

移動体に対する問合せ処理方式に関する研究

1997年

柴田 一

内容梗概

本論文は、筆者のモバイルコンピューティング環境における問合せ処理方式に関する研究成果をまとめたものである。

近年、パーソナルコンピュータの普及とインターネット利用の日常化によって、コンピュータを単体で使用するのではなく、ネットワークを通じてコンピュータを利用することがさかんに行われている。このようななかで、通信技術とりわけ無線通信技術の進歩と、コンピュータのハードウェア技術の進歩による携帯情報端末の小型高性能化により、移動するコンピュータとネットワークを構成するモバイルコンピューティングが注目されている。そこで本論文では、モバイルコンピューティング環境において、移動するコンピュータに対する問合せ処理に関する問題について考察する。特に、効率の良い問合せ処理方式を提案し、その性能解析を行う。

本論文は、全6章から構成される。まず第1章で序論を述べ、第2章では複数の移動ホストに対する問合せ処理方式について論じる。第3章では、適応型の問合せ処理方式について考察し、新たな方式を提案する。第4章では、第3章で提案した適応型問合せ処理方式に関するシミュレーション実験による性能評価について述べ、更に第5章では、新たな適応型の問合せ処理方式について解析式による性能解析を行う。最後に第6章では、本論文の結論を述べる。以下に各章の概要を述べる。

第1章の序論では、本論文の目的と位置付けを明確にする。本論文を通じて用いるモバイルコンピューティング環境のモデルについて説明し、本論文が用いている5種類の基本的な移動通知方法について説明する。

第2章では、モバイルコンピューティング環境における問合せ処理に関して、特に複数の移動ホストを同時に問合せ対象とする場合について、5種類の問合せ処理方式の性能評価を行う。問合せの種類、ネットワークトポロジー、移動ホストの移動頻度、問合せの発生頻度、問合せ対象となる移動ホストサーバ数や移動ホスト数

等のネットワークパラメータに応じて、5種類の間合せ処理方式のうちどの方式が
間合せ処理に関するコストの期待値を最小にするかを示す。更に、間合せ対象とな
る移動ホストサーバ数が最適となる間合せ処理方式に及ぼす影響について明らかに
する。

第3章では、モバイルコンピューティング環境において、移動ホストが稼働し
ている場所を尋ねる存在間合せについて考察する。特に、移動ホストの移動を感知
した際に移動ホストの位置を管理するための移動通知方法や、移動ホストへの間合
せ処理を行うための間合せ処理方法を、ネットワーク全体のトラフィックを軽減する
ためにいくつかの方法のなかから動的に選択できるような適応型の間合せ処理方式
を提案する。また、これらの方法をネットワーク条件等に基づいて動的に切り換え
る場合の、切換えの選択を行う指針を解析的に示す。

第4章では、第3章で提案した適応型間合せ処理方式についてシミュレーション
実験による性能評価を行い、広範囲のシステム条件のもとで提案した適応型間合せ
処理方式が効果的に稼働することを示す。

第5章では、第3章で提案した適応型間合せ処理方式をもとに、より現実的な適
応型の間合せ処理方式を提案し、その性能解析をマルコフ連鎖を用いることにより
行う。また、性能解析においては、より現実に近い状況を反映するため、システム
全体のトラフィックから個々の移動ホストに発生するトラフィックを統計的手法により
推定する。その上で、適応型の間合せ処理方式が広範囲のシステム条件で有効であ
ることを明らかにする。

最後に、第6章では本研究で得られた成果を要約し、今後に残された課題につい
て述べる。

目次

1 序論	7
1.1 背景と目的	7
1.2 モバイルコンピューティング環境のモデル	8
1.3 移動通知方法	11
1.4 本論文の構成	16
2 複数の移動体に対する間合せ処理	17
2.1 まえがき	17
2.1.1 複数の移動体に対する間合せ処理のモデル	18
2.2 移動ホストへの間合せ処理	19
2.3 性能評価	21
2.3.1 間合せ対象の移動ホスト数と移動ホストサーバ数が等しい場合	23
2.3.2 間合せ対象の移動ホスト数と移動ホストサーバ数が必ずしも 等しくない場合	31
2.4 間合せ対象ホストサーバ数が及ぼす影響	32
2.4.1 格子状および2分木トポロジーの場合	33
2.4.2 間合せ移動比が十分小さい場合	35
2.4.3 間合せ移動比が十分大きい場合	35

2.5	むすび	37
3	移動体に対する適応型問合せ処理方式	41
3.1	まえがき	41
3.2	モバイルコンピューティング環境における適応型問合せ	42
3.2.1	移動検出時の移動ホストサーバの動作	43
3.2.2	問合せに対する問合せ処理サーバの動作	43
3.2.3	問合せに対するデフォルトサーバの動作	45
3.2.4	問合せに対する移動ホストサーバの動作	46
3.2.5	問合せ手法のフロー	46
3.3	コスト評価	46
3.3.1	問合せ処理にかかわるコスト	49
3.3.2	移動通知にかかわるコスト	50
3.3.3	移動間隔に発生するコスト	50
3.4	性能評価	52
3.5	むすび	57
4	適応型問合せ処理方式の性能評価	61
4.1	まえがき	61
4.2	シミュレーション実験・モデル	62
4.2.1	問合せ処理にかかわるコスト	63
4.2.2	移動通知にかかわるコスト	64
4.2.3	移動間隔に発生するコスト	64
4.3	シミュレーション実験	64
4.3.1	シミュレーション実験の実行環境の設定	65

4.3.2	シミュレーション実験結果	66
4.4	むすび	75
5	適応型問合せ処理方式の性能解析	77
5.1	まえがき	77
5.2	移動ホストサーバの移動検出時の動作	78
5.3	サーバの状態	79
5.3.1	問合せ処理サーバの状態	79
5.3.2	デフォルトサーバの状態	81
5.4	性能解析	83
5.4.1	NNのみ選択する場合	86
5.4.2	SDNとWDNとNNから選択する場合	87
5.4.3	SBNとWBNとNNから選択する場合	89
5.4.4	その他の場合	91
5.4.5	数値例	95
5.5	むすび	98
6	結論	101
6.1	本論文のまとめ	101
6.2	今後の研究課題	103

第 1 章

序論

1.1 背景と目的

ハードウェア技術と無線通信技術の発達により、コンピュータのユーザは、旧来の固定ネットワークに接続されているコンピュータと同様に、ネットワーク上を移動しているコンピュータともデータをやりとりすることができるようになった。このような環境をモバイルコンピューティング環境とよぶ。モバイルコンピューティング環境において、ネットワーク接続を維持したまま移動できるコンピュータを移動ホスト (MH: Mobile Host)[9],[11] とよぶ。移動ホストの位置を管理するために旧来の固定ネットワークよりもネットワークにかかる負荷が増えるにもかかわらず、コンピュータのユーザはモバイルコンピューティング環境においても移動ホストが固定ネットワークに接続されている場合と同じ性能、使い易さを求める。こういった要求を満たすために、モバイルコンピューティング環境では固定ネットワークと変わらない性能を引き出せるような通信プロトコルが必要となる。

モバイルコンピューティング環境におけるネットワーク層のルーティングプロトコルに関しては、IP を基本としたいくつかのプロトコルが提案され、その性能解析が

行われており [1],[2],[13],[14], また, 標準化も進められている [6],[11],[23],[39],[44]. これらのプロトコルは, システム環境によって性能の良いものが変わる. 従って, 広範なシステム環境で効率良く稼働するために適応型の手法も提案されている [25],[37],[38].

一方, 移動ホストに格納されているデータを利用するアプリケーションも数多く考案されている [8],[10],[16],[17],[18],[41],[43]. 典型的なアプリケーションは, 客先回りをしているセールスマンの顧客データに本社のオフィスからアクセスすることや, 今最も近くにいる医者を探したりすることである. このようなアプリケーションをサポートするために, モバイルコンピューティング環境における問合せ処理方式もいくつか提案されており性能評価も行われている [15],[40],[42]. なかでも文献 [42] においては, さまざまなルーティングプロトコルをベースにした, 5種類の基本的な問合せ処理方式が提案されており, ネットワークトポロジー, ネットワークの規模, 移動ホストの移動頻度, 問合せの発生頻度等の条件で最適な問合せ処理方式が異なることが示されている.

しかしながら, 近年のインターネットの普及により, アプリケーションとネットワーク利用の目的は多様化し, ネットワーク環境は必然的にさまざまに変化するようになった. 従ってこのように動的に変化するネットワーク環境においても高性能を発揮する問合せ処理方式が切望されている.

1.2 モバイルコンピューティング環境のモデル

本節では, 本論文で取り上げるモバイルコンピューティング環境のモデルについて説明する.

移動ホストは, セルとよばれる地理的領域間を移動し, 他のシステムからアクセスされる情報を保持している. クライアントは, 移動ホストに対して問合せを行うシステムである. 問合せ処理サーバ (QS : Query Server) は, クライアントからの

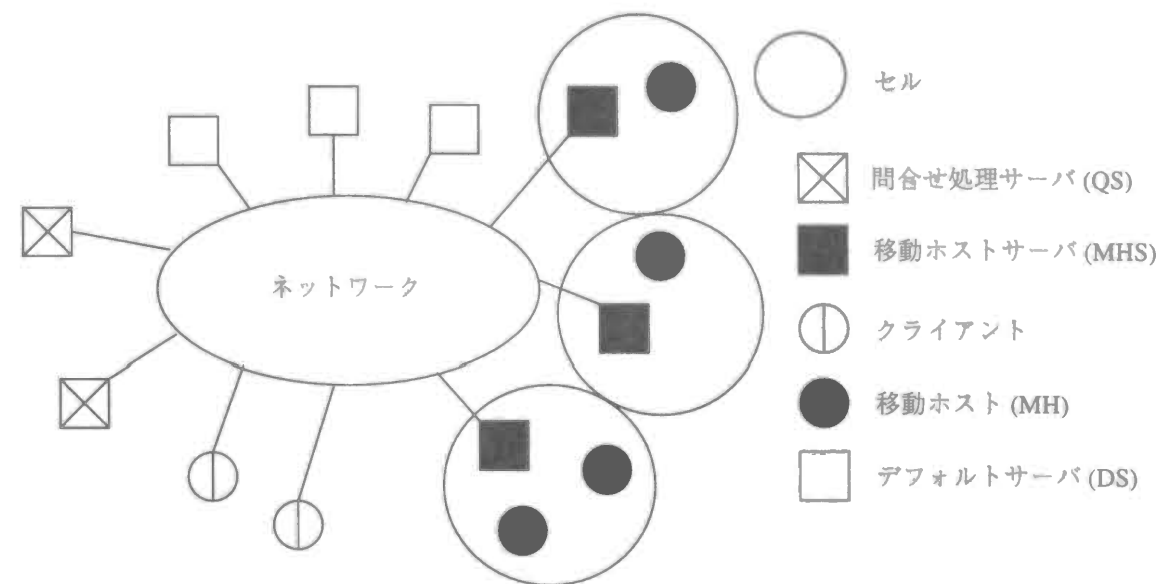


図 1.1: モバイルコンピューティング環境の例

要求に応じて移動ホストへの問合せ処理を行うシステムである. 各クライアントは, ネットワーク上の少なくとも一つの問合せ処理サーバに直接若しくは間接的に接続されている. 移動ホストサーバ (MHS : Mobile Host Server) は, 各々一つのセルを管理し, 無線で自分が管理するセル内のすべての移動ホストと直接通信することができる. 各移動ホストごとにデフォルトサーバ (DS : Default Server) とよばれるサーバが存在し, 移動ホストサーバからの要求に応じて移動ホストの位置情報を管理する. デフォルトサーバは, ネットワーク上のすべての問合せ処理サーバおよび移動ホストサーバと直接通信することができる. 更に, 移動ホストサーバは, ネットワーク上のすべての問合せ処理サーバおよびデフォルトサーバと通信できる. 図 1.1にクライアント, 問合せ処理サーバ, デフォルトサーバ, 移動ホストサーバ, 移動ホストを含んだモバイルコンピューティング環境の例を示し, 図 1.2に信号の流れを示す.

ここで, 各サーバ間でパケットを交換する場合には, 3種類のパケット送信方法が

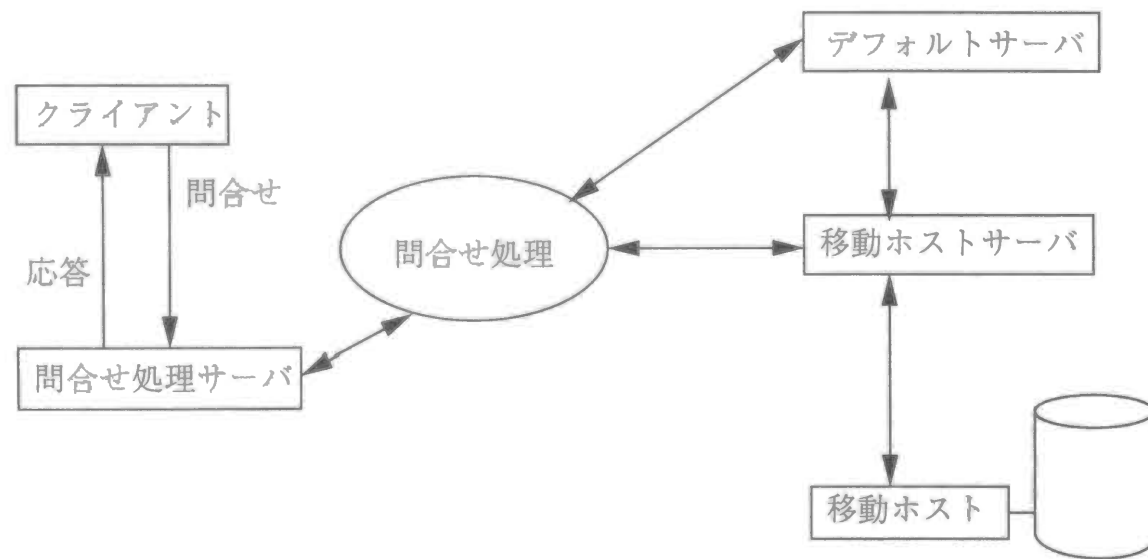


図 1.2: 信号の流れ

ある。第1の方法は、パケットのあて先が一つのサーバのみである場合であり、これを本論文ではユニキャストとよぶ。第2の方法は、パケットのあて先が複数の特定のサーバである場合である。すなわち同時に複数の特定のサーバあてにパケットを送信する場合であり、これをマルチキャストとよぶ。第3の方法は、パケットのあて先が不特定多数のサーバである場合であり、これをブロードキャストとよぶ。ただし、本論文においては、パケットを送信するサーバがブロードキャストでパケットを送信しても、受信する側のサーバが、自分に関係のないパケットであると判断すれば、ブロードキャストされたパケットを自局内で廃棄する。従って、マルチキャストとブロードキャストの違いは、パケットを送信する側の送信方法の違いだけであり、システム全体からすると結果的には同じ送信方法となる。

クライアントからの問合せ要求が発生すると、問合せ処理サーバは直ちに問合せ処理を開始する。問合せ処理において問合せ処理サーバは、任意のデフォルトサーバ、移動ホストサーバ、移動ホスト、および他のシステムと必要に応じてパケットの交換を行う。このモデルでは、以下の仮定を行う。

- 移動ホストサーバは、自分が管理するセル内で稼働しているすべての移動ホストの所在を把握している。
- 各移動ホストサーバは、すべての問合せ処理サーバおよび移動ホストサーバにパケットを同時に送信するマルチキャストをすることができる。また、各問合せ処理サーバもすべての移動ホストサーバにパケットをマルチキャストすることができる。
- セルは論理的には互いに重ならない。つまり、一つの移動ホストは論理的には同時に一つのセルにしか含まれない。

以上で述べたシステムモデルは、一般性を失わない典型的なモデルであり、従って、本論文での議論が特定のモバイルコンピューティング環境についてのみ適用されるものではない。

1.3 移動通知方法

移動ホストサーバが移動ホストの移動を感知したときに移動ホストサーバがとりうる移動通知方法として、本論文はつぎの5種類の基本的な移動通知方法を取り上げる。

1. 単一ブロードキャスト通知法 (SBN: Single Broadcast Notification) :

新しい移動ホストが自分の管理しているセル内で稼働したことを感知した移動ホストサーバは、その移動ホストの位置情報をすべての問合せ処理サーバにブロードキャストする。しかし、移動ホストが他のセルに移動する等、現在のセル内に存在しなくなった場合には、移動ホストサーバは、何も通知しない(図 1.3参照)。

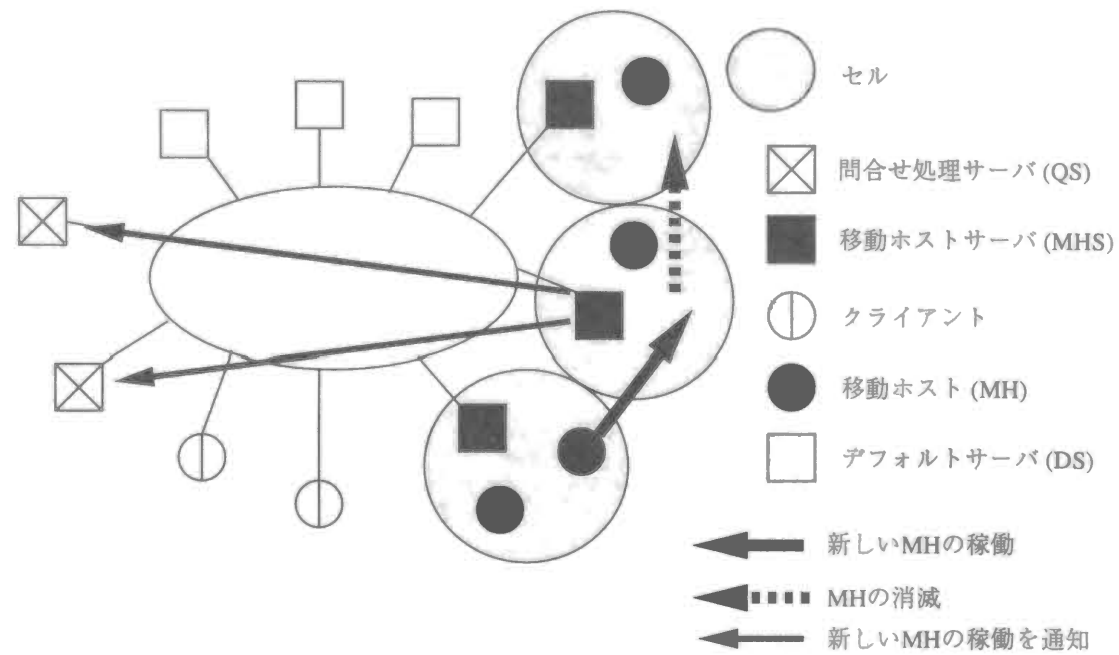


図 1.3: SBN の例

2. 2重ブロードキャスト通知法 (WBN: Double Broadcast Notification) :

SBN の動作に加え、移動ホストサーバは、自分の管理しているセル内で稼働中の移動ホストがそのセル内に存在しなくなった場合も、その移動ホストがセルから消滅したという情報をすべての問合せ処理サーバにブロードキャストする (図 1.4 参照)。

3. 単一デフォルト通知法 (SDN: Single Default Notification) :

新しい移動ホストが自分の管理しているセル内で稼働したことを感知した移動ホストサーバが、その移動ホストの位置情報をデフォルトサーバに通知する。しかし SBN と同様に、移動ホストが自分の管理しているセル内に存在しなくなった場合には、移動ホストサーバは何も通知しない (図 1.5 参照)。

4. 2重デフォルト通知法 (WDN: Double Default Notification) :

SDN の動作に加え、移動ホストサーバは、自分の管理しているセル内の稼働

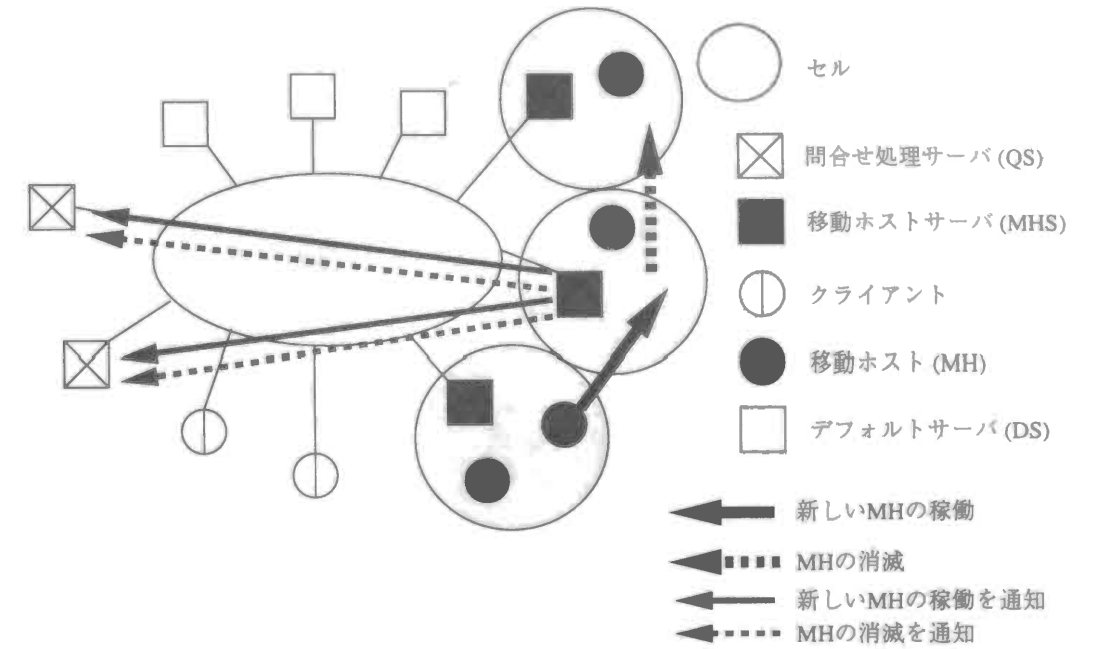


図 1.4: WBN の例

中の移動ホストがセル内に存在しなくなった場合も、移動ホストが消滅したという情報をデフォルトサーバに通知する (図 1.6 参照)。

5. 何もしない (NN: No Notification) :

移動ホストサーバは、自分の管理しているセル内で移動ホストが新しく稼働しようとセル内から消滅しようと、いっさい通知しない (図 1.7 参照)。

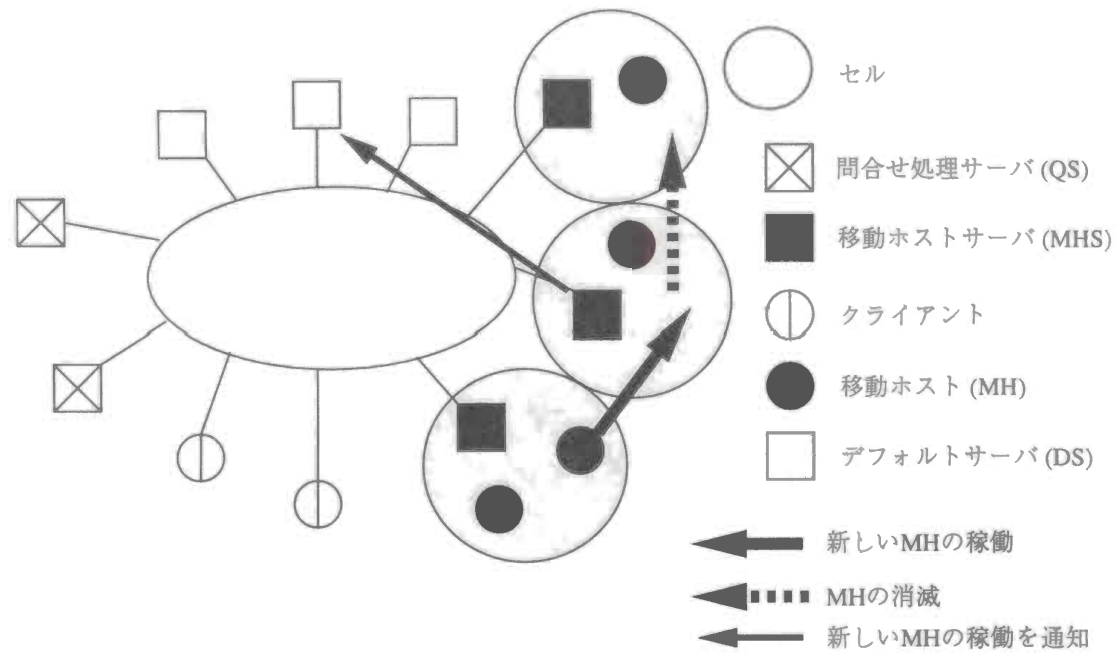


図 1.5: SDN の例

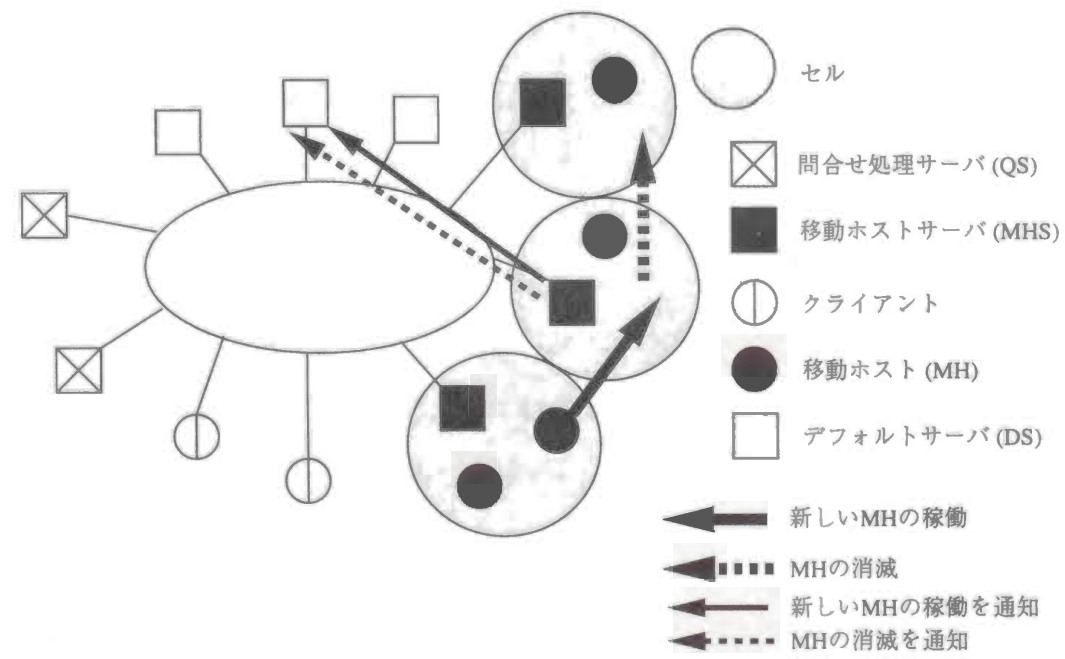


図 1.6: WDN の例

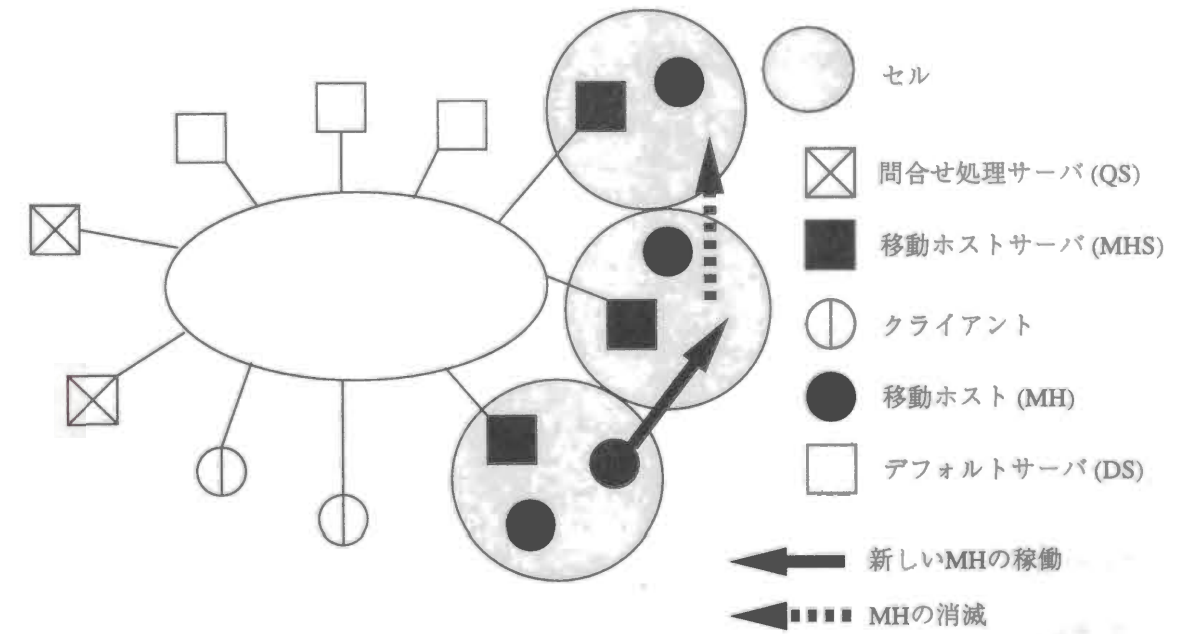


図 1.7: NN の例

1.4 本論文の構成

本論文の以下の章はつぎのように構成される。

第 2 章では、文献 [28],[32] で論じた同時に複数の移動ホストが問合せ対象になる場合についてそれぞれの問合せ処理方式の特性を評価する。更に、問合せ対象となる移動ホストサーバ数が最適な問合せ処理方式に及ぼす影響について明らかにする。

第 3 章では、モバイルコンピューティング環境における問合せ処理方式において、文献 [29],[33] において提案した、移動ホストが移動したときの位置の通知方法と、移動ホストに対する問合せ処理方法とをシステムの状況に応じて適応的に選択できる適応型の問合せ処理方式について考察し、その特性を評価する。

第 4 章では、第 3 章で提案した適応型問合せ処理方式のシミュレーション実験による性能評価を文献 [7] の議論を基に行う。

第 5 章では、第 3 章で提案した適応型問合せ処理方式をもとに、文献 [31],[34],[35] において議論した、より現実的な適応型の問合せ処理方式を提案し、その性能をマルコフ連鎖を用いることにより解析する。

最後に、第 6 章では本研究で得られた成果を要約し、今後に残された課題について述べる。

第 2 章

複数の移動体に対する問合せ処理

2.1 まえがき

移動ホストに対する問合せ処理に関しては、問合せ対象となる移動ホストが単一である場合に関して、さまざまな状況下における最適な問合せ処理方式が提案されている [42]。しかしながら、現実の移動ホストに対する問合せを考えると、複数の移動ホストに対して問合せを行う場合が多いと考えられる。例えば、セールスマンのセールスデータを収集する場合、最も近くにいる医者を探す場合、また、複数の携帯端末がもつデータから要求に合うものを容易に統合利用することを目的として提案された MobiView [19],[20],[21],[22],[26],[27],[36],[41] においても単一の移動ホストに問合せを行うという場合よりも、複数の移動ホストで構成される移動ホストのグループに問合せを行う場合が多いと考えられる。本章では、文献 [42] で提案されている手法を拡張し、複数の移動ホストを問合せ対象とした場合の最適な問合せ処理方式を考察する。

以下、第 2.1.1 項では、複数の移動ホストを問合せ対象とするために、第 1.2 節で述べたモデルに付け加える条件や、問合せの種類について述べる。つぎに第 2.3 節

で、複数の移動ホストを問合せ対象にする場合の性能評価式を記述し、さまざまな環境における最適な問合せ処理方式を指摘する。第2.4節では、問合せ対象となる移動ホストサーバ数が最適な問合せ処理方式に及ぼす影響を明らかにする。最後に第2.5節で本章をまとめる。

2.1.1 複数の移動体に対する問合せ処理のモデル

本節では、本章で論ずるモバイルコンピューティング環境のモデルおよび問合せ処理方式について説明する。本章では、複数の移動ホストに対する問合せ処理について論じるため、第1.2節で行った仮定に更に以下の仮定を付け加える。

- 一つのパケットに複数のあて先を記述することができるものとする。これにより、クライアントから複数の移動ホストへの問合せが発生した場合、問合せ先の移動ホストサーバが同一であるものは、その移動ホストサーバに一つのパケットで問合せを行うことができる。
- 一つのセルで稼働している複数の移動ホストに対して問合せ要求が発生した場合（上の仮定により、この問合せ要求は一つのパケットで送られてくる）、それに対する応答も一つのパケットで行えるものとする。
- ネットワーク上にデフォルトサーバは唯一存在するものとする。

移動ホストに対してクライアントからは、つぎのような位置に依存する問合せ要求が寄せられると考えられる。

1. 位置問合せ (LQ: Location Query)：移動ホストの位置を得るための問合せ。
2. 存在問合せ (EQ: Existence Query)：移動ホストが稼働しているかどうかを調べる問合せ。

3. データ問合せ (DQ: Data Query)：移動ホストからデータを得る問合せ。

なお、LQ は目的の移動ホストが稼働しているかどうかについては関与しない。

2.2 移動ホストへの問合せ処理

第1.3節で述べた移動通知方法に対応して、つぎの5種類の問合せ処理方式が考えられる。前節で取り上げた3種類の問合せ要求は、各問合せ処理方式のもとでは以下のように処理される。

1. 単一ブロードキャスト問合せ法 (SBN: Single Broadcast Notification Method)：移動ホストの移動通知方法として SBN を使用する場合である。クライアントからの問合せ要求に対して、LQ に対しては、各問合せ処理サーバが直接に回答できる。EQ および DQ に対しては、問合せ処理サーバは直接回答することができない。なぜならば、EQ に対しては、移動ホストが移動後に電源を切る等によって、ネットワーク上から消滅した場合でも、問合せ処理サーバにはこのことは通知されないからである。また、DQ に対しては、移動ホストからデータを得なければならないからである。従って、問合せ処理サーバは、その移動ホストが稼働していることになっているセルを管理している移動ホストサーバに対して問合せパケットを発信しなければならない。
2. 2重ブロードキャスト問合せ法 (WBN: Double Broadcast Notification Method)：移動通知方法として WBN を使用する場合である。クライアントから問合せ要求に関して、LQ および EQ に対しては問合せ処理サーバが直接回答できる。しかしながら、DQ に対しては、問合せ処理サーバは移動ホストからデータを得なければならないため、問合せ対象となっている移動ホストが存在するセル

を管理している移動ホストサーバに対して、問合せパケットを発信しなければならない。

3. ブロードキャスト問合せ法 (BQF: Broadcast Query Forwarding Method) :

移動通知方法として NN を使用する場合である。移動ホストの情報は、問合せ処理サーバからすべての移動ホストサーバにブロードキャストパケットを送ることにより得られる。従って、LQ, EQ, DQ のすべての場合についてクライアントからの問合せに対して、問合せ処理サーバはすべての移動ホストサーバに向けて問合せパケットをブロードキャストする。この問合せパケットに対して、対象となっている移動ホストを管理している移動ホストサーバが応答する。

4. 単一デフォルト問合せ法 (SDN: Single Default Notification Method) :

移動通知方法として SDN を使用する場合である。クライアントからの問合せ要求に対し問合せ処理サーバは、デフォルトサーバにパケットを転送し問合せ処理を依頼する。LQ に対しては、デフォルトサーバは自らこれに回答することができる。しかし、EQ および DQ に対しては、デフォルトサーバでは直接回答することができず、すべての移動ホストサーバあてに問合せ処理サーバからのパケットを転送しなければならない。

5. 2重デフォルト問合せ法 (WDN: Double Default Notification Method) :

移動通知方法として WDN を使用する場合である。SDN と同様に、クライアントからの問合せ要求に対し問合せ処理サーバは、デフォルトサーバにパケットを転送し問合せ処理を依頼する。LQ および EQ に対しては、デフォルトサーバは自らこれに回答することができる。DQ に対しては、デフォルトサーバは、すべての移動ホストサーバあてに問合せ処理サーバからのパケットを転送しな

なければならない。

2.3 性能評価

本節では、SBN, WBN, BQF, SDN, WDN の5種類の問合せ処理方式が問合せに要するコストの期待値の比較を行う。ここで、以下のパラメータを使用する。

$B^{(Q)}$: 任意の問合せ処理サーバからすべての移動ホストサーバにパケットをブロードキャストするための平均コスト。

$B^{(M)}$: 任意の移動ホストサーバからすべての問合せ処理サーバにパケットをブロードキャストするための平均コスト。

H : 任意の問合せ処理サーバから任意の移動ホストサーバにパケットを送るための平均コスト。

$D^{(Q)}$: 任意の問合せ処理サーバとデフォルトサーバとの間でパケットを送るための平均コスト。

$D^{(M)}$: 任意の移動ホストサーバとデフォルトサーバとの間でパケットを送るための平均コスト。

m : クライアントから発生した問合せ要求が対象としている移動ホストサーバ数の平均値 ($m \geq 1$)。

h : クライアントから発生した問合せ要求が対象としている移動ホスト数の平均値 ($h \geq m$)。

M : 移動ホストサーバの総数 ($M \geq m$)。

λ : 単位時間あたりに発生する問合せ要求数の平均値。

μ : 単位時間あたりの移動ホストの移動頻度の平均値.

α : λ に占める LQ の割合 ($0 \leq \alpha \leq 1$).

β : λ に占める EQ の割合 ($0 \leq \beta \leq 1$).

γ : λ に占める DQ の割合 ($0 \leq \gamma \leq 1, \alpha + \beta + \gamma = 1$).

本章で論じる移動のコストとは、あるセルから別のセルに一つの移動ホストが移動した場合に発生するコストの平均値である。また、問合せ処理のコストとは、LQ, EQ, DQ を各々一つ処理した場合に発生するコストの平均値である。ここで、各移動ホストの移動時間間隔およびクライアントからの問合せ要求の発生間隔は指数分布に従うものとする。また、移動ホストの移動先は、ランダムであるものとする。

これらを用いて、SBN, WBN, BQF, SDN, WDN の平均コストは各々次式で表される。

$$\text{SBN} : B^{(M)}\mu + (2mH\beta + (m+h)H\gamma)\lambda \quad (2.1)$$

$$\text{WBN} : 2B^{(M)}\mu + (m+h)H\gamma\lambda \quad (2.2)$$

$$\text{BQF} : (B^{(Q)} + mH)(\alpha + \beta)\lambda + (B^{(Q)} + hH)\gamma\lambda \quad (2.3)$$

$$\begin{aligned} \text{SDN} : D^{(M)}\mu + 2D^{(Q)}\alpha\lambda + (D^{(Q)} + mD^{(M)} + mH)\beta\lambda + \\ (D^{(Q)} + mD^{(M)} + hH)\gamma\lambda \end{aligned} \quad (2.4)$$

$$\text{WDN} : 2D^{(M)}\mu + 2D^{(Q)}(\alpha + \beta)\lambda + (D^{(Q)} + mD^{(M)} + hH)\gamma\lambda \quad (2.5)$$

これらの式は、 $m = h = 1$ の場合は、明らかに文献 [42] の評価式に一致する。

本節の以下の部分では、これらの5種類の間合せ処理方式のコスト評価を行う。まず第2.3.1項では、簡単のため、クライアントから発生した一つの間合せ処理要求が問合せ対象としている移動ホストは、すべて異なるセルに含まれる場合を考える。すなわち、問合せ対象となる移動ホストの数と移動ホストサーバの数が等しい、

$h = m$ の場合について考える。つぎに第2.3.2項では、問合せ対象となる移動ホストの数と移動ホストサーバの数が必ずしも等しいとは限らない場合について考える。

2.3.1 問合せ対象の移動ホスト数と移動ホストサーバ数が等しい場合

本項では、問合せ対象の移動ホスト数と移動ホストサーバ数が等しい場合に関して、これらの5種類の間合せ処理方式が、ネットワークが格子状と2分木トポロジの場合にどのような特性を示すかを論じる。

格子状トポロジ

図2.1に示すような整数 n で決定されるようなネットワークトポロジを考える。文献 [11] で議論されているようなキャンパスネットワークが格子状トポロジのネットワークの典型的な例である。格子状トポロジのネットワークは、モバイルコンピューティング環境におけるルーティングプロトコルである IS-IS プロトコル [12] に代表されるように、OSI (Open Systems Interconnection) ネットワークの典型的なトポロジとしてしばしば用いられている。

一般性を失うことなく、 $n \geq 2$ とする。また、 $1 \leq m \leq n^2$ である。

デフォルトサーバは、 n が奇数の場合、中央に位置するサーバであり、 n が偶数の場合は中央にある4つのサーバのいずれか一つであるとする。すべてのサーバは移動ホストサーバであり、コストは、サーバ間のホップ数により計算する。

格子状トポロジの場合、 $B^{(M)}$, $B^{(Q)}$, H , $D^{(M)}$, $D^{(Q)}$ は、各々次式で与えられる。

$$B^{(M)} = B^{(Q)} = n^2 - 1 \quad (2.6)$$

$$H = \frac{2(n-1)(n+1)}{3n} \quad (2.7)$$

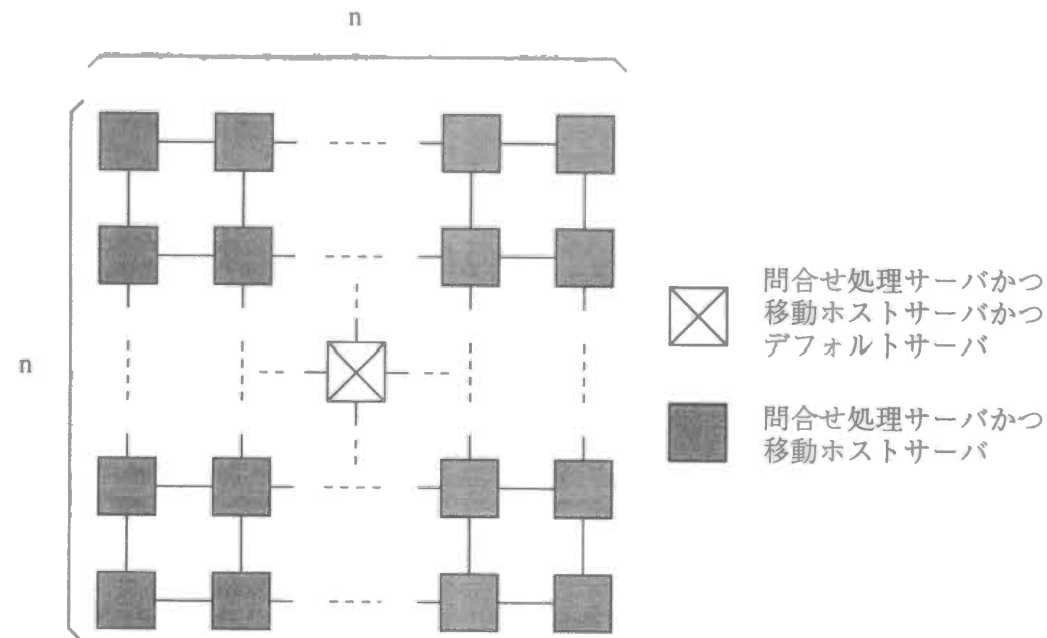
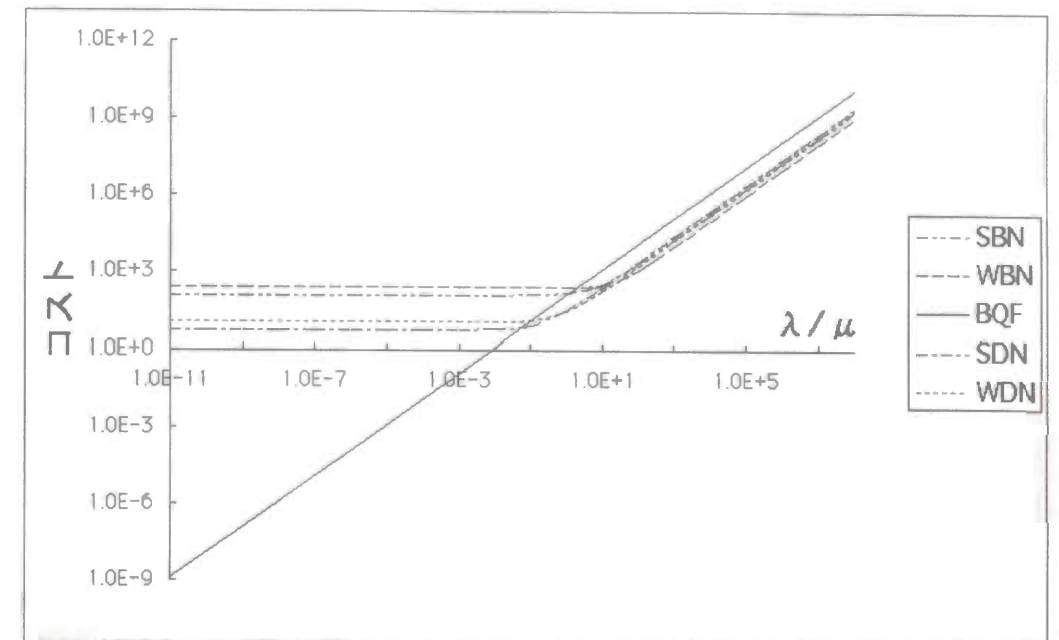


図 2.1: 格子状トポロジー

$$D^{(M)} = D^{(Q)} = \begin{cases} \frac{(n-1)(n+1)}{2n} & (n:\text{奇数}) \\ \frac{n}{2} & (n:\text{偶数}) \end{cases} \quad (2.8)$$

$n = 11$, $\alpha = \beta = \gamma = 1/3$, $m = 2$ の場合に, 問合せ移動比 (λ/μ) に対応して各々の問合せ処理方式を用いた場合に発生するコストの期待値を図 2.2 に, また, 問合せ移動比と m に対応してコストの期待値が最小となる最適な問合せ処理方式を図 2.3 に示す. 更に, $n = 6$, $\alpha = \beta = \gamma = 1/3$, $m = 36$ の場合も同様に図 2.4, 図 2.5 に示す.

図 2.2~図 2.5 より, 移動ホストの移動頻度に対して問合せ要求の発生率が十分に少ない (すなわち, 問合せ移動比が 1 より十分小さい) 場合, あらゆる m の値に対して BQF が最もコストが低く, 逆に問合せ移動比が 1 より十分大きな場合, m の値によって WBN 若しくは WDN が最も良い特性を示すことがわかる. また, WDN は広範囲のシステム環境で, 最適な特性を示すことが明らかになった. なお, 問合せ

図 2.2: 格子状トポロジーにおけるコスト ($n = 11$, $\alpha = \beta = \gamma = 1/3$, $m = 2$)

せ対象となっている移動ホストサーバ数の平均値 m が最適な問合せ処理方式に及ぼす影響については, 第 2.4 節で論じる.

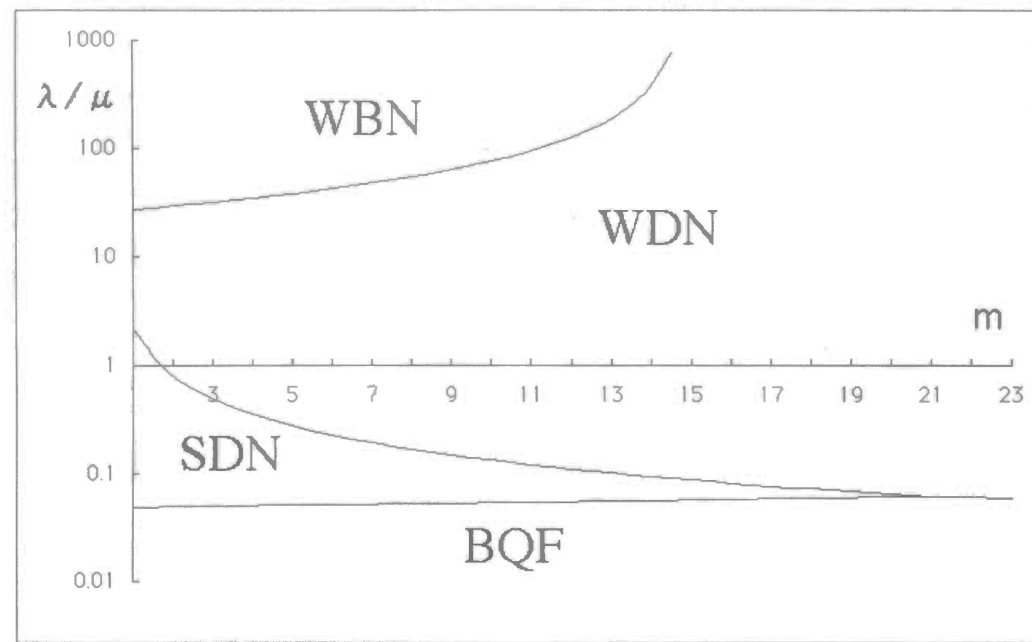


図 2.3: 格子状トポロジーにおける最適な問合せ処理方式 ($n = 11, \alpha = \beta = \gamma = 1/3$)

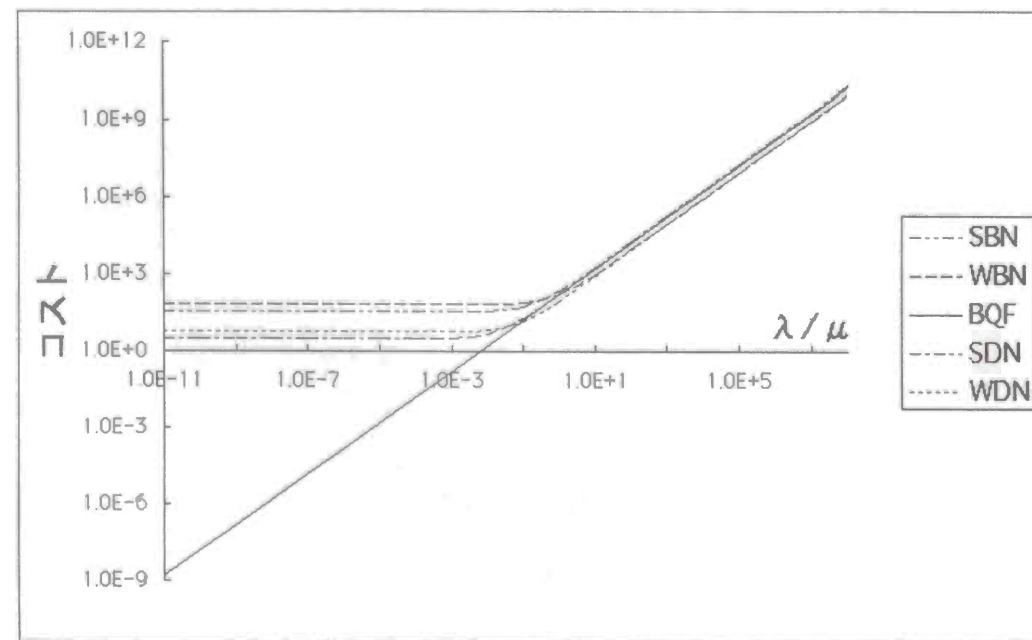


図 2.4: 格子状トポロジーにおけるコスト ($n = 6, \alpha = \beta = \gamma = 1/3, m = 36$)

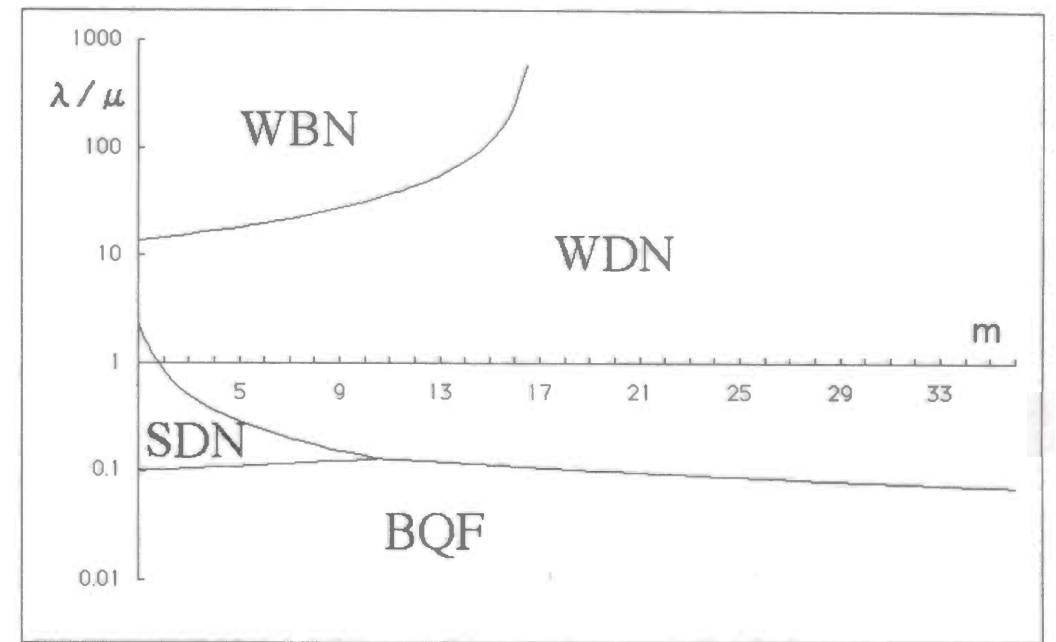


図 2.5: 格子状トポロジーにおける最適な問合せ処理方式 ($n = 6, \alpha = \beta = \gamma = 1/3$)

2 分木トポロジ

図2.6に示すような整数 n で決定されるようなネットワークトポロジを考える。2分木トポロジのネットワークは、インターネットに代表されるように広範囲ネットワークに用いられている。インターネットでは、バックボーンネットワークを根にした階層構造を形成している。この2分木トポロジの特徴は、目的のサーバまでの経路がループすることがなく、また代替経路もないことである。

ここでも格子状トポロジの場合と同様に、一般性を失うことなく、 $n \geq 2$ とする。また、 $1 \leq m \leq 2^{n-1}$ である。

デフォルトサーバは、木トポロジの根に位置する。葉にあたる末端のシステムは移動ホストサーバであり問合せ処理サーバでもある。コストは、サーバ間のホップ数により計算する。 $B^{(M)}$, $B^{(Q)}$, H , $D^{(M)}$, $D^{(Q)}$ は、各々次式で与えられる。

$$B^{(M)} = B^{(Q)} = 2^n - 2 \quad (2.9)$$

$$H = 2(n-2) + 2^{2-n} \quad (2.10)$$

$$D^{(M)} = D^{(Q)} = n - 1 \quad (2.11)$$

格子状トポロジの場合と同様に、 $n = 8$, $\alpha = \beta = \gamma = 1/3$, $m = 2$ の場合に、問合せ移動比に対応して各々の問合せ処理方式を用いた場合に発生するコストの期待値を図2.7に、また、問合せ移動比と m に対応してコストの期待値が最小となる最適な問合せ処理方式を図2.8に示す。

図2.7, 図2.8より、2分木トポロジの場合も、格子状トポロジと同様、問合せ移動比が1より十分小さい場合、あらゆる m の値に対してBQFが最もコストが低く、逆に問合せ移動比が1より十分大きな場合、 m の値によってWBN若しくはWDNが最も良い特性を示すことがわかる。更に、WDNは広範囲のシステム環境で、最適な特性を示すという点も格子状トポロジと同様である。

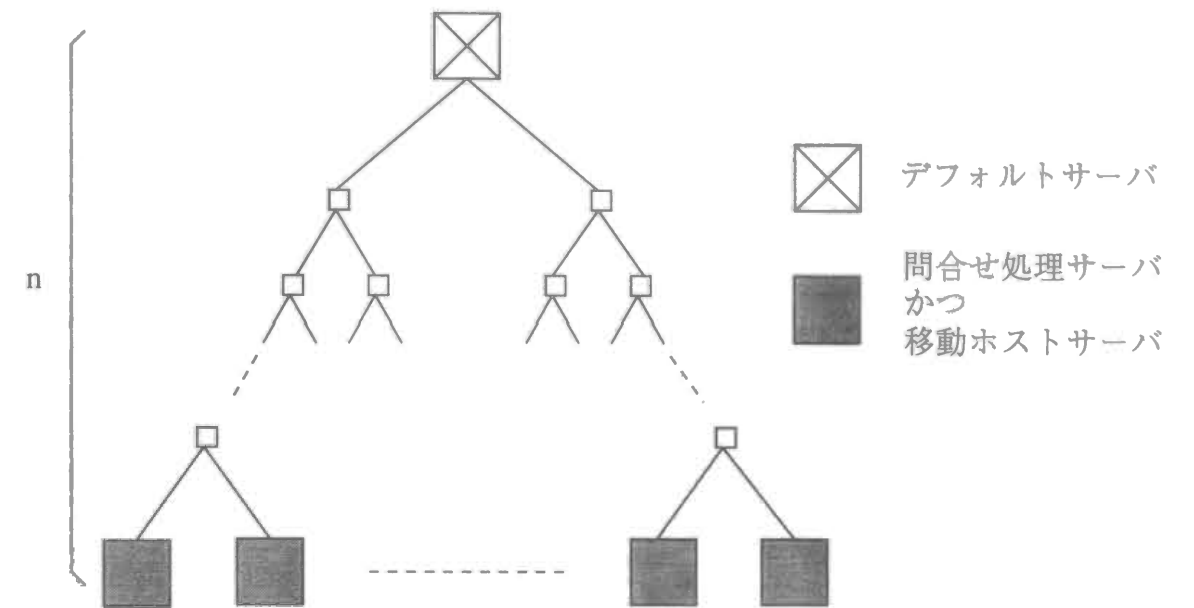
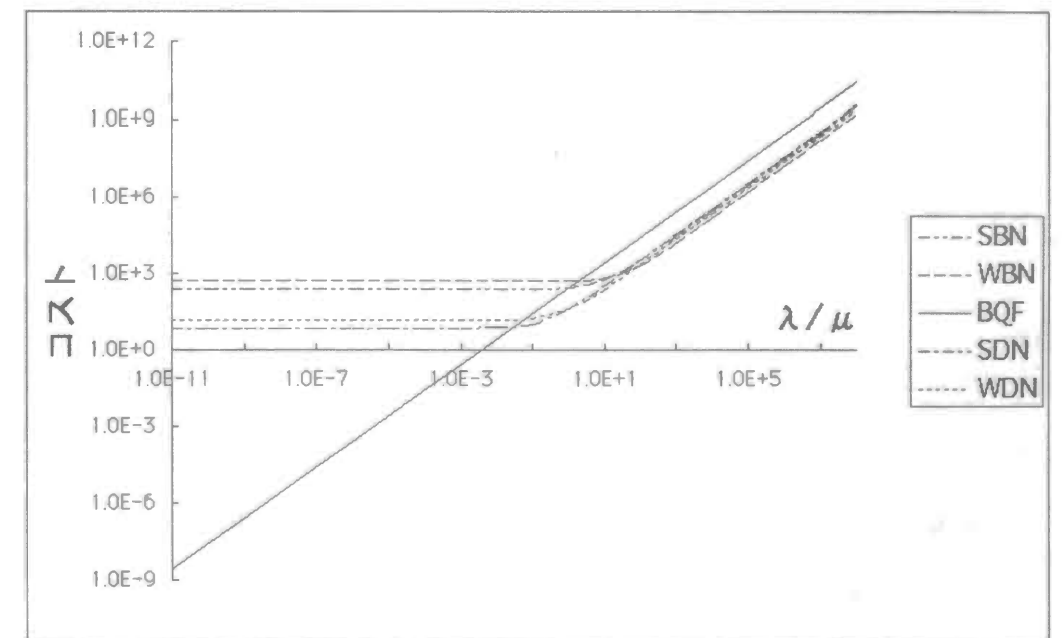


図2.6: 2分木トポロジ

図2.7: 2分木トポロジにおけるコスト ($n = 8$, $\alpha = \beta = \gamma = 1/3$, $m = 2$)

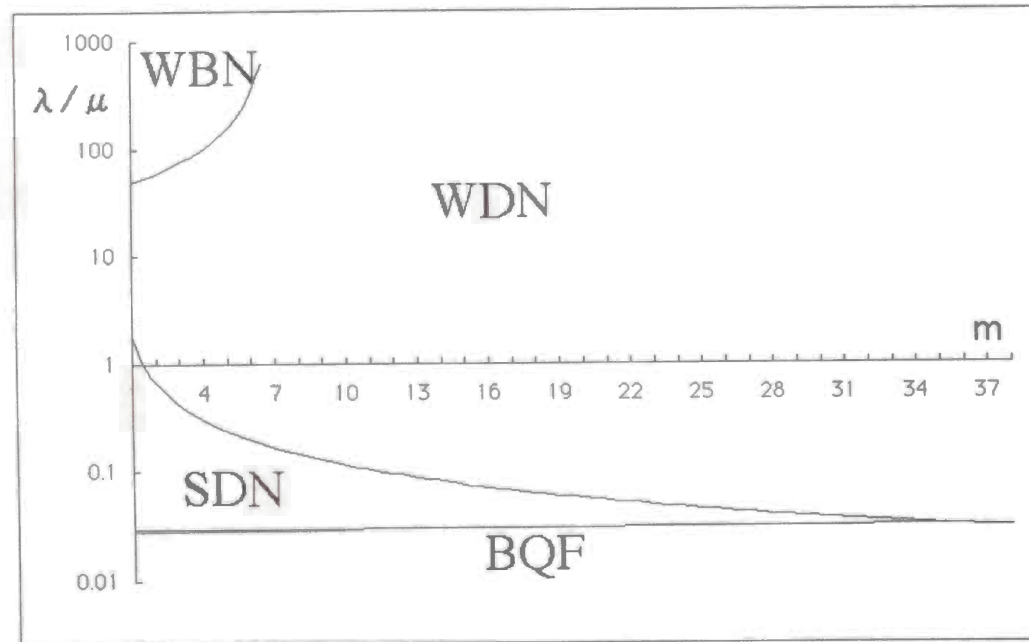


図 2.8: 2 分木トポロジにおける最適な問合せ処理方式 ($n = 8, \alpha = \beta = \gamma = 1/3$)

2.3.2 問合せ対象の移動ホスト数と移動ホストサーバ数が必ずしも等しくない場合

つぎに前項での性能評価を、無線 LAN や PHS 等のモデルに近づけるため、クライアントから発生した問合せ処理要求の問合せ対象となる移動ホストは必ずしも同じセルには含まれない場合を考える。すなわち、問合せ対象の移動ホスト数と移動ホストサーバ数が必ずしも等しくない、 $h \geq m$ の場合について、5 種類の問合せ処理方式の性能評価を行う。この場合、 m と h との間には次式で示される関係がある。

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{\sum_{i=1}^{\min(M,h)} i \binom{M}{i} \binom{h-1}{i-1}}{\binom{M+h-1}{h}} \\
 &= \frac{hM}{h+M-1}
 \end{aligned} \tag{2.12}$$

ネットワークトポロジが格子状トポロジの場合について、前節と同様の性能評価を行う。

$n = 11, \alpha = \beta = \gamma = 1/3, h = 2$ の場合に、問合せ移動比 (λ/μ) に対応して各々の問合せ処理方式を用いた場合に発生するコストの期待値を図 2.9 に、また、問合せ移動比と h に対応してコストの期待値が最小となる最適な問合せ処理方式を図 2.10 に示す。

図 2.9, 図 2.10 を観察すると明らかなように、移動ホストの移動頻度に対して問合せ要求の発生率が十分に少ない (すなわち、問合せ移動比が 1 より十分小さい) 場合、あらゆる h の値に対して BQF が最もコストが低く、逆に問合せ移動比が 1 より十分大きな場合、 h の値によって WBN 若しくは WDN が最も良い特性を示すことがわかる。また、WDN は広範囲のシステム環境で、最適な特性を示すことが明らかになった。

図 2.2, 図 2.3, 図 2.9, 図 2.10 を観察すると明らかなように、5 種類の問合せ処理

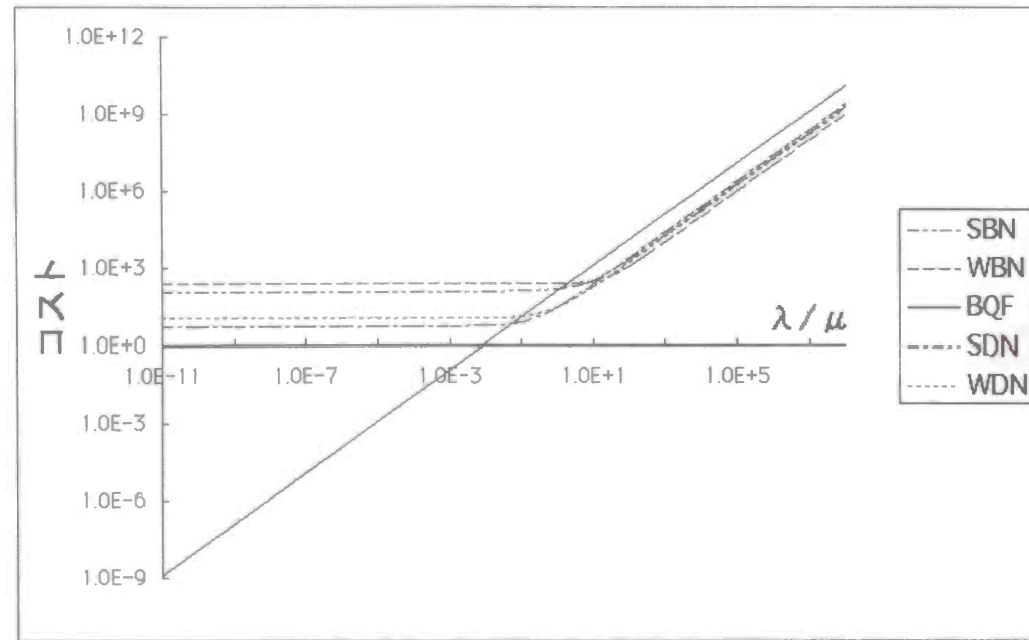


図 2.9: 格子状トポロジーにおけるコスト ($n = 11, \alpha = \beta = \gamma = 1/3, h = 2$)

方式の特性は $h = m$ の場合も $h \geq m$ の場合も同様であると考えられる。

2.4 問合せ対象ホストサーバ数が及ぼす影響

本節では、問合せ対象となっている移動ホストサーバ数の平均値 m が、問合せ処理方式に及ぼす影響について述べる。第 2.3.2 項で論じたように、問合せ対象となる移動ホストの数と移動ホストサーバの数が等しい、 $h = m$ の場合について考える。まず最初に、システムのパラメータ n, α, β, γ が第 2.3.1 項の例にあげられている値をとる場合について考察する。つぎに、 n, α, β, γ の値を特定しない一般的な場合について、 m の値が問合せ処理方式に及ぼす影響について考察する。

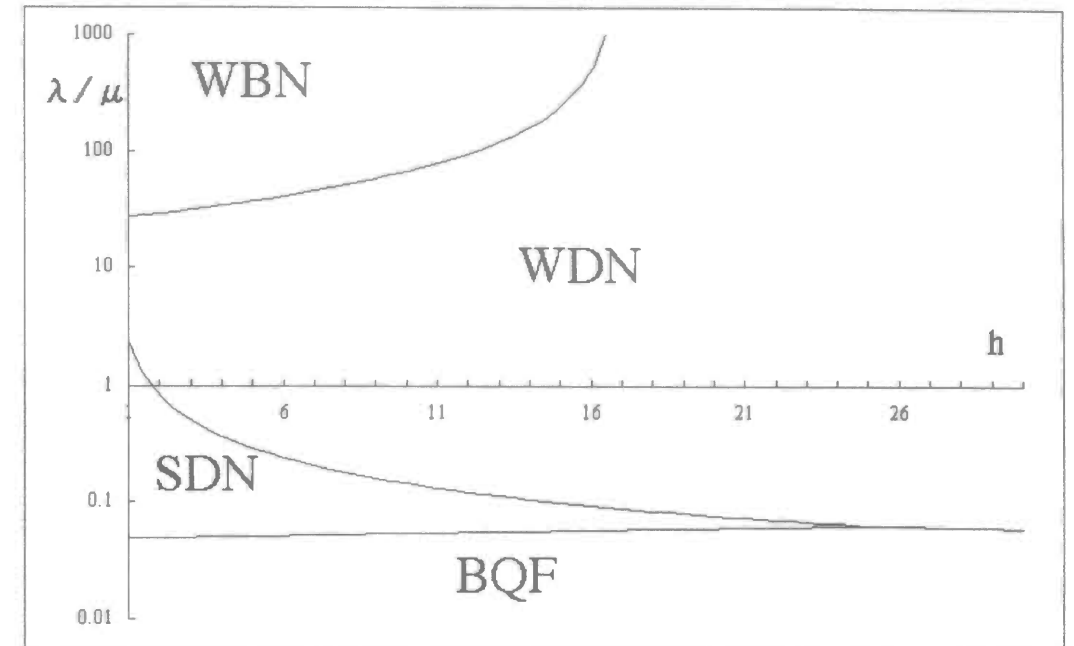


図 2.10: 格子状トポロジーにおける最適な問合せ処理方式 ($n = 11, \alpha = \beta = \gamma = 1/3$)

2.4.1 格子状および 2 分木トポロジーの場合

図 2.3, 図 2.5, 図 2.8 で示されている環境において、 m の値が及ぼす影響について考察する。これらの環境では、 m がある値を超えない場合は、問合せ移動比が大きくなるにつれ、すなわち移動ホストの移動によるシステム負荷が増大するにつれ、最適な問合せ処理方式は WDN から WBN へと変化し、更に問合せ移動比が大きい場合には、WBN が最適となる。しかし、 m がある値を超えた場合は、十分大きな問合せ移動比に対しても WDN が最適となり、WBN が最適となることはない。この m について考察する。まず、ここでは第 2.3.1 項で考察した格子状と 2 分木のネットワークトポロジーについて考えているため、 $B^{(Q)} = B, D^{(M)} = D^{(Q)} = D$ とおき、WBN のコストの期待値が WDN のコストの期待値以上であるという不等式に、式 (2.2), (2.5) を代入して λ/μ について整理すると、

$$(m(H - D)\gamma - D(2 - \gamma))\lambda/\mu \leq 2(D - B) \quad (2.13)$$

となる。ところが、 $n \geq 2$ を仮定しているので、不等式(2.13)の右辺は、いずれのネットワークトポロジーの場合も負の数となる。従って、不等式(2.13)を満たすような $\lambda/\mu(\geq 0)$ が存在するためには、

$$m(H - D)\gamma - D(2 - \gamma) < 0 \quad (2.14)$$

とならなければならない。式(2.6)~(2.11)を代入して m について整理すると、

- n が奇数の格子状トポロジーの場合、

$$m\gamma < 3(2 - \gamma) \quad (2.15)$$

- n が偶数の格子状トポロジーの場合、

$$m(n^2 - 4)\gamma < 3n^2(2 - \gamma) \quad (2.16)$$

- 2分木トポロジーの場合、

$$m(n - 3 + 2^{2-n})\gamma < (n - 1)(2 - \gamma) \quad (2.17)$$

となる。

従って、 m が式(2.15)~(2.17)を満たす場合、十分大きな問合せ移動比に対してWBNが最適となる。図2.3、図2.5、図2.8でこのことを観察する。式(2.15)において $\gamma = 1/3$ 、式(2.16)において $\gamma = 1/3$ 、 $n = 6$ 、式(2.17)において $\gamma = 1/3$ 、 $n = 8$ とおくと、それぞれ、 $m < 15$ 、 $m < 135/8$ 、 $m < 2240/321$ となる。図2.3、図2.5、図2.8において m がこれらの不等式を満たしている領域では、十分大きな問合せ移動比に対してWBNが最適となっていることが、また、 m がこれらの不等式を満たさない領域では、十分大きな問合せ移動比に対してWDNが最適となっていることが確認できる。

2.4.2 問合せ移動比が十分小さい場合

第2.3.2項の考察から、格子状、2分木いずれのネットワークトポロジーの場合も問合せ移動比が1よりも十分小さい場合には、BQFが最もコストが低く最適な問合せ処理方式となることが推察できる。これはつぎのように確認される。格子状、2分木のいずれのネットワークトポロジーの場合も、式(2.1)~(2.5)はすべて、問合せ移動比を x 軸、コストの期待値を y 軸とする平面上で、負でない傾きをもつ直線となっている。従って、問合せ移動比が0の極限では、 y 切片の最小値をとるものが最適となる。 $n \geq 2$ であるので、式(2.6)、(2.8)、(2.9)、(2.11)より $B^{(M)}$ 、 $D^{(M)}$ は、 n 、 α 、 β 、 γ のとりうるすべての値に対して、いずれも正である。従って、問合せ移動比が十分小さい場合には、原点を通る直線となるBQFが、 m 、 n 、 α 、 β 、 γ の値にかかわらず最適となる。

2.4.3 問合せ移動比が十分大きい場合

つぎに、十分大きな問合せ移動比のもとで、問合せ対象となっている移動ホストサーバ数の平均値 m が、問合せ処理方式に及ぼす影響について考察してみる。先に述べたように、SBN、WBN、BQF、SDN、WDNの特性式は、問合せ移動比を x 軸、コストの期待値を y 軸とする平面上で、負でない傾きをもつ直線となる。従って、問合せ移動比が十分に大きい場合は、各々の直線の傾きが最小であるものが最適な問合せ処理方式となる。ここでは、対象を n が奇数の格子状トポロジーに絞り考察する。式(2.1)~(2.5)より、以下のことが言える。

1. $\beta \neq 0$ の場合

- $\gamma = 0$ の場合は、WBNのみ傾きが0となるためWBNが最適となる。

- $0 < \gamma < 1$ の場合は, SBN の傾きが WBN の傾きより大きく, SDN の傾きが WDN の傾きより大きくなるため, WBN, BQF, WDN の比較となる. 式(2.6)~(2.8)を式(2.2), (2.3), (2.5)に代入しこれを解くと,

$$\begin{aligned} \text{WBN} &: 1 \leq m < \frac{3(2-\gamma)}{\gamma} \\ \text{WDN} &: \frac{3(2-\gamma)}{\gamma} \leq m < \frac{3(\gamma+2(n-1))}{7\gamma-4} \\ \text{BQF} &: \frac{3(\gamma+2(n-1))}{7\gamma-4} \leq m \leq n^2 \end{aligned}$$

がそれぞれ最適となる.

2. $\beta = 0$ の場合は, SBN の傾きは WBN の傾きと等しく, SDN の傾きも WDN の傾きと等しくなる. 従って, y 切片の値より, すべての問合せ移動比に対して, SBN のコストは WBN のコストより低く, SDN のコストは WDN のコストより低くなるため, SBN, BQF, SDN のみの比較となる. $\beta \neq 0$ の場合と同様の議論により以下のことが言える.

- $\gamma = 0$ の場合は, SBN の傾きのみが 0 となるため SBN が最適となる.
- $0 < \gamma \leq 1$ の場合は,

$$\begin{aligned} \text{SBN} &: 1 \leq m < \frac{3(2-\gamma)}{\gamma} \\ \text{SDN} &: \frac{3(2-\gamma)}{\gamma} \leq m < \frac{3(\gamma+2(n-1))}{7\gamma-4} \\ \text{BQF} &: \frac{3(\gamma+2(n-1))}{7\gamma-4} \leq m \leq n^2 \end{aligned}$$

がそれぞれ最適となる.

以上で得られた結果をグラフにすると図 2.11, 図 2.12 のようになる. なお, 図 2.11, 図 2.12 において, 曲線 $m = 3(2-\gamma)/\gamma$ と曲線 $m = 3(\gamma+2(n-1))/(7\gamma-4)$ は, $n \geq 2$ なる奇数 n に対しては, $0 \leq \gamma \leq 1$, $m \geq 1$ の領域では交点をもたない.

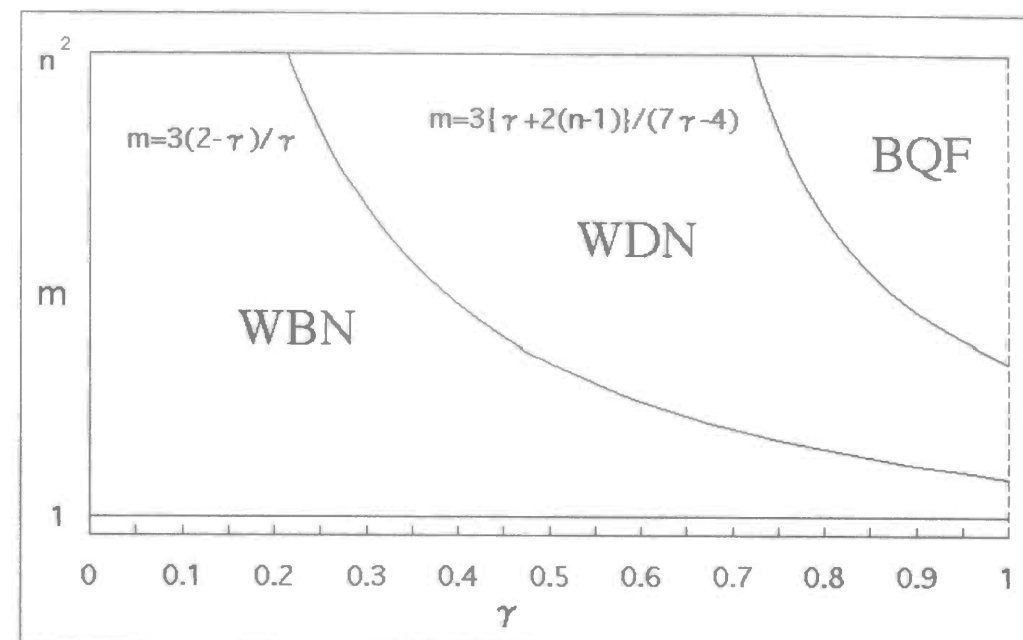


図 2.11: 十分大きな問合せ移動比における最適な問合せ処理方式 ($\beta \neq 0$, $0 \leq \gamma < 1$)
また, 図 2.11, 図 2.12 において BQF が最適となっている領域では, 先に述べたように, 各問合せ処理方式の特性式が, 問合せ移動比を x 軸, コストの期待値を y 軸とする平面上で, 負でない傾きをもつ直線となること, 問合せ移動比が十分小さい場合には, 原点を通る直線となる BQF が, m の値にかかわらず最適となることから, すべての問合せ移動比に対して BQF が最適な問合せ処理方式となる.

2.5 むすび

本章では, モバイルコンピューティング環境における問合せ処理に関して, 文献 [42] において解析されている, 問合せ対象となる移動ホストが単一である場合を拡張し, 複数の移動ホストサーバおよび移動ホストを問合せ対象とした, 問合せ処理方式について議論した. まず, 問合せ対象となる移動ホストが各々別のセルに含まれるような状況, つまり, 問合せ対象となっている移動ホスト数と移動ホストサー

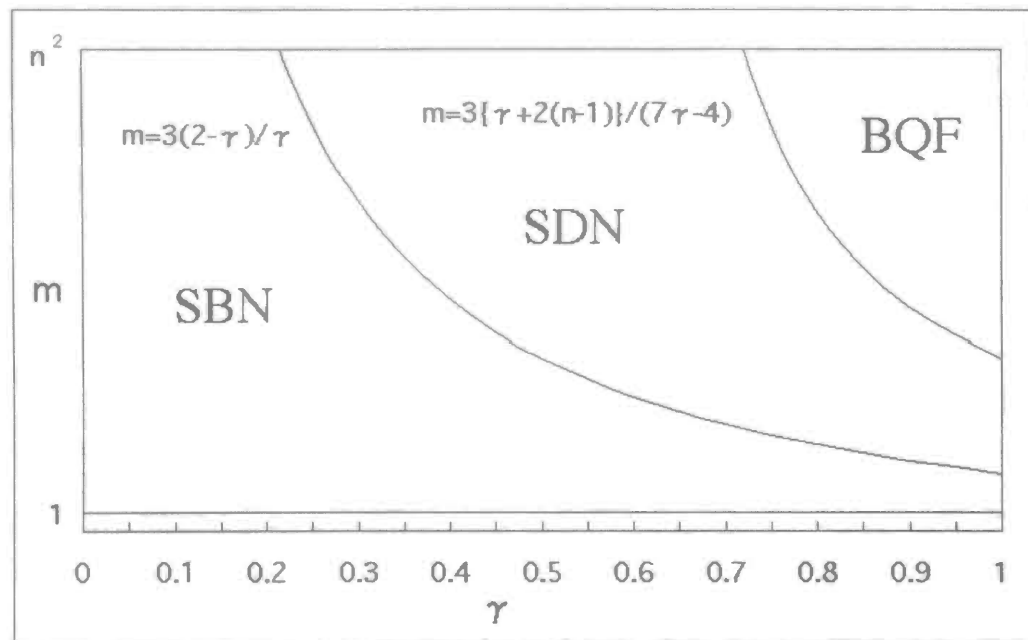


図 2.12: 十分大きな問合せ移動比における最適な問合せ処理方式 ($\beta = 0, 0 \leq \gamma \leq 1$)

バ数が同じであるような場合を考え、ネットワークトポロジーが、OSI ネットワークの典型的なトポロジーとしてしばしば用いられている格子状トポロジーとインターネットに代表されるような広範囲ネットワークに用いられている二分木トポロジーの場合それぞれの場合に、問合せ対象となる移動ホスト数が最適な問合せ処理方式に及ぼす影響について考察した。その結果、移動ホストの移動頻度に対して問合せ要求の発生率が十分に低い（つまり、問合せ移動比が1より十分小さい）状況では、いずれのトポロジーの場合も、問合せ対象となる移動ホスト数にかかわらず、BQFが最適であることが示された。また、問合せ移動比が1より十分大きい状況では、いずれのトポロジーの場合も、問合せ対象となる移動ホスト数によってWBN若しくはWDNが最適となることが明らかになった。

つぎに、問合せ対象となる移動ホストが必ずしも同じセルに含まれないような、より一般的な状況について、とりわけ格子状トポロジーの場合について、問合せ対

象となる移動ホスト数が最適な問合せ処理方式に及ぼす影響について考察した。その結果、問合せ移動比が1より十分小さい状況では、問合せ対象となる移動ホスト数にかかわらず、BQFが最適であり、逆に、問合せ移動比が1より十分大きい状況では、問合せ対象となる移動ホスト数によってWBN若しくはWDNが最適となるという、特性が明らかになった。これは、問合せ対象となる移動ホストが各々別のセルに含まれる場合の特性と同じである。これにより、以降の議論では、問合せ対象となる移動ホストが必ずしも同じセルに含まれないような、より一般的な状況についても、問合せ対象となる移動ホストが各々別のセルに含まれる場合を考察することで十分であることが示された。

つぎに、問合せ対象となっている移動ホストサーバの数が最適な問合せ処理方式に及ぼす影響を更に詳しく議論し、問合せ発生頻度が移動ホストの移動頻度より十分小さい場合については、いずれのネットワークトポロジーの場合にもBQFが最適な問合せ処理方式であることを示した。最後に、ネットワークトポロジーが n が奇数の格子状トポロジーの場合について、問合せ発生頻度が移動ホストの移動頻度よりも十分に大きくなった状況下における、問合せ対象となる移動ホストサーバ数、問合せの種類構成比と最適な問合せ処理方式との関係の詳細を明らかにした。その結果、まず、存在問合せであるEQが全く発生しない場合には、常にWBNよりもSBN、また、WDNよりもSDNの方が最適となる。逆にEQが発生する場合には、SBNよりもWBN、SDNよりもWDNが常に最適となることが示された。更に、問合せ対象となる移動ホストサーバ数とデータ問合せであるDQの発生数の増加に伴い、WBN（若しくはSBN）、WDN（若しくはSBN）、BQFの順に最適な問合せ処理方式が変化して行くことが明らかになった。

第 3 章

移動体に対する適応型問合せ処理方式

3.1 まえがき

移動ホストに対する問合せ処理に関しては、ネットワークトポロジー、移動に対する問合せの発生頻度、問合せ対象となる移動ホストサーバ数等のシステムパラメータに応じた最適な問合せ処理方式が提案されている [28],[42]。また、移動体とのデータ通信に関しシステムの個々の状況に応じて最適な通信プロトコルが存在することが示され、それらをシステムの状況に応じて動的に切り換えることにより、性能を向上する適応型の移動体通信プロトコルの有効性が示されている [25],[37],[38]。

本章では、文献 [28],[42] のアプローチをもとにして、第 2.1.1 項で記述した 3 種類 of 問合せ処理のうち、移動ホストの存在問合せに問合せ処理の焦点を絞り、問合せ処理方法および移動通知方法を問合せ要求発生頻度、移動ホストの移動頻度等に応じて動的に選択できる状況を考える。ここで、存在問合せに問合せ処理の焦点を絞る理由は、最も近くにいる医者を探す例等、移動ホストが稼働しているかどうか分からない位置問合せよりも、問合せの時点で実際に稼働中の移動ホストの位置を知ることができる存在問合せの方が、実環境で使用される頻度が多いことが予想され

るからであり、またデータ問合せでは、問合せのデータの量が一定でない場合が予想され、その場合データ量の変化により問合せ処理方法の切り換えの基準が変化するため、適応型問合せ処理方式の方式そのものの特性を評価するのは困難であると考えたからである。

このように移動ホストの移動を感知したときに移動ホストの位置情報を通知する方法や問合せ処理を行うための問合せ処理方法をいくつかの方法のなかから動的に選択できるような問合せ処理方式を提案し、これらのうちどの方法がどのような状況下のシステムで問合せ処理に必要なコストの期待値を最小にするのかを明らかにする。

以下、第3.2節では、問合せ処理サーバが選択できる4種類、デフォルトサーバが選択できる3種類の問合せ処理方法について説明し、第3.3節で、5種類の通知方法のそれぞれを選択した場合について、移動ホストがつぎに移動するまでの間に発生する問合せ処理コストの期待値、および3種類の問合せ処理方法を選択した場合の問合せ処理コストの期待値を求め、第3.4節でシステムパラメータに応じた最適な通知方法および問合せ処理方法を明らかにする。最後に、第3.5節で本章のまとめについて述べる。

3.2 モーバイルコンピューティング環境における適応型問合せ

本節では、本章で取り上げるモーバイルコンピューティング環境の問合せ処理方式について説明する。

3.2.1 移動検出時の移動ホストサーバの動作

文献[41],[42]では、モーバイルコンピューティング環境におけるさまざまなシステムの状況に応じた最適な問合せ処理方式が明らかにされている。各移動ホストサーバは、自分の管理しているセル内で移動ホストが稼働あるいは消滅した場合に、これらの文献の結果をふまえて第1.3節で述べたつぎの5種類の移動通知方法のうち、移動ホストの移動を検出したときのシステムの状況に応じた最適な方法を一つ自らの判断で選択することができる。

1. 単一ブロードキャスト通知法 (SBN: Single Broadcast Notification)
2. 2重ブロードキャスト通知法 (WBN: Double Broadcast Notification)
3. 単一デフォルト通知法 (SDN: Single Default Notification)
4. 2重デフォルト通知法 (WDN: Double Default Notification)
5. 何もしない (NN: No Notification)

なお、問合せ処理サーバとデフォルトサーバは自分が保持している移動ホストの位置情報が、問合せ処理サーバはSBN, WBN, デフォルトサーバはSDN, WDNのそれぞれどちらの通知方法によって移動ホストサーバから通知されたかは認識している。それは、移動ホストサーバが位置情報を通知するときに、その情報のなかに通知方法を識別するフラグを立てることにより可能となる。

3.2.2 問合せに対する問合せ処理サーバの動作

クライアントからの問合せ処理要求を受けた問合せ処理サーバは、自分が保持している問合せ対象となる移動ホストの位置情報の信頼度やシステムの状況に応じてつぎの4種類の動作のなかから一つを選ぶ。

1. IA(Immediate Answer) :

即座に答える。問合せ対象となっている移動ホストの前の移動時に移動ホストサーバがWBNを選択した場合である。この状態では、問合せ処理サーバが保持している移動ホストの位置情報は正しい。従って、クライアントからの問合せ要求に対し問合せ処理サーバは、自分の保持している移動ホストの位置情報をクライアントに直ちに返す。

問合せ対象となっている移動ホストの前の移動時に移動ホストサーバがWBN以外の通知方法を選択した場合は、問合せ処理サーバは移動ホストに関する位置情報を全くもっていないか、もっていても誤っている可能性がある。従って、問合せ処理サーバは以下の残り3種類の動作のなかから一つを選択する。

2. DQ(Default server Query) :

デフォルトサーバに問合せる。問合せ対象となっている移動ホストのデフォルトサーバに問合せ要求を転送する。

3. BQ(Broadcast Query) :

ネットワーク上のすべての移動ホストサーバに対して、問合せ要求パケットをブロードキャストして移動ホストの所在を問合せる。

4. IQ(Immediate Query) :

問合せ対象となっている移動ホストの位置情報が移動ホストサーバからSBNにより通知されている場合には、その位置情報を信頼して移動ホストが存在しているはずのセルを管理している移動ホストサーバに直接問合せる。

3.2.3 問合せに対するデフォルトサーバの動作

問合せ処理サーバから問合せ処理要求を転送されたデフォルトサーバは、自分が保持している問合せ対象の移動ホストの位置情報の信頼度やシステムの状態に応じてつぎの3種類の動作のなかから一つを選ぶ。

1. IA(Immediate Answer) :

即座に答える。問合せ対象となっている移動ホストの前の移動時に移動ホストサーバがWBNを選択した場合である。この状態では、デフォルトサーバが保持している移動ホストの位置情報は正しい。従って、問合せ処理サーバから転送された問合せ要求に対しデフォルトサーバは、自分の保持している移動ホストの位置情報を問合せ処理サーバを経由してクライアントに直ちに返す。

問合せ対象となっている移動ホストの前の移動時に移動ホストサーバがWBN以外の通知方法を選択した場合は、問合せ処理サーバは移動ホストに関する位置情報を全くもっていないか、もっていても誤っている可能性がある。従って、問合せ処理サーバは残り2種類の動作のなかから一つを選択する。

2. BQ(Broadcast Query) :

ネットワーク上のすべての移動ホストサーバに対して、問合せ要求パケットをブロードキャストして移動ホストの所在を問合せる。

3. IQ(Immediate Query) :

問合せ対象となっている移動ホストの位置情報が移動ホストサーバからSDNにより通知されている場合には、その位置情報を信頼して移動ホストが存在しているはずのセルを管理している移動ホストサーバに直接問合せる。

3.2.4 問合せに対する移動ホストサーバの動作

問合せ処理サーバ、デフォルトサーバ若しくは移動ホストサーバから問合せ要求を受けた移動ホストサーバは、自分が保持している問合せ対象の移動ホストの位置情報に応じてつぎの2種類の動作のなかから一つを決定的に選ぶ。

1. IA(Immediate Answer) :

問合せ対象となっている移動ホストが自分の管理しているセル内で稼働している場合、稼働している旨を問合せ処理サーバを経由してクライアントに直ちに返す。

2. BQ(Broadcast Query) :

問合せ対象となっている移動ホストが自分の管理しているセル内で稼働していない場合は、ネットワーク上のすべての移動ホストサーバに対して、問合せ要求パッケージをブロードキャストして移動ホストの所在を問合せ。なお、移動ホストサーバからの問合せ要求に対しては、どの移動ホストサーバも問合せ要求パッケージをブロードキャストしない。

3.2.5 問合せ手法のフロー

図3.1に本章で説明した適応型問合せ処理方式のフローを示す。

3.3 コスト評価

本章では、前章で記述した適応的な問合せ処理方式において、クライアントからの問合せ要求発生時に、問合せ処理サーバ、デフォルトサーバ、移動ホストサーバがそれぞれの動作を選択した場合に問合せ処理に必要なコストの期待値、およ

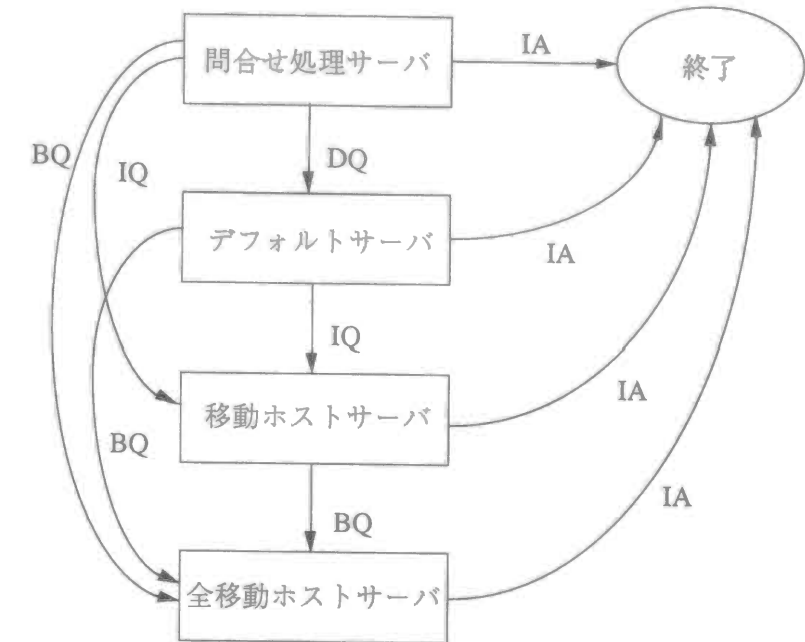


図 3.1: 問合せ手法のフロー

び移動ホストが移動した場合に移動ホストサーバが移動を通知するために必要なコストの期待値を評価する。

まず、問合せ処理サーバ、デフォルトサーバ、移動ホストサーバ間でパッケージを送信するために必要なコストの期待値を図3.2のように定義する。

つぎに、コスト評価に必要なパラメータを以下のように定義する。

α : 問合せ処理サーバが IQ を選ぶとき、それが正しい確率 ($0 \leq \alpha \leq 1$).

β : デフォルトサーバが IQ を選ぶとき、それが正しい確率 ($0 \leq \beta \leq 1$).

θ_1 : 問合せ処理サーバが DQ を選択している割合 ($0 \leq \theta_1 \leq 1$).

θ_2 : 問合せ処理サーバが IQ を選択している割合 ($0 \leq \theta_2 \leq 1, 0 \leq \theta_1 + \theta_2 \leq 1$).

θ_3 : デフォルトサーバが IQ を選択している割合 ($0 \leq \theta_3 \leq 1$).

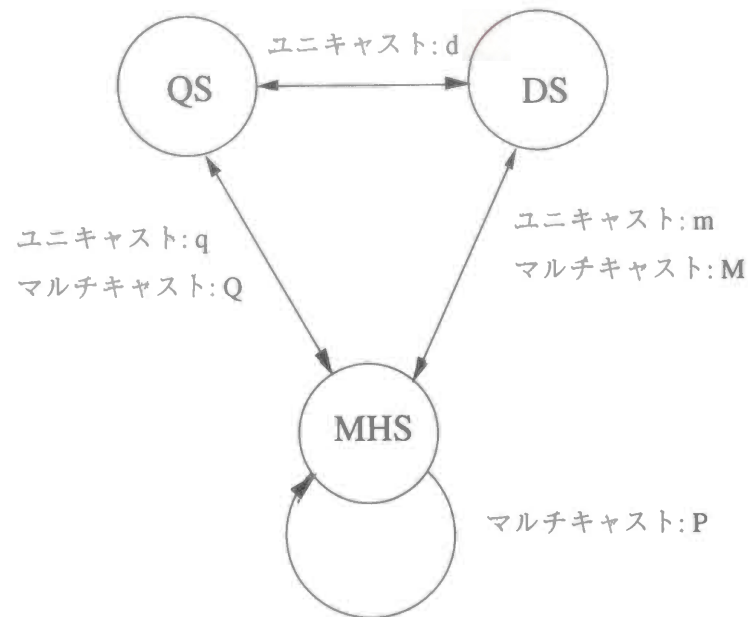


図 3.2: パケット送信コスト

λ : 移動ホストの移動間隔の間に発生する問合せ要求数のシステム全体の平均値
($0 \leq \lambda$).

ここで、パラメータ $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \lambda$ の値は、各問合せ処理サーバ、デフォルトサーバが独立してローカルに計測した値をもとに算出する予想値を求めていることを想定しており、その場合オーバーヘッドは存在しない。例えば、 θ_1 にはこれまでの運用実績に基づいて、システムのオペレータが固定値に設定しておく、 θ_2 には SBN を行っ
てからの経過時間を算出に用いる等が考えられる。より正確な見積りを行うためにシステム間で情報交換を行う場合も、ピギーバック等の手法を用いて問合せ処理コストに比べて無視できるほど小さくできると考えられる。

3.3.1 問合せ処理にかかわるコスト

最初に、問合せ処理サーバ若しくはデフォルトサーバが IA を選択できる場合に、問合せ処理に必要なコストの期待値はつぎのようになる。問合せ処理サーバが IA を選択できる場合は、

$$IA : 0 \quad (3.1)$$

で与えられ、デフォルトサーバが IA を選択できる場合は、

$$IA : 2d \quad (3.2)$$

となる。但し、 $IA : 0$ は、IA を選択した場合のコストの期待値が 0 であることを示し、以下他の動作に対しても同様の表記を用いる。つぎに、問合せ処理サーバとデフォルトサーバがともに IA を選択できない場合について考える。まず、デフォルトサーバが IQ, BQ を選択した場合に問合せ処理に必要なコストの期待値を求めるとつぎのようになる。

$$\begin{aligned} IQ &: m + \beta q + (1 - \beta)(P + q) \\ &= m + q + (1 - \beta)P \end{aligned} \quad (3.3)$$

$$BQ : M + q \quad (3.4)$$

これより、問合せ処理サーバが DQ, IQ, BQ を選択した場合に問合せ処理に必要なコストの期待値は、つぎのように与えられる。

$$\begin{aligned} DQ &: d + \theta_3(m + q + (1 - \beta)P) + (1 - \theta_3)(M + q) \\ &= d + M + q + \theta_3(m - M + (1 - \beta)P) \end{aligned} \quad (3.5)$$

$$\begin{aligned} IQ &: q + \alpha q + (1 - \alpha)(P + q) \\ &= 2q + (1 - \alpha)P \end{aligned} \quad (3.6)$$

$$BQ : Q + q \quad (3.7)$$

3.3.2 移動通知にかかわるコスト

第3.2.1項で記述した移動ホストの移動を感知した際に、移動ホストサーバが選択するそれぞれの動作によって発生するコストの期待値は、つぎのように求められる。

$$\text{SBN} : Q \quad (3.8)$$

$$\text{WBN} : 2Q \quad (3.9)$$

$$\text{SDN} : m \quad (3.10)$$

$$\text{WDN} : 2m \quad (3.11)$$

$$\text{NN} : 0 \quad (3.12)$$

3.3.3 移動間隔に発生するコスト

本項では、第3.3.1項、第3.3.2項の結果をもとに、移動ホストの移動終了時からつぎの移動開始時までシステムに課されるコストの期待値を評価する。

移動ホストの移動感知時に移動ホストサーバの選択する動作により場合分けして考察する。

(1) SBN を選択した場合

式(3.5)において $\beta = 0$ 、式(3.6)において $\alpha = 1$ とした場合に対応している。従って、システムに課されるコストの期待値 Φ_{SBN} は、式(3.5)~(3.8)より次式で与えられる。

$$\begin{aligned} \Phi_{SBN} &= Q + \lambda(\theta_1(d + M + q + \theta_3(m - M + P)) + \theta_2(2q) \\ &\quad + (1 - \theta_1 - \theta_2)(Q + q)) \\ &= Q + \lambda(Q + q + \theta_1(d + M - Q) \\ &\quad + \theta_3(m - M + P)) + \theta_2(q - Q) \end{aligned} \quad (3.13)$$

(2) WBN を選択した場合

この場合、システムに課されるコストの期待値 Φ_{WBN} は、式(3.1)、(3.9)より次式のようになる。

$$\Phi_{WBN} = 2Q \quad (3.14)$$

(3) SDN を選択した場合

式(3.5)において $\beta = 1$ 、式(3.6)において $\alpha = 0$ とした場合に対応している。従って、システムに課されるコストの期待値 Φ_{SDN} は、式(3.5)~(3.7)、(3.10)より次式のように与えられる。

$$\begin{aligned} \Phi_{SDN} &= m + \lambda(\theta_1(d + M + q + \theta_3(m - M)) \\ &\quad + \theta_2(2q + P) + (1 - \theta_1 - \theta_2)(Q + q)) \\ &= m + \lambda(q + Q + \theta_1(d + M - Q) \\ &\quad + \theta_3(m - M)) + \theta_2(q + P - Q) \end{aligned} \quad (3.15)$$

(4) WDN を選択した場合

この場合、式(3.6)において $\alpha = 0$ である。従って、システムに課されるコストの期待値 Φ_{WDN} は、式(3.2)、(3.6)、(3.7)、(3.11)よりつぎのようになる。

$$\begin{aligned} \Phi_{WDN} &= 2m + \lambda(\theta_1(2d) + \theta_2(2q + P) + (1 - \theta_1 - \theta_2)(Q + q)) \\ &= 2m + \lambda(q + Q + \theta_1(2d - Q - q) + \theta_2(q + P - Q)) \end{aligned} \quad (3.16)$$

(5) NN を選択した場合

式(3.5)において $\beta = 0$ 、式(3.6)において $\alpha = 0$ とした場合に対応している。従って、システムに課されるコストの期待値 Φ_{NN} は、式(3.5)~(3.7)、(3.12)より次式で

与えられる。

$$\begin{aligned}
 \Phi_{NN} &= \lambda(\theta_1(d + M + q + \theta_3(m - M + P)) \\
 &\quad + \theta_2(2q + P) + (1 - \theta_1 - \theta_2)(Q + q)) \\
 &= \lambda(q + Q + \theta_1(d + M - Q \\
 &\quad + \theta_3(m - M + P)) + \theta_2(q + P - Q)) \quad (3.17)
 \end{aligned}$$

3.4 性能評価

前節で求めたコスト評価式をもとに、まず移動通知方法の比較を行う。式(3.13)～(3.17)において、パケットのユニキャスト、マルチキャストにかかるコストを定数とし、その比を $k (\geq 2)$ とおく。すなわち、 $d = m = q = 1$, $M = Q = P = k$ とおくと、

$$\Phi_{SBN} = k + \lambda(1 + k + \theta_1(1 + \theta_3) + \theta_2(1 - k)) \quad (3.18)$$

$$\Phi_{WBN} = 2k \quad (3.19)$$

$$\Phi_{SDN} = 1 + \lambda(1 + k + \theta_1(1 + \theta_3(1 - k)) + \theta_2) \quad (3.20)$$

$$\Phi_{WDN} = 2 + \lambda(1 + k + \theta_1(1 - k) + \theta_2) \quad (3.21)$$

$$\Phi_{NN} = \lambda(1 + k + \theta_1(1 + \theta_3) + \theta_2) \quad (3.22)$$

となる。式(3.18)～(3.22)において、あらゆる k , θ_1 , θ_2 , θ_3 の組合せに対して、 λ の値が非常に小さいときには NN が最適となり、 λ の値が非常に大きいときには WBN が最適となる。一例として、 $k = 10$, $\theta_1 = \theta_2 = 1/3$, $\theta_3 = 1/2$ とおくと、移動ホストサーバが各移動通知方法を選択した場合に問合せ処理に要するコストの期待値は図3.3のように表される。また、ユニキャストに対するマルチキャストのコスト比 k と、移動ホストの移動間隔に発生する問合せ要求の頻度 λ に応じて、SBN, WBN,

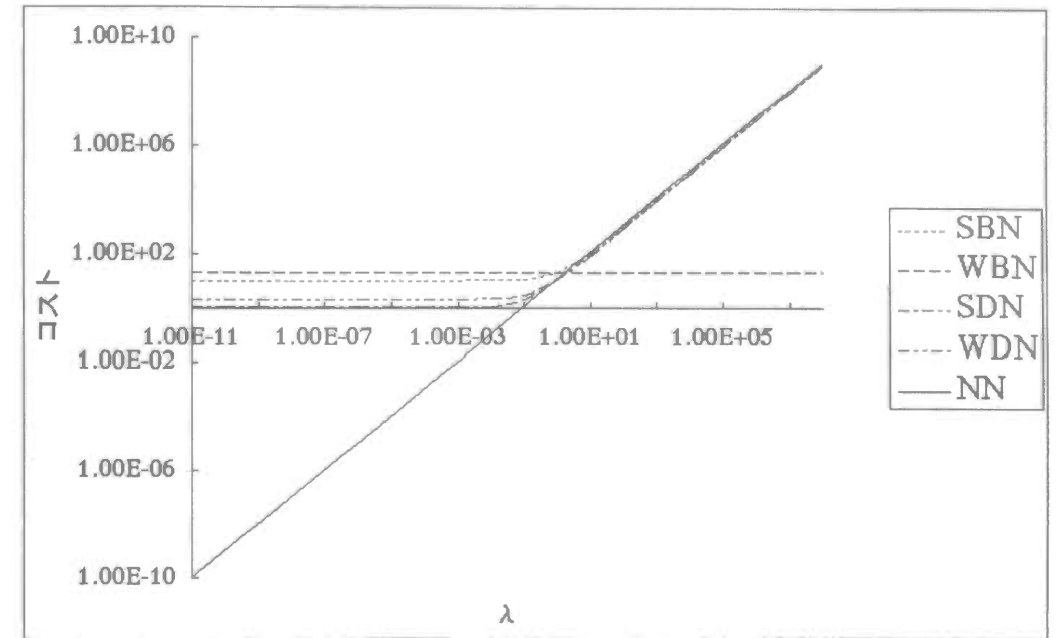


図 3.3: 5 種類の方法に対する問合せ処理コスト

SDN, WDN, NN の 5 種類の移動通知方法の各々が最適となる場合が存在する。 k と λ の値に対応して最適となっている移動通知方法を、問合せ処理サーバが IQ, DQ, BQ を等しい割合で選択し、デフォルトサーバが IQ, BQ を等しい割合で選択する ($\theta_1 = \theta_2 = 1/3$, $\theta_3 = 1/2$) 場合に求めたものが図 3.4 である。また、問合せ処理サーバが DQ を高い割合で選択し、デフォルトサーバが IQ, BQ を等しい割合で選択する ($\theta_1 = 0.9$, $\theta_2 = 0.05$, $\theta_3 = 0.5$) 場合に求めたものが図 3.5 である。

つぎに、問合せ処理サーバが IQ を高い割合で選択し、デフォルトサーバが IQ, BQ を等しい割合で選択する ($\theta_1 = 0.05$, $\theta_2 = 0.9$, $\theta_3 = 0.5$) 場合に求めたものが図 3.6 である。更に、問合せ処理サーバが IQ のみを選択し、デフォルトサーバが IQ, BQ を等しい割合で選択する ($\theta_1 = 0$, $\theta_2 = 1$, $\theta_3 = 0.5$) 場合に求めたものが図 3.7 である。

最後に、問合せ処理サーバが BQ を高い割合で選択し、デフォルトサーバが IQ の

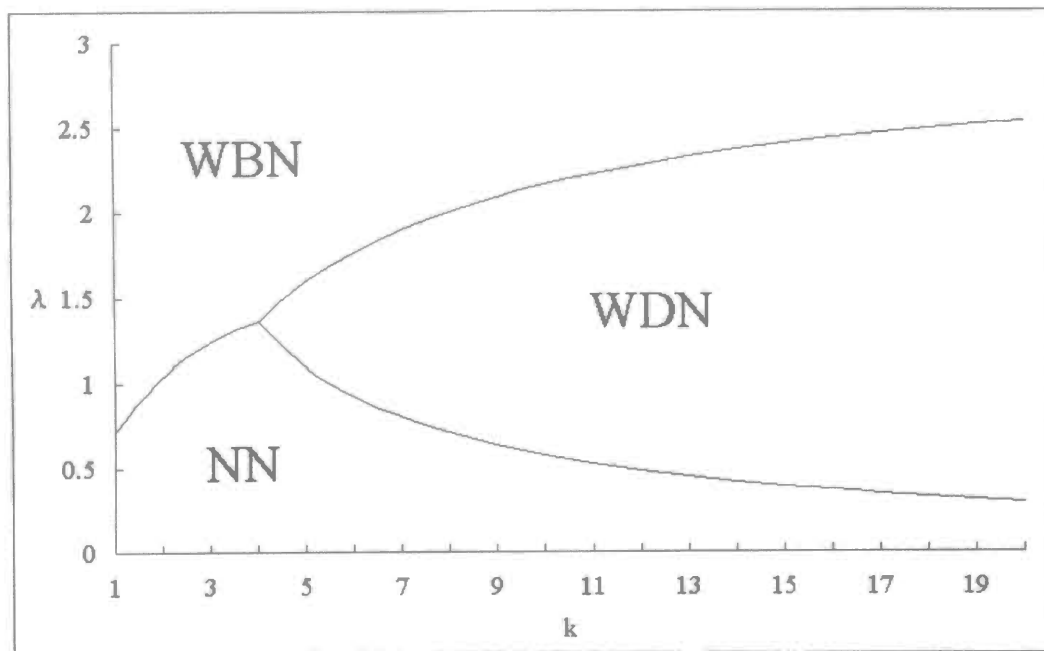


図 3.4: 最適な移動通知方法 ($\theta_1 = \theta_2 = 1/3$, $\theta_3 = 1/2$)

みを選択する ($\theta_1 = 0.2$, $\theta_2 = 0.1$, $\theta_3 = 1$) 場合に求めたものが図 3.8 である。

これらの図から、5 種類の移動通知方法が各々最適となるようなシステム環境が存在することが示された。

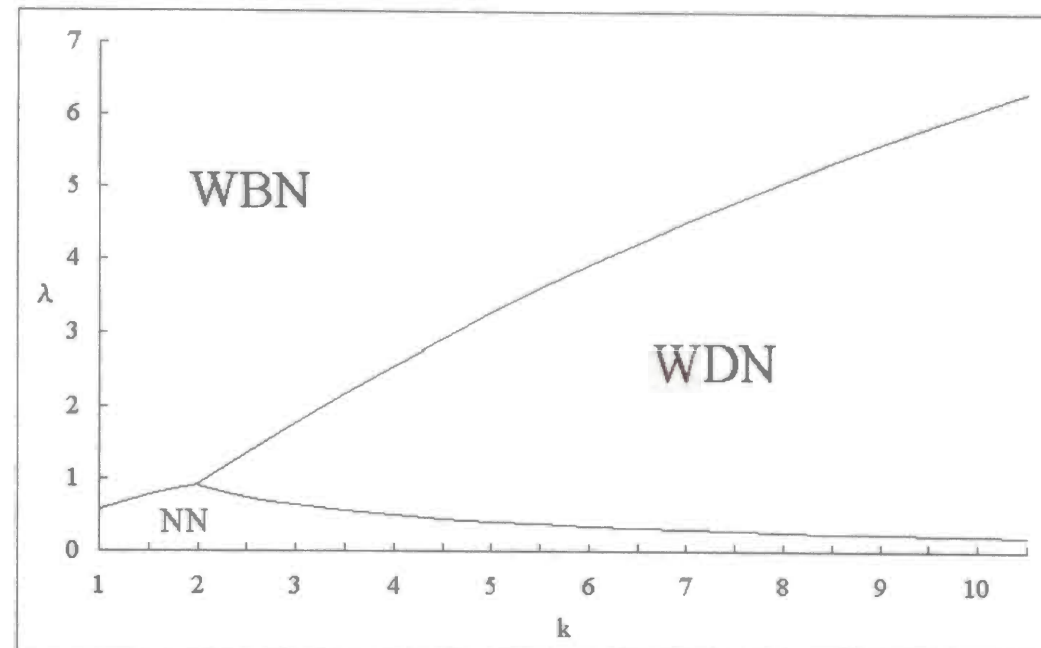


図 3.5: 最適な移動通知方法 ($\theta_1 = 0.9$, $\theta_2 = 0.05$, $\theta_3 = 0.5$)

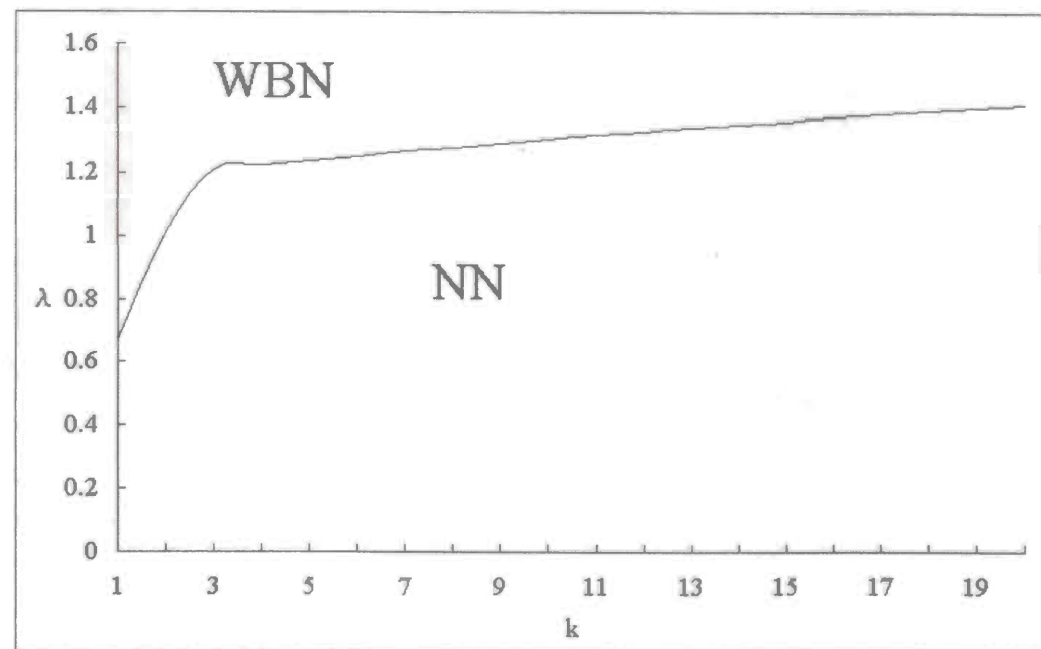
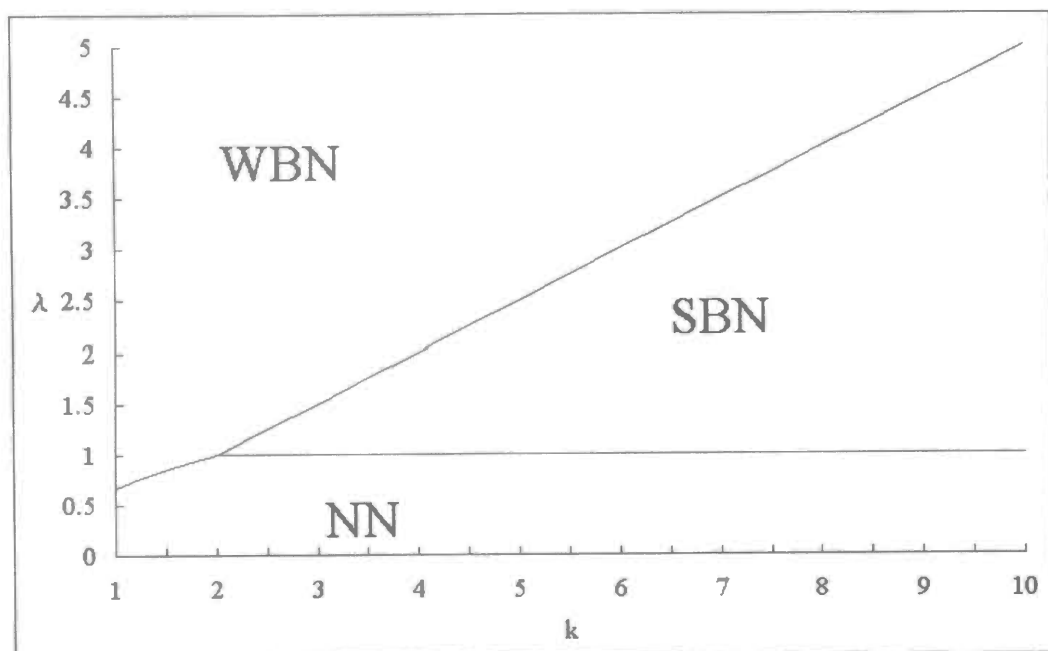
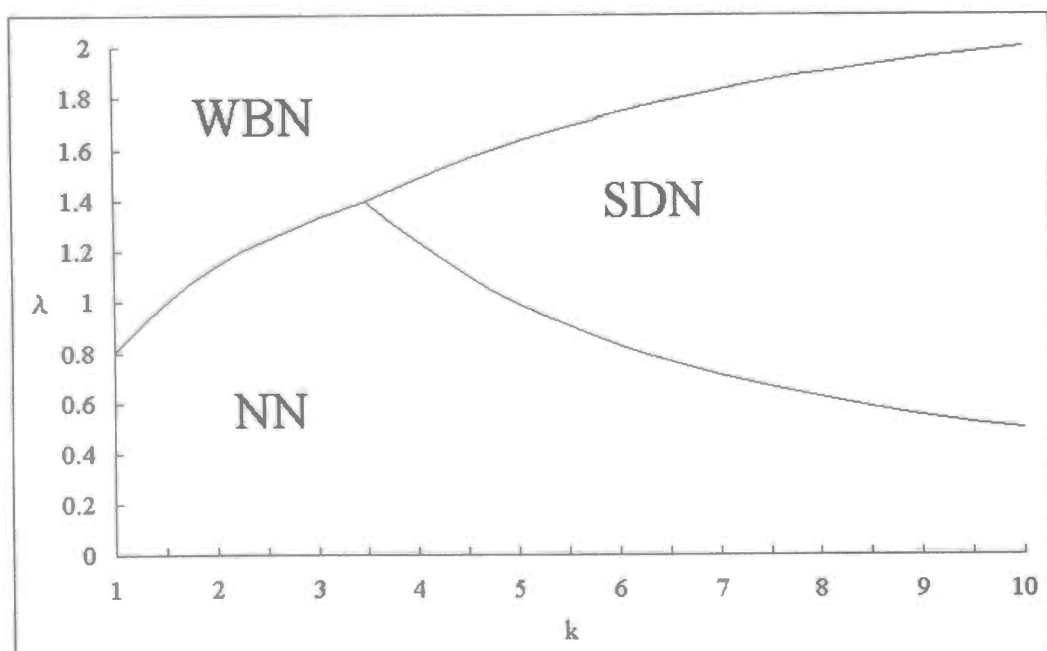


図 3.6: 最適な移動通知方法 ($\theta_1 = 0.05$, $\theta_2 = 0.9$, $\theta_3 = 0.5$)

図 3.7: 最適な移動通知方法 ($\theta_1 = 0, \theta_2 = 1, \theta_3 = 0.5$)図 3.8: 最適な移動通知方法 ($\theta_1 = 0.2, \theta_2 = 0.1, \theta_3 = 1$)

つぎに、問合せ処理方法の比較を行う。問合せ処理サーバがIAを選択できない場合に、DQ, BQ, IQのうちどれを選択すれば問合せ処理に必要なコストの期待値が最小となるかを求める。式(3.5)~(3.7)において上と同様に、 $d = m = q = 1$, $M = Q = P = k$ とおくと、

$$DQ : 2 + k + \theta_3(1 - \beta k) \quad (3.23)$$

$$IQ : 2 + (1 - \alpha)k \quad (3.24)$$

$$BQ : 1 + k \quad (3.25)$$

となる。これらのうちのどれを選択すれば問合せ処理に要するコストの期待値が最小となるかを求めたのが図3.9である。図3.9より、 β, θ_3 がともに大きいときにはDQが有効であり、 α が大きいときにはIQが有効であることがわかる。これらは、移動通知方法で移動ホストサーバがSDNを選択する状況が多いときには、問合せ処理サーバはDQを選択することが有効であり、移動ホストサーバがSBNを選択する状況が多いときには、問合せ処理サーバはIQを選択することが有効であることを表している。

3.5 むすび

本章では、モバイルコンピューティング環境における問合せ処理に関して、システム環境がさまざまに変化するなかでも、効率良く稼働できる問合せ処理方式が必要とされていることから、適応型の問合せ処理方式を提案した。本章で提案した適応型問合せ処理方式では、移動ホストの移動を感知したときに、移動ホストサーバが移動通知方法をシステム状況に応じて適応的に選択できる。更に、クライアントから問合せ要求が発生したときには、問合せ処理サーバもシステム状況に応じて問合せ処理方法を適応的に選択できるという問合せ処理方式である。

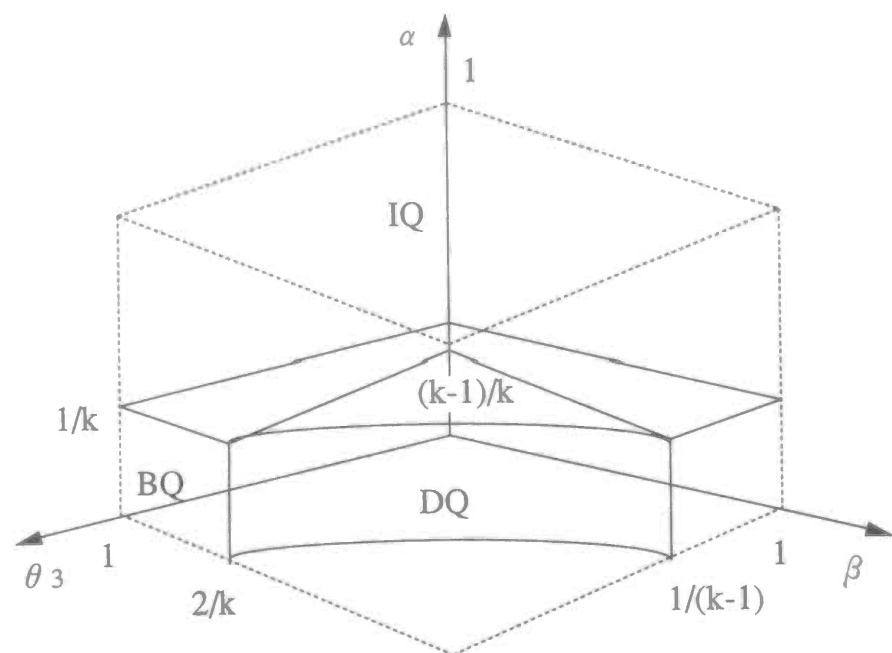


図 3.9: 最適な問合せ処理方法

この適応型問合せ処理方式について、まず、移動ホストの移動を感知した際に、SBN, WBN, SDN, WDN, NN の5種類の移動通知方法の中から、どの方法を選択すれば最適となるかを求めた。その結果、移動ホストの移動間隔に発生する問合せ要求の頻度と、ユニキャストに対するマルチキャストのコスト比に応じて、5種類の移動通知方法のそれぞれが最適となるような環境が存在することが示された。更に、問合せ移動比が十分に小さければ、他のパラメータ値にかかわらず NN が最適であり、逆に、問合せ移動比が十分に大きければ WBN が最適となることが明らかになった。

また、問合せ処理サーバが WBN による通知を受けていない場合に、DQ, BQ, IQ のどの問合せ処理方法を選択すれば問合せ処理に要するコストの期待値が最小となるかを求めた。その結果、移動通知方法として、移動ホストサーバが SDN を選択する状況が多いときには、問合せ処理サーバは DQ を選択することが有効であり、

SBN を選択する状況が多いときには、IQ を選択することが有効であることが明らかになった。

なお、本章の議論では、性能評価を行うにあたり、性能に直接影響するパラメータの数が多いため、提案した適応型問合せ処理方式が、他の問合せ処理方式と比べて実際にどのくらい有効であるかを示すことが出来なかった。この評価を次章のシミュレーション実験により行う。

第4章

適応型問合せ処理方式の性能評価

4.1 まえがき

本章では、第3章で提案した適応型問合せ処理方式の性能評価を行う。第3章で提案した適応型問合せ処理方式は、問合せ処理サーバにおいて選択できる問合せ処理方法が4種類、デフォルトサーバにおいて選択できる問合せ処理方法が3種類、移動ホストサーバにおいて選択できる移動通知方法が5種類あり、処理方式選択の自由度が高い。また、問合せ処理サーバが問合せ処理方法としてIQを選択したときそれが正しい確率 α 、デフォルトサーバがIQを選ぶときそれが正しい確率 β 等の適応型問合せ処理方式を実環境で運用した結果算出されるようなパラメータが存在するため、解析式による性能解析が困難である。従って、本章では適応型問合せ処理方式をシミュレーション実験により性能評価を行う。

以下、第4.2節では、シミュレーション実験で用いるモバイルコンピューティング環境のモデル、および、第3章で算出した適応型問合せ処理方式のコスト評価式で用いている種々のパラメータを決定する。第4.3節ではシミュレーション実験による適応型問合せ処理方式の性能を示し、適応型問合せ処理方式が広範囲のシステム

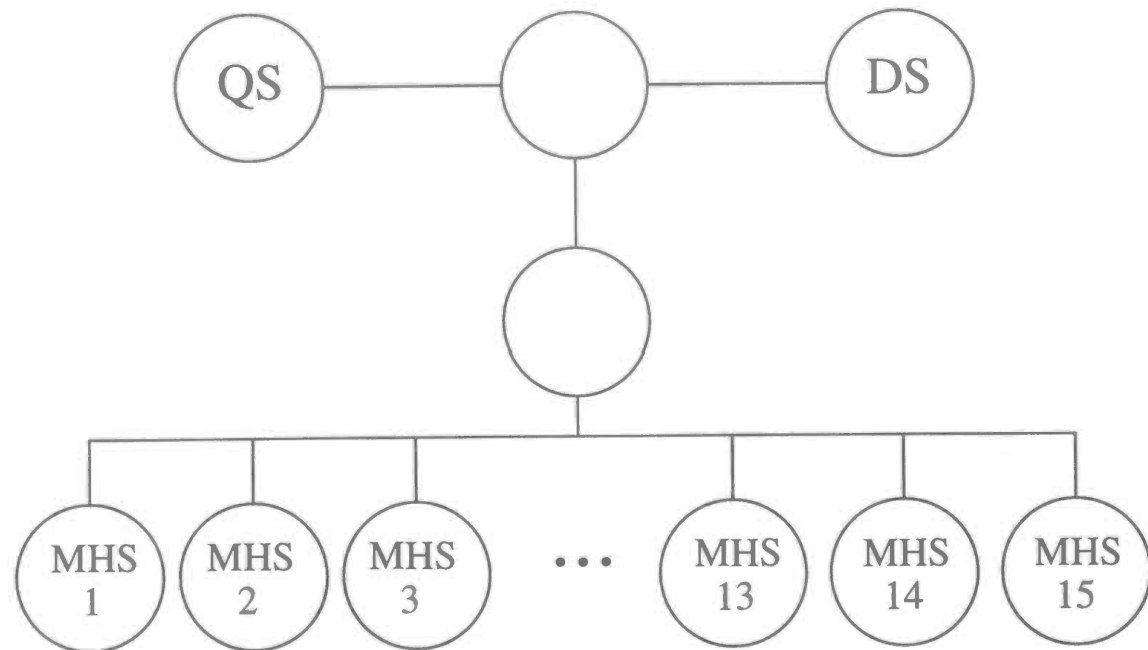


図 4.1: シミュレーション実験・モデル

環境で有効であることを示す。最後に第 4.4 節で本章のまとめについて述べる。

4.2 シミュレーション実験・モデル

図 4.1 にシミュレーション実験で用いるモバイルコンピューティング環境のモデルを示す。これは、100 人規模の従業員のいるオフィスで、無線 LAN によりモバイルコンピューティング環境を実現している場合等を想定している。ネットワーク上に、問合せ処理サーバが 1 台、デフォルトサーバが 1 台、移動ホストサーバが 15 台、また、(図 4.1 では示されていないが) 移動ホストが 100 台、それぞれ存在するものとする。このモデルでは、図 3.2 で記されている、問合せ処理サーバ、デフォルトサーバ、移動ホストサーバ間でパケットをユニキャスト若しくは、マルチキャスト

トするために必要なコストの期待値は、つぎの値であるものと仮定する。

$$d = 2 \quad (4.1)$$

$$m = 3 \quad (4.2)$$

$$M = 17 \quad (4.3)$$

$$P = 15 \quad (4.4)$$

$$q = 3 \quad (4.5)$$

$$Q = 17 \quad (4.6)$$

4.2.1 問合せ処理にかかわるコスト

これらのパラメータ値を式 (3.1)~(3.7) に代入すると、以下のような式が得られる。

問合せ処理サーバが IA を選択できる場合は、

$$IA : 0 \quad (4.7)$$

となり、デフォルトサーバが IA を選択できる場合はつぎのようになる。

$$IA : 4 \quad (4.8)$$

また、問合せ処理サーバとデフォルトサーバがともに IA を選択できない場合に、問合せ処理サーバが DQ, IQ, BQ を選択した場合に問合せ処理に必要なコストの期待値は、次式で与えられる。

$$DQ : 22 + \theta_3(-14 + 15 \cdot (1 - \beta)) \quad (4.9)$$

$$IQ : 6 + 15 \cdot (1 - \alpha) \quad (4.10)$$

$$BQ : 20 \quad (4.11)$$

4.2.2 移動通知にかかわるコスト

式(4.1)~(4.6)を式(3.8)~(3.12)に代入すると、5種類の移動通知方法を選択した場合に必要なコストの期待値は、各々つぎの値となる。

$$\text{SBN} : 17 \quad (4.12)$$

$$\text{WBN} : 34 \quad (4.13)$$

$$\text{SDN} : 3 \quad (4.14)$$

$$\text{WDN} : 6 \quad (4.15)$$

$$\text{NN} : 0 \quad (4.16)$$

4.2.3 移動間隔に発生するコスト

更に、式(4.1)~(4.6)を式(3.13)~(3.17)に代入すると、移動ホストの移動終了時からつぎの移動開始時までシステムに課されるコストの期待値は以下の式で与えられる。

$$\Phi_{\text{SBN}} = 17 + \lambda(20 + \theta_1(2 + \theta_3) - 14 \cdot \theta_2) \quad (4.17)$$

$$\Phi_{\text{WBN}} = 34 \quad (4.18)$$

$$\Phi_{\text{SDN}} = 3 + \lambda(20 + \theta_1(2 - 14 \cdot \theta_3) + \theta_2) \quad (4.19)$$

$$\Phi_{\text{WDN}} = 6 + \lambda(20 - 16 \cdot \theta_1 + \theta_2) \quad (4.20)$$

$$\Phi_{\text{NN}} = \lambda(20 + \theta_1(2 + \theta_3) + \theta_2) \quad (4.21)$$

4.3 シミュレーション実験

第3章で述べた適応型問合せ処理方式について、以下のシミュレーション実験を行う。本節ではシミュレーション実験の環境とその結果を示す。特に、適応型問合

せ処理方式と第1.3節で説明したSBN, WBN, SDN, WDN, NNの5種類の各方式を問合せ処理方式として採用した、適応型でない問合せ処理方式とのコストの期待値を比較する。

4.3.1 シミュレーション実験の実行環境の設定

シミュレーション実験では離散時間モデルを用い、時間の最小単位をティックとよぶ。また、1周期を1000ティックとし、与えられたパラメータを変えながら20周期にわたりシミュレーション実験を行う。各移動ホストは最新の100ティックの移動と問合せに対する情報を保持している。移動ホストが移動するときには、移動通知方法を選択するときの情報を与えるために、移動先の各移動ホストサーバに各々の移動ホストがこれまでにを行った移動の頻度と問合せ要求を受けた頻度とを通知する。また、移動ホストが異なるセルに移動する場合には、現在属しているセル以外のセルをランダムに選択する。なお、マルチキャストとユニキャストのコスト比 k の値は、移動ホストサーバの総数により決定する。

適応型の問合せ処理方式でないSBN, WBN, SDN, WDN, NNの各方式の場合には、各ティックでコストの期待値を静的に計算するが、適応型問合せ処理方式の場合は、第4.2.3項で示した移動通知と問合せ処理にかかわるコストの期待値の数式により、問合せ処理に必要なコストの期待値を動的に計算し、各ティック毎に最適な方式を選択する。移動通知にかかわるコストの期待値の計算に用いるパラメータ λ は問合せ発生頻度と移動頻度の比である。 λ は各移動ホストによって移動ホストサーバに伝えられた移動頻度と問合せ発生頻度に関する情報を用いて計算する。問合せ処理サーバとデフォルトサーバにおいては、移動ホストサーバからのパケットを受信することにより、移動頻度と問合せ発生頻度の情報を更新する。

問合せ処理サーバが、最適な問合せ処理方法の選択のために用いるコストの期待

値の計算に必要なパラメータには第4.2.3項で記述した、 α と β がある。 α の値は各移動ホストがWBNにより移動通知をされたときの値を1とし、時間が経つにつれてこの値は指数関数的に減らして行く。 β に関しては、問合せ処理サーバにおいては移動ホストサーバがデフォルトサーバにWDNで通知したことは把握できないので、この値の初期値を1/2と設定しておく。その後、問合せ処理サーバから問合せ処理要求を転送されたデフォルトサーバが、移動ホストサーバからWDNで通知されていたときにはIAを選択する。その結果、問合せ処理サーバは、移動がWDNで通知されていたことを認識できるので、デフォルトサーバがIAを選択したときに β の値を1に設定し、時間が経つにつれこの値を減らして行く。

最後に、パラメータ θ_1 , θ_2 , θ_3 の値の設定には、第3.4節で明らかにされた「問合せ移動比が低い状態ではNNを、問合せ移動比が高い状況ではWBNを選択することが最適となる」という結果を、シミュレーション実験のプログラムのなかにつきぎのように取り入れる。すなわち、問合せ移動比が低い状況では $(1 - \theta_1 - \theta_2)$ の値が大きくなるように、また、問合せ移動比が高い状況では θ_2 の値が大きくなるように設定する。

4.3.2 シミュレーション実験結果

まず、図3.4～図3.8のそれぞれに対応するようなシミュレーション実験を試みる。すなわち、 θ_1 , θ_2 , θ_3 の値を固定し、 λ の値に対応して、SBN, WBN, SDN, WDN, NNの5種類の問合せ処理方式のうちのどれが最適となるのかを調べる。更に、適応型の問合せ処理方式との問合せ処理に要するコストの期待値を比較する。図3.4～図3.8を求めた場合と同じ θ_1 , θ_2 , θ_3 の値のもとでシミュレーション実験を行う。すなわち、 $\theta_1 = \theta_2 = 1/3$, $\theta_3 = 1/2$ の場合に求めたものが図4.2, $\theta_1 = 0.9$, $\theta_2 = 0.05$, $\theta_3 = 0.5$ の場合に求めたものが図4.3, $\theta_1 = 0.05$, $\theta_2 = 0.9$, $\theta_3 = 0.5$ の場合に求

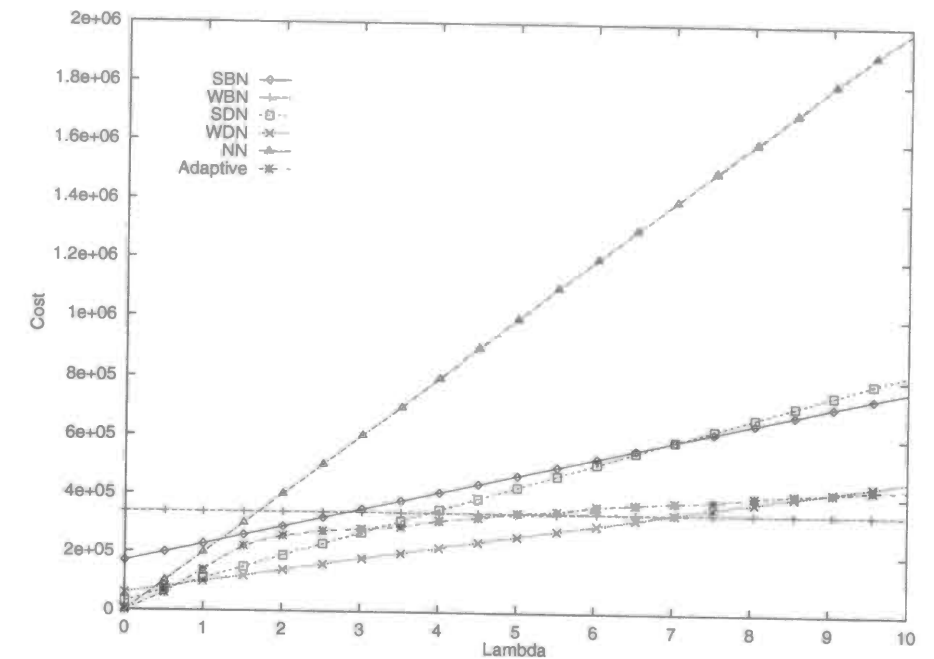


図4.2: 問合せ処理コスト ($\theta_1 = \theta_2 = 1/3$, $\theta_3 = 1/2$)

めたものが図4.4, $\theta_1 = 0$, $\theta_2 = 1$, $\theta_3 = 0.5$ の場合に求めたものが図4.5, そして、 $\theta_1 = 0.2$, $\theta_2 = 0.1$, $\theta_3 = 1$ の場合に求めたものが図4.6である。なお、シミュレーション実験の場合、 $Q/q = M/m = 17/3$; $P/d = 15/2$ であるので、 $k \approx 6$ であると考えられる。

図4.2～図4.6から観察できる、 λ の変化に伴う最適な問合せ処理方式の変化と、図3.4～図3.8で得られている結果とを比べると、 λ の値が小さい場合にはNNが最適であり、 λ の値がの大きくなるにつれ、SBN, SDN 若しくは WDN が最適となり、 λ の値が十分に大きくなると WBN が最適であるという傾向を、いずれの場合でも観測できる。最適な問合せ処理方式が完全には一致していないのは、図3.4～図3.8は、移動ホストサーバにおける移動通知方法のみを考慮した場合の最適な問合せ処理方式が示されており、問合せ処理サーバとデフォルトサーバにおける問合せ処理方法を選択する影響が考慮されていないからである。一方、図4.2～図4.6はシミュ

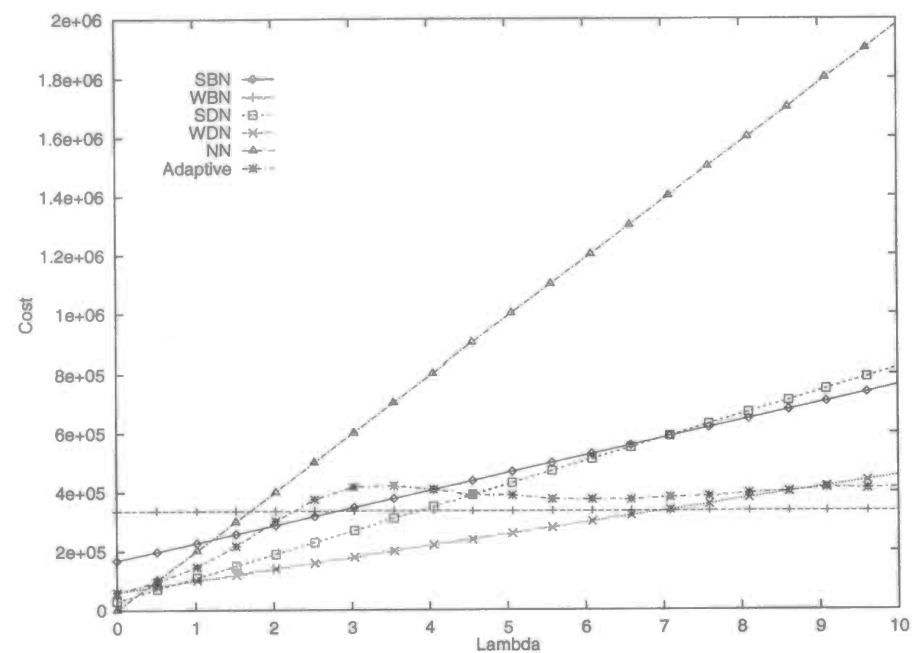


図 4.3: 問合せ処理コスト ($\theta_1 = 0.9, \theta_2 = 0.05, \theta_3 = 0.5$)

レーション実験により、移動通知方法の選択による影響に加え、 α, β の値として問合せ処理方法の選択による影響が反映されているためである。また、これらのように、 $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ の値を固定した場合でも、 λ の値の広い範囲を考えると、適応型問合せ処理方式が有効に稼働することが示されている。

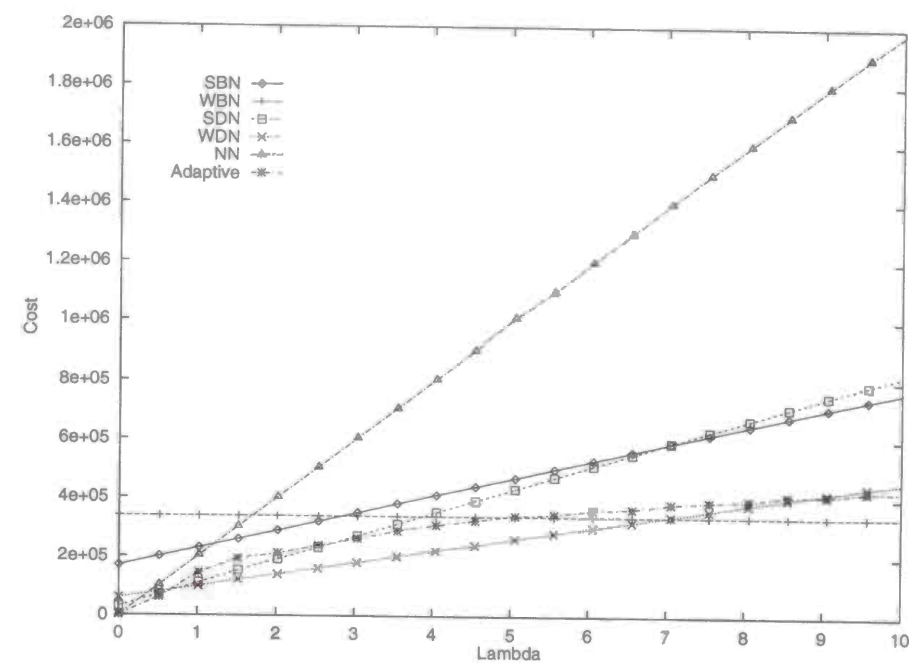


図 4.4: 問合せ処理コスト ($\theta_1 = 0.05, \theta_2 = 0.9, \theta_3 = 0.5$)

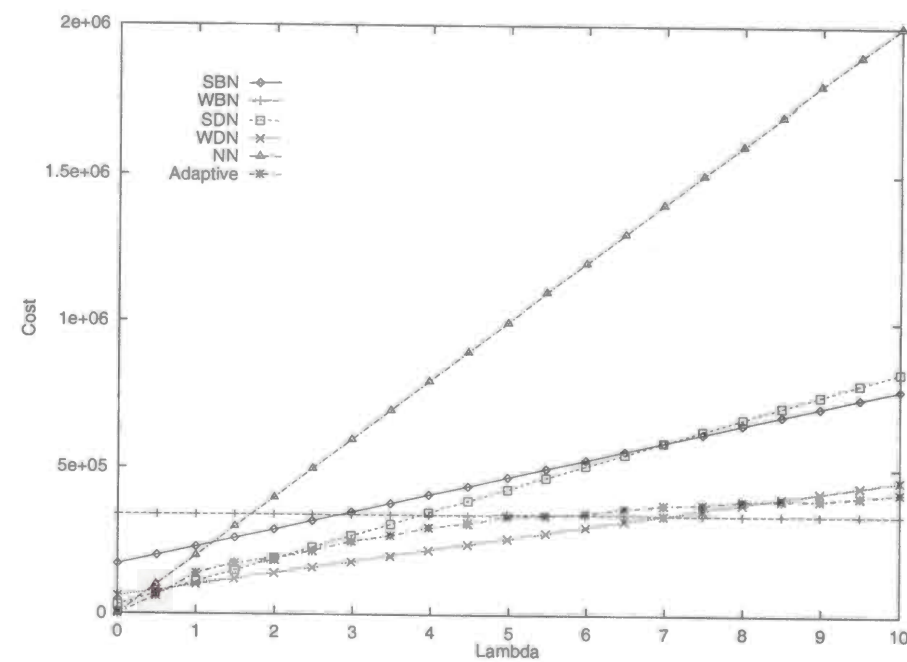


図 4.5: 問合せ処理コスト ($\theta_1 = 0, \theta_2 = 1, \theta_3 = 0.5$)

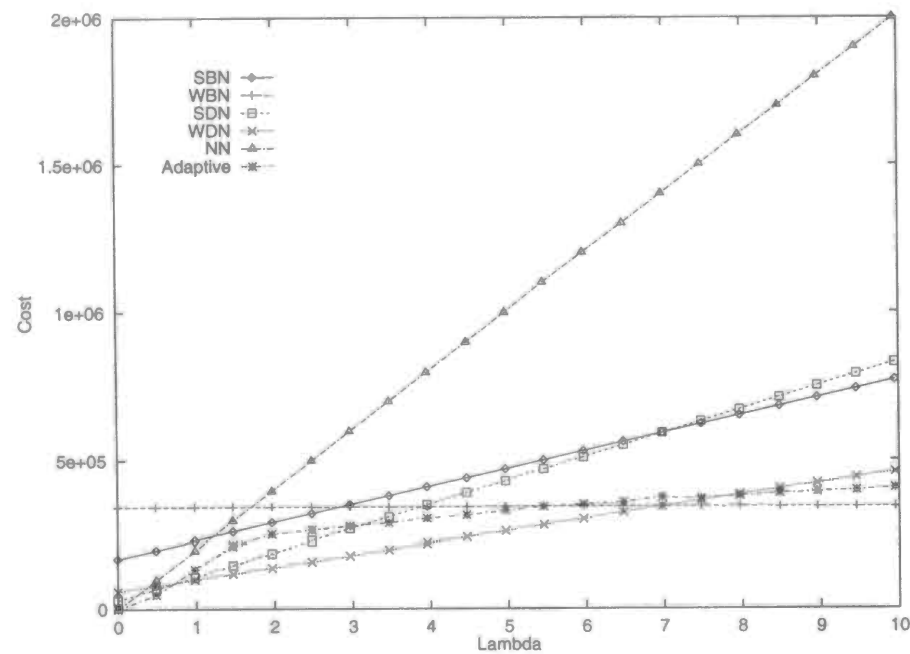
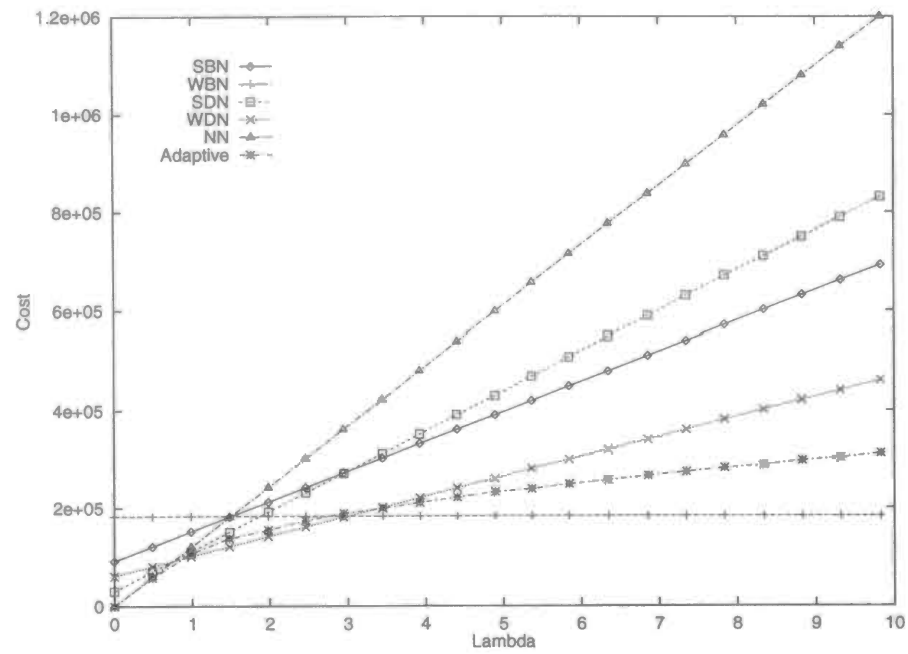
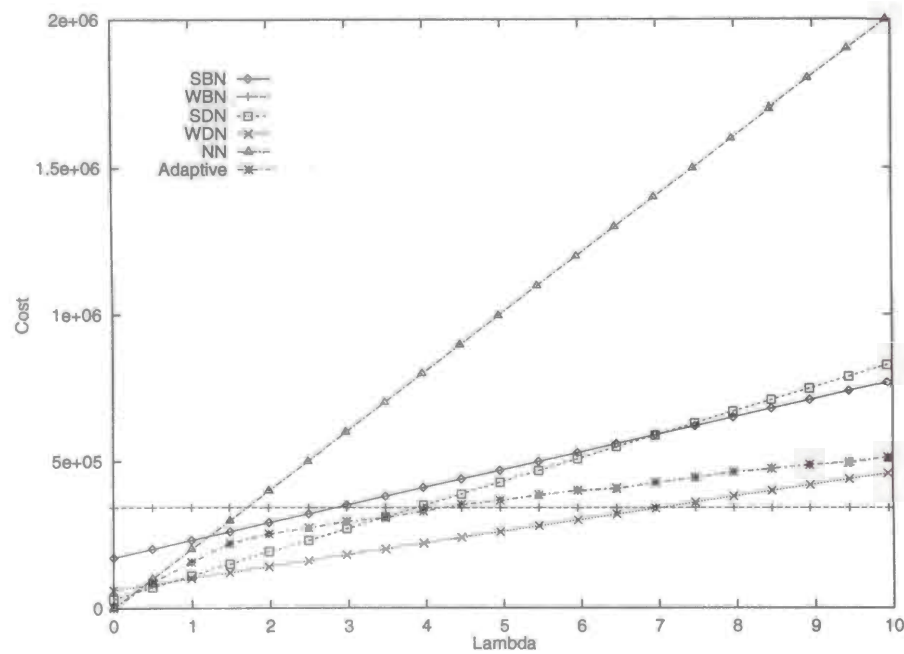


図 4.6: 問合せ処理コスト ($\theta_1 = 0.2$, $\theta_2 = 0.1$, $\theta_3 = 1$)

つぎに、以下のような方針で、シミュレーション実験を行う。まず、マルチキャストとユニキャストの比 k がある程度小さい場合と大きい場合、すなわち、 $k = 25/8$ と $k = 49/8$ の場合に分けてシミュレーション実験を行い、問合せ発生頻度と移動頻度の比 λ と問合せ処理コストの期待値との関係を求める。図 4.7, 図 4.8 に、この場合のシミュレーション実験の結果を示す。

これらの図から、ユニキャストに対するマルチキャストのコストの比がある程度小さい、 $k = 25/8$ の場合は、 λ のとりうる広い範囲を考慮すると、問合せ処理方式として SBN, WBN, SDN, WDN, NN のなかからどの一つを採用する場合よりも、適応型問合せ処理方式を採用した場合の方が効果的であることが示された。また、 $k = 49/8$ の場合には、図 4.8 では、マルチキャストにかかわるコストが 0 であり、問合せ処理にかかわるコストの期待値が SDN よりも小さい、WDN を選択する場合が最適であるように思えるが、 λ の値が更に大きくなると、適応型問合せ処理方式の方が WDN よりもコストが低く抑えられることも読み取れる。従って、ユニキャストに対するマルチキャストのコストの比がある程度小さい場合同様、ユニキャストに対するマルチキャストのコストの比がある程度大きい場合にも、 λ のとりうる広い範囲を考慮すると、適応型問合せ処理方式が有効であることが明らかになった。

図 4.7: $k = 25/8$ の場合図 4.8: $k = 49/8$ の場合

つぎに、 λ が1/7, 4/3, 4の三つの場合について各々1000回ずつ合計3000回のシミュレーション実験を行い、これらの場合の問合せ処理に要するコストの平均値を求め、 k が問合せ処理に要するコストの期待値に及ぼす影響を比較する。図4.9はマルチキャストのコストを固定しユニキャストのコストを減らすという方法で、また、図4.10はユニキャストのコストを固定しマルチキャストのコストを増やすという方法で、それぞれ k の値を増やして行くことによりシミュレーション実験を行った結果である。

図4.9、図4.10とも適応型問合せ処理方式が効果的であることが表されている。このシミュレーション実験ではSDN、WDNのコストの期待値はマルチキャストにかかわるコストが0であるので、図4.9では k が大きくなるにつれ、これらの移動通知方法のコストの期待値は0に近づいており、図4.10ではユニキャストのコストが一定値であるためSDN、WDNのコストの期待値が一定になっている。

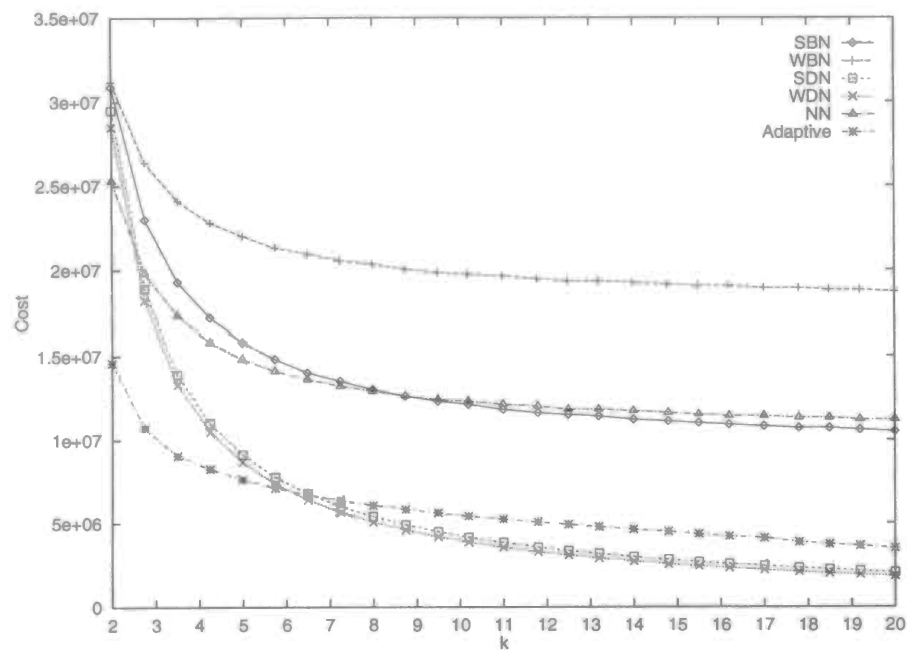


図 4.9: マルチキャストのコストを固定した場合

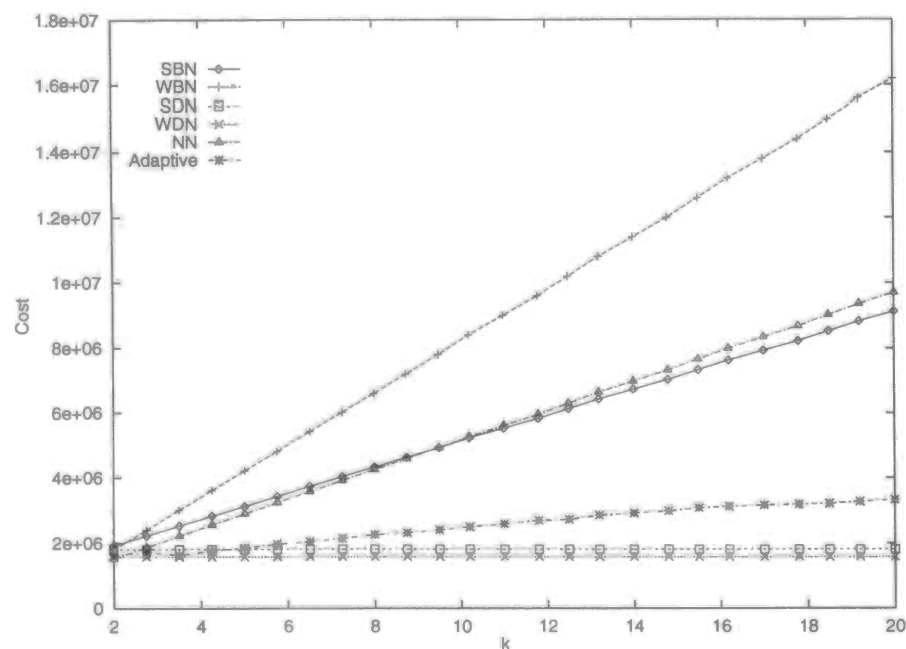


図 4.10: ユニキャストのコストを固定した場合

4.4 むすび

本章では、第3章で提案した適応型問合せ処理方式の性能が、他の問合せ処理方式に比べてどれだけ有効であるかを示すために、シミュレーション実験により性能評価を行った。第3章で提案した適応型問合せ処理方式とは、モバイルコンピューティング環境における移動ホストの存在問合せに対して、問合せ処理サーバが4種類、デフォルトサーバが3種類の問合せ処理方法を適応的に選択でき、更に移動ホストサーバが5種類の移動通知方法を適応的に選択できるような問合せ処理方式であった。

シミュレーション実験においては、まず、問合せ処理サーバがDQを選択している割合(θ_1)、問合せ処理サーバがIQを選択している割合(θ_2)、デフォルトサーバがIQを選択している割合(θ_3)の値を固定し、第3章で得られている、問合せ移動比(λ)の値の変化に伴う最適な問合せ処理方式の変化が、シミュレーション実験においても得られることを確認した。すなわち、問合せ移動比が十分に小さければ、他のパラメータ値にかかわらずNNが最適であり、逆に、問合せ移動比が十分に大きければWBNが最適となることが示された。

更に、 θ_1 , θ_2 , θ_3 の値を変化させた実環境に近いシミュレーション実験においては、問合せ要求の発生頻度と移動ホストの移動頻度の比やユニキャストに要するコストに対するマルチキャストに要するコストの比を変化させて、問合せ処理に要するコストの期待値を求め、複数の方式を動的に切り換える適応型問合せ処理方式が、SBN, WBN, SDN, WDN, NNのそれぞれの方式を単独に用いた場合に比べて広範囲のシステム環境で有効であることが明らかになった。

第3章と第4章で取り上げた適応型問合せ処理方式は、移動ホストサーバにおいて移動通知方法を選択できるのに加えて、問合せ処理サーバとデフォルトサーバにおいても問合せ処理方法を選択できるので、問合せ処理方式としての自由度が高く、

システム環境のさまざまな変化により適確に対応できるような適応型問合せ処理方式である。しかしながら、自由度が高い反面、性能を決定するパラメータの数も多くなっており、性能評価においては、本章のようにシミュレーション実験に頼らざるを得ない。そこで、次章では自由度を犠牲にはするが、より解析的な適応型の問合せ処理方式を提案し、その性能解析を行う。

第5章

適応型問合せ処理方式の性能解析

5.1 まえがき

本章では第3章、第4章で議論した適応型問合せ処理方式を、実環境で運用した場合の性能をより解析し易い新たな適応型問合せ処理方式を提案し、その性能解析を行う。第3章、第4章で議論した適応型問合せ処理方式では、移動ホストサーバにおいて移動通知方法を選択することが可能であり、更に、問合せ処理サーバやデフォルトサーバにおいても問合せ処理方法を選択できるという、非常に自由度の高い適応型問合せ処理方式であった。従って、実環境で運用した場合に高い性能を引き出すことが期待できるが、その反面、パラメータの数が多く性能解析が困難であった。これに対して、本章で提案する適応型問合せ処理方式は、問合せ対象となっている移動ホストの問合せ処理サーバおよびデフォルトサーバにおける問合せ処理方法が、移動ホストサーバによって選択された移動通知方法によって決定されるという方式である。従って、第3章、第4章で議論した適応型問合せ処理方式に比べると自由度が低いですが、その分、より実環境で運用した場合に近い性能解析が可能である。本章では、この適応型問合せ処理方式の性能をマルコフ連鎖による解析を行うとともに

に、より現実に近い状況における性能解析を行うために、個々の移動ホストへのトラフィックを統計的手法によって推定することにより解析を行う。その結果、提案した適応型問合せ処理方式が広範囲のシステム環境で有効であることを示す。

以下、第 5.2 節において、移動ホストサーバが選択できる 5 種類の移動通知方法について説明する。つぎに、第 5.3 節において、移動ホストサーバによって選択された移動通知方法によって決定される、問合せ処理サーバとデフォルトサーバの状態について説明する。更に、第 5.4 節において、問合せ処理サーバとデフォルトサーバの状態をマルコフ連鎖の状態に対応づけ、本章で提案する適応型問合せ処理方式の性能を解析する。最後に、第 5.5 節で本章のまとめを行う。

5.2 移動ホストサーバの移動検出時の動作

第 3 章、第 4 章の適応型問合せ処理方式と同様に、移動ホストサーバは自分の管理するセル内で移動ホストの移動を感知すると、第 1.3 節で説明したつぎの 5 種類の移動通知方法のうち、移動ホストの移動を検出したときのシステムの状況に応じた最適な方法の一つ自らの判断で選択することができる。その 5 種類の移動通知方法とは、

1. 単一ブロードキャスト通知法 (SBN: Single Broadcast Notification)
2. 2重ブロードキャスト通知法 (WBN: Double Broadcast Notification)
3. 単一デフォルト通知法 (SDN: Single Default Notification)
4. 2重デフォルト通知法 (WDN: Double Default Notification)
5. 何もしない (NN: No Notification)

である。本章で議論する適応型問合せ処理方式は、移動ホストサーバにおいてこれら 5 種類の移動通知方法を適応的に選択できるのみであり、第 3 章、第 4 章で議論した適応型問合せ処理方式のように、問合せ処理サーバやデフォルトサーバにおいて問合せ処理方法を選択できるものではない。問合せ処理サーバとデフォルトサーバは、移動ホストサーバで選択された移動通知方法により次節で説明する状態の一つになり、その状態によってとりうる問合せ処理方法は一意に決定される。

5.3 サーバの状態

移動ホストが移動した場合に移動ホストサーバは、前節で説明した 5 種類の移動通知方法の一つを選択するが、選択された移動通知方法によって問合せ処理サーバとデフォルトサーバの移動ホストに対する状態が変化する。本節では、これら問合せ処理サーバとデフォルトサーバのとりうる状態について説明する。

5.3.1 問合せ処理サーバの状態

移動ホストの移動検出時に移動ホストサーバが選択した移動通知方法により、問合せ処理サーバはつぎの 4 種類の状態のいずれか一つの状態にあり、クライアントからの問合せ要求発生時にそれぞれの状態に対して決定されている問合せ処理を行う。

1. SBN(KT):

問合せ対象となっている移動ホストの前回の移動時に移動ホストサーバが SBN を選択した場合がこの状態である。この状態では、問合せ処理サーバが保持している移動ホストの位置情報は正しい。つまり、問合せ処理サーバは移動ホストの位置を知って (Know) おり、その情報は正しい (Tue)。クライアントからの問合せ要求に対し問合せ処理サーバは、自分の保持している位置情報に基づ

き、移動ホストを管理しているはずの移動ホストサーバに移動ホストの存在を確認するためのパケットを送る。SBN(KT)の場合、問合せ処理サーバからの問合せ要求を受けた移動ホストサーバは、確かに目的の移動ホストを管理しているので、問合せ対象となっている移動ホストの位置情報を問合せ処理サーバに返す。

2. SBN(KF):

問合せ対象となっている移動ホストの過去の移動時に移動ホストサーバがSBNを選択し、その後、その移動ホストが移動したときに、移動ホストサーバが、SDN、WDN若しくはNNのいずれかを選択している場合がこの状態である。この状態では、問合せ処理サーバが保持している移動ホストの位置情報は正しくない。つまり、問合せ処理サーバは移動ホストの位置を知って(Know)おり、その情報は誤っている(False)。ところが、問合せ処理サーバ自身は、自分が今SBN(KT)かSBN(KF)のいずれかであることはわかるが、どちらであるかはわからない。従って、クライアントからの問合せ要求に対し問合せ処理サーバは、自分の保持している位置情報に基づき、移動ホストを管理しているはずの移動ホストサーバに移動ホストの存在を確認するためのパケットを送る。SBN(KF)の場合、問合せ処理サーバからの確認要求を受けた移動ホストサーバは、目的の移動ホストを管理していないので、目的の移動ホストの位置を確認するためネットワーク上のすべての移動ホストサーバに対して、移動ホストの位置を確認するためのパケットをブロードキャストする。このブロードキャストされたパケットに対して、目的の移動ホストを管理している移動ホストサーバは位置情報を問合せ処理サーバに返す。

3. WBN(K):

問合せ対象となっている移動ホストの前回の移動時に移動ホストサーバがWBN

を選択した場合がこの状態である。この状態では、問合せ処理サーバが保持している移動ホストの位置情報は正しい。つまり、問合せ処理サーバは移動ホストの位置を知って(Know)おり、その情報は常に正しい。従って、クライアントからの問合せ要求に対し問合せ処理サーバは、自分の保持している移動ホストの位置情報をクライアントに直ちに返すことができる。

4. WBN(U):

問合せ対象となっている移動ホストの過去の移動時に移動ホストサーバがWBNを選択し、その後、その移動ホストが移動し、移動ホストサーバが、SDN、WDN若しくはNNのいずれかを選択している場合がこの状態である。また、問合せ処理サーバの初期状態はこの状態である。この状態では、問合せ処理サーバは移動ホストの位置情報をもっていない。つまり、問合せ処理サーバは移動ホストの位置を知らない(Unknown)。従って、クライアントからの問合せ要求が発生すると問合せ処理サーバは、目的の移動ホストのデフォルトサーバに問合せ要求を転送し、デフォルトサーバに問合せ処理を依頼する。

5.3.2 デフォルトサーバの状態

移動ホストの移動検出時に移動ホストサーバが選択した移動通知方法により、デフォルトサーバは問合せ処理サーバと同様につきの4種類の状態のいずれか一つの状態にある。WBN(U)の状態にある問合せ処理サーバからの問合せ要求転送時に、デフォルトサーバのそれぞれの状態に応じた問合せ処理を行う。

1. SDN(KT):

問合せ対象となっている移動ホストの前回の移動時に移動ホストサーバがSDNを選択した場合がこの状態である。この状態では、デフォルトサーバが保持している移動ホストの位置情報は正しい。問合せ処理サーバから転送された問

問合せ要求に対しデフォルトサーバは、自分の保持している位置情報に基づき、移動ホストを管理しているはずの移動ホストサーバに向けて移動ホストの存在を確認するためにパケットを送信する。SDN(KT)の場合、デフォルトサーバからの確認要求を受けた移動ホストサーバは、確かに目的の移動ホストを管理しているので、問合せ対象となっている移動ホストの位置情報を問合せ処理サーバに返す。

2. SDN(KF):

問合せ対象となっている移動ホストの過去の移動時に移動ホストサーバがSDNを選択し、その後、その移動ホストが移動したときに、移動ホストサーバが移動通知方法として、SBN, WBN 若しくは NN のいずれかを選択している場合がこの状態である。この状態では、デフォルトサーバが保持している移動ホストの位置情報は正しくない。しかしながら、デフォルトサーバ自身は、自分が今SDN(KT)かSDN(KF)のいずれかであることはわかるが、どちらであるかはわからない。従って、問合せ処理サーバから転送された問合せ要求に対しデフォルトサーバは、自分の保持している位置情報に基づき、移動ホストを管理しているはずの移動ホストサーバに向けて、移動ホストの存在を確認するためにパケットを送信する。SDN(KF)の場合、デフォルトサーバからの確認要求を受けた移動ホストサーバは、目的の移動ホストを管理していないので、目的の移動ホストの位置を確認するためネットワーク上のすべての移動ホストサーバに対して、移動ホストの位置確認の要求をブロードキャストする。このブロードキャストされた要求に対して、目的の移動ホストを管理している移動ホストサーバは、移動ホストの位置情報を問合せ処理サーバに返す。

3. WDN(K):

問合せ対象となっている移動ホストの前回の移動時に移動ホストサーバがWDN

を選択した場合がこの状態である。この状態では、デフォルトサーバが保持している移動ホストの位置情報は正しい。従って、問合せ処理サーバから転送された問合せ要求に対しデフォルトサーバは、自分の保持している移動ホストの位置情報を問合せ処理サーバに直ちに返すことができる。

4. WDN(U):

問合せ対象となっている移動ホストの過去の移動時に移動ホストサーバがWDNを選択し、その後、その移動ホストが移動したときに、移動ホストサーバが、SBN, WBN 若しくは NN のいずれかを選択している場合がこの状態である。また、デフォルトサーバの初期状態はこの状態である。この状態では、デフォルトサーバは移動ホストの位置情報をもっていない。従って、問合せ処理サーバから転送された問合せ要求に対しデフォルトサーバは、目的の移動ホストの位置を確認するためネットワーク上のすべての移動ホストサーバに対して、移動ホストの位置を確認するためのパケットをブロードキャストする。このパケットに対して、目的の移動ホストを管理している移動ホストサーバは、移動ホストの位置情報を問合せ処理サーバに返す。

以上の問合せ処理サーバとデフォルトサーバの状態に対応する問合せ処理の流れを図5.1に示す。図5.1において、矢印はパケットの流れを表している。

5.4 性能解析

本節では、移動ホストサーバが、第5.2節で記述した5種類の移動通知方法の中から一つを選択したそれぞれの場合に、移動ホストに対する問合せ要求を処理するために、移動ホストの移動間隔にシステムに発生するコストの期待値の比較を行う。まず、性能解析のために、以下のコストパラメータを使用する。

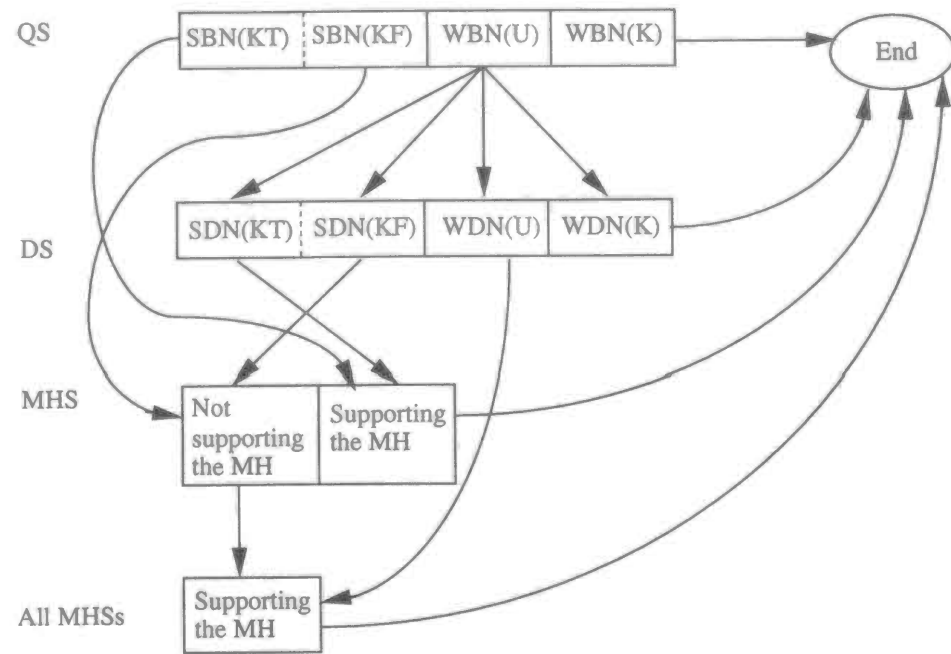


図 5.1: 問合せ処理の流れ

m : デフォルトサーバが任意の移動ホストサーバとの間で位置確認パケットを送るための平均コスト。

M : 任意のデフォルトサーバからすべての移動ホストサーバに移動ホストの位置確認要求パケットをブロードキャストするための平均コスト。

P : 任意の移動ホストサーバからすべての移動ホストサーバに移動ホストの位置確認要求パケットをブロードキャストするための平均コスト。

q : 任意の問合せ処理サーバと任意の移動ホストサーバとの間で位置確認パケットを送るための平均コスト。

Q : 任意の移動ホストサーバからすべての問合せ処理サーバに移動ホストの位置情報パケットをブロードキャストするための平均コスト。

d : 任意の問合せ処理サーバからデフォルトサーバに問合せ要求を転送するための平均コスト。

λ : 移動ホストの平均移動間隔に発生する平均問合せ要求数 (問合せ移動比)。

また、移動ホストサーバは、SBN, WBN, SDN, WDN, NN の5種類の移動通知方法のいずれか一つを以下の割合で選択するものと仮定する。但し、 $\alpha + \beta + \gamma + \delta + \epsilon = 1$ である。

α : SBN を選択する割合 ($0 \leq \alpha \leq 1$)。

β : WBN を選択する割合 ($0 \leq \beta \leq 1$)。

γ : SDN を選択する割合 ($0 \leq \gamma \leq 1$)。

δ : WDN を選択する割合 ($0 \leq \delta \leq 1$)。

ϵ : NN を選択する割合 ($0 \leq \epsilon \leq 1$)。

以上のようなパラメータと仮定のもとで適応型問合せ処理方式の性能解析を行う。

ここで、第5.3.1項で記述した問合せ処理サーバの状態と第5.3.2項で記述したデフォルトサーバの状態を対にして考えると、この対の状態一つ一つがマルコフ連鎖の状態を構成している。そこで、問合せ処理サーバとデフォルトサーバの状態の対を [QS の状態; DS の状態] のように記す。例えば、[WBN(U); WDN(U)] は、問合せ処理サーバが WBN(U) 状態にあり、デフォルトサーバが WDN(U) 状態にあることを示している。これらの状態が構成するマルコフ連鎖は、つぎのような $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \epsilon$ の値によって、4種類存在する。

1. $\alpha + \beta = 0$ かつ $\gamma + \delta = 0$, つまり、NN のみ選択する場合である。

2. $\alpha + \beta = 0$ かつ $\gamma + \delta \neq 0$, つまり、SDN と WDN と NN のなかからのみ選択する場合である。

3. $\alpha + \beta \neq 0$ かつ $\gamma + \delta = 0$, つまり, SBN と WBN と NN のなかからのみ選択する場合である.

4. $\alpha + \beta \neq 0$ かつ $\gamma + \delta \neq 0$, その他の場合である.

これら四つのそれぞれの場合について, 提案する適応型問合せ処理方式の性能解析を以下の四つの項で順に行う.

5.4.1 NN のみ選択する場合

$\alpha + \beta = 0$ かつ $\gamma + \delta = 0$, つまり, $\alpha = \beta = \gamma = \delta = 0$ かつ $\epsilon = 1$ の場合について考察する. 問合せ処理サーバとデフォルトサーバに信頼がない等の理由により, 移動ホストサーバは移動通知方法として SBN, WBN, SDN, WDN を選択しない場合である. この場合, マルコフ連鎖は初期状態である $[WBN(U); WDN(U)]$ のみで構成される. この場合の, 問合せ処理の流れは, 図 5.2 で示される. 図 5.2 において, 矢印の添字はパケットの送信に要する平均コストを表している. 従って, 問合せ要求を処理するための平均コスト, Φ_1 は次式で表される.

$$\Phi_1 = d + M + q \quad (5.1)$$

また, 移動ホストの移動時には, 移動ホストサーバは何も通知しないので, 移動ホストの移動を通知するための平均コスト, Ψ_1 は次式で表される.

$$\Psi_1 = 0 \quad (5.2)$$

よって, NN のみ選択する場合の適応型問合せ処理方式の, 移動ホストの移動間隔に発生する平均コスト, Θ_1 は, 問合せ処理に要するコストと問合せ移動比の積と, 移動通知に要するコストの和として算出できるので, 次式で求められる.

$$\Theta_1 = \Phi_1 \lambda + \Psi_1 \quad (5.3)$$

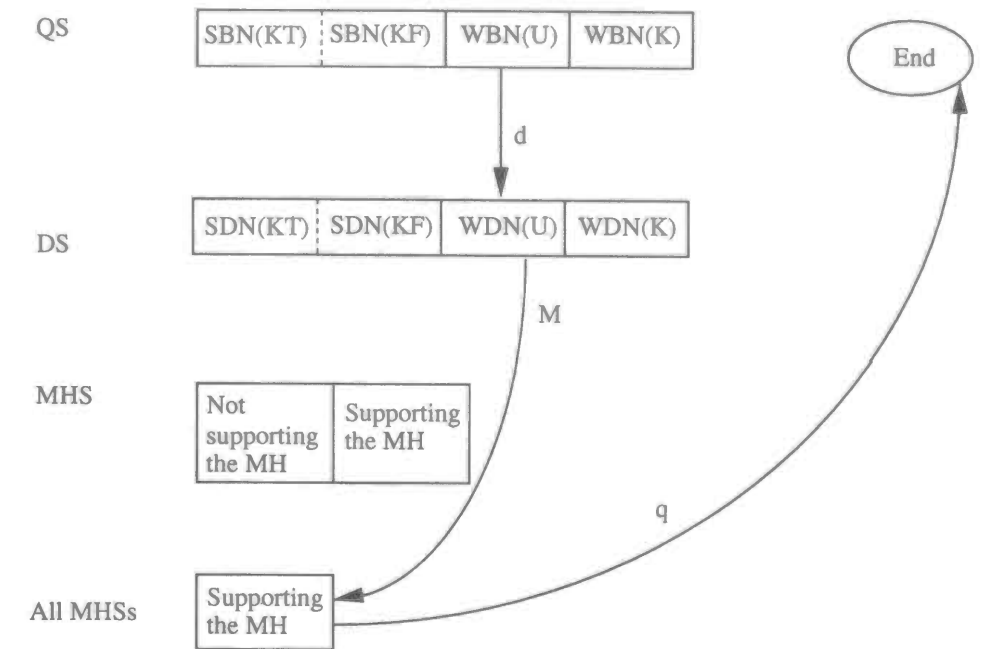


図 5.2: NN のみ選択する場合のフロー

5.4.2 SDN と WDN と NN から選択する場合

$\alpha + \beta = 0$ かつ $\gamma + \delta \neq 0$ の場合について考察する. 移動ホストサーバは移動ホストの移動を感知すると, SDN と WDN と NN のなかから一つの移動通知方法を選択し, 問合せ処理サーバに異常が認められる等の理由により, SBN と WBN は選択しない場合である. 問合せ処理のパケットの流れは図 5.3 のように表される. また, この場合に対応するマルコフ連鎖の状態遷移図は図 5.4 のように表される. 従って, このマルコフ連鎖の推移行列は以下のようを求めることができる.

$$\begin{bmatrix} \gamma & \gamma & \gamma & \gamma \\ \epsilon & \epsilon & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \epsilon & \epsilon \\ \delta & \delta & \delta & \delta \end{bmatrix}$$

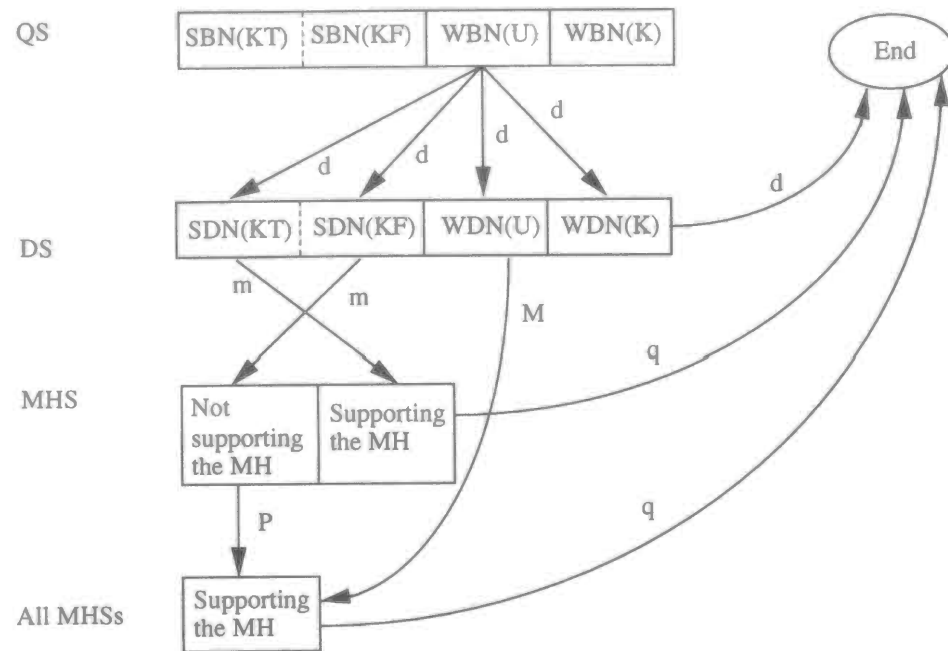


図 5.3: SDN と WDN と NN から選択する場合のフロー

以上より、マルコフ連鎖の各状態の定常状態確率は以下のように計算することができる。

$$[\text{WBN(U);SDN(KT)}] : \gamma$$

$$[\text{WBN(U);SDN(KF)}] : \frac{\gamma(1-\gamma-\delta)}{\gamma+\delta}$$

$$[\text{WBN(U);WDN(U)}] : \frac{\delta(1-\gamma-\delta)}{\gamma+\delta}$$

$$[\text{WBN(U);WDN(K)}] : \delta$$

よって、SDN と WDN と NN から移動通知方法を選択する場合の定常状態における問合せ処理に要する平均コスト Φ_2 、移動ホストの移動通知に要する平均コスト Ψ_2 、および適応型問合せ処理方式の平均コスト Θ_2 、は各々以下の式で表される。

$$\Phi_2 = \gamma(m+q) + \frac{\gamma(1-\gamma-\delta)}{\gamma+\delta}(m+P+q) + \frac{\delta(1-\gamma-\delta)}{\gamma+\delta}(M+q) + \delta d + d \quad (5.4)$$

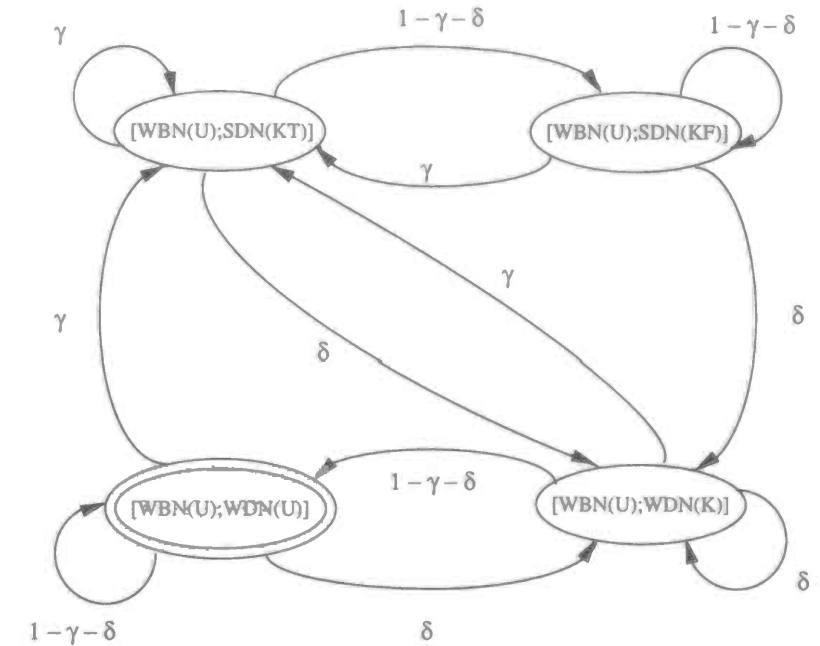


図 5.4: SDN と WDN と NN から選択する場合の状態遷移図

$$\Psi_2 = \gamma m + \delta \cdot 2m \quad (5.5)$$

$$\Theta_2 = \Phi_2 \lambda + \Psi_2 \quad (5.6)$$

5.4.3 SBN と WBN と NN から選択する場合

$\alpha + \beta \neq 0$ かつ $\gamma + \delta = 0$ の場合について考察する。移動ホストサーバは、移動ホストの移動を感知したときに、SBN, WBN, NN のなかから一つを選択し、デフォルトサーバに異常が認められる等の理由により SDN と WDN を選択しない場合である。問合せ処理に関するの packets の流れは、図 5.5 のようになる。従って、対応するマルコフ連鎖の状態遷移図は図 5.6 で表される。よって、この状態遷移図に対

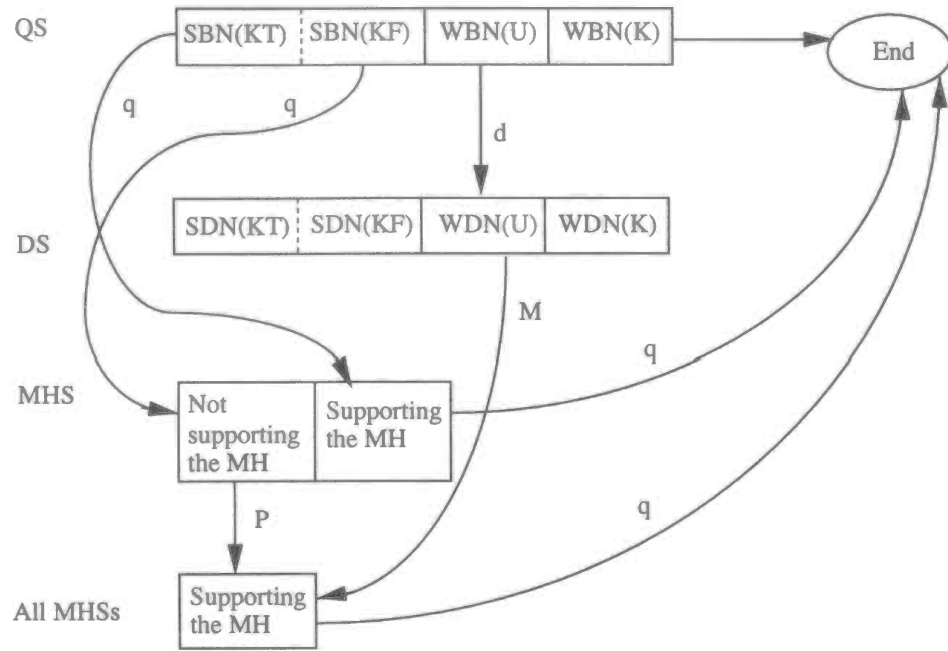


図 5.5: SBN と WBN と NN から選択する場合のフロー

応する推移行列はつぎのように求められ、

$$\begin{bmatrix} \alpha & \alpha & \alpha & \alpha \\ \epsilon & \epsilon & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \epsilon & \epsilon \\ \beta & \beta & \beta & \beta \end{bmatrix}$$

定常状態確率は、以下のように求めることができる。

$$\begin{aligned} [\text{SBN(KT);WDN(U)}] &: \alpha \\ [\text{SBN(KF);WDN(U)}] &: \frac{\alpha(1-\alpha-\beta)}{\alpha+\beta} \\ [\text{WBN(U);WDN(U)}] &: \frac{\beta(1-\alpha-\beta)}{\alpha+\beta} \\ [\text{WBN(K);WDN(U)}] &: \beta \end{aligned}$$

以上より、SBN と WBN と NN から移動通知方法を選択する場合の定常状態における問合せ処理に要する平均コスト Φ_3 、移動ホストの移動通知に要する平均コスト

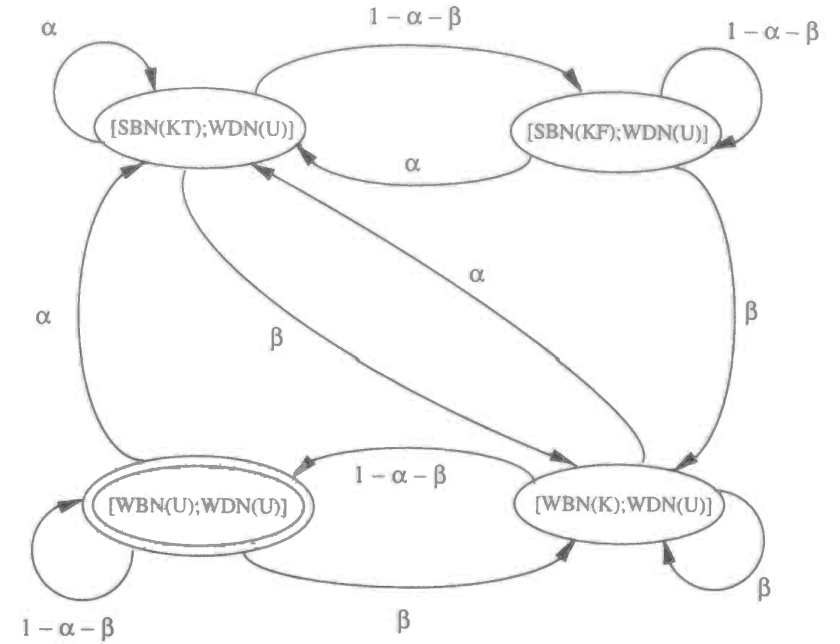


図 5.6: SBN と WBN と NN から選択する場合の状態遷移図

Ψ_3 、および適応型問合せ処理方式の平均コスト Θ_3 、は前項と同様にして、各々以下の式のように求めることができる。

$$\Phi_3 = \alpha(2q) + \frac{\alpha(1-\alpha-\beta)}{\alpha+\beta}(2q+P) + \frac{\beta(1-\alpha-\beta)}{\alpha+\beta}(d+M+q) \quad (5.7)$$

$$\Psi_3 = \alpha Q + \beta \cdot 2Q \quad (5.8)$$

$$\Theta_3 = \Phi_3 \lambda + \Psi_3 \quad (5.9)$$

5.4.4 その他の場合

$\alpha + \beta \neq 0$ かつ $\gamma + \delta \neq 0$ の場合について考察する。移動ホストサーバは移動ホストの移動を感知したときに移動通知方法として、SBN, WBN, SDN, WDN, NN

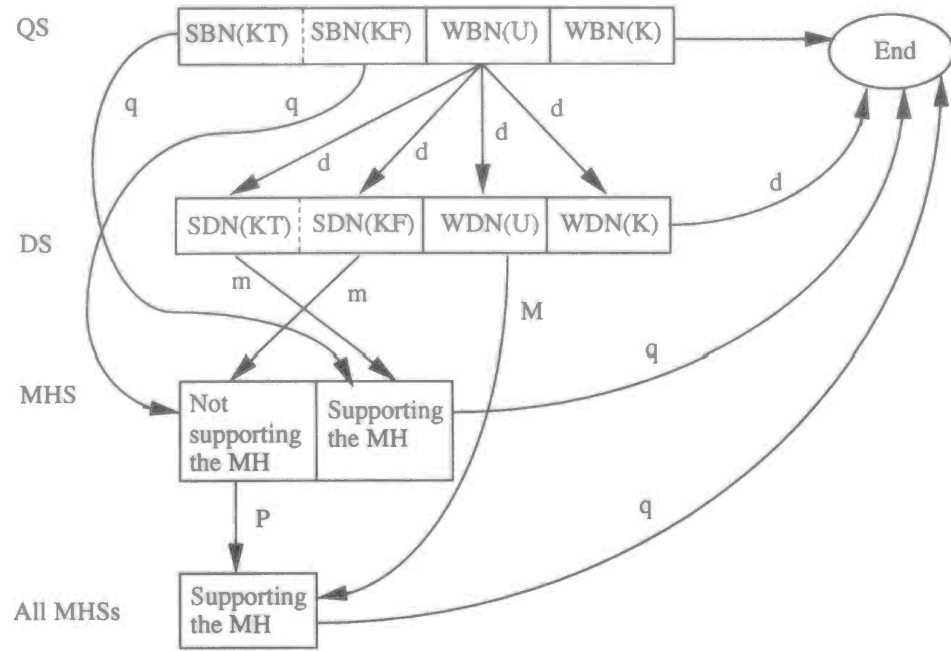


図 5.7: その他の場合のフロー

の五つのなかから一つを選択する。問合せ処理のためのパケットの流れは、図 5.7で表される。これに対応するマルコフ連鎖の状態遷移図は、図 5.8で表される。更に、推移行列はつぎのように求められる。

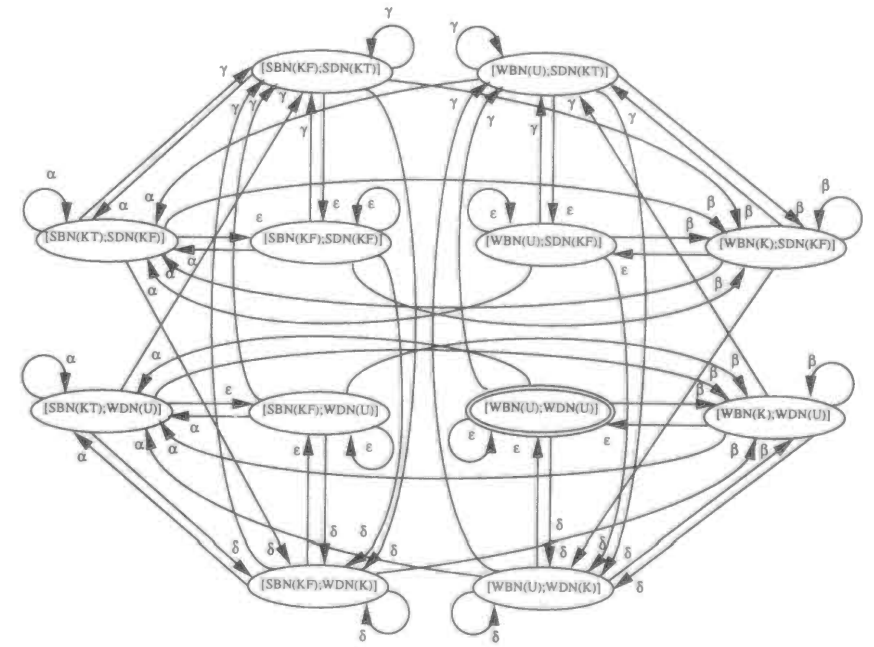


図 5.8: その他の場合の状態遷移図

$$\begin{bmatrix}
 \alpha & 0 & \alpha & \alpha & 0 & 0 & \alpha & \alpha & 0 & 0 & \alpha & 0 \\
 0 & \alpha & 0 & 0 & \alpha & \alpha & 0 & 0 & \alpha & \alpha & 0 & \alpha \\
 \gamma & \gamma & \gamma & \gamma & \gamma & \gamma & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 \epsilon & 0 & \epsilon & \epsilon & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & \epsilon & 0 & 0 & \epsilon & \epsilon & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 \delta & \delta & \delta & \delta & \delta & \delta & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \gamma & \gamma & \gamma & \gamma & \gamma & \gamma \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \epsilon & \epsilon & 0 & 0 & \epsilon & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \epsilon & \epsilon & 0 & \epsilon \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \delta & \delta & \delta & \delta & \delta & \delta \\
 \beta & 0 & \beta & \beta & 0 & 0 & \beta & \beta & 0 & 0 & \beta & 0 \\
 0 & \beta & 0 & 0 & \beta & \beta & 0 & 0 & \beta & \beta & 0 & \beta
 \end{bmatrix}$$

従って、マルコフ連鎖の各状態の定常状態確率はつぎのように求めることができる。

$$\begin{aligned}
 [\text{SBN}(\text{KT});\text{SDN}(\text{KF})] &: \frac{\alpha\gamma}{\gamma+\delta} \\
 [\text{SBN}(\text{KT});\text{WDN}(\text{U})] &: \frac{\alpha\delta}{\gamma+\delta} \\
 [\text{SBN}(\text{KF});\text{SDN}(\text{KT})] &: \frac{\alpha\gamma}{\alpha+\beta} \\
 [\text{SBN}(\text{KF});\text{SDN}(\text{KF})] &: \frac{\alpha\gamma\epsilon}{(\alpha+\beta)(\gamma+\delta)} \\
 [\text{SBN}(\text{KF});\text{WDN}(\text{U})] &: \frac{\alpha\delta\epsilon}{(\alpha+\beta)(\gamma+\delta)} \\
 [\text{SBN}(\text{KF});\text{WDN}(\text{K})] &: \frac{\alpha\delta}{\alpha+\beta} \\
 [\text{WBN}(\text{U});\text{SDN}(\text{KT})] &: \frac{\beta\gamma}{\alpha+\beta} \\
 [\text{WBN}(\text{U});\text{SDN}(\text{KF})] &: \frac{\beta\gamma\epsilon}{(\alpha+\beta)(\gamma+\delta)} \\
 [\text{WBN}(\text{U});\text{WDN}(\text{U})] &: \frac{\beta\delta\epsilon}{(\alpha+\beta)(\gamma+\delta)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 [\text{WBN}(\text{U});\text{WDN}(\text{K})] &: \frac{\beta\delta}{\alpha+\beta} \\
 [\text{WBN}(\text{K});\text{SDN}(\text{KF})] &: \frac{\beta\gamma}{\gamma+\delta} \\
 [\text{WBN}(\text{K});\text{WDN}(\text{U})] &: \frac{\beta\delta}{\gamma+\delta}
 \end{aligned}$$

よって、移動通知方法として、5.2節で記述した、5種類の移動通知方法を諸要する場合の定常状態における問合せ処理に要する平均コスト Φ_4 、移動ホストの移動通知に要する平均コスト Ψ_4 、および適応型問合せ処理方式の平均コスト Θ_4 、は各々以下の式で表すことができる。

$$\begin{aligned}
 \Phi_4 &= \alpha \cdot 2q + \frac{\alpha(1-\alpha-\beta)}{\alpha+\beta}(2q+P) + \frac{\beta\gamma}{\alpha+\beta}(d+m+q) \\
 &+ \frac{\beta\delta}{\alpha+\beta}(2d) + \frac{\beta\gamma\epsilon}{(\alpha+\beta)(\gamma+\delta)}(d+m+P+q) \\
 &+ \frac{\beta\delta\epsilon}{(\alpha+\beta)(\gamma+\delta)}(d+M+q)
 \end{aligned} \tag{5.10}$$

$$\Psi_4 = \alpha Q + \beta \cdot 2Q + \gamma m + \delta \cdot 2m \tag{5.11}$$

$$\Theta_4 = \Phi_4 \lambda + \Psi_4 \tag{5.12}$$

5.4.5 数値例

本節では提案した適応型問合せ処理方式の性能の例を示す。式(5.1)~(5.12)においてつぎのパラメータを使用する。

$$d = m = q = 1 \tag{5.13}$$

$$M = P = Q = k \tag{5.14}$$

ここに $k \geq 1$ である。さて、すべての移動ホストサーバが唯一つ同じ移動通知方法を選択したと仮定する。すなわち、適応型問合せ処理方式を用いられないと仮定し

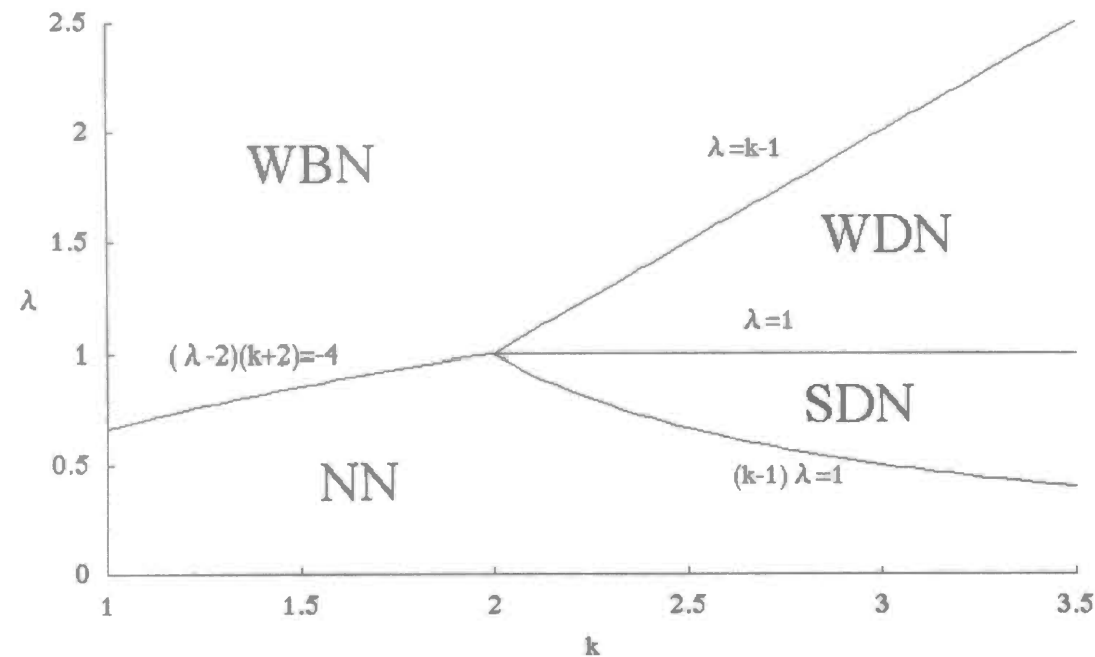


図 5.9: 最適な移動通知方法

たときに、 k 、 λ の値に対応して問合せ処理コストの期待値を最小にする移動通知方法を図 5.9 に示す。

各移動ホストサーバは、自分に向けられた問合せ処理要求の発生頻度と自分の管理するセルで発生した移動ホストの移動頻度を一定時間モニタリングすることにより、ローカルな λ の値を計算することができる。ここで、説明を簡単にするために、このローカルな λ を λ_i ($i = 1, 2, 3, \dots$) と記すことにし、システム全体の λ を $\bar{\lambda}$ と記す。適応型問合せ処理方式を現実のシステムに適用した場合には、各移動ホストサーバが $\bar{\lambda}$ を知ることは困難である。従って実環境では、移動ホストサーバが移動ホストの移動を感知すると、その移動ホストサーバは図 5.9 を参照し、 k と自分の λ_i の値に基づいて、その時点でその移動ホストサーバが局所的に最適であると判断した移動通知方法を選択することになる。従って、例えばある一定の期間 $\bar{\lambda}$ が一定でも、ある移動ホストサーバは NN を選択し、別の移動ホストサーバは WBN を選択するという

表 5.1: $\bar{\lambda} = 1$ のときの λ_i の度数分布

$0 \leq \lambda_i < 0.5$	$0.5 \leq \lambda_i < 1$	$1 \leq \lambda_i < 2$	$2 \leq \lambda_i$
0.18	0.23	0.40	0.19

ような状況が実環境では発生する。

一方、本章で適応型問合せ処理方式の性能解析を行うように、ある方式やプロトコルの性能解析や特性を論じる場合には、 λ_i を用いて議論することは困難であり、 $\bar{\lambda}$ を用いることが多い。

そこで、本章では性能解析をより現実の環境に近づけるために、そして未知のパラメータ α 、 β 、 γ 、 δ および ϵ の値を求めるために、 $\bar{\lambda}$ と λ_i とを、 λ_i は $N(\bar{\lambda}, \bar{\lambda})$ の正規分布に従って分布していると仮定することで関係付ける。その結果、統計手法により、 $\bar{\lambda}$ の値から λ_i の度数分布を求めることができる。例えば、 $\bar{\lambda} = 1$ のとき、 λ_i の度数分布は表 5.1 のように求めることができる。ここで、度数を計算するとき、 $\lambda_i < 0$ を満たす λ_i の度数は 0% であるので、正規化が必要となる点に注意する必要がある。

表 5.1 より、 $\bar{\lambda} = 1$ のときには、すべての移動ホストサーバの 23% が λ_i を $0.5 \leq \lambda_i < 1$ の値の範囲に観測することが読み取れる。一方、図 5.9 より、 $k = 3$ のときに λ_i を $0.5 \leq \lambda_i < 1$ の範囲に観測する移動ホストサーバは、最適な移動通知方法として SDN を選択することになる。従って、 $k = 3$ かつ $\bar{\lambda} = 1$ のときには、全移動ホストサーバの 23% が SDN を選択するとみなすことができる。つまり、 $k = 3$ かつ $\bar{\lambda} = 1$ のときは、 $\gamma = 0.23$ であると求めることができる。同様にして、 $k = 3$ かつ $\bar{\lambda} = 1$ のときは、 $\alpha = 0$ 、 $\beta = 0.19$ 、 $\gamma = 0.23$ 、 $\delta = 0.40$ 、 $\epsilon = 0.18$ と各移動通知方法が選択される割合を表すパラメータ値を求めることができる。

以上のような方法で性能解析を行うことにより、 $k = 3$ の場合の $\bar{\lambda}$ に対する適応型問合せ処理方式と第 1.3 節で述べた適応型でない問合せ処理方式の問合せ処理に要す

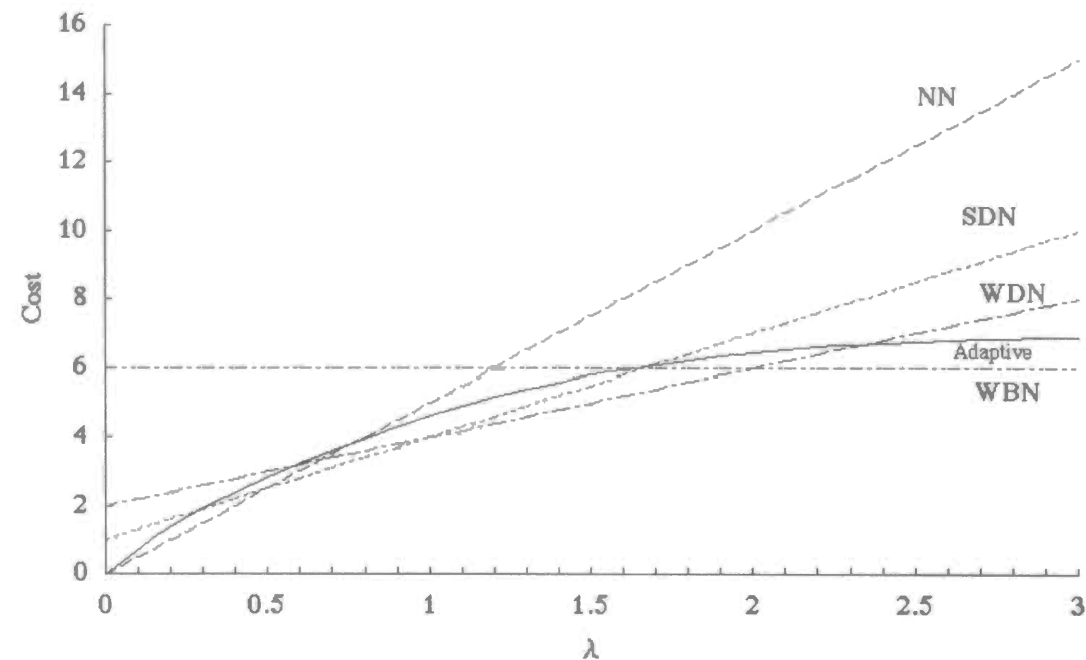


図 5.10: 問合せ処理のコスト

る平均コスト値を図 5.10 に示す。図 5.10 より、 λ の値の広い範囲で適応型問合せ処理方式が他の適応型でないどんな問合せ処理方式よりも性能が良いことが示された。

5.5 むすび

本章では、まず、モバイルコンピューティング環境における、第 2 の適応型問合せ処理方式を提案した。この適応型問合せ処理方式では、移動ホストサーバが移動ホストの移動を感知したときに 5 種類の移動通知方法のなかから、最適と考えられる一つの移動通知方法を選択することができる。本章で提案した適応型問合せ処理方式は、第 3 章、第 4 章で議論した適応型問合せ処理方式と違い、問合せ処理サーバにおける問合せ処理方法は、移動ホストサーバが選択した移動通知方法により一意に決定される。

本章では更に、提案した適応型問合せ処理方式の性能解析を行った。性能解析で

は、問合せ処理サーバと移動ホストサーバの対の状態をマルコフ連鎖の一つの状態に対応させた。適応型問合せ処理方式をマルコフ連鎖で表現することにより、マルコフ連鎖の状態遷移図、推移行列を求め、更に、定常状態での状態遷移確率を求め、定常状態における問合せ処理に要するコストの期待値を求めることができた。

更に、適応型問合せ処理方式を実環境で運用した状況により近い性能解析を行うために、つぎのような工夫を行った。実環境では、移動通知方法の選択基準となる移動ホストの移動と問合せ発生に起因するトラヒックについて、個々の移動ホストサーバがシステム全体のトラヒックを計測することは困難であり、自らにかかるトラヒックから判断して移動通知方法を選択することになる。従って、本章においては、個々の移動ホストサーバにかかるローカルなトラヒックを統計手法により推定するという方法を取り入れることにより、より現実に近い状況における性能解析を行った。

最後に、本章で提案した適応型問合せ処理方式による問合せ処理に要する平均コストを求めた。その結果、例として取り上げた広範囲のシステム環境において、本章で提案した適応型問合せ処理方式が、適応型問合せ処理方式を採用していない方式と比べて、良い性能を示すことを明らかにした。

第 6 章

結論

6.1 本論文のまとめ

本論文では、モバイルコンピューティング環境における問合せ処理方式の提案と性能解析を行った。

本研究の背景には、昨今のインターネットの普及によるコンピュータネットワークの日常化と携帯情報端末の普及により、モバイルコンピューティング環境利用への期待が高まっていることがある。特に、OSI 7 層モデルのネットワーク層以下のプロトコルに関しては文献 [23] 等で標準化への提案がなされているが、本論文で扱っているアプリケーション層のプロトコルに関しては、さまざまな実用アプリケーションの可能性が考え出されており、効率の良いプロトコルの提案が切望されている。

本論文は、モバイルコンピューティング環境における移動ホストに対する問合せ処理方式に焦点を絞った。さまざまなアプリケーションに提案する問合せ処理方式が対応できるように、基本的な 5 種類の移動通知方法を採用した。従来の問合せ処理方式の研究は単一の移動ホストに対する問合せについての研究がなされてきたが、本論文では同時に複数の移動ホストに問合せ要求が発生するという、より実環

境に近い状況での性能評価を行い、問合せ対象となる移動ホストの数が最適な問合せ処理方式に及ぼす影響を明らかにした。

また、問合せ処理方法をシステム状況に応じて選択できる、適応型の問合せ処理方法を2種類提案し、その性能解析を行った。

第1の適応型問合せ処理方式では、問合せ処理サーバとデフォルトサーバにおいて問合せ処理方法を、また、移動ホストサーバにおいて移動通知方法を適応的に選択できるという、第2の方式に比べより自由度の高い方式である。この適応型問合せ処理方式の性能はシミュレーション実験により評価し、その結果、5種類の適応型でないどの方式よりも広範囲のシステム環境で、問合せ処理コストの期待値を最も小さくすることに関して有効であることを示した。

第2の適応型問合せ処理方式では、移動ホストサーバにおいては、5種類の移動通知方法を適応的に選択できるが、問合せ処理サーバとデフォルトサーバにおける問合せ処理方法は、移動ホストサーバにおいて選択された移動通知方法によって一意に決定されるという方式である。この方式は、第1の方式に比べ問合せ処理方法選択の自由度は低い、より現実的な方式である。この適応型問合せ処理方式の性能解析をつぎのように行った。適応型の問合せ処理方式の性能解析に関する多くの研究では、処理方式を切り換える判断の基準値として、システム全体にかかるトラフィックを用いている。一方、適応型の処理方式を実環境で運用する場合を考えると、各々のサーバが各サーバ自身にかかるローカルなトラフィックを計測することは容易にできるが、システム全体のトラフィックを計測することは困難である。従って、本論文では性能解析をより現実の環境に近づけるため、各サーバにかかるトラフィックを統計的手法により推定するという手法を採用した。その結果、種々のシステム環境において提案した適応型問合せ処理方式が効果的に機能することを示した。

本論文では以上の研究成果を以下の5章に分けて述べた。

まず、第1章で、本論文における議論が特定のモバイルコンピューティング環境を対象としているのではなく、一般的なモバイルコンピューティング環境について議論していることを明らかにするために、典型的なモバイルコンピューティング環境のモデルについて述べ、本論文を通して用いる5種類の基本的な移動通知方法について説明した。

第2章では、アプリケーションを実現するとき一般的に用いられるであろうと考えられる、複数の移動ホストを同時に問合せ対象とする場合について、5種類の問合せ処理方式の性能評価を問合せ対象となる移動ホストサーバの数および移動ホストの数と関連させて行った。

第3章では、移動通知方法や、問合せ処理方法をいくつかの方法のなかから動的に選択できるような適応型問合せ処理方法を提案し、最高の性能を出すための各方式の選択方針を明らかにした。

第4章では、第3章で提案した適応型問合せ処理方式のシミュレーション実験による性能評価を行い、提案した適応型問合せ処理方式が広範囲のシステム条件で効果的に稼働することを示した。

第5章では、第3章で提案した適応型問合せ処理方式をもとに、先に述べたような観点から、より現実的な適応型の問合せ処理方法を提案し、マルコフ連鎖と統計手法を用いて性能解析を行った。その結果、ここでも、提案した適応型問合せ処理方式が広範囲のシステム条件で効果的に稼働することを明らかにした。

以下、第6.2節では、今後の研究課題について述べる。

6.2 今後の研究課題

今後の課題として、まず、第2章の議論では、第2.4.3項では、十分大きな問合せ移動比における最適な問合せ処理方式の評価を n が奇数の格子状トポロジーの場合

についてのみ行った。ところが、第2章では問合せ処理方式の一般的な特性を議論するために、 n が偶数の格子状トポロジーと2分木トポロジーのネットワークトポロジーの場合についても取り上げている。従って、これらのトポロジーに対して十分大きな問合せ移動比における最適な問合せ処理方式の評価に関しても一般的な特性を議論するために、 n が偶数の格子状トポロジーと2分木トポロジーのネットワークトポロジーの場合についても議論を拡張することが考えられる。

第3章の議論では、移動1回の間での最適な問合せ処理方法を考えた。しかしながら、WDNの後のNN、SBNの後のSBN等効率の良い組合せがあるように、また、問合せ処理サーバがIQを選択した場合に、移動ホストサーバからデフォルトサーバに問合せする方法を考慮することや、問合せ処理サーバが、デフォルトサーバに移動ホストの位置を知っているかどうかを問合せしてから、DQ、BQ、IQの選択を行うという手法を取り入れること等が今後の研究テーマとして考えられる。

第4章におけるシミュレーション実験では、問合せ処理サーバが一つだけしかない場合を扱ったため、より現実的な環境である、複数の問合せ処理サーバがあるトポロジーでシミュレーション実験を行うことが今後の課題として考えられる。この場合、各々の問合せ処理サーバで観測できる移動頻度と問合せ頻度が同じ値ではないために、移動ホストサーバが移動通知方法を選択するときに参考にする移動頻度と問合せ頻度の値が、移動を通知した移動ホストサーバが参考にする値と異なることになり、シミュレーション実験が複雑になる。しかし、今回のシミュレーション実験は、適応的な問合せ処理方式に対する5種類の移動通知方法、および4種類の問合せ処理方法が必要とするコストの期待値の比較が主な目的であるので、問合せ処理サーバが一つだけの場合にもこの目的は十分達成できたと考えられる。

また、 $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ のパラメータの設定においてSBN、WBN以外の方式で移動通知を行った場合には、問合せ処理サーバは移動ホストの移動を把握できないので動的に

これらの値を決めることができず、プログラム中で静的に決めなければならなかった。この問題を解決する方法を検討することも今後の課題としてあげられる。

第5章の議論では、個々の移動ホストサーバで観測できる λ_i を $N(\bar{\lambda}, \bar{\lambda})$ の正規分布に従って分布していると仮定した。この仮定の正当性を検証するために、図5.10に示された結果をシミュレーション実験により確認することが今後の課題としてあげられる。また、解析上の都合で問合せ処理サーバにおける移動ホストの問合せ処理方法が、その移動ホストの移動時に移動ホストサーバが選択した移動通知方法により決定されてしまうような、適応型の問合せ処理方式を提案したが、第3章、第4章のように問合せ処理サーバやデフォルトサーバにおいても問合せ処理方法を選択できる適応型の問合せ処理方式の性能解析を行うことにより、更に性能が改善されることが期待できる。

更に、トランザクション管理手法[3],[4],[5],[24]を考慮することにより、モバイルコンピューティング環境におけるデータベース管理システムをより意識した問合せ処理方式の性能評価を行うことも今後の課題である。

謝辞

本研究において、懇切なる御指導・御助言と格別なる御配慮を賜った京都大学大学院工学研究科 長谷川利治教授に深く感謝いたします。

また、本研究をまとめるにあたり、貴重な時間を度々割いて頂き、懇切なる御指導と御助言を賜りました京都大学大学院工学研究科 茨木俊秀教授，金澤正憲教授，片山徹教授，ならびに山本裕教授に衷心より感謝いたします。

更に、本研究の全過程を通じて、懇切なる御指導ならびに御鞭撻を賜りました大阪大学大学院工学研究科 西尾章治郎教授に深く感謝いたします。

本研究の過程において、熱心な討論と本研究に関する数多くのコメントを頂いた大阪大学大学院工学研究科 塚本昌彦助教授に感謝いたします。

また、筆者が西尾研究室において研究できる端緒を下された関西大学総合情報学部 上島紳一教授に衷心より感謝致します。

本研究は、著者が関西大学文学部に在職しながら、平成7年より大阪大学大学院工学研究科 西尾研究室においてモバイルコンピューティングに関する研究に着手する機会が得られたことに端を発している。当時、筆者を暖かく迎え入れて下さり、今日に至るまで本研究の遂行にあたり熱心な討論と助言を頂いた西尾研究室の皆様 に深く感謝致します。

参考文献

- [1] A. Bar-Noy, and I. Kessler, "Mobile Users: To Update or not to Update?," *Proceedings of 13th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communication Societies (INFOCOM'94)*, pp.5a.1.1-5a.1.7, 1994.
- [2] D. Barbara, and T. Imielinski, "Sleepers and Workaholics: Caching Strategies in Mobile Environments," *Proceedings of ACM International Conference on Management on Data (SIGMOD'94)*, pp.1-12, 1994.
- [3] Budiarto, 春本 要, 塚本昌彦, 西尾章治郎, "移動体計算環境におけるトランザクション制御方式," 電子情報通信学会技術研究報告, データ工学, DE95-51, Vol.95, No.287, pp.9-16, 1995.
- [4] Budiarto, K. Harumoto, M. Tsukamoto, and S. Nishio, "On Transaction Management in Mobile Computing Environments," *Proceedings of International Workshop on Multi-Dimensional Mobile Communications (MDMC'96)*, pp.402-406, 1996.
- [5] Budiarto, K. Harumoto, M. Tsukamoto, S. Nishio, and T. Takine, "Replica Allocation Strategies in Mobile Computing Environment," *Proceedings of International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications (ITC-CSCC'96)*, pp.99-102, 1996.

- [6] G.H. Forman, and J. Zahorjian, "The Challenges of Mobile Computing," *IEEE COMPUTER*, Vol.27, No.4, pp.38-47, 1994.
- [7] 黄元柱, 柴田一, 塚本昌彦, 西尾章治郎, "移動体に対する適応型問合せ処理方式の性能について," 電子情報通信学会技術研究報告, データ工学, DE96-74, Vol.96, No.469, pp.1-6, 1997.
- [8] T. Imielinski, and B.R. Badrinath, "Querying in Highly Mobile Distributed Environments," *Proceedings of the 18th International Conference on Very Large Data Bases (VLDB'92)*, pp.41-52, 1992.
- [9] T. Imielinski, and B.R. Badrinath, "Data Management for Mobile Computing," *ACM SIGMOD RECORD*, Vol.22, No.1, pp.34-39, 1993.
- [10] T. Imielinski, and B.R. Badrinath, "Mobile Wireless Computing," *Communications of the ACM*, Vol.37, No.10, pp.18-28, 1994.
- [11] J. Ioannidis, D. Duchamp, and G.Q. Maguire Jr., "IP-based Protocols for Mobile Internetworking," *Proceedings of Conference on Communications Architectures, Protocols and Applications (ACM SIGCOMM'91)*, pp.235-245, 1991.
- [12] ISO : 10589 Information Technology - Telecommunications and Information Exchange between Systems - Intermediate System to Intermediate System Intra-Domain Routing Information Exchange Protocol for Use in Conjunction with the Protocol for Providing the Connectionless-mode Network Service (ISO 8473), 1992.

- [13] R. Kadobayashi, and M. Tsukamoto, "Performance Comparison of Mobile Support Strategies," *Proceedings of the first Annual International Conference on Mobile Computing and Networking (ACM MOBICOM'95)*, pp.218-225, 1995.
- [14] R. Kadobayashi, and M. Tsukamoto, "Traffic-based Performance Comparison of Mobile Support Strategies," *ACM-Baltzer Mobile Networks and Nomadic Applications (NOMAD)*, Topical Journal on Mobility of Systems, Users, Data and Computing, Vol.1, No.1, pp.57-65, 1996.
- [15] 上林弥彦, 早瀬道芳, "移動分散データベースにおける質問処理," 情報処理学会研究会報告, 95-DBS-104, Vol.95, No.65, pp.153-160, 1995.
- [16] 木村章, 仲秋朗, 劉渤江, 塚本昌彦, 西尾章治郎, "アクティブデータベースシステムを用いた移動体ビューの設計および実装," 第7回データ工学ワークショップ (DEWS'96) 論文集, pp.193-198, 1996.
- [17] 村瀬亨, 塚本昌彦, 西尾章治郎, "移動体環境におけるアクティブデータベースの安全性について," 情報処理学会研究会報告, データベース研究会, DBS-106, Vol.96, No.11, pp.33-40, 1996.
- [18] 村瀬亨, 塚本昌彦, 西尾章治郎, "アクティブデータベースシステムによる移動体環境におけるデータ統合," 電子情報通信学会技術研究報告, データ工学, DE95-55, Vol.95, No.287, pp.41-48, 1995.
- [19] 仲秋朗, 劉渤江, 塚本昌彦, 西尾章治郎, "移動型データベースのためのビュー維持手法," 情報処理学会研究会報告, データベースシステム研究会, DBS-102-5, Vol.95, No.31, pp.33-40, 1995.

- [20] 仲秋 朗, 劉 渤江, 塚本昌彦, 西尾章治郎, “移動データベース環境におけるセル指定ビューの維持手法,” 情報処理学会研究会報告, マルチメディア通信と分散処理研究会, DPS-71, Vol.95, No.61, pp.175-180, 1995.
- [21] 仲秋 朗, 劉 渤江, 塚本昌彦, 西尾章治郎, “移動体環境における位置依存データベースビューの維持手法,” 情報処理学会研究会報告, データベース研究会, DBS-106, Vol.96, No.11, pp.41-48, 1996.
- [22] 成田藤智, 村瀬 亨, 塚本昌彦, 西尾章治郎, “移動体環境におけるアクティブデータベースの設計と実装,” 電子情報通信学会総合大会シンポジウム論文集, 情報システム 1, pp.315-316, 1996.
- [23] C. Perkins, “IP Mobility Support,” *Internet Engineering Task Force - Request For Comments 2002*, Oct. 1996.
- [24] E. Pitoura, and B. Bhargava, “Maintaining Consistency of Data in Mobile Distributed Environments,” *Proceedings of the 15th International Conference on Distributed Computing Systems (ICDCS'95)*, pp.404-413, 1995.
- [25] S. Rajagopalan, and B.R. Badrinath, “An Adaptive Location Management Strategy for Mobile IP,” *Proceedings of the first Annual International Conference on Mobile Computing and Networking (ACM MOBICOM'95)*, pp.170-180, 1995.
- [26] 劉 渤江, 塚本昌彦, 西尾章治郎, “移動体通信環境におけるデータベースビュー,” 情報処理学会アドバンスデータベースシステムシンポジウム予稿集, pp.9-18, 1994.

- [27] 劉 渤江, 仲秋 朗, 塚本昌彦, 西尾章治郎, “移動体環境におけるデータベースビュー定義言語,” 電子情報通信学会技術研究報告, データ工学, DE95-4, Vol.95, No.81, pp.25-32, 1995.
- [28] 柴田 一, 塚本昌彦, 西尾章治郎, “複数の移動体に対する問合せ処理方式について,” 電子情報通信学会技術研究報告, データ工学, DE95-53, Vol.95, No.287, pp.25-32, 1995.
- [29] 柴田 一, 塚本昌彦, 西尾章治郎, “移動体に対する適応型問合せ処理方式について,” 情報処理学会研究会報告, データベース研究会, DBS-106, Vol.96, No.11, pp.25-32, 1996.
- [30] 柴田 一, 塚本昌彦, 西尾章治郎, “移動体環境における複数の移動ホストに対する問合せ処理方式,” 電子情報通信学会総合大会シンポジウム論文集, 情報システム 1, pp.313-314, 1996.
- [31] 柴田 一, 塚本昌彦, 西尾章治郎, “移動体に対する適応型問合せ処理方式の性能評価,” 平成8年度科学研究費重点領域研究「高度データベース」松江ワークショップ講演論文集, Vol.2, pp.356-363, 1996.
- [32] 柴田 一, 塚本昌彦, 西尾章治郎, “複数の移動体に対する問合せ処理方式,” 電子情報通信学会論文誌 B-I Vol.J80-B-I, No.5, pp.191-199, 1997.
- [33] 柴田 一, 塚本昌彦, 西尾章治郎, “移動体に対する適応型問合せ処理方式について,” 電子情報通信学会論文誌 B-I Vol.J80-B-I, No.7, pp.533-541, 1997.
- [34] H. Shibata, M. Tsukamoto, and S. Nishio, “Performance Analysis of an Adaptive Query Processing Strategy for Mobile Databases,” *IEICE Transactions on Communications*, Vol.E80-B, No.8, pp.1208-1213, 1997.

- [35] H. Shibata, M. Tsukamoto, and S. Nishio, "Performance Analysis of an Adaptive Query Processing Strategy for Mobile Computing," *Proceedings of 1997 IEEE Pacific Rim Conference on Communications, Computers and Signal Processing (PACRIM'97)*, Vol.2, pp.235-238, 1997.
- [36] 白井博章, 仲秋 朗, 劉 渤海, 塚本昌彦, 西尾章治郎, "移動型データベースのためのビュー機構の設計および実装," 情報処理学会研究報告, データベース研究会, DBS-104, Vol.95, No.65, pp.145-152, 1995.
- [37] 田中理恵子, 塚本昌彦, "適応型移動体通信プロトコル," 情報処理学会研究会報告 DPS 65-1, pp.1-6, 1994.
- [38] 田中理恵子, 塚本昌彦, "適応型移動体通信におけるプロトコル選択方式," 情報処理学会研究会報告 DPS 66-13, pp.73-78, 1994.
- [39] F. Teraoka, Y. Yokote, and M. Tokoro, "A Network Architecture Providing Host Migration Transparency," *Proceedings of Conference on Communications Architectures, Protocols and Applications (ACM SIGCOMM'91)*, pp.209-220, 1991.
- [40] M. Tsukamoto, R. Tanaka, and S. Nishio, "On Query Processing Strategies for Mobile Computing," *Proceedings of the MobiData Workshop, Rutgers University*, pp.9/1-9/15, 1994.
- [41] M. Tsukamoto, B. Liu, and S. Nishio, "MobiView: A Database View for Mobile Computing Environments," *Technical Report, Department of Information Systems Engineering, Faculty of Engineering, Osaka University*, ISE-TR-95-013, June 1995.

- [42] M. Tsukamoto, R. Kadobayashi, and S. Nishio, "Strategies for Query Processing in Mobile Computing," *Mobile Computing* (T. Imielinski, and H. F. Korth, Eds.), Kluwer Academic Publishers, pp.595-620, 1996.
- [43] G. Voelker, and B.N. Bershad, "Mobisaic: An Information System for a Mobile Wireless Computing Environment," *Proceedings of the 1994 Workshop on Mobile Computing Systems and Applications*, <http://snaple.cs.washington.edu/mobile/mcsa94.html>, 1994.
- [44] H. Wada, T. Yozawa, T. Ohnishi, and Y. Tanaka, "Mobile Computing Environment based on Internet Packet Forwarding," *Proceedings of Winter USENIX*, pp.503-517, 1993.