

## 異種無線システム間通信におけるコーデック選択エージェントの実験的評価

坂本 学<sup>†</sup> 東野 武史<sup>†</sup> 塚本 勝俊<sup>†</sup> 小牧 省三<sup>†</sup>  
熊本 和夫<sup>††</sup> 安川 交二<sup>††</sup> 稲垣 恵三<sup>†††</sup>

<sup>†</sup>大阪大学大学院 工学研究科 電気電子情報工学専攻 〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1  
<sup>††</sup>大阪工業大学 〒535-8585 大阪府大阪市旭区大宮 5 丁目 16-1  
<sup>†††</sup>ATR 〒619-0288 けいはんな学研都市光台 2 丁目 2 番地 2

E-mail: <sup>†</sup> manabu@roms.comm.eng.osaka-u.ac.jp

あらまし IP を基盤とする次世代ネットワーク上で音声通信サービスを提供する技術である VoIP が端末のオール IP 化に伴い異種無線システムの相互接続を可能にし始めると同時に、異種無線通信基盤の構築も課題となっている。本稿では、IP 電話の呼制御プロトコルである SIP を用いて異種無線システム間で行われるリアルタイム通信の品質を保証するために音声や動画の符号化方式をネットワークとユーザの状況に応じて制御を行うコーデック選択エージェント、及びコーデック選択アルゴリズムを提案し、ネットワーク負荷や受信電力に対する IP 電話サービスの通話品質を実験により評価し、コーデックの選択方法とその効果について考察する。

キーワード 異種無線システム, リアルタイムマルチメディアアプリケーション, QoS, コデック

### Experimental Evaluation of Media codec Selection Agent in Heterogeneous Wireless System

Manabu SAKAMOTO<sup>†</sup> Takeshi HIGASHINO<sup>†</sup> Katsutoshi TSUKAMOTO<sup>†</sup> Shozo KOMAKI<sup>†</sup>  
Kazuo KUMAMOTO<sup>††</sup> Koji YASUKAWA<sup>††</sup> and Keizo INAGAKI<sup>†††</sup>

<sup>†</sup>Division of Electric, Electronic and Information Engineering, Graduate School of Engineering, Osaka University  
2-1 Yamada-oka, Suita, Osaka, 565-0871 Japan

<sup>††</sup>Osaka Institute of Technology 5-16-1 Omiya, Asahi-ku, Osaka, Osaka, 535-8585 Japan

<sup>†††</sup>Advanced Telecommunications Research Institute International

2-2-2 Hikaridai, Keihanna Science City, Kyoto, 619-0288 Japan

E-mail: <sup>†</sup> manabu@roms.comm.eng.osaka-u.ac.jp

**Abstract** VoIP begins to enable the interconnection in heterogeneous wireless media communication system. At the same time, the construction of the infrastructure of the heterogeneous wireless media communication system becomes a problem, too. To guarantee the quality of a real-time communication in heterogeneous wireless media system, this paper proposes the codec selection agent and its selection algorithm. In the system, agents control voice and video codec according to network and user's situations. The telephone speech quality of IP phone service to the network load and the received power is experimentally evaluated, and the selection of the codec and its effect are considered.

**Keyword** Heterogeneous Wireless System, Real-time Multimedia Application, QoS, Codec

#### 1. はじめに

様々な通信サービスがすべて IP (Internet Protocol) ネットワーク上で提供されるオール IP 化や無線通信

環境における通信速度の高速化、広域化により、あらゆるユーザ環境からインターネットに接続できる状況になりつつある。これに伴い、VoIP (Voice over Internet

Protocol) やビデオチャットなどのリアルタイムマルチメディアアプリケーションや、ライブ映像や放送サービスを代表とするストリーミング通信サービスの需要が高まっている。このようなリアルタイムでの転送が要求されるリアルタイムマルチメディアアプリケーションやストリーミング通信サービスでは、低遅延性の保証や帯域の保証といった QoS (Quality of Service) の保証が重要である。しかし、現状の IP ネットワークではベストエフォート型のサービスを基本としている上に、特に無線伝搬路の変動による帯域制限や雑音や電波干渉によるパケット損失が発生するような厳しい伝搬特性を持つ無線通信環境と混合した通信路を経由する場合には、QoS の保証が一層必要とされている。オール IP 化に伴い必要とされる異種無線システム間通信が可能になった状況では、アクセス制御方式、符号化方式、ユーザ環境、端末の種類、ネットワーク負荷、接続コスト、サービスの属性等、複数の階層に多岐にわたる QoS 要素に対して選択と制御が必要であり、被干渉、与干渉の抑圧だけで QoS 制御を行うには不十分である。

異種無線システム間でのリアルタイムマルチメディアアプリケーションやストリーミング通信サービスの品質保証を実現するための問題として、各無線メディアでのコーデックの違いが挙げられる。多数の無線サービスの中でも、VoIP は最も普及しているサービスの 1 つと言え、その通話品質は客観評価値をはじめ様々な品質評価方法が提案される程重要な要素であり [1],[2]、現在 VoIP における品質保証方式についても盛んに研究されている [3]-[5]。文献 [3] では、多様な通信品質のネットワークを設定し、音声品質の主観評価試験を行い、その結果、送信側で Forward Error Correction (FEC) を用いた場合、すべてのネットワークにおいて音声品質の劣化が防げる。一方で、失われた音声情報を直後の音声情報で代替する Packet Repetition (PR) を用いた場合は、それが効果的に機能するネットワークは限られており、特に通信品質が不安定なネットワークにおいて FEC と PR を併用すると、主観品質を低下させるおそれがあることを確認している。文献 [4] では、2-side PWR (Pitch Waveform Replication) 法に着目し、これを基本として更に波形複製における音声データのピッチ変動を考慮することで、より効果的にエラー隠ぺいを行う方法を提案し、SNR (Signal-to-Noise Ratio)、PESQ (Perceptual Evaluation of Speech Quality)、DMOS (Degradation Mean Opinion Score) を指標とした評価実験によりその有効性を示唆する結果を得ている。文献 [5] では、Adaptive RED (Random Early

Detection) の更新間隔を動的制御する方式を提案し、シミュレーションにより Adaptive RED の平均キュー長が振動する条件下でも平均キュー長を収束させ、その結果、ジッタの発生を抑制し VoIP の品質を向上させることを確認している。これらの文献からもわかるように、音声品質を決める要素には、音声パケットの遅延やゆらぎ、パケットロスといったものが考えられるが、符号化方式 (コーデック) も重要な要素である。異種無線システム間で実際にリアルタイムマルチメディアアプリケーションやストリーミング通信サービスを行う際には、単一の無線メディアに複数存在する音声コーデックや映像コーデックの中から、品質と帯域の相関関係から最適なコーデックを選択しなければならない。さらに、既存の各無線メディアが共通インフラである IP ネットワーク上に位置する構成にするためには上位レイヤからの指示により各無線メディアを制御可能であることが実現容易性の観点からも望ましく、これまでもアプリケーションレイヤの呼制御プロトコルである SIP (Session Initiation Protocol) を用いた異種無線システム間通信が提案されている [6],[7]。

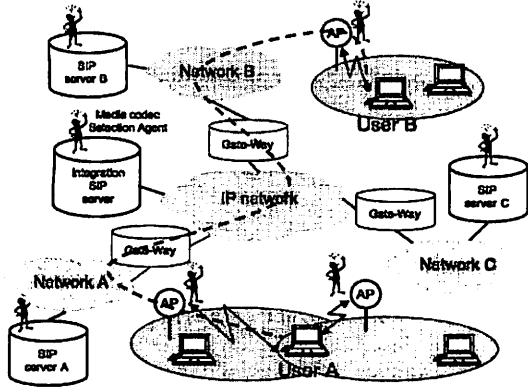
本稿では、SIP を用いたコーデック選択エージェントを提案する。提案するコーデック選択エージェントは、ネットワーク上の SIP サーバ上、及び AP (Access Point) に位置し、リアルタイムマルチメディアアプリケーションやストリーミング通信サービスを行う無線メディアやネットワークを流れる背景トラフィック量、無線端末の受信電力、利用アプリケーション等に応じて適切なコーデックを選択し、異種無線システム間の QoS を保証する。本稿ではまず、背景トラフィック量を考慮した実験により、客観評価値である R 値 [8] からコーデックを選択することの有効性を評価する。また、背景トラフィック量、及び受信電力を考慮した実験により、コーデックの種類の違いによる MOS (Mean Opinion Score) 値から提案方式の有効性を評価する。

## 2. 提案システム

### 2.1. ネットワーク構成

図 1 に提案方式におけるネットワーク構成を示す。本提案では SIP プロトコルを用いてコーデックの選択を行うため、端末 (User A,B) には SIP クライアントが実装され、管理するネットワークごとに SIP サーバが最低 1 つ設置され、各ネットワーク上の SIP サーバを統括する SIP サーバが IP ネットワーク上に設置される。本提案では、全ての無線端末は複数のコーデックを利用可能であるものとし、その中に共通のものが存在すると仮定する。SIP を実装した端末 (SIP 端末) は SIP サーバを介してシグナリング信号である SIP メッセージの送受信を行い、セッションを確立した後は SIP サ

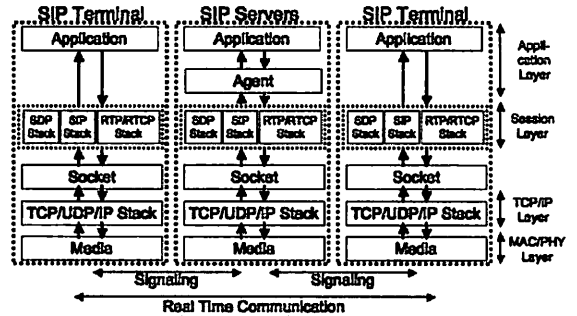
一歩を介さずに SIP 端末間で直接通信を行う。提案方式では、SIP サーバ上及び AP にコーデック選択エージェントを実装することでアプリケーションレイヤでの QoS 制御を実現する。コーデック選択エージェントは、ネットワークやユーザの状況の変化を察知すると、SIP セッションに関する情報を記述するプロトコルである SDP (Session Description Protocol) のメディアフォーマットリストを参照し、User A, B が共に利用可能なコーデックの中から背景トラフィック量や受信電力、利用アプリケーション等に応じて適切なコーデックを選択し、User A, B にコーデックの切り替えを指示する。



## 2.2. システム構成

図 2 に提案方式で用いる SIP 端末および SIP サーバのシステム構成を示す。アプリケーションは、ユーザやサーバの指示に基づいて SIP スタックの各機能呼び出ししたり、SIP スタックからの呼制御の状態を受け取ったりする。SIP スタックと SDP スタックはそれぞれのメッセージ作成、処理を行うためのライブラリとして機能し、SIP スタックは、アプリケーションから指示を受けて SIP メッセージを作成しソケットに送信する。また、ソケットから受信した SIP メッセージに対してその内容を解析し、アプリケーションに解析結果を伝えたり別の SIP メッセージを作成したりする等、その内容に応じた処理を実行する。RTP/RTCP (Real-time Transport Protocol/RTP Control Protocol) スタックは実際にデータ通信や音声通信を行う際のコーデック処理などを提供する。そして、本提案を実現するコーデック選択エージェント (Media codec Selection Agent) は SIP サーバ上のアプリケーションレイヤに存在し、ネットワーク負荷や無線端末のプレゼンスに応じた音声コーデックや映像コーデックの切り替えを可能にするため、以下の機能を持つ。一つ目は、ネットワークを流れる背景トラフィックの量や各 SIP 端末の受信電力といったコンテキスト情報を収集

する機能である。二つ目は、得られたコンテキスト情報から、与えられたアルゴリズムに従ってコーデックの切り替えの判断を行い、必要に応じて切り替えの指示を SIP 端末に行う機能である。具体的には、SIP 端末同士での通信中に背景トラフィック量や受信電力の変化を感知したエージェントは、次章で提案するアルゴリズムに従ってコーデックを選択し、通信中の無線端末にコーデックの切り替えを指示する。エージェントからの指示を受けた SIP 端末は、SDP のメディアフォーマットリストを、指示されたコーデックのペイロードタイプが先頭となるように書き替え、相手通信端末にセッションを更新するためのメッセージである Re-INVITE を送る。



## 3. 提案アルゴリズム

表 1 に提案アルゴリズムにおける無線端末間で共通の音声コーデックを示す。提案アルゴリズムにおいて、無線端末間で共通のコーデックは G.711, DVI4, SIREN, G.723.1 の 4 種類と仮定する。

表 1: 提案アルゴリズムにおける利用可能コーデック

Codec	Bitrate[Kbps]
G.711	64
DVI4	32
SIREN	16
G.723.1	6.3/5.3

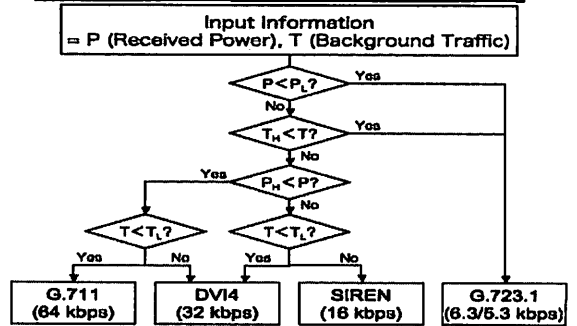


図 3: 提案アルゴリズムのフローチャート

受信電力が低い場合、及び背景トラフィック量が非常に多い場合には、最低限の QoS を保証、つまりセッションの確立をするためにビットレートの低いコーデックを選択することが必要である。したがって、利用可能なコーデックの中で最もビットレートの低い G.723.1 を選択する。一方で、受信電力が比較的高く、ネットワークを流れる背景トラフィック量が比較的小さい場合は、受信電力、背景トラフィック量に応じてコーデックを選択する必要がある。受信電力が高い場合や、背景トラフィック量が小さい場合、帯域に余裕があるので、ビットレートの高いコーデックを選択して品質の高い通信を実現する。そして、受信電力の低下や背景トラフィック量の増加に伴い、低ビットレートのコーデックを選択する。図 3 に提案するコーデック選択アルゴリズムのフローチャートを示す。入力情報として、各無線端末の受信電力、ネットワークを流れる背景トラフィック量を取り扱う。また、これらから提案アルゴリズムを用いて無線端末が利用すべきコーデックを計算し、出力情報として決定する。背景トラフィック量は、ping を送信した際の RTT (Round Trip Time) により判定し、受信電力は、各無線端末から電力情報を入手したり、ユビキタスセンサネットワークにおける小型無線通信ノードに搭載されたセンサにより入手するといった方法が考えられる。提案アルゴリズムは四段階のフェーズで構成される。フェーズ 1 では無線端末の受信電力を判断材料とする。受信電力が閾値  $P_L$  より低い場合、G.723.1 を出力情報として決定する。一方で、受信電力が  $P_L$  より高い場合は次のフェーズに移行する。フェーズ 2 では背景トラフィック量を判定する。フェーズ 1 と同様、背景トラフィック量が閾値  $T_H$  よりも多い場合、G.723.1 を出力情報として決定する。一方で、背景トラフィック量が  $T_H$  よりも少ない場合は次のフェーズに移行する。フェーズ 3、4 では受信電力と背景トラフィック量それぞれが閾値  $P_H$  より高く、 $T_L$  より少ない、つまり受信電力が高く背景トラフィック量が少ない場合には、G.711 を選択し、閾値  $P_H$  より高く、 $T_L$  より多い、つまり受信電力は高いが背景トラフィック量が比較的多い場合には、DVI4 を選択する。また、受信電力と背景トラフィック量それぞれが閾値  $P_H$  より低く、 $T_L$  より少ない、つまり受信電力は比較的低く背景トラフィック量は少ない場合には、DVI4 を選択し、閾値  $P_H$  より低く、 $T_L$  より多い、つまり受信電力は比較的低く背景トラフィック量も比較的多い場合には、SIREN を選択する。以上の流れに沿って提案アルゴリズムは使用するコーデックを決定する。

## 4. 評価実験

### 4.1. コーデックの違いによる品質評価

図 4 に実験ネットワークの構成を示す。ネットワーク 1 とネットワーク 2 には WLAN AP (Access Point)、音声品質評価用端末 CN A, B、トラフィック発生用端末 PC c, d が置かれている。

本実験では、別ドメインであるネットワーク 1-2 間の背景トラフィックとして UDP パケットを PC c, d 間に双方向に流し続けた状態で、音声コーデックに G.711 を用いたセッションと G.723 を用いたセッションのそれぞれについて背景トラフィック量に対する通話品質の客観的評価を行って、算出された R 値を評価した。

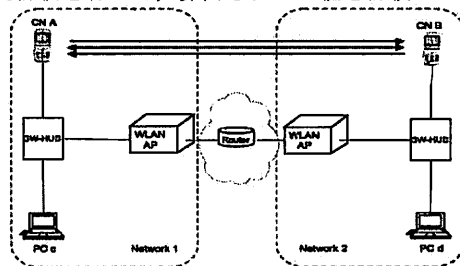


図 4: コーデックの違いによる品質評価実験構成

図 5 に背景トラフィック量に対する R 値を示す。グラフの横軸はネットワーク内を流れるトラフィック量の合計、縦軸は音声通信の客観評価値である R 値である。本実験では、WLAN の AP に IEEE802.11b 規格のものを使用したため、その伝送速度の限界は 4Mbps であった。図 5 より、背景トラフィック量が小さい場合は、ビットレートの高い G.711 を利用した方が音声品質は良いが、背景トラフィック量が増えてきて無線がひっ迫した状況になると、低ビットレートの G.723 を用いた方が音声品質は良くなることわかる。これは、利用可能な帯域が狭くなると、ビットレートが高い G.711 の遅延が無視できなくなるためである。この結果から、背景トラフィック量に応じてコーデックを選択することで通信品質を保証することが可能であることがわかる。

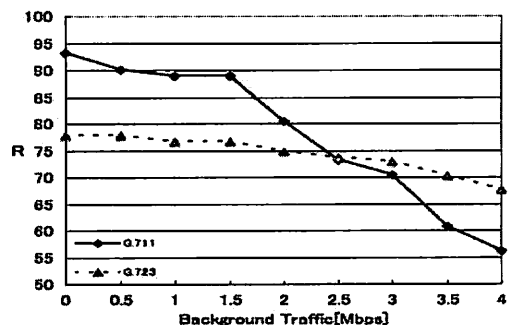


図 5: コーデックの違いによる品質の客観評価値

## 4.2.コーデック数の違いによる音声品質評価

### 4.2.1.背景トラフィックに対する MOS 評価

表 2: 評価実験における利用可能コーデック

Codec	Bitrate [kbps]	Group 1	Group 2
G.711	64	○	○
DV14	32	○	×
G.722.1	24	○	×
SIREN	16	○	×
GSM6.10	13	○	×
G729	8	×	○
G723.1	6.3/5.3	○	○

図 6 に本実験のネットワーク構成を示す。ネットワーク 1 には WLAN AP と音声通話用 SIP 端末 CN A と CN B, トラフィック発生用端末 PC c を置き, ネットワーク 2 には SIP サーバとトラフィック発生用端末 PC d を置いた。また, SIP サーバにはネットワーク 1 の各 SIP 端末のアドレス情報が登録されており, SIP 端末は SIP サーバを介してシグナリング信号である SIP メッセージの送受信を行い, セッションが確立した後は SIP サーバを介さずに SIP 端末間で直接通信を行う。また, 無線 LAN は IEEE802.11b を用いた。

本実験では, ネットワーク 1-2 間の背景トラフィックとして UDP パケットをトラフィック発生用ソフトを用いて PC c と PC d の間で双方向に流し続けた状態で, 音声通話のセッションを張り, コーデックの種類が多数ある端末 (Group 1) と少数の端末 (Group 2) のそれぞれについて背景トラフィック量に対する通話品質の主観的評価を行って, その平均値である MOS 値を評価した。表 2 に Group 1,2 の利用可能コーデックを示す。ここでは, IEEE802.11b の伝送速度は 4Mbps が限界であったため, 背景トラフィック量は 4Mbps までとし, 品質の主観的評価は音声通話を行っている両方の端末で行い, その平均値を評価値とした。

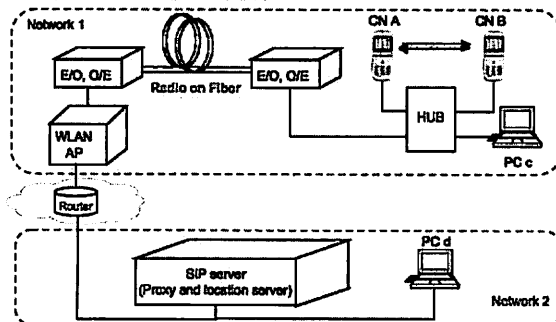


図 6: 背景トラフィックに対する MOS 評価実験構成

図 7 に背景トラフィック量に対する MOS 値を示す。グラフの横軸はネットワーク内を流れるトラフィック量の合計, 縦軸は音声通信の主観評価値である MOS 値である。本実験では, WLAN の AP に IEEE802.11b 規格のものを使用したため, その伝送速度の限界は 4Mbps であった。また, MOS 値=0 は音声通信のセッションが確立できなかったことを意味する。図 7 より, 背景トラフィック量が少ない (〜2Mbps) 場合, Group 1, 2 の間に大きな差は見られない。これはネットワーク負荷が小さい場合, Group 1, 2 に共通のコーデックである G.711 を利用しているからと考えられ, MOS 値に僅かな差が見られるのは使用端末の違いによるものと考えられる。また, 背景トラフィック量が多くなる (2Mbps〜3Mbps) と, Group 2 では通話品質は急激に劣化するが, Group 1 では高い通話品質が維持されている。これはネットワークに大きな負荷がかかっている場合には, Group 1 では豊富にあるコーデックの中から広い帯域幅を必要としないコーデックを選択できるが, Group 2 ではそのようなコーデックを利用できないためである。背景トラフィック量が無線の伝送速度の限界付近 (3Mbps〜) になると, Group 1, 2 ともに通話は不可能な状態であった。

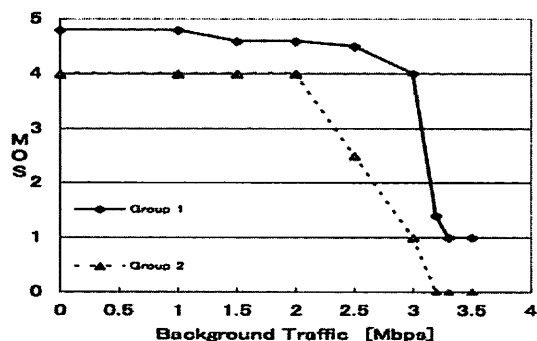


図 7: 背景トラフィック量に対する MOS 値

### 4.2.2.受信電力に対する MOS 評価

本実験における Group 1,2 の利用可能コーデックは前述の背景トラフィックに対する QoS 評価実験の際と同じで表 2 の通りである。

図 8 に実験ネットワーク構成を示す。SIP 端末 CN A, CN B, WLAN AP, スイッチングハブ, パワーメータ, パワーデバイダ, 可変減衰器を図 7 のように配置し, 各機器は同軸ケーブル又はイーサケーブルにより有線接続されている。また, 有線 LAN は 10base-T, 無線 LAN は IEEE802.11b を用いた。本実験では, 可変減衰器の減衰量を変えることで通信端末の受信電力を変化させ, 音声通話のセッションを張り, WLAN AP からの受信電力に対する通話品質の主観的評価を行って,

その平均値である MOS 値を評価した。品質の主観的評価は音声通話を行っている両方の端末で行い、その平均値を評価値とした。

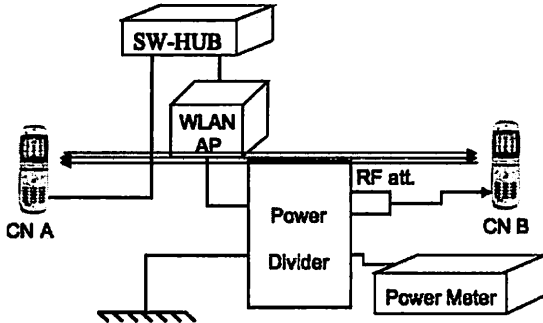


図 8: 受信電力に対する MOS 評価実験構成

図 9 に受信電力に対する MOS 値を示す。横軸は無線端末の受信電力、縦軸は音声通話の主観評価値である MOS 値である。本実験では、MOS 値=0 は音声通話のセッションが確立できなかったことを意味する。図 9 より、受信電力が高いとき (-60dBm ~ -30dBm) は、あまり差は見られない。これは Group 1, 2 に共通のコーデックである G.711 を利用しているからと考えられ、MOS 値に僅かな差が見られるのは使用端末の違いによるものと考えられる。また、Group 1 と Group 2 で MOS 値が 1 と 4 となるときの受信電力に差が見られる。これは利用可能なコーデックが多い程、受信電力に合わせたコーデックを選択可能であるからと考えられる。セッションが確立できなくなる (MOS 値=0) 受信電力に差があるのは、受信感度の違いによるもので、これは使用端末の違いによるものであると考えられる。

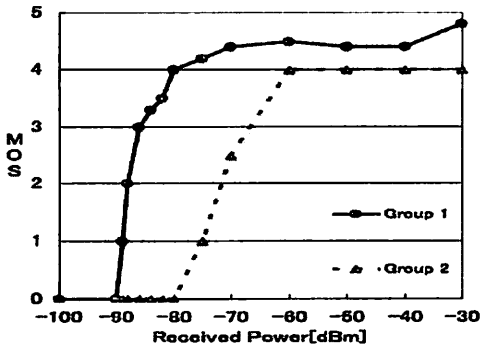


図 9: 受信電力に対する MOS 値

#### 4.3. 提案アルゴリズムにおける閾値の考察

背景トラフィック量に関する閾値  $T_L, T_H$  については、図 7 より、背景トラフィック量が 2Mbps 以下では Group 1, 2 共に G.711 を利用している。また 3Mbps 以上では Group 1 において MOS 値が急激に下がってきており、

低ビットレートの GSM6.10 や G.723.1 を利用している。したがって、 $T_L=2\text{Mbps}$ ,  $T_H=3\text{Mbps}$  が適当であると考えられる。受信電力に関する閾値  $P_L, P_H$  については、図 9 より、受信電力が -60dBm 以上では Group 1, 2 共に G.711 を利用している。また -80dBm 以下では Group 1 において MOS 値が急激に下がってきており、低ビットレートの GSM6.10 や G.723.1 を利用している。したがって、 $P_L=-80\text{dBm}$ ,  $P_H=-60\text{dBm}$  が適当であると考えられる。

#### 5. まとめ

本稿では、異種無線システム間通信における QoS 保証のためのコーデック選択エージェントを提案し、提案システムで用いるコーデック選択アルゴリズムを提案した。提案コーデック選択エージェントシステムは、ネットワークの背景トラフィック量や受信電力といった情報を得て、コーデック選択アルゴリズムに基づいて通信に用いるコーデックを選択する。本稿では、背景トラフィック量を考慮した実験により、客観評価値からコーデックを選択することの有効性を示した。また、背景トラフィック量、及び受信電力を考慮した実験により、コーデックの種類の違いによる MOS 値から提案方式の有効性を示した。

#### 文 献

- [1] 伊藤嘉浩, 田坂修二, "IP ネットワーク上での音声・ビデオ伝送におけるユーザレベル QoS のお多次元評価," 信学論(B), vol.J88-B, no.3, pp.689-702, Mar.2005.
- [2] N.Kitawaki, "Multimedia Quality Prediction Methodologies for Advanced Mobile and IP-Based Telephony," IEICE Trans. Commun., vol.E89-B, no.2, pp.262-272, Feb.2006.
- [3] 若林一磨, 種田和正, "VoIP アプリケーションソフトウェアの適応機能が主観品質に及ぼす影響," 信学論(B), vol.J85-B, no.8, pp.1254-1260, Aug.2002.
- [4] 青木直史, "波形複製におけるピッチ変動を考慮した VoIP におけるパケット損の一隠ぺい法," 信学論(B), vol.J88-B, no.5, pp.913-920, May.2005.
- [5] 杉崎義雄, 浅谷耕一, "最大パケット廃棄率の更新間隔を動的制御する適応型 RED の提案と評価," 信学論(B), vol.J90-B, no.1, pp.37-47, Jan.2007.
- [6] Y.Minoda, K.Tsukamoto, and S.Komaki, "Radio Network Agent for Simultaneous Use of Multiple RANs with SIP and Multihoming," Proc.of WPMC 2005, pp.1474-1477, Denmark, Sep.2005.
- [7] K.Kawaguchi, Y.Minoda, K.Tsukamoto, and S.Komaki, "An idea of Handover Algorithm for Adaptive Selection Agent of Wireless Service with SIP," IEEE APWCS2005, pp.100-104, Aug.2005.
- [8] ITU-T Rec. G.107, "The E-model, a computational model for use in transmission planning"