

NAIST-IS-DT9861013

博士論文

移動計算機環境における情報発信ソフトウェア
アーキテクチャに関する研究

田頭 茂明

2000年9月14日

奈良先端科学技術大学院大学
情報科学研究科 情報システム学専攻

本論文は奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科に
博士(工学)授与の要件として提出した博士論文である。

田頭 茂明

審査委員： 福田 晃 教授
山本 平一 教授
湊 小太郎 教授

移動計算機環境における情報発信ソフトウェア アーキテクチャに関する研究*

田頭 茂明

内容梗概

現在、携帯できる計算機（移動計算機）を用いて任意の場所で様々な情報を取得、編集することが可能となっている。例えば移動計算機を用いて、文章の作成、デジタルカメラで撮影した写真や映像の取り込み、個人のスケジュール管理や、メモの記録などが移動先で可能である。さらに、大容量記憶装置を持つ移動計算機においては、これらの情報を大量に保持することができる。このように移動計算機は、最新の情報を持つ、個人用途の計算機として広く用いられている。一方、移動計算機を取り巻くネットワーク環境も変化し、様々な通信媒体を用いて移動先でネットワークと接続できるようになっている。このため任意の場所で情報の獲得、編集、共有が可能な移動計算機を含む分散環境の構築が期待される。情報取得ならびに情報編集の現場である移動先において、最新の個人情報をも直接提供することが可能となっており、移動計算機を含む分散環境において移動先での情報発信も重要な検討課題である。しかしながら、現在分散環境における移動計算機は、一時的にネットワークなどを通じて分散環境と接続し、その中で単なるインテリジェントな端末として使用したり、分散環境から切り離されたときの一時的な作業環境として使用されている。そのため、移動計算機の分野において、分散環境への接続の方法や、分散環境と作業環境間の整合性などの、一時的な端末として移動計算機を利用する多くの研究がなされている。このように、移動計算機の利用形態は現在制限されたものとなっており、移動計算機の適用分野を今後拡大するためには、新しい利用形態を開拓する必要がある。

*奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 情報システム学専攻 博士論文, NAIST-IS-DT9861013, 2000年9月14日.

そこで、本研究では、分散環境における移動計算機を一時的な端末とする従来の利用形態を拡張し、移動先からサービスを提供する移動計算機の新しい利用形態を提案する。移動計算機から提供する具体的な情報としては、スケジュールなどの文章情報、写真、リアルタイムな映像、音声などがある。移動計算機環境においてこれら情報の発信は、固定計算機環境における情報発信とは異なる、なぜなら移動計算機環境では、接続や分断などのネットワークとの状態変化、無線環境を利用するために生じる狭く不安定な通信帯域、移動計算機の移動に伴う位置識別子の変化、などの問題が発生するためである。これら問題を解決しなければ、移動計算機からサービスを安定して提供することは困難である。そのため、これらの問題を解決し様々な情報を移動計算機環境で提供できるシステムソフトウェアを開発する。

本論文では、まず、移動計算機環境における情報発信システムを構築するために、移動計算機環境における情報発信の問題とそれらの対処について明らかにする。また、モバイルコンピューティングにおけるソフトウェアアーキテクチャを示し、移動計算機から情報を発信する利用形態への適用を検討する。さらに、具体的に以下の3項目の実現を目指す。

1. WWW を利用した情報発信システムの構築

移動計算機からの情報発信システムにおける具体的なシステムとして、現在、一般的に利用されている WWW (World Wide Web) を基盤にした移動計算機からの情報発信システムを構築する。移動計算機環境における情報発信の問題を解決する機能を、WWW によるアプローチで実現し、移動計算機からの情報発信環境を実現する。本システムでは、WEB サーバが移動計算機上で稼働し、WWW システムとしての機能を保持したまま、移動計算機環境に対応させている。移動計算機に、ネットワークの状態変化に対処するために、状態の管理およびその状態に対処する機構、データを蓄積型と非蓄積型に分離し、移動計算機環境で効率的に各データを発信する情報発信形態の実現、移動計算機が移動しても URL (Uniform Resource Locators) の変化を隠蔽する機構を提供する。さらに、移動計算機の通信帯域を有効利用するために、階層構造を持つキャッシュシステムを提案し、移動計算機から情報発信システムへ適用する。

2. 通信帯域を考慮した情報発信機構の実現

狭い通信帯域の環境において情報発信を実現する機構を設計／実装する。移動計算機が帯域の狭いネットワークと接続した場合、移動計算機から発信できる情報量が制限され、同時に複数の情報を発信できない。このような環境において、安定して情報を発信するために、優先度に従い効率良く情報発信する機構を提案する。具体的には以下の方針で情報を発信する機構を実現する。

- 移動計算機が様々なネットワークを利用する点を考慮し、多くのネットワークで利用できるアプリケーションからのアプローチを取る。
- データを同時に発信する数を制限する。環境、実時間データの転送、転送スループットを考慮して発信の制限数を最適数に動的に制御する。過度の要求があっても制限する発信数を超える発信はできない。
- 制限する発信数の中で、優先度の高いデータは先に発信する。優先度の低いデータは、通信帯域を使用していない時に発信することになる。

3. 種々のアプリケーションからの情報発信を実現するツールキットの構築

固定計算機を対象としたネットワークアプリケーションは数多く存在する。しかし、そのまま移動計算機環境で用いることができないことが多い。さらにこれらアプリケーションの中には、バイナリで配布され修正できないものが存在する。このため、固定計算機を対象に作成された既存のアプリケーションを、変更なしに移動計算機環境で利用できる環境が望まれている。このため、1.で示したWWWに特化したシステムを、種々のアプリケーションが移動計算機環境に適用できるように拡張する。具体的には、移動計算機情報発信環境へ柔軟かつ容易に対応させるための枠組みであるツールキットを設計／実装する。これにより、従来のネットワークアプリケーションとツールキットが協調する移動計算機からの情報発信システムを実現できる。

本論文は、以上の3項目をまとめることにより、移動計算機上に情報発信環境を整え、移動計算機からの情報発信ソフトウェアアーキテクチャの提案、実装、評価を報告したものである。

キーワード

モバイルコンピューティング, 情報発信, ソフトウェアアーキテクチャ, ツール
キット, 実装, 評価

Software Architecture for Announcing Information from Mobile Computers*

Shigeaki Tagashira

Abstract

A mobile computer has become popular because of the advance in packaging and low power technologies. A user can carry it and do our jobs anywhere. Generally, a mobile computer is used to keep, generate, and modify personal information. Thus, the latest personal information usually exists on a mobile computer. On the other hand, with the advance of the network environment, a mobile computer can be connected to a network at any place using various communication vehicle. The mobile computer therefore can make full use of a distributed environment. In distributed environment, a computer can obtain information on other computer through networks. The Internet is worldwide distributed environment. By using the Internet, a great deal of beneficial information can be distributed all over the world.

Although many studies propose that a mobile computer is used to obtain information from anywhere as in the above situation, announcing information from a mobile computer is an important theme in mobile computing. If a mobile computer can announce information from any place, the latest personal information on the mobile computer can be provided. And, it is possible to construct Live Broadcasting System from the outside and Handy Phones through a network very easily.

In order to provide stable services from mobile computers, many problems have to be solved. The typical problems are as follows:

*Doctral Dissertation, Department of Information Systems, Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology, NAIST-IS-DT9861013, September 14, 2000.

- The underlying network condition in a mobile environment changes such as connection and disconnection,
- A low quality network such as wireless LAN is usually used in mobile environments, and
- When a mobile computer moves, its location identity changes.

In order to design and implement an information announcement system from mobile computers, this paper solves these problems. In addition, software architectures, which are available for announcing information in mobile computing, are considered. The concrete approach consists of three following factors:

1. An Information Announcement System Based on WWW from Mobile Computers

An information announcement system for mobile computers based on WWW (World Wide Web) is constructed. WWW is most widely used to announce information on the Internet. WWW can announce not only text information, but also many types of information such as sound and image. In the system, in order to announce information in a mobile environment effectively, announcement forms are classified according to the network condition and the data type. There are two network conditions; connection and disconnection. Data is classified into two types; one is the storage type that would be used again, and the other is the non-storage type that is used only one time.

2. An Announcement Mechanism from Mobile Computers for Narrow Bandwidth Networks

The bandwidth problem between a mobile computer and an access point is pointed out. If the bandwidth of the network is narrow, all requests from clients cannot be processed by a mobile computer because of exceeding the limit of the network bandwidth. Clients' needs cannot be satisfied in the situation. Therefore, an announcement mechanism for a mobile computer, which can effectively announce information with a narrow bandwidth network, is proposed. In addition, the mechanism in only the application layer is implemented because the

mechanism can apply to many kinds of networks and operating systems. In order to realize the mechanism, traffic is controlled by limiting the number of concurrent operations for announcing information. Moreover, information can be announced in order of its priority.

3. A Toolkit for Providing Information from Mobile Computers

In order to provide stable services under the underlying network condition in a mobile environment, the following three mechanisms are required: (1) providing stable services under any network condition like as connection and disconnection, (2) limiting announcing information with given network bandwidth, and announcing in order of priority of the information, and (3) transferring information using an appropriate protocol for any type of information and environment. Therefore, we propose a software toolkit which supports the construction of an information announcement system in a mobile environment. By using the toolkit, the system can use a wide variety of network applications developed for stationary environments. The toolkit is designed and implemented.

In this paper, the above points are proposed, implemented, and evaluated to address the problems of announcing information from mobile computers.

Keywords:

Mobile Computing, Information Announcement, Software Architecture, Toolkit, Implementation, Evaluation

目次

1	はじめに	1
1.1	本研究の背景と目的	2
1.2	本論文の構成	6
2	移動計算機環境における情報発信	7
2.1	移動計算機からの情報発信環境	8
2.2	移動計算機からの情報発信環境における問題と必要な機能	9
2.3	ソフトウェアアーキテクチャ	11
2.3.1	アーキテクチャの概要	11
2.3.2	ソフトウェアアーキテクチャの比較	12
2.4	むすび	15
3	WWW を利用した移動計算機からの情報発信システム	17
3.1	まえがき	18
3.2	移動計算機からの WWW 情報発信システム	19
3.2.1	情報発信システムの目的	19
3.2.2	関連研究	20
3.3	情報発信システムの概要	21
3.4	情報発信システムの実装	27
3.4.1	移動計算機上のデータを示す URL	27
3.4.2	移動計算機の管理情報	28
3.5	情報発信形態	29
3.5.1	蓄積型接続時発信形態	31

3.5.1.1	WWW サーバ主導方式	31
3.5.1.2	移動計算機主導方式	33
3.5.1.3	修正 WWW サーバ主導方式	33
3.5.1.4	選択発信方式	35
3.5.1.5	発信方式の考察	37
3.5.2	蓄積型分断時発信形態	41
3.5.3	非蓄積型接続時発信形態	41
3.5.4	非蓄積型分断時発信形態	43
3.6	実装, 評価	43
3.6.1	情報発信形態の評価	43
3.6.2	蓄積型発信形態における発信方式の比較	46
3.7	階層型データのためのキャッシュシステム	51
3.7.1	マルチメディアデータの品質	51
3.7.1.1	階層型データ	54
3.7.1.2	静止画の階層化データの例	55
3.7.2	移動計算機からの情報発信システムにおけるキャッシュシステム	56
3.7.2.1	階層型データのためのキャッシュシステム	58
3.7.2.2	各階層へのキャッシュの割り当て方式	59
3.8	むすび	63
4	帯域の狭いネットワーク環境を考慮した情報発信機構	65
4.1	まえがき	66
4.2	移動計算機からの情報発信システムとその問題	67
4.3	情報発信機構	69
4.3.1	発信方針	69
4.3.2	実現機構	70
4.3.3	実装方針	70
4.4	複製の更新機構の実装	72
4.4.1	更新機構の構成	72
4.4.2	データ優先度決定機構	74

目次

4.4.3	更新受付機構	75
4.4.4	コネクション数管理機構	75
4.4.5	更新処理機構	77
4.4.6	更新実行機構	78
4.5	評価	79
4.5.1	蓄積型データにおける更新時間	81
4.5.2	最適コネクション数の変動回数	81
4.5.3	非蓄積型データにおけるスループット	83
4.5.4	移動計算機から音声の発信	83
4.6	むすび	86
5	移動計算機環境で情報発信を実現するツールキットの構築	89
5.1	まえがき	90
5.2	移動計算機からの情報発信	91
5.2.1	研究目的	91
5.2.2	関連研究	92
5.3	情報発信システムの設計	94
5.3.1	移動計算機のための情報発信システム	94
5.3.2	情報発信ツールキット TAM の構成	95
5.3.3	管理ステート	97
5.3.4	Flexible Application Protocol	99
5.4	情報発信ツールキット TAM の実装	99
5.4.1	状態管理機構	99
5.4.2	状態処理機構	101
5.4.3	通信処理機構	101
5.4.4	移動計算機の移動	102
5.5	評価	103
5.5.1	アプリケーションの構築	103
5.5.2	通信処理機構の評価	107
5.6	情報発信ツールキット WOR への拡張	110
5.7	情報発信ツールキット WOR の設計	111

目次

5.7.1	WORの概要	112
5.7.2	WORの構成	114
5.7.3	MAPM	116
5.7.4	FAP	117
5.7.5	接続分断プロトコル	117
5.8	情報発信ツールキット WORの実装	118
5.8.1	接続分断プロトコル	120
5.8.2	動作例	121
5.9	情報発信ツールキット WORの評価	122
5.9.1	コード量の評価	124
5.9.2	通信効率の評価	124
5.10	むすび	126
6	結論	127
6.1	本研究で得られた成果	128
6.2	今後の課題	130
	謝辞	133
	参考文献	135
	著者研究業績	139
	本論文に関連する研究業績	139
	その他の研究業績	143

目次

2.1	移動計算機からの情報発信	8
2.2	ソフトウェアアーキテクチャ: (a) モバイルエージェントモデル, (b) クライアント/サーバモデル, (c) クライアント/エージェント/サーバモデル, (d) クライアント/エージェント/エージェント/サーバモデル	13
3.1	WWW を利用した情報発信システムの概要	22
3.2	蓄積型データの情報発信	25
3.3	非蓄積型データの情報発信	26
3.4	ドキュメント内部構造	27
3.5	管理情報の遷移	30
3.6	WWW サーバ主導方式	32
3.7	修正 WWW サーバ主導方式	34
3.8	選択発信方式	36
3.9	蓄積型分断時発信形態	41
3.10	非蓄積型接続時発信形態	42
3.11	実験環境	44
3.12	各発信方式におけるレスポンス時間	45
3.13	非蓄積型接続時発信形態の有効性	46
3.14	選択発信方式における最適な閾値	47
3.15	各発信方式における移動計算機の総通信量の比較	48
3.16	データの種類に着目した総通信量の分析	48
3.17	各発信方式における移動計算機の総レスポンス時間の比較	50

目 次

3.18 データの種類に着目した総レスポンス時間の分析	50
3.19 高品質な画像 (86kbyte)	53
3.20 中品質な画像 (27kbyte)	53
3.21 低品質な画像 (5kbyte)	53
3.22 階層型データ	55
3.23 プログレッシブ JPEG の階層化	56
3.24 接続状態の完全なデータの転送	57
3.25 キャッシュに蓄えられたデータのための転送	58
3.26 階層型データのためのキャッシュシステム	60
3.27 キャッシュの階層割当方法 (従来型割当)	60
3.28 キャッシュの階層割当方法 (等品質割当)	60
3.29 キャッシュの階層割当方法 (段階的割当)	61
3.30 段階的割当におけるキャッシュ更新例	61
3.31 動的キャッシュ割当	62
3.32 併用割当	62
4.1 従来の情報発信機構	67
4.2 コネクション数に対する複製の更新時間およびスループット	68
4.3 提案する情報発信機構	71
4.4 複製の更新機構	73
4.5 コネクション数決定アルゴリズム	76
4.6 固定コネクション数に対する更新時間とスループット	80
4.7 α と M に対する更新時間	82
4.8 α と M に対する最適コネクション数の変動回数	84
4.9 α と M に対するスループット	85
4.10 最適コネクション数の遷移	86
4.11 コネクション数を変えた場合の発信した音声波形の変化	87
5.1 情報発信システムの構成	95
5.2 管理ステートの概要	98
5.3 管理ステートの遷移	100

図目次

5.4	通信処理機構の詳細	103
5.5	アプリケーション例 (1) : WWW	105
5.6	WWW アプリケーションにおける MAPM の記述	106
5.7	アプリケーション例 (2) : インターネット TV 電話	108
5.8	通信処理機構の性能 (8000Bytes/s の場合)	109
5.9	通信処理機構の性能 (11025Bytes/s の場合)	109
5.10	通信処理機構の性能 (22050Bytes/s の場合)	111
5.11	情報発信ツールキット WOR の概要	113
5.12	情報発信ツールキット WOR の構成	114
5.13	管理テーブルの具体例	123
5.14	実験環境	125

图 目 次

表目次

2.1	ソフトウェアアーキテクチャの比較	14
3.1	情報発信形態の分類	24
3.2	WWW サーバがもつ移動計算機の管理情報	28
3.3	発信方式における各方式の利点	38
3.4	発信方式における各方式の欠点	39
4.1	実験条件	79
5.1	状態処理機構におけるエントリポイントの一覧	101
5.2	実験パラメータ	110
5.3	情報管理テーブルの一覧	119
5.4	動画の転送結果	125

表目次

第 1 章

はじめに

計算機の小型化, 高性能化により, 携帯できる高性能計算機 (移動計算機) が普及している. また, 移動計算機を取り巻くネットワーク環境も変化し, 様々な通信媒体を用いて移動先でネットワークと接続できるようになっている. これにより移動計算機を用いて, 場所に依存しないで情報の獲得, 編集, 共有が可能な環境の構築が期待される.

移動計算機に関するネットワークの研究は, 移動先からのネットワークを利用した情報取得に関するものが多い. しかしながら, 情報取得ならびに情報編集の現場である移動先において, 最新の情報を直接ユーザに提供することが可能となっており, 移動先での情報発信も重要な検討課題である. 移動先から情報発信できれば, 生中継放送等のアプリケーションを, 個人レベルで簡単に実現することが可能である. 移動計算機に情報受信と情報発信を可能にする環境が整備され, さらにマルチメディアを扱うことができれば移動計算機を用いた移動型の遠隔医療システムや, 携帯型のインターネット TV 電話システム等を実現できる.

本章では, 本研究の背景と目的, および, 本論文の構成について述べる.

1.1 本研究の背景と目的

現在、計算機をネットワークに接続する利用形態が広く普及している。ネットワークに接続されることにより、他の計算機の資源を共有できる環境（分散環境）に参加することができる。現在、新しい通信基盤として注目されているインターネットは、世界規模の分散環境である。インターネットに接続すれば、広く普及している WWW (World Wide Web) を利用でき、一つの計算機では蓄積不可能な膨大な情報から有益な情報の検索や、世界中の人々と情報の共有が可能である。計算機がネットワークに接続されていなければ、その性能を十分に発揮できないのが現状である。

また計算機単体で見れば、計算機の小型化、高性能化により、人が持ち運べる高性能計算機（移動計算機）が普及してきている。移動計算機を用いて任意の場所で様々な情報を取得、編集することが可能となっている。例えば移動計算機を用いて、文章の作成、デジタルカメラで撮影した写真や映像の取り込み、個人のスケジュール管理や、メモの記録などが移動先で可能である。さらに、大容量記憶装置を持つ移動計算機においては、これらの情報を大量に保持することができる。これらにより、移動計算機を常に携帯し、自分の独立した環境を移動計算機上に構築することが可能となり、最新の情報を持つ、個人用途の計算機として広く用いられている。

移動計算機を取り巻く環境も発達し、様々な媒体を用いることにより移動先でネットワークと接続できる環境が整備されている。次世代の携帯電話である IMT-2000(International Mobile Telecommunication) [1] を用いたり、2Mbps での通信を可能にする IEEE802.11 や 11Mbps での通信を可能にする IEEE802.11b などの無線 LAN が利用できる環境になるつつある。このような基盤を利用し、移動計算機が場所に依存せずに分散環境を利用できれば、移動先で普段の分散環境を容易に実現できる。

分散環境における移動計算機の利用形態をみると、現在、移動計算機を一時的にネットワークなどを通じて分散環境と接続し、その中で単なるインテリジェントな端末として使用したり、分散環境から切り離されたときの一時的な作業環境として使用されている。そのため、移動計算機の研究分野では、分散環境への接続の方法や、分散環境と作業環境間の整合性などの、一時的な端末として移動計

1.1. 本研究の背景と目的

算機を利用する研究が多い。しかし、本研究では、移動計算機を含む分散環境において移動先での情報発信も重要な検討課題と考え、分散環境における移動計算機を一時的な端末としてだけの利用形態を拡張し、移動計算機からも情報発信(サービス提供)できる新しい利用形態を提案する。

移動計算機環境における情報発信は、固定計算機環境における情報発信とは異なる以下の問題が発生する。

- 接続や分断などのネットワークとの状態変化
- 無線環境を利用するために生じる狭く不安定な通信帯域
- 移動計算機の移動に伴う位置識別子の変化

本研究では、移動計算機環境における情報発信システムを設計/構築するために、移動計算機環境における情報発信の問題とそれらの対処について明らかにする。また、モバイルコンピューティングにおけるソフトウェアアーキテクチャを示し、移動計算機から情報を発信する利用形態への適用を検討する。さらに、具体的に以下の3項目の実現を目指す。

WWW を利用した情報発信システムの構築 移動計算機の分散環境の具体的なシステムとして、現在、一般的に利用されている WWW を基盤にして移動計算機から情報発信できるシステムを構築する。移動計算機環境における情報発信の問題を解決する機能を、WWW に特化した形で実現し、移動計算機からの情報発信環境を実現する。本システムは、WWW システムとしての機能を保持したまま、移動計算機環境に対応させ以下の機能を提供する。

- ネットワークの状態変化に対処するために、状態の管理およびその状態に対処する機構
- データを蓄積型と非蓄積型に分離し、移動計算機環境で効率的に各データを発信する情報発信形態の実現
- 移動計算機が移動しても URL (Uniform Resources Locators) の変化を隠蔽する機構

上記システムのプロトタイプを実装し、運用ならびに評価を行った。また、階層構造を持つキャッシュシステムを提案し、移動計算機から情報発信システムへ適用することを述べる。

通信帯域を考慮した情報発信機構の実現 WWWを利用した移動計算機からの情報発信システムにおいては、移動計算機の通信帯域を考慮していない。WWWを利用した移動計算機からの情報発信システムにおいて、通信帯域を考慮して情報発信を制御する機構を提案する。移動計算機が帯域の狭いネットワークと接続した場合、移動計算機から発信できる情報量が制限される。この限界を超える処理（多くの情報の同時発信又は更新）を行うと安定したサービスを提供することは困難である。従って、通信帯域が狭い場合においても、上記の問題を解決する情報発信機構を提案する。提案する機構は、移動計算機が様々なネットワークを利用するという特長を考慮し、多くのネットワークで使用できるアプリケーション層からのアプローチを取る。提案する機構は以下の方針に従い、データを発信する。

- 時間制約のあるデータはその制約を満足できるように優先して発信する。
- よくアクセスされるデータを優先して発信する。
- 情報発信における通信効率をできる限り高くする。

具体的には、以下のような制御を情報発信機構に取り入れ、上記の情報発信機構を実現する。

- データを過度に発信しないために、同時に発信する数を、最適な数に動的に制御する。
- データに優先度をつけ、それに従いデータを発信する。

本発信機構のプロトタイプを実際に実装し、実験による評価を行った。実験では、2種類のネットワークを用いて、発信機構で重要となる制御パラメータを変化させた。また、その変化による発信機構の効率の影響を解析した。

1.1. 本研究の背景と目的

その結果、通信の揺らぎを考慮しない発信と比べ、揺らぎを考慮するパラメータを最適に設定することで、性能を40%向上することを確認した。

種々のアプリケーションからの情報発信を実現するツールキットの構築 固定計算機を対象としたネットワークアプリケーションは数多く存在する。しかし、これらはネットワーク帯域の狭さや、ネットワークから分断する等の移動計算機特有の問題のために、そのままでは移動計算機環境で用いることができないことが多い。さらにこれらアプリケーションの中には、バイナリで配布され修正できないものが存在する。このため、固定計算機を対象に作成された既存のアプリケーションを、そのまま移動計算機環境で利用できる環境が望まれている。従って、WWWに特化して移動計算機環境に適応するだけでなく、移動計算機を考慮していない種々のアプリケーションを移動計算機環境に適用し、移動計算機から情報を発信できるようにするシステムを構築する。具体的には、移動計算機情報発信環境へ柔軟かつ容易に対応させるための枠組みである情報発信ツールキット TAM を提供する。これにより、従来のネットワークアプリケーションと情報発信ツールキット TAM が協調する移動計算機からの情報発信システムを実現できる。情報発信ツールキット TAM は、(1) ネットワークとの様々な接続の状態（接続や分断等）においてサービスを安定して提供する機構、(2) ネットワーク帯域に応じて情報発信を抑制し、優先度に応じて情報を発信する機構、(3) 発信する情報や環境に応じた柔軟な通信方式を実現する機構、をアプリケーションに依存しないで提供できる。情報発信ツールキット TAM を用いることにより、種々のネットワークとの接続の状態に対応する処理を記述するだけで、既存の多くのアプリケーションを容易に移動計算機環境へ適応できる。

また、情報発信ツールキット TAM を拡張した情報発信ツールキット WOR を提案する。これは、情報発信ツールキット TAM では、任意の接続先からの情報発信を考慮していないため、接続先によっては大きな遅延が発生するなどの通信効率が悪くなる可能性がある。画像や音声などの実時間データを扱うマルチメディアサービスを提供するアプリケーションでは、この問題が深刻となる。この問題点を考慮し、情報発信ツールキット WOR で

は、マルチメディアを扱うサービスを効率的に提供できるシステムを実現する。

以上の3項目を用いることにより、移動計算機上に情報発信環境を整え、移動計算機からの情報発信アーキテクチャを実現する。

1.2 本論文の構成

本論文は全6章で構成される。

第1章、すなわち本章では、移動計算機を取りまく現状と、分散環境における移動計算機の新しい利用範囲、移動計算機からの情報発信の問題について概説し、本研究の背景と目的を述べた。

第2章では、移動計算機からの情報発信アプリケーション、情報発信における問題の詳細、その問題を解決するために必要な機能、モバイルコンピューティングにおけるソフトウェアアーキテクチャの説明と情報発信する場合における各アーキテクチャの比較について概説する。

第3章では、WWWを基盤にした移動計算機からの情報発信システムについて述べる。移動計算機環境における情報発信の問題を解決する機能を、WWWに特化した形で実現し、移動計算機からの情報発信環境について検討する。また、プロトタイプを実装し評価を行なう。

第4章では、移動計算機からの情報発信システムにおいて、効率良く情報発信するために、通信帯域を考慮して情報発信を制御する機構について述べる。提案する機構は、移動計算機が様々なネットワークを利用するという特長を考慮し、多くのネットワークで使用できるアプリケーション層からのアプローチを取る。また提案機構を実装し評価を行なう。

第5章では、移動計算機環境を考慮していない種々のアプリケーションを移動計算機環境に適用し、移動計算機から情報を発信できるようにするツールキットTAMとWORについて述べる。またこれらのツールキットを実装し評価を行なう。

最後に第6章では、本研究で得られた成果をまとめ、今後の課題について述べる。

第 2 章

移動計算機環境における情報発信

本章では、移動計算機から情報発信する環境について考察する。移動計算機環境では、従来の固定計算機環境とは異なる問題が発生する。まず、移動計算機環境における情報発信システムを構築するために、これらの問題を明らかにする。また、モバイルコンピューティングにおけるソフトウェアアーキテクチャを示し、移動計算機環境における情報発信システムへの適用を検討する。

2.1 移動計算機からの情報発信環境

図2.1に示すように、情報を提供する人（提供者）は移動計算機を用いて、移動先からスケジュール情報や、移動先で撮影している動画や録音している音声をインターネットを通じて情報を受信する人（受信者）に提供する。移動計算機は任意の場所に移動し、有線、無線LANを用いて、移動先のLANへ接続することができる。移動計算機は、接続したLANを利用して通信プロトコルとしてTCP/IPを用いて情報を提供する。ただし、移動計算機の移動として、ローミングのような高速にLAN間を移動するものを考慮しておらず、ある場所でネットワークと接続している移動計算機が、ネットワークと分断して次の場所へ移動するような環境を考えている。

また、インフラネットワークとは違う環境としてアドホックネットワーク環境を想定し、移動先で開催される会議において、会議に参加している人々でアドホックネットワークを形成し、移動計算機を用いて情報を提供し、互いに情報交換する。

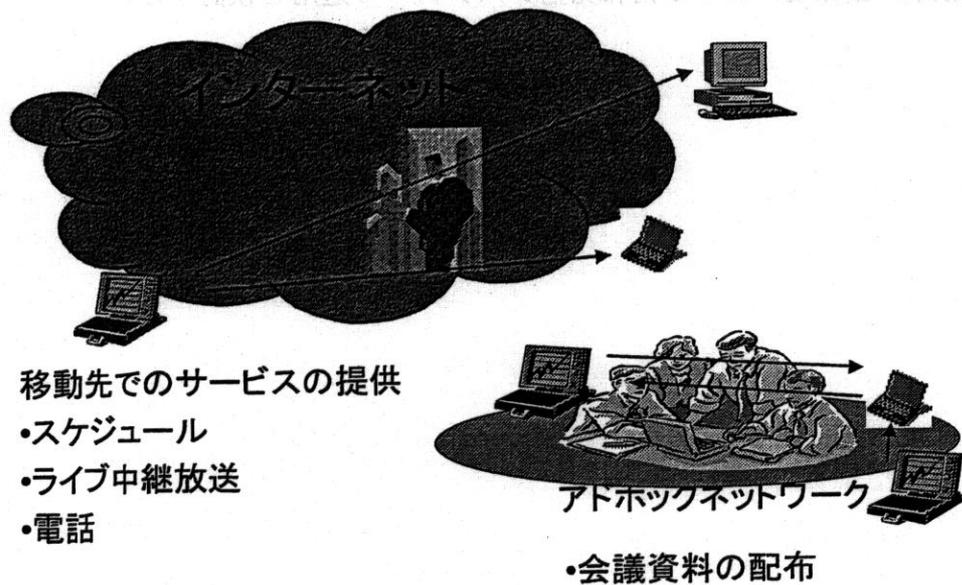


図 2.1 移動計算機からの情報発信

2.2. 移動計算機からの情報発信環境における問題と必要な機能

2.2 移動計算機からの情報発信環境における問題と必要な機能

移動計算機からの情報発信においては、既存の固定計算機環境とは異なる問題が生じる。特に、情報発信における問題を以下に列挙する。

ネットワークとの接続の状態変化 移動計算機は、無線媒体を用いてネットワークを利用する機会が多い。無線媒体では、アクセスポイントまでの距離などの理由により、通信品質が不安定であることや、電波の届かないところでは、一時的に通信ができないことがある。また、移動計算機は常時電源が入っているわけではなく、長期間ネットワークとは分断していることがある。このように、移動計算機においてネットワークとの接続の状態は著しく変化する。接続の状態を考慮しなければ、分断などの移動計算機特有の状態において情報を発信できない。

狭い通信帯域 無線媒体を用いることで、移動計算機の利便性が増す。しかし、無線媒体は一般的に有線媒体を用いた通信よりも帯域が狭い。この限られた通信帯域を効率良く利用できないと移動計算機からの情報発信は不安定なものとなる。また、受信者は移動計算機の性能や通信帯域以上のものを要求することがある。このような場合では、情報発信を効率良く制御しないと受信者に満足したサービスを提供できない。

移動計算機の移動 移動計算機はその特性から、任意の場所に移動し、移動先でネットワークと接続することができる。このため、移動計算機に割り当てられる位置識別子が変わる。その結果、移動計算機の位置が常に同一でないため、移動計算機の位置を確定することが困難となり、移動計算機から情報を取得できない。

以上の問題を解決しなければ、移動計算機からの安定した情報を発信することが困難である。この問題を解決するために、移動計算機環境で情報発信するためには、以下の機能が必要と考えられる。

- (1) **接続の状態の管理** 移動計算機におけるネットワークとの接続の変化に対処するために、接続の状態を管理しなければ、分断などの移動計算機特有の状態において情報を発信できない。接続の状態に関わらず移動計算機からの安定したサービスを実現するためには、移動計算機の接続の状態を管理し、その状態に対処する機構が必要である。また移動計算機の状態の管理において、移動計算機をサーバとする場合と、クライアントとする場合とでは管理する場所や機構が異なる。移動計算機をクライアントとする場合は、移動計算機を利用する受信者に対して透過なサービスを実現する。このため移動計算機上における接続の状態の管理が重要である。しかし移動計算機をサーバとする場合では移動計算機の情報を利用する他の計算機の受信者に対して透過なサービスを提供する必要がある。この場合、他の計算機において移動計算機の状態を管理する機構が重要となる。
- (2) **接続の状態に対応する代替処理** 移動計算機におけるネットワークとの接続の状態として、大きく接続状態と分断状態が存在する。接続状態では移動計算機から情報を発信することができる。しかし、分断状態においては、移動計算機は情報を発信できない。移動計算機をサーバとして捉えた場合、サービスを継続することは重要である。このため、接続の状態を考慮した処理が必要である。(1) 接続の状態の管理で述べた接続の状態の情報を利用して実現できる。また分断時処理はアプリケーションに大きく依存する。分断時処理の例として、WEB を利用した情報発信において、移動計算機上に存在する情報のコピーの提供や、携帯 TV 電話における留守番電話サービスなどが考えられる。
- (3) **移動の管理** 移動計算機は移動するとその位置が変化する。受信者は、移動計算機の位置を常に意識し情報を取得しなければならない。移動計算機から情報を発信する場合、移動計算機の接続先での位置を管理する必要がある。これにより、受信者は、現在の移動計算機の位置を意識することなく、移動計算機から情報を取得することができる。
- (4) **通信帯域の有効利用** 情報発信だけに必要な機能ではないが、通信帯域が狭い場合には、その帯域を有効利用しなければならない。このため、対象とす

2.3. ソフトウェアアーキテクチャ

る通信範囲, データの種類, 通信におけるアプリケーションの意図を考慮した柔軟な通信方式が必要となる。

- (5) 複数の情報発信の制御 情報取得と情報発信共通の問題である。複数のアプリケーションから同時に発信するとき, 受信者は移動計算機の性能や通信帯域以上のものを要求することがある。この場合, 同時に処理するアプリケーションの数を制御するなどの処置が必要である。また, 動画などの時間制約を持つデータを処理するアプリケーションを扱う場合, そのアプリケーションを優先して処理することも考えなければならない。

2.3 ソフトウェアアーキテクチャ

移動計算機から情報を発信するシステムを構築する場合において, 移動計算機環境に適したソフトウェアアーキテクチャを考察しなければならない。本節では, ソフトウェアアーキテクチャの概要を説明し, それらアーキテクチャを情報発信するシステムに用いた場合の比較を示す。

2.3.1 アーキテクチャの概要

文献 [2] においては, モバイルコンピューティングにおけるソフトウェアを構成するアーキテクチャを以下のように分類している (図 2.2)。各アーキテクチャを情報発信に利用した場合について説明する。

モバイルエージェント (MA) モデル (図 2.2(a)) 移動計算機上の情報を, エージェント上に蓄積し, エージェントから情報を発信するモデルである。このモデルでは, 移動計算機はクライアントとして, 情報を発信する。エージェントへ情報を転送するような簡易な機能を移動計算機に準備する。エージェントには, 情報発信するための大部分の機能を準備し, 移動計算機は情報入力端末としてエージェントに情報を格納し, 情報発信を実現する。

クライアント/サーバ (C/S) モデル (図 2.2(b)) 現在, 分散環境で最も広く普及しているモデルである。サーバとクライアントの機能を明確にできるた

第 2 章 移動計算機環境における情報発信

めに、アプリケーションを構築し易い。このモデルでは、移動計算機上でサーバアプリケーションが稼働し、移動計算機から情報を発信する。移動計算機には、単独で情報発信を可能にする機能を持つ。

クライアント/エージェント/サーバ (C/A/S) モデル (図 2.2(c)) クライアント/サーバモデルにおいて、それらの間にエージェント (プロキシ) を置くモデルである。このモデルでは、サーバからエージェント、エージェントからクライアントに情報が提供される。エージェントの役割は、情報をキャッシュし、移動計算機間の通信量を削減することである。無線環境での通信などの移動計算機環境のプロトコルをエージェントに持たせることで、負荷を減少できる。また、移動計算機環境に適応するために、サーバからエージェント間のプロトコルと、エージェントからクライアント間のプロトコルを互いに変換できる。しかし、プロトコル変換を実現するためには、アプリケーションの変更が必要となる。

クライアント/エージェント/エージェント/サーバ (C/A/A/S) モデル (図 2.2(d))

クライアント/エージェント/サーバにおいて、移動計算機側にもエージェントを置くモデルである。このモデルでは、移動計算機側のエージェントと、固定ネットワーク上のエージェント間でプロトコルリダクションなどの無線環境に最適な通信方式を実現できる。さらに、クライアントおよびサーバにおいて、通信部分をエージェントと切り離しているために、従来のクライアント/サーバアプリケーションをそのまま利用できる。

移動計算機環境における情報発信において、以上で述べた各アーキテクチャは、それぞれ異なる特徴を持つ。次節では、これらアーキテクチャを比較し検討する。

2.3.2 ソフトウェアアーキテクチャの比較

本節では、2.2節で述べた移動計算機からの情報発信に必要な機能を、前節で示したアーキテクチャでの実現の可否を考察する。表 2.1に、各アーキテクチャにおける実現項目をまとめたものを示す。この表において、○は、情報発信に必要な機能を実現でき、既存のサービスアプリケーションをそのまま利用できることを

2.3. ソフトウェアアーキテクチャ

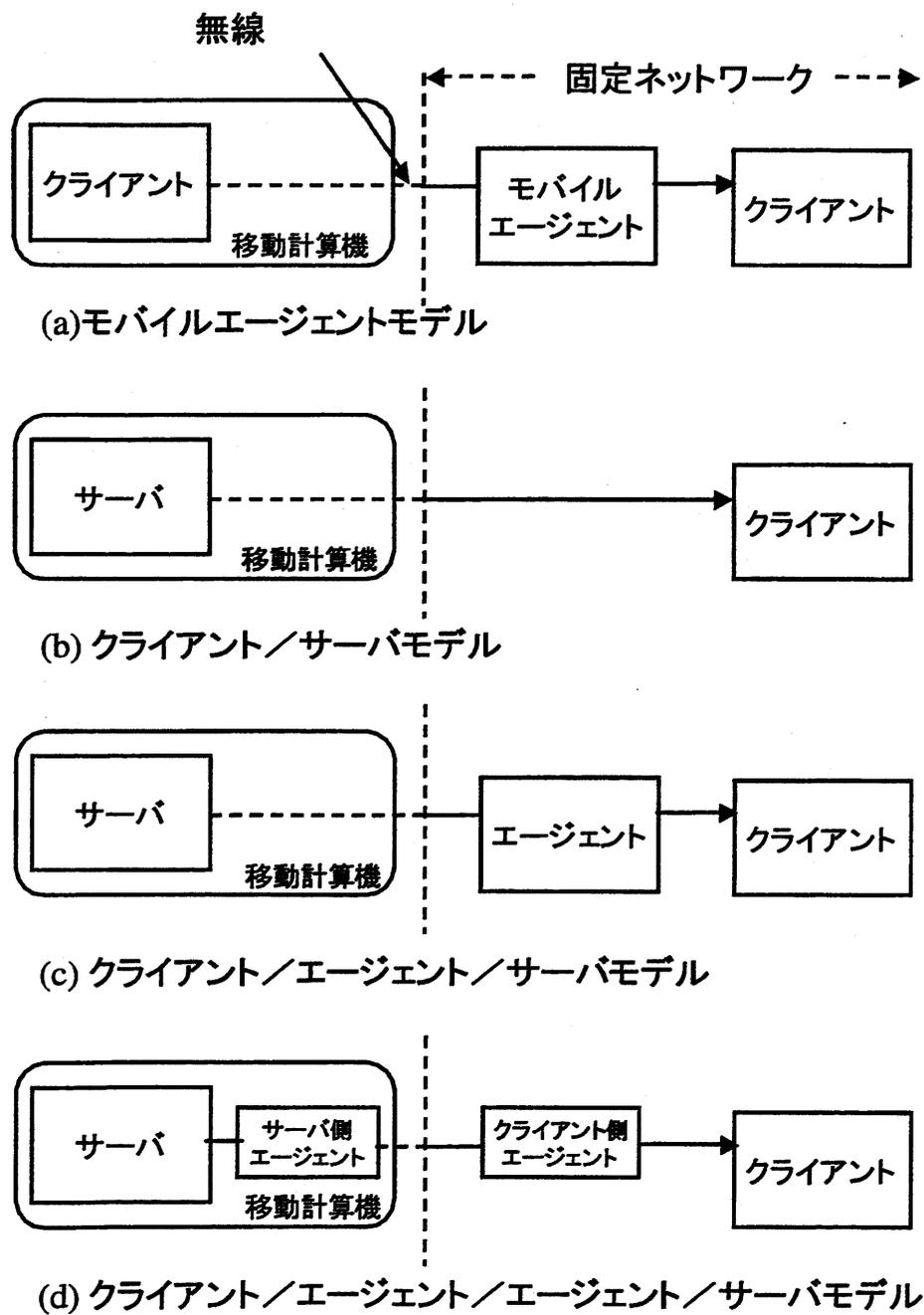


図 2.2 ソフトウェアアーキテクチャ：(a) モバイルエージェントモデル，(b) クライアント/サーバモデル，(c) クライアント/エージェント/サーバモデル，(d) クライアント/エージェント/エージェント/サーバモデル

表 2.1 ソフトウェアアーキテクチャの比較

	MA モデル	C/S モデル	C/A/S モデル	C/A/A/S モデル
(1) 状態の管理	△	×	○	○
(2) 移動	△	△	○	○
(3) 代替処理	△	×	○	○
(4) 通信帯域	△	△	△	○
(5) 複数のアプリケーション	△	△	△	○

示す。×は情報発信に必要な機能を実現できないことを示す。また、△は情報発信に必要な機能を実現できるが、既存のサービスアプリケーションをそのまま利用できず、サービスアプリケーションの拡張や、移動計算機のためにアプリケーションを開発する必要があることを示す。

MA モデルでは、移動計算機における、状態の管理、位置管理、代替処理は、エージェントが管理することにより実現できる。また、通信帯域や複数のアプリケーションに対処する機能を実現できる。しかし、現在このアーキテクチャに従ったアプリケーションは少なく、既存アプリケーションの拡張や、移動計算機のためのアプリケーションを新たに開発する必要がある。このアーキテクチャでは、移動計算機はエージェントの情報発信機能を利用する情報入力端末であり、移動計算機からの情報発信は、エージェントの機能に制約される。

C/S モデルは、現在一般に利用されているので、このアーキテクチャに従った優れたアプリケーションが多く存在する。移動計算機環境でもこれらアプリケーションを利用したシステムを構築できる。しかし、移動計算機環境における情報発信のための機能である、状態の管理、位置管理、代替処理などは、このアーキテクチャでは支援できない。また、移動計算機環境に最適な通信を実現するためには、アプリケーションの変更が必要となる。移動計算機の移動の管理においては、ネットワーク層の支援が必要となる。MA モデルに比べて、移動計算機がサーバとなるために、移動計算機が単独で情報を発信する機能を持つ点で優れている。今後、急速な発展が期待されるアドホックネットワーク環境に対応できる。さらに、移動計算機からの実時間情報の発信なども可能となる。

2.4. むすび

C/Sモデルを拡張したC/A/Sモデルでは、クライアントとサーバ間にエージェントが存在するので、C/Sモデルの利点を保持しながら、エージェントにより状態の管理、移動、代替処理の機能を支援できる。また、アプリケーションの変更を必要とするが、エージェントによるプロトコル変換を利用することにより、移動計算機環境に最適な通信を実現できる。

C/A/A/Sモデルでは、C/A/Sモデルを更に拡張したモデルであり、C/A/Sモデルの利点を持ちながら、アプリケーションの変更なしに、移動計算機環境に最適な通信を実現できる。しかし、移動計算機上にサーバアプリケーションおよびエージェントを起動するために、移動計算機における負荷が高くなる。

以上で示したように、移動計算機からの情報発信アーキテクチャによりシステムが実現できる特徴が異なる。本研究では、移動計算機からサービスを提供する新しい利用形態を実現するために、C/Sモデルの利点を持ち移動計算機に柔軟に対応できる、C/A/Sモデル及びC/A/A/Sモデルを採用し、システムの実現を目指す。

2.4 むすび

本章では、移動計算機から情報発信する環境について述べた。移動計算機環境では、従来の固定計算機環境とは異なる問題が発生する。これらの問題を明らかにした。また、モバイルコンピューティングにおけるソフトウェアアーキテクチャを示し、移動計算機環境において情報発信するシステムにおけるソフトウェアアーキテクチャの比較を示した。

第 2 章 移動計算機環境における情報発信

第 3 章

WWW を利用した移動計算機からの 情報発信システム

本章では、移動計算機からの情報発信システムを WWW 上に構築し、移動計算機環境における情報発信の問題の解決策を示す。本システムでは、移動計算機上に WWW サーバを起動する。移動計算機とクライアント間に従来の WWW サーバを拡張したものを置き、移動計算機環境に対応させる。その結果、受信者はクライアント上で稼働する従来の WEB ブラウザを使用し情報を取得できる。

3.1 まえがき

移動計算機における分散環境の具体的なシステムとして、現在、一般的に利用されている WWW を基盤にした移動計算機から情報発信システムを構築する。2.2節で示した機能を、WWW に特化した形で実現し、移動計算機からの情報発信環境を実現する。本システムは、WWW システムとしての機能を保持したまま、移動計算機環境に対応させている

本システムでは、移動計算機の以下の機能を提供し、移動計算機環境において情報発信時に発生する問題を解決する。

1. ネットワークの状態変化に対処するために、状態の管理およびその状態に対処する機構
2. データを蓄積型と非蓄積型に分離し、移動計算機環境で効率的に各データを発信する情報発信形態の実現
3. 移動計算機が移動しても URL (Uniform Resource Locators)[3] の変化を隠蔽する機構

WWW を基にした移動計算機からの情報発信システムを構築し、その上で重要となる以上の問題を解決した。また、同システムのプロトタイプを実装し、運用ならびに評価を行った。

移動計算機との通信帯域を有効利用するために、階層型データに着目し、階層構造を持つキャッシュシステムを提案する。本キャッシュシステムでは、キャッシュするデータの単位を、データを構成する階層としている。これにより、一つのデータをすべてキャッシュしなくとも、データを構成する階層の低位の階層だけをキャッシュするだけで、低品質であるがそのデータを提供できる。その結果、移動計算機上のより多くのデータをキャッシュでき、移動計算機の通信回線が分断された場合でも利用者に低品質であるが意味を持ったデータを提供できる。

3.2. 移動計算機からの WWW 情報発信システム

3.2 移動計算機からの WWW 情報発信システム

3.2.1 情報発信システムの目的

WWW を用いた情報発信システムを設計し構築する。本システムでは、移動計算機上に WEB サーバを稼働し、クライアントであるブラウザに情報を提供する。2.2節で述べた、(1) 接続の状態の管理、(2) 接続の状態に対応する代替処理、(3) 移動の管理、および (4) 通信帯域の有効利用、の機能を WWW に特化した形式で提供する。

具体的には、本システムでは、移動計算機から情報発信する場合に問題となる以下の機構を提供する。

- (1) ネットワークとの分断時における情報発信サービスの続行 移動計算機には電源切れ、物理的にネットワークと接続できないなどの要因により、ネットワークと分断している状態が存在する。分断時においては、移動計算機から情報を発信できない問題がある。これに対処するため、複製を用いることにより、移動計算機の方断時においても、サービスの継続提供を実現する。
- (2) 移動計算機の移動に対する位置透過性の実現 移動計算機は移動に伴い IP (Internet Protocol) アドレスなどの位置識別子が変わるという問題がある。移動計算機から情報を取得する受信者に対して、この位置識別子の変化を隠蔽しなければ、情報を取得することは困難である。そこで従来の WWW においてデータのアドレッシングに用いられてきた URL を拡張し、移動計算機の移動に対する位置透過性を実現する。
- (3) データを蓄積型と非蓄積型に分離した情報発信形態 一般に移動計算機は通信帯域の狭いネットワークに接続されることが多く、全てのデータを同時に発信できない場合が多い。本研究では、データを蓄積性、実時間性等の観点からクラス分けし、各クラスについて移動計算機上から最も効率的に発信する方法を選択する機構を実現した。移動計算機からは様々なデータが発信される。本研究では、データを次の2種類に分類し、その各々について移動計算機環境で効率的に発信するための機構を検討する。

蓄積型データ 文章や静止画などの蓄積できるデータ。

非蓄積型データ 動画や音声などのライブで提供するデータ。

3.2.2 関連研究

WWWにおいて移動計算機環境に適応するための多くの研究がある。

文献[4, 5]においては、移動計算機がWWWサーバ上の情報取得する場合、クライアントとサーバ間に移動計算機を考慮したプロキシを置き、クライアントはこれを利用し情報を取得する。このプロキシでは、画像において色数を削減するなどの文脈を保持したままデータ型に応じた圧縮をするため、移動計算機の通信帯域を考慮して情報を提供する。

文献[6]では、Differencingと呼ばれる機構を用いて、移動計算機との通信量を削減している。Differencingでは、クライアントである移動計算機上のエージェントと、プロキシ上のエージェントを置く。この2つのエージェントは、クライアントが取得したデータを互いにキャッシュしておく。そのキャッシュされたデータが更新され、クライアントがそのデータを取得する場合は、プロキシにおいて更新されたデータとキャッシュされたデータの差分を取り、その差分をクライアントへ転送する。クライアントはキャッシュされたデータと差分を合成し、新しいデータを構成する。

また、移動計算機の分断状態に対処するために、クライアントにおいて、取得したデータをキャッシュしておき、移動計算機が分断している時は、そのキャッシュを利用して、データを表示できるシステムがある。さらに、このようなオフラインにおける機構を利用して、移動計算機環境に対応するシステムもある。しかし、以上で述べたシステムは、移動計算機をクライアントとして捉えたものであり、サーバとして捉え情報を発信するシステムではない。

移動計算機の移動の問題に対して、IETFにおいてMobileIPが提案されている[7][8][9]。これは、移動計算機が移動してもIPアドレスが変化しないように見せかける機構を実現するものである。MobileIPは、ネットワーク層で移動に対する変化を隠蔽しているので、ネットワーク層以上では移動計算機の移動を考慮する必要がない利点を持つ。Mobile-IPではDHCPなどで取得した現在の位置を示すIPアドレスCOA(Care of Address)の他に、移動しても変化しないIPアドレ

3.3. 情報発信システムの概要

ス (Home Address) を持つ。移動計算機との通信は、変化しない IP アドレスである Home Address を用いて行う。しかし、移動計算機へのパケットは必ず HA (Home Agent) を通る三角経路となり冗長な通信になる。

Route Optimized Mobile IP[10]では、Mobile IPの問題である三角経路の問題を解決している。具体的には、クライアントは移動計算機の COA(Care of Address) をキャッシュし、クライアントから移動計算機のパケットは、キャッシュされた COA を利用し、HA を経由せずに移動計算機へ直接配送している。

以上で述べたように Mobile IP において、移動計算機の移動とそれが持つ三角経路の問題を解決できる。しかし、ネットワーク層からのアプローチでは、以下の項目を考慮できず効率的な機構を実現できない。

- キャッシュのような通信量を削減する機構を利用する経路を選択できない。
- 分断状態など移動計算機のネットワークとの接続の状態を考慮していない。すべてパケットを、クライアントから移動計算機へ直接転送するアプローチは、ネットワークとの接続の状態を管理し、その状態に対処することは困難である。

本システムの構築においては、移動計算機のような様々な問題を、WEB というアプリケーション層からのアプローチで解決することにより、より効率的なシステムを目指す。

3.3 情報発信システムの概要

本システムは、従来の WWW システムとしての機能を保持したまま、移動計算機環境に対応させている (図 3.1)。WWW システムにおいてネットワーク上に存在するデータは URL で示される。この URL で示されるデータを WWW サーバはクライアントに提供する。

本システムでは、2.3節で紹介した C/A/S モデルを採用する。これは本システムでは、クライアント上のアプリケーションを修正しないことに重点を置き、WWW という特定のアプリケーションに特化しているためサーバを変更できるからである。具体的には、移動計算機上にサーバを稼働し、移動計算機とクライ

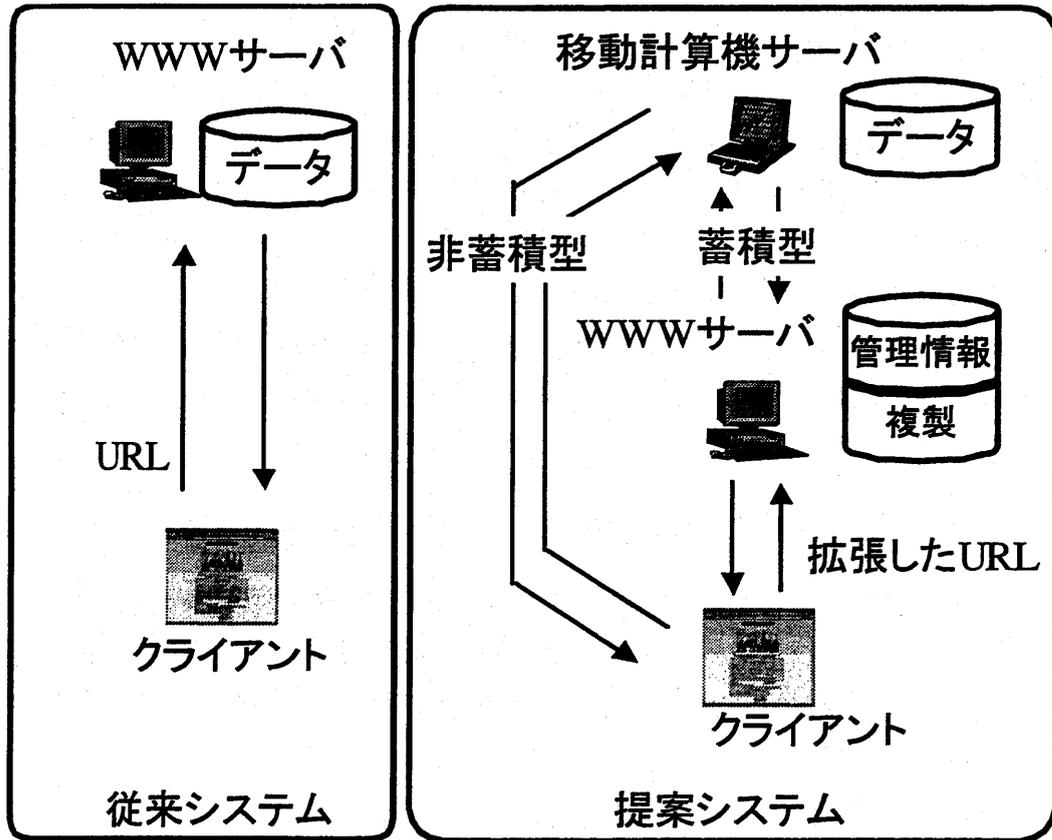


図 3.1 WWW を利用した情報発信システムの概要

アント間に従来の WWW サーバを拡張したものを置き、移動計算機環境に対応させる。その結果、クライアント上の WEB ブラウザは従来のまま使用できることになる。

ネットワークと常に接続している WWW サーバは、移動計算機の位置などの管理と移動計算機が持つデータを発信するために、管理情報と移動計算機上のデータの複製を保持している。WWW サーバは移動計算機が分断時には、この複製を提供する。この複製を提供する WWW サーバを、移動計算機が所属する組織の WWW サーバを利用することから所属 WWW サーバと呼ぶ。また所属 WWW サーバと同一のネットワークをホームネットワークと呼ぶ。この所属 WWW サーバが移動計算機の位置を管理し複製を保持しているため、移動計算機上のデータ

3.3. 情報発信システムの概要

を取得する場合は、常にクライアントはまず所属 WWW サーバに情報取得要求を出さなければならない。この機構を実現するために、URL を移動計算機上のデータを示すことができるように拡張する。クライアントは移動計算機上のデータを示す URL を用いて、その移動計算機の所属 WWW サーバに要求を出す。所属 WWW サーバはまずクライアントからの URL を解析し、対象となる移動計算機の接続の状態、および要求されているデータの種類によって、情報発信形態を決定する。次に決定した情報発信形態でクライアントにデータを提供する。移動計算機の接続状態とデータの種類に応じて、以下のような方針とする。

接続状態：

接続時： 移動計算機が接続時においては、要求されるデータを直接提供できる。つまり最新のデータを提供できる。

分断時： 移動計算機が分断時においては移動計算機と直接通信できないので、所属 WWW サーバが持つ移動計算機のデータの複製を、移動計算機の代りに提供する。このように接続状態で発信形態を変更することで、分断時においてもデータが最新のものではないかもしれないが、情報を発信できる。

データの種類：

蓄積型：複製を作成することで、移動計算機との通信量を軽減できる。

非蓄積型：非蓄積型の場合においては、複製を作成する意味がないので、経路の無駄をできるだけ省いてクライアントにデータを提供することが重要となる。

データの種類によりそのデータの持つ特性が異なり、この特性を活用する形で情報発信形態を変更する必要がある。上記の分類を統合することにより、表 3.1 で示す 4 つの情報発信形態を提供する。

図 3.2 に蓄積型データを発信するための概要を示す。この情報発信形態においては、以下の 2 つの点で有効である。

- 分断時において接続時に作成した複製を発信できる。

第 3 章 WWW を利用した移動計算機からの情報発信システム

表 3.1 情報発信形態の分類

データの種類 \ 接続状態	接続時	分断時
蓄積型	蓄積型接続時発信形態	蓄積型分断時発信形態
非蓄積型	非蓄積型接続時発信形態	非蓄積型分断時発信形態

- 既に複製を作成したデータに対して、所属 WWW サーバが複製を提供することで移動計算機との通信量を削減できる。

所属 WWW サーバは移動計算機が分断時でも情報発信が行えるように、接続時に移動計算機の持つデータの複製を作成する。この複製は分断時に使用するばかりでなく、接続時においてもキャッシュとして利用できる。

次に非蓄積型データの発信について述べる。もし蓄積型の情報発信形態で移動計算機から非蓄積型のデータを発信した場合、以下のオーバーヘッドが生じる。

- 移動計算機からの通信において所属 WWW サーバを必ず通るオーバーヘッド
- 所属 WWW サーバに意味のない複製を作成するオーバーヘッド

これらのオーバーヘッドが、非蓄積型のデータの発信におけるクライアントへのレスポンスやスループットの低下につながる。そのため、移動先の近隣の WWW サーバに、所属 WWW サーバの動作を、代行することによりこの問題を解決する (図 3.3)。この近隣の WWW サーバを近隣 WWW サーバと呼ぶ。また、無駄な複製を作成する問題については、データが非蓄積型の場合は、複製を作成しないようにすることで解決する。

移動計算機が所属サーバとは異なるネットワークに接続された場合には、所属 WWW サーバの代りを近隣 WWW サーバが行う。クライアントは所属 WWW

3.3. 情報発信システムの概要

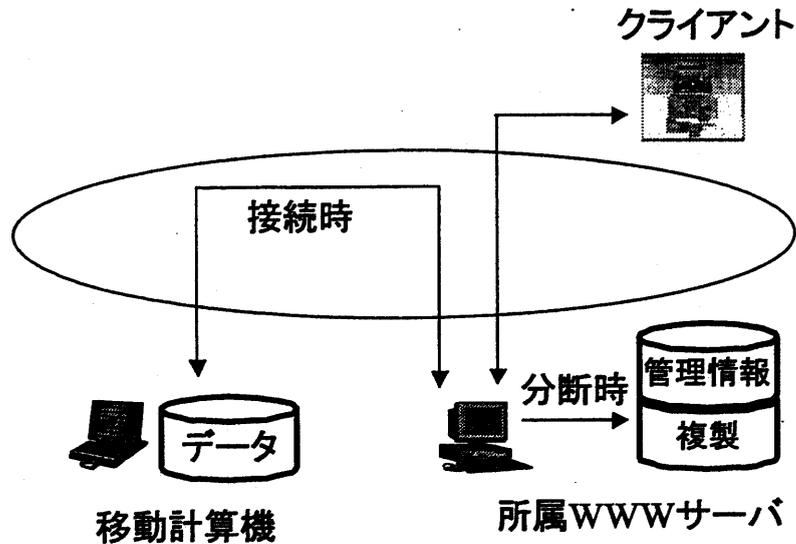


図 3.2 蓄積型データの情報発信

サーバの代りに近隣 WWW サーバを通して移動計算機上のデータを受け取るようになる。非蓄積型データは移動計算機から、近隣 WWW サーバ、そしてクライアントという経路で提供される。その際クライアントは非蓄積型データを要求する URL を、所属 WWW サーバに送るため、所属 WWW サーバは近隣 WWW サーバの位置を知っていなければならない。その近隣 WWW サーバの位置をクライアントへ通知する。結果としてクライアントは近隣 WWW サーバの位置を知り、その近隣 WWW サーバにデータを要求することになる。

以上で述べた情報発信形態以外に、移動先で近隣 WWW サーバだけを利用して情報発信する方式が考えられる。所属 WWW サーバと近隣 WWW サーバを併用する方式は、近隣 WWW サーバだけを利用する方式に比べて以下の利点・欠点を有する。

利点

- サービスの種類の特長を利用した効率の良い通信が可能である。
- 分断時のために保存したデータの管理が容易である。分断中において、所属 WWW サーバだけで、複製を集中管理できるので、管理が容易である。

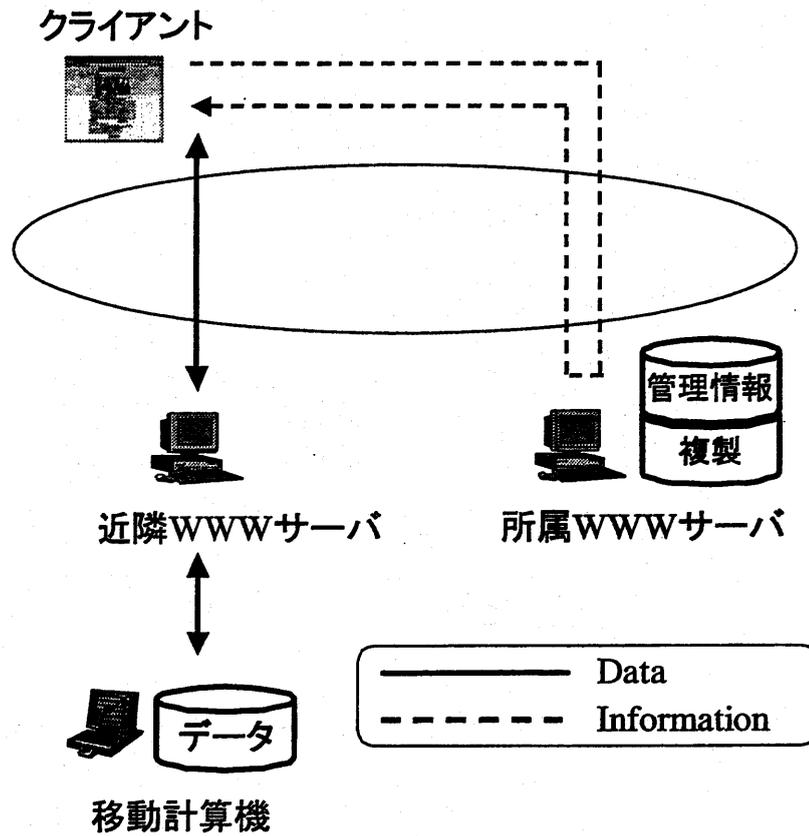


図 3.3 非蓄積型データの情報発信

近隣 WWW サーバに複製を保持する場合、データの管理が分散され、複製の一貫性などの問題のためにシステム構成が非常に複雑になる。

欠点

- 所属 WWW サーバと近隣 WWW サーバを併用する機構を実現するために、システムの構成が複雑になる。
- クライアントにおける移動計算機の要求は、非蓄積型データでも最初に所属 WWW サーバを必ず通過する。このためのオーバーヘッドが発生する。

3.4. 情報発信システムの実装

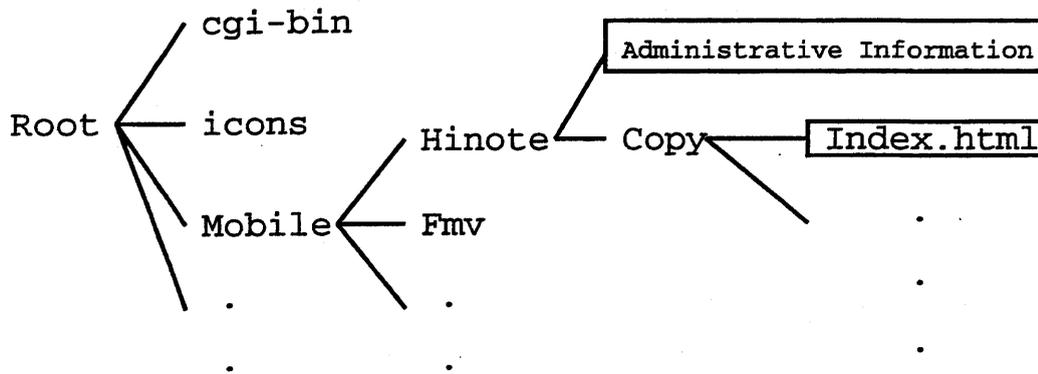


図 3.4 ドキュメント内部構造

3.4 情報発信システムの実装

3.4.1 移動計算機上のデータを示す URL

移動計算機上のローカルデータを表現するために、既存の URL を拡張した。所属 WWW サーバは移動計算機の位置を管理しているので、クライアントは移動計算機上のデータを取得する場合、URL を必ず所属 WWW サーバに送るという条件を満たさなければならない。この条件を既存の WWW システムで満たすために以下のように URL を拡張し、移動計算機上のデータを示す。

`http://ServerName:Port/Mobile/MobileName/Path`

“ServerName” と “MobileName” は所属 WWW サーバ名と移動計算機名をそれぞれ表す。“Mobile” は、この URL が移動計算機上のデータを示すキーワードである。“Path” は移動計算機上のデータのドキュメントパスである。この URL は移動計算機がどこに移動しても不変なので、受信者はこれを用いることにより移動計算機の移動に対して透過にアクセスできる。

図 3.4 に各 WWW サーバにおけるドキュメントの内部構造を示す。“Mobile” は一つのディレクトリと見なされる。しかし、これは普通のディレクトリとは異なり、“cgi-bin” のような特別な振る舞いをするディレクトリである。“Mobile” ディレクトリの下には所属 WWW サーバに属する移動計算機のためのディレクトリ

表 3.2 WWW サーバがもつ移動計算機の管理情報

MobileName	State	DocumentPath	Location
------------	-------	--------------	----------

が存在する。そのディレクトリ名を移動計算機名と一致させ、その下は移動計算機の種々の情報を保持する。具体的には“Administrative Information”ファイルと“Copy”ディレクトリである。“Administrative Information”ファイルには移動計算機の管理情報をおき，“Copy”ディレクトリには移動計算機のローカルデータの複製をディレクトリ構造を維持したまま保持する。

3.4.2 移動計算機の管理情報

所属 WWW サーバは、最適な情報発信形態を選択するために、対象とする移動計算機の現在の状態を保持していなければならない。近隣 WWW サーバもまたその移動計算機に関する情報が必要である。本項ではこの移動計算機の管理情報について説明する。WWW サーバは各移動計算機に対して表 3.2 のような情報のエントリを一つ持つ。

MobileName: このフィールドは、どの移動計算機の管理情報かの識別子を示す。この名前は移動計算機の名前の衝突を避けるために所属 WWW サーバ内で一意でなければならない。近隣 WWW サーバにおいては“MobileName”と所属 WWW サーバ名を連結することにより一意にできる。

State: このフィールドは現在の移動計算機の接続状態を示す。

DocumentPath: このフィールドは移動計算機における WWW のトップディレクトリ名を示す。WWW サーバはこのフィールドを用い、要求された URL のパスを移動計算機上のパスに変換する。

Location: このフィールドは移動計算機の現在の位置を示す。これは接続時のみ有効であり、移動計算機の現在の IP アドレスが使われる。また近隣 WWW サーバを使用した時、近隣 WWW サーバ名を同時に付加する。

3.5. 情報発信形態

移動計算機がその接続状態を変化させる時，“MobileName”を識別子にして所属 WWW サーバ，近隣 WWW サーバにそれぞれ通知する．各 WWW サーバは対応する移動計算機の管理情報を更新する．図 3.5に移動計算機の動作とそれに対応する管理情報の遷移について示す．ここで，移動計算機名を“Hinote”とし，所属 WWW サーバ名を“jupiter.aaa.com”とする．

- (1) 移動計算機はホームネットワークに接続している状態である．位置は“10.0.0.1”であり，接続状態は“Connection”，そしてドキュメントパスは“/usr/WWW”である．
- (2) 移動計算機はホームネットワークとは異なるネットワークに移動し．それに伴い IP アドレスも変化した．近隣 WWW サーバは存在しない場合，“Location”だけが変更される．従って，所属 WWW サーバの“Location”フィールドが“10.0.5.1”に変化する．
- (3) 移動計算機がネットワークから分断した状態である．所属 WWW サーバは接続状態を“Disconnection”に変化させる．
- (4) 移動計算機は近隣 WWW サーバ“sirius.bbb.com”を含む他のネットワークに移動した状態である．所属 WWW サーバの“Location”フィールドは，現在の移動計算機の IP アドレスと近隣 WWW サーバ名を連結した“20.0.0.1@sirius.bbb.com”に変更する．近隣 WWW サーバは移動計算機のために新しいエントリが作成される．その“MobileName”フィールドは“Hinote@jupiter.aaa.com”である．

3.5 情報発信形態

3.3節で述べたように，情報発信形態は接続状態とデータの種類によって4つに分類できる．現在，データの種類はデータ名の拡張子によって決められる．各拡張子がどのデータの種類の分類されるかはサーバ管理者によって定められる．例えば，“Sample.html”は拡張子が“html”なのでテキストを示し，蓄積型データに分類される．また，“Sample.ra”ならば拡張子が“ra”なので Real-Audio データ

第 3 章 WWW を利用した移動計算機からの情報発信システム

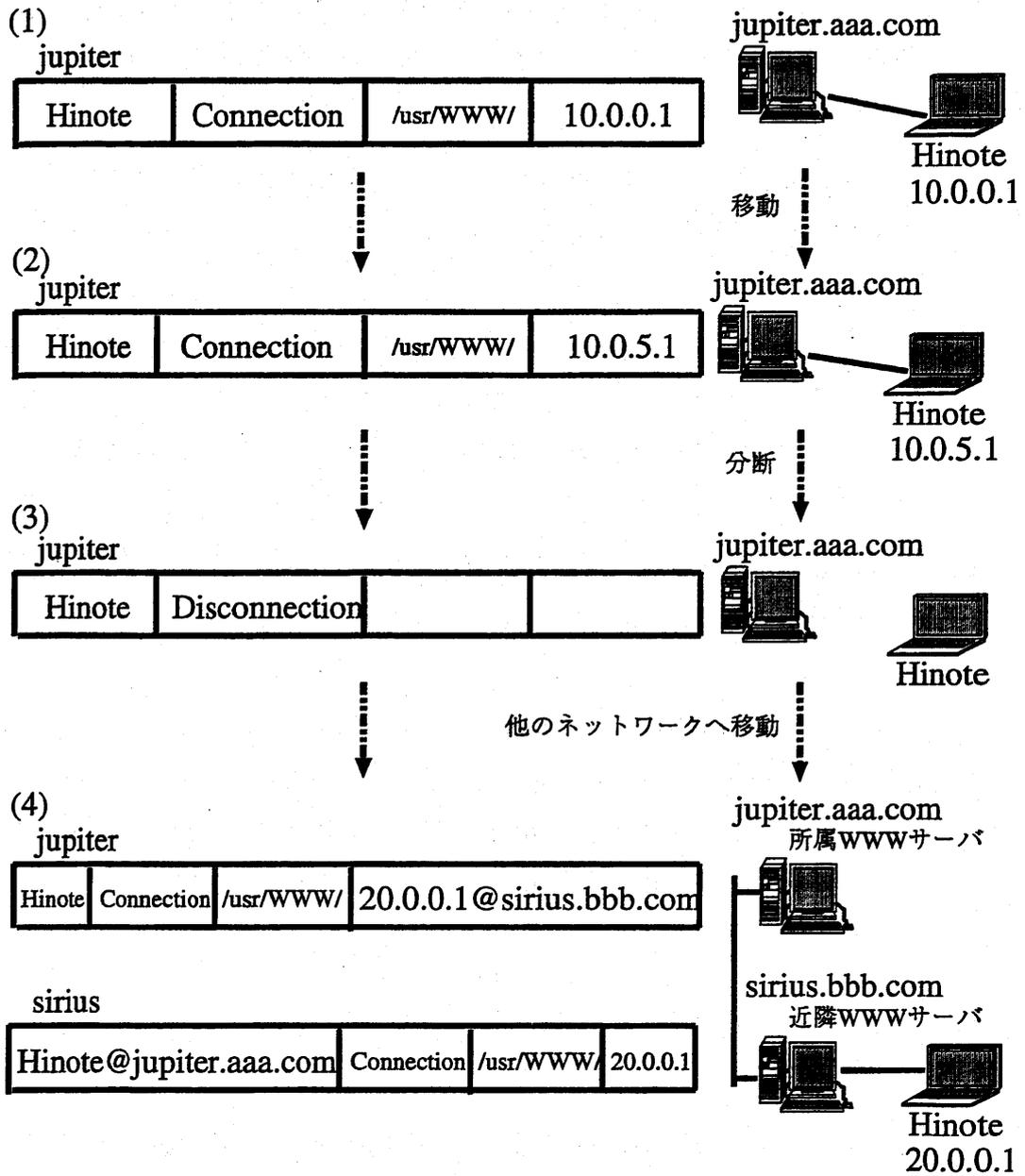


図 3.5 管理情報の遷移

3.5. 情報発信形態

[11] を示し、非蓄積型データに分類されることになる。次に移動計算機上のデータをクライアントに提供する仕組みについて述べる。

- (1) クライアントは移動計算機上のデータを示す URL を、対応する移動計算機が属する所属 WWW サーバに送る。
- (2) 所属 WWW サーバは URL に含まれている MobileName をもとに移動計算機の接続状態を確認する。接続されている場合、ステップ (4) へ。接続されていない場合、ステップ (3) へ。
- (3) 所属 WWW サーバは要求されたデータの種類を確認する。当該データが非蓄積型データの場合、情報発信形態として非蓄積型分断時発信形態が選択される。そうでなければ蓄積型分断時発信形態が選択される。
- (4) ステップ (3) と同様に、発信するデータの種類を確認する。当該データが蓄積型データの場合、蓄積型接続時発信形態が選択される。その他の場合は、非蓄積型接続時発信形態が選択される。

3.5.1 蓄積型接続時発信形態

蓄積型接続時発信形態においては、基本的に所属 WWW サーバ上の複製をクライアントに提供する。しかし移動計算機上にあるオリジナルのデータが更新された時には、所属 WWW サーバの複製を更新する様々な方式が考えられる。発信方式に対しては次の2点の項目に着目し考察する。

1. 移動計算機と所属 WWW サーバ間の通信量
2. クライアントにおけるレスポンス時間

発信方式には WWW サーバ主導方式、移動計算機主導方式、修正 WWW サーバ主導方式、選択発信方式の4種類があり、各々は上記2点の項目で特徴が異なる。

3.5.1.1 WWW サーバ主導方式

クライアントが移動計算機上のデータを要求した時に、データの更新確認を行い更新されていれば複製を更新するのでオンデマンド方式 [12] である。これは複

第 3 章 WWW を利用した移動計算機からの情報発信システム

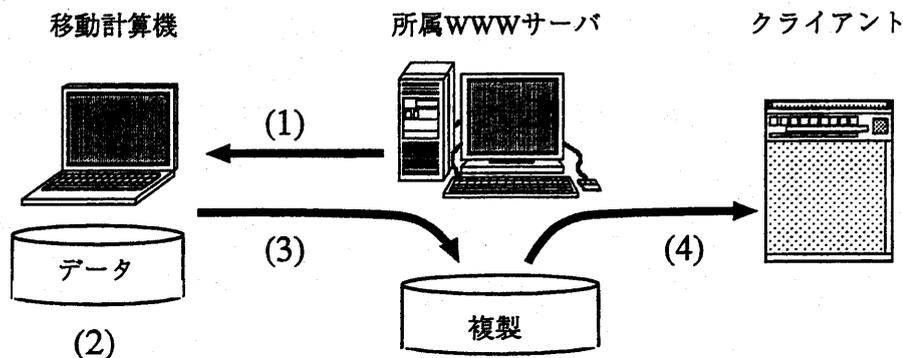


図 3.6 WWW サーバ主導方式

製をキャッシュと考え、既存の WEB キャッシュシステム [13, 14] の更新方式と同じ手法となる。WWW サーバ主導方式は次に示す手順に従ってクライアントにデータを提供する (図 3.6)。

- (1) 所属 WWW サーバに移動計算機上のデータを示す要求が到着した場合、対応する WWW サーバ上の複製に関する情報を得る。この複製に関する情報とは、データの作成日時と大きさである。次にこの日時と大きさの情報を移動計算機に送信する。
- (2) 移動計算機は受け取った複製の情報と、オリジナルのデータの情報を比較する。もしオリジナルのデータと複製の情報が同じ場合、移動計算機は所属 WWW サーバに更新されていないというメッセージ (VALID) を返答する。違う場合、オリジナルのデータを、所属 WWW サーバにメッセージ (RECACHE) と共に送る。
- (3) 所属 WWW サーバが RECACHE メッセージを受け取った場合、所属 WWW サーバは複製を更新する。
- (4) 所属 WWW サーバは複製をクライアントに提供する。

3.5. 情報発信形態

3.5.1.2 移動計算機主導方式

移動計算機主導方式では、オリジナルのデータの保持とその複製との一貫性制御は、移動計算機が行なう。移動計算機がデータを変更したときに同期して、所属 WWW サーバ上の複製を更新する。本方式は、WWW サーバ主導方式と異なり、クライアントからの要求の前に、複製を更新する Notify 方式と考えられる。また要求の有無に関わらず、複製は常に移動計算機によって最新に保たれているので、所属 WWW サーバはクライアントへ複製を提供するだけでよい。従って、WWW サーバ主導方式における手順のステップ (1), (2), (3) を省くことで移動計算機主導方式となる。しかし、この方式においてはデータの更新管理を移動計算機が行なう必要がある。

3.5.1.3 修正 WWW サーバ主導方式

上記 WWW サーバ主導方式では、複製データとの一貫性制御方式を既存の WEB キャッシュシステムの更新方式と同じ手法を採用していたが、WEB キャッシュシステムと同様にオリジナルデータの変更を確認することがオーバーヘッドとなる。しかし、キャッシュシステムと移動計算機の間には一対一の対応があり、移動計算機のオリジナルのデータの情報を管理することが可能である。このことからデータ情報に様々な情報を付加することによって、効率を向上させることが可能である。修正 WWW サーバ主導方式では、WWW サーバ主導方式で問題であるクライアントからの要求毎に更新確認をする通信量のオーバーヘッドをなくし、より効率的なアルゴリズムを実現する。この方式においては、所属 WWW サーバは各データ毎にデータ情報を持つ。更新があった場合、このデータ情報の内の更新フラグを変更し、更新のあったことのみを保持する。これにより、所属 WWW サーバは更新確認をする必要がなくなるので、オーバーヘッドを伴わずにクライアントにデータを提供できる。次に修正 WWW サーバ主導方式の手順を図 3.7 を用いて説明する。

- (1) 移動計算機から所属 WWW サーバに対してデータの更新要求を出す。
- (2) 要求されたデータの更新フラグをすべて OLD に変更し、このデータに更新があったことを記録する。

第 3 章 WWW を利用した移動計算機からの情報発信システム

- (3) クライアントからデータ取得の要求があった時、そのデータの更新フラグが OLD であれば、データを更新するためのメッセージを移動計算機に送る。
- (4) 移動計算機はデータを更新する。
- (5) データが更新された場合、管理情報の更新フラグを VALID に変更する。

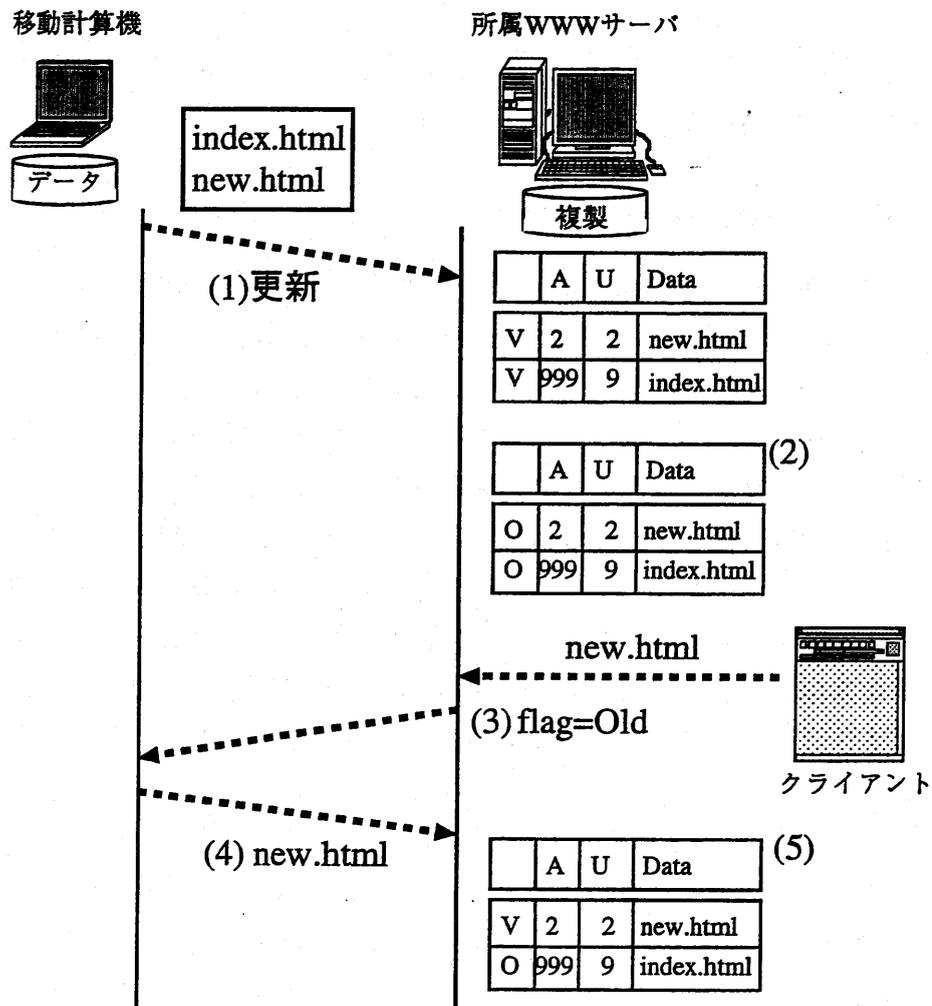


図 3.7 修正 WWW サーバ主導方式

3.5. 情報発信形態

3.5.1.4 選択発信方式

上記で述べた各方式は提供する機能は同一であるが、複製の更新時期が異なる。オンデマンド方式である WWW サーバ主導方式、修正 WWW サーバ主導方式はクライアントの要求と同期して更新が行われる。Notify 方式である移動計算機主導方式はオリジナルのデータの更新と同期する。これら 2つの方式はアクセス頻度と更新頻度によって性能が異なることが考えられる。ここでアクセス頻度と更新頻度との関係を A/U で示す。 A/U は

$$A/U = \frac{\text{アクセス頻度}}{\text{更新頻度}}$$

である。通信量とレスポンス時間の側面から見て、アクセス頻度が更新頻度より大きい ($A/U > 1$) 場合、移動計算機主導方式は全体的に優れている。しかしアクセス頻度が更新頻度より小さい ($A/U \leq 1$) 場合になると、通信量においては移動計算機主導方式は性能が悪くなり、修正 WWW サーバ主導方式が有効となる。一方、レスポンス時間の側面から見ると、逆に修正 WWW サーバ主導方式は性能が悪くなり、移動計算機主導方式が有効となる。これにより、 A/U の閾値で移動計算機主導方式と修正 WWW サーバを変更することによって、通信量とレスポンス時間の両側面において、全体的に性能の良い発信方式を選択することが可能となる。この方式を選択発信方式と呼ぶことにする (図 3.8)。本方式はアクセス頻度と更新頻度の比率 (A/U) によって、複製の更新が行われる 2つの同期要因を動的に選択するものである。本方式を実現するために、修正 WWW サーバ主導方式と同様に所属 WWW サーバに各複製に対するデータ情報を持たせる。ここでデータ情報においては更新フラグの情報だけでなく、データのアクセス頻度と更新頻度の情報も持つ。これにより修正 WWW サーバ主導方式と同様に WWW サーバ主導方式で問題となる更新確認のためのオーバーヘッドを削減でき、またレスポンス時間も短縮できる。次に選択発信方式の手順を図 3.8を用いて説明する。

- (1) 移動計算機から所属 WWW サーバに対してデータの更新要求を出す。
- (2) 要求されたデータの更新フラグをすべて OLD に変更し、このデータに更新があったことを記録する。

第3章 WWWを利用した移動計算機からの情報発信システム

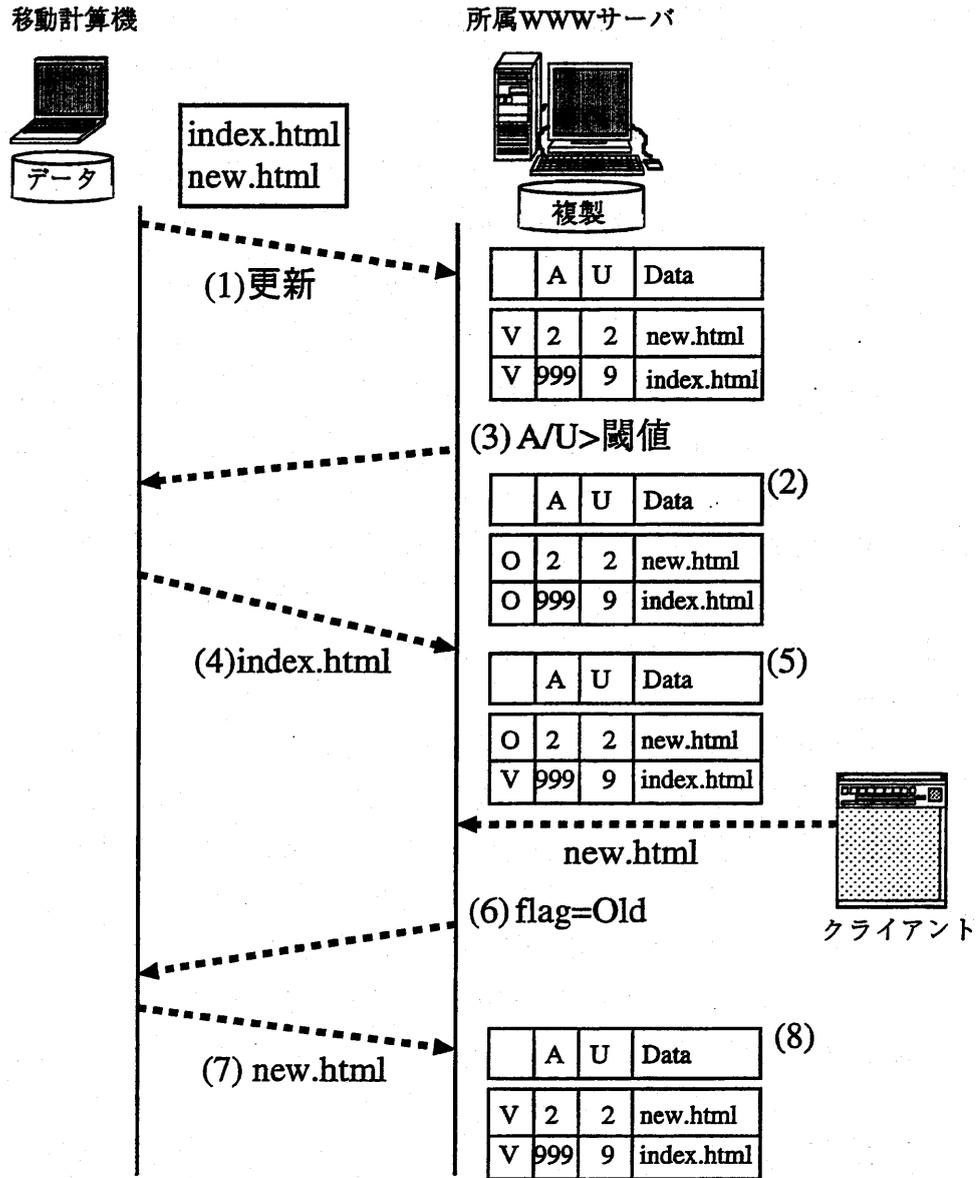


図 3.8 選択発信方式

3.5. 情報発信形態

- (3) 所属 WWW サーバは管理情報から更新されたデータの A/U を算出し、A/U が閾値より大きければ、データ更新するためのメッセージを移動計算機に送る。
- (4) 移動計算機はデータを更新する。
- (5) データが更新された場合、管理情報の更新フラグを VALID に変更する。
- (6) クライアントからデータ取得の要求があった時、そのデータの更新フラグが OLD なら、データを更新するためのメッセージを移動計算機に送る。
- (7) 移動計算機はデータを更新する。
- (8) データが更新された場合、管理情報の更新フラグを VALID に変更する。

同期要因の選択のための閾値は、理論的には 1.0 とみなせるが、アクセス頻度と更新頻度は一様ではない、またデータの長さの違いから最適な A/U の閾値は 1.0 ではないと考えられる。そこで最適な閾値は 3.6.2 項の実験により決定する。

3.5.1.5 発信方式の考察

4 つの発信方式の利点を表 3.3 に示す。

WWW サーバ主導方式は、データに更新がある場合でも、そのデータにクライアントがアクセスしないのであれば、更新しないので通信量において無駄な通信を省くことが可能である。また、移動計算機が持つオリジナルのリソースと所属 WWW サーバが持つ複製との一貫性を気にする必要がない。

移動計算機主導方式では、クライアントからの要求がある前に複製は更新されるのでレスポンス時間は早い。また、通信量においてもクライアントからの要求毎に、データの更新確認のオーバーヘッドがないという利点を持つ。修正 WWW サーバ主導方式では、WWW サーバ主導方式と基本的に同様の機構を提供するので、WWW サーバ主導方式と同じ利点を持つ。

選択発信方式は、レスポンス時間において移動計算機主導方式の利点を持ち、また通信量においては WWW サーバ主導方式と移動計算機主導方式の利点を同時に持つ。なぜならこの方式においては、各利点が大きく影響するデータの種類

第 3 章 WWW を利用した移動計算機からの情報発信システム

表 3.3 発信方式における各方式の利点

		レスポンス時間	通信量	その他
WWW サーバ主導方式			アクセスされないデータを転送することはない。	オリジナルデータとその複製との間の一貫性は移動計算機が気にする必要がない。
移動計算機主導方式		クライアントからの要求がある前に複製を更新するのでレスポンス時間は早い。	更新確認メッセージのオーバーヘッドがない。	
修正 WWW サーバ主導方式			アクセスされないデータを転送することはない。更新確認のメッセージは必要がない	オリジナルデータとその複製との間の一貫性は移動計算機が気にする必要がない。
選択発信方式	A/U > 閾値	クライアントからの要求がある前に複製は更新するのでレスポンス時間は早い。	更新確認メッセージのオーバーヘッドがない。	
	A/U ≤ 閾値		アクセスされないデータを転送することはない。更新確認のメッセージは必要がない	

3.5. 情報発信形態

表 3.4 発信方式における各方式の欠点

		レスポンス時間	通信量	その他
WWW サーバ主導方式		オリジナルリソースが更新された時、レスポンス時間が遅くなる。	データの要求毎にデータが更新確認のオーバーヘッドがある。	
移動計算機主導方式			アクセスされないデータも含めて更新してしまう。	移動計算機がオリジナルリソースとその複製の間の一貫性を管理する必要がある。
修正 WWW サーバ主導方式		オリジナルデータが更新された時、レスポンス時間が遅くなる。		所属 WWW サーバにデータ情報が必要である。
選択発信方式	A/U > 閾値		アクセスされないデータも含めて更新してしまう。	所属 WWW サーバにデータ情報が必要である。機構が複雑である。
	A/U ≤ 閾値	オリジナルデータが更新された時、レスポンス時間が遅くなる。		

第3章 WWWを利用した移動計算機からの情報発信システム

に対して有効な発信方式を選択するからである。通信量においては、A/Uが閾値より大きい場合、移動計算機主導方式を選択するので、更新確認メッセージのオーバーヘッドがない。A/Uが閾値より小さい場合、移動計算機主導方式で問題となるアクセスされないデータを更新するオーバーヘッドが、修正WWWサーバ主導方式を選択するので生じない。レスポンス時間においては、A/Uが閾値より大きい場合、移動計算機主導方式を選択するので早い。A/Uが閾値より小さい場合、修正WWWサーバ主導方式を選択する。移動計算機主導方式はA/Uが閾値より小さい場合、レスポンス時間に対する性能は良いが、通信量において悪くなる。A/Uが閾値より小さい場合、通信量の側面を考慮している。

次に欠点を表3.4に示す。

WWWサーバ主導方式では、データが更新された時、移動計算機上の複製の更新をクライアントの要求が到着した後で行うために、レスポンス時間が長くなる。また通信量においても、データの要求毎にデータの更新確認のオーバーヘッドが生じる。

移動計算機主導方式においては、通信量においてデータに更新があった時、アクセスされないデータの複製を更新する無駄が存在する。また移動計算機上のオリジナルのデータと所属WWWサーバ上の複製の一貫性を管理しなければならない。

修正WWWサーバ主導方式においては、WWWサーバ主導方式と比べて通信量における欠点がない。しかし、所属WWWサーバにすべてのデータに対するデータ管理情報が必要となる。

選択発信方式においては、WWWサーバ主導方式と移動計算機主導方式の2つの欠点があるが、欠点が大きく影響するデータの種別を避けた形で2つの方式を選択するので、レスポンス時間と通信量の欠点を最小限にできる。通信量においてA/Uが閾値よりも大きい場合、アクセスされないデータも含めて更新する欠点が存在するが、しかしA/Uが大きいことから、影響は少ないと考えられる。

また、レスポンス時間においては、A/Uが閾値より小さい場合、オリジナルリソースが更新された時にレスポンス時間が遅くなるという欠点があるが、A/Uが小さいのでアクセスされない可能性が大きい。また、その他の欠点としては、データの管理情報が必要であるのと、この方式を実現するための機構が他の方式

3.5. 情報発信形態

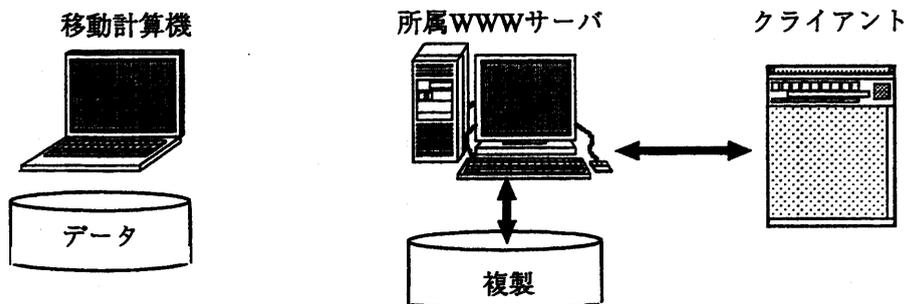


図 3.9 蓄積型分断時発信形態

に比べて複雑である。

3.5.2 蓄積型分断時発信形態

移動計算機が分断している時には、所属 WWW サーバは要求されたデータの複製をクライアントに提供する（図 3.9）。その複製は接続時に作成される。

3.5.3 非蓄積型接続時発信形態

この発信形態は次の手順によって行われる（図 3.10）。

- (1) 所属 WWW サーバは近隣 WWW サーバの場所をクライアントに通知する。
- (2) クライアントは要求を所属 WWW サーバから返答された近隣 WWW サーバに出す。
- (3) 近隣 WWW サーバは所属 WWW サーバの代わりに要求を移動計算機に転送する。
- (4) データは近隣 WWW サーバを通してクライアントに提供される。

所属 WWW サーバと近隣 WWW サーバが同一の場合、ステップ (1) と (2) は省かれる。そしてステップ (3) と (4) の近隣 WWW サーバを所属 WWW サーバに置き換える。

第 3 章 WWW を利用した移動計算機からの情報発信システム

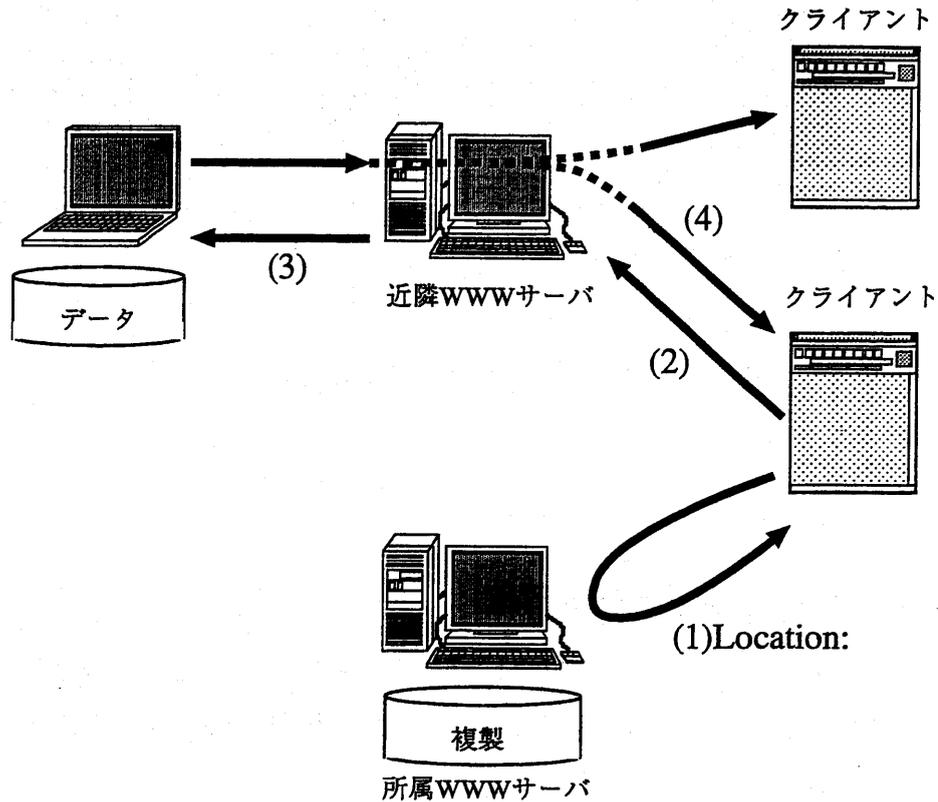


図 3.10 非蓄積型接続時発信形態

ステップ (2) において、クライアントのブラウザは新しい機能を必要としない。なぜなら指定した URL にフォワードするために HTTP[15, 16] では “Location:” ヘッダが用意されているからである。したがって、ステップ (1) において近隣 WWW サーバを “Location:” に付け加えたメッセージを返答するだけでよい。

ステップ (4) において、他のクライアントから先に同じデータの要求があった場合、その通信は近隣 WWW サーバで統合できる。その結果、追加された同一データの要求によって移動計算機に余分な通信量をかけなくてよくなる。

3.6. 実装, 評価

3.5.4 非蓄積型分断時発信形態

非蓄積型データにおいては, 接続時に複製を作成する意味がないので, 所属 WWW サーバには複製が存在しない. この発信形態では簡単にエラーメッセージを返答するだけである. しかし, アプリケーションによっては何らかのサービスを提供することも可能である. 例えば, インターネット携帯電話として利用していた場合, 所属 WWW サーバは留守番電話の機能を果たすことができる.

3.6 実装, 評価

移動計算機から情報発信を行うシステムを実際に構築し, 評価を行った. WWW サーバは, 既存の http サーバ [17] を拡張する形で作成し, 移動計算機には簡易サーバを作成した. 計算機環境を以下に示す.

- WWW サーバ

[機種]: Sun Microsystems Sparc Station 20

[OS]: Sun Microsystems Solaris 2.4

- 移動計算機サーバ

[機種]: DEC Digital Hinote Ultra II

[OS]: BSD/OS 3.0

3.6.1 情報発信形態の評価

本節では各情報発信形態の性能を評価する. 実験環境を図 3.11 に示す.

種々の大きさのデータを各情報発信形態で発信を行い, クライアントが要求を出してからデータ取得までの所要時間を計測した. 結果を図 3.12 に示す. また, この実験では WWW サーバ主導方式を採用している. 蓄積型接続時発信方式においては, 複製とオリジナルのデータとが一致しないとき, 複製を提供する前に更新操作が行われる. A[蓄積型接続時発信方式(更新あり)]では, 複製の更新操作のために転送時間が遅いと考えられる. しかし B [蓄積型接続時発信方式(更

第3章 WWWを利用した移動計算機からの情報発信システム

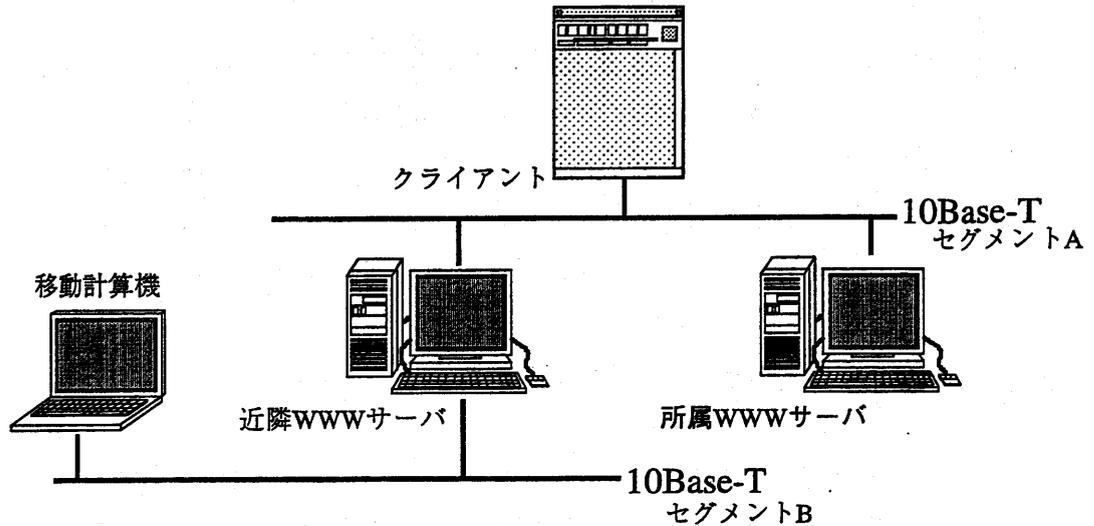


図 3.11 実験環境

新なし)]においては、クライアントからの要求は複製が提供されるので大幅な転送時間の改善が見られる。このことから蓄積型リソースに関して複製（キャッシュ）を用いることの有効性が確認できる。しかし WWW サーバ主導方式を採用しているため、複製の更新操作自体は行われませんが、複製が最新かどうかの確認のためのオーバーヘッドが生じている。これに比べて C[蓄積型分断時発信方式]ではこの確認のためのオーバーヘッドが生じないので、B に比べて、転送時間が若干早くなっている。システムが移動計算機主導方式、あるいは修正 WWW サーバ主導方式を採用した場合、B におけるレスポンス時間は C と等しくなる。D[非蓄積型接続時発信方式]の時間は A よりも短くなっている。この理由としては、データを転送する時間には変化が見られないことから、経路の冗長を削減したためではなく、複製を作成していないことが一番の原因であると考えられる。この実験を LAN 環境で行ったために、非蓄積型データの発信におけるもう一つの利点である経路の冗長を削減することによる有効性をあまり確認できないと考えられる。

そこで、非蓄積型接続時発信形態の有効性を通信経路の冗長を削減することの有効性を確かめるための実験を行った。これは蓄積型接続時発信形態で複製を作

3.6. 実装, 評価

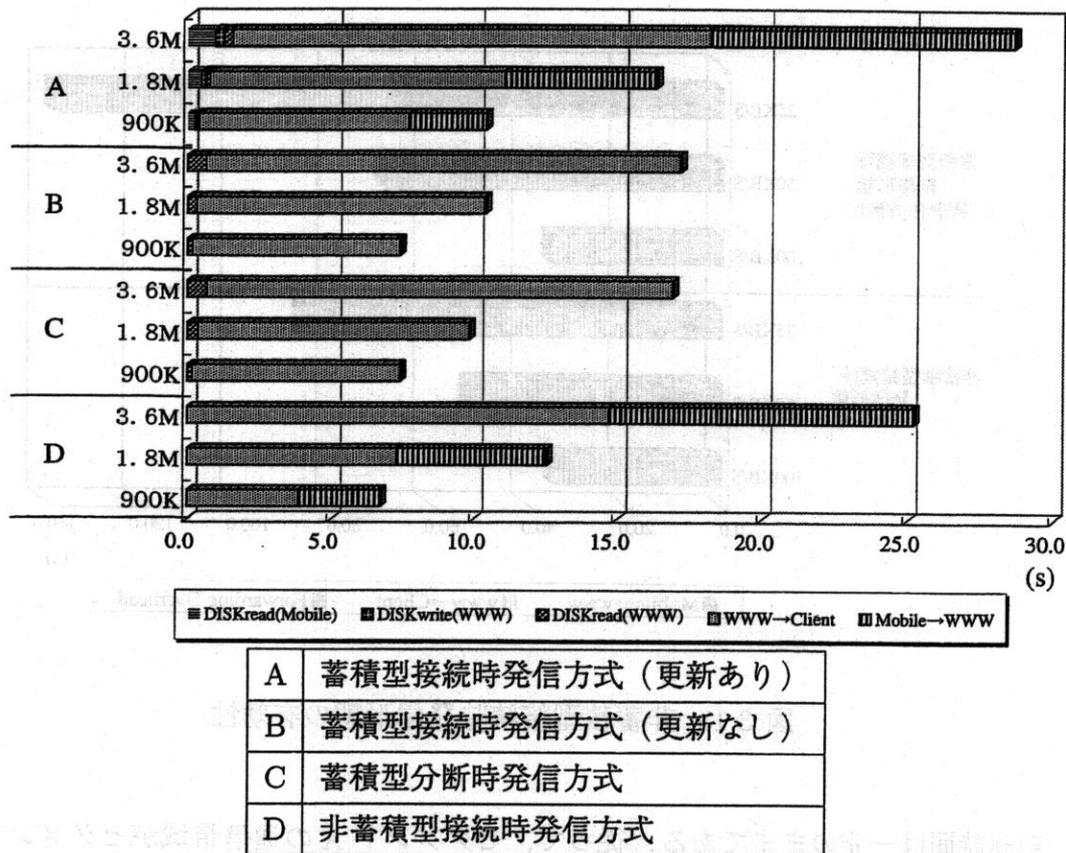


図 3.12 各発信方式におけるレスポンス時間

成しない発信方式と、非蓄積型接続時発信形態を比較する実験である。2つの発信形態の違いは通信経路だけである。蓄積型接続時発信形態においては近隣 WWW サーバの代わりに所属 WWW サーバを用いている。実験結果を図 3.13 に示す。図 3.11 のセグメント A はインターネットを想定しているために、回線の混雑を考慮する必要がある。これためセグメント A の通信帯域を変化させることで対応している。セグメント B の通信帯域を固定 (100KB/S) としている。この環境で約 1.8M の再利用できないデータの転送を行い、その時の所要時間を計測した。蓄積型接続時発信形態 (複製作成なし) においては移動計算機と所属 WWW サーバとの間の転送時間は通信帯域に依存して遅くなっている。しかし非蓄積型接続時発信形態においてはセグメント A の通信帯域の影響をまったく受けないので、

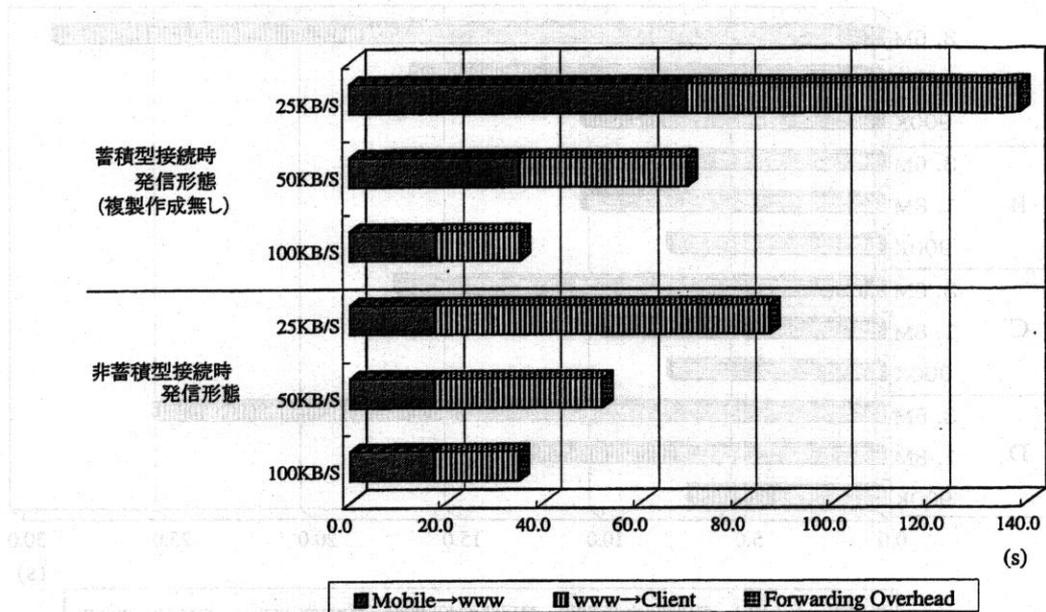


図 3.13 非蓄積型接続時発信形態の有効性

転送時間は一定のままである。従って、セグメント A の通信帯域がセグメント B の通信帯域より狭い場合において、非蓄積型接続時発信形態における経路の冗長性を削減する有効性を確認できる。

3.6.2 蓄積型発信形態における発信方式の比較

本項では蓄積型データにおける発信方式の性能を比較する。最初に選択発信方式における閾値を実験により求めた。具体的には、最適な A/U の閾値を求めるために、閾値を変化させ総通信量とキャッシュミス回数を計算した。またレスポンス時間をキャッシュミス回数で代用した理由は、レスポンス時間は、キャッシュミス回数が大きく影響するからである。その結果を図 3.14 に示す。キャッシュミス回数とは、移動計算機上のオリジナルのデータは更新されているが、所属 WWW サーバの複製はまだ更新されていない時に、クライアントからの要求があった回数である。結果から総通信量とキャッシュミス回数の間でトレードオフの関係と

3.6. 実装, 評価

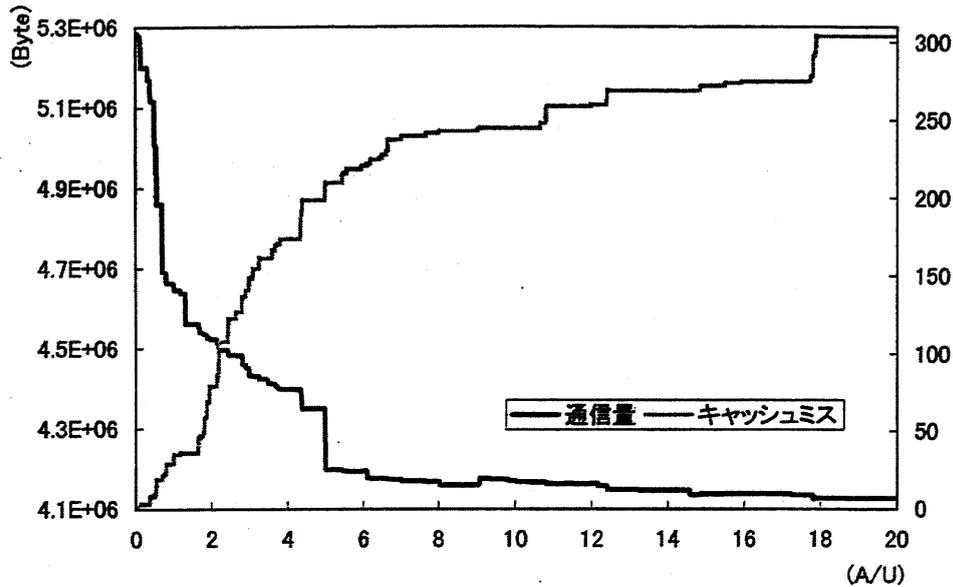


図 3.14 選択発信方式における最適な閾値

なっている。閾値の設定は総通信量とキャッシュミス回数の両方において有効にするために、両方の交点である 2.0 とした。

発信方式における、移動計算機と所属 WWW サーバとの間の通信量を実際の WWW サーバのログを用いて計算を行った。各発信方式でログに記述されたすべてのデータを発信した時の総通信量を調べた。その結果を図 3.15 に示す。図 3.15 により通信量は、WWW サーバ主導方式が最も多く、次に移動計算機主導方式、選択発信方式、そして修正 WWW サーバ主導方式が最も通信量が少なくなっている。またこの結果を詳しく調べるために、データを A/U で分類し、各データで費やした通信量を分析した。結果を図 3.16 に示す。結果は WWW サーバ主導方式を 1.0 とした時の各発信方式の比率を示している。WWW サーバ主導方式は少ないアクセスで多くの更新 (A/U 小) が行われているデータに対して有効であることがわかる。これとは逆に、移動計算機主導方式は多くのアクセスで少ない更新 (A/U 大) のときに有効である。WWW サーバ主導方式はアクセス頻度の増加に大きく影響し、移動計算機主導方式は A/U の値が 1.0 より小さくなると急激に性能が悪化する。これはほとんどアクセスされないデータも更新する

第 3 章 WWW を利用した移動計算機からの情報発信システム

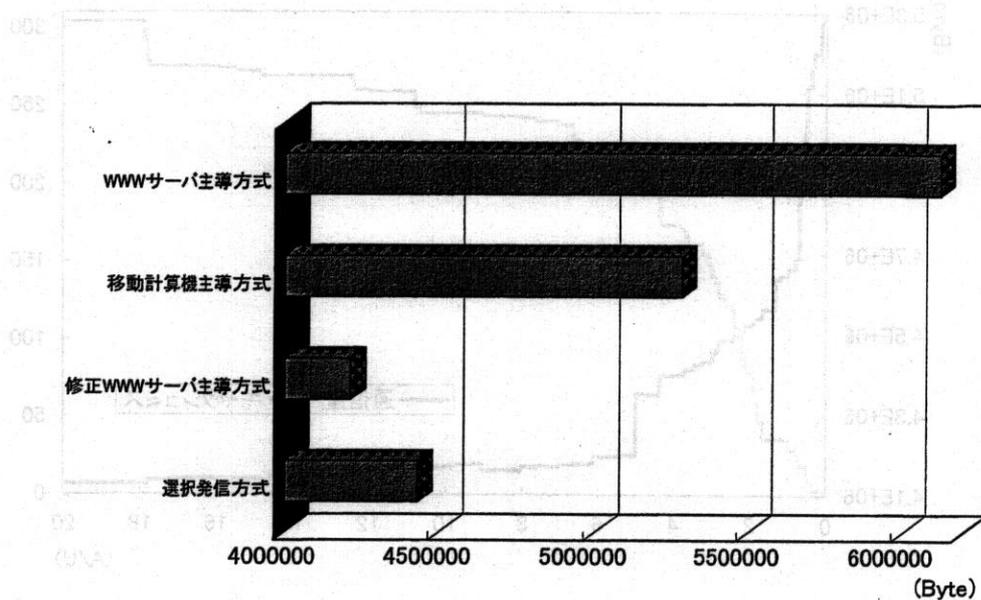


図 3.15 各発信方式における移動計算機の総通信量の比較

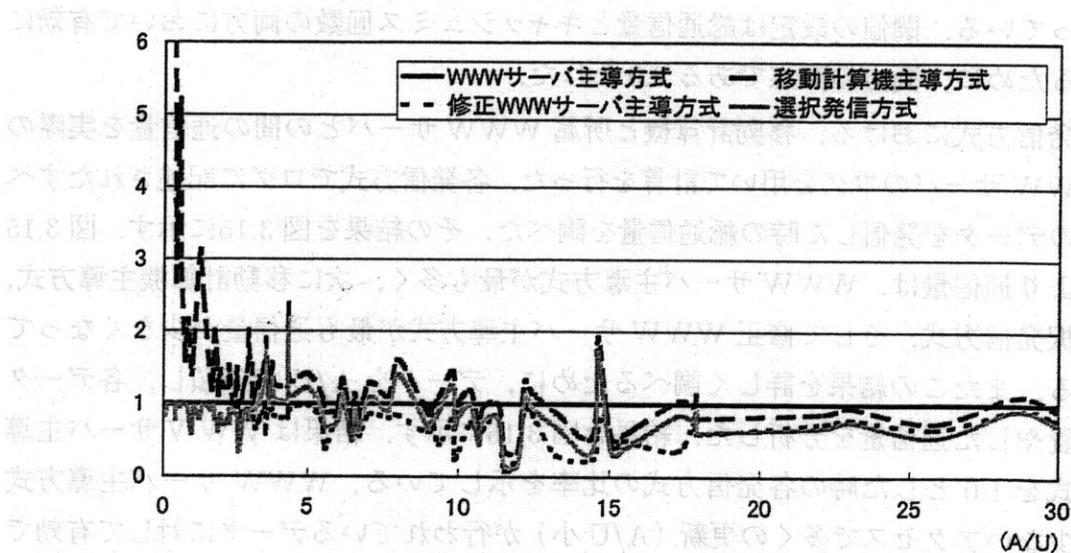


図 3.16 データの種類に着目した総通信量の分析

3.6. 実装, 評価

からである。また修正 WWW サーバ主導方式は、WWW サーバ主導方式におけるアクセス毎の更新確認のオーバーヘッドにより性能が悪くなるという欠点を補い、全体的に良い性能が得られている。選択発信方式は、修正 WWW サーバ主導方式と同じように全体的に良い性能が得られている。

次に発信方式をクライアントにおけるレスポンス時間とキャッシュミス回数で比較してみた。結果は各発信方式のレスポンス時間とキャッシュミス回数の合計を図 3.17 に示す。総レスポンス時間は発信方式の全体の性能を示し、キャッシュミス回数は最大レスポンス時間を費やしたクライアントの数を示す。バッチ処理のようなシステムでは、総レスポンス時間を重視すればよいが、インタラクティブなシステムでは、キャッシュミス回数も考慮しなければならない。キャッシュミス回数を改善することにより、すべてのユーザに対して公正なシステムを提供できる。

レスポンス時間において、WWW サーバ主導方式が最も長くなっている。これは WWW サーバ主導方式のようなオンデマンド方式では、キャッシュミス頻度が多いことから、そのオーバーヘッドの分だけ遅くなるためである。またリソースが更新されていない場合にも、アクセス毎に更新の確認をする時間の分だけ遅くなることも原因と考えられる。修正 WWW サーバ主導方式においては、WWW サーバ主導方式とキャッシュミス回数が同じであるので、更新にかかるオーバーヘッドは変わらない。しかしアクセス毎に更新確認するオーバーヘッドが改善され、性能が向上していると考えられる。移動計算機主導方式のような方式は、要求より先にデータを更新する方式なので、更新の有無にかかわらず、すぐにクライアントはデータを取得することが可能である。これにより、キャッシュミスは存在しない。さらにアクセス毎に更新確認するオーバーヘッドも存在しないので、発信方式の中で最も性能が良い。選択発信方式はデータの種類によって方式を変えており、最適に更新時期を変えるので、キャッシュミス頻度は改善されている。これに伴いレスポンス時間も向上している。

上記の結果を詳しく調べるために、データを A/U で分類し、各データで費やしたレスポンス時間を分析した。その結果を図 3.18 に示す。結果は WWW サーバ主導方式を 1.0 とした時の各発信方式の比率を示している。WWW サーバ主導方式は A/U の値に関わらず、レスポンス時間が長いことがわかる。これに対して

第 3 章 WWW を利用した移動計算機からの情報発信システム

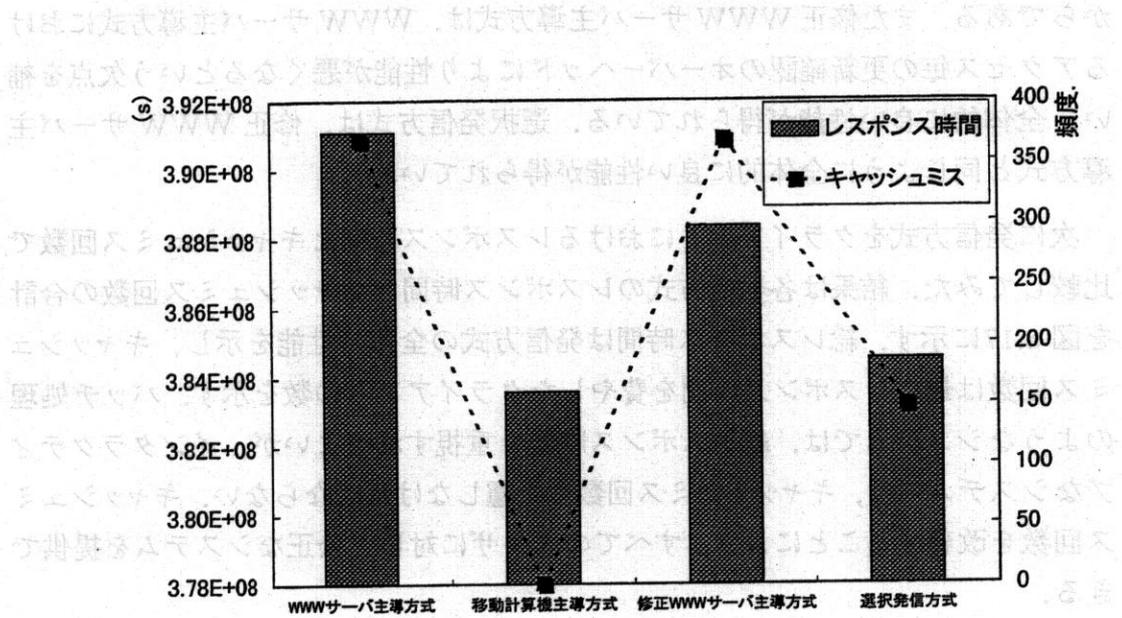


図 3.17 各発信方式における移動計算機の総レスポンス時間の比較

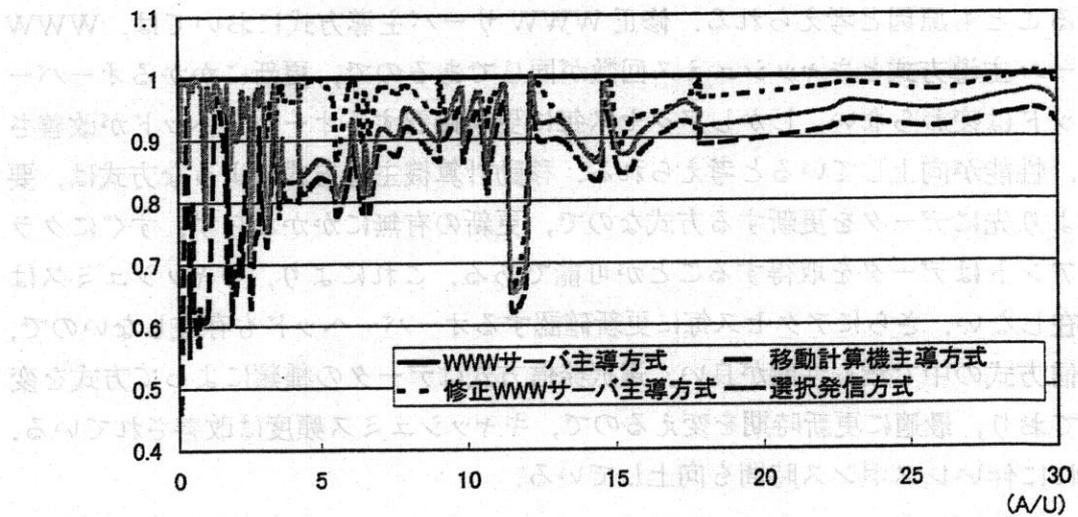


図 3.18 データの種類に着目した総レスポンス時間の分析

3.7. 階層型データのためのキャッシュシステム

修正 WWW サーバ主導方式は、WWW サーバ主導方式より改善されている。移動計算機主導方式は、A/U の値に依存せず全体的にレスポンス時間は短くなっている。選択発信方式では、A/U が小さいデータのレスポンス時間は長くなっている。これは、A/U が閾値より小さいデータの場合、修正 WWW サーバ主導方式を選択するからである。しかし、その他は全体的に高い性能を示している。選択発信方式において A/U が小さい部分の場合、レスポンス時間が長くなるが、通信量を削減できる。

通信量の側面から見ると、修正 WWW サーバ主導方式が有効であり、またレスポンス時間から見ると移動計算機主導方式が有効である。通信量とレスポンス時間の両方の側面から見た場合、選択発信方式が全体的に有効であることがわかる。

3.7 階層型データのためのキャッシュシステム

本節では階層型データのための階層構造のキャッシュシステムについて述べる。蓄積型データにおける複製において、階層構造のキャッシュシステムを利用することにより、さらに効率良く情報を発信できる。まずマルチメディアデータの品質について述べ、その品質に基づく階層型データについて示す。次に階層型データのためのキャッシュシステムについて述べる。

3.7.1 マルチメディアデータの品質

動画や静止画といったマルチメディアデータは他のデータと比べて、一般に大きい。このためネットワークでマルチメディアデータを転送する際に、一定時間以内にデータを転送しなければならない場合、必要とする帯域が多くなる。よって、その帯域が十分でない場合は転送が間に合わない、といった問題が生じる。

例えば静止画のようなデータについての転送時間については、転送が終了してはじめてそのデータを利用できるので式 (3.1) が成り立つ。

$$T \geq \frac{S}{B} \quad (3.1)$$

T は最大待ち時間、 B は使用可能なネットワーク帯域、 S は利用するデータの大きさを表す。最大待ち時間 T とは、データを利用するまでに許される遅延の

最大である。静止画の場合、転送を始めてから終わるまでの時間である。

また、動画データは利用者に転送しながら再生することもできる。その場合、式 (3.2) が成り立つ。

$$T \geq \left(\frac{S}{B} - \frac{S}{b} \right) \quad (3.2)$$

b は動画データのビットレートであり、動画データの単位時間当りに再生される大きさを表す。 T は転送が始まってから再生が始まるまでの時間を表す。この間に転送されてくるデータを利用者がバッファに蓄積することが可能である。しかし、転送されてからすぐに再生する場合はデータのビットレートは通信帯域以下でなければならない。これを満たさない場合、データを完全に転送することはできない。

一方、マルチメディアデータには品質の概念があり、品質を落としても、受信者がデータの意味を理解できる場合がある。この性質を利用し、マルチメディアデータの品質を落とすことによりデータの大きさを小さくでき、ネットワーク上でのデータの転送量を削減できる。しかし、品質を落としすぎて受信者の要求以上の品質を持たなくなったデータは受信者にとって意味がないのでその削減には限度がある。

図 3.19, 図 3.20, 図 3.21 はプログレッシブ JPEG [18] の画像であり、品質を変化させた例である。プログレッシブ JPEG は周波数成分に分けられて符号化されている。低い周波数成分は画像の変化の少ない部分を表し、この部分で粗い画像を得ることができる。また高い周波数成分は画像の大きな変化を表し、画像のより精細な部分を表す情報である。元の画像は図 3.19 であり、最も高品質な画像である。ここから高周波数成分を省いた画像が図 3.20 である。これは図 3.19 に比べ品質は劣化しており、同時にデータの大きさも小さくなっている。図 3.21 は図 3.20 から更に低い周波数成分を省いた画像であり、品質、大きさともに最低となっている。これらを比べると、データの品質や大きさの差はあるが、低品質なデータであっても受信者にとってその画像の概要を認識できる。すなわち、図 3.21 で画像の大まかな輪郭などが認識できる。もしこの画像で必要な情報が得られない場合はより高品質なデータが必要になる。図 3.20 は、より輪郭がはっきりとした画像であり、模様や形なども認識できるようになる。更に、図 3.19 は完全なデータであり、画像の細かい部分まで詳細に認識することができる。

3.7. 階層型データのためのキャッシュシステム

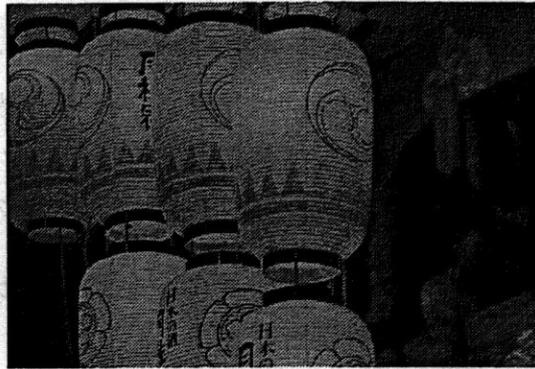


図 3.19 高品質な画像 (86kbyte)



図 3.20 中品質な画像 (27kbyte)



図 3.21 低品質な画像 (5kbyte)

3.7.1.1 階層型データ

マルチメディアデータの品質を変更する方法として、データを生成する際に、品質に応じた階層にあらかじめ分離してからデータを構成し、必要な階層のみを使用する方法が考えられる。本論文ではこのようなデータを階層型データと呼ぶ。階層型データは以下のような階層構造を持ち、それぞれの階層を分離できる。

- 最も低い階層は、単独でそのデータの中心部分である低品質な部分を提供できる。この階層を基本階層と呼ぶ。
- これに上位の階層を順々に加えていくことにより、より高品質な部分を提供できる。これらの階層を拡張階層と呼ぶ。
- 最上位層まで加えると完全な情報を提供できる。

上記の性質を利用し、要求された品質に応じた階層までのデータを利用者に提供することで、品質は落ちるがデータ量を削減できる。

階層型データは以下の利点を持つ。

- 現在保持する階層に、上位の階層をネットワークを介して転送し、加えることで、高品質なデータを得ることができる。
- 階層単位での品質の変更を行いやすい。

逆に欠点として、階層単位でしか品質を変化させることができないことがあげられる。例えば動画の品質を落とす場合には、フレーム数を削減する方法と画質を落とす方法が考えられる。しかし、階層型データの場合、品質の変更方法はデータの生成時にしか決定できない。

一般に階層符号化されたデータは階層型データとして利用することが可能であり、動画のストリーミング等でも利用されている [19]。プログレッシブ JPEG で圧縮された画像データは、この典型例である。このようなデータに対して、低い階層ほど高い優先度を与え、処理や転送等を優先して行うことでより多くのデータを提供できる。

図 3.22 で示す階層型データの場合、階層 1 がデータの中心部分であり、最も高い優先度を持つ。また、階層 4 が最も低い優先度となる。現在、階層 3 までが存

3.7. 階層型データのためのキャッシュシステム

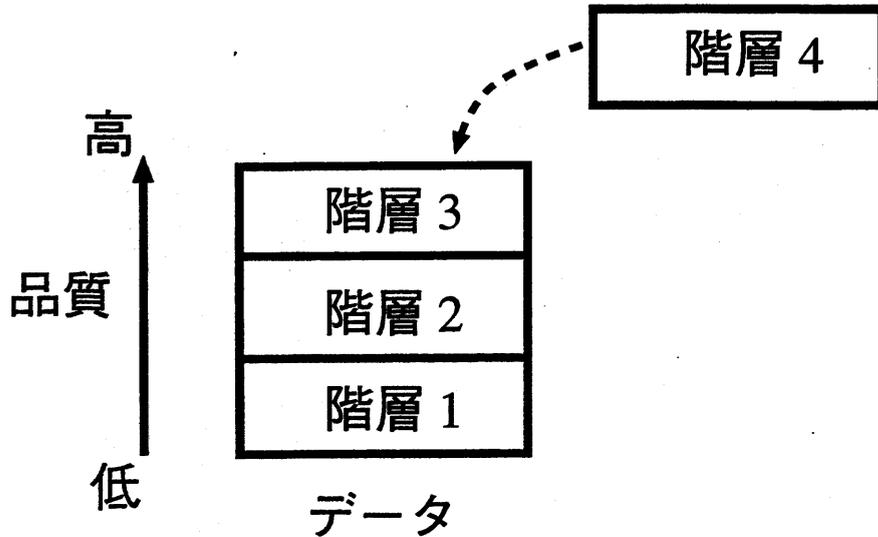


図 3.22 階層型データ

在しているとする、それに階層 4 のデータを付け加えることにより、このデータを完全なデータとして再現できる。

3.7.1.2 静止画の階層化データの例

静止画の階層化の例として、プログレッシブ JPEG を取り上げる。プログレッシブ JPEG は画像データの一つの圧縮形式であり、1つのデータを周波数成分により段階的に構成し符合化している。この形式は、WWW 等で利用されており、データは WWW サーバから周波数成分の低い順に順次転送される。そのため、サーバからデータを全て転送されなくても、受信者は品質の低い画像を認識可能となる。

この構成をそのまま階層として考えることができる (図 3.23)。

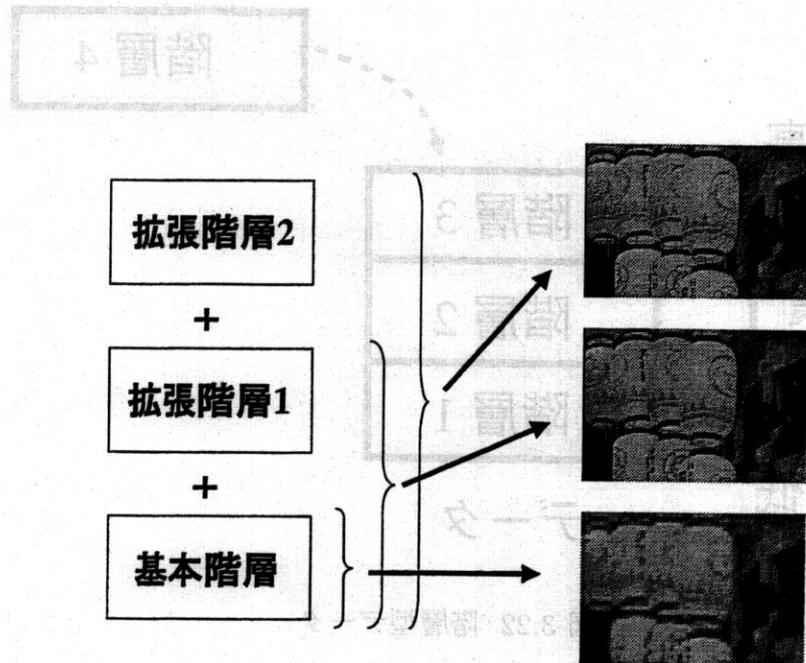


図 3.23 プログレッシブ JPEG の階層化

3.7.2 移動計算機からの情報発信システムにおけるキャッシュシステム

WWW を用いた情報発信システムの蓄積型データの複製に本キャッシュシステムを適用する。このシステムにおいて、階層的なマルチメディアデータに対して、低位の階層である基本階層を WWW サーバにキャッシュすることによりキャッシュできるデータの数を増加できる。その結果、移動計算機上のより多くのデータをキャッシュでき、移動計算機の通信回線が切断された場合でも受信者に低品質であるが意味を持ったデータを提供できる可能性がある。また分断状態でない場合でも、WWW サーバにキャッシュしている部分を移動計算機から転送しなくて済むため、その分の転送量を削減できる。

接続状態で受信者がデータの全てを要求した場合におけるデータの流れを図 3.24

3.7. 階層型データのためのキャッシュシステム

に示す。例としてここではデータ A は 4 階層からなり 3 番目の階層まで WWW サーバのキャッシュに蓄えられていると仮定する。受信者からの要求により WWW サーバは移動計算機のデータと比較して、その差分である第 4 階層を移動計算機から受け取る。その後、キャッシュに保存されているデータと合成して、完全な形のデータとして受信者に送信する。

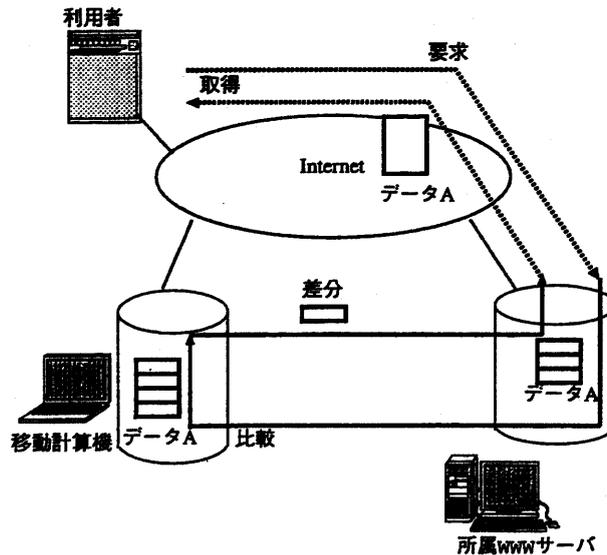


図 3.24 接続状態の完全なデータの転送

分断状態もしくは、接続状態でも受信者がキャッシュに蓄えられているデータのみを要求した場合は、図 3.25 に示すように、データ A のキャッシュに蓄えられている第 3 階層までを一つのデータとして構成し、それを受信者に対して送信する。受信者では品質の落ちたデータとして内容を確認することが可能である。

このような構成にすることにより、受信者に対し分断状態では低品質のデータを提供でき、接続状態では受信者の選択により完全なデータあるいは品質を落としたデータを提供できる。また、完全なデータを求める場合でも、データの差分のみを送ることにより移動計算機から WWW サーバへの通信量を削減できる。

第3章 WWWを利用した移動計算機からの情報発信システム

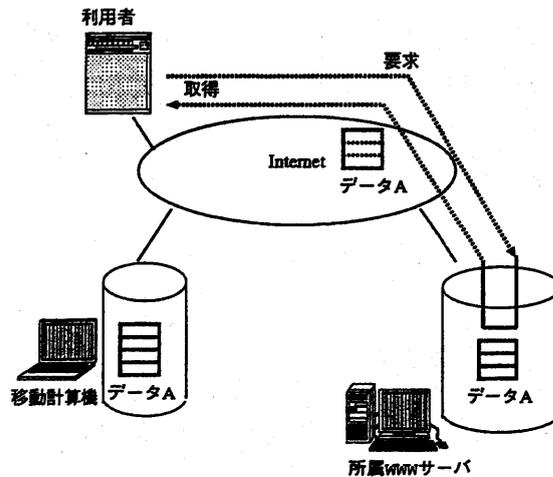


図 3.25 キャッシュに蓄えられたデータのみの転送

3.7.2.1 階層型データのためのキャッシュシステム

このキャッシュシステムにおいては図 3.26に示すような階層毎のキャッシュを持つ。

またキャッシュを更新する際に、アクセスの頻度で各階層のキャッシュを更新することにより、アクセスの多いデータほどより高品質なデータが提供される確率を高くできる。キャッシュの階層の割当方法として以下の3つの方法が考えられる。

従来型割当 データが階層化されていないものとしてキャッシュする。

等品質割当 全てのデータに対して同じ階層までキャッシュする。

段階的割当 下位の階層ほどキャッシュを多くする。

これらの方法の得失を以下のデータ及びキャッシュ容量を用いて説明する。

- 4つのデータ A,B,C,Dがある。
- 全てのデータは同じ大きさを持つ。
- 各階層は同じ大きさである。

3.7. 階層型データのためのキャッシュシステム

- 各データは4つの階層からなる。
- キャッシュは2つのデータを完全に保存できる容量を持つ。

従来型割当の場合、一般のキャッシュと同じ性質を持ち、完全なデータを提供するか、全く提供しないか、のどちらかになる。図3.27の場合、データA,Bは最高品質のものを提供できるがデータC,Dは提供できない。この方法の利点は一つのデータに関しては最高品質で蓄えることである。欠点は蓄えることのできるデータの数が少ないことである。

等品質割当の場合、全てのデータを収容できる階層までキャッシュするものである。図3.28では階層1,2のみのキャッシュ容量を割り当てている。この方法の利点はキャッシュに蓄えることのできるデータの数が多くなることである。欠点は全てのデータの低い階層のみを蓄えることとなり、キャッシュでは低品質のデータしか提供できないことである。

段階的割当の場合、低い階層がより多くキャッシュに残るようになる。より多くアクセスされるデータは、その頻度に応じてキャッシュに残り、より高品質な部分までキャッシュに残る。そして最も低い階層が全て収まるようにキャッシュの容量を設定することで、データである中心部分を常に提供できる。

図3.29の例ではデータAは階層4までの完全なデータがキャッシュに保持されている。データBは階層2の部分が階層キャッシュに存在し、データC,Dでは最も優先度の高い階層1のみが存在する。

図3.30は段階的割当においてデータDが参照された時のキャッシュの更新の例を示している。点線部分は更新された時に各階層でのキャッシュの容量を越え、削除された部分である。この例では、左に位置するデータほど、より新しい参照があったことを示している。

3.7.2.2 各階層へのキャッシュの割り当て方式

3.7.2.1項では各階層のキャッシュの容量を固定していた。この割当方法を静的キャッシュ割当と呼ぶ。この場合、キャッシュできるデータの数に対して柔軟性がないが、上位の階層にも一定の容量が割り当てられるため、アクセス頻度に応じてキャッシュの更新を行う場合、アクセスの多いデータに関しては、より品質

第3章 WWWを利用した移動計算機からの情報発信システム

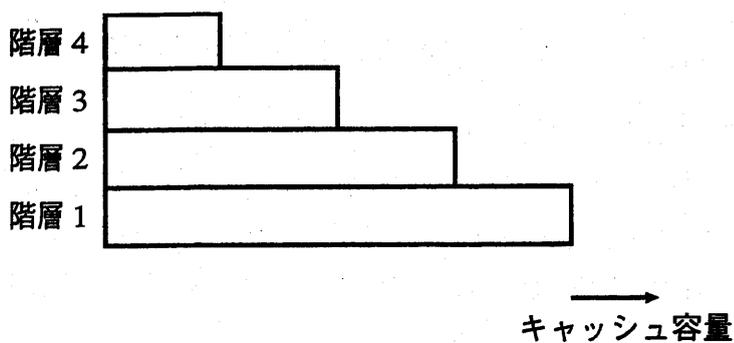


図 3.26 階層型データのためのキャッシュシステム

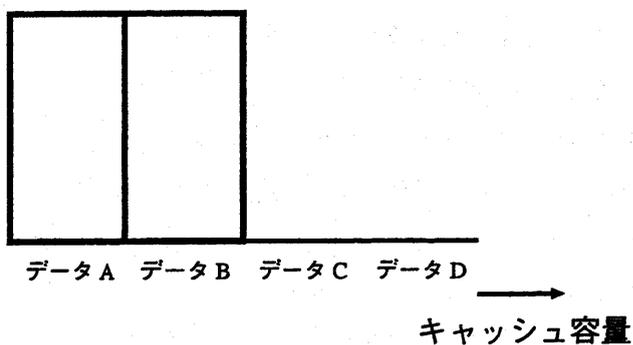


図 3.27 キャッシュの階層割当方法（従来型割当）

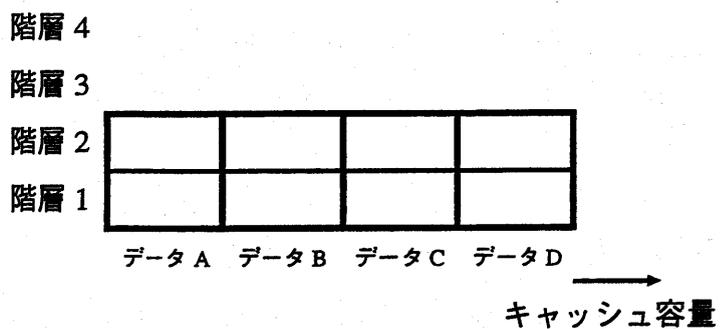


図 3.28 キャッシュの階層割当方法（等品質割当）

3.7. 階層型データのためのキャッシュシステム

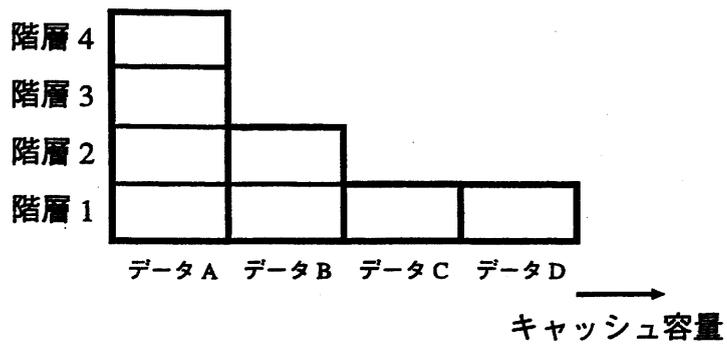


図 3.29 キャッシュの階層割当方法 (段階的割当)

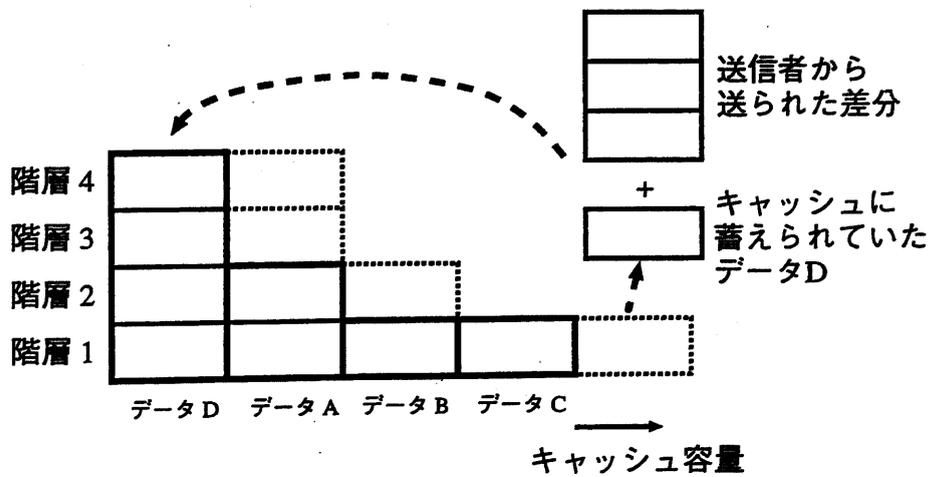


図 3.30 段階的割当におけるキャッシュ更新例

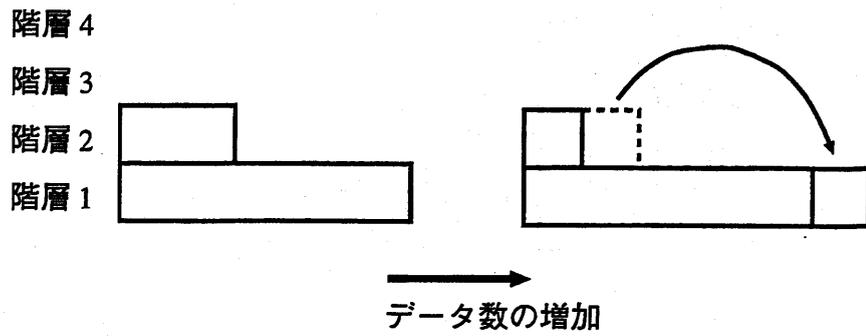


図 3.31 動的キャッシュ割当

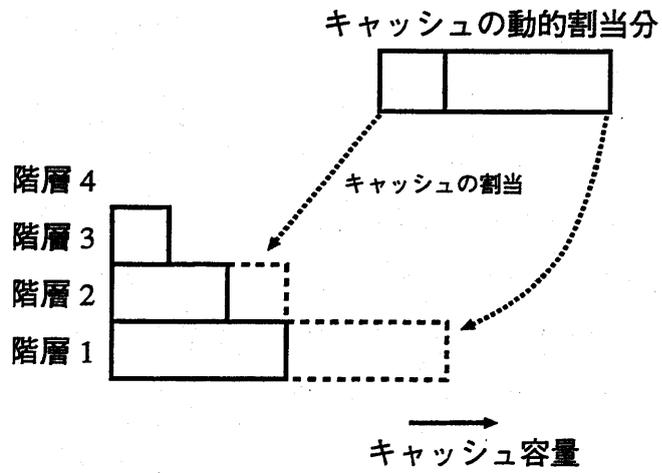


図 3.32 併用割当

3.8. むすび

の高いデータを提供することが可能である。ただし、一般にデータで階層毎に大きさが異なるので、各階層に割り当てるキャッシュ容量によっては大幅な無駄が生じ、使用効率が悪くなることがある。

これに対して、図 3.31 のように、各階層の容量を動的に変化させることも考えられる。この割り当て方を動的キャッシュ割当と呼ぶ。

この方法では、キャッシュ容量のみを決めておき、データの数が少なく、キャッシュ容量が余っている場合、上位の階層にも多くのキャッシュを割り当てる。データの数が増えて、下層のキャッシュ容量が足りなくなると、蓄えることのできるデータの数を確保するために上位の階層に割り当てるキャッシュの容量を少なくし、その分下位の階層のキャッシュの容量を増加させる。これにより、データ間や階層間のデータの大きさの違いを意識する必要がなくなる。しかし、全体のキャッシュ容量がデータの量に対して相対的に少なければ、上位の階層に容量が割り当てられる可能性が少なくなり、高品質のデータを提供できる確率が低くなる。

また、静的キャッシュ割当てと動的キャッシュ割当てを組み合わせる方式も考えることができる。これはキャッシュに割り当てる容量のうち、ある容量を固定的に各階層に割り当て、残りを動的に割り当てるものである。図 3.32 では、各階層の実線部分があらかじめ割り当てられた固定的な容量である。これに動的なキャッシュの割り当て分を各階層に割り当てていく。

この方法では、データの数が少ない場合、上位の階層に、より多く容量を割り当てるのが可能である。また、下層のキャッシュに容量が必要な時でも上層のキャッシュには固定的に割り当てた容量は必ず確保される。

3.8 むすび

WWW を用いた移動計算機からの情報発信システムを提案した。本システムの基本発信システムとして、文字だけでなく画像、音声も発信できる WWW システムを採用した。本システムは移動計算機上のデータを移動計算機の場所や、ネットワークとの接続状態に関係なく情報発信でき、いつでもどこでも最新のデータを提供できるシステムである。移動計算機の分断、移動、データの種類の観点から、移動計算機の接続状態とそこから発信するデータ

第 3 章 WWW を利用した移動計算機からの情報発信システム

の種類によって分類し，状況に応じて最適な通信を実現する情報発信形態を示した．本システムのプロトタイプを実際に構築し，実験によりシステムを評価しその性能を確かめた．また，移動計算機との通信帯域を有効利用するために階層構造を持つキャッシュシステムを提案し，移動計算機から情報発信システムへ適用について示した．

第 4 章

帯域の狭いネットワーク環境を考慮した情報発信機構

本章では、WWW を利用した移動計算機からの情報発信システムにおいて、通信帯域を考慮して情報発信を制御する機構について述べる。

移動計算機が帯域の狭いネットワークと接続した場合、移動計算機から発信できる情報量が制限される。この限界を超える処理（多くの情報の同時発信又は更新）を行うと安定したサービスを提供することは困難である。そこで、通信帯域が狭い場合においても、上記の問題を解決する情報発信機構を提案する。提案する機構は、移動計算機が様々なネットワークを利用するという特長を考慮し、多くのネットワークで使用できるアプリケーション層からのアプローチを取る。

4.1 まえがき

移動計算機は様々な場所へ移動し、様々なインターフェースでネットワークと接続することが可能である。この時、インターフェースの違いはネットワークの通信帯域などに影響を与える。通信帯域が狭いネットワークに移動計算機が接続された場合、移動計算機から発信できる情報量が制限される。この限界を超える処理（多くの情報（データ）の同時発信又は更新）を行うと安定したサービスを提供することは困難である。情報発信システムで採用していた情報発信機構は、狭帯域ネットワーク環境を考慮しておらず、このような影響を多大に受ける。

そこで、通信帯域が狭い場合においても、上記の問題を解決する情報発信機構を提案する。また、提案する機構は、移動計算機が様々なネットワークを利用するという特長を考慮し、多くのネットワークで使用できるアプリケーション層からのアプローチを取る。提案機構は以下の方針に従い、データを発信する。

- 時間制約のあるデータ [20] はその制約を満足できるように優先して発信する。
- よくアクセスされるデータを優先して発信する。
- 情報発信における通信効率をできる限り高くする。

具体的には、以下のような制御を情報発信機構に取り入れ、上記の情報発信機構を設計／実現する。

- データを過度に発信しないために、同時に発信する数を、最適な数に動的に制御する。
- データに優先度をつけ、それに従いデータを発信する。

本発信機構のプロトタイプを本論文の第3章で開発した移動計算機からの WWW 情報発信システムに実際に実装し、実験による評価を行った。実験では、2種類のネットワークを用いて、発信機構で重要となる制御パラメータを変化させた。また、その変化による発信機構の効率の影響を解析した。その結果、通信の揺らぎを考慮しない発信と比べ、揺らぎを考慮するパラメータを最適に設定することで、性能を 40% 向上することを確認した。

4.2. 移動計算機からの情報発信システムとその問題

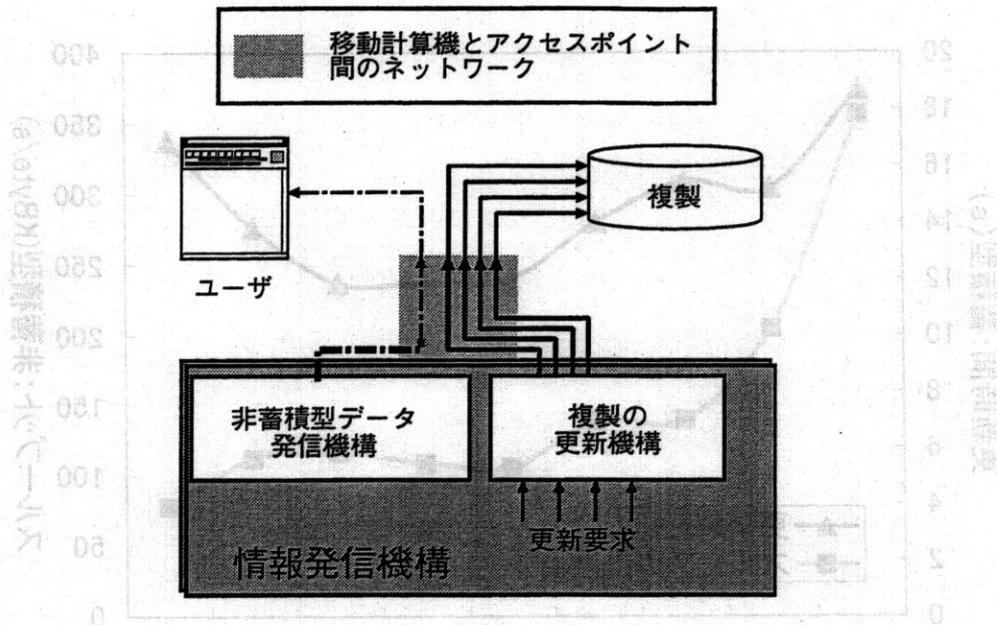


図 4.1 従来の情報発信機構

4.2 移動計算機からの情報発信システムとその問題

WWWを利用した情報発信システムにおける情報発信機構を図4.1に示す。非蓄積型データ発信機構と複製の更新機構とは独立してデータを発信する。複数の複製の更新要求がある場合、一つの更新に一つのコネクション（通信路）を割り当て、移動計算機は要求の数のコネクション数を使用し同時に更新する。また、この時非蓄積型データの発信や移動計算機が現在接続しているネットワークの帯域を考慮しない。

蓄積型データにおいて、複数のコネクションを用いて同時に通信することにより、全体的な転送効率は各コネクションのプロトコルオーバーヘッド（コネクションの確立やACKを待つなど）の削減等により向上する。しかし、コネクション数が過度に多くなると、個々のコネクションに割り当てられる帯域が減少するだけでなく、システムのオーバーヘッドにより全体の通信効率も低下する。これにより実時間性を持つ非蓄積型データにとって、使用できる通信帯域が狭くなるため、実時間性を保証できなくなる。情報発信機構において、上記の点を考慮しないで、

第4章 帯域の狭いネットワーク環境を考慮した情報発信機構

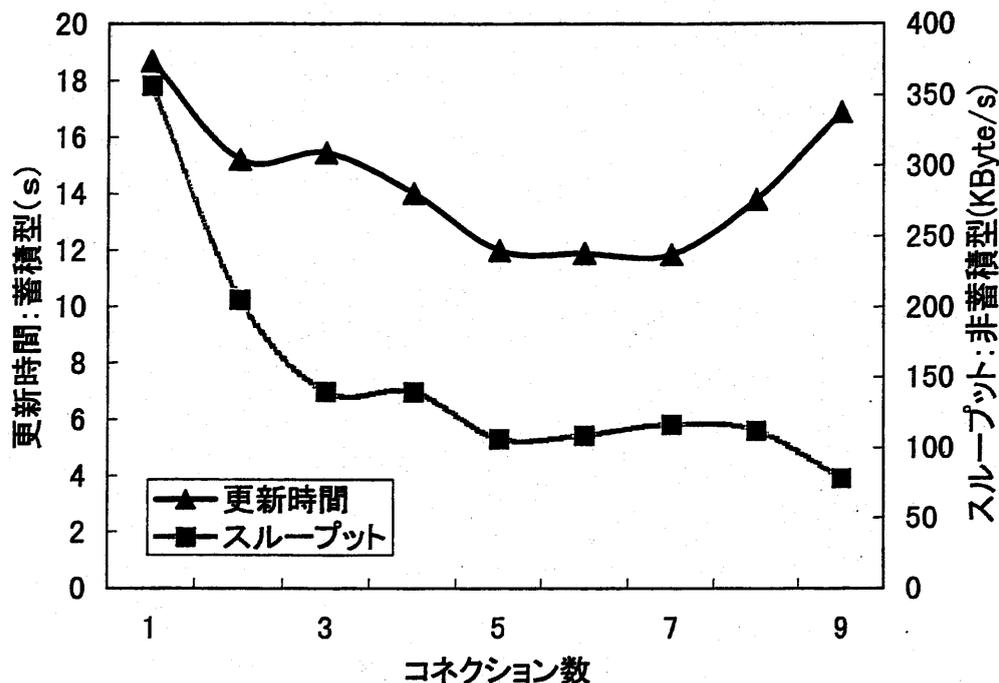


図 4.2 コネクション数に対する複製の更新時間およびスループット

要求の数だけコネクション数を使用しデータの発信又は更新を行うため、通信帯域の狭い環境ではこの問題はさらに深刻となる。

上記で示した問題を確かめるために、情報発信機構を用いて、すべての複製が更新される時間と非蓄積型データのクライアントの受信スループットを以下の条件で測定した。

- 移動計算機と所属 WWW サーバ、近隣 WWW サーバを 10Mbps の Ethernet で接続。
- 1M バイトの大きさの蓄積型データ 10 個の複製をコネクション数を変化させて更新。
- 同時に移動計算機から非蓄積型データとして、ネットワークを飽和させるだけのデータを発信。

4.3. 情報発信機構

非蓄積型データに関しては、クライアントが1秒あたりに受け取ったデータ量を測定し、蓄積型データに関しては、全ての複製が更新される時間を測定した。

その結果を図4.2に示す。コネクション数が複製の更新時間と非蓄積型データのスループットに大きな影響を与えることがわかる。例えば、非蓄積型データが毎秒150Kバイトのスループットを要求する場合、本実験環境では複製の最適なコネクション数は3か4になることがわかる。これ以上のコネクション数では、非蓄積型データの発信に影響する。また、これ以下では蓄積型データの更新時間が長くなる。このように、蓄積型データにおける複製の更新が非蓄積型データの発信に影響を与えることが分かる。従来採用していた情報発信機構では非蓄積型データの発信機構と複製の更新機構が独立しているため、この影響を考慮することができないので、効率的な発信ができない。

従って、非蓄積型データの発信を妨げないで、限られた通信帯域を最大限に利用するためには、最適なコネクション数で発信する機構が必要である。

4.3 情報発信機構

本章では、移動計算機が狭いネットワークに接続された場合においても、できる限り受信者の要求を満足する情報発信機構を提案する。

4.3.1 発信方針

移動計算機からの情報発信が制限された場合において、受信者の要求を満足するために、本論文では以下の方針で移動計算機からデータを発信又は更新する。

- 非蓄積型データの発信の優先度を蓄積型データの更新より高く設定し、非蓄積型データが要求するスループットを満足させる。
- よくアクセスされる蓄積型データを優先して更新する。
- 蓄積型データの全体の更新効率をできる限り高くする。

4.3.2 実現機構

図4.2の結果から、複製の更新機構でコネクション数を制御することで非蓄積型データを優先でき、割り当てる通信帯域の制御が可能である。あるコネクション数を超えると、さらに更新要求があっても、その要求を待たせることにより実現できる。またデータに優先度をつけ、それに従い更新するデータを発信する。このとき、優先度の高いデータに対してコネクションを割り当てることにより、よくアクセスされる蓄積型データを優先して更新できる。非蓄積型データを発信していない場合においては、蓄積型データの複製の更新のスループットが最大となるようにコネクション数を制御する。

このように蓄積型データの複製の更新機構に注目しコネクション数を制御することで4.3.1項で述べた方針を実現できる。提案機構は従来採用していた情報発信機構に比べて、複製の更新機構にコネクション数を制御する機能が追加され、非蓄積型データ発信機構にはスループットを計測する機能が追加される。また複製の更新機構と非蓄積型データ発信機構は互いに協調することが可能である（図4.3）。

以上から以下に示す2つの条件に基づきコネクション数を制御する。

- (1) 非蓄積型データを発信する条件 非蓄積型データを優先して発信するために、非蓄積型データのスループットを求め、その合計があらかじめ要求されているスループットを満たすようにする。この要件を満たされない場合は、コネクション数を減らす。逆に余裕がある場合はコネクション数を増やす。
- (2) 蓄積型データを更新する条件 複製の更新のスループットの合計を求め、この合計が最大になるようにする。

(1) を満足できない時は、(2) は無視する。非蓄積型データを発信しない場合においては条件 (2) のみとなる。

4.3.3 実装方針

移動計算機の通信量を制御する実現レベルとして、以下のレベルが考えられる。

4.3. 情報発信機構

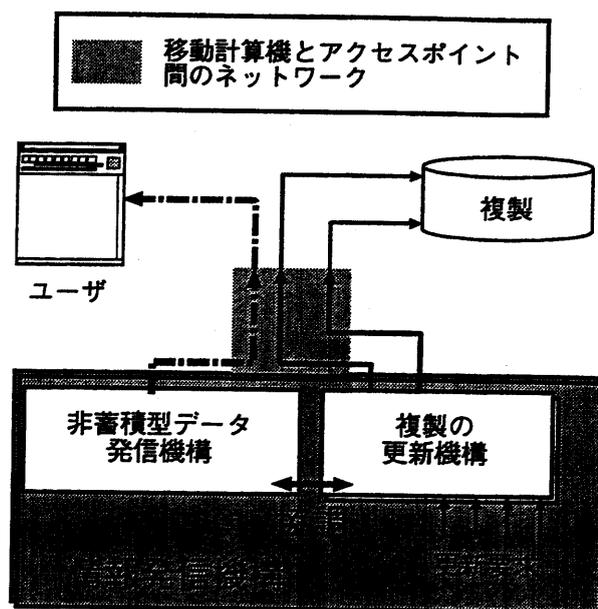


図 4.3 提案する情報発信機構

ハードウェア層: ATM (Asynchronous Transfer Mode) [21][22][23] などの通信帯域を保証できるネットワークにおいては, Admission Control[24][25] 等を用いて, 使用できる通信帯域を管理し, 各要求に帯域を割り当てる. これにより QoS (Quality of Service) を保証した非蓄積型データの発信が可能である.

カーネル層: Ethernet などの帯域を保証できないネットワークにおいても, QoS を保証する通信方式が提案されている [26]. これは, あるセグメントの全体の要求量を管理し, ネットワーク層でのパケットスケジューリング機構を用いることにより, 要求された通信帯域での通信を可能にしている [27].

アプリケーション層: アプリケーションが通信量を制御するものである. この方式は非蓄積型データの QoS を完全に保証できるわけではないが, 以下のような利点を持つ.

- アプリケーション層で実装するため, 多くのネットワークで適用できる.

第4章 帯域の狭いネットワーク環境を考慮した情報発信機構

- オペレーティングシステムを変更しないので、移植性に優れている。

移動計算機は様々な場所に移動することが考えられる。これは様々なネットワークに接続される可能性を持つ。ネットワークを選ばないことは、移動計算機においては非常に重要な項目である。このため、本研究ではアプリケーション層における制御方式を採用する。

4.4 複製の更新機構の実装

4.4.1 更新機構の構成

4.3章で示した情報発信機構を実現するために、複製の更新機構を図4.4で示す1つのキューと5つのモジュールで構成する。

複製の更新機構について詳しく説明する。また説明においては我々が定義した以下の3つ用語を用いる。

コネクション数 現在システムが使用しているコネクション数。

最適コネクション数 システムが推定した最適なコネクション数。

実最適コネクション数 現在の状況において最も効率よく情報を発信できる、最適なコネクション数。

図4.4に、複製の更新機構のブロック図を示す。太実線はデータの流れを、太点線はメッセージ、細実線は更新要求、細点線は最適コネクション数が変化した時の処理の流れを示す。各ブロックの機能を以下に示す。

更新キュー 複製更新の要求を保持する。また複製更新中に中断された要求も保持する。

データ優先度決定機構 蓄積型データの優先度を決定する。

更新受付機構 複製更新の要求を更新キューに入れる。更新キューには、データ優先度決定機構で決定される優先度の順に格納する。

4.4. 複製の更新機構の実装

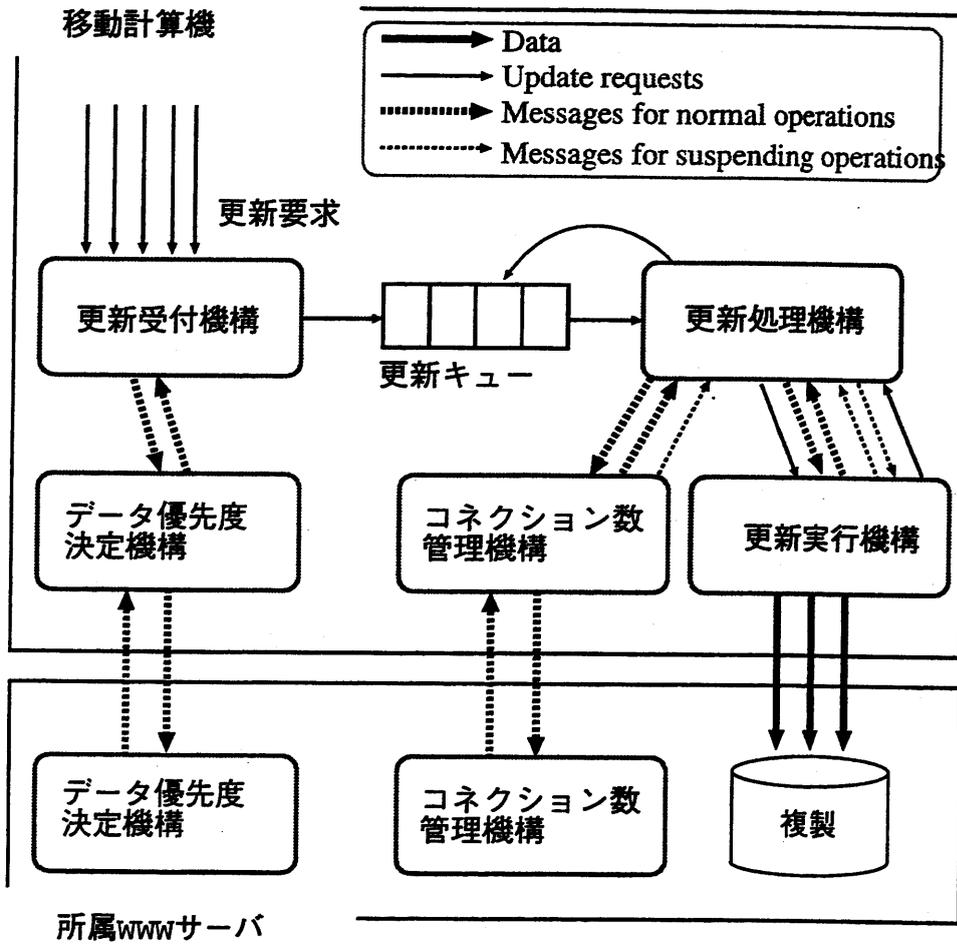


図 4.4 複製の更新機構

第4章 帯域の狭いネットワーク環境を考慮した情報発信機構

コネクション数管理機構 通信帯域および現在の非蓄積型データの通信状況などから、最適コネクション数を決定する。

更新処理機構 更新キューに要求が存在し、かつコネクションを増すことができる場合、要求を取りだし更新実行機構に複製更新を依頼する。

更新実行機構 複製の更新を実行する。この時、4.4.6項で示す複製更新プロトコルを用いて所属 WWW サーバと通信する。

複製の更新中に最適コネクション数が変化することがある。この場合、コネクション数決定機構が動作し、更新処理機構にそのことを知らせるメッセージを転送する。最適コネクション数が増える場合と減る場合によって、その動作が異なる。

最適コネクション数が増える場合 最適コネクション数が増えることにより、更新キューに要求があれば自然にコネクション数が増加するので特別な処理は行わない。

最適コネクション数が減る場合 更新処理機構は、コネクション数が最適コネクション数より多くなっている場合、最適コネクション数にするために、現在更新中のコネクションを中断するように更新実行機構に依頼する。更新実行機構は、依頼された更新を中断する。更新処理機構は、中断した更新を更新キューに優先度順に格納する。

4.4.2 データ優先度決定機構

非蓄積型データは蓄積型データによりも優先される。これは実時間データなどが含まれるからである。蓄積型データは細分化され、優先度が設定される。この優先度の順で、複製を更新する。複製の更新順序は受信者が最新のデータを取得できる可能性を変化させる。受信者に対して、できる限り最新のデータを提供できるように優先度を決めなければならない。そのため、3.5.1.4項で示した A/U を用いる。 A/U の値が大きいデータは、更新あたりのアクセス数が多いので更新が遅れると、その分受信者が最新のデータを取得できない可能性が高くなる。逆に A/U の値が小さいデータは更新あたりのアクセス数が少ないので、更新が遅れても受信者が最新のデータを取得できない可能性はそれほど高くない。

4.4. 複製の更新機構の実装

このアクセス頻度と更新頻度の情報は所属 WWW サーバが持つ。移動計算機からの要求により、この情報を移動計算機に渡す。この情報を用いてデータ優先度決定機構は各データの優先度を決定する。

4.4.3 更新受付機構

データ優先度決定機構で決定される優先度に従って、更新の要求を更新キューに格納する。

4.4.4 コネクション数管理機構

コネクション数管理機構において、現在の通信の状況から最適コネクション数の管理、決定を行う。移動計算機のコネクション数管理機構が所属 WWW サーバのコネクション数管理機構と協調し、4.3.2項で示した条件に基づいて最適コネクション数を決定する。また、最適コネクション数が変動した場合は、最適コネクション数の変動を更新処理機構に通知する。

コネクション数決定アルゴリズムを示す前に、アルゴリズムで使用するパラメータを示す。パラメータとして、 α とMの2つを設ける。どちらも最適コネクション数を実最適コネクション数に近づけるために必要である。以下に詳細を示す。

α 最適コネクション数を決定するために、通信における揺らぎ（ジッタ）の影響を抑えるマージンである。現在の通信状況が、 α 以内であれば、ジッタによる影響と想定しコネクション数を変動させない。 α の値の設定にあたってはトレードオフがある。 α を小さくすれば、実最適コネクション数に到達する可能性が高くなるが頻繁に最適コネクション数が変動する。逆に α を大きくすれば、この影響を小さくすることが可能であるが、実最適コネクション数に到達できない場合が生じる。

M 通信におけるジッタの影響を時間的に抑える値である。現在の通信状況が、 α 以上であっても、ジッタによる一時的な変動である可能性がある。Mは、ジッタによる一時的な通信状況の変動を抑える。通信状況が、 α 以上である回数が連続してM回以上ならコネクション数を変動させる。Mの値が小さ

第4章 帯域の狭いネットワーク環境を考慮した情報発信機構

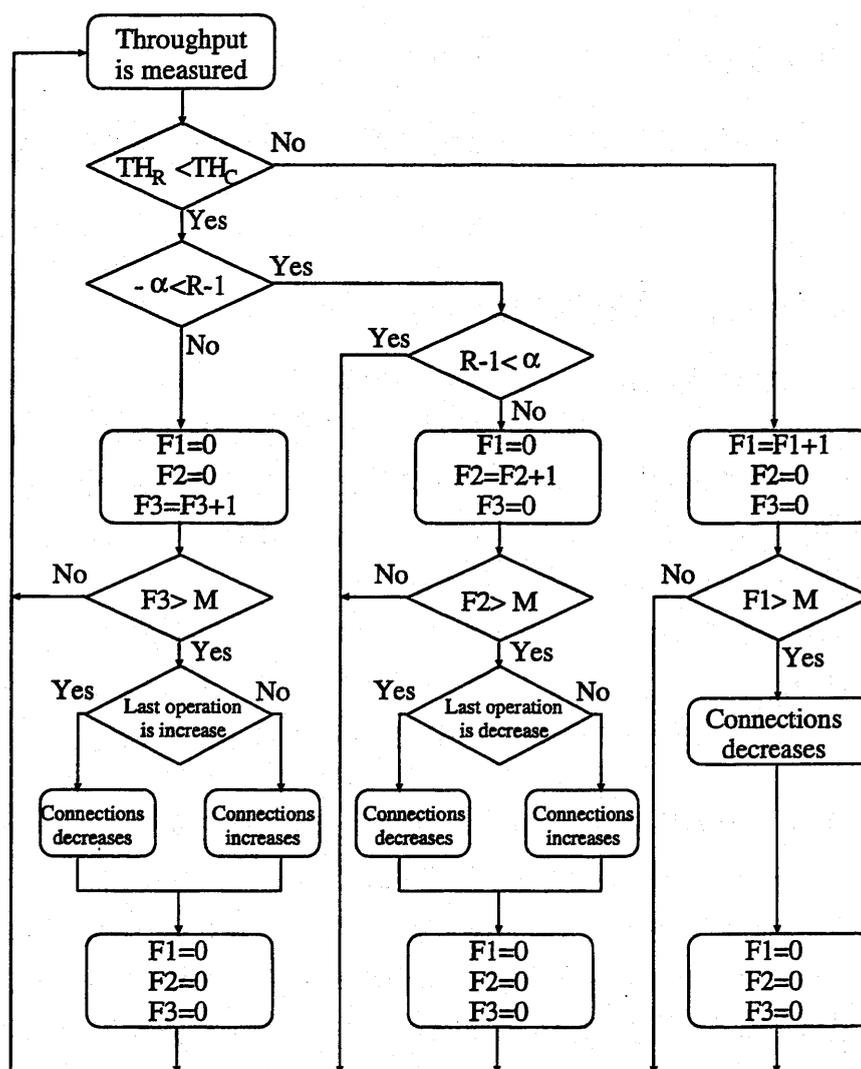


図 4.5 コネクション数決定アルゴリズム

4.4. 複製の更新機構の実装

い場合、通信の揺らぎに影響され最適コネクション数変動しやすい。Mの値が大きい場合、通信の揺らぎは抑えられるが最適コネクション数変動しにくいので、実最適コネクション数に到達するまでに時間がかかる。

次に最適コネクション数を変更する条件を以下に示す。

条件 (1) 非蓄積型データ条件: $TH_R < TH_C$

ここで、 TH_R は要求されているスループット、 TH_C は現在のスループットである。

条件 (2) 蓄積型データ条件: $-\alpha < R - 1 < +\alpha$

ここで、 R は、 $\frac{\text{現在のスループット}}{\text{前回のスループット}}$ を表す。

最適コネクション数の初期値は設定された値を使用し、それ以降は図 4.5に示すアルゴリズムにより最適コネクション数を変動させる。ここでは3つの状態が存在する。

状態 (a) : 条件 (1) が満たされない。

状態 (b) : 条件 (2) がスループットの増加によって満たされない。

状態 (c) : 条件 (2) がスループットの減少によって満たされない。

カウンタ F1, F2, F3 は、それぞれ状態 (a), (b), (c) で用いられている。同じ状態が M 回繰り返された時、最適コネクション数は現在の状態と前回の変更の情報をもとに変更される。

4.4.5 更新処理機構

更新キューに格納されている更新要求を処理する。コネクション数が最適コネクション数より少ない場合に、更新キューの先頭の要求を取り出し、その要求の処理を複製更新実行機構に依頼し、コネクション数を1つ増やす。また、更新実行機構から終了メッセージを受け取ると、コネクション数を1つ減らす。

コネクション数決定機構から最適コネクション数の減少が通知され、その値がコネクション数より小さい場合は、現在更新中のデータの中から、優先度の低い

第4章 帯域の狭いネットワーク環境を考慮した情報発信機構

順に従って、更新中断の要求を更新実行機構に通知する。そして、その中断した要求を更新キューに優先度順に格納する。

4.4.6 更新実行機構

更新処理機構で決定されたデータの割り当てに対し、更新を開始するメッセージを受取り、複製の更新動作を行う。また一つ複製の更新が終了すれば、終了メッセージを返答する。

これらの複製の更新を実現するために、移動計算機と所属 WWW サーバ間で、以下で定義する複製更新プロトコルを用いる。この複製更新プロトコルは、複製更新の開始、終了、中断、再開を提供する。このプロトコルは移動計算機のような分断時が存在するものや、無線通信のような通信の品質が良くないものに対して有効である。

更新開始

- (1) 更新は移動計算機が所属 WWW サーバに START メッセージを送ることにより開始される。
- (2) START メッセージにはこれから更新するデータ名、データの大きさなどを添付する。
- (3) 所属 WWW サーバは START メッセージを受け取ると更新の準備を行う。前回の更新動作により中断されたデータが存在するかを確認する。存在するなら ACK メッセージに前回に受け取ったデータの大きさを添付する (OFFSET)。存在しないなら OFFSET として 0 を添付し、ACK メッセージを移動計算機に送信する。
- (4) ACK メッセージを受けた移動計算機は OFFSET からデータを転送する。

更新中断、終了

- (5) 移動計算機がデータの更新を終了及び中断する場合は、コネクションを切断する。

4.5. 評価

表 4.1 実験条件

ネットワーク	Ethernet	無線 LAN
通信帯域 (bps)	10M	1M
蓄積型データのサイズ (bytes)	1M	50K
蓄積型データの数	40	
非蓄積型データの スループット (bytes/s)	8,000	
接続数の初期値	1	

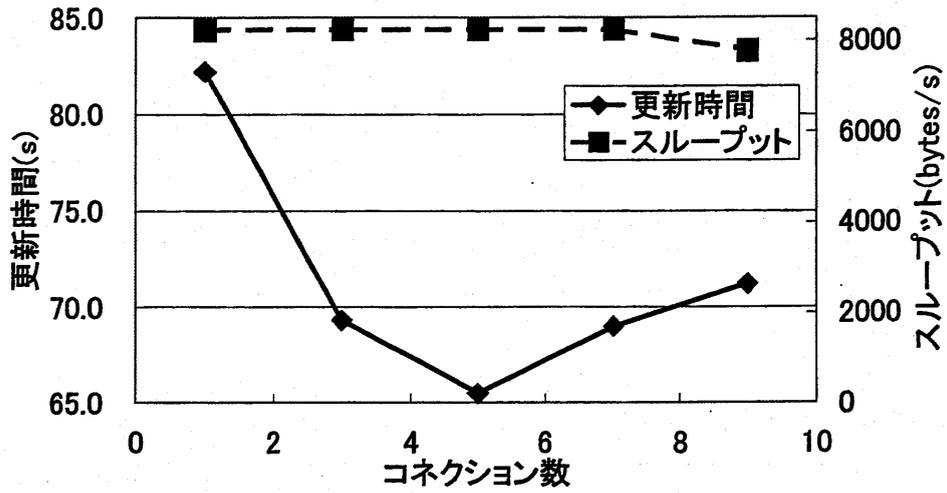
- (6) 所属 WWW サーバは接続が切断されたことを検知する。データの大きさと転送された大きさを比較し、データがすべて転送されていれば複製を更新する。転送が完了していないならば転送途中のデータを作業領域に格納する。

4.5 評価

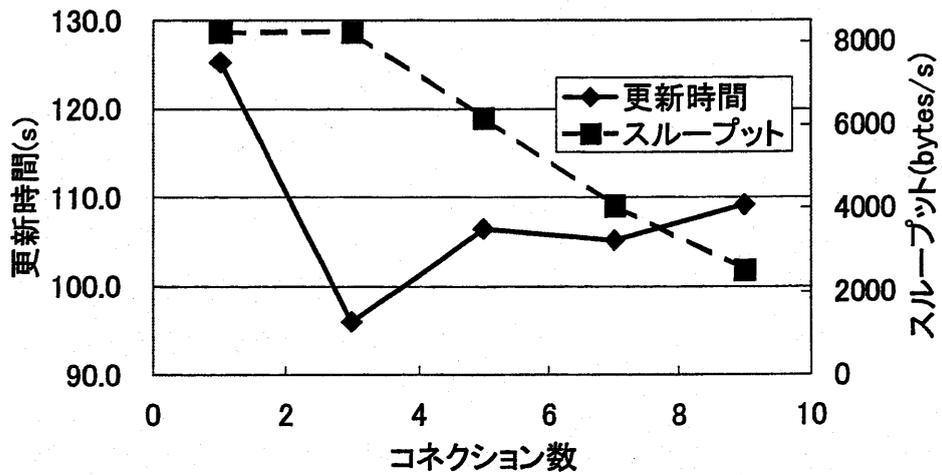
評価の目的としては、4.4.4項で述べた接続数決定アルゴリズムで用いるパラメータ α と M による発信効率への影響を解析し、最適な値を設定することである。

まず、蓄積型データの更新時間の目標値を設定するために、発信機構の接続数を固定にしデータを発信した。実験は、移動計算機と WWW サーバを Ethernet, 無線 LAN で接続した 2 つの場合について実験を行った。実験環境を表 4.1 に示す。実験では、表で示す蓄積型データと非蓄積型データを同時に発信し、その時の蓄積型データにおける複製の更新時間と非蓄積型データのスループットを計測した。結果を図 4.6 に示す。Ethernet ではおよそ 65 秒が目標値となり、無線 LAN においては 97 秒となった。

第 4 章 帯域の狭いネットワーク環境を考慮した情報発信機構



(a) Ethernet



(b) 無線 LAN

図 4.6 固定コネクション数に対する更新時間とスループット

4.5. 評価

4.5.1 蓄積型データにおける更新時間

提案する機構において、蓄積型データの更新時間を計測した結果を図 4.7に示す。また実験では、4.4.4項で示したコネクション数決定アルゴリズムで用いるパラメータの M と、 α を変化させ計測した。

Ethernet 図 4.7より、Ethernet においては、 α の最適値は 0.2 であることが確認できる。この値より α が小さい時には、通信の揺らぎにより最適コネクション数が頻繁に変更している。逆に α の値が最適値より大きい場合、最適コネクション数は変更されないで実最適コネクション数に到達できない。また α が最適値においては、 M の影響は少ないことから、更新時間は M の値より α の値の違いが大きく影響している。 α と M の最適値において更新時間はおおよそ 67 秒となり、この値は目標値に近い値を示している。

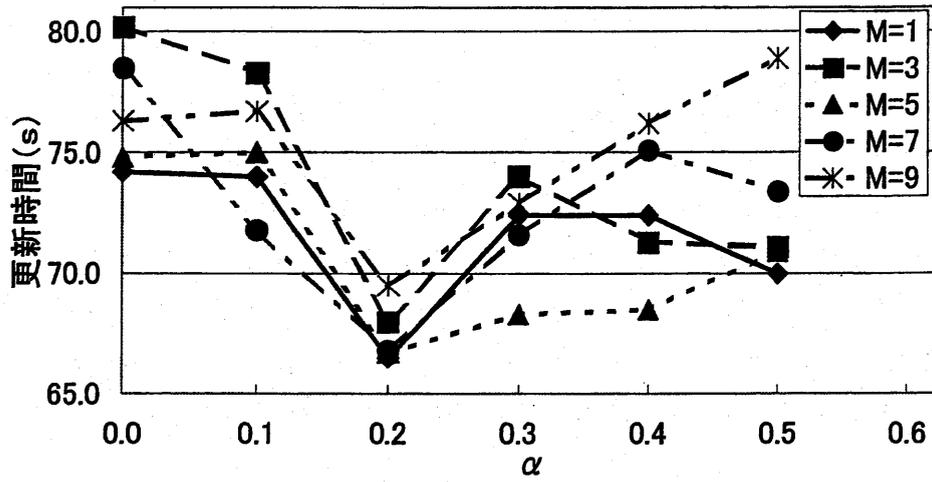
無線 LAN 無線 LAN においては、 α と M が大きく更新時間に影響を与えている。 α の最適値は 0.3 であり、 M の最適値は 5 である。 α に対する振る舞いは Ethernet と同様な振る舞いを示している。しかし M においては Ethernet における振る舞いとは異なる。これは無線 LAN における通信の揺らぎの影響が大きく、 α と M の両方を用いることで、その揺らぎを抑えなければならないからである。 α と M の最適値における更新時間はおおよそ 100 秒となり、この値は目標値に近い値を示している。揺らぎを考慮しない (α が 0.0 で M が 1) の時に比べ、パラメータを最適にすることにより 40% の性能の向上が確認できる。

結果として、Ethernet において α は 0.2、 M は 5 が最適値となり、無線 LAN では α は 0.2 ~ 0.3、 M は 5 の値が最適値となる。上記の最適なパラメータを設定することで、提案方式において最も効率よく蓄積型データの更新が可能となる。

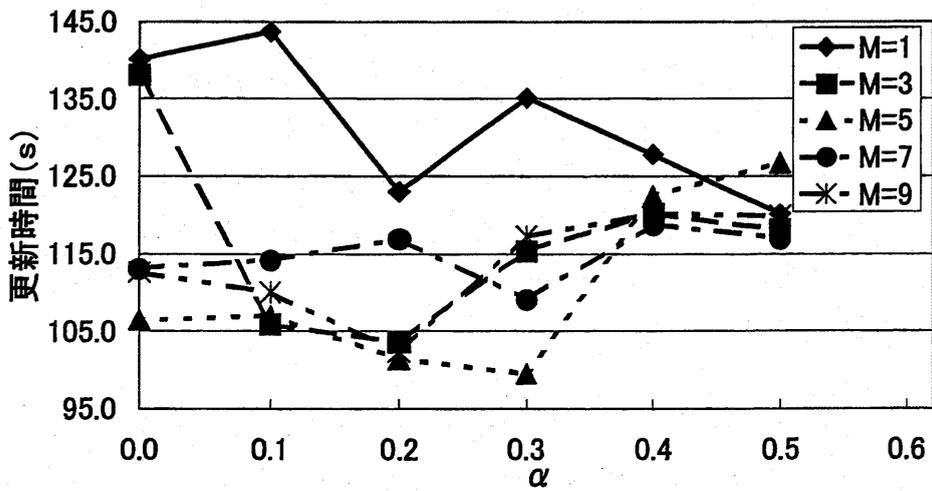
4.5.2 最適コネクション数の変動回数

本節では α と M の影響を最適コネクション数の変動回数の側面から解析した。図 4.8に 4.5.1項の実験における最適コネクション数が変動した回数を示す。 α の

第4章 帯域の狭いネットワーク環境を考慮した情報発信機構



(a) Ethernet



(b) 無線 LAN

図 4.7 α と M に対する更新時間

4.5. 評価

値が小さい時、最適コネクション数は頻繁に変動していることが確認できる。また α が大きい時、最適コネクション数の変動回数は減少することが分かる。

4.5.3 非蓄積型データにおけるスループット

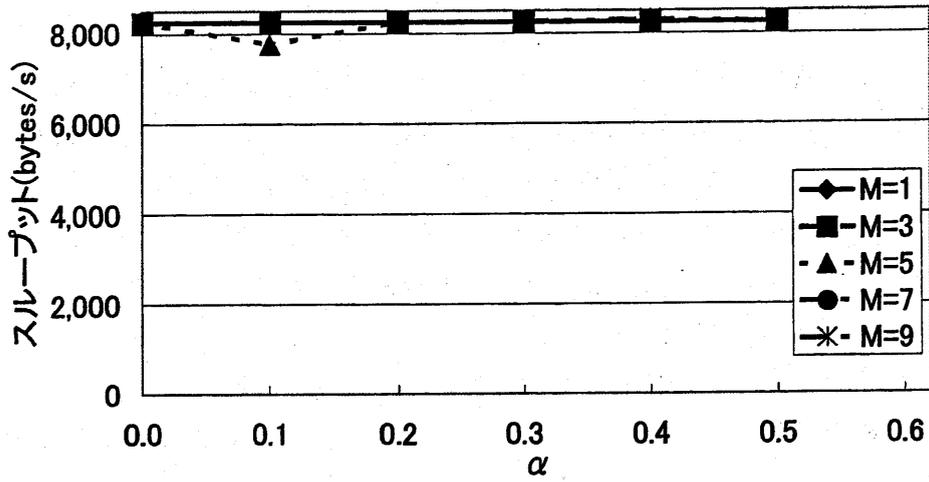
本実験による、非蓄積型データのスループットを計測した結果を図 4.9 に示す。Ethernet では、 α と M に依存せず安定して、要求されたスループットを満たしている。この場合、コネクション数が 4 で発信していたので、1 つのコネクションに割り当てられるスループットは 75K (bytes/s) である。要求されたスループットは 8K (bytes/s) であることから十分な帯域が確保されている。これから安定していると推測できる。無線 LAN においては、 α が大きいとき、要求されたスループットは満たされている。しかし、 α が小さいとき、最適コネクション数変動の影響によりそのスループットを満たすことができない。この α の影響を確かめるために、最適コネクション数変動の遷移を計測した。結果を図 4.10 に示す。ここで $M=5$ に設定している。 α が最適 (0.3) の時、最適コネクション数は実最適コネクション数に収束している。 α が 0.5 の時、実最適コネクション数に収束していないが、最適コネクション数は安定して遷移している。従って、要求されたスループットを満たすことが可能である。しかし、 α が 0.0 の時、最適コネクション数は頻繁に変動し不安定である。また、実最適コネクション数を超えている。これから、要求スループットを満たすことができない。

4.5.4 移動計算機から音声の発信

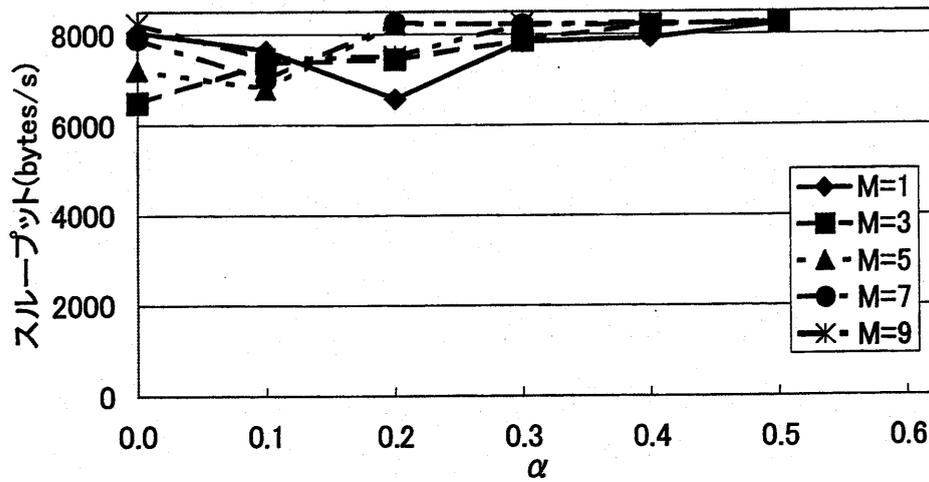
1Mbps の無線 LAN を用いて移動計算機と WWW サーバを接続する。また WWW サーバとクライアントは Ethernet で接続している。この環境で移動計算機から音声と通常の蓄積型データの発信を行った。発信する音声は、8000Hz でサンプリングし、8bit で量子化した音声を用い、蓄積型データとしては約 200KBytes の大きさを持つ 10 個のデータを使用した。また発信条件として、蓄積型データと非蓄積型データを同時に発信した。また初期コネクション数は 5 としている。

固定的にコネクション数 (1,2,3,5,7,10) を割り当て複製を更新する方式と、提案方式における非蓄積型データのスループットと全ての蓄積型データの更新する時

第4章 帯域の狭いネットワーク環境を考慮した情報発信機構



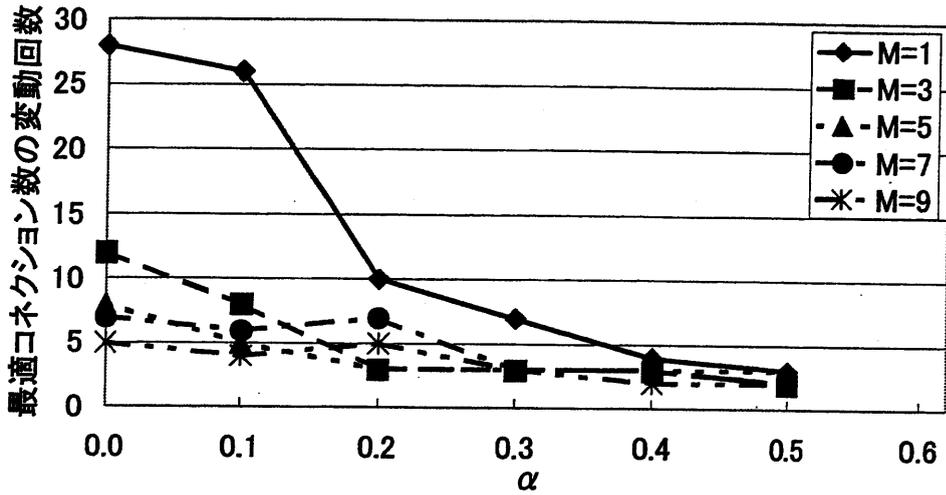
(a) Ethernet



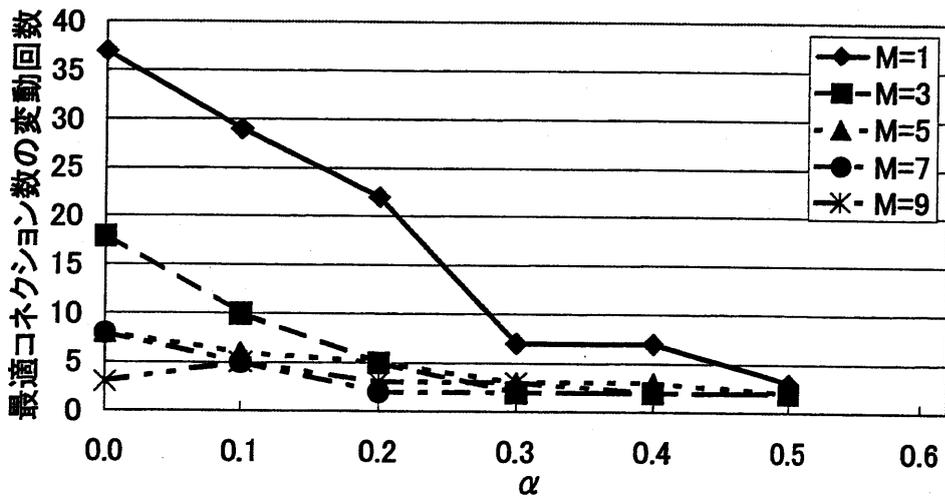
(b) 無線 LAN

図 4.8 α と M に対する最適接続数の変動回数.

4.5. 評価



(a) Ethernet



(b) 無線 LAN

図 4.9 α と M に対するスループット

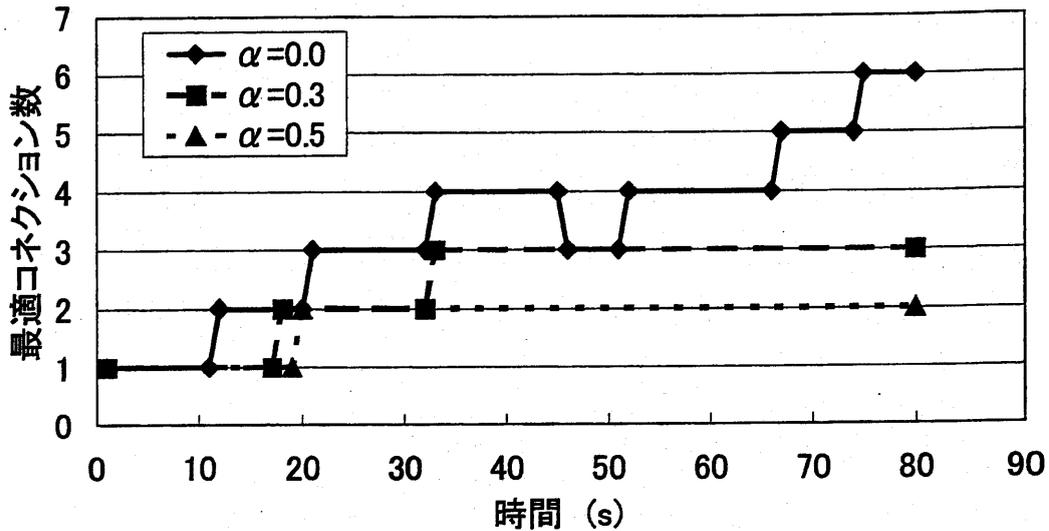


図 4.10 最適コネクション数の遷移

間を測定した。

実験で計測した音声波形を図 4.11 に示す。固定的にコネクション数を割り当てた波形は、コネクション数が多いほど波形が乱れている。また提案する発信機構では、波形の乱れが一様でなく、時間が経過すると安定した波形になっている。これはコネクション数の初期値から、安定したコネクション数までの遷移のオーバーヘッドによるものである。コネクション数が安定状態に遷移するまでは、非蓄積型データが要求する帯域を確保できていないので、音声波形の乱れが顕著に見られる。

4.6 むすび

移動計算機からの情報発信システムにおける移動計算機とアクセスポイント間の通信帯域の問題点を検討し、その問題を解決する情報発信機構を提案した。本発信機構は、移動計算機の通信帯域が狭い場合においても、その帯域を効率良く使用し、受信者の要求をできる限り満足して情報を発信できる。また、提案する

4.6. むすび

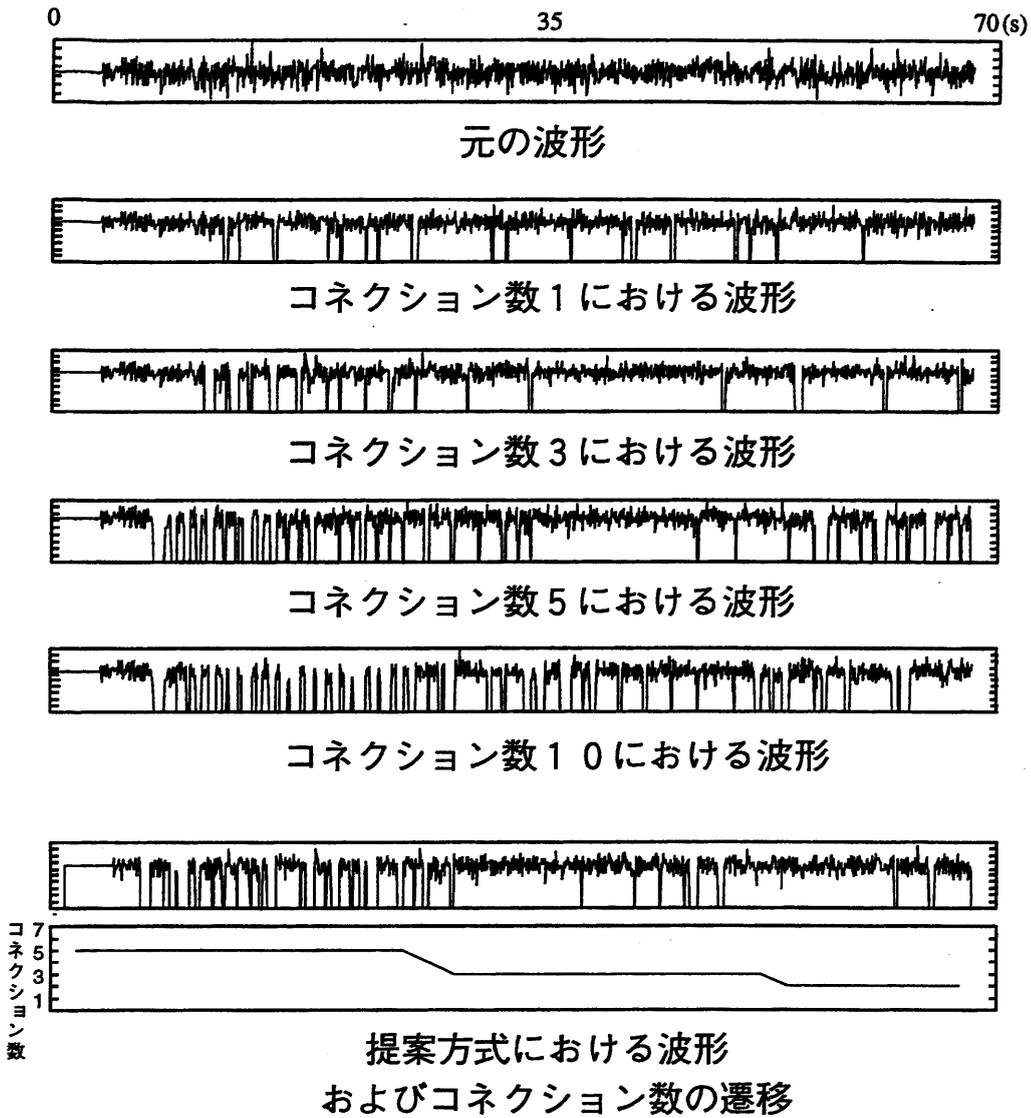


図 4.11 コネクション数を変えた場合の発信した音声波形の変化

第 4 章 帯域の狭いネットワーク環境を考慮した情報発信機構

機構は様々なネットワークを利用する移動計算機環境を考慮しネットワークに依存しないアプリケーション層で実現可能である。具体的には接続の数を最適に通信できるよう制御し、データに設定された優先度に従い情報を発信する。本提案方式のプロトタイプを実装し、その有効性を実験により示した。実験では Ethernet と無線 LAN の 2 種類のネットワークを用いて、発信機構で重要となる制御パラメータ (α と M) を解析した。

第 5 章

移動計算機環境で情報発信を実現する ツールキットの構築

固定計算機を対象としたネットワークアプリケーションは数多く存在する。しかし、これらはネットワーク帯域の狭さや、ネットワークから分断する等の移動計算機特有の問題のために、そのまま移動計算機環境で用いることができないことが多い。さらにこれらアプリケーションの中には、バイナリで配布され修正できないものが存在する。このため、固定計算機を対象に作成された既存のアプリケーションを、そのまま移動計算機環境で利用できる環境が望まれている。

従って、本章では、第 3 章と第 4 章で述べた WWW に特化して移動計算機環境に適応するだけでなく、移動計算機を考慮していない種々のアプリケーションを移動計算機環境に容易で適用でき、移動計算機から情報を発信できるようにするシステムを拡張する。

具体的には、移動計算機情報発信環境へ柔軟かつ容易に対応させるための枠組みである情報発信ツールキット TAM (Toolkit for Announcing information from Mobile computers) を設計／構築する。これにより、従来のネットワークアプリケーションと情報発信ツールキット TAM が協調する移動計算機からの情報発信システムを実現できる。さらに、情報発信ツールキット TAM を拡張しマルチメディアデータを効率良く発信するための情報発信ツールキット WOR (With Optimum Route) を提案し、設計／構築する。

5.1 まえがき

第3章で WWW を基盤にした移動計算機からの情報発信システムを構築した。このシステムは、WWW に特化したシステム構造になっており、WWW のソフトウェア自体を修正している。このため他のアプリケーションはこのシステムへ容易に適應できない。そこで本章では、固定計算機を対象として開発されたサービスアプリケーションをほとんど変更することなしに、容易に移動計算機上に移植できる枠組を与えるためのソフトウェアシステムである情報発信ツールキットを設計／構築する。TAM を提供する。この TAM を用いることにより、種々のネットワークとの接続の状態に対応する処理を記述するだけで、既存の多くのアプリケーションを容易に移動計算機環境へ適應できる。情報発信ツールキット TAM では、(1) ネットワークとの様々な接続の状態（接続や分断等）においてサービスを安定して提供する機構、(2) ネットワーク帯域に応じて情報発信を抑制し、優先度に応じて情報を発信する機構、(3) 発信する情報や環境に応じた柔軟な通信方式を実現する機構、を提供している。また新しいアプリケーションを作成する場合においては、本ツールキットを用いることにより開発工期を短縮することが可能となる。

移動計算機の分断時の処理などは、アプリケーションに依存する。WWW に特化したシステムでは、この点を考慮する必要がない。しかし、種々のアプリケーションを移動計算機環境に適應するためには、様々なアプリケーションへ適用可能なシステムにする必要がある。このため、本システムにおいては、WWW システムの構造を変更し、提供する機能をアプリケーション依存部分とアプリケーション非依存部分に役割を明確に分割する。

また、情報発信ツールキット TAM を拡張した情報発信ツールキット WOR を提案し、設計／構築する。情報発信ツールキット TAM では、任意の接続先からの情報発信を考慮していないため、接続先によっては大きな遅延が発生するなどの通信効率が悪くなる可能性がある。画像や音声などの実時間データを扱うマルチメディアサービスを提供するアプリケーションでは、この問題が深刻となる。この問題点を考慮し、情報発信ツールキット WOR では、情報発信マルチメディアを扱うサービスを効率的に提供できるシステムを実現する。

本章では、情報発信ツールキット TAM の設計と実装について示し、TAM を

5.2. 移動計算機からの情報発信

用いたアプリケーションの構築例について述べ評価を行う。また、情報発信ツールキット WOR の設計と実装について示す。

5.2 移動計算機からの情報発信

5.2.1 研究目的

固定計算機を対象としたネットワークアプリケーションは数多く存在する。しかし、これらは移動計算機を対象としていないので、そのまま移動計算機環境で用いることができない。さらにこれらアプリケーションの中には、バイナリで配布され修正できないアプリケーションが多く存在する。従って、既存の固定計算機を対象に作成されたアプリケーションを、そのまま移動計算機環境で利用できる環境が必要である。

本研究においては、以下のようなアプリケーションを容易に実現できる移動計算機からの情報発信システムの構築を目指している。

WWW を用いた移動計算機からの情報発信 分散環境において情報を共有するために、WWW が一般に利用されている。WWW においては、WEB サーバが持つ、文章、画像や音声などの様々な情報を、受信者に提供できる。移動計算機からの情報を WWW を用いて提供することが考えられる。移動計算機を用いて、文章の作成、デジタルカメラで撮影した写真や映像の取り込み、個人のスケジュール管理や、メモの記録などが移動先で可能であり、その情報を移動計算機がネットワークと接続中はすぐに発信できる。また、分断中でもサービスを継続するために、バックボーンに存在する代替ホストが移動計算機の情報をキャッシュし、代りに情報を発信する。

移動計算機を用いた携帯 TV 電話 インターネット TV 電話を移動計算機環境で実現する。移動計算機環境では、このアプリケーションを移動先で利用できる。インターネット携帯 TV 電話として実現できる。移動計算機がネットワークと接続中は、通話できる。また、移動計算機が分断中で通話できない場合、留守番電話サービスを提供する。また、通話中においては、ネットワーク帯域を考慮し帯域に応じた品質で通信する。

第5章 移動計算機環境で情報発信を実現するツールキットの構築

アドホックネットワークを用いた会議システム 移動計算機の新しいネットワーク形態として、移動先でネットワークを一時的に構築するアドホックネットワークがある。アドホックネットワークを利用し、移動先での会議において、プレゼンテーションのための OHP データや参考資料を互いに通信する。

5.2.2 関連研究

アプリケーションを移動計算機環境に適応 (Adaptation) するために、様々なミドルウェアやツールキットが提案されている。また、文献 [28][29] では、移動計算機環境に適応する様々なシステムを以下に示す 3 種類に分類している。

- (a) Laissez-Faire Adaptation
(アプリケーションだけで適応)
- (b) Application-Transparent Adaptation
(システムだけで適応)
- (c) Application-Aware Adaptation
(システムとアプリケーションで適応)

(a) Laissez-Faire Adaptation は、ミドルウェア等のシステムを利用せずに、アプリケーションが独自に移動計算機環境へ適応する手法である。この手法では、OS を選ばず、アプリケーションが意図する、移動計算機環境への適応を実現できる。しかし、アプリケーションが移動計算機の資源を独自に管理し適応するため、複数のアプリケーションを同時に使用した場合、それらのポリシーの競合が発生し、個々のアプリケーションが意図した効果が現れない。このようなアプリケーション例としては、商用ソフトである Eudora[30] などがある。

(b) Application-Transparent Adaptation は、アプリケーションを介在せずに、ミドルウェア等のシステム部分だけで移動計算機環境へ適応する手法である。Application-Transparent Adaptation の利点は、アプリケーションを変更せずに利用できることである。また、システム部分が移動計算機の資源を管理するため、適応ポリシーの競合を回避し、複数のアプリケーションを同時に実行できる。し

5.2. 移動計算機からの情報発信

かし、適応において、アプリケーションを考慮しないために、アプリケーションはシステムが決定する適応ポリシーを利用するしかない。アプリケーションによっては自身のポリシーと異なる場合があり、汎用性に欠ける。

Application-Transparent Adaptation の研究例として、Coda ファイルシステム [31, 32] が提案されている。Coda ファイルシステムは、移動計算機の長期間の分断のための分断時処理 (Disconnected Operation) をサポートしている。分断中に使用されると思われるサーバ上のファイルをあらかじめ移動計算機上にキャッシュすることにより、分断中においてもネットワークと接続中の環境と同等の環境をできる限り実現する。また、移動先でキャッシュを編集することを考慮し、元のサーバ上のファイル間の整合性を保つ機構が提供されている。しかし、Coda ファイルシステムにおける分断時処理はファイルシステムを提供するだけであり、様々な分断時のための適応ポリシーを支援できない。

(c) Application-Aware Adaptation は、アプリケーション毎に用意される適応部分とシステム部分が協調し、アプリケーションを移動計算機環境へ適応させる手法である。これにより種々のアプリケーションの意図に応じた適応を実現できる。システム部分はネットワークの環境や移動計算機の資源を管理し、その情報を適応部分に伝える。適応部分は、その情報に基づいてアプリケーションを移動計算機環境に適応する。

Application-Aware Adaptation の研究例として、Odyssey [29] が提案されている。Odyssey では、移動計算機における資源を管理する Viceroy と各アプリケーションの適応を実現する Warden で構成される。Viceroy は移動計算機の現在の資源情報を Warden に通知し、移動計算機の環境に応じて、Warden がアプリケーションに最適となるようにデータの品質を動的に変更する。同様のシステムとして Rover [33] が提案されている。Rover では、クライアントとサーバの機能を動的に配置できる RDO (Relocatable Dynamic Object) と、移動計算機が分断時も継続処理を可能にするために、non-blocking なリモート手続き呼び出しを実現する QRPC (Queued Remote Procedure Call) の 2 つの機構を提供することにより、アプリケーションを移動計算機環境へ適応させている。RDO を用いて、サーバの機能をクライアントに配置できるので、種々のアプリケーションに対して、分断状態に対応する機能の提供が可能となっている。しかし、Odyssey や Rover の

第5章 移動計算機環境で情報発信を実現するツールキットの構築

RDOを利用するには、アプリケーションの変更が必要となる。

従来のアプリケーションを変更せずに利用するために、Proxyを用いる Application-Aware Adaptation の研究が提案されている。BARWAN プロジェクト [34] は、通信するデータの種別を考慮し、そのデータの品質を通信帯域に応じて変化させることによって、移動計算機環境へ適応させている。データの品質を変化させる機構は、データの種別によって異なる。Proxy において、様々なデータの種別に対して Transcoders と呼ばれる品質を変更する機構を用意し、各データに最適に適応している。しかし、このシステムでは移動計算機の分断状態を考慮していない。

5.3 情報発信システムの設計

本章では移動計算機からの情報発信システムの設計について示す。さらにそのシステムを構築するための情報発信ツールキット TAM について述べる。情報発信ツールキット TAM は、ネットワークの接続の状態を考慮し、2.2節で述べた移動計算機環境における問題を解決する枠組をアプリケーションに提供するシステムソフトウェアである。本システムを用いれば、アプリケーション開発者は、接続の状態に対処する処理を記述した MAPM (Mobile Application Processing Module) を追加するだけで、移動計算機環境の問題をほとんど意識することなく、既存のクライアント・サーバアプリケーションをそのまま利用できる。

5.3.1 移動計算機のための情報発信システム

情報発信ツールキット TAM では、既存のネットワークアプリケーションを変更しないで利用するために、2.3節で述べた C/A/A/S モデルを採用する。提案情報発信システムの構成を図 5.1 に示す。クライアントサーバモデルを採用したアプリケーションは多く存在し、本システムにより、それらアプリケーションを変更することなく移動計算機環境へ適応できる。このモデルにおいては、移動計算機上でサーバアプリケーションが稼働し情報を発信する。また、クライアントとサーバ間に移動計算機を管理する Proxy を置く。この Proxy を本システムでは、System Management Host (SMH) と呼ぶ。

5.3. 情報発信システムの設計

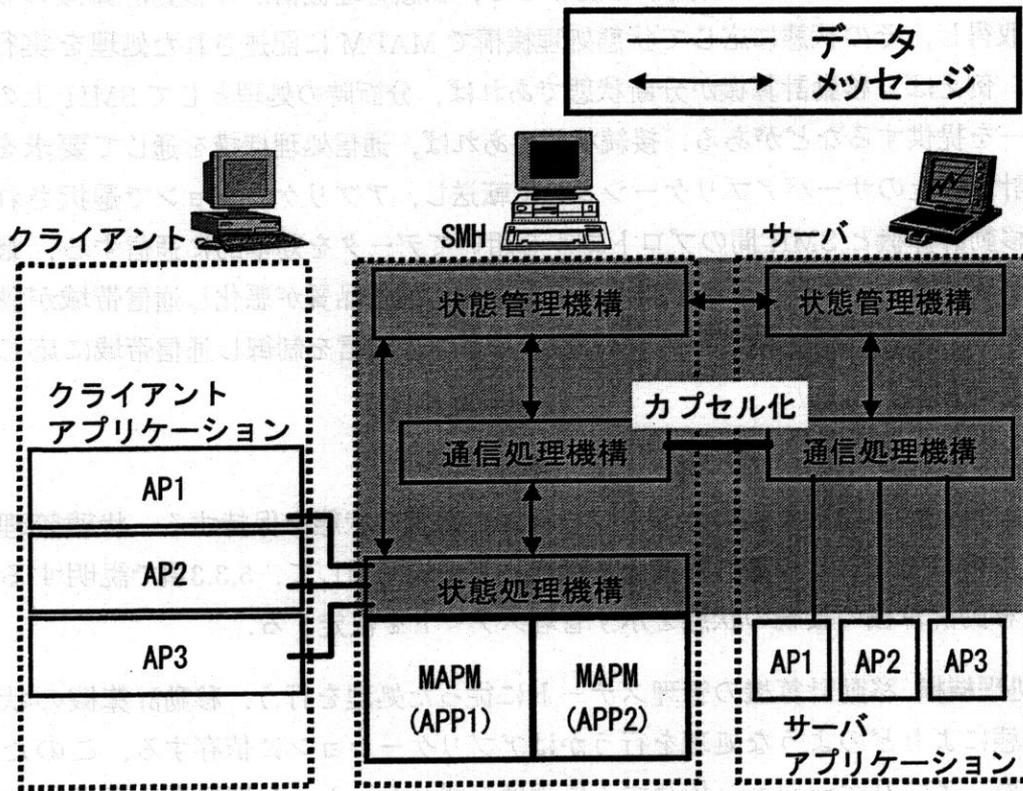


図 5.1 情報発信システムの構成

5.3.2 情報発信ツールキット TAM の構成

図 5.1の網掛け領域が提案する情報発信ツールキット TAMである。これと MAPM を組み合わせることにより情報発信システムを構築できる。APC はクライアントアプリケーションを示し、APS はサーバアプリケーションを表す。

SMHは、2.2節で述べた (1) 接続の状態の管理、(2) 分断状態における代替処理、(3) 通信帯域の有効利用、および (4) 複数のアプリケーションからの同時発信を支援する機構を提供する。具体的には、移動計算機の状態を管理することで (1) を解決する状態管理機構、分断状態などの移動計算機の接続の状態に応じて処理することで (2) を解決する状態処理機構、通信帯域を考慮し複数のアプリケーションの通信を制御することで (3) と (4) を解決する通信処理機構を提供する。

第5章 移動計算機環境で情報発信を実現するツールキットの構築

SMHはクライアントから要求を受けると、状態管理機構から移動計算機の状態を取得し、その状態に応じて状態処理機構でMAPMに記述された処理を実行する。例えば、移動計算機が分断状態であれば、分断時の処理としてSMH上のコピーを提供するなどがある。接続状態であれば、通信処理機構を通じて要求を移動計算機上のサーバアプリケーションに転送し、アプリケーションで選択された、移動計算機とSMH間のプロトコルを用いてデータを効率的に通信する。最後にクライアントはデータを取得する。通信中に通信品質が悪化し通信帯域が狭くなると、通信処理機構は、各アプリケーションの通信を制御し通信帯域に応じて負荷を下げる。

これら3つの機構の詳細を以下に示す。

状態管理機構 移動計算機のネットワークとの接続の状態を保持する。状態管理機構はSMHと移動計算機上に存在し互いに協調して、5.3.3項で説明する移動計算機の接続の状態を示す管理ステートを決定する。

状態処理機構 移動計算機の管理ステートに従った処理を行う。移動計算機の状態によりどのような処理を行うかはアプリケーションに依存する。このため、アプリケーション依存する処理はアプリケーション開発者に提供してもらう。この部分をMAPMと呼ぶ。MAPMは、状態管理機構で保持される移動計算機の管理ステートに対応する処理が記述されている。同一のアプリケーションプロトコルを用いる複数のアプリケーションで、MAPMを共有することも可能である。

通信処理機構 通信処理機構では、通信における以下に示す2つの機能を提供する。

- ・移動計算機とSMH間の通信管理：

この2点間のプロトコルは、独自のプロトコルを構築することが可能である。通信帯域が狭い場合には、その帯域を有効利用するために、対象とする通信範囲、データの種類、通信におけるアプリケーションの意図を考慮した柔軟な通信方式が必要である。従って、5.3.4項で提案するプロトコルを用いて、アプリケーションで想定されていない状況（無線環境における短期間の分断など）において、通常のプロトコルをカプセル化し、アプリケーションの意図を考慮した移動計算機環境に最適な通信方式を実現する。

5.3. 情報発信システムの設計

例えば、以下のようなことが考えられる。

(a) 一般に広域通信では、パケットロスが多い。このような場合、通信の保証に重点を置き、TCP を基盤にして resume 機能を組み合わせて通信する。

(b) 一般に LAN 通信では、パケットロスが小さい。TCP は通信のオーバーヘッドが大きいので、このような場合 UDP を基盤にして再送機能、resume 機能を組み合わせて通信する。

(c) MPEG 等の動画データを実時間で転送する場合は、通信の遅延をなくすために再送のない UDP を基盤にして通信する。そして同期のためにタイムスタンプを付加し、また重要な部分（例えば I フレーム）に対しては、再送しなくてもパケット復元することが可能なパリティパケット [35] を利用し通信する。

(d) (c) におけるデータの種類の同一でも、アプリケーションが意図する通信方式が異なる場合もある。MPEG の通信に対して、画質に重点を置くアプリケーションもある。

このように、対象とする通信範囲やデータの種類の考慮するアプリケーション指向の通信方式が必要である。

・過度の発信の抑制：

過度の発信を抑制するために発信する情報数（コネクション数）を制限し通信を制御する。これには、第4章で述べたコネクション数の動的制御機構を用いて、アプリケーションからの情報発信を制御する。

5.3.3 管理ステート

情報発信ツールキット TAM では、移動計算機の接続の状態を、管理ステートを用いて表現する。図 5.2 に管理ステートを示す。管理ステートでは、接続状態と分断状態だけでなく、通信品質も管理する。これにより無線 LAN のような通信品質が不安定な通信媒体において、その時の通信状態に最適な処理を行うことができる。

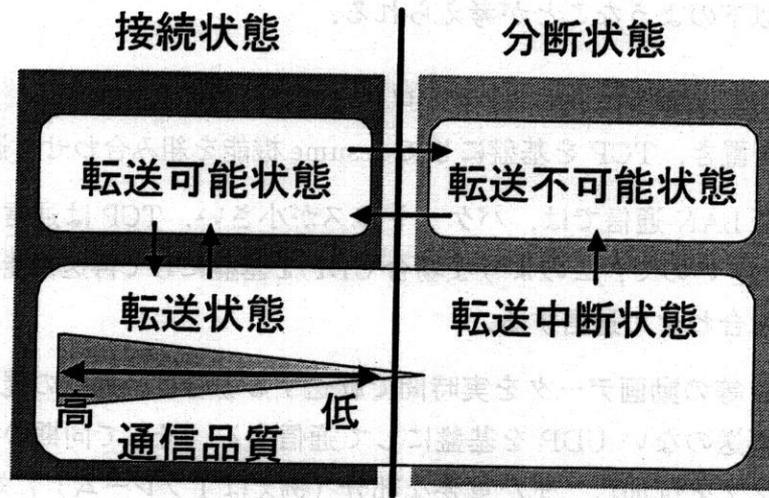


図 5.2 管理ステートの概要

1. 転送不可能状態

移動計算機がネットワークから分断している状態で、クライアントからの要求を受け付けることができない状態を示す。

2. 転送可能状態

移動計算機がネットワークに接続している状態で、クライアントからの要求を待っている状態を示す。

3. 転送状態

移動計算機がデータを転送中の状態であることを示す。通信品質が属性として与えられる。

4. 転送中断状態

データ転送が中断している状態を示す。この状態は転送状態からだけ遷移する。

5.4. 情報発信ツールキット TAMの実装

5.3.4 Flexible Application Protocol

アプリケーションで最適な通信を実現するために、FAP (Flexible Application Protocol) を提案する。FAPはアプリケーションで想定されていない状況（移動計算機の分断など）に対処するためのプロトコルで、規定の入出力 APIを持つ複数のモジュールから構成されており、アプリケーションはそれらを組み合わせて利用する。

5.4 情報発信ツールキット TAMの実装

本節では情報発信ツールキット TAMを構成する、状態管理機構、状態処理機構、通信処理機構の実装について示す。

5.4.1 状態管理機構

状態管理機構は移動計算機の接続の状態を検出し、それに対応した管理ステートを保持する。まず移動計算機のネットワークとの接続の状態をハードウェアレベルでの検出を試みる。ハードウェアで接続の状態を検出できない場合、ソフトウェアで検出する。

DHCP[36] サーバから IP アドレスを割り当てられたなどの移動計算機が通信可能になったときに、移動計算機上の状態管理機構は SMH 上の状態管理機構に接続登録のメッセージを通知する。このとき移動計算機から提供するサービスの情報を同時に登録する。SMH 上の状態管理機構はそのメッセージを受け取り、移動計算機と通信可能であることを認識する。その後、SMH 上の状態管理機構は、移動計算機上の状態管理機構に接続確認のメッセージを定期的を送信する。移動計算機上の状態管理機構はそのメッセージに対して ACK を返答する。SMH は移動計算機との通信遅延として、このメッセージの RTT (Round Trip Time) 値を計測し、その平均値を保持する。また、コネクション数制御機構で利用するために転送状態においては、移動計算機との通信スループットを計測する。管理ステートにおける、状態の遷移を図 5.3 に示す。以下において状態の遷移を図中の番号順に説明する。ここで、 α および β は、接続確認メッセージの消失を許容す

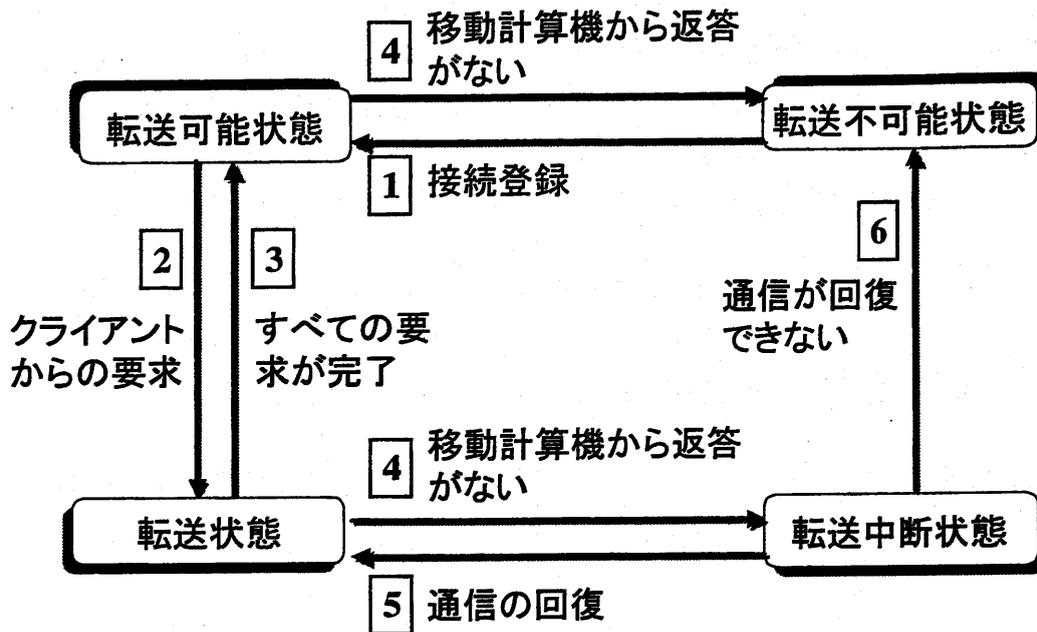


図 5.3 管理ステートの遷移

る回数で、 α はシステムが決定し、 β はアプリケーションが与える。初期状態は転送不可能状態である。

- 1 SMH 上の状態管理機構は、接続登録のメッセージを受信すると、管理ステートを転送可能状態にする。
- 2 SMH は、クライアントからの要求を移動計算機に伝える。SMH と移動計算機との間で通信を開始したとき転送状態へ遷移する。
- 3 クライアントからの全ての要求を処理したとき、転送可能状態へ遷移する。
- 4 接続確認メッセージに対して平均 RTT 時間を超えても返答がないとき、接続確認メッセージが消失したものとする。メッセージ消失が連続して α 回を超えたなら、現在の状態が転送状態なら転送中断状態へ遷移し、転送可能状態なら転送不可能状態へ遷移する。

5.4. 情報発信ツールキット TAM の実装

表 5.1 状態処理機構におけるエントリポイントの一覧

connect_c2m	転送可能状態における処理が記述される。 クライアントから移動計算機に対して通信するとき利用される。
connect_m2c	転送可能状態における処理が記述される。 移動計算機からクライアントに対して通信するとき利用される。
suspend	転送中断状態における処理が記述される。
reconnect	転送中断状態から転送状態に遷移するための再要求の処理が記述される。
disconnect	転送不可能状態における処理が記述される。

- 5. メッセージの連続消失回数が β 回までに移動計算機との通信が回復したとき、転送状態へ復帰する。
- 6. メッセージの連続消失回数が β 回までに移動計算機との通信が回復しなかった場合、転送不可能状態へ遷移する。

5.4.2 状態処理機構

状態処理機構では、状態管理機構から移動計算機の管理ステータを取得し、そのステータに応じて MAPM に記述された処理を行う。MAPM は、Dynamic Loadable Module の形で本システムに組み込まれる。MAPM は表 5.1 に示すエントリポイントを状態処理機構に提供する。状態処理機構はクライアントからの要求を受けると移動計算機のステータに応じた MAPM のエントリを呼び出す。

5.4.3 通信処理機構

通信処理機構では、FAP とコネクション数制御機構を提供する。通信処理機構の詳細を図 5.4 に示す。

FAP は、規定のインタフェースを持つモジュール (PR) で構成される。PR は、移動計算機側の PR (PRS) と SMH 側の PR (PRC) の組で構成され、複数個存

第 5 章 移動計算機環境で情報発信を実現するツールキットの構築

在する。どの PR を用いるかはアプリケーションによって予め設定されている。移動計算機と SMH 間のプロトコルが既存のアプリケーションプロトコルと異なる場合、カプセル化し通信する。カプセル化するために移動計算機側に Socket Wrapper を導入する。Socket Wrapper はアプリケーションの通信を通信処理機構に渡すものでアプリケーションに対し通常のソケット API[37] と同一の API を提供する。通信処理機構は PR と通信処理の核となる通信制御部で構成される。通信制御部はアプリケーションによって設定された PRS にデータを渡し、実際に SMH と通信する。対応する PRC は、受け取ったデータを通信制御部に渡す。そして通信制御部、状態処理機構、MAPM を経由してクライアントにデータが提供される。

状態管理機構は移動計算機と SHM との間のスループットを計測している。コネクション数制御機構は計測データを用いて、移動計算機と SMH 間のスループットの予測、そのスループットに応じたコネクション数の決定、アプリケーションへのコネクションの割り当てを決定する。コネクションの割り当ては、アプリケーション間とアプリケーション内の優先度に従い決定される。このとき、飢餓状態になるアプリケーションが発生しないように考慮する必要がある。

5.4.4 移動計算機の移動

クライアントは移動計算機上のデータを取得したい場合、移動計算機の移動によって変更されるアドレスを意識することなく、データを取得できなければならない。移動計算機の移動を解決する機構は多く提案されているが、本システムではクライアントからの要求は必ず SMH に届き、そして移動計算機に中継される機構が必要である。なぜなら SMH を通ることにより、移動計算機の管理ステータに応じた処理が可能になるからである。本実装においては、IP エイリアス機能を用いる。IP エイリアス機能を使用することにより、SMH はネットワークインタフェースに自身のアドレス以外のアドレスを割り当てることができる。ここで移動計算機のためのアドレスを追加することにより、クライアントは追加されたアドレスで移動計算機に要求を出すと、SMH に要求が届き、SMH は移動計算機の現在の IP アドレスに中継する。これにより、任意の場所に移動した移動計算機と通信が可能となる。

5.5. 評価

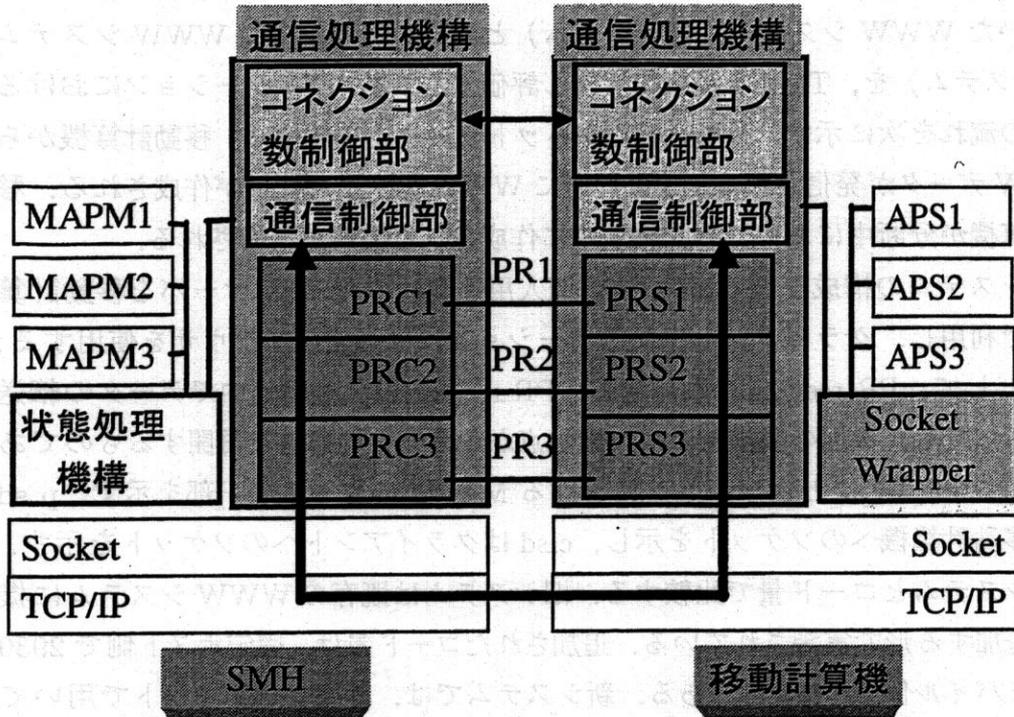


図 5.4 通信処理機構の詳細

5.5 評価

5.5.1 アプリケーションの構築

情報発信ツールキット TAMのプロトタイプを作成し、実際にアプリケーションを構築することにより、提案しているツールキットの評価を行う。移動計算機とクライアントは Windows 上で実装され、SMHは FreeBSD 上で稼働する。Windows におけるソケット APIはダイナミックリンクライブラリ wsock32.dllで与えられる。移動計算機における Socket Wrapper 部は、wsock32.dllとして実現し、元のものと置き換えている。

以下にアプリケーション例の詳細を示す。

(a) WWW

第 5 章 移動計算機環境で情報発信を実現するツールキットの構築

第 3 章で構築した、蓄積型データと非蓄積型データの情報発信形態の選択機能を除いた WWW システム（旧システム）と同様の機能を持つ WWW システム（新システム）を、TAM を用いて実現し評価する。本アプリケーションにおける処理の流れを次に示す。移動計算機がネットワークと接続中は、移動計算機から WWW データが発信される。また同時に WWW データの複製が作成される。移動計算機が分断中においては、接続中に作成された複製が発信される。

新システムの構成を図 5.5 に示す。個人用途向けの WWW サーバを移動計算機上で利用し、クライアントアプリケーションには通常のブラウザを使用する。FAP として、PR_resume を利用する。PR_resume は、通信途中でデータの転送が中断しても、次の要求時には中断地点からデータの通信を再開するものである。図 5.6 に本アプリケーションにおける MAPM のソースの一部を示す。p_sd は、移動計算機へのソケットを示し、c_sd はクライアントへのソケットを示す。

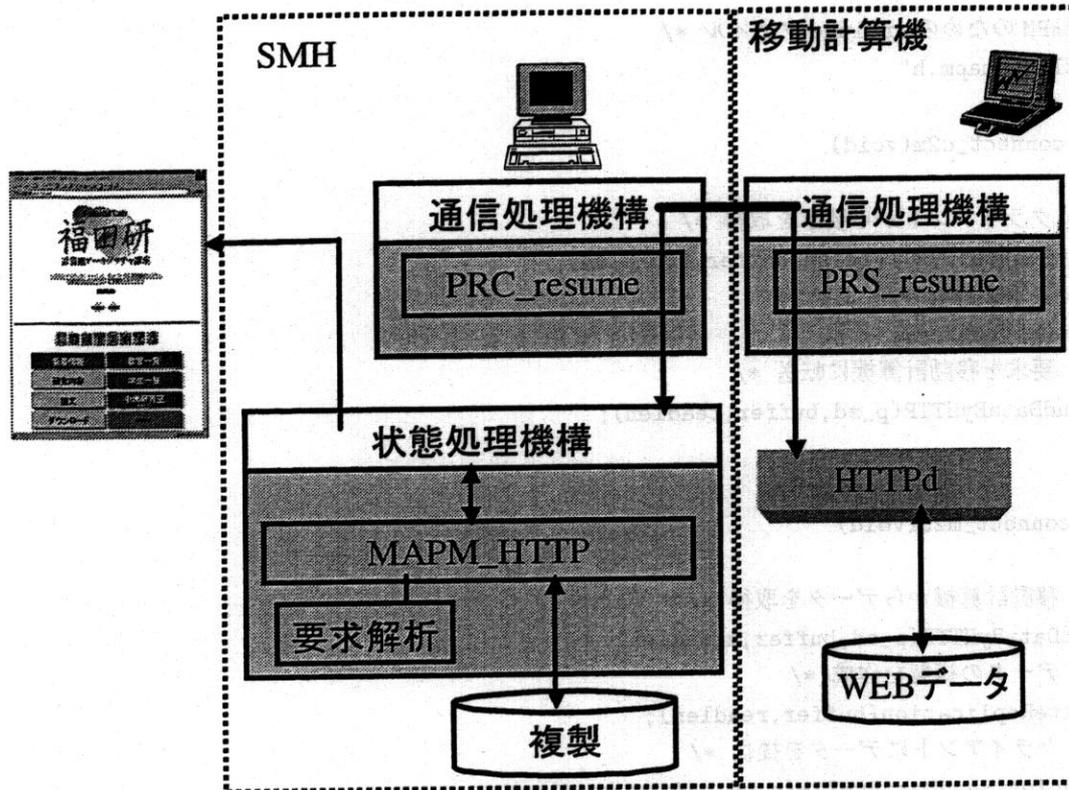
旧システムとコード量で比較する。旧システムは既存の WWW システムに機能を追加する形で実装されている。追加されたコード量は、固定ホスト側で 2930 行、モバイル側で 4655 行である。新システムでは、提案ツールキットで用いて作成した MAPM のコード量は 346 行であった。プログラムの容易さを単純にプログラムの行数で比較はできないが、それでも全体のコード量で約 5% になっており、TAM を用いることでアプリケーションが容易に作成できることが確認できる。

(b) インターネット TV 電話

移動計算機上にインターネット TV 電話システムを構築する。移動計算機からクライアントへの一方向の通信を、本アプリケーションでは提供している。これを双方向で利用することでインタラクティブなシステムを構築できる。

本アプリケーションの構成を図 5.7 に示す。本アプリケーションは UDP を基盤にしている。転送状態では、動画と音声进行中継する。SMH が移動計算機の通信状態が不安定であることを検出すると、転送中断状態に遷移し、通信が不安定であることを受信者に示す画像及び音声を配信する。通信が分断すると SMH において留守番サービスが機能し用件を記録する。移動計算機が再接続したとき、記録した用件を移動計算機に転送する。本アプリケーションを実現するための MAPM のコード量は 138 行であった。TAM がアプリケーション作成を容易にしている

5.5. 評価



connect_c2m	要求された URL を解析する。
connect_m2c	WEB データの複製を作成，中継する。
disconnect	複製を提供する。
PRC_resume	バッファを用意し，受信データをバッファに蓄積する。データの転送が完了すればバッファから消去する。バッファに存在するデータがクライアントから再要求されたとき，前回，中断した場所から通信する。
PRS_resume	送信データをあらかじめ spool し転送する。中断地点からの要求があれば，それに応える。

図 5.5 アプリケーション例 (1) : WWW

第 5 章 移動計算機環境で情報発信を実現するツールキットの構築

```
/* MAPM のための include ファイル */
#include "mapm.h"

int connect_c2m(void)
{
    /* クライアントから要求を取得 */
    GetRequestByHTTP(c_sd,buffer,&readlen);
    /* 要求を解析 */
    GetURL(buffer);
    /* 要求を移動計算機に転送 */
    SendDataByHTTP(p_sd,buffer,readlen);
}

int connect_m2c(void)
{
    /* 移動計算機からデータを取得 */
    GetDataByHTTP(p_sd,buffer,&readlen);
    /* データの複製を作成 */
    WriteReplication(buffer,readlen);
    /* クライアントにデータを提供 */
    sendlen=SendDataByHTTP(c_sd,buffer,readlen);
}

int disconnect(void)
{
    /* クライアントから要求を取得 */
    GetRequestByHTTP(c_sd,buffer,&readlen);
    /* 要求を解析 */
    GetURL(buffer);
    /* 複製を取得 */
    ReadReplication(buffer,&readlen);
    /* クライアントに複製を提供 */
    SendDataByHTTP(c_sd,buffer,readlen);
}
```

図 5.6 WWW アプリケーションにおける MAPM の記述

5.5. 評価

ことがわかる。

5.5.2 通信処理機構の評価

FAP の一例としてマルチメディアデータの転送するために一部の packets 落ちを復元できるパリティ packets モジュールのプロトタイプを実装する。実際の情報発信する状況を想定した環境で、FAP を利用した情報発信ツールキット TAM における通信処理機構の評価を行う。

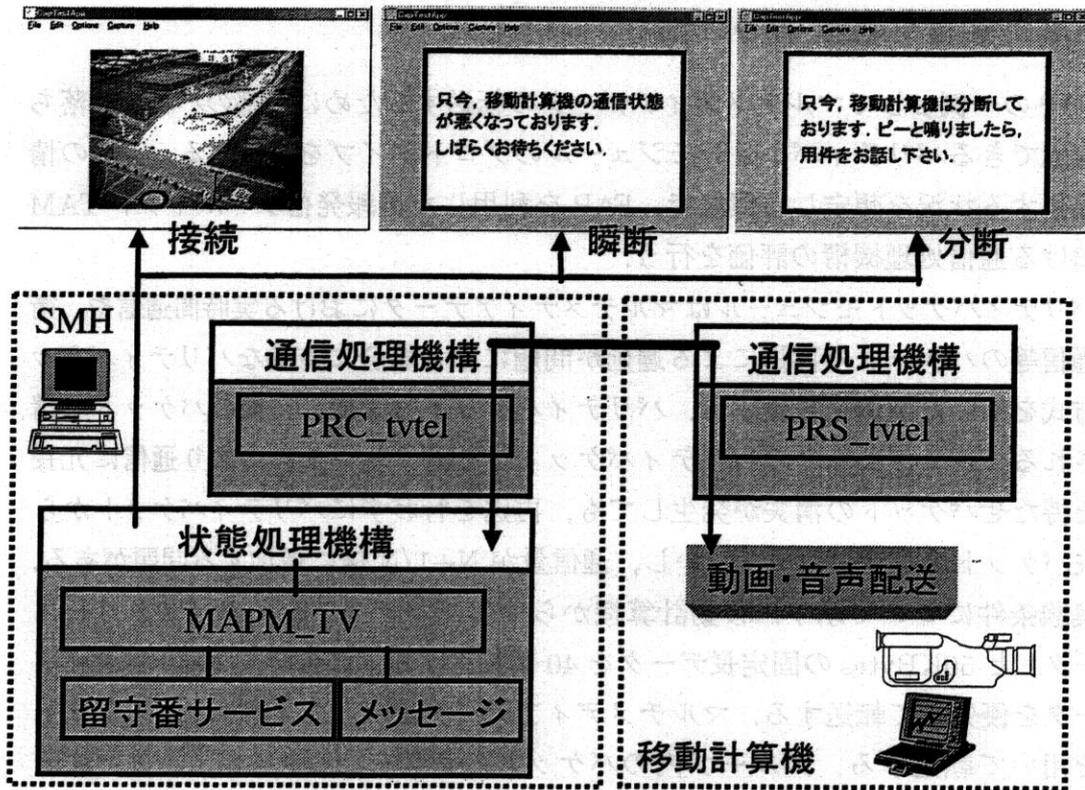
パリティ packets モジュールはマルチメディアデータにおける実時間通信や、衛星通信等の packets の再送による遅延が問題になる場合に有効なパリティ packets 方式を用いた通信を提供する。パリティ packets 方式は、N 個の packets で構成されるグループに一つのパリティ packets を転送する。これにより通信に冗長性を持たせ packets の消失が発生しても、再送を行わずにパリティ packets から消失 packets の復元を行う。しかし、通信量が $N+1/N$ 倍に増加する問題がある。

実験条件について示す。移動計算機からマルチメディアデータ（ストリームデータ）と 50KBytes の固定長データを 40 個転送する。この時、マルチメディアデータを優先して転送する。マルチメディアデータはパリティ packets モジュールを用いて転送する。グループ内の packets の個数を、なし、4、3、2 とする場合 (NO, G4, G3, G2) について実験した。またマルチメディアデータとして (a) 8,000Bytes/s, (b) 11,025Bytes/s, (c) 22050Bytes/s の 3 種類を用いて実験を行った。通信メディアとしては無線 LAN (1Mbps) を用いた。実験条件の詳細を表 5.2 に示す。

図 5.8, 図 5.9, 図 5.10 に、8,000Bytes/s, 11,025Bytes/s, 22050Bytes/s の結果を示す。横軸（コネクション数）における 1 から 10 は、コネクション数を固定にした結果を示し、NO, G4, G3, G2 は、コネクション数制御機構を用いた結果を示す。コネクション数を固定にした結果から、実験環境において最適なコネクション数とその時の転送時間、パケット損失率の最適値がわかる。本実験における最適値は、転送時間が 63 秒、パケット損失率が 0.7% であった。

次にコネクション数制御機構を用いた場合を議論する。図 5.8～図 5.10 により NO の場合は、最適値に近い結果を示しており、通信処理機構が有効に動作していることがわかる。最適値を若干上回る原因は、最適なコネクション数に遷移す

第 5 章 移動計算機環境で情報発信を実現するツールキットの構築



connect_c2m	クライアントから移動計算機へ中継する。
connect_m2c	移動計算機からクライアントへ中継する。
disconnect	あらかじめ用意されたメッセージと、留守番サービスを提供する。
suspend	あらかじめ用意されたメッセージを提供する。
PRC_tvte1	バッファが存在する。PRS_tvte1の送信したデータを受信しバッファリングする。
PRS_tvte1	通信帯域に応じて音声と動画の優先度を変化させ発信する。

図 5.7 アプリケーション例 (2) : インターネット TV 電話

5.5. 評価

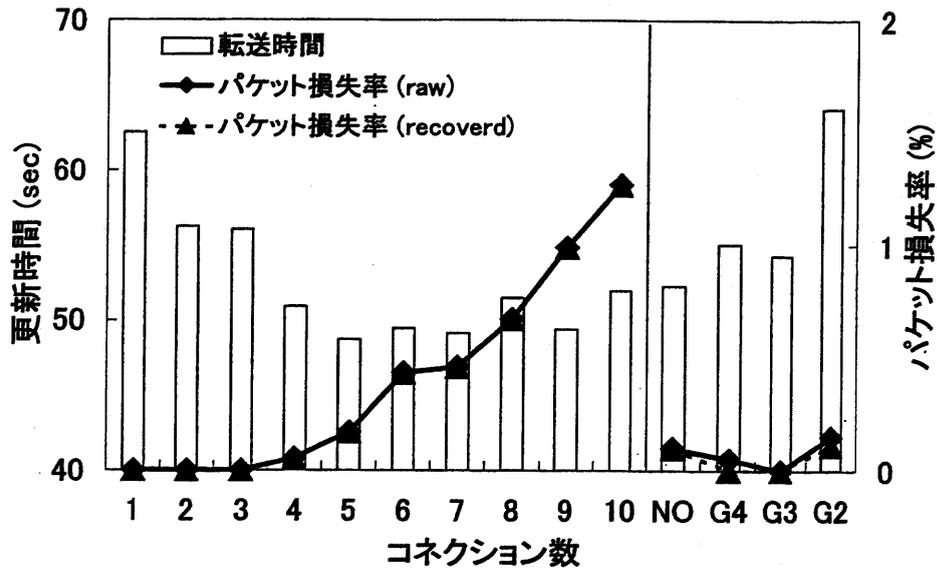


図 5.8 通信処理機構の性能 (8000Bytes/s の場合)

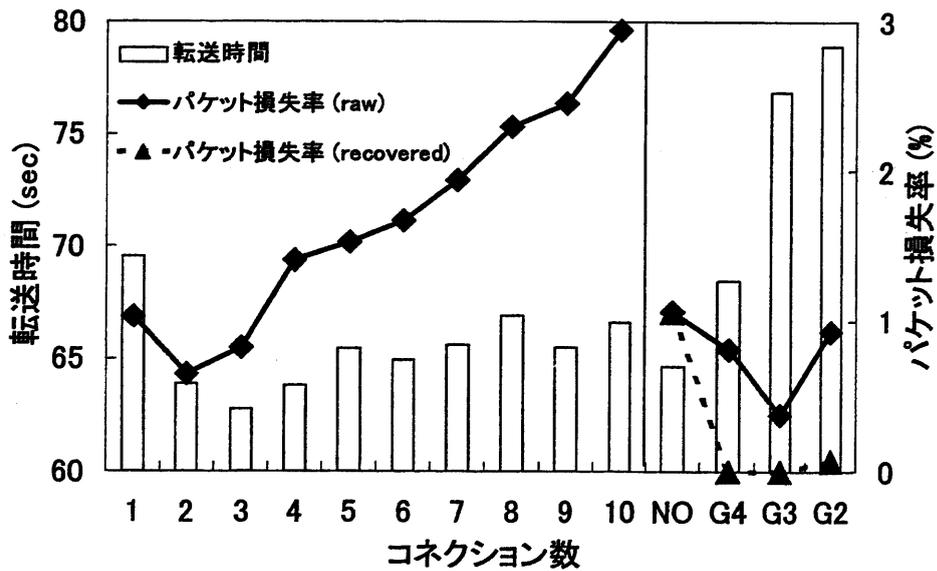


図 5.9 通信処理機構の性能 (11025Bytes/s の場合)

表 5.2 実験パラメータ

通信メディア	無線 LAN
通信帯域 (bps)	1M
実効スループット (bytes/sec)	≒ 50K
蓄積型データのサイズ (bytes)	50K
蓄積型データの個数	40
非蓄積型データの要求スループット (bytes/sec)	8,000 11,025 22,050
グループ内パケット数	2, 3, 4, パリティなし

るのに時間がかかるためである。

G4,G3,G2では、パケットが損失した“パケット損失率(raw)”と、パケットは損失したがパリティパケットで復元した“パケット損失率(recoverd)”の2種類を示す。G4においては、すべてのスループットにおいて、パケット損失率(recoverd)がなくなり良好な結果を得ることができると分かる。このとき転送時間が増えているのは、通信処理機構がマルチメディアデータを優先して転送したためであり、FAPを利用した環境においても通信処理機構が設計通りに働いていることを示す。

5.6 情報発信ツールキット WOR への拡張

情報発信ツールキット TAMでは、第3章で示した蓄積型データの発信形態で非蓄積型データを発信した場合と同様の問題がある。すなわち、SMHが移動計算機を管理するために、移動計算機の通信は、移動計算機とクライアントの間に位置するSMHを必ず中継する。しかし、SMHは移動計算機の接続先ではなく、移動計算機が所属するネットワークに存在する。このため、クライアントと移動計算機のネットワーク的な距離が近く、SMHがこれらホストから離れた位置に存在する場合には、非常に効率の悪い通信経路となる。接続先によっては、この冗長な通信経路が問題となり大きな遅延が発生するなどの通信効率が悪化する可能性がある。実時間データを扱うマルチメディアサービスにおいて、品質の良いサービスを提供できなくなり、深刻な問題となる。

5.7. 情報発信ツールキット WOR の設計

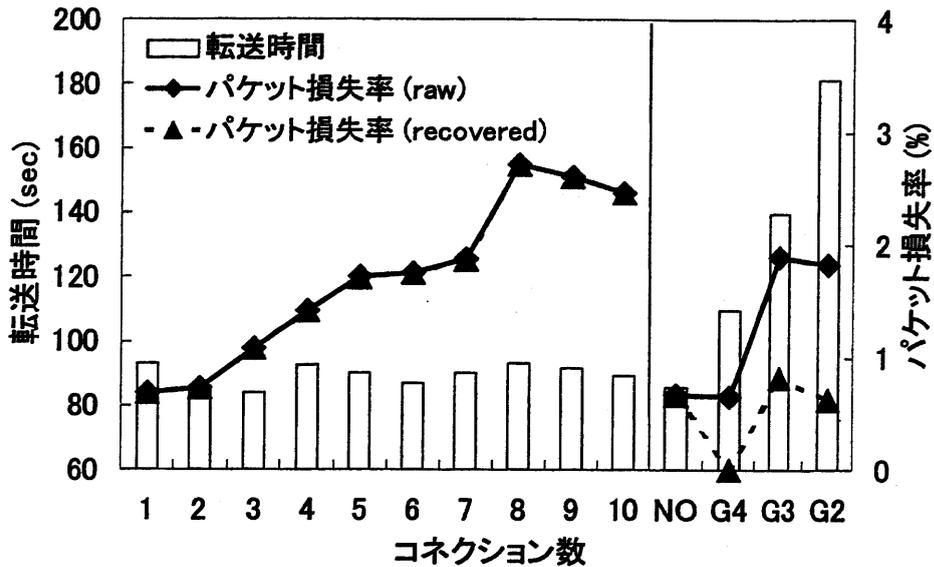


図 5.10 通信処理機構の性能 (22050Bytes/s の場合)

そこで、マルチメディアを扱うサービスを効率的に提供でき、移動計算機を考慮していない種々のアプリケーションを、移動計算機情報発信環境へ柔軟かつ容易に適應できる情報発信ツールキット WOR (With Route Optimization) を提案する。また、WOR の設計を示し、そのプロトタイプの実装について述べる。WOR を利用して、WWW を用いた移動計算機からの情報発信システムの構築例について述べ、WOR を用いて移動計算機環境へ適應するアプリケーションを容易に構築できることを示す。さらに WOR を用いることで移動計算機からの通信効率が向上することを示す。

5.7 情報発信ツールキット WOR の設計

本節では、情報発信ツールキット TAM を、移動先の任意の場所からできる限り最短の経路を利用して、効率的な情報を発信できるシステムに拡張した情報発信ツールキット WOR の設計について述べる。

5.7.1 WORの概要

情報発信ツールキット TAM で利用していた、移動計算機が所属する SMH を HSMH (Home SMH) と呼ぶ。第3章で説明したシステムにおいて採用していた近隣 WWW サーバと同様に、この HSMH とは別に、組織毎のネットワークに SMH を置くモデルを採用する。移動計算機において、移動先で接続する HSMH 以外の SMH を FSMH (Foreign SMH) と呼ぶ。また、HSMH と FSMH を含めたものを単に SMH と呼ぶ。移動計算機は移動先では、移動先の近隣にある FSMH を利用し、情報を発信する。これにより、5.6節の冗長経路の問題を回避することができる。移動計算機は一つの HSMH と、複数の FSMH を利用して情報を発信する。

サービスの種類は、第3章で説明したシステムと同様に蓄積型と非蓄積型という側面から分類する。蓄積型のサービスの発信は HSMH を利用し、非蓄積型の発信は FSMH を利用することで、効率良く情報を発信できる。このため WOR は HSMH と FSMH を併用する。

サービスの種類で発信方式を分類することで、発信するサービスが蓄積型の場合、HSMH に移動計算機上の情報をキャッシュし、情報の更新がない場合は、クライアントにキャッシュを提供する。これにより、移動計算機との通信量を減らすことができる。また、非蓄積型においては、キャッシュする意味がないので、FSMH を中継して通信する。これにより遅延を抑えてクライアントに情報を提供できる。

WOR における、クライアントが情報を移動計算機から取得するまでの流れを図 5.11 に示す。またその説明を以下に示す。

- (1) クライアントが移動計算機の情報を取得するために、その移動計算機の HSMH に要求を出す。
- (2) HSMH は、要求されたサービスの種類に応じて処理をする。

蓄積型情報の場合:

- 3 HSMH の MAPM が移動計算機に要求を出す。
- 4 移動計算機は、HSMH の MAPM を通じてクライアントに情報を提供する。

5.7. 情報発信ツールキット WOR の設計

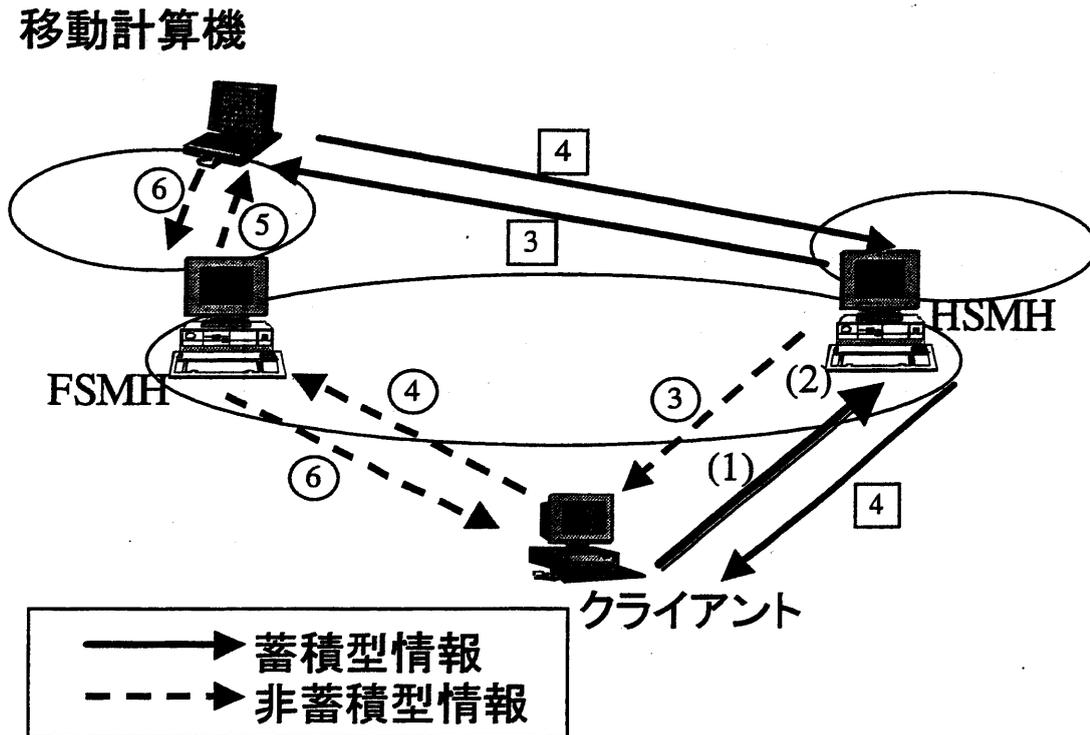


図 5.11 情報発信ツールキット WOR の概要

非蓄積型情報の場合:

- ③ HSMH の MAPM が要求を FSMH に転送する通知をクライアントに返答する。
- ④ クライアントは FSMH に要求を出す。
- ⑤ FSMH の MAPM は、移動計算機に要求を出す。
- ⑥ 移動計算機は、FSMH の MAPM を通じてクライアントに情報を提供する。

第 5 章 移動計算機環境で情報発信を実現するツールキットの構築

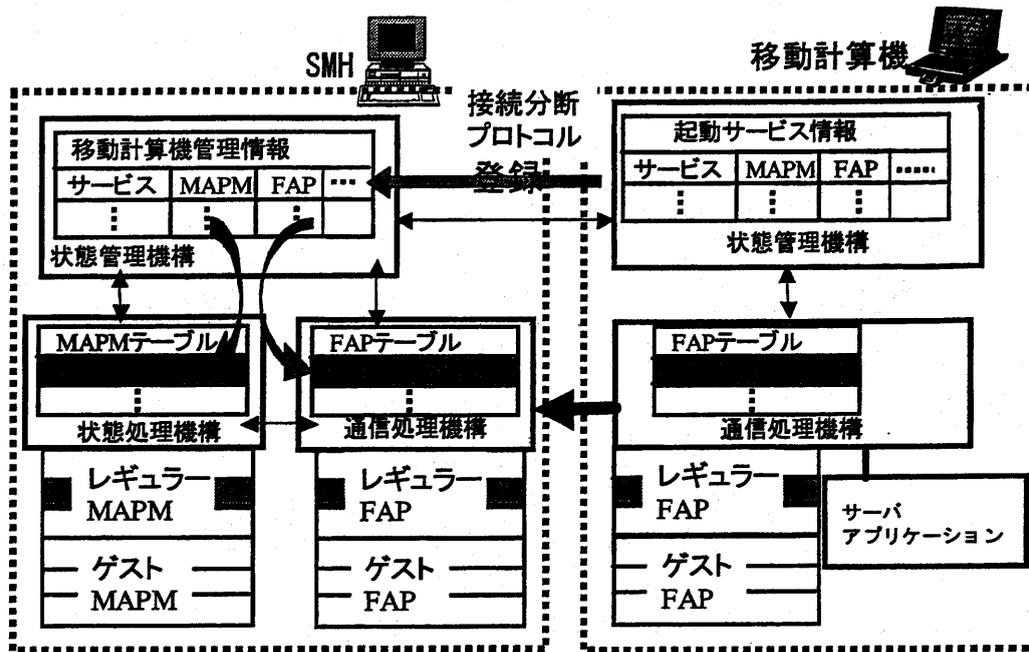


図 5.12 情報発信ツールキット WOR の構成

5.7.2 WOR の構成

5.7.1項で述べたシステムを実現し WOR を構築する。WOR の構成を図 5.12 に示す。各機構の詳細について以下に説明する。

MAPM と FAP の動的な選択機構 情報発信ツールキット TAM においては、SMH は同一の組織に所属する移動計算機をすべて管理し、移動計算機が利用するサービス毎に MAPM と FAP を静的に設定している。しかし、WOR では FSMH を導入したため、FSMH においては任意の移動計算機が接続される可能性があり、静的に移動計算機を管理することができない。このために、移動計算機がサービスを開始するとき、MAPM と FAP を動的に決定する接続切断プロトコルが必要となる。

移動計算機は、提供するサービスなどの情報発信に必要な情報として、起動サービステーブルを持つ。また、SMH は移動計算機の提供するサービスを管理するために移動計算機管理情報を持つ。接続切断プロトコルは、起

5.7. 情報発信ツールキット WOR の設計

動サービス情報を SMH に伝え、移動計算機管理情報を作成するために用いられる。また、移動計算機に FSMH を探索する機構を提供する。

MAPM と FAP の利用制限 HSMH においては、アプリケーション作成者によってオリジナルの MAPM と FAP が提供される。しかし、任意の移動計算機が、SMH が提供する MAPM と FAP を、すべて利用できることは、セキュリティの観点から好ましくない。SMH において MAPM と FAP を利用できる移動計算機の制限をする必要がある。このために、MAPM と FAP をレギュラーとゲストに分離し、利用制限を設ける。

転送機構 HSMH において、クライアントからの要求を FSMH に転送する機構が必要である。このため HSMH における MAPM に、クライアントの要求の転送を実行する新しいエン트리ポイントを拡張する。これは、クライアントからの要求が到着したときに、FSMH を利用する移動計算機に要求を転送するために用いる。転送に利用する手段は様々なものが考えられるが、この機構の実現方法は様々なものがあり、アプリケーションによって異なる。その作成はアプリケーションに委ね、アプリケーションが利用するサービス毎にどのように転送するかを決定する。

移動計算機は、接続切断プロトコルを用いて FSMH を探索する。次に移動計算機は、起動サービス情報から、発信するサービス、利用する MAPM 識別子、FAP 識別子などの情報を取得し、接続切断プロトコルを用いて SMH に登録する。SMH は、その情報を移動計算機管理情報として保持する。クライアントからの要求が来たとき、移動計算機管理情報から要求されるサービスに対応する MAPM 識別子と FAP 識別子を取得する。状態処理機構が持つ MAPM テーブルと FAP テーブルから識別子を用いて MAPM と FAP を決定し、これらを用いて情報発信を行なう。

クライアントからの要求を FSMH へ転送するかどうかを決定するために、移動計算機上の起動サービステーブルにサービス毎のフラグを保持する。SMH は、このフラグにより、FSMH への転送を決定する。転送する場合は、MAPM の転送のエントリを利用して、要求を転送する。

5.7.3 MAPM

利用制限するために、MAPM をレギュラー MAPM とゲスト MAPM に分離する。移動計算機が HSMH を利用する場合は、レギュラー MAPM およびゲスト MAPM を利用できる。FSMH を利用する場合、ゲスト MAPM だけの利用を許可する。レギュラー MAPM は、アプリケーション開発者が提供するオリジナルの MAPM であり、自由に作成できる。また、ゲスト MAPM は、よく利用されるアプリケーションや、TCP や UDP を利用した通信において移動計算機環境で一般的に用いられる処理を救うもので、すべての SMH と移動計算機で周知 (Well Known) しているものとする。

移動計算機が FSMH に接続している場合でも、クライアントからの要求は、まず HSMH に届くために、移動計算機が分断中は、レギュラー MAPM が処理する。このために、ゲスト MAPM の主な処理は、通信中にネットワークとの接続の状態が変化する状態の処理となる。具体的には、接続の状態を示す管理ステートにおいて、転送中断状態と転送中断状態から転送不可能状態に遷移する場合である。

WOR が提供するゲスト MAPM の例を以下に示す。

- 転送中断状態における MAPM の処理として、移動計算機との TCP コネクションが切断されても、クライアントとの TCP コネクションを保持する。移動計算機の通信が回復したとき、移動計算機との TCP コネクションを回復し、データ転送を再開する。TCP を利用した通信において一般に有効となる MAPM である。
- 通信中に転送不可能状態に遷移した場合、アプリケーションに依存する処理を提供する。これは、レギュラー MAPM に用意されるが、ゲスト MAPM では提供できない。このため、ゲスト MAPM は、レギュラー MAPM の処理を、FSMH から HSMH に要求を出し取得する。そしてクライアントへその取得した情報を転送する。

また、転送に利用する手段として以下の方法を実現する。

アプリケーションプロトコルを利用 アプリケーションプロトコルで転送コマンドが実装されている場合、そのプロトコルを利用し、クライアントの要求

5.7. 情報発信ツールキット WOR の設計

を HSMH から FSMH に転送する。例えば、HTTP では Location: ヘッダを用意し要求を転送する機構を備えている。

手動転送を利用 クライアントの受信者が手動で転送する方法で、転送する機構をアプリケーションが備えていない場合に用いる。システムは転送に必要な現在の移動計算機の接続先の情報などを提示する。例えば、インターネット携帯電話の場合、音声で現在の接続先の位置を受信者へ提示する。

5.7.4 FAP

利用制限するために、FAP もレギュラー FAP とゲスト FAP に分離する。移動計算機が HSMH を利用する場合、レギュラー FAP とゲスト FAP を利用できる。FSMH を利用する場合、ゲスト FAP だけの利用を許可する。また、ゲスト FAP は、すべての SMH と移動計算機で Well Known であるため、FSMH において、移動計算機は事前に利用する FAP を決定することができる。ゲスト FAP としては、移動計算機環境において有効なプロトコルスタックを実現する。

本システムが想定しているゲスト FAP の例を以下に示す。

- 移動計算機の通信が切断し、短時間で通信が回復する場合において、情報の転送を切断する前の地点から再開できるようにする。移動計算機が TCP を利用してデータを転送する場合は、クライアントとのコネクションを継続し、通信を再開する。
- 移動計算機の通信が WAN を対象とした通信の場合、移動計算機環境に適した TCP を利用する。LAN を対象とした通信の場合、UDP を基盤にした通信を実現する。

5.7.5 接続分断プロトコル

移動計算機が任意の SMH に接続、分断する時に、HSMH 及び FSMH に起動サービス情報を通知する必要がある。通知を受けた HSMH と FSMH は移動計算機管理情報を更新する。クライアントから、対象とする移動計算機上の情報の取得要求が到着した場合、移動計算機管理情報に対応する情報発信動作を行う。

第 5 章 移動計算機環境で情報発信を実現するツールキットの構築

以下に、接続動作と、切断動作について説明する。

接続動作 接続動作は、移動計算機における FSMH の探索と、HSMH と FSMH への登録の 2 つ手順から構成される。

分断動作 分断動作は HSMH, FSMH に対して、分断要求を送信するだけである。HSMH と FSMH は、資源を解放し移動計算機の転送可能状態を転送不可能状態に変更する。

5.8 情報発信ツールキット WOR の実装

HSMH と FSMH は同一の実装であり、移動計算機からは論理的に区別する。

移動計算機の移動に関しては、5.4.4 項と同様に SMH における IP エイリアス機能を利用している。一つのネットワークインタフェースに、SMH 自身の IP アドレスと、移動計算機のための IP アドレス (IIP:Immutable IP アドレス) を割り当てる。クライアントは、IIP アドレスを利用することで、常に固定の IP アドレスで移動計算機から情報を取得できる。クライアントからの要求は、HSMH の IIP アドレスに届く。HSMH に届いたパケットの IIP アドレスを見て対応する移動計算機を識別し、移動計算機の現在の IP アドレス (CIP:Current IP アドレス) を用いて HSMH は通信する。FSMH においては、自身のネットワークインタフェースに Alias したゲスト IP アドレス (GIP:Guest IP アドレス) を用意し、移動計算機が接続したときに割り当てる。FSMH に接続した場合、HSMH は IIP と GIP を対応づけ、FSMH は GIP と CIP を対応づける。

移動計算機が持つ起動サービス情報を表 5.3(a) に示す。自身が所属する HSMH 名と、提供するサービス情報を保持する。サービスで利用する Port No. と Protocol (TCP or UDP) でサービスの種類を示し、HSMH MAPM No., HSMH FAP No. で、そのサービスが HSMH で利用する MAPM と FAP を指定する。FSMH MAPM No., FSMH FAP No. で FSMH における MAPM と FAP を指定する。転送 flag は、移動計算機が FSMH に接続中において、クライアントからの要求の転送決定を示す。

SMH が持つ移動計算機管理情報を表 5.3(b) に示す。移動計算機の位置情報として、IIP, GIP, CIP を持ち、移動計算機における現在接続している SMH 名と

5.8. 情報発信ツールキット WOR の実装

表 5.3 情報管理テーブルの一覧

(a) 起動サービス情報

自分が所属する HSMH 名			
Port No.	Protocol	HSMH MAPM No.	HSMH FAP No.
転送 flag		FSMH MAPM No.	FSMH FAP No.
:	:	:	:

(b) 移動計算機管理情報

IP アドレス or GIP アドレス				
CIP アドレス				
接続している SMH 名		ネットワークとの接続の状態		
Port No.	Protocol	MAPM No.	FAP No.	転送 flag
:	:	:	:	:

(c) MAPM テーブル

1	MAPM 名
:	:
512	:
:	:

(d) FAP テーブル

1	FAP 名
:	:
512	:
:	:

第 5 章 移動計算機環境で情報発信を実現するツールキットの構築

ネットワークの接続の状態を保持する。また、移動計算機が提供しているサービス毎の情報を持つ。サービスの情報としては、Port No., Protocol (TCP or UDP), 及び、このサービスで利用する MAPM No., FAP No., 転送 flag がある。

MAPM の実装： SMH における状態処理機構は、提供できる MAPM の一覧として表 5.3(c) で示す MAPM テーブルを持つ。MAPM の識別子である MAPM No. と、その MAPM を示す MAPM 名で構成する。レギュラー MAPM とゲスト MAPM の識別は、MAPM No. で行なう。511 以下をレギュラー MAPM とし、512 以上をゲスト MAPM に割り当てている。移動計算機が指定する MAPM No. から、利用する MAPM を決定し、接続の状態に応じた処理を行う。また、要求を FSMH への転送を実現する forward エントリポイントを表 5.1 の MAPM のエントリポイントに追加し、転送機構を実現する。

FAP の実装： 移動計算機において、アプリケーションからの通信を通信処理機構に渡すために、移動計算機側に Socket Wrapper を導入する。Socket Wrapper はアプリケーションに対し通常のソケット API[37] と同一の API を提供する。Socket Wrapper から受け取った通信を、移動計算機が FAP テーブルから利用する FAP を決定し、その FAP を用いて移動計算機へ転送する。FAP テーブルを、表 5.3(d) に示す。FAP テーブルは、SMH における通信処理機構が保持し、MAPM と同様に 511 以下をレギュラーとし、512 以上を持つ FAP をゲストとしている。

5.8.1 接続分断プロトコル

移動計算機は、ネットワークとの接続分断時に、HSMH と FSMH に起動サービス情報を登録する。

接続動作は、FSMH の探索と、HSMH と FSMH の登録の 2 つがある。その手順を以下に示す。

1. DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) を用いて FSMH の情報を得る。DHCP がなければ、FSMH を探索するために、探索メッセージをブロードキャストする。ブロードキャストは同一セグメントに存在するホストしか探索できないが、中継ホスト (relay host) などを使用することで、他のセグメントに対しても探索が行える。FSMH はこのメッセージに対し

5.8. 情報発信ツールキット WOR の実装

て、自ホスト名を返答する。これにより移動計算機は返答のメッセージから FSMH を取得することができる。

2. 返答メッセージの FSMH 名と、移動計算機に登録してある HSMH 名が一致した場合、移動計算機は HSMH と FSMH を同一であると認識する。
3. FSMH が存在した場合、FSMH に GIP アドレス、CIP アドレス、および開始するサービスの情報 (Port No., Protocol, FSMH MAPM No., FSMH FAP No. 転送 flag) を登録する。
4. HSMH に CIP アドレス (FSMH が存在するなら GIP アドレス)、開始するサービスの情報 (Port No., Protocol, FSMH MAPM No., FSMH FAP No. 転送 flag)、および接続している SMH 名を登録する。

分断動作においては、資源を解放するために HSMH と FSMH に分断するメッセージを送信する。

5.8.2 動作例

図 5.13 に情報発信ツールキット WOR の動作例を示す。

図 5.13 は、SMH が持つ移動計算機管理情報と、移動計算機が持つ起動サービス情報、および接続分断プロトコルを用いて SMH に移動計算機の情報を登録した後の状態を示している。この例では、192.168.1.0/24 のセグメントに Mobile 1 と SMH A が存在し、192.168.2.0/24 のセグメントに Mobile 2 と SMH B が存在する。また、この環境における、MAPM テーブルを図 5.13 (a) に、FAP テーブルを図 5.13 (b) に示す。

Mobile 1 は、SMH A を HSMH として利用し、FSMH は存在しない。Mobile 2 は、SMH A を HSMH として利用し、SMH B を FSMH として利用している。この例において、クライアントが各移動計算機に要求した場合の流れを以下に示す。

Mobile 1 への要求

1. クライアントからの TCP を利用したポート番号 80 の要求が 192.168.1.2 に到着する。

第 5 章 移動計算機環境で情報発信を実現するツールキットの構築

2. 要求された移動計算機とサービスを解析する。
3. MAPM No. 1 と FAP No. 1 を取得し、MAPM テーブルと FAP テーブルが利用するライブラリ名を取得する。
4. 移動計算機の、転送可能状態なので、MAPM を用いて移動計算機の現在のアドレス 192.168.1.128 に要求を出す。

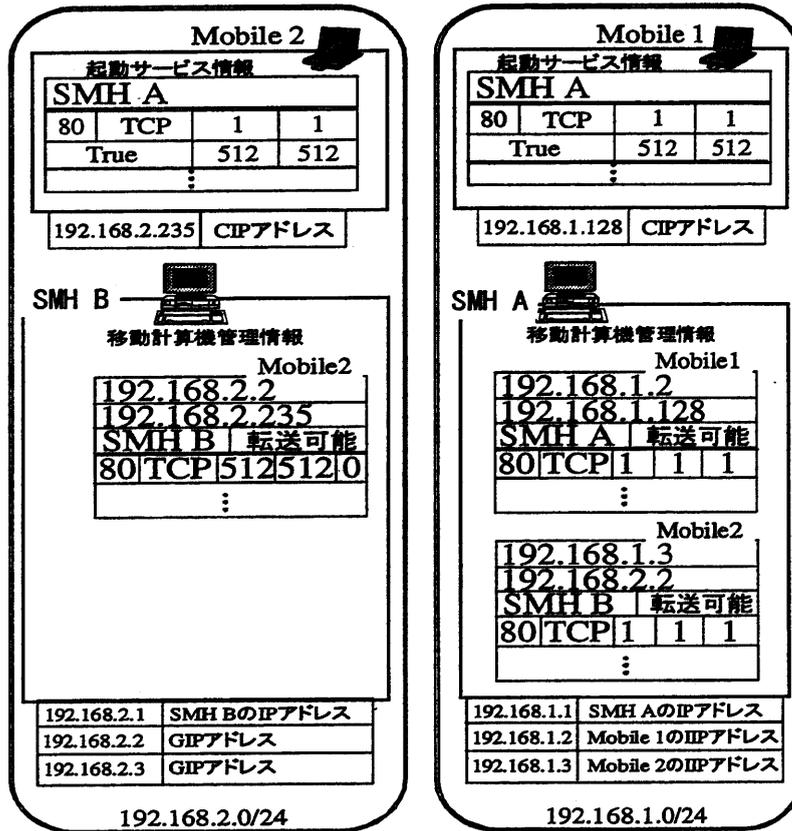
Mobile 2 への要求

1. クライアントからの TCP を利用したポート番号 80 の要求が 192.168.1.3 に到着する。
2. 要求された移動計算機とサービスを解析する。
3. 現在、FSMH として SMH B に移動計算機が接続し転送 flag が立っているので、MAPM No. 1 の MapmHttp.so の forward を利用して、192.168.2.2 に要求を転送する。
4. クライアントからの TCP を利用したポート番号 80 の要求が 192.168.2.2 に到着する。
5. 要求された移動計算機とサービスを解析する。
6. MAPM No. 512 と FAP No. 512 を取得し、MAPM テーブルと FAP テーブルから利用するライブラリ名を取得する。
7. 移動計算機の、転送可能状態なので、MAPM を用いて移動計算機の現在のアドレス 192.168.2.235 に要求を出す。

5.9 情報発信ツールキット WOR の評価

WOR のプロトタイプを作成し、実際にアプリケーションを構築することにより評価する。移動計算機とクライアントは Windows98/NT 上で実装し、SMH は FreeBSD 上で実装した。本章では、WOR をコード量と通信性能の側面から評価する。

5.9. 情報発信ツールキット WOR の評価



(a) MAPM テーブル

1	MapmHttp.so
2	MapmTvtel.so
512	MapmTcp.so
513	MapmUdp.so

(b) FAP テーブル

1	FapHttp.so
2	FapTvtel.so
512	FapTcp.so
513	FapUdp.so

図 5.13 管理テーブルの具体例

5.9.1 コード量の評価

第3章において経路を最適にして情報を発信を可能にする WWW 情報発信システム（旧システム）と同等の機能を持つシステム（新システム）を WOR を用いて作成し、コード量について評価する。

作成したシステムは、個人用途向けの WWW サーバを移動計算機上で利用し、クライアント上に通常の WWW ブラウザを使用する。移動計算機から移動先で取得したテキストや写真、及び現在撮影している動画をクライアントに発信できる。テキストや写真等は、HTTP を利用してクライアントへ提供する。このサービスは、蓄積型情報とし、HSMH を利用する。これにより、HSMH に移動計算機の情報が蓄積され、接続中にはその情報のキャッシュとして機能し、移動計算機との通信を削減できる。また、分断中は、最新の情報ではないが、そのキャッシュをクライアントへ提供し、サービスを継続する。動画においては、クライアントにおける外部アプリケーションを利用し、HTTP とは異なる UDP ベースのプロトコルを利用して実現している。このサービスは、非蓄積型情報とし、FSMH を介してクライアントに提供する。これにより、HSMH を必ず通る経路を避けることができ、遅延の少ない通信を実現する。

旧システムは既存の WWW システムに機能を追加する形で実装している。追加されたコード量は、固定ホスト側で 4051 行、モバイル側で 4655 行である。新システムでは、情報発信ツールキット WOR を用いて作成した MAPM のコード量は 631 行であった。プログラムの容易さを単純にプログラムの行数で比較はできないが、追加したコード量は、旧システムに比べて約 7% になっている。移動計算機環境のアプリケーションを容易に構築できることを示している。

5.9.2 通信効率の評価

5.9.1項で示したシステムを、情報発信ツールキット TAM と情報発信ツールキット WOR で作成し、これら 2つのシステムにおいて、移動計算機から動画を発信し、通信効率を評価する。

移動計算機から、動画（サイズ：160×120、カラー：24bit）をクライアントへ転送する。実験環境を図 5.14 に示す。実験では、動画を 1 分間転送し、転送し

5.9. 情報発信ツールキット WOR の評価

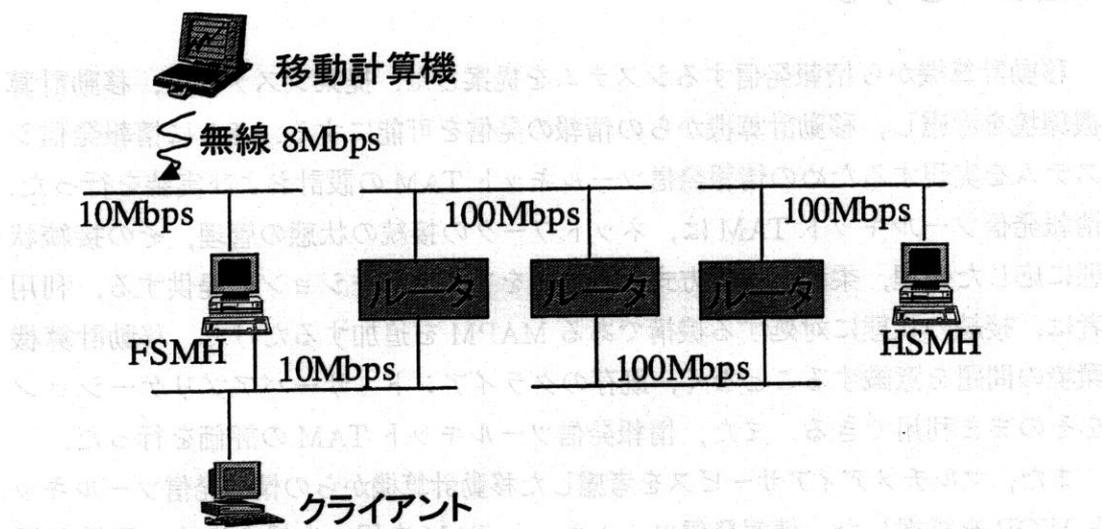


図 5.14 実験環境

表 5.4 動画の転送結果

情報発信ツールキット TAM	211 フレーム
情報発信ツールキット WOR	216 フレーム

たフレーム数を計測した。結果を表 5.4 に示す。情報発信ツールキット WOR で作成したシステムは、情報発信ツールキット TAM で作成したシステムよりも、多くのフレームを転送できることが確認できる。これは、情報発信ツールキット WOR で作成したシステムは、クライアント、FSMH および移動計算機の経路で動画を転送できるためである。情報発信ツールキット TAM では、HSMH を必ず通るために、HSMH までのルータの遅延、パケットの損失のために通信の効率が悪くなる。また、クライアント、HSMH および移動計算機の間インターネットを中継する場合、さらに効率は悪化すると考えられる。

5.10 むすび

移動計算機から情報発信するシステムを提案した。提案システムは、移動計算機環境を考慮し、移動計算機からの情報の発信を可能にする。さらに情報発信システムを実現するための情報発信ツールキット TAM の設計および実装を行った。情報発信ツールキット TAM は、ネットワークの接続の状態の管理、その接続状態に応じた処理、柔軟な通信方式等の枠組をアプリケーションに提供する。利用者は、接続の状態に対処する機構である MAPM を追加するだけで、移動計算機環境の問題を意識することなく、既存のクライアント・サーバアプリケーションをそのまま利用できる。また、情報発信ツールキット TAM の評価を行った。

また、マルチメディアサービスを考慮した移動計算機からの情報発信ツールキット WOR を提案した。情報発信ツールキット TAM を用いた場合には、冗長な通信経路の問題を持つ、このため、実時間をデータを扱うマルチメディアサービスでは、遅延など問題のために、品質の良いサービスを提供できない。このため情報発信ツールキット WOR では、情報発信ツールキット TAM を拡張し、任意の場所でマルチメディアを扱うサービスを効率的に提供できるようにした。具体的には、組織毎のネットワークに SMH を置くモデルを考え、移動計算機は接続先の SMH を利用した。さらに、すべての情報発信を接続先の SMH を利用するのではなく、発信する情報の種類を考慮し、移動計算機の所属する SMH と接続先の SMH を併用し、マルチメディアを扱うサービスに対処した。この機能を実現する WOR の設計を示し、そのプロトタイプの実装について述べた。

第 6 章

結論

移動計算機に関するネットワークの研究は、移動先からのネットワークを利用した情報取得に関するものが多い。しかしながら、情報取得ならびに情報編集の現場である移動先において、最新の情報を直接受信者に提供することが可能となっており、移動先での情報発信も重要な検討課題である。本研究では、分散環境において移動計算機を一時的な端末としてだけの利用形態を拡張し、移動先からの情報を提供する端末とする新しい利用形態を提案した。具体的には、WWWを利用した移動計算機から情報発信システムの提案、実装、および評価を行なった。また、通信帯域を考慮して移動計算機からの情報を効率良く発信する接続制御機構の提案、実装、および評価を示した。さらに、種々のアプリケーションにおいて、移動計算機環境で情報発信を可能にするためのツールキットの提案、実装、および評価を行なった。

本章では、本研究で得られた成果をまとめ、今後の課題について述べる。

6.1 本研究で得られた成果

移動計算機からの情報発信ソフトウェアアーキテクチャをテーマとした本研究において、得られた成果は以下の通りである。

WWW を利用した移動計算機から情報発信システムの構築（第 3 章）

WWW を用いた移動計算機からの情報発信システムを提案した。本システムの基本発信システムとして、文字だけでなく画像、音声も発信できる WWW システムを採用した。本システムは移動計算機上のデータを移動計算機の場所や、ネットワークとの接続状態に関係なく情報発信でき、いつでもどこでも最新のデータを提供できるシステムである。移動計算機の分断、移動、データの種類に着目して効率的な発信をするために、移動計算機からの情報発信形態を、移動計算機の接続状態とそこから発信するデータの種類によって分類し、分類した情報発信形態を現在の状況に応じて変更する。移動計算機の本断に対応するために、移動計算機の接続状態を分類した。またデータを効率的に発信するために、データの種類のよって蓄積型データと非蓄積型データに分類した。蓄積型データにおいては同期型と非同期型の発信方式を提案し、同期型は非蓄積型データと同じ優先度で発信する。非同期型は同期型とは異なり、非蓄積型データを優先する発信方式である。非蓄積型データの発信においては、通信経路の冗長な部分と蓄積を省く情報発信形態を用いる。これによりリアルタイムデータにも対応できる。本システムを実際に構築し、実験によりシステムを評価しその性能を確かめた。

また、移動計算機との通信帯域を有効利用するために階層構造を持つキャッシュシステムを提案し、移動計算機から情報発信システムへ適用について示した。本キャッシュシステムでは、キャッシュするデータの単位を、データを構成する階層としている。これにより、一つのデータをすべてキャッシュしなくとも、データを構成する階層の低位の階層だけをキャッシュするだけで、低品質であるがそのデータを提供できる。その結果、移動計算機上のより多くのデータをキャッシュでき、移動計算機の通信回線が分断された場合でも利用者に低品質であるが意味を持ったデータを提供できる。また分断状態でない場合でも、所属 WWW サー

6.1. 本研究で得られた成果

バにキャッシュしている階層を移動計算機から転送しなくて済むため、その分の転送量を削減できる。

帯域の狭いネットワーク環境を考慮した情報発信機構の構築（第4章）

移動計算機情報発信システムにおける移動計算機とアクセスポイント間の通信帯域の問題点を検討し、その問題を解決する情報発信機構を提案した。本発信機構は、移動計算機の通信帯域が狭い場合においても、その帯域を効率良く使用し、受信者の要求をできる限り満足して情報を発信する。また、提案する機構は様々なネットワークを利用する移動計算機環境を考慮しネットワークに依存しないアプリケーション層で実現可能である。具体的にはコネクションの数を最適に通信できるよう制御し、データに設定された優先度に従い情報を発信する。本提案方式のプロトタイプを実装し、その有効性を実験により示した。実験では Ethernet と無線 LAN の2種類のネットワークを用いて、発信機構で重要となる制御パラメータ (α と M) を解析した。結果を以下に示す。

- 蓄積型データの更新時間は、Ethernet では M の値が、無線 LAN では α と M の値がシステム性能に大きく影響する。また、Ethernet と無線 LAN における α と M の最適値を確認し、無線 LAN では、 α と M の値を考慮しない時に比べ、 α と M の値を最適にすることにより 40% の性能が向上した。
- 非蓄積型データのスループットにおいては、Ethernet では、 α と M に関係なく、要求されたスループットは満たされている。無線 LAN では、 α が大きい場合、要求されたスループットは満たされるが、 α が小さくなると、最適コネクション数が頻繁に変動するオーバーヘッドにより、そのスループットを満たすことができない。

種々のアプリケーションを考慮したツールキットの構築（第5章）

移動計算機から情報発信するシステムを提案した。提案システムは、移動計算機環境を考慮し、移動計算機からの情報の発信を可能にする。さらに情報発信シ

システムを実現するための情報発信ツールキット TAM の設計および実装を行った。情報発信ツールキット TAM は、ネットワークの接続の状態の管理、その接続状態に応じた処理、柔軟な通信方式等の枠組をアプリケーションに提供する。提供者は、接続の状態に対処する機構である MAPM を追加するだけで、移動計算機環境の問題を意識することなく、既存のクライアント・サーバアプリケーションをそのまま利用できる。また、ツールキット TAM の評価を行い、ツールキット TAM 上で実現されるコネクション数制御機構の有効性を示した。

また、情報発信ツールキット TAM を拡張した情報発信ツールキット WOR を提案した。情報発信ツールキット TAM では、任意の接続先からの情報発信を考慮していないため、接続先によっては大きな遅延が発生するなどの通信効率が悪くなる可能性がある。画像や音声などの実時間データを扱うマルチメディアサービスを提供するアプリケーションでは、この問題が深刻となる。情報発信ツールキット WOR では、この問題を解決し、情報発信マルチメディアを扱うサービスを効率的に提供できる。実験を通してその有効性を示した。

6.2 今後の課題

今後の課題としては以下のものを考えている。

地理的位置情報を用いたアプリケーションの構築

情報発信ツールキットを基盤にし地理的位置情報を利用したアプリケーションを構築する。受信者は地理的位置情報から移動計算機を特定し、移動計算機から移動先の様々な情報を取得する。これにより、奈良県の生駒市の交差点の渋滞情報を取得したり、京都の金閣寺の観光情報を得たりなどの、ある場所の実時間情報を受信者へ提供できる。

本アプリケーションは、情報発信ツールキットとは別に位置管理ホストを準備する。位置管理ホストは移動計算機の現在の地理的な位置と提供できるサービスを管理する。実際の情報発信は、位置管理ホストを利用せず移動計算機から直接行なう。

6.2. 今後の課題

情報発信ツールキットと Mobile IP との共存

情報発信ツールキットにおいて、移動計算機の移動などの問題を Mobile IP を利用し解決する。ネットワークの階層モデルにおいて情報発信ツールキットはネットワーク層である Mobile IP の上に存在し、移動計算機のネットワークとの接続の状態を管理する層として開発する。

上記システムを実現するには、情報発信ツールキットからの変更と Mobile IP からの変更が必要となる。互いに情報を交換することができる通信機構が必要となる。

セキュリティ

本研究で提案したシステムを実用に向けて開発している。しかし、移動計算機のソフトウェアは、固定計算機とは違いセキュリティを考慮していないものが多い。本システムを実用するにあたり、セキュリティの確保は避けられない問題である。考慮するセキュリティとしては、以下のものを考えている。

- DoS(Denial of Service) 攻撃
- 盗聴対策
- 認証技術

現在、以上のセキュリティに関して多くの研究がある。特に Mobile IP をターゲットにした移動計算機上の研究がある。これから本システムにおいて、Mobile IP を利用することにより、移動計算機の移動の問題を解決するだけでなく、それが持つセキュリティ技術を利用することができる。また、Mobile IP が支援しないセキュリティに関しては、本システムが支援する必要がある。

アドホックネットワークへの適応

アドホックネットワークに関する具体的な機能について考察していない。今後は、アドホックネットワークにおける移動計算機からの情報発信環境の実現を検討する。アドホックネットワークにおいては、自律分散システムが非常に要求さ

れる。本研究で提案したシステムを、ソフトウェアアーキテクチャおよびシステムが提供する機能を再検討する必要がある。

移動計算機の性能に応じたアーキテクチャ

移動計算機には、非常に小型の携帯端末から、デスクトップ型の計算機と同等の性能を持つオールインワン型の移動計算機まで様々な性能を持つ。本研究で提案したシステムで、これらすべての移動計算機を考慮した情報発信は現在考慮していない。このため、移動計算機の性能に柔軟に適應するアーキテクチャを検討し、最適な環境を構築する情報発信システムを構築する必要がある。

移動計算機全般の資源の管理

本研究で示した、移動計算機環境の問題として、移動計算機のネットワークとの接続の状態がある。今後は、ネットワークの資源の状態を考慮するだけでなく、バッテリー等のその他の移動計算機全般の資源を考慮できるシステムに拡張する。またそれに通信方式や状態の処理方式を適應させる。

情報発信ポリシーの変更

情報発信における発信方針を提供者が決定できる柔軟な機構を追加する。提供者によっては非蓄積型データよりも蓄積型データを優先したい場合が存在し、柔軟なポリシーに適應できるように拡張する。しかし、すべてのデータに最も高い優先度を設定すると従来採用していた発信機構と同じ問題が生じるので、受信者の要求を調停する機構を検討しなければならない。

謝辞

本研究を進めるにあたり、終始温かい御指導を賜り、また研究上の多くの機会を頂きました奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科の福田晃教授に心より感謝の意を表します。また、本論文をまとめるにあたり、奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科の山本平一教授ならびに情報科学センターの湊小太郎教授の貴重な御助言と御指導を賜りましたことをここに述べ、両教授に深く感謝の意を表します。

香川大学工学部信頼性情報システム工学科の最所圭三教授には、奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科助教授当時に、福田教授とともに御指導を賜り、また本研究に関する細部にまで及ぶ議論を頂きましたことをここに述べ、心より感謝の意を表します。

奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科福田研究室の片山徹郎助手、中西恒夫助手、株式会社ハーネス総合技術研究所の佐藤健哉博士、九州大学大学院経済学研究科の稲田文武助手、富士通株式会社ネットワーク事業部の安田修氏、福田研究室モバイルグループのメンバーの方々には、本研究の議論に貴重な時間を割いて頂きました。これにより多くの知見が得られ見識を広めることができましたことをここに述べ、深く感謝致します。

日本電信電話株式会社京都支店法人営業本部の伊藤正之部長には、研究のみならず公私ともども御助言頂き、また講演の機会を頂きました。これにより多くの知見が得られ研究に関して多くの刺激を得ることができました。深く感謝致します。

奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科福田研究室の方々には、日頃の学生生活を共にし、研究上の課題を共にご検討頂き有益な御意見を頂きました、深く感謝致します。

最後になりましたが、長期間の学生生活を援助して頂いた家族に感謝致します。

参考文献

- [1] 郵政省: 第三世代移動通信システム (IMT-2000) の導入に向けて, 郵政省報道発表資料,
<http://www.mpt.go.jp/pressrealse/japanese/denki/991210j603.html>, 1999.
- [2] Pitoura, E. and Samaras, G.: Data Management for Mobile Computing, Kluwer Academic Publishers, 1998.
- [3] Berners-Lee T., Masinter L., and McCahill M.: Uniform Resource Locators (URL), RFC 1738, 1994.
- [4] Fox A. and Brewer A. E.: Reducing WWW Latency and Bandwidth Requirements by Real-Time Distillation, Proc. the 5th Int'l World Wide Web Conference, 1996.
- [5] Fox A., Gribble S. S., Brewer A. E., and Amir E.: Adapting to Network and Client Variability via On-Demand Dynamic Distillation, Proc. the ASPLOS-VII, pp.160-170, 1996.
- [6] Housel C. B., Samaras G., and Lindquist B. D.: WebExpress: A System for Optimizing Web Browsing in a Wireless Environment, Proc. the Second Annual Int'l Conf. on Mobile Computing and Networking (MOBICOM), pp.108-106, 1996.
- [7] Perkins C.: IP Mobility Support, RFC2002, 1996.
- [8] CMU: Monarch Project Mobile and Wireless Networking,
<http://www.monarch.cs.cmu.edu>.

参考文献

- [9] 寺岡 文男： 移動透過な通信を実現するプロトコル, 電子情報通信学会誌, Vol.80, No.4, pp.344-349, 1997.
- [10] Johnson D. and Perkins C.: Route Optimization in Mobile IP , Internet Draft, draft-ietf-mobileip-optim-09.txt, 2000.
- [11] RealNetworks: <http://www.real.com>.
- [12] 福田 晃：並列オペレーティングシステム, コロナ社, 1997.
- [13] Nancy J. Y., Robert E. M. 著, 藤本 訳：Web サーバ完全技術解説, 日経 BP, 1997.
- [14] Squid Internet Object Cache: <http://squid.nlanr.net>.
- [15] Berners-Lee T., Fielding R., and Frystyk H.: Hypertext Transfer Protocol – HTTP/1.0, RFC 1945, 1996.
- [16] Fielding R., Gettys J., Mogul J., Frystyk H., and Berners-Lee T.: Hypertext Transfer Protocol – HTTP/1.1, RFC 2068, 1997.
- [17] NCSA httpd: <http://hoohoo.ncsa.uiuc.edu/docs/Overview.html>.
- [18] ISO/IEC JTC1 10918 ITU-T Rec. T.81, Information technology: Digital Compression and Coding of Continuous-tone Still Images, Requirements and guidelines, 1994.
- [19] Ghanbari, M.: Two-Layer Coding of Video Streams for VBR Networks, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol.7, No.5, pp.771-781, 1989.
- [20] Tanenbaum S. A.: Distributed Operating Systems, Prentice-Hall, 1995.
- [21] 富永, 石川：標準 ATM 教科書, 株式会社アスキー, 1995.
- [22] Saito, H.: Teletraffic Technologies in ATM Networks., Artech House, 1994.

参考文献

- [23] Prycker, M.: Asynchronous Transfer Mode-solution for broadband ISDN-, Ellis Horwood, 1991.
- [24] Pitsillides, A., Ioannou, P., and Tipper, D.: Integrated Control of Connection Admission, Flow Rate, and Bandwidth for ATM based Networks, Proc. INFOCOM'96, pp.785-794, 1996.
- [25] Jamin, S., Shenker, J.S., and Danzig, P.B.: Comparison of Measurement-based Admission Control Algorithms for Controlled-Load Service, Proc. INFOCOM'97, pp.973-980, 1997.
- [26] 中野, 岩寄, 中原, 竹内: Ethernet 上で QoS を保証する通信方式の設計と実装. 情報処理学会コンピュータシステムシンポジウム, pp.35-42, 1997.
- [27] Floyd, S. and Jacobson, V.: Link-sharing and Resource Management Models for Packet Networks, IEEE/ACM Trans. on Networking, Vol.3 No.4, pp.365-386, 1995.
- [28] Jing, J., Helal, A. S., and Elmagarmid, A.: Client-Server Computing in Mobile Environments, ACM Computing Surveys, Vol.31, No.2, pp.117-157, 1999.
- [29] Noble, D.B., Satyanarayanan, M., Narayanan, D., Tilton, E.J., Flinn, J., and Walker, R.K.: Agile Application-Aware Adaptation for Mobility, Proc. the 16th ACM Symp. on Operating System Principles, pp.276-287, 1997.
- [30] Qualcomm Inc.: Eudora Email, <http://www.eudora.com>.
- [31] Kistler, J.J. and Satyanarayanan, M.: Disconnected Operation in the Coda File System, Operating System Review, Vol.25, No.5, pp.213-225, 1991.
- [32] Kistler, J.J.: Disconnected Operation in a Distributed File System, ACM Distinguished Theses, 1996.

参考文献

- [33] Joseph, D.A., Tauber, A.J., and Kaashoek, F.M.: Mobile Computing with the Rover Toolkit, *IEEE Trans. Computers*, Special issue on Mobile Computing, Vol. 46, No. 3, pp.337-352, 1997.
- [34] Brewer, E., Katz, R., Chawathe, Y., Gribble, S., Hodes, T., Nguyen, G. Stemm, M. Henderson, T., Amir, E., Balakrishnan, H., Fox, A., Padmanabhan, V., and Seshan, S.: A Network Architecture for Heterogeneous Mobile Computing, *IEEE Personal Commun.*, Vol. 5, No. 5, pp.8-24, 1998.
- [35] Saisho, K.: Highly Reliable Multimedia Data Transmission with Redundancy, *Advanced Database Systems for Integration of Media and User Environments '98*, Eds. Y.Kambayashi et al., World Scientific, pp.61-65, 1998.
- [36] Droms R.: Dynamic Host Configuration Protocol, RFC2131, 1997.
- [37] Stevens, R.W.: *UNIX Network Programming*, Prentice Hall PTR Vol.1, Second Edition, 1998. (篠田陽一訳:UNIX ネットワークプログラミング 第2版, 株式会社トッパン, 1999).

著者研究業績

本論文に関連する研究業績

学術論文

- [1] Tagashira S., Nagatomo K., Saisho K., and Fukuda A.: An Information Announcement System based on WWW for Mobile Computers, IEICE Trans. Fundamentals, Vol.E81-A, No.7, pp.1387-1395, 1998. 第14回電気通信普及財団賞テレコムシステム技術学生賞入賞. 本論文第3章に関連する内容.
- [2] 田頭茂明, 稲田文武, 最所圭三, 福田晃: 移動計算機のための帯域の狭いネットワーク環境を考慮した情報発信機構, 情報処理学会論文誌, Vol.41, No.2, pp.344-353, 2000. 本論文第4章に関連する内容.
- [3] 田頭茂明, 安田修, 最所圭三, 福田晃: 移動計算機情報発信環境のための Toolkit の設計と実装, 情報処理学会論文誌, Vol.41, No.6, pp.1640-1650, 2000. 本論文第5章に関連する内容.
- [4] 田頭茂明, 最所圭三, 福田晃: 移動計算機からマルチメディア情報を効率的に提供するツールキット WOR の設計と実装, 情報処理学会論文誌 (投稿中). 本論文第5章に関連する内容.

国際会議

- [1] Tagashira S., Nagatomo K., Saisho K., and Fukuda A.: Design and Evaluation of a Mobile Information Announcement System Using WWW, *Proc.*

- the IEEE Third Int'l Works. on Systems Management (SMW'98)*, pp.38-47, 1998. 本論文第 3 章に関連する内容.
- [2] Tagashira S., Saisho K., Inada F., and Fukuda A.: A Copy Update Mechanism for a Mobile Information Announcement System — Transmitting Non-storage Type Resources with Redundancy —, *Proc. Int'l Works. on Data Warehousing & Data Mining, Mobile Data Access, and New Database Technologies for Collaborative Work Support & Spatio-Temporal Data Management (DWD/MDA/NewDB)* (Y.Kambayashi et al. Eds.: *Advances in Database Technologies, Lecture Notes in Computer Science 1552*, pp.266-277, Springer), pp.261-272, 1998. 本論文第 4 章に関連する内容.
- [3] Tagashira S., Inada F., Saisho K., and Fukuda A.: Design and Implementation of a Copy Update Mechanism on a Mobile Information Announcement System, *Proc. the 1998 Int'l Conf. on Parallel and Distributed Systems (ICPADS'98)*, pp.172-179, 1998. 本論文第 4 章に関連する内容.
- [4] Tagashira S., Yasuda O., Saisho K., and Fukuda, A.: Adapting a Mobile Information Announcement System for Network Connectivity, *Proc. the 1999 Int'l Conf. on Parallel and Distributed Processing Techniques and Applications (PDPTA'99)*, pp.970-976, 1999. 本論文第 5 章に関連する内容.
- [5] Tagashira S., Inada F., Saisho K., and Fukuda A.: Design and Evaluation of an Information Announcement Mechanism for Mobile Computers, *Proc. the First Int'l Conf. on Mobile Data Access (MDA'99)* (H.V. Leong et al, Eds.: *Mobile Data Access, Lecture Notes in Computer Science 1748*, Springer), pp.135-145, 1999. 本論文第 4 章に関連する内容.

シンポジウム (査読あり)

- [1] 田頭茂明, 片山徹郎, 最所圭三, 福田晃: 移動計算機のための WWW 情報発信システムの構築, 情報処理学会コンピュータシステムシンポジウム論文集, pp.17-24, 1997. 本論文第 3 章に関連する内容.

著者研究業績

- [2] 田頭茂明, 稲田文武, 最所圭三, 福田晃: 移動計算機情報発信環境におけるキャッシュの更新方式の性能評価, 情報処理学会マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO) シンポジウム論文集, pp.249-256, 1998. 本論文第4章に関連する内容.
- [3] 稲田文武, 野口大輔, 田頭茂明, 最所圭三, 福田晃: 移動計算機の情報発信環境におけるデータ構造を考慮したキャッシュシステムの実装, 情報処理学会マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO) シンポジウム論文集, pp.265-272, 1998. 本論文第3章に関連する内容.
- [4] 田頭茂明, 稲田文武, 最所圭三, 福田晃: 通信量が制限された環境における移動計算機情報発信方式, 情報処理学会コンピュータシステムシンポジウム論文集, pp.33-40, 1998. 本論文第4章に関連する内容.
- [5] 田頭茂明, 安田修, 最所圭三, 福田晃, ネットワークの接続の状態を考慮する移動計算機情報発信システム, 情報処理学会マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO) シンポジウム論文集, pp.133-138, 1999. 本論文第5章に関連する内容.
- [6] 田頭茂明, 最所圭三, 福田晃: 移動計算機における情報発信システム及び情報発信のための Toolkit について, 情報処理学会コンピュータシステムシンポジウム論文集, pp.81-88, 1999. 本論文第5章に関連する内容.
- [7] 田頭茂明, 最所圭三, 福田晃: 移動計算機情報発信環境のための Toolkit の評価, 情報処理学会マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO) シンポジウム論文集, pp.619-623, 2000. 本論文第5章に関連する内容.

研究会

- [1] 田頭茂明, 片山徹郎, 最所圭三, 福田晃: 移動計算機のための WWW 情報発信システムの構築 -高負荷時における複製の利用-, 情報処理学会モバイルコンピューティング研究会 3-8, pp.39-44, 1997. 本論文第3章に関連する内容.

著者研究業績

- [2] 田頭茂明, 稲田文武, 最所圭三, 福田晃: 移動計算機情報発信環境におけるキャッシュの更新方式について, 情報処理学会 OS 研究会 98-OS-78, pp.97-104, 1998. 本論文第 4 章に関連する内容.
- [3] 稲田文武, 野口大輔, 田頭茂明, 最所圭三, 福田晃: 移動計算機の情報発信環境におけるデータ構造を考慮したキャッシュシステム, 情報処理学会モバイルコンピューティング研究会 98-MBL-5, pp.35-40, 1998. 平成 10 年度情報処理学会モバイルコンピューティング研究会優秀研究報告賞受賞. 本論文第 3 章に関連する内容.

全国大会

- [1] 田頭茂明, 稲田文武, 最所圭三, 福田晃: 通信量が制限された環境における移動計算機情報発信方式-非蓄積型リソース発信の性能評価-, 情報処理学会第 57 回全国大会講演論文集 Vol.3, pp.519-592, 1998. 本論文第 4 章に関連する内容.
- [2] 稲田文武, 田頭茂明, 佐藤健哉, 最所圭三, 福田晃: 移動計算機環境における階層型データのためのキャッシュシステム, 情報処理学会第 57 回全国大会, Vol.3, pp.589-590, 1998. 本論文第 3 章に関連する内容.

著者研究業績

その他の研究業績

国際会議

- [1] Ariki Y., Tagashira S., Nishijima M.: Speaker Recognition and Speaker Normalization by Projection to Speaker Subspace, Proc. the 1996 IEEE Int.l Conf. on Acoustics, Speech and Signal Processing, sp9.1, pp.319-322, 1996.
- [2] Ariki Y., Tagashira S.: An Enquiring System of Unknown words In TV News by Spontaneous Repetition - Application of Speaker Normalization by Speaker Subspace Projection -, Proc. the 4th Int.l Conf. on Spoken Language Processing, pp.993-996, 1996.

シンポジウム (査読あり)

- [1] 稲田文武, 田頭茂明, 佐藤健哉, 最所圭三, 福田晃: ストリーミングメディアにおける階層型データのためのキャッシュシステム, 情報処理学会マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO) シンポジウム論文集, pp.309-314, 1999.
- [2] 伊藤英明, 松浦勝海, 田頭茂明, 佐藤健哉, 最所圭三, 福田 晃: OMUSUBIシステムによる Ad Hoc ネットワークでのマルチキャスト通信について, 情報処理学会マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO) シンポジウム論文集, pp.205-210, 2000.
- [3] 森重 孝, 田頭茂明, 佐藤健哉, 最所圭三, 福田 晃: 複数の通信メディアを利用した階層型データの効率的な転送方式の評価, 情報処理学会マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO) シンポジウム論文集, pp.277-282, 2000.

研究会

著者研究業績

- [1] 田頭茂明, 有木康雄: ニュース音声中の語彙反復による情報検索 一部分空間射影に基づく話者正規化の応用一, 情報処理学会音声言語情報処理研究会 SLP96-10-18, pp.99-104, 1996.
- [2] 田頭茂明, 有木康雄: 部分空間射影による話者正規化を用いた不特定話者HMM, 電子情報通信学会音声研究会 SP95-98, pp.31-38, 1995.
- [3] 田頭茂明, 西島政幸, 有木康雄: 話者部分空間への写像による話者認識と話者正規化, 電子情報通信学会音声研究会 SP95-28, pp.25-32, 1995.
- [4] 長谷川創一, 田頭茂明, 佐藤健哉, 最所圭三, 福田晃: 複数の通信メディアを利用した階層型データの効率的転送の実装モデル, 情報処理学会 OS 研究会, 2000-OS-83, pp.55-60, 2000.

全国大会

- [1] 田頭茂明, 有木康雄: 話者部分空間への写像に基づく話者正規化の複数話者に対する有効性, 日本音響学会秋期研究発表会 3-2-8, pp.121-122, 1995.
- [2] 田頭茂明, Nicholas Costen, 赤松茂: パターンの主成分分析にもとづく顔画像検索システムの構築, 電子情報通信学会総合大会, 1997.