

フェムトセルを用いたメディアデータの経路最適化手法の提案と評価

千葉 恒彦[†] 横田 英俊[†]

概要：近年、携帯電話などの移動体ネットワークにおいて、数十メートル程度のごく小さいエリアをカバーするフェムトセルが注目されている。フェムトセルをブロードバンドアクセス回線やインターネットなどの公衆網に接続する場合、通信の暗号化のためにフェムトセルとコアネットワークに配置されるセキュリティゲートウェイとの間に IPsec を確立してメディアデータを送受信する。このため、フェムトセル同士が近距離に配置されていた場合、セキュリティゲートウェイとフェムトセル間の距離が大きくなるとメディアデータの経路が冗長となる問題がある。また、メディアデータの暗号化処理に伴うセキュリティゲートウェイの処理負荷増大も懸念される。本稿では、オール IP ネットワークの制御基盤である IMS の情報を利用して、セキュリティゲートウェイを介さずにフェムトセル間でメディアデータの送受信を行うことにより、その経路を最適化する方式を提案するとともに、実機フェムトセルを用いてその有効性を検証する。

Proposal and Evaluation of Media Path Optimization using Femtocell

Tsunehiko Chiba[†] and Hidetoshi Yokota[†]

Abstract: Recently, femtocell which covers several tens of meters cell area becomes popular in mobile network. When femtocell is connected to public network such as broadband access network or the Internet, media data is sent and received over IPsec tunnel between femtocell and security gateway located in core network for data encryption. Therefore, if security gateway is far way from femtocells, and if femtocells are nearby each other, the routing path for media data between users may be redundant. Moreover, the high process due to encryption and decryption for media data may impact on the load of security gateway. In this paper, we propose media path optimization mechanism by sending and receiving media data directly between femtocells in coordination with IMS known as core technology for session control in all-IP network and evaluate the proposed mechanisms using femtocell product.

[†] 株式会社 KDDI 研究所

1. はじめに

近年、オール IP ベースのモバイルネットワークを構成する要素として、SIP (Session Initiation Protocol)¹⁾を用いたセッション制御基盤の IMS (IP Multimedia Subsystem)²⁾や携帯電話の小型基地局であるフェムトセルが注目されている³⁾。フェムトセルは、高層ビルや地下など広域基地局からの電波が十分に到達しないエリアに配置し、通信エリアを拡充するために用いられるが、フェムトセルを用いるメリットとして、少数ユーザで占有的に無線帯域を利用することによる通信容量の増加、及び一般のブロードバンドアクセス回線を介して移動体通信事業者のコアネットワークへ接続することによる広域無線ネットワークの負荷軽減などもあげられる⁴⁾。ここで、フェムトセルをコアネットワークへ接続する場合、通信データはブロードバンドアクセス回線やインターネットなどの非セキュア網を介する。よって、セキュリティ確保のため、フェムトセルはコアネットワークに配置されたセキュリティゲートウェイである FGW (Femto Gateway)との間で IPsec を確立し、通信の暗号化を行う。しかしながら、フェムトセルに接続した端末が通信を行う場合、SIP メッセージだけでなく、アプリケーションのメディアデータについても FGW を経由するため、フェムトセルと FGW 間の距離が大きくなるとメディアデータの転送遅延も増加し、通信品質を劣化させてしまう可能性がある。また、FGW にてメディアデータの packets 暗号化及び復号化処理を対向フェムトセル毎に実施する必要があるため、FGW の負荷増大や処理遅延も問題となる。本稿では、まず音声通信において、フェムトセルを介した標準方式のコアネットワークへの接続形態とその問題点について説明する。次に、IMS とフェムトセルにて連携し、SIP メッセージは FGW を介してコアネットワークへ転送しながら、メディアデータについては FGW を経由せずにフェムトセル間にて送受信を行う方式を提案し、実装評価によりその有効性を検証する。

2. フェムトセルの接続形態

図 1 に cdma2000 1X⁵⁾を具備したフェムトセルの標準文書に規定されているコアネットワーク接続形態を示す⁶⁾。本構成では、ブロードバンドアクセス回線やインターネットなどの非セキュア網を想定している。よって、通信の暗号化のため、フェムトセルと FGW の間で IKEv2 (Internet Key Exchange version 2)⁷⁾手順に基づく IPsec を確立する。フェムトセルをコアネットワークへ接続する形態として図 1 に示す通り、広域無線ネットワーク接続型とオール IP 接続型の 2 形態考えられるが、本稿では広域無線ネットワークの負荷

をより低減できるオール IP 接続型について述べる. 音声のセッション確立には IMS が用いられ, SIP メッセージは SIP サーバである P-CSCF (Proxy-Call Session Control Function)及び I-CSCF (Interrogating-Call Session Control Function)を経由し, S-CSCF (Serving-Call Session Control Function)へ登録が行われる. ここで, SIP に対応していない端末を収容するため, フェムトセルが端末の代わりに SIP メッセージを制御する.

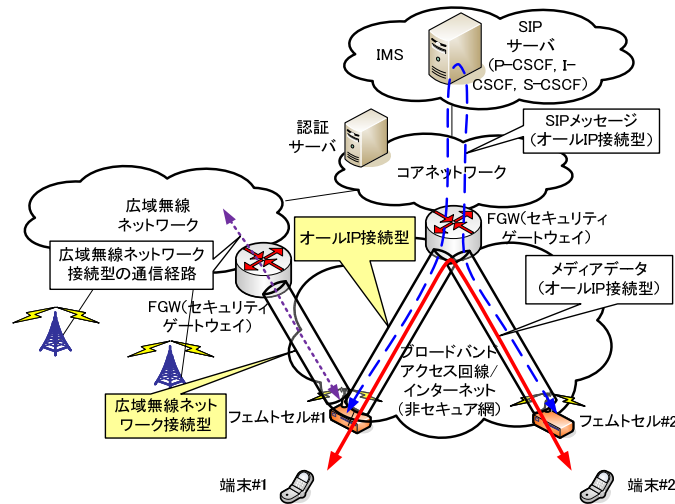


図1 標準方式の接続形態

図2に標準方式のセッション確立手順を示す. フェムトセル#1及びフェムトセル#2は, ネットワークに接続されると, DHCP などにより FGW と通信可能な IP アドレスである IP#1 及び IP#2 をそれぞれ取得し, IKEv2 手順によるフェムトセルの認証の後, FGW との間に IPSec を確立する. この IKEv2 手順の中で, フェムトセル#1 は P-CSCF との通信のために TIA (Tunnel Inner Address)である IP#A を取得する. その後, 端末#1 がフェムトセル#1 に接続されると, 端末#1 とフェムトセル#1 との間に cdma2000 1X 手順による無線リンクが確立される. この無線リンク確立手順の中でフェムトセル#1 は端末#1 から, その識別子 (AT#1) を取得する. 引き続き, フェムトセル#1 は FGW との IPSec を経由し, P-CSCF に対して SIP REGISTER を送信することにより, 端末#1 (AT#1) を IMS へ登録する. 同様に端末#2 がフェムトセル#2 へ接続されると, IP#2 と IP#B の取得及び

IMS への登録が行われる. 次に, 端末#1 が端末#2 へ音声通信のために発信を行うと, フェムトセル#1 はその発信信号を SIP INVITE へ変換し, P-CSCF へ送信する. この SIP INVITE の SDP (Session Description Protocol)フィールドには, フェムトセル#2 とのメディアデータの送受信に用いる IP アドレス (IP#A) と任意に設定したポート番号 (Port#A) が含まれる. P-CSCF から SIP INVITE を受け取った S-CSCF は端末#2 (AT#2) の登録情報を特定し, 接続されているフェムトセル#2 に対して P-CSCF 経由で SIP INVITE を転送する. フェムトセル#2 は着信を端末#2 へ通知するとともに, 端末#2 を呼び出し中である状況を伝えるために 180 Ringing を P-CSCF 及び S-CSCF 経由でフェムトセル#1 に返信する. 端末#2 の応答を契機にフェムトセル#2 は, SIP INVITE に対する 200 OK を返信する. この 200 OK の SDP には, フェムトセル#2 がフェムトセル#1 とのメディアデータの送受信に用いる IP アドレス (IP#B) と任意に設定したポート番号 (Port#B) が含まれる. フェムトセル#1 は 200 OK を P-CSCF より受信すると端末#2 の応答を端末#1 へ通知するとともに ACK を P-CSCF へ送信する. この時点でセッションが確立し, 端末間でそれぞれのフェムトセルを経由し, メディアデータの送受信が開始される. 尚, メディアデータの送受信には, フェムトセル#1 では IP#A 及び Port#A, フェムトセル#2 では IP#B 及び Port#B がそれぞれ用いられる.

ここで, 図 2 に示した標準方式において, フェムトセル#1 と FGW 間の転送時間を T_{femto1_fgw} , フェムトセル#2 と FGW 間の転送時間を T_{femto2_fgw} , フェムトセルの packets 暗号化及び復号化処理時間をそれぞれ T_{femto_enc} 及び T_{femto_dec} , FGW の packets 暗号化及び復号化処理時間をそれぞれ T_{fgw_enc} 及び T_{fgw_dec} とすると, 端末#1 が接続しているフェムトセル#1 と端末#2 が接続しているフェムトセル#2 間のメディアデータ転送時間 T_{trans_nonopt} は次の式で表される.

$$T_{trans_nonopt} = T_{femto1_fgw} + T_{femto2_fgw} + T_{femto_enc} + T_{femto_dec} + T_{fgw_enc} + T_{fgw_dec} \quad (1)$$

また, セッションの確立数を N , FGW の 1 セッションあたりに要するメディアデータの packets 暗号化及び復号化処理負荷をそれぞれ P_{fgw_enc} 及び P_{fgw_dec} とすると, FGW 上の暗号化及び復号化処理負荷 P_{fgw_sec} は次の式で表される.

$$P_{fgw_sec} = N(P_{fgw_enc} + P_{fgw_dec}) \quad (2)$$

よって、式(1)及び式(2)より、フェムトセルとFGW間の距離 (T_{femto1_fgw} , T_{femto2_fgw}) が大きくなるとメディアデータの転送遅延も増加し、アプリケーションの品質を劣化させてしまう。また、セッションの確立数 (M) が増加するとFGWにおけるパケット暗号化及び復号化処理 (P_{fgw_sec}) の負荷増大に伴い、処理遅延 (T_{fgw_enc} , T_{fgw_dec}) が増加し、パケット損失が発生する可能性がある。これらの問題を解決するため、フェムトセルにてSDPで指定されたメディアデータの経路を対向のフェムトセルへ切り替えることより経路最適化を図ることで、メディアデータの転送遅延とFGWの処理負荷を低減する方式を提案する。

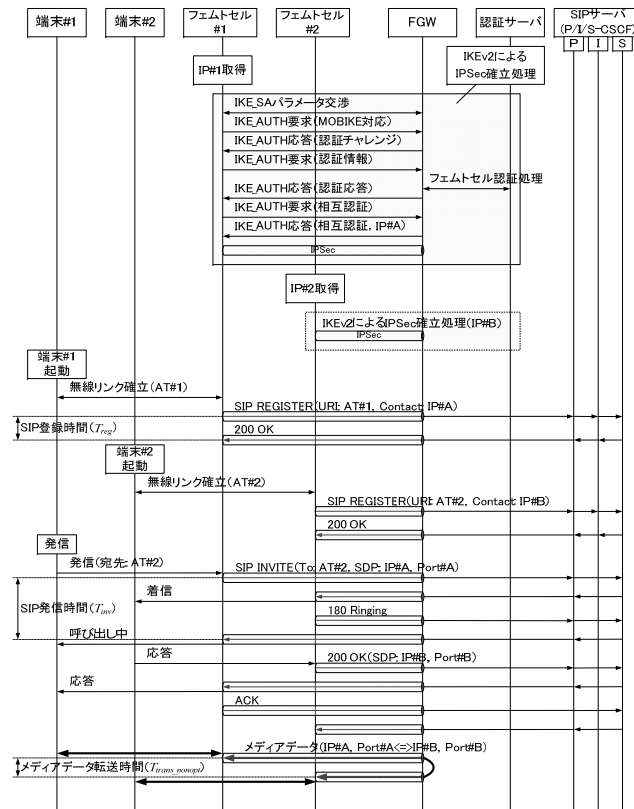


図2 標準方式のセッション確立手順

3. 提案方式

3.1 メディアデータの経路最適化

図3に提案方式であるメディアデータの経路最適化を実現する接続形態を示す。提案方式では、IMSとのSIPメッセージについては、通信事業者のFGWを介して送受信されるものの、メディアデータについてはFGWを経由せずにフェムトセル間にて直接送受信される。

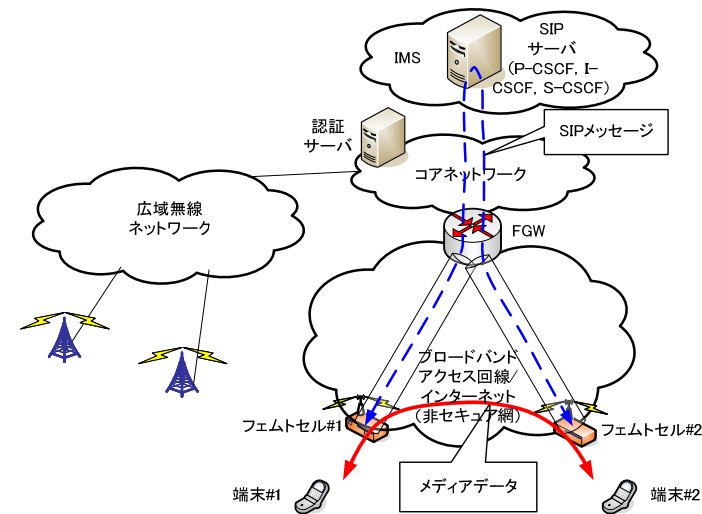


図3 提案方式の接続形態

図4に提案方式のセッション確立手順を示す。フェムトセル#1及びフェムトセル#2は、ネットワークに接続されると、図2と同様の手順でFGWと通信可能なIP#1及びIP#2のIPアドレス、P-CSCFと通信可能なIP#A及びIP#BのIPアドレスをそれぞれ取得する。また、端末#1及び端末#2の接続要求を受け、フェムトセル#1及びフェムトセル#2は、それぞれFGWとのIPsecを経由し、P-CSCFに対してSIP REGISTERを送信し、端末#1 (AT#1) 及び端末#2 (AT#2) をIMSへ登録する。次に、端末#1が端末#2へ音声通信のために発信を行うと、フェムトセル#1はその発信信号をSIP INVITEへ変換し、P-CSCFへ送信する。このSIP INVITEのSDPフィールドには、FGWとの通信に用いるIP#1及

び任意に設定した Port#1 が設定される。S-CSCF は P-CSCF から SIP INVITE メッセージを受信し、端末#2 (AT#2) の登録情報を特定し、端末#2 が接続しているフェムトセル #2 に対して SIP INVITE を P-CSCF 経由で転送する。フェムトセル#2 は着信情報を端末 #2 へ通知するとともに端末#2 を呼び出し中である状況を伝えるために 180 Ringing を P-CSCF 及び S-CSCF 経由でフェムトセル#1 に返信する。端末#2 の応答を契機にフェムトセル#2 は、SIP INVITE に対する 200 OK を P-CSCF へ返信する。この 200 OK の SDP フィールドには、FGW との通信に用いる IP#2 及び任意に設定した Port#2 が設定される。フェムトセル#1 は 200 OK を受信すると、端末#2 の応答を端末#1 へ通知するとともに P-CSCF に対して ACK を送信する。この時点でセッションが確立し、端末間でそれぞれのフェムトセルを経由し、メディアデータの送受信が開始される。尚、メディアデータの送受信には、フェムトセル#1 は IP#1 及び Port#1、フェムトセル#2 は IP#2 及び Port#2 をそれぞれ用いる。よって、標準方式とは異なり、FGW を経由せずに直接フェムトセル間にてメディアデータの送受信が可能となる。尚、フェムトセル間のメディアデータの暗号化が必要な場合には、予め IPsec をフェムトセル間で設定しておくか、SIP メッセージの SDP フィールドにて暗号鍵を交換する SRTP⁸⁾を用いる。

図 4 に示した提案方式において、フェムトセル#1 とフェムトセル#2 間の転送時間を T_{btw_femto} とし、フェムトセル#1 及びフェムトセル#2 のパケット暗号化及び復号化処理時間が標準方式における FGW と同等であるとすると、端末#1 が接続しているフェムトセル #1 と端末#2 が接続しているフェムトセル#2 間のメディアデータ転送時間 T_{trans_opt1} は次の式で表される。

$$T_{trans_opt1} = T_{btw_femto} + T_{femto_enc} + T_{femto_dec} \quad (3)$$

また、式(1)及び式(3)より、標準方式と提案方式のメディアデータ転送時間の差分 T_{diff} は次の式で表される。

$$T_{diff} = (1) - (3) = T_{femto1_fgw} + T_{femto2_fgw} + T_{fgw_enc} + T_{fgw_dec} - T_{btw_femto} \quad (4)$$

よって、式(4)より、フェムトセルと FGW 間の距離 (T_{femto1_fgw} , T_{femto2_fgw}) 及び FGW におけるメディアデータの暗号化及び復号化処理遅延 (T_{fgw_enc} , T_{fgw_dec}) が大きいほど、提案方式によるメディアデータの転送時間の低減効果が大きくなる。同様に、フ

ェムトセル間の距離 (T_{btw_femto}) が小さいほど提案方式によるメディアデータの転送時間の低減効果が大きくなる。

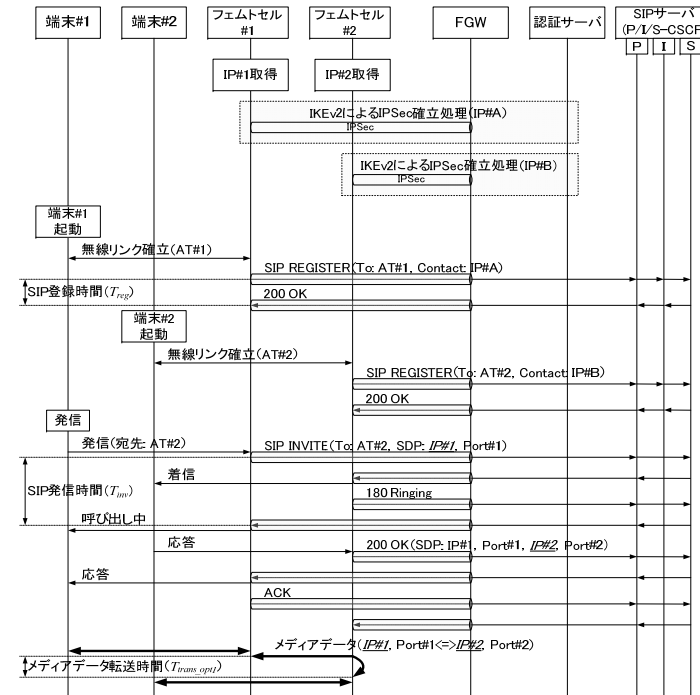


図 4 提案方式のセッション確立手順

3.2 プライベートアドレスへの対応

一般にフェムトセルを自宅やオフィス等に設置する場合、IP アドレスの有効利用やセキュリティの観点から、図 5 のようにプライベートアドレスの利用のため、NAT (Network Address Translation) 配下に設置される。提案方式を NAT に対応させるためには、ブロードバンドアクセス回線やインターネットとの通信に用いるグローバルアドレス及び接続端末毎のポート番号を取得するため、フェムトセルが STUN⁹⁾もしくは UPnP¹⁰⁾を利用することが考えられる。本稿では、UPnP に比べてセキュリティレベルが高く、かつ UPnP に対応していない NAT にも対応可能とするため STUN を用いた方式を提案する。

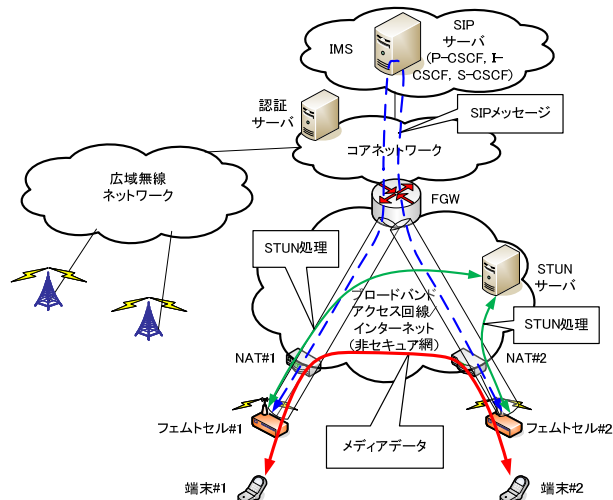


図5 提案方式のNATへの対応

図6に提案方式をNATに対応させた場合のセッション確立手順を示す。フェムトセル#1及びフェムトセル#2は、ネットワークに接続されるとDHCPなどの手順により、それぞれプライベートアドレスであるPrvtIP#1及びPrvtIP#2を取得する。続いて、FGWとIKEv2手順に基づきフェムトセルの認証及びIPSecを確立する。この手順の中で、P-CSCFとの通信のためにフェムトセル#1はTIAであるIP#A、フェムトセル#2はIP#Bを取得する。その後、端末#1の接続要求を受け、端末#1のメディアデータの送受信に用いるIPアドレス(PrvtIP#1)及びポート番号(PrvtPort#1)のNAT変換後のIPアドレス(GlobIP#1)とポート番号(GlobPort#1)を取得するためSTUN要求を送信し、STUNサーバよりこれらの情報を含んだSTUN応答を受信する。その後、フェムトセル#1はFGWとのIPSecを経由し、SIP REGISTERをP-CSCFへ送信してIMSへ端末#1(AT#1)を登録する。また、端末#1と同様に端末#2についてもフェムトセル#2を介してSTUN処理及びIMSへの登録が実施される。次に、端末#1が端末#2へ音声通信のために発信を行うと、フェムトセル#1はその発信信号をSIP INVITEへ変換し、P-CSCFへ送信する。このSIP INVITEのSDPフィールドには、STUN処理にて取得したNAT変換後のIPアドレス(GlobIP#1)及びポート番号(GlobPort#1)を設定する。また、同様にフェムトセル#2

からの200 OKに含まれるSDPフィールドには、NAT変換後のIPアドレス(GlobIP#2)及び(GlobPort#2)が設定される。このように、NAT配下に設置された場合においても、FGWを経由せずに直接フェムトセル間にてメディアデータを送受信することが可能となる。

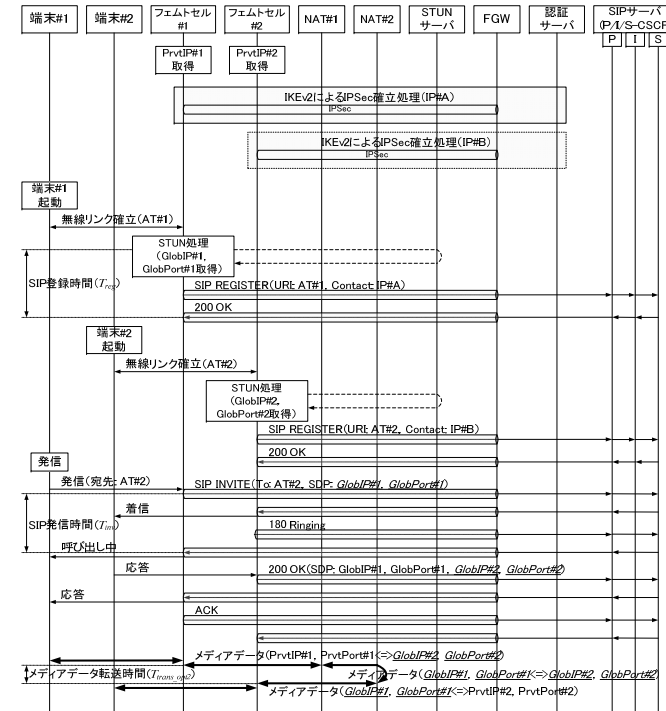


図6 NAT対応の提案方式のセッション確立手順

図6に示したNAT対応の提案方式において、NATにおけるアドレス変換処理時間を T_{nat} とすると、端末#1が接続しているフェムトセル#1と端末#2が接続しているフェムトセル#2間のメディアデータ転送時間 T_{trans_opt2} は次の式で表される。

$$T_{trans_opt2} = T_{btw_femto} + T_{femto_enc} + T_{femto_dec} + 2T_{nat} \quad (5)$$

4. 実装評価

4.1 実験システム

3章に述べた提案方式の有効性を検証するため、メディアデータの経路最適化機能を実装した Airvana 製の cdma2000 1X フェムトセルを用いて、図7に示す実験システムを構築した。実験システムの仕様を表1に、使用したフェムトセル及び携帯電話の外観を図8に示す。ここで、音声のコーデックには EVRC (Enhanced Variable Rate Codec)¹¹⁾を用い、平均 UDP パケット長 22 バイト、パケットの送信間隔は 20 ミリ秒とした。ネットワークは IPv4 で構築し、端末とフェムトセル間は高周波ケーブルにて接続した。また、FGW には認証サーバ機能を具備した strongSwan¹²⁾を用い、IMS を構成する P-CSCF、I-CSCF 及び S-CSCF には、NIST-SIP¹³⁾をベースに必要な認証や SIP ルーティング制御機能を盛り込んだ。さらに、FGW とフェムトセル#1 及び FGW とフェムトセル#2 の転送遅延 (T_{femto1_fgw} , T_{femto2_fgw}) を模擬するため、ルータ内に遅延エミュレータを動作させるとともに、FGW の処理負荷 (P_{fgw_sec}) の増大による処理遅延 (T_{fgw_enc} , T_{fgw_dec}) がパケット損失率に及ぼす影響を検証するため、strongSwan ベースの IPSec 負荷装置を 6 台配置し、3 台ずつ IPSec 負荷装置群#A と IPSec 負荷装置群#B に分けた。尚、図7に示す NAT#1 及び NAT#2 は、NAT 対応の提案方式の測定時のみルータとフェムトセル間に配置した。

表1 実験システムの仕様

装置 スペック	FGW, P/I/S-CSCF, ルータ, STUNサーバ	IPSec負荷装置	端末	フェムトセル	NAT
OS	Fedora Core 6 (ルータ: Fedora Core 4)	Fedora Core 7			
CPU	Intel Pentium IV/ 2.8 GHz	Intel Core 2/ 2.13 GHz	SANYO au E02SA	Airvana v.2.0.1.55	IO-DATA NP-BBRM
メモリ	2 GB	2 GB			
ネットワーク アダプタ	Intel PRO/1000MT	Intel PRO/1000MT			

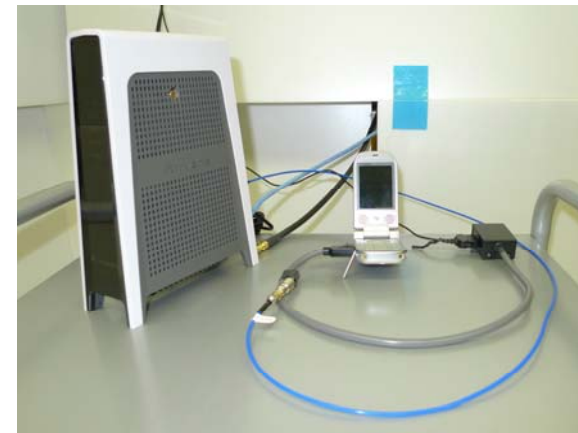


図8 実験に用いたフェムトセルと携帯電話

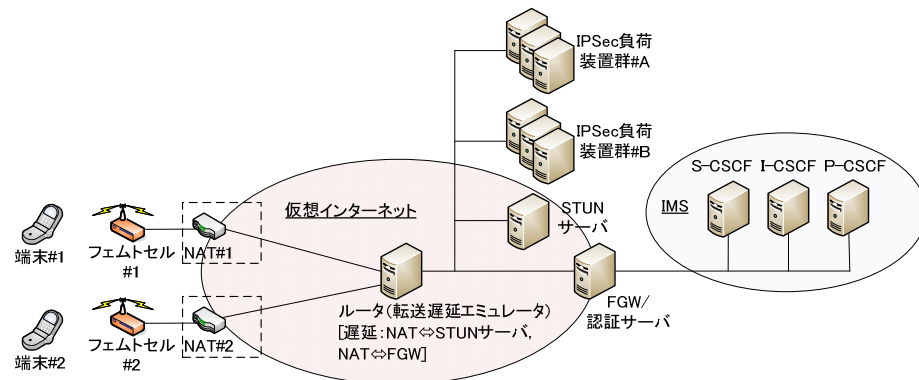


図7 実験システムの構成

4.2 測定結果

前節の実験システムにおいて、ルータ内の遅延エミュレータの遅延を 0 とし、IPSec 負荷装置なしの状態、端末#1 の SIP 登録時間 (T_{reg}), 端末#1 から端末#2 への発信時間 (T_{inv}), メディアデータ転送時間 (T_{trans_nonopt} , T_{trans_opt1} , T_{trans_opt2}) をそれぞれ 5 回測定し、その平均値を表2に示す。測定は NAT を配置しない場合と配置した場合についてそれぞれ実施した。尚、図2、図4及び図6に示した通り、SIP 登録時間とは、フェムトセル#1 が SIP REGISTER を送信してから 200 OK を受信するまでの時間とする。また、SIP 発信時間とは、フェムトセル#1 が SIP INVITE を送信してから 180 Ringing を受信するまでの時間とする。

表 2 処理時間 (エミュレータ遅延なし)

方式	時間 [ms]	SIP登録時間	SIP発信時間	メディアデータ転送時間
		T_{reg}	T_{inv}	T_{trans_nonopt} $T_{trans_opt1}, T_{trans_opt2}$
従来方式		100.74	2,398.13	0.25
提案方式 (NATなし)		104.32	2,512.23	0.03
提案方式 (NATあり)		114.11	2,432.87	0.22

次に、遅延エミュレータの片方向遅延を 0 から 200 ミリ秒まで 50 ミリ秒間隔で変化させ、それぞれ 5 回測定し、SIP 登録時間、SIP 発信時間及びメディアデータ転送時間の平均値を図 9 から図 11 に示す。図 9 及び図 11 にそれぞれ示した SIP 登録時間及びメディアデータ転送時間については、遅延エミュレータの遅延値に対して線形的な増加が確認された。一方、図 10 に示した SIP 発信時間については、一部の SIP メッセージに再送が見られ、線形的な増加とはなっていない。また、SIP 登録時間と SIP 発信時間については、SIP 発信時間の方がその交渉メッセージ数が多いため、遅延の影響を受けやすいことが確認された。尚、SIP 登録時間において、NAT が存在する場合の提案方式の方が、存在しない場合に比べて時間を要するのは、STUN 処理によるものである。メディアデータの転送時間については、標準方式では往復の転送遅延の影響を受けるのに対し、提案方式では NAT の有無にかかわらず遅延の影響を受けずに品質状態を維持することが可能であった。

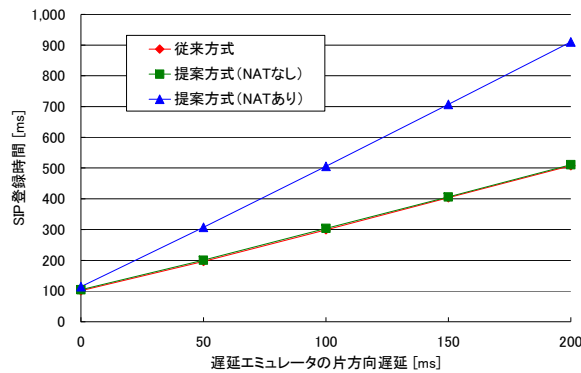


図 9 転送遅延に伴う SIP 登録時間

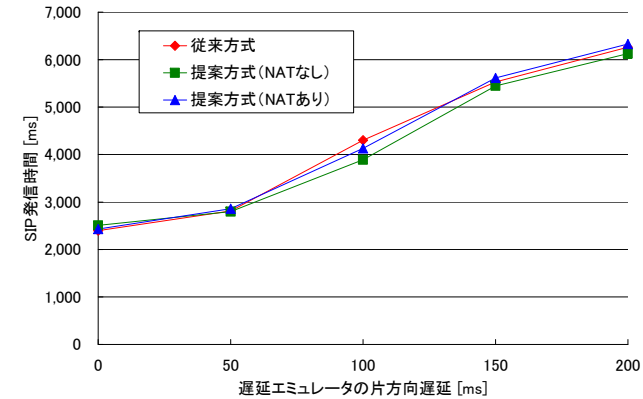


図 10 転送遅延に伴う SIP 発信時間

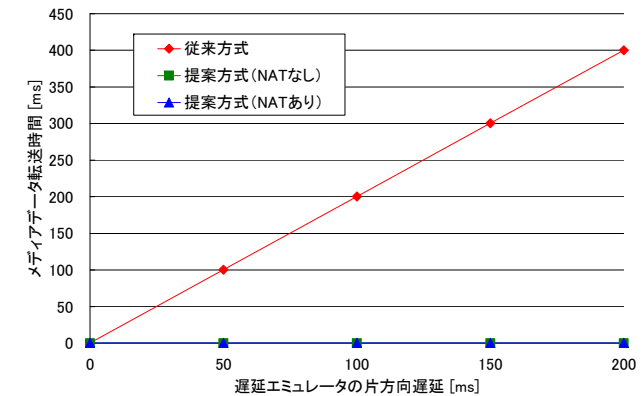


図 11 転送遅延に伴うメディアデータ転送時間

さらに、NAT なしの状態で遅延エミュレータの遅延を 0 とし、IPSec 負荷装置を動作させ、FGW の負荷増大に伴う端末間の音声パケットの損失率について検証した。測定は図 7 に示した IPSec 負荷装置群#A と FGW、並びに IPSec 負荷装置群#B と FGW の間で音声セッション確立数に応じた複数の IPSec を確立した状態で、それぞれの音声セッションに

対して IPSec 負荷装置群#A と IPSec 負荷装置群#B の双方から、22 バイトの UDP パケットを 20 ミリ秒間隔で送信した。尚、音声セッション確立数の増加に伴い、同一フェムトセルに端末が5台接続している環境を想定し、IPSec 負荷装置では1台あたり最大80のIPSecセッションと400の音声セッションを確立させた。測定はそれぞれ5回実施し、音声セッション確立数を200セッションずつ1,200セッションまで増加させ、端末間の音声パケットの損失率の平均値を図12に示す。測定結果より、提案方式ではFGWの負荷増大によるパケット損失が発生しないのに対し、標準方式では音声セッション確立数が800付近から大幅なパケット損失が発生し、1,000セッションでは20パーセント付近まで増加し、端末間の音声品質に大きな影響を与えることが確認された。

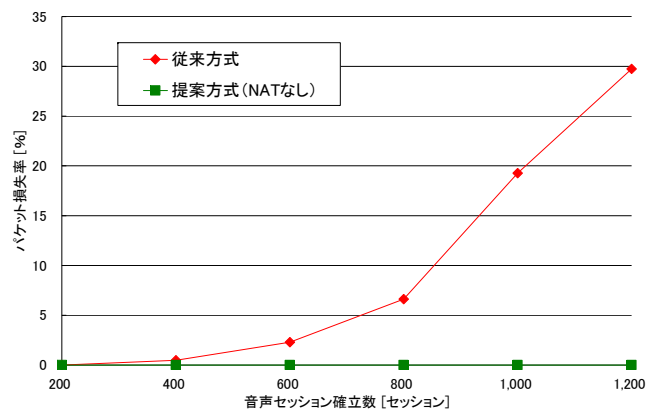


図12 FGWの負荷増大に伴うパケット損失率

5. 結論

本稿では、携帯電話の新しい接続形態として注目されているフェムトセルを用いた構成方式を精査し、FGW (Femto Gateway) を介した通信における品質面からの課題について提起した。本課題に対して、IP ベースの音声通信にて利用される IMS とフェムトセルを連携し、SIP メッセージは FGW を介してコアネットワークへ転送させながら、メディアデータについては FGW を経由せずにフェムトセル間にて直接送受信を行う方式を提案した。また、現在 ISP (Internet Service Provider) を介したインターネット接続で広く利用さ

れているプライベートアドレスを用いた通信環境にも対応するために、NAT が介在した状況でもフェムトセル間の通信を可能とする方式の拡張についても提案を行った。これらの提案方式を実機のフェムトセルを用いて実装評価を行い、その有効性について検証を行った。実験結果より、提案方式では、NAT の設置有無にかかわらず、メディアデータの転送時間を、標準方式と比べて大幅に低減することが可能であった。また、接続端末数と FGW で行われるパケットの暗号化・復号化に係る処理負荷に起因するパケット損失に関する実験結果より、FGW における処理負荷の観点からも提案方式の有効性が確認できた。

本研究において、実機フェムトセルの実装評価のためにフェムトセルの開発にご協力いただいた Airvana 社の皆様、および日頃ご指導いただく KDDI 研究所秋葉所長に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) Femto Forum, <http://www.femtoforum.org/>
- 2) V. Chandrasekhar, J. Andrews, and A. Gatherer, "Femtocell Networks: A Survey, IEEE Communication Magazine," p.59-p.67, September 2008.
- 3) 3GPP, "IP Multimedia Subsystem (IMS); stage 2 (Release 8)," TS23.228 V8.5.0, 2008.
- 4) J. Rosenberg, H. Schulzrinne, G. Camarillo et al., "SIP: Session Initiation Protocol," IETF RFC 3261, 2002.
- 5) 3GPP2, "Signaling Link Access Control (LAC) Standard for cdma2000 Spread Spectrum Systems," C.S0004-D v2.0, 2005.
- 6) 3GPP2, "Femto Network Overview and List of Parts (X.P0059-000-0)," work in progress, X50-20080721-015r2, 2008.
- 7) C. Kaufman, "IKEv2 Internet Key Exchange (IKEv2) Protocol," IETF RFC 4306, 2005.
- 8) M. Baugher, D. McGrew, M. Naslund et al., "The Secure Real-time Transport Protocol (SRTP)," IETF RFC 3711, 2004.
- 9) J. Rosenberg, J. Weinberger, C. Huitema, R. Mahy, "Simple Traversal of User Datagram Protocol (UDP) Through Network Address Translators (NATs)," IETF RFC 3489, 2003.
- 10) UPnP Forum, <http://www.upnp.org/>
- 11) A. Li, "RTP Payload Format for Enhanced Variable Rate Codecs (EVRC) and Selectable Mode Vocoders (SMV)," IETF RFC 3558, 2003.
- 12) strongSwan, <http://www.strongswan.org/>
- 13) NIST-SIP, <http://snad.ncsl.nist.gov/proj/iptel/>