

ユビキタス環境実現に向けたネットワーキング技術

青山 友紀

1 はじめに

インターネットのユーザ数の急速拡大が始まり、また自動車電話から常時持ち歩く携帯電話の普及が始まってから約10年が経過した。現在わが国のインターネットの普及率は人口の50%を突破し、携帯電話によるインターネット利用者も6千万に拡大した。このようなITサービスの普及状況は単に情報通信の量的拡大にとどまらず質的变化をもたらそうとしている。その変化はユビキタス社会の到来を告げるものである。ユビキタスという最近最もホットなキーワードによって想起される内容は人によってさまざまである。ユビキタスとは何なのか明確に特定することはきわめて難しい。本稿では、ユビキタス社会の基盤となるユビキタスネットワークの観点から、多対多通信を支援するオーバレイネットワーク技術、無線センサネットワーク技術および、センサ情報を利用してユーザのコンテキストを推定する技術に関して紹介する。

2 ユビキタス社会実現への技術課題

筆者らは、ユビキタス社会では3つのCが遍在する3C Everywhere すなわち、Computing Everywhere, Contents Everywhere, Connection Everywhere という環境を想定している。さらに仮想社会のビジョンではネットワーク上に構築された環境と物理的な実環境とは別々であったが、ユビキタス社会では両者を結合し、より高度な社会環境を構築することが重要であると考えます。

ユビキタス社会において提供が想定されるアプリケーションには多彩なものが考えられるが、それらは大きく分けて5つが考えられる。

1:コンテキスト情報の利用：ユーザのおかれた環境やユーザの情報をネットワークが把握し、それに基づいてユーザにとって有効で望ましいサービスが

提供されるようになる。たとえば、会議の各参加者が利用できる端末や接続されている回線の帯域などの情報をネットワークが自動的に識別し、最適な品質でテレビ会議画像を転送するようなものが相当する。

2:実環境情報の利用：物理的なユーザの位置や、実世界の情報をネットワーク側がセンシングできるようになる。これにより、たとえば、ユーザの位置や物理的な状況に応じたコンテンツやサービスの配信が可能になる。

3:無線タグの利用：電波を利用した非接触タグ(RFID)タグの実用化に伴い、あらゆるものがIDを持つ世界が実現される。これにより、製造、物流、販売、使用、破棄、リサイクルなどが一元管理できるようになるため、生産・流通の効率化、販売促進、万引き防止、環境保護などに役立てるようになる。

4:多様な端末機器の適材適所利用：コンピュータ機器同士が、遍在し、それらがネットワークによって結ばれることで、ユーザは、移動する先々で、その場に応じたコンピュータを適宜利用することができるようになる。

5:遍在するコンテンツの利用：多種多様な情報機器がネットワークに接続されるだけでなく、膨大な量のコンテンツもネットワーク上に存在するようになる。これによってユーザはいつでもどこでも所望のコンテンツを得ることができるようになる。

我々は、これらのアプリケーションを実現するための基盤としてさまざまな研究開発を行っている。本稿では、上記1のコンテキスト情報を利用したビデオ会議を実現するための、分散協調的ミドルウェアとして、CORTH (Collaborative Overlay Routing and Transmission scheme considering Heterogeneity) を紹介する。続いて、上記2に関して実世界情報を取得する基盤となるセンサーノードU3と、センサからのユーザコンテキストの取得技術に関して報告する。

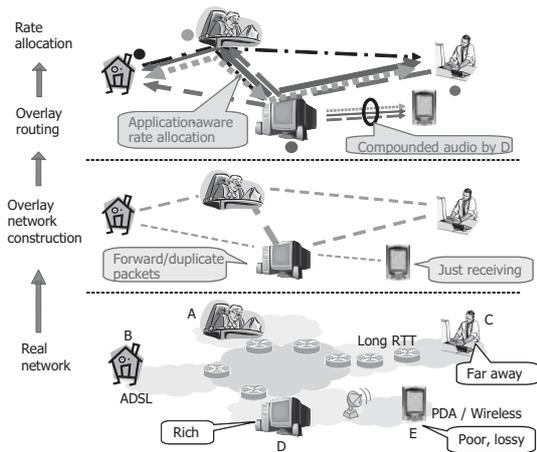


図 1: 動作概要

3 CORTH

CORTH は、コミュニケーションのセッションを構成するホスト同士で論理的なネットワーク構築、経路制御、レート制御などを行う分散協調的ミドルウェアであり、オーバーレイネットワーク技術に関して、ホストの帯域・処理能力を取得し、それらの多様性に適応する機能を持つ。

CORTH の動作過程を図 1 を用いて説明する。CORTH では多対多環境で効率的なネットワーク管理をするために、まず端末同士を双方向接続する共通のオーバーレイネットワークを構築する(図 1 下中)。ここで、各端末は端末間の遅延・帯域を測定して自律的に接続リンクを決定し、さらに各端末の接続リンク数と端末能力を対応させることでオーバーレイネットワーク上の転送役の重み付けを行う。次に、構築されたオーバーレイネットワーク上で各ソースに関する経路を決定し、データを転送する(図 1 上)。経路は、遅延を抑えつつ端末の特性を考慮した決定を行う。そして最後に、各リンクが輻輳制御を行ってリンク帯域を決定するとともに、そのリンクを通過する複数のソース同士で帯域の資源割当を行い、アプリケーション要求に従った通信品質割当を実現する。次章ではこの 3 つの各手法について説明する。

3.1 アルゴリズム

各ホストは、まず SIP やリスト交換などのブートストラップを行い、参加ホストの IP アドレスリス

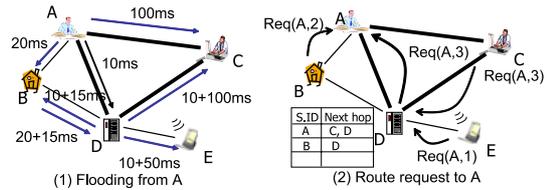


図 2: 経路メッセージプロトコル

トを作成する。各ホストは他のホストとの遅延を測定し、さらに遅延の小さいいくつかのホストに対してテストデータを伝送し、使用可能帯域を取得する。これらの情報は定期的に監視・更新され、ホストの伝送能力に比例した接続本数のオーバレイリンクを確立する。これにより、遅延の小さい伝送網が作られる(図 1 中段)。

各ソースホストはまず、経路構築メッセージをオーバーレイネットワーク上にブロードキャストする。データを中継するホストは、ソースから下流リンクまで遅延和と自身のホスト能力をペイロードに書き込み下流リンクに転送する。図 2 左に、ホスト A のブロードキャスト例を示す。

ホストが当該データを受信する場合、遅延と映像品質(伝送レート)の双方を重視し、ある遅延の条件内で伝送能力の高い、あるいは特別機能が存在する上流ホストを選択して ACK を送信する。この経路決定ポリシーを本稿では Widest Shortest Path Tree (WSPT) と呼ぶ。図 2 右に、WSPT に従ってホスト A に ACK が届く例を示している。ACK を受け取ったホストは ACK をさらに上流に転送し、当該ソースに関する経路表を作成する。

各オーバーレイリンクの伝送レートは、TCP に親和性の高い UDP 上のレート制御を実現する TFRC を用いている。図 3 左に TFRC の送信側・受信側の動作イメージを示す。送信側では時刻やシーケンス番号を持つヘッダでビデオデータをカプセル化して送信し、受信側ではヘッダを解析してパケットロスの検出とその時刻を記録し、RTT とパケットロス率から受信レートを算出する。算出されたレート値は制御チャンネルを通じて送信側にフィードバックされ、送信側ではパケットの送出(sendto)間隔を制御して算出した伝送レートを実現している。

オーバーレイリンクの伝送レートは、通過する一つ以上のフローの伝送量を調整することで達成される。本手法では階層符号化による階層間・フロー間の優

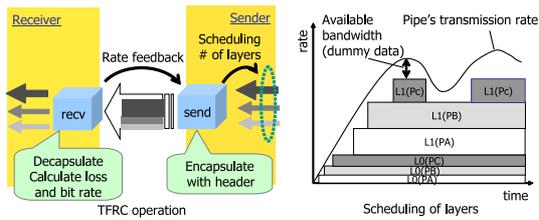


図 3: レート制御

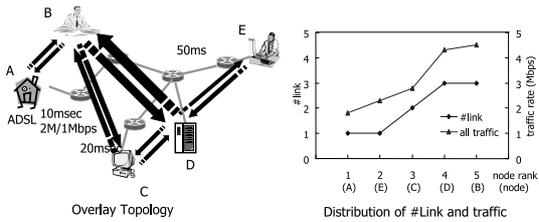


図 4: 実験結果(トポロジーと各ノードの伝送量分布)

先度を基にスケジューリングを行う。図 3 右に伝送レートの時間変化とスケジューリングの様子を示す。最低品質制御として全てのフローの基本階層(サムネイル+音声)を保証したあと、空き帯域を優先度の高い拡張階層から埋めていく。伝送レートの変動に応じてその伝送量を変化させている。

3.2 実装評価

本手法を、100kbps - 1Mbps の階層符号化ビデオを実際に伝送する多対多ビデオチャットに実装した。実験は図 2 と同様の構成を、研究室の生活網と dummynet を介した実験網の上で、狭帯域(下流 2Mbps/上流 1Mbps, ADSL 想定)ホスト, 高遅延ホストを含む 5 台のホストを用いることで擬似的に実現した。

図 4 左に実験ネットワークで構成されたオーバーレイトポロジー結果, および図 4 右に各ホストにおけるオーバーレイリンク数および伝送データ量の分布を示す。これより, 図中のホスト B, D が遅延・処理能力の観点から, トポロジーおよびデータの転送役で中心となる役割を果たしていることがわかる。また, 狭帯域であるホスト A の転送をホスト B が担うことにより, ホスト A の送信データが他の受信ホストに高いレートで伝達されていることを検証しており, データ転送の支援によるアプリケーション品質の向上が行われているといえる。

4 実世界, 仮想世界のインタフェースとしてのセンサ技術

実世界と仮想世界の融合を図る上において, 実空間の情報をいかにしてネットワークに取り込むかは極めて重要である。これに向けてはセンサネットワークが重要な役割を果たすと考えられる。これまで, 国内外のセンサネットワークの研究は, 軍事目的や自然科学分野をターゲットとし, ノードの電力消費や通信データ量を抑えるための手法などが研究されてきた。しかしながら, ユビキタスコンピューティング環境における民生利用という観点からセンサネットワークアーキテクチャを捉えている研究は数少ない。今後, センサネットワークを実世界で利用していく際には, センサノードをどのようなハードウェア機能で実現し, どのように実世界に浸透させるかといった点を含め, 総合的な観点からのデザインが重要になる。

我々は現在のところ, 物理世界の情報を収集するためのデバイスとして小型センサノード U³ を開発している。

U³ は開発の汎用性や利便性に鑑み, 50mm × 50mm × 50mm の立方体内に電源ボード, CPU ボード, 無線通信ボード, およびセンサボードの 4 枚の機能ボードを搭載しており, それぞれは汎用性の高いバスコネクタで組み合わされている(図 5)。通信機能としてはノード間通信に 315MHz 帯 RF 無線モジュールを用いて最高 115.2kbps で通信が可能になっているほか, IrDA 1.0 により, センサノードと PC や PDA が直接通信が可能である。センサボードには多様なセンサ接続のための拡張バスが提供されており, アプリケーションに応じた機能の拡張が可能になっている。

U³ は, 各コンポーネントの独立性を重視し, ハー

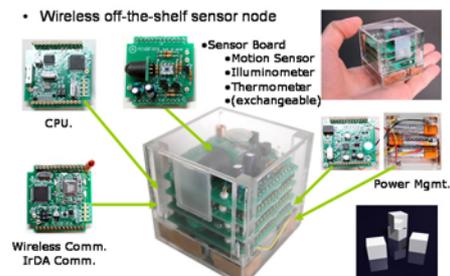


図 5: U³ Sensor Node

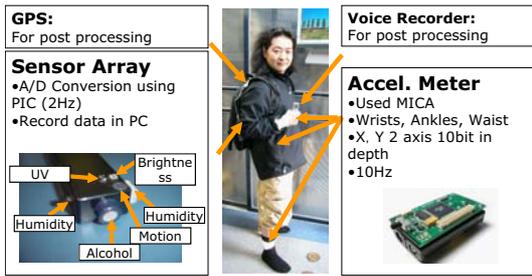


図 6: Sensor Array

ドウェア的にもソフトウェア的にも、アーキテクチャの再構成が柔軟に行えるようになっている点に特徴がある。

5 センサデータからのユーザコンテキスト推定

きめ細かでユーザが「いま、ここで」有用なアプリケーションサービスを実現しようとする、ユーザのおかれている状況や興味といったコンテキストをモデリングする必要がある。

従来のコンテキストウェアアプリケーションでは、単純にユーザの位置や好みに応じた情報配信を行うものが多かった。我々はこれをさらに拡張し、さまざまなセンサ情報からアプリケーションにとって有用なコンテキストを推定できないか、ボトムアップ式の検討を行っている。

我々は試みの第一歩として、センサ情報から得られた人が置かれている状況や取り巻く環境、過去の行動履歴などをトリガにし、提示すべき情報の優先度を決定するようなモバイル端末上のアプリケーションをターゲットとした。ユーザのコンテキストを推定するためのデバイスとしては、できるだけ小型・廉価であり、コンテキストの推定精度さよりも多様さ求められる。そこで、我々は図 6 に示すようなセンサアレイを試作した。このセンサアレイは、温度、湿度、可視光、紫外線、モーション、アルコールセンサという廉価に入手可能なセンサから構成される。各センサからのデータはユーザが携帯するノート PC に送信・記録される。またユーザの両手両足と腰の計 5 箇所に 2 軸の加速度センサを装着しユーザの体の動きを取得することを考えた。

このアレイを用いて実際にユーザの日常生活を記録した結果を図 7 に示す。ユーザの行動とセンサのデータとを照らし合わせたところ、(1) (明るさと温

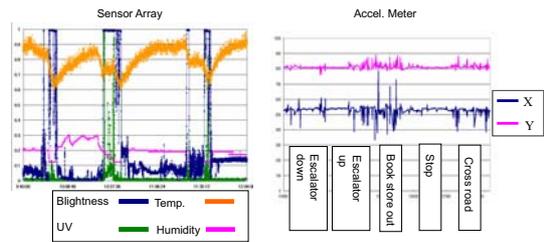


図 7: Sensor Data

度など) 複数のセンサの値の組み合わせの変化を捉えることでユーザのおかれている環境の切り替わりを類推できる。(2) 手首、足首、腰に取り付けた加速度センサの情報から、ユーザの姿勢、運動の状態に関して類推できる。という二つのことが明らかになった。

この状況推定に関する定量評価を行ったところ、屋外屋内判定では 96 %、姿勢推定 (起立、着席、歩行、走行) では、90 ~ 100 % の確率で推定が可能であることが明らかになった。

コンテキストを推定を行う際、物理的なセンサ情報のみでコンテキストが一意に決まるわけではない。たとえば、単純な温度の上昇や下降は、夏場と冬場ではそれぞれもつコンテキストの意味合いが違ってくる。そのほか、同時にセンサから得られるデータはセンサ自体の個体差による取得データのばらつきや、装着者、環境によるデータのばらつきが存在する。このようにセンサから得られたデータに対して適当なセマンティクスを与えてやることや、個体差を吸収することはより安定したコンテキスト推定に必要な不可欠となる。

そこで現在は、センサデータのもつ不確実性を吸収し、よりロバストな推定を可能とするべく、ベイズ統計の考え方を利用した統計的推定手法の適用を検討している。

6 おわりに

本稿では、ユビキタス社会の基盤となるユビキタスネットワークの観点から、多対多通信を支援するオーバーレイネットワーク技術、無線センサネットワーク技術および、ユーザのコンテキスト推定技術に関して紹介した。

現在我々はこれらの基盤技術を実際にも実証実験スペースで利用し新しい技術課題や、キラーアプリケーションの模索を行っている。