

## 知覚およびメディア主導なコンテンツ変換システムの設計と実装

由良 淳一・ 中澤 仁・ 徳田 英幸\*

本論文では、ユビキタスコンピューティング環境における知覚およびメディア主導なコンテンツ変換システムとして Media-based TranService システムを提案する。

本システムでは、サービスの実空間への出力メディアタイプを知覚およびメディアで形式化することで、ユーザの知覚に基づいた要求に即したサービスの接続を実現する。また、実空間サービスを接続する際にコンテンツ変換機構を利用して実空間サービス間のコンテンツ転送を支援することで、実空間サービスの特性差を考慮した変換機能を実現する。これによりユーザは、今の気温を聞きたい、外の風景を紙で欲しいなど、知覚やメディアを利用したアプリケーション構築を行える。

### Design and Implementation of Media-dependent Contents Transcoding System

Jun'ichi YURA・ Jin NAKAZAWA・ Hideyuki TOKUDA\*

This paper proposes a contents transcoding system for ubiquitous computing environment, called Media-based TranService System, in which services are activated depending on media and connected.

This system provides a service composition method depending on user's preferred perception, in virtue of a media type described by perception and media. This system also provides a content transcoding and a transmission support between real world services considering service heterogeneities. In this system, users can get applications depending on perceptions and media such as a service to hear current temperature by audio and a service print an outside scene on a paper for example.

#### 1. はじめに

近年の技術の進歩により、ハードウェアの小型化、低価格化、省電力化が進んでいる。このような技術革新は、さまざまな機器に計算能力やネットワーク接続機能を付加することを可能にした。これらの多種多様な機器が、家庭や職場などのプライベートな空間、駅や店などのパブリックな空間に存在し、空間内、空間外で接続されている環境を、ユビキタスコンピューティング環境<sup>1)</sup>と呼ぶ。

ユビキタスコンピューティング環境において、計算機上に分散されたサービスの組み合わせや接続を行うサービスフレームワークとして、VNA<sup>2)</sup>やNinja<sup>3)</sup>、STONE<sup>4)</sup>のような分散協調型サービスフレームワークが考えられている。それらのサービスフレームワークでは、複数の分散されたサービスを接続することでサービスの組み合わせとしてアプリケーションを実現する。ユビキタス環境においては、位置や時間、ユーザの嗜好などのコンテキストを考慮してサービス選択を行い、それらのサービスを入出力をもとに接続することで、状況依存なアプリケーションを構築できる。

ユーザがさまざまなコンテンツを閲覧するには、仮想空間のコンテンツをディスプレイやプリンタなどの実空間にメディアとして出力するサービスを利用して行うため、ユーザとサービスの入出力（インタフェース）が重要となってくる。ユーザがサービスを利用する際、名前や位置による

サービス指定だけでなく、「見られる」サービス、「開ける」サービスなど、サービスの知覚やメディアによって指定できることが望ましい。

しかし、ユーザが要求する知覚やメディアを出力するサービスに対して、あるサービスを合成しようとした場合、いくつかの問題が生じる。

第1の問題点は、メディアを用いたサービスの検索方法である。現在、サービス名やサービスの位置などを指定してサービス検索を行うことができる。しかし、サービスが出力するメディアを指定してサービスを検索するには既存のサービス情報を用いて実現できない。

第2の問題点としては、サービスを接続する際のコンテンツの差異が挙げられる。たとえば、動画形式のデータが出力されているビデオカメラサービスを、テキスト形式のデータの入力が期待されているプリンタサービスに接続しようとする、コンテンツ形式の違いから接続することができない。

このため、メディアによるサービス検索および、サービス間のコンテンツを動的に変換する基盤ソフトウェアが必要となる。

#### 1.1 研究の目的

本研究の目的は、既存の分散協調型サービスフレームワークでは実現不可能な、知覚、メディアによるサービス指定および、サービス接続時のコンテンツ変換の実現である。

本研究では、サービスの実空間への出力メディア形式を知覚およびメディアで指定し、サービス記述に追加する。名前やサービス分類だけでなく、メディアタイプを用いたサービス検索が可能となり、ユーザの知覚に基づいた要求に即したサービスの接続を実現する。また、実空間サービス

\* 慶應義塾大学大学院 政策・メディア研究科  
Graduate School of Media and Governance, Keio University  
<sup>†</sup> 慶應義塾大学 環境情報学部  
Faculty of Environmental Information, Keio University

を接続する際にコンテンツ変換機構を利用して実空間サービス間のコンテンツ転送を支援する。変換サービスを動的に組み合わせることで、実空間サービスの特性差を考慮した変換機能を提供する。

動的に変換パスを決定してコンテンツ変換を行う研究としては、ActiveNames<sup>5)</sup> や CANS<sup>6)</sup>、Conductor<sup>7)</sup> などが挙げられる。既存の動的なコンテンツ変換の研究は、特に広域ネットワークに分散配置された変換ノードの経路の決定を目的としている。本研究の対象とするユビキタスコンピューティング環境は、広域ネットワークとゲートウェイを介して接続されるプライベートなネットワークであるため、ゲートウェイ上で変換サービスを管理することが望ましい。また、本システムは、コンテンツの入出力形式だけでなく、実空間への入出力を考慮することで、ユビキタスアプリケーション構築を可能にする。

本研究の想定する世界を、ある学生のシナリオ(図1)を例に説明する。

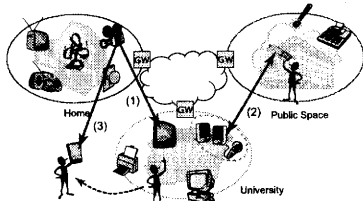


図1 アプリケーションシナリオ

- (1) ある大学の研究室で研究活動に勤しむY君は、ソフトウェア実装のため学校に一週間泊り込んでいた。しかし自分の家の様子が心配になった彼は、部屋の状況を「見たい」と思った。すると、Y君の家にいるビデオカメラと、彼の近くにあるディスプレイが接続され、彼の部屋の様子がビデオとして見る事ができた。
- (2) 先輩のNさんからビデオメールでの留守電が入っていることに気づき、あわてて近くの「話せる」サービスを使って先輩に電話をかけることにした。しかし心配性の彼は、家の様子が気になってしょうがないため、「話せる」サービスで電話をかけることにした。すると、近くのマイクとスピーカが音声電話として作成され、家の様子を見ながら先輩に電話で連絡することができた。
- (3) 電話で先輩から鳩サブレを買いに行くように頼まれたため、彼はしょうがなく出かけることにした。部屋の様子は特別変わりがなかったが、最近家の側で空き巣が頻発していることを聞いていたため、部屋の様子をそのまま「見続け」ながら移動することにした。研究室を出ると、家の様子はディスプレイと同じ「見える」サービスであるPDAの画面に切り替わり、彼は安心して出かけることができた。

(1) は知覚やメディアによるサービスの接続を実現する、メディア主導サービス合成のシナリオである。(2) は知覚やメディアをもとにしたサービス調停を実現する、メディア主導サービス管理のシナリオである。(3) は同じメディアを出力するサービスの動的切替を実現する、メディア主導サービスローミングのシナリオである。

このように、「見える」サービス、「聞こえる」サービスなど、人間の知覚によってサービス選択が行えることで、既存のサービスフレームワークでは不可能だったアプリケーションが実現できる。

本稿では、2章で本研究におけるサービスの定義を行い、知覚およびメディア主導なサービス接続について説明する。3章では、メディア主導なコンテンツ変換システムであるMTSシステムの設計を述べる。4章では、MTSプロトタイプシステムの実装およびアプリケーションを述べ、評価を行う。最後に、5章でまとめる。

## 2. 知覚およびメディア主導なサービス接続

前述のように、現在の分散協調型サービスフレームワークでは、メディアによるサービスの選択および、コンテンツ差異を考慮したサービス接続を実現できない。

本章では、まず本研究におけるサービスの分類および定義を述べ、サービス接続の際に重要となるサービス入出力について説明する。次に、サービス間でコンテンツ形式が異なる場合のサービス接続手法およびコンテンツ変換について説明する。

### 2.1 実空間サービスと仮想空間サービス

サービスには、実空間の状態を検知し情報化するセンササービス、情報化されたコンテンツを処理する中継サービス、入力されたコンテンツを実空間に出力するアクチュエータサービスの3つが存在する。

#### ● センササービス

センサデバイスなどにより、検知した実空間の状態をコンテンツとして情報化するサービス。位置センサや温度センサだけではなく、ビデオカメラやマイクロフォンなどもセンササービスとして挙げられる。

#### ● 中間サービス

入力されたコンテンツを処理し、そのコンテンツを出力として送信するサービス。中間サービスとしては、コンテンツの変換サービス、多重化サービスなどが挙げられる。

#### ● アクチュエータサービス

入力されたコンテンツを、実空間にその情報を提供するサービス。特に本研究では、ディスプレイサービスやプリンタサービスなどのメディアを介してのアクチュエータサービスを対象とする。

本研究では、センササービスおよびアクチュエータサービスを実空間サービスと呼び、中間サービスを仮想空間サービスと呼ぶ。

### 2.2 サービス入出力形式

#### 2.2.1 仮想空間サービスの入出力形式

仮想空間サービスは、あるコンテンツを入力し、何らかの処理を加えた後コンテンツとして再び出力する。コンテンツ形式として、MIME Content-Type<sup>9)</sup> のようなコンテンツの種類による形式化が挙げられる。

本研究では、MIME Content-Type を仮想空間サービスの入出力形式とし、それらとともにサービス接続を行う。

#### 2.2.2 実空間サービスの入出力形式

実空間サービスは、実空間の状況を入力しコンテンツとして出力するか、コンテンツを入力し実空間に紙などのメディアを介して出力する。実空間の状況や物は、表1に示すような、人間の知覚によって分類できる。

例えば実空間からの入力考えた場合、ビデオカメラサービスは視覚に関する情報をコンテンツとして出力し、温度

表 1 実空間サービスの入出力形式

知覚	センササービス	アクチュエータサービス
視覚	ビデオカメラ, 明度センサ	ディスプレイ, プリンタ, ライト
聴覚	マイク	スピーカ, プザー
触覚	位置センサ, 温度センサ	

センササービスは触覚に関する情報を出力する。

実空間サービスのうちアクチュエータサービスに関しては、どのようなメディアで提供されるかが重要となる。視覚で提供されるサービスには、ディスプレイサービスやプリンタサービスが挙げられるが、それぞれディスプレイ、紙というメディアを介して出力される。

出力メディアの分類としては、W3C (World Wide Web Consortium) がメディアクエリ<sup>8)</sup>でメディアタイプの分類を提案している。メディアクエリでは aural, braille, handheld, print, projection, screen, tty, tv の 8 つのメディアタイプに分類している。メディアタイプにより Web ブラウザの利用するスタイルシートを選択することで、メディアの違いを考慮した Web 閲覧を可能とする。

本研究では実空間サービスの入出力形式を、その利用メディアに注目しメディアタイプによって表現する。本研究の提案するメディアタイプは、知覚およびメディアから構成される。図 2 にメディアタイプの定義を示す。

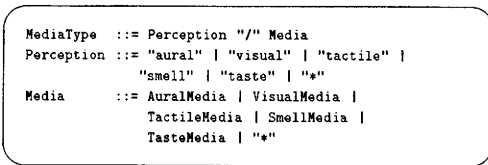


図 2 メディアタイプの定義

メディアタイプでは知覚ごとにメディアの要素が決定される。例えば、ディスプレイサービスであればその出力メディアは visual/display になり、またマイクロフォンサービスであればその入力メディアは aural/aural となる。このような分類方式により、ユーザが知覚およびメディアによるサービス取得が可能となる。

### 2.3 サービス接続

アプリケーションを構築するには、実空間サービスを指定し、実際に接続を行う際に仮想空間での入出力の違いを仮想空間サービスを動的に組み合わせることで吸収する。図 3 にサービス接続によるアプリケーション構築を示す。

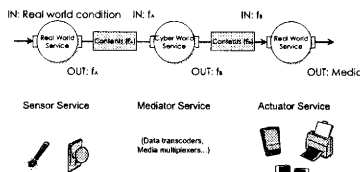


図 3 アプリケーション構築

センササービスはコンテンツ形式が  $f_A$  のコンテンツを出力する。また、アクチュエータサービスの要求する入力形式は  $f_B$  である。コンテンツ形式  $f_A$  とコンテンツ形式  $f_B$  は異なるため、サービス接続を行うことが出来ない。中間サービスがコンテンツ形式  $f_A$  からコンテンツ形式  $f_B$  に変換することで、サービスが接続される。

### 3. MTS: 知覚およびメディア主導なコンテンツ変換システム

本研究で構築したシステムは、知覚およびメディア主導なコンテンツ変換を実現するサービスフレームワーク（以下、Media-based TranService システム、または MTS システムと呼ぶ）である。本システムでは、実空間サービスと、ユーザの要求したメディアタイプに適するサービスを接続するため、変換のための仮想サービスを動的に選択し、ひとつのサービスパスとしてアプリケーションを構築する。本システムは、ホームネットワークやウェアラブルネットワークなどの、ゲートウェイで広域ネットワークに接続されたプライベートネットワークでの動作を想定している。

図 4 に、本システムの概要を示す。

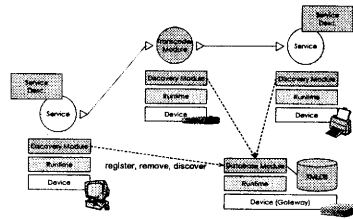


図 4 MTS システム概要

本システムは、ランタイム機構、サービス管理機構、コンテンツ変換機構から構成される。ランタイム機構は本システムを利用する各デバイスで動作し、サービスの読み込みや実行、ユーザインタフェースの提供を行う。サービス管理機構についても各デバイスに存在し、サービス登録や検索などを行う。特に、サービスデータベースに関しては本システムの対象とするネットワークにひとつ存在し、ネットワークに分散して存在するサービスの管理を行う。またコンテンツ変換機構は、コンテンツ変換を行うサービスの管理を行う。

本システムの利用手順を以下に示す。

- (1) ユーザはランタイム機構の提供するユーザインタフェースを利用して、どのようなメディアで取得したいかを選択する。
- (2) ランタイム機構はユーザの選択したメディア形式を出力するアクチュエータサービスを、サービス管理機構を通して検索する。
- (3) ユーザがランタイム機構の提供するユーザインタフェースを利用して、センササービスを選択する。
- (4) ランタイム機構は、センササービスの出力するコンテンツを、アクチュエータサービスが要求するコンテンツになるように、コンテンツ変換機構を介して

変換し、転送する。

本章では、まずサービス記述について述べ、その後本システムの各機構について説明する。

### 3.1 サービス記述

本システムでは、実世界サービスおよび仮想世界サービスともサービスの情報はXMLを用いて記述する。図5に、実世界サービスの例としてスピーカサービスの記述を示す。

```
<?xml version="1.0" ?>
<!DOCTYPE service>
<service>
  <head>
    <name>SpeakerService</name>
    <comment>スピーカサービス</comment>
  </head>
  <body>
    <port>
      <input direction="cyber" name="play">
        <type>audio/au</type>
        <comment>音声の入力です</comment>
        <capability>
          <SamplingRate>44.1</SamplingRate>
          <BitRate>128,160</BitRate>
        </capability>
      </input>
      <output direction="real" name="play">
        <type>aural/aural</type>
        <comment>音声を再生します</comment>
      </output>
    </port>
    <map>
      <entry state="play">
        <input name="play"/>
        <output name="play"/>
      </entry>
    </map>
  </body>
</service>
```

図5 サービス記述の例

この記述では、port要素中にサービスへの入出力の定義を行う。サービスの入力に関する定義はinput要素内に、出力に関する定義はoutput要素内で行う。各入出力が実世界に関する場合は、input要素またはoutput要素のdirection属性がrealとなり、仮想世界に関する場合はcyber 仮想世界に関する入出力の場合、入出力の型をtype要素の内容としてMIME Content-Typeによって指定する。また、実世界に関する入出力の場合は、第2.2.2節で述べたメディアタイプで指定する。各入出力のcapability要素の中には、サービスの機能の詳細を記述することができる。

### 3.2 ランタイム機構

ランタイム機構では、サービスの読み込みおよび実行を実現する。サービスが読み込まれると、サービス管理機構をに対してサービスの登録を行う。

また本機構は、実空間サービス選択についても実現する。ユーザは、名前や位置などのサービス選択に加え、知覚およびメディアの選択によってセンササービスやアクチュエータサービスを取得できる。

### 3.3 サービス管理機構

サービス管理機構は、サービスの登録および削除、検索機能を提供する。実際にデータベースに登録されるのはサービス記述であり、ランタイム機構を介してサービス記述からサービス実体の参照が可能となる。本機構は、ディレクトリモジュールとデータベースモジュールから構成される。ディレクトリモジュールは、データベースモジュールへの参照を持っており、ランタイム機構からのサービス要求をデータベースモジュールに対して行う。データベースモジュールはサービス記述をデータベースに保存し、ディレクトリモジュールから検索要求があった場合は、データベースに対して検索要求に対応するサービス記述を返す。

本システムにおけるサービス検索のクエリは、サービス記述の一部の集合で表される。図6に検索クエリの例を示す。

```
<?xml version="1.0" ?>
<!DOCTYPE query>
<query>
  <service>
    <body>
      <port>
        <output direction="real" name="play">
          <type>aural/*</type>
        </output>
      </port>
    </body>
  </service>
  <service>
    ...
  </service>
</query>
```

図6 クエリ記述の例

この例では、サービスの実空間への出力形式がaural/\*であるサービス、つまり「聞こえる」メディアを出力するサービスの記述を取得できる。

### 3.4 コンテンツ変換機構

コンテンツ変換機構はサービスとして実装され、センササービスから出力されたコンテンツを、アクチュエータサービスの要求する形式へ変換を行う。本機構は、メタ情報管理部、変換パス生成部およびセッション管理部から構成される。メタ情報管理部は、センササービスからコンテンツ記述を、アクチュエータサービスからサービス記述を取得する。変換パス生成部は、コンテンツがアクチュエータサービスの入力に適するように複数の変換サービスのサービスパスとして生成する。セッション管理部は、変換パス生成部によって生成された変換サービスパスをもとに、ランタイム機構を介してサービスの実行、接続を行う。また、変換サービスは単一の入力と出力を持ち、入力されたコンテンツを変換処理を行ってから出力する。

コンテンツ変換機構の変換パス決定手順を以下に示す。

- (1) 出力先のアクチュエータサービスの記述から、要求するコンテンツ形式と能力を取得する。
- (2) 入力元のセンササービスから出力されるコンテンツ記述を取得する。

- (3) (1) で得たコンテンツを入力とし、(2) で得たコンテンツ形式および能力に出力するような変換サービスを検索し、コンテンツを変換する。

本機構では、図7に示すような、複数の変換サービスを動的に組み合わせることで、単体のサービスでは実現できないような変換機能を提供する。

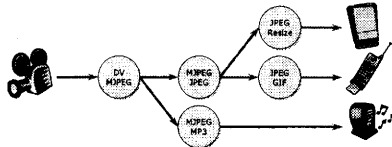


図7 動的的多段変換

ビデオカメラサービスから出力された動画データは、DV→MJPEG 変換サービス、MJPEG→JPEG 変換サービス、JPEG サイズ変換サービスを經由して変換されることで、PDA ディスプレイサービスの入力要求に適する画像データとして転送される。また、スピーカサービスにおいてコンテンツを閲覧する場合は、別の変換パスを經由することで、音声データに変換される。

このように動的的多段変換は、変換能力を拡張するだけではなく、アクチュエータサービスの入力要求への柔軟な対応を実現する。

#### 4. MTS プロトタイプシステムの実装と評価

本節では、MTS プロトタイプシステムの実装概観および、作成したアプリケーションを説明する。また、本システムにおけるサービス検索の評価についても述べる。

##### 4.1 実装概観

MTS プロトタイプシステムは Java 2 SDK 1.4.2 を用いて実装されている。データベースは Apache プロジェクトで開発している XMI データベースである Xindice Database を利用した。また、ランタイム機構は慶應義塾大学徳田研究室で開発している Galaxy ミドルウェア<sup>10)</sup> を拡張して利用している。

以下に本システムの各機構の実装について説明する。

##### 4.1.1 ランタイム機構

Galaxy ミドルウェアにおいて、サービスは Java 言語で実装されたクラス群およびサービス記述ファイルから構成される。Galaxy ミドルウェアは、サービス記述内の ID から実際に実行しているサービスの参照を返すことで、サービス検索後のサービス接続を支援する。

さらにランタイム機構では、以下に挙げるサービス選択を行うためのユーザインタフェースも提供する。

- 実空間オブジェクト選択機能

ビデオカメラやマイクروفोनなどの実空間に存在するオブジェクトを選択するためのユーザインタフェースを提供する。オブジェクトには RFID が付いており、RFID リーダがそれを検知すると RFID にマッピングされているコンテンツが選択される。

- ドキュメント選択機能

センササービスではなく、テキストファイルや画像データなどの仮想空間にあるデータを入力もとのコンテンツとして生成するためのユーザインタフェースを提供する。図8(a)に本機能の画面ダンプを示す。PC上のデータアイコンにドラッグ&ドロップすることで、コンテンツとしてアクチュエータサービスに転送される。

- 知覚・メディア選択機能

アクチュエータサービスを特定するための知覚およびメディアの選択は、図8(b)に示されるような GUI を利用して行う。



図8 サービス選択

現在の実装では、知覚およびメディアによるセンササービスの選択を行っていない。そのため、実空間オブジェクト選択機構やドキュメント選択機構によって選択されたコンテンツを出力とするサービスを生成し、アクチュエータサービスにコンテンツを送信する。

##### 4.1.2 サービス管理機構

サービス管理機構のうち、ダイレトリモジュールとデータベースモジュールの通信部分は、HTTP プロトコルを拡張して行っている。具体的には、HTTP ヘッダに X-Database-Method フィールドを追加し、コンテンツ部にサービス記述やクエリ記述を入れ、送信する。データベースモジュールでは、登録要求の場合はサービス記述を XML データベースに追加し、検索要求の場合はクエリ記述を XPath 式に変換して検索を行う。

##### 4.1.3 コンテンツ変換機構

コンテンツ変換機構において、変換サービスは *TranslationService* クラスを継承して作成する。他の変換サービスからコンテンツが送信されると、*contentsArrived* メソッドが呼ばれ、その引数である *ContentsEvent* クラスを用いてコンテンツを取得できる。変換後のコンテンツは、*TranslationService.getOutput* に対してデータを書き込むことで、次の変換サービスへ転送される。

#### 4.2 アプリケーション

アプリケーションとして、知覚およびメディアによる実空間サービス接続を実装した。図9に本システムを利用して構築したアプリケーションを挙げる。ユーザは、本システムの提供する実空間オブジェクト選択機能を用いて、センササービスを選択し、事前に知覚・メディア選択機能を用いて選択しておいたアクチュエータサービスに対してコンテンツを転送、提示する。

この例では、まずユーザは知覚・メディア選択のためのユーザインタフェースを利用して、コンテンツを取得するサービスを選択する。ユーザが聴覚によってコンテンツを得たい場合は「aural」知覚と「\*」メディア（全てのメディア）を選択し、ユーザが紙で閲覧したい場合は、「visual」

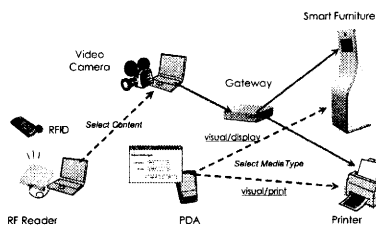


図9 アプリケーション

知覚と「print」メディアを選択する。次に、RFIDの付いたビデオカメラのリモコンにRFIDリーダを近づけると、それに対応するビデオカメラサービスが選択される。最後にユーザは、選択したメディアを出力するサービスによって、コンテンツを取得できる。

#### 4.3 サービス検索の評価

本節では、MTSプロタイプシステムのサービス管理機構のサービス検索時間について定量的評価を行った。本測定により、検索機能の性能特性を把握する。定量的評価のための測定環境を表2に示す。各ホストは100MbpsのEthernetで接続されている。

表2 測定環境

	ディレクトリモジュール	データベースモジュール
	ノートPC	デスクトップPC
CPU	Pentium III M (900MHz)	Pentium 4 (2.8GHz)
RAM	512MB	1GB
OS	Windows XP	Windows XP
JDK	J2SDK1.4.0.01	J2SDK1.4.1.02

測定は、ノートPC上のディレクトリモジュールからデスクトップPC上のデータベースモジュールに対して、サービスの検索にかかる時間を測定した。検索の際には、登録されたサービスの数を10個から100個までの10段階に行っていた。測定結果を図10に示す。

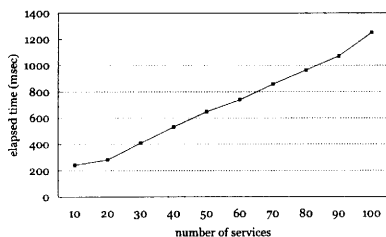


図10 サービス検索時間

サービス検索時間はサービス数に応じて線形に増えており、100個のサービスが登録されている場合のサービス検索時間は、約1.2秒である。このような結果になった理由としては、頻繁にXMLデータベースへデータを登録しているため索引付けが行えない、検索ごとに全てのサービス記述から検索を行っている、などが挙げられる。そのため今後の課題として、データベースを分散化し登録や検索時

にハッシュを利用して検索するデータベースに振り分ける、検索クエリとその結果をキャッシュとして保存するなど、検索の高速化を行う必要がある。

#### 5. おわりに

本論文では、既存の分散協調サービス型サービスフレームワークでは実現できなかった、知覚およびメディアによるサービス選択と、サービス間の動的なコンテンツ変換を実現するシステムとして、MTS (Media-based TranService) システムを提案した。

MTSシステムでは、サービスの実空間への出力メディアタイプを知覚およびメディアで形式化することで、ユーザの知覚に基づいた要求に即したサービスの接続を実現した。また、実空間サービスを接続する際にコンテンツ変換機構を利用して実空間サービス間のコンテンツ転送を支援することで、実空間サービスの特性差を考慮した変換機能を実現した。

#### 参考文献

- 1) Weiser, M.: Some Computer Science Issues in Ubiquitous Computing, *Communications of the ACM*, pp. 74-83 (1993).
- 2) 大越匡, 中澤仁, 田村陽介, 望月祐洋, 戸辺義人, 西尾信彦, 徳田英幸: VNA: 仮想情報家電の実現へ向けて, 第59回全国大会論文集 4B-01, 情報処理学会 (1999).
- 3) Gribble, S. D., Welsh, M., von Behren, R., Brewer, E. A., Culler, D., Borisov, N., Czerwinski, S., Gum-madi, R., Hill, J., Joseph, A., Katz, R. H., Mao, Z. M., Ross, S. and Zhao, B.: The Ninja architecture for robust Internet-scale systems and services, *Computer Networks*, Vol. 35, pp. 473-497 (2001).
- 4) Masaki, M. and Tomonori, A.: The Design of Service Synthesizer on the Net Workshop on Highly Distributed System, *Proceedings of IEEE Symposium on Applications and the Internet (SAINT-2001)* (2001).
- 5) Vahdat, A., Dahlin, M., Anderson, T. and Agarwal, A.: Active Names: Flexible Location and Transport of Wide-Area Resources, *Proceedings of the USENIX Symposium on Internet Technologies and Systems (USITS)* (1999).
- 6) Fu, X., Shi, W., Akkerman, A. and Karamcheti, V.: CANS: Composable, Adaptive Network Services Infrastructure, *Proceedings of the USENIX Symposium on Internet Technologies and Systems (USITS)* (2001).
- 7) Yarvis, M., Reiher, P. and Popek, G. J.: Conductor: A Framework for Distributed Adaptation, *Proceedings of the Seventh Workshop on Hot Topics in Operating Systems (HotOS-VII)* (1999).
- 8) Lie, H. W., Celik, T. and Glazman, D.: *Media Queries* (2002). <http://www.w3.org/TR/css3-mediaqueries/>.
- 9) Borenstein, N. and Freed, N.: *MIME (Multipurpose Internet Mail Extensions)* (1992). RFC 1341.
- 10) 慶應義塾大学徳田研究室: Galaxy Service Composition Middleware. <http://www.kmsf.jp/>.