

NAIST-IS-DD961204

博士論文

マルチデバイス環境下での コミュニケーション継続技術に関する研究

田坂 和之

2010年 9月 24日

奈良先端科学技術大学院大学
情報科学研究科 情報システム学専攻

本論文は奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科に
博士(工学) 授与の要件として提出した博士論文である。

田坂 和之

審査委員：

砂原 秀樹 教授	(主指導教員)
山口 英 教授	(副指導教員)
藤川 和利 准教授	(副指導教員)
門林 雄基 准教授	(審査委員)
植原 啓介 准教授	(慶應義塾大学)

マルチデバイス環境下での コミュニケーション継続技術に関する研究*

田坂 和之

内容梗概

人々は、他人との意思疎通を図るため、音声、表情や身振りなどの動作、文字や図などの画像の交換など、多種多様な手段を用いてコミュニケーションをとってきた。コミュニケーションをとるための道具や基盤の発展にともない、コミュニケーションの範囲は、周辺の身近な人から世界中の人へ拡大している。また、どこからでも人とコミュニケーションをとるための道具として、固定電話機、携帯電話機、パソコンなどの通信デバイスが多様化してきた。近年においては、宅内ではインターネットへ接続可能なハードディスクレコーダやテレビなどの情報家電、車内ではカーナビ端末などの車載用デバイス、ネットカフェなどの施設内では公共用デバイスなど、コミュニケーションをとれる通信デバイスの多様化はさらに拡大している。通信デバイスの多様化にともない、通信デバイスで利用可能な音声通話サービス、テレビ電話サービス、動画・音楽・写真共有サービスなどの通信サービスも多様化してきた。

今後のコミュニケーションでは、ユーザの周辺状況や嗜好に応じて、通信サービスと通信デバイスを柔軟に組合せ可能とすることが重要となるとともに、ユーザの周辺状況や嗜好の変化に応じて、通信サービスと通信デバイスの組合せを変更可能とすることも重要となる。例えば、携帯電話で友人と音声通話サービスを利用中、音声通話を継続したまま映像を送受信するために周辺のテレビも使用してテレビ電話へ切替える。

*奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 情報システム学専攻 博士論文, NAIST-IS-DD961204, 2010年9月24日.

本論文では、複数の異種通信デバイス(マルチデバイス)の機能を連携することにより、ユーザの周辺状況や嗜好に応じて通信サービスや通信デバイス、通信デバイスが接続するアクセスネットワークなどの通信リソースを自在に選択・切替え可能な技術を確立し、コミュニケーションを継続させる技術の確立を目的とする。

マルチデバイス環境下での通信サービスの利用や通信リソースの切替えの実現に関連した技術がこれまでも提案されてきた。しかしながら、既存技術は、通信相手の状況や嗜好に応じて通信リソースを自在に選択することが困難であったり、状況が変化した場合においても通信リソースを切替えることが困難であったため、コミュニケーションを継続することが困難であった。

そこで、本論文では、2章にてマルチデバイス環境下において通信リソースを自在に組合せ・切替え可能とし、通信リソースの変更時においてもコミュニケーションを継続可能とする技術を実現するための要件、関連研究とその課題について整理する。2章での要件と関連研究の課題に基づき、3章にてシステムアーキテクチャについて検討し、4章にてマルチデバイス環境下でのセッション制御技術を提案する。また、性能評価から提案技術の有効性を示すとともに、性能評価の結果から明らかになった以下の課題を示す。車や船舶などの移動体にて移動中に、アクセスネットワークと通信デバイスや通信サービスを同時に切替える際、通信サービスで送受信されるメディアデータの受信断時間を短縮すること。通信デバイス間・ユーザ間でのメディアデータの出力時刻を同期すること。本論文では、5章と6章にて、それぞれIPレベルでの経路制御技術とメディア同期技術を提案するとともに、セッション制御技術と連携させることにより4章で明らかになった課題を解決できることを示し、提案技術が本論文の目的を達成可能であることを示す。7章にて、研究成果を総括するとともに、本研究の成果を適用可能な環境を述べ、本論文では未達成の技術的な課題を整理する。

キーワード

コミュニケーション, マルチデバイス, セッション制御, 経路制御, メディア同期

Research on the technology for communication continuity in a multi-device environment*

Kazuyuki Tasaka

Abstract

People have communicated with others using the various ways such as voice, motion (e.g. facial expression and body language) and image transfer. The communication area has become widespread globally according to development of communication tools and communication infrastructure. As communication tools for telecommunication, communication devices (e.g. fixed telephone, cellular phone, PC) have become diversified. In recent years, they become more diversified. For example, people use network-connected home appliances (e.g. hard disk recorder, TV) in home, in-car devices (e.g. devices for the car navigation system) in car and public devices indoors. Also, communication services (e.g. telephone services, videophone services and content sharing service) have become diversified according to diversification of communication devices.

In the future communication, users have multi-devices and shall be able to communicate by a best suited way according to their surroundings and preferences. For example, when users want to change the communication services during communication, the devices must be flexibly selected, and the switching operation must be easily completed.

The purpose of this paper is to establish a technology for collaboration among functions of multi-devices. Users can flexibly select communication devices and

*Doctoral Dissertation, Department of Information Systems, Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology, NAIST-IS-DD961204, September 24, 2010.

services and communicate with others using multi-devices according to their surroundings and preferences. Also, it is to establish a technology for communication continuity even if their surroundings and preferences changes. Users can easily switch communication resources such as communication devices, access networks and communication services according to the change of their surroundings and preferences.

There are some conventional studies for communication services in a multi-device environment and switching of communication resources. However, they are characterized by the limited applicable scope.

In this paper, I propose the technology for communication continuity in a multi-device environment and show evaluation the system performance using prototype system. This paper is organized as follows. In section 2, I first describe function and performance requirements for communication continuity, conventional studies and issues of them. In section 3, I explain system architecture to meet requirements and resolve issues. Then, in section 4, I propose the session control technology in multi-device environment and show performance evaluation and issues of it. In section 5 and section 6, to meet issues of the proposed session control technology, I propose the routing control technology and media synchronization technology. Finally, in section 7, I describe issues of the proposed technologies in terms of aspects of practical realization.

Keywords:

communication, multi-devices, session control, routing control, media synchronization

目次

第1章 序論	1
第2章 マルチデバイス環境下でのコミュニケーション継続技術の要件と課題	7
2.1. 想定環境	7
2.2. 通信リソースの切替えパターンとユースケース例	9
2.2.1 1種類の通信リソースの切替えパターン	9
2.2.2 複数の通信リソースの同時切替えパターン	11
2.3. マルチデバイス環境下でのコミュニケーション継続のための要件	15
2.4. 関連研究とその課題	17
2.4.1 マルチデバイス環境下でのコネクション確立に関連する研究	17
2.4.2 通信リソース切替え技術に関連する研究	17
2.4.3 メディアデータ制御技術に関連する研究	20
2.4.4 関連研究の課題のまとめ	21
第3章 システムアーキテクチャの検討	23
3.1. システムアーキテクチャで考慮すべき属性	23
3.2. 通信リソース切替えの基本概念	25
3.3. 通信リソース切替えを実現するモビリティ技術の分類	26
3.4. 通信リソース切替えのモデル化	29
3.5. システムアーキテクチャの要素機能とその関係	31
3.5.1 機能性を考慮したシステムアーキテクチャ	31
3.5.2 規模性・信頼性を考慮したシステムアーキテクチャ	36

第4章	マルチデバイス間セッション制御技術	39
4.1.	既存のセッション制御技術の概要とその課題	39
4.2.	マルチデバイス間セッション制御技術の概要	40
4.3.	マルチデバイス間セッション確立機能	40
4.3.1	プレゼンス情報の登録 (ステップ1)	41
4.3.2	通信デバイス発見・通信サービス発見 (ステップ2)	43
4.3.3	マルチデバイス環境下でのセッション確立 (ステップ3)	45
4.4.	マルチデバイス間セッション切替え機能	47
4.4.1	通信リソース切替えの要求内容の決定	48
4.4.2	通信リソースの切替えシーケンス	50
4.4.3	シーケンス例 (全ての Callee が実行可能な場合)	53
4.4.4	シーケンス例 (実行不可能な Callee が存在する場合)	64
4.5.	マルチデバイス間セッション制御技術の実装	68
4.6.	性能評価	69
4.6.1	実験環境	69
4.6.2	測定項目	70
4.6.3	測定結果	72
4.6.4	測定結果に基づく評価と考察	86
4.7.	まとめ	87
第5章	移動ネットワークでの経路制御技術	89
5.1.	既存の経路制御技術の概要とその課題	89
5.1.1	既存の経路制御技術によるアクセスネットワーク切替え	89
5.1.2	既存のモバイルルータの概要とその課題	90
5.2.	移動ネットワークでの経路制御技術の概要	91
5.3.	データフロー経路制御機能	92
5.4.	経路・セッション同時制御機能	94
5.5.	データフロー経路制御技術の実装	96
5.6.	性能評価	97
5.6.1	実験環境	97

5.6.2	測定項目	98
5.6.3	測定結果	98
5.6.4	測定結果に基づく評価と考察	99
5.7.	まとめ	100
第6章	デバイス・ユーザ間メディアデータ同期技術	101
6.1.	既存のメディアデータ同期技術とその課題	101
6.1.1	メディア同期はずれ	101
6.1.2	既存のメディアデータ同期技術	103
6.2.	デバイス・ユーザ間メディアデータ同期技術の概要	106
6.3.	マルチデバイス環境下でのメディア同期機能	106
6.3.1	マルチデバイス環境下でのメディア同期モデル	106
6.3.2	会議サーバでのメディア同期手順	108
6.3.3	通信デバイスでのメディア同期手順	109
6.4.	メディア同期維持機能	112
6.4.1	メディア同期機能のためのID管理	112
6.4.2	通信リソース切替えにともなうメディア同期	113
6.5.	デバイス・ユーザ間メディア同期技術の実装	114
6.6.	性能評価	115
6.6.1	実験環境	115
6.6.2	測定項目	116
6.6.3	測定結果	118
6.6.4	測定結果に基づく評価と考察	121
6.7.	まとめ	122
第7章	結論	123
7.1.	研究の成果	123
7.2.	適用可能な環境	127
7.3.	今後の課題	128
謝辞		133

参考文献	135
研究業績	141

目次

2.1	想定環境	8
2.2	1種類の通信リソースの切替えパターン	10
2.3	通信デバイス・アクセスネットワークの同時切替え	11
2.4	アクセスネットワーク・通信サービスの同時切替え	12
2.5	通信デバイス・通信サービスの同時切替え	13
2.6	通信デバイス・アクセスネットワーク・通信サービスの同時切替え	14
3.1	セッション確立・切替えによる通信リソース切替えの基本概念	25
3.2	モビリティ技術の分類	27
3.3	想定環境における通信リソース切替えのモデル化	30
3.4	システムアーキテクチャの要素機能とその関係	32
3.5	プロキシを使用したシステムアーキテクチャ	35
3.6	信頼性を考慮したシステムアーキテクチャの要素機能とその関係	37
4.1	セッション確立シーケンス (既存技術と提案技術)	40
4.2	セッション確立シーケンス例	45
4.3	通信リソース切替え要求の開始フロー	48
4.4	通信デバイスの切替えにともなうセッション切替えシーケンス例	54
4.5	アクセスネットワークの切替えにともなうセッション切替えシーケンス例	55
4.6	通信サービスの切替えにともなうセッション切替えシーケンス例	56
4.7	通信デバイス・アクセスネットワークの同時切替えにともなうセッション切替えシーケンス例	57

4.8	アクセスネットワーク・通信サービスの同時切替えにともなうセッション切替えシーケンス例	59
4.9	通信デバイス・通信サービスの同時切替えにともなうセッション切替えシーケンス例	60
4.10	通信サービス・アクセスネットワーク・通信サービスの同時切替えにともなうセッション切替えシーケンス例	62
4.11	Caller と Callee の同時切替えにともなうセッション切替えシーケンス例	63
4.12	一部の Callee による通信リソース切替えが困難な場合におけるセッション切替えシーケンス例	65
4.13	通信リソース切替えの内容変更におけるセッション切替えシーケンス例	67
4.14	モジュール構成図	68
4.15	ネットワーク構成図	69
4.16	Caller と Callee の同時切替えにともなうセッション切替え時間	84
4.17	Callee の一部切替えにともなうセッション切替え時間	85
5.1	データフロー配信ポリシー	92
5.2	データフロー配信ポリシーの設定例	93
5.3	経路切替え・セッション切替えシーケンス	95
5.4	ネットワーク構成図	97
6.1	メディア同期はずれ	102
6.2	典型的なメディア同期モデル	104
6.3	メディア同期モデル	107
6.4	メディア同期手順のフローチャート	110
6.5	ネットワーク構成図	115
6.6	マスタメディア間のメディア出力遅時間延の差	118
6.7	マスタ・スレイブメディア間のメディア出力遅延時間の差	119
7.1	システムアーキテクチャの要素機能とその関係	124

表 目 次

4.1	プレゼンス情報の登録例	44
4.2	実験機器の CPU とメモリ	70
4.3	セッション確立時間の測定結果	73
4.4	通信デバイス切替えの測定結果	74
4.5	アクセスネットワーク切替え (CNW から HNW1, MNW, PNW) の測定結果	75
4.6	アクセスネットワーク切替え (HNW1, MNW, PNW から CNW) の測定結果	75
4.7	セッション切替え (MGW による切替え) 時間の測定結果	76
4.8	セッション切替え (通信サービスの切替え) 時間の測定結果	76
4.9	セッション切替え (通信デバイス・アクセスネットワークの切替え:CNW に接続している MD1 から HNW1, MNW, PNW に接続している CD へ切替え) 時間の測定結果	77
4.10	セッション切替え (通信デバイス・アクセスネットワークの切替え:HNW1, MNW, PNW に接続している CD から CNW に接続している MD1 へ切替え) 時間の測定結果	78
4.11	セッション切替え (アクセスネットワーク・通信サービスの切替え:CNW から HNW1, MNW, PNW へ, 音声通話からテレビ電話) 時間の測定結果	79
4.12	セッション切替え (アクセスネットワーク・通信サービスの切替え:HNW1, MNW, PNW から CNW へ, テレビ電話から音声通話) 時間の測定結果	80

4.13	セッション切替え (アクセスネットワーク・通信サービスの切替え:MGW による切替え) 時間の測定結果	80
4.14	セッション切替え (通信デバイス・通信サービスの切替え) 時間の測定結果	81
4.15	セッション切替え (通信デバイス・アクセスネットワーク・通信サービスの切替え:CNW に接続している MD1 から HNW1, MNW, PNW に接続している CD へ切替え, 音声通話からテレビ電話へ切替え) 時間の測定結果	82
4.16	セッション切替え (通信デバイス・アクセスネットワーク・通信サービスの切替え:HNW1, MNW, PNW に接続している CD から CNW に接続している MD1 へ切替え, テレビ電話から音声通話) 時間の測定結果	82
4.17	通信リソース切替えの内容を変更した際のセッション切替え時間の測定結果	85
5.1	MR を使用した通信リソース切替えの測定結果	99
5.2	MR と MGW による通信リソース切替えの測定結果の比較	99
6.1	ID 管理テーブル	112
6.2	マスタメディア切替え時の測定結果	120
6.3	スレイブメディア切替え時の測定結果	120

第1章 序論

人々は、他人との意思疎通を図るため、音声、表情や身振りなどの動作、文字や図などの画像の交換など、多種多様な手段を用いてコミュニケーションをとってきた。コミュニケーションをとるための道具や基盤の発展にともない、コミュニケーションの範囲は、周辺の身近な人から世界中の人へ拡大している。

特に、1843年にイギリスにてFAX[6]が、1876年にアメリカにて電話機[24]が登場してから、人々は、遠隔からでも画像や音声によるコミュニケーションをとることが可能となった。その後、1930年にアメリカにてテレビ電話が開発され、1964年にAT&Tがテレビ電話[18]の商用サービスを開始してから、人々は、画像や音声だけでなく、映像の送受信が可能となり、遠隔からでも動作によるコミュニケーションが可能となった。さらに、1979年に日本にて携帯電話[23]の商用サービスが開始されてから、人々は、移動しながらでも音声によるコミュニケーションをとることが可能となった。また、1969年にARPANET[28]として始まったインターネットが発展し、通信回線の高速化、利用料金の低価格化が進んだ。これにより、人々は、インターネットに接続したパソコンを使用して画像、音声や映像だけでなく、音楽や動画などのリッチコンテンツの送受信によるコミュニケーションが可能となった。

このように、どこからでも人とコミュニケーションをとるための道具として、固定電話機、携帯電話、パソコンなどの通信デバイスが多様化してきた。また、宅内ではインターネットへ接続可能なハードディスクレコーダやテレビなどの情報家電、車内ではカーナビ端末などの車載用デバイス、ネットカフェなどの施設内では公共用デバイスなど、コミュニケーションをとれる通信デバイスの多様化はさらに拡大している。通信デバイスの多様化にともない、通信デバイスで利用可能な音声通話サービス、テレビ電話サービス、動画・音楽・写真共有サービス

などの通信サービスも多様化している。

このような通信サービスは、通信デバイスと密に結びついている。これは、通信デバイスの利用者(以下、ユーザとよぶ)が、周辺に存在する通信デバイスを選択し、通信デバイスに応じた通信サービスを選択する必要があることを意味する。例えば、ユーザの周辺に携帯電話が存在している場合、ユーザは、携帯電話にて利用可能な音声通話サービスや写真閲覧サービスなどの通信サービスを選択する。また、携帯電話よりも大きなサイズのディスプレイにてテレビ電話サービスを利用したい場合、ユーザは、宅内でインターネットに接続したテレビやパソコンが設置されてある部屋へ移動し、テレビ電話サービスを選択する。

通信サービスと通信デバイスが密に結びつく環境では、ユーザの周辺状況や嗜好が変化し、利用中の通信サービスや通信デバイスを変更したい場合、ある通信デバイスで利用している通信サービスを停止し、新たな通信サービスを同一の通信デバイス、あるいは異種の通信デバイスで再開する必要がある。例えば、ユーザが携帯電話で音声通話サービスを利用している際に、通信サービスを音声通話サービスからテレビ電話サービスへ変更したい場合、終話した後、テレビやパソコンにてテレビ電話サービスを起動する必要がある。また、ユーザが携帯電話で音楽を聴いている際に、音楽共有サービスを利用するための通信デバイスを携帯電話から宅内のテレビへ変更したい場合、音楽の再生を停止した後、テレビにて音楽共有サービスを起動する必要がある。

今後のコミュニケーションでは、通信サービスと通信デバイスを密に結びけるだけでなく、ユーザの周辺状況や嗜好に応じて、通信サービスと通信デバイスを柔軟に組合せ可能とすることが重要となる。さらに、ユーザの周辺状況や嗜好の変化に応じて、通信サービスと通信デバイスの組合せを変更可能とすることも重要となる。

このようなコミュニケーションを実現するための方法は、実現手段という観点から大きく分けて以下の2つに分類することができる。

- 単体の通信デバイスの高機能化

単体の通信デバイス内で通信サービスと通信デバイスを仮想的に組合せる。具体的には、単体の通信デバイス内にて複数の通信サービスを同時に起動可

能とし、ユーザが起動した通信サービスを自在に切替えることができるよう複数の通信サービスを並列処理する。また、ユーザの嗜好に応じて、キーの入力方法を変更したり、ディスプレイの大きさを変更したりするなど、通信デバイスのハードウェアを高機能化する。

- 複数の通信デバイスの機能連携

既存の通信デバイスのハードウェアを最大限活用して、複数の通信デバイス間でソフトウェアを連携して動作させる。例えば、テレビ電話サービスを利用するため、ある通信デバイスで音声を送受信し、ディスプレイのサイズがより大きな別の通信デバイスで映像を送受信する。また、写真を再生中の通信デバイスを異なる通信デバイスへ変更する。

通信デバイスの中でも携帯電話を所有しているユーザは増加しており、Android 端末や iPhone をはじめとして、携帯電話の高機能化が進んでいる。このような高機能な携帯電話へ通信サービスの機能を集約し、周辺状況や嗜好の変化に応じて通信サービスを切替え可能とすると、ユーザは単体の通信デバイスを所有するだけで複数の通信サービスを継続して利用可能となる。ただし、単体の通信デバイス、特に携帯電話では、ディスプレイのサイズや処理能力などハードウェアの制限やコーデックなどのソフトウェアの制限などが存在する。一方、複数の通信デバイスの機能を連携させると、単体の通信デバイスによる制限がなくなる。ただし、複数の通信デバイスを使用するため、その操作手順が煩雑となる。

本論文では、現状の通信デバイスを最大限に活用するという観点から、複数の異種通信デバイスの機能を連携することにより、ユーザの周辺状況や嗜好に応じた通信サービスや通信デバイス、通信サービスに応じて通信デバイスが接続するアクセスネットワークを自在に選択可能な通信環境の提供を目的とする。さらに、ユーザの周辺状況や嗜好の変化が発生した場合においても、使用中の通信デバイス、アクセスネットワークならびに通信サービスなどの通信リソースを切替え可能とするとともに、コミュニケーションを自動で継続可能な通信環境の提供を目的とする。

複数の通信デバイスを使用した環境下での通信サービスの利用や通信リソースの切替えの実現に関連した研究がこれまでも発表されてきた。関連研究では、

通信サービスのデータ (以下, メディアデータとよぶ) を送受信するための接続の制御 (追加・削除・変更) やメディアデータの送受信を要求する手順をセッション単位で処理するとともに, ユーザの周辺状況や嗜好の変化に応じて通信デバイスが確立したセッションを制御 (追加・削除・変更) する. しかしながら, 関連研究は, 通信リソースを実行する通信デバイスや通信サービスのみの切替えであったり, 対象とする通信サービスがリアルタイム通信のみなど, その適用範囲が限定的であった. また, 通信相手が複数存在する場合, 通信相手の周辺状況や嗜好に応じて, 通信相手の通信デバイス間のセッション切替えることが困難であった. さらに, あるユーザが確立したセッションを維持困難な場合におけるセッション制御が困難であった.

そこで, 本論文では, 複数の通信デバイスが使用可能な環境 (以下, マルチデバイス環境とよぶ) 下において, ユーザが通信デバイス, アクセスネットワーク, 通信サービスといった通信リソースを自在に選択・切替え可能とするとともに, 継続したコミュニケーションを実現するマルチデバイス対応コミュニケーション継続技術を提案する. 提案技術は, 通信リソース切替えの要求を受けたユーザが, 通信リソースを切替えることが困難な場合のセッション制御やあるユーザが確立済みのセッションを維持困難な場合のセッション制御によりコミュニケーションを継続させる. さらに, 提案技術をベースとしたプロトタイプシステムを実装し, 性能評価によって提案技術の有効性を示すとともに, 実環境での課題を洗い出す. 本論文では, 洗い出した課題を解決するための技術を提案するとともに, プロトタイプシステムを用いた性能評価により課題を解決できることを示す.

本章では, これまでの人と人とのコミュニケーションの方法とコミュニケーションをとるための道具としての通信デバイスや通信サービスの多様化について述べた. さらに, 今後のコミュニケーションのあり方, ならびに本研究の目的について述べた.

2章では, マルチデバイス環境下において, 通信リソースを自在に選択・切替え可能とするとともに, コミュニケーションを継続可能とするマルチデバイス対応コミュニケーション継続技術を実現するための要件を述べるとともに, 関連技術とその課題について述べる.

3章では、2章で述べた課題を解決し、要件を満たすためのシステムアーキテクチャについて検討する。

4章では、検討したシステムアーキテクチャ上で動作するマルチデバイス間セッション制御技術について述べる。本技術は、マルチデバイスを使用するユーザ間で通信リソースが変化した際においても、通信デバイス間でセッションを動的に切替えることで、コミュニケーションの継続を実現可能とする特徴をもつ。さらに、本技術の実現可能性と有効性を示すとともに、性能評価から明らかになった既存技術と提案技術の共通の課題として、主に以下の2つを解決する必要があることを示す。(課題1) 移動体での移動中における通信リソースの切替えにともなうメディアデータの受信断時間の短縮。(課題2) 通信デバイスで出力するメディアデータの出力時刻の差異による同期はずれの抑制。

5章では、4章で述べたマルチデバイス間セッション継続技術に加えて、(課題1)を解決するための経路制御技術について述べる。本技術は、車や船舶などの移動体とともにユーザが移動した際に、通信リソースを切替える際にも、IPトンネルを切替えることで、継続したコミュニケーションを実現可能とする特徴をもつ。さらに、本技術の実現可能性と有効性を示す。

6章では、4章で述べたマルチデバイス間セッション制御技術に加えて、(課題2)を解決するためのマルチデバイス環境下でのメディアデータ同期技術について述べる。本技術は、通信リソースの切替えが発生した場合においても、通信デバイス間でメディアデータの生成時刻や出力時刻の継続した交換を実現することで、通信デバイス間・ユーザ間にてメディアデータの出力時刻の同期を実現可能とする特徴をもつ。さらに、本技術の実現可能性と有効性を示す。

7章は結論であり、本研究で得られた成果とともに、本研究の成果を適用可能な環境を述べ、本論文では未達成の技術的な課題をまとめる。

第2章 マルチデバイス環境下でのコミュニケーション継続技術の要件と課題

ユーザは、多種多様な通信デバイスによって多種多様な通信サービスを利用し、他のユーザとコミュニケーションをとってきた。通信デバイスや通信サービスの多様化にともない、ユーザの周辺状況や嗜好に応じて、通信デバイス、通信デバイスが接続するアクセスネットワーク、通信サービスなどの通信リソースを自在に選択可能とする要求が高まっている。さらに、ユーザの周辺状況や嗜好の変化に応じて、コミュニケーションを継続しながらも通信リソースを切替え可能とする要求が高まっている。

本章では、まず、本論文で想定するマルチデバイス環境を示し、想定環境での通信リソース切替えのパターンを整理するとともに、各パターンでのユースケース例を示す。次に、想定環境下において上記の要求を満たすための要件をまとめる。最後に、関連研究とその課題について述べる。

2.1. 想定環境

本節では、本論文を通して想定するマルチデバイス環境について示す。

ユーザは、通信サービスを利用する場合、屋内外にかかわらず携帯電話などの移動デバイスを使用する。さらに、ユーザは、宅内、車内や船内などの移動体内、カフェなどの施設内などでは、その場に既設の固定デバイスを使用する。例えば、宅内ではパソコンや情報家電を、車内ではカーナビ端末などの車載用のデバイスを、カフェなどの施設ではパソコンをベースとした公共用デバイスを使用する。

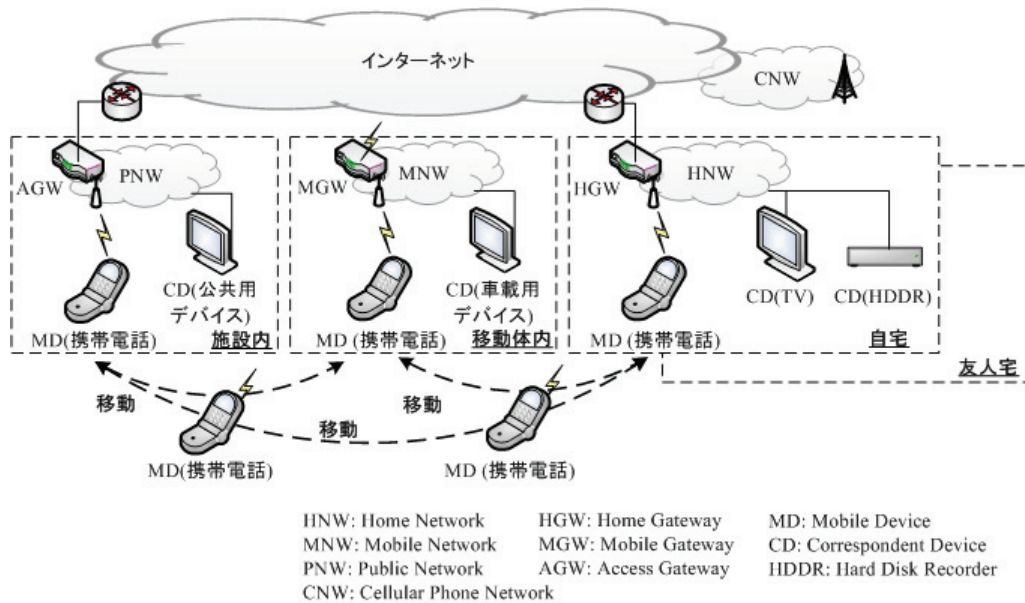


図 2.1 想定環境

このような想定環境を図 2.1 に示す。図 2.1 において、TV やハードディスクレコーダ (HDDR) などの情報家電は、宅内に構築されたホームネットワーク (HNW: Home Network) へ、車載用デバイスは、移動体内に構築された移動ネットワーク (MNW: Mobile Network) へ、公共用デバイスは、施設内に構築された公共用ネットワーク (PNW: Public Network) へ接続する。これらの固定デバイス (CD) は、それぞれ、ホームゲートウェイ (HGW)、モバイルゲートウェイ (MGW)、アクセスゲートウェイ (AGW) を経由して、インターネットへ接続する。また、移動デバイス (MD) は、携帯電話網 (CNW: Cellular Phone Network), HNW, MNW, PNW などのアクセスネットワークへ接続し、アクセスネットワーク間を移動する。MGW は、移動体の移動にともない CNW や無線 LAN などのアクセスネットワークを移動する。

2.2. 通信リソースの切替えパターンとユースケース例

本節では、今後のコミュニケーションの形態として図 2.1 で示したマルチデバイス環境下での通信リソースの切替えパターンを整理するとともに、各パターンにおけるユースケース例を示す。通信リソースの切替えパターンとして、1 種類の通信リソースの切替えパターン、複数の通信リソースの同時切替えパターンに分類することができる。1 種類の通信リソースの切替えパターン (切替えパターン 1~切替えパターン 3) を図 2.2 に示すとともに、各パターンの概要とユースケース例を 2.2.1 節以下に示す。また、複数の通信リソースの同時切替えパターン (切替えパターン 4~切替えパターン 7) を図 2.3~図 2.6 に示すとともに、各パターンの概要とユースケース例を 2.2.2 節に示す。

2.2.1 1 種類の通信リソースの切替えパターン

- 切替えパターン 1：通信デバイスの切替え (図 2.2 (1))
 - 概要：通信デバイスを使用中の通信デバイスから異なる通信デバイスへ切替える (追加, 削除, 変更する).
 - ユースケース例：宅内にいるユーザが携帯電話を使用して音声通話サービスならびに写真の閲覧サービスを利用している。ユーザは、携帯電話よりディスプレイサイズが大きな TV で写真を閲覧したいため、写真を出力する通信デバイスを携帯電話から TV へ変更する (通信デバイスの追加)。ユーザは別の部屋へ移動するため、写真を出力する通信デバイスを TV から携帯電話へ変更し、TV の使用を停止する (通信デバイスの削除)。携帯電話を使用して音声通話サービスを利用しているユーザが車内へ移動した後、通信デバイスを携帯電話から車載用の通信デバイスへ切替え、音声通話サービスを継続する (通信デバイスの変更)。

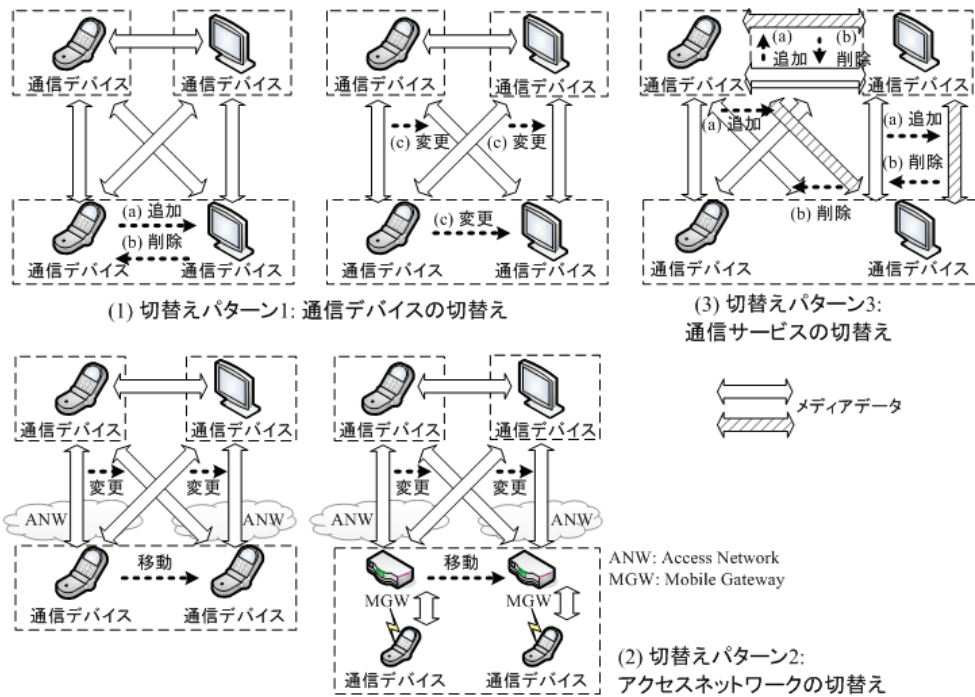


図 2.2 1 種類の通信リソースの切替えパターン

● 切替えパターン2: アクセスネットワークの切替え (図 2.2 (2))

- 概要：移動デバイスや移動デバイスのプロキシとなる MGW が、アクセスネットワークを接続中のアクセスネットワークから異なるアクセスネットワークへ切替える。
- ユースケース例：携帯電話を使用して音声通話サービスを利用しているユーザが宅内へ移動すると、携帯電話はアクセスネットワークを CNW から HNW へ切替え、音声通話サービスを継続する。また、MNW 内の車載用デバイスで音声通話サービスを利用中のユーザが車で移動している際、MGW はアクセスネットワークを CNW からより広帯域の WiMAX 網や無線 LAN などのアクセスネットワークへ切替える。

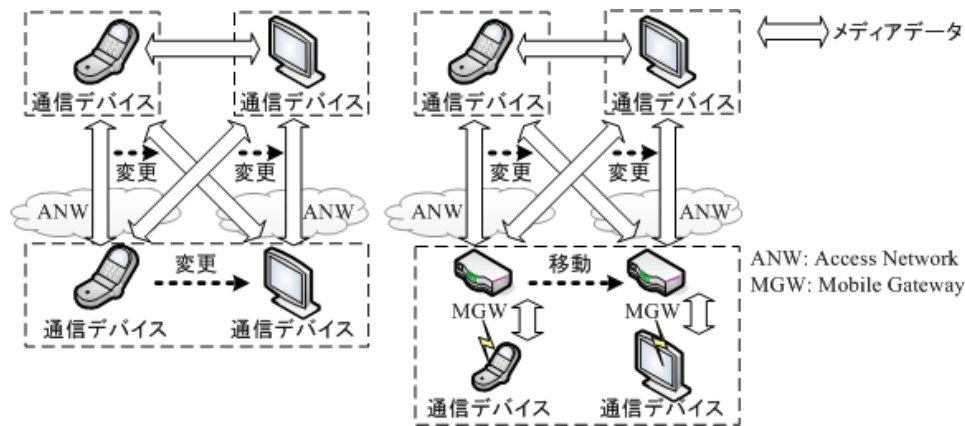


図 2.3 通信デバイス・アクセスネットワークの同時切替え

- 切替えパターン3：通信サービスの切替え (図 2.2 (3))
 - － 概要：リアルタイム通信サービスやマルチメディア通信サービスなどの通信サービスを利用中の通信サービスから異なる通信サービスへ切替える (追加・削除・変更する).
 - － ユースケース例：PNW に接続している公共用デバイスを使用して音声通話サービスを利用しているユーザが，音声通話を継続したまま通信サービスを音声通話からテレビ電話へ変更する．また，テレビを使用して写真閲覧サービスを利用しているユーザが，音楽視聴サービスを追加することで，写真を閲覧しながらお気に入りの音楽を聴く．

2.2.2 複数の通信リソースの同時切替えパターン

- 切替えパターン4：通信デバイス・アクセスネットワークの同時切替え (図 2.3)
 - － 概要：あるアクセスネットワークに接続している通信デバイスを異なるアクセスネットワークに接続している通信デバイスへ切替える．あるいは，MGW が接続するアクセスネットワークを切替えると同時に，通信デバイスを異なる通信デバイスへ切替える．

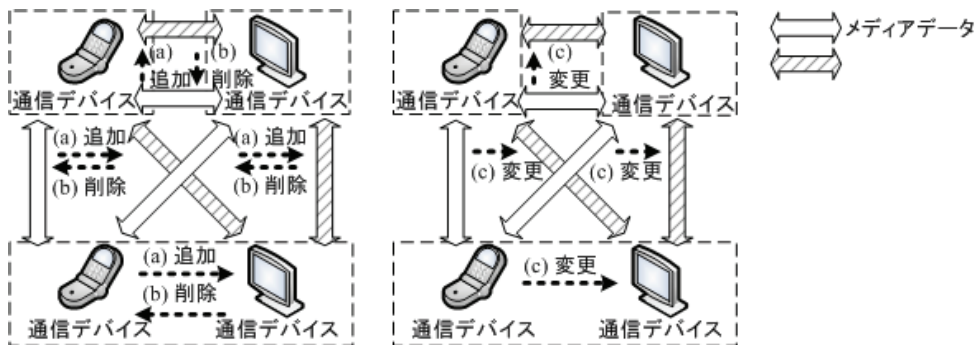


図 2.5 通信デバイス・通信サービスの同時切替え

アクセスネットワークへ移動すると同時に、通信サービスを音楽共有サービスから音楽・動画共有サービスへ切替える。

- 切替えパターン6：通信デバイス・通信サービスの同時切替え (図 2.5)
 - － 概要：同じアクセスネットワークに接続している通信デバイス間で通信サービスを切替える (追加・削除・変更する)。
 - － ユースケース例：携帯電話を使用して音声通話サービスを利用しているユーザがカフェへ移動し、携帯電話がPNWに接続した後、通信デバイスを携帯電話から公共用デバイスへ切替えると同時に、通信サービスを音声通話サービスからテレビ電話サービスへ切替える。また、カフェから外へ移動する場合、通信デバイスを公共用デバイスから携帯電話へ切替えると同時に、通信サービスをテレビ電話サービスから音声通話サービスへ切替える。
- 切替えパターン7：通信デバイス・アクセスネットワーク・通信サービスの同時切替え (図 2.6)
 - － 概要：あるアクセスネットワークに接続している通信デバイスを異なるアクセスネットワークに接続している通信デバイスへ切替える (追加・削除・変更する) と同時に、通信サービスを切替える (追加・削除・変更する)。

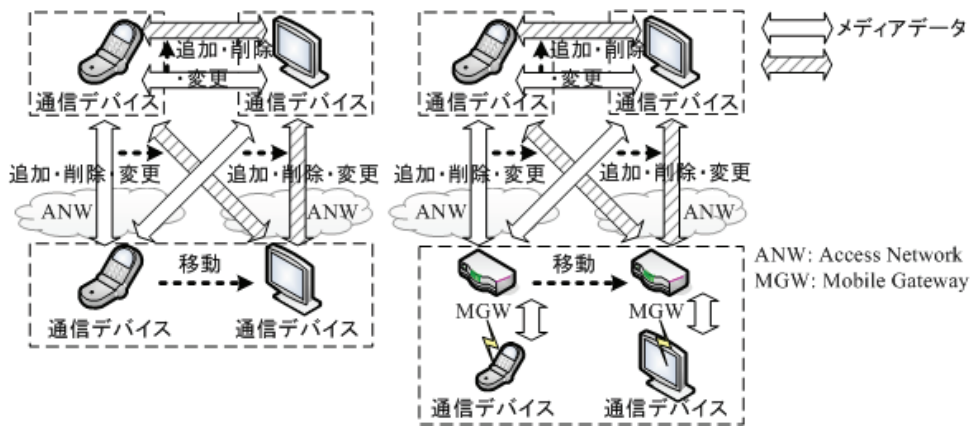


図 2.6 通信デバイス・アクセスネットワーク・通信サービスの同時切替え

- ユースケース例：CNW に接続している携帯電話を使用して音声通話サービスを利用しているユーザが宅内へ移動すると、通信デバイスを携帯電話から HNW に接続している TV へ切替えると同時に、通信サービスを音声通話からテレビ電話へ切替える。その後、ユーザが宅外へ移動すると、通信デバイスを HNW に接続している TV から CNW に接続している携帯電話へ切替えると同時に、通信サービスをテレビ電話から音声通話へ切替える。また、ユーザが車内へ移動すると、通信デバイスを CNW に接続している携帯電話から MNW に接続している車載用デバイスへ切替えると同時に、通信サービスを音声通話サービスから音声通話サービスと写真共有サービスへ切替え、音声通話を継続しながら通話相手の画像が車載用デバイスに表示される。

2.3. マルチデバイス環境下でのコミュニケーション継続のための要件

想定環境下にてユーザが通信リソースを自在に選択し、2.2節で述べた7つのパターンで通信リソースを切替えた場合においても継続したコミュニケーションを実現するための主な要件を以下にまとめる。

- 機能要件 1: マルチデバイスを使用したセッション確立

ユーザがマルチデバイスを使用した場合においても通信サービスを利用するためには、移動デバイス (MD) や固定デバイス (CD) などの各通信デバイスが相互に発見可能であり、各通信デバイスが送受信するメディアデータの種類を決定する必要がある。具体的には、各通信デバイスから通信相手の通信デバイスとメディアデータを送受信するためのセッションを確立する必要がある。ここでのセッションとは、通信デバイス間でメディアデータを送受信するために使用する IP アドレス、ポート番号、プロトコルやフォーマットの取決めを示す。

- 機能要件 2: 通信リソース切替えのためのセッション切替え

ユーザが通信デバイス (MD, CD), アクセスネットワーク (HNW, MNW, PNW, CNW), 通信サービス (テレビ電話サービス, 音声通話サービス, 動画・音楽・写真閲覧サービス) などの通信リソースを、2.2節で述べた7つのパターンで切替えた場合においてもメディアデータの送受信を継続する必要がある。そこで、ユーザの周辺状況や嗜好の変化に応じて、通信デバイス間のセッションを手動あるいは自動で切替える (追加・削除・変更する) 必要がある。さらに、通信リソースの切替えを受信する通信相手も通信リソースを切替えたい場合やセッションの切替えを実行困難なユーザが存在する場合を考慮したセッション制御を実現する必要がある。

- 機能要件 3: セッションの維持

セッション確立後、ユーザの周辺状況の変化などにより、通信リソースを継続して使用困難な状況においても、各ユーザで共通のメディアデータ

を送受信可能な環境であれば、コミュニケーションを継続するためのセッション切替えを実現する必要がある。

- 性能要件 1:セッションの確立・切替え所要時間

マルチデバイス環境下にて通信デバイス間でセッションを確立するまでに要する時間(セッションの確立時間), ならびに通信リソースの切替えを実現するために, セッションの切替えが完了するまでに要する時間(セッションの切替え所要時間)を, ITU が規定するセッション確立の性能目標値である, 7.5 秒以内 [1] に完了する必要がある。7.5 秒は, 通信キャリアなどが ITU-T の SG(Study Group)13 へ提案し, 勧告化された値であり, VoIP 通信などの通信サービスを提供する際, 採用している値である。複数の通信リソースを使用する場合においても, 7.5 秒以内という性能目標値を満たす必要がある。

- 性能要件 2:メディアデータの受信断時間

ユーザが通信リソースを切替えた場合において, メディアデータの受信を停止してから受信を再開するまでの所要時間(メディアデータの受信断時間)を, 3 秒以内 [16] に抑制する必要がある。この 3 秒は, ユーザにメディアデータの受信断時間を意識させない最大の時間とされる性能目標値となる。この性能目標値は, [16] をはじめとする関連研究での実証実験によって得られた値であり, 通信キャリアなどで採用されている値である。複数の通信リソースを使用する場合においても, 3 秒以内という性能目標値を満たす必要がある。

2.4. 関連研究とその課題

2.3 節で述べた各要件を満たすための関連技術については、これまでもいくつか研究されている。本節では、まず、マルチデバイス環境下でのセッション確立を実現し、メディアデータの送受信を開始するための関連研究について示すとともに、その課題を整理する。次に、通信デバイス間で確立したセッションの切替えを実現する通信リソース切替え技術の関連研究について示すとともに、その課題を整理する。最後に、セッション切替え後、メディアデータの送受信を継続する技術の関連研究について示すとともに、その課題を整理する。

2.4.1 マルチデバイス環境下でのコネクション確立に関する研究

複数の通信デバイスを活用して他ユーザの通信デバイスとのコネクションの確立について、IETF(Internet Engineering Task Force)にて規定された SIP(Session Initiation Protocol)[14]を使用することで通信デバイス間のコネクションを集約する会議サーバを導入する手法が研究されている [37, 29, 30, 41, 45]。これらの関連研究では、通信デバイスが SIP を活用し、メディアデータを制御するためのセッションを会議サーバと確立するとともに、周辺の通信デバイスに対して、会議サーバへのセッション確立を要求することで、複数の通信デバイスが、それぞれ異なるメディアデータを送受信可能という特徴をもつ。

これらの関連研究は、マルチデバイス環境下でのセッション確立により機能要件1を満たすことが可能であるが、通信リソースの切替え、ならびにメディアデータの継続再生が課題である。そこで、これらの課題を解決するための通信リソース切替え技術に関連する研究を以下に示す。

2.4.2 通信リソース切替え技術に関する研究

通信デバイス、アクセスネットワーク、通信サービスなどの通信リソースの切替えを可能とする関連研究を以下に示すとともに、関連研究の課題を示す。

- 通信デバイス切替えの関連研究

音声通話中の通信デバイスを携帯電話からパソコンに変更する，というようにセッションを構成するメディアデータの種類が変化しない通信デバイスの切替えについて，プロキシノードを導入する手法が研究されている [15, 31]. これらの関連研究では，メディアデータのフローを振り分けるプロキシノードが通信デバイスと同一セグメントに設置され，ユーザからの指示によってメディアデータを入出力する通信デバイスが変更される．セッション制御の処理が同一のセグメント内に閉じるため高速に通信デバイスを切替えられるという特徴をもつ．

しかしながら，これらの手法は，HNW, PNW 内など，局所的かつ固定されたネットワークでの通信デバイスの切替えを実現することが可能であるが，CNW が混在するネットワークでの通信デバイスの切替えが困難である．

そこで，外部ネットワークに接続されるゲートウェイが複数存在する環境下において，自ユーザのゲートウェイ間，および通話相手のゲートウェイとの間で宛先情報を交換することで，メディアフローが通過するゲートウェイを切替える手法が研究されている [32].

しかしながら，この関連研究においても，[15, 31] と同じく，アクセスネットワークの切替えや通信サービスの切替えには対応していない．

また，これらの関連研究の他に，負荷分散の観点からサーバ側でパケットを送受信する通信デバイスを切替え可能とする研究がある [12]. [12] では，通信デバイスの能力やメディアデータを送信するサーバの状態に応じて，使用するサーバを切替えることで，メディアデータの送受信を継続することが可能となる．

しかしながら，この関連研究をユーザの通信デバイスへ適用した場合，通信デバイスの切替えや通信サービスのビットレートやコーデックを変更させることが可能である一方，アクセスネットワークや，通信サービスの種類を切替えることが困難である．

- アクセスネットワーク切替えの関連研究

通信デバイスが CNW と WLAN など異種アクセスネットワーク間を移動した場合においても、異なるリンク間でハンドオーバを実現することでアクセスネットワークを切替える方法が標準化されている [4]。さらに、Mobile IP[36, 25]を活用して通信デバイスがインターネット上のサーバ(ホームエージェント)との IP トンネルを切替えるとともに、ハンドオーバ前後でメディアデータの経路を振分けることで、アクセスネットワーク切替えを実現する。また、異なる認証方式のアクセスネットワークを移動した場合においても、接続したアクセスネットワークに応じた認証方法に切替えることで通信サービスを継続する研究がある [10]。

アクセスネットワークを移動すると、セッションレベルから通信デバイス間のコネクションを切替える研究もある。さらに、通信デバイス側ではなく、異種ネットワークの基地局側でメディアデータを転送することで、VoIP(Voice over IP)などの通信サービスを継続して提供可能とする研究がある [21]。

しかしながら、これらの関連研究は通信デバイスや通信サービスの切替えについては考慮していない。また、通信デバイスが複数の異種アクセスネットワークに接続可能な場合においても、ユーザが手動で自在にアクセスネットワークを切替えることが困難である。

- 通信サービス切替えの関連研究

異種アクセスネットワークを移動すると同時に、移動先のアクセスネットワークで使用可能な音声通話サービスの通信方式(GSM, VoIP など)や異なる通信サービスへ切替える研究がある [5]。この手法では、音声通話サービスの通信方式が異なるアクセスネットワークを移動した場合においても音声通話サービスを継続可能であるという特徴を持つ。[5]では、アクセスネットワークを移動すると同時に、通信サービスを電話サービスやテキストチャットなどの通信サービスを切替え可能という特徴も持つ。

しかしながら、この関連研究は、単体のデバイスを使用した1対1の通信サービスを前提としている。したがって、異なる通信デバイス間で通信サー

ビスを切替えたり、通信相手間の通信リソースの切替えを要求することが困難である。

また、通信デバイスの切替えに合わせて通信サービスを切替え可能な研究がある [33, 40, 39, 44]。[33] では、通信リソース切替え先の通信デバイスが接続するアクセスネットワークの種類がグローバルネットワークかローカルネットワークかを判断して通信サービスを変える。[40] では、SLP (Service Location Protocol)[13] によるサービス発見と組み合わせの上で通信デバイスと通信サービスを切替える。[39, 44] では、SIP の REFER[43] メソッドを用いた呼転送により通信リソースを切り替える。

しかしながら、これらの関連研究は、アクセスネットワークを自在に切替えたり、通信相手間の通信リソースの切替えを要求することが困難である。

これらの関連研究では、セッション制御により、通信リソースの切替えを実現することが可能である。しかしながら、これらの関連研究では、7つの通信リソースの切替えパターンを同時に満たすことが困難である。また、通信相手の通信デバイスが複数存在した場合や通信相手が複数存在する場合、一度の通信リソース切替え要求にて、通信リソースを切替えることが困難であり、コミュニケーションを継続することが困難な課題がある。さらに、セッション確立後、通信リソースを継続して使用困難な状況下で、各ユーザで共通のメディアデータを送受信可能な環境であっても、コミュニケーションを継続することが困難な課題がある。そこで、想定環境下において7つの通信リソースの切替えパターンに全て対応可能なシステムアーキテクチャならびに安定してコミュニケーション継続を実現可能とする通信リソースの切替えシーケンスを検討する必要がある。

2.4.3 メディアデータ制御技術に関連する研究

通信サービスで送受信するメディアデータの受信断時間を意識させずに、各通信デバイスでバッファコントロールによりメディアデータの出力時刻を制御する手法が研究されている [45]。この関連研究では、通信デバイスが接続するアクセスネットワークでのメディアデータの伝送遅延が変動した場合においてもメディ

アデータの出力時刻を制御する。これにより、ユーザに対して通信サービスの継続を体感させることが可能となる特徴を持つ。

しかしながら、関連研究では、アクセスネットワークの伝送遅延やジッタなどが変動した際にもコミュニケーションの継続をユーザに体感させることは可能であるが、通信リソースの変化に追従することが困難である。

2.4.4 関連研究の課題のまとめ

上記で述べたとおり、関連研究のままでは2.3節で述べた要件を同時に解決することが困難である。関連研究の課題を以下に整理する。

- マルチデバイス環境下での通信リソース切替えのためのセッション制御
ユーザの周辺状況や嗜好に応じて、通信リソース切替えのパターンを7つのパターンの中から判定し、判定した結果に応じてセッションを切替える統合的なセッション制御技術を実現する必要がある。
- 通信相手間の通信リソース切替えを考慮したセッション制御
通信相手のユーザが複数存在する場合、通信相手の通信デバイス間でも通信リソース切替えを実現可能とする必要がある。特に、通信サービスを切替える際に、切替え要求の内容に応じて通信相手の通信デバイス間で通信サービスを切替える必要がある。例えば、通信サービスを音声通話サービスからテレビ電話サービスへ切替える要求を通信相手に送信した場合、通信相手の通信デバイス間もテレビ電話へ切替え可能とする。ただし、テレビ電話サービスから音声通話サービスへ切替える要求を通信相手に送信した場合、通信相手の通信デバイス間でテレビ電話を継続可能な場合、通信リソースの切替えを発生させる必要はない。また、通信デバイスやアクセスネットワークの切替えの際においても、通信相手の通信デバイス間のコミュニケーションには影響を与えないため、通信リソースの切替えを発生させる必要はない。

- 通信リソースの維持が困難なユーザを考慮したセッション制御

セッション確立後，ユーザの周辺状況の変化などにより，通信リソースを継続して使用困難な状況においても，各ユーザで共通のメディアデータを送受信可能な環境であれば，コミュニケーションを継続するためのセッション切替えを実現する必要がある．

- メディアデータの出力時刻を考慮したセッション制御

上記の課題を満たした場合においても，セッション切替え時，通信デバイス間にて，同じタイミングで出力されるべきメディアデータがずれて出力されてしまい，コミュニケーションの継続が困難となる課題が明らかになった．したがって，通信デバイス間，ならびにユーザ間でメディアデータの出力時刻を同期させるためのセッション制御が必要となる．

本論文では，これらの課題を解決し，全ての要件を同時に満たす新たなマルチデバイス環境下でのコミュニケーション継続技術について検討，提案する．

次章において，コミュニケーション継続技術を実現するシステムアーキテクチャについて検討するとともに，システムアーキテクチャの構成要素と要素間の関係を示す．

第3章 システムアーキテクチャの 検討

本章では、2.4節で述べた関連研究の課題を解決することで2.3節の要件を満たし、ユーザが通信リソースを自在に選択・切替えた場合においても、コミュニケーションを継続可能とするシステムアーキテクチャについて検討する。

具体的には、まず、マルチデバイス環境下で通信リソースを管理し、通信リソースを選択・切替えるために考慮すべきシステムアーキテクチャの属性を示す。さらに、通信リソース切替えの基本概念を示すとともに、2.4節で述べた各モビリティ技術を実現手段という観点から分類する。次に、分類したモビリティ技術から通信リソース切替えのモデル化について検討するとともに、活用可能なモビリティ技術について検討する。最後に、システムアーキテクチャの構成要素を示し、各構成要素の関係を示す。

3.1. システムアーキテクチャで考慮すべき属性

本節では、マルチデバイス環境下で通信リソースを管理し、通信リソースを選択・切替えるためのシステムアーキテクチャにおいて考慮すべき主な属性を以下に示す。

まず、2.4節で述べた関連研究の課題を解決することで2.3節の要件を満たすための機能という観点からの属性を以下に示す。

- 機能性を考慮したシステムアーキテクチャ

ユーザが通信リソースを自在に選択・切替え可能であり、通信リソースを切替えた場合においても、コミュニケーションを継続可能な機能性を考慮

する必要がある。具体的には、複数のユーザが複数の通信リソースを同時に選択・切替え可能とする。さらに、ユーザによって嗜好や周辺状況が変化するタイミングが異なるため、ユーザが通信相手の切替え要求の送信タイミングを気にすることなく、通信リソースの切替え要求を送信するといった非同期な通信リソース切替えを実現する必要がある。ただし、あるユーザが所有する通信デバイス間ならびにユーザ間でメディアデータを出力する時刻については、同期する必要がある。

次に、機能性を考慮したシステムアーキテクチャにおいて、より多くのユーザによる通信リソースの継続的な利用という観点からの属性を以下に示す。

- 規模性を考慮したシステムアーキテクチャ

複数のユーザを収容可能とするとともに、各ユーザが、複数の通信デバイスを使用し、多種多様な通信サービスを利用・切替える場合においてもコミュニケーションを継続可能な規模性を考慮する必要がある。具体的な規模については、例えば、日本において、IP 接続が可能な携帯電話を全て収容する場合を考慮すると、最大で約 9,300 万 (2010 年 6 月末時点) 収容可能とする必要がある。さらに、HNW, MNW, PNW でそれぞれ 1 台の固定端末を収容する必要がある場合、9,300 万の 3 倍の 27,900 万、合計で 37,200 万収容する必要がある。

- 信頼性を考慮したシステムアーキテクチャ

複数のユーザがコミュニケーション継続技術を実装したシステムを使用している際に、システムはできるだけ障害を発生させないように耐故障性を考慮する必要がある。また、一部のサーバにおいて故障が発生した場合においてもシステム全体が停止せず、セッションの確立を維持し、コミュニケーションを継続可能な障害許容性を考慮する必要がある。例えば、99.9988 % [2] の稼働率、つまり 1 年間で 10 分以内の停止時間を目標とする必要がある。さらに、故障が発生した箇所をできるだけ早く復旧可能とし、セッションを再確立させる回復性を考慮する必要がある。

最後に、ユーザならびにシステムの運用者によるシステムの利用という観点からの属性を以下に示す。

- 使用性を考慮したシステムアーキテクチャ
ユーザが、多種多様な通信リソースをより簡単に選択・切替え可能な使用性を考慮する必要がある。
- 安全性を考慮したシステムアーキテクチャ
ユーザが、悪意のユーザを気にすることなく、通信リソースを自在に選択・切替え、コミュニケーションを継続可能な安全性を考慮する必要がある。
- 保守性を考慮したシステムアーキテクチャ
運用者が、本技術を利用したシステムをより簡単に検査可能であり、障害対応が容易な保守性を考慮する必要がある。

3.2. 通信リソース切替えの基本概念

機能性を考慮したシステムアーキテクチャを実現するため、セッション確立(図 3.1 1-4)ならびにセッション切替え(図 3.1 5-9)による通信リソース切替えの基本

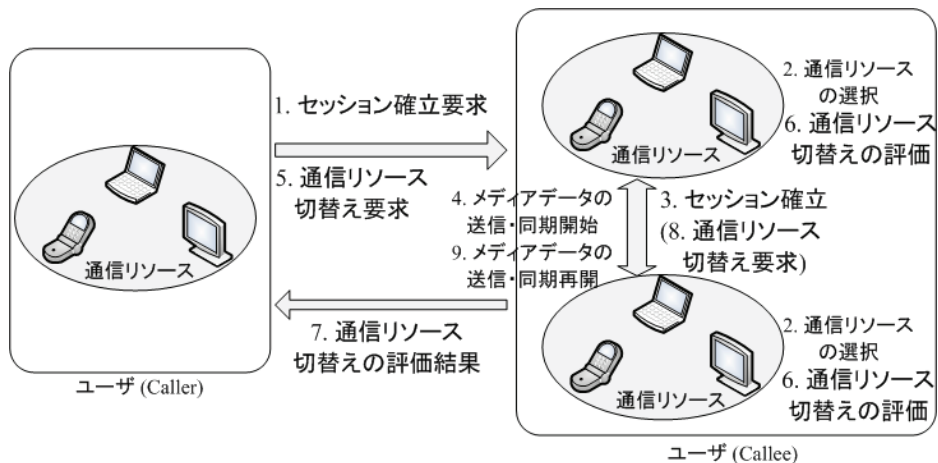


図 3.1 セッション確立・切替えによる通信リソース切替えの基本概念

概念を図 3.1 に示す。図 3.1 において、セッションの確立・切替えを要求するユーザ (Caller) の通信デバイスが、他のユーザ (Callee) の通信デバイスへ確立・切替え要求を送信する。Callee 間で通信リソースの内容を決定した後、セッションを確立・切替える。

3.3. 通信リソース切替えを実現するモビリティ技術の分類

本節では、通信リソース切替えの基本概念を詳細化するため、2.4 節で述べた関連研究におけるモビリティ技術を、実現手段という観点から以下のように分類し、活用可能なモビリティ技術を検討する。分類した各モビリティ技術を図 3.2 に示す。

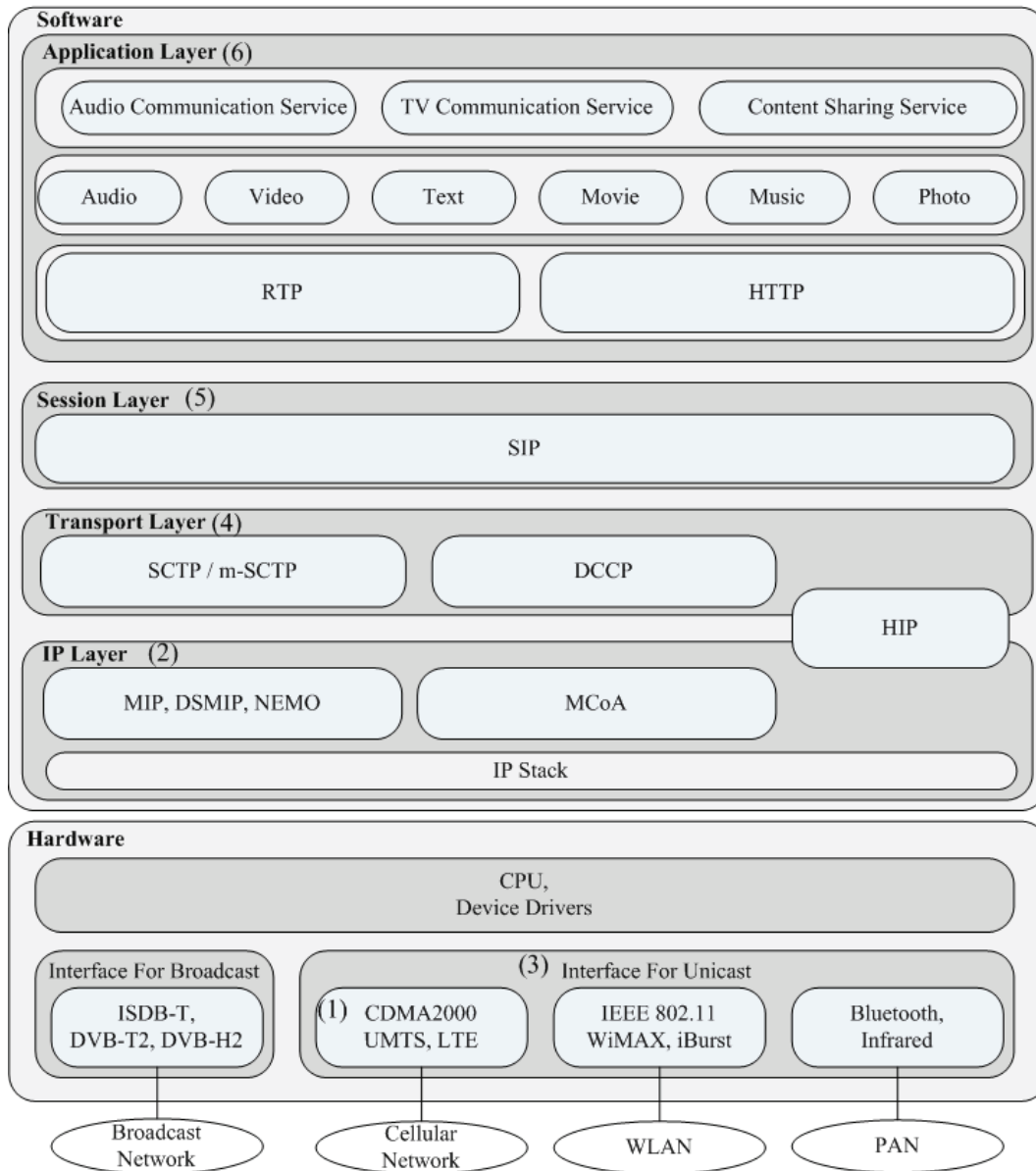
- 基地局の切替え (図 3.2 (1))

アクセスネットワークへ接続するための基地局を切替える。CDMA(Code Division Multiple Access) や UMTS(Universal Mobile Telecommunication System) などの通信方式を使用して、通信インタフェースで受信する電波強度に応じて、接続する基地局を切替えることにより、同種のアクセスネットワーク内にてコミュニケーションを継続したまま移動することができる。

- IP アドレスの切替え (図 3.2 (2))

各通信インタフェースに付与される IP アドレスを切替える。MIP, SIP などのプロトコルを使用して、メディアデータを送受信するための IP アドレスを切替えることにより、アクセスネットワークの切替えを実現することができる。IP アドレスの切替えでは、同一の通信インタフェースで異なる IP アドレス間を切替える場合、異なる通信インタフェースで異なる IP アドレス間を切替える場合がある。また、異なる通信デバイス間で通信インタフェースに付与された IP アドレスを切替える場合、通信デバイスの切替えを実現することができる。さらに、IP アドレスが異なるアクセスネット

3.3 通信リソース切替えを実現するモビリティ技術の分類



CDMA: Code Division Multiple Access, UMTS: Universal Mobile Telecommunications System, LTE: Long Term Evolution
 ISDB: Integrated Services Digital Broadcasting, DVB: Digital Video Broadcasting,
 WLAN: Wireless Area Network, PAN: Personal Area Network, DSMIP: Mobile IPv6 Support for Dual Stack Hosts and Routers
 MIP: Mobile IP, NEMO: Network Mobility, MCoA: Multiple Care-of Address, HIP: Host Identity Payload
 SCTP: Stream Control Transmission Protocol, DCCP: Datagram Congestion Control Protocol
 RTP: Real-Time Transport Protocol, HTTP: Hyper Text Transport Protocol

図 3.2 モビリティ技術の分類

ワークから取得している場合、通信デバイスとアクセスネットワークを同時に切替えることができる。

- 通信インタフェースの切替え (図 3.2 (3))

メディアデータを送受信する通信インタフェースを切替える。具体的には、通信インタフェースに割り当てられた ID の切替えにより、通信インタフェースに付与された IP アドレスのセットを切替えることができる。MIP, SCTP(Stream Control Transmission Protocol)[34], SIP などのプロトコルを使用して、異なるアクセスネットワークに接続可能な通信インタフェースを切替えることにより、CNW から WLAN へといった異種アクセスネットワークの切替えを実現することができる。また、異なる通信デバイス間で通信インタフェースを切替える場合、通信デバイスを切替えることができる。さらに、通信インタフェースが異なるアクセスネットワークに接続している場合、通信デバイスとアクセスネットワークを同時に切替えることができる。

- ポート番号の切替え (図 3.2 (4))

メディアデータを送受信するためのポート番号を切替える。異なるメディアデータで同一のポート番号を使用する設定の場合においても SIP などのプロトコルを使用して、メディアデータを送受信するためのポート番号を切替えることにより、異なるメディアデータを同時に送受信することができる。

- メディアデータの種類の切替え (図 3.2 (5))

音声データや動画データなどのメディアデータの種類を切替える。SIP などのプロトコルを使用して、通信デバイスが送受信するメディアデータの種類を変更することにより、通信サービスを切替えることができる。また、通信サービスによって、メディアデータの種類とポート番号が紐付けられている場合、メディアデータの種類を切替えるとともに、メディアデータを送受信するためのポート番号を同時に切替えることにより、通信サービスを切替えることができる。

- 通信サービスの切替え (図 3.2 (6))

通信サービスを構成するメディアデータの種類のセットを切替える。SIP などのプロトコルを使用して、通信サービスを利用するために送受信するメディアデータの種類のセットを切替えることにより、通信サービスを切替えることができる。例えば、音声通話サービスからテレビ電話サービスへ切替える場合、音声通話サービスを構成する音声データの送受信からテレビ電話サービスを構成する音声データ・映像データの送受信へ切替える。

3.4. 通信リソース切替えのモデル化

本節では、3.3 節で述べたモビリティ技術に基づき、想定環境下における通信リソース切替えをモデル化する。

本論文では、ユーザが複数の通信デバイスを使用し、通信デバイス・アクセスネットワーク・通信サービスなどの通信リソースを切替え、コミュニケーションを継続可能とすることを目的としている。3.3 節で述べた様々なモビリティ技術によって各通信リソースの切替えを実現可能なため、2.3 節で示した要件を満たすと考えられるモビリティ技術について以下に示すとともに、本論文で提案するモビリティ技術のモデルを図 3.3 に示す。

- 通信デバイスの切替え (図 3.3(1))

切替え元ならびに切替え先の通信デバイスを特定し、異なる通信デバイスの通信インタフェースならびに IP アドレスの切替えにより、通信デバイスを切替えることができる。

したがって、通信デバイスの切替えでは、通信デバイスを特定するため、SIP などのセッション層で制御する。

- アクセスネットワークの切替え (図 3.3(2))

基地局、IP アドレス、通信インタフェースを切替えることでアクセスネットワークを切替えることができる。アクセスネットワークを切替え可能な

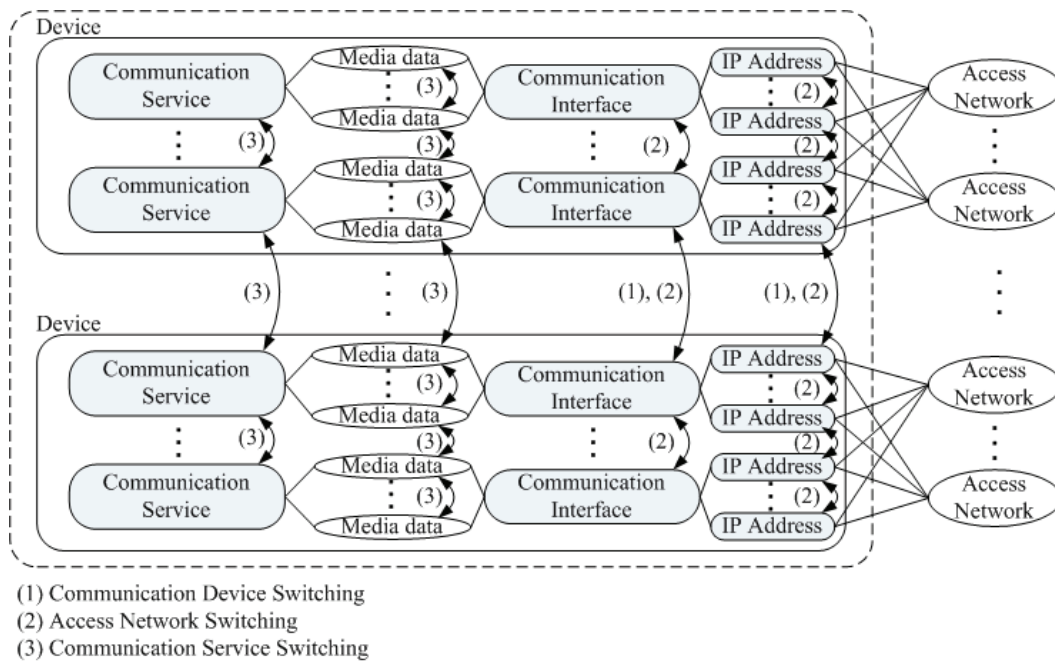


図 3.3 想定環境における通信リソース切替えのモデル化

モビリティ技術は、多種多様である。そこで、SIP と MIP を実装したプロトタイプシステムにおいて、セッション層からアクセスネットワークを切替えた場合と IP 層からアクセスネットワークを切替えた場合において、アクセスネットワークの切替え速度を測定した。結果、プロトタイプシステムは、それぞれ性能要件 1, 2 を満たすことが可能であることを確認した(詳細をそれぞれ 4 章, 5 章で示す)。また、IP 層から切替えた場合の方がセッション層で切替えた場合と比較して、切替え速度が向上可能なことを確認した(詳細を 5 章で示す)。

- 通信サービスの切替え (図 3.3(3))

切替え元ならびに切替え先のポート番号、メディアデータの種別、メディアデータの種別のセットを特定し、異なるポート番号、メディアデータの種別(メディアデータの種別のセットを含む)の切替えにより、通信サービスを切替える。ポート番号、メディアデータの種別を切替える際に、IP 層やトランスポート層でメディアデータの種別を特定することが困難である。

したがって、通信サービスの切替えでは、SIPなどのセッション層で通信サービスを切替える。

- 通信リソースの同時切替え

通信デバイス(図 3.3(1))・アクセスネットワーク(図 3.3(2))・通信サービスの切替え(図 3.3(3))の全ての切替えに対応可能と考えられるモビリティ技術は、SIPなどのセッション層でのモビリティ技術である。

そこで、通信リソースの同時切替えを実現するため、想定環境でのシステムアーキテクチャは、セッション層でのモビリティ技術をベースにする。しかしながら、異種アクセスネットワークの切替えと同時に、通信デバイスや通信サービスの同時切替えが発生した場合、セッション層のみの切替えでは、性能要件2を満たさないことを性能評価により確認した(詳細を4章に示す)。そこで、このような切替えの際には、アクセスネットワークをより高速に切替え可能なIP層でのモビリティ技術と連携することで全ての要件を満たすことが可能なことを確認した(詳細を5章に示す)。

3.5. システムアーキテクチャの要素機能とその関係

本節では、システムアーキテクチャの属性の中でも、モデル化した通信リソース切替えを実現する機能性を考慮したシステムアーキテクチャについて検討する。さらに、検討したシステムアーキテクチャをベースに規模性、信頼性を考慮した場合のシステムアーキテクチャについて述べる。なお、システムの運用者によるシステムの運用・保守のし易さなどの使用性については、本論文の対象外とする。

3.5.1 機能性を考慮したシステムアーキテクチャ

機能性を考慮したシステムアーキテクチャについて以下に述べる。

前節でモデル化した通信リソース切替えを実現するため、セッション層とIP層でのモビリティ技術により提供する要素機能とその関係を以下に示すとともに、図 3.4 に示す。

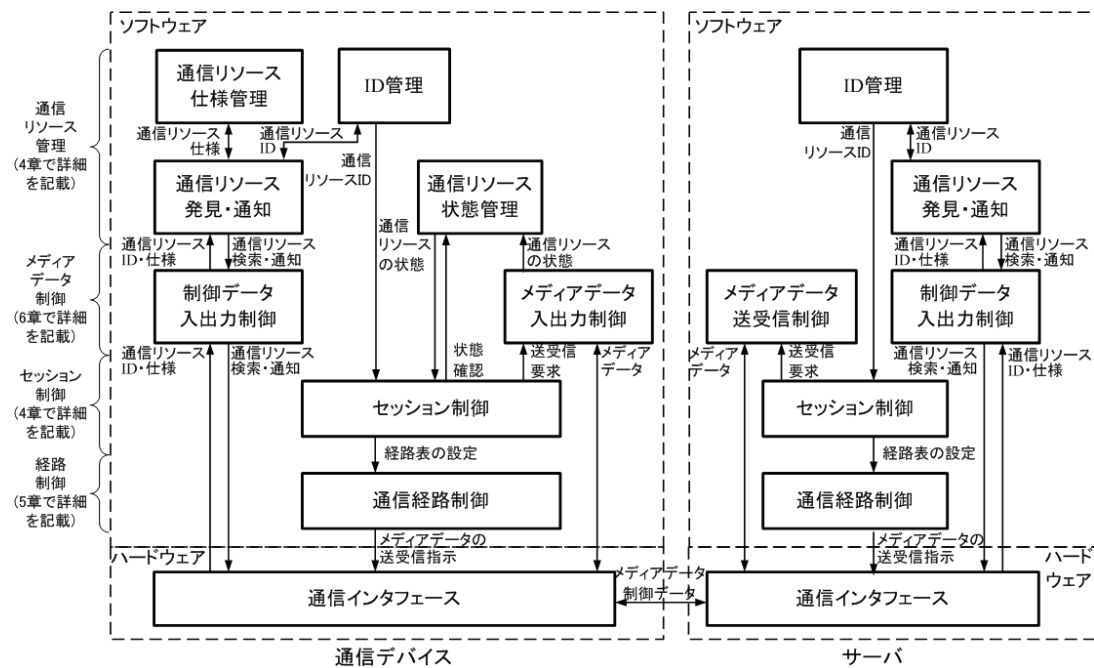


図 3.4 システムアーキテクチャの要素機能とその関係

図 3.4 では、通信リソース管理、メディアデータ制御、セッション制御、経路制御の4つの要素で構成される。通信リソース管理ならびにメディアデータ制御の各素については、さらに詳細な要素で構成される。各要素の概要を以下に示すとともに、通信リソース管理ならびにセッション制御の詳細については4章、経路制御の詳細については5章、メディアデータ制御の詳細については6章に示す。

1. 通信リソース管理

- ID 管理

ユーザ・通信リソースの ID 管理を実現するための構成要素である。機能要件 1, 2, 3 を満たすため、マルチデバイス環境下で通信リソースの発見・選択・切替えを実現する必要がある。通信リソースを発見・選択・切替えるためには、関連研究と同様に、発見・選択・切替え対象となる通信デバイス、通信デバイスが接続可能なアクセスネットワークや利用可能な通信サービスを特定する必要がある。そこで、ユーザ

や通信リソースを特定するための識別子 (ID) を使用し、ユーザ毎に ID を紐付ける。

さらに、本論文では、リアルタイム通信サービスとマルチメディア通信サービスを区別するため、通信デバイス毎に、利用する通信サービスの種類や送受信するメディアデータの種類を特定する。具体的には、これらを特定するサービス ID を新たに定義し、ユーザ毎に複数の ID を紐付け、本構成要素内の ID 管理テーブルに登録・管理する。

- 通信リソース発見・通知

ID や通信リソース仕様を発見・通知するための構成要素である。

本構成要素は、同じユーザ ID で紐付けられた通信リソースの ID や通信リソースの仕様を検索し、発見・取得する。また、通信リソースの ID や通信リソースの仕様を他の通信デバイスへ通知する。

- 通信リソース仕様・状態管理

通信リソース仕様ならびに通信状態を管理し、通信デバイス間で共有するための構成要素である。

マルチデバイス環境下での通信リソース切替えのためのセッション制御や通信相手間の通信リソース切替えを考慮したセッション制御の課題を解決するとともに、機能要件 1, 2, 3 を満たすため、各通信デバイスは、他の通信デバイスを特定後、その通信デバイスの仕様や利用可能な通信サービスの種類を取得する必要がある。さらに、通信リソースを選択・切替える際、各通信デバイスでの通信リソースの利用可否を確認するため、通信デバイスは他の通信デバイスにおける通信リソースの利用状況を確認する必要がある。

そこで、本論文では、通信デバイス間で通信リソースの仕様を参照可能とする。さらに、通信デバイスがコネクションを確立した後や通信リソースを切替えた後、通信デバイス間で通信リソースの最新の利用状態を確認可能とするため、通信リソースの利用状況を通信デバイス ID 毎に管理し、同じユーザ ID で紐付けられた通信デバイス間で利用状況を共有する。

2. メディアデータ制御

セッション切替え制御とメディアデータ制御の統合を実現するための構成要素である。

- メディアデータ入出力制御

本構成要素は、通信デバイス間や通信デバイスとサーバ間で確立したセッションを使用して送受信するメディアデータの入出力のタイミングを制御する。

- メディアデータ送受信制御

本構成要素は、通信デバイスから受信したメディアデータをミキシングしたり、送信するタイミングを制御する。

- 制御データ入出力制御

本構成要素は、セッション確立・切替えを要求するための制御メッセージ、通信リソースの仕様や状態の確認などの制御データを入出力する。

3. セッション制御

セッション制御を実現するための構成要素である。

本構成要素は、通信デバイス間や通信デバイスとサーバ間でセッションを確立、切替える(追加・削除・変更する)。本構成要素により、マルチデバイス環境下での通信リソース切替えのためのセッション制御や通信相手間の通信リソース切替えを考慮したセッション制御の課題を解決するとともに、機能要件1, 2, 3を満たす。

具体的には、同じユーザIDが付与されている通信デバイスや通信相手のユーザIDを「ID管理」へ問合せ、IDを取得する。取得したIDを使用して、同じユーザIDが付与されている通信デバイスID、通信相手のユーザIDが所有する通信デバイスIDの通信リソースの状態をサーバへ問合せるとともに、セッションの確立・切替えを要求する。サーバの「セッション制御」は、各通信デバイスの「セッション制御」経由で通信リソースの状態

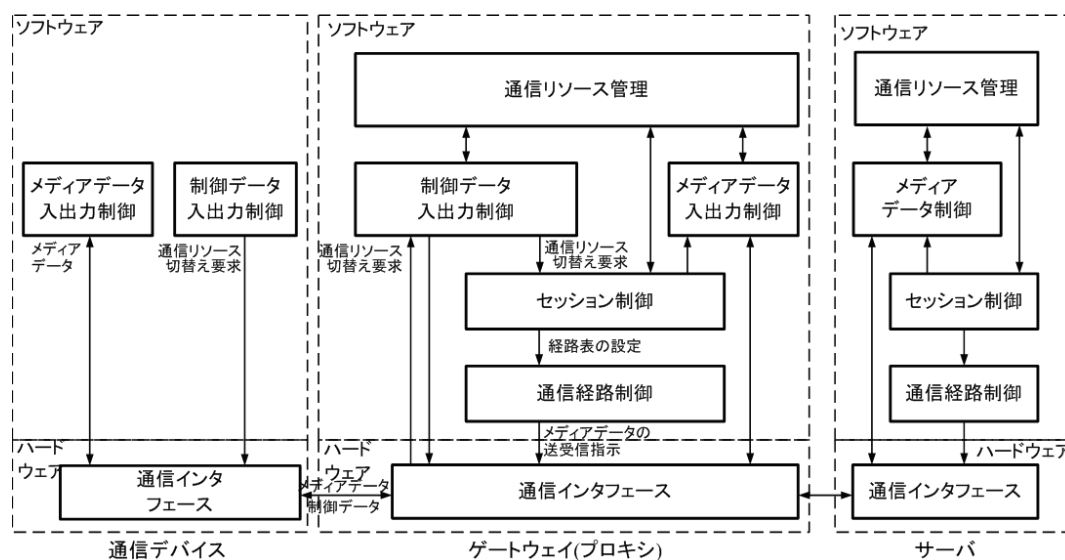


図 3.5 プロキシを使用したシステムアーキテクチャ

を「通信リソース状態管理」から取得し、セッションの確立・通信リソースの切替えを各通信デバイスの「セッション制御」へ要求する。

さらに、本構成要素は、セッションの切替えとともに通信リソースの切替え内容に応じたメディアデータの継続再生を実現することで、ユーザの周辺状況や嗜好が変化した場合においてもコミュニケーションの継続をユーザに体感させる。

4. 通信経路制御

セッション制御によるセッション制御の後、メディアデータを送受信するため、IPレベルでの通信経路を変更する構成要素である。また、IPレベルでのアクセスネットワーク切替えを実現する構成要素である。

具体的には、セッション確立の際、メディアデータを送受信する通信インタフェースを決定し、送受信先のIPアドレスやポート番号に基づき通信経路の経路表を更新する。

市販の情報家電など通信デバイスによるセッション制御が困難な場合や移動体などでのアクセスネットワークを移動する場合、HGW, MGW, PGWの各ゲー

トウェイが通信デバイスのプロキシとなる。プロキシを使用した場合のシステムアーキテクチャを図3.5に示す。なお、図3.5におけるサーバ内・プロキシ内の各通信デバイスが備えていた各要素が送受信する内容については、図3.4と同じであり、省略している。

図3.5において、プロキシとなる各ゲートウェイは、図3.4に示した通信デバイスの要素を備える。さらに、各ゲートウェイは、複数の通信デバイスIDを所有し、複数の通信デバイスを仮想的に構成する。また、各ゲートウェイは、通信デバイスのIDと通信デバイスのIPアドレスを紐付けることで、受信するメディアデータを「通信経路制御」にて各通信デバイスへ転送する。なお、通信リソースの切替え要求については、各ゲートウェイがWEBサーバなどのサーバとなり、「メディアデータ入出力制御」にて各通信デバイスからの要求を受信する。各ゲートウェイは、通信デバイスから通信リソースの切替え要求を受信すると、通信デバイスの代理でセッションを確立・切替えるとともに、メディアデータの送受信を開始する。

なお、図3.4で示した通信デバイスが、プロキシを介してサーバや通信デバイスとメディアデータを送受信することも可能とする。例えば、移動デバイスがCNWに接続している場合には、プロキシを介さずにセッションを制御するが、HNW、MNW、PNWに接続した際に、それぞれHGW、MGW、AGWを介してセッション制御する。

3.5.2 規模性・信頼性を考慮したシステムアーキテクチャ

機能性を考慮したシステムアーキテクチャをベースに規模性ならびに信頼性を考慮した場合のシステムアーキテクチャについて以下に述べるとともに、図3.6に示す。

- 規模性を考慮したシステムアーキテクチャ

複数のユーザが所有する通信デバイスを収容可能とする必要ため、サーバの処理性能の向上(スケールアップ)や複数のサーバによる処理性能の向上(スケールアウト)などの方法が考えられる。なお、通信デバイス(セッション

3.5 システムアーキテクチャの要素機能とその関係

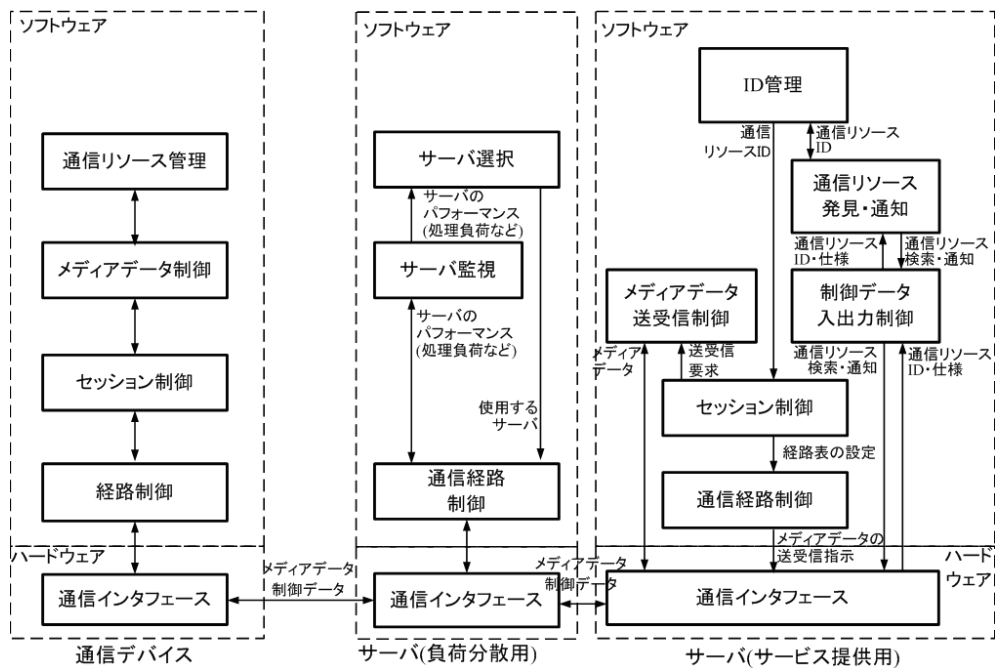


図 3.6 信頼性を考慮したシステムアーキテクチャの要素機能とその関係

ンの収容数については、サービス提供者がサービスを提供するユーザの対象によって決定される。例えば、日本にて携帯電話を所有する全てのユーザを対象とする場合、最大約 37,200 万のセッションを収容する必要がある。ただし、サービス提供中に、ユーザ数が想定より増減することがあり、収容数を変更可能とする必要がある。サービス提供者は、サービスが成功し、より多くのユーザへサービスを提供することを決定した場合、スケールアップやスケールアウトを行うことで収容許容数を増加させる。一方、サーバが過剰提供されている場合、運用・管理コストを削減するため、サービス提供用のサーバを削減させる。システムアーキテクチャでは、増減する収容許容数に応じて、信頼性を考慮しつつ、スケールアップやスケールアウト、あるいはスケールダウンを実現する。具体的には、図 3.6 での「サーバ監視」にて、サービス提供用の処理負荷のパフォーマンスやサーバの起動・停止などを監視する。「サーバ選択」は、その監視状況を基にユーザを収容するサーバを決定し、セッションを確立させる。サービス提供用のサーバ

を追加すると、負荷分散用のサーバに登録され、収容可能なユーザ数が増加する。一方、想定より収容ユーザ数が減少した場合、不要なサーバを取り除く。ただし、全てのサーバがセッションを収容している場合、別のサーバへセッションを切替える。

- 信頼性を考慮したシステムアーキテクチャ

サーバ側のハードウェアや各機能を冗長化することにより信頼性を提供する。具体的には、RAID(Redundant Arrays of Inexpensive Disks)を構成するなどしてハードウェアによる耐故障性を提供可能とする。また、ユーザを収容中のサーバに障害が発生し、そのサーバにて継続して通信サービスを提供することが困難な場合、各サーバの稼働を検知している負荷分散用のサーバが検知し、他のサービス提供用のサーバにてセッションを確立させることにより、障害許容性を提供する。さらに、負荷分散用のサーバが、故障したサーバの復旧の完了を検知し、使用可能であることを判定することにより、回復性を提供する。

第4章 マルチデバイス間セッション制御技術

本章では、3章で述べたシステムアーキテクチャ上でコミュニケーションを継続させるためのマルチデバイス間セッション制御技術を提案する。まず、既存のセッション制御技術について述べる。次に、マルチデバイス間でリアルタイム通信サービスならびにマルチメディア通信サービスを利用するためのセッションを確立するマルチデバイス間セッション確立機能について述べる。また、ユーザの周辺状況や嗜好の変化に基づき、通信デバイス、アクセスネットワーク、通信サービスなどの通信リソースを切替える際に、マルチデバイス間のセッションを切替えるマルチデバイス間セッション切替え機能について述べる。最後に、これらの機能に基づくプロトタイプシステムの実装概要を述べるとともに、性能評価の結果を示し、提案技術の課題についてまとめる。

4.1. 既存のセッション制御技術の概要とその課題

2.4節で述べたセッション制御技術において、ある通信リソースを使用してセッションを確立・切替える場合、あるユーザが完了した後に他のユーザによるセッション確立や切替えが可能となる。例えば、図4.1(a)では、ユーザ1がセッションを確立・切替えた後、ユーザ2がセッションを確立・切替えている。したがって、通信相手は、要求内容に応じた通信リソースの決定や切替えが困難となり、コミュニケーション断の発生に繋がる。そこで、通信相手の嗜好や周辺状況を考慮したセッション制御が必要となる。

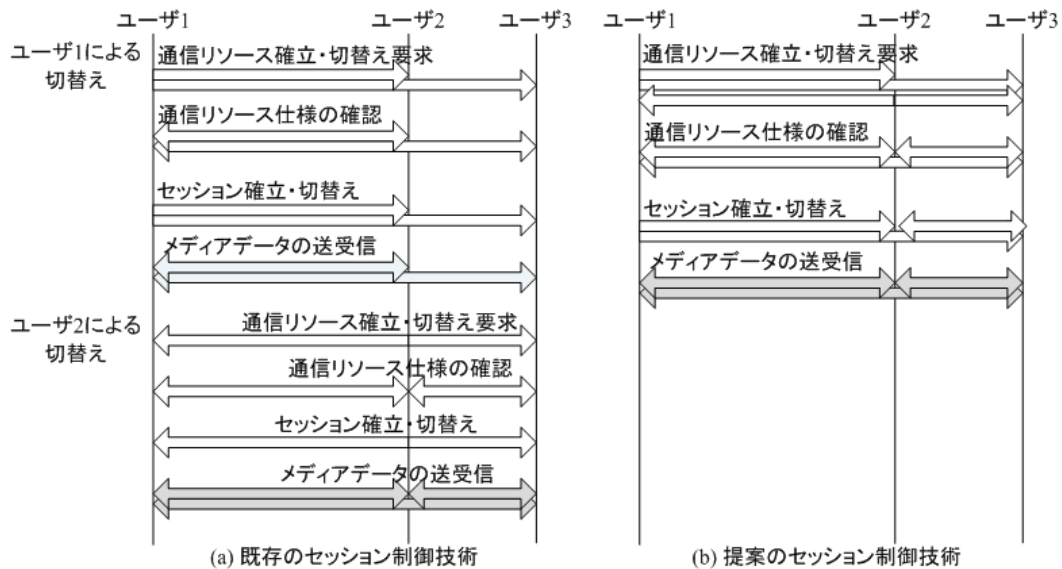


図 4.1 セッション確立シーケンス (既存技術と提案技術)

4.2. マルチデバイス間セッション制御技術の概要

本論文では、4.1節で示した課題を解決し、図4.1 (b)に示すとおり、各ユーザーが同時に通信リソースを自在に選択し、切替え可能とする。マルチデバイス間でのセッション確立に関する詳細を4.3節に示すとともに、セッション切替えに関する詳細を4.4節に示す。

4.3. マルチデバイス間セッション確立機能

本機能では、通信を開始するユーザー (Caller) の通信デバイスから利用する通信リソースを特定するとともに、通信相手のユーザー (Callee) が所有する通信デバイスにて利用可能な通信リソースを特定するためのサービスIDをプレゼンス情報として定義する。さらに、インターネット上のサーバにてプレゼンス情報を管理し、プレゼンス情報を基にセッションの確立要求を送信する通信リソースを特定する。

具体的には、まず、通信デバイスを使用する準備段階として、本機能は通信デ

デバイスを識別するための URI などの通信デバイス ID を通信デバイスに割当るとともに、通信デバイスで利用可能な通信サービスを特定するためのサービス ID を割当る。また、通信デバイスを所有するユーザを特定するためのユーザ ID を各通信デバイスに割当る。通信デバイスが起動すると、その通信デバイスあるいはプロキシとなるゲートウェイが、ゲートウェイを特定するための ID を取得し、これらの ID をプレゼンス情報として ID を管理するサーバ (以下、プレゼンスサーバとよぶ) へ登録する (ステップ 1)。次に、各通信デバイスは、同じユーザ ID で管理されている通信デバイス ID をプレゼンスサーバへ問合せることにより、使用可能な通信デバイスを発見する。さらに、各通信デバイスは、発見した通信デバイスが提供する通信サービスの種類や使用可能なプロトコルなどの通信リソース仕様を取得する (ステップ 2)。Caller によって通信リソース、ならびに Callee のユーザが選択されると、Caller の通信デバイスは、通信リソースの ID、ユーザ ID を含むメッセージをセッションを管理するサーバ (以下、セッション制御サーバとよぶ) へ送信し、セッション確立を要求する。要求を受信したセッション制御サーバは、Caller や Callee の通信リソースの状態や仕様を確認し、Caller と Callee の通信デバイス間でセッションを確立する (ステップ 3)。

各ステップの詳細をそれぞれ 4.3.1 節、4.3.2 節、4.3.3 節に示す。

4.3.1 プレゼンス情報の登録 (ステップ 1)

マルチデバイス環境下において、ユーザが複数の通信サービスを利用するため、通信デバイスは、通信デバイス ID、ユーザ ID、通信リソースの利用状態に加えて、各通信デバイスにて利用可能な通信サービスの種類、送受信可能なメディアデータの種類の把握する必要がある。さらに、Callee が存在する場所の通信デバイスへ着信させるため、ユーザの位置を把握する必要がある。

そこで、本機能では、通信デバイスが利用可能な通信サービスの種類や送受信可能なメディアデータの種類のサービス ID として定義するとともに、サービス ID と、通信デバイスが提供可能な通信サービスの詳細仕様の取得先 (URI) をプレゼンス情報として、プレゼンスサーバへ登録する。さらに、ユーザの位置を把握するため、ユーザが使用する MD のアクセスネットワーク上の位置を把握する。

MD が接続するアクセスネットワークの種類を把握するため、各ゲートウェイに ID を付与するとともに、MD がゲートウェイから取得したゲートウェイ ID をプレゼンス情報として、プレゼンスサーバの ID 管理テーブルへ登録する。

- サービス ID の定義

サービス ID の定義の詳細を以下に示す。サービス ID は、通信サービスの種類を識別する ID、ならびに通信サービス毎に使用する通信デバイスの能力を示す ID で構成される。

サービス ID = "通信サービスの種類": "通信デバイスの能力".

例えば、通信サービスの種類として、リアルタイム通信サービスを"rc", マルチメディア通信サービスを"mc"と定義する。また、通信デバイスの能力として、音声の入出力をそれぞれ"ai", "ao", 映像の入出力をそれぞれ"vi", "vo", テキストの入出力を"ti", "to", 音楽の送受信をそれぞれ"Ai", "Ao", 動画の送受信をそれぞれ"Vi", "Vo", 写真の送受信をそれぞれ"Pi", "Po"と定義する。ここで、リアルタイム通信サービスにおいて音声・映像の入出力が可能であり、マルチメディア通信サービスにおいて音楽・動画の送受信が可能な通信デバイスのサービス ID の例を以下に示す。

サービス ID = "rc:ai,ao,vi,vo", "mc:Ai,Ao,Pi,Po".

- ゲートウェイ ID の定義

通信デバイスは、アクセスネットワークから IP アドレスを取得すると、UPnP(Universal Plug and Play) などのプロトコルによりデバイス発見メッセージを送信する。デバイス発見メッセージを受信したゲートウェイは、ゲートウェイの ID(ゲートウェイ ID) を含めた応答メッセージを通信デバイスへ返信する。通信デバイスは、応答メッセージを受信した場合、取得したゲートウェイ ID をプレゼンス情報として、プレゼンスサーバへ登録する。ただし、市販の情報家電など、サービス ID やゲートウェイ ID の取得が困難であったり、プレゼンス情報をプレゼンスサーバへ直接送信することが困難な通信デバイスについては、HGW, MGW, PGW などのゲートウェイが

通信デバイスのプロキシとなる。プロキシは、各通信デバイス ID にデバイス ID やサービス ID を割当て、ユーザ ID、サービス詳細を示す URI、ゲートウェイ ID をプレゼンスサーバへ登録する。ここで、各プロキシは、LAN 側のネットワークに接続している通信デバイスを予め発見する必要がある。そこで、本機能では、デバイス発見メッセージを LAN 側のネットワークに送信することで、通信デバイスを発見し、発見した通信デバイスのアクセス先 (IP アドレスやポート番号など) とデバイス ID を紐付ける。

- ID(プレゼンス情報) の登録

プレゼンスサーバは、通信デバイスや各ゲートウェイからプレゼンス情報を受信すると、プレゼンスサーバ内の ID 管理テーブルへプレゼンス情報を登録する。プレゼンス情報の登録例を表 4.1 に示す。

表 4.1 では、3 ユーザ分のプレゼンス情報が登録されており、ユーザ ID (UID) はそれぞれ "user1", "user2", "user3" が登録されている。"user1" が所有する通信デバイスとして、5 台の通信デバイスのデバイス ID (DID), サービス ID (SID), サービス仕様 (SD) が登録されており、2 台が HNW 上のゲートウェイ ("hgw1"), 1 台が MNW 上のゲートウェイ ("mgw1"), 1 台が PNW のゲートウェイ ("agw1") に接続している。また、"user2" が所有する通信デバイスとして、2 台の通信デバイスの DID, SID, SD が登録されており、2 台とも HNW 上のゲートウェイ ("hgw2") に接続している。さらに、"user3" が所有する通信デバイスとして、2 台の通信デバイスのデバイス ID, SID, SD が登録されており、2 台とも MNW 上のゲートウェイ ("mgw3") に接続している。

4.3.2 通信デバイス発見・通信サービス発見 (ステップ 2)

ユーザにより通信デバイスが起動し、通信デバイスやゲートウェイが (ステップ 1) でプレゼンス情報をプレゼンスサーバに登録した後、同じユーザ ID で登録されている他の通信デバイスのプレゼンス情報を取得する。これによって、ユー

ずは、利用可能な通信リソースを発見することが可能であり、これらの一覧を取得することができる。

また、通信デバイスは、同じユーザ ID で紐付けられている通信リソースの切替えを検知するため、通信デバイスやゲートウェイは、プレゼンス情報に変化が生じた際の更新情報の購読要求をプレゼンスサーバへ送信する。プレゼンスサー

表 4.1 プレゼンス情報の登録例

UID	DID	SID	SD	GW ID
user1	sip:user1_mob@xxx.com	"rc:ai,ao,vi,vo", "mc:Ai,Ao,Pi,Po".	md.xml	-
user1	sip:user1_hddr@xxx.com	"mc:Ai,Vi,Pi",	hd.xml	hgw1
user1	sip:user1_tv@xxx.com	"rc:ao,vo,to", "mc:Ao,Vo,Po".	tv.xml	hgw1
user1	sip:user1_car@xxx.com	"rc:ai,ao,vi,vo", "mc:Vi,Vo,Ai,Ao,Pi,Po".	ca.xml	mgw1
user1	sip:user1_pc@xxx.com	"rc:ai,ao,vi,vo,ti,to", "mc:Vi,Vo,Ai,Ao,Pi,Po".	pc.xml	agw1
user2	sip:user2_mob@yyy.com	"rc:ai,ao,vi,vo", "mc:Ai,Ao,Pi,Po".	md.xml	hgw2
user2	sip:user2_pc@yyy.com	"rc:ai,ao,vi,vo,ti,to", "mc:Vi,Vo,Ai,Ao,Pi,Po".	pc.xml	hgw2
user3	sip:user3_mob@zzz.com	"rc:ai,ao,vi,vo", "mc:Ai,Ao,Pi,Po".	md.xml	mgw3
user3	sip:user3_pc@zzz.com	"rc:ai,ao,vi,vo,ti,to", "mc:Vi,Vo,Ai,Ao,Pi,Po".	pc.xml	mgw3

UID:User ID, DID:Device ID, SID:Service ID, SD:Service Description, GW ID: Gateway ID

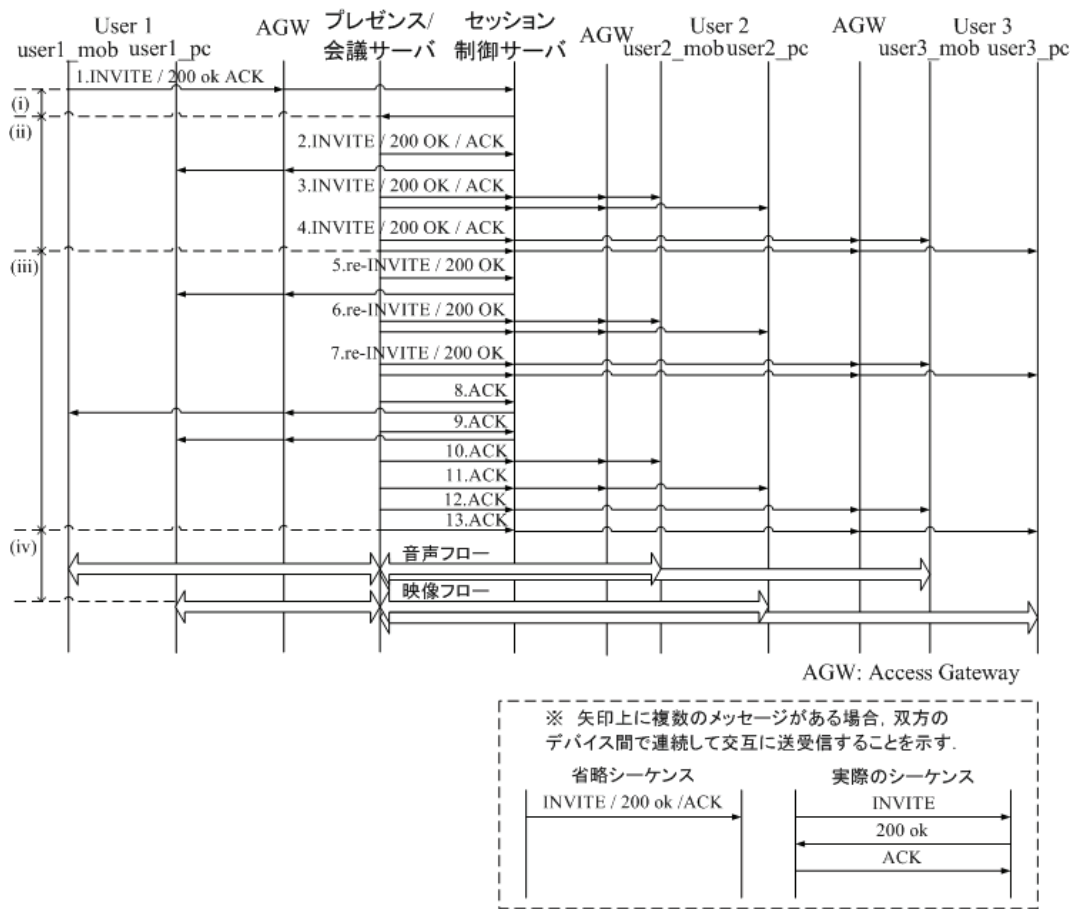


図 4.2 セッション確立シーケンス例

ばは、購読要求を受信した後、通信リソースの仕様・状態の変化を検知すると、購読要求を送信した通信デバイスへ変化した情報を送信する。

4.3.3 マルチデバイス環境下でのセッション確立(ステップ3)

通信デバイス間でのセッション確立のシーケンスを以下に示すとともに、セッション確立のシーケンス例を図 4.2 に示す。

- (i) 通信サービスの開始要求

Caller は、通信デバイス、通信サービスを選択する。通信デバイスは、選択

された通信サービスのサービスID、通信デバイスのデバイスID、CalleeのユーザIDを含むセッション確立要求メッセージ(例えば、INVITEメッセージ)をセッション制御サーバ経由でメディアデータを集約するサーバ(以下、会議サーバとよぶ)へ送信する(図4.2 1)。例えば、Callerが携帯電話を使用してテレビ電話サービスを選択し、音声の入出力用通信デバイスとして携帯電話を、映像の入出力用通信デバイスとしてテレビを選択するとともに、Calleeを選択する。選択後、携帯電話は、テレビ電話サービスのサービスID("rc:ai,ao,vi,vo"),携帯電話のデバイスIDと音声送受信のID("rc:ai,ao"),テレビのデバイスIDと映像送受信のID("rc:vi,vo")を紐付けたメッセージをセッション制御サーバへ送信する。

- (ii) 通信リソース仕様・状態の確認

会議サーバは、セッション接続要求メッセージに含まれているデバイスIDを取得する。取得したデバイスIDを使用して各通信デバイスにおける通信リソースの利用状態を確認する。利用可能な状態である場合、各通信デバイスに対して、通信リソース仕様を取得する(図4.2 2)。さらに、CalleeのユーザIDからCalleeのデバイスIDを取得し、通信リソースの利用状態を確認するとともに、通信リソース仕様を取得する(図4.2 3-4)。

- (iii) セッション確立要求の送信

会議サーバは、サービスIDと通信リソース仕様から通信サービスを利用する通信デバイスを特定後、CallerとCalleeの各通信デバイスに対して、セッションの確立要求(例えば、INVITEメッセージ)を送信する(図4.2 5-7)。CallerやCalleeが各通信デバイスで着信を許可すると、通信デバイスと会議サーバ間でセッションが確立される(図4.2 8-10,12)。なお、着信を許可していない通信デバイスに対しては、会議サーバがセッション確立要求をキャンセルする(図4.2 11,13-15)。

Calleeが複数の通信デバイスを使用して通信サービスを利用したい場合、後述するマルチデバイス間セッション切替え機能により通信デバイスを追加する。

- (iv) メディアデータの送受信開始

各通信デバイスは、会議サーバとのセッション確立後、メディアデータの送受信を開始する。

4.4. マルチデバイス間セッション切替え機能

マルチデバイス環境下において、ユーザの周辺状況や嗜好が変化した場合においても通信デバイスと会議サーバ間のセッションを切替えることで通信リソースを変更し、コミュニケーションを継続する。

ただし、CalleeがCallerからのセッション切替え内容を実行できない場合、CallerやCalleeがそれぞれ送受信可能な通信リソースへ変更することによりコミュニケーションを継続させる。例えば、3ユーザがそれぞれ異なる電車の中でチャットしている。あるユーザが電車を降りたため通信サービスをチャットから電話へ切替えるよう他のユーザへ要求する。しかしながら他のユーザは、まだ電車の中であるためチャットを維持する。

また、Calleeの通信デバイス間のセッションの削除に関して、Calleeによる周辺状況や嗜好の変化がない場合、通信リソースの切替えを発生させない。例えば、複数のユーザでテレビ電話サービスを利用している状態で、あるユーザが移動するため、通信サービスをテレビ電話サービスから音声電話サービスへの切替えを要求する。この場合、Callee間の周辺状況や嗜好に変化が発生していないため、CallerとCallee間のみ通信サービスを切替え、Callee間の通信サービスとしてテレビ電話サービスが継続される。

本節では、まず、通信リソースの切替えの際に、どの切替えパターンになるかを判定する方法を示す。次に、Callerがセッション切替えをCalleeに要求した後、実際に使用する通信リソースを評価する方法を示す。さらに、セッションの切替えシーケンスを示す。最後に、各切替えパターンのシーケンス例を示す。

1. 状態変化の検知

通信デバイスは、アクセスネットワークから取得する IP アドレスの変化を検知すると、アクセスネットワークの移動を検知するとともに、ゲートウェイ ID の変化により、アクセスネットワークの種類の変化を検知する。また、通信デバイスは、ユーザにより通信リソースの切替えを指定された場合、プレゼンスサーバからの通信デバイスの追加・削除のメッセージを受信した場合に状態の変化を検知する。

2. 通信リソースの切替えパターンの判定

通信デバイスは、状態変化を検知すると、状態変化の内容に応じて切替える通信リソースの種類を判定し、切替えパターンを決定する。例えば、アクセスネットワークから取得する IP アドレスのみが変化した場合、切替えパターン 2(アクセスネットワークの切替え)と判定する。また、プレゼンスサーバから通信デバイスの追加・削除・変更の情報を受信し、アクセスネットワークや通信サービスが変化しない場合、切替えパターン 1(通信デバイスの切替え)と判定する。

3. アクセスネットワークの切替え判定

通信デバイスは、アクセスネットワークから取得する IP アドレスの変化を検知したり、ユーザによってアクセスネットワークの変更を指定されると、アクセスネットワークの切替え(切替えパターン 2, 4, 5, 7)を判定し、セッションを再確立することを決定する。

4. 通信デバイスの切替え判定

通信デバイスが、Caller から異なる通信デバイスへの切替え要求を受信した場合、通信デバイスの切替えが必要であることを判定する(切替えパターン 1, 4, 6, 7)。通信デバイスの切替えが必要な場合、通信デバイスは、さらに、通信デバイスの切替えの種類(追加・削除・変更)を判定する。

通信デバイスの追加が必要な場合、使用中の通信デバイスについてはセッションの再確立を、追加を指定された通信デバイスについてはセッション

の確立を決定する。通信デバイスの削除が必要な場合、削除対象の通信デバイスについてはセッションの削除を、それ以外の通信デバイスについてはセッションの再確立を決定する。通信デバイスの変更が必要な場合、変更前の通信デバイスについてはセッションの削除を、変更先の通信デバイスについてはセッションの確立を決定する。

5. 通信サービスの切替え判定

通信デバイスは、通信サービスの利用可能な通信デバイスの変化の検知や、ユーザによって通信サービスの変更を指定されると、通信サービスの切替えを判定し(切替えパターン 3, 5, 6, 7), セッションを再確立することを決定する。

6. 通信リソースの切替え要求

通信デバイスは、通信デバイス・アクセスネットワーク・通信サービスの切替えの有無を判定し、セッションの制御内容を決定すると、セッション制御サーバへ通信リソースの切替え要求メッセージを送信する。通信リソースの切替え要求メッセージには、切替え後の通信リソースの種類と、通信リソース毎にメディアデータを送受信する通信デバイスのデバイス ID を含んでいる。ただし、アクセスネットワークのみの切替え時などは、切替え前後のアプリケーションの種類とデバイス ID と通信リソース仕様は同じ内容となり、送信元の IP アドレスのみが変化する。

4.4.2 通信リソースの切替えシーケンス

セッション制御サーバが、通信デバイスから通信リソースの切替え要求を受信すると、各通信デバイスに通信リソースの切替えを要求する。

本節では、まず、通信リソース切替えの全てのパターンに共通な処理内容を以下に示す。次に、各切替えパターンに応じた通信デバイスと会議サーバ間のセッション切替え方法やその切替えシーケンス例を示す。

- (ステージ1) 通信リソース切替えパターンの解析

セッション制御サーバは、通信リソースの切替え要求を受信すると、Caller とセッションを確立している Callee の通信デバイスに対して、Caller の状態変化を通知し、通信リソース切替えの実行可否についての評価を要求する。Callee がその通知を受信すると、通信リソース切替えパターンを解析するとともに、セッションの制御内容を決定し、セッション制御サーバへ応答を返信する。ただし、Callee が通信リソース (通信デバイス) の切替えを要求する場合、応答と同時に通信リソースの切替え要求をセッション制御サーバへ返信する。また、セッション制御サーバは、Callee からの応答がない場合や Callee から拒否された場合、その Callee による通信リソースの切替え不可と判定する。

- (ステージ2) 制御対象の通信デバイスの特定・仕様の確認

セッション制御サーバは、Callee からの応答を受信すると、制御対象の通信デバイスに対して、通信リソースの仕様ならびに利用状態を問合せ。具体的には、セッション制御サーバは、プレゼンスサーバに登録されているプレゼンス情報から、サービスIDならびに通信リソース仕様を取得するためのアクセス先 (URI) を取得する。取得後、セッション制御サーバは、Caller と Callee の通信デバイスが、会議サーバとメディアデータを送受信可能な仕様 (コーデックやアクセスネットワークの帯域など) かどうかを通信デバイスへ直接確認する。

- (ステージ3) 通信リソースの切替え要求

セッション制御サーバは、各通信デバイスの通信リソース切替えの評価結果や通信リソースの仕様に基づき、通信リソースの切替えを実行あるいは停止する。評価結果のパターンならびに各パターンに応じた通信リソース切替えを Caller ならびに Callee へ要求する。

- 全ての Callee が実行可能な場合

Caller からの通信リソース切替え要求に全ての Callee が対応可能なパターンである。

- * Caller, 全ての Callee による通信リソース切替えの実行
セッション制御サーバは, 制御対象の通信デバイスに対して通信リソース切替えを要求する. 通信リソースの切替え要求を受信した通信デバイスは, セッションを切替える. ただし, Callee が現在使用している通信リソースでは Caller からの要求に対応不可能であるが, 別の通信リソースを使用することで対応可能となる場合, Callee は, セッション制御サーバへ自ユーザ内での通信リソース切替えを要求する.

ー 実行不可能な Callee が存在する場合

通信リソース切替えを実行不可能な Callee が存在するパターンである. 本パターンにおいて, セッション制御サーバは, 実行可能な Callee のみ通信リソースを切替え, 通信リソース切替えを停止 (セッションの維持), 通信リソース切替えの内容を変更する.

- * Caller と一部の Callee による通信リソース切替えの実行
セッション制御サーバは, 通信リソース切替えが実行可能な Callee と Caller 間でセッションを切替える. また, 通信リソースを実行不可能な Callee の状態変化により, 実行可能になると, その時点でセッションを切替える.

- * 通信リソース切替えの停止
通信リソースを切替えることで, 各ユーザ間で共通するメディアデータを送受信困難となる場合, コミュニケーションが途切れてしまうため, セッション制御サーバは, 通信リソース切替えを停止する.

- * 通信リソース切替えの内容変更
Callee が通信リソース切替えを実行不可能であり, 通信リソース切替えを実施不可能になると, Caller がコミュニケーションを継続不可能となる場合, セッション制御サーバは, コミュニケーションを継続可能とする通信リソースを Caller へ提示し, セッションを切替える. 例えば, 全ての通信デバイスで実行可能なチャット

などのテキストを送受信する通信サービスへ切替える。

- (ステージ4) メディアデータの送受信開始

通信デバイスは、会議サーバとのセッションの確立・再確立後、要求されたコーデックやビットレートなどを使用してメディアデータの送受信を開始する。

4.4.3 シーケンス例 (全ての Callee が実行可能な場合)

全ての Callee が各切替えパターンを実行可能な場合における通信リソースの切替えシーケンス例を以下に示す。本論文では、セッション制御で一般的に使用されている SIP[14] を活用し、提案技術の実現可能性を示す。

- 切替えパターン1:通信デバイスの切替え

Caller が使用中の通信デバイスを異なる通信デバイスへ切替えるための通信デバイスの切替えシーケンス例を図 4.4 に示す。

1. 通信デバイスは、通信デバイスの切替え (追加・削除・変更) 要求を検知すると、通信リソースの切替え要求メッセージを生成し、セッション制御サーバへ送信する (図 4.4 1, 9)。セッション制御サーバは、Caller の状態変化を Callee へ通知する (図 4.4 2, 10)。
2. セッション制御サーバは、通信リソースの切替え要求メッセージの内容から通信リソースの切替えパターンを切替えパターン 1 と判定し、追加要求の通信デバイス ID のセッションを追加、削除要求の通信デバイス ID のセッションを削除することを決定する。セッション制御サーバは、通信デバイスや会議サーバに対して、通信リソースの利用状態と通信リソース仕様を確認する (図 4.4 3-5, 11-12)。
3. セッション制御サーバは、通信デバイスによるセッションの追加・削除の実行が可能であることを確認した後、通信デバイスと会議サーバ間のセッションの切替え要求を送信する (図 4.4 6-8, 13-14)。ただし、削除

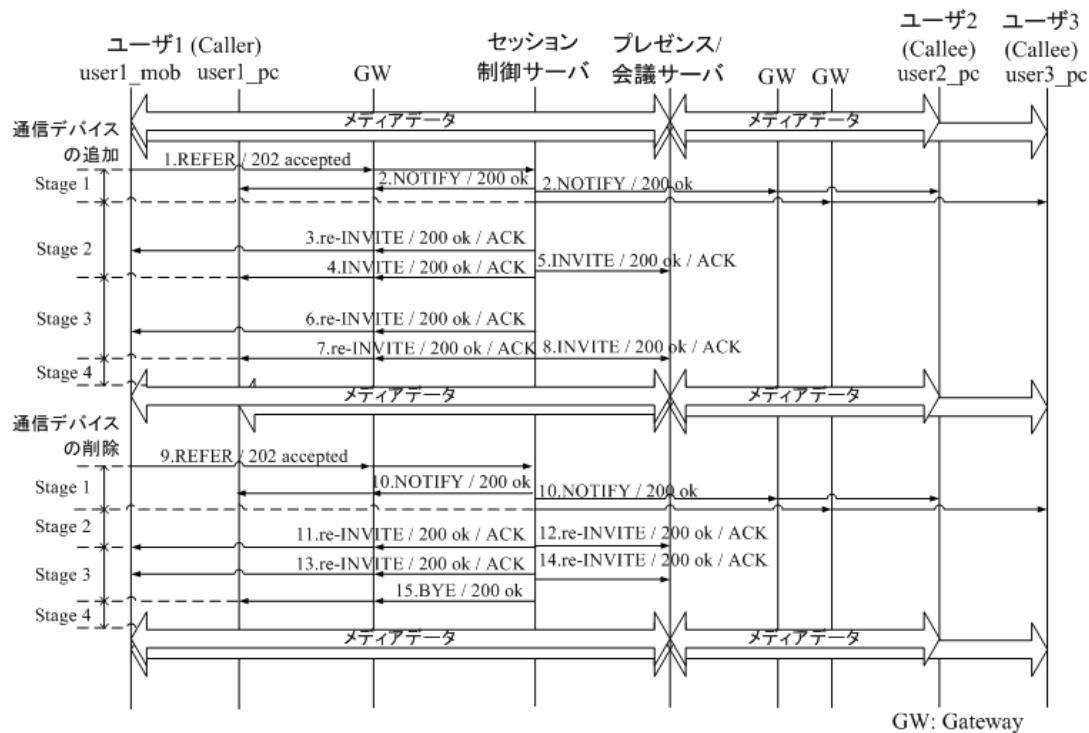


図 4.4 通信デバイスの切替えにともなうセッション切替えシーケンス例

対象の通信デバイスに対しては、セッションの削除要求を送信する (図 4.4 15). なお、セッションの変更要求時には、追加と削除を同時に処理する.

4. セッションの切替え後、各通信デバイスは、メディアデータの送受信を再開する.

- 切替えパターン 2: アクセスネットワークの切替え

Caller が使用中の通信デバイスや MGW が接続するアクセスネットワークを異なるアクセスネットワークへ移動するためのアクセスネットワークの切替えシーケンス例を図 4.5 に示す.

1. 通信デバイスや MGW は、取得する IP アドレスからアクセスネットワークの移動を検知する、あるいは Caller から通信インタフェース ID



図 4.5 アクセスネットワークの切替えにともなうセッション切替えシーケンス例

の切替えを検知すると、通信リソースの切替え要求メッセージをセッション制御サーバへ送信する(図 4.5 1, 5)。セッション制御サーバは、Caller の状態変化を Callee へ通知する(図 4.5 2, 6)。なお、MGW が移動を検知すると、MGW 自身がプロキシとして通信リソースの切替え要求メッセージを送信し、切替え要求を送信していることを通信デバイスへ通知する(図 4.5 7)。

2. アクセスネットワークの切替えのみの場合、使用する通信デバイスや利用する通信サービスに変更がないため、通信リソースの仕様確認のステージ(ステージ 3)の処理をスキップする。
3. 通信デバイスと会議サーバ間のセッションの切替え要求を送信する(図 4.5 3-4, 8-9)。本切替えでは、Callee の通信リソースには影響を与えないため、通信リソースの切替え要求を Callee へ送信しない。
4. セッションの切替え後、通信デバイスは、メディアデータの送受信を再開する。

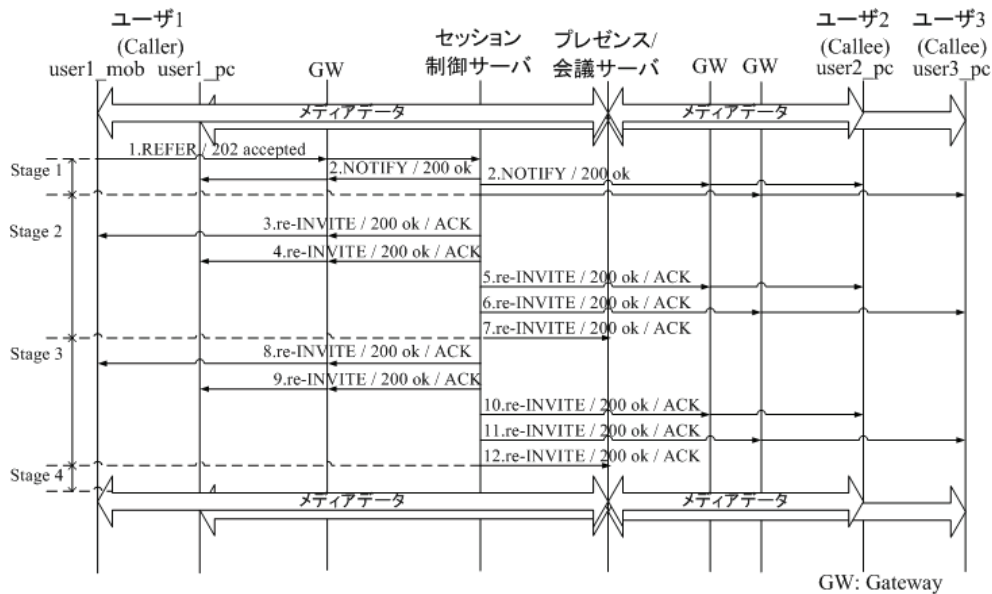


図 4.6 通信サービスの切替えにともなうセッション切替えシーケンス例

● 切替えパターン 3:通信サービスの切替え

Caller が通信サービスを利用中の通信サービスから異なる通信サービスへ切替えるための通信サービスの切替えシーケンス例を図 4.6 に示す。

1. 通信デバイスは、通信サービスの切替え要求を検知すると、通信リソースの切替え要求メッセージをセッション制御サーバへ送信する (図 4.6 1)。
 2. セッション制御サーバは、通信サービスの変更を検知すると、送受信するメディアデータの種類を変更する必要があるため、各通信デバイスの仕様を確認する (図 4.6 3-7)。
 3. セッション制御サーバは、各通信デバイスによる通信サービスを切替え可能なことを確認した後、通信デバイスと会議サーバ間のセッションの切替え要求を送信する (図 4.6 8-12)。
- なお、通信サービスの切替えにともない、Callee が通信リソースを切替えたい場合、通信リソースの切替え要求をセッション制御サーバへ送信する。ただし、セッション制

4.4 マルチデバイス間セッション切替え機能

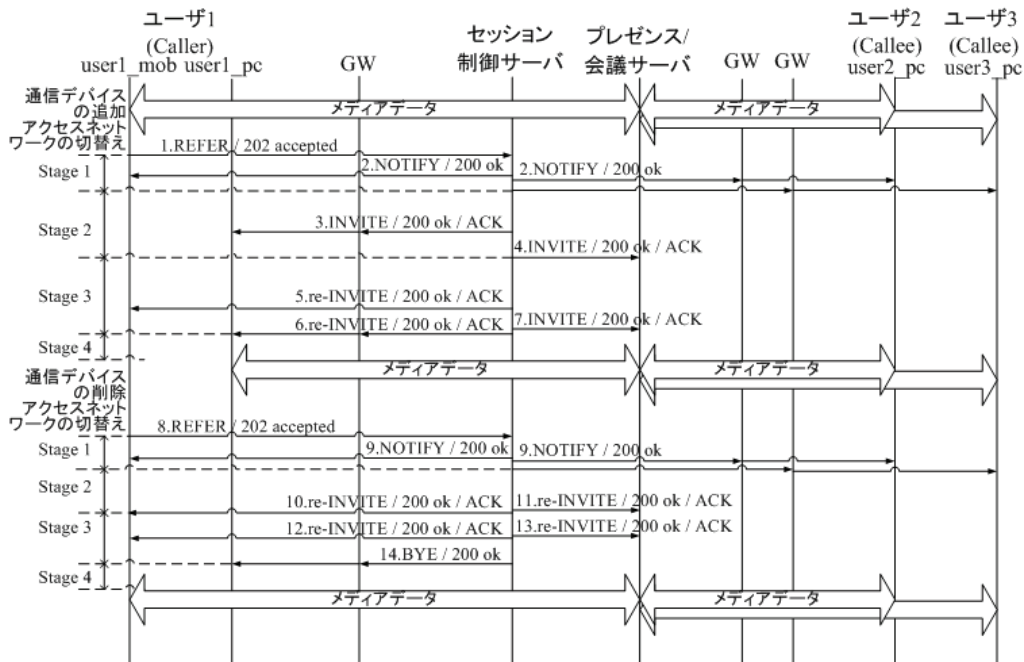


図 4.7 通信デバイス・アクセスネットワークの同時切替えにともなうセッション切替えシーケンス例

御サーバは、Callee による通信リソースの切替えによりコミュニケーションの継続が不可能となる切替え要求を拒否する。例えば、Caller が通信サービスをテレビ電話サービスから音声通話サービスへ切替える要求を送信した際、Callee は、音声を送受信する通信デバイスの切替を要求することは可能であるが、テレビ電話サービスから音楽共有サービスへ切替を要求することが不可能である。

4. セッションの切替え後、通信デバイスは、メディアデータの送受信を再開する。

- 切替えパターン4:通信デバイス・アクセスネットワークの同時切替え

Caller があるアクセスネットワークに接続している通信デバイスを、異なるアクセスネットワークに接続している異なる通信デバイスへ切替えるための通信リソース切替えシーケンス例を図 4.7 に示す。

1. 通信デバイス (あるいは MGW) は、通信デバイス・アクセスネットワークの同時切替え要求を検知すると、通信リソースの切替え要求メッセージをセッション制御サーバへ送信する (図 4.7 1, 8). セッション制御サーバは、通信リソースの切替え要求メッセージの内容から通信デバイスとアクセスネットワークの同時切替えの切替えパターンと判定し、Caller の状態変化を Callee へ通知することで、変更後の通信サービスを実行可能かどうかを確認する (図 4.7 2, 9).
2. セッション制御サーバは、通信デバイスや会議サーバに対して、通信リソースの利用状態と通信リソース仕様を確認する (図 4.7 3-4, 10-11).
3. セッション制御サーバは、各通信デバイスによる通信デバイスやアクセスネットワークの切替えが可能であることを確認した後、通信デバイスと会議サーバ間のセッションの切替え要求を送信する (図 4.7 5-7, 12-13). ただし、削除対象の通信デバイスに対しては、セッションの削除要求を送信する (図 4.7 14). また、MD については移動しながらも切替え要求を送信できるようにするため、削除要求の対象外とする.
4. セッションの切替え後、各通信デバイスは、メディアデータの送受信を再開する.

- 切替えパターン 5: アクセスネットワーク・通信サービスの同時切替え

あるアクセスネットワークに接続している通信デバイスや MGW が、異なるアクセスネットワークへ移動すると同時に異なる通信サービスへ切替えられるための通信リソース切替えシーケンス例を図 4.8 に示す.

1. 通信デバイスや MGW は、取得する IP アドレスからアクセスネットワークの移動、種類の変化を検知する、あるいは Caller から通信インタフェース ID の切替えを検知すると、アクセスネットワークと通信サービスの切替え要求メッセージをセッション制御サーバへ送信する (図 4.8 1). セッション制御サーバは、Caller の状態変化を Callee へ通知し、変更後の通信サービスを実行可能かどうかを確認する (図 4.8 2). なお、MGW が移動を検知すると、MGW 自身がプロキシとして通信

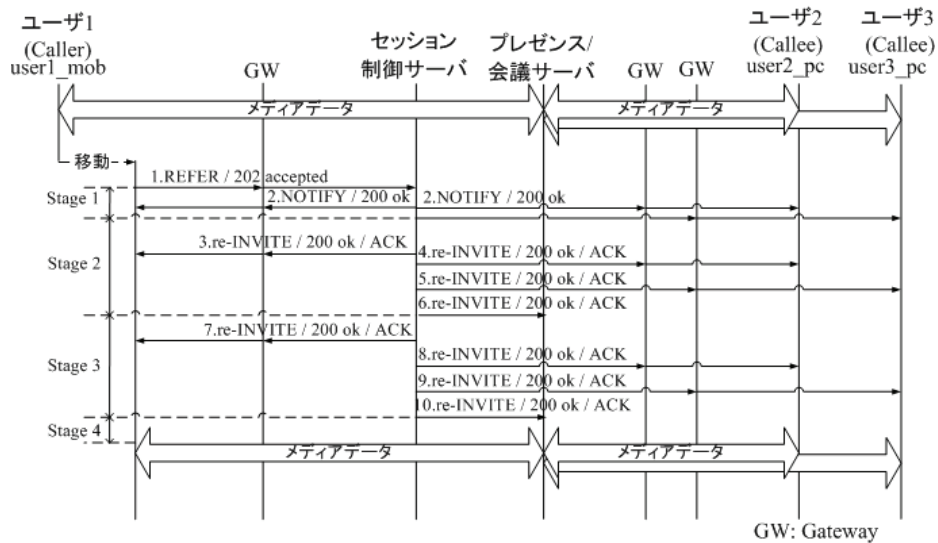


図 4.8 アクセスネットワーク・通信サービスの同時切替えにともなうセッション切替えシーケンス例

リソースの切替え要求メッセージを送信し、切替え要求を送信していることを通信デバイスへ通知する。

2. アクセスネットワークの切替えに加えて、通信サービスを切替えるため、セッションの制御対象となる通信デバイスの通信サービスの仕様を確認する (図 4.8 3-6).
3. 通信デバイスと会議サーバ間のセッションの切替え要求を送信する (図 4.8 7-10)。なお、通信サービスの切替えにともない、Callee が通信リソースを切替えたい場合、通信リソースの切替え要求をセッション制御サーバへ送信する。
4. セッションの切替え後、通信デバイスは、メディアデータの送受信を開始する。

- 切替えパターン 6: 通信デバイス・通信サービスの同時切替え

Caller が使用している通信デバイスを、異なる通信デバイスへ切替えるとともに、利用する通信サービスを切替えるための通信リソース切替えシー

第4章 マルチデバイス間セッション制御技術

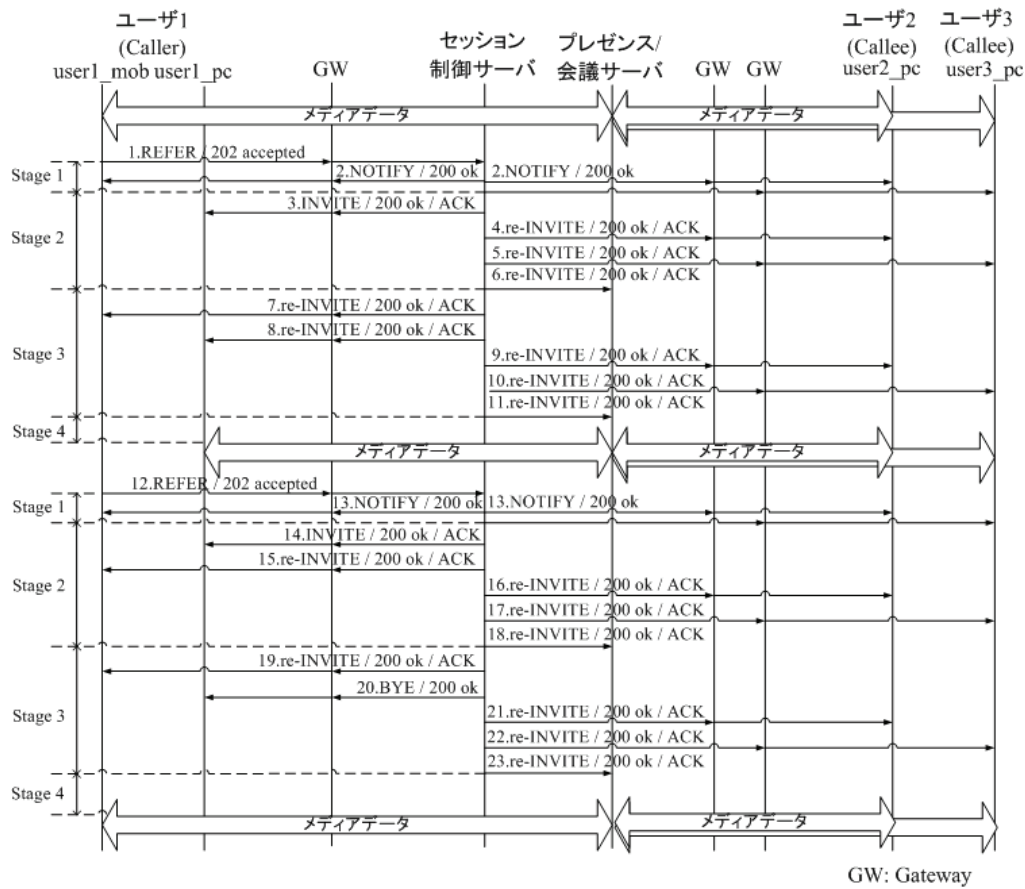


図 4.9 通信デバイス・通信サービスの同時切替えにともなうセッション切替えシーケンス例

ケンス例を図 4.9 に示す。

1. 通信デバイスは、通信デバイスならびに通信サービスの切替えを検知すると、通信リソースの切替え要求メッセージをセッション制御サーバへ送信する (図 4.9 1, 12)。セッション制御サーバは、Caller の状態変化を Callee へ通知し、変更後の通信サービスを実行可能かどうかを確認する (図 4.9 2, 13)。
2. セッション制御サーバは、各通信デバイスによる通信デバイスや通信サービスの切替えが可能であることを確認した後、通信デバイスと通信リ

ソースの利用状態、通信リソースの仕様を確認する (図 4.9 3-6, 14-18).

3. セッション制御サーバは、各通信デバイスから通信リソースの仕様を確認した後、通信デバイスと会議サーバ間のセッションの切替え要求を送信する (図 4.9 7-11, 19, 21-23). ただし、削除対象の通信デバイスに対しては、セッションの削除要求を送信する (図 4.9 20). また、MD については移動しながらも切替え要求を送信できるようにするため、削除要求の対象外とする.
4. セッションの切替え後、各通信デバイスは、メディアデータの送受信を再開する.

- 切替えパターン7:通信デバイス・アクセスネットワーク・通信サービスの同時切替え

Caller があるアクセスネットワークに接続している通信デバイスを、異なるアクセスネットワークに接続している異なる通信デバイスへ切替えるとともに、利用する通信サービスを切替えるための通信リソース切替えシーケンス例を図 4.10 に示す.

1. 通信デバイスは、通信デバイス・アクセスネットワーク・通信サービスの切替えを検知すると、通信リソースの切替え要求メッセージをセッション制御サーバへ送信する (図 4.10 1, 12). セッション制御サーバは、Caller の状態変化を Callee へ通知し、変更後の通信サービスを実行可能かどうかを確認する (図 4.10 2, 13).
2. セッション制御サーバは、各通信デバイスによる通信リソースの切替えが可能であることを確認した後、通信サービスを利用する通信デバイスや会議サーバに対して、通信デバイスと通信サービスの利用状態、通信リソース仕様を確認する (図 4.10 3-6, 14-17).
3. セッション制御サーバは、各通信デバイスから通信リソースの仕様を確認した後、通信デバイスと会議サーバ間のセッションの切替え要求を送信する (図 4.10 7-11, 18,20-22). ただし、削除対象の通信デバイス

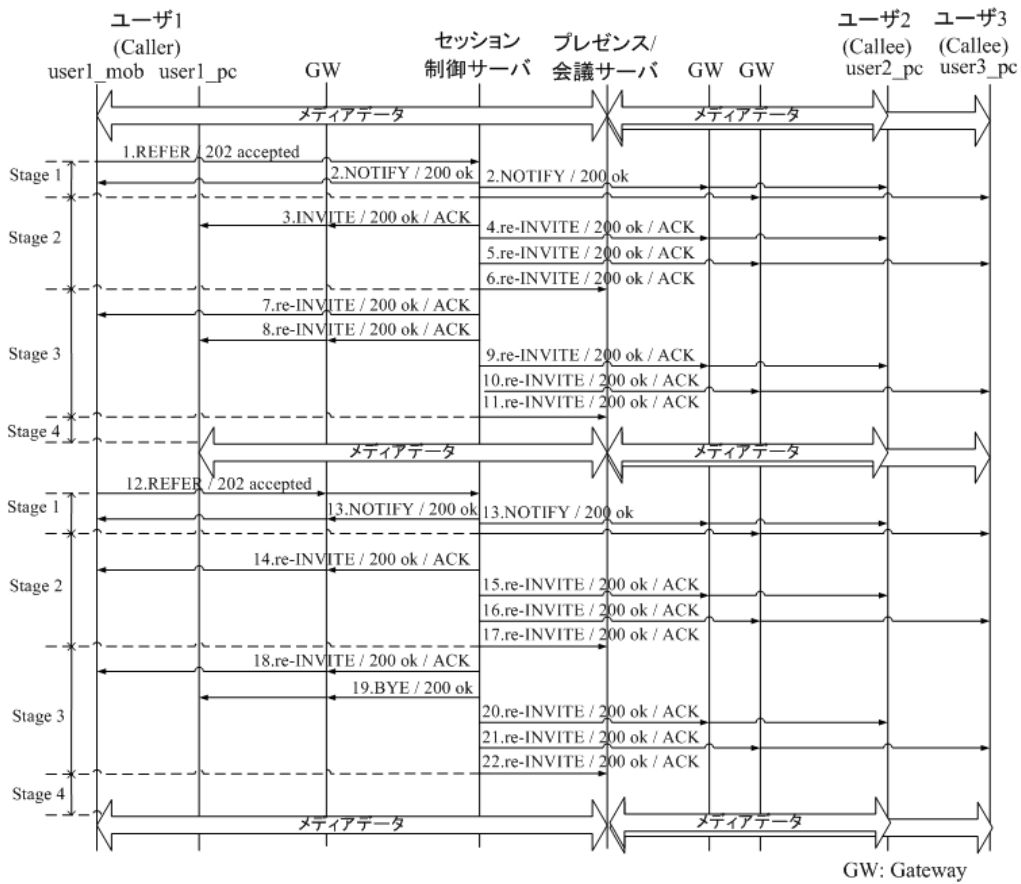


図 4.10 通信サービス・アクセスネットワーク・通信サービスの同時切替えにともなうセッション切替えシーケンス例

に対しては、セッションの削除要求を送信する(図 4.9 19)。また、MD については移動しながらも切替え要求を送信できるようにするため、削除要求の対象外とする。

4. セッションの切替え後、各通信デバイスは、メディアデータの送受信を再開する。

- Caller と Callee の同時切替え

切替えパターン 1~7 において、Caller が通信リソースを切替えると同時に、ある Callee の通信リソース(通信デバイス)を切替えるための通信リソース

4.4 マルチデバイス間セッション切替え機能

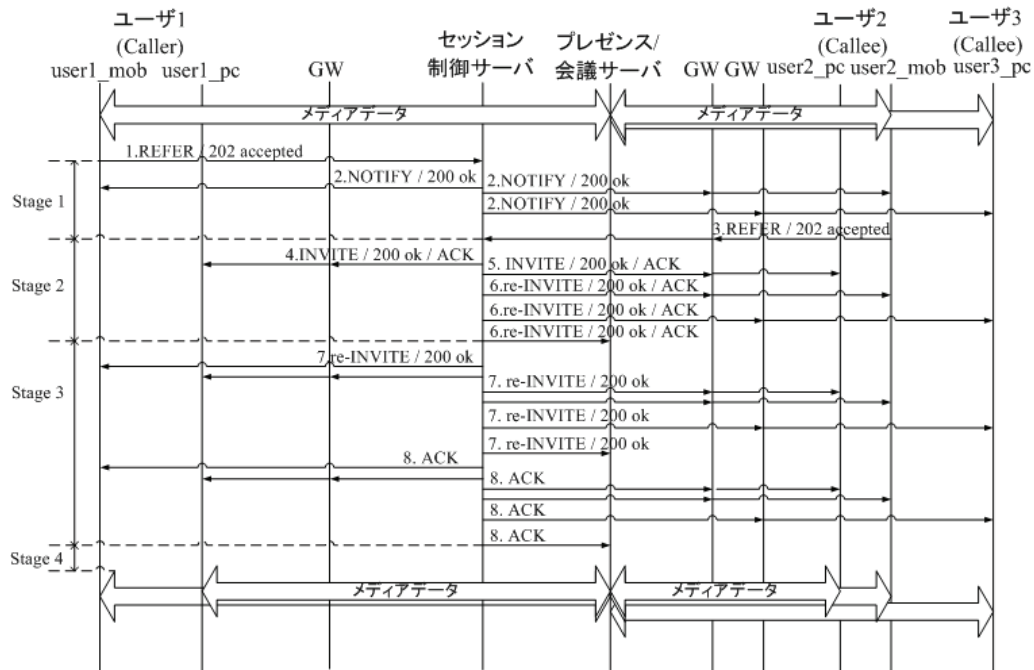


図 4.11 Caller と Callee の同時切替えにともなうセッション切替えシーケンス例

切替えシーケンス例を図 4.11 に示す。

1. ユーザ 1(Caller) の通信デバイス (user1_mob) は、通信リソースの切替え要求 (通信デバイス (user1_pc) の追加, メディアデータの追加) をセッション制御サーバへ送信する (図 4.11 1). セッション制御サーバは、Caller による通信リソースの切替え要求を Callee へ通知する (図 4.11 2). Callee となるユーザ 2, ユーザ 3 の通信デバイス (user2_mob, user3_pc) がそれぞれ要求を受信する. ユーザ 2 は、異種メディアデータを別の通信デバイスで受信するため、通信デバイス (user2_pc) の追加をセッション制御サーバへ要求する (図 4.11 3). 一方、ユーザ 3 は、使用中の通信デバイス、アクセスネットワークのまま Caller からの要求に対応することが可能であることを応答する.
2. セッション制御サーバは、通信リソース切替えに参加する全ての通信デバイスならびに会議サーバに対して re-INVITE を送信することにより、通信リソースの仕様を確認する (図 4.11 6). なお、この時点でセッ

セッションを未確立の user1_pc, user2_pc については, INVITE を送信することにより, 通信リソースの仕様を確認する (図 4.11 4-5).

3. セッション制御サーバは, 通信リソース切替え後のセッション確立を Caller の通信デバイスへ送信する (図 4.11 7). Caller からの応答を受信すると, セッション制御サーバは, Callee の通信デバイスへ通信リソース切替え後のセッション確立を要求する. セッション制御サーバは, Caller や Callee からの 200 ok を受信すると, ACK を返信し, セッション切替えを完了させる (図 4.11 8).
4. セッションの切替え後, 各通信デバイスは, メディアデータの送受信を再開 (あるいは開始) する.

4.4.4 シーケンス例 (実行不可能な Callee が存在する場合)

- Caller と一部の Callee による通信リソース切替えの実行

Caller からの通信リソース切り替えの要求に対して一部の Callee からの応答がなく, かつその Callee による切替えがない場合においてもコミュニケーションを継続可能とする場合の通信リソース切替えシーケンス例を図 4.12 に示す.

1. ユーザ 1(Caller) の通信デバイス (user1_mob) は, 通信リソースの切替え要求 (通信デバイス (user1_pc) の追加, メディアデータの追加) をセッション制御サーバへ送信する (図 4.12 1). セッション制御サーバは, Caller による通信リソースの切替え要求を Callee へ通知する (図 4.12 2). ユーザ 2 は, 使用中の通信デバイス, アクセスネットワークのまま Caller からの要求に対応することが可能であることを応答する (図 4.12 2). なお, 図 4.12 3 において, ユーザ 3 からの通信デバイスから応答がない場合においても, ユーザ 3 の通信デバイスで NOTIFY を受信できなかった場合を考慮し, セッション制御サーバは次のステージに進むとともに, NOTIFY の再送を継続する.

4.4 マルチデバイス間セッション切替え機能

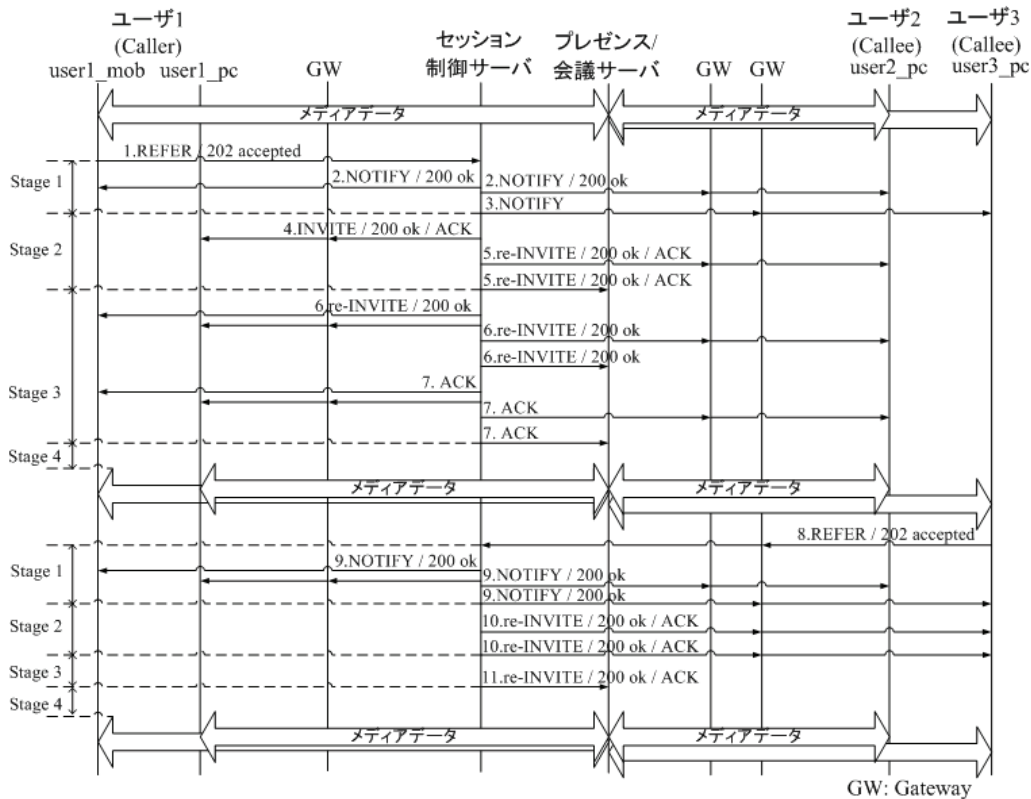


図 4.12 一部の Callee による通信リソース切替えが困難な場合におけるセッション切替えシーケンス例

2. セッション制御サーバは、ユーザ 3 からの応答がなく (あるいは拒否を受信)、切替え不可と判定した後、ユーザ 3 による影響を評価し、コミュニケーションを継続可能と判定すると、ユーザ 1、ユーザ 2 の通信リソース切替えに参加する全ての通信デバイスならびに会議サーバに対して通信リソースの仕様を確認する (図 4.12 4-5)。
3. セッション制御サーバは、通信リソース切替え後のセッション確立を Caller の通信デバイスへ送信する (図 4.12 6)。Caller からの応答を受信すると、セッション制御サーバは、Callee の通信デバイスへ通信リソース切替え後のセッション確立を要求する。セッション制御サーバは、Caller や Callee からの 200 ok を受信すると、ACK を返信し、セッ

セッション切替えを完了させる (図 4.12 7).

4. セッションの切替え後, 各通信デバイスは, メディアデータの送受信を再開 (あるいは開始) する.
5. ユーザ 3 が通信リソース切替えを実行可能になると, ユーザ 3 の通信デバイスが切替え要求をセッション制御サーバへ送信する (図 4.12 8). セッション制御サーバは, ユーザ 3 による状態の変化を各通信デバイスへ通知するとともに (図 4.12 9), 通信リソースの仕様を確認した後 (図 4.12 10), セッションを切替える (図 4.12 11).

- 通信リソース切替えの停止

Caller からの通信リソース切替え要求に対して, 全ての Callee からの応答がない状況 (あるいは拒否された場合) 下で, 通信リソース切替えを実行しない場合においてもコミュニケーションを継続可能であれば, セッション制御サーバは通信リソース切替えを停止する. その内容を NOTIFY で Caller へ通知する.

- 通信リソース切替えの内容変更

Caller からの通信リソース切替え要求に対して, 全ての Callee からの応答がない状況 (あるいは拒否された場合) 下で, 通信リソース切替えを実行しなければ, コミュニケーションを継続不可能となる場合, セッション制御サーバは, 各ユーザで実行可能な通信リソースを Caller へ通知する. Caller は, 通信リソース切替えの内容を変更して, Callee へ要求する. シーケンス例を図 4.13 に示す.

1. ユーザ 1 (Caller) の通信デバイス (user1_mob) は, 通信リソースの切替え要求 (通信デバイス (user1_pc) の追加, メディアデータの追加) をセッション制御サーバへ送信する (図 4.13 1). セッション制御サーバは, Caller による通信リソースの切替え要求を Callee へ通知する (図 4.13 2). ユーザ 2, 3 から応答を受信できない場合 (図 4.13 3), 通信リソース切替えの評価を行い, ユーザ 1 とユーザ 2, 3 によるコミュニ

4.4 マルチデバイス間セッション切替え機能

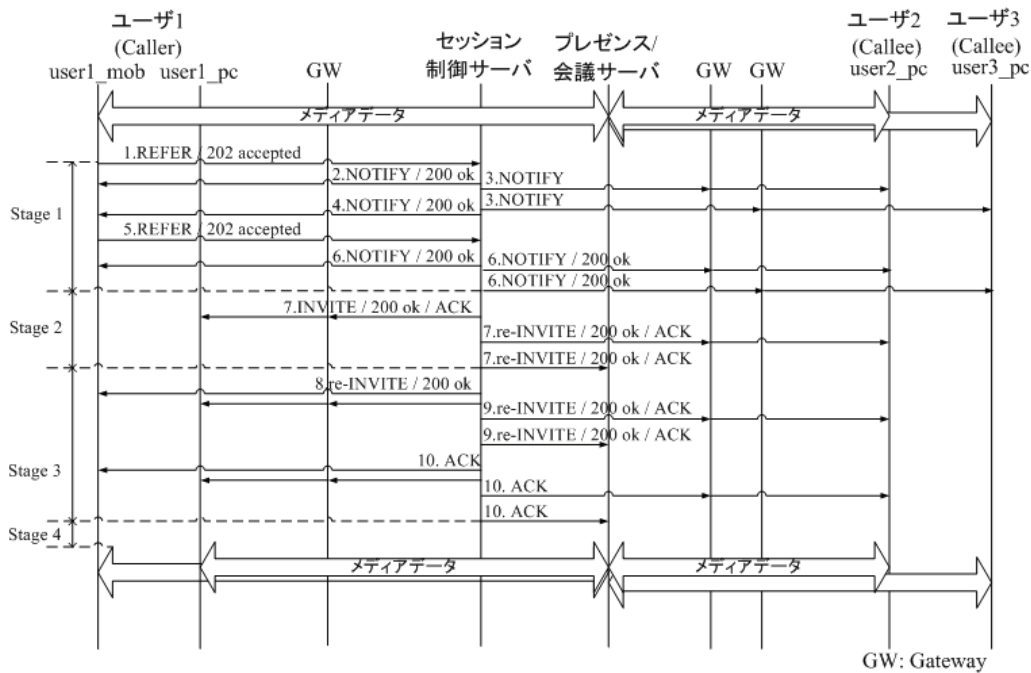


図 4.13 通信リソース切替えの内容変更におけるセッション切替えシーケンス例

セッションの継続が困難であると判定する。この時点でセッション制御サーバは、各ユーザの通信デバイスで共通に送受信可能なメディアデータをユーザ 1 の通信デバイスへ通知する (図 4.13 4)。通知を受けたユーザ 1 は、通信リソース切替えの内容を変更し、セッション制御サーバへ要求する (図 4.13 5-6)。

2. セッション制御サーバは、通信リソース切替えに参加する全ての通信デバイスならびに会議サーバに対して通信リソースの仕様を確認する (図 4.13 7)。
3. 各通信デバイスと会議サーバは、セッションを切替える (図 4.13 8-10)。
4. セッションの切替え後、各通信デバイスは、メディアデータの送受信を再開 (あるいは開始) する。

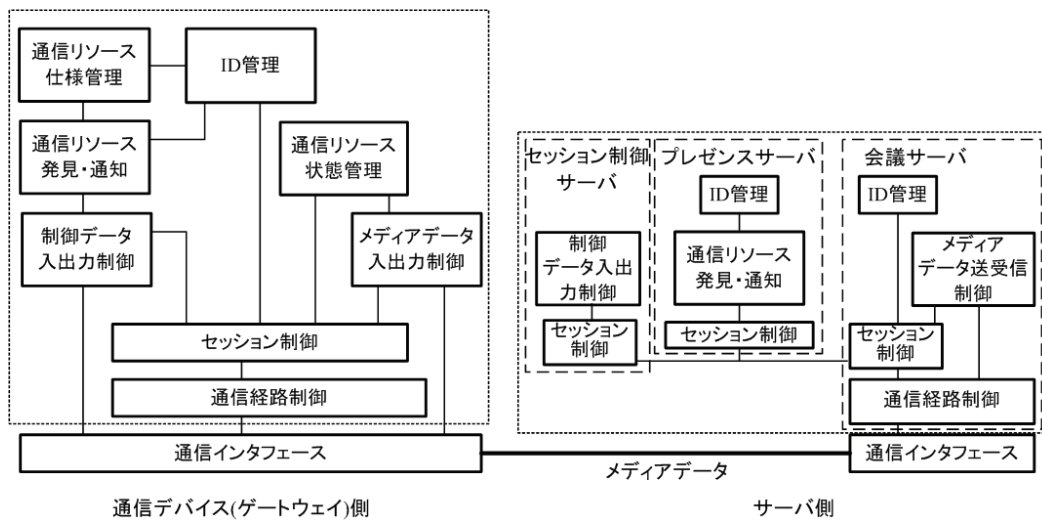


図 4.14 モジュール構成図

4.5. マルチデバイス間セッション制御技術の実装

提案技術を基に携帯電話，ならびに Linux PC 上にプロトタイプシステムを実装した．実装概要を以下に示すとともに図 3.4，図 3.5 のシステムアーキテクチャに基づいたモジュール構成図を図 4.14 に示す．

図 4.14 において，セッション制御サーバ，会議サーバ，プレゼンスサーバ，通信デバイス，ゲートウェイにて SIP によりセッションを制御するためのモジュール (セッション制御) を実装した．通信デバイス，ゲートウェイ，会議サーバについてはセッションの制御内容に基づき経路表を更新するモジュール (経路制御) を実装した．また，通信デバイス，ゲートウェイ，会議サーバやプレゼンスサーバにてプレゼンス情報として各 ID を管理するモジュール (ID 管理) を実装した．通信リソース状態・仕様については，XML ベースで記述し，通信リソース状態管理モジュールならびに通信リソース仕様管理モジュールにてそれぞれの情報を送受信可能とした．

さらに，各通信デバイス・ゲートウェイと会議サーバにてメディアデータを送受信するためのモジュール (メディアデータ入出力制御，メディア送受信制御) を実装した．本モジュールにおいて，音声と映像を送受信するためのプロトコルとして，RTP (Real-Time Transport Protocol) [11] を使用し，テキスト，動画，音楽，写真

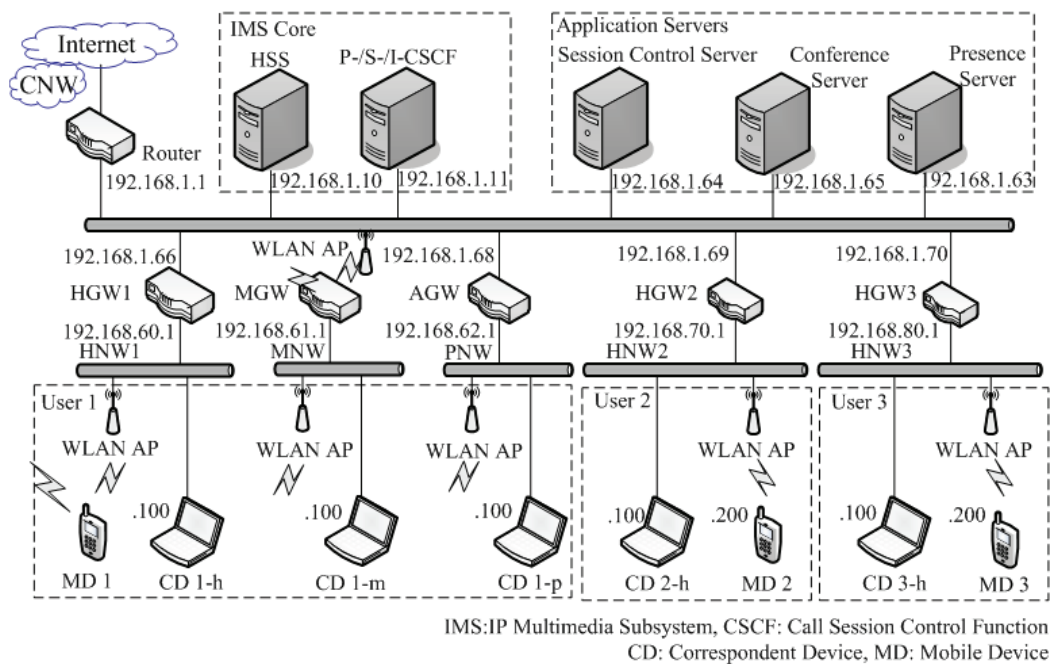


図 4.15 ネットワーク構成図

を送受信するためのプロトコルとして、HTTP(Hype Text Transport Protocol)[9]を使用した。会議の管理、音声のミキシングツールとして Asterisk[7]を利用した。また、映像ミキシングについては、AsteriskへZaptelと呼ばれるコンポーネントを実装するとともに、映像ミキシングのための Video Mixer を使用した。アプリケーションでは、テレビ会議アプリケーションとして WengoPhone を利用した。

4.6. 性能評価

4.6.1 実験環境

実装したプロトタイプシステムの性能を評価するためのネットワーク構成を図 4.15 に示す。

構成したネットワークは、IMS(IP Multimedia Subsystem) で定義されている HSS(Home Subscriber Server) および P-/S-/I-CSCF(Call Session Call Function), アプリケーションサーバとしてセッション制御サーバ・会議サーバ・プレゼンス

表 4.2 実験機器の CPU とメモリ

実験機器	CPU	メモリ
セッション制御サーバ	2.3GHz	3GB
プレゼンスサーバ	2.3GHz	3GB
会議サーバ	2.3GHz	3GB
固定デバイス	598MHz	1GB
ゲートウェイ	532MHz	512MB

サーバ、通信デバイスが接続する5つのユーザ用ネットワーク (HNW1~HNW3, MNW, PNW) から構成される。各ユーザ用ネットワークは、ホームゲートウェイ (HGW1~HGW3)、モバイルゲートウェイ (MGW)、アクセスゲートウェイ (AGW) をデフォルトゲートウェイとする固定デバイス (CD1-h, CD1-m, CD1-p, CD2-h, CD3-h) ならびに移動デバイス (MD1, MD2, MD3) で構成される。各固定デバイス、サーバ、ならびに HGW1, HGW2, HGW3, AGW は、有線 (100Base-TX) で各ネットワークへ接続し、各移動デバイスは、IEEE802.11b を用いて各ユーザ用ネットワークに設置した WLAN AP (WLAN Access Point) に接続する。なお、MD1 に関しては、各ユーザ用ネットワークを移動すると、CNW に接続し、ルータを介して各ユーザ用ネットワークやサーバに接続する。また、MGW に関しては、CNW やネットワーク上の WLAN AP に接続する。

HSS および P-/S-/I-CSCF として、モトローラ社製のサーバを使用し、セッション制御サーバ・プレゼンスサーバ・会議サーバ、固定デバイスならびに各ゲートウェイは、表 4.2 に示す CPU とメモリを具備する Linux PC を使用した。また、移動デバイスとして、携帯電話 (型番:E02SA) を使用し、Brew OS 上に実装した。

4.6.2 測定項目

性能要件 1 を満たしていることを確認するため、マルチデバイス環境下において各通信デバイスがセッションを確立するまでに要する時間 (セッション確立時間) を測定した。さらに、4.4.3 節、4.4.4 節で示した通信リソースの切替えシーケ

ンスにおいて、通信デバイスがセッション切替えをセッション制御サーバに要求してから通信デバイス間でセッションの確立を完了するまでに要する時間(セッション切替え時間)を測定した。また、性能要件2を満たしていることを確認するため、セッション切替えの際に、ユーザ1の通信デバイスにてメディアデータの受信が停止してから再開するまでの時間(メディア受信断時間)を測定した。詳細を以下に示す。

- (測定項目1) セッション確立時間

MD1がHNW1, MNW, PNWに接続した際に、それぞれCD1-h, CD1-m, CD1-pを発見してから、MD1がMD2, MD3と音声を、CD1-h, CD1-m, CD1-pがCD2-h, CD3-hと映像を開始するまでの時間(セッション確立時間)を測定した。また、MD1がHNW1, MNW, PNWに接続した際に、それぞれCD1-h, CD1-m, CD1-pを発見してから、MD1がMD2, MD3から写真の受信・再生を、CD1-h, CD1-m, CD1-pがCD2-h, CD3-hから音楽を受信・再生を開始するまでの時間を測定した。さらに、MD1がHNW1, MNW, PNWに接続した際に、それぞれCD1-h, CD1-m, CD1-pを発見してから、MD1がMD2, MD3と音声を、CD1-h, CD1-m, CD1-pがCD2-hから音楽を受信・再生を開始するまでの時間を測定した。

- (測定項目2) セッション切替え時間(パターン1~7)

セッション切替えのパターン1~7において、MD1が切替え要求をセッション制御サーバへ送信してから、各通信デバイス間でセッションを確立するまでの時間を測定した。

- (測定項目3) メディア受信断時間(パターン1~7)

セッション切替えのパターン1~7において、ユーザ1の通信デバイスにて、メディアデータの受信を停止してから再生を再開するまでの時間を測定した。

- (測定項目4) セッション切替え時間(CallerとCalleeの同時切替え)

Callerが通信リソース切替え要求をセッション制御サーバへ送信してから、Calleeによる通信リソース切替えを実行し、セッション切替えが完了する

までの時間を、提案技術と既存技術を用いた場合でそれぞれ測定した。

- (測定項目5) セッション切替え時間 (Caller と一部の Callee による切替え)
Caller が通信リソース切替え要求をセッション制御サーバへ送信してから、Callee の一人が通信リソース切替えを一旦拒否し、セッション切替えが完了するまでの時間を測定した。さらに、切替えを拒否した Callee が通信リソース切替えをセッション制御サーバへ送信してから、セッション切替えが完了するまでの時間を測定した。
- (測定項目6) 通信リソース切替えの内容変更
Caller が一度通信リソース切替え要求をセッション制御サーバへ送信してから、通信リソース切替え内容を変更し、セッション切替えが完了するまでの時間を、提案技術と既存技術を用いた場合でそれぞれ測定した。

4.6.3 測定結果

まず、測定項目1における測定結果を測定結果1に、測定項目2、測定項目3における測定結果を測定結果2に示す。

- (測定結果1) セッション確立時間
MD1 を HNW1, MNW, PNW に接続させた際に、セッション確立時間を10回測定した。音声と映像を送受信するためのセッション確立時間の平均結果を表4.3に示す。
MD1 を HNW1, MNW, PNW に接続させた際のセッション確立時間は、それぞれ約3,055ms, 約3,979ms, 約3,057msとなった。内訳(図4.2で示した各ステージ毎の処理時間)を以下に示す。ステージ1の処理時間は、それぞれ約308ms, 約606ms, 約308msとなった。ステージ2の処理時間は、それぞれ約1,722ms, 約2,025ms, 約1,723msとなった。通信リソース状態・仕様の確認は、複数の通信デバイスに対して同時に実施されるため、それぞれの通信デバイスに対する通信リソース状態・仕様の確認に必要な時間

表 4.3 セッション確立時間の測定結果

アクセスネットワークの種類	HNW1	MNW	PNW
ステージ 1	308 ms	606 ms	308 ms
ステージ 2	1,722 ms	2,025 ms	1,723 ms
ステージ 3	1,025 ms	1,348 ms	1,026 ms
セッション確立時間	3,055 ms	3,979 ms	3,057 ms

の最大値が反映される。ステージ 3 の処理時間は、それぞれ約 1,025ms、約 1,348ms、約 1,026ms となった。ステージ 2 と同様に、セッション確立は、複数の通信デバイスに対して同時に実施されるため、各通信デバイスでセッションを確立するために必要な時間の最大値が反映される。

MGW が CNW に接続し、MD1 が MNW に接続した場合の測定結果は、MD1 が HNW1、PNW に接続した場合の測定結果と比較して、CNW にて制御メッセージを伝送するために要した時間分の遅延が発生している。

音楽と写真を送受信するためのセッション確立時間の平均結果、ならびに音声と音楽を送受信するためのセッション確立時間は、表 4.3 の結果とほぼ同じ結果となった。これは、各通信サービスを利用するための制御メッセージに含まれる内容の違いが、セッション確立時間に影響しないことを示す。

以上の測定結果から、性能要件 1 で示した指標時間 (7.5 秒) 以内にセッション確立が完了しているため、マルチデバイス間セッション確立機能は性能要件 1 を満たしていることがわかる。

- (測定結果 2) セッション切替え時間とメディアデータ受信断時間 (全ての Callee が通信リソース切替え可能な場合)

全ての Callee が通信リソースを切替え可能な状況において、7 つの切替えパターンにおけるセッション切替え時間ならびにセッション切替えにともなうメディア受信断時間の測定結果を以下に示す。

表 4.4 通信デバイス切替えの測定結果

アクセスネットワークの種類	HNW1	MNW	PNW
ステージ 1	213 ms	515 ms	214 ms
ステージ 2	1,717 ms	2,020 ms	1,719 ms
ステージ 3	1,022 ms	1,345 ms	1,020 ms
セッション切替え時間	2,952 ms	3,880 ms	2,953 ms
メディア受信断時間	2,032 ms	2,637 ms	2,031 ms

– 切替えパターン 1：通信デバイスの切替え

MD1をHNW1, MNW, PNWに接続させ、通信デバイスを切替えた際のセッション切替え時間ならびにメディア受信断時間を10回測定し、その平均結果を表4.4に示す。

セッション切替え時間は、それぞれ約2,952ms, 約3,880ms, 約2,953msとなった。内訳(図4.4で示した各ステージ毎の処理時間)を以下に示す。ステージ1の処理時間は、それぞれ約213ms, 約515ms, 約214msとなった。ステージ2の処理時間は、それぞれ約1,717ms, 約2,020ms, 約1,719msとなった。ステージ3の処理時間は、それぞれ約1,022ms, 約1,345ms, 約1,020msとなった。なお、ステージ2, ステージ3では、複数の通信デバイスに対して同時に処理を実行するため、各通信デバイスでの処理に必要な時間の最大値が反映される。

通信デバイス切替えにともなうメディア受信断時間は、約2,032ms, 約2,637ms, 約2,031msとなった。

– 切替えパターン 2:アクセスネットワークの切替え

MD1がアクセスネットワークをCNWからHNW1, MNW, PNWへ、HNW1, MNW, PNWからCNWへ切替えさせた際のセッション切替え時間ならびにメディアデータ受信断時間を10回測定し、その平均結果をそれぞれ表4.5, 表4.6に示す。また、MGWがアクセスネットワークをCNWからWLANへ、WLANからCNWへ移動した際のセッ

表 4.5 アクセスネットワーク切替え (CNW から HNW1, MNW, PNW) の測定結果

アクセスネットワークの種類	HNW1	MNW	PNW
ステージ 1	213 ms	515 ms	214 ms
ステージ 3	1,022 ms	1,344 ms	1,023 ms
セッション切替え時間	1,235 ms	1,859 ms	1,237 ms
メディア受信断時間	1,021 ms	1,634 ms	1,025 ms

表 4.6 アクセスネットワーク切替え (HNW1, MNW, PNW から CNW) の測定結果

アクセスネットワークの種類	HNW1	MNW	PNW
ステージ 1	542 ms	540 ms	542 ms
ステージ 3	1,324 ms	1,355 ms	1,331 ms
セッション切替え時間	1,866 ms	1,895 ms	1,873 ms
メディア受信断時間	1,634 ms	1,650 ms	1,636 ms

セッション切替え時間ならびにメディアデータ受信断時間を 10 回測定し、その平均結果を表 4.7 に示す。

・ MD1 によるアクセスネットワークの切替え:

MD1 がアクセスネットワークを CNW から HNW1, MNW, PNW へ切替えた際のセッション切替え時間は、それぞれ約 1,235ms, 約 1,859ms, 約 1,237ms となった。メディア受信断時間は、約 1,021ms, 約 1,634ms, 約 1,025ms となった。また、アクセスネットワークを HNW1, MNW, PNW から CNW へ切替えた際のセッション切替え時間は、それぞれ約 1,866ms, 約 1,895ms, 約 1,873ms となった。メディア受信断時間は、約 1,634ms, 約 1,650ms, 約 1,636ms となった。

表 4.7 セッション切替え (MGW による切替え) 時間の測定結果

アクセスネットワークの種類	CNW から WLAN	WLAN から CNW
ステージ 1	214 ms	517 ms
ステージ 3	1,022 ms	1,345 ms
セッション切替え時間	1,236 ms	1,862 ms
メディア受信断時間	1,258 ms	2,014 ms

表 4.8 セッション切替え (通信サービスの切替え) 時間の測定結果

アクセスネットワークの種類	HNW1	MNW	PNW
ステージ 1	215 ms	516 ms	213 ms
ステージ 2	1,709 ms	2,015 ms	1,710 ms
ステージ 3	1,018 ms	1,350 ms	1,022 ms
セッション切替え時間	2,942 ms	3,881 ms	2,945 ms
メディア受信断時間	2,032 ms	2,621 ms	2,042 ms

・ MGW によるアクセスネットワークの切替え:

MGW がアクセスネットワークを CNW から WLAN へ切替えた際のセッション切替え時間、メディア受信断時間は、それぞれ約 1,236ms、約 1,258ms となった。アクセスネットワークを WLAN から CNW へ切替えた際のセッション切替え時間ならびにメディア受信断時間は、それぞれ約 1,862ms、約 2,014ms となった。メディア受信断時間が、セッション確立時間を越えるのは、アクセスネットワークの移動の際にメディアの受信が一旦停止し、セッション確立後にメディアの受信が再開されるためである。

ー 切替えパターン 3：通信サービスの切替え

MD1 を HNW1, MNW, PNW に接続させた際の通信サービス切替えにともなうセッション切替え時間を 10 回測定し、その平均結果を表 4.8 に示す。

表 4.9 セッション切替え (通信デバイス・アクセスネットワークの切替え:CNWに接続している MD1 から HNW1, MNW, PNW に接続している CD へ切替え) 時間の測定結果

アクセスネットワークの種類	HNW1	MNW	PNW
ステージ 1	541 ms	540 ms	542 ms
ステージ 2	1,721 ms	2,023 ms	1,727 ms
ステージ 3	1,348 ms	1,347 ms	1,347 ms
セッション確立時間	3,610 ms	3,910 ms	3,616 ms
メディア受信断時間	2,432 ms	2,637 ms	2,442 ms

セッション切替え時間は、それぞれ約2,942ms, 約3,881ms, 約2,945msであった。内訳 (図 4.6 で示した各ステージ毎の処理時間) を以下に示す。ステージ1の処理時間は、それぞれ約215ms, 約516ms, 約213msとなった。ステージ2の処理時間は、それぞれ約1,709ms, 約2,015ms, 約1,710msとなった。ステージ3の処理時間は、それぞれ約1,018ms, 約1,350ms, 約1,022msとなった。メディア受信断時間は、それぞれ約2,032ms, 約2,621ms, 約2,042msとなった。なお、ステージ2, ステージ3では、複数の通信デバイスに対して同時に処理を実行するため、各通信デバイスでの処理に必要な時間の最大値が反映される。

- 切替えパターン4: 通信デバイス・アクセスネットワークの同時切替え
通信デバイスをCNWに接続しているMD1からHNW1, MNW, PNWに接続しているCDへ、HNW1, MNW, PNWに接続しているCDからCNWに接続しているMD1へ切替えた際のセッション切替え時間を10回測定し、その平均結果をそれぞれ表4.9, 表4.10に示す。

通信デバイスをCNWに接続しているMD1からHNW1, MNW, PNWに接続しているCDへ切替えた際のセッション切替え時間は、それぞれ約3,610ms, 約3,910ms, 約3,616msとなった。内訳 (図 4.7 で示した各ステージ毎の処理時間) を以下に示す。ステージ1の処理時間は、

表 4.10 セッション切替え (通信デバイス・アクセスネットワークの切替え:HNW1, MNW, PNW に接続している CD から CNW に接続している MD1 へ切替え) 時間の測定結果

アクセスネットワークの種類	HNW1	MNW	PNW
ステージ 1	541 ms	540 ms	542 ms
ステージ 2	2,021 ms	2,033 ms	2,027 ms
ステージ 3	1,348 ms	1,347 ms	1,347 ms
セッション切替え時間	3,910 ms	3,920 ms	3,916 ms
メディア受信断時間	2,632 ms	2,637 ms	2,642 ms

それぞれ約 541ms, 約 540ms, 約 542ms となった。ステージ 2 の処理時間は, それぞれ約 1,721ms, 約 2,023ms, 約 1,727ms となった。ステージ 3 の処理時間は, それぞれ約 1,348ms, 約 1,347ms, 約 1,347ms となった。メディア受信断時間は, それぞれ約 2,432ms, 約 2,637ms, 約 2,442ms となった。

通信デバイスを HNW1, MNW, PNW に接続している CD から通信デバイスを CNW に接続している MD1 へ切替えた際のセッション切替え時間は, それぞれ約 3,910ms, 約 3,920ms, 約 3,916ms となった。内訳を以下に示す。ステージ 1 の処理時間は, それぞれ約 541ms, 約 540ms, 約 542ms となった。ステージ 2 の処理時間は, それぞれ約 2,021ms, 約 2,023ms, 約 2,027ms となった。ステージ 3 の処理時間は, それぞれ約 1,348ms, 約 1,347ms, 約 1,347ms となった。メディア受信断時間は, それぞれ約 2,632ms, 約 2,637ms, 約 2,642ms となった。なお, ステージ 2, ステージ 3 では, 複数の通信デバイスに対して同時に処理を実行するため, 各通信デバイスでの処理に必要な時間の最大値が反映される。

表 4.11 セッション切替え (アクセスネットワーク・通信サービスの切替え:CNW から HNW1, MNW, PNW へ, 音声通話からテレビ電話) 時間の測定結果

アクセスネットワークの種類	HNW1	MNW	PNW
ステージ 1	213 ms	515 ms	214 ms
ステージ 2	1,718 ms	2,052 ms	1,705 ms
ステージ 3	1,022 ms	1,344 ms	1,023 ms
セッション切替え時間	2,953 ms	3,911 ms	2,942 ms
メディア受信断時間	2,030 ms	2,684 ms	2,030 ms

- 切替えパターン 5: アクセスネットワーク・通信サービスの同時切え替え

MD1がアクセスネットワークをCNWからHNW1, MNW, PNWへ, HNW1, MNW, PNWからCNWへ切替えると同時に通信サービスを音声通話からテレビ電話へ切替えた際のセッション切替え時間ならびにメディアデータ受信断時間を10回測定し, その平均結果をそれぞれ表4.11, 表4.12に示す. また, MGWがアクセスネットワークをCNWからWLANへ, WLANからCNWへ移動した場合における. セッション切替え時間ならびにメディアデータ受信断時間を10回測定し, その平均結果を表4.13に示す.

・MD1によるアクセスネットワークの切替え:

MD1がアクセスネットワークをCNWからHNW1, MNW, PNWへ切替えた際のセッション切替え時間は, それぞれ約2,953ms, 約3,911ms, 約2,942msとなった. メディア受信断時間は, 約2,030ms, 約2,684ms, 約2,030msとなった. アクセスネットワークをHNW1, MNW, PNWからCNWへ切替えた際のセッション切替え時間は, それぞれ約3,897ms, 約3,946ms, 約3,908msとなった. メディア受信断時間は, 約2,634ms, 約2,650ms, 約2,636msとなった.

表 4.12 セッション切替え (アクセスネットワーク・通信サービスの切替え:HNW1, MNW, PNW から CNW へ, テレビ電話から音声通話) 時間の測定結果

アクセスネットワークの種類	HNW1	MNW	PNW
ステージ 1	542 ms	540 ms	542 ms
ステージ 2	2,031 ms	2,051 ms	2,035 ms
ステージ 3	1,324 ms	1,355 ms	1,331 ms
セッション切替え時間	3,897 ms	3,946 ms	3,908 ms
メディア受信断時間	2,634 ms	2,650 ms	2,636 ms

表 4.13 セッション切替え (アクセスネットワーク・通信サービスの切替え:MGW による切替え) 時間の測定結果

アクセスネットワークの種類	CNW から WLAN	WLAN から CNW
ステージ 1	214 ms	517 ms
ステージ 2	1,731 ms	2,051 ms
ステージ 3	1,022 ms	1,345 ms
セッション切替え時間	2,967 ms	3,913 ms
メディア受信断時間	3,258 ms	4,214 ms

・ MGW によるアクセスネットワークの切替え:

MGW がアクセスネットワークを CNW から WLAN へ切替えた際のセッション切替え時間, メディア受信断時間は, それぞれ約 2,967ms, 約 3,258ms となった. アクセスネットワークを WLAN から CNW へ切替えた差異のセッション切替え時間ならびにメディア受信断時間は, それぞれ約 3,913ms, 約 4,214ms となった. メディア受信断時間が, セッション確立時間を越えるのは, アクセスネットワークの移動の際にメディアの受信が一旦停止し, セッション確立後にメディアの受信が再開されるためである.

表 4.14 セッション切替え (通信デバイス・通信サービスの切替え) 時間の測定結果

アクセスネットワークの種類	HNW	MNW	PNW
ステージ 1	213 ms	515 ms	214 ms
ステージ 2	1,730 ms	2,050 ms	1,731 ms
ステージ 3	1,024 ms	1,347 ms	1,023 ms
セッション切替え時間	2,967 ms	3,912 ms	2,968 ms
メディア受信断時間	2,032 ms	2,637 ms	2,031 ms

－ 切替えパターン 6：通信デバイス・通信サービスの同時切替え

MD1 を HNW1, MNW, PNW に接続させた際に、通信デバイスを MD1 から CD へ切替えると同時に通信サービス音声通話からテレビ電話を切替えた際のセッション切替え時間ならびにメディア受信断時間を 10 回測定し、その平均結果を表 4.14 に示す。

通信デバイス・通信サービスを切替えた際のセッション切替え時間は、それぞれ約 2,967ms, 約 3,912ms, 約 2,968ms であった。内訳 (図 4.9 で示した各ステージ毎の処理時間) を以下に示す。ステージ 1 の処理時間は、それぞれ約 213ms, 約 515ms, 約 214ms となった。ステージ 2 の処理時間は、それぞれ約 1,730ms, 約 2,050ms, 約 1,731ms となった。ステージ 3 の処理時間は、それぞれ約 1,024ms, 約 1,347ms, 約 1,023ms となった。メディア受信断時間は、それぞれ約 2,032ms, 約 2,637ms, 約 2,031 ms であった。なお、ステージ 2, ステージ 3 では、複数の通信デバイスに対して同時に処理を実行するため、各通信デバイスでの処理に必要な時間の最大値が反映される。

－ 切替えパターン 7：通信デバイス・アクセスネットワーク・通信サービスの同時切替え

通信デバイスを CNW に接続している MD1 から HNW1, MNW, PNW に接続している CD へ切替えると同時に、通信サービスを音声通話からテレビ電話へ切替えた際のセッション切替え時間を 10 回測定し、そ

表 4.15 セッション切替え (通信デバイス・アクセスネットワーク・通信サービスの切替え:CNW に接続している MD1 から HNW1, MNW, PNW に接続している CD へ切替え, 音声通話からテレビ電話へ切替え) 時間の測定結果

アクセスネットワークの種類	HNW	MNW	PNW
ステージ 1	540 ms	540 ms	541 ms
ステージ 2	1,743 ms	2,054 ms	1,743 ms
ステージ 3	1,350 ms	1,352 ms	1,350 ms
セッション切替え時間	3,633 ms	3,946 ms	3,634 ms
メディア受信断時間	2,423 ms	2,684 ms	2,484 ms

表 4.16 セッション切替え (通信デバイス・アクセスネットワーク・通信サービスの切替え:HNW1, MNW, PNW に接続している CD から CNW に接続している MD1 へ切替え, テレビ電話から音声通話) 時間の測定結果

アクセスネットワークの種類	HNW	MNW	PNW
ステージ 1	542 ms	543 ms	541 ms
ステージ 2	2,056 ms	2,055 ms	2,054 ms
ステージ 3	1,348 ms	1,350 ms	1,348 ms
セッション切替え時間	3,946 ms	3,948 ms	3,943 ms
メディア受信断時間	2,651 ms	2,652 ms	2,645 ms

の平均結果を表 4.15 に示す。また、通信デバイスを HNW1, MNW, PNW に接続している CD を CNW に接続している MD1 へ切替えると同時に、通信サービスをテレビ電話から音声通話へ切替えた際のセッション切替え時間を 10 回測定し、その平均結果を表 4.16 に示す。

通信デバイスを CNW に接続している MD1 から HNW1, MNW, PNW に接続している CD へ切替えると同時に、通信サービスを音声通話からテレビ電話へ切替えた際のセッション切替え時間は、それぞれ約

3,633ms, 約3,946ms, 約3,634msであった。内訳を以下に示す。ステージ1の処理時間は、それぞれ約540ms, 約540ms, 約541msとなった。ステージ2の処理時間は、それぞれ約1,743ms, 約2,054ms, 約1,743msとなった。ステージ3の処理時間は、それぞれ約1,350ms, 約1,352ms, 約1,350msとなった。メディア受信断時間は、それぞれ約2,423ms, 約2,684ms, 約2,484msであった。

通信デバイスをHNW1, MNW, PNWに接続しているCDからCNWに接続しているMD1へ切替えると同時に、通信サービスをテレビ電話から音声通話へ切替えた際のセッション切替え時間は、それぞれ約3,946ms, 約3,948ms, 約3,943msであった。内訳を以下に示す。ステージ1の処理時間は、それぞれ約542ms, 約543ms, 約541msとなった。ステージ2の処理時間は、それぞれ約2,056ms, 約2,055ms, 約2,054msとなった。ステージ3の処理時間は、それぞれ約1,348ms, 約1,350ms, 約1,348msとなった。メディア受信断時間は、それぞれ約2,651ms, 約2,652ms, 約2,645msであった。なお、ステージ2, ステージ3では、複数のデバイスに対して同時に処理を実行するため、各デバイスでの処理に必要な時間の最大値が反映される。

次に、Caller と Callee の通信リソース切替えを同時に実行するためのセッション切替え時間を測定結果3に示す。

- (測定結果3) セッション切替え時間 (Caller と Callee の同時切替え)

Caller と Callee による通信リソースの同時切替えが困難な既存のセッション制御技術と提案技術を用いた場合のセッション切替え時間を図4.16示す。図4.16において、提案技術は通信リソースを切替えるユーザ数が増加した場合においても最大約3,960msとなり、セッション切替え時間には影響しなかった。一方、既存技術については、あるユーザによる通信リソースの切替えを終了後に他のユーザによる通信リソースの切替えが可能となるため、通信リソースを切替えるユーザ数が増加していく毎にセッション切替え時間が増加している。結果、既存技術では、3ユーザが通信リソースを切

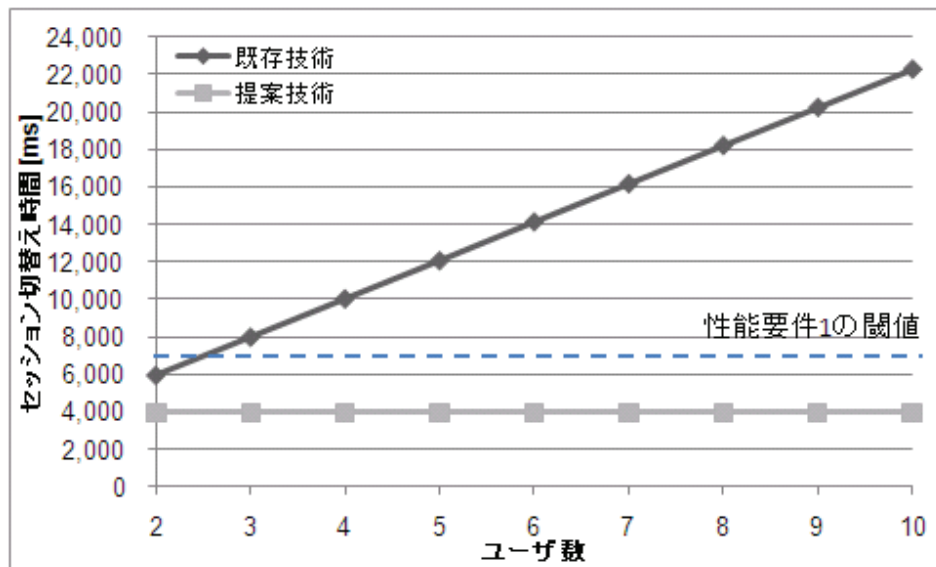


図 4.16 Caller と Callee の同時切替えにともなうセッション切替え時間

替える必要がある場合、性能要件 1 を満たすことが困難となるが、提案技術では、常に性能要件 1 を満たす結果となった。

最後に、Caller からの通信リソースの要求に対応困難な Callee が存在する場合の測定結果を測定結果 4、測定結果 5 に示す。

- (測定結果 4) セッション切替え時間 (Caller と一部の Callee による切替え)

Caller が通信リソース切替え要求を送信し、その際に切替え困難な Callee を増加させた場合の測定結果を図 4.17 に示す。

提案技術では、Caller が通信リソースの切替えを要求してから、一度拒否した Callee による通信リソースの切替えが完了するまでのセッション切替え時間は、拒否する Callee のユーザ数には依存せず、最大で約 6,000ms であった。一方、既存技術では、Callee の人数が増加していくごとに、他の Callee のセッション切替えを待つ必要があるため、セッション切替え時間が増加し、性能要件 1 を満たせない結果となった。

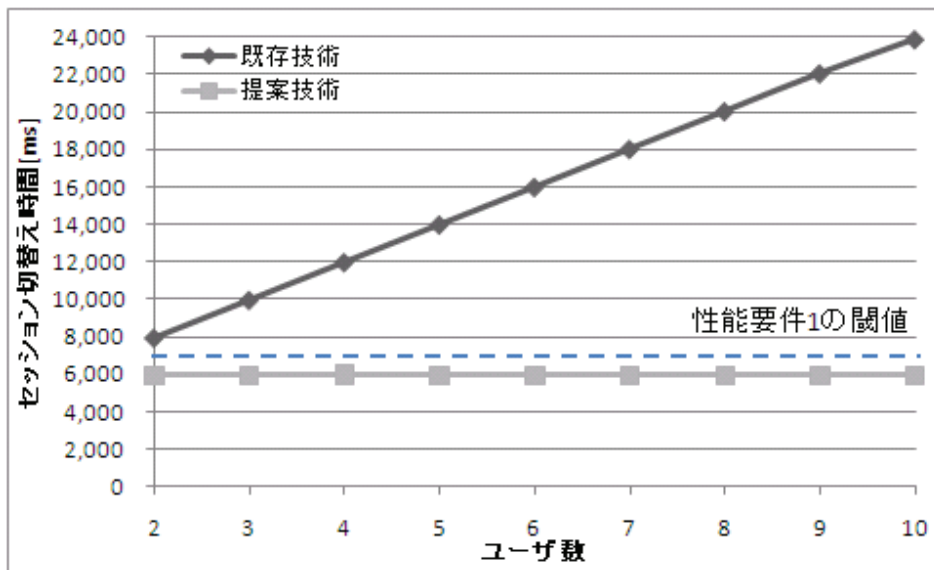


図 4.17 Callee の一部切替えにともなうセッション切替え時間

表 4.17 通信リソース切替えの内容を変更した際のセッション切替え時間の測定結果

アクセスネットワークの種類	HNW	MNW	PNW
ステージ1	1,090 ms	1,100 ms	1,089 ms
ステージ2	2,056 ms	2,055 ms	2,054 ms
ステージ3	1,348 ms	1,350 ms	1,348 ms
セッション切替え時間	4,494 ms	4,505 ms	4,491 ms
メディア受信断時間	2,651 ms	2,652 ms	2,645 ms

- (測定結果5) セッション切替え時間・メディア受信断時間 (通信リソース切替えの内容変更)

Caller による通信リソース切替えの内容を変更した際の測定結果を表 4.17 に示す。

Caller により通信リソースの切替え内容を変更したため、図 4.13 における

ステージ1での処理時間が、内容を変更しない場合の結果と比較して倍の時間を要している。ただし、ユーザが最終的な通信リソース切替えを要求してからセッションを確立するまでの時間は(測定結果2)と同じ結果となり、セッション制御サーバから Caller へ他の通信リソースへの変更を要求した結果、コミュニケーションを維持したまま、性能要件1を満たしている結果となった。

4.6.4 測定結果に基づく評価と考察

(測定結果1)～(測定結果5)のセッション確立・切替え時間の測定結果から、実験環境下では、性能要件1で示したセッション確立までに要する指標時間(7.5 s)以内にセッション確立・切替えが完了しているため、マルチデバイス間セッション切替え機能は性能要件1を満たしていることがわかる。ただし、セッション確立時間は、各通信デバイスやサーバがセッション制御に必要な INVITE などの制御メッセージを送信してから宛先の通信デバイスやサーバに到達するまでの到達遅延時間に依存する。これにより、アクセスネットワークの伝送遅延によっては指標時間を満たすことが困難な状況が発生する。そこで、本実装における制御メッセージの到達遅延時間の影響について以下に考察する。

通信リソース切替えの各ステージにおいて、各通信デバイスがセッション制御サーバや他の通信デバイスと送受信する制御メッセージを送受信する回数は、一回の通信リソース切替えにて最大11回(5.5往復)となる。5.5往復の内訳は以下のとおり：ステージ1(通信リソース切替え要求にて2往復)、ステージ2(制御対象の通信デバイスの特定・仕様の確認にて1往復)、ステージ3(通信リソースの切替えにて2往復)、ステージ4(メディアデータの送受信開始要求にて0.5往復)。本実験環境下では、CNWに接続した際に、双方向の伝送遅延の結果は約300 msであり、制御メッセージの伝送遅延に最大1,650 ms 要していた。一方、各通信デバイスや各サーバの処理に要した時間は、最大で2,298 msであった。したがって、性能要件1を満たす指標時間(7,500 ms)のうち、伝送遅延で許容可能な時間は5,202 ms となり、5.5往復の制御メッセージの送受信が必要なことから双方向で944 ms 以内の到達遅延時間を許容可能となる。

944ms という到達遅延時間について、携帯電話や有線を使用した国内の実環境では実用上問題ない。しかしながら、インマルサットなどの衛星通信を利用した通信では、国内の陸上局を使用した場合においても双方向で 1,000 ms を越えるため、アクセスネットワークに衛星通信を利用したコミュニケーションでは現状の実装や使用機器を変更する必要があるがわかった。衛星通信を利用した環境や国外の通信デバイスと双方向で 944 ms を越える到達遅延時間の環境下においても性能要件 1 を満たすためには、制御メッセージのデータ量を削減したり、各サーバの処理速度を高速化するなどの対応が必要となる。

また、性能要件 2 で示した指標時間 (3.0 s) に関しては、MGW が移動し、アクセスネットワークを切替えると同時に通信サービスを切替えると、指標時間を越えてしまうことがわかった。これは、アクセスネットワークの移動と同時に通信デバイスと会議サーバ間の接続が切断され、IP アドレスを取得してから接続を再確立した後、セッションを確立するためである。なお、その他の通信リソース切替えにおけるメディア受信断時間は、最大約 2,684ms となり、3.0 s 以内という結果となった。ただし、メディア受信断時間においてもセッション確立・切替え時間と同様に、制御メッセージの到達遅延時間に依存する。そこで、本実装における制御メッセージの到達遅延時間の影響について以下に考察する。

各通信デバイスがメディアデータの送信を停止してから送信を開始するまでに制御メッセージを送受信する回数は 1 回 (0.5 往復) であり、通信デバイス・サーバでの処理時間は、最大約 2,534 ms であった。したがって、制御メッセージの到達遅延時間が片方向で 466ms 以内の環境において、ユーザは意識せずコミュニケーションを継続可能であることがわかった。それ以上の伝送遅延が発生する通信環境では、通信デバイス・サーバでの処理時間を向上させる必要がある。

4.7. まとめ

マルチデバイス間セッション制御技術を活用することにより、ユーザは、マルチデバイス環境下においても通信リソースを自在に選択可能であり、かつ通信リソースを切替えた場合においてもコミュニケーションを継続可能であることを確

認した。さらに、Callee において通信リソース切替えが困難な場合においてもコミュニケーションを継続可能であることを確認した。また、マルチデバイス間セッション制御技術をベースとしたプロトタイプシステムを実装し、セッション確立・切替え時間やメディア受信断時間の観点から性能を評価した。その結果、性能要件 1 と性能要件 2 (MGW で移動しない場合) を満たすことを確認した。さらに、プロトタイプシステムでは、制御メッセージの伝送遅延が双方向で 944 ms 以内の通信環境であればセッション確立・切替え時間が性能要件 1 を満たし、片方向で 466 ms 以内の通信環境であれば、メディア受信断時間が性能要件 2 を満たすことが明らかになった。一方、性能評価からマルチデバイス間セッション制御技術の課題が明確になった。明確になった主な課題を以下に示す。

- MGW・MNW の移動中におけるメディア受信断時間の短縮
セッション制御の観点から、MGW や MNW の移動にともなうセッション切替えにおいて、メディア受信断時間を短縮する必要がある。
- メディアデータの出力時刻の制御
データ制御の観点から、マルチデバイス環境下において異種メディアデータを出力させた場合、通信デバイス間やユーザ間で音声と映像の動きが一致しないことがあった。そこで、各通信デバイス間でメディアデータの出力時刻を制御する必要がある。

本論文では、性能要件 2 を満足するため、MGW・MNW の移動中におけるメディア受信断時間の短縮を実現する。詳細を 5 章に示す。さらに、メディアデータの出力時刻に関する課題を解決するため、メディアデータの出力時刻の制御を実現する。詳細を 6 章に示す。

第5章 移動ネットワークでの経路制御技術

本章では、4章で述べたマルチデバイス間セッション制御技術をベースとして、ユーザが車や船舶などの移動体での移動中に、通信リソース(特に、アクセスネットワーク)の切替えが発生した場合においても、性能要件2を満たし、コミュニケーションを継続するための経路制御技術について述べる。

5.1. 既存の経路制御技術の概要とその課題

5.1.1 既存の経路制御技術によるアクセスネットワーク切替え

モバイルゲートウェイがアクセスネットワークを移動した場合におけるアクセスネットワークの切替え方法について検討する。アクセスネットワークを切替える方法として、主に以下の3つが考えられる。

1. 移動デバイスによるセッション切替え

MGWが検知したアクセスネットワークの移動(IPアドレスの変化やアクセスネットワークの種類の変化)をMNW上の通信デバイスへ通知し、通信デバイスが通知を受信する毎にセッション切替えをセッション制御サーバへ要求する。しかしながら、本切替え方法では、4.6節での性能評価のとおり、性能要件2を満たすことが困難である。

2. モバイルゲートウェイによるセッション切替え

MGWがアクセスネットワークの移動を検知し、MNW上の通信デバイスの代理としてセッション切替えをセッション制御サーバへ要求する。上記

の移動デバイスによるセッション切替えと比較して、通信デバイスへのアクセスネットワークの移動の通知シーケンスを削減することが可能である。しかしながら、本切替え方法においても、4.6 節での性能評価のとおり、性能要件 2 を満たすことが困難である。

3. モバイルルータによる経路切替え

セッションによる制御ではなく、3 章で検討したとおり、IP レベルでの経路を制御する。例えば、MGW がモバイルルータ (MR)[25] として動作し、ホームエージェント (HA) と IP トンネルを確立するとともに、アクセスネットワークの移動を検知すると、IP トンネルを切替えることでメディアデータの経路のみを切替え、移動透過性を実現する。モバイルルータにより経路を切替える方法では、通信デバイスによるセッションの再確立のシーケンスが不要となるため、性能要件 2 を満たすことが可能であることが考えられる。

以上の検討結果から、本論文では、MGW を MR として動作させ、ホームエージェントとの IP トンネルの確立ならびに経路切替えにより、アクセスネットワークの切替えを実現することで、コミュニケーションの継続を実現する。

5.1.2 既存のモバイルルータの概要とその課題

本節では、既存のモバイルルータの概要とその課題について述べる。

MR は、アクセスネットワークを移動すると、ルータ要請 (Router Solicitation) メッセージなどを用いてアクセスネットワークから IP アドレス (CoA: Care-of Address) を取得する。その後、MR は、位置登録要求メッセージ (BU: Binding Update) を HA 宛に送信することで、MR に割当てられた一意な IP アドレスであるホームアドレス (HoA) と CoA を HA に登録する。HA での認証後、MR と HA 間で IP トンネルを確立する [25]。

HA は、近隣探索プロキシ機能 [25] により HoA 宛のパケットを収集し、上記の IP トンネルを用いて収集したパケットを MR に転送する。結果、MR は、アク

セスネットワークを移動した場合においても、インターネット上のサーバや通信デバイスと継続的な通信が可能となる。さらに、HAは、MNWのネットワークプレフィックスを含むアドレス宛の packets も IP トンネルを用いて MR に転送する。MRは、その packets を MNW 上の通信デバイス (MNN: Mobile Network Device) へ中継することで MNN に対しても移動透過性を提供する。

このようなネットワークモビリティ機能を備えた MR を活用したシステムが研究されてきた [8, 22, 27]。さらに、このような MR を拡張し、複数の異種アクセスネットワークへ同時に接続可能な場合、複数の IP トンネルを同時に確立することで、アクセスネットワークの切替えの高速化やメディア受信断時間の短縮可能な技術が研究されてきた [46]。このような技術では、既存の MR と同じく、具備する複数の通信インタフェース (以下、通信メディアとよぶ) における電波強度を監視するとともに、予めユーザが設定した上限閾値以上の電波強度を検知すると、使用可能な通信メディアとして判定する。その後、アクセスネットワークから CoA を取得するとともに、接続中の IP トンネルを維持したまま、複数の異種アクセスネットワークでの IP トンネルを確立する。

しかしながら、従来の MR では、ユーザの嗜好によりメディアデータのフロー (データフロー) の経路を切替え可能とすることが困難である。したがって、移動体が移動した場合においても MNN に対して移動透過性を提供可能とするとともに、MNN を使用するユーザが、アクセスネットワークの種類を把握し、アクセスネットワークの種類を自在に切替え可能とする必要がある。

5.2. 移動ネットワークでの経路制御技術の概要

本論文では、アクセスネットワークを IP レベルで選択・切替え可能とするとともに、メディアデータの種類毎に通信経路を変更可能とするため、複数気付けアドレスを処理可能な MR と HA を拡張する。具体的には、メディアデータのフロー (データフロー) の経路を定義しているデータフロー配信ポリシーを MR と HA で動的に変更することによって、データフローの経路を切替え可能とするデータフロー経路制御技術を提案する。本技術は、IP レベルでのアクセスネットワー

```

RULE_MAP_START
  RULE_NUMBER rule_number
  MID mid_number
RULE_MAP_END

RULE_rule_number_START
  No. SrcAddr DstAddr SrcPort/ProtoType DstPort/ProtoType mid_number
RULE_END
    
```

mid_number : 通信メディアの識別子
SrcAddr : 送信元IPアドレス, *DstAddr* : 送信先IPアドレス
SrcPort : 送信元ポート番号, *DstPort* : 送信先ポート番号
ProtoType : プロトコルタイプ

図 5.1 データフロー配信ポリシー

クの切替えと同時に、セッションレベルでの通信デバイスや通信サービスを切替え可能とする特徴をもつ。

5.3. データフロー経路制御機能

アクセスネットワークに接続するための通信メディアの組合せやアクセスネットワークの種類に応じて各通信メディアで送信するデータフローを決定するためのデータフロー配信ポリシーを定義する。このデータフロー配信ポリシーを MR ならびに HA 内に設定しておくことで、アクセスネットワークの種類が変化した場合にデータフロー配信ポリシーに基づき MR や HA の経路表を変更することにより、データフローの経路を自動で切替える。さらに、ユーザの指示によりデータフロー配信ポリシーならびに経路表を更新することにより、アクセスネットワークを切替える。

データフロー配信ポリシーの定義について以下に述べるとともに、図 5.1 に示す。

MR は、新たなアクセスネットワークの接続を検知すると、RULE_MAP_START と RULE_MAP_END で囲まれた個所からアクセスネットワークの接続状況に応じて割り当てられたデータフロー配信ポリシーのルール識別子 (RULE_NUMBER *rule_number*) を検索する。例えば、CNW に接続可能な通信メディアの識別子を *mid_number1*、WLAN に接続可能な通信メディアの識別子を *mid_number2* と MR 内で事前に割り当てる。MR が、CNW と WLAN へ同時に接続可能な場所へ移動す

```

RULE_MAP_START
  RULE_NUMBER 01
  MID 800 //携帯電話網へ接続する通信メディアの識別子

  RULE_NUMBER 02
  MID 800
  MID 11 //無線LANへ接続する通信メディアの識別子
RULE_MAP_END

RULE_01_START // 携帯電話網接続時のポリシー設定開始
  001 SrcAddr DstAddr1 SrcPort/ProtoType DstPort1/ProtoType 800 ... (i)
  002 SrcAddr DstAddr1 SrcPort/ProtoType DstPort2/ProtoType 800 ... (ii)
RULE_END // 携帯電話網接続時のポリシー設定終了

RULE_02_START // 携帯電話網・WLAN同時接続時のポリシー設定開始
  001 SrcAddr DstAddr1 SrcPort/ProtoType DstPort1/ProtoType 800 ... (iii)
  002 SrcAddr DstAddr1 SrcPort/ProtoType DstPort2/ProtoType 11 ... (iv)
RULE_END // 携帯電話網・WLAN同時接続時のポリシー設定終了

```

図 5.2 データフロー配信ポリシーの設定例

ると、MRは、mid_number1ならびにmid_number2の識別子を基に、データ配信ポリシーの識別子(例えば、rule_number1)を取得する。

次に、MRは、データフロー配信ポリシーの中から、rule_numberに対応するルール情報を取得し、MR内の経路表を変更する。

図5.1では、RULE_rule_number.START、RULE_ENDで囲まれた箇所が配信ポリシーのルール情報となる。MRは、ルール情報に記述されたパケットの送信元IPアドレス(SrcAddr)、宛先IPアドレス(DstAddr)、送信元ポート番号(SrcPort)、宛先ポート番号(DstPort)、プロトコルタイプ(ProtoType)によってデータフローの種類を特定する。

上記で特定したパケットを送信する通信メディアは、識別子(MID)で記述される。MRは、CoAを取得した際、CoAとCoAを取得した通信メディアのMIDを結び付けている。これにより、MRが、データフローの種類に応じて、通信メディアへデータフローを振り分ける。

データフロー配信ポリシーに該当しないパケットは、デフォルトルートに従う。デフォルトルートは、ユーザによる手動設定ならびにアクセスネットワークからのルータ広告メッセージの受信により決定される。

最後に、MR は、BU を送信する際、CoA とともに MID を HA へ送信する。HA は、MR の HoA 毎にデータフロー配信ポリシーを保存しており、MR から受信した MID から MR と同じくルール情報を取得する。HA は、取得したルール情報にしたがって、経路表を更新する。

なお、MR が、予めユーザが設定した下限閾値以下の電波強度を検知すると、その通信メディアを通信に使用不可として判定する。この変化により、MR は、データフロー配信ポリシーの識別子を検索・取得し、データフロー配信ポリシーに応じて経路表を更新する。

データフロー配信ポリシーの設定例を図 5.2 に示す。図 5.2 において、MR は、CNW と WLAN に接続可能な通信メディアの識別子をそれぞれ 800, 11 としている。また、CNW のみに接続している場合、CNW と WLAN を同時に接続している場合のルール番号をそれぞれ 01, 02 としている。MR が CNW のみに接続している場合、ルール番号 01 に該当するポリシーを検索する (図 5.2 (i),(ii))。さらに、CNW と WLAN を同時に接続している場合、ルール番号 02 に該当するポリシーを検索する (図 5.2 (iii),(iv))。図 5.2 では、アクセスネットワークの変化にともない、DstPort2 のデータフローを送受信する通信メディアの種類を変更し、データフローの経路を変更する (図 5.2 (ii) から (iv) へ)。

5.4. 経路・セッション同時制御機能

本節では、アクセスネットワークを切替えるためのデータフローの経路切替えシーケンス、ならびに通信サービスを切替えるためのセッション切替えシーケンスを以下に示すとともに、図 5.3 に示す。

- Stage0 経路切替え

MR は、新たなアクセスネットワーク (ANW2) で IP アドレスを取得すると、BU を HA へ送信するとともに (図 5.3 1)、MID を含むアクセスネットワークの情報 (ANW 情報) を MD や CD などの MNW に接続する通信デバイス (MNN) に通知する (図 5.3 2)。MR と HA は、ANW1 経由で確立している IP トンネルを維持したまま、ANW2 経由での IP トンネルを確立する。さ

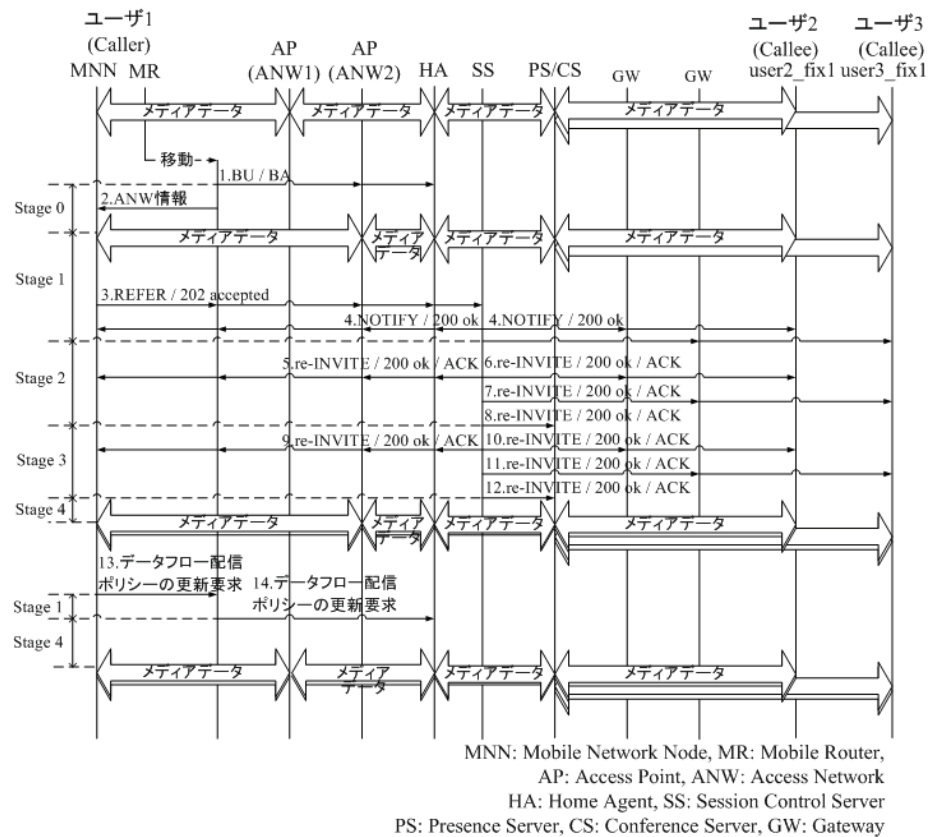


図 5.3 経路切替え・セッション切替えシーケンス

らに、MR と HA は、ANW2 経由での IP トンネルを確立後、データフロー配信ポリシーに基づき、MNN が送受信するデータフローを ANW2 経由となるよう経路表を更新する。この時点で、通信サービスの切替えが発生していないため、アクセスネットワークの切替えのみが発生する。

● Stage1-4 通信サービス切替え

MNN は、通信サービスの切替え要求メッセージをセッション制御サーバへ送信し、前章で述べた通信サービスの切替えによるセッション切替えを実行する (図 5.3 3-12)。

ユーザが手動でアクセスネットワークを変更したい場合、MNN は、データフロー配信ポリシーのルール情報の更新を MR に要求する (図 5.3 13)。MR

は、データフロー配信ポリシーの更新を HA へ要求すると同時に MR のデータフロー配信ポリシーを更新し、HA のフロー配信ポリシーを更新する (図 5.3 14)。MR と HA は、データフロー配信ポリシーの更新を契機に経路表を変更する。これにより、アクセスネットワークのみを切替えることが可能となる。

例えば、音声フローを送受信している際にアクセスネットワークを切替えたい場合、ルール番号、切替え後の MID、MNN や Callee の通信デバイスの IP アドレス、音声フローのポート番号を含むルール情報を MR に送信する。MR は、その情報を HA に転送し、MNN が送受信する音声フローの経路を切替え後の MID の IP アドレスへ変更する。

アクセスネットワークと通信デバイスを同時に切替える場合のセッション切替えについても上記のシーケンスと同じく、アクセスネットワークの切替えを発生させた後、通信デバイスは、前章で述べた通信デバイスの切替えシーケンスに従い、通信デバイスの切替え要求をセッション制御サーバへ要求する。

5.5. データフロー経路制御技術の実装

MR を Fedora Core 4(Linux kernel 2.6.8) 上に実装し、提案機能を追加した。また、HA を Fedora Core 4(Linux kernel 2.6.8) 上に実装し、MR を収容するための拡張を行った。

MR 内にデータフロー配信ポリシーを設定ファイルとして登録するとともに、データフロー配信ポリシーとアクセスネットワークの接続状況に応じてルーティングテーブルを変更するため iptables[17] を使用した。

また、HA に対しては、一つの HoA に対し、複数の CoA を同時に登録し、複数の IP トンネルを同時に確立可能な機能 [46] を実装した。さらに、MR からデータフロー配信ポリシーを受信した HA が、MR のインターネットへの接続状況に基づいたルーティングテーブルの変更を行うため、iptables[35] を使用した。

主な無線 LAN のエリアは、IPv4 ネットワークで構成されている。一方、MR は IPv6 による通信のみを規定している。そこで、IPv4 と IPv6 の両方の通信に対

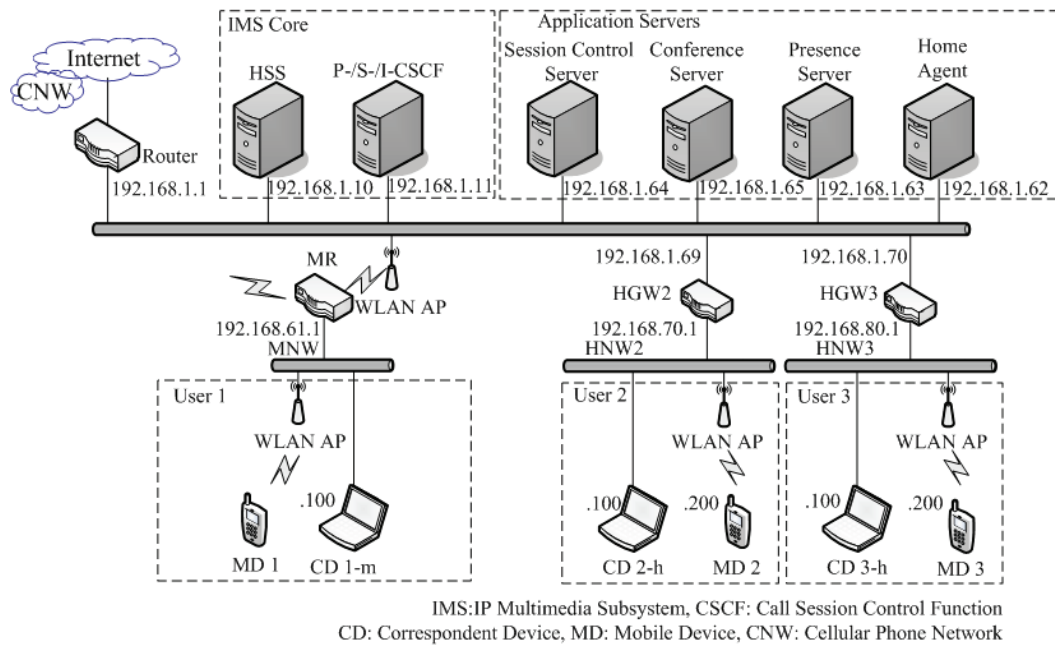


図 5.4 ネットワーク構成図

応可能な DSMIPv6 (Mobile IPv6 Support for Dual Stack Hosts and Routers) [42] の機能を実装した。また、RFC3963 に準拠した HA に対して、IPv4、IPv6 の両アドレスを処理可能な DSMIPv6 の機能を実装した。

5.6. 性能評価

本節では、移動ネットワークでの経路制御技術を実装した MR を経由して通信リソースを切替えた場合のアクセスネットワーク切替え時間、通信サービス切替え時間、メディア受信断時間などの観点から提案技術の有効性を示す。

5.6.1 実験環境

実装した MR のプロトタイプシステムの性能を評価するため、図 5.4 に示すネットワークを構成した。

5.6.2 測定項目

図 5.4 のネットワーク構成において，MGW が移動し，アクセスネットワークを CNW から WLAN へ，WLAN から CNW へ切替えると同時に，通信サービスを音声通話サービスからテレビ電話サービスへ切替える．このようなシナリオにおける測定項目を以下に示す．

- アクセスネットワーク切替え時間

性能要件 1 を満たしていることを確認するため，MR が移動先のアクセスネットワークで IP アドレスを取得してからメディアデータフローの経路を切替えるまでの時間 (アクセスネットワーク切替え時間) を測定する (図 5.3 stage0)．

- 通信サービス切替え時間

性能要件 1 を満たしていることを確認するため，MNN が MR の経路切替えを検知し，通信サービスの切替え要求メッセージをセッション制御サーバへ送信してから通信サービスを切替えるまでの時間 (通信サービス切替え時間) を測定する (図 5.3 stage1-3)．

- メディア受信断時間

性能要件 2 を満たしていることを確認するため，アクセスネットワーク切替えならびに通信サービス切替えの際に，ユーザ 1 の通信デバイス (MD1, CD1-m) にてメディアデータの受信を停止してから再開するまでの時間 (メディア受信断時間) を測定する．

5.6.3 測定結果

各実験項目における測定結果を以下に示すとともに，表 5.1 に示す．

MR が，アクセスネットワークを CNW から WLAN へ切替えた場合におけるアクセスネットワーク切替え時間とアクセスネットワークの切替えにともなうメディア受信断時間は，それぞれ約 198ms，約 20ms であった．アクセスネットワー

表 5.1 MR を使用した通信リソース切替えの測定結果

	CNW から WLAN	WLAN から CNW
アクセスネットワーク切替え時間	198 ms	546 ms
メディア受信断時間	20 ms	300 ms
通信サービス切替え時間	2,930 ms	3,867 ms
メディア受信断時間	1,723 ms	2,572 ms

表 5.2 MR と MGW による通信リソース切替えの測定結果の比較

	CNW から WLAN	WLAN から CNW
セッション切替え時間	3,128 ms/2,967 ms	4,413 ms/3,913 ms
メディア受信断時間	1,723 ms/3,258 ms	2,572 ms/4,214 ms

ク切替え後、通信サービス切替え時間と切替えにともなうメディア受信断時間は、それぞれ約 2,930ms、メディア受信断時間は約 1,723ms であった。

また、MR が、アクセスネットワークを WLAN から CNW へ切替えた場合におけるアクセスネットワーク切替え時間とアクセスネットワークの切替えにともなうメディア受信断時間は、それぞれ約 546ms、約 300ms であった。アクセスネットワーク切替え後、通信サービス切替え時間と切替えにともなうメディア受信断時間は、それぞれ約 3,867ms、約 2,572ms であった。

5.6.4 測定結果に基づく評価と考察

本章で提案した経路制御技術の有効性を定量的に示すため、セッション制御技術と経路制御技術を組合せた場合の測定結果とセッション制御技術のみを活用した場合の測定結果を比較した表を表 5.2 に示す。表中の値の左側が経路制御技術を使用した測定結果であり、右側がセッション制御技術のみの測定結果を示す。表 5.2 に示すとおり、セッション制御技術のみの場合、性能要件 2 の指標時間 (3s) を満たしていないが、経路制御技術を使用することで、性能要件 2 を満たしてい

ることがいえる。経路制御技術におけるセッション切替え時間については、IP トンネルを確立し、データフロー配信ポリシーの更新のために、セッション制御技術のみを使用した際の切替え時間と比較して、約 161ms～約 500ms 増加しているが、性能要件 1 の指標時間 (7.5s) を満足していることがわかる。

ただし、本論文では、経路制御技術を活用した MR によるアクセスネットワーク切替えの実験では、ほとんどの一般道で携帯電話網へ接続可能であり、ある地域では WLAN や WiMA へ接続可能な環境を想定し、あるアクセスネットワークへ常時接続し、異種アクセスネットワークへ同時に接続可能な条件下で測定している。一方、山岳地帯や洋上では携帯電話網への接続が困難である。このような環境では衛星通信を利用する方法が考えられるが、DTN(Delay Tolerant Network) のような環境下でのセッション制御の課題を新たに対応する必要がある。

5.7. まとめ

前章にて、マルチデバイス環境下におけるユーザ間のコミュニケーション中に、あるユーザの周辺環境や嗜好の変化が発生した場合においても通信リソースを切替え可能なマルチメディア間セッション制御技術における通信リソース切替えについて述べた。しかしながら、測定結果からセッション切替え時間は、2.3 節で示した性能要件 1 の指標時間 (7.5s) を満たしていたが、MGW の移動に伴い通信リソースを切替えるとメディア受信断時間が、性能要件 2 の指標時間 (3s) を越える結果となった。そこで、MGW を MR として動作させ、アクセスネットワークの切替えを IP レベルで実現することにより性能要件 1 と同時に性能要件 2 を満たすことを確認した。

第6章 デバイス・ユーザ間メディア データ同期技術

本章では，マルチデバイス環境下において，通信リソースを変更した場合においても，各通信デバイスにてメディアデータの出力遅延を算出するためのメディアユニットの生成時刻や出力時刻を各通信デバイス間で送受信を継続し，伝送遅延の差を抑制するデバイス・ユーザ間メディアデータ同期技術について述べる．また，本技術に基づいたプロトタイプシステムを実装し，メディアユニットの出力遅延の差などの観点から性能を評価し，本方式の有効性を示す．

6.1. 既存のメディアデータ同期技術とその課題

6.1.1 メディア同期はずれ

1 ユーザが異なるアクセスネットワークに接続された複数の通信デバイスを同時に使用するマルチデバイス環境下では，各アクセスネットワークの通信帯域，伝送遅延，ジッタなどの通信特性の相違により，異なる通信デバイスにおいて同じタイミングで出力されるべきメディアデータがずれて出力されてしまう．その結果，テレビ電話で携帯電話から出力される音声とテレビに表示される口の動きにずれが生じるなどのサービス品質低下を引き起こす．

通信環境の差異により，各通信デバイスにおける音声や映像などのメディアデータの処理単位であるメディアユニット生成時の時間間隔が維持されずに出力される現象は，メディア同期はずれと呼ばれる．メディア同期はずれは，単一のメディアデータ内でずれが発生するメディア内同期はずれと，複数のメディアデータ間でずれが発生するメディア間同期はずれに分類される [3, 17, 38]．さらに，メディ

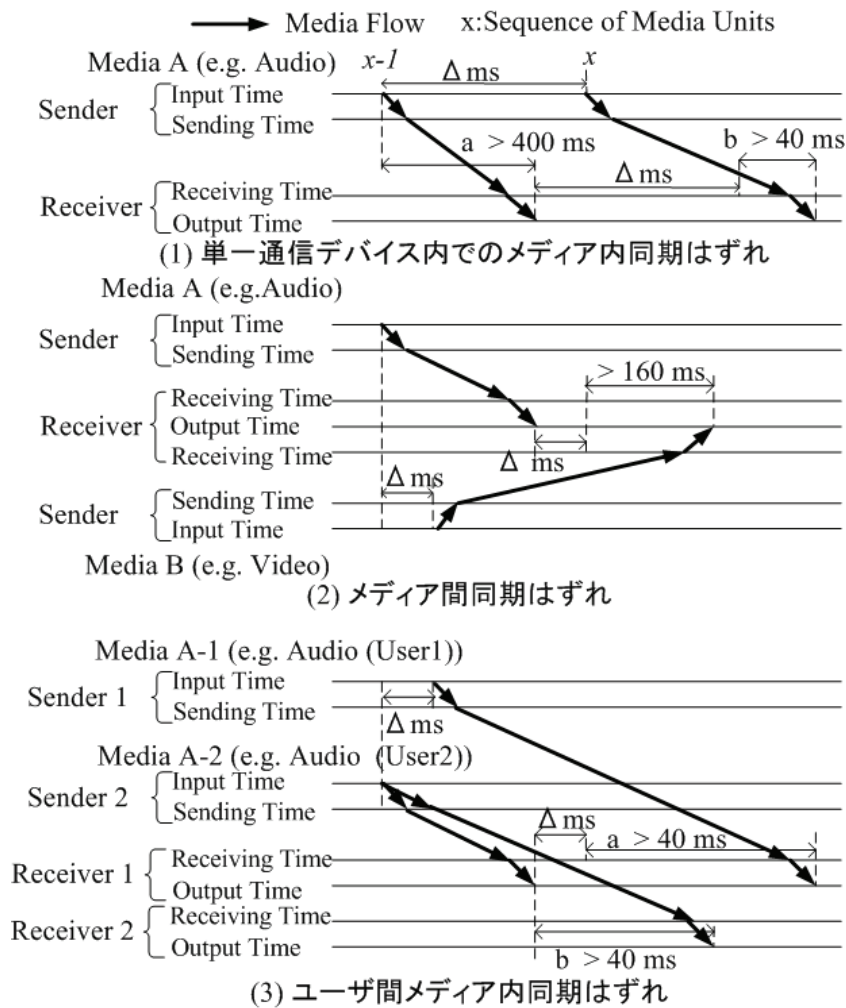


図 6.1 メディア同期はずれ

ア内同期はずれは，単一通信デバイス内で発生するメディア内同期はずれと，異種通信デバイス間で発生するユーザ間メディア内同期はずれに分類される．本論文では，単にメディア内同期はずれと示した場合，単一通信デバイス内で発生するメディア内同期はずれと，ユーザ間メディア内同期はずれを含む．なお，ユーザ間でのメディア間同期はずれについては，メディア間同期はずれの状態と同じであるため，ここではメディア間同期はずれに含むこととする．

- メディア内同期はずれ：ある通信デバイスにてメディアユニットが生成され

てから別の通信デバイスにて出力されるまでに要する時間(メディア出力遅延時間)が規定値(400ms)を越える状態[3](図6.1(1)-a),あるいは連続して出力される同種のメディアユニット(例えば,二つの連続した音声フレーム)のメディア出力遅延時間の差が規定値(40ms)を越える状態[17](図6.1(1)-b)を示す.

- メディア間同期はずれ:異種のメディアユニット(例えば,音声フレームと映像フレーム)間におけるメディア出力遅延時間の差が規定値(160ms)を越える状態[38](図6.1(2))を示す.
- ユーザ間メディア内同期はずれ:メディアユニットの送信元が複数で受信先が単一である場合(図6.1(3)-a),あるいはメディアの送信元が単一で受信先が複数である場合(図6.1(3)-b)において,ユーザ間での同種のメディアユニットにおけるメディア出力遅延時間の差が規定値(40ms)を超える状態[38]を示す.

6.1.2 既存のメディアデータ同期技術

メディア同期はずれを抑制するため,各メディアユニットのメディア出力遅延時間の差を上述した規定値内に制御するメディア同期方式が提案されてきた[26, 19, 47, 45, 20].文献[26]ではメディア内同期はずれ(図6.1(1)-a)を抑制するため,音声レートや映像レートを低下させることで伝送遅延を抑制する.また,文献[19, 47, 45]では,メディア内同期はずれ(図6.1(1)-b)やメディア間同期はずれ(図6.1(2))を抑制するため,同種,ならびに異種のメディアユニットの出力遅延時間の差を比較し,その差が規定値内になるよう,比較対象となる出力遅延時間と受信したメディアユニットの生成時刻から出力すべき時刻を算出する.通信デバイスは,算出した時刻よりも早く受信したメディアユニットの出力時刻を遅延させることで,メディア内同期やメディア間同期を実現する[19, 47, 45].一方,算出した時刻よりも遅く到着したメディアユニットについては,到着直後に出力するか,出力せずに破棄する[19, 47, 45].さらに,文献[20]では,メディア内同期はずれ(図6.1(1)-a)を抑制するとともに,ユーザ間メディア内同期はずれ

ア)のメディア内同期 (Intra-Media Sync.) を実行した後、マスタメディアのメディア情報に基づき、他のメディア (スレイブメディア) のメディア間同期 (Inter-Media Sync.) を実行する。結果、マスタメディアの出力を優先できる。例えば、テレビ会議では、一般に音声の出力を優先するため、音声をマスタメディア、映像をスレイブメディアとすることで、音声の出力時刻に合わせて、映像の出力時刻を決定する。なお、マスタメディアとスレイブメディアを受信する通信デバイスが異なる場合、マスタメディアを受信する通信デバイスからスレイブメディアを受信する通信デバイスに対してメディア情報が通知される。

分散モデル (図 6.2(b)-1) は、ユーザ間でメディア情報を相互に送受信し、各通信デバイスが送受信したメディア情報に基づきユーザ間でのメディア内同期を実行する。分散モデルは、出力を優先するメディアの設定が難しい場合に用いられる。例えば、グループでの音声会議において、ある特定の端末の音声の出力を優先すると、その端末からの音声は他の端末からの音声よりも優先して出力されるため、グループでの双方向の会話が困難となる場合などである。

マエストロモデル (図 6.2(b)-2) は、会議サーバなどに存在するマエストロと呼ばれる一つのエンティティが各通信デバイスのメディア情報を収集するとともに、メディア情報を同一グループ内の各通信デバイスへ配信し、マエストロから受信したメディア情報に基づき、各通信デバイスがユーザ間メディア内同期を実行する。

しかしながら、マルチデバイス環境下においてこれらの既存方式ならびに同期モデルを適用する場合、以下の2つの課題がある。

課題 1 :

会議サーバを経由した場合においてもメディア同期はずれを発生させないメディア同期、ならびに単一通信デバイスでのメディア内同期に加えて、複数のメディア同期はずれを同時に解決する必要がある。

課題 2 :

ユーザが通信リソースを切替えた場合においても、課題 1 で解決するメディア同期を維持するため、通信リソースの切替えに追従し、メディアユニットの生成時刻や出力時刻の送受信先を動的に変更する必要がある。

6.2. デバイス・ユーザ間メディアデータ同期技術の概要

現状の課題を解決し、マルチデバイス環境下でのメディア同期を実現するため、以下の2つの特徴を持つデバイス・ユーザ間メディア同期技術を新たに提案する。

機能 1：マルチデバイス環境下でのメディア同期

会議サーバによるミキシング時ならびに通信デバイスでのメディアデータの受信時の2段階でのメディア同期を行う。さらに、ユーザ間、ならびに単一ユーザのマルチデバイス間にて、それぞれメディア情報を送受信する際には、優先して出力するメディアユニットを決定することでメディア同期の競合を解決するとともに、図 6.1 で示したメディア同期はずれを同時に抑制するメディア同期モデルを新たに導入し、メディア同期を行う。

機能 2：メディア同期維持

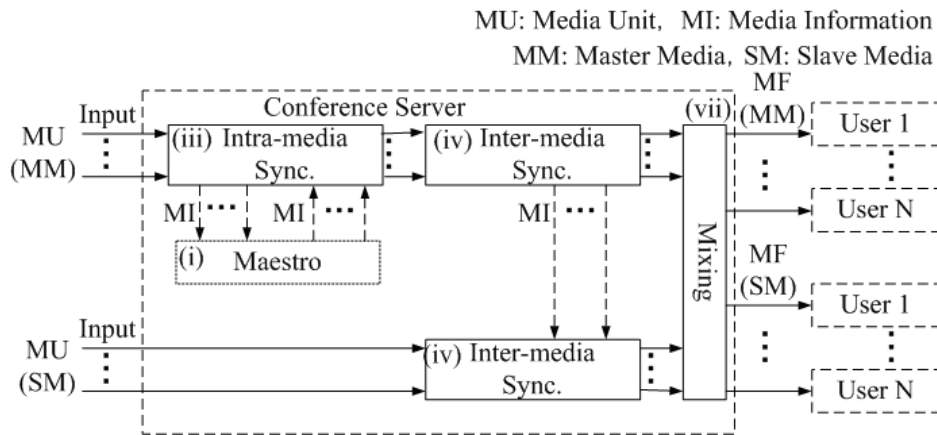
各ユーザの通信リソースの情報（ユーザ識別子やデバイス識別子など）を会議サーバで管理し、通信リソースを切替えた場合においても、通信リソースの情報をリアルタイムに更新する。さらに、ユーザ間ならびに単一ユーザの異種デバイス間において、メディア情報の送受信先を動的に変更し、ユーザ間メディア内同期ならびに単一ユーザの異種デバイス間でのメディア間同期を維持する。

6.3. マルチデバイス環境下でのメディア同期機能

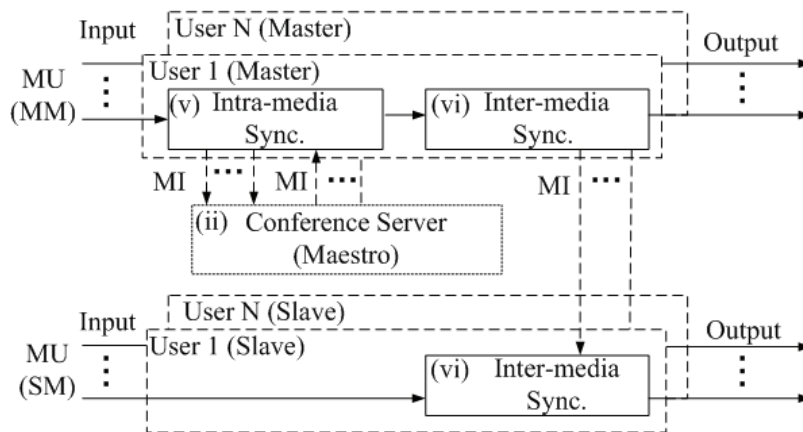
6.3.1 マルチデバイス環境下でのメディア同期モデル

本機能では、マスタ・スレイブモデル [26, 19, 47] とマエストロモデル [45] を組合わせたメディア同期モデル (図 6.3) を新たに導入することで、通信デバイス内や会議サーバでのメディア内同期に加えて、ユーザ間でのメディア内同期ならびに単一ユーザの通信デバイス間でのメディア間同期を同時に実現する。本論文では、複数のユーザが同種のメディアユニットを送受信するグループ通信に対応するため、メディアの出力優先度を決定することが難しい。そこで、マエストロモデルを採用し (図 6.3(i), (ii)), 同種のメディアユニットのユーザ間メディア内同期を実現する。また、マスタ・スレイブモデルを採用し (図 6.3(iii), (iv), (v)),

6.3 マルチデバイス環境下でのメディア同期機能



(a) 会議サーバにおけるメディア同期モデル



(b) 各デバイスにおけるメディア同期モデル

図 6.3 メディア同期モデル

(vi), マスタメディアのメディア内同期ならびにマスタ・スレイブメディアのメディア間同期を行う。会議サーバならびに各通信デバイスでのメディア同期手順を以下に示す。

6.3.2 会議サーバでのメディア同期手順

会議サーバにおけるメディア同期モデル (図 6.3(a)) での同期手順を示す。会議サーバでは、各通信デバイスと会議サーバ間の伝送遅延やジッタなどにより発生する、メディア同期はずれを抑制するため、ミキシング前での (1) 単一通信デバイス内メディア内同期、(2) ユーザ間メディア内同期、(3) メディア間同期により、各メディアユニットのミキシング時刻を決定する。

(1) 会議サーバは、各通信デバイスからメディアユニットを受信すると、単一通信デバイス内のメディア内同期 (図 6.3(iii)) により、ミキシングすべき時刻 (ミキシング理想時刻) を決定する。具体的には、メディアユニットの生成間隔から算出したミキシング理想候補時刻 1、通信デバイスと会議サーバの伝送遅延から算出したミキシング理想候補時刻 2、メディア受信時刻の 3 つの時刻を比較し、最大値となる時刻をミキシング理想時刻とする。ただし、規定値 (図 6.1(1)-a) を越えた場合、メディアユニットを破棄する。ミキシング理想時刻 ($m_x^{(Mi)}$) の算出式ならびに各変数の定義を以下に示す。

$$m_x^{(Mi)} = \max(m_x^{(Mi)}, T_x^{(Mi)} + \Delta_{avec}^{(Mi)}, A_c T_x^{(Mi)})$$

シーケンス番号 x のマスタメディア (Mi : i はマスタメディアの識別子) のミキシング理想候補時刻 1: $m_x^{(Mi)} = m_{x-1}^{(Mi)} + (T_x^{(Mi)} - T_{x-1}^{(Mi)})$

$T_x^{(Mi)}$ は、シーケンス番号 x のマスタメディアの生成時刻、 $m_{x-1}^{(Mi)}$ は、シーケンス番号 $x-1$ のマスタメディアのミキシング時刻となる。シーケンス番号 $x-1$ が消失した場合、さらに過去のミキシング時刻を参照する。

$$\text{ミキシング理想候補時刻 2: } T_x^{(Mi)} + \Delta_{avec}^{(Mi)}$$

$\Delta_{avec}^{(Mi)}$ は、通信デバイスと会議サーバ間のメディア到達遅延時間の平均値となり、 $A_c T_x^{(Mi)}$ は、シーケンス番号 x のマスタメディアの到着時刻となる。

(2) マエストロにて複数のマスタメディアのメディア内同期を行う (図 6.3(i)). x よりも ($n, m \dots$) 番前にそれぞれ受信したマスタメディア ($Mj, Mk \dots$: j, k はマスタメディアの識別子) のミキシング理想時刻 ($m_{x-n}^{(Mj)}, m_{x-m}^{(Mk)} \dots$) ならびに ($m_x^{(Mi)}$) を比較し、ユーザ間メディア内同期はずれの規定値 (図 6.1(3)) 内にミキシングするため、最も遅いミキシング理想時刻に合わせて、その差分 (例えば、 $m_x^{(Mi)}$ の場合、以下に示す $R_x^{(Mi)}$ 分) だけメディアユニットのミキシング間隔を遅延させ、ミ

キシング時刻を決定する。

$$R_x^{(Mi)} = \max(m_x'^{(Mi)}, m_{x-n}'^{(Mj)}, m_{x-m}'^{(Mk)}) - m_x'^{(Mi)}$$

ただし、メディアユニットのミキシング間隔が規定値 (図 6.1(1)-b) を越えないよう一定の間隔の時間 ($r^{(Mi)}$) で遅延させる。

(3) 会議サーバは、メディア間同期を行う (図 6.3(iv))。具体的には、決定したマスタメディアのミキシング時刻 ($m_x^{(Mi)}$) から算出したミキシング理想候補時刻 3、通信デバイスと会議サーバの伝送遅延から算出したミキシング理想候補時刻 4、メディア受信時刻の 3つの時刻を比較し、最大値となる時刻を、スレイブメディアのミキシング理想時刻とする。ただし、規定値 (図 6.1(2)) を越えた場合、メディアユニットを破棄する。ミキシング理想時刻 ($m_y'^{(Si)}$) の算出式ならびに各変数の定義を以下に示す。

$$m_y'^{(Si)} = \max(m_y''^{(Si)}, T_y^{(Si)} + \Delta_{avec}^{(Si)}, A_c T_y^{(Si)})$$

シーケンス番号 y のスレイブメディア (Si : i はスレイブメディアの識別子) のミキシング理想候補時刻 3: $m_y''^{(Si)} = m_x^{(Mi)} + (T_y^{(Si)} - T_x^{(Mi)})$

$T_y^{(Si)}$ は、シーケンス番号 y のスレイブメディアの生成時刻となる。

ミキシング理想候補時刻 4: $T_y^{(Si)} + \Delta_{avec}^{(Si)}$

$\Delta_{avec}^{(Si)}$ は、通信デバイスと会議サーバ間のメディア到達遅延時間の平均値となり、 $A_c T_y^{(Si)}$ は、シーケンス番号 y のスレイブメディアの到着時刻となる。

スレイブメディアは、算出したミキシング理想候補時刻が、ミキシング時刻 ($m_y^{(Si)}$) となる。

会議サーバは、決定したミキシング時刻によりマスタメディアならびにスレイブメディアのミキシングを行い、各通信デバイスへミキシングしたメディアユニットを送信する (図 6.3(vii))。

6.3.3 通信デバイスでのメディア同期手順

各通信デバイスにおけるメディア同期モデル (図 6.3(b)) での同期手順を示すとともに、同期手順のフローチャートを図 6.4 に示す。

まず、マスタメディアを受信する通信デバイス (マスタデバイス) が、ミキシングされたメディアユニットを受信すると、単一通信デバイス内でのメディア内同

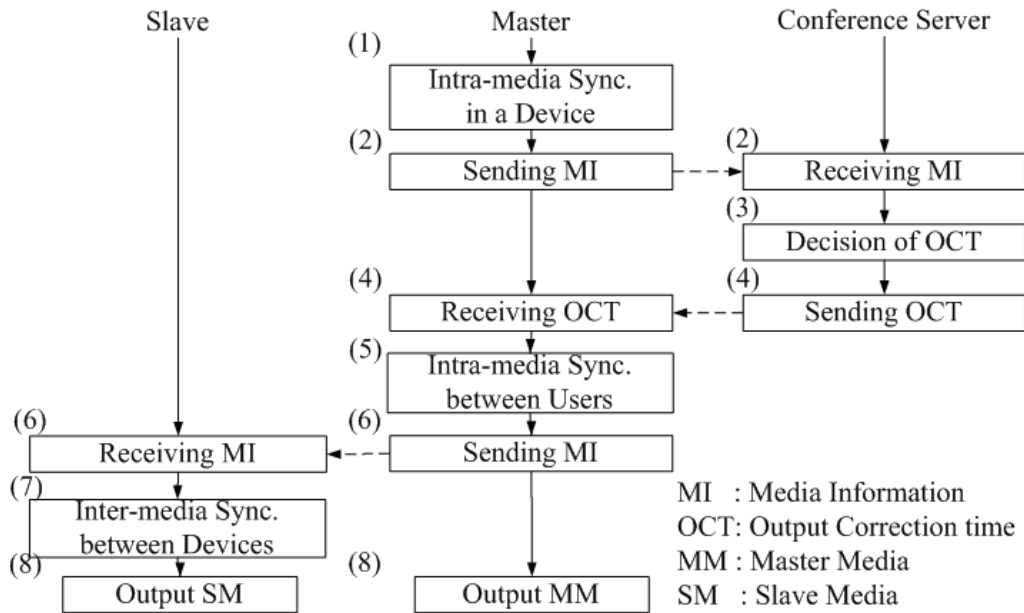


図 6.4 メディア同期手順のフローチャート

期によりメディアユニットの出力すべき時刻 (メディア出力理想時刻) を決定する (図 6.3(v), 図 6.4(1)). 具体的には, 会議サーバでの単一通信デバイス内でのメディア内同期と同じく, 3つの引数からメディア出力理想時刻 ($d_x^{(Mi)}$) を算出する. ただし, 規定値 (図 6.1(1)-a) を越えた場合, メディアユニットを破棄する. 算出式ならびに各変数の定義を以下に示す.

$$d_x^{(Mi)} = \max(d_x''^{(Mi)}, T_x^{(Mi)} + \Delta_{ave}^{(Mi)}, AT_x^{(Mi)})$$

$$\text{出力理想候補時刻 1: } d_x''^{(Mi)} = d_{x-1}^{(Mi)} + (T_x^{(Mi)} - T_{x-1}^{(Mi)})$$

$d_{x-1}^{(Mi)}$ は, シーケンス番号 $x-1$ のマスタメディアのメディア出力時刻となる. シーケンス番号 $x-1$ が消失した場合, さらに過去のメディア出力時刻を参照する.

$$\text{出力理想候補時刻 2: } T_x^{(Mi)} + \Delta_{ave}^{(Mi)}$$

$\Delta_{ave}^{(Mi)}$ は, 通信デバイス間のメディア到達遅延時間の平均値となり, $AT_x^{(Mi)}$ は, シーケンス番号 x のマスタメディアの到着時刻となる.

次に, マスタデバイスは, ユーザ間メディア内同期を実現するため, メディア情報を会議サーバへ送信する (図 6.4(2)). 会議サーバは, メディア情報を受信す

ると、送信元の SIP URI ならびにグループ通信の識別子 [29] から参加中のグループを特定し、同じグループに参加中の他のマスタデバイスから受信したメディア情報からメディア到達遅延時間を比較する。その後、会議サーバは、最大値となるメディア出力遅延時間から出力補正情報 (メディア出力遅延時間の差) を決定するとともに (図 6.3(ii), 図 6.4(3)), メディア出力遅延の差が 0 になるまで遅延させるよう、出力補正情報を各マスタデバイスへ送信する (図 6.4(4)).

出力補正情報を受信したマスタデバイスは、ユーザ間メディア内同期によりメディアユニットの出力時刻を決定する。具体的には、メディア出力遅延時間の差が 0 になるまで、メディア出力時刻 ($d_x^{(Mi)}$) を ($r_x^{(Mi)}$) 間隔で遅延させていく (図 6.3(v), 図 6.4(5)).

$$d_x^{(Mi)} = \max(d_x^{(Mi)}, T_x^{(Mi)} + \Delta_{ave}^{(Mi)}, AT_x^{(Mi)})$$

$$d_x^{(Mi)} = d_{x-1}^{(Mi)} + (T_x^{(Mi)} - T_{x-1}^{(Mi)} + r_x^{(Mi)})$$

マスタデバイスは、メディア出力時刻を決定するとメディア情報をスレイブメディアの受信デバイス (スレイブデバイス) に送信する (図 6.4(6)). メディア情報を受信したスレイブデバイスは、会議サーバでのメディア間同期と同じく、3つの引数からメディア出力理想時刻 ($d_y^{(Si)}$) を算出する (図 6.3(vi), 図 6.4(7)). 算出式ならびに各変数の定義を以下に示す。

$$d_y^{(Si)} = \max(d_y^{(Si)}, T_y^{(Si)} + \Delta_{ave}^{(Si)}, AT_y^{(Si)})$$

シーケンス番号 y のスレイブメディア (Si) の出力理想候補時刻 3 :

$$d_y^{(Si)} = d_x^{(Mi)} + (T_y^{(Si)} - T_x^{(Mi)})$$

出力理想候補時刻 4 : $T_y^{(Si)} + \Delta_{ave}^{(Si)}$

$\Delta_{ave}^{(Si)}$ は、通信デバイス間のメディア到達遅延時間の平均値となり、 $AT_y^{(Si)}$ は、シーケンス番号 y のスレイブメディアの到着時刻となる。

スレイブメディアは、算出した出力理想候補時刻が、メディア出力時刻 ($d_y^{(Si)}$) となる。

各マスタデバイスならびにスレイブデバイスは、決定したメディアユニットの出力時刻に達すると、メディアユニットを出力する (図 6.4(8)).

表 6.1 ID 管理テーブル

UID	DID	Priority	GID
user1	sip:user1_mob@xxx.com	1	100
user1	sip:user1_tv@xxx.com	0	100
user2	sip:user2_mob@yyy.com	1	100
user2	sip:user2_pc@yyy.com	0	100
user3	sip:user3_mob@zzz.com	1	100
user3	sip:user3_pc@zzz.com	0	100

UID:User ID, DID:Device ID, Priority:Output Priority of media unit,
GID:Group ID

6.4. メディア同期維持機能

6.4.1 メディア同期機能のための ID 管理

本機能において、各通信デバイスが、他の通信デバイスにおける通信リソース状態の変化を検知するための通信リソースの情報を管理する方法を示す。各通信デバイスは、他の通信デバイスと通信サービスを開始する前に、プレゼンス情報として、4.2 節で示した ID に加えて、メディアユニットの出力を示すメディア優先度をプレゼンスサーバへ登録する。本機能で必要なパラメータを示す ID 管理テーブルとして登録例を表 6.1 に示す。各通信デバイスは、グループ通信を開始する際、会議サーバから付与されたグループ識別子を送信し、ID 管理テーブルへ登録する。例えば、表 6.1 では、User1 の固定デバイス (デバイス識別子: sip:user1_tv@xxx.com) と移動デバイス (デバイス識別子: sip:user1_mob@xxx.com) が使用され、グループ識別子 100 が付与されたグループへ参加している。また、各通信デバイスは、同一のユーザ識別子ならびにグループ識別子を持つ通信デバイス情報の変化を検知するため、会議サーバに対して会議イベントパッケージの購読要求 (SIP の SUBSCRIBE) を送信する。

会議サーバは、ユーザ識別子とグループ識別子によってグループに参加するユーザを管理し、デバイス識別子と結びつけることによってユーザが所有する通信デ

バースを管理する。例えば、表 6.1 では、3 ユーザ (User1, User2, User3) の通信リソースの情報が登録され、各ユーザは 2 台の通信デバイスを使用している。さらに、会議サーバは、各通信デバイスで付与されたメディア優先度によって、マスタ・スレイドモデルでの各メディアの出力優先度を把握する。例えば、テレビ会議において音声の出力を優先する場合、音声の優先度は、映像の優先度 (表 6.1 では、0) よりも高く設定する (表 6.1 では、1)。マスタデバイスは、同じユーザ識別子が付与され、かつ同じグループ識別子のグループ通信に参加するスレイドデバイスの端末識別子を会議サーバから取得し、メディア情報を送信する。

6.4.2 通信リソース切替えにともなうメディア同期

通信リソースの切替え時におけるメディア情報の送受信先の変更方法を示す。通信リソースの切替えが発生した場合、会議サーバとセッションを確立した通信デバイスは、通信リソース情報の登録要求をプレゼンスサーバ経由で会議サーバへ送信する。一方、セッションを切断する通信デバイスは、デバイス情報の削除要求を会議サーバへ送信する。会議サーバは、プレゼンスサーバ経由で通信デバイスからの要求を受け、ID 管理テーブルを更新する。プレゼンスサーバは、ID 管理テーブルの更新を検知すると、該当する通信デバイスに対して、更新情報を NOTIFY メッセージにより通知する。

通知を受信した通信デバイスが、メディア情報の送受信先を変更する 4 つのパターンを以下に示す。

- (パターン 1) スレイドデバイスの追加・切替え
- (パターン 2) スレイドデバイスの停止
- (パターン 3) マスタデバイスの追加・切替え
- (パターン 4) マスタデバイスの停止

パターン 1: ユーザがスレイドデバイスを切替えた場合、マスタデバイスは、会議サーバから通信リソースの変更の通知を受信し、通知メッセージの中からスレイドデバイスのデバイス識別子を取得する。それがマスタデバイスのデバイス識別子と一致した場合、マスタデバイスは、メディア情報の送信を停止し、メディ

ア同期の処理方法を，通信デバイス間でのメディア間同期から通信デバイス内でのメディア間同期へ切替える．逆に，デバイス識別子が他のデバイス識別子へ変更された場合，メディア情報の送信を開始し，メディア同期の処理方法を通信デバイス内でのメディア間同期からマルチデバイス間でのメディア間同期へ切替える．また，受信したデバイス識別子が他のデバイス識別子からさらに別のデバイス識別子へ変更された場合，マスタデバイス，メディア情報の送信先を新たに受信したデバイス識別子へ変更し，通信デバイス間でのメディア間同期を維持する．

パターン 2: ユーザがスレイブデバイスを停止した場合，マスタデバイスは，会議サーバから通信リソースの変更の通知を受信し，メディア情報の送信を停止する．さらに，グループ通信に参加する通信デバイス間で全てのスレイブメディアの送受信が停止すると，会議サーバは，ミキシング時のメディア間同期を停止し，マスタメディアによるメディア内同期のみを行う．

パターン 3: ユーザがマスタデバイスを切替えた場合，スレイブデバイスは，メディア情報の受信先を切替え前のマスタデバイスから切替え先のマスタデバイスへ変更し，メディア間同期を維持する．

パターン 4: ユーザがマスタデバイスを停止した場合，スレイブデバイスは，メディア情報の受信を停止するため，メディア同期の処理方法をメディア間同期から，スレイブメディアをマスタメディアとして扱う単一通信デバイス内でのメディア内同期へ切替え，メディア内同期を維持する．さらに，グループ通信に参加する通信デバイス間で全てのマスタメディアの送受信が停止すると，会議サーバは，ミキシング時のスレイブメディアのメディア同期方式をメディア内同期方式へ切替え，メディア内同期を維持する．

6.5. デバイス・ユーザ間メディア同期技術の実装

提案技術を Linux PC 上にプロトタイプシステムとして実装した．実装概要を以下に示す．

前章で示した通信デバイスの実装に加えて，各通信デバイスがデバイス情報を会議サーバへ送信するために，SIP の MESSAGE メソッドを実装するとともに，

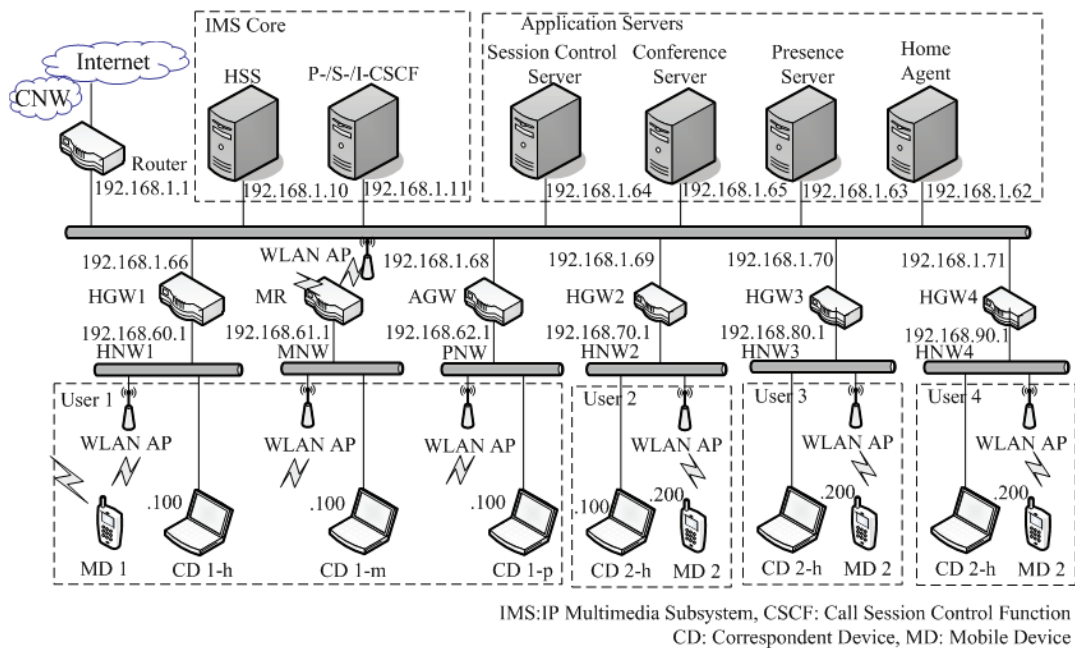


図 6.5 ネットワーク構成図

会議イベントパッケージを実装し、ID 管理テーブル内のデバイス情報の更新を通知するための SUBSCRIBE、NOTIFY メソッドを実装した。

6.6. 性能評価

6.6.1 実験環境

実装したプロトタイプシステムの性能を評価するためのネットワーク構成を図 6.5 に示す。本実験では、マルチデバイス間セッション制御技術ならびに移動ネットワークでの経路制御技術を実装した通信デバイス・ゲートウェイ・サーバを使用した。さらに、デバイス・ユーザ間メディア同期技術を実装した通信デバイスならびに会議サーバを使用し、性能を評価した。

6.6.2 測定項目

- メディア同期機能の測定項目

マルチデバイス環境下でのメディア同期機能が、ミキシングによるメディア同期、ユーザ間でのメディア内同期、ならびに単一ユーザのマルチデバイス間でのメディア同期によって、メディア同期はずれに関する規定値内にメディア出力遅延時間ならびにメディア出力遅延時間の差を抑制できるかどうかを評価した。

まず、各ユーザの移動デバイス間で音声のメディアユニット(マスタメディア)を送受信し、固定デバイス間で映像のメディアユニット(スレイブメディア)を送受信することでテレビ電話を開始する。次に、HGW1, MR, AGWにてHNW1, MNW, PNWに接続する通信デバイスを対象とした伝送遅延を0ms~400ms(メディア内同期の範囲)の範囲において50ms間隔で増加させるとともに、ゆらぎを5msと設定し、各通信デバイス間やユーザ間でのメディア出力遅延時間を5分間測定した。測定項目を以下に示す。

- (測定項目 1) 各マスタメディアのメディア出力遅延時間とその差
ユーザ間メディア内同期を評価するため、各移動デバイスにて、マスタメディアのメディア出力遅延時間を測定し、その平均値を求めた。さらに、平均値の最大値と最小値の差を求め、提案方式の結果と同期なしの一般方式の結果を比較した。
- (測定項目 2) マスタメディア・スレイブメディア間のメディア出力遅延時間の差
メディア間同期を評価するため、各固定デバイスにて、スレイブメディアのメディア出力遅延時間を測定し、その平均値を求めた。また、メディア間同期の際に参照したマスタメディアのメディア出力遅延時間とスレイブメディアのメディア出力遅延時間の差を求めた。さらに、平均値の最大値と最小値の差を求め、提案方式の結果と一般方式の結果を比較した。

– (測定項目3) メディアユニット出力率

測定項目1, 2にて, 規定値を超えて破棄されるメディアユニットを確認するため, 各通信デバイスにて生成されたメディアユニットが受信先の通信デバイスで出力される率(メディアユニット出力率)を測定した。

● メディア同期維持機能の測定項目

メディア同期維持機能が, 通信リソースを切替えた場合においても, ユーザ間メディア内同期ならびにメディア間同期が維持できるかどうかを評価した。

まず, 各ユーザの移動デバイス間で音声(マスタメディア)を送受信し, 固定デバイス間で映像(スレイブメディア)を送受信することでテレビ電話を開始する。次に, HGW1, MR, AGWにてHNW1, MNW, PNWに接続する通信デバイスを対象とした伝送遅延を400msに設定した。最後に, User1における音声の受信デバイスを移動デバイスMD1から固定デバイスCD1-h, CD1-m, CD1-pへ切替え, その後, 固定デバイスCD1-h, CD1-m, CD1-pから移動デバイスMD1へ再度切替えた場合と, User1における映像の受信デバイスを固定デバイスCD1-h, CD1-m, CD1-pから移動デバイスMD1へ切替え, その後, 移動デバイスMD1から固定デバイスCD1-h, CD1-m, CD1-pへ再度切替えた場合において, 以下に示す項目を評価した。

– (測定項目4) メディア出力遅延時間の差のゆらぎ

通信デバイスが通信リソースの切替えを要求してから切替え先の通信デバイスにてコンテンツの受信を開始するまでの時間を測定するとともに, 切替え前後においてマスタメディア間ならびにマスタ・スレイブ間におけるメディア出力遅延時間の差を測定し, 切替え前後の測定結果の差を比較する。

– (測定項目5) メディア同期復帰時間

通信リソースの切替え後, メディア到達遅延時間が変化してから, ユーザ間ならびに単一ユーザの複数端末間にてメディア出力遅延時間の差

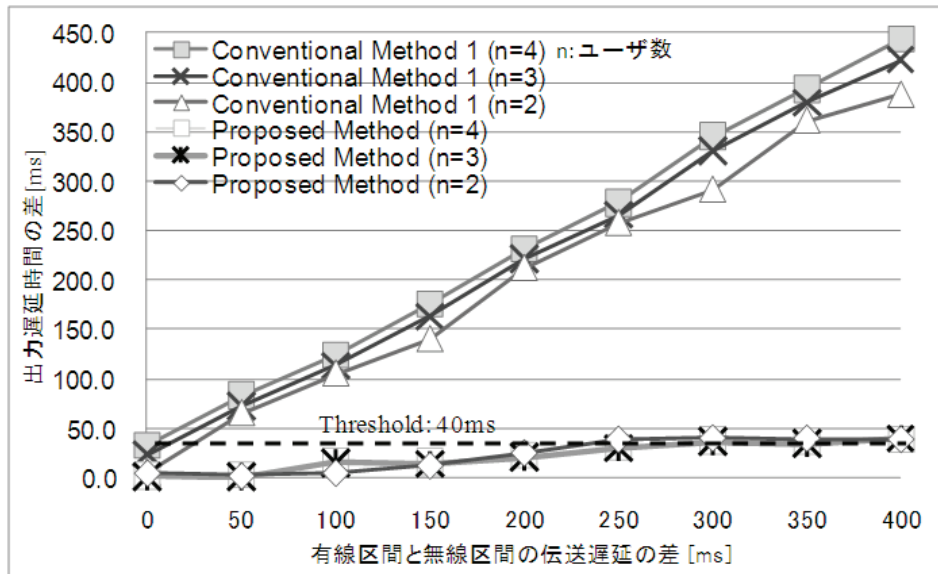


図 6.6 マスタメディア間のメディア出力遅延時間の差

が、それぞれ 40 ms, 160 ms 以内になるまでのメディア同期復帰時間を測定し、メディア同期を維持できるかどうかを評価した。

– (測定項目 6) 会議サーバの処理負荷

会議サーバの処理性能を評価するため、1 グループに参加するユーザ数を 4 とし、テレビ電話を使用した場合において、グループ数を 1～10 まで増加させた場合における会議サーバの処理負荷 (CPU 使用率と使用メモリ) の変化を測定した。

6.6.3 測定結果

- メディア同期機能の測定結果測定項目 1, 2, 3 における測定結果を以下に示す。

まず、図 6.6 に測定項目 1 の測定結果を示す。提案方式 (Proposed Method) では、ユーザ間でのマスタメディアのメディア出力遅延時間の差は、40ms

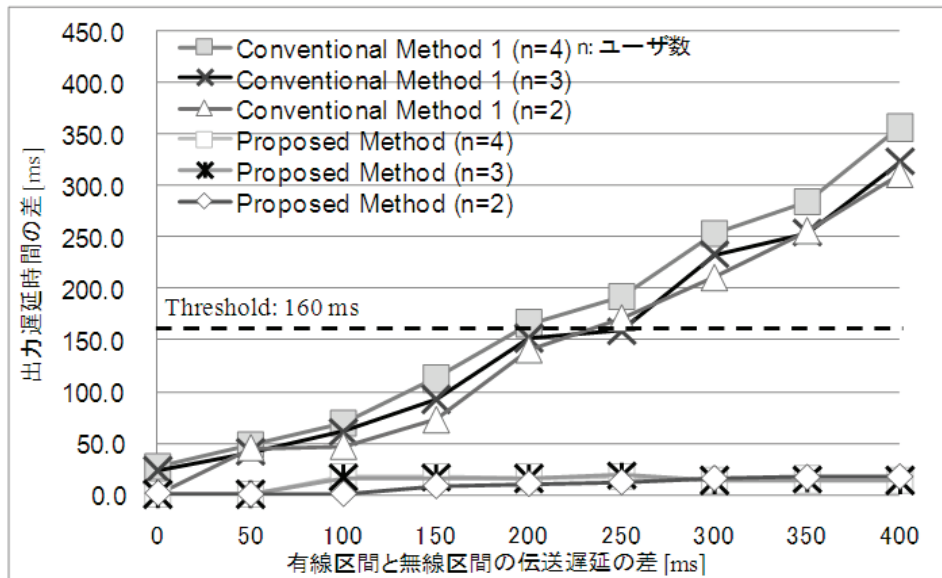


図 6.7 マスタ・スレイブメディア間のメディア出力遅延時間の差

以内という結果になった。なお、メディア出力遅延時間は、全通信デバイスにおいて有線区間と無線区間における伝送遅延の差とほぼ同じ結果となった。一方、一般方式 (Conventional Method) では、ユーザ間でのマスタメディアのメディア出力遅延時間の差は、有線区間と無線区間における伝送遅延の差が 50ms 以上では 40ms を超える結果となった。メディア出力遅延時間は、User 1 の端末では有線区間と無線区間における伝送遅延の差とほぼ同じ結果であり、それ以外の端末では約 30ms となった。

次に、図 6.7 に測定項目 2 の測定結果を示す。提案方式では、マスタ・スレイブメディア間でのメディア出力遅延時間の差は、約 30ms 以内という結果になった。一方、一般方式では、メディア到達遅延時間の増加にともない、マスタ・スレイブメディア間でのメディア出力遅延時間の差が増加し、有線区間と無線区間における伝送遅延の差が 250ms 以上では 160ms を超える結果となった。

最後に、測定項目 3 におけるメディアユニット出力率の測定結果は、いずれの方式を用いた場合でも、ユーザがメディアの途切れを感じることなく

表 6.2 マスタメディア切替え時の測定結果

	(測定項目 4)	(測定項目 5)
(i)	1.3 ms	1,224 ms
(ii)	1.9 ms	1,335 ms

- (i) 移動デバイスから固定デバイスへ切替え
- (ii) 固定デバイスから移動デバイスへ切替え
- (測定項目 4) メディア出力遅延時間の差のゆらぎ
- (測定項目 5) メディア同期復帰時間

表 6.3 スレイブメディア切替え時の測定結果

	(測定項目 4)	(測定項目 5)
(i)	2.1 ms	1,683 ms
(ii)	1.8 ms	1,541 ms

- (i) 固定デバイスから移動デバイスへ切替え
- (ii) 移動デバイスから固定デバイスへ切替え
- (測定項目 4) メディア出力遅延時間の差のゆらぎ
- (測定項目 5) メディア同期復帰時間

アルタイム通信が可能とされる約 99.9%となった。これは、ITU-T Y.1541 で規定される 99.9%を満たしている。

- メディア同期維持機能の測定結果

測定項目 4, 5 における測定結果を表 6.2 ならびに表 6.3 に示す。

測定項目 4 では、通信デバイス切替え前後における、メディア出力遅延時間の差のゆらぎは、最大 2.1ms であった。なお、通信デバイスが切替え要求を送信し、切替えが完了した時間は、最大で 2,822ms であった。一方、測定項目 5 では、マスタメディアの受信端末ならびにスレイブメディアの受信端末の切替えを各端末が検知することで、遅くとも 1,683ms でメディア同期が復帰した。

- 会議サーバの処理負荷の測定結果

測定項目 6 における測定結果を以下に示す。

ユーザ数を 4 としたグループ数を 1~10 まで増加させた場合、CPU の使用率は 2.4% から 6.4% まで約 4% 増加するとともに、メモリ使用は 1,532MB から 1,545MB まで約 13MByte 増加した。

6.6.4 測定結果に基づく評価と考察

測定項目 1, 2, 3 の測定結果から、マルチデバイス環境下でのメディア同期機能では、ユーザが複数の異種通信デバイスを使用する場合においても、マスタメディア間ならびにマスタ・スレイブ間でのメディア出力遅延時間の差をそれぞれの規定値 (40ms, 160ms) 以下に抑えることが可能である。したがって、全てのメディア同期はずれを同時に抑制できたことがわかる。

測定項目 4, 5 の測定結果から、メディア同期維持機能では、マルチデバイス環境下において通信リソースを切替えた場合においても、メディアユニットの生成時刻や出力時刻の送受信先を変更することで、切替え前後におけるメディア出力遅延時間の差のゆらぎにより、メディア同期はずれを発生させないことがわかる。また、通信デバイス切替え後、1.7 秒後にはメディア同期を復帰し、メディア同期を維持できることがわかる。さらに、切替え発生後、メディア同期の復帰時間が約 4.5 秒 (切替え時間 2,822ms + メディア同期復帰時間 1,683ms) という結果から、接続完了時間の目標値とされる 7.5 秒の許容内であることがわかった。

測定項目 6 の測定結果から、本測定で使用した会議サーバ 1 台 (CPU 2.33GHz, 2GB) では、CPU の処理性能という観点から最大 245 グループの収容が可能であり、メモリの使用量の観点から最大 360 グループの収容が可能である。したがって、245 グループを越えるグループを収容する必要がある場合、3 章で示したシステムアーキテクチャにおける負荷分散用のサーバを導入し、会議サーバの処理性能の向上や複数台の会議サーバによる負荷分散が必要となる。

6.7. まとめ

本技術では、マルチデバイス環境下での通信サービスにおけるメディアユニットの出力品質を維持するメディア同期技術を提案した。提案技術では、各通信デバイスと会議サーバ間の連携によるメディア同期ならびにユーザ間の通信デバイスと単一ユーザのマルチデバイスの連携によるユーザ間メディア内同期とメディア間同期を同時に実現可能である。さらに、通信リソースの状況や変化に応じてメディアユニットの出力時刻の送受信先を決定、動的に変更することにより、通信デバイス間ならびにユーザ間でのメディアユニットの出力時刻のずれを抑制する。また、提案技術に基づいて実装したプロトタイプシステムを使用して、性能を評価した。その結果、提案技術は、ユーザの通信環境に依存せず、ユーザ間ならびに単一ユーザのマルチデバイス間のメディア出力遅延時間をそれぞれ規定値(40ms, 160ms)以内の 40ms, 30ms に抑制することができることを確認した。さらに、通信リソースの切替え時においても約 1.7 秒以内にメディア同期に復帰し、メディア内同期ならびにメディア間同期を維持できることを確認した。

第7章 結論

本章では、本研究の成果とその適用環境，ならびに今後の課題を示す。

7.1. 研究の成果

本論文では、複数の異種通信デバイス、アクセスネットワーク、通信サービスなどの通信リソースを使用可能なマルチデバイス環境下において、ユーザが通信リソースを自在に選択・切替え、コミュニケーションを継続可能とするシステムアーキテクチャについて検討・提案し、その実現性および有効性を示した。

まず、システムアーキテクチャを検討するための要件を2章で整理し、3章で機能性、規模性、信頼性、使用性、安全性、運用性の6つの属性を考慮する必要があることを述べた。

次に、機能性および規模性を考慮したシステムアーキテクチャを提案した(図7.1)。本システムアーキテクチャをベースとしたシステムを提供することで、ユーザは、通信リソースを自在に選択・切替えながらコミュニケーションを継続可能となる。機能性を考慮した提案アーキテクチャでは、以下の4つの構成要素を持つ。

- セッション制御：通信リソースの選択・切替え制御 (図7.1(a),4章)
- 経路制御：アクセスネットワークの高速切替え制御 (図7.1(b),5章)
- メディアデータ制御：メディアデータの出力時刻制御 (図7.1(c),6章)
- 通信リソース管理：選択・切替え可能な通信リソースの管理

さらに、規模性を考慮した提案アーキテクチャでは、上記の要素にサーバ管理の要素を加えた。これにより、より多くのユーザがより多くの通信リソースを使用してコミュニケーションを継続することが可能となる。

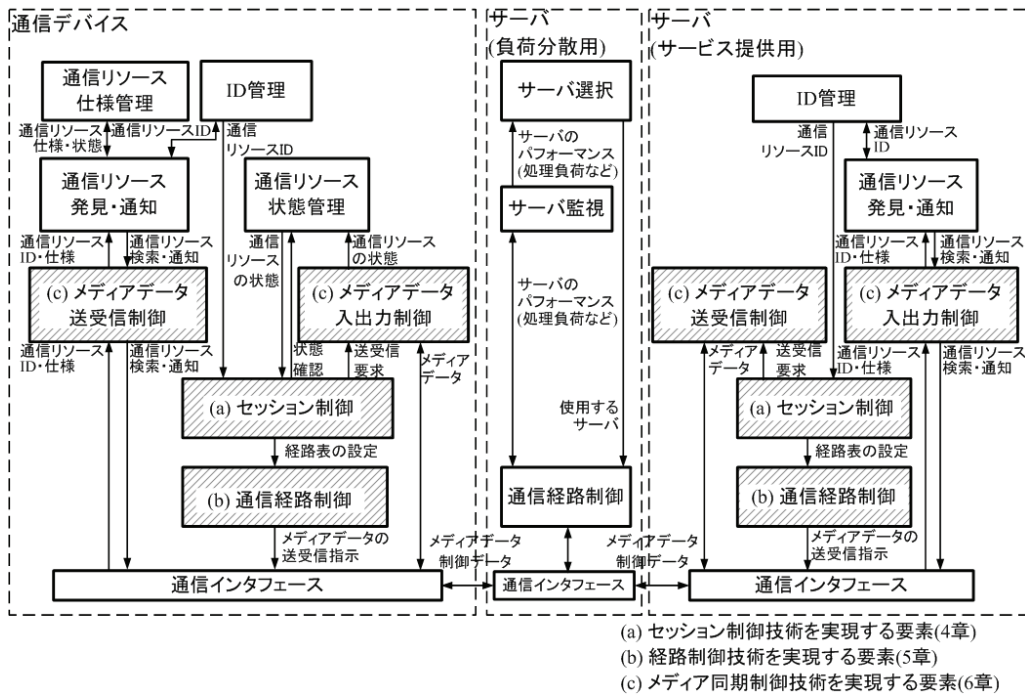


図 7.1 システムアーキテクチャの要素機能とその関係

最後に、提案アーキテクチャの各要素を実現する技術を 4 章、5 章、6 章にて提案するとともに、提案技術を通信デバイスやサーバに実装し、その有効性を確認した。各提案技術の内容を以下に示すとともに、その関係を図 7.1 に示す。

1. マルチデバイス間セッション制御技術 (図 7.1(a))

提案アーキテクチャでのセッション制御および通信リソース管理を実現する技術であり、4 章にて提案し、その有効性を示した。本技術は、通信デバイスやサーバが、ユーザの周辺状況や嗜好に応じてセッションの確立・切替え内容を判定し、判定した結果に応じた制御メッセージを生成するとともに、制御メッセージの送受信時刻を制御する。本技術の特徴と成果を以下に示す。

本技術 (図 7.1(a)) は、マルチデバイス間セッション確立機能とセッション切替え機能で構成される。マルチデバイス間セッション確立機能は、ユーザが使用可能な通信リソースを管理し、マルチデバイス間でリアルタイム・

マルチメディア通信サービスを利用するためのセッションを確立する特徴を持つ。マルチデバイス間セッション切替え機能は、通信リソースの切替えを要求するユーザ (Caller) と要求を受信するユーザ (Callee) 間、Callee 間で同時に、あるいは非同期にセッションを切替える特徴を持つ。

本論文では、SIP を使用して制御メッセージを送受信するプロトタイプシステム (携帯電話や PC など通信デバイス、サーバで構成) を実装し、セッション確立・切替えに要する時間やメディアデータの受信断時間などの観点から性能を評価した。結果、ユーザに違和感を与えることがないとされている、セッションを確立・切替えるための目標時間 (7.5 秒) 以内で実現可能であることを確認した。ただし、実環境で評価した結果、ユーザが車などの移動体による移動中、アクセスネットワークを切替えると同時に、通信デバイスや通信サービスを切替える場合、メディア受信断時間がユーザに違和感を与えるとされる 3 秒を越える結果となった。また、マルチデバイス環境下において、異なるメディアデータを出力した場合、音声と映像の出力時刻がずれるなどのメディア同期はずれが発生することを確認した。

2. 移動ネットワークでの経路制御技術 (図 7.1(b))

セッション制御技術におけるメディア受信断時間の短縮という課題を解決するため、提案アーキテクチャでの経路制御を実現する技術であり、5 章にて提案し、その有効性を示した。本技術は、通信デバイスやサーバが、通信デバイスにおいて接続可能なアクセスネットワークの種類毎に、メディアデータを送受信する通信インタフェースを定義したデータ配信ポリシーに応じて、通信経路を制御する。さらに、セッション制御と連携して使用するコーデックやビットレートなどの通信リソースを決定する。本技術の特徴と成果を以下に示す。

本技術 (図 7.1(b)) は、MIP などの IP レベルでの経路制御技術を利用し、ユーザや移動体の移動にともない接続可能なアクセスネットワークが変化する場合においても、アクセスネットワークをより高速に切替えることでメディア受信断時間を短縮可能とする特徴をもつ。さらに、セッション制御技術

と連携することにより、ユーザや移動体などで移動した場合においてもアクセスネットワークの切替えと同時に通信デバイスや通信サービスをより高速に切替え可能という特徴をもつ。

本論文では、セッション制御技術を実装した通信デバイスやサーバを拡張し、データフロー配信ポリシーを設定可能とするとともに、MIPをベースにIPレベルでの経路制御を可能するプロトタイプシステム(通信デバイスやサーバ(ホームエージェント)で構成)を実装し、セッション確立・切替え時間などの観点から性能を評価した。結果、セッション制御技術のみの場合の結果と比較して、メディア受信断時間を短縮することが可能であり、ユーザに違和感を与えることなく通信リソースを切替え可能であることを確認した。

3. デバイス・ユーザ間メディアデータ同期技術(図7.1(c))

セッション制御技術におけるメディア同期はずれの抑制という課題を解決するため、提案アーキテクチャでのメディアデータの出力時刻を制御する技術であり、6章にて提案し、その有効性を示した。本技術は、通信デバイスやサーバ(会議サーバ)が、メディアデータの生成時刻や出力時刻などのメディア情報をリアルタイムに共有し、会議サーバにてミキシング時刻を、メディア情報に基づいて通信デバイスにてメディアデータの出力時刻を制御する。本技術の特徴と成果を以下に示す。

本技術(図7.1(c))は、通信デバイスやサーバで動作するセッション制御や経路制御と連携する。具体的には、複数のユーザが、通信リソースを切替える場合においてもメディア情報を継続して送受信するセッションを切替え、切替え内容に応じてメディア同期の方法を変更することにより、通信サービスで送受信されるメディアデータの出力時刻を同期可能という特徴をもつ。

マルチデバイス間セッション制御技と移動ネットワークでの経路制御技術を実装した通信デバイスやサーバを拡張し、デバイス・ユーザ間メディアデータ同期技術を実装した。さらに、メディアデータの出力時刻の差など

の観点から性能を評価した。結果、ユーザは、マルチデバイス環境や通信リソースの切替えによるメディア同期はずれを意識することなくコミュニケーションを継続可能であることを確認した。

7.2. 適用可能な環境

本節では、前節で述べた研究成果の適用可能な環境を示す。

1. 通信サービスの利用環境

本論文では、通信リソースを選択・切替える際、通信相手が少なくとも一つの同種の通信サービスを利用可能である環境を前提としている。

しかしながら、ユーザの周辺状況によって同一の通信サービスを利用することが困難な状況が発生する。例えば、あるユーザは音声通話のみ可能であるが、別のユーザはチャットのみ可能な場合などである。本論文では、このような環境でのコミュニケーションの継続が困難である。

2. 通信環境 (制御メッセージの到達遅延時間)

セッション制御技術における通信リソースの切替え時間の性能評価において、制御メッセージの伝送遅延で許容可能な時間は5,202 msであることを示した。また、提案技術は、双方向で944 ms以内の到達遅延時間であるアクセスネットワークであれば許容可能であることを示した。

しかしながら、到達遅延時間が944 msを越える衛星網などのアクセスネットワークに接続する通信環境下では、ユーザに対してリアルタイムな通信、セッションの確立・切替え時間、メディア受信断時間に違和感を与える。

3. 通信環境 (セッションの確立・切替え時間とメディア受信断時間)

2.3節で示した性能要件1と性能要件2にて、セッションの確立・切替えに要する目標時間、メディア受信断時間の目標時間をそれぞれ7.5秒、3秒と示した。また、4章および5章の性能評価において、セッション制御技術や経路制御技術がこれらの目標時間を満たすことが可能であることを示した。

一方，有線や無線での回線速度の高速化が進んでおり，今後もさらに進むことが想定される．回線速度の高速化にともない，ユーザの感覚も変化し，性能要件である7.5秒や3.0秒においても違和感を与える可能性がある．

7.3. 今後の課題

本節では，本研究で適用困難な環境に対する課題や実用化に向けた課題を示す．

1. 機能性に関する課題

- 通信サービスの変換

ユーザ間で同一の通信サービスを利用することが困難な状況が発生する場合，メディアデータを変換するなどしてコミュニケーションを継続可能とする必要がある．例えば，あるユーザが音声通話のみ可能であるが，別のユーザはチャットのみ可能な場合，音声とテキストをリアルタイムに変換することでコミュニケーションを継続可能とする必要がある．

- 他の通信プロトコルの活用

本論文では，SIPやMIPなどの既存のプロトコルを使用して提案技術を実現可能であることを確認した．具体的には，セッション制御技術を実現するためのプロトコルとして，SIPを使用した．SIPでは，送受信する制御メッセージの内部に使用するコーデックやビットレートなどの記述方法が定義されているためである．実際に，IPによる音声電話やテレビ電話を開始するためのプロトコルとして一般的に使用されており，回線交換からの置換えが進んでいる．また，IPレベルでの経路制御技術を実現するためMIPを使用した．さらに，メディアデータを送受信するプロトコルとして，RTPとHTTPを使用した．音声通話やテレビ電話などのリアルタイム通信サービスでは一般的にRTPを，動画や写真などのマルチメディア通信サービスでは一般的にHTTPが使用されているためである．

一方、本論文で示したシステムアーキテクチャ上で使用可能なプロトコルとして、特定のプロトコルに限定しておらず、提案技術の実現可能性の検証に使用したプロトコル以外のプロトコルで実現することも可能である。例えば、HTTP を使用して通信デバイスのセッションを制御することも可能である。また、IP レベルでの経路制御を実現するため、MIP 以外のプロトコルを使用することも可能である。

そこで、今後は、サービス事業者やユーザが他のプロトコルの使用を希望する場合、本論文で使用したプロトコル以外のプロトコルを活用して、本論文で提案した3つの提案技術を実装し、性能を評価する必要がある。また、RTP や HTTP 以外の通信プロトコルを使用した場合における通信サービスでの性能を評価する必要がある。さらに、異なるプロトコルを実装した通信デバイスやゲートウェイ間で相互にセッションを確立・切替え可能であることも検証する必要がある。

- 低遅延環境下でのセッション確立・切替え時間の高速化およびメディア受信断時間の短縮

双方向で制御メッセージが 944 ms を越える低遅延の環境下においては、制御メッセージの圧縮や優先制御などの対応が必要となる。

2. 規模性に関する課題

本論文における実環境の実験では、最大で4ユーザ分のネットワークを構築して提案技術の実現可能性ならびに性能を評価した。また、マルチデバイス環境下における通信リソースの切替えの実現性を示すとともに、性能要件を満たすことが可能なことを示した。さらに、通信デバイスを仮想的に1,000 台作成し、プロトタイプシステムを実装したセッション制御サーバを1台使用した場合、サーバでの消費メモリは152MBであることを確認した。今後は、本論文で提案した技術を実装したシステムの実用化という観点から、収容すべき想定ユーザ数を決定するとともに、機能要件を満たしつつ、性能要件を満たすよう1台の仕様(CPUやメモリなど)、各サーバの必要台数を検討する必要がある。実際に、WEBなどの通信サービスを提供する際

には、これまで1台のサーバの処理性能などを向上させるためのスケールアップ技術が確立している。また、複数のサーバでユーザを収容することにより、制御メッセージの処理時間を遅延させないスケールアウト技術が確立される。そこで、今後は、これらの技術を活用し、実環境において、ユーザが増加した場合においても通信サービスを提供可能であることを検証する必要がある。

3. 信頼性に関する課題

複数のユーザがコミュニケーション継続技術を具備したシステムを使用している際、システムはできるだけ障害を発生させないように耐故障性を考慮する必要がある。プロトタイプシステムを使用した場合、故障は発生しなかった。また、アクセスネットワークにてセッションが切断された場合においても、通信デバイスやセッション制御サーバがセッション切断を検知し、その通信デバイスによるセッションの再確立あるいは別の通信デバイスへのセッションの切替えを実現可能であることを確認した。

本技術の実用化の際は、ファームのアップデート時など人的要因や外的要因によるサービス停止時間が発生する可能性がある。したがって、今後は、収容すべきユーザ数が増加する実用化後も耐故障性、障害許容性、ならびに回復性を提供可能とする必要がある。

4. 使用性に関する課題

- 操作性を考慮したシステムの構築

本論文では、ユーザの指示により通信リソースの切替えを可能としている。さらに、本論文では、通信リソース管理やセッション制御の自動化により、操作性の煩雑化を抑制している。ただし、ユーザインタフェースという観点からユーザの操作性を考慮していない。通信リソースの切替えを指示するユーザによっては、通信リソースの切替え操作方法を把握しきれず、本システムを利用することが困難となり得る。そこで、今後は、ユーザの操作性を考慮し、さらに詳細なユーザのプレゼンス情報からユーザの周辺状況や嗜好を学習するとともに、最適

な通信リソースへ自動で切替えるシステムを構築するなどしてユーザの操作性を向上させるなどの対策が考えられる。また、手動で通信リソースを切替える場合においても、ユーザの操作ステップ数をできるだけ削減可能なユーザインタフェースを提供する必要がある。

本論文では、各通信デバイスの ID やユーザ ID を事前に各通信デバイスへ付与していることを前提としている。したがって、ユーザは、物理的な通信デバイスと本システム上の通信デバイスの ID のマッピングを把握することが困難な可能性がある。そこで、ユーザが、実際操作する通信デバイスなどは、より把握しやすい ID を付与可能とする必要がある。

- 安全性を考慮したシステムの構築

本論文では、会議サーバやセッション制御サーバが、ユーザ ID と通信デバイス ID、CoA と HoA など様々な ID を紐付けている。この紐付けにより、通信リソースの切替えやメディア同期を実現可能とする。一方、これらの ID のなりすましにより、他ユーザのセッションを乗っ取ることが可能である。

そこで、今後は、各 ID の定期的な変更、制御メッセージの暗号化などの対策により、セッションの乗っ取りを防止することで安全性を考慮したシステムの構築が必要である。

また、通信相手がユーザの意図したユーザかどうか、通信デバイスかどうかなど、その ID が正当なものかどうかを検証する必要がある。

- 運用管理の容易性を考慮したシステムの構築

本論文で提案技術を実装したシステムを利用する場合、本システムの提供者は、通信デバイスに付与するユーザ ID や通信デバイス ID などの各 ID、データフロー配信ポリシーなどを事前に設定する必要がある。事前設定に必要な項目が増加するほど、導入にかかる工数が増加する。また、本論文では、通信デバイスやサーバの異常時において、異常箇所や運用管理者への通知方法については議論していない。

一方、IETF や ITU などにおいて、通信デバイスやサーバ、ゲートウェ

この自動設定技術が提案・標準化されている。そこで、今後は、これらの技術を導入し、通信デバイスやサーバで事前に設定が必要なパラメータの自動設定や自動管理により、運用管理の容易性を考慮したシステムを構築する必要がある。

謝辞

本研究を進めるにあたり、学内外の多くの方々から御支援・御指導を賜り、本博士論文を作成することができました。心より感謝申し上げます。

主指導教員である奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科の砂原秀樹教授からは、本研究の機会を与えて頂くとともに、本研究の全般に渡り、御指導ならびに叱咤激励頂き、深く感謝します。

副指導教員である奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科の山口英教授からは、在籍期間中の要所要所で議論の機会を与えて頂くとともに、有用な助言を頂きましたことに深く感謝します。

副指導教員である奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科の藤川和利准教授からは、研究活動全般において多大なる御指導・御助言を頂き、深く感謝します。

奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科の門林雄基准教授からは、博士論文で記載すべき点など有用な御助言を頂き、深く感謝します。

慶應義塾大学環境情報学部の植原啓介准教授からは、遠隔ながら研究指導を頂き、深く感謝します。

著者が勤務している株式会社 KDDI 研究所の上司や先輩、ならびに同僚の御協力・御支援なくしては、本研究を進めることができませんでした。博士号の取得に理解を示し、御支援を頂きました、秋葉所長、中島副所長、松本元副所長、鈴木取締役、長谷川執行役員、堀内執行役員、井戸上グループリーダ、吉原グループリーダ、磯村研究主査、茂木研究主査、今井研究主査、西村研究員に深く感謝します。

本研究の初期段階では、東京大学 浅見徹教授から多大な御支援を頂き心より感謝します。

本研究を進めるに当たり、KDDI 株式会社の関連部署の方々や同期から関連事業状況や市場動向など有用な情報を頂きました。深く感謝します。

社会人学生ということで、インターネット・アーキテクチャ講座のスタッフ、研究室のメンバーに、ネットワーク環境の構築やテレビ会議の準備や資料の印刷・提出など、様々な場面で御支援頂きました。心より感謝します。

中でも様々な面から研究活動を御支援させていただいた、猪俣敦夫准教授、垣内正年助教、和泉順子助教、寺田直美助教、松浦知史助教、ならびに総合情報基盤センター事務補佐員の呂悠妃さんに心より感謝します。

また、学外から接続可能なネットワーク環境を支えてくれた総合情報基盤センター油谷暁助手、辻井高浩助手をはじめとする技術職員の方々に心より感謝します。

WIDE プロジェクトの皆様、特に InternetCAR プロジェクトの皆様には研究活動の御支援ならびに様々な視点から研究に関する御助言を頂き、心より感謝します。

最後に、研究活動に理解を示し、応援してくれた家族に何よりも感謝します。

参考文献

- [1] Call Processing Performance for Voice Service in Hybrid IP Networks. ITU-T Recommendation Y.1530.
- [2] Message Transfer Part Signalling Performance. ITU-T Recommendation Q.706.
- [3] One-way transmission time. ITU-T Recommendation G.114.
- [4] Draft iee standard for local and metropolitan area networks: Media independent handover services. IEEE P802.21/D7.1, August 2007.
- [5] N. Bashah, I. Jorstad, and D. Thanh. Enabling Service Continuity on Future Mobile Services. In *Proceedings of 4th International Symposium on Wireless Pervasive Computing 2009 (ISWPC2009)*, pages 1–7, February 2009.
- [6] J. Coopersmith. Facsimile’s false starts. In *IEEE Spectrum*, February 1993.
- [7] Digium. Asterisk: The open source pbx and telephony platform.
- [8] T. Ernst, K. Uehara, and K. Mitsuya. Network Mobility from the Internet-CAR. In *Proceedings of 17th Advanced Information Networking and Applications (AINA2003)*, pages 19–25, November 2003.
- [9] R. Fielding, J. Gettys, J. Mogul, H. Frystyk, and T. Berners-Lee. Hypertext Transfer Protocol – HTTP/1.1. RFC 2068 (Proposed Standard), January 1997.

- [10] S. Grech, H. Haverinen, and V. Devarapalli. Towards Service Continuity in Emerging Heterogeneous Mobile Networks. In *Proceedings of 63rd Vehicular Technology Conference (VTC2006-spring)*, pages 47–51, May 2006.
- [11] Audio-Video Transport Working Group, H. Schulzrinne, S. Casner, R. Frederick, and V. Jacobson. RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications. RFC 1889 (Proposed Standard), January 1996.
- [12] J. Guo and L. Bhuyan. Load Balancing in a Cluster-Based Web Server for Multimedia Applications. In *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, pages 1321–1334, November 2006.
- [13] E. Guttman, C. Perkins, J. Veizades, and M. Day. Service Location Protocol, Version 2. RFC 2608 (Proposed Standard), June 1999.
- [14] M. Handley, H. Schulzrinne, E. Schooler, and J. Rosenberg. SIP: Session Initiation Protocol. RFC 2543 (Proposed Standard), March 1999.
- [15] M. Hasegawa, U. Bandara, M. Inoue, K. Mahmud, and H. Morikawa. Service Mobility Proxy for Seamless Handover between Various Devices. In *Proceedings of 2nd International Conference on Pervasive Computing (PERVASIVE 2004)*, pages 385–388, April 2004.
- [16] C. Hoover. A Methodology for Determining Response Time Baselines: Defining the 8 Second Rule. In *Proceedings of 36th International Conference of Computer Measurement Group (CMG2006)*, December 2006.
- [17] E. Hwanjo, M. Kim, and J. Kim. Modeling of Multimedia Streaming Services Based on the TMO Structuring Scheme. In *Proceedings of 4th International Symposium on Object-Oriented Real-Time Distributed Computing (ISORC2001)*, pages 420–427, May 2001.
- [18] D. ian. Editorial (Dick Tracy watch). In *IEEE Potentials*, March 2009.

- [19] Y. Ishibashi and S. Tasaka. A media synchronization mechanism for live media and its measured performance. In *IEEE Transaction Communication*, pages 1840–1849, October 1998.
- [20] Y. Ishibashi and S. Tasaka. A distributed control scheme for causality and media synchronization in network multimedia games. In *Proceedings of Computing Communication and Networks(ICCCN2002)*, pages 144–149, October 2002.
- [21] Y. Ishibashi and S. Tasaka. VoIP Service Continuity across HRPD and 3G-1x networks. In *Proceedings of 2nd international conference on Internet Multimedia Services Architecture and Applications (IMSAA2008)*, pages 1–5, December 2008.
- [22] M. Isomura, N. Imai, K. Yoshihara, H. Horiuchi, and K. Eguchi. Inverse Multiplexing of Heterogeneous Communication Media for Mobile Router. In *Proceedings of 11th World Congress on ITS (ITSWC2004)*, pages 3401–3408, November 2004.
- [23] S. Ito and Y. Matsuzaka. 800-MHz band land mobiletelephone system-overall view. In *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, pages 205–211, November 1978.
- [24] J. John. Alexander Graham Bell, LL.D., Ph.D., D.Sc. In *IEEE Journal of the Institution of Electrical Engineers*, August 1922.
- [25] D. Johnson, C. Perkins, and J. Arkko. Mobility Support in IPv6. RFC 3775 (Proposed Standard), June 2004.
- [26] F. kaldji, Y. Ishibashi, and S. Tasaka. Performance Evaluation of A Dynamic Resolution Control Scheme for Video Traffic in Media-Synchronized Multimedia Communications. In *IEEE Transaction Communication*, pages 565–574, March 1998.

- [27] K. Lan, E. Perera, H. Petander, C. Dwertmann, and L. Libman. MOBNET: The Design and Implementation of a Network Mobility Testbed for NEMO Protocol. In *Proceedings of 16th IEEE Workshop on Local and Metropolitan Area Networks (LANMAN 2005)*, pages 1–6, November 2005.
- [28] S. Lukasik. Why The ARPANET Was Built. In *IEEE Annals of the History of Computing*, March 2010.
- [29] R. Mahy, R. Sparks, J. Rosenberg, D. Petrie, and A. Johnston. A Call Control and Multi-party usage framework for the Session Initiation Protocol (SIP). RFC 5850 (Informational), September 2009.
- [30] I. Miladinovic and J. Stadler. Multiparty Conference Signaling Using the Session Initiation Protocol (SIP). In *Proceedings of 3rd International Network Conference (INC2002)*, July 2002.
- [31] H. Mineno, H. Suzuki, N. Ishikawa, and T. Mizuno. Seamless Streaming Transfer Method between Devices within Mobile Personal Area Networks. In *Proceedings of 4th IEEE Consumer Communications and Networking Conference (CCNC 2007)*, January 2007.
- [32] H. Nguyen, H. Morikawa, and T. Aoyama. Personal Mesh: A Design of Flexible and Seamless Internet Access for Personal Area Network. In *IEICE Transactions on Communications*, pages 1080–1090, February 2006.
- [33] K. Ohta, T. Yoshikawa, T. Nakagawa, and S. Kurakake. Adaptive Terminal Middleware for Seamless Session Mobility. In *IEICE Transactions on Information and Systems*, pages 2343–2351, December 2003.
- [34] L. Ong and J. Yoakum. An Introduction to the Stream Control Transmission Protocol (SCTP). RFC 3286 (Informational), May 2002.
- [35] A. Osker. Iptables Tutorial, 2006.

- [36] C. Perkins. IP Mobility Support for IPv4. RFC 3344 (Proposed Standard), August 2002.
- [37] J. Rosenberg. A Framework for Conferencing with the Session Initiation Protocol (SIP). RFC 4353 (Informational), February 2006.
- [38] R. Steinmetz. Human Perception of Jitter and Media Synchronization. In *IEEE Transaction Selected Areas in Communication*, January 1996.
- [39] H. Schulzrinne and E. Wedlund. Application-layer Mobility using SIP. In *ACM Mobile Computing and Communications Review (MC2R)*, pages 45–57, July 2000.
- [40] R. Shacham, H. Schulzrinne, S. Thakolsri, and W. Kellerer. Session Initiation Protocol (SIP) Session Mobility. RFC 5631 (Informational), October 2009.
- [41] K. Singh, G. Nair, and H. Schulzrinne. Centralized Conferencing using SIP. In *Proceedings of 2nd IP-Telephony Workshop (IPTel'2001)*, April 2001.
- [42] H. Soliman. Mobile IPv6 Support for Dual Stack Hosts and Routers. RFC 5555 (Proposed Standard), June 2009.
- [43] R. Sparks. The Session Initiation Protocol (SIP) Refer Method. RFC 3515 (Proposed Standard), April 2003.
- [44] B. Thai, R. Wan, A. Seneviratne, and T. Rakotoarivelo. Integrated Personal Mobility Architecture: A Complete Personal Mobility Solution. In *Mobile Networks and Applications*, pages 27–36, February 2003.
- [45] P. Wagner and P. Frossard. Playback Delay and Buffering Optimization in Scalable Video Broadcasting. In *Proceedings of 1st international conference on Multimedia Services Access Network*, pages 746–752, June 2005.

- [46] R. Wakikawa, V. Devarapalli, G. Tsirtsis, T. Ernst, and K. Nagami. Multiple Care-of Addresses Registration. RFC 5648 (Proposed Standard), October 2009.
- [47] O. Wongwirat and S. Ohara. Haptic Media Synchronization for Remote Surgery through Simulation. In *IEEE Multimedia*, pages 62–69, July 2006.

研究業績

学術論文

1. 田坂和之, 今井尚樹, 磯村学, 吉原貴仁, “複数端末環境下でのリアルタイムグループ通信におけるメディア同期方式”, 電子情報通信学会論文誌, Vol.93-B, No.4, pp.1-14, 2010年4月.
2. 田坂和之, 今井尚樹, 磯村学, 井戸上彰, 堀内浩規, “公衆ローカルネットワーク接続を考慮したモバイルルータ拡張方式の実装と評価”, 情報処理学会論文誌, Vol.50, No.4, pp.1287-1298, 2009年4月.
3. 田坂和之, 今井尚樹, 磯村学, 堀内浩規, “ヘテロジニアスな通信環境下におけるグループ型通信のためのネットワークトポロジ動的構成方式”, 情報処理学会論文誌, Vol.49, No.1, pp.300-311, 2008年1月.

国際会議

1. K. Tasaka, N. Imai, M. Isomura and K. Yoshihara, “Implementation and Evaluation of a Collaborative Content Play Method in a Home Network”, In Proc. of the 18th IEEE International Conference on Intelligence in next generation Networks (ICIN2010), Oct. 2010 (Accepted).
2. K. Tasaka, N. Imai, M. Isomura and K. Yoshihara, “A Dynamic Session Switching Method between Digital Network Appliances”, In Proc. of the 28th IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE2010), pp.109-110, Jan. 2010.

3. K. Tasaka, N. Imai, M. Isomura and A. Idoue, "A Media Synchronization Method for Real-time Group Communication in a Multiple Device Environment", In Proc. of the 17th IEEE International Conference on Intelligence in next generation Networks (ICIN2009), pp.1-6, Oct. 2009.
4. K. Tasaka, N. Imai, M. Isomura and A. Idoue, "A Media Synchronization Method for Real-Time Communication in a Fixed Mobile Convergence (FMC) Environment", In Proc. of the 12th IASTED International Conference on Internet and Multimedia Systems and Applications 2008 (IMSA2008), pp.57-62, Aug. 2008.
5. K. Tasaka, N. Imai, M. Isomura, A. Idoue and H. Horiuchi, "The Mobile Router Extension Method for Local Network and Secure Wireless Spot Access", In Proc. of the 26th IASTED International Conference on Parallel and Distributed Computing and Networks (PDCN 2008), pp.111-116, Feb. 2008.
6. S. Motegi, K. Tasaka and A. Idoue, "Proposal on Wide Area DLNA Communication System", In Proc. of the 5th Consumer Communications and Networking Conference (CCNC 2008), pp.223-237, Jan. 2008.
7. K. Tasaka, N. Imai, M. Isomura and H. Horiuchi, "Dynamic Network Topology Configuration and Resource Switching for Real-Time Group Communication in a Ubiquitous Networking Environment", In Proc. of the 3rd International Conference on Mobile Computing and Ubiquitous Networking (ICMU 2006), pp.183-191, Oct. 2006.
8. R. Wakikawa, T. Yokota, K. Tasaka, H. Horiuchi, K. Uehara and J. Murai, "Experimentation of Networked Vehicle with Multihomed Mobile Router", In Proc. of the 62nd Vehicular Technology Conference (VTC2005), pp.334-338, Sept. 2005.

9. K. Tasaka, N. Imai and H. Horiuchi, “Design and Implementation of a Routing Mechanism for Collecting Real Space Information by Inter-Vehicle Communication”, In Proc. of the 5th International Conference on ITS Telecommunications (ITST2005), June. 2005.

標準化寄書

1. K. Tasaka, K. Yoshihara and M. Satoshi, “Proposal of functional requirements to draft new Recommendation J.lasdp-req”, ITU-T SG9, June. 2009.
2. C. Larsson, M. Eriksson, K. Mitsuya, K.Tasaka and R.Kuntz, “Flow Distribution Rule Language for Multi-Access Nodes”, draft-larsson-mext-flow-distribution-rules-02, Feb. 2009.
3. K. Mitsuya, K. Tasaka, R. Wakikawa and R. Kuntz, “A Policy Data Set for Flow Distribution”, draft-mitsuya-monami6-flow-distribution-policy-04, Aug. 2007.

国内研究会

1. 田坂 和之, 茂木 信二, 吉原貴仁, “ホームネットワークにおける異種コンテンツ同時再生方式”, 電子情報通信学会 2010 総合大会, 2010 年 3 月.
2. 田坂和之, 今井尚樹, 磯村 学, 吉原貴仁, “ホームネットワークでのコンテンツ協調再生方式の実装と評価”, 情報処理学会 第 72 回全国大会, 2010 年 3 月.
3. 田坂 和之, 吉原貴仁, “インテリジェントルータによる移動インターネットカフェシステム”, 電子情報通信学会 2009 ソサエティ大会, 2009 年 9 月.
4. 田坂 和之, 今井尚樹, 磯村 学, 吉原貴仁, “ホームネットワークでの移動端末によるコンテンツ協調再生方式”, 情報処理学会 情報科学技術フォーラム (FIT)2009, 2009 年 9 月.(FIT ヤングリサーチャー賞)

5. 田坂 和之, 茂木 信二, 磯村 学, 井戸上 彰, “特定ユーザとの宅内コンテンツ共有方式”, 情報処理学会 情報ネットワーク (IN) 研究会, 2009年3月.
6. 田坂 和之, 井戸上 彰, “車内外の通信環境に応じたセッション制御方式の実装と評価”, 情報処理学会 高度交通システム (ITS) 研究会, 2009年3月.
7. 田坂 和之, 茂木 信二, 磯村 学, 井戸上 彰, “特定ユーザとの宅内コンテンツ共有方式”, 電子情報通信学会 2009 総合大会, 2009年3月.
8. 田坂和之, 松嶋孝明, 福家直樹, 西田知弘, 井戸上彰, “携帯電話通信と衛星通信の切替え通信ユニットの実装と評価”, 情報処理学会 第71回全国大会, 2009年3月.
9. 田坂 和之, 今井 尚樹, 磯村 学, 井戸上 彰, “FMC 環境下でのリアルタイムグループ通信におけるメディア同期方式”, 電子情報通信学会 情報ネットワーク (IN) 研究会, 2008年10月.
10. 田坂 和之, 今井 尚樹, 磯村 学, 井戸上 彰, “NGN におけるグループ通信のためのセッション制御方式の実装と評価”, 電子情報通信学会 2008 ソサエティ大会, 2008年9月.
11. 田坂 和之, 今井尚樹, 磯村 学, 井戸上彰, “次世代ネットワークでのグループ通信におけるメディア同期方式”, 情報処理学会 情報科学技術フォーラム (FIT)2008, 2008年9月.
12. 田坂 和之, 今井 尚樹, 磯村 学, 井戸上 彰, “デジタル家電ネットワークにおける制御メッセージの経路制御方式”, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2008) シンポジウム, 2008年7月.
13. 田坂 和之, 今井 尚樹, 磯村 学, 井戸上 彰, “FMC 環境下でのリアルタイム通信におけるメディア同期方式”, 電子情報通信学会 情報ネットワーク (IN) 研究会, 2008年3月.

14. 田坂 和之, 今井 尚樹, 磯村 学, 井戸上 彰, “次世代ネットワークにおけるグループ通信のためのセッション制御方式”, 電子情報通信学会 2008 総合大会, 2008 年 3 月.
15. 田坂和之, 今井尚樹, 茂木信二, 磯村 学, 井戸上彰, 堀内浩規, “デジタル家電ネットワークにおけるサービス継続方式”, 情報処理学会 第 70 回全国大会, 2008 年 3 月.
16. 田坂和之, 茂木信二, 井戸上彰, 堀内浩規, “広域 DLNA コンテンツリスト自動収集方式”, 電子情報通信学会 2007 ソサエティ大会, 2007 年 9 月.
17. 田坂 和之, 今井尚樹, 磯村 学, 堀内 浩規, “ヘテロジニアスな環境下でのリアルタイム通信におけるメディア同期方式”, 情報処理学会 情報科学技術フォーラム (FIT)2007, 2007 年 9 月.
18. 田坂 和之, 磯村 学, 井戸上 彰, 堀内 浩規, “ローカルネットワーク接続ならびにセキュアな無線 LAN スポットを考慮したモバイルルータ拡張方式の実装と評価”, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2007) シンポジウム, 2007 年 7 月.(優秀論文賞, ヤングリサーチャー賞)
19. 田坂 和之, 磯村 学, 井戸上 彰, 堀内 浩規, “モバイルルータによる WEB 認証を考慮したハンドオーバ方式の実装と評価”, 電子情報通信学会 2007 総合大会, 2007 年 3 月.
20. 田坂 和之, テープウィロージャナポン, 堀内 浩規, “車車間通信を用いた車両情報通知方式のシミュレーション評価”, 情報処理学会 第 69 回全国大会, 2007 年 3 月.
21. 田坂 和之, 今井 尚樹, 堀内浩規, “ローカルネットワーク接続を考慮したモバイルルータ拡張方式の実装と評価”, 電子情報通信学会 2006 ソサエティ大会, 2006 年 9 月.
22. 田坂 和之, 今井尚樹, 磯村 学, 堀内 浩規, “FMC 環境下でのグループ型通信対応リソース切替のためのセッション制御機構”, 情報処理学会 情報

科学技術フォーラム (FIT)2006, 2006 年 9 月.

23. 田坂 和之, 今井 尚樹, 堀内 浩規, “グループ型通信対応サービス切替え方式”, 電子情報通信学会 ネットワークシステム (NS) 研究会, 2006 年 3 月.
24. 田坂 和之, 新藤 晃浩, 今井 尚樹, 堀 達彦, 堀内浩規, “ローカルネットワーク接続を考慮したモバイルルータ拡張方式”, 電子情報通信学会 2006 総合大会, 2006 年 3 月.
25. 田坂 和之, 今井尚樹, 堀内 浩規, “グループ型通信対応サービス切替え方式の実装と評価”, 情報処理学会 第 68 回全国大会, 2006 年 3 月.(大会奨励賞)
26. 田坂 和之, 今井 尚樹, 堀内浩規, “車々間通信による実空間情報収集のための経路制御機構の実装と評価”, 電子情報通信学会 2005 ソサエティ大会, 2005 年 9 月.
27. 田坂 和之, 今井尚樹, 堀内 浩規, “ユビキタスな環境下における多人数参加型サービスモビリティの一検討”, 情報処理学会 情報科学技術フォーラム (FIT)2005, 2005 年 9 月.
28. 田坂 和之, 今井 尚樹, 堀内浩規, “実空間情報収集方式の提案”, 電子情報通信学会 2005 総合大会, 2005 年 3 月.
29. 田坂 和之, 今井尚樹, 磯村 学, 堀内 浩規, “相互接続の実現に向けたモバイルルータの実装実験”, 情報処理学会 第 67 回全国大会, 2005 年 3 月.
30. 田坂 和之, 川喜田祐介, 和泉順子, 羽田久一, 堀内浩規, 砂原秀樹, “仮想センサにより実空間情報を管理するフレームワークの設計と実装”, 情報処理学会 情報科学技術フォーラム (FIT)2004, 2004 年 9 月.
31. 田坂 和之, 川喜田祐介, 和泉順子, 羽田久一, 砂原秀樹, “インターネット上で実空間情報を収集・管理するフレームワークの提案”, 情報処理学会 ユビキタス (UBI) 研究会, 2003 年 11 月.