を緩める．流量制限は，輻輳時に目標の帯域使用率になるよう通信量を調整するため、対象端末が確立しているベアラを介して，PCEF から端末に，通信量の調整比率を通知する．ここで，（通信量の調整比率）$=\frac{\text{（目標の帯域使用率）}}{\text{（現在の帯域使用率）}}$ である．一方，非輻輳時には，輻輳時と同様，対象端末が確立しているベアラを介して，PCEF から端末に，通信量を最大で目標の帯域使用率になるよう通信量の調整比率を通知する．その調整比率も輻輳時と同様である．

4.　シミュレーション評価

4.1　シミュレーション環境ならびに条件

本稿では，提案方式の有効性をコンピュータ・シミュレーションによって確認する．シミュレータ QualNet 6.1[11] 上に LTE 通信環境を再現し，サーバから端末に対して，UDP および TCP のトラヒックを発生させ，擬似ベアラを用いた輻輳制御を用いる場合と用いない場合とで，グッドプット，データ到着率，および Resource Block (RB) 使用率を比較する．ここで RB 使用率とは，LTE の無線アクセスにおいて，帯域使用率を示す指標である．シミュレータ上に構築したネットワークトポロジを図 8 に示す．簡略化のため，シミュレーションに用いたトポロジは，無線アクセス内にひとつの eNB を配置し，ひとつのルーティングノードを Core Network (CN) 内に配置する．CN は 2 台のサーバと接続し，本シミュレーションにおいては，これらのサーバがトラヒックを供給する．また，UE を 16 台配置し，eNB と LTE の無線リンクを構築する．これらの UE はサーバから LTE ネットワークを介しデータを受信する．図中では，有線リンクを実線，無線リンクを点線で示し，アプリケーションデータフローを実線矢印で示す．また，主なシミュレーションパラメータを表 1 に示す．

表 1　シミュレーションパラメータ
Table 1　Simulation parameters

Simulator	QualNet 6.1
Simulation time	250 sec
Number of user equipment	16
Number of eNB	1
Number of servers (node)	2
PHY layer model	LTE PHY
Propagation model	2 ray model
Link speed	100.0 Mbps (wired) / 10.0 Mbps (airlink)
MAC protocol	LTE MAC
Network protocol	IPv4
CBR payload size	512 bytes
CBR Default transmission interval	1 msec
Measurement interval (eNB)	100 msec
Flow control interval (node)	100 msec

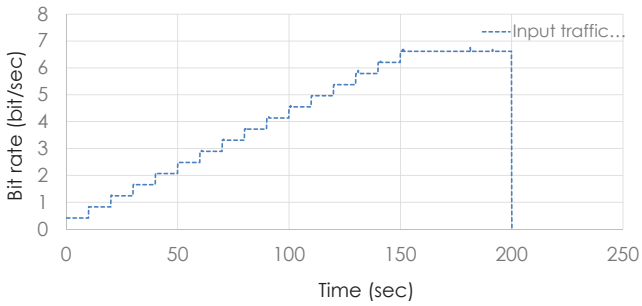

図 9　CBR の入力トラヒックパターン
Fig. 9　Input traffic pattern for CBR applications

図 9 に無線アクセスで観測される入力トラヒックパターンを示す．ひとつの CBR のフローは，ペイロードサイズが 512 bytes で，1 msec 間隔で送信される．入力トラヒックはシミュレーション開始から 150 秒まで，10 秒ごとに 400 Kbps ずつ増加し，シミュレーション開始から 200 秒経過した時点で 0 まで減少する．FTP のフローについても CBR と同様に，シミュレーション開始から 150 秒まで，10 秒毎にフローを 1 本ずつ増やし，シミュレーション開始から 200 秒経過した時点で 0 まで減少する．ただし，FTP で転送するファイルサイズはシミュレーション時間，伝送速度に対して十分大きいものとし，シミュレーション中にファイルの転送が終了することはないものとする．また，CBR，FTP の両者が混在する場合には，上記トラヒックの両方を入力するものとする．

4.2　シミュレーション結果

4.2.1　輻輳制御を用いない場合

まず輻輳制御を用いない場合について，図 10 に，無線アクセスに対する入力トラヒック (Input traffic) および，UE

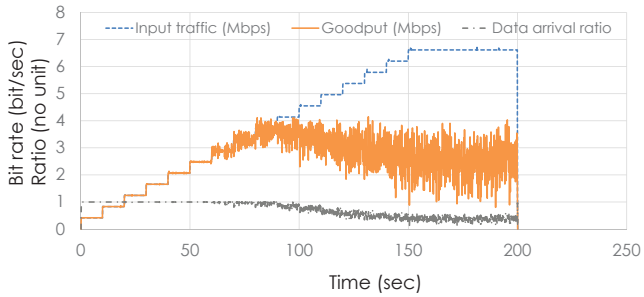

図 10　輻輳制御がない場合の送信/受信データの時間推移

Fig. 10　Time transition in transmitted and received data without congestion control

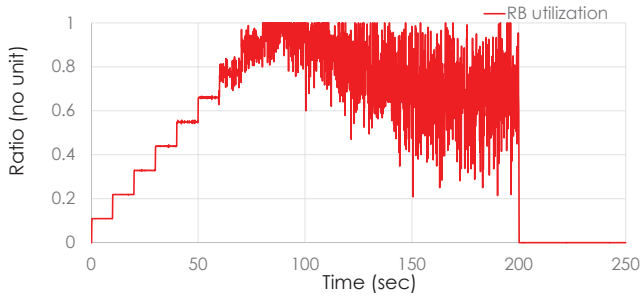

図 11　輻輳制御がない場合の RB 使用率の時間推移

Fig. 11　Time transition in RB utilization without congestion control

が受信した合計トラヒック (Goodput)，受信成功率 (Data arrival ratio) の時間推移を示し，図 11 に，RB 使用率の時間推移を示す．図 10 から分かるように，シミュレーション開始から 80 秒までは，入力トラヒックと合計受信トラヒックは同じように推移し，80 秒以降，入力トラヒックに対し合計受信トラヒックは小さい値を示し，大きいゆらぎを示す．一方，図 11 から分かるように，シミュレーション開始から 80 秒までは，入力トラヒックに応じて RB 使用率が段階的に増加するが，80 秒の時点で RB 使用率が 1 に到達し，入力トラヒックが無線アクセスの許容量に到達したことを示す．ここで，サーバが無線アクセスの許容量を超えてトラヒックを供給した場合，eNB で送信バッファがオーバフローし，パケットドロップが発生する．したがって，無線アクセスの許容量を超えるシミュレーション開始から 80 秒以降，通信性能は安定しなくなり，その結果，80 秒以降 200 秒までの平均 RB 使用率は 0.78 である．

4.2.2　輻輳制御を用い，TCP，UDP トラヒックを個別に入力する場合

輻輳制御を用い，非輻輳閾値が 70%，目標 RB 使用率が 80%，輻輳閾値が 90%の場合について，図 12 に，無線アクセスに対する入力トラヒック (Input traffic) および，UE が受信した合計受信トラヒック (Goodput)，受信成功率 (Data arrival ratio) の時間推移を示し，図 13 に，RB 使用率の時間推移を示す．図 12 では，シミュレーション開始から 60 秒までは，入力トラヒックは段階的に増加し，以降は

図 12　輻輳制御を行った場合の送信/受信データの時間推移（非輻輳閾値/目標 RB 使用率/輻輳閾値=70/80/90）

Fig. 12　Time transition in transmitted and received data with congestion control (non-congestion/target/congestion = 70/80/90)

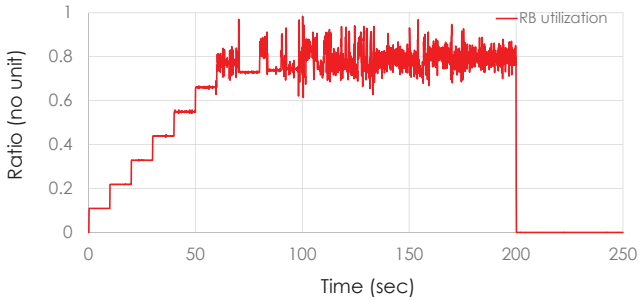

図 13　輻輳制御を行った場合の RB 使用率の時間推移（非輻輳閾値/目標 RB 使用率/輻輳閾値=70/80/90）

Fig. 13　Time transition in RB utilization with congestion control (non-congestion/target/congestion = 70/80/90)

入力トラヒックに制御がかかり，極端に無線アクセスの許容量を超えることはない．その結果，データ到着率は常に 1 に近い値を示し，輻輳制御を用いない場合に比して，大幅に改善していることがわかる．80 秒以降は図 10 に比して，合計受信トラヒック，RB 使用率は高い値を示し，80 秒から 200 秒までの，平均 RB 使用率は 0.80 を示す．さらに，それらのゆらぎは小さく，制御が安定している．

これは，非輻輳閾値と輻輳閾値の差が十分に大きいため，制御による入力トラヒックの変化によって，RB 使用率が非輻輳閾値を下回る，あるいは輻輳閾値を上回る現象が起きず，入力トラヒックの状態変化が少なくなるためである．その結果，合計受信トラヒックも安定し，提案方式の有効性を示した．

また，入力トラヒックを FTP とし，輻輳制御を用い，非輻輳閾値が 70%，目標 RB 使用率が 80%，輻輳閾値が 90%の場合について，図 14 に，無線アクセスに対する入力トラヒック (Input traffic) および，UE が受信した合計トラヒック (Goodput)，受信成功率 (Data arrival ratio) の時間推移を示し，図 15 に，RB 使用率の時間推移を示す．提案方式では，100msec 間隔で観測した結果に基いて，データの送信間隔を制御している．TCP では，より細かい時間粒度で流量制御を行うため、提案方式の送信間隔制御よ

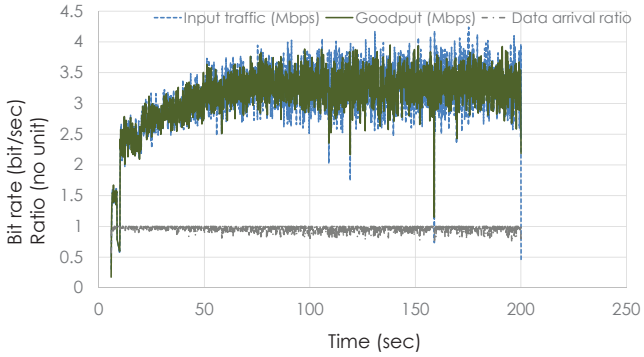

図 14　輻輳制御を行った場合の送信/受信データの時間推移（非輻輳閾値/目標 RB 使用率/輻輳閾値=70/80/90）

Fig. 14 Time transition in transmitted and received data with congestion control for FTP (non-congestion/target/congestion = 70/80/90)

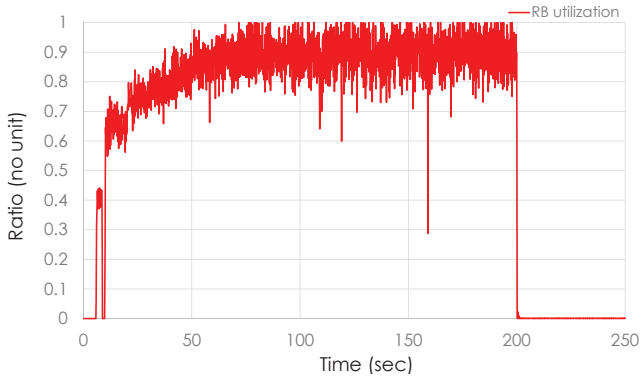

図 15　輻輳制御を行った場合の RB 使用率の時間推移（非輻輳閾値/目標 RB 使用率/輻輳閾値=70/80/90）

Fig. 15 Time transition in RB utilization with congestion control for FTP (non-congestion/target/congestion = 70/80/90)

りも，ウィンドウサイズの方が支配的となり，無線アクセスの帯域幅に合わせたデータ量を送信する．したがって，TCP を用いた通信に対して制御を行った場合，提案方式の制御の影響はほとんど受けず，制御可能となる．

4.2.3　輻輳制御を用い，TCP，UDP トラヒックを同時に入力する場合

最後に，複数種類のサービスが混在する場合を想定し，TCP と UDP が混在した場合の送信/受信データの時間推移を図 16 から 18 に示す．図から，CBR アプリケーションと FTP アプリケーションがほぼ等しい伝送速度を示し，その合計値は，CBR アプリケーションのトラヒックのみを入力した場合と変わらないことがわかる．目標 RB 使用率が，TCP トラヒックを単独で入力した際に示す RB 使用率よりも高い場合，図 16 に示すように，TCP トラヒックが示す合計受信トラヒックは UDP トラヒックが示す合計受信トラヒックよりも低い．一方，目標 RB 使用率が，TCP トラヒックを単独で入力した際に示す RB 使用率よりも低い場合，図 17 に示すように，UDP トラヒックが

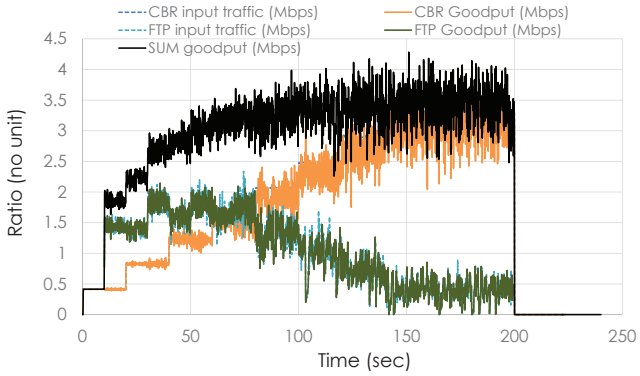

図 16　輻輳制御を行った場合の送信/受信データの時間推移（非輻輳閾値/目標 RB 使用率/輻輳閾値=90/95/100）

Fig. 16 Time transition in transmitted and received data with congestion control for mixed traffic (non-congestion/target/congestion = 90/95/100)

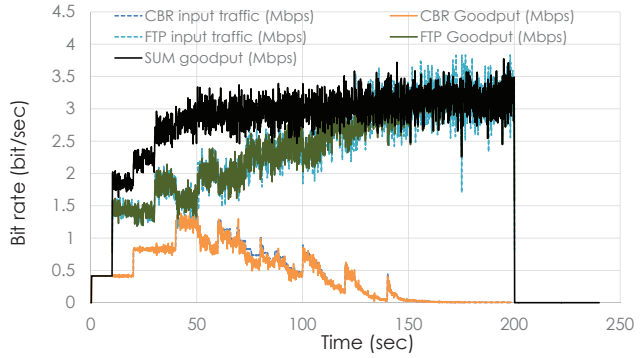

図 17　輻輳制御を行った場合の送信/受信データの時間推移（非輻輳閾値/目標 RB 使用率/輻輳閾値=70/80/90）

Fig. 17 Time transition in transmitted and received data with congestion control for mixed traffic (non-congestion/target/congestion = 70/80/90)

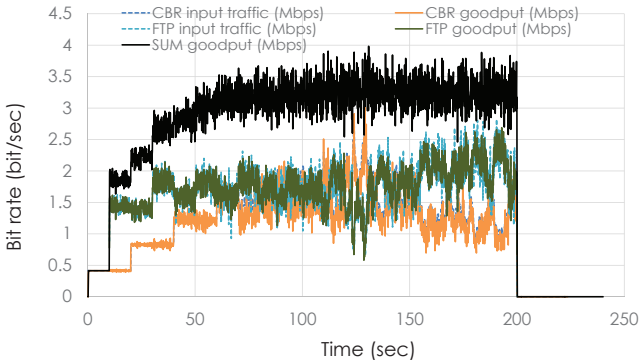

図 18　輻輳制御を行った場合の送信/受信データの時間推移（非輻輳閾値/目標 RB 使用率/輻輳閾値=86/91/96）

Fig. 18 Time transition in transmitted and received data with congestion control for mixed traffic (non-congestion/target/congestion = 86/91/96)

示す合計受信トラヒックは TCP トラヒックが示す合計受信トラヒックよりも低い．目標 RB 使用率が，TCP トラヒックを単独で入力した際に示す RB 使用率と等しくなる

ように設定すると，図 18 に示すように，TCP トラヒックと UDP トラヒックの両者がほぼ等しい合計受信トラヒックを示す．提案方式，TCP のフロー制御のいずれも，無線アクセスの状況をフィードバックし，流量を抑制するため，目標閾値が高い場合は，TCP トラヒックが支配的となり，逆の場合には，UDP トラヒックが支配的になると考えられる．したがって，ポリシに応じて目標 RB 使用率を設定することで，TCP，UDP それぞれのトラヒックの性能を制御可能となる．現実には，TCP トラヒックの性能はネットワークの状況に応じて変化するため，ポリシに応じて，高精度で TCP，UDP トラヒックの性能を制御するためには，サービス単位でリソースを監視し，目標 RB 使用率を適応的に設定する仕組みが必要となる．

以上の結果から，擬似ベアラを用いたトラヒック抑制がデータ到着率および RB 使用率の改善に有効であること，さらに非輻輳，輻輳閾値の差を十分に大きく設定することで，輻輳状態および非輻輳状態の遷移回数が少なくなり，安定したトラヒックが得られることが示された．さらに，TCP トラヒックと UDP トラヒックが混在する場合にも，目標 RB 使用率を変化させることで，両者の通信性能を調整可能であることを示した．

5. 結論

LTE において，増加し続けるトラヒックデータ量に対応するために，UPCON で標準化が進められている擬似ベアラを用いた，新しいトラヒック抑制方式を提案した．提案方式によって，無線アクセスの混雑時には，流入トラヒックを抑制することによって，グッドプット，RB 使用率を改善をし，流入トラヒックを効率的に収容する見通しを得た．また，提案方式は，CBR，FTP アプリケーションが混在する場合でも，パラメータを変化させることによって，両者の性能を調整可能であることを示した．

今後の課題として，より高精度なポリシ制御を行うための，閾値，目標値設定手法の検討が挙げられる．TCP，UDP トラヒックが混在した際の性能は，輻輳，非輻輳閾値は無線アクセスの状況に依存するため，無線エラーが頻発するような，環境においては，TCP の性能低下にあわせて目標値を低く変化させることが望ましい．

また，商用網では，異なるサイズで重複した無線アクセスが展開されている場合もあり，基地局間で協調し，サービスに対して無線リソースを再配分することで，収容効率のさらなる向上が見込めるため，複数基地局を対象とした制御方式を検討する．

参考文献

[1] Japan Smart City Portal ”Japan Smart City Portal（JSCP）－スマートシティに向けた 4 地域実証の最新情報,” (2014), 入手先 <http://jscp.nepc.or.jp/>

[2] Cisco ”Cisco Visual Networking Index：全世界のモバイルデータトラフィックの予測、2013〜2018 年アップデート,” (2014), 入手先 <http://www.cisco.com/web/JP/solution/isp/ipngn/literature/pdf/white_paper_c11-520862.pdf>

[3] Barbieri, A.; Damnjanovic, A.; Tingfang Ji; Montojo, J.; Yongbin Wei; Malladi, D.; Osok Song; Horn, G., ”LTE Femtocells: System Design and Performance Analysis,” *Selected Areas in Communications, IEEE Journal on*, vol.30, no.3, pp.586–594, April (2012)

[4] Damnjanovic, A.; Montojo, J.; Yongbin Wei; Tingfang Ji; Tao Luo; Vajapeyam, M.; Taesang Yoo; Osok Song; Malladi, D., ”A survey on 3GPP heterogeneous networks,” *Wireless Communications, IEEE*, vol.18, no.3, pp.10–21, June (2011)

[5] Zolfaghari, A.; Taheri, H., ”Queue-aware scheduling and congestion control for LTE,” *Networks (ICON), 2012 18th IEEE International Conference on*, pp.131–136, 12–14 Dec. (2012)

[6] Kutscher, D.; Lundqvist, H.; Mir, F.G., ”Congestion Exposure in Mobile Wireless Communications,” *Global Telecommunications Conference, IEEE*, pp.1–6, 6–10 Dec. (2010)

[7] Astely, D.; Dahlman, E.; Furuskar, A.; Jading, Y.; Lindstrom, M.; Parkvall, S., ”LTE: the evolution of mobile broadband,” *Communications Magazine, IEEE*, vol.47, no.4, pp.44–51, April (2009)

[8] 3rd Generation Partnership Project TS 23.401, “General Packet Radio Service (GPRS) enhancements for Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) access,” (2014).

[9] 3rd Generation Partnership Project TS 23.203, “Policy and charging control architecture,” (2014).

[10] 3rd Generation Partnership Project TS 23.705, “System Enhancements for User Plane Congestion Management,” (2014).

[11] QualNet, 入手先 <http://web.scalable-networks.com/>