

リンク層に共通した制御情報交換を行う Link Layer API の提案と実装評価

- IP ベース移動通信システムにおけるリンク層のインタラクション -

井上 雅広 小林 亮一 岡島 一郎 梅田 成視

株式会社 NTT ドコモ ワイヤレス研究所

〒239-8536 神奈川県横須賀市光の丘 3-5 R&D センタ第 2 棟

E-mail: ino@mlab.yrp.nttdocomo.co.jp

あらまし IP ベース移動通信システムは、第 4 世代セルラ方式無線アクセスをはじめとする多様なリンク層技術を IP 層のモビリティ制御など IP 層の要素技術により統合した、新しい移動通信システムである。これら様々なリンク層技術の上で動作する上位層プロトコルやアプリケーションは、特定のリンク層技術によらぬ設計で良いため汎用性が高いが、移動通信の観点からリンク層の制御状態に応じプロトコルの制御動作を高速化させることが課題となっている。

本稿で提案・実装評価する Link Layer API (LAPI) は、この問題を解決するために IP ベース移動通信システムにおいてリンク層と上位層プロトコルとの間で制御情報を交換するリンク層の API である。上位層のプロトコルは LAPI により、多様なリンク層技術固有の制御状態から共通化されたリンク層情報を利用でき、プロトコルの動作を高速化できることが実験により明らかになった。

キーワード リンク層 API, モビリティ, モバイル IPv6, 移動検出, IP ベース移動通信システム

Proposal and Evaluation of Link layer application program interface (LAPI).

Masahiro INOUE Ryouichi KOBAYASHI Ichiro OKAJIMA and Narumi UMEDA

NTT DoCoMo Wireless Laboratories

3-5 Hikari-no-oka, Yokosuka, Kanagawa, 239-8536 Japan

E-mail: ino@mlab.yrp.nttdocomo.co.jp

Abstract Mobile Wireless IP Network (MWIN) evolves mobile communications system to integrate various link layer technologies such as 4th generation wireless access cellular system with IP layer technologies such as IP mobility management that achieves the E2E principle. Protocols and applications work over these various link technologies but also require responsibility to link layer status in terms of mobile wireless communications. In this paper, we propose and evaluate Link layer API (LAPI) that transmits control information between link layer and upper layers in order to solve that problem. The result of experiments show that protocols with LAPI improve their functions using abstracted link layer control information instead of link specific control information.

Keyword Link layer API, Mobility, MobileIPv6, Movement detection, IP-based mobile communications system

1. はじめに

近年さまざまなリンク層技術の普及により、モバイルインターネットのアクセス手段は多様化しつつある。モバイルインターネットが日常化するには、ユーザが特段意識しなくてもさまざまなリンク層技術を利用でき、更にはシームレスな通信の継続を可能とする移動通信システムが必要である。

IP ベース移動通信システム^[1]は、IP 層モビリティ制御など IP 層の要素技術により、第 4 世代セルラ方式無線アクセスをはじめとした多様なリンク層技術を統合する新しい移動通信システムである。移動ノード (MN) は、移動に伴い図 1 に示すとおりアクセスルータ (AR) 間を IP モビリティ制御に従いハンドオフする。

IP モビリティ制御には、代表的な MobileIPv6^[2]のほか高速なハンドオフやパケットロスの抑制を目的とした拡張方式がある。IP ベース移動通信システムでは、IP モビリティ制御としてハンドオフ時の通信品質に優れたバッファリング機能つき階層型モバイル IPv6 (HMIP-Bv6)^[3]のほか、パケット送受信がない待受け状態にお

いて制御パケットの低減が可能な IPv6 ページング (IPPv6)^[4]をこれまで検討してきた。MN はハンドオフに際してモビリティエージェント (Home Agent: HA, Mobility Anchor Point: MAP, Paging Agent: PA) との間で経路を更新し通信を継続させ、既存ルータ網を介して様々なリンク層技術にわたる移動通信を可能とする。

このような IP 層の要素技術を用いることにより、プロトコルは配下のリンク層技術が何であるかによらず動作するように設計できるため汎用性が高いが、それが故に移動通信のように変動が著しいリンク層の制御状態に逐一对応する程の追従性は乏しい。例えば MobileIPv6 は、既存ルータ網において IP のハンドオフ処理に時間がかかる点や、MN が複数のリンク層技術やネットワークインタフェースカード (NIC) を搭載すると、移動検出やパケット送受信に関する振る舞いが複雑であるという問題がある。

また IP 層に限らず上位層の TCP においても無線区間のパケットロスによって輻輳制御が動作しスループットが低下するなどの問題が指摘されてきた。

これらの問題を解決するために、上位層のプロトコルやアプリケーションがリンク層情報を利用する提案が IETF や IEEE802.21 をはじめ幅広く行われている。しかしながら、リンク層情報を利用するにはリンク層と上位層との間でレイヤ間通信を行う手段が必要となる。

レイヤ間で制御情報を伝達する手段は、特定のリンク層技術に限定し固有の制御状態に特化した仕様にしてしまうと、折角の IP 層の汎用性が失われる。また機能追加や新たなリンク層技術への対応を考えると開発規模やバージョン管理も大変になる。

そこで本稿では、リンク層に共通した制御情報の交換手段である Link Layer API (LAPI)を提案し実装評価する。LAPIは IP ベース移動通信システムの主要な要素技術である HMIP-Bv6 や IPPv6、Multiple Interface Manager (MIM)^[5]にも用いられ、制御動作の高速化を図る。以下ではまず LAPI の要求条件を定義し、LAPI の構造を明確にした後、実験により要求条件の満足度を評価する。

2. LAPI に対する要求条件

LAPI が満たすべき要求条件は次の通りである。

- (1) 上位層プロトコルとの制御情報交換
LAPI は様々な上位層プロトコルとの間で制御情報を交換できること。
- (2) リンク層技術への適用
LAPI は様々なリンク層技術に適用できること。
- (3) 物理的に離れたノードのレイヤ間での制御情報交換
LAPI は、リンク層と上位層プロトコルとが物理的に異なるノードに位置していても制御情報を交換可能であること。
- (4) 制御情報の速やかな伝達
LAPI は、制御情報を速やかに上位層プロトコルとリンク層との間に伝達し、上位層プロトコルの制御動作に寄与できること。
- (5) 通信アプリケーションへの影響
LAPI の実装および制御情報の交換に伴う通信アプリケーションへの影響を抑えること。

3. 既存技術

リンク層情報を利用する上位層プロトコルやリンク層のインタフェースを既存技術として取り上げ、2章の要求条件に沿って評価する。

L2 trigger^[6]は、高速移動する MN をサポートした IP モビリティ制御の拡張方式である Fast handover for Mobile IPv6 (FMIP)^[7]で用いられるリンク層情報伝達の枠組みである。L2trigger では IP 層に対しリンク層情報の登録、通知のほか、IP 層からのリンク層情報問合せを可能とし、更に他のノードに対してもリンク層情報を伝達することができる。L2trigger は FMIP への適用が前提である。

リンク層制御情報のインタフェースには、RoofTopAPI^[8]のサブセット API である LinkAPI がある。この API は、ネットワーク層がリンク層の統計データなども含む様々な情報を伝達できるよう設計されている。但し、リンク層とネットワーク層間の情報伝達に留まっている。

一方、リンク層によらない情報伝達機構の観点では、NIC の標準仕様を定め、上位層プロトコルやアプリケーションがこの仕様によってリンク層情報を利用するという方法がある。標準仕様として代表的な NDIS^[9]は、上位層がリンク層情報を利用するための NIC の仕様を規定している。しかしながら汎用な仕様にはなっていない。

このようなリンク層技術によらぬ、抽象化されたリンク層の制御状態の定義には、IEEE802 規定のリンク層技術を

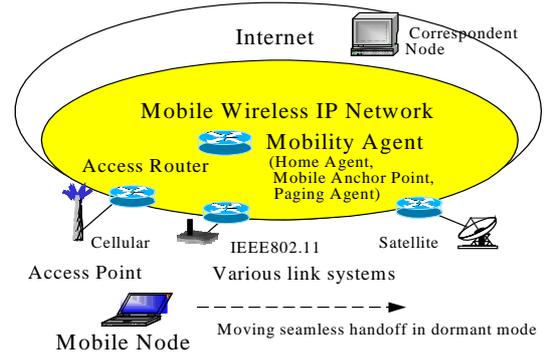


図 1. IP ベース移動通信システム

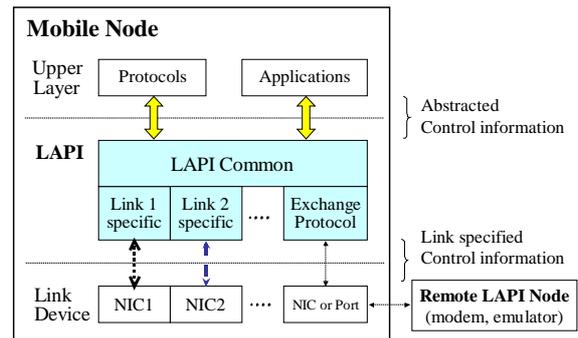


図 2. LAPI の論理的な構成

対象に IEEE802.21 において検討されており、寄書^[10]に詳しく記載されている。

MIB および Socket を用いた汎用なレイヤ間情報伝達手段である MIBSocket^[11]は、汎用性に富む提案であり、更に文献^[12]は各層ごとに抽象化したエンティティを用意し、レイヤ間で双方向の情報伝達手法を提案している。これらは Kernel と User land との情報伝達を対象としている。

4. LAPI の概要

4.1. アーキテクチャ

LAPI は MN に実装される要素技術であり、多様なリンク層技術と移動環境の下で IP モビリティ制御をはじめとした上位層のプロトコルやアプリケーションが、リンク層との間で情報を伝達させる手段である。LAPI の論理的な構成を図 2 に示す。MN 以外のノード、AR や他の制御エージェントへの機能追加はない。LAPI はリンク層のすぐ上に位置し、共通部と各々のリンク層技術毎に定義される個別部とからなる。

上位層のプロトコルやアプリケーションは、LAPI の共通部を通じ、リンク層制御情報を伝達して各々のプロトコルの内部動作に利用する。また、各リンク層技術は、対応する NIC 毎に定義された LAPI 個別部との間でリンク層制御情報を伝達する。なお、図 2 において Exchange Protocol は、MN と物理的に離れたノードに対しリンク層制御情報を伝達させる通信手順であり、例えば MN に接続されたモデムを制御する場合など、遠隔ノードのリンク層制御情報を送受信する際に用いる。

LAPI の共通部と個別部の構成によって、新たなリンク層技術に LAPI を適用する場合、機能追加は LAPI 個別部を規定し実装するだけでよく、LAPI を利用する上位層および共通部を変更する必要がない。また上位層は、個々のリンク層技術固有の制御状態に拠らず、共通化されたリンク層制御情報のみ取り扱うことができ、自らの制御動作に対する設計の複雑さを回避することができる。

以上から、LAPI の技術的要件は

- ・上位層による制御動作とインタフェース管理
- ・共通化されたリンク層制御情報の定義と状態遷移
- ・リンク層技術固有の制御状態との対応づけ
- ・LAPI を利用する上位層プロトコル自身の動作にまとめることができる。

4.2. LAPI 共通部の機能

LAPI 共通部は上位層プロトコルやアプリケーションに対し、共通化されたリンク層制御情報の入出力インタフェースを提供する。リンク層制御情報は、上位層プロトコルが LAPI に対し実行する制御動作と、引数となる制御状態が構成される。

(1)LAPI に対する上位層の制御動作

LAPI を利用する上位層プロトコルおよびアプリケーションは、LAPI の共通部に対して、以下の制御動作を行う。

- ・Set(): 制御状態を変更する。
- ・Get(): 制御状態を取得する。
- ・Trap(): リンク層の状態が制御状態に合致すると通知 (notification) するよう設定する。
- ・Info(): 上位層の制御状態をリンク層に通知する。

(2)伝達される制御状態

制御状態は、上位層の利用用途に応じて様々な定義が可能である。リンク層技術によらぬ共通化された制御情報とは、伝達される制御状態の抽象化に他ならない。本稿で取り扱う制御状態の具体例を表 1 に示す。

- ・Linkup / Prehandoff / Handoff / Predown / Linkdown:
IP モビリティ制御による IP 層のハンドオフ処理を高速化するために用いる制御状態である。
- ・Poweroff / Linkup / Status / Dormant / Active:
複数 NIC のある MN が使用する NIC の選択制御と省電力制御に用いる制御状態である。
- ・Property:
アプリケーションがリンク層の伝送レート等、属性に応じたトラフィック制御を行うために用いる制御状態である。

(3)制御状態の遷移

上位層プロトコルからみたリンク層の制御状態に関する状態遷移を図 3 に示す。図 3 において破線内が NIC 機能中の状態であり、リンク層フレームの接続可否に応じて Linkup / Linkdown の制御状態が存在する。

状態遷移は次の通りである。まず LAPI を利用する上位層プロトコルが trap(Prehandoff, Predown)を設定すると、MN の移動によるリンク層条件の悪化に伴い、LAPI がリンク層で他の接続先の有無に応じ Prehandoff.notification, Predown.notification を上位層プロトコルに通知する。

Prehandoff 状態では上位層から Set(Handoff)が発行されるか、若しくはリンク層固有のハンドオフ条件によって Handoff 状態へ移行し、Linkup 状態へ遷移する。

一方 Predown 状態の場合には、リンク層の接続性が失われると Linkdown.notification が通知され、Linkdown 状態へ遷移する。

接続性が再び確立されると Linkup.notification を通知して Linkup 状態へ遷移する。

また、MIM のように複数 NIC のある MN において使用しない NIC を機能オフして電力消費を抑える場合には、図中破線内のいずれの状態であっても Set(Poweroff)を発行して Poweroff 状態へ遷移させる。NIC を再び有効にする際は Set(Linkup)によって機能オンとし Linkup 状態へ遷移させる。

LAPI を利用する上位層プロトコルは、リンク層技術固有の制御状態によらず、共通化された状態遷移のみ意識してプロトコル自身の設計を行うことができる。

表 1. 制御状態の定義

制御状態	定義	対象動作
Linkup	リンク層フレームの送受信が確立した状態	Info() を除く全ての制御動作
Prehandoff	品質劣化に際し、新たな接続先を検出してリンク層ハンドオフの実行を予告する状態	
Handoff	ハンドオフを実行する状態	
Predown	品質劣化に際し、接続先が見つからずリンク層フレームの送受信状態が維持できないことを予告する状態	
Linkdown	リンク層フレームの送受信が確立されない状態	
Poweroff	機能オフである状態	Info()のみ
Dormant	上位層が休眠モードである状態	
Active	上位層が活性モードである状態	
Status	リンク層の制御状態問い合わせ	Get()のみ
Property	リンク層の特性問い合わせ	

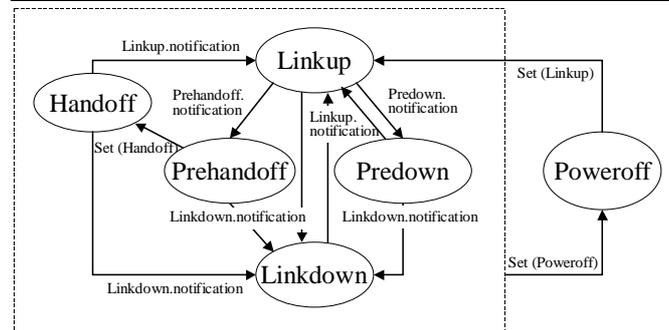


図 3. リンク層制御状態遷移

4.3. LAPI 個別部の機能

LAPI 個別部はリンク層技術ごとに定義され、NIC との間でリンク層技術固有の制御情報を伝達する。LAPI 個別部は、リンク層固有の制御情報を上位層プロトコルやアプリケーションにそのままの形で伝達せず、リンク層技術によらない共通化されたリンク層制御情報に抽象化して共通部へ伝達する。すなわち、LAPI 個別部は共通化されたリンク層制御情報とリンク層技術固有の制御状態とを対応付ける機能を持つ。

表 2 は幾つかのリンク層技術を例とし、共通化したリンク層制御情報の対応を示す。例えば、リンク層技術の IEEE802.11(WLAN)では MAC Sub-layer management Entity (MLME)や Physical Medium Dependent (PMD)における Service Access Point (SAP)で定義されたプリミティブを LAPI 個別部が検出すると、LAPI 共通部を通じて上位層に対し共通化されたリンク層制御状態を通知する。具体的には、プリミティブ“MLME_associate.cnf”を個別部が検出すると、上位層に対して“Linkup.notification”を通知する。

他のリンク層技術を例とした意図は次の通りである。

- ・セルラリンクエミュレータ：MN と物理的に離れたノードに対する LAPI の適用例として、一般化したセルラ方式を模擬するエミュレータ。スクリプトによる状態遷移、プリミティブの定義が可能である。
- ・PPP：ダイヤルアップ(回線交換)型のリンク層技術に対する LAPI の適用例として選定。NIC デバイスでないソフトウェアデーモンとの制御情報伝達が LAPI で可能であることを示す。
- ・Ethernet：有線リンク層技術の適用例として選定。

このように LAPI は無線に限らず有線を含め様々なリンク層技術を対象とすることができるが、リンク層技術によってはそもそも概念が存在せず定義できない制御状態があることに留意する必要がある。

表 2 . LAPI 個別部におけるリンク層技術固有の制御状態と共通化されたリンク層制御情報の対応例

対上位層	対 NIC	リンク層技術固有の制御状態			
		IEEE802.11 (WLAN)	Cellular Link Emulator	Point-to-Point protocol (PPP)	IEEE802.3 (Ethernet)
共通化されたリンク層制御状態	Linkup	MLME_associate.cnf MLME_reassociate.cnf MLME_associate.ind MLME_reassociate.ind PMD_RSSI.ind	圏内 -帰属完了 -pilot 受信 SNIR 条件成立	NCP Configure-Request(good) NCP Configure-Ack	PLS_CARRIER_ON
	Prehandoff	PMD_RSSI.ind MLME_SCAN.cnf	Handoff 先セルの検出 -pilot 受信 SINR 差条件成立	-	-
	Handoff	MLME_SCAN.cnf MLME_join.req MLME_authenticate.req MLME_associate.req	Measurement Report	-	-
	Linkdown	MLME_association.cnf MLME_reassociate.cnf MLME_associate.ind MLME_reassociate.ind PMD_RSSI.ind MLME_disassociate.cnf MLME_disassociate.ind MLME_authenticate.cnf MLME_authenticate.ind	圏外 -セルサーチ開始 -帰属解消 -新セルにて帰属完了 -pilot 受信 SINR 劣化	NCP/LCP administrative close NCP/LCP Configure-Request(bad) NCP/LCP Terminate-Request NCP/LCP Protocol-Reject NCP/LCP Code-Reject(permitted)	PLS_CARRIER_OFF
	Poweroff	MLME_powermgt_req	自律セルサーチ停止	- (modem 停止)	- (ドライバ無効化)

4.4. Exchange Protocol

MN から離れたノードが備えるリンク層技術に対して、リンク層制御情報の伝達を行うために Exchange Protocol を定義する。Exchange Protocol は LAPI 共通部の直下に位置しており、リンク層制御情報をそのまま Exchange Protocol フレームでカプセル化して遠隔ノードに位置する LAPI 個別部との間で伝達させる。

このような遠隔ノードが MN と単一のリンク層技術で対向する場合、Exchange Protocol のフレームは対向リンク層技術で定義されるフレームを利用する。MN と遠隔ノード間に複数の中継ノードが存在する場合や、複数のリンク層技術に跨る場合には、Exchange Protocol フレームは IP パケットのようなネットワーク層フレームを利用する。本稿では、遠隔ノードの対象をモデムやリンクエミュレータとしているので、対向リンクのフレームを利用する。

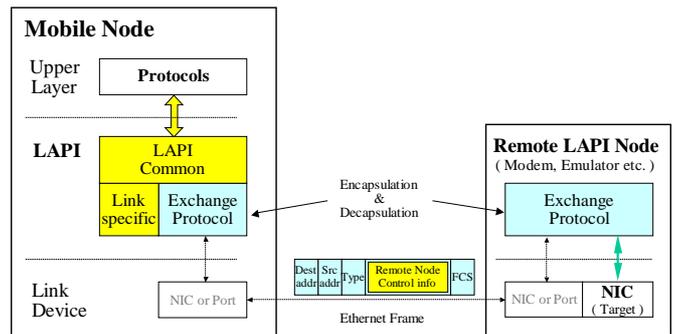


図 4 . Exchange Protocol

5. LAPI を利用する上位層プロトコルの適用例

本章では IP ベース移動通信システムにおいて提案する要素技術が LAPI をどのように利用し、制御動作に役立っているかを説明する。

5.1. MobileIPv6, IPPv6 におけるハンドオフ

IP モビリティ制御の主要な制御動作であるハンドオフに対し、LAPI を介したリンク層制御情報の利用によりハンドオフ動作の高速化を図る。

図 5 は IP モビリティ制御における LAPI の適用例を示す。IP ベース移動通信システムの IP モビリティ制御には HMIP-Bv6 を提案しているが、ハンドオフの動作に注目するため、単純な MobileIPv6 を例示する。IPV6 も送受信される IP の制御パケットが異なるだけで、LAPI を介したリンク層制御情報のやり取りは本例の MobileIPv6 同じである。

本例では、IP モビリティ制御プロトコルがリンク層のハンドオフ完了を Linkup.notification によって認識し、ルータ要請(Router Solicitation:RS)を送信する。これにより、移動検出手順は RFC2461^[13]のように時間を要することなく、RFC3376 のように短周期に多数のルータ広告(Router Advertisement:RA)を伴うことなく、短時間で行うことが可能となる。

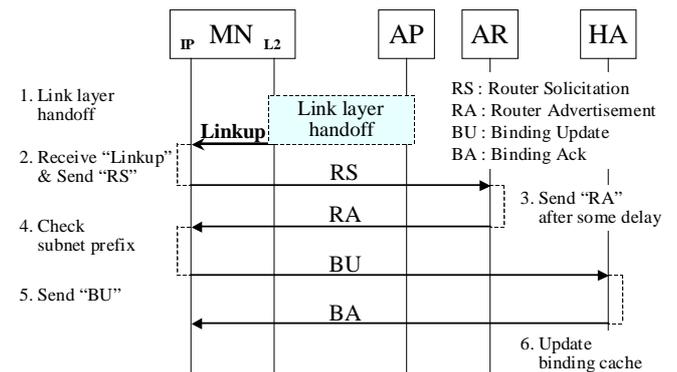


図 5 . MobileIPv6/IPPv6 のハンドオフ動作

5.2. HMIP-Bv6 におけるパッファリング

HMIP-Bv6 は Hierarchical MobileIPv6 をベースにパッファリング機能を追加拡張した IP モビリティ制御である。ハンドオフ時のパケットロスがない HMIP-Bv6 は、IP ベース移動通信システムの主要な要素技術として提案しており、良好な通信品質が得られている。

HMIP-Bv6 の特長であるパッファリング制御は、LAPI を用いて図 6 のように行われる。

まず現在の使用中のリンク層から、ハンドオフ処理の事前予告である”Prehandoff.notification”が通知されると、HMIP-Bv6 はハンドオフによるパケットロスを回避するため、HMIP のモビリティ制御ノードである MAP に対して、バッファリングフラグを立てた Binding Update (BU) パケットを送信し、MAP からの Acknowledgement (BA) を待つ。MN の BA 受信により、HMIP-B はリンク層に対してハンドオフを指示する Set(Handoff)を発行する。また自らが送信するパケットも MN 内部でバッファリングしてリンク層のハンドオフが終わるのを待つ。ハンドオフ完了を知らせる”Linkup.notification”を受信すると、自らのバッファリングを解除すると共に、MAP に対してバッファリング解除と Binding 更新を目的とした BU を送信し、ハンドオフ中に蓄積された IP パケットをハンドオフ後の転送経路で転送させる。

5.3. MIM における NIC 選択

MIM は IP ベース移動通信システムにおいて複数の NIC を搭載した MN が、ユーザの利用優先順位 (Preference) に応じてユーザが特段意識することなく最適な NIC を選択して通信を継続する要素技術である。MIM は使用しない NIC の省電力性も考慮し、異なるリンク層技術間でのハンドオフを実現する。

MIM のアーキテクチャおよび LAPI を用いた制御動作をそれぞれ図 7、図 8 に示す。

MIM は LAPI と上位層プロトコル間に位置し、両者の間で伝達されるリンク層制御情報を仲立ちしながら Preference に従って使用する NIC を取捨選択する。MIM の NIC 選択動作は次の 2 つに大別される。

(1) Pre-down.notification 契機による NIC 選択

MIM が現在使用中の NIC からハンドオフ先がないことを示す”Pre-down.notification”を受信すると、他のリンク層技術による NIC で接続可能なものがないか、MN が搭載する NIC に対して Set(Linkup)を送信する。Set(Linkup)を受信した NIC は、リンク層の接続可否を調査し、その結果応じ、接続可能な場合には”Linkup.notification”を、圏外などの理由により接続不能な場合には”Linkdown.notification”を通知する。MIM はリンク層制御情報の通知に基づいて Linkup 状態である NIC の中から、Preference に従って最適な NIC を選択し、その NIC から通知された”Linkup.notification”のみを上位層に通知する。選択しなかった他の NIC から通知された制御情報は破棄し、省電力の観点から Set(Poweroff)を発行して NIC の機能をオフする。

(2) 定期サーチ契機による優先 NIC 再選択

現在の選択 NIC が最優先の NIC でない場合、MIM は現在よりも優先度の高い NIC が再び接続可能な状態になっているか否かを定期的に調査する。すなわち、現在選択中の NIC よりも優先度の高い NIC に対して、MIM は定期的に Set(Linkup)を発行してリンク層の接続可否結果をリンク層情報として受信する。優先度の高い NIC から”Linkup”が通知されると、当該 NIC の”Linkup.notification”を上位層に通知し、上位層のハンドオフ制御動作を促す。この場合も選択されない NIC には省電力の観点から Set(Poweroff)を発行して再び NIC 機能をオフする。

これら MIM によるハンドオフの動作では、新たな NIC が選択され、上位層へ通知された後も一定時間は旧選択 NIC からのパケット受信を可能としている。これにより、上位層プロトコルがハンドオフ制御中であってもパケットロスを回避したシームレスなハンドオフが可能となっている。

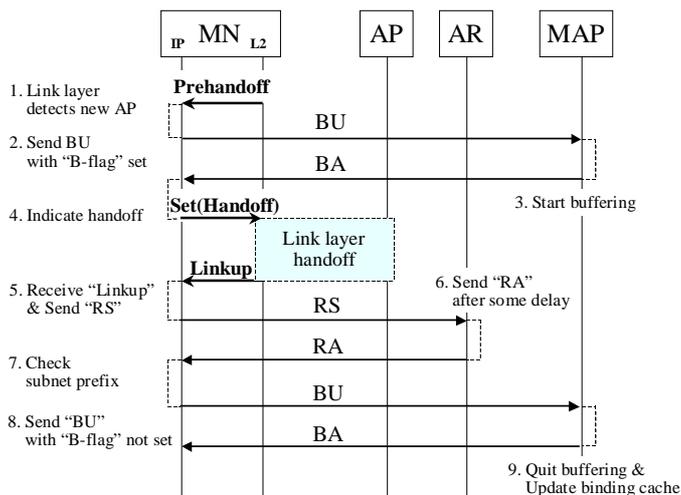


図 6. HMIP-Bv6 におけるバッファリング制御

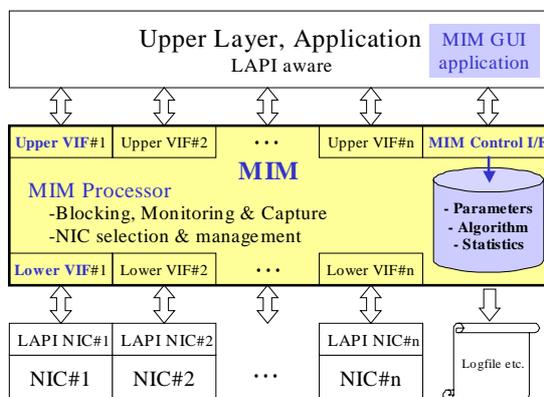


図 7. MIM アーキテクチャ

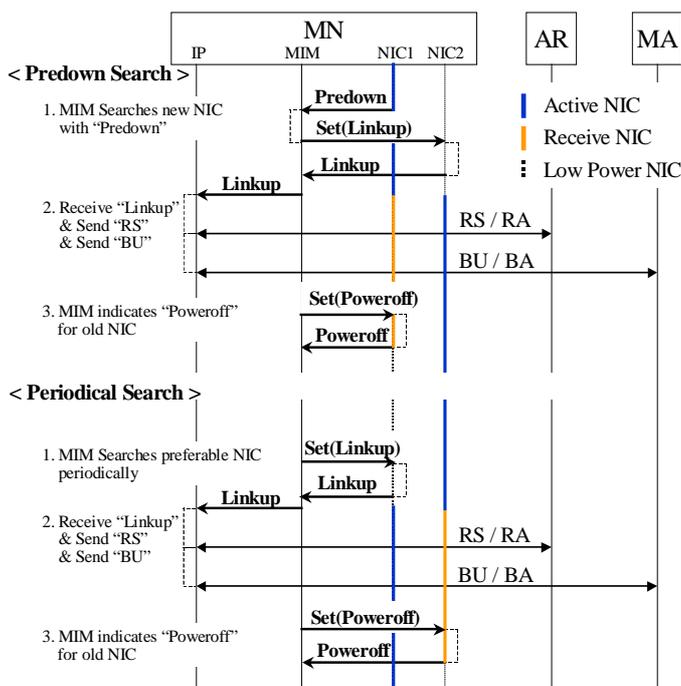


図 8. MIM による異種リンク層技術間ハンドオフ

6. LAPI の実装

LAPI を linux (linux2.4.20) に実装する LAPI は図 9 に示す通り ,loadable kernel module (LKM) として kernel 内部に実装される . この理由は LAPI がレイヤ間で制御情報を伝達するため , ユーザプロセスより優先権のある高速な処理が望まれる点や , IP モビリティ制御など IP 層の要素技術や NIC とのインタフェースに用いるデバイスドライバが kernel 内に位置することを考慮したためである .

対象とするリンク層技術は 4.3 節の表 2 で示した WLAN , LinkEmulator , PPP , Ehternet であり , 上位層には 5 章のモビリティ制御や MIM を実装している .

6.1. LAPI 共通部の実装

LAPI 内部の構成を図 10 に示す . LAPI 共通部は , 次に示す 3 つの機能ブロックからなる .

(1) 上位層インタフェース処理部

複数の上位層プロトコルが同時に LAPI を利用可能とするため , 管理テーブルを設け上位層を識別する . 管理テーブルの登録は , kernel 内の上位層の場合 , module 間インタフェースで , user land の場合 socket および ioctl により行われる .

(2) イベント送受信部

リンク層制御情報の変化に応じて上位層および個別部に伝達する . また Trap() の設定を管理し , この設定に合致する制御状態のみを notification として伝達する .

(3) イベントキュー

リンク層制御情報の発生は kernel 内での優先順位の異なる割り込み処理に基づく . 割り込みに応じて直ちにリンク層制御情報を上位層に伝達してしまうと , 通常の kernel 動作である IP パケット送受信処理を飛び越し制御手順の不整合を引き起こす . よって個別部からのリンク層制御情報を一旦キューイングし kernel 動作と同じ優先度とする .

6.2. LAPI 個別部の実装

LAPI 個別部機能は , 個々のリンク層技術ごとに異なるが , 次の 2 つの機能ブロックで構成される .

(1) NIC 状態監視部

NIC の制御状態を監視し , 対応するリンク層制御状態を判定する . 監視方法はリンク層技術の実装に応じて異なる .

(2) リンク層制御状態管理部

NIC 制御状態の監視結果に基づいて , リンク層制御状態遷移を判定し , 対応するリンク層制御情報を通知する .

6.3. リンク層技術の実装例

NIC 状態監視部が NIC の制御状態を監視する方法は , リンク層技術の特徴に応じ図 11 に示すとおり , 3 通りで実装した .

(1) NIC 状態監視部による周期監視

WLAN , Ethernet に対する実装方法 . NIC 状態管理部が各 NIC ドライバの接続品質に関するコマンドを利用して周期的に監視し , 状態遷移を検出する .

(2) 監視アプリケーションを介した周期監視

PPP に対する実装方法 . PPP デモン (pppd 2.4.1) は kernel 内 LAPI との接続インタフェースがないため , 監視アプリケーションを user land に設けて pppd とプロセス間通信により監視する .

(3) メッセージフレームの受信による監視

LinkEmulator に対する実装方法 . 遠隔ノードに対する Exchange Protocol のフレームには Ethernet を利用し , フレームにカプセル化されたリンク層制御情報を取り出して制御状態を監視する .

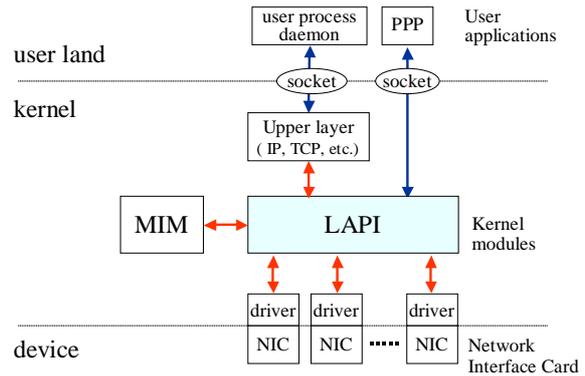


図 9 . LAPI の実装構成

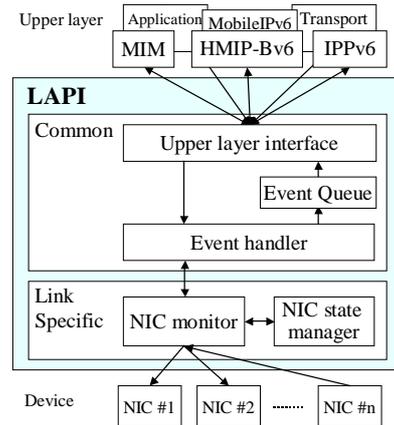
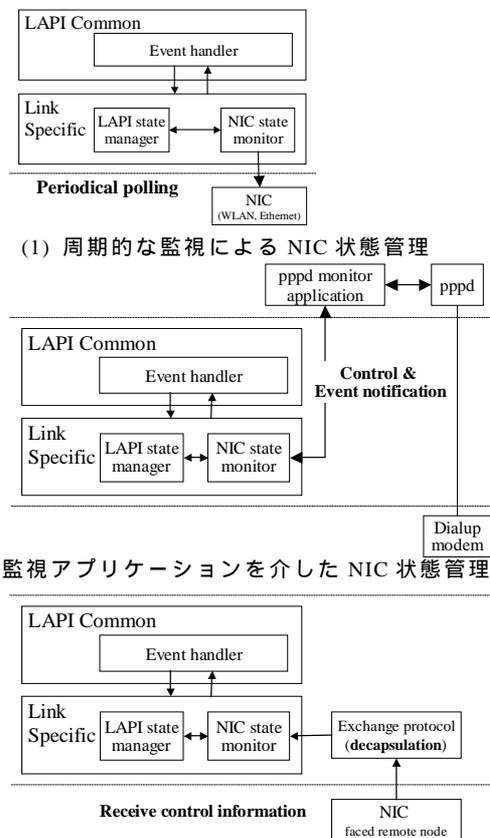


図 10 . LAPI 内部構成



(3) フレーム受信による NIC 状態管理

図 11 . NIC 状態監視方法

7. LAPI の特性評価

LAPI を実装した MN の動作実験を行い、2 章の要求条件を満足するか評価する。

7.1. 実験による要求条件の満足度評価

2 章の要求条件(1)から(3)で示される LAPI の機能的な要求条件は、要求条件(4)のリンク層情報伝達時間および条件(5)のアプリケーションへの影響を評価する際、MN の振る舞いにより評価する。要求条件(4)については更に LAPI の適用有無により上位層の制御動作時間の差を示し、要求条件(5)は FTP のシーケンス番号を測定して評価する。

図 12 に実験系を示す。MN およびモビリティエージェント (HA, MAP, PA), ルータ (AR) は Linux の MobileIPv6 実装である USAGI^[14] をベースとした LAPI は MN にも実装される。なお、ルータなどは公開された USAGI そのものを用い、IP ベース移動通信システムによる機能追加をすること無く構成する。また実装ノードにおいても、機能の追加は最小限に留めている。ネットワーク部分には Internet および ISP 内における標準的な遅延時間^{[15],[16]}として、ノード間でそれぞれ 50ms と 5ms の遅延を設定した。

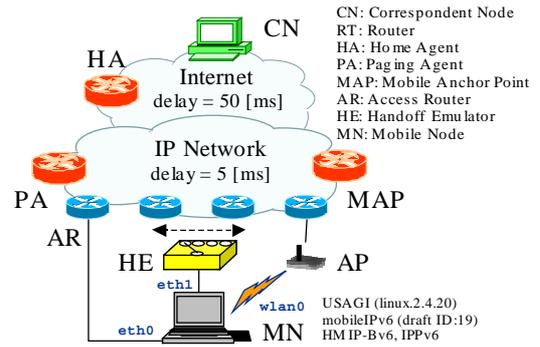


図 12. 動作実験系

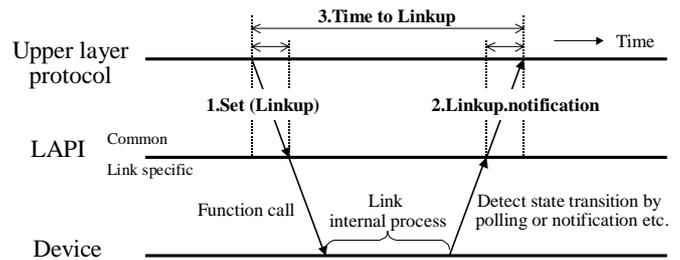


図 13. 制御動作時間

表 3. リンク層制御情報の制御時間

制御動作	所要時間 [ms]			
	WLAN	HE	Ethernet	PPP
1. Set (Linkup)	0.021	0.026	0.028	0.027
2. Linkup.notification	10.0	10.0	10.0	8.38
3. Linkup 遷移時間 (Poweroff 状態から)	134	5.4	310	22810
(Linkdown 状態から)	41.0	5.5	10.0	22810

表 4. IP 層の移動検出時間

実験条件		移動検出時間[ms]	
		最小/30 回平均/ 最大	
RA 周期	リンク層	提案方法	LAPI 無し
MobileIP	WLAN	6 / 240 / 518	48 / 1352 / 2099
	Emulator	2 / 25 / 50	29 / 1404 / 1966
RFC2461*	WLAN	4 / 283 / 499	639 / 3171 / 5125
	Emulator	2 / 27 / 42	78 / 3890 / 5037

*USAGI では 5 秒経過するとルータの接続性を確認する独自の処理が行われるため RFC2461 本来の規定より処理時間は短く済む。

7.2. リンク層制御情報の制御動作時間

上位層プロトコルがリンク層制御情報を LAPI に伝達し、応答が戻るまでの制御動作時間を測定する。上位層プロトコルの設計者は、LAPI を利用することにより自身の制御動作を高速化可能であるか否かをこの制御動作時間によって判断の目安とすることができる。

制御動作時間は、図 13 で示すようにリンク層制御情報がレイヤ間を伝達する時間と、リンク層技術の内部処理時間との和で表される。表 3 はその一例として、Set(Linkup) を発行後、リンク層から Linkup.notification の通知を受信するまでの時間を計測した結果である。今回の実装では、リンク層技術固有の制御部分に特段の改良を施さず、LAPI 個別部は NIC のデバイスドライバおよび pppd の標準関数を用いて監視制御している。表 3 の結果では、リンク層技術によって内部処理に時間がかかるものがある。従って上位層の利用用途によっては、制御動作に寄与する要求条件(4)を満たすために、標準関数のパラメータ設定やドライバおよびデーモンそのものを改良する必要がある。

7.3. 上位層プロトコルの制御動作時間

リンク層のハンドオフが完了した後、IP 層が RA の受信によりサブネットの変更を検出するまでを IP 層の移動検出時間として測定し、LAPI の有無による所要時間差として表 4 に示す。提案方法は LAPI を適用した MobileIPv6 であり、5.1 節で示した動作を行う LAPI 無しは、定期的な RA の受信による移動検出である。

LAPI を適用した MobileIP では、Linkup.notification により RS を送信するため、RA の広告周期に依らず移動検出が高速化しており、要求条件(4)を満たしている。

7.4. 通信アプリケーションへの影響

MN が FTP を実行中に、MIM による NIC 選択制御を実行させ、その際の TCP シーケンス番号の時間変化を調べることにより通信アプリケーションへの影響を評価する。結果を図 14 に示す。図中では MN が 30Mbyte のファイルを通信相手である CN からダウンロードしている最中に、図 8 で示した MIM の制御シーケンス相当の制御動作を実行させている。すなわち Link Emulator (HE) から WLAN、WLAN から再び HE へ NIC 切り替えが発生し、異種リンク技術間でのハンドオフを行っている。MIM が HE および WLAN 間をリンク層制御情報を用いてハンドオフさせても、再送が発生することなく通信が継続しており、要求条件(5)を満たす。

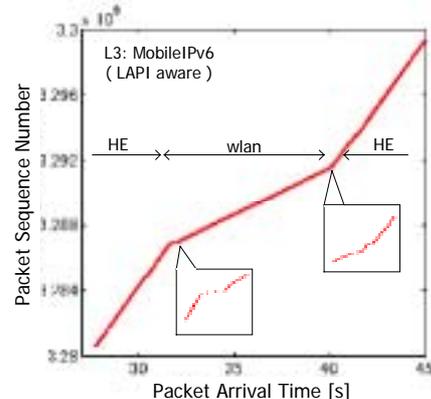


図 14. MIM による NIC 切替制御に伴う FTP の様子

8. まとめ

本稿では、リンク層の制御情報を上位層のプロトコルおよびアプリケーションとの間で伝達することが可能な Link layer API の提案と特性評価を行った。評価実験では、IP ベース移動通信システムの主要な要素技術である IP モビリティ制御および MIM を上位層プロトコルの適用例とし、無線 LAN をはじめとするリンク層技術に対して LAPI を実装し、要求条件を満足することを示した。

LAPI を利用することによって、上位層プロトコルやアプリケーションは様々なリンク層技術の個々の制御状態やプリミティブなどを意識しなくとも、共通化された制御状態のみでリンク層の情報を取り扱うことができる。これはプロトコルの設計が容易であるだけでなく、今後新たなリンク層技術が登場しても上位層プロトコルを変更することなく LAPI の個別部分だけ新たに定義し、実装するだけでそのまま利用することができる。

IP の要素技術の長所である汎用性を活かしながら移動通信への適用に不可欠なリンク層の情報を利用する手段として LAPI は重要な手段である。Transport 層やアプリケーションへの応用を進めると共に、適切な制御情報の定義が今後の検討課題である。

文 献

- [1] T.Otsu, et al., " Network Architecture for Mobile Communications Systems Beyond IMT-2000 ," IEEE Personal Communications , Oct.2001.
- [2] D.Johnson, et al., "Mobility Support in IPv6," RFC3775, June.2004.
- [3] 大前他, "階層型 MobileIPv6 提案および特性評価," 信学技報 IN2001-178, 2002 年 2 月
- [4] 井上他, "IP ベース移動通信システムにおける IP ページングの検討," 信学技報 RCS2004-3, 2004 年 4 月
- [5] 井上他, " Link layer API を用いた Multiple Interface Manager の提案と実装評価," 信学技報 NS2004-76, 2004 年 7 月
- [6] A.Yegin, "Link-layer Triggers Protocol," Internet-draft, draft-yegin-l2-triggers-01.txt, June.2003.
- [7] G.Dommetty, et al., "Fast Handovers for MobileIPv6," Internet-draft, draft-ietf-mipshop-fast-mipv6-01.txt, Jan.2004.
- [8] A.Festag, et al., "Optimization of Handover Performance by Link Layer Triggers in IP-Based Network:Parameters,Protocol Extension and APIs for Implementation," TKN Technical Report TKN-02-014, Aug.2002.
- [9] P.Bahl, "Enhancing the Windows Network Device Interface Specification for Wireless Networking," <http://research.microsoft.com>
- [10] V.G.Gupta, et al., "A Generalized Model for Link Layer Triggers," IEEE802.21, Mar.2004.
- [11] R.Wakikawa, et al., "MIBsocket: An Integrated Mechanism to Manipulate General Network Information in Mobile Communications," IEICE Trans.COMMUN., Vol.E84 B, No.8, Aug.2001.
- [12] 神谷他, "リンク層情報を利用した高速ハンドオーバ支援機構の設計と実装," DICO2003, 2003 年 6 月
- [13] T.Narten, et al., "Neighbor Discovery for IP Version6 (IPv6)," RFC2461, Dec.1998.
- [14] USAGI Project, <http://www.linux-ipv6.org/>
- [15] <http://average.matrix.net/>
- [16] <http://www.ij.ad.jp>