

ユビキタス情報環境における情報資源の状態情報の 流通制御方式

著者	佐藤 由久
学位授与機関	Tohoku University
URL	http://hdl.handle.net/10097/39883

平成 20 年度 修士学位論文

ユビキタス情報環境における

情報資源の状態情報の流通制御方式

東北大学大学院情報科学研究科 情報基礎科学専攻

博士課程前期 2 年の課程

コミュニケーション論講座 (白鳥研究室)

A7IM1017 佐藤 由久

目次

第1章 序論	1
1.1 研究の背景	1
1.2 コンテキストウェアサービス	2
1.3 本研究が対象とする問題	4
1.4 本研究の目的	5
1.5 本論文の章構成	9
第2章 関連研究と課題	11
2.1 コンテキスト情報の活用に関する既存研究	11
2.2 コンテキスト情報管理に関する既存研究	12
2.2.1 コンテキスト情報の獲得・選択に関する既存研究	12
2.2.2 コンテキスト情報流通によるサービスへの影響に着目した既存研究	13
2.3 コンテキスト情報の流通制御における課題	14
第3章 情報資源の状態情報の流通制御方式	16
3.1 提案方式の概要	16
3.2 (F1) 情報資源の詳細な状態に基づく動的 QoC 調整機能	17
3.2.1 コンテキスト情報の品質 (QoC)	17
3.2.2 動的 QoC 調整	19
3.3 マルチエージェントシステム	21
3.4 (F2) ユビキタス情報環境の長期的変化に対する環境適応機能	22

第4章	提案方式の設計	24
4.1	提案方式の適用例: 利用者追従型動画配信サービス	24
4.2	設計概要	25
4.3	エージェント構成設計	25
4.4	(F1) 情報資源の詳細な状態に基づく動的 QoC 調整機能の設計	28
第5章	実装	33
5.1	実装概要	33
5.2	実装環境	33
第6章	実験と評価	36
6.1	実験概要	36
6.2	実験 1: ユーザが直線的に移動する場合	36
6.2.1	実験方法	36
6.2.2	実験結果	38
6.2.3	考察	41
6.3	実験 2: ユーザがジグザグに移動する場合	43
6.3.1	実験方法	43
6.3.2	実験結果	46
6.3.3	考察	51
6.4	評価	53
第7章	結論	55
7.1	結論	55
7.2	今後の課題	55
	謝辞	56
	発表論文	57

目次

1.1	コンテキストウェアサービスを提供するシステムのモデル	4
1.2	美術館ガイドサービスの概要	5
1.3	美術館ガイドサービスにおける情報資源の構成	6
1.4	美術館ガイドサービスにおける既存手法の問題点	7
1.5	提案の概要と QoC (Quality of Context Information)	8
3.1	美術館ガイドサービスにおける QoS と QoC の関係の例	18
3.2	(F1) 動的 QoC 調整の概要	20
3.3	マルチエージェントに基づくユビキタス情報環境	22
4.1	提案方式の適用例: 利用者追従型動画像配信サービス	25
4.2	実験環境におけるエージェントの構成	26
4.3	(F1) 情報資源の詳細な情報に基づく動的 QoC 調整のシナリオ	28
4.4	(F1) における QoC 調整手順	29
5.1	実装環境	34
6.1	実験 1: シナリオ設定	37
6.2	実験 1: 既存手法 (Tokairin らの手法 [8])	39
6.3	実験 1: 提案手法	40
6.4	実験 1: 位置情報の処理遅延時間	42
6.5	実験 2: シナリオ設定	44
6.6	実験 2: サービス移転先端末ごとの QoC の設定	45
6.7	実験 2: 既存手法 (Tokairin らの手法 [8]) における QoS, QoC の測定結果	47

6.8	実験 2: 既存手法 (Tokairin らの手法 [8]) における動画像受信端末の CPU 使用率	48
6.9	実験 2: 提案手法における QoS, QoC の測定結果	49
6.10	実験 2: 提案手法における動画像受信端末の CPU 使用率	50
6.11	実験 2: 位置情報の処理遅延時間	52

表 目 次

1.1 ユビキタス情報環境に関する関連研究	2
1.2 コンテキストの具体例	3
5.1 実装環境で使⽤した端末の性能	34
6.1 実験 1: QoC 調整アルゴリズム	38
6.2 実験 2: QoC 調整アルゴリズム	45
6.3 実験 1 における評価	53
6.4 実験 2 における評価	53

第1章 序論

本章では，ユビキタス情報環境におけるコンテキストウェアサービスについて説明し，コンテキストウェアサービス提供時に起こりうる問題点について述べる．続いて本研究の目的と本研究による効果について挙げ，最後に本論文の構成について述べる．

1.1 研究の背景

近年，小型携帯端末の高度化や低価格化，センシング技術の発達により，ユビキタス情報環境の実現可能性が高まっており，ユーザの日常生活を支えることが期待されている [1]．ユビキタス情報環境とは，ユーザの移動性と計算機主体の遍在性を前提とした情報環境であり，ハードウェア，ソフトウェア，ネットワーク，そしてコンテンツといった環境を構成する情報資源が，ユーザの移動に合わせて動的に連携してサービスを提供する．これにより，ユーザはいつでも，どこでもネットワークサービスが利用可能となり，多くの恩恵を享受することが可能となる．

ユビキタス情報環境に関連する研究領域は，表 1.1 の通り“ハードウェア”，“ソフトウェア”，“ネットワーク”の3つに大別される．ハードウェアの研究領域では，小型で省電力・高性能なモバイル端末や電子タグの開発 [2]，脈派・血圧などの生体情報や照度・気温などの環境情報を取得するセンサデバイスの開発 [3]，ネットワーク対応の家電製品の開発 [4] などが盛んである．ネットワークの研究領域では，情報インフラの高速化や無線化，センサネットワーク技術の研究などが推進されている [5]．ソフトウェアの研究領域では，ユビキタスサービスの基盤を構成する技術として，モデリングや開発手法に関する研究 [6] や，デバイスの分散協調・連携に関する研究 [7] は行われているものの，実用化に至った技術が少なく，未だ研究開発段階にある．

表 1.1: ユビキタス情報環境に関する関連研究

研究分野	研究領域の例
ハードウェア	機器の小型化・高度化・省電力化 センサデバイスの開発 組み込みコンピュータ, 情報家電
ソフトウェア	サービス構成法, ミドルウェア セキュリティ, プライバシ コンテキストウェアサービス (本研究の対象)
ネットワーク	情報インフラの高速化・無線化 センサネットワーク構成技術 ネットワーク制御・管理技術

本研究では、情報資源の状態(コンテキスト)に応じて、より高度なユビキタスサービスの提供を実現するため、ソフトウェアの分野において、特に現実空間に存在する様々なコンテキストを利用してサービスを提供するための“コンテキストウェアサービス”に焦点を当てる。

1.2 コンテキストウェアサービス

図 1.1 に、コンテキストウェアサービスを提供するシステムの一般的なモデルを示す。実環境は、ユーザと複数の“情報資源”から構成される。具体的には、実環境内でサービスを受けるユーザ、PC、PDA、無線タグなどのハードウェア、PC上で動作するアプリケーションなどのソフトウェア、情報資源間を接続するネットワーク、ユーザに対して提供されるサービス源となるコンテンツなどである。このとき、表 1.2 のような情報資源の状態を“コンテキスト”といい、サービスへの活用を目的に情報資源間で交換される状態情報、すなわちコンテキストに関する情報を“コンテキスト情報”(CI: Context Information) とい

表 1.2: コンテキストの具体例

情報資源	カテゴリ	属性
ユーザ	位置	位置, 向き, 移動速度, ...
	嗜好	QoS 要求, プライバシ要求, ...
	プロフィール	名前, 年齢, 性別, 職業, ...
ハードウェア	設置形態	位置, 向き, ...
	制約	CPU 最大値, メモリ最大値, 解像度, バッテリ容量, ...
	状況	CPU 使用率, メモリ使用率, 電力消費量, ...
ソフトウェア	品質	(動画配信の例) 画質, フレームレート, 解像度, ...
	制約	動作可能 OS, 最大 CPU 使用率, 最大メモリ使用率, ...
	状況	CPU 使用率, メモリ使用量, 画面占有率, ...
ネットワーク	制約	リンク種別, 最大利用可能帯域, IP アドレス, ...
	状況	帯域使用率, パケットロス率, 遅延時間, ...

う。このとき、ある特定のコンテキスト情報に基づいてサービスを制御しつつ提供するサービスを“コンテキストウェアサービス”とする。

図 1.1 を用いて、コンテキストウェアサービスを実現するシステムの流れを以下に述べる。まず実環境から各情報資源のコンテキスト情報を収集する。次に、コンテキスト情報(CI)は、“CI 流通制御システム”によって処理され、サービスに必要となる CI がメインサービスを提供する“サービス提供システム”に通知される。そこで、サービス提供システムは CI に基づきサービス提供を行う情報資源群を構成し、ユーザに対してコンテキストウェアサービス提供を開始する。

コンテキストウェアサービスの具体例の一つとして、美術館ガイドサービスを挙げる(図 1.2)。このサービスは、ユーザが美術館内を位置情報を取得するための無線タグと携帯端末を持って移動する場合し、ある展示物にユーザが接近した場合、当該作品の紹介動

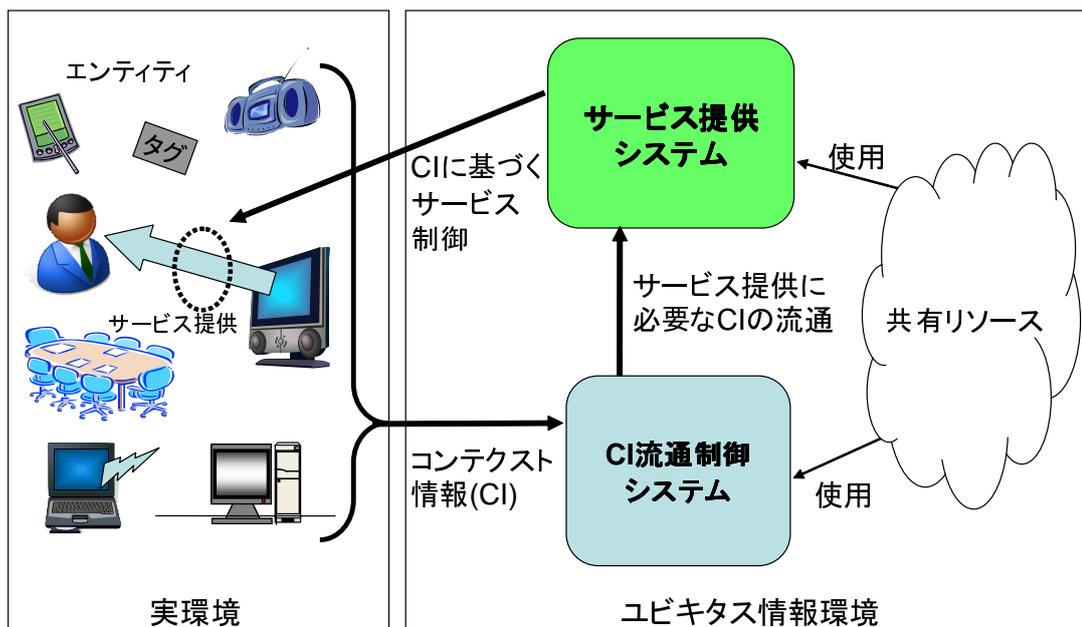


図 1.1: コンテキストウェアサービスを提供するシステムのモデル

画像を受信するものである。図 1.3 にこのサービスにおける情報資源の構成を示す。各情報資源はそれぞれの状態を表す状態、つまりコンテキストを保持している。ここで、情報資源のひとつとして、あるユーザの持つ“タグ”の“位置情報”である、コンテキスト情報 (CI) が情報資源間を流通する。この位置情報のコンテキスト情報に基づいて展示物に関連する動画像などのマルチメディアコンテンツを配信し、例えばユーザは携帯端末を利用してコンテキストウェアサービスを受ける。

1.3 本研究が対象とする問題

図 1.4 に、美術館ガイドサービスを例として、本研究が対象とする問題点を示す。一般に、コンテキスト情報 (CI) は時間経過と共に刻々と変化する情報資源の状態を示す情報である。そこで、コンテキストウェアサービスを実現するためには、各情報資源間で CI を流通・処理しながら、同時に本来提供すべきサービスを処理・提供する必要がある。従って、CI の流通・処理と、本来のサービス提供に必要な資源 (ネットワーク資源・計算機資源等) が共有されている場合、交換される CI の質や量の過不足によって、システムの

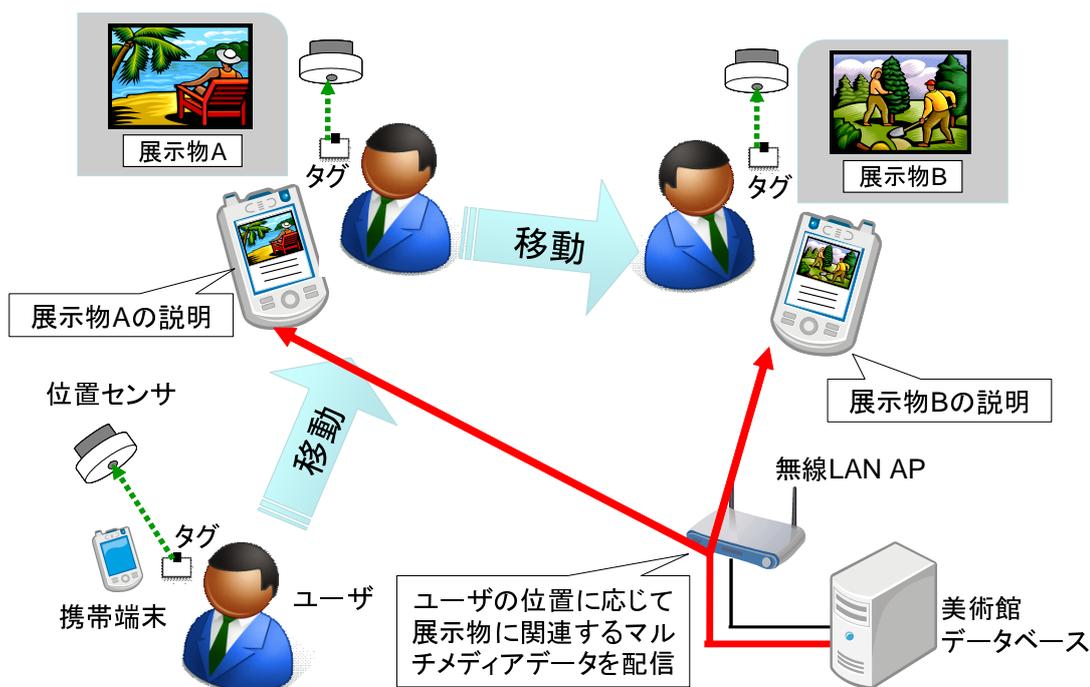


図 1.2: 美術館ガイドサービスの概要

系全体が提供するコンテキストウェアサービスのサービス品質 (Quality of Service: QoS) が低下する問題が発生する。

1.2 節で述べた図 1.2 のような美術館ガイドサービスにおいては、CI(位置情報)の流通・処理に資源が割かれ、本来提供すべき展示物の紹介動画像が劣化したり、あるいは動画像の処理に資源が割かれ、位置情報の処理が遅れることにより、位置情報を基にした動画像の切替に遅延が発生する可能性がある。すなわち、サービスの流通・処理とコンテキスト情報の流通・処理にはトレードオフの関係があり、コンテキストウェアサービスにおいては、これらを十分考慮する必要がある。

1.4 本研究の目的

本研究は、ユビキタス情報環境におけるコンテキストウェアサービスの高度化を目指し、ユビキタス情報環境において効果的な情報資源の状態情報(コンテキスト情報)の流通制御手法の実現を目的とする。本提案方式は次の2つの機能から成る。

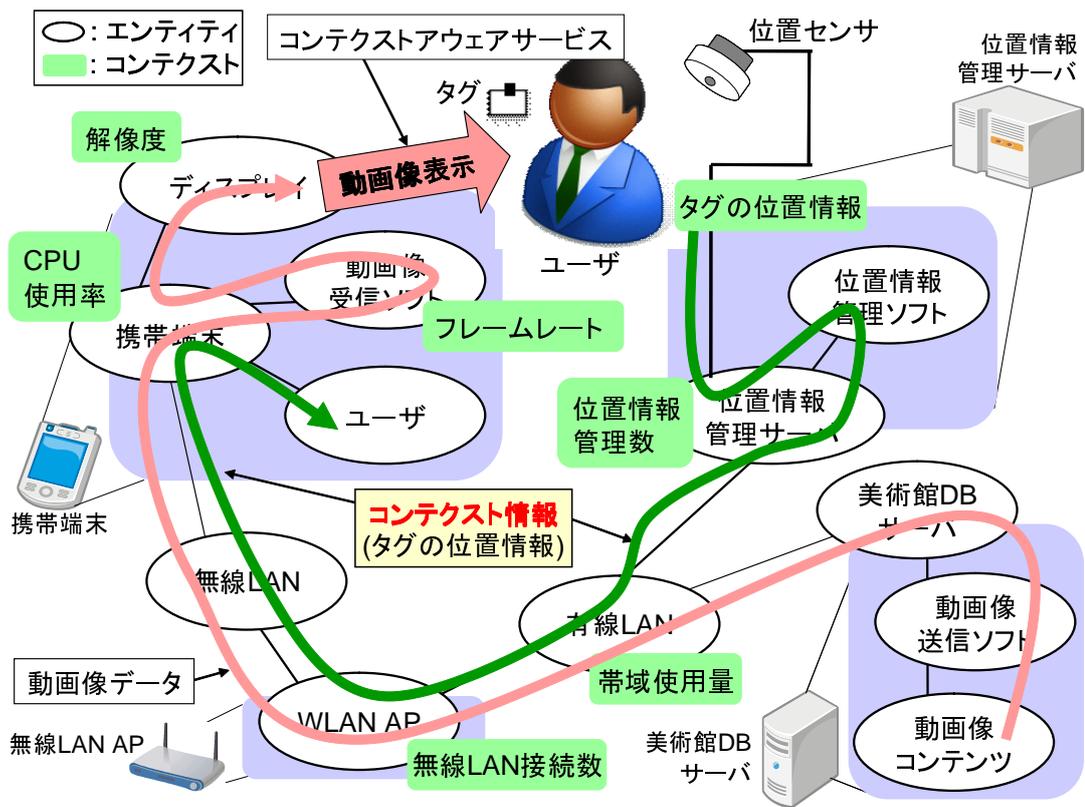


図 1.3: 美術館ガイドサービスにおける情報資源の構成

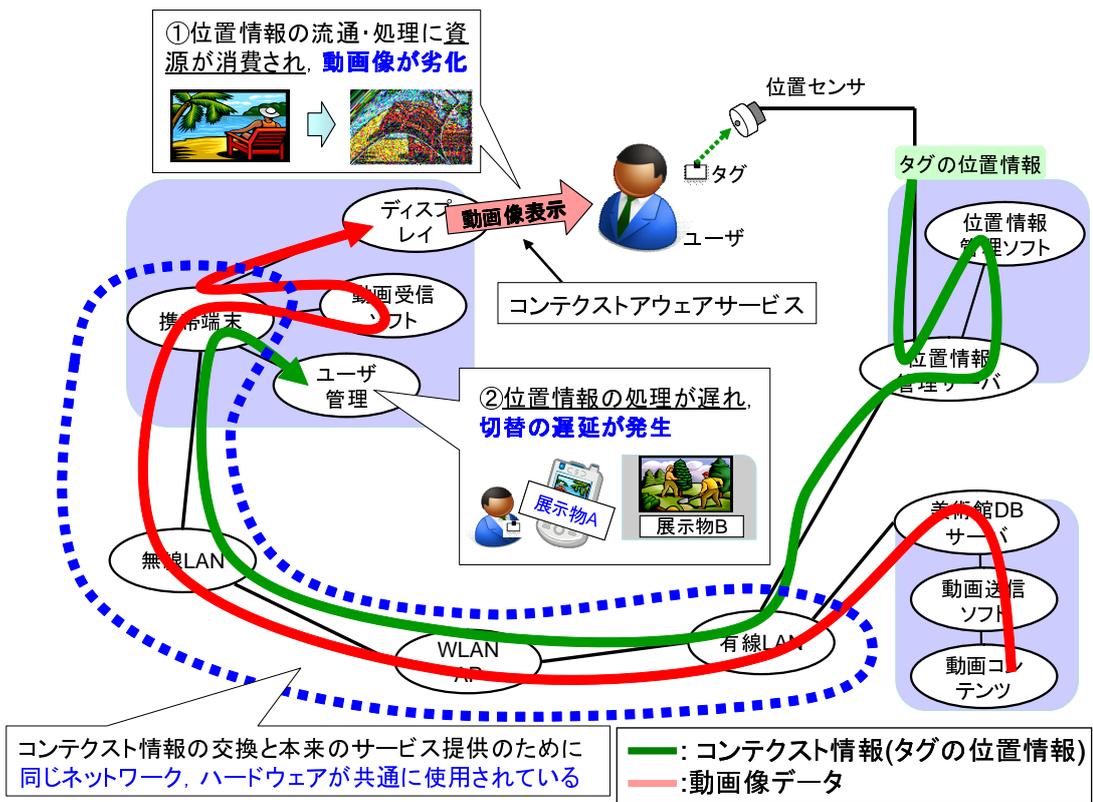


図 1.4: 美術館ガイドサービスにおける既存手法の問題点

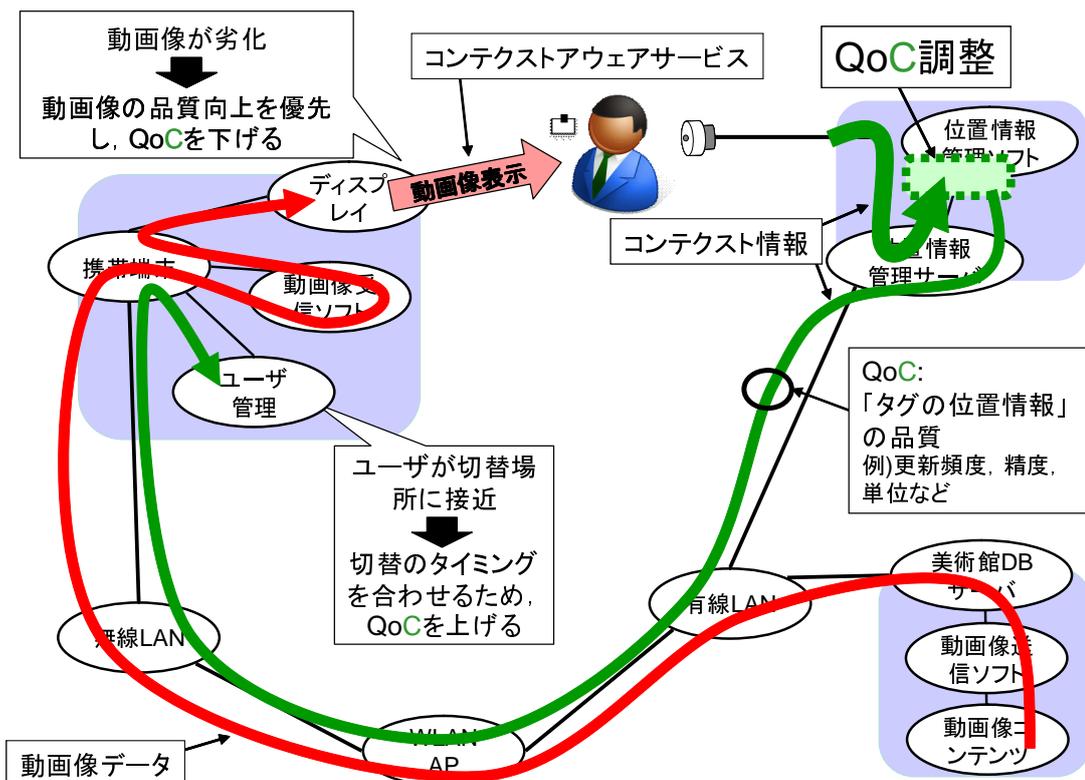


図 1.5: 提案の概要と QoC (Quality of Context Information)

(F1) 情報資源の詳細な状態に基づく動的 QoC 調整機能:

図 1.5 に、美術館ガイドサービスの例を用いて本提案機能によるシステムの概要を示す。このサービスを提供するシステムは、センサなどを通じて大量のコンテキスト情報(CI)を取得する。このとき位置情報管理ソフトは、CIをコンテキストウェアサービスを提供するために必要な量に調整して流通させる。そこで、CIに基づきユーザにサービスを提供する。

ここで、美術館サービスにおいてユーザが直接受ける動画像の品質や移動時に生じる動画像の切替時間などのサービス品質を QoS(Quality of Service)、コンテキスト情報であるタグの位置情報の品質を QoC(Quality of Context Information)とする。また、QoSとして例えば動画像の画質やフレームレートを、QoCとして例えば位置情報の更新頻度や精度を想定する。

ユーザが、サービス提供中に移動し、切替場所に接近するにつれ、システムは切替処理

の開始を早めるため、QoCを上げるよう要求する。しかしながら、ネットワークや計算機資源などの共用により、ユーザに対して提供している動画像の劣化、つまりQoSの低下が発生する可能性がある。このような場合、システムはユーザ要求の動画像品質実現を優先し、CIの流通によるシステム負荷を抑えるためQoCを下げるよう要求する。位置情報管理ソフトは、このような要求を基に位置情報のQoCを調整する。すなわち、この調整を“QoC調整”とする。

(F1)は、コンテキストウェアサービスを提供する際、ユーザの位置や移動速度、計算機資源やネットワーク資源の使用率などシステムの動作状況などといった、秒単位程度で変化する情報資源の詳細な状況に応じて、コンテキスト情報の品質(QoC)を変化させ、ユーザの要求するサービス品質を可能な限り維持する機能である。

(F2) ユビキタス情報環境の長期的変化に対する環境適応機能:

部屋の家具やIT機器のレイアウト変更のような変化により、情報資源の動作状況の傾向が変化するような場合、(F1)のアルゴリズムを適応的に調整することによって、冗長なQoCによる提供を抑制し、より柔軟なQoC調整を実現する。

なお本論文では、(F1)情報資源の詳細な状態に基づく動的QoC調整機能に焦点を当てることとする。

1.5 本論文の章構成

本論文の章構成は以下のとおりである。

2章では情報資源の状態情報(コンテキスト情報)を活用した既存研究、およびコンテキスト情報管理技術に関する既存研究について述べる。また、本研究の目的の達成のために解決すべき技術的課題を提起し、本研究で扱う問題を明らかにする。

3章では、2章で提起した技術的課題を解決するため、提案である情報資源の状態情報(コンテキスト情報)の流通制御方式について述べる。

4章では、本提案方式の有効性を評価するためのシステムとして利用者追従型動画画像配信サービスを例に、提案方式の具体的な設計について述べる。

5章では、4章の設計に基づいたシステムの実装について述べる。

6章では、実装したシステムを用いて実験を行い、提案方式の評価を行う。

最後に、7章で本研究の結論と今後の課題について述べる。

第2章 関連研究と課題

本章では、コンテキストウェアサービスを提供するために必要なコンテキスト情報を用いた既存研究として、2.1節でコンテキスト情報を活用した既存研究、2.2節でコンテキスト情報管理に関する既存研究をそれぞれ挙げる。特に2.2節では、ユビキタス情報環境下でコンテキスト情報の取得や選択に関する既存研究(2.2.1節)と、コンテキスト情報流通によるサービスへの影響に着目した既存研究(2.2.2節)についてそれぞれ挙げる。また2.3節で、既存研究における問題点を整理し、本研究で扱うユビキタス情報環境におけるコンテキスト情報管理において解決すべき課題を提起する。

2.1 コンテキスト情報の活用に関する既存研究

コンテキスト情報を活用した既存研究は多く存在するが、本研究ではユーザレベルでのサービス提供という観点から、特にコンテキストウェアサービスに関する既存研究として、サービス構成技術に関する既存研究について議論する。

既存のコンテキストウェアサービスとして、ユーザの位置や嗜好といったユーザコンテキストに基づきユーザの現在地付近の店舗を紹介する CityVoyager [9] や、博物館の音声ガイドシステム ec(h)o[10]、複数ユーザ間の社会的関係を考慮して、複数のユーザコンテキストを利用して美術館の展示物を紹介する PIL(PEACH-Israel) project[11]がある。また、家の中に様々な機器を、センサ等から得られるコンテキスト情報を基に自動的に管理するスマートホームに関する研究 [12, 13, 14] についても盛んに行われており、遠隔見守り支援システム等への応用が行われている。しかし、これらのコンテキストウェアサービスに関する既存研究は、あらかじめコンテキスト情報の管理がなされているという前提に基づくものがほとんどである。すなわち、コンテキスト情報の獲得・分析・通知方法は

静的に定められているため、遍在する多種多様な情報資源が動的に協調しサービス提供を行うことができない。そこで、ユビキタス情報環境の特性を考慮したコンテキスト情報管理方式の実現が求められている。

2.2 コンテキスト情報管理に関する既存研究

ユビキタス情報環境におけるコンテキスト情報管理方式として、これまで様々な研究が行われてきた。ここでは特にコンテキスト情報の獲得・選択に関する研究領域と、コンテキスト情報の流通がサービスに対して与える影響に着目した研究領域についてまとめる。

2.2.1 コンテキスト情報の獲得・選択に関する既存研究

コンテキストウェアサービスを提供するために必要なコンテキスト情報 (CI) の取得や選択に着目した研究がある [15, 16]。

CHANSE [15] では、管理サーバが CI を集中管理し、センサの故障などにより CI が得られない場合は、精度重視・コスト重視などといったアプリケーション側の要求に基づき、動的に代替のセンサからの情報に切り替えて CI を提供することで、継続的な CI の提供を実現する。しかし、センサの選択は、精度やコストなどのパラメータごとにあらかじめ設定された順位付けに基づいて行われるため、新たなセンサデバイスを追加することは困難である。また、例えばリアルタイム性を重視しているにも関わらず、最も更新頻度の高いセンサを選択し、受信する情報資源によっては CI の取得が過度になる可能性がある。

また ContextDistillery [16] は、CI ごとの更新頻度の多様性を抽象化することを目的としたフレームワークを提案している。しかし、CI の更新頻度によっては、過度あるいは不足となる可能性があり、提供するサービスに対して悪影響を与える可能性がある。

これらの研究では、CI の選択処理や更新頻度をシステム設計時にすべて決定し、予め記述する必要がある。実環境でのシステムの動作状況に応じた動的な CI の提供への期待が高まっている。

2.2.2 コンテキスト情報流通によるサービスへの影響に着目した既存研究

一方、コンテキスト情報(CI)の品質(Quality of Context Information: QoC)に注目した研究が行われている [17, 18, 19].

Buchholz ら [17] は、QoC の概念を提唱し、QoC パラメータとして CI の“精度”(Precision), “正確さ”(Probability of Correctness), “信頼性”(Trust-worthiness), “粒度”(Resolution), “更新頻度”(Up-to-dateness) を定義している。また QoC と QoS, およびデバイス品質(Quality of Device: QoD) の関係性について述べている。

Sheikh ら [18] は、コンテキストウェアサービスを実現するミドルウェアで利用される複雑な CI の仕様を効果的に扱うことを目的として QoC を定義している。ここでは QoC パラメータとして、“有効時間”(Temporal Resolution), “有効エリア”(Spatial Resolution), “適正確率”(Probability of Correctness) 等を採用し、実用指向の QoC の定義を行っている。

これら [17], [18] では、主に利用するパラメータの意義を中心に議論しており、実システムにおける QoC の具体的利用法などについては今後の課題としている。

また、An adaptive middleware framework [19] は、アプリケーションに応じた CI の提供や CI 源の選択を目的とし、主に“精度”(Precision), “更新頻度”(Refresh Rate) の 2 種類からなる QoC パラメータに基づいて Utility Function を算出し、その算出結果に従って CI の取得源となる情報資源の選択を行う。この研究では QoC を実システムで利用しようとしている点では先進的であるが、ここでの QoC は予め定義し、公開されることが前提であり、2 つの QoC パラメータを動的に制御することは困難である。

これらに対して、システムの QoS 向上を目標として、QoC をシステム動作時に動的に調整する研究がある [8]。この研究ではマルチエージェントによるコンテキスト情報管理方式を提案している。特に、QoC として“更新頻度”(Up-to-dateness) に着目し、資源状況や予め設定された利用者の位置エリアに応じて動的に QoC(更新頻度) を変更することによって、状況に応じた CI の流通量制御を実現している。これによりシステム全体の QoS の維持が可能である。しかし、位置エリアや資源状況の閾値などと、それに対応する QoC 値等をあらかじめ設定する必要があるため、適用可能な実環境やサービスが限定され、拡張性

や柔軟性に乏しいという問題がある。

2.3 コンテキスト情報の流通制御における課題

既存研究におけるコンテキスト情報 (CI) 流通制御では、多様なユビキタス情報環境に
適応して、コンテキスト情報を利用しながら高品質のコンテキストウェアサービスを提
供することが困難である。以下に挙げる2つの既存研究におけるコンテキスト情報の流通
制御における課題を挙げる。なお、ユビキタス情報環境は、物理的実環境(実環境)と、そ
の上で動作する情報資源群からなるユビキタス情報環境から構成されるものとする。これ
ら2つの環境の相互関係の視点から、CI 流通制御における適応性についての課題につい
て述べる。

(P1) 情報資源の動作とシステム全体の QoS を意識した効果的なコンテキスト情報の流通 が困難

コンテキストウェアサービス提供時に、主サービスの提供と CI の流通・処理に計算
機資源やネットワーク資源を共用する場面を考える。ユビキタス情報環境では、一般に、
情報資源の状態は刻々と変化し、それに応じて CI の量も膨大となる。これらを全て流通
する場合、すなわち交換される CI の量が膨大となる場合、ユビキタス情報環境の資源に
制限があるため、主サービスの提供に必要な資源が圧迫され、機能不全や大幅な QoS の
低下を招く可能性がある。例えば、1.2 節で述べた図 1.2 のような美術館ガイドサービス
を提供する場合、1.3 節で挙げた図 1.4 で示したように、必要以上に過剰な位置情報を通
知することによってハードウェアの計算能力やネットワーク帯域を浪費し、本来提供する
サービスである作品紹介動画配信サービスの QoS を低下させる問題がある。したがっ
て、情報資源の制限や状況、利用形態に十分に考慮した効果的な CI 流通・処理が必要で
ある。

(P2) 長期的な変化に適応した柔軟なコンテキスト情報の流通が困難

(P1) において、システム動作中の CI 流通制御について述べたが、より長期的な視点で

見た場合、家具の移動や部屋の用途変更、ワークフローの変更などによって、実環境そのものが変化する可能性がある。そのため、ユビキタス情報環境が任意の実環境上に配置された後、実環境が長期的な視点で変化があった場合、従来手法では、実環境の状況に順応するのが困難であり、冗長な調整動作によって適応の遅れが発生する可能性がある。つまり、サービス提供中のCI流通・処理を、新たな状況に対して自律的に適応させる必要がある。しかし既存方式では、システムアーキテクチャの非柔軟性から、その実現が困難となっている。

第3章 情報資源の状態情報の流通制御 方式

本章では、本研究における目的を達成するため、2章で提起した技術的課題を解決するための「情報資源の状態情報(コンテキスト情報)の流通制御方式」について述べる。

3.1 提案方式の概要

本研究では、QoSとQoCの関係を考慮することで、効果的なコンテキストウェアサービスの提供を実現するための「情報資源の状態情報(コンテキスト情報)の流通制御方式」を提案する。本方式は、3.2.1節で述べるコンテキスト情報の品質であるQoCとサービス品質であるQoSの関係に基づき、QoCの調整によってユビキタス情報環境におけるコンテキストウェアサービスの高度化を目的とする。

本方式は以下の2つの機能から構成される。

(F1) 情報資源の詳細な状態に基づく動的QoC調整機能

実環境における秒単位程度の短期的な情報資源の状況変化に追従し、情報資源の動作とコンテキストウェアサービスが提供するQoSを可能な限り安定かつ高品位に提供するためにQoCを動的に調整する機能。たとえば部屋の中のユーザの移動などによってユーザ情報資源とユーザのが保持するハードウェアの位置が刻々と変化するような場合に、ユーザの位置や動きに応じてQoCを変化させてQoSを保つ。これにより課題(P1)を解決する。

(F2) ユビキタス情報環境の長期的変化に対する環境適応機能

実環境における日単位程度の長期的な情報資源の状況変化に追従し、(F1)のQoC調整

機能をチューニングする機能。たとえば部屋の中の家具や IT 機器のレイアウト変更などによって、実環境における情報資源の動作状況の傾向が変化するような場合に、QoC 調整のアルゴリズム自体を適応的に調整する。これにより課題 (P2) を解決する。

なお、Tokairin ら [8] は、QoS と QoC 間の関係を考慮し、ユーザの位置情報に基づいた QoC 調整を試みている。具体的には、ユーザが存在するエリアを一定数個に区切り、エリアごとに QoC の値を静的に与え、それに従い QoC を変更する手法を提案している。すなわち (F1) の一部を実現している。しかしこの手法では、初期設定に依存し、提供するサービスや環境が限定されるため、柔軟性・拡張性に欠ける。本方式は、(F1) 動的 QoC 調整機能によって既存方式に比べてより詳細な状態に基づいた動的 QoC 調整を行い、様々な状況に対する適応を容易にすることが可能である。さらに、(F2) 環境適応性の実現を目指している点で、従来よりも高度な情報資源の流通制御が期待できる。

3.2 (F1) 情報資源の詳細な状態に基づく動的 QoC 調整機能

3.2.1 コンテキスト情報の品質 (QoC)

本研究における QoC(Quality of Context Information) は、情報資源から得られる、各情報資源が提供するコンテキスト情報 (CI) の品質とし、Buchholz らの論文 [17] に基づいて定義する。

$$QoC = \langle \text{精度, 正確さ, 信頼性, 粒度, 更新頻度} \rangle$$

精度 コンテキスト情報の誤差の範囲

正確さ 情報資源が提供するコンテキスト情報が正しい値である確率

信頼性 情報資源が獲得するコンテキスト情報が正しい値である確率

粒度 コンテキスト情報の細分化の度合いを示す単位

更新頻度 コンテキスト情報を他の情報資源へ提供する頻度

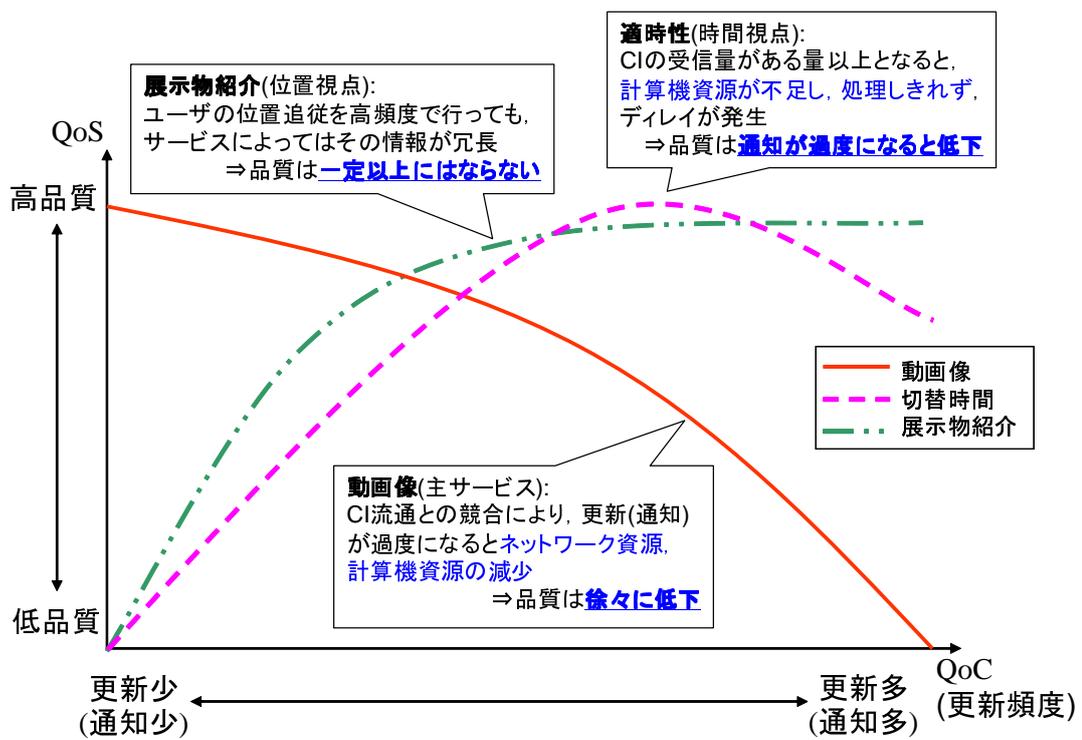


図 3.1: 美術館ガイドサービスにおける QoS と QoC の関係の例

QoS と QoC パラメータのうち“更新頻度”に注目し，QoS と QoC の相互関係の例を図 3.1 に示す．高い QoC の CI を流通・処理させると，その分資源を消費し，主サービスの利用可能な資源が制限され，その品質が低下する．逆に QoC を低下させるとコンテキストアウェアネスが低下し，サービス提供が遅れたり，ユーザが少し前にいた場所でサービスが開始されたりする．これらは，コンテキストアウェアサービスにおいて致命的な欠陥である．本論文ではこのような QoS と QoC の関係に着目し，QoC を実環境の情報資源の状況や QoS の状況に応じて調整し，より高度なコンテキストアウェアサービスを提供することを目指す．

3.2.2 動的 QoC 調整

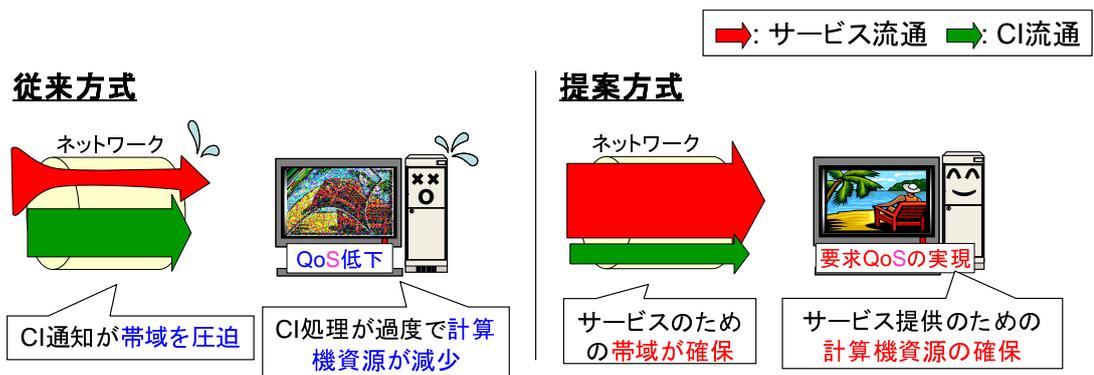
図 3.2 に，(F1) 動的 QoC 調整の概要を示す．(F1) では，サービスやコンテキスト情報 (CI) の変化の傾向に応じて QoC を調整する．具体的には，CI の品質 (QoC) とサービスの品質 (QoS) の関係を考慮し，次の QoC 調整を行う．

サービスの QoS 変化の監視による，ユーザの QoS 要求未達成検出 (図 3.2(a))

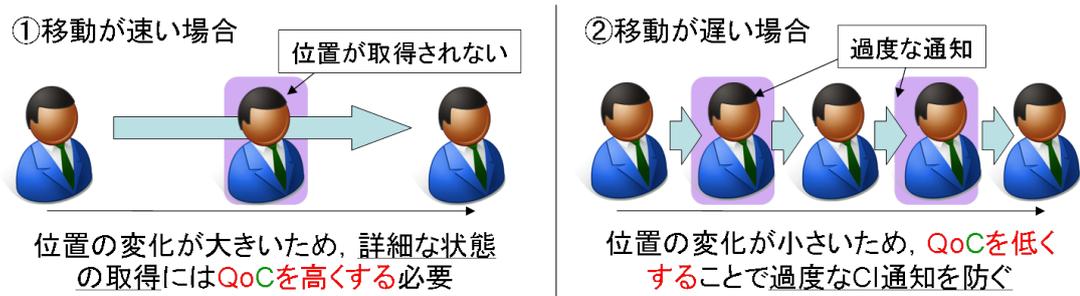
一般にコンテキストアウェアサービスでは，サービスの流通・処理と CI の流通・処理においてネットワーク，計算機資源を共用する．そのため，例えば CI 流通が過度になった場合，CI 通知が帯域を圧迫する，あるいは CI 処理が過度で計算機資源が減少するといった問題により QoS の低下を引き起こす可能性がある．本機能では，これらの状況を QoS を監視することにより検知し，異常を検出した場合に QoC 調整を行うことで，サービスのためのネットワーク帯域の確保，あるいはサービス提供のための計算機資源の確保などを行い，ユーザが要求する QoS でサービス提供を実現する．

ユーザとモノの位置関係やユーザの移動速度等，ユーザの動き・状態の反映 (図 3.2(b))

ユーザの移動に追従して，ユーザの位置情報をより正確に把握するためには，ユーザの移動速度が速いほど，詳細なユーザの位置情報を取得する必要がある．そのため，より高い更新頻度 (QoC) で位置情報を把握する必要がある．そこで，ユーザの移動速度に応じ



(a) QoS 要求未達成検出による調整



(b) ユーザの動き・状態の反映

図 3.2: (F1) 動的 QoC 調整の概要

て、高い QoC を要求する。一方、ユーザの移動速度が遅い場合、位置の変化は小さいため、高い QoC は不要であり、また過度な QoC の通知はサービスの劣化、あるいは停止を引き起こす可能性がある。そのため、QoC を低くすることで過度な CI 通知を抑制する必要がある。また、ユーザとその端末間との間に距離がある場合、サービスを提供する可能性が低いため、低い QoC を設定し、情報資源の消費を低減できる。一方、距離が短くなるほど、サービス提供の可能性が高くなり、高い QoC で位置を細かに知る必要がある。よって、ユーザと端末間の距離に応じて QoC を変更する必要がある。

このように QoC を変数として用いる関数を定義することで、従来手法で必要であった QoC を変更する範囲等の静的な設定が不要となり、実環境の変化に応じて、連続的に QoC を調整しつつサービスを提供することが可能となる。

3.3 マルチエージェントシステム

コンテキストウェアサービスにおいて、3.2.2 節で述べた (F1) 動的 QoC 調整実現するために、次のような課題を解決する必要がある。

- 各情報資源のコンテキスト情報 (CI) の自律的な取得と分散管理
- 各情報資源間でサービス提供に必要なコンテキスト情報の効果的な流通
- サービスを支える柔軟なシステム構築のための基盤の欠如

そこで本研究では、サービス提供に関わる個々の情報資源を、高度な自律性と協調性に基づくエージェントとして構成し、ユビキタス情報環境をマルチエージェントシステムとして実現する。マルチエージェントの概念を適用することにより、以下の効果が期待される。

- 動的な CI 取得と合成に基づく即興的なサービス構成
- 動作状況を反映した CI の自律的な獲得

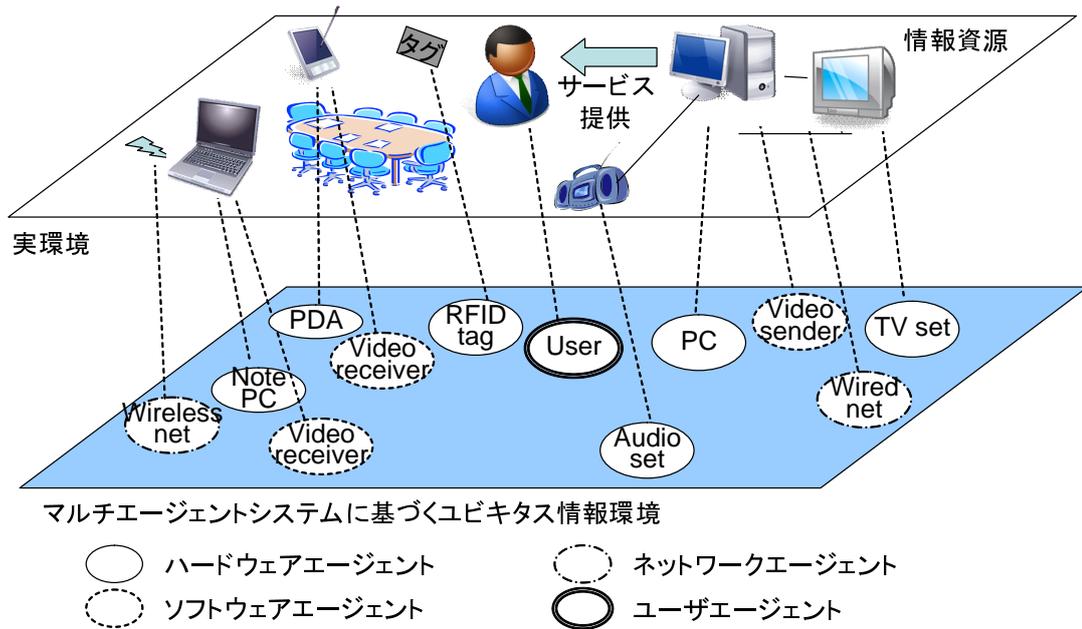


図 3.3: マルチエージェントに基づくユビキタス情報環境

- エージェント間協調による，CIの効果的な流通と分散管理

図 3.3 に，マルチエージェントを用いたユビキタス情報環境を示す．個々の情報資源は，関連づけられたエージェントにより監視・操作され，各エージェントは，エージェント間の契約に基づいて動的に組織化しサービスを構成する．また，各エージェントは，情報資源の CI を管理すると共にエージェント間通信プロトコルを用いて CI を流通する．さらに，対象とする情報資源の仕様や能力を知識として持ち，この知識と監視から動作状況を把握する．

3.4 (F2) ユビキタス情報環境の長期的変化に対する環境適応機能

(F1) は，様々な情報資源の振る舞いやユーザの動きに対して，既存手法よりも柔軟に対応することが可能となる．しかしながら，(F1) のアルゴリズムが対象とする部分はユーザの移動経路や生活習慣など，ある程度限られる．例えば (F1) では，情報資源の配置が変

わった場合や、ユーザがこれまで移動していた経路が大きく変わる場合などに対応することは困難である。そこで (F2) は、サービス提供単位ごとのサービス提供後の評価に基づき、(F1) で用いたアルゴリズムをチューニングする。具体的には、(F1) で用いた QoC 推論部で用いた端末間の距離やユーザの移動速度といった QoC 導出関数を用いた場合に定数として表現可能な部分に対して、チューニングを行う。この機能により、冗長な QoC による CI の流通を抑制すると共に、より柔軟な QoC 調整を実現する。

第4章 提案方式の設計

本章では、提案方式の有効性を評価するためのシステムと、3章で提案した(F1)情報資源の詳細な状態に基づく動的 QoC 調整機能をシステム上で実現するための詳細設計について述べる。

4.1 提案方式の適用例: 利用者追従型動画像配信サービス

利用者追従型動画像配信サービスの例を用いて、本提案方式の設計例を示す(図4.1)。本サービスでは、ユーザが携帯端末で動画像を受信しながら移動し、サービス移転先の端末に近づくと、図4.1右側の高画質の配信が可能なサービス移転先端末へサービスが移転する。このとき、サービスを提供する可能性があるサービス移転先端末は、位置センサによって取得されたユーザの位置情報から、ユーザと該当端末の距離およびユーザの移動速度を算出する。その算出されたユーザの移動速度とサービス移転先端末間の距離に応じて QoC の変更要求を行う。

また、例えば図4.1のサービス移転先端末のように、状況に応じて高い QoC を設定する一方、その CI の流通によって、携帯端末が提供している資源が切迫し、動画像のサービス品質に影響を及ぼす場合がある。その際は、動画像のフレームレートなどの QoS を監視することにより、実際に QoS が低下した場合には現在よりも低い更新頻度の要求を行い、システム全体の挙動を意識したコンテキスト情報管理を行う。

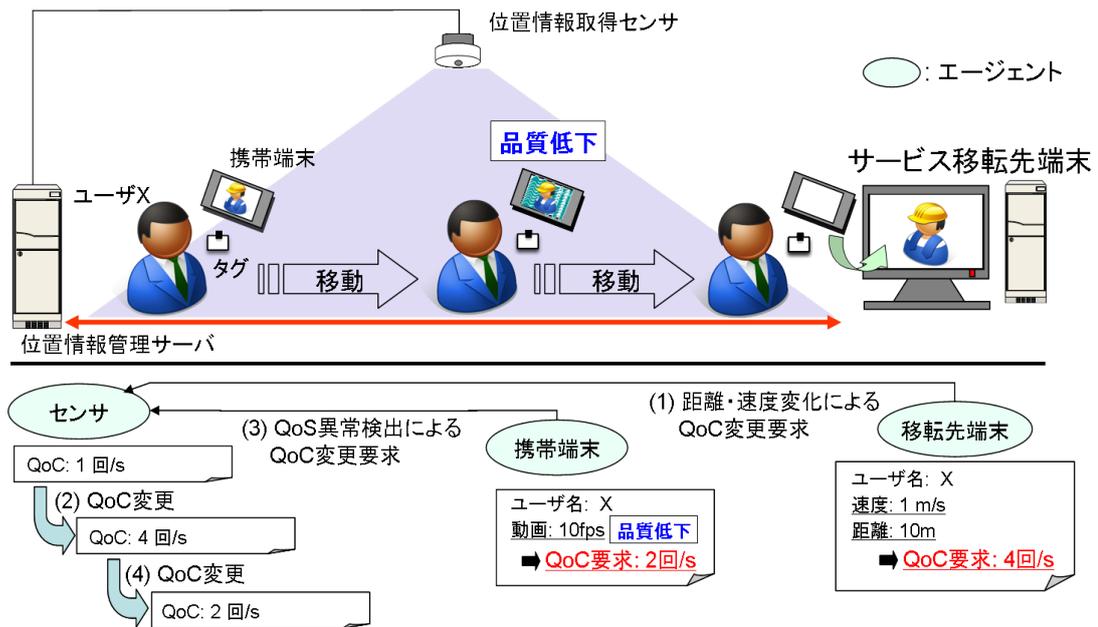


図 4.1: 提案方式の適用例: 利用者追従型動画配信サービス

4.2 設計概要

提案方式の有効性を検証するためのシステムとして、4.1節で挙げた利用者追従型動画配信サービスの実験システムを構築した。動画配信はリアルタイム性が強く、画質やフレームレートなどの、QoSを左右するパラメータの維持が特に求められるサービスであるため、提案方式を評価するためのシステムとして適切であると言える。

4.3 エージェント構成設計

本実験システムで用いたエージェントの構成を図4.2に示す。本実験システムは、ユーザ位置情報管理サーバ、ストリーミングサーバ、携帯端末およびサービス移転先端末の計4種類の端末から構成される。また、各端末ではエージェントミドルウェアが動作しており、図4.2で示されるように各種エージェントが配置される。以下では、各エージェントの役割、機能概略を挙げる。

- User: ユーザエージェント

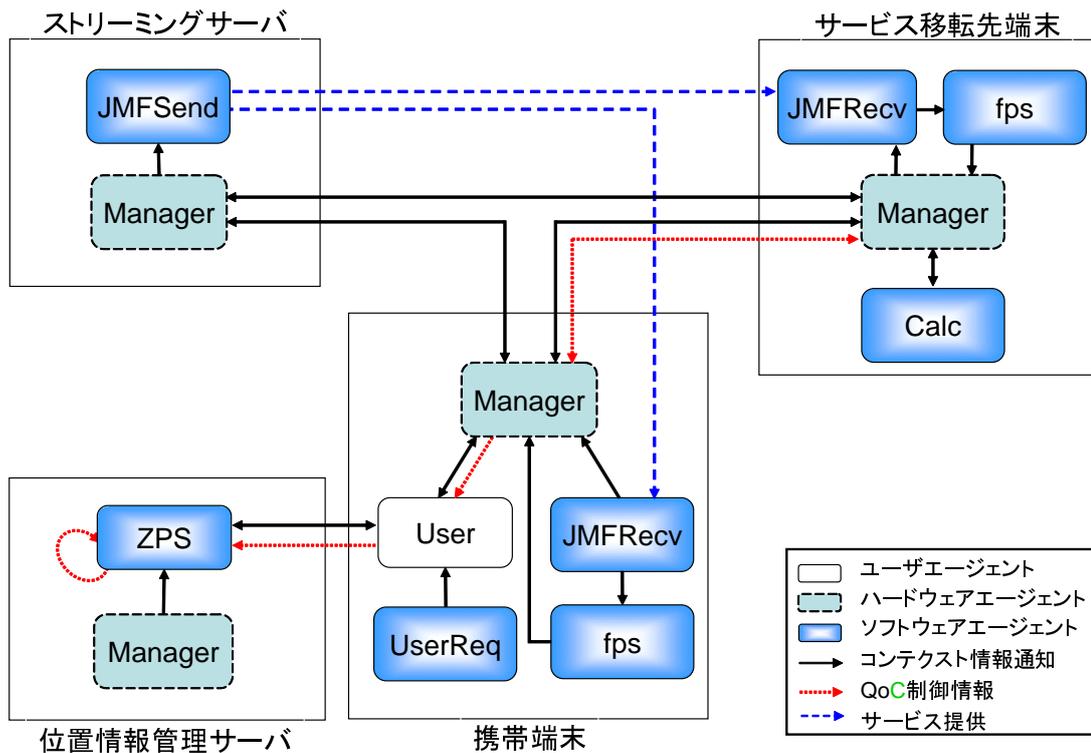


図 4.2: 実験環境におけるエージェントの構成

ユーザのコンテキストを管理するエージェント。サービスに関わるユーザの要求や位置情報などのコンテキスト情報を管理し、他のエージェントへ通知する。

- **UserReq:** ユーザ要求獲得エージェント

ユーザ要求を獲得するエージェント。ユーザ要求獲得用ユーザインタフェースによりユーザ要求を獲得するソフトウェアを制御する。入力されたユーザ要求は *User* へ通知する。

- **ZPS:** ユーザ位置情報管理エージェント

超音波位置計測センサ (ZPS)[20] を用いて、タグの位置情報 (コンテキスト情報) を獲得し、提供する機能を持つエージェント。他のエージェントからの QoC 変更要求に応じて、位置情報の更新頻度を動的に変更し、コンテキスト情報を獲得・通知する。

- **Manager:** 端末管理エージェント

端末ごとに設置され、各端末内のエージェントを管理するエージェント。他の端末内の *Manager* との通信、サービス源・出力先切替えの決定・命令等を行う。

- *JMFSend, JMFRcv*: 動画送受信エージェント

マルチメディア通信用ソフトウェアである JMF [21] を制御するエージェント。 *Manager* の要求に応じて、 *JMFSend* エージェントが動画の送信を、 *JMFRcv* エージェントが動画の受信を行う。提供可能なサービス品質(画質、フレームレート、解像度等)をソフトウェアのコンテキストとして管理し、特にフレームレートは *fps* エージェントへ通知する。

- *fps*: フレームレート監視エージェント

JMFRcv が受信する動画のフレームレートを監視するエージェント。フレームレートの要求違反を検出すると、 *Manager* へ通知する。フレームレートは *JMFRcv* からコンテキスト情報として毎秒獲得し、異常判定の評価には 5 秒間移動平均を用いる。

- *Calc*: 位置情報変換エージェント

位置情報を元に、ユーザと特定 PC との距離や移動速度を算出し、距離と速度に基づく QoC の値を導出するエージェント。導出した QoC の値は、 *Manager* に通知する。

ユーザの位置情報に関するセンシングデバイスとして、超音波センサ (ZPS) を利用した。本システムではタグはユーザが保持し、ZPS からの位置情報はユーザを指す。

初期設定では、Web カメラからの動画が、ユーザの持つ携帯端末に表示される。なお、ユーザは常に携帯端末を持ち移動することとする。さらに、ユーザが移動し、サービス移転先端末に近づいた場合は、動画の出力先が携帯端末からサービス移転先端末に切り替わる。 *User* と *UserReq* は携帯端末上に配置する。ZPS から受信したタグの位置情報は *User* がユーザの位置情報としてマッピングし、管理する。

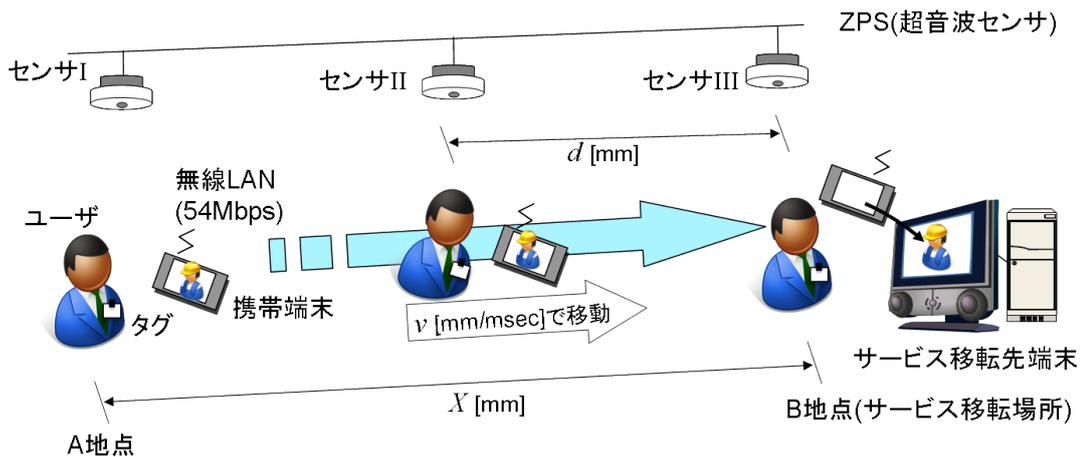


図 4.3: (F1) 情報資源の詳細な情報に基づく動的 QoC 調整のシナリオ

4.4 (F1) 情報資源の詳細な状態に基づく動的 QoC 調整機能の設計

本節では、4.1 節に挙げた利用者追従型動画配信サービスにおける動的 QoC 調整機能の設計について説明する。本論文では、情報資源のシステム全体の挙動を意識したコンテキスト情報の効果的な流通を実現するために、情報資源の詳細な状態に基づいて動的な QoC 調整を行う。

本システムを適用するシナリオを図 4.3 に示す。ユーザは無線 LAN に接続した携帯端末を持ち、超音波センサを利用した位置情報提供システム ZPS[20] によるユーザ位置情報の監視範囲である A 地点から B 地点の間を移動する。サービス移転はユーザが B 地点にあるサービス移転先端末に近づいた際に生じる。なお、位置情報の更新間隔を基に QoC のパラメータ“更新頻度”を設定し、フレームレート (fps) を QoS パラメータとする。

本システムにおける QoC(ユーザの位置情報の更新頻度) の具体的な調整手順を図 4.4 に示す。調整手順の詳細を以下に示す。

(1) コンテキスト情報受信

QoC 調整はコンテキスト情報に基づいて行われる。この QoC 調整の判断基準となるコンテキスト情報は以下の 2 種類がある。

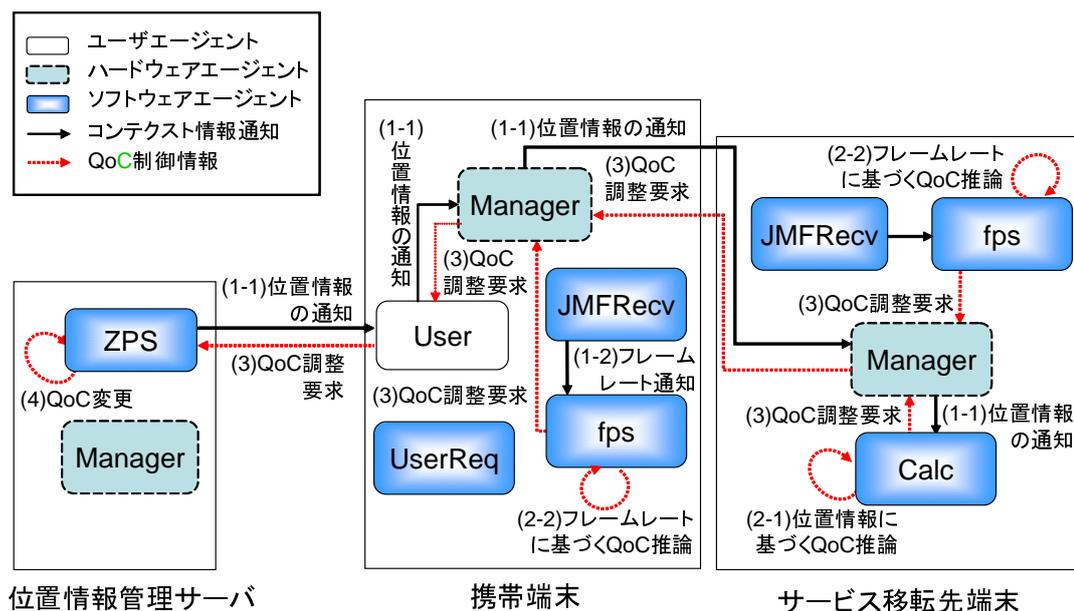


図 4.4: (F1) における QoS 調整手順

(1-1) ユーザ位置情報

ユーザ位置情報は、まず、タグの位置を獲得する ZPS から、ユーザコンテキストを管理するエージェントである *User* へと通知され、*User* はタグの位置情報をユーザの位置情報としてマッピングした上で、自身のコンテキストとしてユーザ位置情報を蓄積する。次に、ユーザ位置情報はサービス移転先端末内に *Manager* へと通知される。その後、*Manager* は得た位置情報を *Manager* は *Calc* へと通知し、以下のサービス移転先端末とユーザの距離とユーザの移動速度の 2 つの情報を得られた位置情報から生成する。

- サービス移転先端末とユーザの距離

ユーザの位置情報と自身が所属するハードウェア(この場合、サービス移転先端末)の位置情報を照合し、ユーザとの距離を測定する。

- ユーザの移動速度

位置情報には、それを送信した時間が付与されており、直前に受信した位置情報と、新たに得た位置情報を用いて、ユーザの移動量と位置情報の送信間隔を基にユーザの移動速度を測定する。

(1-2) 動画像のフレームレート

動画像のフレームレートは、動画像を再生中の端末内に存在する *JMFRecv* が監視し、毎秒 *fps* に通知される。通知を受けた *fps* は自身のコンテキストとして現在の再生している動画像のフレームレートを獲得し、5 秒間保持する。

(2) QoC 推論

QoC 推論は、(2-1) 位置情報に基づいた QoC 推論、(2-2) 動画像のフレームレートに基づいた QoC 推論の 2 種類で行われる。推論の結果、QoC 値の変更が必要だと判断した場合は、手順 (3) により QoC 変更要求の通知を行う。

(2-1) 位置情報に基づいた QoC 推論

Calc は、手順 (1-1) で得た位置情報、およびそれを基に生成したサービス移転先端末とユーザとの相対距離、およびユーザの移動速度を基に、現在設定されている QoC の値が適切であるかの推論を実行する。本 QoC 推論の基準を以下に示す。

基準 1. **if** $d < d'$ **then** QoC を高く設定

基準 2. **if** $d > d'$ **then** QoC を低く設定

基準 3. **if** $v > v'$ **then** QoC を高く設定

基準 4. **if** $v < v'$ **then** QoC を低く設定

基準 5. **if** $d = d'$ **and** $v = v'$ **then** QoC を維持

ここで、 d, d' は、位置情報に基づいた現在の相対距離と直前の相対距離、 v, v' は、位置情報を基に生成されたユーザの現在の移動速度、直前の移動速度を表す。

基準 1, 2 は、サービスの移転先であるサービス移転先端末とユーザとの相対距離に基づいた QoC 推論である。相対距離が短くなるとサービス移転の可能性がより高まるため、より高い QoC を設定する。一方、相対距離が長くなるとサービス移転の可能性が低くなるため、低い QoC を設定する。

基準 3, 4 は、ユーザの移動速度に基づいた QoC 推論である。ユーザの移動速度が速くなった場合、ユーザの位置変化は大きくなるため、より高い QoC を設定する事でユーザ

位置の追従を強化する。一方、ユーザの移動速度が遅くなった場合、位置変化が小さくなるため、低い QoC を設定する。

なお、基準 5 は、ユーザが静止し続けている場合を示す。このとき、QoC は変更しない。

これらの基準に基づき、実装システムでは次のような QoC 導出式を定義し、QoC 推論に用いる。

$$QoC = \alpha \cdot d + l \quad \alpha = \begin{cases} \exp(v_{ave} - v) \cdot \frac{h-l}{X} & (v_{ave} < v) \\ \{\ln(v_{ave} - v - 1) - 1\} \cdot \frac{h-l}{X} & (v_{ave} \geq v) \end{cases} \quad (4.1)$$

ここで、 X はセンサが図 4.3 の A 地点から B 地点までの位置取得可能な最大距離 [mm]、 d はユーザとサービス移転先端末との距離 [mm] を表す。 v はユーザの移動する速さ [mm/msec]、 v_{ave} は過去の実行結果を基に算出したユーザの平均移動速度 [mm/msec] である。 h, l は、ユーザが A 地点、B 地点における目安となる更新間隔時間をそれぞれ考慮した定数 [msec] を表す。

なお、Tokairin らの手法 [8] における QoC の導出は、式 (4.2) に従い行われる。

$$QoC = \begin{cases} 1 & (\text{ユーザの位置} = \text{センサ I の監視エリア内}) \\ 5 & (\text{ユーザの位置} = \text{センサ II の監視エリア内}) \\ 10 & (\text{ユーザの位置} = \text{センサ III の監視エリア内}) \end{cases} \quad (4.2)$$

このように、既存手法では限定的な情報資源の状況と大まかなユーザの位置情報に基づいた調整であったのに対し、提案手法では、より詳細な位置情報を用いて調整を行っており、より情報資源の状況に基づいた調整となっている。

(2-2) 動画像のフレームレートに基づいた QoC 推論

fps は、手順 (1-2) で受信した動画像のフレームレート、および $UserReq$ から通知されたユーザの QoS 要求に基づき、ユーザが要求する動画像フレームレートに対して、過去 5 秒間の平均値が一定以上の低下を示した場合は、QoC の変更を行う。この際、変更する QoC の値は次の式で定義する。

$$QoC = \frac{QoC'}{2} \quad (\text{動画像のフレームレートが一定以上の低下を示した場合}) \quad (4.3)$$

ここで、 QoC' は変更要求が発生時に位置情報管理エージェント (例えば、ZPS エージェント) が設定している QoC 値を示す。

なお、Tokairin らの手法 [8] においては、各端末の CPU 使用率が 80% を越えた場合、以下の調整が行われる。

$$QoC = 1 \quad (\text{各端末の CPU 使用率} > 80\%) \quad (4.4)$$

しかし、設定値が不十分な場合、コンテキストウェアサービスの品質に影響を与える場合がある。提案手法においては、相対的に調整を加えることで、手順 (2-1) の推論方針を考慮した推論が可能となる。

(3) QoC 変更要求

手順 (2) で導出された QoC の値を、 QoC 変更要求としてコンテキスト情報通知元のエージェントへ送信する。要求の送信手順としては、エンティティ間の連携が動的に行われることを考慮して、図 4.4 で示したように、*User* を仲介する形で *ZPS* へ要求を送信する。

(4) QoC 変更

手順 (3) の QoC 変更要求を受信した *ZPS* は、その要求に基づいて、タグの位置情報の更新頻度を変更する。

以上の手順により、本システムにおける、コンテキスト情報 (位置情報) の QoC (更新頻度) の動的な調整を実現する。

第5章 実装

本章では，4章で設計したシステムに関して実装概要および実装環境について述べる．

5.1 実装概要

提案方式の有効性を検証するため，ユビキタス情報環境を想定した利用者追従型動画配信システムを実装した．本システムは，固定した複数のカメラから撮影された動画像を，遠隔地で移動するユーザの位置とサービス品質に対する要求に応じて最寄の表示装置へ配信を行う．例えば，自宅のペット，託児所に預けた子供，遠隔地に住む高齢者の家族などの様子を遠隔から見守るシステムなどを応用例として想定している．

5.2 実装環境

本システムの実装環境を図5.1に，および実装環境構築のために使用した端末の性能を表5.1に示す．なお，携帯端末1および2は，実験に応じていずれか一方を使用するものとする．また，環境内にサービス移転端末を複数設置する場合，使用する端末の性能や設置の条件は同じものとする．

エージェント開発言語として，ルール型推論に基づくエージェントフレームワークであるDASH-1.9.7h1 (DASH: Distributed Agent System based on Hybrid architecture)[22]を用いた．なお，本実装においてDASHを用いるのは，4.3節で述べたエージェントアーキテクチャを実現するのに適しているためである．また，エージェントの開発・シミュレーションにはDASH環境のエージェント統合開発環境であるIDEA-1.2.4(IDEA: Interactive Design

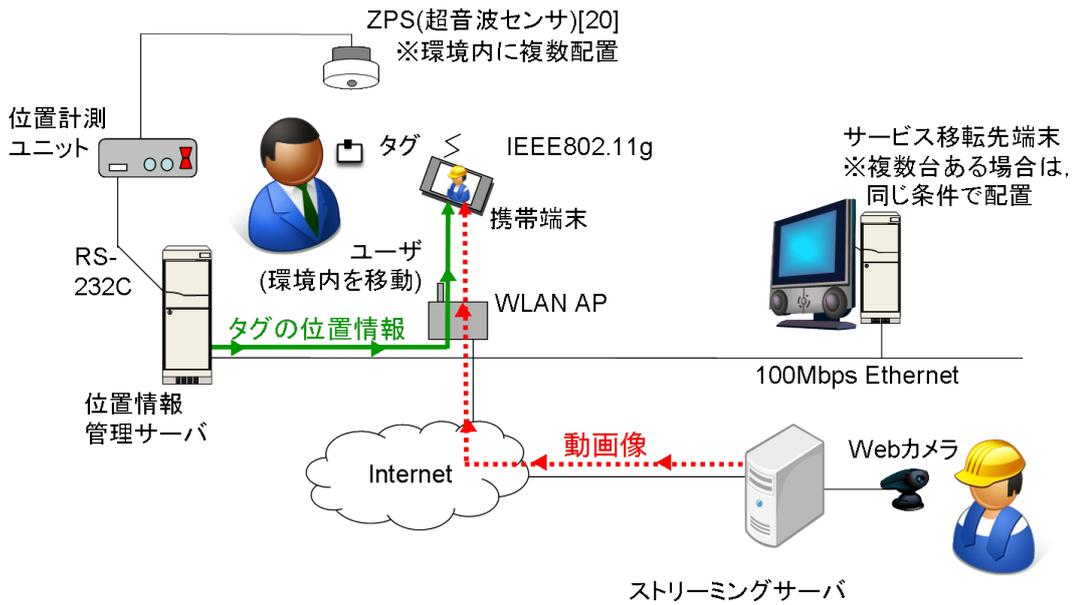


図 5.1: 実装環境

Environment for Agent system)[23] を用いた。システム全体の实装言語には Java(J2SE 1.5) と C++を使用した。

また、センシングシステムとして超音波位置測定システム (ZPS: Zone Positioning System)[20] を利用した。なお、ZPS はセンサキット自体の仕様上、常時毎秒 20 回の更新頻度でユーザ位置情報を獲得する。

通信方式は制御部分と位置情報の送受信部に TCP、メディア転送には UDP をそれぞれ

表 5.1: 実装環境で使用した端末の性能

端末	CPU	メモリ	OS
携帯端末 1*	Intel Celeron M 500MHz	256MB	Windows XP SP3
携帯端末 2*	Intel Core2Solo 1.2GHz	1014MB	Windows Vista Business
サービス移転先端末	Intel Celeron M 1.4GHz	512MB	Windows XP SP3
ストリーミングサーバ	Intel Celeron M 1.4GHz	512MB	Windows XP SP3
位置情報管理サーバ	Intel Celeron M 1.4GHz	512MB	Windows XP SP3

*実験シナリオに応じて一方を使用する

使用した。システムの実装において、動画像の送受信部には JMF-2.1.1e(JMF: Java Media Framework)[21] を使用し、動画像圧縮方式として H.263 を使用した。

ネットワーク環境は、有線 LAN(Ethernet/100Mbps)、無線 LAN(IEEE802.11g/54Mbps) が混在する環境を構築した。動画像のキャプチャに市販の Web カメラを、再生用デバイスとして市販の PC とディスプレイをそれぞれ利用した。

本システムの初期設定では、Web カメラで撮影されたストリーミング動画像はユーザの持つ携帯端末に配信される。ユーザが移動し、サービス移転先端末に近づいた場合は、携帯端末に比べてより高性能なサービス移転先端末へ動画像の配信先が切り替えられる。本システムを用いて、ユーザの携帯端末では、動画像と同時にユーザ位置情報を受信するため、ユーザ携帯端末における計算機・ネットワーク資源負荷が増大することになるが、3章で述べた、提案方式により悪影響が改善されることを示す。

第6章 実験と評価

6.1 実験概要

提案方式の (F1) 情報資源の詳細な情報に基づく動的 QoC 調整機能を，実際のサービス利用時の状況を想定した 2 つの実験により評価する．具体的には，QoS, QoC パラメータを観測し，ユーザが目的地に向かって直線的に移動をする場合 (実験 1)，およびジグザグに移動する場合 (実験 2) を，本提案方式と既存手法 [8] による調整方式を比較する．

6.2 実験 1: ユーザが直線的に移動する場合

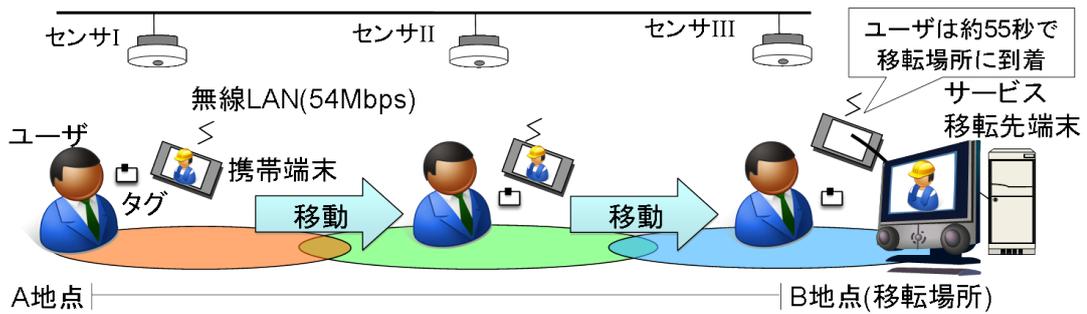
6.2.1 実験方法

実験目的

本実験では，計算機資源にボトルネック (高負荷) となる環境を対象として，本研究の提案である (F1) 動的 QoC 調整の有効性を検証する．具体的には，5 章で示した実装システムにおいて，既存方式 [8] に対し，提案方式はよりサービス品質 (QoS) の高いコンテキストウェアサービスの提供が可能であることを示す．

実験環境

本実験では，ユーザの携帯端末として表 5.1 の携帯端末 1 を使用する．また，(F1) 動的 QoC 調整の特徴である，ユーザとサービス移転先端末との距離，およびユーザの移動速度を用いた調整が行われていることを確認するため，サービス移転先端末は 1 台のみとする．



エリアI (センサI監視範囲)		エリアII (センサII監視範囲)		エリアIII (センサIII監視範囲)	
①	②	③	④	⑤	
5秒滞在	15秒移動	20秒滞在	15秒移動	30秒滞在	

図 6.1: 実験 1: シナリオ設定

実験シナリオ設定

本実験では、サービス提供エリア内におけるユーザの直線的な移動を想定し、図 6.1 のようなシナリオを設定した。このシナリオに基づき、既存手法 (Tokairin らの手法 [8]) と提案手法を比較した。

QoC 調整アルゴリズムの設定

本実験では、QoC (ユーザ位置情報の更新頻度) 調整アルゴリズムを、表 6.1 のように設定した。なお、提案手法の QoC 調整式 (式 (4.1)) の X , h , l , v_{ave} は、予備実験の経験を基に、固定的に設定した。

評価項目の設定

本実験で比較対象とする QoS パラメータとして、動画像の滑らかさの指標であり、ユーザが知覚可能なレベルでの QoS に大きく影響を与えるフレームレート (fps: frame per second) と、サービス移転に要した時間を計測した。なお、ユーザが要求する動画像のフレームレートは 30fps とし、平均フレームレートが 28fps より低下した場合は、要求未達成 QoC 変更要求を行う。

表 6.1: 実験 1: QoC 調整アルゴリズム

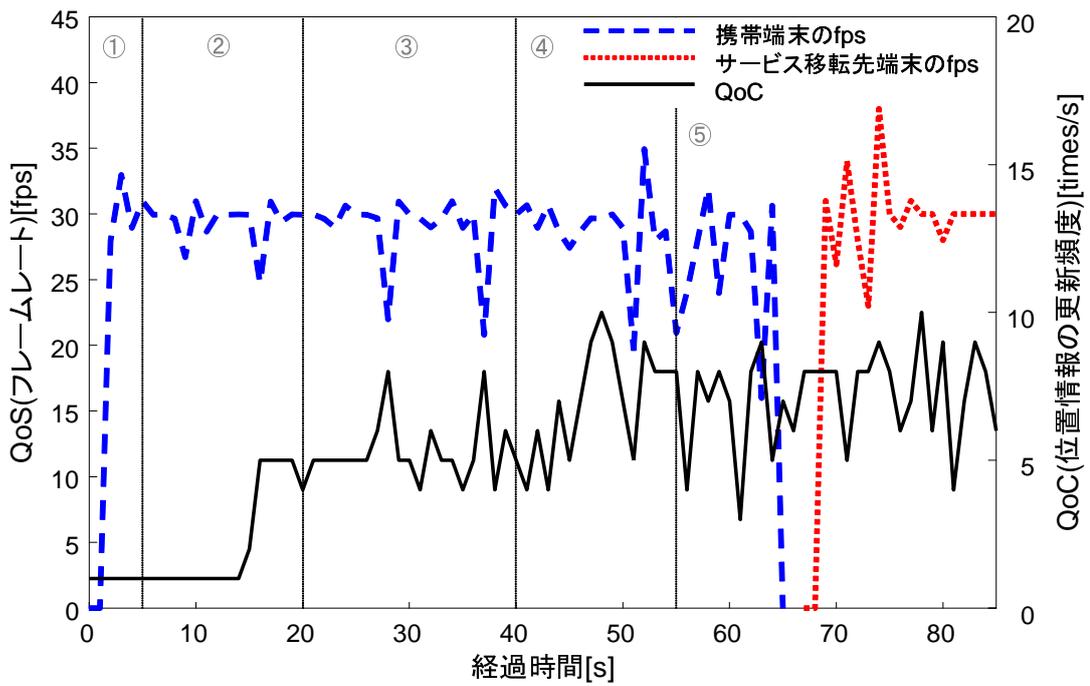
手法	アルゴリズム
既存方式	if $\exists(c \geq 80\%)$ then QoC = 1 else if ユーザがエリア I に存在 then QoC = 1 else if ユーザがエリア II に存在 then QoC = 5 else if ユーザがエリア III に存在 then QoC = 10 ※ エリアの区分は図 6.1 による
提案手法	式 (4.1), (4.3) による調整 (ただし, $X = 5550, h = 1000, l = 100, v_{ave} = 0.09$)

6.2.2 実験結果

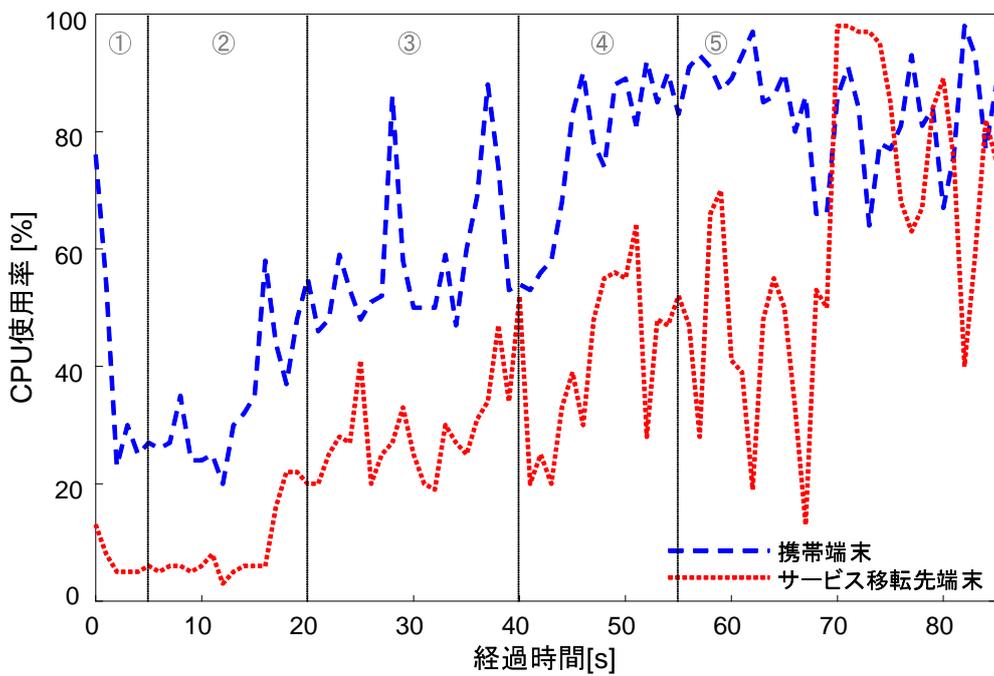
実験結果を図 6.2, 図 6.3 に示す. 各グラフは, 図 6.2 が既存手法, 図 6.3 が提案手法をそれぞれ適用した場合の (a) QoS(動画像のフレームレート) とユーザ受信端末で受信した QoC (1 秒間あたりのユーザ位置情報の更新回数), (b) 各端末の CPU 使用率の時間変化を示したものである. なお, 図 6.1 に示したユーザの状態を各グラフ中では①~⑤と記載している.

既存手法 (Tokairin らの手法 [8]) の場合は, QoC 調整アルゴリズムに従ってほぼエリアごとに設定された QoC 値に調整されている. 具体的には, 開始から 17 秒までは QoC が 1, 18 秒から 48 秒まではほぼ QoC が 5, 49 秒以降は QoC が 10 にそれぞれ設定されていることがわかる. しかし, CPU 使用率が閾値 (80%) を上回った際の QoC 調整要求は, 実験時間内に実現しなかった. QoS (動画像のフレームレート) はユーザの要求値である 30 fps をほぼ満たしている. また, 携帯端末からサービス移転先端末への動画像配信先切替処理は約 3 秒であり, 実用上問題のない時間内で処理が行われている. しかし, サービス移転が発生する場所に到着してから, 実際にサービス移転処理が開始されるまでに約 10 秒遅延が発生した. これはユーザ位置情報に基づくサービス提供としては致命的な問題である.

一方, 提案手法の場合は, ユーザの位置と移動速度に応じた QoC 調整アルゴリズムに

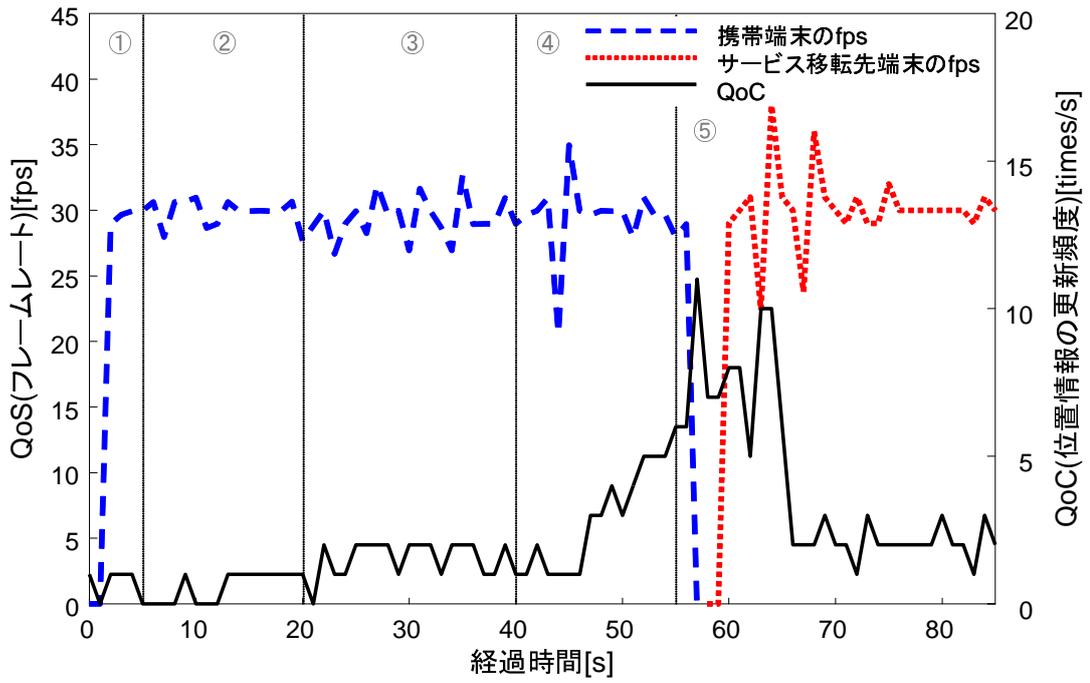


(a) QoS(動画画像フレームレート)とQoCの測定結果

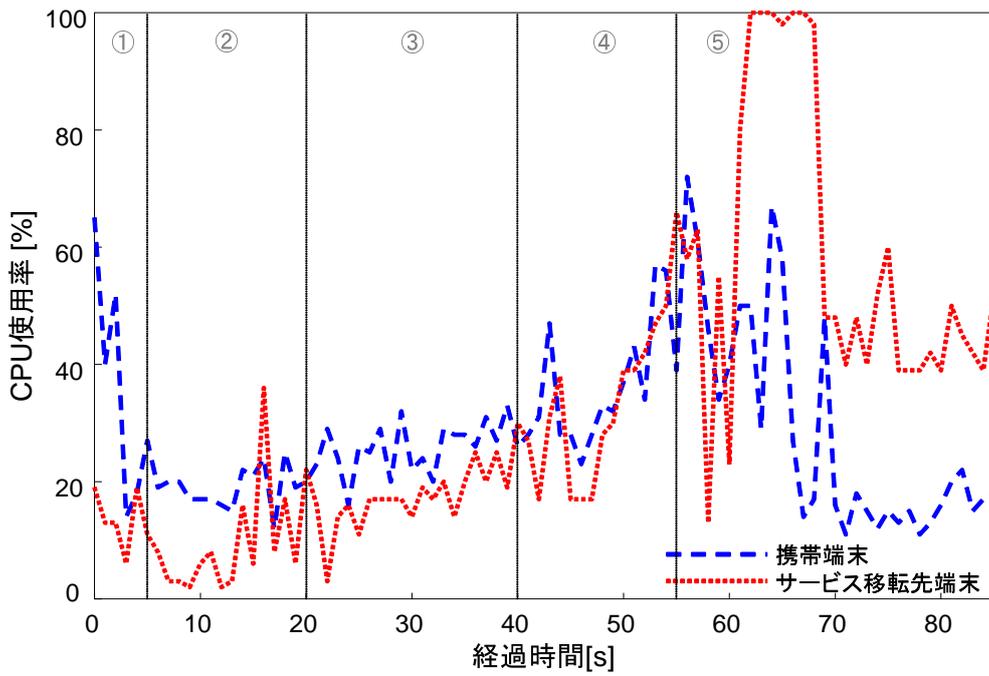


(b) CPU 使用率の測定結果

図 6.2: 実験 1: 既存手法 (Tokairin らの手法 [8])



(a) QoS(動画フレームレート)とQoCの測定結果



(b) CPU 使用率の測定結果

図 6.3: 実験 1: 提案手法

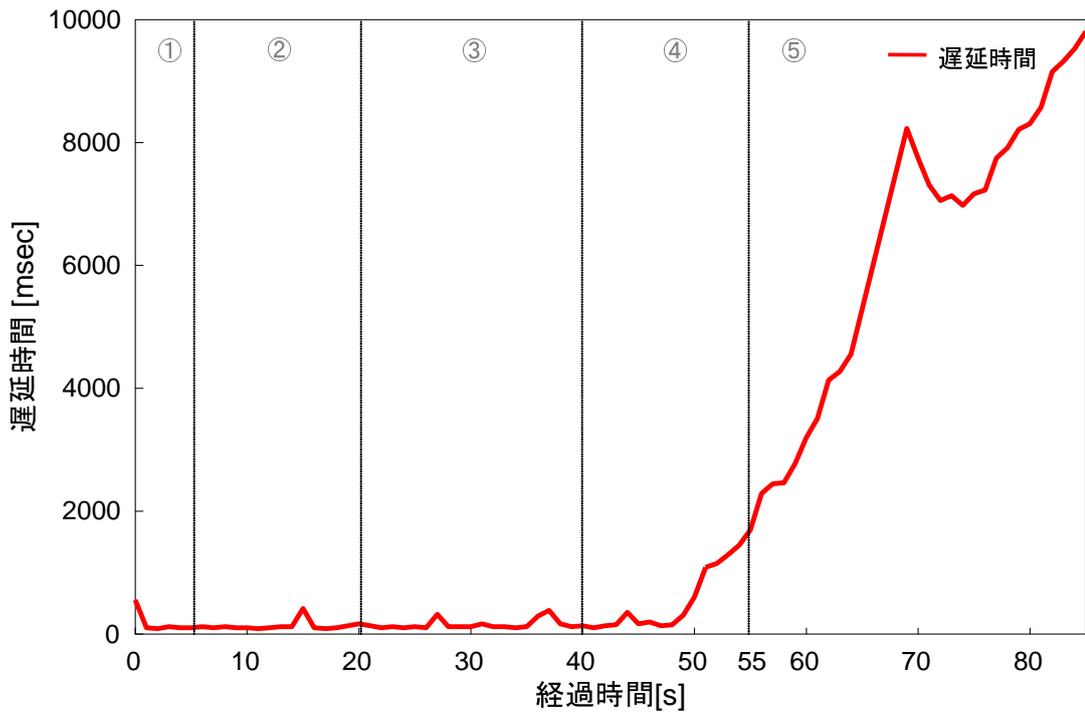
ほぼ従った QoC が調整されている。特に、47 秒からサービス移転が行われるまでの部分では、特に明示的に現れている。また、43 秒付近、および 65 秒付近では、QoS 異常による QoC 調整動作も見られ、サービスを提供する携帯端末、サービス移転先端末の異常検知による、コンテキスト情報の流通制御が実現されている事がわかった。QoS (動画像のフレームレート) はユーザの要求値である 30 fps を既存手法と同程度満たしており、携帯端末からサービス移転先端末への動画像配信先切替処理は約 2 秒であり、既存手法同様、実用上問題のない時間内で処理が行われている。サービス移転にかかる時間については、実際にサービス移転処理が行われるまでに要した時間は約 3 秒で、既存手法で見られたサービス移転処理に係る遅延が大幅に改善された。

6.2.3 考察

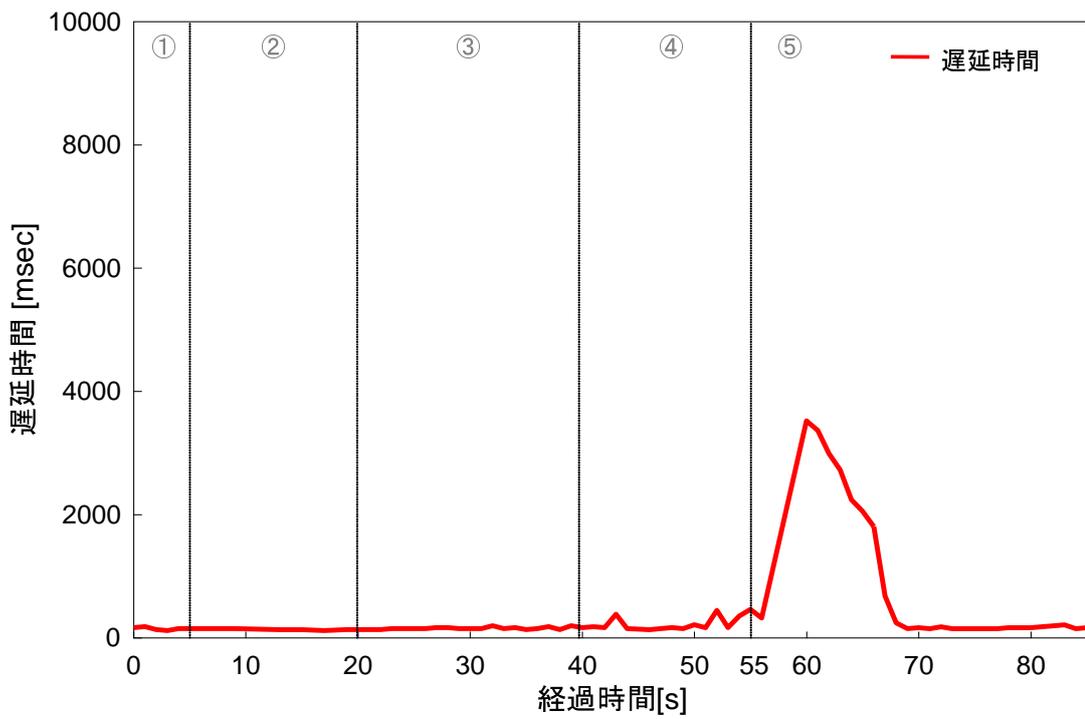
実験結果より、利用者追従型動画像配信サービスの主サービスである動画像受信に関して既存手法、提案手法ともにユーザの要求 QoS を満たす結果となったが、既存手法においてサービス移転に大きな遅延が発生し、CPU 使用率監視に基づく QoC 調整が行われないう問題が発生していた。これらの問題は、位置情報、また QoC 調整要求を中継する携帯端末の CPU 負荷による位置情報の処理遅延が発生したためと考えられる。

図 6.4 に、既存手法、提案手法それぞれを適用した実験で得られた、サービス移転先端末における位置情報の処理遅延時間の時間変化を示す。既存手法(図 6.4(a))では、携帯端末において QoC および CPU 使用率が共に高くなった 50 秒前後から徐々に遅延時間が右上がりに増し始め、サービス移転処理があった 70 秒前後に一度極大になり、その後さらに遅延時間が増えていく傾向が見られた。一方、提案手法(図 6.4(b))では、サービス移転が発生した 60 秒前後で極大となる以外では、大きな遅延は発生していない。

これらの結果から、携帯端末において位置情報および QoC 調整要求の処理に十分な資源を割り当てることができず、QoC 調整および位置情報の中継に遅延が生じたことが、既存手法における問題が発生した原因であるといえる。



(a) 既存手法 (Tokairin らの手法 [8])



(b) 提案手法

図 6.4: 実験 1: 位置情報の処理遅延時間

6.3 実験2: ユーザがジグザグに移動する場合

6.3.1 実験方法

実験目的

本実験では、本研究の提案である (F1) 動的 QoC 調整について、ユーザの多様な動きへの有効性を検証する。具体的には、5章で示した実装システムにおいて、(F1) 動的 QoC 調整の特徴である、ユーザとサービス移転先端末との距離、およびユーザの移動速度を用いた調整が行われていることを確認し、既存手法に対し、提案手法は、よりサービス品質 (QoS) の高いコンテキストウェアサービスの提供を実現することを示す。

実験環境

本実験では、ユーザの携帯端末として表 5.1 の携帯端末 2 を使用する。また、サービス移転先端末は 2 台使用し、それぞれを A, B とする。サービス移転先とする 2 台は、性能、環境への設置の条件は等しい。

実験シナリオ設定

本実験では、サービス提供エリアを含む室内におけるユーザの平面上での非直線的な動きを想定し、図 6.5 のようなシナリオを設定した。このシナリオに基づき、既存手法 (Tokairin らの手法 [8]) と提案手法を比較した。

QoC 調整アルゴリズムの設定

本実験では、QoC (ユーザ位置情報の更新頻度) 調整アルゴリズムを、表 6.2 のように設定した。なお、提案手法式 (4.1) の X , h , l , v_{ave} は、予備実験の経験を基に、固定的に設定した。

評価項目の設定

本実験で用いる評価項目は、実験 1(6.2 節) と同じものを用いる。本実験で比較対象とする QoS パラメータとして、動画像の滑らかさの指標であり、ユーザが知覚可能なレベルでの QoS に大きく影響を与えるフレームレート (fps: frame per second) と、サービス移転に要した時間を計測した。なお、ユーザが要求する動画像のフレームレートは 30fps と

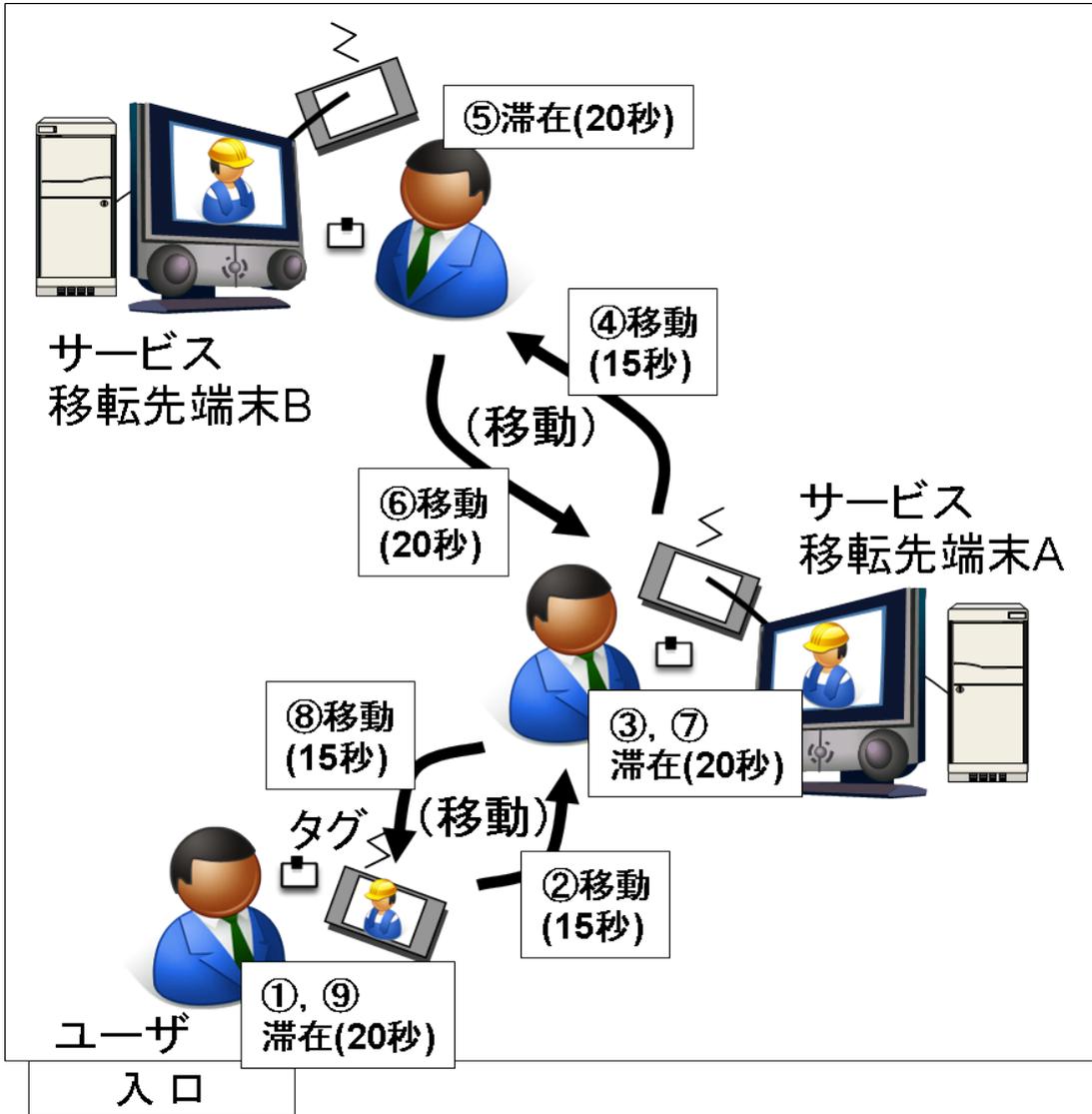


図 6.5: 実験 2: シナリオ設定

表 6.2: 実験 2: QoC 調整アルゴリズム

手法	アルゴリズム
既存方式	<p>if $\exists(c \geq 80\%)$ then QoC = 1</p> <p>else if ユーザがエリア I に存在 then QoC = 1</p> <p>else if ユーザがエリア II に存在 then QoC = 5</p> <p>else if ユーザがエリア III に存在 then QoC = 10</p> <p>※エリアの区分は図 6.6 による</p>
提案手法	<p>式 (4.1), (4.3) による調整</p> <p>(ただし, $X = 5550, h = 1000, l = 100, v_{ave} = 0.09$)</p>

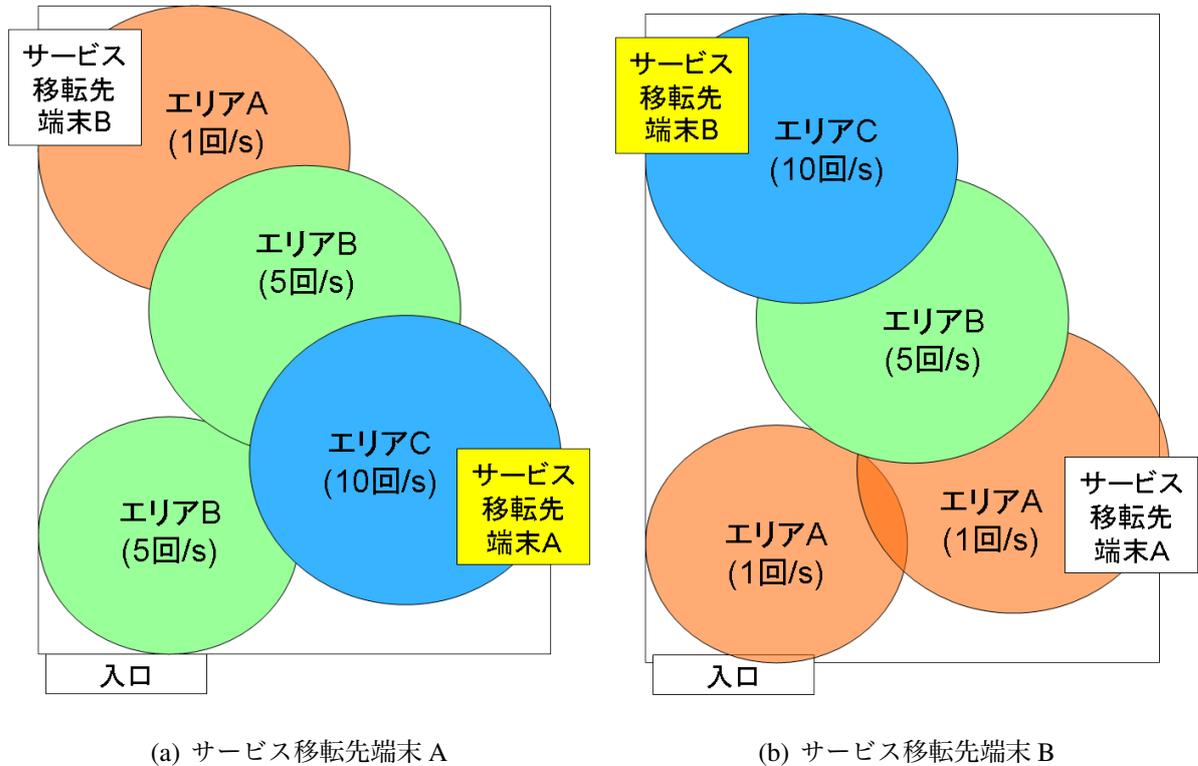


図 6.6: 実験 2: サービス移転先端末ごとの QoC の設定

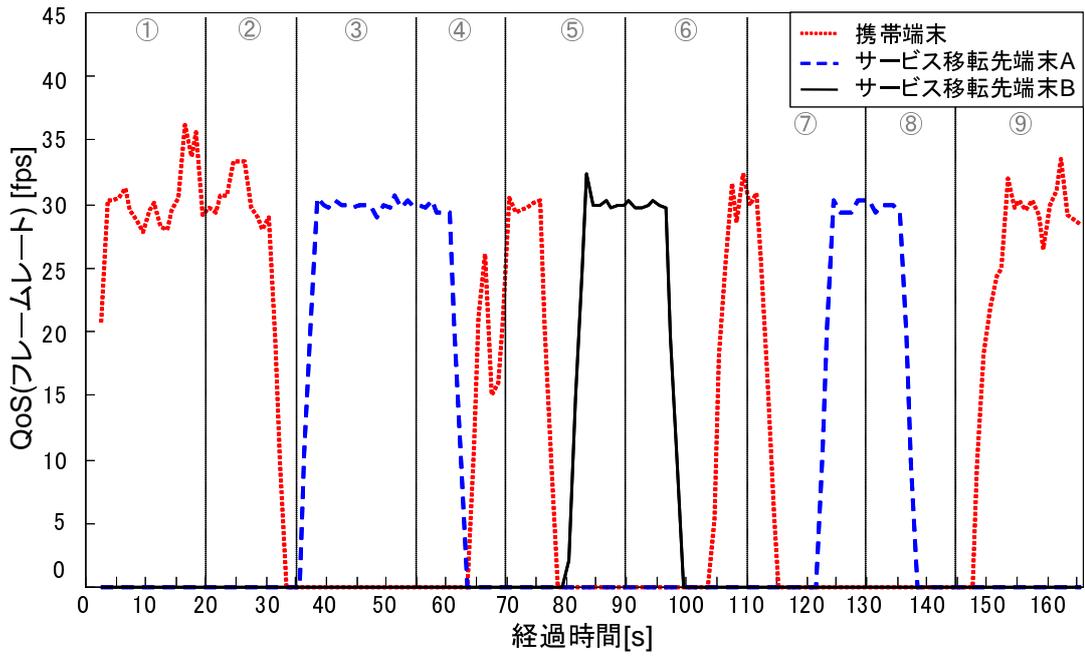
し、平均フレームレートが28fpsより低下した場合は、要求未達成 QoC 変更要求を行う。

6.3.2 実験結果

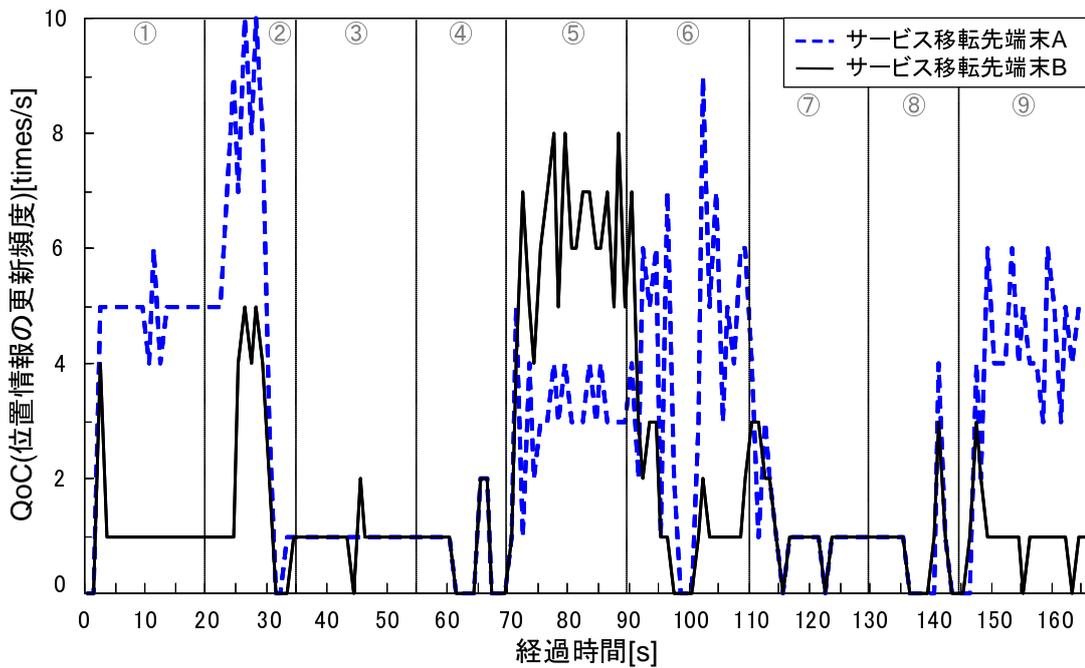
実験結果を図 6.7～図 6.10 に示す。各グラフは、図 6.7 が既存手法、図 6.9 が提案手法をそれぞれ適用した場合の (a) QoS(動画像のフレームレート)の時間変化、(b) ユーザ受信端末で受信した QoC(1 秒間あたりのユーザ位置情報の更新回数)の時間変化を示したものである。また QoS、QoC に影響を与える CPU 使用率を、既存手法、提案手法それぞれ図 6.8、図 6.10 に示す。なお、図 6.5 に示したユーザの状態を各グラフ中では①～⑨と記載している。

既存手法(Tokairin らの手法 [8])の場合、図 6.7(a)より QoS(動画像のフレームレート)はユーザの要求値である 30 fps をほぼ満たしていることがわかる。QoC に関して、図 6.7(b)よりほぼ QoC 調整アルゴリズムに従い、ほぼエリアごとに設定された QoC 値に調整されている。サービス移転先端末 A で動画像を受信している間(シナリオにおけるユーザの状態: ②後半～④前半、⑦後半～⑨前半)では、携帯端末の CPU 使用率が閾値(80%)を上回り、システム異常検出による QoC 調整要求によってサービス移転先端末 A および B の QoC が共に著しく下がっている。本来、サービス移転先端末 A では QoC が 10、サービス移転先端末 B では QoC が 5 に設定されるべきであるが、携帯端末に動画像が再び配信されるまでの間 QoC が 1 となり、設定通りに動作しなかった。携帯端末と各サービス移転先端末間の動画像配信先切替処理時間は約 5.5 秒、実用上問題のないサービス移転が発生する場所に到着してから、実際にサービス移転処理が開始されるまでに約 7.8 秒の遅延が発生した。特に、時間経過に伴って処理に時間を要する傾向があった。これはユーザ位置情報に基づくサービス提供としては致命的な問題であり、サービスの継続性の観点からも問題があるといえる。

一方、提案手法の場合は、図 6.9 よりユーザの位置と移動速度に応じた QoC 調整アルゴリズムに従い、QoC が調整されていることがわかる。また、52 秒付近と 120 秒付近でサービス移転先端末 A で、106 秒付近で携帯端末でそれぞれ発生した QoS 異常に対する

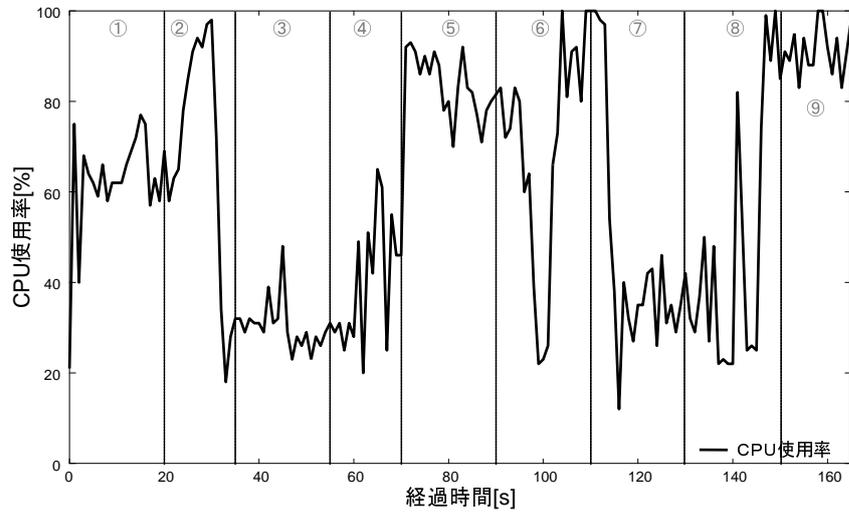


(a) QoS(動画フレームレート)の測定結果

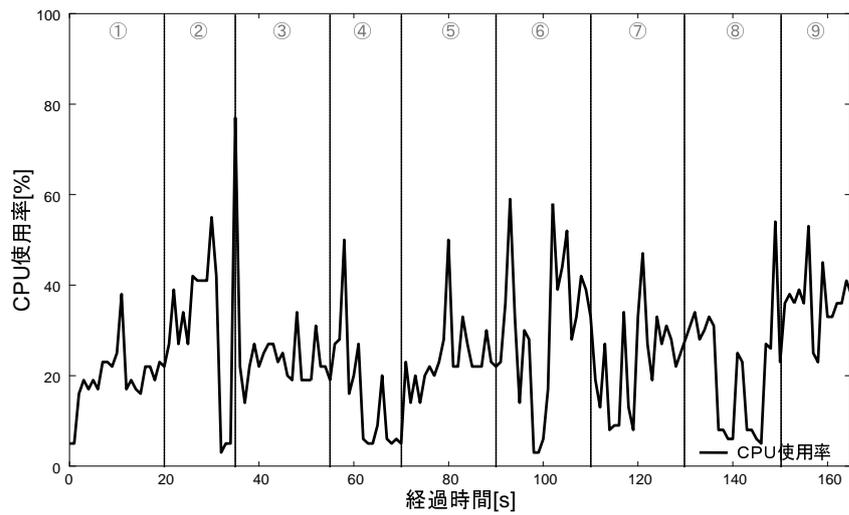


(b) QoC の測定結果

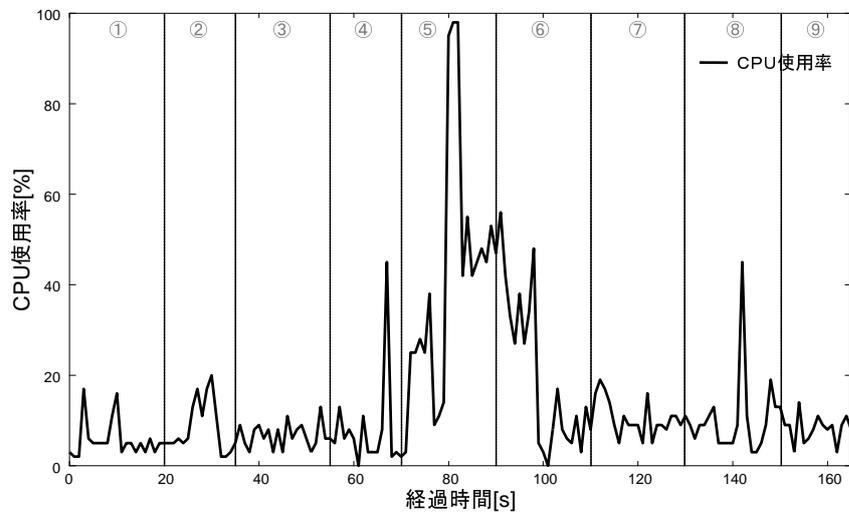
図 6.7: 実験 2: 既存手法 (Tokairin らの手法 [8]) における QoS, QoC の測定結果



(a) 携帯端末の CPU 使用率測定結果

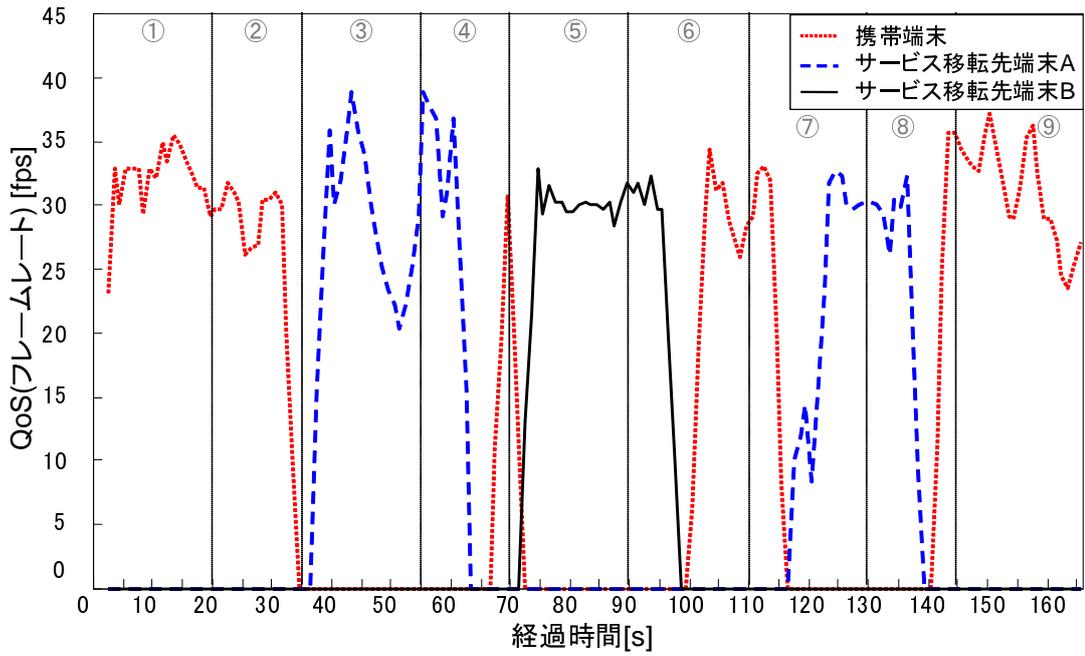


(b) サービス移転先端末 A の CPU 使用率測定結果

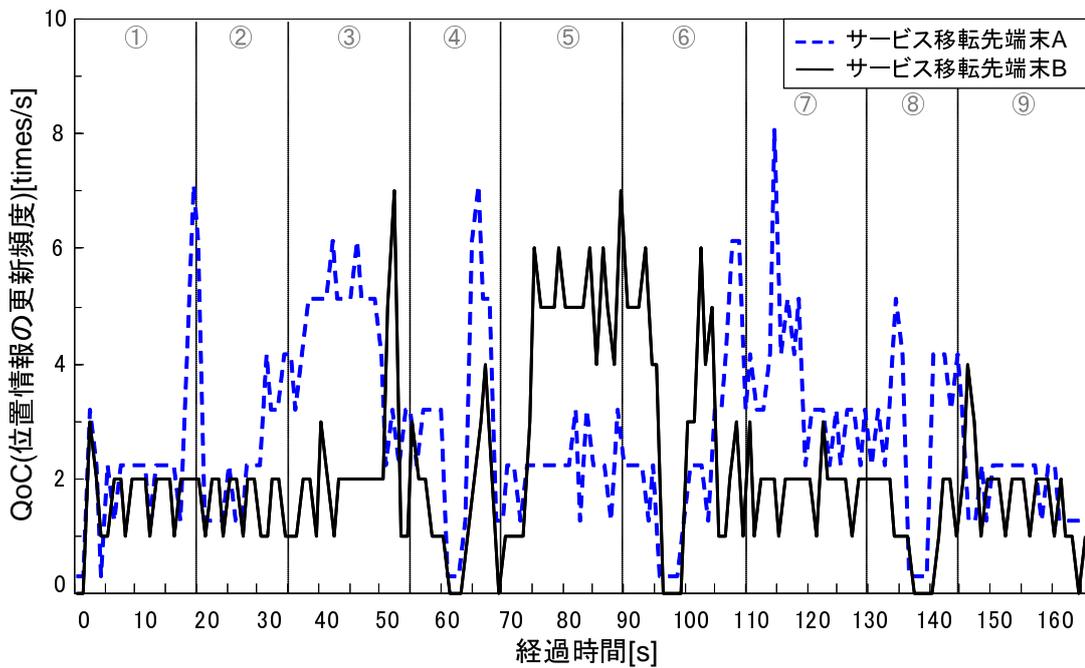


(c) サービス移転先端末 B の CPU 使用率測定結果

図 6.8: 実験 2: 既存手法 (Tokairin らの手法 [8]) における動画像受信端末の CPU 使用率

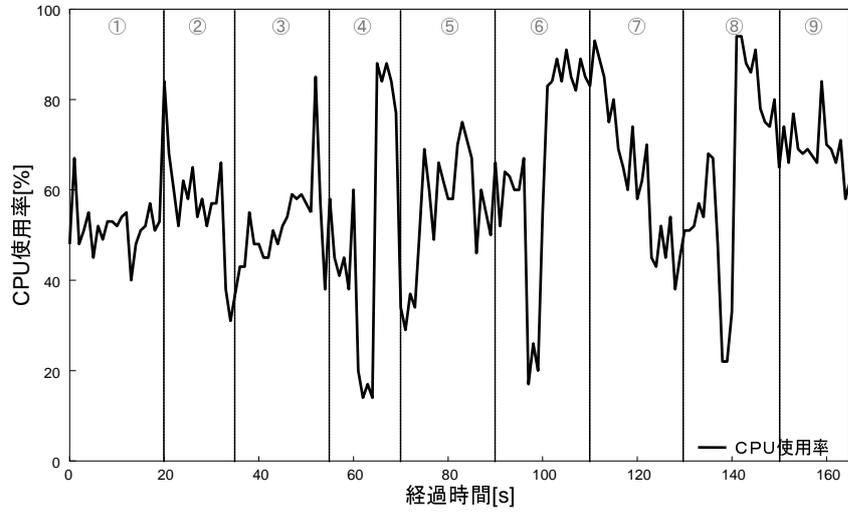


(a) QoS(動画画像フレームレート)の測定結果

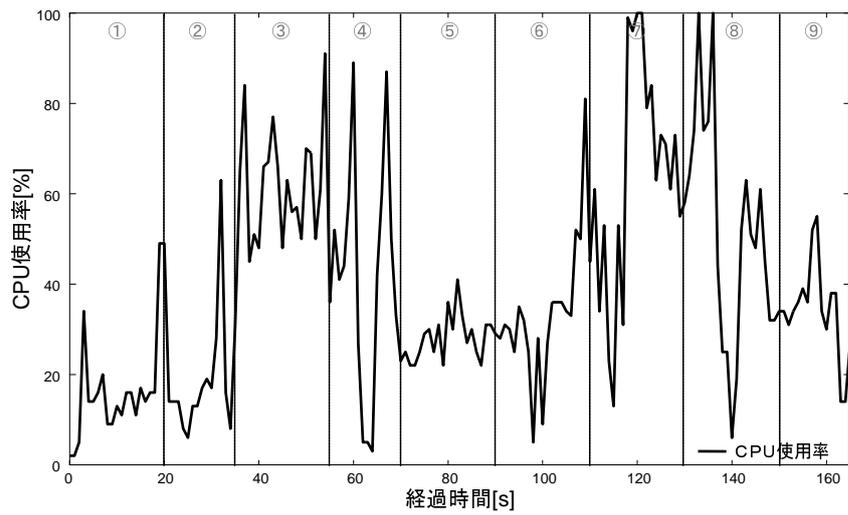


(b) QoC の測定結果

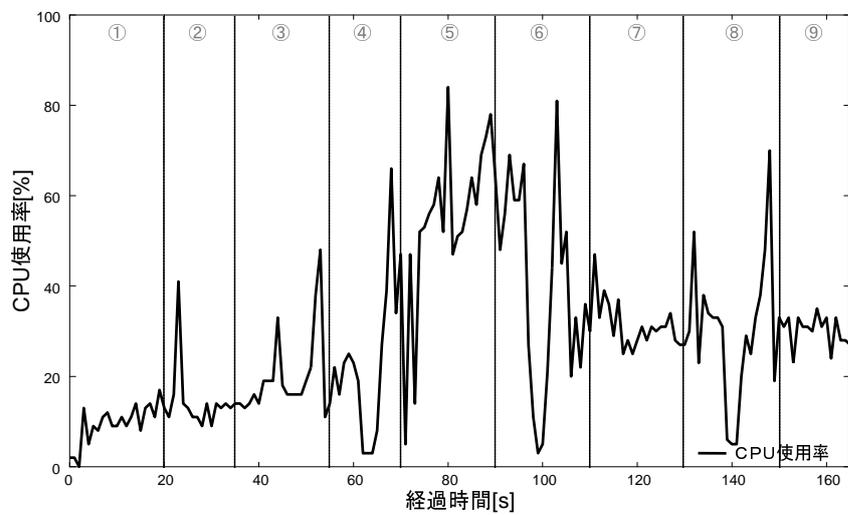
図 6.9: 実験 2: 提案手法における QoS, QoC の測定結果



(a) 携帯端末の CPU 使用率測定結果



(b) サービス移転先端末 A の CPU 使用率測定結果



(c) サービス移転先端末 B の CPU 使用率測定結果

図 6.10: 実験 2: 提案手法における動画像受信端末の CPU 使用率

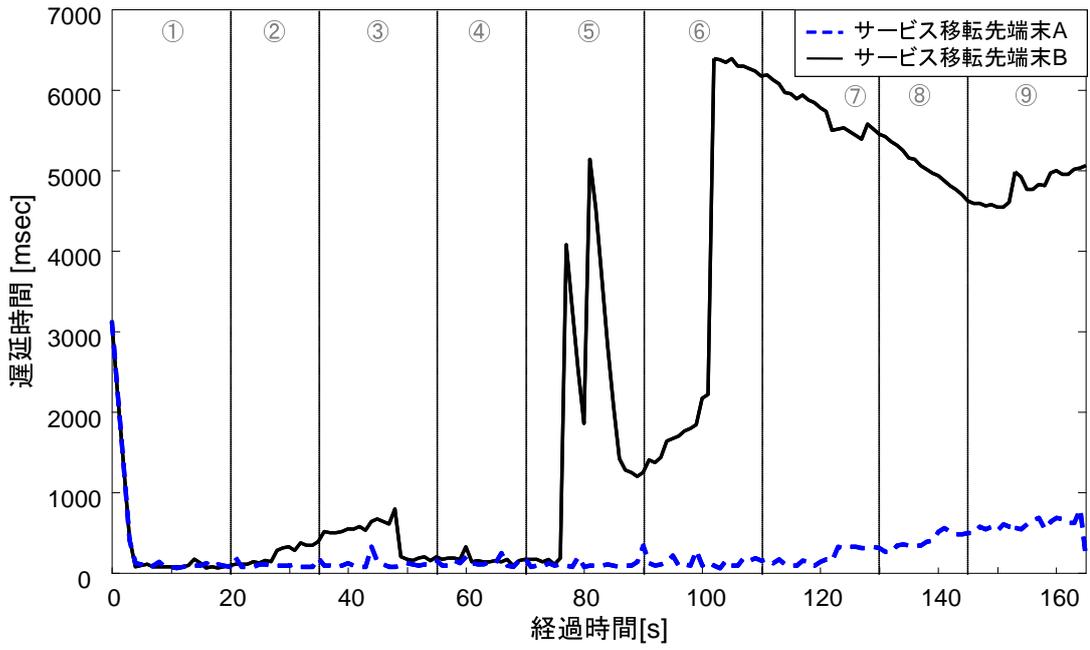
QoC 調整動作も見られ、サービスを提供する携帯端末、サービス移転先端末の異常検知による、コンテキスト情報の流通制御が実現されている事がわかった。既存手法において、エリアごとに設定した QoC 値への調整が行われない問題が発生したが、提案手法ではある程度位置に応じた値に設定され、安定したサービス提供を行うことができた。QoS (動画のフレームレート) はユーザの要求値である 30 fps を既存手法と同程度満たしており、携帯端末とサービス移転先端末間の動画配信先切替処理時間は平均 2.5 秒であり、実用上問題のない時間内で処理が行われている。サービス移転にかかる時間については、実際にサービス移転処理が行われるまでに要した時間は約 4.1 秒で、既存手法で見られたサービス移転処理に係る遅延が大幅に改善された。

6.3.3 考察

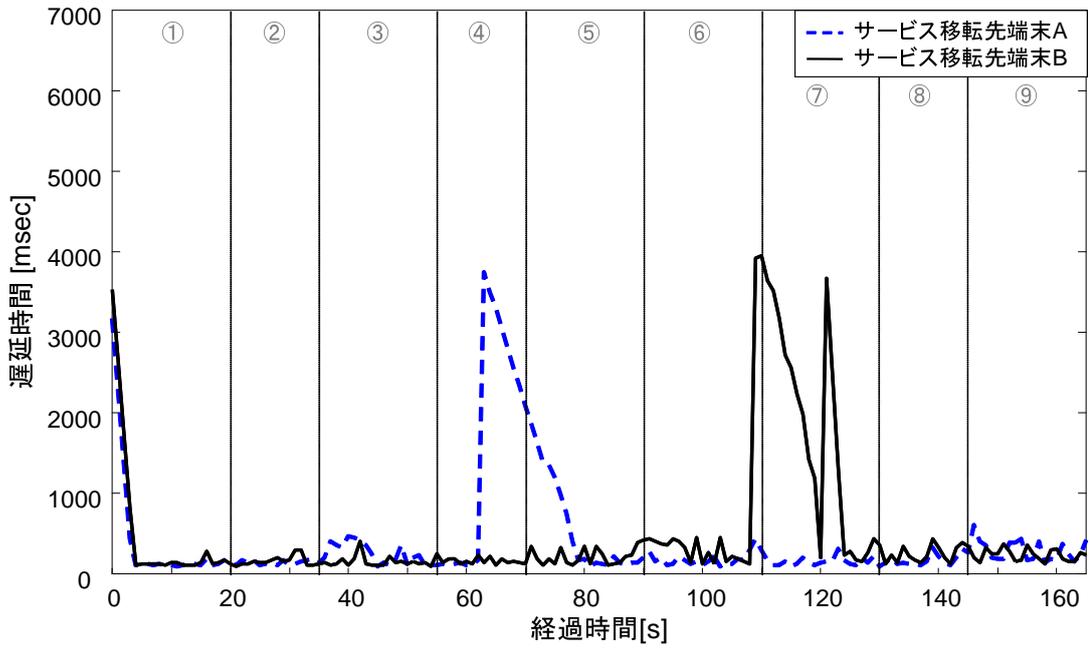
実験結果より、利用者追従型動画配信サービスの主サービスである動画受信に関して既存手法、提案手法ともにユーザの要求 QoS を満たす結果となったが、既存手法においては実験 1 と同様、サービス移転に大きな遅延が発生した。これらの問題は、各端末の CPU 負荷による位置情報の処理遅延が発生したためと考えられる。特に、位置情報を中継する携帯端末の CPU 負荷は動画の品質、およびサービス移転時間の遅延に対して非常に大きな影響を与えている。

図 6.11 に、既存手法、提案手法それぞれを適用した実験で得られた、サービス移転先端末における位置情報の処理遅延時間の時間変化を示す。既存手法 (図 6.11(a)) では、携帯端末において QoC および CPU 使用率が共に高くなった 75 秒前後から徐々に遅延時間が右上がりに増し始め、サービス移転処理があった 80 秒前後に一度極大になり、その後さらに別の端末へのサービス移転処理があった 100 秒前後から再度遅延が発生している。一方、提案手法 (図 6.11(b)) では、サービス移転が発生した箇所を除いては、大きな遅延は発生していない。

これらの結果から、携帯端末において位置情報および QoC 調整要求の処理に十分な資源を割り当てることができず、QoC 調整および位置情報の中継に遅延が生じたことが、既



(a) 既存手法 (Tokairin らの手法 [8])



(b) 提案手法

図 6.11: 実験 2: 位置情報の処理遅延時間

表 6.3: 実験 1 における評価

方式	QoS(フレームレート)	サービス移転時間
既存方式	○(平均 29.5fps)	△(約 10 秒)
提案方式	○(平均 29.7fps)	○(約 3 秒)

表 6.4: 実験 2 における評価

方式	QoS(フレームレート)	サービス移転時間
既存方式	○(平均 29.5fps)	△(平均 7.8 秒)
提案方式	○(平均 30.0fps)	○(平均 4.1 秒)

存手法における問題の原因であるといえる。

6.4 評価

実験 1, 実験 2 の結果および考察より, ユーザの位置関係や移動の速さに応じた QoC の動的な調整が可能であることを示し, 本提案方式であるサービス品質や情報資源間の位置関係, ユーザの移動の速さに応じた (F1) 情報資源の詳細な状態に基づく動的 QoC 調整の効果によって, ユーザの要求するサービス品質 (QoS) をある程度維持しつつ, 既存手法よりもサービス移転が短時間で可能となった。以上より, 情報資源の状態情報(コンテキスト情報)の流通制御によって, コンテキスト情報を利用しながら, 高品質のコンテキストウェアサービスの実現が可能となったといえる。以上から, 既存手法との比較評価を表 6.3, 表 6.4 に示す。

表中の△については, 静的に設定する QoC 値によって一部改善が可能であると考えられるが, その適応性を考えると非常に限定的であることを意味している。一方, 提案手法では, 既存手法に比べ, より詳細な状態に基づいた調整により既存手法よりも適用範囲が広がり, さらに (F2) 環境適応機能の実現によって, さらに様々なコンテキストへの対応が可能となることが考えられる。

ここで, コンテキストウェアサービスのようなユビキタス情報環境で展開されるサー

ビスの品質として QoS_u について述べる。ユビキタス情報環境には多種多様な情報資源が遍在しており、ユーザの位置や状況に応じてさまざまなサービスを展開することが可能となる。そのため、サービスを展開する際、以下のような点を考慮する必要がある

- 主となるサービスについて、ユーザの要求する品質を満たす
- 適切な場所でサービスを展開する
- 適切なタイミングでサービスを展開する

これらを踏まえ、ユビキタス情報環境におけるサービス品質の指標として QoS_u を以下のように定義する。

$$QoS_u = \langle QoS, \text{適所性}, \text{適時性} \rangle$$

QoS ユーザが直接受けるサービス自体の品質 (従来の QoS)

適所性 サービスがタイミングよく提供されるかの指標

適時性 サービスが適所で提供されるかの指標

例えば、高い QoC の CI を流通・処理させると、その分資源を消費し、サービスの利用可能な資源が制限され、 QoS_u のパラメータ (主に QoS) が低下する。逆に QoC を低下させるとコンテキストアウェアネスが低下し、サービス提供が遅れたり (低い適時性)、ユーザが少し前にいた場所でサービスが開始されたり (低い適所性) する。これらは、コンテキストアウェアサービスにおいて致命的な欠陥である。よって、コンテキストアウェアサービスを提供する際、 QoS_u と QoC の関係に基づいた動的な QoC 調整、すなわち、 QoC を情報資源の状況や QoS_u の状況に応じて調整し、可能な限り高い QoS_u を実現する必要がある。

第7章 結論

7.1 結論

本研究では、ユビキタス情報環境におけるコンテキストウェアサービスの高度化を目的とし、情報資源の状態情報(コンテキスト情報)の流通制御方式として、特に、(F1)情報資源の詳細な状態に基づく動的 QoC 調整を提案した。

この提案方式を導入した利用者追従型動画像配信サービスを実装し、実験の結果より、情報資源から得られるサービス品質とユーザの位置や状況に応じて、コンテキスト情報の QoC を調整する本方式の効果が確認された。すなわち、サービスの移転の可能性がある端末に近づいた際に徐々に QoC を増加させることや、QoC の増加によって QoS が低下した場合には、一度 QoC を低下させ QoS を回復させることなどにより、高い QoS を維持することが可能であることを示し、サービス移転については既存方式よりも短時間で実現し、より高度なコンテキストウェアサービスの提供が可能であることを示した。

7.2 今後の課題

本研究では、QoC パラメータとして位置情報の更新頻度のみを扱ったが、今後、精度や粒度などの QoC パラメータなどを取り入れた動的 QoC 調整への拡張や、様々なサービスへの適用により、その効果を検証する必要がある。

謝辞

本論文を終えるにあたり，このような興味深い研究テーマを与えていただき，日頃の研究活動の際に貴重な御指導を賜りました東北大学電気通信研究所 白鳥則郎教授に心から感謝致します。

また研究に指導にご多忙な中，本論文を審査を通して有意義なご指導，ご助言を賜りました，東北大学大学院情報科学研究科 堀口進教授に深く感謝いたします。

また，東北大学サイバーサイエンスセンター 木下哲男教授には，審査時にとどまらず，大学院セミナー等を通し，日頃から数多くの有益な御指導，御助言を賜りました。心より感謝いたします。

そして，東北大学電気通信研究所 菅沼拓夫准教授には，本研究をはじめ研究生活全般にわたって終始御指導，御助言を賜りました。心より感謝いたします。

東北大学電気通信研究所 白鳥研究室，東北大学サイバーサイエンスセンター 木下研究室の皆様には，折に振れ貴重な示唆，ご助言をいただきました。特に，白鳥研究室の先生方や先輩方に心よりお礼申し上げます。また，研究の日々を共に過ごした白鳥研究室 同期の方々には，日頃から様々な相談に付き合ってください，研究生活を通して大きな支えとなりました。この場を借りて感謝の意を表します。

最後に，日々の生活で多くの興味・刺激を与えてくださったたくさんの人たちと，これまで精神的，経済的に支えてくれた家族に深く感謝して，本論文を締めくくりたいと思います。

発表論文

国際会議

1. Y. Sato, S. Izumi, H. Takahashi, T. Suganuma, and N. Shiratori, “An adaptive control scheme of context information for ubiquitous computing environment,” in *Proc. of the 4th International Conference on Mobile Computing and Ubiquitous Networking (ICMU2008)*, pp. 116–123, Jun., 2008.
2. Y. Sato, H. Takahashi, T. Suganuma, and N. Shiratori, “Design and implementation of an adaptive control scheme of context information delivery,” in *Proc. of the 3rd International Conference on Complex, Intelligent and Software Intensive Systems (CISIS2009)*, Mar., 2009. (accepted)
3. H. Takahashi, Y. Sato, T. Suganuma, and N. Shiratori, “A dynamic control scheme of context information for context-aware services,” in *Proc. of International Workshop of Informatics (IWIN 2008)*, pp. 130–138, Sept., 2008. (Young Researcher Award)

研究会・ワークショップ

1. 佐藤由久, 高橋秀幸, 菅沼拓夫, 白鳥則郎, “コンテキストウェアサービスのためのマルチエージェントに基づく適応型情報管理方式の提案,” 信学技報, Vol.108, *MoMuC2008-54*, pp. 69–74, Sept., 2008.
2. 佐藤由久, 高橋秀幸, 菅沼拓夫, 白鳥則郎, “ユビキタス情報環境における適応型コンテキスト情報流通制御方式の提案,” *IN2007*, Miyagi, Sept., 2007. (口頭発表)

参考文献

- [1] 田原康生, “1. はじめに: ユビキタスネットワーク社会の実現に向けて (小特集: ユビキタスネットワーク技術開発プロジェクト),” **電子情報通信学会誌**, vol. 91, no. 7, pp. 563–568, Jul., 2008.
- [2] 小林真輔, 越塚登, 坂村健, “4. 超小型チップネットワークワーキング技術 (小特集: ユビキタスネットワーク技術開発プロジェクト),” **電子情報通信学会誌**, vol. 91, no. 7, pp. 595–603, Jul., 2008.
- [3] “Sun spot.” <http://sdc.sun.co.jp/java/series/sunspot/> (online).
- [4] M. Nakamura, Y. Fukuoka, H. Igaki, and K. Matsumoto, “Implementing multi-vendor home network system with vendor-neutral services and dynamic service binding,” in *Proc. of the IEEE International Conference on Services Computing (SCC '08)*, pp. 275–282, 2008.
- [5] 竹田義行, “14. ユビキタスへの夢 (特集: 1000号記念「夢・創・想・感」),” **電子情報通信学会誌**, vol. 90, no. 9, pp. 753–755, Sept., 2007.
- [6] 鄭顕志, 中川博之, 川俣洋次郎, 吉岡信和, 深澤良彰, 本位田真一, “ユビキタスコンピューティングにおけるアプリケーション開発手法に関する研究動向,” **コンピュータソフトウェア**, vol. 25, pp. 121–132, Oct., 2008.
- [7] 石川冬樹, 阿部玲, 高橋竜一, 吉岡信和, 深澤良彰, 本位田真一, “ユビキタスコンピューティングにおける分散協調・連携技術に関する研究動向,” **コンピュータソフトウェア**, vol. 25, pp. 133–144, Oct., 2008.

- [8] Y. Tokairin, K. Yamanaka, H. Takahashi, T. Suganuma, and N. Shiratori, "An effective qos control scheme for ubiquitous services based on context information management," in *Proc. of International Workshop on NGN and their Impact on E-Commerce and Enterprise Computing(NGN-EC2)*, pp. 619–625, Jul., 2007.
- [9] Y. Takeuchi and M. Sugimoto, "A user-adaptive city guide system with an unobtrusive navigation interface," *Journal of Personal and Ubiquitous Computing*, 2008. (online).
- [10] R. Wakkary and M. Hatala, "Situated play in a tangible interface and adaptive audio museum guide," *Personal Ubiquitous Computing*, vol. 11, no. 3, pp. 171–191, 2007.
- [11] T. Kuflik, J. Sheidin, S. Jbara, D. Goren-Bar, P. Soffer, O. Stock, and M. Zancanaro, "Supporting small groups in the museum by context-aware communication services," in *Proc. of the 12th International Conference on Intelligent user interfaces(IUI'07)*, pp. 305–308, 2007.
- [12] S. H. Baek, E. C. Choi, J. D. Huh, and K. R. Park, "Sensor information management mechanism for context-aware service in ubiquitous home," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 53, pp. 1393–1400, Nov. 2007.
- [13] E. D. Mynatt, A. S. Melenhorst, A. D. Fisk, and W. A. Rogers, "Aware technologies for aging in place: understanding user needs and attitudes," *IEEE Pervasive Computing*, vol. 3, pp. 36–41, Apr.-Jun. 2004.
- [14] T. Yamazaki, "Ubiquitous home: real-life testbed for home context-aware service," in *Proc. of 1st International Conference on Testbeds and Research Infrastructures for the Development of Networks and Communities(Tridentcom2005)*, pp. 54–59, Feb. 2005.
- [15] T. Nakamura, M. Matsuo, and T. Ito, "Context handling architecture for adaptive networking services," in *Proc. of IST Mobile Summit 2000*, pp. 295–302, 2000.

- [16] K. Fujinami, T. Yamabe, and T. Nakajima, “Take me with you! : A case study of context-aware application integrating cyber and physical spaces,” in *Proc. of ACM Symposium on Applied Computing (SAC2004)*, pp. 1607–1614, 2004.
- [17] T. Buchholz, A. Kupper, and M. Schiffers, “Quality of context: what it is and why it need,” in *Proc. of the Workshop of the HP OpenView University Association 2003 (HPOVUA2003)*, 2003.
- [18] K. Sheikh, M. Wegdam, and M. van Sinderen, “Middleware support for quality of context in pervasive context-aware systems,” in *Proc. 5th Fifth Annual IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops (PerCom Workshops '07)*, pp. 461–466, Mar. 2007.
- [19] M. C. Huebscher and J. A. McCann, “An adaptive middleware framework for context-aware applications,” *Springer Personal and Ubiquitous Computing Journal*, vol. 10, no. 1, pp. 12–20, 2005.
- [20] 古河機械金属 (株) , “ZPS(Zone Positioning System).” http://www.furukawakk.jp/products/ZPS_1.html.
- [21] Sun Microsystems, “Java Media Framework(JMF).” <http://java.sun.com/products/java-media/jmf/> (online).
- [22] S. Fujita, H. Hara, K. Sugawara, T. Kinoshita, and N. Shiratori, “Agent-based design model of adaptive distributed systems,” *Applied Intelligence*, vol. 9, no. 1, pp. 57–70, 1998.
- [23] T. Uchiya, T. Maemura, X. Li, and T. Kinoshita, “Design and implementation of interactive design environment of agent system,” in *Proc. of the 20th International Conference on Industrial, Engineering and Other Applications of Applied Intelligent Systems (IEA/AIE 2007)*, pp. 1088–1097, Jun., 2007.