

IP-based RANの実現に向けて

Migrating to IP-based Radio Access: Why, When, How ?

Lindsay Frost* Heinrich Stütgen*

リンゼイ フロスト ハインリヒ シュツットゲン

永田 淳** 武次将徳** 鬼頭英二**

Jun Nagata Masanori Taketsugu Eiji Kito

要 旨

移動通信では今後マルチメディアなどのデータトラフィックが大幅に増加すると予想されます。このため標準化団体ではデータ通信と親和性の高いIP-RANの検討が行われており、NECも柔軟性、経済性に優れた分離アーキテクチャの提案を行っています。IP-RANの実現に関してはVoIPの伝送効率が問題とされますが、シミュレーションを用いた考察により、IP-RANは現在のATM網上に構築されたRANよりも優れた構成にできることを示します。IP-RANは2006～08年頃、ネットワークを新規構築するためか、もしくは特定のエリアを改善したいと考えるオペレータによって、既存のネットワークを補完する技術として導入されていくと考えられます。

This paper gives an analysis of the technical and commercial advantages of IP-based RAN(IP-RAN), which improved delivery of multimedia services to the user. NEC proposes a distributed RNC architecture, which provides easier deployment, better scalability and higher availability, to the standardization bodies.

There are some questions about the transmission efficiency of VoIP over IP-RAN. By the simulation, we show the optimized IP-RAN can be configured to be more efficient than today's ATM transport network.

The operators would introduce such new technology to build the mobile network newly, or to upgrading their network for higher lodes in particular areas, in the 2006-08 timeframe.

1. まえがき

第3世代(3G)携帯電話のユーザを獲得し始めたばかりのモバイルオペレータは、なぜネットワークの改良を考える

べきなのでしょう？

現行のネットワークは、実績のあるGSMのアーキテクチャをもとに、回線交換による音声通話を主な用途として設計されています。しかし、近年ではデータトラフィックが音声トラフィックを上回る勢いで増加し、ほとんどのモバイルアプリケーションがインターネットとの接続を要求するようになってきています。また、多くの企業がギガビットイーサネットを採用し、MAN(Metro Area Network)はATM専用線より30～50%も安く、固定電話でさえもIPを利用するようになってきています。このようななかで、ATMとIPのネットワークコストや管理の容易さなどを比較すると、IP技術による新しいネットワークの構築が非常に魅力的な選択肢になってきています。

ではモバイルネットワークのインフラがIPへと置き換えることは可能なのでしょう？また、そのためにはどのような問題があるのでしょうか？それはいつ頃のことになるのでしょうか？

本稿ではモバイルネットワークのインフラとして、IP技術によりUTRAN(UMTS Terrestrial Radio Access Network)を構成したIP-RANについての考察を行います。

2. IP-RANの実現

最初にIP-RANによって意味されるものを明確にする必要があります。3G携帯電話の標準化団体である3GPPにおいては、少なくとも3つのバージョン(R'99, Rel4, Rel5)が議論されています。またよく一括りにされますが、それぞれ独立した3つの技術としてVoIP(Voice Over IP)、IPトランスポート(伝送路)、そしてDistributed Architecture(分離アーキテクチャ)があります。

2.1 VoIP

現在の3GPP-R'99ネットワークは、回線交換(Circuit Switch: CS)を用いた音声通話で効率が良くなるように無線プロトコルとトランスポートが設計されています。しか

* NECヨーロッパ
NEC Europe Ltd.

** モバイルネットワーク開発本部
Mobile Network Development Division

しそのようなネットワークではCSトラフィックとマルチメディアアプリケーション（テレビ電話、音声付ホワイトボード、マルチプレーヤーゲーム、Push-to-Talkなど）を同期させたり、統合的に扱うことは容易ではありません。したがって、パケット交換(Packet Switch: PS)ドメインで音声通話を行うためのVoIPは、IMS(IP Multimedia Subsystem)が導入されるRel-5以降の3GPPアーキテクチャで重要な役割を担うと考えられます。

もしVoIPを利用した音声通話が、伝送効率などの面からも魅力的であるならば、より多くの音声トラフィックがCSドメインからPSドメインに移行し、それによってIPトランスポートへの需要が高まるでしょう。

VoIPの伝送効率については第3章で詳細に述べます。

2.2 IPトランスポート

IPトランスポートは、すでにRel4のオプションとしてあるアイデアです。管理され、信頼できるIPネットワークが安価に利用可能な地域では魅力的な選択肢となりますが、これまでのところ誰も採用していません。オペレータが実績のあるATMインフラの使用を好んでいるからだと思われます。これはIPネットワークがさらに安く、より一般的になることにより必然的に変わるでしょう。

2.3 Distributed Architecture

ATMはスイッチ型、IPはルーティング型のネットワークです。すなわちATMはあらかじめ設定された帯域幅とプライオリティを保證するのに対して、IPはある個所の障害に対して耐性を提供することができる、という違いがあります。さらに重要なことは、IP技術を使用することによってRNC(Radio Network Controller)をモジュール化するための再設計が非常に容易になるという点です。このことはIP-RANに関する議論の中心となっています。

RNCのモジュール化としては、シグナリングを扱うRCS(Radio Control Server)と、トラフィックを扱うUPS(User Plane Server)という装置に分離することが考えられています。このような装置分離案、およびその長所はIP技術を用いたメディアゲートウェイとゲートウェイコントローラの例としてよく知られています。各装置に機能をどのように配分するかについては現在3GPPにおいて議論の途中ですが、現行のRNCよりも柔軟性が必要とされることでは合意されています。

図1に現在考えられている機能分離の2つの案を示します。このうちNECは曲線で表される分離案を推奨しています。この案では、RCSはページングや無線チャネルの切り替えなどの無線リソース管理を扱い、UPSはセルごとの無線インタフェースの終端を行います。このように機能を配置することで、各セルの独立性が保たれ、さらにシグナリングの分離により制御系と伝送系をおのおの個別に最適化することができます。

Distributed Architectureには、ユーザトラフィックを扱う装置(UPS)を図2のように地理的に柔軟に配置することが

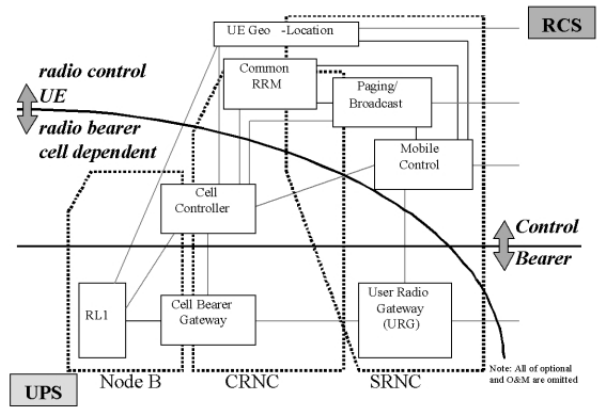


図1 RNCの機能分離案

Fig.1 Possible separation of RNC functionality into UPS and RCS.

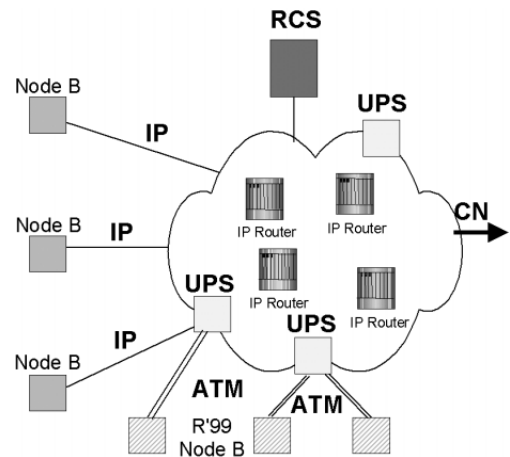


図2 IP-RANのネットワーク構成

Fig.2 Backward-compatible IP-RAN architecture.

できるという長所もあります。UPSをNode-Bの近くに配置することにより、無線プロトコルによって多くのオーバーヘッドが付加された無線パケットをわざわざ遠く離れた「集中管理」のRNCに送る必要がなくなります。さらにソフトハンドオーバーのためにマクロダイバーシティ状態にあるUEとの間で送受信される冗長トラフィック（一般に全トラフィックの約30%とされています）も近くのUPSで処理することができます。これらの効果により、バックホールネットワークのなかでUPSを通過したトラフィック量は約半分にまで減少すると考えられます。

また各装置が小規模で安価であるため、特別に負荷の高いエリアの改善がより経済的に行えるようになります。さらにRCSの複数配置によってシグナリングも分散することが可能になれば、接続処理の遅延が減少するとともに、致命的な障害のリスクも回避することができます。これらの要因も総合すると、都市間バックホールネットワークは2倍以上も効率的に活用できるようになると考えられます。

さらに進んだIP-RANの構成としてUPSの機能すべてを

Node-Bに統合してしまい、ネットワークをシンプルにするという提案もあります。今はまだ何千もあるNode-Bのすべてをそのような複雑な装置にすることは現実的ではありません。しかし将来的にはワイヤレスLANのアクセスポイントのような「インテリジェントNode-B」が登場するかもしれません。

図2では現在のネットワークからのより現実的なマイグレーションとしてUPSがR'99ネットワークと互換性を持つことを示しています。ただし、この図はどのノードをどこに配置しても良い一般的なIPネットワークとは多少異なります。なぜならば3Gネットワークのページングの制約により、Node-Bはあらかじめ設定された1つのUPSによって制御されなければならないため、関係が決められてしまうからです (Node-B : UPS = n : 1)。これは現行のネットワークでのNode-BとRNCの関係も同様です。しかし今後、複数のUPSで分散して1つのNode-Bを制御することが可能となれば (Node-B : UPS = n : m)、RNCがすべてを集中管理している現在のネットワークよりも、耐障害性や負荷分散にすぐれた構成にすることもできます。

このようなネットワークには特別なトポロジーは仮定されていません。「スター型」や「バス型」だけでなく、「マルチリング型」のMANや「メッシュ」トポロジーなども容易に利用することができます。

ではユーザはIP-RANによってどのような恩恵を受けるのでしょうか？オペレータが現在のネットワークに過度の負担をかけていないかぎり、初めのうちはほとんど変化を感じないでしょう。

しかし建物内のカバレッジを改善するためにオペレータがこの新しい技術を使用したときに、ユーザは明らか良くなった通信能力や呼損の少なさなどを感じることができるようになります。そして、ATMトランスポートでの回線交換によって音声通話を提供し続けるオペレータでは、マルチメディア通信において不十分なパフォーマンスしか得られないことに気付くでしょう。

3. IP-RANの伝送効率

将来的にはマルチメディア通信が主流になりますが、今後しばらくは音声通信が収入の多数を占めると考えられます。したがって音声を扱う場合においても、IP-RANの伝送効率がATMトランスポートよりも著しく悪くはならないように考慮されなければなりません。

ここではPS (IP) でのVoIPを、CS (ATM) での音声トラヒックと比較してみます。結論から先に言えば、最適化されたVoIPは、現在のATMよりも効率的となります。

現在、3G携帯電話では音声に12.2kbpsのAMRコーデックを使用しており、端末で有音時に244ビット (Octet align後、31バイト)、無音時には39ビット (同5バイト) のパケットが20msごとに生成されます。

VoIPで同じ31バイトの音声ペイロードを運ぶためには、

IPヘッダー圧縮技術 (Robust Header Compression : RoHC) を使用しない場合、約52,000bpsの帯域幅が必要になります (3GPP-TR34.128準拠のPS RABの設定で、IPv6, RTP/RTCP使用)。これはATMの支持者が、「VoIPは使い物にならない」と結論を下す理由でもあります。

しかしIub上では現状のままRoHCを使用することができ、それにより帯域を約38,000bpsに減らすことができます。さらにモバイル端末にRoHCを実装し、無線インタフェース上でも適用可能になると、約17,000bpsまで帯域を縮小させることができます。ただしこの値はRTPの制御部分であるRTCPが不用意に生成されると、著しく増加してしまいます。そのためオペレータはネットワークのなかでRTCPがどのように生成されるか注意する必要があります。

さらに話はこれで終わりではありません。多数のユーザからのランダムな到着間隔の音声パケットを多重する場合、すべての帯域幅が常に使用されているわけではないからです。多くのATMネットワークでは正しい設定が分からないか、もしくは容易ではないため、AAL2に統計多重化が許可されていません。しかしIPネットワークでは統計多重化は生来の基本的なものです。したがって、現在のATMネットワークの設定でE1リンクの使用率が「飽和する」のはほぼ138ユーザ (=2048×1024/15200) と考えられますが、IPネットワークでは200以上のユーザを受け入れることができます (図3参照)。

図3にVoIPのユーザ数とE1リンクの使用率の関係を示します。ここでは各ユーザの有音率を50%と仮定しています。またNode-BとUPSの間のIPネットワークでは最大20msまでの遅延を許容することを仮定していますので、それより遅れたパケットはバッファあふれなどにより廃棄されることとなります。このようにして失われたパケットの割合を図3の右側の図に示します。この割合は図のようにE1リンクの使用率が90%以上になると急激に増加します。またRoHCが完全に実装された場合は、劇的な効果があることが分かります。

この結果をATMネットワークの結果と比較する場合、有音率は半分以下であるにもかかわらずATMでは常に完全な帯域幅を確保してしましますが、IPでは未使用の帯域を他のパケットが使用できる、ということも考慮しなければなりません。したがってこれでは「同一条件での比較ではない」と思われるかもしれません。しかしAAL2に統計多重化が行われていない以上、この結果が、各システムが「実際に」運ぶことのできる能力の比較となります。

当然ですが、E1リンクへ230人近いVoIPユーザを受け入れれば、ある程度のパケットロスが発生します (図3では約1%)。しかしVoIPアプリケーションのテストでは、数パーセントのランダムなパケット損失はユーザに影響を与えないことが示されています。なぜなら、この程度の損失では、すべてのIPヘッダーを再送する必要がある非常に重要なRoHCパケットが失われる可能性は0.01%未満にしか

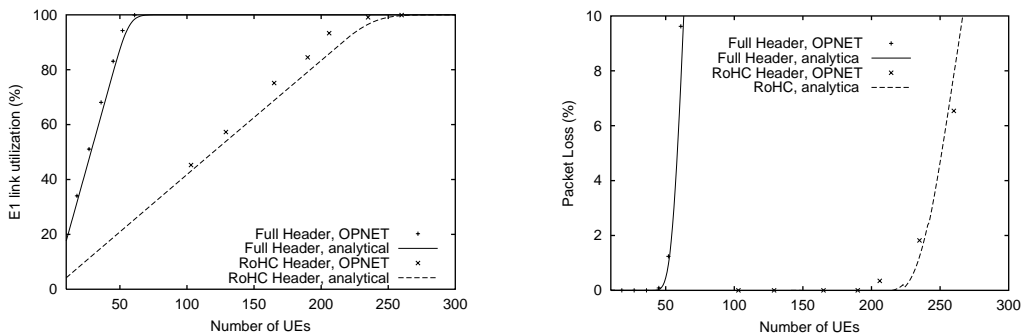


図3 VoIPのユーザ数とE1リンクの利用率およびパケット損失の割合

Fig.3 Filling of E1 2048 kbps IP link by increasing number of VoIP users (UE), assuming (a) worst-case header lengths and (b) full RoHC. Simulated using OPNET (symbols) and analytical expression (lines).

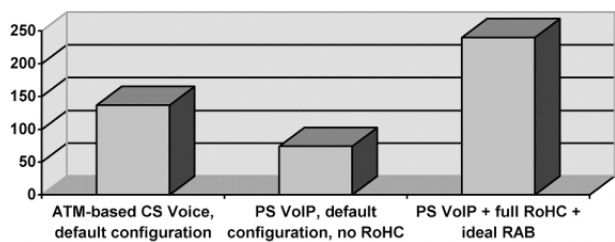


図4 E1リンクで許容可能なVoIPチャンネル数の比較

Fig.4 Approximate number of voice channels in E1 link, for different technologies.

ならないからです（このパケットが失われると、あきらかにユーザが知覚できる120ms以上の中断が生じます）。RoHCがなければE1リンクでは74ユーザ程度しか許容できません。したがってVoIPにRoHCが不可欠のものであることは明らかです。

以上をまとめて、図4にE1リンクで受け入れることのできるユーザ数の比較を示します。

ATMはまだ改善することができます。しかし結論として、私達の提案するIP-RANは、データ通信だけでなく音声通話においても、少なくとも現在のATMネットワークより効率の良い構成にできると考えます。

4. IP-RANへのマイグレーションシナリオ

オペレータにとってはどのようなIP-RANへのマイグレーションが最適なのでしょう？それは以下のようなオペレータの分類によって異なります。

- (a) 現在R'99ネットワークを保有しているオペレータ
- (b) これから新たにネットワークを構築しようとしているオペレータ
- (c) 建物内などの特別なエリアにサービスを提供、または改善しようとしているオペレータ

これまでに述べた利点を考えれば、IP-RANを導入するために適しているのはATMインフラなどの既存のネットワークを持たない「新規参入オペレータ」です。とくにMAN

などのネットワークが安価に利用可能なある程度発展した国が最適です。これは一般的に現在ライセンスを持っていないヨーロッパ諸国の多くに当てはまります。これらの国々ではすでにユーザはマルチメディアやデータ通信を使用する準備ができています。

これと対極にあるのが、たった今R'99のネットワークを整備したばかりの既存の3Gオペレータです。彼らはデータ通信のトラフィックが大幅に増加しないかぎり、現在のネットワークを効率的に利用したいと考えるはずで、おそらく彼らが最初に新しい技術を使用するのは、空港、ショッピングセンター、オフィスビル、ホテル、あるいは駅などのような狭い範囲に人が集中するエリアとなるでしょう。このような場所では既存のIPインフラが整備されている可能性が高く、また小規模な装置であるRCS/UPSはコスト的にも有利であるため非常に魅力的だからです。

このようにIP-RANは大規模な既存のネットワークのなかに小さな「スポット」として組み込まれ、統合されていく形で発展していくものと予想されます。

では既存のR'99インフラがIP-Node-B (R'99Node-B+UPS) やIP-RANに置換わるのはいつ頃になるのでしょうか？

それはR'99のNode-Bの寿命が尽きたときや、修理と比較して置換のほうが経済的であるとき、あるいは現在のNode-Bの設計上の限界を超えるような改良が必要となったときだと考えられます。特に1つのUPSで制御可能なエリアのNode-Bすべてを同時に交換可能となったときに有力です。

ただし、新しいUPSのエリア内部から、それを囲む既存のNode-Bへのハンドオーバーは、現行ネットワークのRNC-RNC間と同様のシグナリングオーバーヘッドが必要になるかもしれません。したがってユーザがほとんど「境界」にいないようにエリアを設計することが重要です。

まとめると、IP-RANへのマイグレーションは、建物内などの人々が集中する場所や、既存のネットワークが設置されていない特定のエリアなどを「スポット」的にカバーすることから始まると考えられます。

5. 今後の課題

標準化団体においてIP-RANに関するオペレータやベンダーの合意が得られるまでには、まだかなり長い道のりがあります。たとえば、図1に示されたRNCの分離に関するいくつかのアイデアの間にも数多くのトレードオフがあります。したがって3GPPでは辛抱強く標準化を進める必要があります。オペレータが関心を示すのは、おそらく彼らがR'99ネットワークのキャパシティを心配し始めたときだと思います。しかし彼らの興味を引かなければこれらの努力は無駄に終わってしまうでしょう。

VoIPのための重要な要素であるIMSはRel-5で部分的に導入されるでしょうが、ユーザがその魅力に對価を払っても良いと気づくまでには多少の時間がかかるかもしれません。不幸にも、その機能が「凍結」されたRel-5のなかでさえ、SIPのシグナリングの最適化についていまだに議論が行われています。このことがSIP対応のモバイル端末の導入を遅らせてしまうかもしれません。

さらに、最終的な問題はワイヤレスLANとの相互接続に関するものです。建物内部や都市部などのIP-RANを導入するために最適なエリアは、ワイヤレスLANのホットスポットにとっても最適な場所です。したがって相互接続の必要性は非常に重要です。しかしこれを達成するためには3GPPにおいてまだ多くの仕事が必要となります。

6. むすび

IP-RANはネットワークの導入・維持のコストを低減するために非常に有効です。しかしすでにATMネットワークを保有しているオペレータは、既存の設備を最大限に活用したいと考えるでしょう。そのためIP-RANの導入を急ぐことはしないと思います。

IP-RANの導入に対する要求は、都市部で人が集中するようなデータ通信量の多い場所から高まっています。しかしIMSを使用するモバイル端末の普及の遅れが、IP-RANの導入を促す圧力を減少させてしまうことを考慮しておかなければなりません。

筆者らは、IP-RANの商業的な利点は2006～08年の間に顕著になり始めると考えています。したがってオペレータは事前に試験を行っておく必要があります。またベンダーはそれまでに準備しておかなければならないと考えています。

謝 辞

図3および図4はX.Perez, J.Noguera, A.Banchs各氏の研究成果をもとに作成されました。また各氏には本稿の執筆にあたっての助言もいただきました。ここに感謝いたします。

* この論文は、ITU TELECOM WORLD 2003に投稿された論文を基に作成したものです。

筆者紹介



リンゼイ フロスト
Lindsay Frost 1999年、NEC入社。現在、NEC Europe Network Laboratories Heidelberg Laboratories, 3G Technologies group, マネージャー。



ハインリヒ シュツットゲン
Heinrich Stüttgen 1997年、NEC Europe Network Laboratories Heidelberg Laboratories設立。現在、NEC Europe Network Laboratories Heidelberg Laboratories, ジェネラルマネージャー。



Jun Nagata
ながた じゅん
永田 淳 2002年、NEC入社。現在、モバイルネットワーク事業本部モバイルネットワーク開発本部勤務。



Masanori Taketsugu
たけつぐ まさのり
武次 将徳 1988年、NEC入社。現在、モバイルネットワーク事業本部モバイルネットワーク開発本部技術マネージャー。



Eiji Kito
きとう えいじ
鬼頭 英二 1987年、NEC入社。現在、モバイルネットワーク事業本部モバイルネットワーク開発本部部長代理。