

ホームネットワークマップ特定プロトコル HTIP の設計と 診断ツールへの適用

美原義行[†] 山崎毅文[†] 佐藤敦[†]

本稿において、ホームネットワークマップを特定し、かつ各端末の接続性を確認可能なプロトコル HTIP (Home network Identifying Protocol) の設計内容とその適用事例について述べる。HTIP は、エンド端末に対して、UPnP を利用して機器情報を送信することを要求し、一方、NW 機器に対しては、LLDP を利用して機器情報とリンク情報を送信することを要求したプロトコルであり、本プロトコルを用いることでホームネットワークマップの特定が可能となる。我々は、HTIP を利用して特定したホームネットワークマップを、不具合を診断するツールへ適用し、ホームネットワーク内の詳細な不具合切り分けができることを確認した。本ツールは、ホームネットワークマップから、不具合が発生したエンド端末までの接続経路を特定し、その接続経路上に存在する各 NW 機器やエンド端末に対して接続検査を行うことで、断線箇所を特定する。本ツールの活用により、事業者にとってのサポートコストの削減や、ユーザ満足度を向上することが期待できる。また、我々は、HTIP の標準化を推進した結果、HTIP を TTC 標準 (JJ-300.00/JJ-300.01)、ITU 勧告 (G9973) とすることができ、今後の普及に向けた足掛かりとすることができた。

Designing HTIP which Identifies Home Network Topology and Applying HTIP to a Troubleshooting Application

YOSHIYUKI MIHARA[†] TAKEFUMI YAMAZAKI[†] ATSUSHI SATO[†]

We have designed HTIP (Home network Topology Identifying Protocol), which enable the system to detect home network topology and check connectivity, and standardized it at TTC and ITU-T. End devices send device information via UDA while network devices send both device and link information via LLDP when these devices incorporate HTIP. We have implemented a troubleshooting application which can utilize these information to perform high-resolution fault localization when network services are not provided properly. This application can localize fault points by checking connectivity to network devices on the route to the troubled end device. Such application allows service providers to reduce the support cost, or to improve customer satisfaction. This paper shows a design of HTIP and effectivity of home network topology by applying HTIP to a troubleshooting application.

1. はじめに

～ホーム NW における不具合対応の現状と課題

現在、パーソナルコンピュータ (以下、PC) 以外にも、ホームネットワーク (以下、ホーム NW) に接続可能なエンド端末が増加傾向にある。「エンド端末」とは、パケットを終端する機器を指し、PC、ゲーム機、TV、スマートフォン等がそれにあたる。また、スイッチングハブのような、従来から利用されている NW 機器に加え、通信路媒体を変換するような NW 機器も、ホーム NW に多く接続されてきている。「NW 機器」とは、パケットを転送する機器を指し、スイッチングハブ、PLC モデム、無線モデム等がそれにあたる。このように、ホーム NW にエンド端末、NW 機器が多く接続されることにより、ホーム NW の構成が複雑化してきている (図 1)。

このように、ホーム NW の構成が複雑化している状況下では、不具合が発生する可能性のある箇所は、多岐にわたる。例えば、エンド端末・NW 機器自身の不具合や、設定変更によって発生する不具合、エンド端末までの接続経路上での接続断等の不具合がある。これより、ユーザ自身で複雑な NW から不具合原因箇所を切り分け、不具合を解決することは非常に困難である。これより、ユーザの代わりに、サポートセンタから不具合の原因箇所を特定できるサービスが望まれる。

サポートセンタから不具合箇所を切り分ける場合、まずはサポートセンタからユーザ宅のホームゲートウェイ (以下、HGW) に対して、IP レイヤでの接続確認を行う。HGW とは、WAN と LAN (ホーム NW) の境界に位置する、ルータ機能をもった機器である。HGW に対する接続性の確認ができない場合、不具合の発生は、WAN での異常に起因し、接続確認ができた場合は、ホーム NW 内で発生した不具合として、WAN とホーム NW で、不具合発生区間を切り分けることが可能となる。

ホーム NW 内で不具合が生じたと判断した際の、理想的な切り分け手法を以下に記述する。まず HGW から、不具合が発生しているエンド端末までの経路上に接続されている各 NW 機器の結線状態を確認する。結線状態に問題がないようであれば、PING コマンド等を用いて、IP レイヤでの接続性の検査を行い、接続性について問題がないようであれば、エンド端末における設定を確認する。しかし現状は、HGW 内部の ARP テーブルを利用して、ホーム NW 内に接続されている端末の IP アドレスと MAC アドレスのペアしか把握できず、エンド端末自身と対応付けることができない。これより、サポートセンタ側では、不具合が発生しているエンド端末の IP/MAC アドレスを特定できず、接続確認ができない。さらに、ホーム NW に接続される NW 機器の多くは、パケット/フレームの転送機能だけを

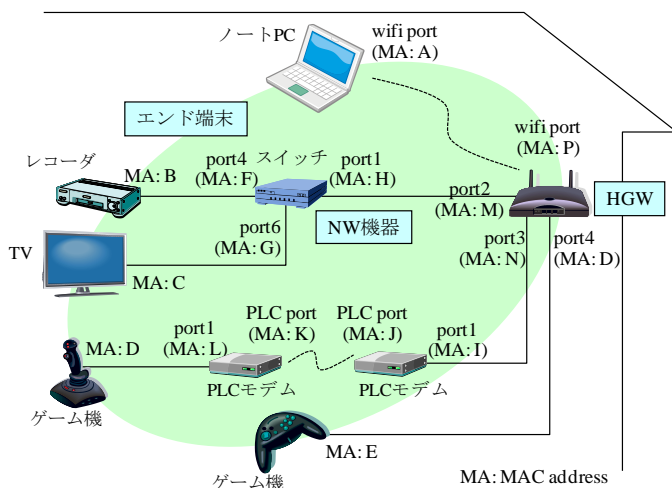


図 1. ホーム NW 構成の例

Fig. 1. An Example of User's Home Network Topology

もっており、自発的に情報を送信することを行わないため、これら NW 機器の存在を検知できない。結果、これら NW 機器における接続状態も把握できない。

HGW は通信事業者から提供されるケースが多く、サポートセンタからユーザ宅の HGW までの接続確認や、WAN 内の不具合対応に関しては、既に多くの通信事業者で実現し、運用されている。一方、ホーム NW 内の不具合に対する詳細な切り分けは、上記の理由から実現できていない。以上から、本研究では、ホーム NW 内の不具合発生箇所を切り分けるため、以下の二点の機能の実現を目指す。

- 各端末の機器情報と IP アドレスを対応付け、かつ、HGW からの接続経路を特定すること。
- 上記で特定した接続経路上に存在する、各 NW 機器に対して接続検査を行い、IP パケットが届いている区間を特定すること。

以下、本稿の構成について述べる。以下では、まず 2 章で、ホーム NW 構成を特定するプロトコルの関連研究について述べる。3 章でホーム NW マップの特定に必要な情報を送受信するプロトコル HTIP [a][1][2][3][4]の設計内容を説明し、4 章にて、HTIP で取得した情報を元に作成したホーム NW マップを利用して、NW サービスの不具合発生箇所を切り分ける手法について記述する。5 章にて将来課題、6 章で今後の方向性について述べる。

2. 関連研究

ホーム NW マップを特定するためには、ホーム NW 内のエンド端末・NW 機器の特定と、それらの接続経路の特定が必要である。本章では、それぞれの関連研究を述べる。

2.1 エンド端末・NW 機器の機器特定

各端末から機器情報を収集し、端末を特定可能なプロトコルとして、UPnP [5]・NetBIOS [6]がある。例えば、UPnP では、メーカー名や機種名、型番、シリアル番号等を取得す

ることが可能である。しかし、これらプロトコルの仕様においては、機器情報の記述に関して曖昧性があり、かつ、同じメーカーの端末であったとしても、記述内容に統一性がないことも多いため、オペレータやユーザが特定できない可能性がある。

2.2 接続経路の特定

経路情報を取得可能なプロトコルとして、SNMP [7]があり、この SNMP を利用して、様々な NW に対して、マップを作成する研究も存在する [8][9][10]。SNMP は、主に企業向け大規模 NW 機器に搭載されているが、家庭向けの安価な NW 機器には搭載されていない。これは、家庭向け NW 機器は、概して処理性能が低く、大量の変数 (MIB [11]) の状態保持が不可能であるためである。また、家庭向けの NW 機器では、レイヤ 2 (以下、L2) の処理のみを行い、L3 の処理ができない場合や、ポートに入ってくるパケットを常時監視してオンデマンドに要求を処理できない場合もある。このため、ほとんどの家庭向け NW 機器では、SNMP の実装は不可能である。

3. ホーム NW マップ特定プロトコル HTIP

本章では、HTIP の設計にあたり、考慮した要件と、それから、その要件を満たすために設計した方式を説明する。

3.1 ホーム NW マップ特定におけるプロトコルが満たすべき要件

(A) 各エンド端末・NW 機器が機器情報を送信すること

ホーム NW マップを特定するためには、ホーム NW に接続されているエンド端末・NW 機器を特定する必要がある。そのため、ホーム NW 内の各エンド端末・NW 機器が機器情報を送信する必要がある。

(B) 各 NW 機器がリンク情報を送信すること

ホーム NW 全体のマップを特定するためには、各ノードの「つながり」を表す、リンク構成を特定する必要がある。リンク構成を把握するためには、各 NW 機器が保持しているリンク情報を取得する必要がある。これより、各 NW 機器は、リンク情報を送信する必要がある。

(C) ホーム NW 内の全端末で機器情報・リンク情報を取得可能であること

サポートセンタから、ホーム NW 内の端末 (通信事業者の場合は、HGW) に遠隔からログインすることが可能な場合、遠隔から、ホーム NW マップと現在の接続状況を取得することが可能となる。以上より、様々な事業者やユーザ自身で、ホーム NW マップ情報を利用可能にするには、ホーム NW 内の任意のエンド端末で、情報を取得できることが必要である。

(D) 各エンド端末・NW 機器に対して接続性を検査できること

ホーム NW マップを特定し、不具合が発生した端末までの接続経路上に存在するエンド端末・NW 機器に対して、

[a] Home network Topology Identifying Protocol

接続性の検査を行うことで、原因発生箇所を精確に切り分けることが可能になる。これより、不具合の発生箇所を特定するため、接続性の確認を行えることが必要である。

3.2 プロトコル設計概要

HTIP では、エンド端末向けのプロトコルとして UPnP を拡張する方針とした。UPnP は多くの家電機器に既に実装されており、実装するメーカーにとって初期導入コストを抑えることが可能となる。UPnP では、ブロードキャストを用いて、ホーム NW の全 UPnP 端末を検索することが可能であり、任意のエンド端末から情報を取得可能である。UPnP では、機器情報を送信するフィールドが用意されており、かつ、ベンダ拡張が許されていることから、送信する機器情報を自由に追加することも可能である。また、UPnP/ICMP を用いることで、エンド端末において接続性の検査も可能である。以上より、機器情報の送信に UPnP を用い、接続性の検査に UPnP/ICMP を用いることで、前記要件 A, C, D を満たすことが可能である。

一方、NW 機器向けのプロトコルとしては、LLDP [12] に必要な拡張を行った。LLDP は、一方的に情報を送信するだけの処理であり、リスニングポートをもつ必要がないため、低い処理性能の NW 機器でも問題なく動作可能である。LLDP は、ブロードキャスト送信も可能であり、任意の端末で NW 機器の情報を取得可能である。LLDP においても、ベンダ拡張フィールドが用意されているため、機器情報と MAC アドレステーブル情報を送信可能である。また、LLDP を用いることで接続性の検査も可能である。以上より、LLDP を用いることで、要件 A, B, C, D を満たすことが可能である。上記二つのプロトコルの利用により、HTIP のスコープは、ホーム NW 内に限定される。

3.3 プロトコル設計詳細

3.1 節の要件を満たすよう、前述したプロトコルをベースとした設計を行う。

3.3.1 機器情報とリンク情報

エンド端末・NW 機器を特定するために必要な機器情報として、HTIP では、以下の四つの情報を必要最低限の情報とする。

- (a) 区分 (b) メーカー名 (c) 機種名 (d) 型番

区分は端末の種類を表す。ただし、記述が曖昧な場合、オペレータが機器を特定できない可能性もあるため、記述方法も明確にする必要がある。これより HTIP 仕様のサブセットとして、表 1 のように、区分の記述形式も定義し、TTC にて JJ-300.01 [3] として標準化した。メーカー名に関しても、記述に統一性を持たせるために、IEEE のメーカーコード (OUI [b]) を利用する。機種名は、メーカーで付与されるブランド名やシリーズ名である。上記(a)~(d)の四つの情報が、ホーム NW マップ上に表示されることで、実空間に存

表 1. 端末区分情報の例 (TTC JJ-300.01 [3]から抜粋)

Table 1. Examples of Device Categories (This list is extracted from TTC JJ-300.01 [3]).

大区分	小区分	値
AV 系	ネット TV 端末	AV_TV
	STB	AV_STB
	その他	AV
通信系	スイッチングハブ	COM_Switch
	PLC モデム	COM_PLCModem
	無線 LAN モデム	COM_WirelessModem
	その他	COM
くらし系	エアコン	LIFE_AirConditioner
	web カメラ	LIFE_WebCamera
	その他	LIFE
娯楽系	据置ゲーム機	AM_GameMachine
	ポータブルゲーム機	AM_PortableGameMachine
	その他	AV
その他		MISC

在する機器と、ホーム NW マップ上の端末とを対応付けることが可能と考えている。

リンク情報は、NW 機器が保持する情報であり、MAC アドレステーブル情報と同義である。MAC アドレステーブル情報とは、表 2 のように、NW 機器のポート番号と、そのポートに記憶されている MAC アドレスのテーブルのことである。MAC アドレステーブルを利用することで、各エンド端末間の接続経路を把握することが可能になる。

本論文では、HTIP を利用して機器情報とリンク情報を収集する機能を HTIP-Manager と表記する。前提として、HTIP-Manager は、HTIP-Manager ソフトウェアがインストールされた端末の情報を取得可能とする。以下、HTIP が実装されたエンド端末を、HTIP-エンド端末と表記し、HTIP が実装された NW 機器を、HTIP-NW 機器と表記することとする。HTIP が搭載されているか否かを区別しないときは単に、エンド端末、NW 機器、と表記する。

3.3.2 エンド端末による UPnP を利用した機器情報の送信

HTIP-エンド端末は、controlled device 機能を搭載し、DDD (Device Description Document) を利用して機器情報を HTIP-Manager に対して、送信するよう設計した。UPnP の controlled device 機能は、UPnP の基本機能であるため、UPnP IGD [13], DLNA [14]機器であれば既に実装されている機能である。

UPnP の DDD には、区分とメーカーコードを送信するフィールドが用意されていないため、新規に定義した。現状、区分情報は、DDD 内の <friendlyName> エlement に記述される場合が多い。しかし、この Element は、エンド端末によってはユーザが独自に書き換え可能な場合もある。これより、厳密な定義を行う目的には不向きであるため、区分を記入する Element として、<http:X_DeviceCategory> Element を新規に定義した。実装メーカーは、該当する機器の区分のみを、JJ-300.01 で定義された文字列で Element に記述しなければならない。複合機のような場合は、複

b) Organizationally Unique Identifier,
<http://standards.ieee.org/develop/regauth/oui/public.html>

表 2. 図 1 の HGW における MAC アドレステーブル情報 (NW 機器が、通常の転送処理以外に独自に LLDP 等のフレームを送信した場合)

Table 2. An Example of MAC Forwarding Table of HGW in Fig. 1.

ポートのインタフェース (IANAifType number)	ポート番号	本ポートに記憶された MAC アドレス
ieee80211 (71)	0	A
ethernetCsmacd (6)	2	B, C, H
	3	D, I, K
	4	E

数の区分を CSV 形式で、このエレメント内に列挙することが可能である。メーカーコードを記入するエレメントとして、<http:X_ManufacturerOUI>エレメントを追加した。実装メーカーは、IEEE に登録されたカンパニーID のみを、このエレメントに記述しなければならない。機種名と型番に関しては、それぞれ既存の <modelName> エレメント、<modelName> エレメントに値を記述しなければならない。

3.3.3 NW 機器による LLDP を利用した、機器情報とリンク情報の送信

HTIP-NW 機器は、IEEE 802.1AB における LLDP Agent (Transmit only) を利用して、HTIP-NW 機器の全ポートから、機器情報とリンク情報等が格納された LLDP フレームを、ブロードキャスト送信するよう設計した。HTIP-NW 機器は少なくとも、機器情報と、リンク情報を管理オブジェクトとして保持する。HTIP-NW 機器は、起動時、定期的なタイマーカウントが 0 になったとき、保持している管理オブジェクトの変更が観測されたときに、LLDP フレームを送信する。

HTIP-NW 機器が送信する LLDP のフレーム構成は、図 2 のようになっており、LLDP ヘッダの送信先 MAC アドレスは、IEEE 802.3 [15] で定められたブロードキャストアドレス (FF-FF-FF-FF-FF-FF) である。

HTIP-NW 機器は、元の 802.1AB の仕様上、実装必須となっている TLV (Type, Length, Value) (IEEE 802.1AB において TLV Type が 0~3) に加え、IEEE 802.1AB で規定されているベンダ拡張フィールド (IEEE 802.1AB において TLV Type が 127) を利用して、機器情報とリンク情報を必ず送信するよう設計した (図 2)。この TLV には、TTC 標準であることを示すコード E0-27-1A と、情報の種類を示す TTC Subtype (表 3, 図 3) が格納される。表 4 は、機器情報 ID と、格納する機器情報の対応である。代表として、区分を格納する TLV を図 4 に記述する。

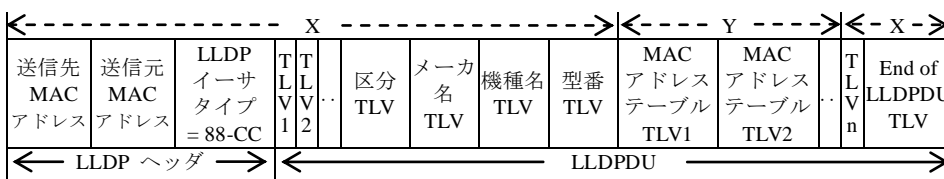


図 2. LLDP フレームのマップ
Fig. 2. Structure of LLDP frame.

表 3. TTC で策定されたサブタイプ ID

Table 3. Mapping TTC Subtype IDs to Information Type.

TTC サブタイプ	格納する情報の種類	実装条件
1	機器情報	実装必須
2	MAC アドレステーブル情報	実装必須
3	HTIP-NW 機器自身の NIC の MAC アドレス一覧	オプション実装
0, 4-255	reserved	

表 4. 各機器情報 (TTC Subtype = 1) の ID

Table 4. Mapping Device Information (TTC Subtype=1) IDs to Device Information

機器情報 ID	機器情報	実装条件
1	区分	実装必須
2	メーカー名	実装推奨
3	機種名	実装推奨
4	型番	実装必須
255	ベンダ拡張領域	
0, 5-254	reserved	

リンク情報として、各ポートに記憶されている MAC アドレスをポート毎に TLV に格納し、それらをまとめた MAC アドレステーブルの TLV を、LLDP フレームに格納する (図 5)。

3.3.4 接続性の検査

HTIP-エンド端末への接続性の検査方法として、HTIP-Manager が再度目的の端末から、UPnP を利用して機器情報を収集する方法に加え、目的の端末に対して ICMP echo request [16] メッセージを送信し、ICMP echo reply メッセージを受信することで接続性を確認する方法も用意した。

これは、ICMP を利用した手法では、HTIP-Manager が、検査対象である端末の IP アドレスを把握している場合、簡易かつ短時間で接続性を確認することが可能である。HTIP-Manager は、この HTIP-エンド端末からの ICMP echo reply を受信すると接続性があると判断し、ある一定期間待っても ICMP echo reply を受信できない場合は、接続性がないと判断すれば良い。

HTIP-Manager は、HTIP-NW 機器からの LLDP フレームを受信することで、その HTIP-NW 機器の MAC アドレスを保持することが可能となる。HTIP-NW 機器から LLDP フレームが一定間隔で送信されるため、HTIP-Manager は、検査したい NW 機器の MAC アドレスをもった HTIP-NW 機器からの LLDP フレームを受信することで、接続性を確認することが可能となる。LLDPDU に含まれる TTL の間だけ待っても、その ID をもった LLDP フレームを受信しな

った場合は、接続性がないと判断すれば良い。

Octets:1	2	3	6	7	6+p
TLV タイプ =127 (7 bits)	TLV データ長 (9 bits)	TTC OUI = E0-27-1A (3 octets)	TTC サブ タイプ = 1 (1 octet)	データ (0 ≤ p ≤ 257 octets)	
		機器情報 ID (1 octet)	機器情報データ 長 (1 octet)	機器情報データ (0 ≤ p ≤ 255 octets)	

図 3. ベンダ拡張部を利用した機器情報 TLV のマップ

Fig. 3. Device information data using vendor extension TLV.

Octets:1	2	3	6	7	8	9	8+p	
TLV タイプ= 127 (7 bits)	TLV データ 長 (9 bits)	TTC OUI = E0-27-1A (3 octets)	TTC サブ タイプ = 1 (1 octet)	機器 情報 ID = 1 (1 octet)	区分 データ 長 (1 octet)	区分 データ (0 < p ≤ 127 octets)		
Bits:8	2 1 8	← TLV データ →					1	
TLV ヘッダ								

図 4. 端末区分情報を格納する TLV

Fig. 4. TLV of product class.

3.4 HTIP の標準化

HTIP は、新たに規定したプロトコルであるため、本プロトコルの普及には、標準化が不可欠である。我々は、本プロトコルの普及を目指し、国内外の標準化を進めてきた。その結果、2011 年 9 月に国内の標準化団体 TTC にて JJ-300.00[2]/JJ-300.01[3]として標準化され、国際標準化団体 ITU-T においても、G.9973 [4]として 2011 年 12 月に標準化された。

3.5 HTIP を利用したマップ推定～HTIP 非搭載 NW 機器の存在の推測

HTIP は新たに策定されたプロトコルであり、今後普及が見込まれるプロトコルである。しかし、既に多くのエンド端末・NW 機器が家庭内に接続されており、それらの機器は HTIP を搭載していない。これより、HTIP が搭載されていない機器が接続されている状況も考慮する必要がある。

図 6 は、HTIP 非搭載機器がホーム NW 内に接続されている全端末にて、HTIP で収集した機器情報と、リンク情報から作成した NW マップ図の例である。HTIP からは、区分情報を取得可能なため、その区分情報と対応するアイコンを NW 機器図に記載することが可能になる。一方、「？」が記されたアイコンは、HTIP 非搭載のエンド端末・NW 機器を示している。HTIP 非搭載のエンド端末で送受信されるパケットが HTIP-NW 機器にて転送されると、この HTIP

Octets:1	2	3	6	7	8	7+p	8+p	9+p	9+p+q	10+p+q	16+p+q	
TLV タイプ =127 (7 bits)	TLV データ 長 (9 bits)	TTC OUI = E0-27- 1A (3 octets)	TTC サブ タイプ= 2 (1 octet)	インタ フェース データ長 (1 octet)	インタ フェース データ (0 < p ≤ 4 octets)	ポート 番号 データ長 (1 octet)	ポート 番号 データ (0 < q ≤ 4 octets)	ポート 番号 データ (0 < q ≤ 4 octets)	本ポート に記憶さ れた MAC アドレス 数 (1 octet)	MAC アドレス (6 octets)	MAC アドレス (6 octets)	
Bits:8	2 1 8	← TLV データ →									1	
TLV ヘッダ												

図 5. MAC アドレステーブル情報を格納する TLV

Fig. 5. TLV of MAC forwarding table.

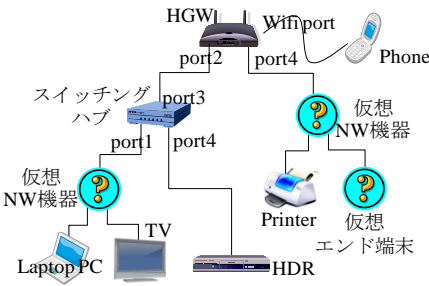


図 6. NW 完全マップ例

Fig. 6. An Example of Full Topology.

により機器情報を取得できないが、機器名特定技術 [17]との併用により、HTIP-Manager は、このエンド端末の区分を把握し、アイコンを割り当て可能となる。把握できない場合でも、少なくとも、MAC アドレステーブルから、そのエンド端末の存在を把握できるため、NW マップ上に仮想エンド端末として「？」のアイコンを表示することが可能になる。

他方、HTIP 非搭載の NW 機器においては、自発的にパケットやフレームを送信しないため、この HTIP 非搭載の NW 機器の MAC アドレスは、他の HTIP-NW 機器の MAC アドレステーブルに記憶されない。これより、この HTIP 非搭載の NW 機器の存在を把握できない。そこで、ある HTIP-NW 機器の、ある一つの LAN ポート端子配下に他の HTIP-NW 機器がなく、かつ、そのポートに複数の MAC アドレスが記憶されている場合、一つの LAN ポート端子に複数の端末が直接接続されることはないため、必ず一つの NW 機器が存在すると考えられる。これより、HTIP 非搭載 NW 機器の存在が推定できる。以上より、HTIP 非搭載 NW 機器の存在を把握可能であり、図 6 では、マップ図に「？」のアイコンとして描画している。しかし、接続されている HTIP 非搭載 NW 機器の正確な台数や構成を把握できない。

現状、ホーム NW 内に接続されるエンド端末の数はまだ多くなく、HTIP 非搭載 NW 機器が多段に接続されているケースは非常に稀であると考えられるため、この推測方式は、現状の運用に耐えられると考えられる。

3.6 HTIP の NW 負荷の理論計算

本章では、HTIP の LAN 内通信量の理論計算を行い、一般的なホーム NW における利用可能通信帯域と比較することにより、他 NW サービスに影響を与えない、軽量プロトコルであることを示す [18]。HTIP の NW 負荷を検討する

ため、ホーム NW を、根ノードがホームゲートウェイ (以下、HGW) である木構造にモデル化する (図 7)。

- 内部ノードは全て HTIP-NW 機器であり、葉ノード

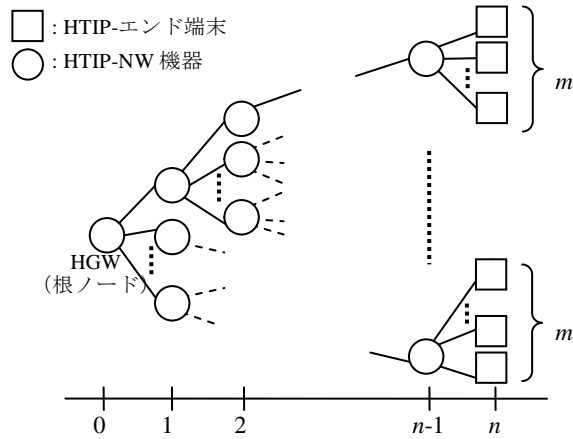


図 7. ホーム NW モデル

Fig. 7. An Home NW Model.

は全て HTIP-エンド端末とする。

- HGW 以下, $n-1$ 段だけ HTIP-NW 機器が接続され, NW 機器における分岐数は全て m とする。

UPnP は要求時にのみ応答するプロトコルである一方で, LLDP は定期的にフレームをブロードキャストするプロトコルである。これより, HTIP の通信量は, 主に LLDP が大部分を占めるため, 定期的に送信される LLDP の NW 負荷に焦点を当て, HTIP 全体の NW 負荷を検討する。以下では, HTIP-NW 機器が LLDP フレームを送信する間隔を, 全て t 秒間隔とする。以下では, HGW と HTIP-NW 機器が送信する LLDP フレームサイズの合計を求め, それを t で割ることで, ホーム NW 内に送信されるトラフィック量を求める。

まずは, HTIP-NW 機器が送信するフレームサイズの合計を求める。この合計は, 1 台の HTIP-NW 機器が送信するフレームサイズに, HTIP-NW 機器の台数を掛け合わせて求めることができる。HTIP-NW 機器の台数は, i 段目に位置する端末の総数が m^i であるため, $\sum_{i=1}^{n-1} m^i$ となる。一方, 1 台の HTIP-NW 機器が送信するフレームのサイズは, 接続台数によってサイズが変化しない部分 (図 2 の X 部分) と, 変化する部分 (図 2 の Y 部分) に分離し, それぞれ求める。

接続台数により変化する部分は, MAC アドレステーブル TLV 部であり, この TLV はポート数だけ存在する。 i 段目における HTIP-NW 機器のエンド端末側 (木構造の下側) の一つのポートに記憶される MAC アドレスの数は, $\sum_{k=i}^n m^{n-k}$ であり, HGW 側 (木構造の上側) のポートに記憶される MAC アドレスの数は, LAN 内の全端末数から, この NW 機器における木構造の下側の端末の総数を引けば良いため, $\sum_{k=n-i+1}^n m^k (= \sum_{k=0}^n m^k - m \sum_{k=i}^n m^{(n-k)} - 1)$ となる。

これより, 1 台の HTIP-NW 機器が送信するフレームの Y 部 (図 2) は, MAC アドレス部以外を 11 octets (図 5 の p, q とともに 1) とすると, $m(11 + 6 \sum_{k=i}^n m^{(n-k)}) + (11 + 6 \sum_{k=n-i+1}^n m^k)$ となるため, HTIP-NW 機器が送信するフレ

ームサイズの合計は, $\sum_{i=1}^{n-1} m^i \times (X + Y)$ となる。同様に, NW 構成の頂点である HGW は, 他の HTIP-NW 機器と異なり, 隣接ノードは m 個のため, フレームサイズは, $X + m \times (11 + 6 \sum_{k=0}^{n-1} m^{(n-k)})$ となる。

ホーム NW 内での最大の NW 負荷を検討するため, ホーム NW 内に接続できる最大の数のエンド端末と NW 機器が接続された状況を想定する。ホーム NW はクラス C が一般的であり, このとき, エンド端末は, 最大 254 台接続できる。また, NW 機器を最少の分岐 ($m=2$) で利用した場合, NW 機器の数が最大になる。本モデルでは, 8 段接続すれば, エンド端末を 256 ($=2^8$) 台接続でき, 余りある状況となる。以上より, 最大負荷を検討するため, $n=8, t=120$ (s) (802.1AB 推奨値) に設定し, X を, ある機器情報を想定し, 98 octets として式に代入すると, ホーム NW 内の LLDP トラフィックは, 56 kbps 程度となる。

ホーム NW は, 有線や無線メディアが多く用いられる。これらのメディアでは 1 Mbps 程度の帯域が確保できる。一方, エンド端末が 254 台接続されるような, 想定できる最も厳しい環境においても, HTIP のトラフィックは 100 kbps 以下であるため, HTIP は, 他 NW サービスへ影響を与えない, 軽量プロトコルであると判断できる。

4. HTIP を活用したオペレータ向け不具合診断ツールへの適用

HTIP を利用して, HTIP-Manager はホーム NW のマップと各端末の接続性を特定可能になる。本章では, 不具合の発生箇所を切り分けるツールへの, ホーム NW マップの適用手法を述べ, ホーム NW マップの有用性を記述する。以下, HGW に HTIP-Manager が搭載され, 遠隔の通信事業者のサポートセンタから, HTIP-Manager が取得・構築した情報を取得可能であるとする。

4.1 HTIP-Manager におけるホーム NW マップの履歴収集

エンド端末において, あるタイミングで UTP ケーブルが外れてしまったために, NW サービスに不具合が発生することがある。このとき, HTIP-Manager にて, HTIP 情報を収集して, 即時的にホーム NW マップを特定したとしても, UTP ケーブルが抜けてしまったエンド端末から機器情報を取得できないため, このエンド端末は, ホーム NW マップ上に表示されない。

上記事業に対応するため, HTIP-Manager は HTIP を利用して, 定期的に機器情報・リンク情報を収集し, ホーム NW マップを定期的に構築・保存することが必要となる。以下では, このエンド端末・NW 機器全てが含まれた NW マップを, 「NW 完全マップ」と呼ぶ。HTIP-Manager で, HTIP を利用して NW マップを構築するたびに, 定期的に生成した NW マップと, この NW 完全マップとの差分を毎回確認し, 新規にエンド端末が接続されていた場合は, NW 完全マップ上にエンド端末を追加する。一方で, あるタイミン

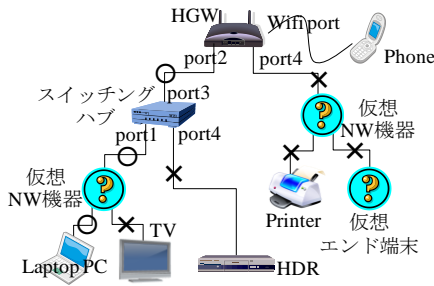


図 8. NW 完全マップに接続検査を追記した例

Fig. 8. An Example of Full Topology with Connectivity Information.

のマッピングによる断線箇所の特定

HGW 内の HTIP-Manager から、NW 完全マップにおける、ホーム NW 内の各エンド端末と HTIP-NW 機器に対して、接続検査を行う。次に、この接続検査の結果を、NW 完全マップ上に追記していく。図 6 は、HTIP-Manager が動作しているエンド端末 (図 6 における PC) から、ホーム NW 内の各エンド端末・HTIP-NW 機器に対して接続状況を検査し、結果を追記した例である。

ホーム NW マップへの接続検査結果の追記手法は以下である。まず HTIP-Manager が動作している HGW から、接続確認できたエンド端末・HTIP-NW 機器全てに対して、HGW とその端末間の全リンクに「○」を付ける。つまり、あるエンド端末に対して、HGW から接続性を確認できたとき、HGW とそのエンド端末間の接続経路上の全リンクに「○」を付ける。次に、接続性を確認できなかったエンド端末と HTIP-NW 機器全てに対して、上記と同様に接続経路上の全リンクに「×」を付けていく。このとき、既に「○」が付いているリンクに関しては、「×」を上書きしない。

接続性の検査結果を記入した NW 完全マップにおいて、不具合が発生しているエンド端末と HGW 間の接続経路上で、「×」のリンクが存在した場合、「○」のリンクから「×」のリンクに変わった位置を断線箇所と判定できる (図 8 で、不具合発生端末が HDR のとき、断線箇所は、スイッチングハブと HDR 間のリンク)。

4.3 ユーザインタラクションによる詳細切り分け

次に、この断線箇所の原因に対して、ユーザとのインタ

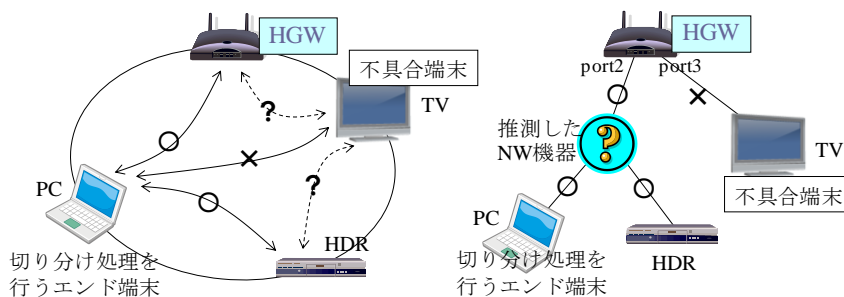


図 9. ホーム NW マップの有無による、切り分け精度の違い。

Fig. 9. An Example of Result of Connectivity Test Both using HTIP and not using HTIP.

グで、NW 完全マップ上の、あるエンド端末への接続性が確認できなかったとしても、このエンド端末を NW 完全マップ上から削除しない。

4.2 NW 完全マップへの接続検査結果

アクションを行って、詳細に切り分けていく。この断線箇所の両端の LAN ポート端子のケーブル結線状況と、両端の端末の電源が ON の状態になっていることをユーザに確認させる。この作業で、問題が解決した場合、不具合の発生原因は、接続状態の異常だったと診断できる。この作業でも問題が解決しない場合、もしくは、ケーブルの抜けもなく、電源も正常に ON になっていた場合は、接続経路上で、「×」のリンクの両端にあるエンド端末、もしくは、NW 機器を再起動させることを指示する。この作業を行い、オペレータから再度接続検査を行い、接続が確認できた場合は、再起動したエンド端末や NW 機器の内部異常だったと判断できる。接続を確認できない場合は、通信路の異常か、断線箇所の両端の端末の故障が原因である。これより、ユーザにケーブルの交換か、無線の場合は設定状況や距離を近づけてもらう等の措置を講じてもらう。さらに、問題が解決できない場合は、断線箇所両端の端末のどちらかが故障したと疑われるため、端末のメーカーへ問合せを行うよう、ユーザへ指示する。

以上のように、定期的に更新する NW マップと、即時的に確認した接続結果からホーム NW 内の断線ポイントを把握し、オペレータとインタラクションすることで、不具合を解決することが可能となる。

4.4 不具合診断ツールへの適用で見たマップの有用性

NW 完全マップを用いて、各 NW 機器・エンド端末に対して、接続確認を行うことで、HTIP を搭載していない NW 機器が存在した場合においても、断線箇所を容易に特定可能になる。従来から、ホーム NW 内で切り分け処理を行うエンド端末から、他のエンド端末に対して、接続確認を行うことはできた (図 9 左「○」「×」部) が、任意の二つの端末間の接続性を把握することはできなかった (図 8 左「？」部)。ホーム NW マップを利用することで、任意の二点間の接続性を把握可能なため、PC 等の任意の端末で切り分けが可能となる。これより、任意の端末から、ホーム NW 内の断線箇所を把握する上で、ホーム NW マップは非常に効果を発揮する。

4.5 事業者において本診断ツールを適用したときの効果検討

本章で、診断ツールをサポートセンタへ適用した際の、効果について検討する。図 10 は、ある通信機器取り扱い相談センタへの、ある不具合問い合わせの全会話を録音し、その発話を分析した結果である。不具合の対応は、ユーザが直面している不具合を把握し、そのあと不具合発生箇所を切り分けていき、解決法を指示する、というフェーズに分けることができる。図 10 の円グラフは、フェーズ毎の発話文字数を

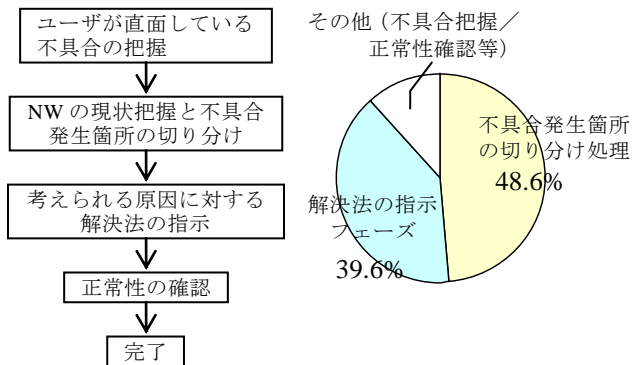


図 10. サポートセンタにおける問い合わせ対応処理の各フェーズと発話数の内訳

Fig 10. The Rates of Subitems for each Diagnostics Phases on The Support Center.

カウントし、オペレータとユーザ間でやり取りされた全体の発話文字数を 100%として、内訳を示した図である。図 9 における、相談センタへの不具合問合せの対応時間の平均は、約 40 分程度である。切り分け処理のためにやり取りされた発話数が全体の 48.6%を占めることから、切り分け作業に約 20 分程度費やしていることになる。これは、ユーザから問い合わせを受けたサポートセンタでは、ホーム NW のマップを把握できず、ユーザにエンド端末から HGW までの結線状況をたどって、断線箇所を確認してもらうためである。

HTIP と本診断ツールによって、図 10 の切り分けフェーズの部分を実験的に分析可能になると考えられ、対応時間の大幅な削減が期待できると考えられる。

5. 将来課題～切り分け後の対応・不具合監視

本論文では、不具合の発生箇所を切り分ける手法について記述してきた。しかし、ユーザサポートを充実させるためには、不具合発生箇所を切り分け、原因箇所を特定した後は、自動で復旧することが望まれる。LAN ケーブルの抜け等は、ユーザに補助してもらう必要があるが、設定ミス等の不具合に対する再設定、端末異常に対する再起動・設定初期化、ファームアップ等を NW 経由で行うことで、ユーザの利便性が向上すると考えられる。また、不具合が発生したことを自動で検知できれば、ユーザが不具合に気付く前に自動復旧することも可能になる。これより、端末の状況を常時監視することも望まれる。

遠隔から端末を管理するプロトコルとして、UPnP Device Management (以下、UPnP DM) [19]がある。UPnP DM では、ホーム NW 内に接続される端末に対して、再設定や、再起動、ファームアップ等の管理が可能となる。このプロトコルと切り分け手法を併用することで、不具合発生箇所の切り分けから、不具合の対応まで可能になると考えられる。2011 年時点で、UPnP DM の実装した市販端末は存在しないが、今後情報家電等への搭載を普及させることで、ユーザサポートシステムの充実を図っていきたい。

6. むすび

本稿では、ホーム NW マップを特定するプロトコル HTIP の設計内容について説明した。そして、不具合の発生箇所を切り分けるツールへホーム NW マップを適用し、その有用性を確認した。また、HTIP の普及を目的に、国内・国際標準化を進めた。

本技術を利用することで、サポートセンタにおいて、ユーザとの対話時間を削減することが期待でき、サポートセンタのコスト削減、ユーザ満足度の向上等の効果が期待できる。今後、存在を推測した NW 機器と不具合切り分けへの影響の考察や、実際の不具合発生状況と照らし合わせて、切り分け可能なカバー率等を調査していきたい。また、今後、ユーザサポートシステムの実現に向けて、HTIP、UPnP-DM の普及を目指していく。

参考文献

- 1) Mihara, Y. et al.: "Designing HTIP: Home Network Topology Identifying Protocol", 2011 IEEE International Conference on Communications (ICC), pp.1-6, 2011.
- 2) TTC JJ-300.00: "HTIP: Home network Topology Identifying Protocol", Feb. 2011.
- 3) TTC JJ-300.01: "The List of Device Category", Sep. 2011.
- 4) ITU-T G.9973: "Protocol for identifying home network topology", Dec. 2011. <http://www.itu.int/rec/T-REC-G.9973-201110-P>
- 5) ISO/IEC 29341-1: "Information technology – UPnP Device Architecture – Part 1: UPnP Device Architecture Version 1.0", Edition 1.0, December 2008.
- 6) Microsoft: "NetBIOS over TCP/IP Name Resolution and WINS", <http://support.microsoft.com/kb/119493/en-us?fr=1>
- 7) J. Case et al.: RFC1157, "Simple Network Management Protocol", Internet Engineering Task Force (IETF), September 1990.
- 8) Y. Breitbart et al.: "Topology Discovery in Heterogeneous IP Networks: The NetInventory System", IEEE/ACM Transactions on Networking, Vol. 12, No. 3, June 2004.
- 9) S. Pandey et al.: "IP network topology discovery using SNMP", Proc. of the international conference on Information Networking, pp.33-37, 2009.
- 10) G. Mansfield et al.: "Techniques for automated Network Map Generation using SNMP", Proc. of International Conference on Computer Communications, pp.473-480, 1996.
- 11) K. McCloghrie.: RFC 1213, "Management Information Base for Network Management of TCP/IP-based internets: MIB-II", Internet Engineering Task Force, Mar. 1991.
- 12) IEEE: "802.1AB-2009: Local and Metropolitan Area Networks – Station and Media Access Control Connectivity Discovery" (LLDP), Sep. 2009.
- 13) UPnP Forum: "Internet Gateway Device (IGD) V 2.0", Dec. 2010. <http://upnp.org/specs/gw/igd2/>
- 14) Digital Living Network Alliance. <http://www.dlna.org/retail/home>
- 15) IEEE: "802.3-2008, Part 3: CSMA/ CD Access Method and Physical Layer Specifications", Dec. 2008.
- 16) J. Postel: RFC 792, "INTERNET CONTROL MESSAGE PROTOCOL", Internet Engineering Task Force, Sep. 1981.
- 17) 美原, 他.: "ネットワーク接続機器の機器名特定システムの開発", CDS トランザクション, Vol. xx, No. y, xx 2012.
- 18) 美原, 他.: "HTIP 利用時における LAN 内ネットワーク負荷の検討", 情報処理学会第 74 回全国大会, 3E-5, pp.77-78, 2012.
- 19) UPnP Forum: "Device Management (DM) V1.0", July 2010. <http://upnp.org/specs/dm/dm1/>