

メディアハンドオーバを実現する SIP を用いた無線メディア選択エージェント

植田 泰輔[†] 蓑田 佑紀 川口 晃平 塚本 勝俊 小牧 省三

[†]大阪大学大学院 工学研究科 電気電子情報工学専攻

〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1

E-mail: † taisuke@roms.comm.eng.osaka-u.ac.jp

あらまし 複数の無線アクセスサービスを切り替えて利用できるマルチサービス端末を持つユーザに、ユーザの好みや状況に応じて最適な無線通信メディアを提供するには、アプリケーションレイヤに存在する無線メディア選択エージェントがメディアハンドオーバを実現する必要がある。しかし、メディアハンドオーバの際にアプリケーションレイヤでの処理遅延に起因した通信断絶時間がサービス品質に影響を与える可能性がある。本稿では、SIP を用いてメディアハンドオーバを実現する無線メディア選択エージェントを実装し、実験によりメディアハンドオーバ時に生じる通信断絶時間について評価を行う。また、数値計算によりネットワーク遅延およびアプリケーションレイヤでの処理遅延が通信断絶時間に与える影響について検討する。

キーワード SIP, メディアハンドオーバ, 電波エージェント, モビリティ

Radio Agent for Wireless Media Selection Realizing Media Hand-over with SIP

Taisuke UETA[†] Yuki MINODA Kohei KAWAGUCHI Katsutoshi TSUKAMOTO and Shozo KOMAKI

[†] Department of Electrical, Electronic and Information Engineering, Graduate School of Engineering, Osaka University

2-1 Yamada-oka, Suita, Osaka, 565-0871 Japan

E-mail: † taisuke@roms.comm.eng.osaka-u.ac.jp

Abstract In the heterogeneous wireless networks, the wireless media hand-over strongly depends on the users' situations or demands. In order to perform the optimum media hand-over, Radio agent should be realized at the application layer. However, the overhead at the application layer enlarges the hand-over delay, which will affect largely communication service qualities. In this paper, we implement the media hand-over radio agent in the user terminal as one of radio agents with SIP, and perform the measurement of the hand-over delay. Next, we examine the relationship between the hand-over delay, the network delay, and the processing delay at the application layer by numerical calculations.

Keyword SIP, Vertical Hand-over, Radio Agent, Mobility

1. まえがき

近年、携帯電話と無線 LAN (Local Area Network) といった複数の無線アクセスサービスを 1 つの端末で切り替えて利用できるマルチサービス端末が注目されている。しかし、マルチサービス端末で利用する各々の無線通信メディアは伝送速度、サービスエリア、消費電力や料金体系が異なるのが普通である。例えば、セルラー通信システムは、広範囲なサービスエリアで通信サービスを利用できるという利点があるが、伝送速度は現行の第三代携帯電話システムの 2Mbps が最大となっており、まだ大容量の通信サービスは提供できていない。一方、無線 LAN は数 Mbps 数十 Mbps の大容量通信が可能であるが、サービスエリアは局所的であり端末の消費電力も大きい。従って、利用可能な無線通信メディアが複数存在する場合、マルチサービス端末を持つユーザの利用したいアプリケーション、おかれている状況や好みは大きく異なるため、それらに応じて最適に選択した無線通信メディアを

ユーザに提供する必要がある。

筆者等は、IP (Internet Protocol) 電話サービスで利用されているアプリケーションレイヤの呼び制御プロトコルである SIP (Session Initiation Protocol) を用いて、アプリケーション層で適切な無線通信メディアの選択を実現する無線メディア選択エージェントを提案してきた[1],[2]。SIP は HTTP (Hyper Text Transfer Protocol) をベースとして作られたシグナリング用のプロトコルであり、OSI (Open System Interconnection) 参照モデルの 3~7 層における処理または記述を行い、セッションの確立の際にセッションに関する 3~7 層の情報をアプリケーションレイヤで一括に取り扱うことができるので、アプリケーションレイヤでの処理を通信メディアに伝えることができる。この特徴を利用して無線メディア選択エージェントは、3 層以下のマルチリンク、マルチホーミングを用いて複数の無線通信メディアを利用可能な状態に保っており、SIP とマルチリンク、マルチホーミングを組み合わせることにより、

アプリケーションレイヤでの通信メディアの制御と選択を同時に実現する。これにより、ユーザの状況や嗜好に応じて複数の無線通信メディアの中から1つを柔軟に選択することが可能となり、ユーザに対し満足度の高い通信サービスを提供することが可能となる。

このような通信メディアを変更するメディアハンドオーバーでは、その処理にかかる通信断絶時間が音声通話の断絶を発生させたりダウンロード時の待ち時間を増大させるなどサービス品質に大きく影響する。通信断絶時間の主な要因として、ユーザ認証やIPアドレスの再設定等、SIPメッセージの作成や解析といったアプリケーションレイヤでの処理遅延、IPネットワークでのSIPメッセージ転送にかかるネットワーク遅延が考えられる。文献[3],[4]では、IPレイヤでモビリティを提供して無線通信メディアのハンドオーバーを行った場合、数百ミリ秒から数秒の範囲の通信断絶時間がかかることが示されている。しかし、文献[5]で指摘されているように、アプリケーションレイヤでメディアハンドオーバーを行うとアプリケーションレイヤでの処理遅延によってさらに通信断絶時間が増大するおそれがある。

これに対して文献[1],[2]で提案している無線メディア選択エージェントは、マルチリンク、マルチホーミングを用いることで通信メディアの切り換えの際にあらかじめユーザ認証やIPアドレスの再設定等を行うことを可能とし、通信断絶時間を短縮することが期待されるがその実証は行われていなかった。

そこで、本研究ではメディアハンドオーバーを実現するSIPを用いた無線メディア選択エージェントを端末に実装し、実験によりメディアハンドオーバー時に生じる通信断絶時間の評価を行う。次に、実験結果を用いた数値計算によりネットワーク遅延およびアプリケーションレイヤでの処理遅延を考慮した通信断絶時間の評価を行い、提案方式の有効性を示す。

2. 無線メディア選択エージェント

2.1. システム構成

図1に提案方式を用いるネットワーク構成を示す。SIP端末はSIPサーバを介してシグナリング信号であるSIPメッセージの送受信を行い、セッションが確立した後はSIPサーバを介さずに直接SIP端末間でデータ通信を行う。本方式においてSIP端末 (User A) はメディアハンドオーバー機能を実現するために、SIPと2種類の通信メディアを利用可能にするマルチホーム機能を利用する。SIP端末 (User A) はマルチホームしているが、通信相手のSIP端末 (User B) はマルチホームしていないとよくSIPが利用可能であればよい。

また、図2に提案方式におけるSIP端末およびSIPサーバ

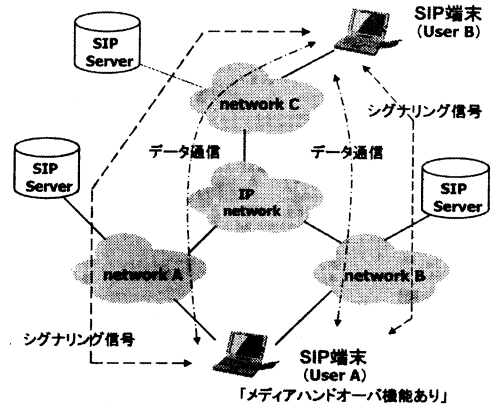


図1 提案方式を用いるネットワーク構成

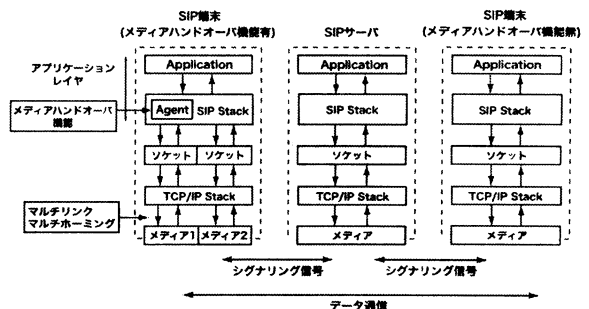


図2 提案方式におけるシステム構成

のシステム構成を示す。アプリケーションは、ユーザの操作を受け付けて、その指示に基づいてSIPスタックの各機能を呼び出したり、SIPスタックから制御の状態を受け取ったりする。SIPスタックは、アプリケーションから送信指示を受けてSIPメッセージを作成しソケットに送信する。またSIPスタックはソケットから受信したSIPメッセージに対してその内容を解析し、アプリケーションに解析結果を伝えたり、別のSIPメッセージを作成したりする等、その内容に応じた処理を実行する。ソケットは、LinuxでTCP/IPスタックを制御する際に用いられるAPIであり、通信相手のIPアドレスやポート番号を設定しデータの送受信を行う。本方式では、SIP端末側のSIPスタックに通信メディアの選択と制御を行うソフトウェアである無線メディア選択エージェントを実装し、通信メディアをアプリケーションレイヤで選択することを実現する。

図3に示すように本方式におけるSIP端末では、メディアハンドオーバー機能を実現するため、あらかじめ各々の通信メディアのIPアドレスとユーザを表すUser URIを対応付ける。さらに、IPアドレスとそれと1対1の関係にあるContact URIとの対応関係から、Contact URIの選択を行うことで通信

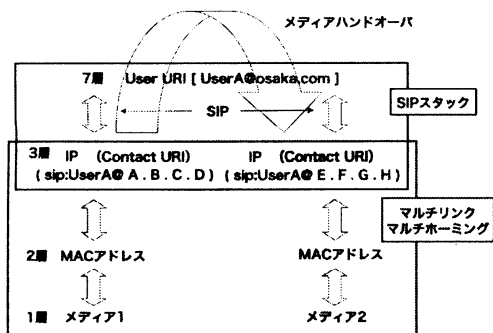


図3 各層間の連携とアドレスの対応関係

メディアを選択できるようにする。またマルチリンク、マルチホーミングにより、各々の通信メディアをアプリケーションレイヤまで通信可能な状態に保っておく。以上の実装により、無線メディア選択エージェントは各々の Contact URI の中からデータの送受信に利用する Contact URI を決定することで、アプリケーションレイヤでのメディアハンドオーバーを実現する。

2.2. SIP シグナルフロー

図4に提案方式におけるSIP端末のメディアハンドオーバー時のSIPシグナルフローを示す。ユーザAがメディア1を介してユーザBと通信している状態から、メディア2を介してユーザBと通信を行うように通信メディアを切り換える状況を想定している。ユーザAは、無線メディア選択エージェントが通信メディアの切り替えを判断すると、SIPサーバにREGISTERを送り利用可能な通信メディアの登録情報を更新する。SIPサーバでの登録の際、SIPサーバは、ユーザAがこれから利用しようとする通信メディアを表すContact URIの優先度が一番高くなるように登録情報を更新する。以降、切り替え先の通信メディアに通信相手からのシグナリング信号が届くようになる。

REGISTERにより登録情報を更新した後、ユーザAは切り替え先の通信メディアからシグナリングを行う。その際にサービスモビリティの継続のため、セッション確立用のSIPメソッドであるINVITEを既存のダイアログ内で送信する方法であるre-INVITEを用いてシグナリングを行う。ユーザAはユーザBからシグナリングの受け入れ応答信号である200 OKを受け取り、それに対するACKをユーザBが受け取ってはじめてメディアセッションが更新され、通信メディア切り換え前と同様のサービスを継続した通信が可能となる。

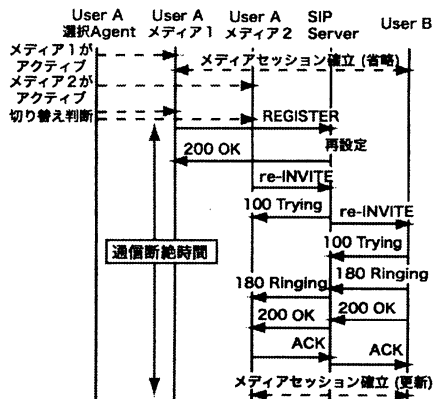


図4 SIPシグナルフロー

3. メディアハンドオーバー実験

3.1. ネットワーク構成

図5に本実験のネットワーク構成を示す。本実験では、プライベートネットワークを構築し実験を行った。機器構成の都合上、有線LANから無線LANへのメディアハンドオーバーを検証した。ネットワーク1にはSIPサーバを置き、ネットワーク2にはユーザBと無線基地局(AP)を置いた。ユーザAは提案方式におけるメディアハンドオーバー機能を有するSIP端末であり、マルチリンク、マルチホーミングによってネットワーク1とネットワーク2を利用できる。SIP端末のユーザA、ユーザBはOSにVineLinuxを用い、SIPスタックはC言語により実装した。SIPサーバではOSにTurboLinuxを用い、SIPスタックにはフリーソフトのserを用いて実装した。また、SIP端末のユーザA、ユーザBおよびSIPサーバのCPUは各々、Power PC G3 プロセッサ (300MHz)、Mobile Celeron (400MHz)、Athlon (700MHz)であった。有線LANは10base-T、無線LANはIEEE802.11bを用いた。

本実験では、ユーザAがユーザBと通信している間に通信メディアを有線LANから無線LANに変更するメディアハンドオーバーを行った。本実験では、ユーザAが有線LANを介してユーザBとメディアセッションを確立した状態から、通信メディアを有線LANから無線LANに変更して、再度ユーザBとメディアセッションを確立するまでの通信断絶時間を測定した。ここで通信断絶時間とは、図4に示すように、ユーザAが再登録(REGISTER)を行ってから、ユーザBとのメディアセッションを新しく確立するまでのシグナリング信号の送受信にかかる時間とした。

3.2. 実験結果

本実験ではメディアハンドオーバーによる通信断絶時間について5回測定を行った。ここで、有線LANを介したユーザA

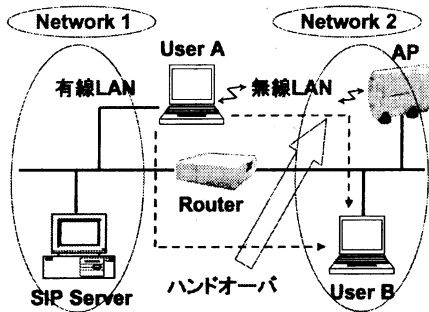


図5 実験のネットワーク構成

と SIP サーバ間、ならびにユーザ B と SIP サーバ間のネットワーク遅延 (RTT 値) の平均値はそれぞれ約 0.5ms, 約 1.5ms であった。このような条件下で通信断絶時間は平均で 13ms であった。これは提案方式がマルチホーム機能によって、IP アドレスの再取得やユーザ認証等といった処理をメディアハンドオーバ以前に実行することにより、メディアハンドオーバ処理を高速化しているからである。また、先述の有線 LAN を介したユーザ A と SIP サーバ間、ユーザ B と SIP サーバの間の RTT 値を測定し、メディアハンドオーバにかかるネットワークの遅延時間を計算すると約 5ms であった。このことから、SIP 端末または SIP サーバの SIP スタック部分での処理に必要な時間の合計が約 8ms 程度であったことが分かる。SIP サーバでの処理時間を計算すると、端末を登録する際に生じる遅延時間は約 2ms, re-INVITE 等の SIP メッセージを相手に中継する際に生じる遅延時間は約 1ms であった。

ところで、IP レイヤでのメディアハンドオーバを行った際に生じる通信断絶時間は一般に数百ミリ秒から数秒程度である [3],[4]。この値と比較すると、本実験で行ったメディアハンドオーバにおける SIP スタック部分での処理時間の増大は数%以下であり、非常に小さいと言える。従って、実際の IP ネットワークでのネットワーク遅延が増大しても通信断絶時間はそれによって支配され、アプリケーションレイヤでメディアハンドオーバを実行しても IP レイヤでそれを実行した場合とほぼ同等の特性が得られると考えられる。

4. 通信断絶時間の評価

4.1. ネットワークモデル

本節では、前節の実験結果を用いて、提案方式を用いてドメイン間のメディアハンドオーバを行う際に生じる通信断絶時間を数値計算により算出し、ネットワーク遅延およびアプリケーションレイヤでの処理遅延に対する通信断絶時間の評価を行う。なお、数値計算の手法については文献 [6] を参考にした。

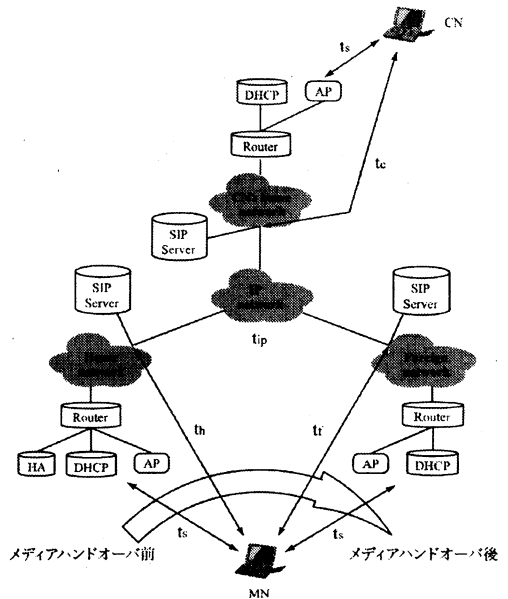


図6 ネットワークモデル

図 6 に仮定するネットワークモデルを示す。MN (Mobile Node) が通信相手 (CN : Correspondent Node) とのセッションを維持しつつドメイン間のメディアハンドオーバを行う場合について通信断絶時間を評価する。なお、本ネットワークモデルでは、ドメインネットワークとして MN が通信メディアを切り換える前に所属していたネットワーク (Home Network), MN が通信メディアを切り換えた後に所属するネットワーク (Foreign Network), CN が所属しているネットワーク (CN's Network) の 3 つのネットワークを仮定し、これらが上位のインターネットによって繋がっているものとする。また、CN は CN's Network をホームドメインネットワークとして利用しているものとする。

数値計算を行うために各部分での遅延時間を以下の様に与える。Home Network, Foreign Network, CN's Network において、ドメインの末端部に存在する端末から上位のネットワークの接続部までのネットワーク遅延をそれぞれ t_h , t_f , t_c とする。同様に、上位のネットワークである IP ネットワーク部分でのネットワーク遅延を t_p , 端末から同一ネットワークに存在する DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) や HA (Home Agent) までのネットワーク遅延を t_s とし、端末が ARP (Address Resolution Protocol) を送ることにより DHCP から得た IP アドレスが重複していないことを確認する時間は t_{arp} とする。また、SIP サーバが端末を登録する際に生じる処理遅延を t_{reg} , re-INVITE 等の SIP メッセージを相手に中継する際に生じる処理遅延を t_{rel} とする。さらに、端末が物理リンクを

新しく立ち上げる際に生じる遅延時間を t_{link} とする。

提案方式を用いてメディアハンドオーバーを実行すると、通信断絶時間は SIP によるアプリケーションレイヤでの処理遅延の分、IP レイヤのみでのメディアハンドオーバーと比較して増大する可能性がある一方で、マルチリンク、マルチホーミングによりメディアハンドオーバーを行う際にあらかじめユーザ認証や IP アドレスの再設定等を行うことによる遅延時間の短縮が期待できる。そこで、本計算では、メディアハンドオーバーを行う以前に切り換えを希望する通信メディアの物理リンクが確立できる場合をマルチリンク、できない場合をシングルリンクと呼び、それぞれの場合について SIP を用いた場合および Mobile IP を用いた場合の通信断絶時間の数値例を評価する。

4.2. 通信断絶時間の算出式

1) マルチリンクと SIP を用いてメディアハンドオーバーを行う場合 (提案方式)

通信メディアを切り換える前に切り換え先の通信メディア用の IP アドレスを DHCP により既に獲得しており、先ず SIP サーバにユーザの位置情報の再登録を行う ($2t_h + t_{reg}$)。次に今後利用したい通信メディアから CN's Network にいる CN に re-INVITE を行う ($2t_f + 2t_p + 2t_c + 4t_{rel}$)。re-INVITE によるシグナリングは Foreign Network の SIP サーバ、CN's Network の SIP サーバを経由して CN に届く。そして、CN から 200 OK レスポンスが返ってくるによりメディアハンドオーバーが完了する。したがって、通信断絶時間は次式で表される。

$$2t_h + 2t_f + 2t_p + 2t_c + t_{reg} + 4t_{rel} \quad (1)$$

2) シングルリンクと SIP を用いてメディアハンドオーバーを行う場合

先ず切り換え先の通信メディア用の物理リンクを立ち上げ (t_{link})、DHCP により IP アドレスを獲得する ($4t_s + t_{arp}$)。次にユーザの位置情報の再登録を行い ($2t_f + 2t_p + t_{reg}$)、今後利用したい通信メディアから CN's Network にいる CN に re-INVITE を行う ($2t_f + 2t_p + 2t_c + 4t_{rel}$)。re-INVITE によるシグナリングは Foreign Network の SIP サーバ、CN's Network の SIP サーバを経由して CN に届く。そして、CN から 200 OK レスポンスが返ってくるによりメディアハンドオーバーが完了する。したがって、通信断絶時間は次式で表される。

$$t_{link} + 4t_s + t_{arp} + 4t_f + 4t_p + 2t_c + t_{reg} + 4t_{rel} \quad (2)$$

3) シングルリンクと Mobile IP を用いてメディアハンドオーバーを行う場合

先ず切り換え先の通信メディア用の物理リンクを立ち上げ (t_{link})、Foreign Network において Care of Address (CoA) を取得する ($2t_s$)。次に CoA を HA に通知し ($t_f + t_p + t_h - t_s$)、HA から ACK ($t_f + t_p + t_h - t_s$) が返ってくるにより移動の登録が

完了する。したがって、通信断絶時間は次式で表される。

$$t_{link} + 2t_s + 2t_f + 2t_p + 2t_h - 2t_s \quad (3)$$

4) マルチリンクと Mobile IP を用いてメディアハンドオーバーを行う場合

通信メディアを切り換える前に切り換えを希望する通信メディア用の CoA を獲得しており、CoA を HA に通知し ($t_f + t_p + t_h - t_s$)、HA から ACK ($t_f + t_p + t_h - t_s$) が返ってくるにより移動の登録が完了する。したがって、通信断絶時間は次式で表される。

$$2t_f + 2t_p + 2t_h - 2t_s \quad (4)$$

4.3. ネットワーク遅延と通信断絶時間の関係

ここでは、Foreign Network と上位の IP ネットワークでのネットワーク遅延 ($t_f + t_p$) が増大したときの通信断絶時間を比較して提案方式の評価を行う。3.2 節の実験結果より $t_{reg} = 2$ [ms]、 $t_{rel} = 1$ [ms] とし、文献[6]より $t_s = 5$ [ms]、 $t_h = t_c = t_s + 2$ [ms] = 7 [ms] とする。また、端末が物理リンクを新しく立ち上げる遅延時間を $t_{link} = 200$ [ms] とし、さらに、端末が ARP を送ることにより DHCP から得た IP アドレスが重複していないことを確認する時間を無視して $t_{arp} = 0$ [ms] とする。

図 7 にネットワーク遅延に対する通信断絶時間の数値例を示す。同図より、ドメイン間のメディアハンドオーバーを行う際、シングルリンクに比べ、マルチリンクを用いると物理リンクの立ち上げやユーザ認証や IP アドレスの再設定に時間がかからないため、その効果は大きく、通信断絶時間が 200ms 以上短縮されることが分かる。また同図より、マルチリンクを用いる場合、SIP を用いた場合の通信断絶時間は Mobile IP を用いた場合に比べて長くなるがその差は 30ms とわずかにあり、Mobile IP を用いた場合とほぼ同等の特性が得られることが分かる。

4.4. アプリケーションレイヤでの処理遅延と通信断絶時間の関係

ここでは、SIP サーバにおける端末の登録や SIP メッセージの中継による処理遅延 ($t_{reg} + t_{rel}$) が増大したときの提案方式の通信断絶時間の評価を行う。Home Network, Foreign Network, CN's Network のネットワーク規模が同じであると仮定し、 $t_s = 5$ [ms]、 $t_h = t_f = t_c = t_s + 2$ [ms] = 7 [ms]、 $t_p = 1$ [ms] と仮定する[6]。また 4.3 と同様に、 $t_{link} = 200$ [ms]、 $t_{arp} = 0$ [ms] とする。

図 8 にアプリケーションレイヤでの処理遅延に対する通信断絶時間の数値例を示す。同図には、Mobile IP を用いる通信断絶時間を併せているが、Mobile IP は IP レイヤでメディアハンドオーバーを行うため、アプリケーションレイヤでの処理遅延が生じないため一定となる。同図より、マルチリンクとシングルリンクを比べると、提案方式でも Mobile IP でもド

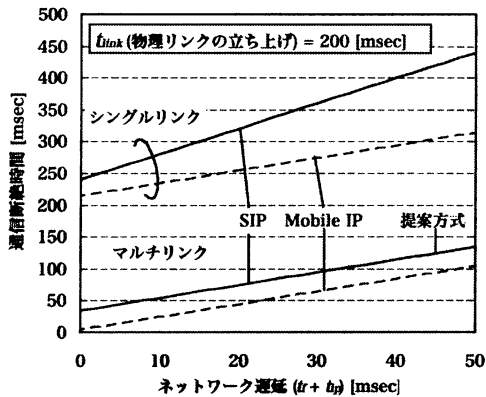


図7 ネットワーク遅延と通信断絶時間

メイン間のメディアハンドオーバを行う際、マルチリンクにより通信断絶時間が大幅に短縮されることが分かる。次に提案方式と Mobile IP を比較すると、Mobile IP の通信断絶時間がアプリケーションレイヤでの処理遅延と無関係であるのに対して、SIP を用いた場合、アプリケーションレイヤでの処理遅延が増加するに伴い通信断絶時間が増加する。ここで、VoIP (Voice over Internet Protocol) のような音声通信では通信断絶時間は 200ms まで許容できるので、提案方式を用いる場合、アプリケーションでの処理遅延は 150ms 程度まで許容されると言える。この許容処理遅延と SIP サーバに負荷がかかっていない場合では SIP サーバでの処理遅延が 4ms であるという 3.3 節の実験結果を考慮すると、SIP サーバは同時に約 40 個の SIP メッセージを処理することができると見込める。これは、例えば各々の SIP 端末が 1 対 1 の通信をする場合、約 40 組の SIP 端末が同時にシグナリングを行えることになる。しかしながら、一般的に、それぞれの SIP 端末が SIP サーバを利用するタイミングは異なるため、先述の場合のように多数のシグナリングが同時に起こることは考えにくく、幾つかのシグナリングが同時に起こり SIP サーバの負荷が増大したとしても、その処理遅延が 150ms まで増大することは考えにくい。したがって、SIP を用いたことによるアプリケーションレイヤでの処理遅延はあまり問題にならないと考えられる。

5. あとがき

本稿では、メディアハンドオーバを実現する SIP を用いた無線メディア選択エージェントを端末に実装し、実験によりメディアハンドオーバ時に生じる通信断絶時間とアプリケーションレイヤでの処理遅延を確認した。また、実験結果を用いた数値計算によりネットワーク遅延およびアプリケーション

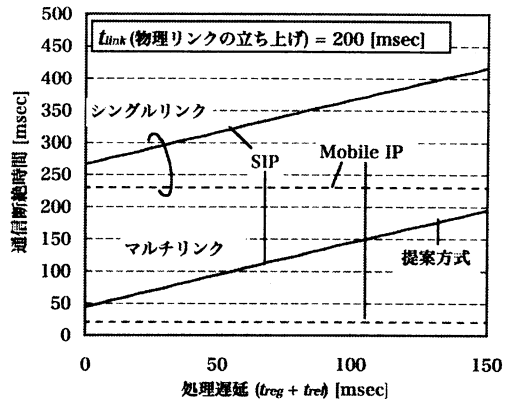


図8 アプリケーションレイヤでの処理遅延に対する通信断絶時間

レイヤでの処理遅延に対する通信断絶時間の評価を行った。その結果、提案方式を用いたメディアハンドオーバの通信断絶時間は、Mobile IP に比べ増加するものの実用上問題とならないことが分かった。今後は提案方式におけるユーザの状況や嗜好をドリガとするメディアハンドオーバ機能の実装に取り組む予定である。

謝辞

本研究の一部は、文部科学省科学研究費補助金基盤研究(B) 14350202 の補助によるものである。また、本研究を進めるにあたり、実験の補助をしていただいた飯田有慈氏をはじめ、本学小牧研究室の皆様は心より感謝を申し上げる。

文献

- [1] 川口晃平, 養田佑紀, 塚本勝俊, 小牧省三, "SIP プリファレンスを利用した無線メディア選択エージェントの提案," 信学総大, B-15-29, p.822, 2004 年 3 月.
- [2] 川口晃平, 養田佑紀, 塚本勝俊, 小牧省三, "SIP を用いた無線メディア選択エージェントにおける一検討," 信学技報, MoMuC2004-42, 2004 年 7 月.
- [3] 小佐井潤, 武藤健二, 松ヶ谷和沖, 難波秀彰, "車載ルータによるシームレスローミングの実現," 信学技報, ITS2003-20, pp.31-36, 2003 年 9 月.
- [4] "異種ベアラ通信によるシームレス・ハンドオーバー通信の取り組み," NTT コムウェアテクニカルジャーナル, vol.6, pp.8-13, 2003 年.
- [5] Nilanjan Banerjee, Wei Wu, and Sajal K. Das, "Mobility Support in Wireless Internet," IEEE Wireless Communications, Oct. 2003.
- [6] Ted Taekyoung Kwon and Mario Gerla, "Mobility Mmanagement for VoIP Service: Mobile IP vs. SIP," IEEE Wireless Communications, pp.66-75, Oct. 2002.