

NAIST-IS-DT9761207

博士論文

移動経路情報を利用した移動体通信アーキテクチャ
に関する研究

佐藤 健哉

2000年2月7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。

佐藤 健哉

審査委員： 福田 晃 教授
山本 平一 教授
湊 小太郎 教授
最所 圭三 助教授

妻 千嘉子 と
二人の息子 礼於真 黎明 へ

本論文に掲載の製品名，会社名等は，一般にそれぞれの会社の商標，または登録商標です．なお，本文中では，TM等のマークは明記していません．

移動経路情報を利用した移動体通信アーキテクチャ に関する研究*

佐藤 健哉

内容梗概

近年、人・道路・車両を情報ネットワークで接続し、交通渋滞や事故、環境悪化などの交通問題の軽減を目指す高度道路交通システム (ITS: Intelligent Transport Systems) の研究が世界的に行われている。この中で、自動車に計算機を搭載し、無線通信を用いてデータをやりとりするシステム、たとえば、高機能カーナビゲーションシステムや、マイクロソフトの Auto PC、インテルの Connected Car PC、トヨタ自動車の MONET などの車載情報機器がすでに提案されている。これらのシステムで利用されている通信手段は、現在、携帯電話によるパーソナル通信が一般的であるが、交通関連情報提供のための通信手段として、VICS の光ビーコンや、自動料金収受システム (ETC) といった専用狭域通信 (DSRC) がすでに実用段階にある。また、近い将来、衛星、あるいは地上波によるデータ放送も有力な通信メディアとして考えられるため、これらを車載情報機器で有効利用する手法を検討する必要がある。一方で、多機能携帯電話や携帯情報端末の普及に伴い、移動計算機環境における研究が活発に行われている。しかし、これら一般の携帯情報機器に関する研究において、移動体通信環境に特有の狭帯域、不安定といった問題に効果的な解決策は提供されていない。

本研究は、一般の携帯情報機器と異なり、車載情報機器における移動特性、通信手段、利用情報の特徴を利用することで、ITS において重要な要因となる自動車における情報通信の効率化を図る移動体通信アーキテクチャに関するものである。具体的には、以下の 3 項目から構成される。

*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-DT9761207, 2000 年 2 月 7 日.

1. 複数の通信手段を利用した階層型データの配信

車載情報機器で利用可能な通信手段は、以下の3種類に分類できる。

- 双方向であるが帯域が狭いためにデータ取得に時間がかかるパーソナル通信
- 双方向で比較的帯域は広いが通信範囲が狭く連続的に通信を行えない専用狭域通信
- 帯域は広いが単方向で必要なデータ出現までに待ち時間が発生するデータ放送

これらの通信手段の特徴を活かし併用することで、それぞれの問題点を軽減し、マルチメディア関連情報や地図データなどの車載情報機器でよく利用される階層構成を採る情報を効率的に配信する方式を提案し、その実装モデルの構築を行った。

2. 位置依存情報のキャッシュ方式

パーソナル通信、データ放送では、データが必要になってから取得が完了するまでの遅延が大きく、データ利用のタイミングに間に合わないため、データの先行取得(プリフェッチ)が必要となる。しかし、経済性等の問題から、使用可能なメモリサイズに制限があるため、必要データすべてをプリフェッチし保持しておくことは不可能である。プリフェッチすべきデータの選択、プリフェッチのタイミング、使用されなくなったデータの入れ換えアルゴリズムが、必要とするメモリサイズに大きく影響する。ここでは、レストランなどの商用施設、交通情報、天気予報など特定の地理的位置に関する位置依存情報に限定し、その有効範囲(スコープ)と自車位置との関係性を評価することで、データの取得・管理を効率的に行えるキャッシュ方式の提案、評価、実装を行った。

3. 専用狭域通信を用いた効率的な通信方式

専用狭域通信は、小さなセルを持つ中継基地局を経由して通信するため、通信範囲が狭く不連続で、データを効率的に転送できないという問題がある。ここでは、現在地、進行方向などの車両側の情報を利用することにより、専

用狭域通信で効率よく通信を可能とする空間的・時間的資源割当てプロトコル (STRAP) を提案した。また、実環境を想定したモデル上においてシミュレーションを用い、従来からのブロードキャスト法および地理的放射手法と比較し、STRAPの有効性を明らかにした。

本論文では、これらの手法により、車載情報機器で利用可能なパーソナル通信、専用狭域通信、データ放送それぞれの問題点を軽減し、さらに、それぞれの通信手段が持つ利点を活かし併用することで、車載情報機器でよく利用される情報を効率的に配信・管理するための、移動体通信アーキテクチャの提案、評価、実装についての報告としてまとめた。

キーワード

モバイルコンピューティング、移動体通信、高度道路交通システム、プロトコル、キャッシュ

Fundamental Studies on Mobile Communication Architecture with Mobility Specification*

Kenya Sato

Abstract

ITS (Intelligent Transport Systems) has become a popular theme of research nowadays to solve traffic problems such as traffic congestion, accidents and environmental deterioration through the application of telecommunications technology. As a platform of in-vehicle computer systems with mobile communication capability, advanced in-car navigation systems, Auto PC by Microsoft Corp., Connected Car PC by Intel Corp., MONET by Toyota Motor Co., and so on have been proposed recently. A common mobile communication method of these systems is a cellular phone network, which is relatively slow. On the other hand, DSRC (Dedicated Short-Range Communication), a broader bandwidth communication method, such as ETC (Electronic Toll Collection) and infrared beacons in VICS to provide traffic information, has already been available in some places. In addition, high performance digital satellite or terrestrial broadcasting for mobile hosts that will be available in a few years, should be considered as major communication media for ITS. The rapidly expanding technology for portable personalized devices and wireless data networks has led to intensive research in the area of mobile communications. However, since these targets are general mobile hosts, there has been no effective approach for narrow band, unstable connection issues.

*Doctoral Dissertation, Department of Information Systems, Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology, NAIST-IS-DT9761207, February 7, 2000.

In this research, an approach for effective data transmission and management, that is an important factor on ITS, is proposed and implemented by using a current location and mobility specification of an in-vehicle computer systems, in spite that general mobile hosts do not have location and mobility detection capability. The concrete approach consist of three following factors:

1. Dissemination of layered data by using multiple heterogeneous communication media:

Available communication media on in-vehicle situations are:

- Full-duplex narrow-band personal communication, that is to take much time to receive large data,
- Full-duplex relatively broadband DSRC, that is difficult to allocate long continuous communication period because of small and discrete communication areas, and
- Half-duplex broadband broadcast, which has the drawback that clients need to wait for the required data items to appear on the broadcast channel.

By using these multiple heterogeneous communication media at the same time, hierarchical structured data can be transmitted effectively. This approach is proposed and its implementation method is also discussed.

2. Effective caching mechanism for location-aware information

By using a narrow band personal communication or half-duplex broadcast, long delay of an access penalty occurs. This means the timing when receiving data may be too late to be utilized in a mobile host. Therefore, a prefetch mechanism is required to reduce the access penalty. An effective cache method for location-aware information is proposed and evaluated; that is effective prefetching and replacement by evaluating a difference between position regarding location-aware information and location of a mobile host.

3. High performance communication method for DSRC

Since communication period by using DSRC is short and discrete, a smart communication protocol for DSRC is necessary. A protocol proposed in this research is to allocate resources on some of the base stations or networks for specific period of time, according to a schedule that a mobile host is assumed to travel. In addition, the protocol is evaluated by using simulation in comparison with conventional protocols: the broadcast method and the geographic multicast method. The simulation experiments show that the STRAP is effective in the case of congested traffic conditions.

In this paper, the smart and effective mobile communication architecture adopting these three methods at the same time, is proposed, evaluated and implemented to address the problems of personal communication media, DSRC, and broadcasting, for dissemination of location dependent and layer structured information mainly used by in-vehicle users.

Keywords:

Mobile Computing, Mobile Communication, Intelligent Transport Systems, Protocol, Cache

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	車載情報機器の移動特性と通信手段，利用情報	9
2.1	道路ネットワークモデル	10
2.2	移動計算機に搭載される機器と機能	11
2.3	移動計画	12
2.4	通信方式	13
2.4.1	移動計算機で一般に利用可能な通信手段	13
2.4.2	プッシュベースとプルベースによるデータ配信	15
2.5	車載情報機器における利用情報	18
2.5.1	位置依存情報	18
2.5.2	階層化表現	19
2.6	具体的利用データ	20
2.7	むすび	24
3	複数の通信を利用した階層型データの配信	27
3.1	まえがき	28
3.2	通信方式の分類	29
3.3	階層型データの転送	30
3.3.1	階層型データ転送モデル	30
3.3.2	同期機構	32

3.3.3	キャッシュ機構	32
3.4	複数の通信手段を用いた転送方式の数値的検討	33
3.5	実装について	35
3.6	むすび	37
4	位置依存情報のキャッシュ方式	39
4.1	まえがき	40
4.2	データ取得方式	41
4.3	位置依存情報のスコープ	41
4.4	プリフェッチとリプレースの方式検討	43
4.4.1	プリフェッチ	44
4.4.2	リプレース	46
4.5	キャッシュ方式の評価	47
4.5.1	評価方法	47
4.5.2	評価モデル	47
4.5.3	評価結果	51
4.6	実装について	55
4.7	むすび	57
5	専用狭域通信 (DSRC) を用いた効率的な通信方式	59
5.1	まえがき	60
5.2	専用狭域通信モデル	61
5.3	専用狭域通信の通信エリア	62
5.4	一般的な通信手順	64
5.5	STRAP の通信手順	67
5.5.1	移動計画の経路からの逸脱	71
5.5.2	移動計画と実際の移動とのずれ	73
5.5.3	マルチキャスト	73
5.6	シミュレーションによる評価	76
5.6.1	シミュレーションモデル	76
5.6.2	シミュレーション結果	79

目次

5.6.3	拡張STRAPの有効性	79
5.7	むすび	82
6	結論	85
6.1	本研究で得られた成果	86
6.2	今後の課題	88
	謝辞	93
	参考文献	95
	付録	101
A	車載情報機器において今後特に重要と考えられる通信/放送メディア	101
A.1	IMT-2000	101
A.2	地上波デジタル放送	102
A.3	衛星デジタル音声放送	102
A.4	専用狭域通信(DSRC)	103
B	具体的利用データのサンプル	105
C	階層型データ配信機構の実装	109
C.1	システムモデル	109
C.2	各部の構成	109
D	位置依存情報のキャッシュの実装	113
D.1	システムモデル	113
D.2	各部の構成	113
E	STRAP通信のシミュレータについて	119
E.1	構成	119
E.2	パラメータ	119
E.3	動作	119
E.4	問題点	120
	著者研究業績	121
	本論文に関連する研究業績	121

目次

その他の研究業績 125

目 次

2.1	道路ネットワークモデル	10
2.2	プッシュベースとプルベースのタイミング	16
2.3	位置依存情報の例	18
2.4	階層化データの基本構成	19
2.5	高品質な画像 (86kbytes)	21
2.6	中品質な画像 (27kbytes)	21
2.7	低品質な画像 (5kbytes)	21
2.8	プログレッシブ JPEG を利用した階層型データ表現	22
2.9	位置依存情報の階層化表現	23
2.10	地図メッシュデータの構成	25
3.1	複数メディアを用いた転送	31
3.2	同期機構とキャッシュ	33
3.3	階層型データ配信のための実装	36
4.1	移動計算機からの位置依存情報の利用	42
4.2	位置依存データのスコープ	43
4.3	キャッシュデータのプリフェッチとリプレース	45
4.4	キャッシュ手順	48
4.5	無作為データキャッシュ	49
4.6	周辺データキャッシュ	50
4.7	経路データキャッシュ	50
4.8	データ放送方式 (フラット構成)	52
4.9	それぞれのキャッシュ方式の数値的評価 ($n = 1$)	53

図目次

4.10	それぞれのキャッシュ方式の数値的評価 ($n = 3$).	54
4.11	それぞれのキャッシュ方式の数値的評価 ($n = 5$).	54
4.12	経路データキャッシュとLRUの数値的評価 ($n = 1$).	55
4.13	位置依存情報のキャッシュのための実装.	56
5.1	専用狭域通信モデル	63
5.2	専用狭域通信の通信エリア	64
5.3	1つのセル内での一般的な通信方法	66
5.4	1つのセル内完結の通信タイミング (1セル)	66
5.5	1つのセル内完結の通信タイミング (2セル)	67
5.6	複数セルを利用した通信方式	68
5.7	複数セルを利用した通信タイミング	68
5.8	ブロードキャスト法によるデータ転送セル	69
5.9	地理的放射手法によるデータ転送セル	69
5.10	STRAPによるデータ転送セル	70
5.11	STRAPによる通信タイミング	71
5.12	移動計算機の移動と通信セル	72
5.13	移動計画からの逸脱の対処	73
5.14	移動計画からのずれ	74
5.15	複数の移動計算機の移動 (1セル内1台のみの通信)	75
5.16	複数の移動計算機の移動 (同一方向移動へのマルチキャスト)	75
5.17	シミュレーションモデル	77
5.18	移動計算機間隔に対する各方式の通信効率	79
5.19	移動計算機数に対する各方式の通信効率	80
5.20	通信時間を2レベルとした場合のSTRAPの通信効率	80
5.21	移動計画からの時間的ずれがある場合の通信効率	81
5.22	移動計画における経路から逸脱した場合の通信効率	81
6.1	本移動体通信アーキテクチャ実装方式例.	90
B.1	道路映像の表示画面例 (MONETの場合).	105
B.2	L2メッシュ地図データ表示例.	106

図目次

B.3	L1 メッシュ地図データ表示例	107
B.4	L0 メッシュ地図データ表示例	108
C.1	階層型データ配信のための実装	110
D.1	位置依存情報のキャッシュのための実装	114
D.2	地図表示画面	117

表 目 次

1.1	車載情報機器と一般携帯情報機器との比較	5
2.1	移動計画の例	13
2.2	プッシュベースとプルベースとの特徴比較	17
2.3	各データのエリアとサイズ	24
3.1	各通信方式の比較	29
3.2	評価のための各データのエリアとサイズ	34
3.3	各通信手段を利用した場合のデータ取得にかかる時間	35
6.1	各通信方式の利点，問題点とアプローチ	88

第 1 章

はじめに

自動車が発明されてから 100 年あまりが経過し，自動車は日常生活になくなくてはならないものになってきている．しかし，渋滞による時間の損失や環境汚染，事故などといった問題は根本的な解決方法を見い出せないまま今日に至っている．このような自動車交通におけるさまざまな問題点に関して，情報技術の面から統合的なアプローチでその解決を図る高度道路交通システム (ITS: Intelligent Transport Systems) が，世界的な規模で取り組まれている．

ITS とは，情報通信技術を活用し，人・道路・車両を一体のシステムとして構築することで，安全性，輸送効率，快適性の向上とともに，交通事故や渋滞の軽減といった交通の円滑化を通して環境保全に役立つことを目的としたシステムである．本論文は，ITS において重要な要因となる自動車における情報通信の効率化を目指した移動体通信アーキテクチャに関する研究についての報告である．

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

近年、交通渋滞や事故、環境悪化などの交通問題の軽減に向けて、情報通信技術を用い、人・道路・車を一体として考える高度道路交通システム(ITS: Intelligent Transport Systems) [1] [2] [3] の研究、開発が日本、ヨーロッパ、アメリカなど世界的に行われている。具体的な例として、(1) 目的地までの最適経路の提供・案内、交通関連情報の提供、目的地情報等の提供を目的としたカーナビゲーションシステムの高度化 [4]、(2) 有料道路等の料金所で一旦停止することなく自動的に支払いを可能にするためのノンストップ自動料金収受システム(ETC: Electronic Toll Collection System) [5]、(3) 走行環境情報の提供、危険警告、運転補助、最終的には自動運転を目指すような安全運転支援、(4) 緊急時自動通報による緊急車両の運行支援、といった利用者サービスが挙げられる。このような状況のなか、移動する自動車に対しての情報の提供を目的としたいくつかの製品やサービスが提案、商品化され始めている。たとえば、Microsoft の Auto PC [6]、Intel の Connected Car PC [7]、IBM、Sun Microsystems、Netscape、Delphi によって開発された The Network Vehicle [8]、Daimler-Benz の Internet-on-wheels コンセプト [9] がある。これらは、自動車に計算機を搭載し、無線通信を利用してドライバに様々な情報を提供するとともに、緊急時に通報を行ったり、遠隔で車両を制御、診断したりするためのものである。その他、Wide プロジェクトのインターネットカー [10] では、自動車をセンサー(プローブ)として、それぞれの自動車が走行している地域の情報を収集しようという試みが行われている。日本の自動車メーカーがすでに運用を開始しているサービスとして、トヨタの MONET [11]、日産のコンパスリンク [12]、ホンダのインターナビ [13] などもある。これらは、目的地の案内、周辺地域の状況通知、交通情報の提供、緊急時の連絡など行うとともにインターネット接続による WWW の閲覧、電子メール、ニュースが自動車において利用できるシステムである。これらのアプリケーションを実現するにあたり、情報を保持するセンターから自動車への情報提供、情報管理を行うセンターにおける自動車の状況検知、走行している自動車同士の情報交換といった無線通信技術が重要となる。一般に、センターと自動車の通信を路車間通信、車同士での通信を車々間通信と呼ぶ。本論文では、自動車に搭乗しているユーザが関連ある情報を扱う場合、その計算機環境に対して車載情報機器という用語を使用し、一般的な携帯情

1.1. 本研究の背景と目的

報端末やノート型パソコンの場合には一般携帯情報機器という用語を使用することで区別する。また，利用する用途を限定せず，一般的に移動可能な計算機環境という意味で，移動計算機という用語を使用する。

現在，すでに提供されている製品やサービスで用いられている路車間通信のための無線通信手段は，携帯電話が一般的であるが，様々な情報を提供するためには十分な帯域を確保できず，通信費用も高いという問題がある。携帯電話より高速で安価な通信手段として，道路交通情報通信システム (VICS: Vehicle Information and Communication System) [14] [15] の光ビーコンや電波ビーコン，ノンストップ自動料金収受システム (ETC: Electronic Toll Collection) などがすでに実用段階にある。これら専用狭域通信 (DSRC: Dedicated Short-Range Communication) は，小さな通信可能領域 (セル) を持つ中継基地局を經由して，路車間通信を行う。これらの通信手段は携帯電話と比較して高速であるが，セルが小さいため，そこを高速で通過する自動車が一度にやりとりできるデータ量は限られ，セルごとに通信が途切れるため効率が悪い。専用狭域通信では双方向に通信が行えるという利点があるが，一方向のみの通信 (放送) としては，これよりもさらに帯域の広いデータ放送を利用し，自動車に対して情報を提供するという手法も考えられる。具体的には，日本では2001年にSバンド衛星デジタル放送 [17]，2003年に地上波デジタル放送 [18] [19] が実用化される見通しとなっている。これらデータ放送は比較的帯域が広く，一般的に通信費用が安いといった特徴を持っているが，一方向のデータ転送で，それを周期的に行うことで情報提供するため，ユーザは必要なデータが放送されるまで待つ必要がある。

帯域の狭い携帯電話のパーソナル通信や，一方向の周期的情報提供手段のデータ放送において，利用者がデータを得るまでの待ち時間を軽減するためには，キャッシュを利用することが必要不可欠である。狭帯域のパーソナル通信の場合は，データ転送に時間がかかるため，実際に利用する以前にあらかじめデータを取得しキャッシュしておくプリフェッチの方法を利用することが考えられる。また，データ放送の場合，必要なデータが放送された時点でキャッシュにあらかじめ保持しておき，実際に利用する際には放送を待たずしてキャッシュ内のデータを利用することで，ユーザからのデータアクセス時間を見かけ上無くすることができる。データ放送を利用して移動計算機に提供されるデータをキャッシュするためのデータ管

第 1 章 はじめに

理方式に関して様々な提案がなされている [21] . 通常のコンピュータにおいては , 保持されたデータの入れ替えアルゴリズムとして LRU (Least Recently Used) が用いられる場合が多い . Acharya らは PIX 法 [20] を提案し , Barbara らは状況によるステータス確認方式の分類を提示している [24] . Jing らは , ビットシーケンス法を提案している [25] . これらの方法は , 実際に利用するにあたり , 限定することが難しいパラメータを利用しなければならないなどの問題がある .

一方 , 専用狭域通信において , 移動計算機が複数のセルを通過する際に , 連続的にデータを転送する方法として , Talukdar らの MRSVP [26] , Lee の Adaptive Reserved Service [27] , 藤田らの IP ローミング [28] などの研究がなされている . これらの研究においては , 移動計算機の移動方向とタイミングを既知として取り扱っている . 実システムにおいては , 中継基地局側の情報のみで移動方向とタイミングを検知することは困難であるため , これらの方法を適用することは難しい . そこで , 移動先で直ちに通信を可能とするため , 現在地から進行可能な方向すべての中継基地局にあらかじめデータを転送する八幡らの地理的放射手法 (Geographic Multicast Method) [29] が提案されている . この手法では , 移動計算機が位置する中継基地局に隣接するすべての中継基地局にあらかじめデータを転送するものであるが , 前記手法と同様 , 転送のタイミングが不明確で , データ転送はされたが移動計算機がそのセルを通過しなかったために利用されない中継基地局の数が多く , 効率が良くない .

このように , 多機能携帯電話や携帯情報端末 (PDA: Personal Data Assistance) の普及にともない , 移動計算機環境における通信に関する研究 [30] が積極的に行われているが , これらの移動計算機の通信およびデータ管理に関する研究は , 主として一般的な携帯情報機器を対象としており , これだけの条件では通信の狭帯域 , 不安定性に関して効果的な解決策が提供されていない . また , 携帯性ばかりでなく経済性をも考慮するがゆえに , メモリを十分に搭載できない計算機資源に関する課題もある . そこで , 本研究においては , 移動計算機が高度道路交通システムで利用される環境において , 一般的な移動計算機の通信環境において提案されている通信 , データ管理方式より , さらに効率的な手法の提供を目指す . 自動車に搭載された移動計算機環境 (車載情報機器) は , 移動特性 , 通信手段 , 利用情報 , 記憶媒体 , 消費電力 , サイズ , 重量 , ユーザインタフェース , コストとい

1.1. 本研究の背景と目的

表 1.1 車載情報機器と一般携帯情報機器との比較

	車載情報機器	一般携帯情報機器
移動特性	高速で移動 (位置, 速度が既知) (移動経路が予測可能)	利用中はあまり移動しない
通信手段	携帯電話, FM 多重, ビーコン, データ放送	携帯電話, IrDA, 近距離無線
利用情報	位置依存情報が多い	個人情報が主
記憶媒体	CD-ROM, DVD-ROM フラッシュメモリ	フラッシュメモリ (ハードディスク)
消費電力	あまり気にしない (自動車用バッテリー)	クリティカル (小型電池)
サイズ	あまり気にしない (自動車内に設置)	クリティカル (人が持ち運び)
重量	あまり気にしない (自動車に搭載)	クリティカル (人が持ち運び)
ユーザ インタフェース	リモコン, タッチパネル 利用中は音声入出力 小さい表示領域	ペンベース (キーボード) 小さい表示領域
コスト	クリティカル	クリティカル

う観点からの一般携帯情報機器との相違点を表 1.1にまとめる．ここでは，これら比較項目の中で，特に，移動特性，通信手段，利用情報に着目した．車載情報機器では，利用情報が位置に依存しており，自動車に搭載されるという条件のもと，車載情報機器自体の位置，速度が既知で，移動経路が予測可能である．また，消費電力，サイズ，重量に関して，一般携帯情報機器と比較して，車載情報機器は制約が弱いため，複数の通信手段を同時に搭載可能である．

これらの車載情報機器の特徴を考慮することで，

- 車載情報機器において利用可能な複数の通信メディアを同時に利用し，そ

れぞれの特徴を活用した階層型データ転送方式

- 狭帯域パーソナル通信，あるいは，データ放送を通信手段として利用した際に，データを取得するまでの遅延時間を軽減するための，位置依存情報キャッシュ方式
- 専用狭域通信で問題となる通信エリアの制限による通信時間の細分化を軽減するため連続通信方式

を特徴とした，従来の一般携帯情報機器では実現不可能であった効率の良い新しい移動体通信アーキテクチャを提案し，評価，実装することを本研究の目的とする．

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，高度道路交通システム (ITS) を取りまく現状と，通信に関する問題点の列挙，車載情報機器と一般携帯情報機器との比較による特徴の抽出について概説し，本研究の背景と目的を述べた．

第 2 章では，車載情報機器として移動計算機で利用できる搭載機器，移動経路情報の設定，通信方式，および，利用情報の位置依存性と階層化表現について概説する．

第 3 章では，車載情報機器で利用可能な通信メディアを分類し，それぞれの特徴を活かし同時に利用することで，階層型データを効率的に転送するための方式を提案し，その定義と有効性について述べる．また，具体的アプリケーションへの適応についても検討を行なう．

第 4 章では，移動計算機の移動経路情報を利用することで，パーソナル通信，データ放送において情報のアクセスにかかる時間を見かけ上無くすための位置依存情報のキャッシュアルゴリズムを提案するとともに，数値的手法を用いて評価を行う．

第 5 章では，専用狭域通信において，小さなセルを通過する際に連続的にデータ転送を行なうためのプロトコルを提案するとともに，実環境を想定したモデル上において，シミュレーションによる評価を行う．

1.2. 本論文の構成

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

車載情報機器の移動特性と通信手段， 利用情報

従来から積極的に行われている移動計算機に関する研究は，主として一般的な携帯情報機器を対象としており，狭い通信帯域や低いデータ管理効率に関して効果的な解決策が提供されていない．そこで，本研究においては，移動計算機を高度道路交通システムの一環として自動車に搭載して利用する環境において，これらの問題に対するアプローチを検討する．

本章では，一般携帯情報機器と異なり，自動車に搭載された移動計算機環境(車載情報機器)を前提とした場合の移動特性，通信手段，利用情報について解説する．具体的には，車載情報機器を搭載した自動車の移動の基本となる道路ネットワークモデル，車載情報機器で利用される各種機器とそれにより得られる情報，これらを利用して得られる動的経路誘導を行うための情報である移動計画，利用可能な通信手段の種類とそれぞれの特徴，車載情報機器でよく利用される位置依存情報，およびその階層的表現について説明する．

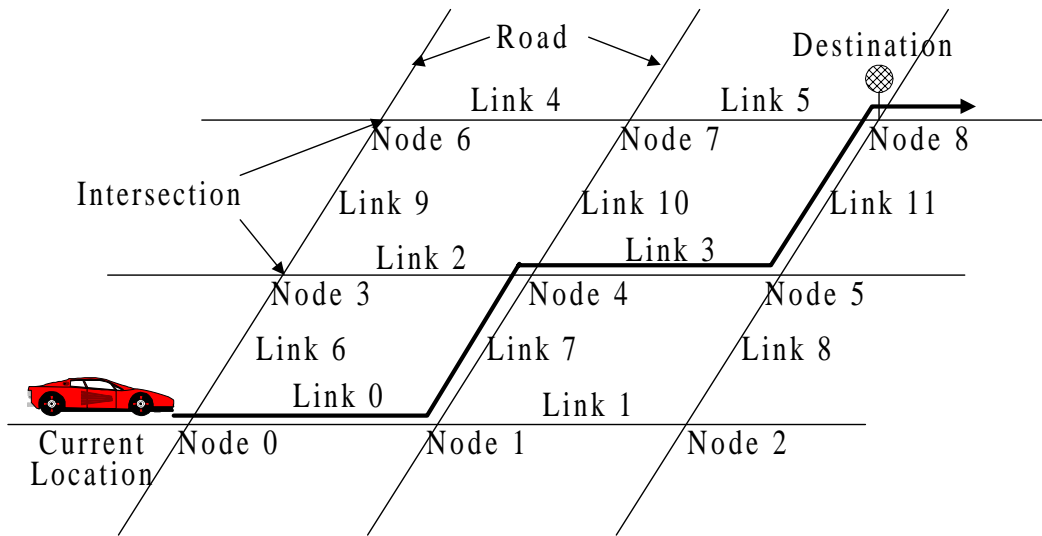


図 2.1 道路ネットワークモデル．

2.1 道路ネットワークモデル

本研究では，移動計算機が自動車に搭載され，その自動車が走行する道路ということで，図2.1に示す道路ネットワークのモデルを設定する．この道路ネットワークモデルにおいて，道路(Road)に相当する部分をリンク(Link)，交差点(Intersection)に相当する部分をノード(Node)と呼び，モデルではそれぞれのノード間をリンクで結ぶ構成を採る．ここでは，移動計算機が移動する経路のモデルを説明するため，直線のリンクで構成された単純なメッシュ構成とする．実際の道路ネットワークはこのように単純ではないが，このメッシュを再帰的に配置することで，実道路ネットワークの構成に近付けることが可能である．車載情報機器を搭載した自動車がこのモデルの上を移動するが，必ずリンクに沿って移動し，移動中に到達したノードにおいて直進するか，左右どちらかに曲がる経路を選択する．たとえば，図2.1において，現在地(Current Location)にある自動車は，ノード0からリンク0を走行し，ノード1に到着する．自動車は，ノード1に到着後，ノード1を左折する．その後，リンク7を通過し，ノード4を右折し，リンク3を通過，ノード5を左折，リンク11を通過し，ノード8の目的地(Destination)に到着する経路を移動する．

2.2 移動計算機に搭載される機器と機能

通常のカーナビゲーションシステムなどの車載情報機器において、GPS受信機や道路ネットワークデータなどが搭載されており、それらの機能が利用可能となっている。本研究で検討する移動計算機は、同様の機器を搭載し、そこから得られる情報が利用可能とする。具体的に、搭載機器とその機能について以下に示す。

- GPS受信機 — GPS (Global Positioning System, 全世界測位システム) により地球を周回している複数のGPS衛星より無線信号を受信し、移動計算機が、現在、地球上のどの位置にあるかを約50mから100mの誤差で測位することができる。また、FMデータ多重放送によりGPS信号の誤差を取り除く Differential-GPSを利用すれば、さらに高い精度で現在地を測位することが可能となる。
- 道路ネットワークデータ — 移動計算機の移動する実際の道路ネットワークデータをCD-ROMあるいはDVD-ROMにあらかじめ保持しており、移動計算機はそのデータをもとに、道路ネットワークの経路上を走行する。また、GPSの測位データの誤差を軽減するため、測位データに加えて、移動計算機は経路上を移動するという前提に基づき、移動した経路と道路ネットワークデータを照合する推測航法とマップマッチングの手法を用い、GPS衛星からの信号が受信できない場合でも、移動計算機の位置を判定することが可能となる。
- 時計 — GPS衛星には原子時計が搭載されており、ここから発信される時刻データを受信することで、移動計算機においても、正確な時刻を計測することができる。
- 速度計、角速度センサ — 自動車に搭載されている車速センサや車輪速センサにより移動計算機の移動速度を、ジャイロなどの角速度センサにおいて移動方向を測定することができる。
- 最適経路計算プログラム — 道路ネットワークデータに付随して、それぞれのノードおよびリンクの距離情報や、静的な状況における平均的な通過時

間を保持している．これらの情報をもとに，現在地から目的地までの時間的，あるいは距離的に最適な経路を計算する．

- 交通情報受信機 — 各移動計算機の目的地への到着時刻は，その時の道路状況や交通状況により異なるため，交通情報センター等より交通情報に関するデータを受信し，移動計算機において動的に交通状況を把握し，それに応じた目的地への到着時刻を予測する．

2.3 移動計画

前節で述べたように，車載情報機器である移動計算機は，GPS 受信機，移動経路網データ，速度計，角速度センサなどを用いて，現在地，時刻，移動方向を計測することができる．これらの情報に加えて，動的な交通情報を考慮し，移動計算機の現在地から目的地までの経路，各地点の通過時間，および目的地への到着時間を予測することが可能である．一般に，移動計算機が目的地までの経路を動的に経路誘導する DRG(Dynamic/Determined Route Guidance) の方式として，Centralized-DRG と Localized-DRG の 2 通りがある [31]．前者では，移動計算機が，目的地を交通管制センターに送信し，交通管制センターにおいて交通情報をもとに最適経路を計算し，移動計算機に送り返す．この経路情報をもとに，移動計算機は目的地までの経路を誘導するものである．後者は，交通管制センターから送られてくる交通情報をもとに，移動計算機において最適経路を計算し，誘導するものである．特定の条件下であるが，移動計算機が現在地から目的地まで移動する際の時間を，Centralized-DRG，Localized-DRG，道路状況に詳しいタクシー，距離的最短経路で比較すると，この順番で目的地到達までに要した時間が小さいことが実験により確認されている [32]．したがって，移動計算機が現在地から目的地を目指す場合，DRG のシステムにより提供された経路を走行するのが時間的に有利であると考えられる．

動的経路誘導を行うために，移動計算機が経路を選択するための現在地から目的地までの最適経路情報，目的地までの最適経路以外に他地点を明示的に経由する場合は，その経由地を含んだ，各地点を通過する際の時間情報をテーブルとして保持する．このテーブルを移動計画(Mobility Specification)と呼ぶ．移動計画

2.4. 通信方式

表 2.1 移動計画の例

Predicted Route	Predicted Time
Node 0 (Current Location)	$t0 (\Delta t0)$
Link 0	$T0 (= t1 - t0)$
Node 1	$t1 (\Delta t1)$
Link 7	$T7 (= t4 - t1)$
Node 4	$t4 (\Delta t4)$
Link 3	$T3 (= t5 - t4)$
Node 5	$t5 (\Delta t5)$
Link 11	$T11 (= t8 - t5)$
Node 8 (Destination)	$t8 (\Delta t8)$

t : Time when an MH arrives at a node

Δt : Period of time for an MH to pass through a node

T : Period of time for an MH to pass through a link

は、現在地、目的地、目的地に到達するまでに通過するノード、リンクのリスト、およびノードを通過する予想時刻、リンクを通過するのに必要な時間からなる。たとえば、図2.1のような経路をたどる場合、表2.1のような移動計画となる。移動計算機は、基本的に提供された経路を走行するものとするが、経路から逸脱する場合も考慮に入れる。

2.4 通信方式

2.4.1 移動計算機で一般に利用可能な通信手段

現在、移動計算機で利用される主な通信(双方向)あるいは放送(単方向)手段として、主として、以下のようなものが挙げられる。

- 携帯電話(PDC, PDC-P) : 携帯電話を利用した TDMA-FDD の通信方式 .
9600 ~ 28.8kbps .

第 2 章 車載情報機器の移動特性と通信手段，利用情報

- PHS：基地局電力2W以下のPHSを利用したTDMA-FDDの通信方式．64k～128kbps．
- FMデータ多重放送：FMラジオ放送の電波のサブキャリア上にデジタルデータを乗せるシステム．VICSやDGPSで利用．16kbps．
- VBI放送：通常テレビ放送の垂直ブランク期間を利用してデータを転送する放送．文字放送以外に，Bitcast，ADAMSといった商用サービス開始．40kbps．
- 電波ビーコン：出力10mW以下，2.5GHz帯を利用した局所エリアの放送．VICSで利用．64kbps．
- 光(赤外線)ビーコン：近赤外線を用いた双方向の通信手段．通信領域は約3.5m四方．新交通管理システム協会(UTMS)VICSで利用．ダウンリンク1Mbps，アップリンク64kbps．

これ以外に，近距離ではIrDA，無線LAN(IEEE802.11)などがあるが，ここでは，基本的に屋外で利用可能なものとした．今後，西暦2000年以降，以下のような通信メディアが利用可能予定となっている．

- 衛星デジタル放送：BS, CS衛星テレビ放送で利用されている静止衛星の衛星放送波の利用．BSデジタル放送11.7GHz～12.2GHz，CDデジタル放送12.2GHz～12.75GHz，シングルキャリアのTDM方式．1M～6Mbps．
- 衛星デジタル音声放送：1999年7月に放送方式を策定した，Sバンドを用いた移動体向け音声，静止画像，簡易動画像放送を提供するサービス．サービス開始は2001年ごろ．1チャンネル256kbpsで，合計30チャンネル．
- 地上デジタルテレビ放送：UHF帯を利用した2003年から開始されるデジタルテレビ放送．3.6M～23.2Mbps．
- 地上デジタル音声(データ)放送：VHF帯を利用した2003年ごろから開始されるデジタル音声放送．680kbps～2Mbps．

2.4. 通信方式

- 専用狭域通信 (DSRC) : スポット的な通信エリアをもち, 5.8GHz を利用. ノンストップ自動料金収受システム (ETC) で利用. 1Mbps .
- IMT-2000 : 携帯電話の次世代移動通信システムで, 2001年サービス開始予定. 2Mbps(静止中), 384kbps(歩行中), 144kbps(高速移動中) .
- 衛星通信 : 低軌道 (LEO) や中軌道 (MEO) の衛星を利用した携帯電話やページングサービス. Iridium, GlobalStar, ICO など. 2.4k ~ 9.6kbps .

これら方式として, 通信範囲は, 国内全域, 都道府県エリア, 数百メートルから数メートルまで, データ伝送速度も約十 kbps から数十 Mbps と様々である. ここで挙げた通信 / 放送手段のうち, 車載情報機器の分野で今後特に重要になると考えられる IMT-2000, 地上波デジタル放送, 衛星デジタル音声放送, 専用狭域通信 (DSRC) についての詳細を付録 A で述べる. 本論文では, 特に利用する通信手段を具体的に規定せず, それぞれ持つ特徴により分類した.

2.4.2 プッシュベースとプルベースによるデータ配信

前節で列挙したようなデータ提供方式は, プッシュベースとプルベースによる2つのデータ配信の方式に分類可能である. プッシュベースとは, 放送により複数の移動計算機にデータを一方的に提供し, 移動計算機において必要なデータを選択する手法である. 移動計算機から情報提供局に対しての通信手段が不要であり, ユーザ数の増加に対して負荷が変動することがない. しかし, 必要なデータを入手する際に, そのタイミングでデータが放送されているとは限らず, 一般にそのデータが放送されるまでの遅延時間が発生する. 一方, プルベースは, 移動計算機から情報提供局に対し, 明示的に必要なデータの要求を出して, その応答としてデータを取得する方式で, 携帯電話などの通信手段を利用する. この場合, 移動計算機は, データが必要になった時点で要求を送ってから, その必要なデータを受けとるまでに伝送等の遅延が発生する. この際, アクセス時間の影響を少なくするためには, 要求を出すタイミングの設定も考慮する必要がある. また, それぞれの移動計算機が情報提供局に対しての通信路を確保する必要がある. これら2つの方式においてデータを入手する際の通信手順の時間経過を, 図 2.2 に示す.

第 2 章 車載情報機器の移動特性と通信手段，利用情報

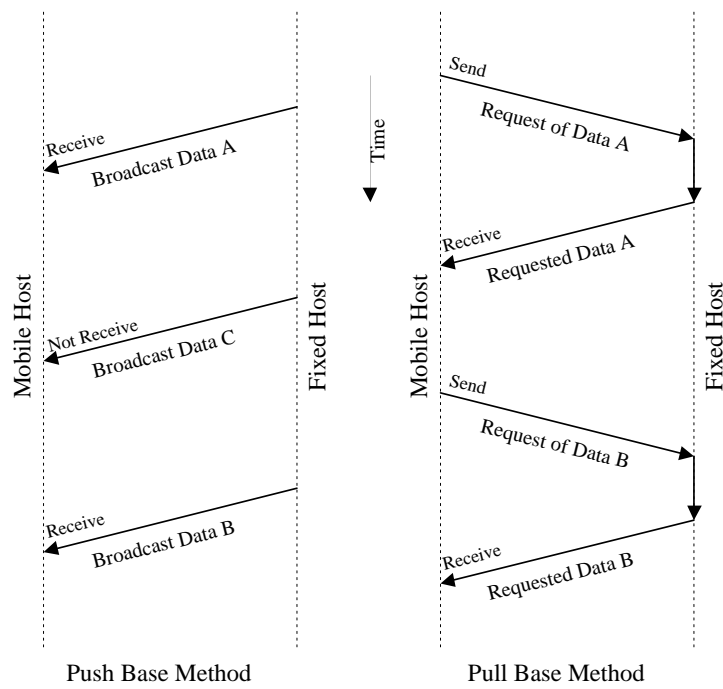


図 2.2 プッシュベースとプルベースのタイミング。

2.4. 通信方式

表 2.2 プッシュベースとプルベースとの特徴比較

	プッシュベース	プルベース
データ転送の帯域	広い	狭い
データ取得までの遅延	大きい	小さい
スケーラビリティ	ある	ない
通信コスト	低い	高い
利用情報	公共性	個人的

論文 [33] によっては、放送(ブロードキャスト)型とプッシュベースの配信を、ユーザからの要求を登録する項目で厳密に区別して定義しているが、ここでは、一般的な概念に従い、データを保持しているサーバが一方向的にデータを配信する放送型をプッシュベースと呼ぶこととする。また、同義語としてデータ放送という用語が使用される場合もあるが、ここで用いているデータ放送という用語は、衛星デジタル放送や地上波デジタル放送を利用してデジタルデータを配信する場合を指すものとする。

データ転送の帯域を比較すると、プッシュベースであるデータ放送の場合、およそ数十 kbps から数十 Mbps であり、プルベースであるパーソナル通信の場合、約十 kbps から数 Mbps である。データ取得までの遅延時間は、プッシュベースの場合、1 放送周期に各データが 1 度放送されるとすると、放送周期の $1/2$ が平均値となり、プルベースの場合は、伝送遅延のみとなる。通信回線およびサーバの負荷に関してのスケーラビリティを考えた場合、プッシュベースはユーザ数に依存せず、スケーラビリティが高い。一方、プルベースは、ユーザが増加するにつれて負荷が高くなりスケーラビリティが低下する。通信コストは、一般的に、プッシュベースは通信回線を共有するため低く、プルベースは占有するため高い。利用情報は、プッシュベースは公共性の高いデータに有利であり、プルベースは個人的な情報に利用される場合が多い。これらプッシュベース、プルベースの利点、欠点をそれぞれの特徴として表 2.2 にまとめる。

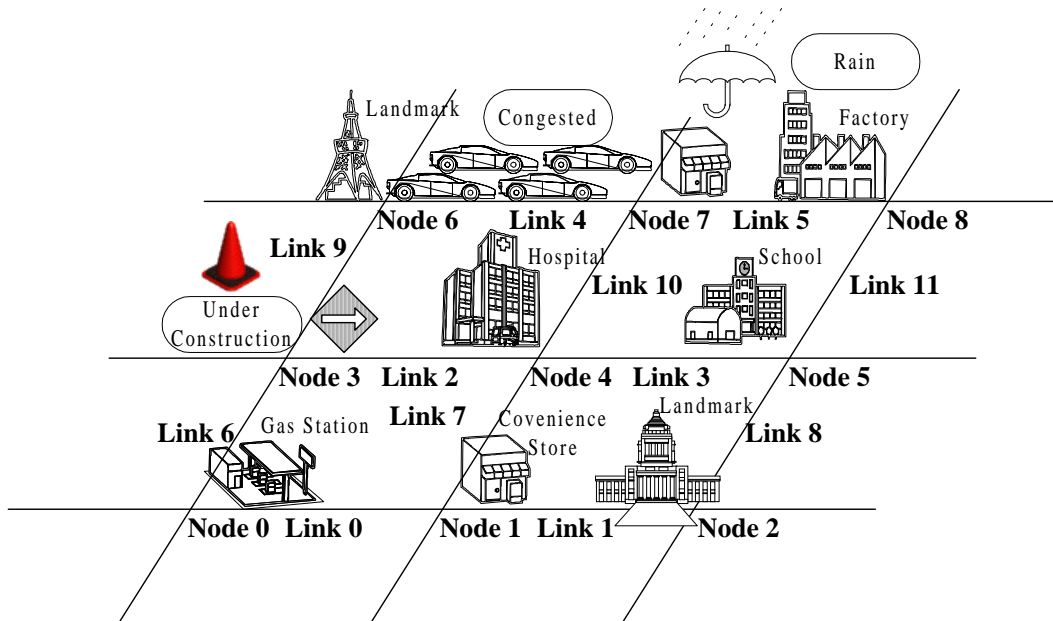


図 2.3 位置依存情報の例 .

2.5 車載情報機器における利用情報

2.5.1 位置依存情報

第1章で述べたように，一般に，カーナビゲーション等の車載情報機器において，ユーザが移動中に利用するデータとして，たとえば，ガソリンスタンド，コンビニ，病院，学校，工場，レストラン，ランドマークなどの道路上の施設，あるいは，特定地域の道路交通情報，天気予報などが挙げられる．これらのデータは，地理的にある特定の地点，あるいは一定の範囲に関する情報であり，ここではこれらのデータを位置依存情報 (Location-aware Information) と呼ぶ．図2.3に位置依存情報の具体例とその地理的配置を示す．交差点名や地域の名称，郵便番号や電話の市外局番，その地域で受信できるラジオやテレビの放送局の周波数，地図データそのものもこの範疇に入れることができる．

2.5. 車載情報機器における利用情報

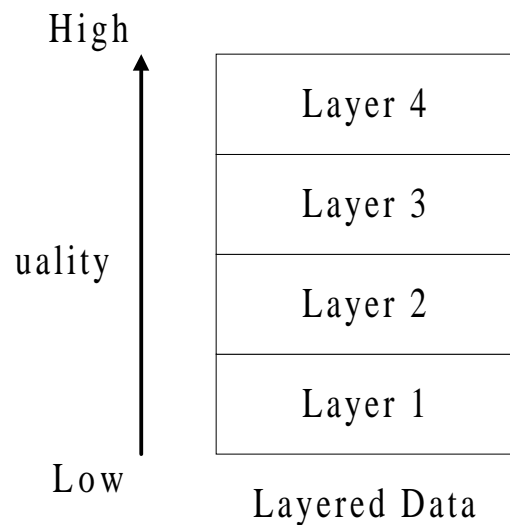


図 2.4 階層化データの基本構成 .

2.5.2 階層化表現

一般に、地図データを含む位置依存情報は階層化した表現が可能である。その他、静止画、動画、音声といったマルチメディアデータは、その品質に応じて優先度をつけ、階層的に構成することが可能となる場合が多い。階層化データの基本構成の例を図2.4に示す。この例では、4階層のデータとなっている。階層化するメリットとして、ネットワーク性能が低い通信メディアでデータを転送する場合でも、低い品質での表現が可能となり、ネットワーク性能が高ければ、それだけ品質のよいデータが転送できる点である。

たとえば、階層化された静止画フォーマットの1つであるプログレッシブ JPEG では、周波数成分により段階的に符合化されており、低い周波数成分だけで粗い画像を再生することができる。図2.5、図2.6、図2.7はプログレッシブ JPEG の画像において品質を変化させた例である。低い周波数成分は、画像において変化の少ない部分を表し、画像の精細な部分は高い周波数成分により表される。この例において、元の画像は図2.5であり、この中で最も高品質な画像となる。ここから高周波数成分を省いた画像が図2.6であり、図2.5に比べ品質は低下し、データのサイズも減少している。図2.7は図2.6から更に低い周波数成分を省いた画像であり、画質、データサイズともこの中で最低となっている。これらと比較する

と，画質やデータサイズに差はあるが，低品質なデータであってもユーザにとってその画像の概要を認識すること可能となる．

これを階層的に図示すると，図2.8に示すように，基本階層(Layer 1)，拡張階層1(Layer 2)，拡張階層2(Layer 3)の3階層で構成され，基本階層だけでは粗い画像が得られ，拡張階層1を基本階層のデータに追加することで，基本階層だけの場合より品質の良いデータが得られる．拡張階層2のデータをさらに追加することで，もとのオリジナルな画像が得られる構成となっている．また，動画フォーマットのMPEGでは，静止画と同様の空間的階層化に加え，I，P，Bの3種類のフレームを用いて時間的に階層化しており，P，BフレームはIフレームからの差分によって構成されている．この場合は，Iフレームが優先度の高い基本階層で，P，Bフレームがより品質を高めるための拡張階層と捉えることができる．

施設やランドマーク，交通関連情報，天気情報などの位置依存情報においても，その有効範囲やサービスエリアなどをベースにデータの種類に応じて階層的に表現ができる．この例を図2.9に示す．広域な有効範囲を持つデータから，狭い範囲の詳細な情報データを階層としてとらえ，これらを合成することで有効なデータを形成する．広域地図を高優先度の基本階層とし，詳細地図を基本階層の上に重ねていく．また，位置依存情報の有効範囲に応じてそれぞれの階層に配置することができる．

このように，データを階層化して扱うことで，通信帯域が狭い場合は，低い階層のデータのみを取得し，通信帯域が広い場合は，より高い階層のデータまで取得し，より品質の高いデータを利用できる．この手法により，データの効率的転送，保持が可能となる．

2.6 具体的利用データ

車載情報機器において利用される情報の具体的な例として，ここでは，地図データと交通関連情報を取り上げる．

ここで検討している具体的地図データのサンプルは，日本工業規格(JIS) X 0410で定められたメッシュ規格であるL2メッシュ，および，そのメッシュをさらに細分化したL1メッシュ，L0メッシュの3種類の階層からなるメッシュデータである．

2.6. 具体的利用データ



図 2.5 高品質な画像(86kbytes)



図 2.6 中品質な画像(27kbytes)



図 2.7 低品質な画像(5kbytes)

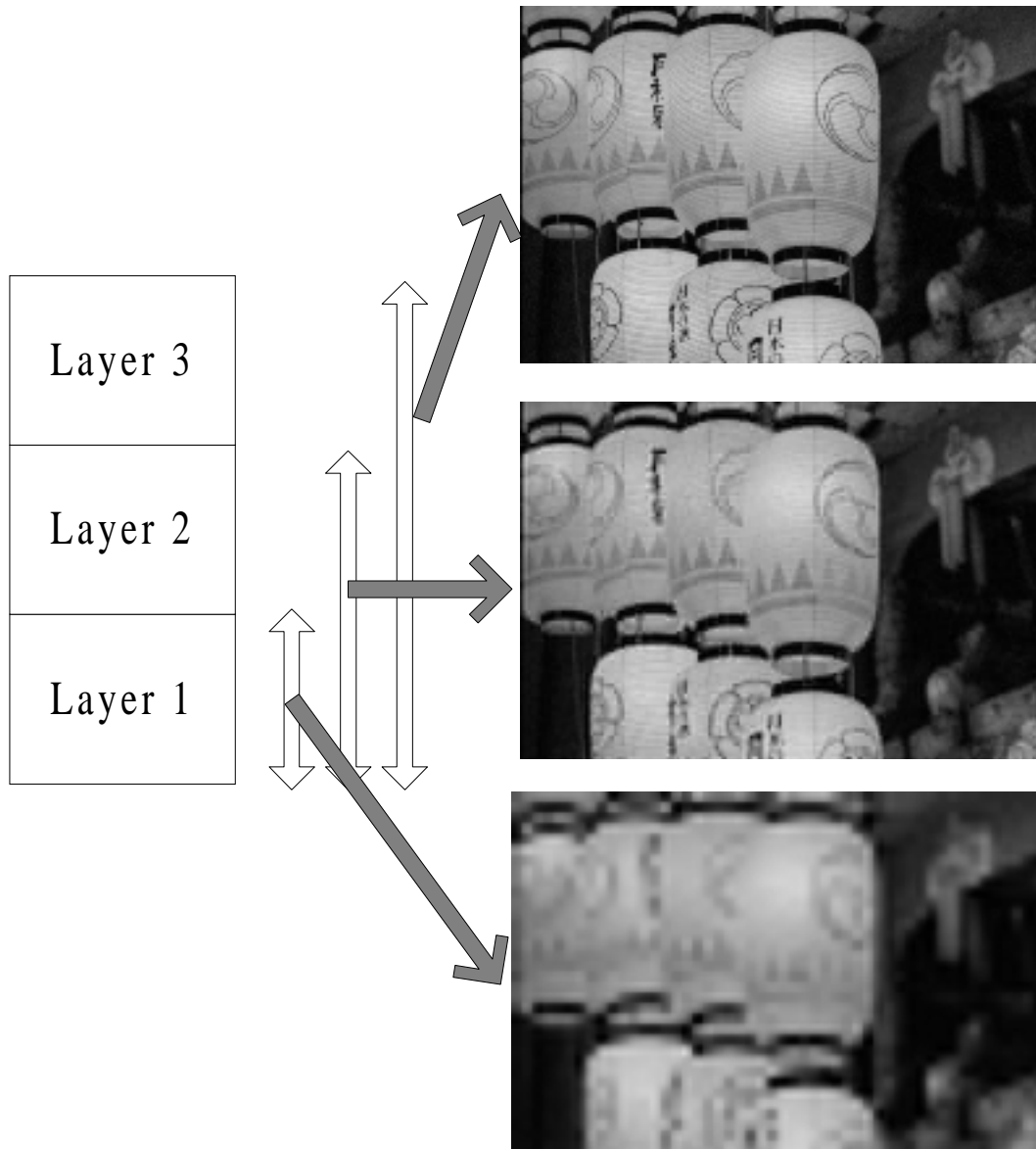


図 2.8 プログレッシブ JPEG を利用した階層型データ表現 .

2.6. 具体的利用データ

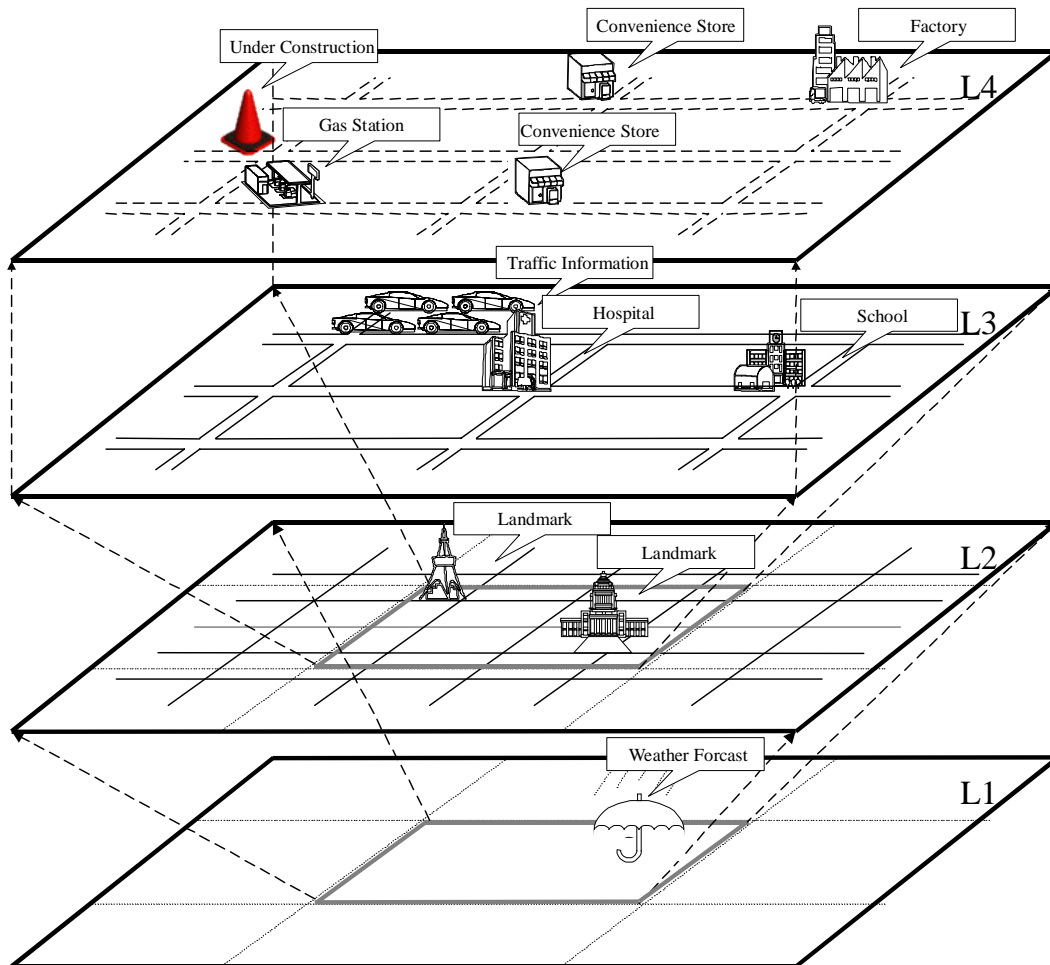


図 2.9 位置依存情報の階層化表現 .

表 2.3 各データのエリアとサイズ

種類	エリア	データサイズ
L2 メッシュ地図	10km x 10km	約 20k バイト
L1 メッシュ地図	2km x 2km	20k ~ 64k バイト
L0 メッシュ地図	625m x 625m	1k ~ 100k バイト
交通関連情報	10km x 10km	50k ~ 100k バイト
道路映像 (JPEG)	1 地点	約 30k バイト

L2 メッシュが現すエリアは，10km x 10km であり，L1 メッシュは L2 メッシュが 5 x 5 分割され，L0 メッシュは L2 メッシュが 16 x 16 分割される．L1 メッシュ，L0 メッシュそれぞれのが現す大きさは，2km x 2km, 625m x 625m のエリアとなる．この構成を図 2.10 に示す．これらのメッシュデータのサイズは（財）日本デジタル道路地図協会の道路地図データをもとに作成された表示用地図データを参照している．また，現在提供されている一般的な渋滞や規制等の交通関連情報は，10km 四方の領域を単位として設定されている．交通関連情報の一環として，交差点や高速道路の出口など，特定地域の道路状況をイメージあるいは簡易的な動画として JPEG フォーマットで提供される例もある．これらのデータのサイズを表 2.3 に示すと共に，実際の各メッシュデータと道路映像の表示サンプル例を付録 B に示す．

2.7 むすび

以上，本章では，本研究において前提となる道路ネットワークモデル，移動計算機に搭載されている各種機器とその機能について説明するとともに，利用可能な通信機器，通信方式について紹介を行った．また，動的経路誘導を行うための情報となる移動計画について解説した．

2.7. むすび

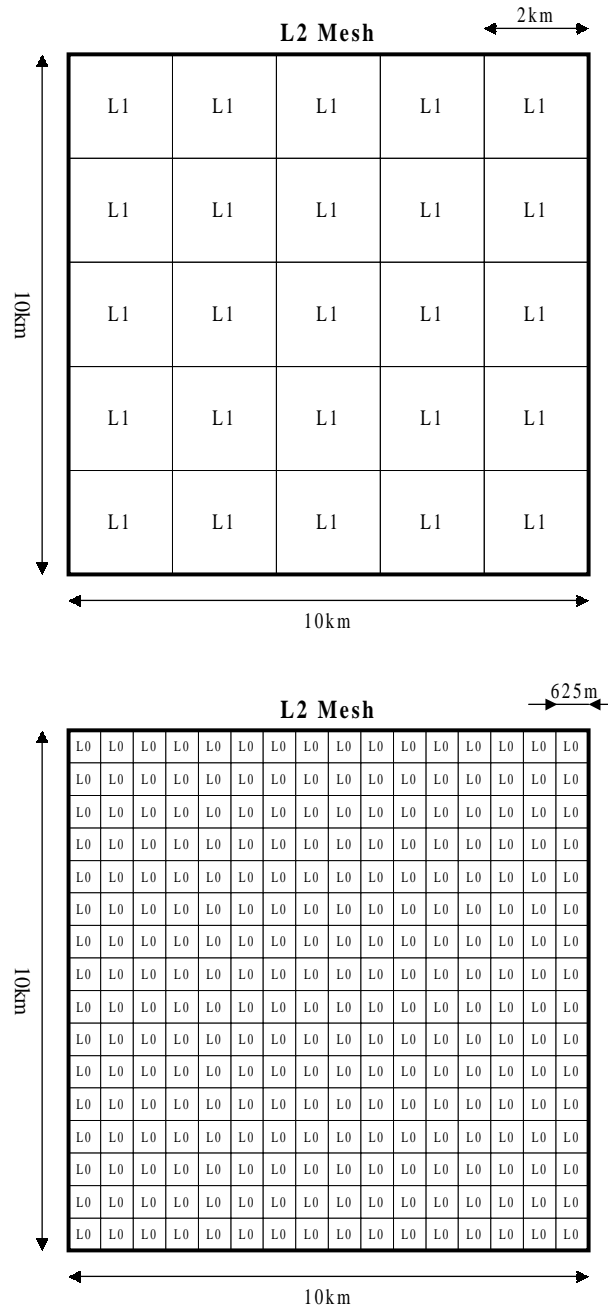


図 2.10 地図メッシュデータの構成 .

第 3 章

複数の通信を利用した階層型データの配信

車載情報機器は，従来から積極的に研究が行われている一般情報携帯機器とは異なり，移動特性，利用可能通信手段，利用される情報について特徴があることを第2章で述べた．

本章では，複数ある利用可能な通信手段を，1) データ放送，2) 専用狭域通信 (DSRC)，3) パーソナル通信の3つに分類し，それぞれの通信手段に適合したデータ配信の範囲を考慮して同時に利用することで，階層構成の位置依存情報を効率的に提供する方式について解説する．

3.1 まえがき

移動計算機において利用可能な通信方式は，第 2.4 節で示したように多数あり，それぞれ異なった特性を持っていることを解説した．また，第 2.5 節で説明したように，車載情報機器で利用される位置依存情報やマルチメディアデータは，品質に応じて優先度を付け，階層的に構成可能となる場合が多い．そこで，階層的に構成されたデータのそれぞれに対して，複数の異なった通信 / 放送メディアの特性に応じて利用することで，効率的な配信が可能になる．

マルチメディアデータを配信する方式として，1 つのメディア，あるいは，複数あるメディアのうち最適なメディアを 1 つを選択して配信する方式は，すでいくつか提案されている．マルチメディアデータを品質に応じて階層化し，それらを 1 つのメディアの転送能力に応じて，最適な転送を行う方法として，酒澤らは，MPEG の I, P, B フレーム種別による分割データ，音声データをそれぞれ異なるマルチキャストチャンネルを用いて伝送し，ルータにおいて転送先のネットワークの帯域に応じて，ユーザの設定により動画データの品質を制御する方法を提案，実装している [34]．増田らは，マルチメディアデータを優先度をもとに階層的に分割し，クライアント側において高優先度データをプリフェッチすることで，ネットワークの利用可能帯域が低下した場合や，バーストエラーの発生の際でも，低優先度データの転送が途切れるだけで，マルチメディアデータの再生可能する選択的マルチメディア通信方式 SMAP (Selective Multimedia Access Protocol) を提案している [35]．酒澤らのシステムはユーザ設定で対処するが，SMAP はネットワークの品質の変動に対し動的に対応することを目指している．これらのシステムでは，特に複数のネットワークを利用せず，前者は，マルチキャストアドレスを複数利用し，後者はメッセージを TCP，マルチメディアデータを UDP で転送することで対処している．撫中ら [36]，および，Hu ら [37] は，プッシュベース，プルベースを状況に応じて動的に使い分ける方法を提案している．クライアントのアクセスパターンに基づいて，クライアントでのキャッシュを含めて，シミュレーションを行ない，必要なデータが得られるまでのペナルティを評価している．青野らは，条件に応じてプッシュ型とプル型の通信を動的に統合することで，応答時間の短縮を図っている [38]．これらの方式は，1 台の一般的な情報端末に対して情報を提供する場合に適しているが，アプリケーションの状況に応じて，ス

3.2. 通信方式の分類

表 3.1 各通信方式の比較

	データ放送	専用狭域通信	パーソナル通信
通信方向	プッシュベース	基本的にプルベース	プルベース
帯域	広帯域	中帯域	狭帯域
受信範囲	広い	非常に狭い	比較的広い
スケラビリティ	あり	中程度	なし
遅延時間	放送周期に依存	ほとんどなし	伝搬遅延
通信時間	放送周期に依存	短い	ほとんど制限なし
通信費用	安価	比較的安価	高価

ケーラビリティを考慮しておらず，位置に依存する情報を，自動車に搭載された移動計算機(車載情報機器)が受け取る場合には，必ずしも有効ではない．

本研究では，移動計算機において複数の通信/放送メディアが同時に利用可能という状況を想定し，アプリケーションをマルチメディアデータ，あるいは，地図データといった階層型データに限定し，多くのユーザが必要としているデータをプッシュベースで，パーソナルな個別情報をプルベースで配信することにより，これら複数メディアを階層型データの特性に応じて利用することで，メディアの特性を有効に活用することを目的としている．

3.2 通信方式の分類

移動計算機において利用可能な無線によるデータ転送手段はそれぞれの特徴をもとに，1)衛星や地上波のデータ放送，2)光ビーコンやETCにおける専用狭域通信(DSRC)，3)携帯電話やPHSのパーソナル通信の3つに分類することができる．表3.1に3種類の通信方式の特徴を示す．

データ放送は，必要なデータが放送されるまで遅延時間があるため，必要となると予測されるデータはあらかじめ放送される時に先行取得し保持しておけば，必要となった際に，そのデータが放送されるまでの遅延なくデータを提供するこ

とが可能となる．そのためには，プリフェッチ機構を持ったキャッシュが必要となる．

また，パーソナル通信は，双方向通信であるため，データが必要となった時点でデータ要求を出し，その要求に対してデータを受信することができる．この際，データが必要となってから実際に必要なデータを受信するタイミングまでの遅延は，データ放送と比較して基本的に小さいものとなる．しかし，データ放送と比較して，一般的にパーソナル通信の帯域は狭く，データの転送が完了するのに必要な時間が大きくなるといった問題がある．この問題に対して，データ放送の場合と同じく，必要となると予測されるデータはあらかじめ利用される以前に先行取得し保持しておくことで対処可能となる．

一方，専用狭域通信は，個別通信と比べて高速であるが，通信エリアがスポット的に小さいため，そこを高速で通過する移動計算機が一度にやりとりできるデータ量は限られ，セルごとに通信が途切れるため効率が悪くなる．そこで，セルごとに断続的に行われる通信を，見かけ上連続させることで，中帯域の通信が広範囲に渡って実施できることとなる．専用狭域通信を利用した場合の，離散的に配置されたセルを見かけ上連続させて通信を行う方式に関して，第 5 章で詳しく説明する．

3.3 階層型データの転送

3.3.1 階層型データ転送モデル

複数メディアを用いた階層型の位置依存情報の具体的データ転送例を図 3.1 に示す．たとえば，衛星デジタル放送の受信エリアは広範囲で，全国を含む縮尺の小さな広範囲の地図データや，各地域の天気予報データなど，そのデータが有効となるエリアが大きなデータを放送する．広いエリアに含まれるユーザが広範囲のデータを同時に受信可能となり，非常に効率が良い．この広範囲のデータをパーソナル通信で配信する場合を考えると，同じでデータを多くのユーザに提供するために，ユーザごとにそれぞれ独立した通信メディアの経路が必要となり効率が悪い．地上波デジタル放送は，衛星デジタル放送より受信エリアは小さく，各地域ごとのランドマークや詳細地図データ，比較的広い範囲の交通情報を放送によ

3.3. 階層型データの転送

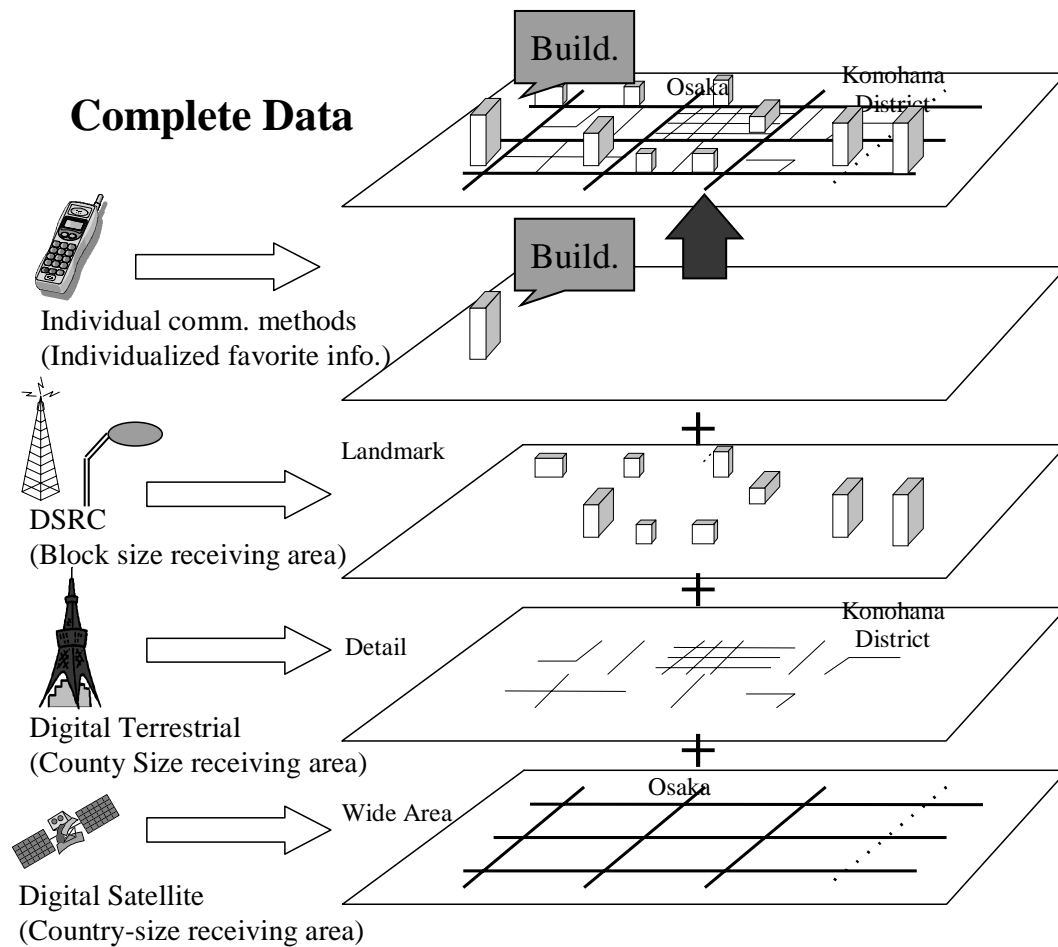


図 3.1 複数メディアを用いた転送 .

り提供する．更に小さい通信（受信）エリアを持つ専用狭域通信においては，詳細交通情報や駐車場案内などの局所的な情報を提供する．これらの放送は，基本的にそれぞれのユーザに対して共通の情報とし，ユーザがそれぞれの嗜好に伴なう情報は，携帯電話などパーソナル通信を利用して入手する．通信エリアに応じたスコープを持ったデータを放送／通信により提供することで，エリア内のユーザに対してそれぞれのメディアが個別に重複したデータを提供するより，比較的帯域の狭い移動体通信ネットワークを効率良く利用し，データを提供することが可能となる．

3.3.2 同期機構

階層型データは1つのデータが複数の階層から構成されるため、各データについて異なった通信メディアで転送された階層を移動計算機側で合成する。このため、対応する階層間のデータで同期を取る必要がある。

- 位置を基準とした同期：それぞれの階層データについて、位置についての対応関係を明確にする必要がある。そのため、第2.6節に示したように、L2メッシュのデータは、緯度、経度により分割され地球上の絶対位置として現され、L1、L0メッシュのデータはL2メッシュの分割されたメッシュ位置としてL2メッシュの左下を原点として相対的に現される。また、地図上の地点は、その地図のメッシュ上の相対座標として表現する。これにより、地図メッシュデータを含む地点データは、それぞれの位置を基準として同期を取ることができる。
- 時間を基準とした同期：1つのデータ内で場所に関する同期がとれていても、ある階層と別の階層で取得時間に大きな隔たりがある場合、情報の整合性が取れない可能性がある。そこで複数のメディアによって得られたデータを合成する際は、各階層データのタイムスタンプを比較し、同一のデータを構成する階層間の時間差が一定の値以下であるかどうかをチェックする機構を設置する。

3.3.3 キャッシュ機構

パーソナル通信においては、要求を出すことで必要なデータが逐次転送されてくるが、データ放送でデータを取得する場合、必要なデータが放送されるまで待つ必要があり、データの入手タイミングがパーソナル通信と異なる。このタイミングを合わせるためには、キャッシュにおいてデータを先行取得する必要がある。同期機構とキャッシュにおけるデータの流れの概略を図3.2に示す。この場合、4つの階層からなる階層型データのうち、3つを放送であるプッシュベースで配信し、1つを通信であるプルベースで得る構成を採っている。プッシュベースの場合、受信側の意向とは独立してデータ放送側のタイミングでデータが配信される

3.4. 複数の通信手段を用いた転送方式の数値的検討

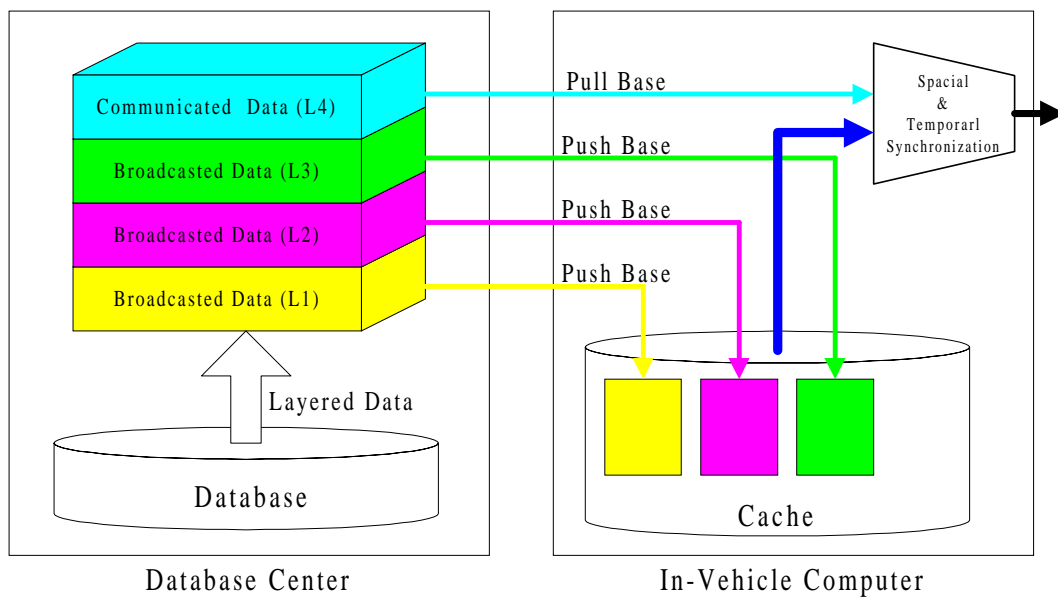


図 3.2 同期機構とキャッシュ .

ため、それをユーザ側で利用する際のタイミングとずれが発生する。このずれを解消するために、プッシュベースで配信されるデータはキャッシュに保持しておく。プルベースでのデータの取得は、ユーザ側のタイミングで行うことができるため、この場合、特にキャッシュに保持する必要はない。この階層型データとして、位置依存情報を利用した場合の効率的なキャッシュ方式に関して、第4章で詳しく説明する。

3.4 複数の通信手段を用いた転送方式の数値的検討

複数の通信手段を用いたデータの配送方式について、第2.6節に示したデータをもと数値的に検討する。データの種類の、それぞれのユーザの嗜好に伴って必要となる個別情報を追加する。地図のメッシュデータ、個別情報の大きさにはそれぞれ幅があるが、計算を容易に行うため、1つの値で代表する。評価のエリアを、データ放送がカバーする1つの領域とし、50km x 50kmの範囲とする。この評価エリアにおける、それぞれの種類のデータの数を求める。道路映像データは、L0メッシュの領域に平均2地点、個別情報に関しては、全体で100,000アイテム

第 3 章 複数の通信を利用した階層型データの配信

表 3.2 評価のための各データのエリアとサイズ

種類	データ数	データサイズ	利用範囲
L2 メッシュ地図	25	20k バイト	エリア全体
L1 メッシュ地図	625	40k バイト	エリア全体
L0 メッシュ地図	6,400	50k バイト	経路上 (160 地点)
交通関連情報	25	100k バイト	エリア全体
道路映像 (JPEG)	18,800	30k バイト	経路上 (320 地点)
個別情報	100,000	100k バイト	個別 (50 地点)

とする。利用範囲は、L2 メッシュ、L1 メッシュ、交通関連情報は全体情報として評価エリア全体とし、L0 メッシュ、道路映像は移動計算機の移動経路上とし、個別情報は 50 地点と設定する。移動計算機の移動は、エリアの 1 つのコーナから対角線のコーナを最短距離で結ぶ経路とする。これらをまとめると、表 3.2 となる。

ここで、検討する通信手段は、データ放送として地上波デジタル放送、専用狭域通信として 5.8GHz DSRC、パーソナル通信として IMT-2000 を対象とし、それぞれの通信速度は高速移動を考慮して、それぞれ 10Mbps、1Mbps、144kbps と設定する。データ放送は、エリア全体のユーザを対象とし、専用狭域通信、パーソナル通信はユーザ個別を対象としてデータ転送を行う。専用狭域通信については、1 回の通信時間を 0.4 秒 (時速 54km/h で通信エリアが 6m の場合) とし、通信エリア間通過時間を 12 秒 (平均時速 30km/h で 100m 間隔) と設定する。0.4 秒間に通信できるのは 50k バイトであり、これを越えるサイズのデータは、エリア間通信時間を加算する。それぞれのデータ取得にかかる時間の合計を、表 3.3 に示す。太字で示した数値は、それぞれの種類のデータに対最も通信時間が短くなる通信方式である。ここで設定した条件をもとに、データの種類に対して最適な通信手段を選択すると、L2 メッシュ地図、L1 メッシュ地図、交通関連情報はデータ放送で、L0 メッシュ地図、道路映像は専用狭域通信で、個別情報はパーソナル通信で転送することが最適となる。

すべてをデータ放送で実現する場合、すべての個別情報を送信しなければならないので、個別情報全体の転送に 2.2 時間必要となり、非現実的である。専用狭域

3.5. 実装について

表 3.3 各通信手段を利用した場合のデータ取得にかかる時間

種類	データ放送	専用狭域通信	パーソナル通信
L2 メッシュ地図	0.4 秒	4.0 秒	29 秒
L1 メッシュ地図	20 秒	3.3 分	23 分
L0 メッシュ地図	4.3 分	1.1 分	7.4 分
交通関連情報	2 秒	20 秒	2.3 分
道路映像 (JPEG)	5.0 分	1.3 分	8.9 分
個別情報	2.2 時間	20 分	4.6 分

通信の場合、個別情報を除き極端に通信時間がかかるデータの種類はないが、対象としているエリア全面に渡り専用狭域通信のための基地局が配備しなければならず、実現が困難である。パーソナル通信を利用すると平均的にすべてのデータを短時間で取得できるが、通常、通信費用が必要となる。たとえば、1パケット(128バイト)につき0.3円とすると、L0メッシュ地図と道路映像のデータを転送するのに合計41,250円必要となる。通信費用の面を考慮すると、できるだけパーソナル通信以外の通信手段を利用することが望ましい。

現在の通信機能を持ったカーナビゲーションシステムを搭載した自動車には、通常のPDC方式の携帯電話、アナログのVHF、UFH受信のテレビ機能が搭載されている。今後、車載情報機器として大多数の自動車には、携帯電話利用のためのIMT-2000端末、テレビ放送を見るためのデジタルテレビ受信機、高速道路やドライブスルーでの自動料金支払のための専用狭域通信装置がそれぞれ最初から搭載されてくると考えらる。これらのことを総合的に考慮すると、搭載されているこれら複数の通信手段を利用し、それぞれの情報に適した通信手段を利用して転送することにより、全体として時間的、経済的に最適な通信を実現できる。

3.5 実装について

複数の通信手段を利用した階層型データの配信をエミュレートするための、実装システムを図3.3に示す。ネットワークで接続した2台のパソコンを、それぞれ

第 3 章 複数の通信を利用した階層型データの配信

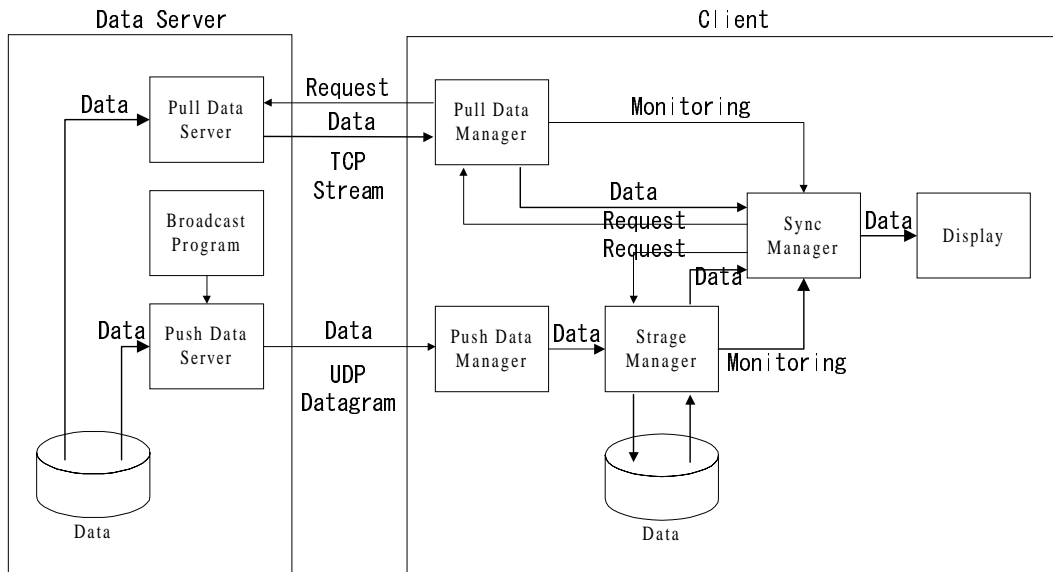


図 3.3 階層型データ配信のための実装 .

データ提供サーバとデータ表示クライアントとする．ここでは通信路をプッシュベース，プルベースそれぞれ1系統の合計2系統とする．プッシュベースの通信路はUDPのデータグラムを，プルベースの通信路は，TCPのストリームを利用する．アプリケーションとして，MPEGによる動画データと副音声，あるいは，位置案内のための地図データと個別ランドマークデータを，それぞれプッシュベースとプルベースの対象とし，同期の要因を，動画の場合は時刻，位置案内の場合は移動に伴う位置とし，これらアプリケーションごとに同期要因が異なる場合でも，1つのシステムで扱えるように設計する．

今回の実装システムは2台のPCであるが，クライアントを複数台用意し，それぞれのクライアントにおいて，共通のプッシュベースの通信と，それぞれ個別のプルベースの通信を行なうことが可能である．

システム全体のコマンド，データの流れは次のようになる．

1. プッシュデータサーバ (Push Data Server) から放送プログラム (Broadcast Program) に従い，データが自動的に配信される．
2. クライアントの移動に伴う位置の変化，あるいは，時間経過に伴う指定時

3.6. むすび

刻といった同期要因をトリガーとし，同期管理部 (Synchronous Manager) に通知を行う．

3. 同期管理部は，ユーザが必要としているデータをデータ保持管理部 (Storage Manager) に伝える．
4. データ保持管理部は，放送されてくるデータをプッシュデータ管理部 (Push Data Manager) 経由で受け取り，必要としているデータを選択し，一時的に保存する．
5. 同期管理部は，一時的に保存したデータをモニタし，必要としている個別データをプルベースとしてプルデータサーバ (Pull Data Server) に要求する．
6. プルベースでの要求が送られた来た時点で，一時的に保持されていたデータと最終的に同期管理部で階層間の同期，合成し，表示部 (Display) に送り表示を行なう．

本実装システムの各部の詳細については，付録Cで解説する．

3.6 むすび

本章では，複数の通信手段を用い，位置依存情報を効率的に提供する方式を解説した．また，通信エリアに応じたスコープを持ったデータを放送 / 通信を併用して提供することで，エリア内のユーザに対してそれぞれのメディアが個別に重複したデータを提供するより，比較的帯域の狭い移動体通信ネットワークを効率良く利用し，データを提供することが可能となることを示した．さらに，本方式を実現するための実装システムについても示した．

第 4 章

位置依存情報のキャッシュ方式

移動計算機における複数の通信手段に関して，第3章では，それぞれの特徴をもとに，1) データ放送，2) 専用狭域通信(DSRC)，3) パーソナル通信の3つに分類し，階層型データに適応することを示した．

本章では，そのうち，1) データ放送と3) パーソナル通信を用いた通信方式の問題点，およびそのアプローチに関して説明する．具体的には，カーナビゲーションシステムを含む車載情報機器を対象に，ユーザに様々な位置依存情報を提供することを目的とし，自動車の移動する経路である移動計画を利用し，位置依存情報を保持するためのキャッシュ方式を提案するとともに，数値的な考察により評価を行う．また，ネットワークで接続したPCを利用し，データ放送の模擬環境を構築し，実験を行った．

2) 専用狭域通信における通信方式の問題点，およびそのアプローチは第5章で述べる．

4.1 まえがき

周期的にデータを送信するデータ放送を利用して情報を入手する場合、データが必要になってから、そのデータが放送に出現するまで遅延時間が発生する。一方、狭帯域のパーソナル通信の場合、データが必要になった時点でデータを要求し、データの転送が開始する。通信路が狭帯域であるため、そのデータの転送が完了するまでに必要な時間が大きくなる。データ放送、パーソナル通信のどちらの場合も、必要になると予測されるデータを利用する以前にあらかじめ先行取得し保持しておくことで、遅延なくデータを利用することが可能となる。ここでは、先行取得(プリフェッチ)機構を持ったキャッシュを設置することで、この遅延時間に対処する。また、一般に、キャッシュとして割り当てられるメモリは、移動計算機において限られた資源であるため、必要なデータすべてをプリフェッチしておくことは不可能である。したがって、キャッシュにデータがフルの状態、さらに新しいデータを取得する場合、キャッシュ内で不必要となったデータを対象に入れ換え(リプレース)が必要がある。

移動計算機に対して提供されるデータを取得する方式として、様々な提案がなされている [22]。一般には、保持されたデータの入れ替えアルゴリズムとして LRU が用いられる場合が多い。Acharya らは、放送されるデータの中から、必要なデータを保持しておく方法として、PIX 法、PT 法を提案している [20]。PIX 法は、 $(P: \text{アクセス確率}) / (X: \text{放送周期})$ が最小となるデータを入れ替えるもので、PT 法は、 $(P: \text{アクセス確率}) * (T: \text{次の放送までの時間})$ が最小になるデータを入れ替えるものである。しかし、一般的にアクセス確率が不明であるため、これらの方法は、実環境において利用するには非現実的である。Barbara らは、放送においてデータ更新のタイミングをシンクロナス/アシンクロナス、ステートフル/ステートレスに分類し、その中で、シンクロナスでステートレスのキャッシュインバリデートの方式として、1) タイムスタンプ、2) アムネスティックターミナル、3) シグネチャの 3 方式を提案し、それぞれに適した状況を提示している [24]。Jing らは、キャッシュ内のデータをインバリデートするための情報を効率的に転送するために、ビットシーケンス法を提案している [25]。これらの手法は、位置に依存する情報を、自動車に搭載された移動計算機(車載情報機器)が受け取る場合には、必ずしも有効ではない。

4.3. 位置依存情報のスコープ

ここでは，第2.3節において説明を行った移動計画をもとにした経路を進行する自動車に搭載された移動計算機において，利用データを第2.5節で解説した位置依存情報に限定することで，従来よりも効率良くプリフェッチ，リプレースを行うキャッシュ方式を実現する．

4.2 データ取得方式

車載情報機器においては，利用する情報が位置に依存する情報が多く，これら位置依存情報が関与する位置と，移動計算機の移動計画に基づく進行経路を比較し，プリフェッチすべきデータを決定する方式を本研究で提案する．データ放送の場合によるデータ出現までの遅延，パーソナル通信の場合のデータ伝送遅延の軽減を本キャッシュの目的とする．移動計算機が進行経路上にあるデータを取得すべき対象物に近付くと，データ放送によるプッシュベースのデータ配信方式の場合，放送されるデータの中からその対象物に関連するデータを選択し，保持する．パーソナル通信によるプルベースのデータ取得方式の場合，移動計算機の移動に伴い，対象物に近付いた時点で，自発的にその対象物に関連するデータの取得要求を出し，データを保持するサーバよりデータを得る．ここで提案しているキャッシュのプリフェッチ方式は，データ取得方式として，データ放送，パーソナル通信のどちらの場合でも適用可能で，位置を比較することでプリフェッチするデータを決定することによりデータを効率良く取得することができる．

4.3 位置依存情報のスコープ

車載情報機器において，ユーザが移動中に利用する情報として，第2.5節で説明したような，ガソリンスタンド，コンビニ，病院，学校，工場，レストラン，ランドマークなどの道路上の施設，あるいは，特定地域の道路交通情報，天気予報，交差点名や地域の名称，郵便番号や電話の市外局番，その地域で受信できるラジオやテレビの放送局の周波数，地図データそのものといった位置依存情報を対象とする．移動計算機は移動するに従って，道路ネットワークのある地点，あるいは特定地域に配置された情報を取得し，利用する．この状況を図4.1に示す．

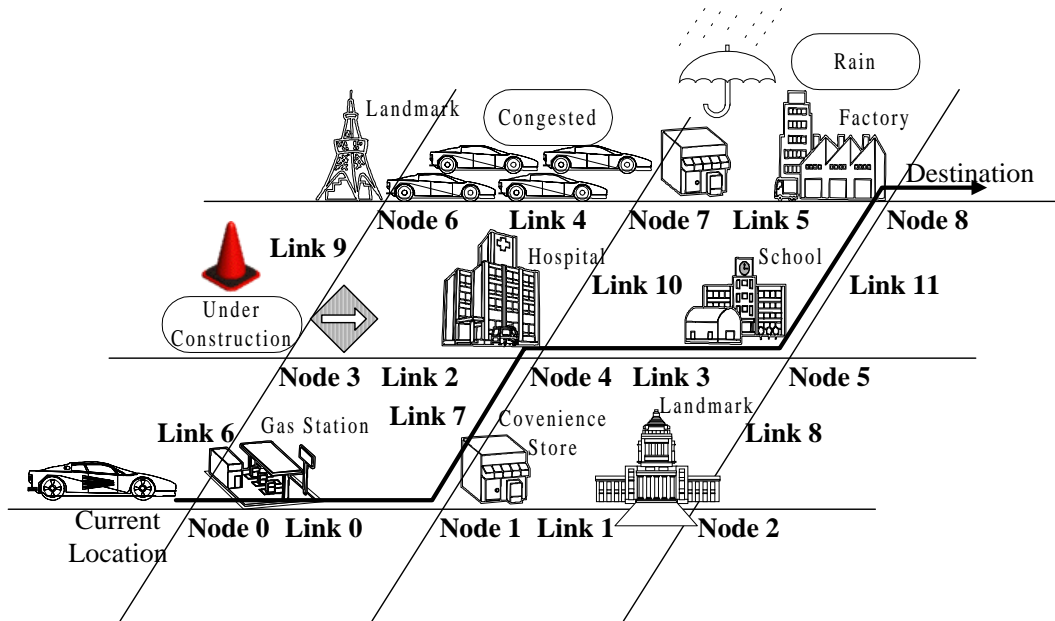


図 4.1 移動計算機からの位置依存情報の利用 .

位置依存情報は、第 2.5 節の説明において、特定の地点あるいは地域に関連するデータであることを述べたが、これらのデータが地理的に配置されている地点を基準点とし、この位置依存情報はこの基準点をもとに地理的な表現、判定を行う。しかし、基準点のみでは、それぞれのデータの有効範囲を表現するのに十分ではない。たとえば、位置依存情報の中で、施設のデータは、その施設が地理的に存在する地点の周辺において利用価値がある。また、天気予報はより広範囲でそのデータが利用価値があるものとなる。ここでは、データの利用価値がある地理的な有効範囲をスコープと呼ぶ。スコープの具体例について、図 4.1 のノード 1, 4, 7 およびリンク 7, 10 の直線の経路を用いて説明する。この経路上のノード 1 と 4 それぞれには合計で 2 つ施設 (コンビニ) と、ノード 4 には 1 つの施設 (病院) が配置されている。この部分だけを取りだし図 4.2 に示す。この図を用いてデータのスコープについて具体的に説明する。施設 B, F のデータは小さなスコープを持ち、施設 C はそれより大きなスコープを持つ。交通情報のデータ G, H は、その情報が有用となる領域のスコープを持ち、天気予報のデータ I はその天気予報対象地域をスコープとする。天気予報や地図データは地理的にその有効範囲が比

4.4. プリフェチとリプレースの方式検討

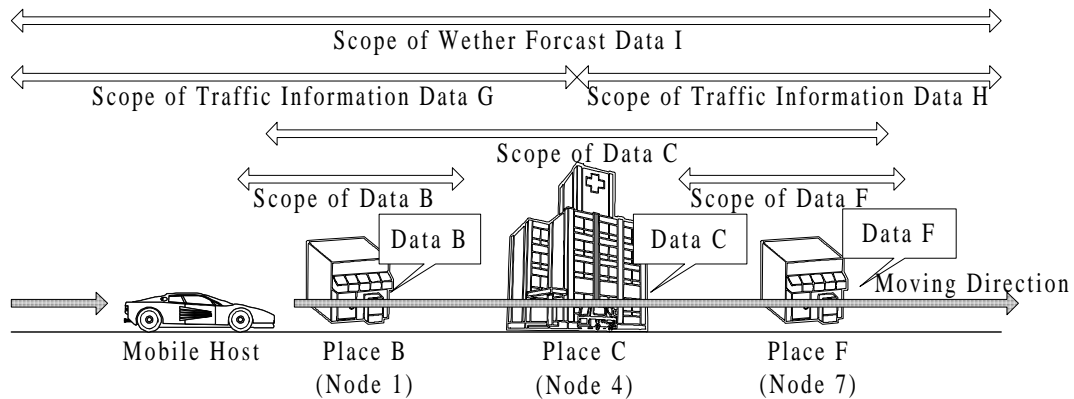


図 4.2 位置依存データのスコープ。

較的明確になっているが、施設やランドマークの有効範囲を定義することは一般的に難しい。しかし、一般的手法として、サービス内容や目的が同じである施設の配置や、その施設の商業圏などを利用することが考えられる。ここでは、特にスコープの決定方法を規定せず、その施設の有効範囲としてのみ定義する。移動計算機の移動に伴い、移動計算機がこのスコープに近付くか、あるいは、そのスコープ内に移動計算機が存在する場合は、その移動計算機にとってそのデータは有効と判断し、移動計算機がそのスコープから外に出ると、そのデータは無効と判断する。したがって、広範囲のスコープを持つデータは、移動計算機の移動に伴ない、広範囲において有効であり、狭い範囲のスコープを持つデータは、狭い範囲においてのみ有効となる。地図データの場合、縮尺の小さい広範囲地図データの場合は、その地図が表示している広範囲の領域をスコープとし、縮尺の大きい詳細地図データの場合は、小さい範囲の領域をそのスコープと設定する。

4.4 プリフェチとリプレースの方式検討

ユーザがデータを利用する場合、そのデータが移動計算機に保持されていなければ、放送によりそのデータが送られてくるのを待つか、パーソナル通信により自発的に入手するかのどちらかとなる。一般には、プッシュベースの場合は、ユーザが必要とするデータの放送周期の1/2の時間、プルベースの場合は、通信にか

かるラウンドトリップタイムを待つ必要がある。そこで、見かけ上、待ち時間を無くすために、前もってそのデータをプリフェッチする必要があることを述べた。また、移動計算機に搭載されている記憶容量には限りがあり、次に新しく必要になったデータを取得する時点で、そのデータを保持する領域を確保するため、以前に取得し今後使う確率の低いデータを破棄（インバリデート）し、新しく取得したデータとの入れ換え（リプレース）を行う必要があることも述べた。そこで、図 4.1 で示した道路網を移動計算機が矢印に従って移動する場合のプリフェッチ、リプレースを考える。道路網には、それぞれ位置依存情報が配置されており、移動する移動計算機は、移動経路にある情報を利用すると仮定する。この状況のもと、本研究で提案するプリフェッチ、リプレースの方式を説明する。図 4.3 では、キャッシュデータのプリフェッチとリプレースの様子を示している。移動計算機の経路は、図 4.1 では直線ではないが、説明を容易に行うため、図 4.3 では、この経路を直線として示す。

4.4.1 プリフェッチ

ここで提案しているプリフェッチは、ユーザがデータを要求する以前に、移動計算機が経路上にある施設のスコープに近付いた時点で、自動的にその施設の関連情報であるデータを取得するものである。プッシュベースの場合は、放送されたデータの中から、移動計算機の前方向にある施設のデータをあらかじめ選択し、保持しておく。また、プルベースの場合は、スコープに近付いた時点で、移動計算機が自発的にそのデータを保持するサーバ要求を出し、その施設の関連情報であるデータを入手し移動計算機上のキャッシュに保持する。移動計算機が対象物のスコープに入っていない状況においても、キャッシュにデータを保持する領域が空いている場合、移動計画で示される移動経路上にある位置依存情報をプリフェッチする。ここでは施設に関するデータを取り上げているが、これらの情報以外にも、交通情報、天気予報、詳細な地図データの入手に関しても同じ手法を用いて情報を取得することが可能である。

図 4.3 (a) に示すように、移動計算機が移動計画に従って、図中の矢印のように移動し、移動経路方向の前方向にある施設 A, B, C, D に関する情報であるデータ A, B, C, D を取得する。ここでは、データ保持のためのキャッシュ容量は 4 デー

4.4. プリフェッチとリプレースの方式検討

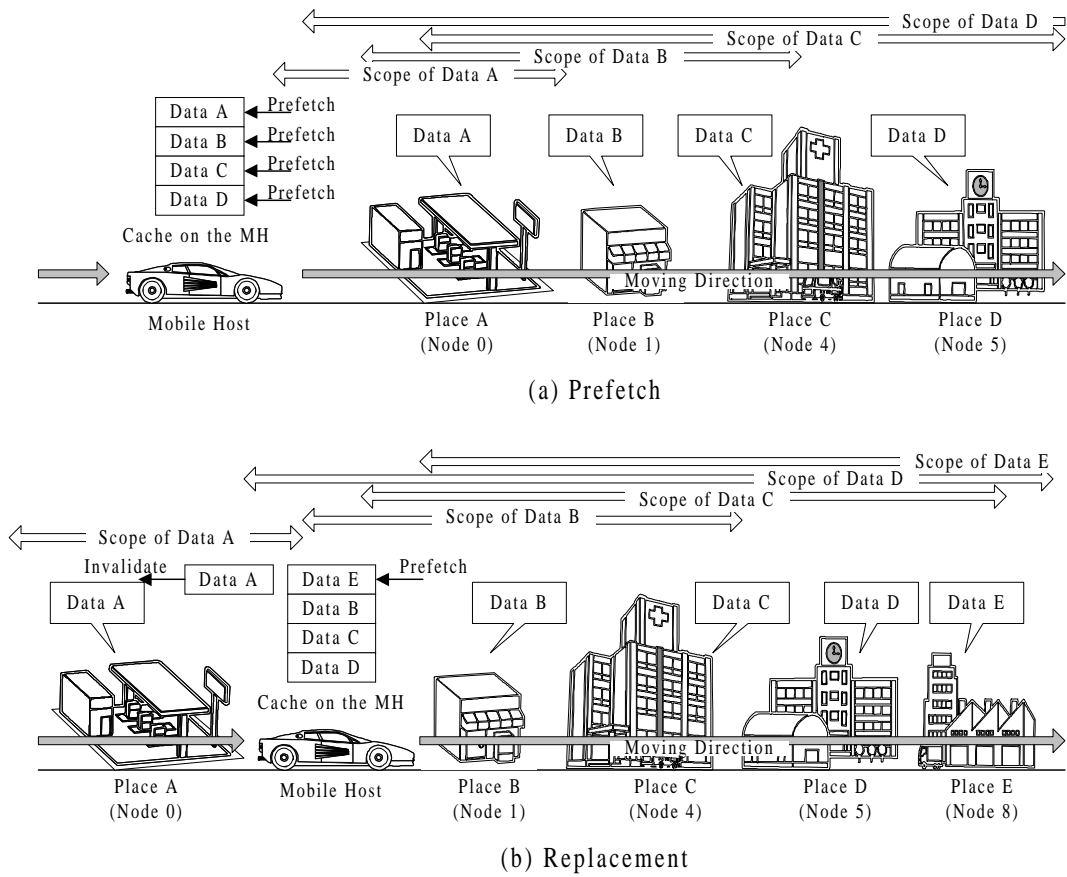


図 4.3 キャッシュデータのプリフェッチとリプレース。

タ分としており、移動計算機前方の4つの施設関連情報のデータを、移動計算機がその施設のスコープに近付いた段階、あるいは、キャッシュが空いている段階で、移動計画に基づいて取り込む。このように必要なデータをあらかじめ、ユーザが利用する前にプリフェッチしておくことで、ユーザからのデータ要求に対して、データはすでに移動計算機上のキャッシュ内に存在するため、見かけ上待ち時間を無くすることができる。

4.4.2 リプレース

データのリプレースに関して、図4.3 (b)を用いて説明する。キャッシュ容量が4データ分で、そこにデータA, B, C, D, 4つのデータがすでに保持されている。移動計画に従って、図中矢印方向に移動計算機が移動し、移動計算機が施設Eのスコープ内に近付いた時点で、データEをさらにプリフェッチする。この際、データEを保持するための空き領域がないため、データA, B, C, Dのうち、どれかをリプレースの対象としてインバリデーションする必要がある。移動計算機は、施設Aの位置を通過し、移動計画に従ってさらに移動を続けているため、データAをアクセスする確率は低いと考えられる。この考え方に基づき、ここで提案しているリプレースの方式では、移動計算機がその施設を通過し、そのスコープから外に出たデータをリプレースの対象とする。

一般的にキャッシュのリプレースの候補を選ぶ手法としてLRUがよく用いられるが、以下の理由により、LRUは位置依存情報に対して有効に動作しない。それぞれのデータは、施設が車載コンピュータに近づいた順で入手されるため、データA, B, C, Dの順番でキャッシュに入れられている。また、移動計算機が施設Aを通過する直前にデータAをアクセスしている。この場合、LRUでは、データAが最近アクセスされ、Bが最も利用されていない時間が長いため、データBをインバリデーションすることになる。しかし、移動計算機は施設Bに近づいて、ユーザがデータBを利用すると予想される。ここで、LRUに従ってデータBをインバリデーションすると、ユーザがデータBを利用する時点で、再びデータBを取得する必要がある。すなわち、このような状況で位置依存情報に関するデータのキャッシュをLRUで管理すると効率が悪くなる。ここで提案する方式では、データのアクセスされた頻度や時間に関係なく、通過した施設のデータを最もアクセスさ

4.5. キャッシュ方式の評価

れるの確率が低いと判断し，インバリデートするため，図中の場合，データ A をインバリデートすることになる．このように，位置依存情報を移動計算機からアクセスする場合，LRU を用いるより，ここで提案している方式を利用したほうがキャッシュの効率が良い．

これらのプリフェッチとリプレースの手順を図 4.4 にまとめる．

4.5 キャッシュ方式の評価

4.5.1 評価方法

ここで提案する位置依存情報キャッシュ方式の簡単な評価を行う．移動計算機が現在地から目的地まで移動する間に，必要な位置依存情報に関するデータすべてのアクセスにかかる時間の合計を，数値的計算を用いて求める．ここでは，プッシュベースのデータ放送による位置依存情報の配信を対象とするが，プルベースのパーソナル通信の場合も同様に考察することができる．

一般に，プリフェッチは，どのデータが次にアクセスされるかの予測の正確さと，予測がはずれた場合に必要となる待ち時間(ミスペナルティ)で，その性能が決定される．前者は，プリフェッチを行うデータの選択手法，および，キャッシュサイズに依存し，後者は，必要なデータが放送に現れるまでの経過時間，あるいは，通信によりデータを取得するまでのラウンドトリップタイムに依存する．それゆえ，ここでは，キャッシュ方式を評価するため，データ選択の方式，および，キャッシュサイズを評価パラメータとした．必要なデータがプリフェッチされてすでにキャッシュに存在する場合，そのデータをアクセスする際の待ち時間は 0 とする．

4.5.2 評価モデル

図 2.1 に示すような道路ネットワークを用いて，プリフェッチ方式，および，リプレースの方式の評価を行なう．

プリフェッチ方式として，一般的に考えられる無作為にデータを選択する方式，現在地情報を利用し，その周辺の対象物に関するデータを選択する方式，ここで

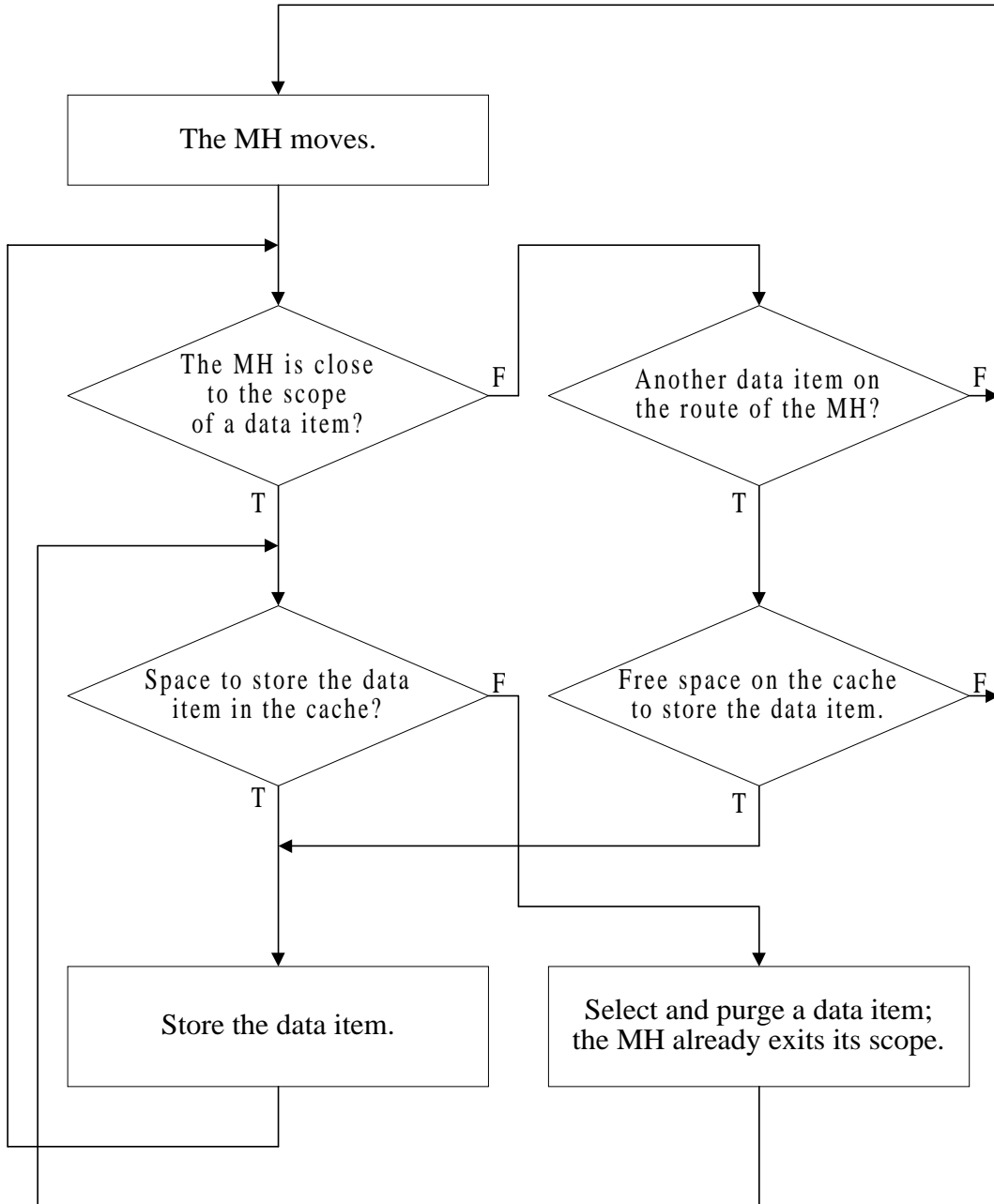


図 4.4 キャッシュ手順 .

4.5. キャッシュ方式の評価

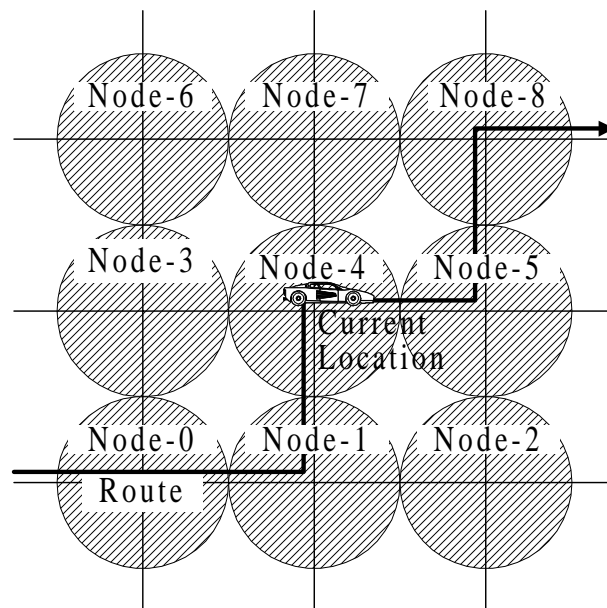


図 4.5 無作為データキャッシュ

提案する経路情報を利用し経路上のデータを選択する方式の3つの選択手法を検討対象とした。それぞれの方式を利用した場合の、データ取得までの平均待ち時間を基準としてそれぞれの方式の評価を行う。

- (1) 無作為データキャッシュ: 移動計算機の現在地を利用しないという前提で、放送されるデータを無作為にキャッシュ内にプリフェッチする。(図4.5)
- (2) 周辺データキャッシュ: 移動計算機の現在地を計測し、そのデータをもとに、現在地周辺のデータをキャッシュにプリフェッチする。(図4.6)
- (3) 経路データキャッシュ: 本論文で提案しているキャッシュ方式で、移動計算機の移動計画をもとに、移動方向の経路上にあるデータをプリフェッチする。(図4.7)

また、リプレース方式の評価として、通常のLRUの場合と、ここで提案する経路データキャッシュ方式における、データ取得までの平均待ち時間を基準としてそれぞれの方式の評価を行う。

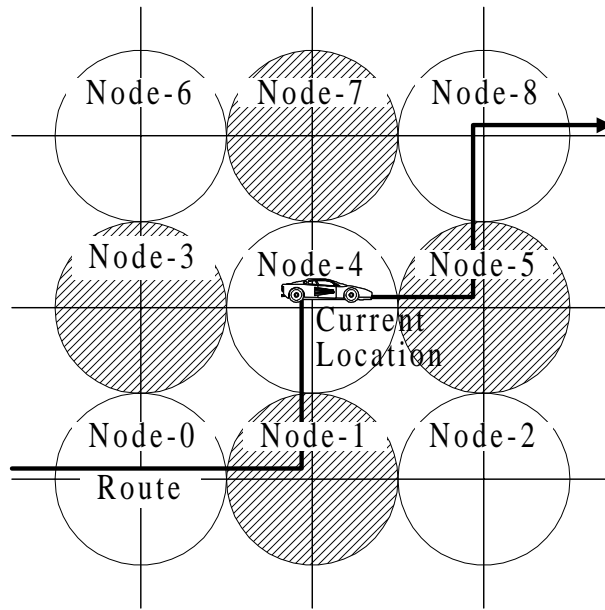


図 4.6 周辺データキャッシュ

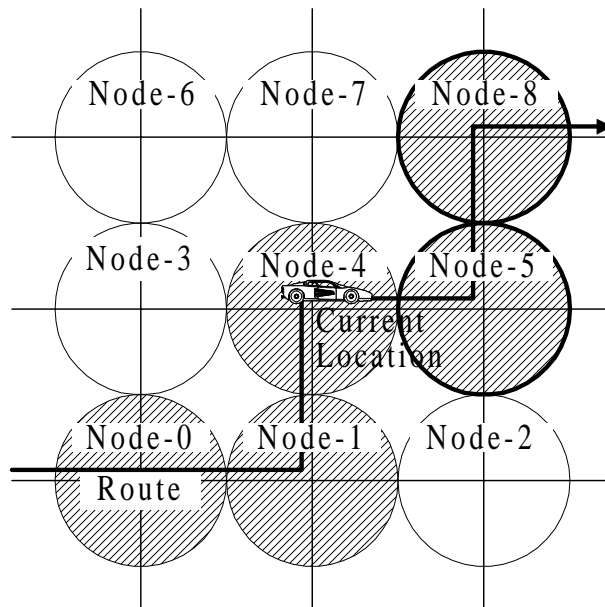


図 4.7 経路データキャッシュ

4.5. キャッシュ方式の評価

キャッシュのプリフェッチ方式，および，リプレース方式の評価条件の詳細は以下である．

- 道路ネットワークモデルは m ノード \times m ノードの単純なメッシュ構成とし，それぞれのノードは等距離で，ノード間を結ぶリンクの長さは l とする．
- 移動計算機は，道路ネットワークの1つのコーナより進入し，ここを現在地(始点)とする．この道路ネットワークの対角線上のコーナを終点とし，この移動計算機の目的地とする．移動計算機は道路ネットワークの始点から終点までの最短距離の経路のうち1つを選択し，等速 v で移動する．
- 道路ネットワークのノードすべてに関連する位置依存データがあり，その各ノードのデータが図4.8で示すようなフラット構成で放送される．それぞれのデータを，同じサイズ S_{data} とし，放送の周期を f とする．このとき，ユーザが必要とするデータが放送されるまでの待ち時間の平均値は $1/(2f)$ である．移動計算機は，移動経路上で通過するすべてのノードのデータを利用する．
- 移動計算機は，サイズ S_{cache} のキャッシュを搭載し，必要ないと判断したデータを入れ換え対象とし，インバリデートし，そこにプリフェッチしたデータを保持する．
- 無作為データキャッシュ，周辺データキャッシュ，経路データキャッシュとプリフェッチ方式の評価を行なう場合，リプレースの方式は，4.4.2節で説明したように，最適なデータが入れ換えの対象となる．
- リプレース方式を評価する場合，従来一般的に利用されているLRUと，ここで提案している第4.4.2項において説明を行った経路を考慮した入れ換え方式を比較する．

4.5.3 評価結果

前節で述べた3つのプリフェッチ方式，1) 無作為データキャッシュ，2) 周辺データキャッシュ，3) 経路データキャッシュのデータアクセスにかかる時間(ミスペナ

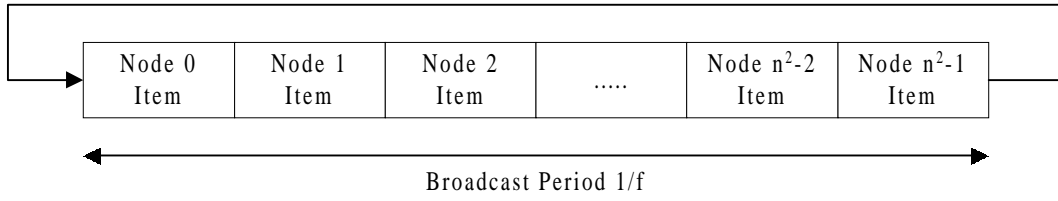


図 4.8 データ放送方式 (フラット構成) .

ルティ)の平均値を, P_{random} , $P_{neighbor}$, P_{routed} とし, 数値的に計算を行う. ユーザが利用するデータがキャッシュ内に存在しない場合, 放送されてくるのを待つ必要があり, その場合のミスペナルティは平均 $1/(2f)$ となる. 必要なデータがキャッシュにある場合のミスペナルティは 0 となる. 移動計算機が現在地から目的地まで移動する際に通過するノードは $2m - 2$ 個であり, それぞれのノードに位置依存情報が付随している. 移動計算機の色度は v であり, これは nfl で表すことができる. ここで, n は単位時間に移動計算機が通過する平均ノード数である.

それぞれのデータ選択方式のミスペナルティの合計は, それぞれの方式のキャッシュをミスする確率と, 平均ミスペナルティ $1/(2f)$, 通過ノード数 $2m - 2$ の積で表すことができる.

$$P_{random} = \frac{(m^2 - s)^+}{m^2} \cdot \frac{1}{2f} \cdot (2m - 2) \quad (4.1)$$

$$P_{neighbor} = \frac{((1 + 4 \sum_{i=1}^n i) - s)^+}{1 + 4 \sum_{i=1}^n i} \cdot \frac{1}{2f} \cdot (2m - 2) \quad (4.2)$$

$$P_{routed} = \frac{(n - s)^+}{n} \cdot \frac{1}{2f} \cdot (2m - 2) \quad (4.3)$$

ここで a^+ は $\max(a, 0)$ を意味している. また, s は S_{cache}/S_{data} , n は, flv とする. n が大きくなることは, 移動計算機が高速で移動することを表している. 周辺データキャッシュの場合は, m の値が n と比較して十分大きいという仮定のもとでの値である. これらの 3 つのデータ選択の方式を評価した結果を, 図 4.9, 4.10,

4.5. キャッシュ方式の評価

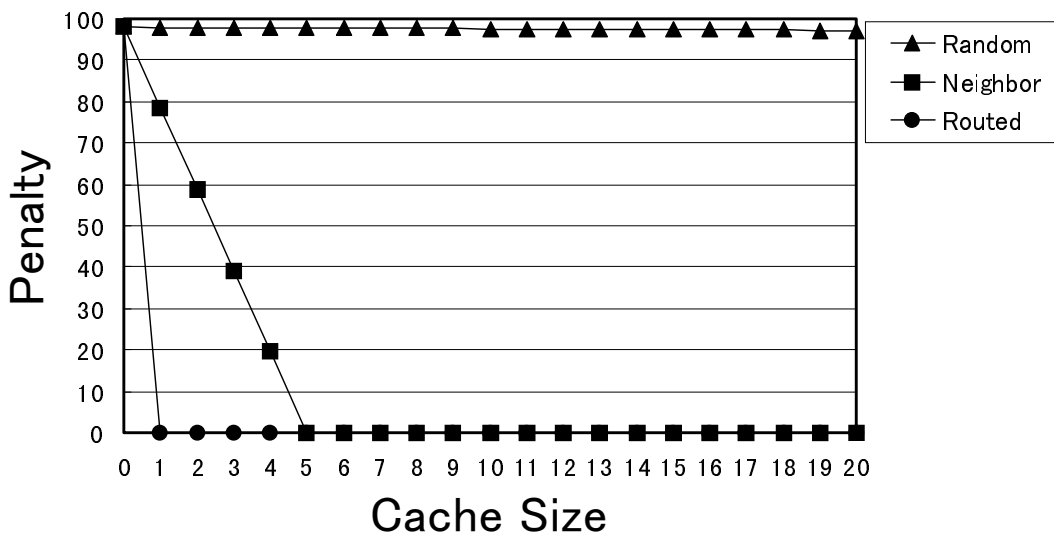


図 4.9 それぞれのキャッシュ方式の数値的評価 ($n = 1$).

4.11に示す．ここでは， $m = 50$, $f = 2$ としている．ここで提案している経路データキャッシュが，小さなキャッシュサイズで効果的にデータを保持し，その結果としてデータアクセスのためのミスペナルティの合計が最も小さいことがわかる．

プリフェッチの場合と同様の条件で，リプレースの評価を行なう．プリフェッチの条件を経路データキャッシュとし，LRUによるリプレース方式を利用した場合のミスペナルティの平均値を P_{LRU} とすると， P_{LRU} は以下の数式で求められる．

$$P_{LRU} = \frac{1}{2f} \cdot ((2m - 2) - (s - 1)) \quad (4.4)$$

経路を考慮したリプレース方式である経路データキャッシュと比較した結果を図 4.12に示す．ここで提案しているプリフェッチ，リプレースの方式を利用することにより，移動計算機の移動速度の周期がノード間を移動する時間より短ければ，移動計算機の移動に伴い必要なデータを確実に前もって1つずつプリフェッチし，リプレースすることができ，必要なキャッシュサイズが1で待ち時間が0となる．LRUの場合は，必要なデータをリプレースの対象とするため，キャッシュサイズが増加してもミスペナルティはそれほど小さくならない．

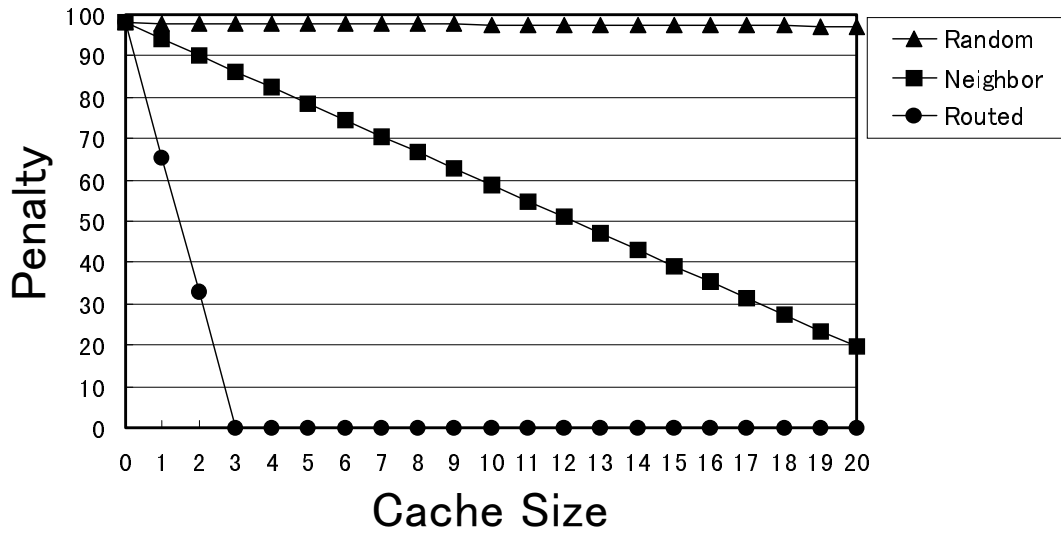


図 4.10 それぞれのキャッシュ方式の数値的評価 ($n = 3$).

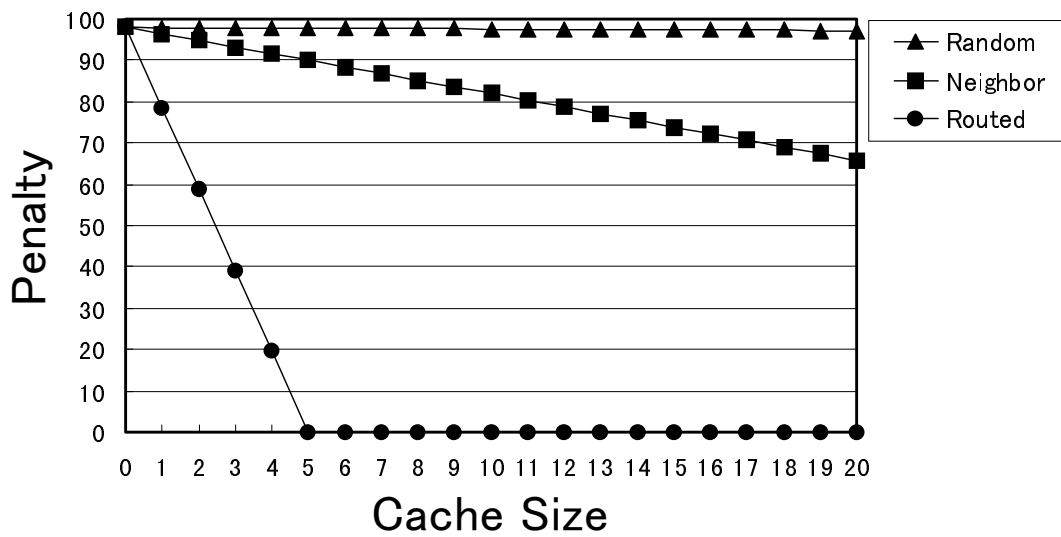


図 4.11 それぞれのキャッシュ方式の数値的評価 ($n = 5$).

4.6. 実装について

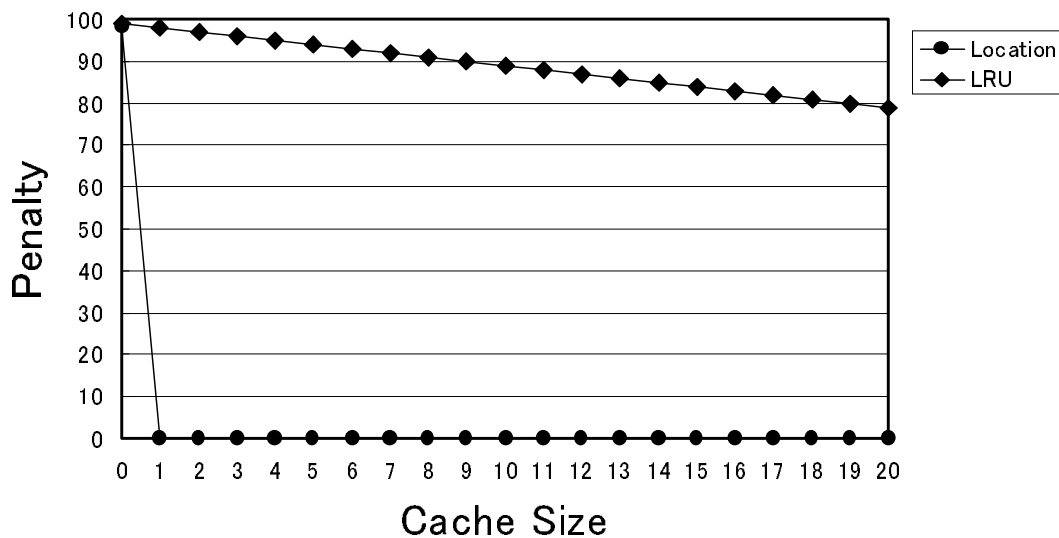


図 4.12 経路データキャッシュとLRUの数値的評価 ($n = 1$).

4.6 実装について

位置依存情報のキャッシュシステムをエミュレートするための模擬環境を構築した，その実装システムを図4.13に示す．ネットワークで接続した2台のPCを，それぞれデータ提供サーバとデータ表示クライアントとし，ここでは通信路をプッシュベースとする．プッシュベースの通信路はUDPのデータグラムのプロードキャストを利用する．アプリケーションとして，PC版カーナビゲーションシステムを利用し，プッシュベースで配信される位置依存情報である地図データを，模擬的に発生させた現在地，および目的地までの経路情報をもとに，関連する位置依存情報を，プロードキャストされたデータの中から選択し，保存する．現在地の移動に伴い，周辺の地図データを表示する．今回の実装システムは2台のPCであるが，クライアントを複数台用意し，それぞれのクライアントにおいて，異なる現在地周辺の地図を表示しながら移動するが可能である．

今回は，イーサネット上のUDP/IPを用いているが，実際のデータ放送環境では，送信側においてデータカールセル方式により地図データをパケタイズし，トランスポートストリームとして配信され，受信側でデパケタイズすることになる．ここで実装したメカニズムはそのような環境においてもそのまま利用することも

第 4 章 位置依存情報のキャッシュ方式

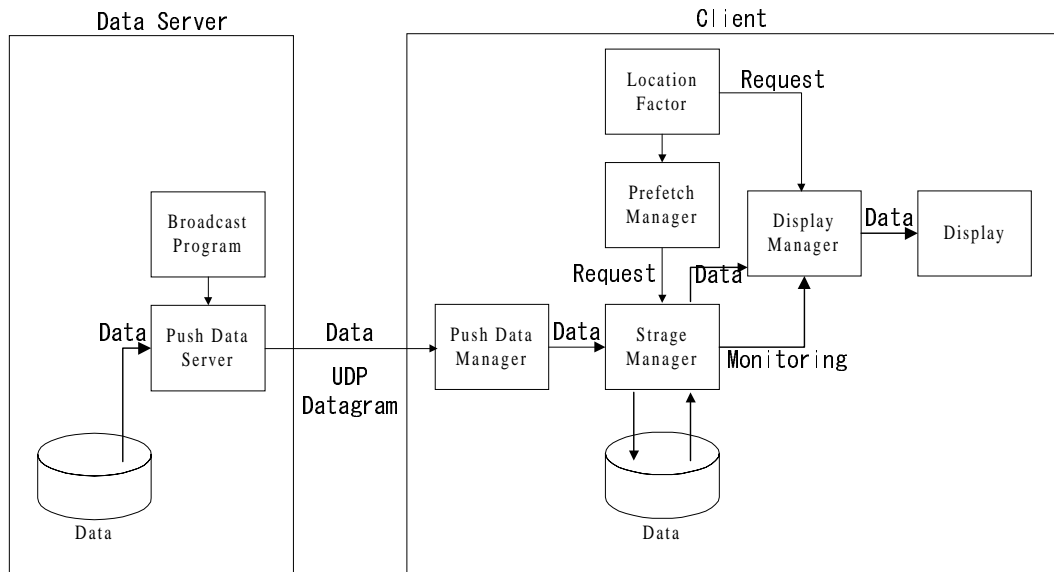


図 4.13 位置依存情報のキャッシュのための実装。

可能である。

システム全体のコマンド，データの流れは次のようになる。

1. プッシュデータサーバ (Push Data Server) から放送プログラム (Broadcast Program) に従い，位置依存情報である地図データが自動的に配信される。
2. クライアントの移動に伴う現在地，あるいは目的地までの進行経路の情報をもとに，プリフェッチ管理部 (Prefetch Manager) に通知を行なう。
3. プリフェッチ管理部は，ユーザが必要としているデータをデータ保持管理部 (Storage Manager) に伝える。
4. データ保持管理部は，放送されてくるデータをプッシュデータ管理部 (Push Data Manager) 経由で受け取り，必要としているデータを選択し，キャッシュに保存する。
5. 表示管理部は，現在地情報をもとに，キャッシュに保持されたデータの中から，必要なデータを選びだし，表示部 (Display) に送り表示を行なう。

4.7. むすび

6. プリフェッチ管理部は、ユーザが必要としないと予想されるデータをデータ保持管理部 (Storage Manager) に伝え、キャッシュに保持されているデータの中から削除する。

各部の詳細については、付録Dで解説する。

4.7 むすび

カーナビゲーションシステムやITS 車載機などを対象に、ユーザにさまざまな位置依存情報を提供することを目的とし、自動車に搭載された車載情報機器 (移動計算機) において、移動計算機の移動する経路 (移動計画) を利用し、位置依存情報に関するデータを保持するための方式を提案した。これらの方式では、位置依存情報にその地理的有効範囲を示すスコープを与え、1) 進行方向にある施設のデータを、移動計算機がそのデータのスコープに近付いたタイミングでプリフェッチする、2) 移動計算機が通り過ぎた施設のスコープから出た時点で、そのデータを最優先でリプレースの対象としインバリデートを行う。ここで提案した経路データキャッシュを、移動計算機の位置的情報を利用しない無作為データキャッシュ、位置情報のみを利用する周辺データキャッシュと比較した。本方式は、小さなキャッシュサイズで効果的にデータを保持し、その結果としてデータアクセスのミスペナルティの合計が3方式の中で最も小さくなることを示した。また、リプレース方式としてLRUを利用した場合と、経路を考慮した本方式を比較した場合の検討も行ない、本方式のほうが効果的であることを示した。さらに、ネットワークで接続したPCにより、データ放送の模擬環境を構築し、実データを用いて実験を行い、本キャッシュシステムの実現を示した。

第 5 章

専用狭域通信 (DSRC) を用いた効率的な通信方式

移動計算機における 3 種類の通信手段, 1) データ放送, 2) 専用狭域通信 (DSRC), 3) パーソナル通信において, データ放送およびパーソナル通信を用いた通信方式の問題点とそのアプローチについて第 4 章で述べた.

本章では, 専用狭域通信を利用したデータ配信の問題点を述べるとともに, 移動計算機の移動する経路と時刻の予測 (移動計画) をもとに, 移動計算機が複数の中継基地局のセルを通過する際に, 連続的にデータを転送できるプロトコル (STRAP) を提案する. また, 実際に道路を考慮したモデルの上で, 提案プロトコルをシミュレーションを用いて他の方式 (ブロードキャスト法, 地理的放射手法) と比較し, 評価を行なう.

5.1 まえがき

専用狭域通信 (DSRC: Dedicated Short-Range Communication) は、パーソナル通信と比較して高速であるが、一般に、通信可能な領域 (セル) が断続的に配置されており、効率が悪い。それは、移動計算機が 1 つのセルを通過ごとに必要なデータをリクエストし、そのデータを同一セル内で受信するという手順を利用するという手順により、1 つのセル内でやり取りできるデータ量が限られるためである。そこで、ここでは、専用狭域通信において、通信の効率化を向上させるために、移動計算機がセルごとに個別に通信の完結を図るのではなく、複数のセルを通過する際に連続的にデータをやり取りする方式を提案する

携帯情報端末やノートパソコンの普及にともない、専用狭域通信を利用した移動計算機環境における通信に関する研究が積極的に行われており [30]、その中で、移動計算機が複数のセルを通過する際に、連続的にデータを転送するためのいくつかの手法が提案されている。

連続的にデータを転送するための技術として、通過するセルにおける通信帯域を確保する方法が考えられる。RSVP (Resource ReSerVation Protocol, RFC2205) [40] においては、特定のアプリケーションのデータストリームやフローを転送する際に、利用するホストの区間において QoS のためにネットワークの帯域確保を行う。この帯域確保を移動計算機環境に適応する場合、移動計算機が移動するに伴いネットワークの帯域を高速で確保、解放する必要がある。RSVP では、帯域確保の情報の更新は一定期間ごとに行なうため、移動計算機の移動と帯域確保のタイミングを同期することは困難であり、移動計算機環境には適さない。Talukdar らは、RSVP を移動計算機環境のために拡張した MRSVP を提案している [26]。MRSVP では、移動計算機の移動にともない、データ送信側のサーバからデータ受信の移動計算機までの経路に沿って予約する手法である。また、藤田らは、移動計算機の移動に伴い、随時 IP アドレスを取得する IP ローミング [28] を提案している。これは、移動計算機が 1 つのセルから次のセルへ移動する前に、移動先のネットワークセグメントにおいて DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol, RFC1531) を利用し IP アドレスを事前取得するための手法である。IP アドレスを事前に取得することにより、移動計算機は次のセルに入った直後から通信が可能となる。これらの研究においては、移動計算機の移動方向とタイミングを既知と

5.2. 専用狭域通信モデル

して取り扱っており，実システムにおいては，セル内の移動計算機に対し実際にデータを送信する中継基地局側が持つ情報のみで，移動計算機の移動方向とタイミングを検知することは難しい．

そこで，移動先で直ちに通信を可能とするため，現在地から進行可能な方向すべての中継基地局にあらかじめデータを転送する八幡らの地理的放射手法 (Geographic Multicast Method) [29]，および，Leeの Adaptive Reserved Service [27]の手法が提案されている．前者は，移動計算機の置かれている状況に応じて，その移動範囲を予測しその範囲にもデータを送る手法である．後者は，データ送信側であるサーバから，移動計算機の現在地のセルに隣接する中継基地局へのネットワークの経路において，データの送信を可能な限りマルチキャスト的に扱う手法である．これらの手法では，基本的に移動計算機が位置する中継基地局に隣接するすべての中継基地局にあらかじめデータを転送するものであり，移動計算機の移動方向が判明しなくても対処可能であるが，前記の MRSVP や IP ローミングの手法と同様，転送のタイミングが不明確であり，かつ，データは転送されたが移動計算機がそのセルを通過しなかったために利用されない中継基地局の数が多く，効率が良くない．

本論文では，移動計算機の移動する経路と時刻の予測(移動計画)を利用し，中継基地局のネットワーク資源を，中継基地局が存在する位置と，移動計算機が通過する時刻を限定することで，効率的に確保する手法 STRAP(Spatio-Temporal Resource Allocation Protocol: 空間的時間的資源割当てプロトコル)を提案する．

5.2 専用狭域通信モデル

ここで検討する専用狭域通信のネットワークモデルとして，図5.1に示すように，固定ネットワーク，固定ネットワークに接続された計算機(固定ホスト)，移動計算機，中継基地局からなるモデルを考える．中継基地局もまた固定ネットワークに接続され，固定ホストは，この固定ネットワークを経由して中継基地局と通信を行う．また，同様に，中継基地局同士も固定ネットワークを通して通信を行う．各中継基地局は，それぞれの通信可能領域であるセルを持ち，その中を通過する移動計算機と無線で直接通信を行うことができる．移動計算機が必要なデー

第 5 章 専用狭域通信 (DSRC) を用いた効率的な通信方式

タは固定ホストにあり，移動計算機からの要求に応じて，固定ホストから中継基地局を経由して移動計算機へデータが転送される．本研究において対象とする通信ネットワークのモデルの具体的形態として，前述の VICS や ETC，あるいは，郵政省が検討を進めているミリ波通信のマルチメディア移動アクセス (MMAC: Multimedia Mobile Access Consortium) [41] などの専用狭域通信を考える．これらの通信手段で利用されるセルは比較的小さく，連続，あるいは不連続に配置されている．ここでは，より具体的な通信方式として検討を行うために，警察庁および新交通管理システム (UTMS) 協会が交通情報提供で実現している赤外線を用いて通信を行なう VICS の光ビーコン [42] による通信方式を検討対象とする．この方式においては，ある中継基地局に対し，移動計算機が id を送信し，それに対し中継基地局がデータを送信するため，基本的に同時刻にはセル内に位置する 1 台の移動計算機がデータを受信することができる．また，現在の光ビーコンでは定義されていないが，ここではさらに，同じ内容のデータであればセル内に位置する複数の移動計算機に対し同時に転送 (マルチキャスト) が可能な通信方式も検討に入れる．

5.3 専用狭域通信の通信エリア

移動計算機が移動する移動経路網として，第 2.1 節で説明した道路ネットワークを考える．この道路ネットワークに前節で述べた通信ネットワークモデルを配置し，図 5.2 に示すような専用狭域通信の通信エリアを設定する．この道路通信ネットワークモデルにおいては，道路ネットワークモデルと同様に，道路に相当する部分をリンク，交差点に相当する部分をノードと呼び，それぞれのノード間をリンクで結ぶ構成を採る．この道路通信ネットワークモデルの各ノードには中継基地局 (BS: Base Station) が設置され，中継基地局のセル内を自動車に搭載された移動計算機 (MH: Mobile Host) が通過する際に無線で通信を行う．中継基地局は，固定ネットワークを経由し，固定ホスト (FH: Fixed Host) と接続され，移動計算機からの要求を伝え，固定ホストに保持されているデータを移動計算機に返す．ここでは，このような道路通信ネットワークを説明するため，道路ネットワークを単純なメッシュ構成とし，移動計算機は，道路ネットワークのリンクに

5.3. 専用狭域通信の通信エリア

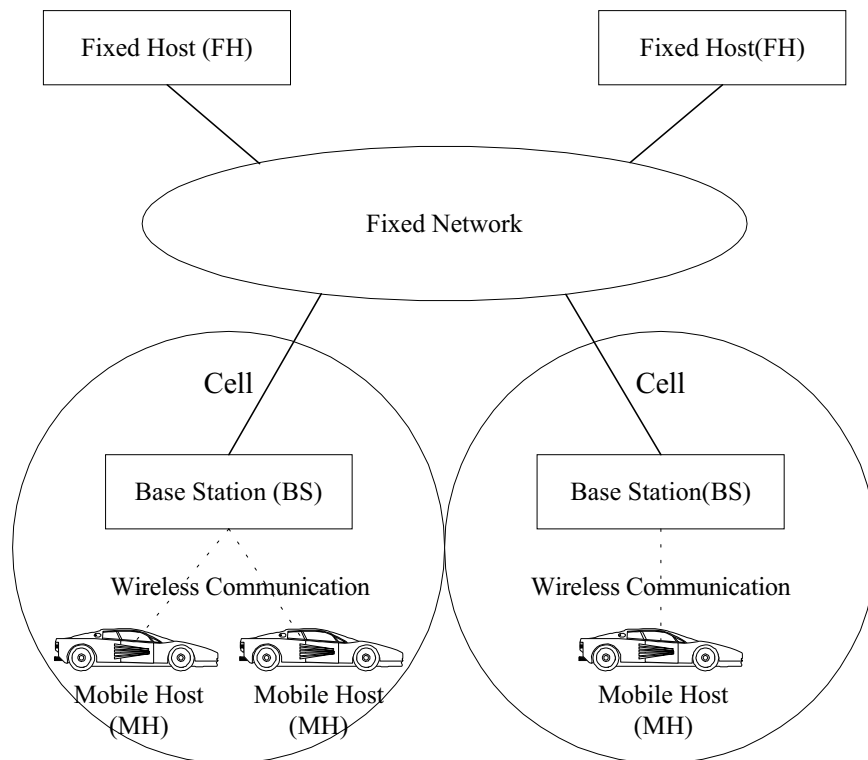


図 5.1 専用狭域通信モデル

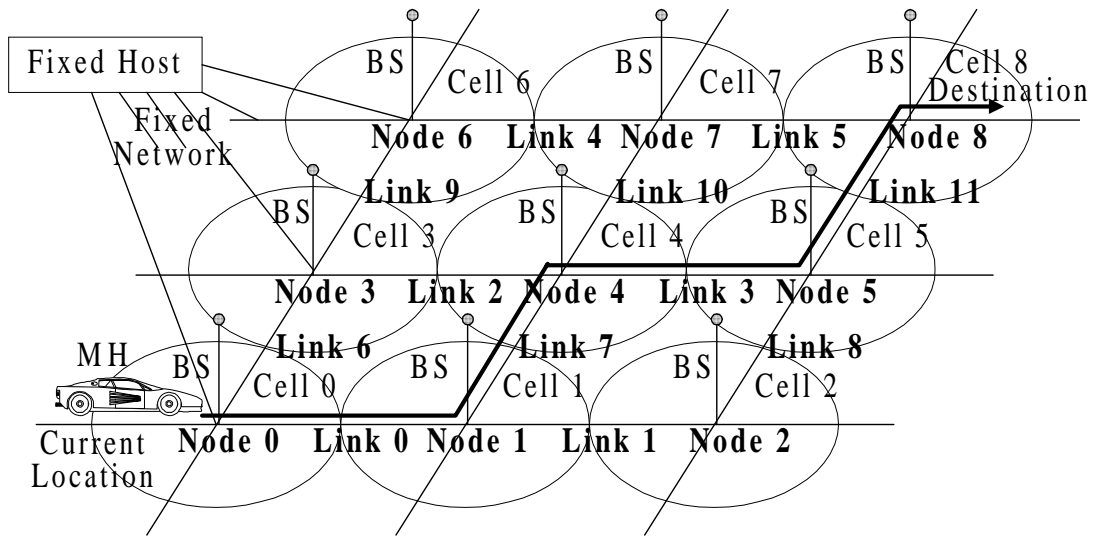


図 5.2 専用狭域通信の通信エリア

沿って移動し、ノードにおいて直進するか、左右に曲がる。たとえば、図5.2において、現在地に位置する移動計算機は、ノード0からリンク0を走行し、ノード1に到着する。移動計算機は、ノード0あるいはノード1の中継基地局の通信エリアであるセル内に滞在する間に、中継基地局との間で通信を行う。ノード1を通過後、左折する。その後、リンク7を通過し、ノード4を右折し、リンク3、ノード5、リンク11と経由し、ノード8の目的地に到着する。移動計算機は、ノード0, 1を通過する時と同様に、ノード4, 5, 8を通過する際に、中継基地局のセル内において通信を行う。

5.4 一般的な通信手順

従来一般的な通信手順では、移動計算機は、ある中継基地局のセルに入った時点で、その中継基地局経由でサービスを行っている固定ホストにデータ要求を送信し、そのセルを通過するまでに要求データを受けとるといったものであった。この場合の通信手順を図5.3に図示する。この手順では、中継基地局から固定ホストに要求が転送され、データが中継基地局に到着するまでの間に、移動計算機がセル内を移動するため、移動計算機がそのセルを出るまでに得られる通信時間

5.4. 一般的な通信手順

が短くなる．最悪の場合，データを受け取る前に移動計算機はセルの外に移動するので，通信することができない．すなわち，移動計算機はセルを通過している間に通信を完結させる必要がある．この場合の通信タイミングを図5.4に示す．横軸に位置を示し，縦軸に時刻を表す．中継基地局 a (BS-a)のセルの配置を横軸上に示し，その範囲を斜線のハッチで表している．移動計算機は時刻の経過に従って位置が移動するため，図中の左上から右下に伸びる太い矢印で示される．この矢印と斜線でハッチされた範囲が交わるエリアにおいて，移動計算機は通信可能である．

図5.4においては，セルが1つ配置された場合を示したが，セルが2つ配置された場合を図5.5に示す．図5.5では，移動計算機の移動とセルの配置とをわかりやすく説明するために，2つのセルは隣接せず，離れて配置させている．

移動計算機があるセルを出るまでに通信を完結させる場合，移動計算機が得られる通信時間に限界がある．この問題を解決する方法として，複数のセルを利用して通信を行なう方法が考えられる．この場合の通信手順を図5.6に示す．1つ前のセルにおいて，あらかじめ移動計算機が必要とするデータの要求を固定ホストに送付し，固定ホストはその要求データを移動計算機が次のセルに入るまでにそのセルの中継基地局に転送しておく．これにより，移動計算機が次のセルに入った時点で，直ちに，移動計算機は要求したデータを中継基地局から受信することができる．この複数セルを利用した通信タイミングを図5.7に示す．

このように複数セルを利用して通信を行うために，前もってデータを移動計算機が移動する中継基地局に転送しておく最も簡単な方法は，すべての中継基地局にあらかじめデータを送っておく方法である．これを，図5.8に示す．これにより，移動計算機が，移動経路網内における中継基地局のセル内に入った時点で，直ちにデータを受信することができる．ここではこれをブロードキャスト法(Broadcast Method)と呼ぶ．この場合，Cell-4に位置する移動計算機に対して，Cell-0からCell-8のすべての基地局に対してデータを送っておく．この方法では，ある時刻において，移動経路網内に位置する移動計算機のうち，通信できるのは1台だけとなり，効率が悪い．また，より効率の良い方法として，第5.1節で説明した地理的放射手法，Adaptive Reserved Serviceの手法がある．これらの手法では，移動計算機が位置するセルに入ったとき，そのセルを持つ中継基地局に隣接する複

第 5 章 専用狭域通信 (DSRC) を用いた効率的な通信方式

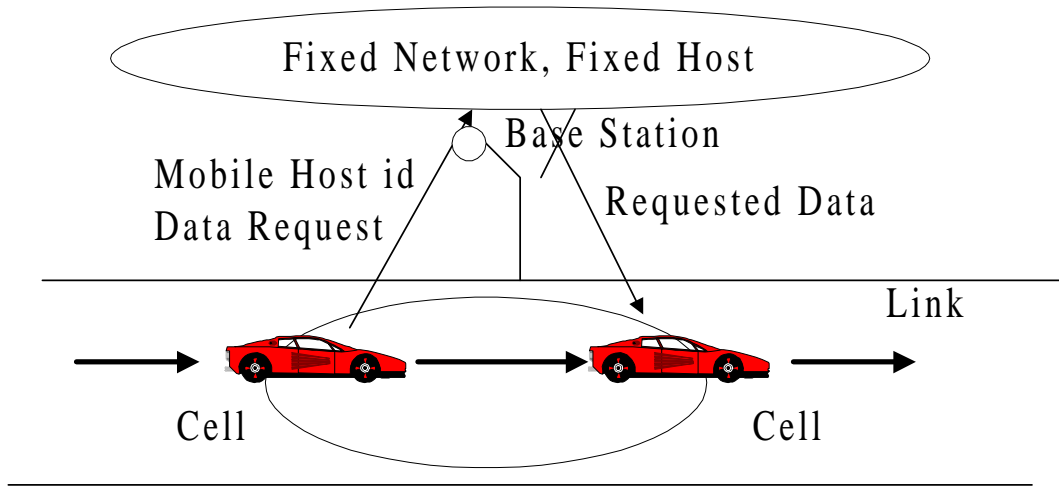


図 5.3 1つのセル内での一般的な通信方法

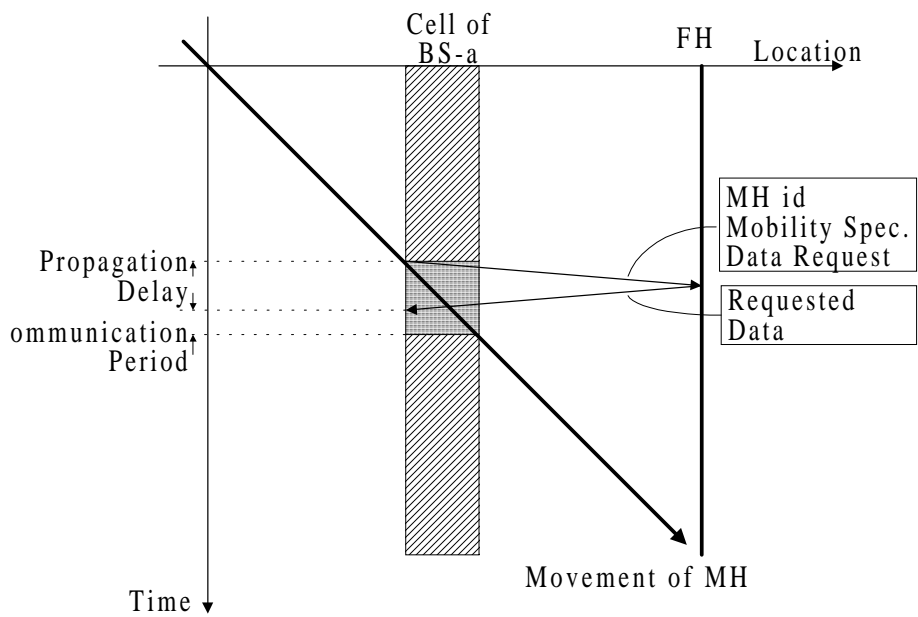


図 5.4 1つのセル内完結の通信タイミング (1セル)

5.5. STRAPの通信手順

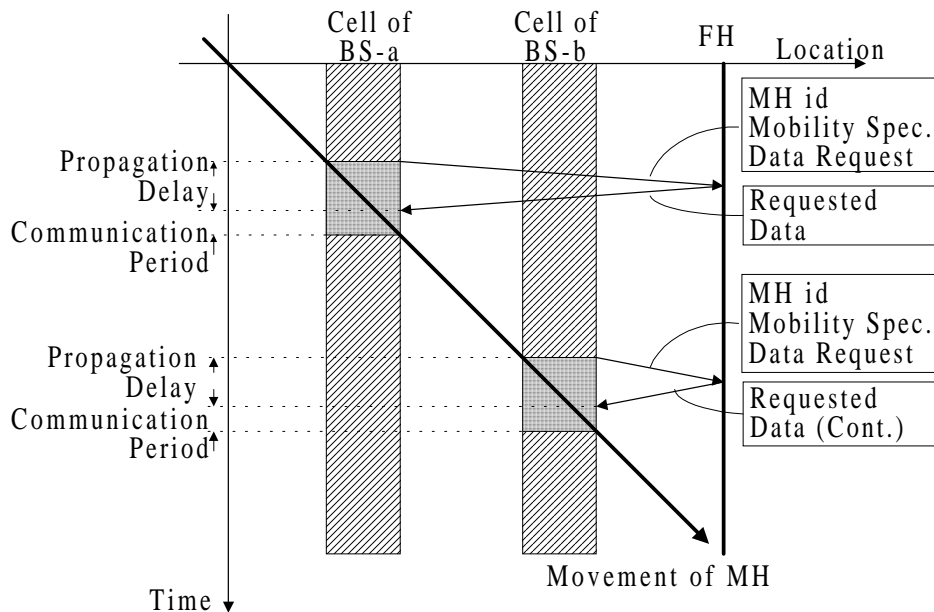


図 5.5 1つのセル内完結の通信タイミング (2セル)

数の中継基地局のみにあらかじめデータを転送しておくので，図5.9に示すように，Cell-4に位置する移動計算機に対して，Cell-1, 3, 5, 7に対してデータを送っておく．ここでは，これら2つの手法をまとめて，現在地のセルに隣接する周辺すべてのセルにデータを転送する方法を，便宜上，地理的放射手法 (Geographic Multicast Method) と呼ぶものとする．ブロードキャスト法では，移動経路網内のすべての中継基地局にデータを転送しておく必要があったが，地理的放射手法では，隣接する中継基地局のみでよくなり，移動経路網内の複数の移動計算機が個別に通信を行なえることができ，ネットワーク全体として効率が上がる．

5.5 STRAPの通信手順

STRAPでは，図5.10に示すように，移動方向の基地局のみにデータを送信する．STRAPにおける通信手順，および，データの取得方法について図5.11を用いて説明する．移動計算機(MH)が最初に通信可能となるのは，中継基地局a(BS-a)のセル内に入ったときである．その際，MHは，移動計算機id，移動計画，必要と

第 5 章 専用狭域通信 (DSRC) を用いた効率的な通信方式

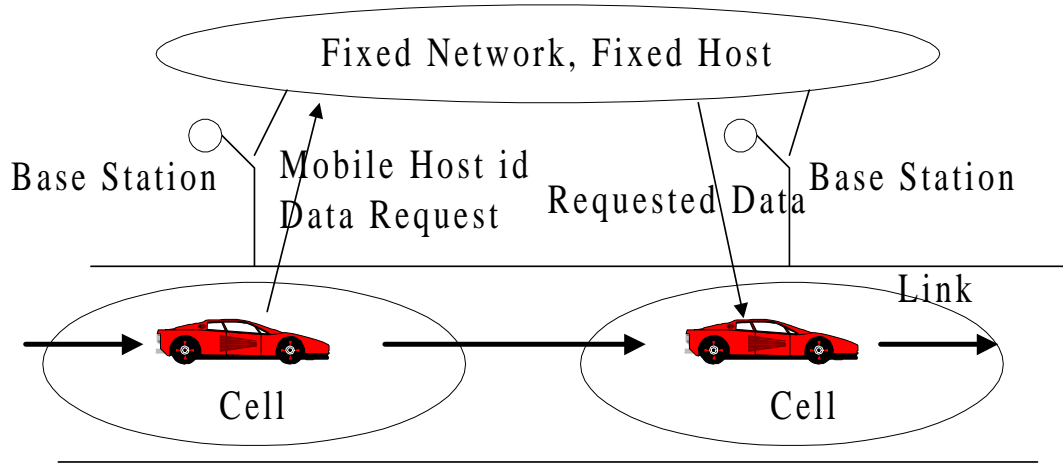


図 5.6 複数セルを利用した通信方式

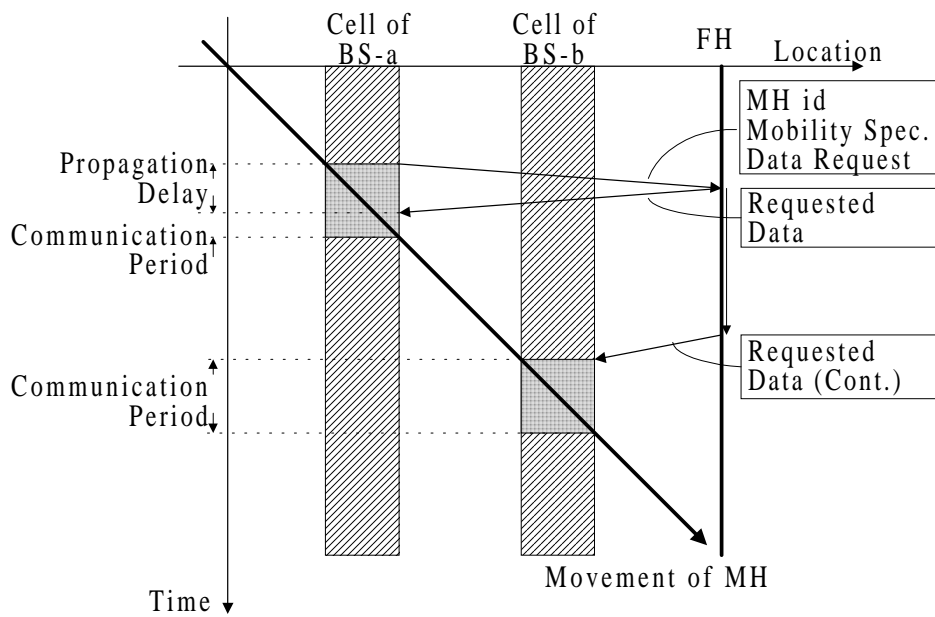


図 5.7 複数セルを利用した通信タイミング

5.5. STRAPの通信手順

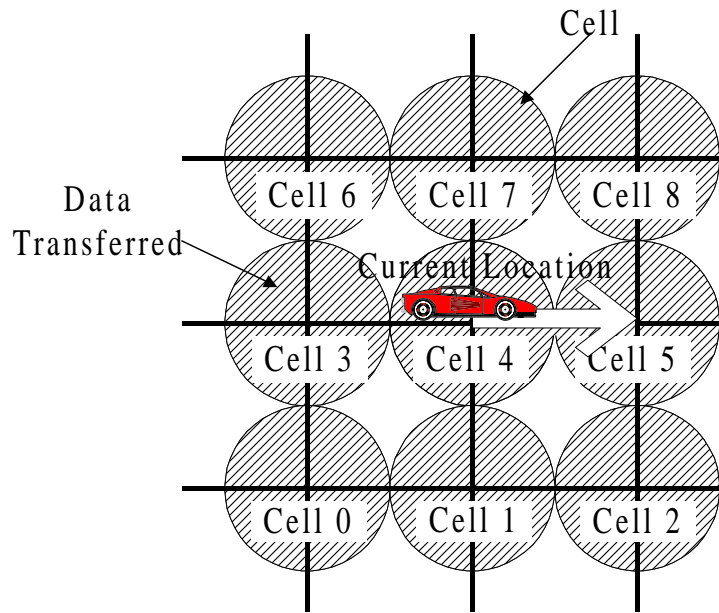


図 5.8 ブロードキャスト法によるデータ転送セル

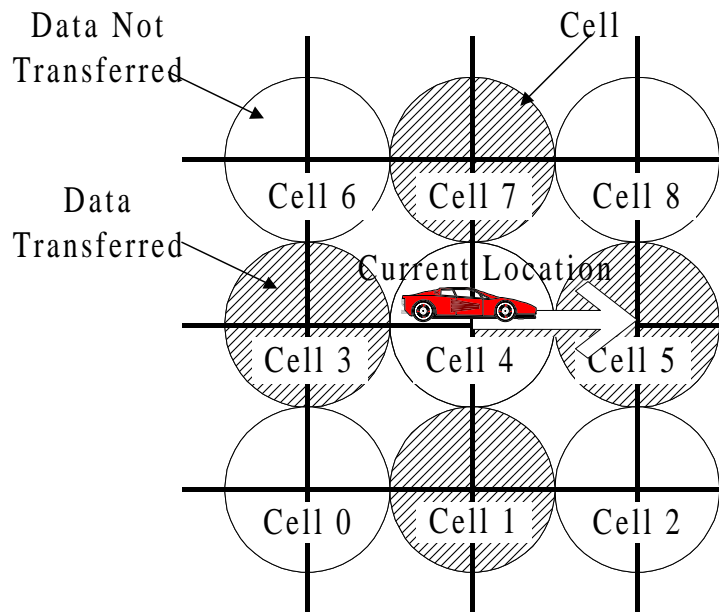


図 5.9 地理的放射手法によるデータ転送セル

第 5 章 専用狭域通信 (DSRC) を用いた効率的な通信方式

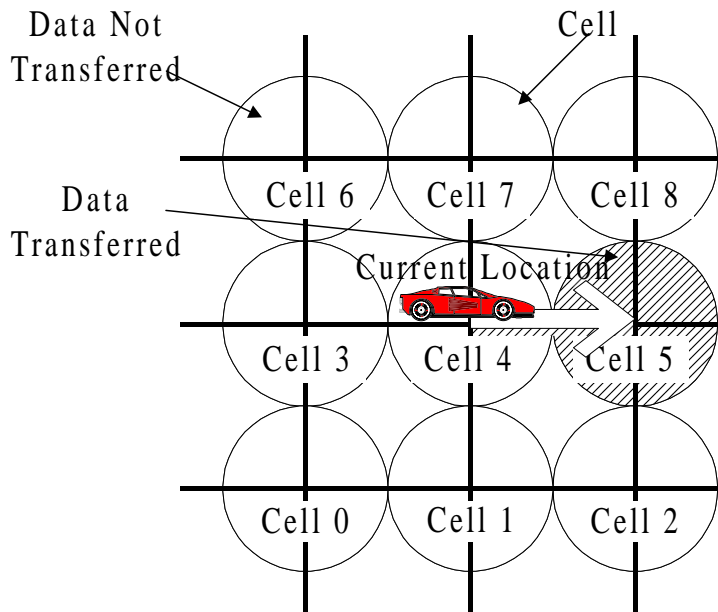


図 5.10 STRAP によるデータ転送セル

するデータ要求を BS-a に転送する。移動計画には、この MH が BS-a のセルを出る時刻、次の中継基地局 b (BS-b) のセル内に入るという情報およびその時刻を含む。要求を受け取った BS-a は、要求されたデータを持つ固定ホスト (FH) に、この要求を転送する。FH は、移動計画を参照し、要求データを BS-a に転送する。BS-a のセル内での通信可能時間は、図 5.5 の一般的な通信手順と同じである。しかし、BS-a のセルを出る際に、MH が受けとったデータを通知することで、BS-b において引続きデータを受信することができる。この際、MH が BS-b へ到着する時刻に合わせて要求データを転送することができれば、BS-b における要求データの保持時間を最小にできる。MH は BS-b のセル内に入り、移動計算機 id を転送する。BS-b はこの id を確認し、あらかじめ保持している要求データを転送することで、MH はこのセルに入ると同時にデータを受信することができる。

ブロードキャスト法、地理的放射手法、STRAP のそれぞれの場合において、移動計算機の移動に伴い、データがあらかじめ転送されるセルを図 5.12 に示す。要求データが転送されるセルの利用効率だけを見れば、地理的放射手法の場合は、転送されたが利用されないデータを持つセル数は 3 で、STRAP の場合は 0 である

5.5. STRAPの通信手順

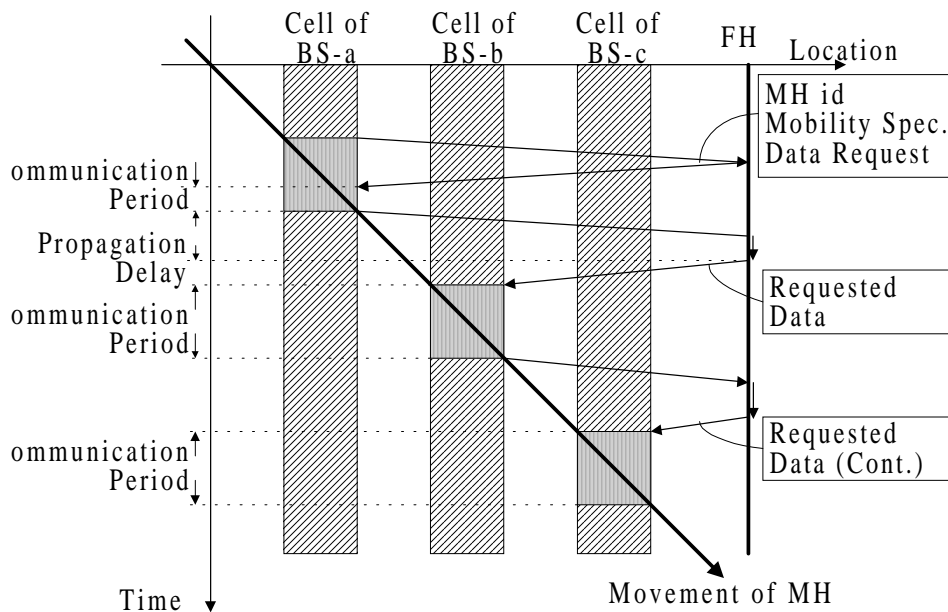


図 5.11 STRAP による通信タイミング

が、実際、地理的放射手法では移動計算機の進行速度を考慮しないため、FHからBSに要求データを転送するタイミングが不明である。このため、BSにおける要求データの保持時間を最小とすることはできないので、セルが隣接しておらず離散的に配置されている場合は、地理的放射手法の効率をさらに低下させることになる。

5.5.1 移動計画の経路からの逸脱

地理的放射手法の場合、移動計算機の移動方向を特定しないため、4方向にデータを転送し、どちらの方向に進行しても通信を行うことができる。しかし、STRAPの場合、MHは、算出された移動計画に基づいて移動することを前提としているため、移動計画から逸脱すると通信を行うことができない。この場合、今までこのMHに割り当てられていた資源を解放し、逸脱したノードの次のノードを最初の現在地として、再計算を行ない目的地までの経路上の資源を割り当て直すことにより対処できる。しかし、この方法では逸脱した際のペナルティが大きいので、あらかじめ複数の基地局にデータを送る方法も考え、従来のSTRAPを拡張する

第 5 章 専用狭域通信 (DSRC) を用いた効率的な通信方式

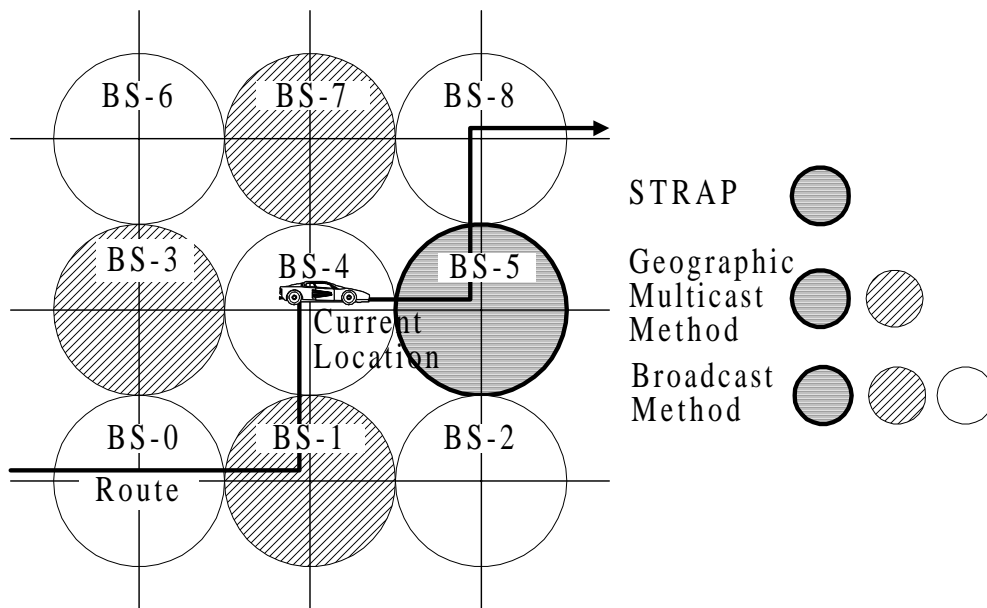


図 5.12 移動計算機の移動と通信セル

(拡張 STRAP) .

ここでは、移動計画における移動経路の方向のみにデータを転送する従来の方式を STRAP1、拡張 STRAP として、2 つの BS にデータを送る方式を STRAP2、3 つに送る方式を STRAP3 と呼ぶ。STRAP2 の場合、目的地の方角は合っているが、経路から逸れる基地局 (図 5.13 の BS-7) にも送付する。STRAP3 の場合は、MH が進行してきた方向を除く 3 つの BS (BS-3, 5, 7) に対して送付する。転送タイミングを考慮に入れず、データが転送されるセルの利用効率という観点から見れば、STRAP2, 3 は、STRAP と地理的放射手法の組合せとも考えることができ、両者の中間的な性質をもつと予想される。

また、STRAP2, 3 において、移動計画から逸れる場合の確率は、移動経路通り進行する確率より低いと仮定し、通信資源を 1/2 だけ確保する方式 (2-Level) も考えることができる。1 つの MH について BS の通信資源を 1/2 といったように分割して確保することができれば、別の MH についてもその BS の資源の残り 1/2 を確保することが可能となる。このように、MH の移動経路から逸れる確率により資源を割当ててすることで、移動計画の経路から逸脱する場合でも通信をより効率的

5.5. STRAPの通信手順

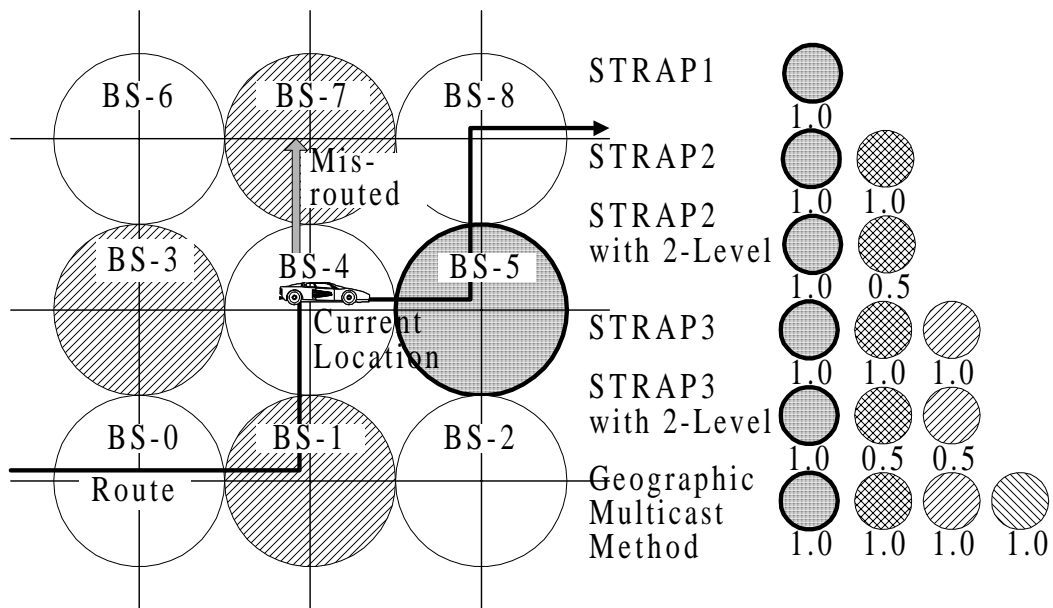


図 5.13 移動計画からの逸脱の対処

に行うことができると考えている。

5.5.2 移動計画と実際の移動とのずれ

MHの移動速度が予定した値と異なる場合、MHのBSへの到着時刻と、あらかじめ通知した移動計画の時刻とのずれが発生する。移動速度が速く、到着予定時刻より、MHが早くBSのセルに入った場合、通信を開始できるのは、到着予測時刻からであり、予定よりも通信時間が短くなる。この様子を図5.14 (a)に示す。また、図5.14 (b)に示すように、MHが予定時刻よりも遅く到着した場合も、MHがセルから出る前にBS上でのデータを破棄するため、通信時間が短くなる。

5.5.3 マルチキャスト

2台のMHが同一の経路を通過する場合を考察する。図5.15に示すように、MH-1のあとを、MH-2が追隨する場合、MH-1がBS-aのセルに入った直後にMH-2がセル内に入る。BS-aはMH-1と通信を行うため、この間、MH-2は通信を行なう

第 5 章 専用狭域通信 (DSRC) を用いた効率的な通信方式

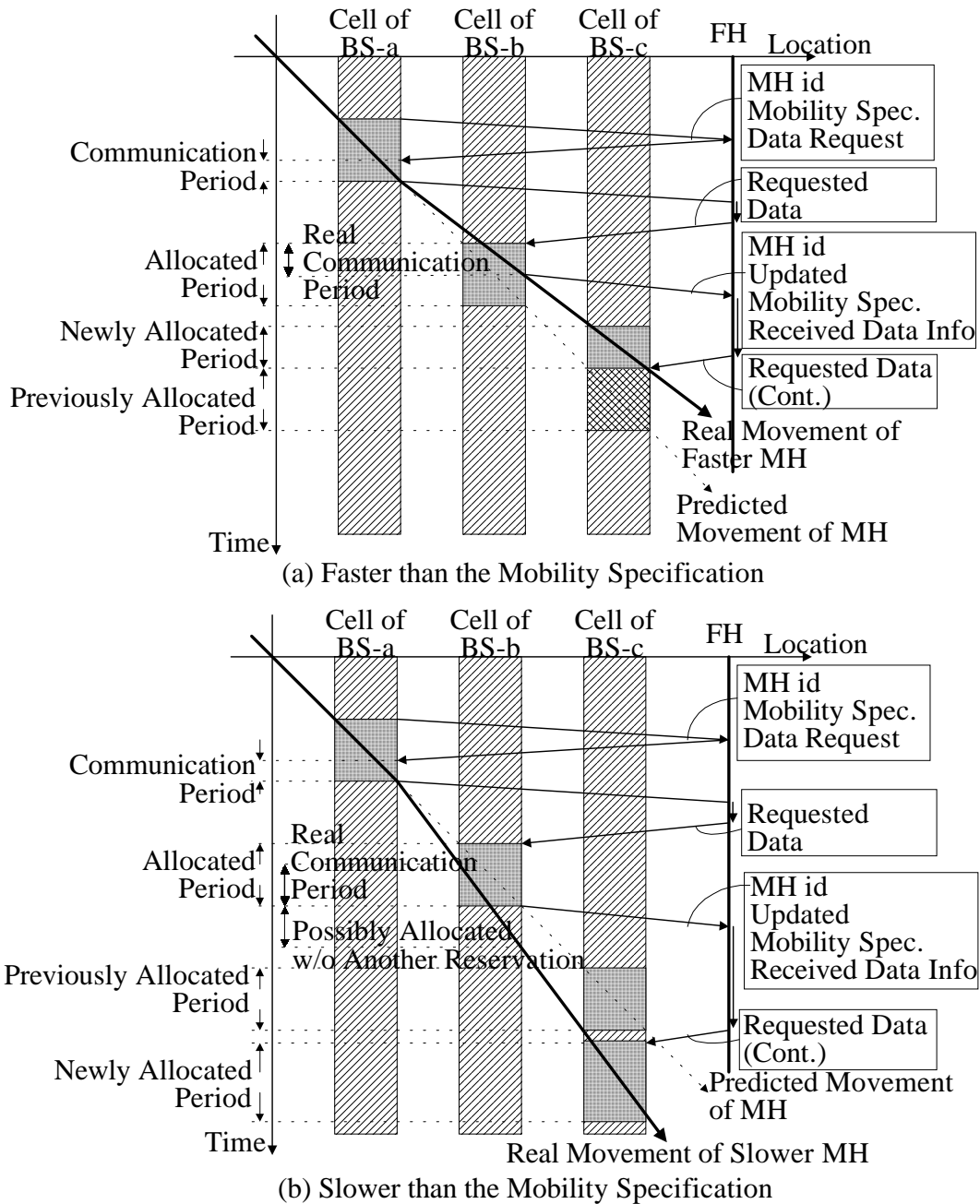


図 5.14 移動計画からのずれ

5.5. STRAPの通信手順

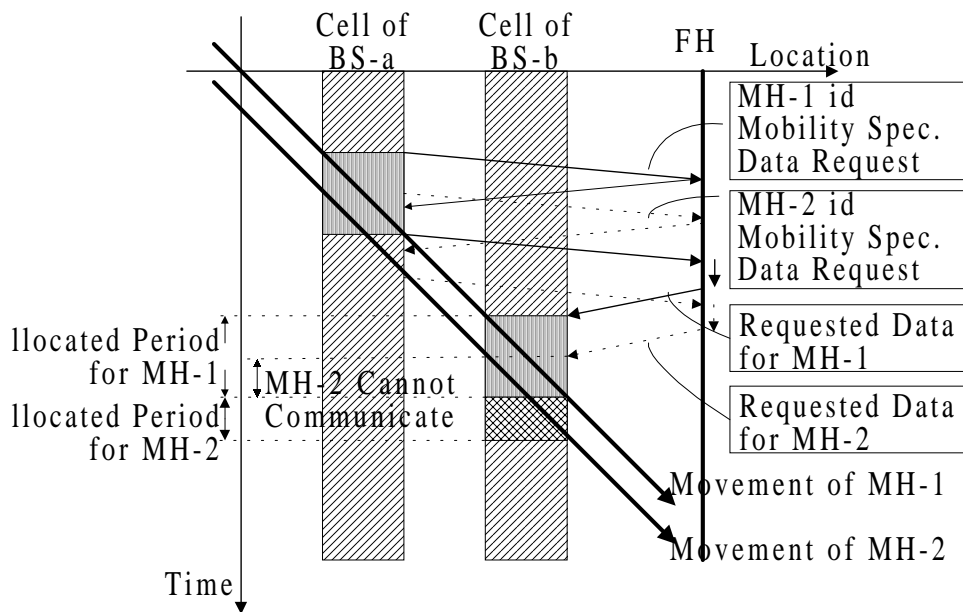


図 5.15 複数の移動計算機の移動(1セル内1台のみの通信)

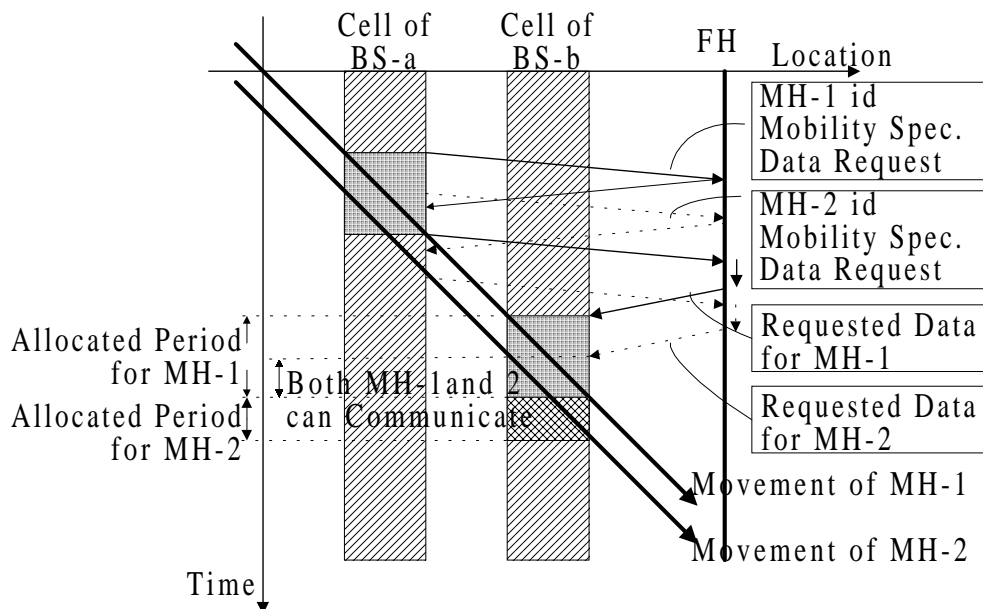


図 5.16 複数の移動計算機の移動(同一方向移動へのマルチキャスト)

ことができない。しかし、同一方向に進行する MH の要求するデータが同じ可能性もあり、その場合は、同一セルに存在する 2 台の MH に対して、同時に、同じデータをマルチキャストするという手法が考えられる。これにより、1 回のデータ転送時間で、2 台の MH に対してデータを提供できることとなり、全体として効率を上げることが可能である。これを図 5.16 に示す。

5.6 シミュレーションによる評価

5.6.1 シミュレーションモデル

STRAP1, 2, 3 の通信効率を評価するため、シミュレータを作成し、それを用いて、ブロードキャスト法、地理的放射手法と比較し評価を行った。一般に、交通流をシミュレートする方法には、交通流全体の流れを流体で近似するマクロアプローチと、各車両ごとの動きを積み上げていくミクロアプローチとがある。マクロアプローチの手法は、車両の密度管理が容易なので、渋滞・非渋滞相間の転移などの再現性が良く、高速道路などの比較的大規模な系のシミュレーションに適している。一方、ミクロの手法は、細かな交通制御・規制の影響をシミュレートできる反面、大規模な系への適用には限界があるので、比較的局所的な系のシミュレーションに対して有効である。ここでは、車両個々の通信時間を計測するために、ミクロアプローチを採用する。ブロードキャスト法、地理的放射手法の従来手法では、移動計算機の移動のタイミングが考慮されておらず、STRAP と単純には比較できないが、ここでは従来手法においても移動のタイミングが考慮され移動計算機が移動したタイミングで直ちに通信できる最良の場合について評価を行った。シミュレーションモデルにおいて移動計算機が移動する間に確保できる総通信時間を測定した。その測定した総通信時間を、移動計算機がすべての中継基地局において通信可能とした場合の通信時間で割ったものを通信効率として評価の対象にした。図 5.17 に示すような移動経路網モデル上で、次の条件で移動しながら通信を行うと仮定し、シミュレーションを行った。

- 移動経路網モデルは n ノード \times n ノードのメッシュで構成される。

5.6. シミュレーションによる評価

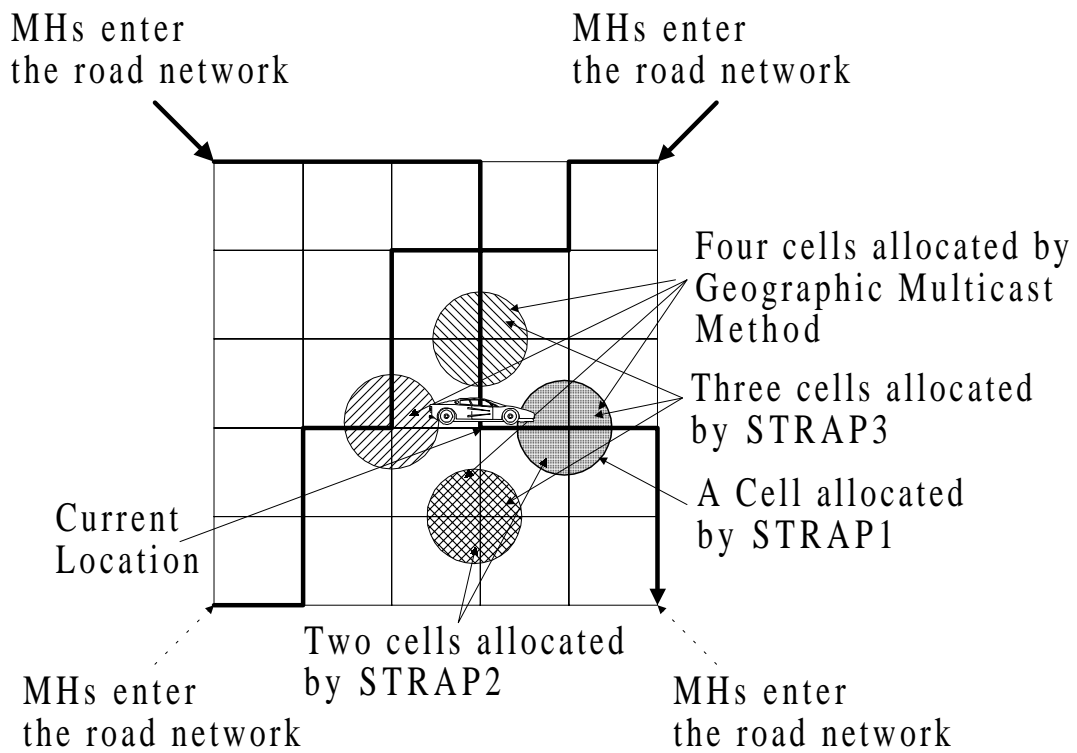


図 5.17 シミュレーションモデル

第 5 章 専用狭域通信 (DSRC) を用いた効率的な通信方式

- 各ノードはすべて等間隔に設定され、ノード間のリンクの長さはすべて等しい。
- 移動経路網の外側の 4 頂点を出発点とし、この出発点より移動経路網内に向けて移動計算機が入り、対角線上の頂点を目的地として移動する。
- 移動計算機の移動速度はつねに一定とし、1 単位時間に 1 メッシュ移動する。
- 移動計算機は、移動経路モデルの出発点から目的地までの最短経路を無作為に選択し移動する。 $n \times n$ のメッシュでは、目的地に到着するのに要する時間は $2n-2$ となる。
- 移動計算機は単位時間を基準として一定の時間間隔で次々と移動経路網の外側の頂点から移動経路網に入る。
- 中継基地局は、移動経路網の外周を含むすべてのノードに設置してされている。移動計算機は各ノードにおいて、中継基地局よりデータを入手するための通信を行う。移動計算機が中継基地局を通過中に通信を行える時間を 1 単位通信時間とする。また、通信資源を $1/2$ 確保する方式 (2-Level) の場合は、0.5 単位時間とする。
- 移動計算機の移動に伴い、同時刻に 1 基の中継基地局のセル内に、2 台以上の移動計算機が存在する場合、基本的に 1 台のみが通信でき、他の移動計算機は通信できない。
- 前述の STRAP1 におけるマルチキャストの場合 (STRAP-M) は、それら複数の移動計算機が常に同時に通信できる。
- STRAP2, STRAP3, 地理的放射手法の場合、ある移動計算機が確保している複数の中継基地局において、他の移動計算機は通信を行うことができない。ブロードキャスト法の場合、移動経路モデル内に位置する移動計算機のうち、特定の時刻に通信できるのは 1 台のみとなる。

ここで作成したシミュレータの詳細については、付録 E で解説する。

5.6. シミュレーションによる評価

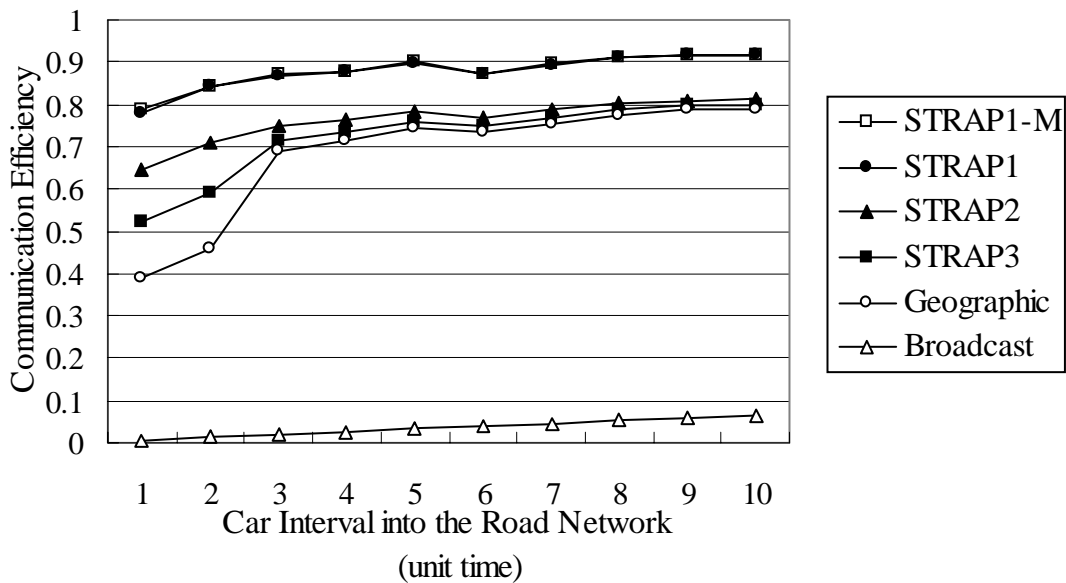


図 5.18 移動計算機間隔に対する各方式の通信効率

5.6.2 シミュレーション結果

シミュレーション結果を図 5.18 から図 5.22 に示す。すべての図において、メッシュサイズ 20×20 、総通信時間 200 とした、ブロードキャスト法、地理的放射手法、STRAP のそれぞれの通信効率を示している。このメッシュサイズは、実際の移動経路網よりは小さいが、このメッシュを再帰的に配置することで、実ネットワークを構成することが可能である。また、ここで設定した総通信時間は、初期状態から開始して、定常状態になるのに十分な時間である。次節でシミュレーション結果から得られる拡張 STRAP の有効性を示す。

5.6.3 拡張 STRAP の有効性

図 5.18 に、横軸に移動経路網に入る移動計算機の間隔を取った場合のブロードキャスト法、地理的放射手法、STRAP1, 2, 3, マルチキャスト考慮の STRAP1 の通信効率を示す。移動計算機の間隔が大きくなるにしたがって、道路ネットワーク内に存在する移動計算機は少なくなり、すべての方式に関して通信効率は高くなるが、他の方式と比較して、相対的に STRAP の効果は小さくなる。図 5.19 で

第 5 章 専用狭域通信 (DSRC) を用いた効率的な通信方式

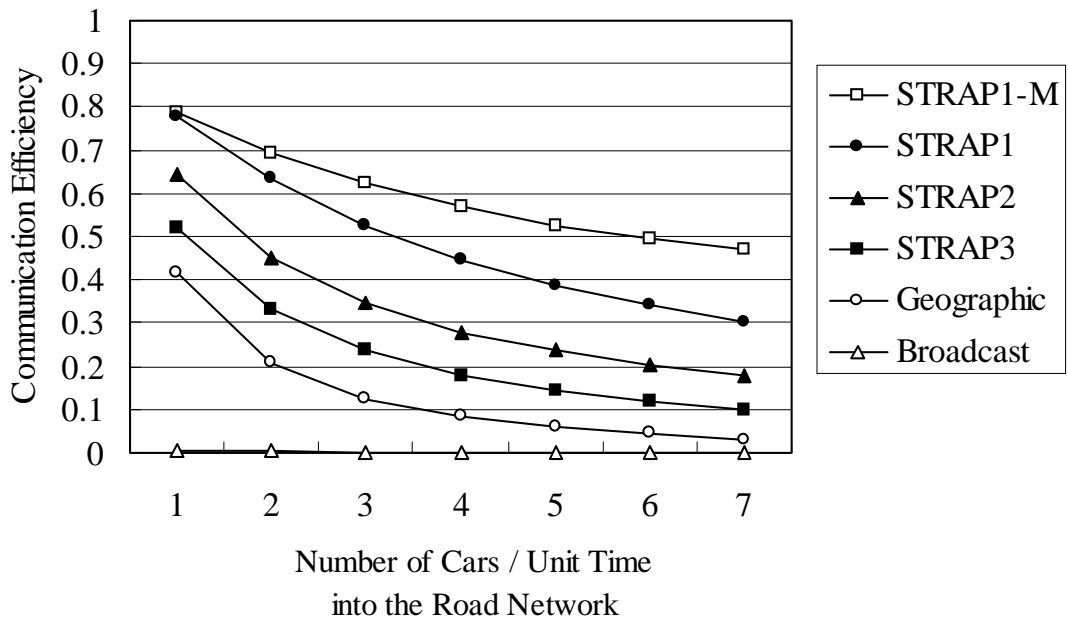


図 5.19 移動計算機数に対する各方式の通信効率

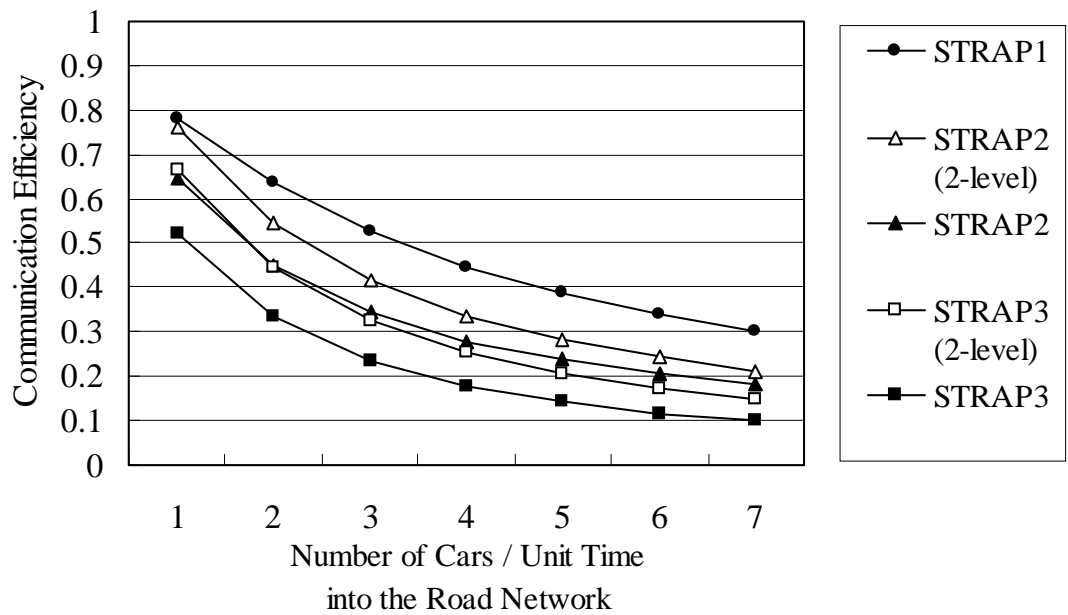


図 5.20 通信時間を 2 レベルとした場合の STRAP の通信効率

5.6. シミュレーションによる評価

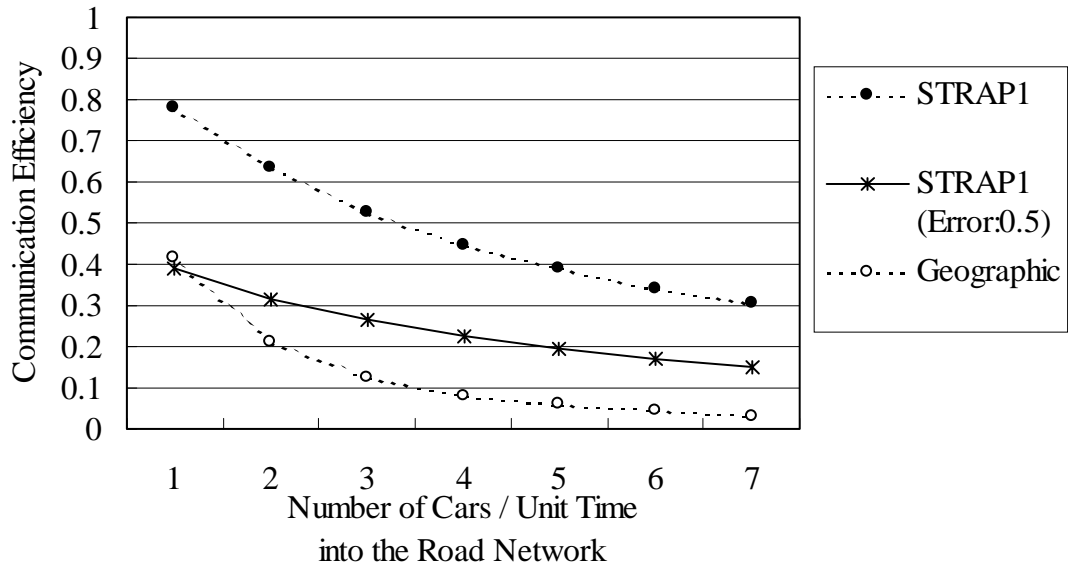


図 5.21 移動計画からの時間的ずれがある場合の通信効率

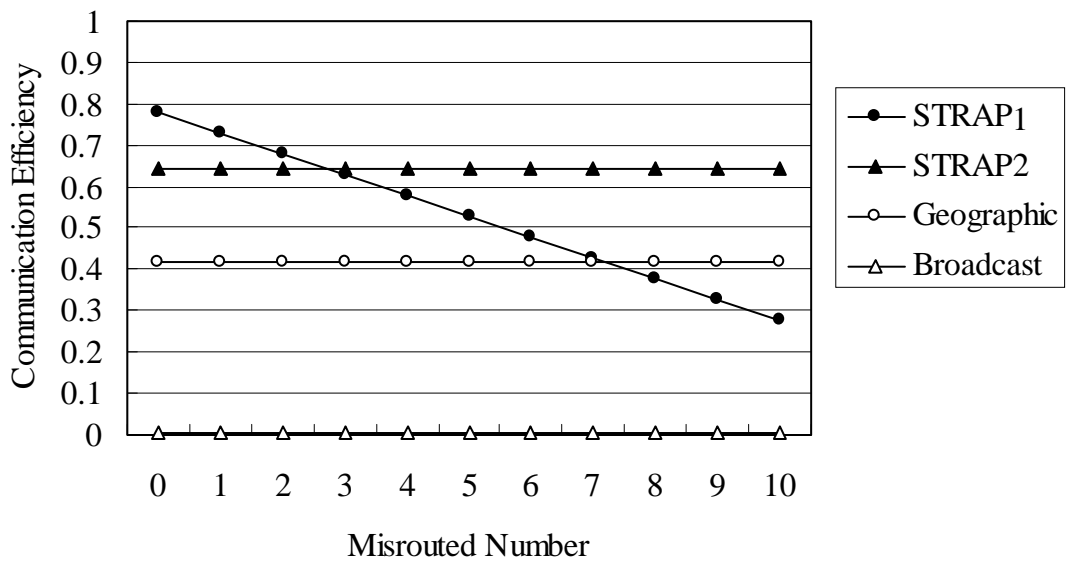


図 5.22 移動計画における経路から逸脱した場合の通信効率

第 5 章 専用狭域通信 (DSRC) を用いた効率的な通信方式

は、同時に移動経路網に入る移動計算機の台数を横軸としている。この台数が多くなるにつれ、移動経路網内の移動計算機の数が増加し、全体として通信効率は低下する。しかし、他の方式と比較して、相対的に STRAP の効果は大きくなる。

経路逸脱に備えた STRAP2, 3 において、通信資源を $1/2$ だけ確保する方式 (2-Level) の通信効率を図 5.20 に示す。パラメータは図 5.19 と同一である。STRAP2, 3 とともに、2 レベルで通信時間を確保したほうが効率が良いことが分かる。

図 5.21 に、移動計算機が、移動計画で設定した時刻より早く、あるいは、遅く中継基地局に到着し、通信時間が 0.5 単位時間 (Error:0.5) となった場合を示す。参考のために到着時刻が逸脱しない場合の STRAP1 および地理的放射手法の結果も載せている。移動経路網に入る移動計算機の台数が、単位時間当たり 1 台の場合は、STRAP (Error:0.5) の通信効率よりわずかに到着時刻が逸脱しない地理的放射手法のほうが高いが、移動経路網内の移動計算機の台数が増加するにつれ、STRAP (Error:0.5) の通信効率が高くなる。

ブロードキャスト法、地理的放射手法は移動計画における移動経路からの逸脱した場合でも、通信を行うことができる。また、STRAP2, 3 も移動計算機が目的地の方向に進行する限り、通信を行うことができるが、STRAP1 の場合、移動計画の経路から逸脱すると、通信を行うことができない。出発点から目的地までの間に、移動計画の経路から逸脱した回数を横軸に取った場合の、各方式の通信効率を図 5.22 に示す。STRAP1 と STRAP2 を比較した場合、逸脱回数が 3 回でほぼ同等となり、地理的放射手法とは 7 回でほぼ同等となる。

5.7 むすび

移動計算機の移動する経路と時刻の予測 (移動計画) をもとに、移動計算機が次の中継基地局のセルを通過する際に、待つことなくデータを転送できる空間的・時間的資源割当てプロトコル (STRAP) を提案した。STRAP では、設定した移動計画通りに移動計算機が移動することを前提としたプロトコルであるが、より実用に耐えられるよう、STRAP を拡張することで移動計画から逸れる場合の補正メカニズムを追加した。実環境を想定したモデルにおいてのシミュレーションを用いて実験を行った結果、従来からのブロードキャスト法および地理的放射手法と

5.7. むすび

比較し STRAP の有効性を明らかにした。さらに，移動計画の経路から逸脱する場合の拡張 STRAP の有効性も明らかにした。

ブロードキャスト法，地理的放射手法と単純に比較した場合，STRAP の通信効率が高く，道路が混雑するにしたがってその効率は相対的に高くなる。しかし，STRAP では，移動計画を利用するため，移動計算機の移動がこの予測から地理的，時間的にずれる場合が発生すると通信効率が低下する。これらを考慮した STRAP の適応範囲を検討するため，実環境を想定したモデル上においてシミュレーション結果より，移動計画が実際の経路や通過時刻といくらかずれても，道路が混雑している状況下であれば，ブロードキャスト法，地理的放射手法と比較して STRAP の通信効率は高いものとなることがわかった。

第 6 章

結論

高度道路交通システム (ITS) においては、情報通信技術が重要な役割を担う。このような状況のもと、従来、積極的に研究されている一般の携帯情報端末と異なり、車載情報機器においては、移動特性、通信手段、利用情報に関して、異なる特徴がある。本研究では、これらの特徴を活かし、複数の通信手段を並列利用した階層型データの配信、移動計画を考慮した通信帯域の確保と位置依存情報のキャッシュといった従来考えられていた手法よりも効率の良い移動体通信アーキテクチャを提案するとともに、実環境への適応を考慮した場合の実装検討、数値的およびシミュレーションによる評価を行った。

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

移動経路情報を利用した移動体通信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。

複数の通信を利用した階層型データ配信の提案と実装環境構築（第 3 章）

車載情報機器において、複数ある利用可能な通信手段を、1) データ放送、2) 専用狭域通信、3) パーソナル通信の 3 つに分類し、個別ではそれぞれ問題点があるが、これら 3 種類の通信手段を同時に利用することで、効率的に提供する情報提供方式を提案した。

本方式は、単に複数ある通信手段を並列的に利用して帯域を広めただけでなく、階層構成の位置依存情報に適応することで、多くのユーザが必要としている情報は広い範囲をカバーする放送で、ユーザが個別に必要な情報はパーソナル通信でといったように、それぞれの通信手段に適合したデータ配信の範囲を考慮することで、さらに効率の良い方式を提供することができる。

さらに本方式を実装するにあたり、プッシュベースとプルベースを利用したデータ配信において、空間的な同期と時間的な同期を共通的に扱うことができるシステムの設計を行った。さらに、複数の通信手段を利用した階層型データ配信のエミュレーションを行い、効果的に動作することを確認した。

位置依存情報のキャッシュ方式の提案と評価、実装（第 4 章）

データ放送は、必要なデータが放送されるまで待ち時間があるため、そのデータを取得する際、遅延時間が発生する。また、パーソナル通信の場合、狭帯域であるため、データの転送を完了するのに必要な時間が大きくなるといった問題がある。車載情報機器においてこの問題を解決するため、車載情報機器の移動経路を予測し、この情報をもとによく利用される位置依存情報をプリフェッチ、リプレイスする方式を提案した。

位置依存情報は、その情報が関連している特定の地点のみではなく、その情報

6.1. 本研究で得られた成果

の有効範囲を決定するスコープという概念を導入することで，効率的に情報をキャッシュすることができることを示した．

本方式を数値的に検討し，通常考えられるキャッシュ方式と比較し，情報取得までの遅延時間が短くなることを示すとともに，本位置依存情報キャッシュシステムの実装を行ない，有効に動作することを確認した．

効率的な専用狭域通信の方式の提案，およびシミュレーションによる評価（第5章）

専用狭域通信は，パーソナル通信と比較して高速であるが，セルが断続的に配置されている．このため，移動計算機が1つのセルを通過ごとに必要なデータをリクエストし，それを同一セル内で受信するという手順を利用した場合，1つのセル内でやり取りできるデータ量は限られ，効率が悪い．そこで，移動計算機の移動する経路と時刻の予測（移動計画）をもとに，移動計算機が次の中継基地局のセルを通過する際に，待つことなくデータを転送できるプロトコル（STRAP）を提案した．

STRAPでは，移動計算機の移動計画の利用と補正メカニズムの追加で，断続的に配置されたセル環境において，個別に通信を完結を図るのではなく，複数のセルを通過する際に連続的にデータをやり取りすることが可能となる．この通信効率をシミュレーションにより確認した．一般に考えられるブロードキャスト法，地理的放射手法と比較した場合，STRAPの通信効率は高く，道路が混雑するほど，他の方式との相対的な効率は高くなる．STRAPでは，移動計画を利用するため，移動計算機の移動がこの予測から地理的，時間的にずれる場合が発生すると通信効率が低下すると考えられる．このずれを考慮に入れた実環境を想定したモデル上においてシミュレーション結果より，予測が実際の経路や通過時刻といくらずれても，道路が混雑している状況下であれば，ブロードキャスト法，地理的放射手法と比較してSTRAPの通信効率は高いものとなることがわかった．

表 6.1 各通信方式の利点，問題点とアプローチ

通信方式	利点	問題点	アプローチ
パーソナル通信	双方向通信で，リクエストに対してデータが返送されるため，データ取得までに必要なのは伝送遅延のみである。	帯域が狭く，スケーラビリティがない。	大容量データの場合，転送に時間が必要となるため，あらかじめ必要と予測されるデータを先行取得する。
専用狭域通信	双方向通信であるため，要求を出すことが可能で，比較的帯域が広い。	通信可能領域が分断され，一度に通信できる時間が短い。	移動経路を利用し，経路上に配置されている通信エリアの特定時間を確保することで，通信を連続的に行う。
放送	帯域が広く，スケーラビリティがある。	単方向の通信であるため，必要データが放送されるまで待つ必要がある。	必要と予測されるデータが放送された時点で，先行取得することで，データアクセスの待ち時間を無くす。

まとめ

車載情報機器で利用可能な通信手段は，パーソナル通信，専用狭域通信，データ放送の 3 種類に分類できる。また，主に利用される情報は，階層化が可能で，位置に依存する。各通信手段の利点，問題点とアプローチを表 6.1 にまとめる。本論文では，この 3 種類の通信手段を階層化データの配信において並行で利用することで，車載情報機器への効率的な情報の提供を可能とする方法を提案し，その有効性を示した。

6.2 今後の課題

本研究において今後検討すべき課題は次の通りである。

階層型データ配信の評価

車載情報機器に対して，複数の通信手段を利用し，階層型データの配信をエミュレーションするための環境を構築した。2 台のパソコンを 2 系統の通信路で接続

6.2. 今後の課題

し、プッシュベースで画像と基本音声、プルベースで付加音声を配信する実験を行っている。しかし、この環境において、車載情報機器で利用可能な、パーソナル通信、専用狭域通信、データ放送を同時に実現するため、それぞれの通信手段の通信速度、遅延時間、通信可能時間といったパラメータを考慮し、パソコン間の通信をエミュレーションする必要があるが、具体的評価には至っていない。

位置依存情報キャッシュ方式の頑強性の検討

これまでは、移動計算機があらかじめ設置された移動計画に従って移動することを前提として、ここで提案したキャッシュ方式を評価してきたが、実際は、移動計算機が移動計画で指定した経路から逸れる場合も考慮に入れる必要がある。今後は、経路から逸れる確率を考慮し、シミュレーションにより実際に近い形態で評価を行う予定である。

専用狭域通信を用いた効率的な通信方式の実装の検討

本論文では、シミュレーションはプロトコルを評価するため、単純なメッシュ状の道路網を移動計算機が等速で移動するという限られた条件のもとで行った。実際の道路網を実速度で移動するという条件でシミュレーションを行うことが課題として残っている。また、実機で評価することも考えている。このプロトコルの実ネットワークへの実装するにあたり、移動計画を含め、現在地や経路情報を、IP層などのネットワークレベルで解決するか、アプリケーション層で実現するかが考えられる。前者は、アプリケーションからみて位置透過性という長所があるが、一方、後者では、アプリケーションが直接位置情報を扱えるという点で勝っていると考えられる。

移動経路情報を利用した移動体通信アーキテクチャの実装方式の検討

現在の実装検討方式は、位置情報をアプリケーションレベルで扱い、データの管理、情報の同期も同じくアプリケーションで行っている。1つの閉じた組み込みシステムでは、この構成で特に大きな問題は発生しないが、様々な用途で利用することを考えると、アプリケーションより下の階層でまとめて情報とデータを

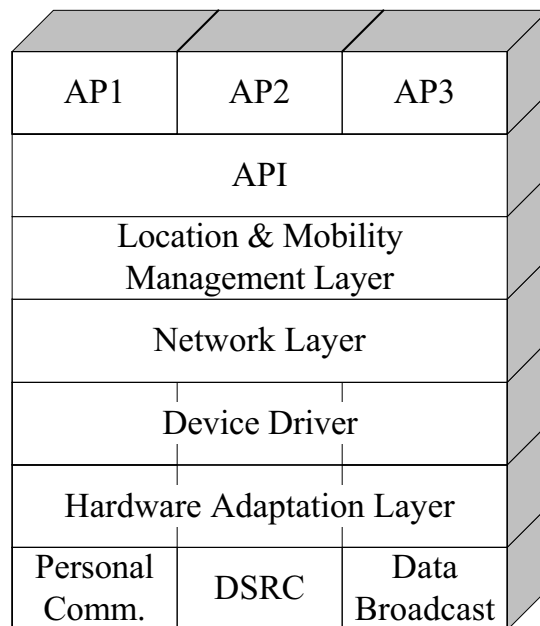


図 6.1 本移動体通信アーキテクチャ実装方式例。

管理し，統一したアプリケーション・プログラム・インタフェース(API)として提供したほうが効率がよい．この構成を図 6.1に示す．また，位置情報などを含む移動経路情報をネットワーク層で扱う実装方式も考えられるが，本研究では，検討に及んでいない．

移動経路情報を利用した移動体通信アーキテクチャの実際の環境への適応

本研究で行っている階層型の位置依存情報を移動経路を利用した複数の通信方式から構成される移動体通信アーキテクチャの，実際の環境での実現性について考察する．パーソナル通信として，通常の携帯電話網の環境を利用することは可能であるが，すでに利用が開始されている VICS 光ビーコンや ETC 等の専用狭域通信，現在パイロット実験中のデータ放送を利用して最終的に統合した環境において通信ネットワークを提供することは，技術的問題以上に，金銭的，政治的な問題が発生する．本通信アーキテクチャの実環境におけるテストは，一部には行っ

6.2. 今後の課題

ているが、公開できるレベルに達しておらず、まだまだ遠い道のりがある。しかし、本研究で得られた知見が、今後、高度道路交通システムにおける効率的な通信アーキテクチャの実現への第一歩となることを確信している。

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．

奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科の最所圭三助教授には，著者在学の間，福田教授とともに御指導を賜り，また多く對外発表の機会とその際の御支援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への入学を始め，公私ともども御指導と激励を賜りました Stanford University, Computer Science Department の David R. Cheriton 教授，大阪大学工学部情報システム工学科の藤岡弘教授に，深く謝意を表します．

本研究において様々な御協力と御支援，貴重なアドバイスを頂きました神戸大学情報知能工学科の田中克巳教授，同都市安全研究センターの角谷和俊講師，住友電気工業株式会社 油本暢勇常任顧問，同情報通信システム事業部の高橋秀公事業部長，同システムエレクトロニクス研究開発センターの上原明所長，同ITS開発グループの平野和夫部長とそのメンバーの方々，株式会社住友電工システムズナビゲーション開発事業部の左近透主査に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，モバイルグループ博士後期過程の田頭茂明氏を始めメンバーの方々，九州大学大学院システム情報科学研究科博士後期過程の稲田文武氏には，本研究の細部にまで及ぶ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．

Microsoft Corporation の Patrick Halsted 氏 , Hewlett-Packard Company の Andrew Plant 氏 , Certicom Corporation の山田淳博士には , 研究に関する議論のみならず英語原稿の校正にまで時間を割いて頂き , また著者の米国 , カナダ訪問の際には様々な便宜をはかって頂きました . ここに深く感謝の意を表します .

最後に , 今日まで筆者の研究活動に対する理解と協力を頂いた妻 千嘉子 , 長男 礼於真 , 次男 黎明に感謝の言葉を送ります .

参考文献

- [1] Shenai, K., McShane, E., and Trivedi, M., “Electronics Technologies for Intelligent Transportation Systems”, In *Proceedings of IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC '97)*, pp. 302-307, November 1997.
- [2] 財団法人 道路新産業開発機構, ITS HANDBOOK '98, 1998年10月.
- [3] 建設省道路局ITS ホームページ,
<http://www.moc.go.jp/ITS/j-html/index.html>
- [4] 田中正春, “カーナビが双方向情報端末に進化”, 日経エレクトロニクス No. 662, pp. 91-106 1996年5月.
- [5] Future ITS, <http://www.nihon.net/ITS/j-html/index/indexEtc.html>
- [6] Auto PC Web Site, <http://www.microsoft.com/windowsce/autopc>
- [7] Connected Car PC Technology, <http://www.intel.com/technology/carpcc>
- [8] The Network Vehicle,
<http://www.alphaWorks.ibm.com/networkvehicle/index.html>
- [9] Jamel, A., Stuempfle, M., and Fuchs, A., “Web on Wheels: Toward Internet-Enable Cars”, *IEEE Computer*, Vol. 31, No. 1, pp. 69-76, January 1998.
- [10] Uehara, K., Watanabe, Y., Sunahara, H., Nakamura, O., and Murai, J., “InternetCAR -Internet Connected Automobiles-”, In *Proceedings of INET'98*, January 1998.

参考文献

- [11] MONET, <http://www.tms.ne.jp/index.html>
- [12] COMPASSLINK 情報センター,
<http://www.compasslink.co.jp/cplweb/pc/index.html>
- [13] INTER NAVI SYSTEM INDEX, <http://www.internavi.ne.jp/index.html>
- [14] Mizoguchi, M., “VICS Strategy and Deployment Plan”, In *Proceedings of 2nd World Congress on Intelligent Transport Systems 95*, Vol. 5, pp. 2618–2621, November 1995.
- [15] 財団法人 道路交通情報通信センター (VICS センター) “VICS の挑戦 - 道とクルマの対話が始まる”, ISBN4-9900551-1-X, 1996 年 10 月.
- [16] 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 年 12 月.
- [17] 郵政省, “2.6GHz 帯の電波を使用する衛星デジタル音声放送システムの技術的条件”, 郵政省報道発表資料,
<http://www.mpt.go.jp/pressrealse/japanese/housou/990721j701.html>, 1999 年 10 月.
- [18] 佐々木 真, “地上デジタル放送 ~ 規格化と実証実験 ~”, NHK 技研 R & D , No. 57, pp. 13–27, 1999 年 8 月 .
- [19] 郵政省, “地上デジタル放送懇談会報告書”, 郵政省報道発表資料,
<http://www.mpt.go.jp/pressrealse/japanese/housou/981026d701.html>
1998 年 10 月.
- [20] Acharya, S., Alonso, R., Franklin, M., and Zdonik, S., “Broadcast Disks: Data Management for Asymmetric Communication Environments”, In *Proceedings of ACM SIGMOD International Conference on Management of Data*, Vol.24, No.2, pp.199-210, June 1995.

参考文献

- [21] Pitoura, E., and Samaras, G., *Data Management for Mobile Computing*, Kluwer Academic Publishers, 1998. ISBN 0-7923-8053-3.
- [22] 角谷和俊, “放送とデータベース「放送型情報配信のためのデータ配信モデルとシステム」”, ACM SIGMODE 日本支部 第12回大会 講演論文集, pp. 131-150, 1999年6月.
- [23] Acharya, S., Franklin, M., and Zdonik, S., “Balancing Push and Pull for Data Broadcast”, In *Proceedings of ACM SIGMOD International Conference on Management of Data*, Vol.26, No.2, pp.183-194, June 1997.
- [24] Barbara, D., and Imielinski, T., “Sleepers and workaholics: Caching Strategies in Mobile Environments”, In *Proceedings of ACM SIGMOD International Conference on Management of Data*, Vol.23, No.2, pp.1-12, June 1994.
- [25] Jing, J., Bukhres, O., Elmagarmid, A., and Alonso, R., “Bit-Sequences: A New Cache Invalidation Method in Mobile Environments”, *Technical Report CSD-TR-94-074*, Department of Computer Science, Purdue University, 1995.
- [26] Talukdar, K., Badrinath, B. R., and Acharya, A., “MRSVP : A Reservation Protocol for an Integrated Services Packet Network with Mobile Hosts”, *Rutgers University Technical Report TR-337*, 1996.
- [27] Lee, K., “Adaptive Network Support for Mobile Multimedia”, In *Proceedings of the 1st Annual International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom '95)*, pp. 62-74, November 1995.
- [28] 藤田 謙, 小林和真, 山口 英, “VIPによるIPローミングの実現手法”, 情報処理学会研究報告, 97-MBL-2 Vol. 97, No. 72, pp. 43-48, 1997年5月.
- [29] 八幡 孝, 塚本昌彦, 春本 要, 西尾章二郎, “連続メディアのための移動体通信アーキテクチャ”, 情報処理学会夏のプログラミングシンポジウム, pp. 81-88, 1995年7月.

参考文献

- [30] Imielinski, T. and Korth, H., *Mobile Computing*, Kluwer Academic Publishers, 1996. ISBN 0-7923-9697-9.
- [31] Shimoura, H., Nishimura, S., Nagao, M., and Tenmoku, K., “Evaluation of the Effect of DRGS Using Traffic Flow Simulation System”, In *Proceedings of 2nd World Congress on Intelligent Transport Systems 95*, Vol. 5, pp. 2637–2645, November 1995.
- [32] Sakakibara, H., Yamaguchi, M., Kitamura, T., Moritata, M., and Takeuchi, K., “Field and simulation tests of the interactive CDRG in UTMS”, In *Proceedings of 9th International Conference on Road Transport Information and Control*, pp. 207–211, April 1998.
- [33] Franklin, M. and Zdonik, S., “Data in Your Face: Push Technology in Perspective”, In *Proceedings of ACM SIGMOD International Conference on Management of Data*, Vol.27, No.2, pp. 516-519, June 1998.
- [34] 酒澤茂之, 滝嶋康弘, 和田正裕, “ビデオマルチキャストにおける符号化伝送制御方式”, 映像情報メディア学会誌, Vol.52, No.6, pp. 863–870, 1998年6月.
- [35] 増田彰久, 太田 賢, 水野忠則, “選択的マルチメディア通信方式 SMAP ネットワークサービスの実装”, 情報処理学会モバイル研究会研究報告, Vol.98, No.53, pp.55-62, 1998年5月.
- [36] 撫中達司, 坂倉隆史, 黒田正博, 下間芳樹, “階層型データ同期モデルの広域システムへの適用”, マルチメディア, 分散, 協調とモバイルシンポジウム (DICOMO'99) 論文集, Vol.99, No.7, pp. pp411–416, 1999年6月.
- [37] Hu, Q., Lee, D. L., and Lee, W-C., “Performance Evaluation of a Wireless Hierarchical Data Dissemination System”, In *Proceedings of 5th International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom'99)*, pp.163-173, August 1999.

参考文献

- [38] 青野正宏, 渡辺 尚, 水野忠則, “プッシュ型とプル型通信の動的統合による応答時間の短縮”, 99-BML-10 Vol. 99, No. 80, pp. 9–16, 1999年10月.
- [39] 矢島悦子, 原 隆浩, 塚本昌彦, 西尾章治郎, “データ間の相関性を考慮した放送データのスケジューリング法およびキャッシュ法”, 情報処理学会論文誌, Vol. 40, No. 9, pp. 3577–3585, 1999年9月 .
- [40] Zhang, L., Deering, S., Estrin, D., Shenker, S., and Zappala, D., “RSVP: A New Resource ReSerVation Protocol”, *IEEE Network*, Vol. 7, No. 5, pp.8–18, September 1993.
- [41] MMAC, <http://www.arib.or.jp/mmac/index.html>
- [42] 光ビーコン 概要,
<http://www.utms.or.jp/japan/30system/beacon/index.html>
- [43] Wada, U. and Mizuno, T., “Database Cache Management Algorithms of a Timing Constrained Database System in Mobile Computing Environments”, *IEICE Transactions on Fundamentals*, Vol.E79-A, No.7, pp.1027–1033, July 1996.
- [44] Uehara, K., Tateoka, T., Watanabe, Y., Sunahara, H., Nakamura, O., and Murai, J., “A Network Architecture for Continuous Mobility”, In *Proceedings of 2nd International Conference on Worldwide Computing and Its Applications (WWCA'98)*, pp.224-269, March 1998.
- [45] Franklin, M. and Zdonik, S., “A Framework for Scalable Dissemination-based Systems”, In *Proceedings of Object Oriented Programming Systems Languages and Applications (OOPSLA'97)*, Vol.32, No.10, pp.94-105, October 1997.
- [46] 郵政省, “2.6GHz 帯の電波を使用する衛星デジタル音声放送システムの技術的条件”, 郵政省報道発表資料,
<http://www.mpt.go.jp/presslerealse/japanese/housou/990721j701.html>,
1999年10月.

参考文献

- [47] DiBEG (Digital Broadcasting Experts Group), <http://www.dibeg.org>
- [48] 郵政省, “地上デジタル音声放送の技術的条件”, 郵政省報道発表資料,
<http://www.mpt.go.jp/presslerealse/japanese/housou/991129j701.html>,
1999年10月.
- [49] 自動車走行電子技術協会 / 日本電子機会工業会, “DSRC 5.8GHz 全二重アク
ティブ方式狭域通信 技術調査報告書”, 1999年3月 .

付録

A 車載情報機器において今後特に重要と考えられる通信 / 放送メディア

A.1 IMT-2000

IMT-2000(International Mobile Telecommunication) [16] は、携帯電話において、アナログの第1世代、PDC, GSM, CDMA等の第2世代に対して、移動体マルチメディアサービスを世界レベルで実現できるような、第3世代の高速な無線通信システムである。利用周波数は、1920～1980MHz(陸上移動局 基地局), 2110～2170MHz(基地局 陸上移動局)の合計120MHz幅を利用し、BERを 10^{-6} 以下、データ転送速度は、静止時2Mbps、歩行時384kbps、高速移動時144kbps、衛星環境9.6kbpsを目指している。符合分割多元接続(CDMA)方式の周波数分割複信(FDD)方式において、DS-CDMA(Direct Spread 日欧提案のW-CDMA)とMC-CDMA(Multicarrier 米国提案のcdma2000)の方式があり、時間分割多元接続(TDMA)方式も含めて複数方式が並存して規格化される見通しとなっている。CDMA方式は、周波数利用効率が高い、混信・妨害などの干渉に強い、電力スペクトル密度が低く機密性に優れる、拡散符号により機密性に優れる、データ通信への柔軟な対応、などの利点がある。2001年春に商用サービス開始を目指しているが、遅れる可能性が大きいとされている。また、サービス開始時点において、静止時で2Mbpsの転送速度実現は不可能と考えられている。

A.2 地上波デジタル放送

地上デジタルテレビジョン放送 [18] [19] は、現行テレビの UHF 帯 (13ch ~ 64ch) を利用し、6MHz 帯域幅で、マルチキャリアによる伝送方式 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) を採用した ISDB-T (Integrated Service Digital Broadcast - Terrestrial) [47] と呼ばれる日本独自の方式で放送を行う。デジタル HDTV 放送が可能、多番組の標準 TV サービスが可能、移動受信が可能、マルチパス (ゴースト) やフェージングに強い、SFN (単一周波数放送) が可能という特徴を持っている。海外では、1998 年 9 月に英国 BBC がマルチキャリア (OFDM) の欧州方式 DVB-T、米国ではシングルキャリア (VSB) による ATSC 方式により同年 11 月からサービスを行っている。日本では、HDTV や標準 TV、音声の組み合わせに柔軟に対応できる階層伝送方式を採用し、2000 年から試験放送、2003 年末までに本放送開始が予定されているが、実際は、チャンネルプランの策定に手間取り、遅れる可能性も指摘されている。1 チャンネル (6MHz) を 14 セグメントに分割し 13 セグメントを利用するが、すべてを利用した場合、モードにより異なるが、3.65Mbps ~ 23.23Mbps の伝送速度となる。

地上デジタル音声放送は、1999 年 11 月に「地上デジタル音声放送の技術的条件」 [48] として、電気通信技術審議会の答申が出された。VHF 帯 (90MHz ~ 108MHz、および 170MHz ~ 222MHz) でのサービスで、携帯、移動受信が主なアプリケーションとして考慮されている。6/14MHz (約 429kHz) 帯域幅の OFDM セグメントを 1 ~ 3 個用いる形式を基本としており、その場合、移動体向けの伝送速度は、680kbps (1 セグメント) ~ 2Mbps (3 セグメント) 程度となる。

A.3 衛星デジタル音声放送

1999 年 7 月に放送方式を策定したシングルキャリア CDM 方式の「2.6GHz 帯衛星デジタル音声放送方式」 [46] である。東芝、トヨタ自動車、富士通、日本テレビが中心となり、移動体向け放送の事業会社「モバイル放送」を設立。2001 年から移動体向け多チャンネルマルチメディアの全国放送サービスを目指している。2630MHz ~ 2655MHz の S バンドを利用し、伝送速度は 256kbps、30 ~ 40 チャンネルの放送を行う。ユーザ端末は 10cm 程度のロッドアンテナ、あるいは、直径

A. 車載情報機器において今後特に重要と考えられる通信 / 放送メディア

5cm 程度の平面アンテナで受信可能である。周波数が高いため、市街地内等衛星を捕捉できない場所があるのであるが、その対策として、電波を中継するギャップファイラーと呼ばれるリピータの設置を計画している。リピータの設置により、トンネル内、屋内駐車場においても、受信が可能となる。サービス内容として、CD 並の音質の音楽、MPEG4 の動画、データが予定されている。

A.4 専用狭域通信 (DSRC)

ARIB STD-T55 規格で定められた 5.8GHz の周波数帯を利用し双方向 (アクティブ) 交信方式を実現した 3 ~ 30m の間欠極小通信ゾーンを持つ通信方式 [49] である。ノンストップ自動料金収受システムに採用されており、2000 年度には高速道路の全国約 440 箇所、2002 年までに全国主要な料金所に導入される予定で、今後、ドライブスルーショッピングや駐車場料金支払などのアプリケーションが検討されている。アダプティブ・スロットド・アロハ TDMA のアクセス方式、帯域幅 8MHz、伝送速度は 1024kbps である。

VICS 光ビーコンは、近赤外線発光ダイオードを用い、通信エリアが、幅 3.5m で、アップリンクはビーコン手前 5.0m ~ 3.4m、ダウンリンクがビーコン手前 5.0m ~ 1.3m、伝送速度は、アップリンク 64kbps、ダウンリンク 1024Mbps である。電波ビーコンは、周波数 2.4997GHz 近辺を利用し、送信エリア 70m、伝送速度は 64kbps である。

B. 具体的利用データのサンプル



図 B.1 道路映像の表示画面例 (MONETの場合) .

B 具体的利用データのサンプル

ここで検討している実際の道路映像の表示画面例を図B.1に、また、L2メッシュ、L1メッシュ、L0メッシュに関する地図データの表示例を図B.2、B.3、B.4に示す。

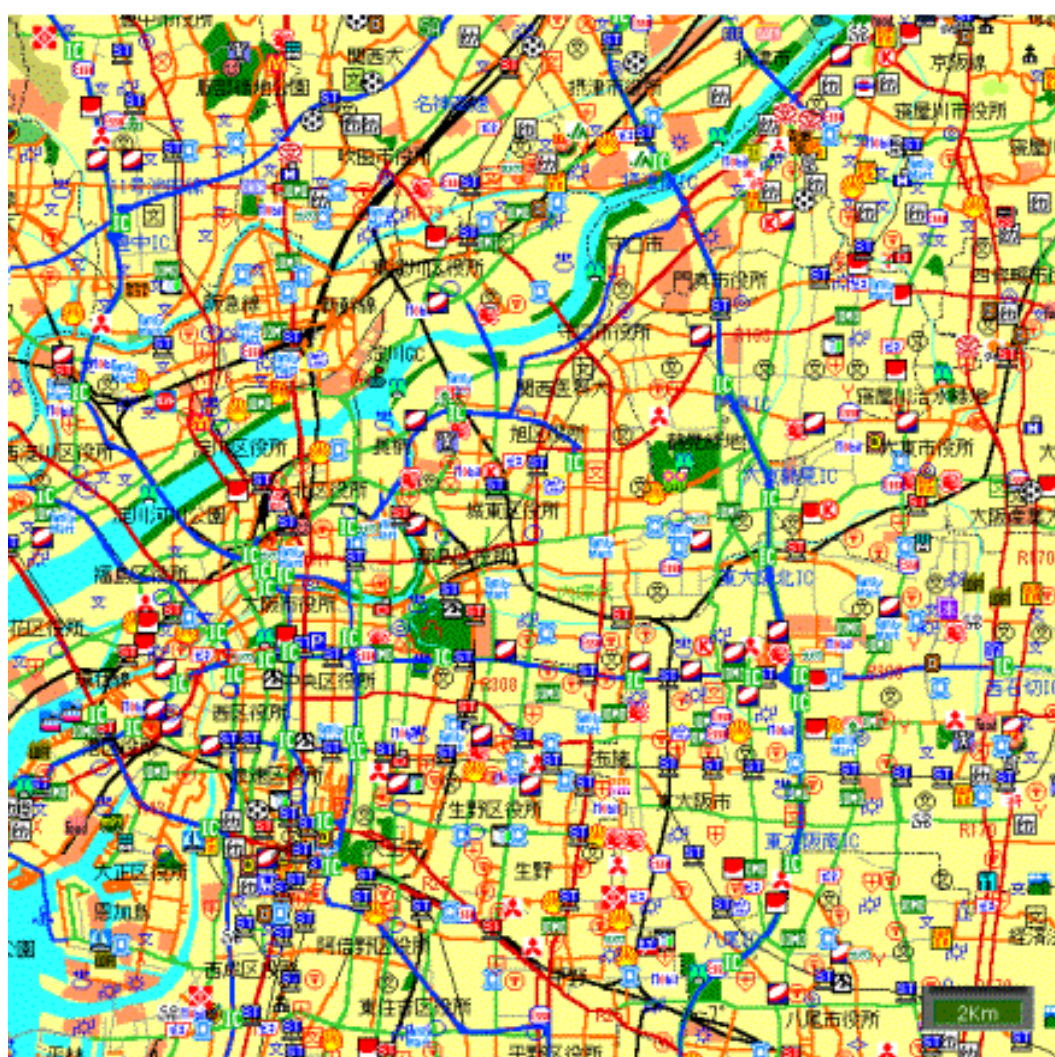


図 B.2 L2メッシュ地図データ表示例 .

B. 具体的利用データのサンプル

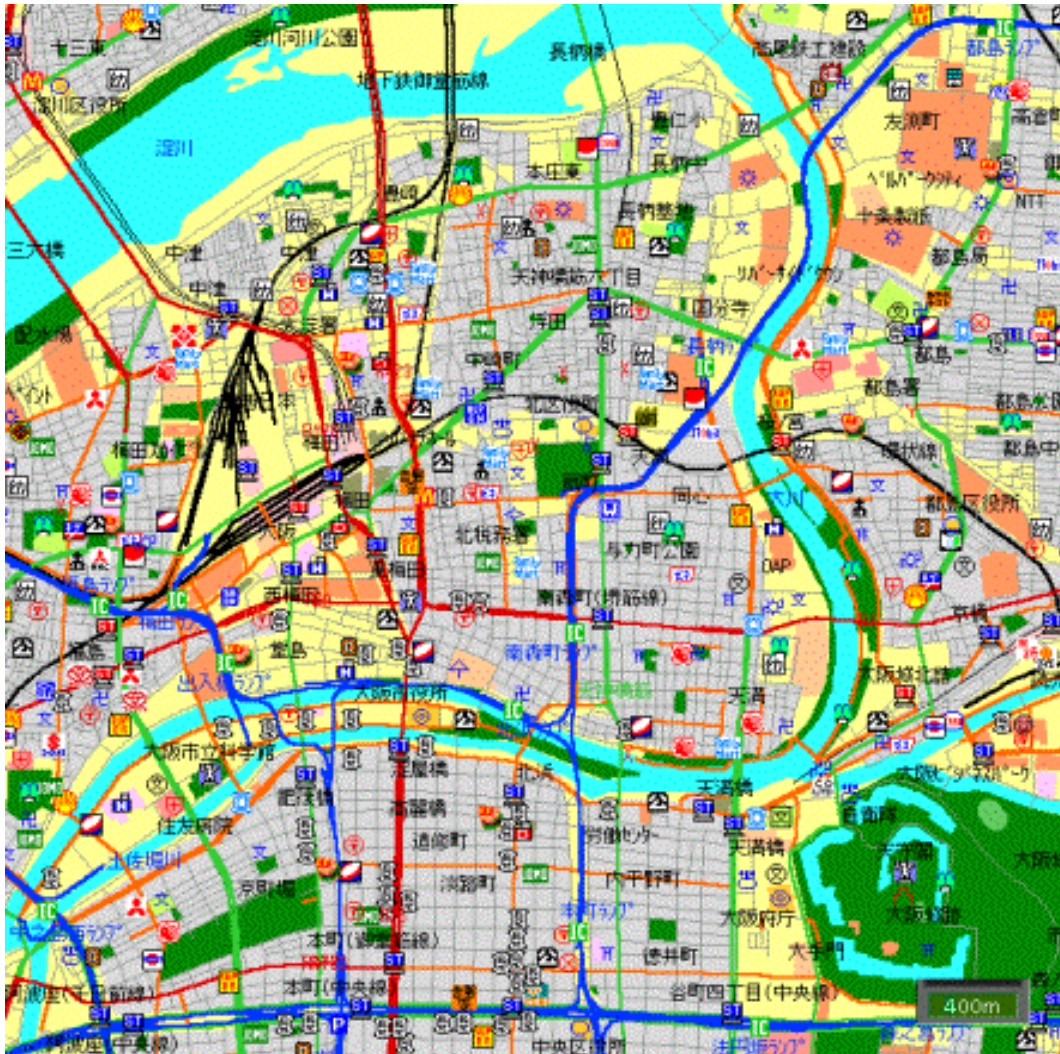


図 B.3 L1メッシュ地図データ表示例 .

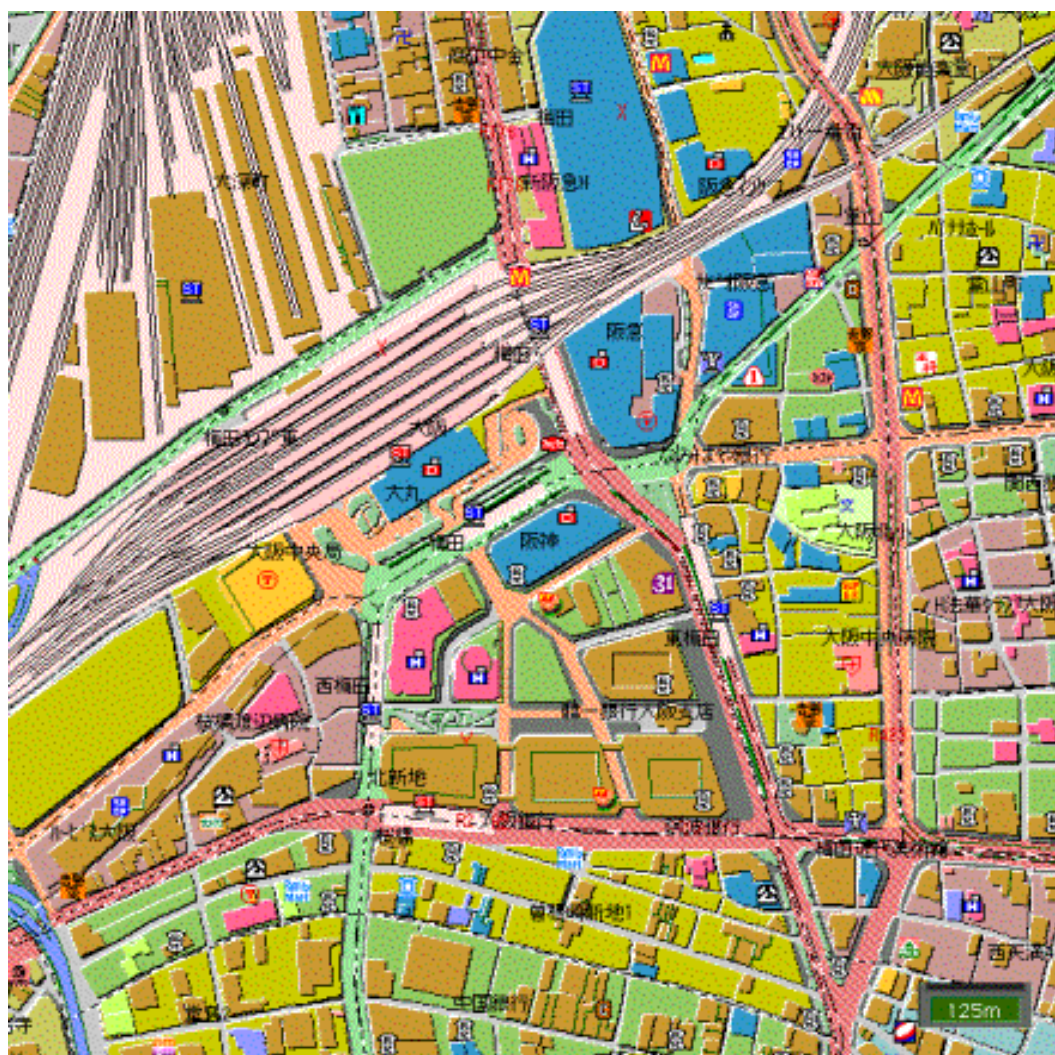


図 B.4 L0 メッシュ地図データ表示例 .

C. 階層型データ配信機構の実装

C 階層型データ配信機構の実装

C.1 システムモデル

複数の通信手段を利用した階層型データの配信をエミュレーションため、ネットワークで接続した2台のPCを、それぞれデータ提供サーバとデータ表示クライアントとし、ここでは通信路をプッシュベース、プルベースそれぞれ1系統の合計2系統とする。本来なら、プッシュとプルで異なった通信メディアを利用するが、本実装では、便宜上、1つのネットワークを利用する。プッシュベースの通信路はUDPのデータグラムを、プルベースの通信路はTCPのストリームを利用する。これに合わせて2階層からなる階層型データをそれぞれの通信路を經由して配信する。アプリケーションとして、MPEGによる動画データと副音声、あるいは、位置案内のための地図データと個別ランドマークデータを、それぞれプッシュベースとプルベースの対象とする。これら2種類の通信路により、プッシュベースによる基本階層データ取得、プルベースによる拡張階層のデータ取得とし、プッシュベースから取得したデータは、一度ハードディスクに保存し、これをプレイヤーからの要求に応じて表示する。この際、基本階層のデータを表示する際に、要求に応じて拡張階層のデータも随時取得し、基本階層と同期して表示を行う。同期に関して、時間的な条件と空間的な条件があり、これら2種類を同じ要因として扱えるように設計を行う。時間的に同期を行う場合、RTP (Real Time Protocol) を利用し、空間的な同期に関しては、GPSから得られる位置情報を利用する。

図C.1に階層型データ転送機構実装のためのシステム構成を示すとともに、各部を説明する。

C.2 各部の構成

プッシュデータ・サーバ

サーバの役割を担う1台のPC上のタスクで構成され、ハードディスク上に保存したデータを分割し、放送プログラム (Broadcast Program) に従って、ネットワークにUDPデータグラムを用いてブロードキャストする。分割されたデータ

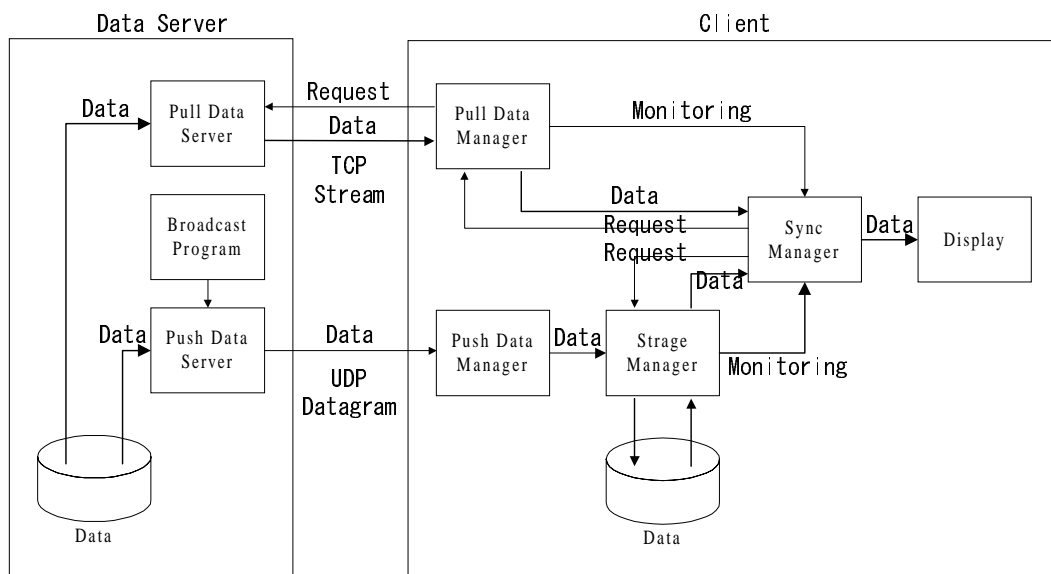


図 C.1 階層型データ配信のための実装 .

ごとにヘッダをもち、放送のシーケンス番号、階層情報、位置(座標)あるいは時刻を示す同期のための情報を含んでいる。

プルデータ・サーバ

プッシュデータ・サーバと同じくサーバの役割を担う1台のPC上のタスクで構成され、ハードディスク上に保存したデータをクライアント側からの要求に応じてTCPストリームを用いてユニキャスト通信を行なう。送信データも、プッシュデータの場合と同じく、分割されたデータごとにヘッダをもち、放送のシーケンス番号、階層情報、位置(座標)あるいは時刻を示す同期のための情報を含んでいる。

プッシュデータ・マネージャ

プッシュデータ・サーバより送信されたUDPデータグラムにおいてブロードキャストされたデータを受信する。プリフェッチ・マネージャからの情報で、ユーザが必要としている情報であれば、ストレージ・マネージャにデータを転送し、不必要なデータであれば破棄する。また、データ転送の際にデータに誤りが発生

C. 階層型データ配信機構の実装

している場合も、受信データを破棄する。プリフェッチ・マネージャからの要求データが受信されたことをシンクロナス・マネージャに連絡する役割も担っている。データの放送に際し、放送プログラムであるインデックス情報がデータと共に放送される場合は、インデックス情報を、このプッシュデータ・マネージャで管理し、データアイテムが放送されるタイミングを把握する。

プルデータ・マネージャ

シンクロナス・マネージャからの要求により、必要なデータを TCP 経由でプルデータ・サーバに送り、その応答として要求データを受信し、一時的にバッファリングする。要求データの先頭が受信された時点で、モニタリング情報によりシンクロナス・マネージャに通知を行ない、次にシンクロナス・マネージャの許可により受信データをシンクロナス・マネージャに転送する。

プリフェッチ・マネージャ

同期要因からの情報により、どのデータをプリフェッチすべき必要なデータを判断し、プッシュデータ・マネージャに伝える。同期要因とは、MPEG 等のビデオ放送の場合は、特定の時刻であり、移動計算機の場合は、移動に伴い到達されると予想される位置である。また、不必要となったデータは、ストレージ・マネージャに通知し破棄を依頼する。この際、時間の経過に伴う時刻、あるいは、移動計算機の移動に伴う経路を 1 つの次元と考え、ビデオデータの場合はデータの時間的な位置、位置依存情報の場合は空間的な位置と、現在の時刻あるいは空間的位置を比較し、データが不必要かどうかの判断を行う基準とする。

ストレージ・マネージャ

プッシュデータ・マネージャから送られたデータを保持、管理する役割を担う。プッシュデータ・マネージャからのデータはすべて保持するが、プリフェッチ・マネージャからの情報により、保持したデータの破棄も行なう。ストレージ・マネージャでは、現時点で保持しているデータ、すでに破棄されたデータの管理も行い、必要に応じてシンクロナス・マネージャに通知する。

シンクロナス・マネージャ

プッシュデータ・マネージャからのモニタリング情報を元に、プルデータ・マネージャからデータを受けとる。また、ストレージ・マネージャからのデータ管理情報をもとに、ストレージ・マネージャからキャッシュされているデータを受けとる。この2系統から受けとったデータを、時間的、あるいは、空間的に同期をとり、これらのデータを合成した後に、表示管理部へ送り、表示部で表示を行なう。

D. 位置依存情報のキャッシュの実装

D 位置依存情報のキャッシュの実装

D.1 システムモデル

位置依存情報のキャッシュの実装に際し、2台のPCを利用する。1台のPCはプッシュデータサーバとして動作し、他の1台はクライアントにおけるプッシュデータ受信部として動作する。これら2台のPCをイーサネットで結び、データサーバからUDP経由でブロードキャストされたメッシュ構成の地図データを、クライアント側で、必要に応じてデータチューナで条件に応じて選択して、地図データを一時的にハードディスクに保存し、必要に応じてその地図データの表示を行なう。データの選択の条件は、目的地までの走行経路に関する地図データとし、あらかじめ記録した実際の自動車走行のタイミングに応じて、プッシュデータを保持する方式をとる。

図D.1に位置依存情報のキャッシュ実装のためのシステム構成を示すとともに、各部を説明する。

D.2 各部の構成

プッシュデータサーバ

1台のPC上にタスクの形で実装され、ハードディスク上に保存したメッシュ構成の地図データを、放送プログラム (Broadcast Program) に従って、ネットワークにUDPデータグラムを用いてブロードキャストする。1つの地図データは、一定サイズごとに分割し、送信する。放送プログラムは、プッシュデータサーバが保持している地図データのうち、放送する特定エリアの地図メッシュデータを設定する。また、1つの地図データを分割する際のサイズ、1放送周期を長さもセットする。放送周期はタイマにより設定し、放送プログラムに設定された時間ごとに発生したイベントによりデータの送信が開始する。放送プログラムに記述されたデータの転送を完了すると、その時点で送信を停止し、次のタイマのイベント発生を待つ。これにより、放送周期による送信の帯域を模擬的に調整することができる。

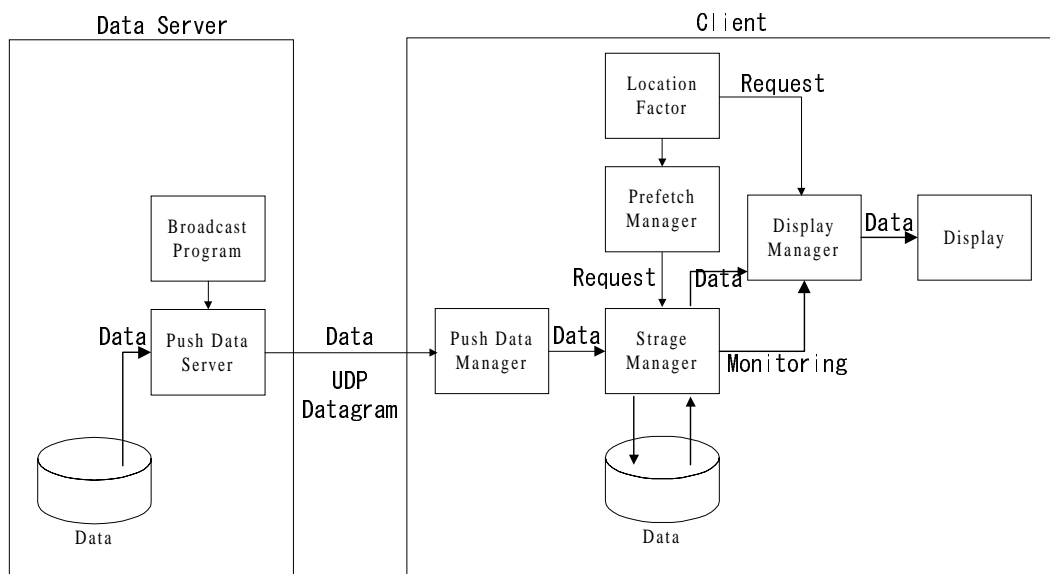


図 D.1 位置依存情報のキャッシュのための実装 .

送信データ

メッシュごとの地図データのサイズはそれぞれ異なるが，送信側，および受信側におけるデータの管理を容易にするため，ヘッダを含め一定のサイズに分割し，送信を行う．1つの地図データを一定サイズごとに分割し，最後にフラグメントが発生する場合はパディングを行い一定サイズに調整している．この分割された地図データに，放送シーケンス番号，地図メッシュ番号，同一メッシュでのシーケンス番号，BCC(Block Check Code)をヘッダ情報として追加して送信する．送信は，イーサネット上のUDPで行うため，データの到着，順序は保証されないため，このヘッダ情報を用いてアプリケーションで保証を行う．

通信ネットワーク

位置依存情報のキャッシュを実現する実際の環境では，パーソナル通信，あるいは，データ放送を想定しているが，ここでは，イーサネット上においてUDP/IPを利用したブロードキャストとする．実装では，Windows上のWinsockを用いて実現する．

D. 位置依存情報のキャッシュの実装

データ放送チューナ

プリフェッチ管理部から得られる情報をもとに、ネットワーク経由でブロードキャストされる地図メッシュデータの中から必要な地図メッシュデータを選択し、キャッシュであるハードディスクに保存する。また、同様に、プリフェッチ管理部からの情報に基づいてハードディスク内にある不必要なデータを消去する役割も担う。BCCの計算により、受信したデータにおいてエラーが含まれている場合は、そのデータをキャッシュに保存することなく破棄する。

位置、経路情報管理部

実環境では、GPS受信機、車速センサ/ジャイロ、推測航法、マップマッチングから現在地を計算し、セットされた目的地までの経路を経路計算プログラムで計算を行なうが、ここでは、模擬的に現在地情報と目的地までの経路情報を設定し、それに基づいた実際の自動車の移動情報をもとに走行をエミュレーションする。

プリフェッチ管理部

位置、経路情報管理部からの情報により、ユーザが必要とするこれから走行する経路の地図メッシュ番号、あるいは、現在地周辺の地図メッシュ番号を計算し、データ放送チューナに伝える。

キャッシュ

ハードディスク上に置かれ、データ放送チューナにおいて選択された地図メッシュデータをファイル形式として保存する。このデータは表示管理部により呼び出され利用される。また、現在地が、地図データの位置からある一定距離離れると、その地図メッシュデータをキャッシュ内から削除する。

表示管理部

位置、経路情報管理部からの現在地情報により、現在地周辺の地図メッシュデータを選択し、表示部へ送る。現在地において表示すべき地図データがキャッシュに存在しない場合は、一定の色で塗りつぶされた空白データを表示部に送るとと

もに，ログを保持する．ある一定時間，必要データを受信できないと，その塗りつぶしの色を変化させることで，経過時間を示す．

表示部

表示管理部から送られる表示のための地図メッシュデータを受けとり，画面に表示を行なう．キャッシュにデータが存在しない場合は表示管理部において一定の色で塗りつぶされた空白データをそのまま表示する．

実行画面例

実際の地図データ表示画面を図D.2に示す．背景に表示部が表示した地図データ，左上がプッシュデータサーバ，右上がデータ放送チューナのアプリケーションプログラムである．プッシュデータサーバは，送信した地図データのシーケンス番号，ファイル名，分割個数，分割時の順番，送信時刻を表示し，放送データチューナは，受信した地図データのシーケンス番号，ファイル名，受信状態，受信時刻を示す．背景画面の一部に地図が表示されていないのは，その部分の地図データがまだ放送されておらず，放送データチューナに到着していないことを示している．表示されていない部分で，色の濃い部分(下段)と色の薄い部分(右側)があるが，これは，表示データを表示する時点からの経過時間の違いによるものである．画面のちょうど中央にある円で囲まれたくさび型のマークが，移動計算機の現在地と移動方向を示しており，自動車の移動に伴いマークが移動すると共に，地図画面が進行方向へスクロールする．

D. 位置依存情報のキャッシュの実装

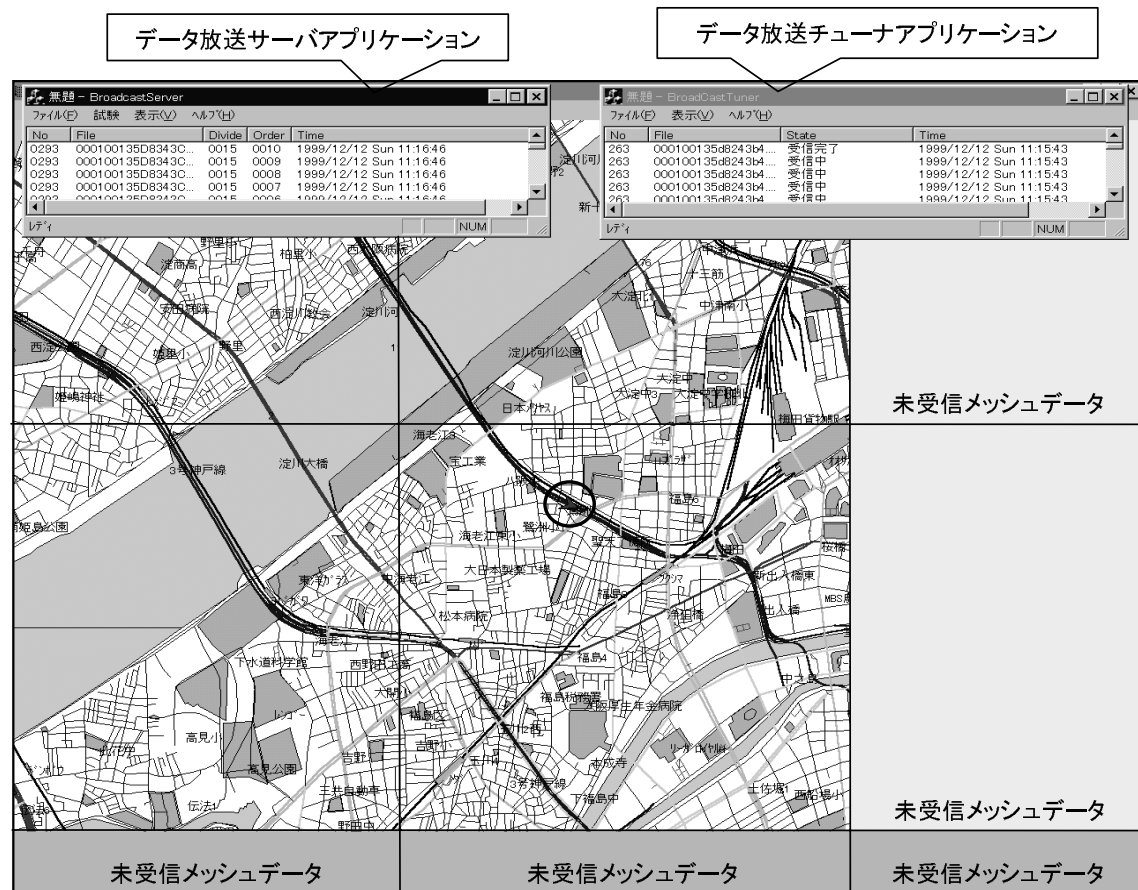


図 D.2 地図表示画面 .

E STRAP通信のシミュレータについて

E.1 構成

専用狭域通信において、断続的に配置された小さなセルを複数利用して、連続的にデータをやりとりするための空間的・時間的資源割り当てプロトコル (STRAP: Spatio-Temporal Resource Allocation Protocol) を評価するためのシミュレータを構築した。交通に関するシミュレーションは、大きく交通流全体を検討するマクロ的なものと、車両1台ごとの動きをそれぞれ検討するミクロ的なものがあるが、ここでは、この移動計算機の挙動と通信時間を計算するために後者の方法を採用し、C言語を用いてシミュレータを作成した。シミュレーションを容易に行うため、道路ネットワークとして単純な等間隔なメッシュ構造とした。

E.2 パラメータ

メッシュサイズ、道路ネットワークに入ってくる移動計算機数、計測時間をパラメータとして設定できる。移動計算機の通信方式は、ブロードキャスト法、地理的放射手法、STRAP1、STRAP2、STRAP3、STRAP1のマルチキャストが選択可能である。

E.3 動作

それぞれの移動計算機が、複数ある道路ネットワーク上の目的地までの最短経路のうち、1つを選択し、グローバルな時刻の経過に伴って移動する。

シミュレータは、移動計算機のモジュールと、道路のモジュールからなる。移動計算機側で決定した経路を、道路側に通知し、各ノードにおいての通信時間を確保する。

移動計算機の移動に伴い、道路ネットワーク上の同じノードに他の移動計算機が存在する場合を考慮し、道路側のノード上での通信時間を計算し、加算する。移動計算機側でも通信時間を計測する。

設定した計測時間が経過した時点で、各ノードにおいて加算された移動計算機それぞれの通信時間を、移動計算機通過に要したのべ時間との比により、それぞ

れの通信方式の通信効率を求める．

E.4 問題点

道路ネットワークの各ノードにおいて，すべての移動計算機の履歴を保持しているため，道路ネットワークのメッシュサイズが大きくなると，シミュレータを実行させるためのメモリサイズが非常に大きなものとなる．

著者研究業績

本論文に関連する研究業績

学術論文

- [1] 佐藤 健哉, 最所 圭三, 福田 晃, “移動経路情報を利用した路車間通信方式のシミュレーションによる評価”, 情報処理学会論文誌, Vol.40, No.10, pp.3792–3800, 1999年10月. 本論文第5章に関連する内容.
- [2] 佐藤 健哉, 最所 圭三, 福田 晃, “STRAP : 移動を考慮した空間的・時間的資源割当てプロトコル”, 情報処理学会論文誌, Vol.40, No.1, pp.76–84, 1999年1月. 本論文第5章に関連する内容.
- [3] 佐藤 健哉, 最所 圭三, 福田 晃, “放送により配信される位置依存情報のキャッシュ方式”, 情報処理学会論文誌 (投稿中). 本論文第4章に関連する内容.
- [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な転送システム”, 情報処理学会論文誌 (投稿中). 本論文第3章に関連する内容.

国際会議

- [1] Kenya Sato, Kazuo Hirano, Keizo Saisho, and Akira Fukuda, “Proposal of an Algorithm for Transmission and Cache of Location Dependent Data for In-Vehicle Computer System”, In *Proceedings of the 6th World Congress on Intelligent Transport Systems (CD-ROM)*, Paper Number 3157, November 1999. 本論文第3章に関連する内容.

- [2] Kenya Sato, Keizo Saisho, and Akira Fukuda, “A Spatio-Temporal Resource Allocation Protocol (STRAP) with Mobility Specification: Simulation and Performance Evaluation”, In *Proceedings of the 2nd ACM International Workshop on Modeling and Simulation of Wireless and Mobile Systems (MSWiM’99) (in conjunction with MOBICOM’99)*, pp.87–94, August 1999. 本論文第5章に関連する内容.
- [3] Kenya Sato, Keizo Saisho, and Akira Fukuda, “A Cache System of Location Dependent Data for a Mobile Computer with Mobility Specification”, In *Proceedings of the 1999 International Conference on Parallel and Distributed Processing Techniques and Applications (PDPTA’99)*, Vol.2, pp.977–983, June 1999. 本論文第4章に関連する内容.
- [4] Kenya Sato, Keizo Saisho, and Akira Fukuda, “Proposal of STRAP: Spatio-Temporal Resource Allocation Protocol with Mobility Specification”, In *Proceedings of the 13th International Conference on Information Networking (ICOIN-13)*, pp. 9B-3.1 – 9B-3.6, January 1999. 本論文第5章に関連する内容.

シンポジウム (査読あり)

- [1] 長谷川 創一, 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に関する考察”, マルチメディア・分散・協調とモバイル (DICOMO’99) シンポジウム 論文集, pp.423–428, 1999年7月. 本論文第3章に関連する内容.
- [2] 佐藤 健哉, 最所 圭三, 福田 晃, “移動を考慮した空間的・時間的資源割り当てプロトコル (STRAP) のシミュレーションによる評価”, マルチメディア・分散・協調とモバイル (DICOMO’98) シンポジウム 論文集, pp.563–570, 1998年7月. DICOMO’98 優秀論文受賞. 本論文第5章に関連する内容.
- [3] 佐藤 健哉, 左近 透, “カーナビのためのモバイルコンピューティング技術”, マルチメディア通信と分散処理ワークショップ 論文集, pp.159–164, 1996年10月. 本論文第1章に関連する内容.

著者研究業績

研究会

- [1] 佐藤 健哉, 最所 圭三, 福田 晃, “移動計画を利用した車載コンピュータにおける位置依存データのキャッシュ方式”, 情報処理学会研究報告, Vol.99-ITS-2, pp.85-92, 1999年6月. 本論文第4章に関連する内容.
- [2] 佐藤 健哉, 最所 圭三, 福田 晃, “移動計算機における位置依存情報のキャッシュ方式に関する考察”, 情報処理学会研究報告, Vol.98-MBL-7, pp.33-38, 1998年12月. 本論文第4章に関連する内容.
- [3] 佐藤 健哉, 最所 圭三, 福田 晃, “移動経路情報を利用したデータ転送方式のシミュレーションによる評価”, 情報処理学会研究報告, Vol.98-MPS-22, pp.1-6, 1998年11月. 本論文第5章に関連する内容.
- [4] 佐藤 健哉, 最所 圭三, 福田 晃, “STRAP:移動を考慮した空間的時的資源割り当てプロトコルに関する考察”, 情報処理学会研究報告, Vol.98-MBL-5, pp.49-54, 1998年5月. 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5章に関連する内容.
- [5] 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”, 情報処理学会研究報告 システムソフトウェアとオペレーティングシステム研究会, pp.55-60, 2000年2月. 本論文第3章に関連する内容.

全国大会

- [1] 佐藤 健哉, 最所 圭三, 福田 晃, “移動を考慮した空間的時的資源割り当てプロトコルの提案とその適応”, 情報処理学会第57回全国大会, Vol.3, pp.564-565, 1998年10月. 本論文第5章に関連する内容.

講演等

- [1] The 4th General Meeting of the IDB Forum, Invited Speech, “Information Management on Vehicular Communication Systems”, February 2000. 本論文第3章および第4章に関連する内容.

- [2] 関西データベース協議会 GIS/電子地図の会 招待講演, “高度道路交通システムにおける次世代通信/放送メディアのGISへの適応”, 平成11年度第5回定例会資料, pp.1-14, 1999年12月. 本論文第3章に関連する内容.
- [3] 平成10年度 情報処理学会 モービルコンピューティング研究会 優秀研究報告賞 受賞講演, “STRAP:移動経路を利用した空間的・時間的資源割り当てプロトコル”, 情報処理学会モービルコンピューティングシンポジウム'99 論文集, Vol.99, No.2, pp.5-7, 1999年9月. 本論文第5章に関連する内容.
- [4] 社団法人自動車技術会 第2回マルチメディア専門委員会 招待講演, “ITSのための移動経路情報を用いた移動体通信アーキテクチャ”, 1999年9月. 本論文全般に関連する内容.

出願特許

- [1] 特願平 11-096681 車載用ナビゲーション装置及び移動データ通信システム . 本論文第3章に関連する内容.
- [2] 特開平 11-146464 路車間データ通信システムに使用する地上通信装置および車載通信装置 . 本論文第5章に関連する内容.
- [3] 特開平 10-243438 車載データ通信装置 . 本論文第5章に関連する内容.
- [4] 特開平 10-197261 車両情報提供システム . 本論文第4章に関連する内容.
- [5] 特開平 10-103993 地図データ送信システム . 本論文第3章に関連する内容.
- [6] 特開平 10-084568 データ通信装置 . 本論文第5章に関連する内容.
- [7] 特開平 10-078901 キャッシュメモリ装置およびキャッシュ制御方法 . 本論文第4章に関連する内容.

著者研究業績

その他の研究業績

大学・研究所等紀要

- [1] Kenya Sato, Toru Sakon, Takumi Asaina, Kenji Kawamura, Hiroshi Okada, Toru Murase, and Tamaki Yamada. “Development of a New Platform for Car Navigation Systems”, *Sumitomo Electric Technical Review*, Number 42, pp.34–39, June 1996.
- [2] 佐藤 健哉, 左近 透, 朝夷名 巧, 川村 憲司, 岡田 宏, 村瀬 亨, 山田 環, “自動車用ナビゲーションシステムの新プラットフォームの開発”, 住友電気, Vol.148, pp.37–41, 1996年3月.
- [3] 山岸 健太郎, 山下 和寿, 佐藤 健哉, 小城 邦夫, 高橋 弘, 野田 雅紀, “3次元グラフィックスアクセラレータの開発”, 住友電気, Vol.140, pp.83–90, 1992年3月.

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”, マルチメディア・分散・協調とモバイル (DICOMO'99) シンポジウム 論文集, pp.309–314, 1999年7月.

研究会

- [1] Kenya Sato, and David R. Cheriton, “Implementation and Evaluation of the Structured Data Cache for Prefetching and Pre-Invalidation”, Stanford University Distributed Systems Meeting, January 1993.

全国大会

- [1] 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年10月.

- [2] 佐藤 健哉, 高橋 弘, “2 プロセッサ構成によるグラフィックパイプラインの最適化”, 情報処理学会第41回全国大会, Vol.2, pp.267-268, 1990年9月.

出願特許

- [1] 特願平 11-160893 車載用制御方法および車載用表示装置
- [2] 特開平 09-128265 リモコン信号受信装置
- [3] 特開平 09-084007 画像データ通信装置
- [4] 特開平 05-127861 画像処理システム
- [5] 特開平 05-128265 画像処理装置
- [6] 特開平 04-235954 データ処理装置
- [7] 実開平 04-079395 マルチウインドウの表示装置
- [8] 特開平 03-244064 データ処理装置
- [9] 特開平 03-073054 情報処理装置
- [10] 特開平 02-275581 図形データ処理方式
- [11] 特開平 02-201568 データ処理装置
- [12] 特開平 02-118780 ラスター画像の矩形領域演算装置
- [13] 特開平 02-064777 画像表示装置
- [14] 特開平 01-188927 ディスプレイ装置