

cdma2000 携帯電話システムにおけるアクセス回線の IP 化

Change to IP Backhaul in cdma2000 Radio Access Network

橋爪正浩 中村公彦 氏家慶一 David T. CHEN

Abstract

近年、VoIPに関する研究・製品開発の進展とIP電話の普及などにより、IP上での音声伝送の実用性が広く一般に認知されてきている。本稿では、cdma2000携帯電話システムにおいて、既存の携帯電話端末をそのままサポートしながら、無線基地局と制御局間のアクセス回線をIP化する方式を紹介する。具体的には、既存の物理回線をそのまま利用した上でより高い伝送効率を実現するために、RFCとして標準化された手法を中心に解説する。

キーワード：cdma2000, アクセス回線, 音声, IP

1. はじめに

携帯電話とこれを用いた様々なサービスの普及により我々のライフスタイルは大きく変化しつつある。国内外のほとんどの地域で、いつでも容易に音声通話やインターネットと連携したサービスが利用可能である。また、わずか数年でバンキング、ショッピング、マルチメディアコンテンツのダウンロードなど様々な付加価値サービスが普及してきており、その利便性は向上の一途をたどっている。一方、携帯電話が単なるコミュニケーションツールとしての枠を超え、社会インフラとしても重要視される状況において、地理的なサービスエリアの確保・拡充は事業者及び利用者にとって重要である。そうした中で第3世代携帯電話網は、固定電話網や第2世代携帯電話網に匹敵する広範なエリアを既にカバーしている。

cdma2000 携帯電話システム^{(1),(2)}は第3世代携帯電話システムの一つであり、その無線基地局は全国津々浦々に設置されている。無線基地局と制御局を結ぶアクセス回線は、ルーラル地域も含め地理的に広範なエリアをカバーするとともにライフラインとしての重要性から、可用性・信頼性・はん用性・経済性などのバランスに優れ

た伝送路を用いる必要がある。cdma2000 携帯電話システムでは、これらのバランスに優れたアクセス回線として1.5Mbit/sのT1回線が広く使われている。

cdma2000 携帯電話システムのアクセス回線において音声を伝送する際、音声フレームの形式や上位レイヤのインタフェースなどは標準化されているが^{(1)~(4)}、トランスポート以下のレイヤは実装の自由度が高い。ここにIP (Internet Protocol) を用いることで (図1)、他の選択肢より通話当りの設備・運用コストを低減できれば有効な選択肢となる。

cdma2000 携帯電話システムのアクセス回線にT1回線などのシリアル回線を使用する場合、IP化することにより約1.5倍の音声トラフィックを収容することが可能である。このための要素技術や音声をIPパケットで伝送する方法をRFCを含めて以下に解説する。

なお、現在の携帯電話端末はVoIP端末ではなく、無線基地局と制御局間でのみ音声のみがIPで伝送される。すなわち、アクセス回線のIP化は、携帯電話端末そのものに新たな実装 (すなわちVoIP化) を行うことなく、独立して実施することができる。

2. アクセス回線上の音声ストリーム

日本におけるcdma2000 携帯電話システムでは音声符号化方式として、可変速符号化方式であり雑音抑圧器を具備するEVRC (Enhanced Variable Rate Codec) が用いられている^{(1)~(3)}。EVRCを使用して符号化された音声は20msごとに2~22Byte、実際には下り方向は平均10.46Byte、上り方向は平均9.76Byteの情報量となり⁽⁵⁾、

橋爪正浩 KDDI株式会社 ネットワーク技術本部
中村公彦 KDDI株式会社 au商品企画本部
氏家慶一 正員 モトローラ株式会社ネットワークスビジネスジャパン
デビッド・チェン モトローラ・インク ネットワークス
Masahiro HASHIZUME, Nonmember (Mobile Network Development Department, KDDI Corporation, Tokyo, 102-8640 Japan), Kimihiko NAKAMURA, Nonmember (Mobile Terminal Development Department, KDDI Corporation, Tokyo, 102-8640 Japan), Keiichi UJIE, Member (Networks, Motorola Japan Ltd., Tokyo, 106-8573 Japan), and David T. CHEN Nonmember (Networks, Motorola Inc., Illinois 6004, USA).
電子情報通信学会誌 Vol.89 No.3 pp.267-271 2006年3月

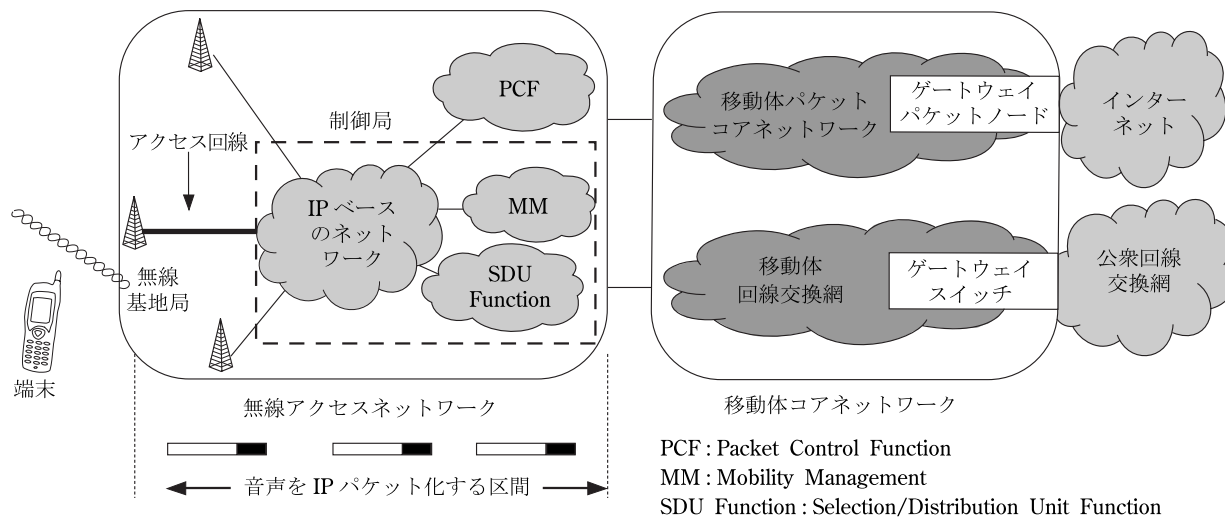


図1 cdma2000 携帯電話システム構成例

Message Type BH (1 Byte)	FPC/SLC (0.5 Byte)	FSN (0.5 Byte)	FPC/GR (1 Byte)	RPC/OLT (1 Byte)	Frame Content (1 Byte)	Air Interface Content Mask (1 Byte)	IOS Payload	IOS CRC (2 Bytes)
--------------------------	--------------------	----------------	-----------------	------------------	------------------------	-------------------------------------	-------------	-------------------

(a) 下り方向(制御局 → 無線基地局)

Message Type CH (1 Byte)	SHO Leg No (0.5 Byte)	FSN (0.5 Byte)	FQI (1 bit)	Reverse Link Quality (7 bits)	Scaling (2 bits)	PATE (6 bits)	Frame Content (1 Byte)	FPC:S (7 bits)	QIB/EIB (1 bit)	Air Interface Content Mask (1 Byte)	IOS Payload	IOS CRC (2 Bytes)
--------------------------	-----------------------	----------------	-------------	-------------------------------	------------------	---------------	------------------------	----------------	-----------------	-------------------------------------	-------------	-------------------

(b) 上り方向(無線基地局 → 制御局)

IOS Payload: EVRC を使用して符号化された音声

図2 音声フレーム

両方向の平均は 10.11Byte である。cdma2000 アクセス回線上では、その符号化された音声に 3GPP2 IOS (Interoperability Specification)⁽⁴⁾ に定められている 6 ~ 7Byte のヘッダ情報と 2Byte の CRC を付加し、20ms ごとに 10 ~ 31Byte、平均 18.61Byte (10.11+6.5+2) の音声フレームとして伝送する(図2)。この音声ストリームは通信速度に換算すると 4 ~ 12.4kbit/s となり、平均値は 7.44kbit/s 程度である。

cdma2000 携帯電話システムでアクセス回線に使用している 1.5Mbit/s の T1 回線は、DS0 (64kbit/s 回線) を 24 本多重化したものであり、通常、無線基地局の制御・監視用に DS0 を 1 本、残りを音声通話及びデータ通信のために使用する。音声ストリームは一つの DS0 上で 4 通話分を時分割多重して伝送しており、1 ストリーム当り 16kbit/s の帯域を占有する。1 本の T1 回線で伝送可能な音声通話数は、 $4 \times (24 - 1) = 92$ となる。T1 回線が持つ帯域に対する使用率を考えると、1 ストリームは約 7.44kbit/s 平均であるので 92 ストリームの場合約 684kbit/s となり、これは T1 回線の帯域の 44.6% である。

EVRC などの可変速符号化の場合、時分割多重よりもパケット化による統計多重効果を得る方が、1 本の T1 回線でより多くの音声通話を伝送することができる。音声のパケット化の代表的な技術には ATM/AAL2 があり、cdma2000 アクセス回線に適応する場合 1 本の T1 回線に 100 ~ 130 ストリーム程度を収容することができる⁽⁶⁾。他方、よりはん用的な IP (Internet Protocol)/PPP (Point to Point Protocol) を使用の方が実現に際しての機器選択の自由度が高く、システム構築に要する時間や経済性の面で有利である。

IP/PPP を cdma2000 の音声ストリーム伝送に適用する場合、リアルタイム伝送が必要であるので、パケットの損失やエラーにより再送を行わない UDP ストリームとして扱うことが妥当な選択である。ところが UDP と IP のヘッダ合計は典型的な場合で 28Byte でありペイロードである音声フレームよりも長くなる。このままでは回線に余り多くの通話を収容することができないが、RFC に準拠した UDP/IP ヘッダ圧縮と PPP フレームへのストリーム多重化により、ATM/AAL2 よりも多くの通話を収容することができる⁽⁷⁾。

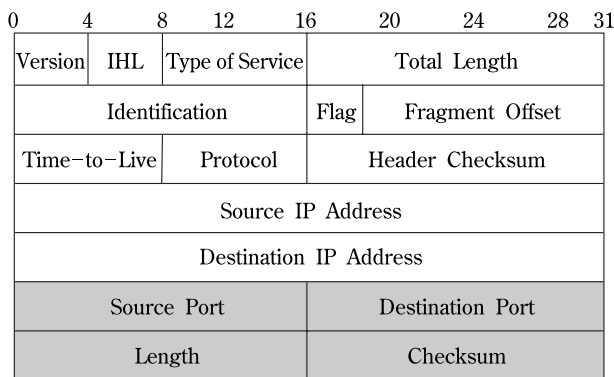
3. IP アクセス回線における音声フレームの伝送

3.1 UDP/IP ヘッダ圧縮

TCP/IP ヘッダ圧縮 RFC1144⁽⁸⁾, RFC2507⁽⁹⁾は低速なシリアル回線を使用するダイヤルアップ接続に広く使われてきた。また、マルチメディアストリームのための RTP (Real-time Transport Protocol) の標準化進展に伴い、同様な概念による RTP/UDP/IP のヘッダ圧縮 RFC2508⁽¹⁰⁾も開発された。RFC2508 においては RTP/UDP/IP 以外に UDP/IP のみの場合 (以下 cUDP/IP と称する) についても定義されている。cdma2000 IP アクセス回線では cUDP/IP を用いて通常 28Byte の UDP/IP ヘッダ (図3) を最小 2Byte へ圧縮している。

あるストリームの中で、ヘッダの大部分は変化せず、変化する部分も一定の法則に従い変化する場合がある。また Total Length などはリンクレイヤの情報から計算が可能である。RFC2508 ではこれらの点に注目し、更に T1 回線などビット誤り率が低く信頼性が高い媒体に適するよう考慮されている。

UDP/IP ヘッダは compressor にて圧縮され cUDP/IP ヘッダとなり、cUDP/IP ヘッダは decompressor にて必要な情報を欠落させることなく復元され UDP/IP ヘッダとなる。cdma2000 IP アクセス回線においてリンクレイヤには PPP を使用しており、compressor と decompressor は PPP を終端する装置に実装されている。ストリーム開始に伴い compressor は Source IP Address, Destination IP Address, Source Port 及び Destination Port から、そのストリームをほかと区別するために 8 または 16 bit の Context ID を付与する。Context ID は対となる compressor と decompressor の中で一意でなければならない。compressor は新しい Context ID を認識した場合、メモリ上に Context を作成し UDP/IP パケッ



※ 網掛け部分は UDP ヘッダ

図3 UDP/IP ヘッダ

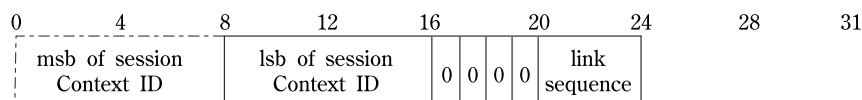


図4 cUDP/IP ヘッダ

トのヘッダを格納するとともに、そのパケットのヘッダを完全なまま圧縮せずにリンクレイヤへ送出する。完全なヘッダを持つパケットを受け取った decompressor は compressor と同じアルゴリズムで完全なヘッダから Context ID を計算し Context を作成する。この時点で対となる compressor と decompressor はそのストリームに対して同じ Context を持つ。以降、compressor は Context を使って一つ前のパケットのヘッダとの差分 (decompressor が計算可能な部分を除く) を、Context ID 及び同期ずれを防ぐための link sequence とともに cUDP/IP ヘッダとしてリンクレイヤへ送出する。cdma2000 IP アクセス回線における実装では一つ前と伝送すべきヘッダとの差分はないので、図4に示すように Context ID の長さにより 2 ~ 3Byte のヘッダとなる。cUDP/IP パケットを受け取った decompressor は、リンクレイヤからの情報と cUDP/IP ヘッダと保持している Context から UDP/IP ヘッダを復元し、また保持している Context を更新する。

リンクレイヤである PPP は、compressor または上位レイヤから受け取ったパケットが UDP/IP であるか、cUDP/IP であるか、またはほかの IP パケットであるかを対向するリンクレイヤの上位レイヤへ伝えなければならない。この情報提供手段は RFC2509⁽¹¹⁾に定義されている。

3.2 PPP フレームへのストリーム多重化

IP ストリームを T1 回線にて伝送する場合、リンクレイヤへの PPP 適用は一般的である。PPP in HDLC-like Framing⁽¹²⁾はインターネット、企業ネットワークなどで広く用いられており、cdma2000 IP アクセス回線においても使用している。PPP/HDLC フレームでは通常 5Byte のヘッダ (1Byte ずつの Flag, Address, Control, 及び 2Byte の Protocol) と 2Byte の CRC がそれぞれペイロードの前後に付加される。PPP 確立時のネゴシエーションで ACFC (Address-and-Control-Field-Compression) と PFC (Protocol-Field-Compression) を採用した場合、ヘッダは 2Byte に圧縮することができる。

音声ストリームは一つのパケットサイズが小さいので、複数の音声ストリームのパケットを一つの PPP フレームに多重化すれば、パケット当りの PPP ヘッダ・CRC の割合を少なくすることができる。RFC3153 PPP Multiplexing⁽¹³⁾では、PPP 確立時のネゴシエーションにおいて PPPMuxCP (PPP Mux Control Protocol) を使い、受信者から多重化 PPP フレームを受信できるかどうかを送信者に伝える。T1 回線は全二重の双方向伝送が可

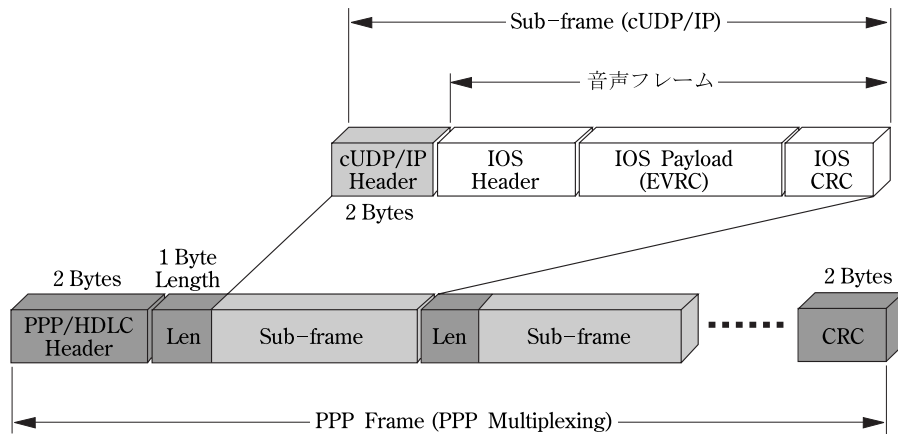


図5 PPP Multiplexing

能であり、この一連のネゴシエーションは伝送方向ごとに独立して行われる。なお、PPP Multiplexingにおいて、送信者は受信者にその能力がある場合でも多重化しないPPPフレームを送信することもできる。

T1回線の伝送効率を上げるためには、できるだけ多くのパケットをPPPフレームに多重化することが望ましいが、遅延は増加する。音声ストリームなどリアルタイム性が要求されるストリームの場合、伝送効率と遅延などの伝送性能との間にはトレードオフが生じ、PPP Multiplexingを実装する場合には、この点を考慮に入れる必要がある。

図5がPPP Multiplexingを使用した場合のPPPフレーム構成である。PPP/HDLC Headerは通常2～5Byte長であるが、ACFCとPFCを使用した場合2Byteとなる。LenはPFF (Protocol Field Flag) 1bitとLXT (Length Extension) 1bitとLEN (Sub-frame Length) 6または14bitから成る1～2Byte長である。Sub-frameがcUDP/IPのみであり、かつ63Byte以下である場合、PFF及びLXTは“0”となるので、LENは1ByteのSub-frame長となる。Lenに続くSub-frameはcdma2000 IPアクセス回線の場合あるストリームのcUDP/IPパケットであり、cUDP/IP HeaderにはそのストリームのContext IDが含まれる。このようにLenとSub-frameのペアを複数、すなわち複数のストリームのcUDP/IPパケットを一つのPPPフレームに多重化することができる。

3.3 伝送容量

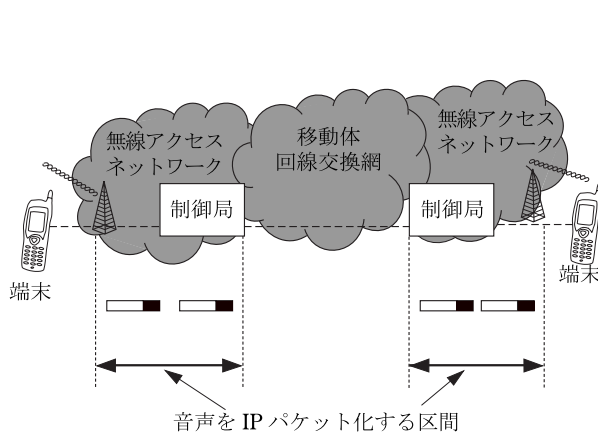
音声フレームは平均148.88bit (18.61Byte)であるのでcUDP/IPでは2Byteのヘッダが加わり164.88bitとなる。一例として7ストリームをPPP Multiplexingで多重化した場合、一つのPPPフレームはヘッダ16bit、Len 8bit及びcUDP/IP 164.88bit × 7ストリーム、CRC 16bitの合計1,242bitとなる。音声フレームは20msごとに発生するので、1秒間に50回PPPフレームを送送する必要があり、合計62,108bitとなる。物理レ

イヤではPPPフレームの中にFlag (01111110)と同一のビット列が出現しないよう、適宜“0”bitが挿入される。これにより余分に伝送される“0”はおよそ1.75%⁽⁷⁾である。これを加味すると、62,108bitは63,195bitとなる。これは7ストリーム分であり、20倍の140ストリームを送送する場合、必要なビット数は1,263,900bitとなる。T1回線の帯域は1,536kbit/sであるので、音声140ストリームは約82.3%の帯域を消費することとなり、T1回線の上を流れる無線基地局の制御・監視用に必要な情報などを考慮しても、これは実運用において十分実用的な値である。このように、cUDP/IPとPPP Multiplexingを使用することによって、ATM/AAL2よりも回線使用効率の良い伝送を実現することができ、IP化されていないアクセス回線と比較した場合約1.5倍のストリームを送送することが可能である。

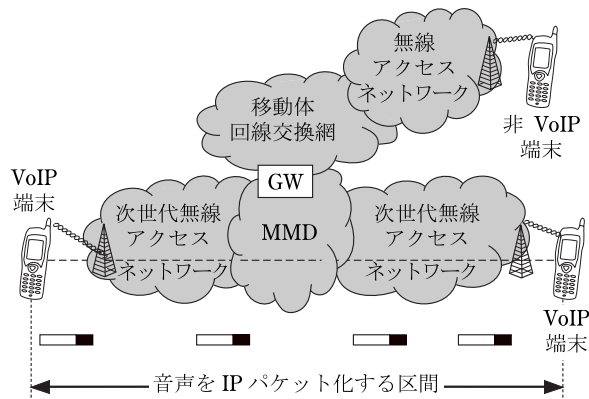
3.4 QoS

音声ストリームをIPで伝送する際、パケットの遅延・揺らぎ・損失は音声品質に影響を与える。cdma2000アクセス回線においてふくそうが発生したときなど、これらが著しい場合には音声ストリームの伝送処理にも影響し、通話の維持すら困難となる場合もある。そのため基本的にはIPアクセス回線上でのふくそうが発生しないように、無線基地局及び制御局側で発着呼の規制を行い、加えて制御・監視など音声に比べリアルタイム性を要求しないトラヒックの優先度を下げている。

PPP Multiplexingは複数ストリームを多重化して伝送するため遅延・揺らぎが懸念されるが、7ストリーム多重化する場合PPPフレームは平均1,242bit程度であり、T1回線への送出時間は1ms以下である。IPアクセス回線はふくそうしないように制御されるため、あるcUDP/IPパケットは次のPPPフレーム送付までの遅延はあっても基本的に破棄されることはなく、PPP Multiplexingによる遅延・揺らぎは音声フレーム間隔20msよりも十分小さくすることができる⁽¹⁴⁾。



(a) cdma2000 携帯電話システム



MMD : Multi Media Domain

(b) 次世代 cdma2000 携帯電話システム

図6 cdma2000 携帯電話システムと次世代システムの対比 (音声通信の例) IPによる音声通信が実現する。

次世代システムでは VoIP 端末両端でエンドツーエンドの

4. ま と め

本稿では、cdma2000 携帯電話システムにおいて基地局と制御局間のアクセス回線を IP 化し伝送効率を向上させるための要素技術について説明した。これらは既に実用化された技術であり、順次商用システムに適用されている。

第3世代携帯電話に加え、次世代 cdma2000 無線方式、無線 LAN、そして有線を含めた多様なアクセスを融合したネットワークサービスへの移行が検討される中、IP による伝送の重要性は普遍であり、今後のネットワークの大容量化や高速化の要求に資するため、本稿で述べた基本的な技術を更に発展させた形態 (図6)⁽¹⁵⁾について更なる研究開発が望まれる。

文 献

- (1) ARIB STD-T53, "CDMA cellular system ARIB STANDARD," Oct. 1997.
- (2) ARIB STD-T64/TR-T13 Ver.3.30, "IMT-2000 MC-CDMA system", March 2005.
- (3) TIA/EIA/IS-127, "Enhanced variable rate codec, speech service option 3 for wideband spread spectrum digital systems," Jan. 1997.
- (4) 3GPP2 A.S0015-C, "Interoperability specification (IOS) for cdma2000 access network interface-part5 (A3 and A7 interface)," March 2005.
- (5) A. DeJaco, "SMV capacity increase," Contribution to the 3GPP2 standard committee TSG-C number 3GPP2-C11-20001016, Oct. 2000.
- (6) D.T. Chen, "On the analysis of CDMA AAL2 backhaul voice efficiency," Communications World, pp.183-186, WSES Press, 2001.
- (7) D.T. Chen and I.N. Vukovic, "On the backhaul efficiency of 3G CDMA radio access network," RAWCON2002, pp.5-8, 2002.
- (8) V. Jacobson, "Compressing TCP/IP headers for low-speed serial links," IETF RFC1144, Feb. 1990.
- (9) M. Degermark, B. Nordgren, and S. Pink, "IP header compression," IETF RFC2507, Feb. 1999.
- (10) S. Casner and V. Jacobson, "Compressing IP/UDP/RTP headers for low-speed serial links," IETF RFC2508, Feb. 1999.

- (11) M. Engan, S. Casner, and C. Borman, "IP header compression over PPP," IETF RFC2509, Feb. 1999.
- (12) W. Simpson, "PPP in HDLC-like framing," IETF RFC1662, July 1994.
- (13) R. Pazhyannur, I. Ali, and C. Fox, "PPP multiplexing," IETF RFC3153, Aug. 2001.
- (14) D.T. Chen and I.N. Vukovic, "CDMA IP backhaul efficiency and practical considerations," CIC 2003, p.444, 2003.
- (15) 3GPP2 X.S0013, "All-IP core network multimedia domain," Feb. 2004.



橋爪 正浩

平5 北大・工・電子卒。平7 同大学院修士課程了。同年、国際電信電話(株)入社。以来、交換ネットワークの開発・設計に従事。平13より KDDI (株)にて、無線アクセスネットワークの開発に従事。現在、同社モバイルアクセス技術部課長補佐。



中村 公彦

昭55 京大・工・情報卒。昭57 同大学院修士課程了。同年、国際電信電話(株)入社。以来、国際IN等の交換ネットワークの開発・企画に従事。平12より KDDI (株)にて、無線アクセスネットワークの開発に従事。現在、同社移動機開発部長。



氏家 慶一 (正員)

昭53 宇都宮大・工・電子卒。昭55 同大学院修士課程了。同年(株)東芝入社。核融合実験炉用大容量サイリスタ電源制御系の開発に従事。モトローラ(株)入社後、無線LAN、CDMA方式携帯電話の日本導入、cdma2000システムの開発などに従事。現在、同社ネットワークスビジネス ジャパン、上級テクニカルスタッフ。



David T. CHEN

1988 National Taiwan University BSEE, 1993 Northwestern University MSEE, 1995 同大学 Electrical Engineering において博士号取得。同年 Motorola Inc. 入社。以来、携帯電話アクセスネットワークのパフォーマンス最適化、802.16WiMAX 開発などに従事。現在、同社ネットワーク アドバンスド テクノロジー、ディスティングイッシュド メンバー オブ テクニカルスタッフ。IEEE 会員。