

ユビキタス環境におけるパーソナルネットワークとパーソナルサービスソフトウェア構成法の研究（継続）

高 見 一 正 創価大学工学部情報システム工学科教授

1 はじめに

ユビキタス環境が整った生活の中では、家庭の内外を問わず、さまざまな機器がネットワークに組み込まれることが予想される。将来は、普段は広告のために使われているような街中の大型モニタ、市街地やビル内に設置されている防犯・安心の監視のためのネットワークカメラ（例えば、交通トラフィック監視、他で利用されているもの）、可視光通信機能を備えた信号機などの公共および企業の機器も、必要に応じて自分のための通信あるいは表示のための装置であるかのように操作可能になる。また RFID (Radio Frequency Identification) タグ等が付与されたモノの情報を無線により容易かつ安全に読み取れると真のユビキタス環境が達成され、ユビキタスサービスの利便性がよりいっそう向上すると考えられる。

このような広域環境において個人を中心としたユビキタスサービスを構築するためには、0～10m 程度の短距離エリア (pico 空間) に閉じたパーソナルエリアネットワーク (PAN) では十分ではなく、広域網を介して柔軟に拡大できるパーソナルネットワークが構成できれば、より容易かつ安全に個人対応のサービスが提供できる。一方、モバイル端末を使って移動して、一時的に訪れた先々に存在するローカルデバイスとその場でネットワークを構築するような技術の研究 [1]～[5] が盛んに行われている。同時に端末も性能が飛躍的に向上し、多様な目的への応用が可能になってきている。しかしこのような便利で自由度の高い技術やサービスが展開される一方で、システムの複雑化によってユーザへの負担が増加し、技術者でも満足にサービスを享受できないことがある。

本研究ではこれらを踏まえ、携帯端末に対し常にユーザに寄り添う形でサービスを提供する Personal Agent (PA) と Home PAN 及び Visited PAN の各拠点に存在するエージェントからなる Mobile IPv6 に基づくパーソナルネットワーク構成法を提案する。また、ユーザが在圏する LAN 内に存在するデバイスを Visited PAN に組み込み、入出力機器として利用するための直感的なデバイス選択法として RFID を利用した Touch&Select 方式を提案する。2 章では提案するパーソナルネットワークの構成の概要とサービス例について示す。3 章では、Mobile IPv6 に基づく P2P-VPN 型 [6] の PN 構成法とその監視プロトコルを示す。4 章では、PAN において直感的なデバイス選択を実現するための RFID を利用した Touch&Select 方式を述べ、Touch&Share システムと Touch&Print システムの具体例を示す。5 章では、試作実験とシミュレーションによる評価を示す。

2 パーソナルネットワークの構成

身の回りに存在するデバイスを接続し、その場で形成された個人用のネットワークが Personal Area Network (PAN) であり、特にユーザが主だって利用する PAN を Home PAN (HPAN)、その他の一時的に訪れて場所で形成した PAN を Visited PAN (VPAN) と呼ぶ。また、HPAN と複数の VPAN を広域ネットワーク上にオーバーレイ接続した論理的なネットワークを Personal Network (PN) [3] と定義する。PN は個人が携帯する端末に実装された Personal Agent (PA) と各拠点に分散したエージェントにより構成される。ユーザがネットワークを通じて通信する際、そのインターフェースとしてその場のデバイスを自分の PN に接続することで環境をパーソナル化し、かつ API を共通化することで柔軟かつシームレスなサービスを提供する。

ユビキタスパーソナルサービスの例を図 1 に示す。ユーザは教室に設置されているネットワークカメラと大型ディスプレイを PAN に組み込み、カフェにいる友人と映像通信する。その友人もカフェ内のネットワークカメラやディスプレイを PAN に組み込んでいる。ユーザとその友人はそれぞれの HPAN と接続して PN を構成し相互の認証とセキュアな通信環境を構成する。

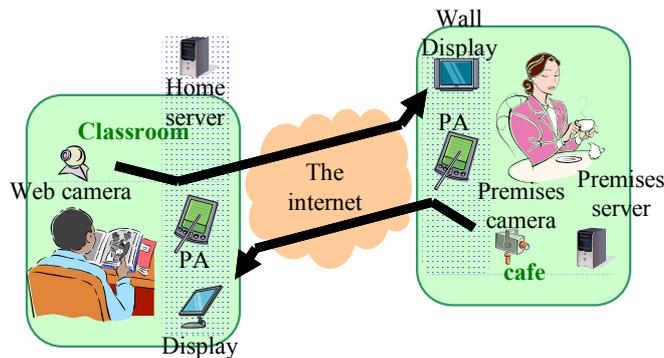


図1 ユビキタスパーソナルサービスの例

3 PN 構成法と監視プロトコル

セキュアなパーソナルネットワーク構成法の要求条件としては、(a) Visited PAN の主体であるパーソナルエージェント (PA) の移動性、(b) PN の動的な設定と解消、(c) 拠点が異なる複数の PN の同時設定、(d) PN のセキュリティ確保、を実現する必要がある。このような要求条件を達成するため、図2に示す MobileIPv6 ネットワークを基本とする。PA のホームエージェント (HA) をホームネットワークに配置し、常に PA の最新 IP アドレスを保持し、HA と PA 間は IPsec によるトンネル T1 を形成する。会社等の LAN 内に存在する Correspondent Agent (CA) から PA へのアクセス時は、まず HA 経由で行い、PA と CA 間で相互認証が正常であれば、経路最適化手順に従い、PA と CA 間で直接通信のための経路を確立する。また、同時に HA-CA 間、PA-CA 間に IPsec による P2P-VPN 型トンネル T2、T3 をそれぞれ形成し、T1-T2-T3 を一時的なリングネットワーク、即ち PN として構成管理する。更に、PN 利用終了時又は PA の所在不明、経路の障害等の状況を検出して、T1-T2-T3 の構成を解除する。このような PN 構成管理を実現するために、PN 設定契機と解除契機を監視し、PN 構成を管理する機能が必要になる。PN 設定契機は PA-CA 間で経路最適化手順が実行された時とし、解除契機は PA-CA 間の経路が不要になった時及び PN 管理機構が障害を検出した時とする。PN 管理機構は PN 内に監視パケットを巡回させ、監視パケットを各ノード (PA、HA、CA) が受信すると各上位のノードに確認パケットを返信し、各区間のトンネルと PN の状況を把握する仕組みを提供する。また、このような PN は図3に示すような拠点が異なる複数の PN の同時設定を可能とし、通信拠点毎の独立性とセキュリティの保持が可能となる。

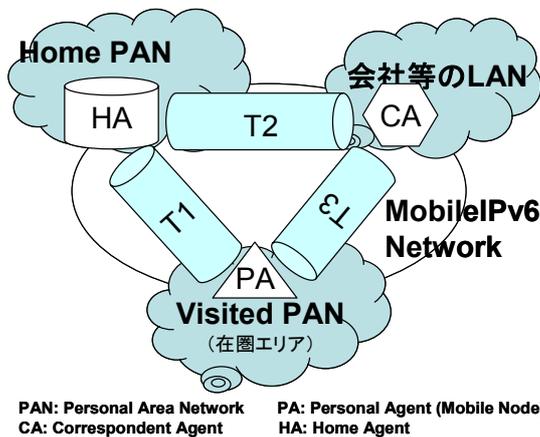


図2 区間 Tunnel の動的な結合による PN 実現法

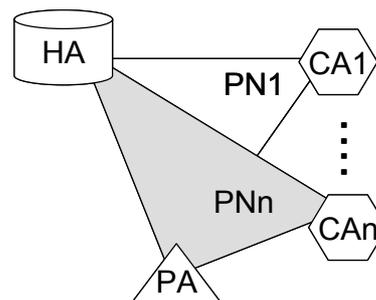


図3 複数の独立な PN 構成例

本稿では特に PN 管理機構における単一の PN の監視プロトコルについて具体的に提案する。PN はその構成の要となり、処理性能の観点からも十分な配分が可能な HA によって運用・管理されることが好ましい。このことから、HA は最初に監視要求メッセージを送信し、PN を監視するノードとして機能する。あるノード (親ノード) から送信された監視要求メッセージが次のノード (子ノード) に届くと、子ノードはさらに次のノードに監視要求メッセージを送信しつつ、親ノードに対して監視応答メッセージを返す。このとき、監視応答メッセージが親ノードに届かないと、親ノードは一定時間後に監視要求メッセージの再送信を行う。この再送信までの時間をリンク間タイムアウト T.O.Link、再送を行う回数の上限を M と定義する。M

回の再送を行っても監視応答メッセージが返ってこない場合、そのリンクは切断されたものとみなす。これにより、各リンクの生存確認を行う。さらにこれを繰り返し、HA に監視要求メッセージが届くことでメッセージの巡回を確認し、リングの生存確認を行う。このときのタイムアウト時間としては、各リンクの最大遅延が $T.O.Link \times (1+M)$ となるので、三つのリンクの総和の値を設定することでリングの理論上の最大遅延が規定できる。また、以上の機能によりリンクとリングの切断は検知できるが、HA が関与しないリンクに関してどこが切断したかという、切断箇所を知ることができない。このため本プロトコルでは HA が切断箇所を知るための機能として、切断を検知したノードが親ノードに対して、通常とは逆周りに異常報告メッセージを巡回させるという手法をとっている。以上で説明した管理プロトコルのメッセージシーケンスを図 4 に示す。

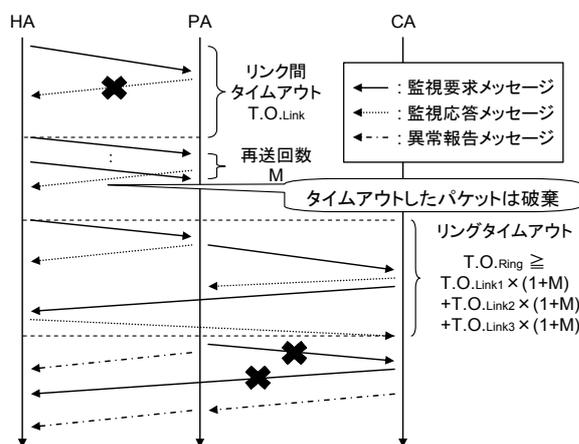


図 4 PN 監視プロトコルのシーケンス。

4 Touch&Select 方式によるデバイス選択

Touch&Select 方式は図 5 に示すように、個々のデバイスにそのデバイス自身のアクセスに必要なデータを書き込んだ RFID タグを貼り付け、そのデータをタグリーダで読むことで直感的にデバイスを識別・選択できる手法である。また、デバイスに関する情報がデバイス自身に貼付されているので、一時的に訪れたオフィスにおけるネットワークアドレスなどの環境情報を簡単に取得できるので、初めてデバイスを利用する際にも特に問題なく活用することが可能である。

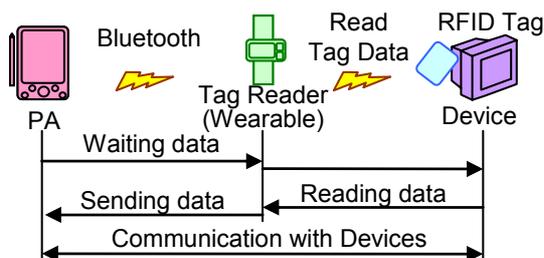


図 5 Touch&Select 手法によるデバイス選択

本研究では Touch&Select 方式を利用した具体的なサービスとしてファイル転送補助を行う Touch&Share システムや、印刷補助を行う Touch&Print システム、買い物補助を行う Touch&Pay システム、デバイスの入出力を切り替える Touch&Switch システムなどへの適用が可能である。本稿においては特に Touch&Share システムと Touch&Print システムの実現方式を提案し、試作した。

4-1 Touch&Share システム

本システムはコンピュータシステムを扱う上で必要不可欠な操作であるコンピュータ間のファイル移動を移動先の端末を触るようにして指定できる。Touch&Share システムの構成を図 6 に、動作ステップを以下に示す。図 6 では移動もとのファイルを保持する携帯端末の PA を PA1 とし、ファイルの移動先の端末に存在する PA を PA2 としている。

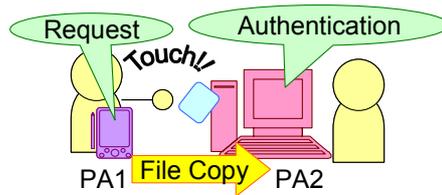


図6 Touch&Share システム構成

- Step1 : PA1 で送信ファイル選択し、PA2 では保存フォルダ選択・受信待ち受け開始
- Step2 : PA1 は PA2 に貼付されているタグからウェアラブルタグリーダを起動してデータ読込
- Step3 : PA1 からファイル概要データ送信し、PA2 はファイル概要データ受信・受信可否選択
- Step4 : PA2 が受信を許可したことを確認して、PA1 からファイルを送信。

2 台の PC を使って試作した Touch&Share システムの GUI を図 7、8 に示す。Touch&Share システムはファイルを送信する PA1 をクライアント、ファイルを受信する PA2 をサーバとする、Windows 上で動作するアプリケーションである。サーバは送信するファイルのあるフォルダを、クライアントは受信するフォルダを画面上部の Browse ボタンを押してフォルダ選択ウィンドウで指示する。手順の簡略化のためクライアントはファイルの選択を引数で受け付けており、ファイルを引数として渡すとそのファイルを選択した状態で起動させることができる。起動後はタグを読み込むために画面下部の Reader Connect ボタンを押すことでタグリーダ設定ウィンドウを開き、正しい設定を終えるとタグリーダと接続することができる。その後、タグリーダをタグに近づけた状態で Send File ボタンを押すことでタグからデータを読み出し、ファイルを送信することができる。サーバは起動後、画面中央の Start ボタンを押すことでクライアントからの要求を待ち受け始める。また、サービス開始時やファイル受信時には画面下部にログが表示される。



図7 Touch&Share クライアント



図8 Touch&Share サーバ

4-2 Touch&Print システム

一時的に訪れたオフィスでは、プリンタの配置やパソコンの接続状態がわかりにくい。また、ネットワークの設定やドライバがない場合はインストールしないとイケないなど、手間がかかる。そこで、PAN を構成し、出力プリンタに貼られた RFID タグに手を触れることで、Wearable RFID tag リーダが情報を読み込み、そのプリンタから出力できる。Touch & Print システムの構成を図9、利用シーケンスを図10に示し、利用手順を以下にまとめる。なお、試作したシステムにはプリンタドライバの取得とインストールは実装されていない。

- (1) Touch&Print 機能を起動し、起動画面を確認する。
- (2) 印刷ファイルを選択し、起動画面の中の「Touch & Print」 ボタンを押す。
- (3) 出力プリンタの位置まで移動する。
- (4) プリンタに貼ってあるタグを読み込む。
- (5) 印刷ボタンを押し、出力する。

(6)出力されたら、Touch & Print 起動画面を閉じる。

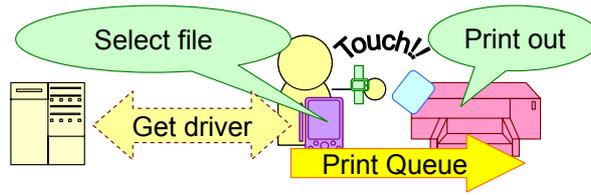


図9 Touch&Print システム構成

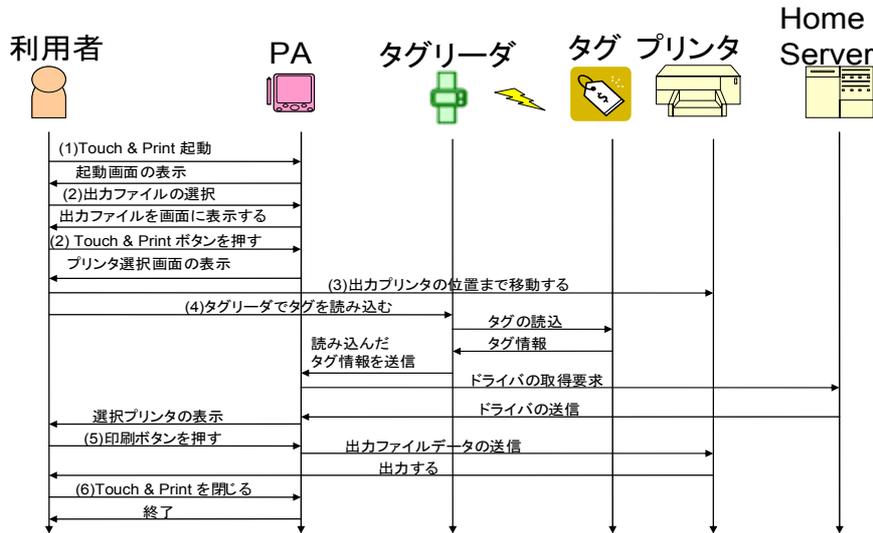


図10 Touch&Print 利用シーケンス

5 評価

5-1 PN 監視プロトコル

提案プロトコルをネットワークシミュレータ OPNET において実装し、プロトコルの動作とリンク間タイムアウト T.O.Link、再送回数上限 M、パケット廃棄率を変化させた場合のリングタイムアウト検出時間との関係を検証した。シミュレーションモデルを図11に示す。

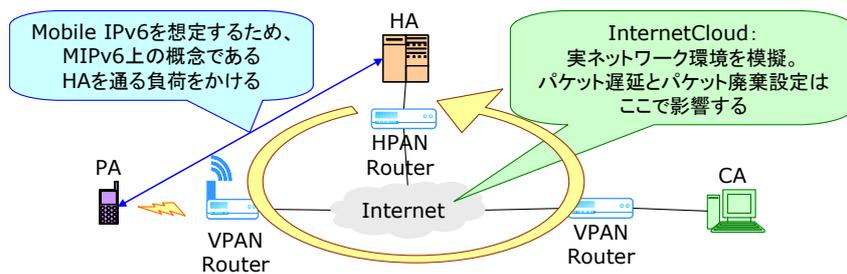


図11 シミュレーションモデル

シミュレーション条件は HA-PA 間のリンク速度は無線通信を含め 1.5Mbps とし、Mobile IPv6 でのハンドオーバー処理等を考慮してリンク速度の 2 割程度の負荷を発生させた。また、ネットワーク全体に負荷として一様分布で 0.01~0.5sec のパケット遅延を発生させた。また、リングタイムアウトの値として 12sec を設定した。これは 1 リンクあたり 1 秒毎に再送 3 回とすると 4 秒となり、3 つのリンクでは 12 秒となるからである。HA→PA→CA の順に監視パケットを 10 分間巡回させ、周回遅延を測定した。

T.O.Link、M、パケット廃棄率を変化させたときのリング周回遅延を図12に示す。図12の各グラフはリングを一周するのにかかった時間とパケット廃棄率との関係で示している。負荷が重くなりパケット廃棄率が

高くなるほどリンク遅延が長くなり、同時に PN 監視のためのリングタイムアウト値も長くしなければならないことがわかる。図 12 ではパケット廃棄率が 1%まではおよそ 1 秒、それ以上の場合には 2 秒程度までならリングタイムアウトの値を下げるができることがわかる。提案プロトコルでは T.0.Link、M の値を選択することにより様々な PN 障害検出精度を実現できる。しかし、具体的なリングタイムアウト値は、瞬断のような誤検知が多数発生しては困るので、利用するアプリケーションやネットワーク環境を考慮して決定する必要がある。

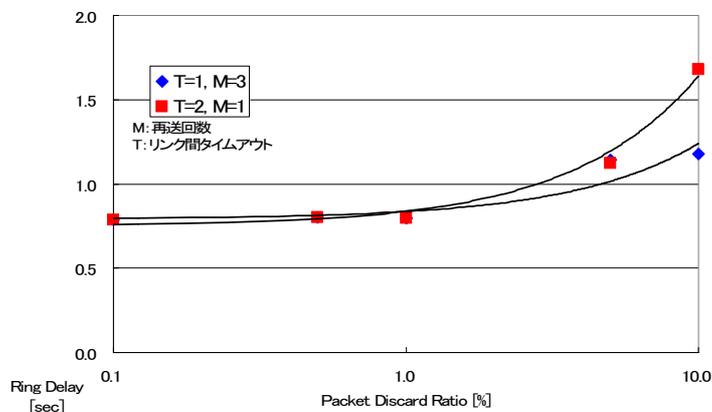


図 12 監視パケットのリング周回遅延

5-2 Touch&Share システムによる比較実験

提案システムとファイルのネットワーク共有 (NW 共有)、USB メモリを用いる三つの手法で隣り合ったコンピュータ間のファイルコピーを行う実験を行った。このとき、各手法において自由な手順でファイルのコピーを行う自由手順実験と、各手法の詳細な手順を指定した上でファイルのコピーを行う所定手順実験という 2 種類の実験を行った。これらの実験により、自由手順実験からは各手法の普及度合いと難易度を、所定手順実験からは各手法の純粋な所要時間を計測した。実験環境として、PA に見立てた PC を 2 台、ルータ、RFID タグ、ウェアラブルタグリーダを使用した。図 13 に実験時の各機器の構成を示す。

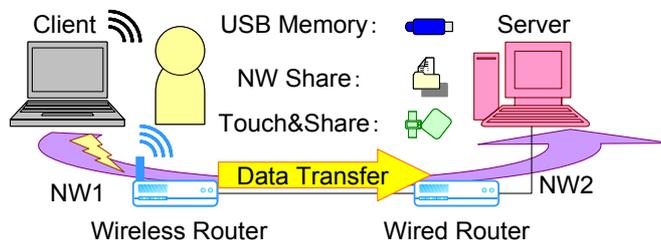


図 13 Touch&Share システム比較実験環境

2 台の PC はルータによって別のネットワークとして接続、PA1 に Touch&Share クライアント、PA2 に Touch&Share サーバと PA2 のデバイスデータが入った RFID タグを貼付した。

各手法の利用手順の詳細を表 1 に示す。

表 1 各手法の具体的な利用手順

USBメモリ	ネットワーク共有	Touch&Share
1. マシン1USB接続	1. 移動元フォルダ開く	1. サーバ起動完了
2. 移動元フォルダ開く	2. 移動先親フォルダ開く	2. 転送元フォルダ開く
3. USBへコピー	3. 共有設定	3. アプリ起動完了
4. USB抜く	4. 移動先フォルダ開く	4. コピー完了
5. マシン2USB接続	5. コピー完了	
6. 移動先フォルダ開く		
7. コピー完了		

各手順の粒度に関しては、パソコン上での操作は目的のフォルダを開くまでを一手順、アプリケーションは単一目的を達成する操作を一手順とし、物理的な動作はパソコンに効果を及ぼす動きを一手順とする。図 14 に学生 15 名にて行った評価実験における所要時間の比較を示す。

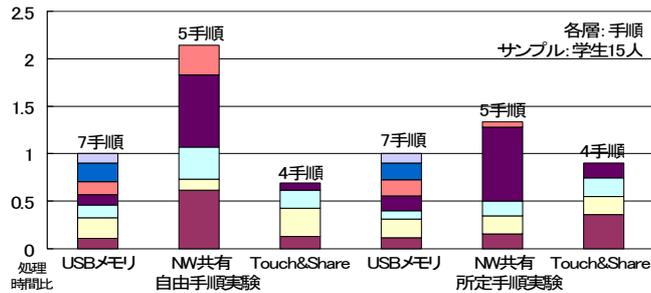


図 14 各手法の所要時間の比較

図左が自由手順実験、右が所定手順実験による各手法の処理時間対比である。それぞれの実験結果の USB メモリの所要時間を 1 と置いたときの他手法の所要時間比を示している。図 14 より、提案システムは USB メモリに比べて約 0.7~0.9 倍、NW 共有に比べて約 0.3~0.7 倍の所要時間でファイルのコピーを完了している。このことから、USB メモリに対して 10~30%、NW 共有に対して 30~70%の時間短縮ができた。

図 15 に各手法における手順指示の有無における比較のグラフを示す。

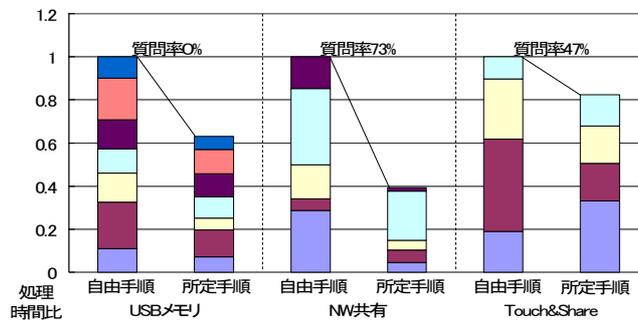


図 15 手順指定の有無による所要時間の比較

図 15 では各手法別に、自由手順実験と所定手順実験の結果を比較している。各手法のグラフ上部にある質問率は、その手法の自由手順実験を行った際に被験者がその手順について質問をした率である。図 15 より、Touch&Share 手法は他の手法に比べて自由手順と所定手順においてほとんど差がないことがわかる。これは手順を指示せずとも直感的に操作が行えたためと考えられる。また、質問率としてほぼ半分の被験者が質問を行っているが、他の手法に比べて時間がかかっていないことがわかる。これはそれぞれの質問内容が簡単で、説明にも時間がかかっていないからである。

また各手法の特徴の観点から考察すると、USB メモリに対しては手順の少なさと扱えるデータの容量の面で優れている。NW 共有は必要な知識や制限が多く、実験において設定を完全に行えた人も少なかった。これに対して Touch&Share システムはユーザに必要な操作が単純で少なく、NW 共有のような制限もないことから利用容易性で優れていると考えられる。

5-3 Touch&Print システムによる比較実験

試作した Touch&Print システム利用による印刷と従来手法による印刷の実技実験を併せて行い、所要時間、手順数、特徴などから Touch&Print システムの優位性について考察した。実験では、図 16 に示すようにプリンタ 4 台の内 2 台ずつを別々の部屋に配置した実験環境で試作したプログラムを用いたときと従来のやり方との比較実験を行った。学生 19 人による利用実験より、利用時間から提案方式の利便性について評価した。以下に実験内容を示す。

実験 1 : デフォルトプリンタから出力する場合の実験

実験 2 : タッチした任意のプリンタから出力する実験

実験 1 と 2 の結果を図 17 に示す。結果から、実験 1 の場合は、既に出力プリンタが明示され比較的容易に識別できるので、従来の印刷の方が利用平均時間は、短いのがわかる。一方、実験 2 の場合は、任意のプリンタを選択しなければならないため、プリンタまで移動してプリンタの名前を確認し、PC の選択画面で改めてプリンタを指定するという従来手法より、プリンタに直接接触するようにして指定して印刷する

Touch&Print システムの方がプリンタの設定変更の手間が省けるため、かなり速く印刷することができた。

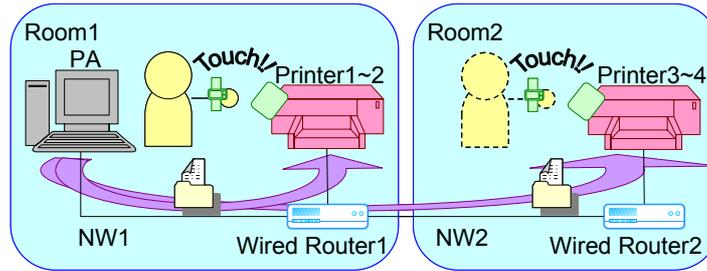


図 16 Touch&Print システム比較実験環境

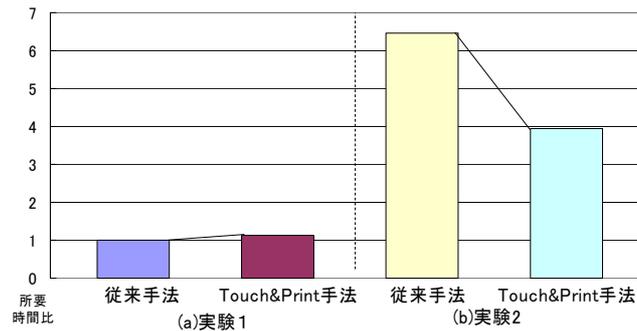


図 17 所要時間の比較

6 まとめと今後の課題

ユビキタス環境において広域でのパーソナル空間を提供するためのパーソナルネットワーク構成法と一時的訪れて環境でのデバイスの直感的な選択方法として Touch&Select 方式を提案した。PN 構成法に関しては、特に提案した PN 監視プロトコルをシミュレーションで評価し、有効性を確認した。また、Touch&Select 方式では、Touch&Share システムと Touch&Print システムを試作し、従来手法との比較を行うことで、初めて訪れた場所でも容易に且つ短時間で PAN に組み込み、デバイスを選択できることを実証した。

今後の課題として、複数の PN を構成した場合の監視機能、相互接続判定機能の明確化などが残っている。Touch&Select 方式はより広範な応用と、利便性の評価を増やす必要がある。

【参考文献】

- [1] 平井肇, 三村和, 森川博之, 青山友紀, “仮想端末グルーピング機構によるサービス指向ネットワークの実現”, 信学総大, March 2006
- [2] 越智大介, 山崎憲一, 今井和雄: "NW 支援型分散処理による移動通信のサービス継続技術: Twin Agents の実装と評価", 信学論文集, November 2005
- [3] Nico Baken, Edgar van Boven, Frank den Hartog, and Ramin Hekmat, “A Four-Tiered Hierarchy in a Converged Fixed-Mobile Architecture, Enabling Personal Networks, ” The Journal of The Communications Network, volue3 part3 98-104p, November 2004
- [4] Wajdi Louati and Djamal Zeglache : Network-Based Virtual Personal Overlay Networks Using Programmable Virtual Routers, IEEE Communications Magazine, pp.86-94, Aug. 2005.
- [5] 西ヶ谷岳, 栗田敏彦, 飯田一郎, 村上孝三, “エージェント指向ネットワークアーキテクチャ DUET の提案”, 信学論文誌, Vol. J79-B-I No.5 pp.216-225, May 1996
- [6] 八木幸太郎, 本田治, 大崎博之, 松田和浩, 今瀬眞, “サイバースサイエティを実現するリング型 P2P-VPN 技術”, 信学技報,

〈発 表 資 料〉

題 名	掲載誌・学会名等	発表年月
A Personal Agent that Supports Communication in the Ubiquitous Communication Environment	International Conference on Parallel and Distributed Processing Techniques and Applications (PDPTA 2007)	2007 年 6 月
A Word-of-mouth Information Collecting System Based on the Combined Use of Blogs and Active RFID Tags	International Conference on Intelligence in Service Delivery Networks (ICIN2007)	2007 年 11 月
PAN における Touch & Print 方式の検討	電子情報通信学会第 13 回東京支部学生研究発表会 120	2008 年 3 月
ユビキタス環境におけるパーソナルネットワーク構築法の検討	電子情報通信学会 情報ネットワーク研究会 (IN) IN2007-206	2008 年 3 月
A Method of Constructing Personal Network for Ubiquitous Personal Services	The 1st Russian Conference on Smart Spaces (ruSMART 2008)	2008 年 9 月 (予定)