

# ユビキタスネットワーク社会の実現に向けた ネットワークミドルウェア

青山 友紀

## 1 はじめに

携帯電話やインターネットによる 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が、ユビキタスという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、コンテキストウェアネットワーク技術および、セッションレイヤー通信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る。

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。

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。

本稿では、具体的な取り組みとしてコンテキストウェアネットワークミドルウェアとセッション層アーキテクチャに関して報告する。

## 3 コンテキストウェアネットワーク ミドルウェア

ホームネットワーク環境が一般化すれば、さまざまなデバイスがネットワークから制御できるだけでなく、「部屋に人がいないときには自動的に明かりを消灯する」といった機器同士の設定や連携の自動化も実現される。このようなユーザコンテキストに応じた自動的なサービス制御を行う試みとしては、たとえば、さまざまなセンサからのイベント情報 (Event) をコンピュータに取り込み、この条件 (Condition) に

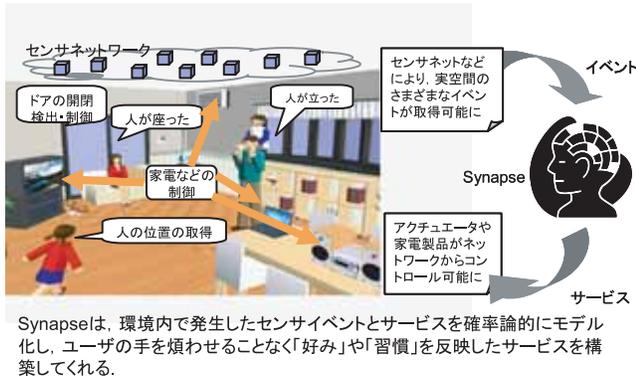


図 1: Synapse のコンセプト

応じて機器動作 (Action) を記述する ECA ルールと呼ばれる記法を利用する手法などが提案されている。しかしながら現実的には、ユーザが求めるサービスとその発火条件はユーザによって大きく異なり、また、ごく一般的なユーザにこうした発火条件を記述させることも現実的ではなく、この機器連携のルールをいかに生成するかが重要な技術課題となる。われわれは、この問題に対し、ユーザの日常の行動記録をもとに環境内で発生したセンサイベントとサービスの関連を確率論的に学習することで、「好み」や「習慣」を反映したサービスを自動生成するコンテキストウェアサービスプラットフォーム Synapse の研究を進めている。本稿では、テストベッド上に実装した Synapse システムの設計と実装に関して報告する。

### 3.1 Synapse の想定環境と学習機構

Synapse の想定する環境においては、センサネットワークが環境中に存在し、ドアの開け閉めや温度、明るさの変化といった環境情報の切り替わりや人々の行動 (コンテキスト) をネットワークからセンシングすることが可能であるとす。そして、環境中の照明やエアコン、テレビといった家電製品の制御や物理的なアクチュエータの駆動もネットワークから制御可能になるとす。Synapse は家庭やオフィス環境といった物理的に閉じた空間において発生したサービスの起動時刻とそれに先立つセンシングされたイベント情報をネットワーク上に蓄える。その後、学習フェーズとして、これらイベントとサービスの関連性を統計的に学習する。実行フェーズでは、現在

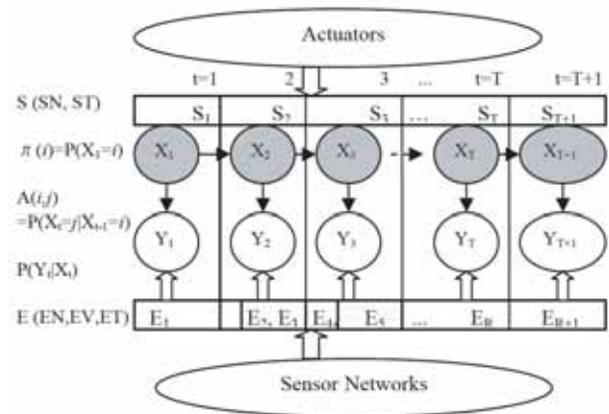


図 2: Synapse の HMM モデルのセンサイベントを判断基準にして、次のステップに、もっとも起動されそうなサービスの上位いくつかを推薦リストとしてユーザに提示し、実行するかどうか伺う。

Synapse では、環境の状態を隠れマルコフモデルで表現し、この状態をセンサイベントで観測し、また状態の切り替わり時にサービスが発生するという考え方にに基づきモデル化を行う。

### 3.2 Synapse のサービス学習機構

Synapse では、ある時刻  $t$  におけるその監視対象となる空間の (観測不可能な) 状態を  $X_t$  として表現する。そして、イベント値のベクトル  $(y_1, y_2, \dots, y_n)$  をシステムの観測値  $Y_t$  として表現する。状態  $X_t$  から観測値  $Y_t$  が観測される確率は  $P(Y_t|X_t)$  で表すことができる。あるサービスが利用されると、環境の状態が  $X_{t-1} = i$  から  $X_t = j$  へと変化し、その状態遷移確率は  $A(i, j) = P(X_t = j|X_{t-1} = i)$  となる。このモデルを利用し、Synapse は学習フェーズにおいてモデルの各種パラメータを推定し、そしてその学習により求めたパラメータを用いて、次に呼び出しの起こりそうなサービスを列挙する。

### 3.3 アプリケーション例

われわれは、テストベッド上に Synapse システムを実装している。本テストベッドでは、RFID や  $U^3$  を含む 4 種類のセンサで 11 のイベントを生成している。そして、サービスとして、5 種類のアプライ

アンスで 25 種類のサービスを提供している。これらのセンサやサービスを利用して自動的に構築されることを想定したサービスとしては、たとえば以下のような例があげられる。

1. 照明点灯シナリオ:  
明るさセンサの値が暗い場合“照明 ON”となる
2. 好みの番組選択シナリオ:  
部屋の中に誰がいるかという組み合わせ情報とテレビのチャンネルが関連づけられる
3. 音量調整シナリオ:  
電話を利用中は AV 機器の音量を下げる

詳細な評価に関しては紙面の都合上省略するが、本手法を用いたサービス自動構成手法は以下の特徴を持つことが明らかになっている。

- 一般的な想定環境においてモデルの学習に必要な時間は数十秒であり、学習モデルの構築作業は一日に一度程度行えばよいため、十分実用的である。
- 暗くなったら照明を点灯するなど、あるセンサイベントとサービスの関連付けが安定して行われるためには、10 回程度の訓練データが必要であることが明らかになっている。このため、一日に 5~6 回行われるサービスであれば 2~3 日でモデル化される。
- 上記にあげた 3 つのシナリオは、それぞれの想定されているセンサデータの条件化において、およそ 90 %以上の確率でサービス推奨リストの 1 位にリストアップされ、実用的な推薦が行われることが明らかになっている。

より、実用的な試験は実際の生活環境に近いテストベッドの中で行う必要があるが、現時点での Synapse は理論的には実用的な性能を有している。

#### 4 ユーザ主導型通信アーキテクチャ

今日、我々はアプリケーションプログラムや通信端末が遍在するユビキタス社会の入口に立ち、これからのネットワークはひとつのアプリケー



図 3: Synapse テストベッド機器 (一部)

ションプログラムや通信端末を使い続けるのではなく、それらをコンテキストに応じて選択し利用し切替えるものになる。このような動的で分散的なネットワークキングにおいてセキュリティとモビリティは必要不可欠な機能となる。

本稿では、セキュリティのための認証機構とモビリティのための柔軟性を併せ持つアーキテクチャとしてユーザ主導型通信について説明する。ユーザ主導型通信の説明に先立ち、これまでのセキュリティとモビリティについて述べる。また、ユーザ主導型通信の一つの実現形態としてセッション層アーキテクチャを提示する。

ユーザ主導型通信は、これまでの端末を主体とした通信ではなくユーザを主体とした通信を可能にするものである。これにより、我々の日常的なコミュニケーションと同様に、誰と話しているかが分かっている安心感や、時間や場所、メディアを変えてコミュニケーションが「継続」する連続性を通信機構として実現することが可能となる。ユーザ主導型通信とは、インターネットに求められているセキュリティが通信相手の認証であり、チャンネルの抽象化に基づくモビリティサポートにおいても通信相手との認証処理が必須であることに着目した、セキュリティとモビリティの問題を同時に解決する通信アーキテクチャに他ならない。

ユーザ主導型通信における「ユーザ」とは、通信サービスを楽しむユーザであり、提供するプロバイダである。1人のユーザが複数の通信サービスを楽しむ場合には、同一のアイデンティティですべてのサービスを楽しむ場合もあれば、サービスをそれぞれ異なるアイデンティティで楽しむ場合もある。ユーザ主導型通信は、これらのアイデンティティを暗号的な識別情報を用いて区別する。した

がって、通信相手の識別は、暗号的に通信相手のアイデンティティを認証することで可能となる。

認証処理の完了したアイデンティティ間ではアソシエーションが構築され、以後、この認証関係に基づいて通信が行われる。アソシエーションはアイデンティティ間に実際の通信チャンネルを構築する。本稿では、少なくとも1つのアイデンティティを保持し、アソシエーションを終端する通信端末を制御端末と呼ぶ。なお、アソシエーションは、認証関係に基づいて情報の交換を安全に行うためのチャンネルであり、音声や画像などの実データを送受信するチャンネルではないことに注意されたい。アソシエーションを用いて実データのフロー識別に必要なIPアドレスとポート番号に関する情報を交換することで、実データの安全かつ柔軟なやりとりを可能にする。以下では、実データのフローを終端する通信端末を実通信端末と呼ぶ。アイデンティティを保持する制御端末とそのアイデンティティが利用する実通信端末は安全に通信できることが前提となる。

#### 4.1 管理機構

実通信は、アプリケーションプログラム間でアプリケーションデータをやりとりするための通信である。したがって、管理機構が実通信を把握するためには、実通信を行う際に必要な通信識別情報を管理する必要がある。すなわち、管理機構は、どのアプリケーションプログラムがネットワーク上のどこで動作しているのか、そのプログラムが保持する通信インタフェースは何を目的として使われるのかを知らなければならない。

一方、アソシエーションではユーザ間の通信関係を示すものであるため安全性が重要であり、なりすましなどが起こってはならない。また、いかなる実通信もアソシエーションに基づいて構築されるため、アソシエーションを持たない実通信は存在してはならない。

#### 4.2 接続機構

管理機構で実現されるアソシエーションと実通信の対応付けは、実際にアプリケーションプログラムが扱うアプリケーションデータの送受信に反映され

る必要がある。管理機構がアソシエーションと実通信の対応付けを解除した場合には、その実通信は終了されなければならない。すなわち、アプリケーションデータの送受信を制御するために、接続機構は、管理機構からの指示に従いアプリケーションプログラムと実通信路を接続、解除する機能が必要となる。

上記の結果、接続機構が実通信路を設定し実通信のインタフェースを保持するため、アプリケーションプログラムが保持する通信インタフェースがネットワークに依存する通信識別情報を持たない通信インタフェースとなり、アプリケーションプログラムは通信の状況を容易に把握することができない。したがって、接続機構は、アプリケーションプログラムが通信状態を把握できるように、実通信の状況をアプリケーションプログラムに伝達する必要がある。

#### 4.3 制御機構

通信サービスは、どの通信デバイス上のどんなアプリケーションプログラムでも利用可能であることが望まれる。また、通信を管理するデバイスに関しても同様である。その結果、管理機構の動作する通信デバイスとアプリケーションプログラムの動作する通信デバイスが物理的に異なることが想定される。そのため、管理機構の指示を接続機構に通知する必要がある。さらに、管理機構の状態が常に接続機構に反映されているように、これら二つの機構の間で通信状態に関する情報の一貫性が保たれていなければならない。

### 5 おわりに

本稿では、来るべきユビキタスネットワーク社会において必要となるネットワーク構成技術として、ユーザのサービス履歴を確率的にモデル化することによりユーザの好みを反映したコンテキストウェアネットワークサービスを自動構成する Synapse と、アプリケーションプログラムや通信端末をユーザのコンテキストに応じて切り替えるセッション層アーキテクチャについて述べた。