

モバイルコミュニケーションメディア: 現在と未来

荻藤 稔† 堀越 力† 高畑 実† 福本 雅朗†

† NTT ドコモ マルチメディア研究所
239-8536 横須賀市光の丘 3-5
E-mail: †etoh@ieee.org

あらまし ブロードバンドモバイル網の進化, 携帯端末の汎用プラットフォーム化・パーソナルゲートウェイ化, パーソナルエリアネットワークの登場, 携帯・装用視聴デバイスの進歩が相まって, パーソナル化された高レート・高臨場の音声・音響メディアと画像メディアが今後登場することを予見する. さらに, ブロードバンドモバイル網によりモバイル版 Web2.0 や遠隔操作等の新しいアプリケーションが出現する可能性を指摘する.

キーワード ハイファイオーディオ・ビデオ, ワイヤレスブロードバンド, 装用デバイス, UWB, モバイル Web2.0, 遠隔制御

Mobile Communication Media: Present and Future

Minoru ETOH†, Tsutomu HORIKOSHI†, Minoru TAKAHATA†, and Masaaki FUKUMOTO†

† Multimedia Laboratories, NTT DoCoMo
3-5 Hikarionoka, Yokosuka, 239-8536
E-mail: †etoh@ieee.org

Abstract We predict that HiFi audio and video communications will emerge as future mobile multimedia applications with sensation of augmented reality. Fostering environments are broadband mobile networks, generic cell-phone platforms as personal gateways, personal area networks, and wearable/portable audio-playback and video-display devices. We also suggest that the broadband mobile networks will foster new broadband applications such as mobile Web2.0 and remote control ones.

Key words HiFi audio and video, Wireless broadband, Wearable devices, UWB, mobile Web 2.0 applications, remote control

1. はじめに

第3世代セルラーネットワーク^(注1) (3G 網) の時代に入り, 携帯電話の機能は飛躍的に進化を遂げた. 2000 年までは携帯電話は一対の話し手による電話が主な応用であったが, i-mode に代表されるインターネットのウェブ閲覧, 電子メール交換サービスが携帯電話に導入されることにより, 携帯電話が情報端末となった. 時期を同じくして, 3G 網の 64kbps 回線交換によるテレビ電話を皮切りに, 映像・音声メッセージ送受信, インスタントメッセージの応用, ニュース映像やスポーツのハイライトシーン, 映画の予告編, 音楽ビデオなどのコンテンツ配信を行うサービスが立ち上がり, 図 1 に示すように第3世代以降のセルラー網 (3.5G 網) の整備もあって, モバイルマルチメディア

サービスが一般化した [1]~[4].

さらに 2003 年頃より携帯電話は非接触 IC や赤外線インタ

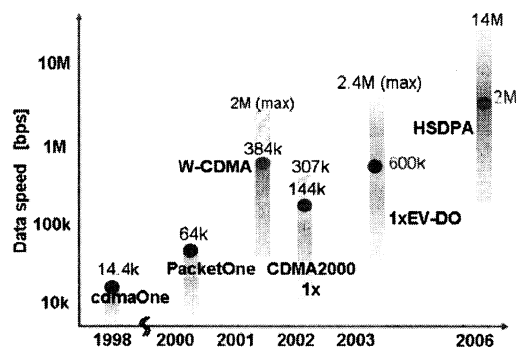


図 1 日本におけるセルラー網の速度向上

(注1): 本稿では, 高速ハンドオーバーを保證する“セルラー網”と WiFi/WiMAX を含めた一般的な意味での“モバイル網”を区別して用いる.

フェースが装着され、端末による本人認証や電子マネー支払い、外部機器操作が行える生活道具となりつつある。今、携帯電話は単純な電話から、インターネット端末、生活端末へとその利用形態を変えようとしている(図2)。

本稿では、このような携帯電話の利用の枠組み進化の中で、人間同士のコミュニケーションメディアに注目して、近未来の姿を議論する。これまで、モバイルにおけるコミュニケーションメディアの多くはインターネットでのキラーアプリケーションをダウンスケールして携帯電話の世界に移植するという形で発展してきた。電子メールやWebアクセスはその例である。一方で、携帯ならではのコンテンツがあり、その音声・画像の視聴方法も発展していくものと思われる。視聴デバイスのパーソナル化、常時接続・携行という新たな環境から新たなインタフェースが生まれると予想され、インタフェースの発展により新たなコミュニケーション形態が生まれるであろう。新たなコミュニケーション形態の予測は難しいが、本稿ではこの視点をまず紹介したいと思う。続いて旧来のメディアである音響、画像についてブロードバンドモバイルの観点から解説する。さらに、コミュニケーションメディアとしては、文字・音声・画像に加えてTangible Bits[5]にあるような触覚・力覚も範疇に入れて考えたい。人間同士のコミュニケーションにおいては、手が感じる触覚の果たす役割も大きい。ここでは、単に“触れる”だけではなく、遠隔介護など“操作する”こともコミュニケーションの一つとして捉え、研究の方向性を議論する。

2. これから何が変わるのか

セルラー網のブロードバンド化の潮流は変わらない。これと端末のプラットフォーム化、周辺デバイスの進展、ライフスタイルの変化が新たなアプリケーションを拓くものと思われる。

2.1 ワイヤレスブロードバンド化とIP統合網の出現

セルラー網とWiFi/WiMAXの組み合わせ、さらなる高速無線アクセス方式の登場により、モバイル網のブロードバンド化は確実に進展するものと思われる。表1にセルラー網のブロードバンド化の流れとPersonal Area Network(PAN)およびLANの能力を示す(表中Super3Gについては文献[6]参照)。伝送速度だけでなく遅延時間も重要な性能指標である。実際のレイヤー2およびレイヤー3の packets 伝送遅延時間については実装依存の部分があるので、ここでは示していないが、



図2 携帯電話の役割進化

表1 ワイヤレスアクセスの進化

		WCDMA (R99)	CDMA2000 (1xEV-DO Rev.A)	HSDPA/ HSUPA	WiMAX (802.16e)	Super3G
周波数帯域		5MHz	1.25MHz	5MHz	1.25~20MHz	5~20MHz
ピーク速度	下り	384kbps (2Mbps)	3.1Mbps	14Mbps	~75Mbps	30~100Mbps
	上り	384kbps	1.8Mbps	4Mbps	~75Mbps	
		ZigBee (802.15.4)	Bluetooth 1.1/2 (802.15.1)	Bluetooth 2.0 (802.15.1)	802.11 b/g/a	UWB (802.15.4a)
周波数		(968M, 915M) 2.4GHz	2.4GHz	2.4GHz	2.4GHz/5GHz	3.1G~10.6GHz
伝送速度		~250kbps	~720kbps	~2.1Mbps	~54Mbps	~480Mbps

Voice over IP (VoIP) が十分実現できる性能に達していると考えてよい。

以上の無線アクセス方式の多くは2010年をめどに実現され、今後のネットワークは広域高速移動に対しても常時接続を保障するのセルラー網と他の高速ワイヤレス網を組み合わせ、さらにPANを利用して相補的なモバイル網が構成されていくものと思われる[7], [8]。ネットワークのトランスポート層はIPで共通化され、音声(電話)・データ・映像通信を1つのIPネットワーク上で提供・運営する方向でネットワークが統合されていくことになる(注2)(図3参照)。

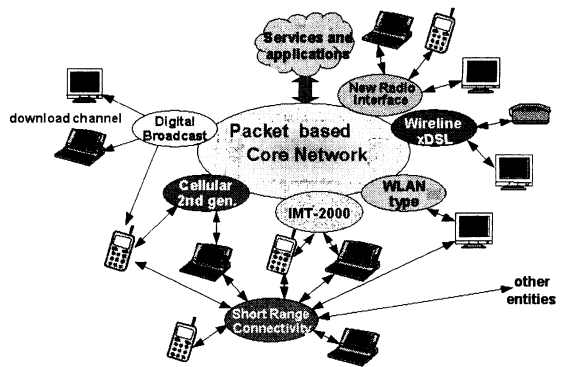


図3 ワイヤレスアクセスのIP統合[7]

2.2 パーソナルゲートウェイとしての携帯

これまで携帯電話は情報流通の終端であり、“端末”であった。そこには「受話器型の端末に全てを詰め込む」というAll-in-One方式が最良との仮定がある。一方で、視聴できるメディアにもスケール限界があった。ここで一つの仮説を立てたい。それは全ての機能を一台に詰め込むのではなく、使用するメディアの性質やユーザの嗜好に合った入出力デバイス(=インタフェース機器)を組み合わせる使用形態が今後モバイルマルチメディアの主流になるという仮説である(図4)。携帯端末は端末ではなくゲートウェイとなる(図中Personal Gateway)。これはディスプレイやキーボードを持たない単なる箱であり、ポケットや鞆の中に入れてばなしでユーザが直接操作することは無

(注2)：モビリティ、認証課金を含めたIP統合の方法が課題である。密結合v.s.疎結合[9]など様々な技術課題があるが本稿では議論しない。

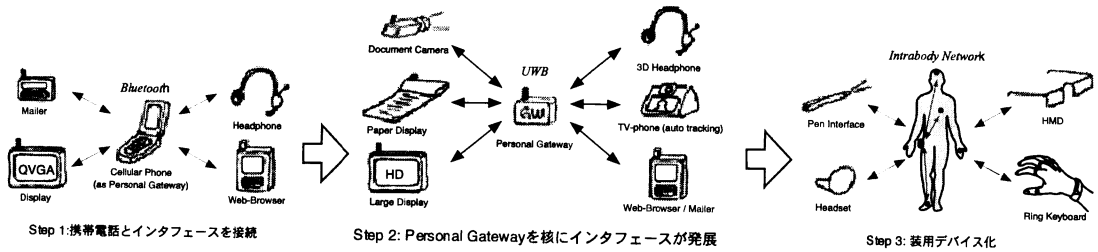


図4 端末からパーソナルゲートウェイへ

い。箱の中身はブロードバンドモバイル網との接続機器，インタフェース機器との通信用の局所ネットワーク機器，そして電話番号や各種アカウントなどのユーザ情報である。ユーザはこれに加え，個々人の必要に応じて様々なインタフェース機器を組み合わせるようになる。小型の機器を身につけ，常に使える状態で24時間生活する「ウェアラブル」な世界は，携帯情報機器の究極の目標と言える。さらに，従来の機器を単に小さくするのは無く「装着して生活できる」ことを前提にした，全く新しい構造も考えられる(図4 Step3)。これらのインタフェース機器とパーソナル・ゲートウェイの間はUWB・Bluetooth・Zigbee等のPANで結ばれる。中でもUWB[10]はWireless USBとして既存のコンピュータシステムと親和性の高い論理インタフェースを提供でき，今後のブロードバンドメディア視聴を可能とするPANとして期待される(注3)

2.3 新たなコミュニケーション形態

DEC社PDP/VAXシリーズの伝説的アーキテクトであったGorden Bellは，シリコンバレーにあるマイクロソフトの研究所にて，MyLifeBitsというプロジェクトに参加している[11]。MyLifeBitsは2001年にPC上の個人データをアーカイブすることからスタートし，現在はGorden Bell個人の生活を例として，人が一生のうち出会うデータ全てをデジタル情報としてアーカイブしようとするプロジェクトとなっている。記録されるデータには，Eメール，閲覧したWebページ，これまでの著作，Gorden Bellが聞いた会話，見た風景等が，一ヶ月で約1GByteのペースで，デジタル記録されている(図5)。

このために，図6に示すような装着デバイスも用いられている。マルチメディア関連では，以下のようなデータが収集されている。これらのデータは構造化データベースに保管され，後に検索やデータマイニングに使われる構想となっており，特定のアプリケーションは想定されていない。

- 静止画 : 500万画素, 1000枚/日の記録。
- ビデオ : 視聴したテレビ番組, 平均4本/日, 2GB/hour
- オーディオ : 聴いた会話すべて 1KB/s品質。

以上のアイデアはRhodesにより先に提案され[12]。常時装

(注3)：但し，セルラー網との同時利用には電波干渉の問題が解決される必要がある。

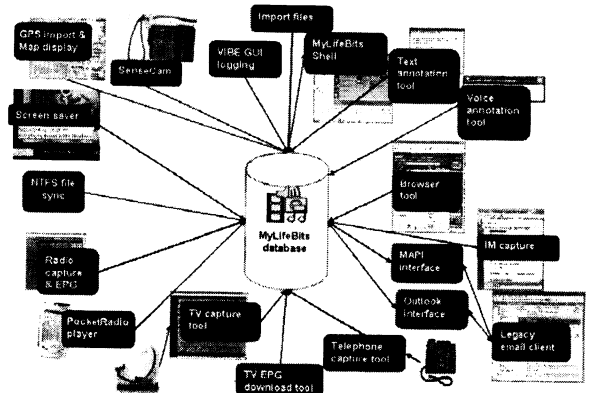
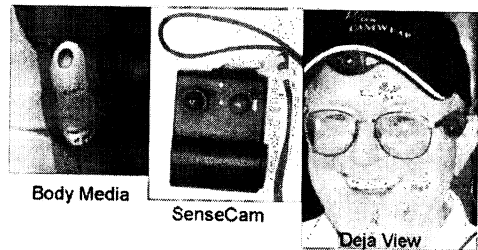


図5 MyLifeBits データベース。
Jim Gemmellの発表資料(2005)より



<http://research.microsoft.com/baro/MediaPresence/MyLifeBits.aspx>

図6 MyLifeBits ウェアラブル計測デバイス。
Jim Gemmellの発表資料(2005)より

用デバイスによる個人データをアーカイブする試みは他にもあるが[13]，のデータベース化が進んでいる点でMyLifeBitsを例にとって新たなコミュニケーション形態を議論する。将来，多くのGorden Bellが誕生し，モバイル網で実時間で結ばれることを考えると面白い。逐次，個人の記録を位置情報，時間とともにリアルタイムでアップデートすることを利用したWeb 2.0サービス[14]が出現する可能性がある。実時間大量個人データをデータマイニングした情報検索サービスや，モバイル版ソーシャルネットワークサービスを介したマルチメディアデータの

流通が新しいコミュニケーションメディアとして考えられる。

将来のキラーアプリケーションは予言できるものではないので、本節では、可能性のみを述べた。次章以降は、既存メディアの進化予想とブロードバンドモバイル網により現実味を帯びてきた遠隔操作について議論する。

3. 音声メディアの今後

VoIP の時代となった今でも音声メディアは帯域 300Hz～3400Hz の信号を伝送するアナログ電話が主流である。対応するデジタル符号化方式はサンプリング周波数 8KHz、非線形 8 bit 量子、伝送速度 64kbit/s の G.711 である。近年台頭してきたセルラー網においても、通話品質は上記 G.711 相当の品質として位置づけられている。ただし、周波数資源の制約から高々 10Kbps 程度の狭帯域伝送速度が必然とされているため、CELP (Code Excited Linear Prediction; 符号励振線形予測) とよばれる高能率符号化方式が主に用いられている。これは PCM や ADPCM のような単純な波形符号化ではなく音声の生成モデルを仮定し、そのパラメータを分析・符号化し、さらに前記パラメータでは表現できなかった残りの情報 (残差信号) をさらに波形符号化し伝送する方式である。この CELP 符号化の代表が G.729 であり、その派生として AMR [15], EVRC [16] が商用化されている。これらの通話品質は、10Kbps 余りの狭帯域ながらほぼアナログ電話に拮抗するまでになっている。3G セルラー網になり、回線当り 20Kbps 程度の帯域が使えること、携帯同士の通話であれば、既存アナログ携帯との相互接続性に縛られないことから、16KHz サンプリング周波数の音声符号化が標準化された [17], [18]。まだ本格的商用には至っていないが、通話品質が既存の電話を超える標準が現れた意義は大きい。一方で、既存電話網への接続に縛られない、インターネット上で、8KHz より高いサンプリングで VoIP を行うアプリケーションも登場している [19]。

図 7 に以上の動きを示す。図中 toll-quality とあるのは、電話品質を提供するクラスである。これまで音声メディアは通話品質を保ちながら、伝送速度を低下する方向に技術進歩してきたが、現在見える方向は、右上の方向、すなわち伝送速度を落とさず通話品質を上げる方向である。中でも G.722.1 [8] の Annex C は 32KHz サンプリングで 14,000Hz の音声・音響帯域を 64Kbps の伝送速度で実現する方式であり、これと VoIP との組み合わせにより背景音まで含めた臨場感のある新しいコミュニケーションが行えることが期待されている。

このように携帯電話のプラットフォーム進化により、通常の 8KHz サンプリング音声電話に加えて HiFi 音響通信の環境が整いつつある。VoIP を許容する既存の電話網よりも自由度の高い低遅延モバイル網が整えば、前述のパーソナルゲートウェイと PAN で繋がれたヘッドホンなど装着デバイスの利用と相まって、新たな音声・音響通信が可能になると考えられる。この流れを図 8 に示す。モバイル環境では個人の位置情報、視線方向とリンクした音場制御、ゲームなど 3D コンテンツとの連携が重要な機能になると考えている。なお立体音響処理については文献 [20] に解説されているので参考にされた。筆者

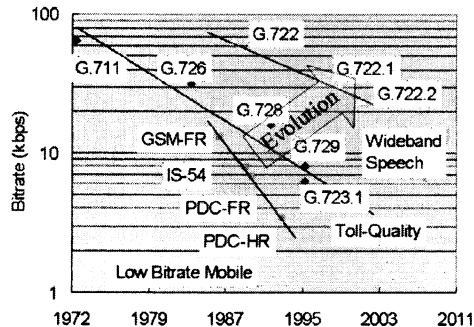


図 7 音声符号化の進化方向

らの研究グループではヘッドホン着用を前提とした立体音響処理をサーバー端末間で分散させることにより、音場制御処理遅延を最小化するシステム構成を提案している [21]。

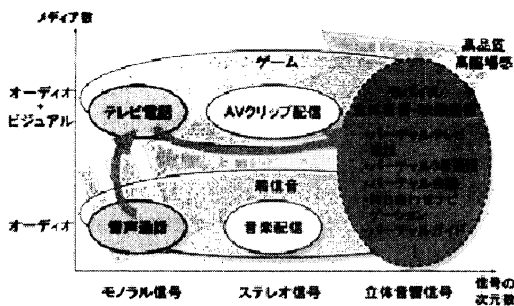


図 8 電話から遠隔臨場へ

以上、提供される網が数百 Kbps, 50msec 程度の遅延であればすべて IP 統合網の名の下、多様性のある音声・音響通信が実現されることを述べた。

4. 画像メディアの今後

携帯電話の撮像素子の性能は急速にデジタル静止画カメラに近づきつつある (図 9 参照)。CMOS デバイスは、低照度下での画質に改善の余地があるものの、今後のプロセス技術、光学系、後処理技術の進歩が期待され、500 万画素の撮影が可能になるとしている。この性能向上は、モバイル網の伝送速度向上と相まって、2.3 節で議論した新しい画像メディアの利用形態にもつながる可能性がある。

一方、携帯電話のディスプレイについては、2 インチクラスが主流であり解像度向上は難しい。2 インチで VGA サイズともなると、画素ピッチは 300dpi を超える。これは、40cm 程度の観察距離を想定すると、人間の通常の視力 (視力 1.0 の識別視角 1 分) の解像度を超えている。通常の画像を携帯画面で見る目的には、既に十分な精細度に達しており、これ以上の高解像度化は意味をなさない。パーソナル化された携帯環境という条件を利用した画像メディアの進化方向として、個人のための大画面表示を考えたい。臨場感を向上させるには大画面化は非

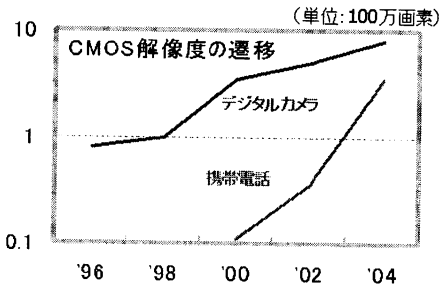


図9 CMOSカメラの解像度遷移

常に有効である [22].

大画面化の一つの方法は、図4 Step2に示したようにUWB/WiFiを用いた外部ディスプレイ(大型ディスプレイ・電子ペーパー・プロジェクタ等)との接続である。さらに図4 Step3に示すように眼鏡型/HMD形態のディスプレイが考えられる。将来は網膜投射型ディスプレイもありえる [23]。このディスプレイは、網膜に直接レーザスキャンにより像を書き込むため、視力に関係なく、くっきりと表示された(網膜に書かれた)像を見ることができる。携帯電話がゲートウェイとして機能し、外部デバイスとしての大画面化により、画像解像度はHDTV品質が必然となる。HDTV品質の画像をモバイル環境で送受信することの可能性はどうか。

2003年、MPEG4 AVC/H.264の標準化により、MPEG2の2倍の圧縮率で同等の映像品質が実現でき、モバイル用途の低ビットレートから、HDTVの高ビットレートまで幅広く利用できるようになった [24]。H.264は、ワンセグ放送、次世代DVD、欧州のデジタル放送(DVB)等に採用されると共に、インターネット映像配信等で既に利用されている技術であり、昨今注目されている符号化技術である。このH.264を利用することができる。新しいセルラー網の発展、さらにWiFi/WiMAXを含めたモバイル網の進化も考えると、ストレス無くHDTV品質の視聴がワイヤレス環境でも実現できることが予想される。携帯電話は、CPUクロックの高速化、メモリ大容量化に伴い、その処理性能は10年前のPCレベルまでに達している [25]。そのため、携帯電話におけるアプリケーションとして特にゲームに着目してみると、テキスト、2D画像ベースのゲームから、3Dグラフィックスへと移りつつある。

携帯端末のOS環境は現在、Windows CE、Symbian、Mobilinux等複数存在し、ライブラリとしても複数存在する状況である。特にプラットフォームに依存しないライブラリの実現を目指し、Khronos [26] という業界団体により、組み込み機器用APIとしてOpenGL ESが策定された。既に数社から各種OS環境に対応したOpenGL ESの開発キットが提供されていると同時に、モバイル専用チップ(NVIDIA GoFORCE、ATI Imageon等)の開発も進められている。携帯電話の現状は、CPU、メモリの制約のみならず、バッテリーの持ち時間が大きな課題であるが、グラフィックス処理を別の専用チップにすることで省電

化にも貢献できることから、今後、3Dグラフィックスを使った携帯ゲーム等の進歩に期待したい。現在の携帯電話の処理能力は初期のTVゲーム機レベルであるが、モバイル網の発展、グラフィック性能の向上により、リアルなモバイルネットワーク対戦ゲームが実現できる日もそう遠い話ではない。

5. 新しいコミュニケーションメディア

Tangible Bits [5] の「情報の感触 情報の気配を伝える」という高邁なコンセプトには及ばないが、「力覚・触覚フィードバックを伴う遠隔操作」はモバイル環境において五感を活用するコミュニケーションの形態として産業上有用と思われる。また操作対象が物理的に存在しないという違いはあるが、直近の応用としては、前述のモバイル対戦ゲームがある。

実在物への力覚・触覚フィードバックを伴う操作の例としては、「drive-by-wire」技術がある [27]。これによれば将来は力覚フィードバックを「by-wire」で伝達することにより、タイヤやエンジンなどからハンドルやアクセルペダルなどにより直接伝わってきた未舗装道路のこぼこ感や坂道の勾配によるペダルの抵抗感などの情報伝達の制御を行う [28]。

以上のdrive-by-wireは、自動車運転制御であるが、ここで新しいコミュニケーションメディアとして筆者が捉えているのは生活・医療福祉・災害・治安など幅広い分野でのロボットの遠隔操作を介した通信(telerobot-by-wireless)である。図10にその構想のみを示す。遅延に関する要求条件は自動車運転制御に要求されるそれよりは、緩い応用を想定している。残念ながら、本格的な力覚・触覚フィードバックを伴う遠隔操作の実用例は少ない。実用化されている遠隔操作ロボットとしてはPHSやFOMA端末を用いた製品開発例 [29] があるが、操作は視認によるオープン制御である。

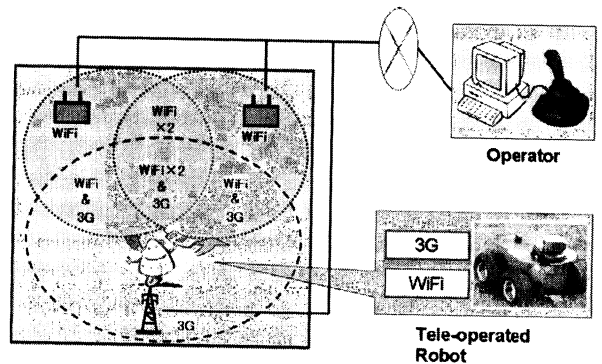


図10 モバイル網による遠隔操縦ロボット

「操作する」メディアのQoS要件は画像や音声よりも厳しい。セルラー網のバケット接続では、有線網のそれと比べて遅延時間が長いという欠点があり、これまで力覚・触覚フィードバックがメディアとして取り上げられてこなかった。ここで、操作するメディアを議論している一番の理由は、ブロードバンドモバイル網によって克服される新しいフロンティアがここにあるからである。音声メディアの主観品質は遅延時間が一方

向 150msec を超え始めると急激に落ちる [30]. これが音声メディアに許される遅延の限界といえる. 一方で, 仮想空間の物体操作に用いる触覚情報の許容遅延は約 30ms 程度との報告がある [31]. さらに, 人間の高度な把持機能を現実の遠隔ロボットに実装しようとすれば, 触覚センサは広い周波数領域の触覚情報を検出すると共に, それを再現する触覚ディスプレイや高速なフィードバック制御が求められる. 例えば, 手術用鉗子を遠隔で操作するシステム [32] では, 広い帯域を再現可能なりニアモータ, 位置情報から高精度な反力推定を行うロバスト制御理論, 制御周期 10kHz の高速駆動により鋭敏な触覚フィードバックを実現している. ただしこれは有線接続である. これをより遅延の大きなモバイル網で行うことができるのが一つの究極の目標となる. 遠隔操作によるロボットから触覚情報を得て, あたかも自らの手の延長としてそのロボットを操作できる未来のコミュニケーションメディアが実現できれば, 生活・医療福祉の有効なコミュニケーションメディアになると期待している. これは, ブロードバンドモバイル網によりはじめて達成できる応用である.

6. おわりに

コミュニケーションメディアは従来からテキスト, 音声・音響, 画像である. これの利用変化がどのように起こりえるかを 2 章で説明した. ブロードバンドモバイル網の進化, 携帯端末の汎用プラットフォーム化・パーソナルゲートウェイ化, パーソナルエリアネットワークの登場, 携帯・装着視聴デバイスの進歩が相まって新しいアプリケーションが誕生することになる. 3 章, 4 章では, パーソナル化された高レート・高臨場の音声・音響メディアと画像メディアが今後登場することを予見した. 5 章では, 新しいコミュニケーションメディアとして力覚・触覚フィードバックを述べた. "remote care" が音声・画像にとどまらず実現できることを期待している.

文 献

[1] J. Sevanto: "Multimedia messaging service for GPRS and UMTS", Proc. WCNC'99, Vol. 3, pp. 1422-1426 (1999).
 [2] 外村 佳伸, 高村 誠之, 上倉 一人, 酒澤 茂之, 柴藤 稔, 青木勝典: "ネットワーク映像メディア", 映像情報メディア学会誌, **56**, 9, pp. 1444-1448 (2002).
 [3] M. Etoh and T. Yoshimura: "Wireless video applications in 3G and beyond", IEEE Wireless Communications, **12**, 4, pp. 66-72 (2005).
 [4] P. Kim, A. Balazs, E. van den Brock, G. Kieselinann and W. Bohm: "IMS-based push-to-talk over GPRS/UMTS", Proc. WCNC '05, Vol. 4, pp. 2472-2477 (2005).
 [5] H. Ishii and B. Ullmer: "Tangible bits: Towards seamless interfaces between people, bits and atoms", Proceedings of Conference on Human Factors in Computing Systems CHI '97, ACM Press, pp. 234-241 (1997).
 [6] "Requirements for evolved UTRA (E-UTRA) and evolved UTRAN (E-UTRAN)", 3GPP TR 25.913 (2005).
 [7] ITU-R WORKING PARTY 8F: "Framework and overall objectives of the future development of IMT-2000 and systems beyond IMT-2000" (2003). Recommendation ITU-R M.1645.
 [8] M. Etoh Ed.: "Next Generation Mobile Systems: 3G & Beyond", Wiley (2005). ISBN: 0-470-09151-7.
 [9] M. Buddhikot, G. Chandranmenon, S. Han, Y.-W. Lee,

S. Miller and L. Salgarelli: "Design and implementation of a wlan/cdma2000 interworking architecture", IEEE Communications Magazine, **41**, 11, pp. 90-100 (2003).
 [10] J. Kim, S. Lee, Y. Jeon and S. Choi: "Residential HDTV distribution system using UWB and IEEE1394", IEEE Trans. on Consumer Electronics, **52**, 1, pp. 116-121 (2006).
 [11] G. B. Jim Gemmell and R. Lueder: "Mylifebits: a personal database for everything", Communications of the ACM, **49**, 1, pp. 88-95 (2006).
 [12] B. J. Rohodes: "The wearable remembrance agent: A system for augmented memory", Personal Technologies, **1**, 4, pp. 218-224 (1997).
 [13] 相澤 清晴: "体験の記録とコンテキストに基づく効率的な検索", システム制御学会誌, **50**, 1, pp. 7-11 (2006).
 [14] 梅田 望夫: "ウェブ進化論 本当の大変化はこれから始まる", 筑摩書房 (2006). ISBN: 4480062858.
 [15] "AMR speech codec; transcoding function.", 3GPP TS 26.090.
 [16] "Enhanced variable rate codec, speech service option 3 for wideband spread spectrum digital systems", 3GPP2 C.S0014 (1997).
 [17] "Wideband coding of speech at around 16 kbit/s using adaptive multi-rate wideband (AMR-WB)", ITU-T Recommendation G.722.2 (2003).
 [18] "Selectable mode vocoder, service option for wideband spread spectrum communication systems", 3GPP2 C.S0030-0 v2.0 (2002).
 [19] S. Cherry: "Seven myths about voice over IP", IEEE Spectrum, **42**, 3, pp. 52-57 (2005).
 [20] 菊池隆裕, 大久保 聡: "原音回帰", 日経エレクトロニクス, **920**, pp. 93-119 (2006).
 [21] 菊入 圭, 仲 信彦, 大矢智之: "モバイル立体音響通信に向けた信号処理技術 -音響コーデックにおけるローカル立体音響レンダリング方法-", 信学技報 MoMuC2005, No. 25, pp. 55-58 (2005).
 [22] 畑田豊彦: "人工現実感に要求される視空間知覚特性", 人間工学, **29**, 3, pp. 129-134 (1993).
 [23] H. L. Pryor, T. A. Furness and E. Viirre: "The virtual retinal display: A new display technology using scanned laser light", Proc. of The Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting, Vol. 2, pp. 1570-1574 (1998).
 [24] "Advanced video coding for generic audiovisual services", ITU-T Recommendation H.264 (2003).
 [25] "高機能化が進む携帯電話の小型・軽量化について", http://www.nttdocomo.co.jp/info/news_release/report/index.html (2004).
 [26] <http://www.khronos.org/opengles/>.
 [27] R. Isermann, R. Schwarz and S. Stolz: "Fault-tolerant drive-by-wire systems", IEEE Control Systems Magazine, **22**, 5 (2002).
 [28] アルプス電気: "これからの自動車の最新操作機器〜ハプティックコマンドの開発〜", <http://www.alps.co.jp/j/technology/unique/2003feb/4.htm>.
 [29] 高本陽一: "役立つロボットを目指して", 日本ロボット学会誌, **24**, 3, pp. 312-315 (2006).
 [30] "Application of the e-model: A planning guide", ITU-T Recommendation G.108 (1999).
 [31] 石橋豊: "触覚メディア通信のための適応型サービス品質制御方式の研究", 電気通信普及財団研究調査報告書, No. 20, pp. 575-585 (2005).
 [32] 名取賢二, 辻俊明, 矢向高弘, 大西公平: "ネットワークを介したバイラテラル遠隔制御", 電気学会論文誌 D, **126**, 2, pp. 161-167 (2006).