

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

佐藤 健哉^{†,††} 最所 圭三^{††} 福田 晃^{††}

無線によるパーソナル移動通信技術の発展や、計算機ハードウェアの小型化などにより、携帯情報端末が広く普及するとともに、移動計算機環境に対する研究が積極的に行われている。一般に、移動計算機は、通信帯域が狭く不安定で、メモリ資源が小さい場合が多い。固定ホスト上のデータベースを、ユーザが効率良く利用するためには、移動計算機に提供されるデータを、的確なタイミングで、必要最小限キャッシュするための、プリフェッチ、インバリデートの技術が重要となる。そのため、固定ホストから移動計算機に提供するデータをキャッシュする様々な方式が提案されている。一方、最近、マイクロソフトの Auto PC、インテルの Connected Car PC など、自動車における計算機の役割がいくつか提案されている。本研究では、自動車に搭載された計算機(移動計算機)からよく利用されるデータを位置依存情報に特定し、移動計算機の移動経路情報を利用することで、通信の帯域とメモリ領域の問題を軽減するための方式を考察する。

An Effective Cache Algorithm for Location Dependent Data on Mobile Hosts with Mobility Specification

KENYA SATO,^{†,††} KEIZO SAISHO^{††} and AKIRA FUKUDA^{††}

The rapidly expanding technology of portable personalized computing devices and wireless data networks has recently given mobile users capability of accessing many kinds of data. There is a large body of related work for mobile computing environments. The common problems on these systems are network connectivity, bandwidth, and latency. Small size of memory on mobile hosts is another subject for consideration. The important techniques for addressing the problems are prefetching and invalidation of cache data in the systems to make use of databases in fixed hosts. Therefore, many ideas with respect to cache systems in mobile hosts, have been proposed. Meanwhile, Auto PC by Microsoft Corp., Connected Car PC by Intel Corp., and so on have been announced as a platform of in-vehicle computer systems. Our consideration in this paper to approach the problem is a new cache algorithm by using mobility specification of mobile hosts for accessing location dependent data that are much used in the systems.

1. はじめに

無線によるパーソナル移動通信技術の発展や、計算機ハードウェアの小型化などにより、携帯情報端末が広く普及してきている。一般に、固定ホストと比較して、移動計算機はメモリ資源が少なく、接続するネットワークの帯域は、狭く不安定である場合が多い。そこで、データベースを持つ固定ホストから移動計算機に提供されるデータを、的確なタイミングで、必要最小限キャッシュしておくことが必要である。そのため、プリフェッチを利用したデータに対するアクセス時間

の削減、小さなキャッシュサイズを有効利用できる効率的なインバリデートなどの技術が重要となる。

このような状況のもと、固定ホストから移動計算機に提供するデータをキャッシュする様々な方式が提案されている。一般にキャッシュ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、ブロードキャストとして放送されるデータの中から、必要なデータをキャッシュしておく方法として、PIX 法、PT 法を提案している¹⁾。PIX 法は、 $(P: \text{アクセス確率}) / (X: \text{ブロードキャスト周期})$ が最小となるキャッシュされたデータを入れ替えるもので、PT 法は、 $(P: \text{アクセス確率}) * (T: \text{次のブロードキャストまでの時間})$ が最小になるデータを入れ替えるものである。しかし、これらの方法は、一般的にアクセス確率が不明であるため、実環境において利用するには非現実的である。

[†] 住友電気工業株式会社 ITS 研究所
ITS Laboratories, Sumitomo Electric Industries, Ltd.

^{††} 奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科
Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology

Barbaraらは、ブロードキャストにおいての方式をシンクロナス/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²⁾。Jingらは、インバリデートするためのメッセージ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³⁾。これらの方式は、一般的な情報には適しているが、情報が位置に依存するようなデータを、移動計算機が受け取る場合には、必ずしも有効ではない。

これとは別に、最近、マイクロソフトのAuto PC⁴⁾、インテルのConnected Car PC⁵⁾、IBM、Sun Microsystems、Netscape、Delcoによって開発されたNetwork Vehicle⁶⁾、Daimler-BenzのInternet-on-wheels concept⁷⁾、Wideプロジェクトのインターネットカー⁸⁾など、自動車における計算機の様々な役割が提案されている。また、日本の自動車メーカなども、自動車向けに様々なサービスを提案している。たとえば、トヨタのMONET⁹⁾、日産のコンパスリンク¹⁰⁾、ホンダのインターナビ¹¹⁾、ダイハツのドライブインフォメーションシステム¹²⁾、あるいはソニーなどのモバイルリンク¹³⁾が挙げられる。一方、我々は、自動車側の情報を利用し、帯域が狭い移動計算機の通信を効率良く行うため、移動計算機に対して、移動経路上にある中継基地局と移動計算機間の通信帯域を割り当てるための空間的・時間的資源割り当てプロトコル(STRAP)を提案してきた¹⁴⁾。加えて、ここ数年、ITS(Intelligent Transport Systems)に関する技術や提案¹⁵⁾が非常に注目を集めている。これら数多くのシステムが提案されていることから分かるように、自動車において、外部の情報の入手に関する技術が、重要度を増している¹⁶⁾。

本研究では、カーナビゲーションシステムやITS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計算機(移動計算機)の移動経路情報を利用することで、従来、一般的な移動計算機において、通信の帯域が狭く、不安定で、また、データをキャッシュするためのメモリ領域が小さいという問題を軽減するための方式を提案する。ここでは、移動計算機が、位置依存情報に関するデータをキャッシュする場合、データに対応する位置と、移動計算機の位置および進行経路とを比較することにより、従来より効率の良いキャッシュのプリフェッチ、インバリデートの方式を考察する。具体的なアプ

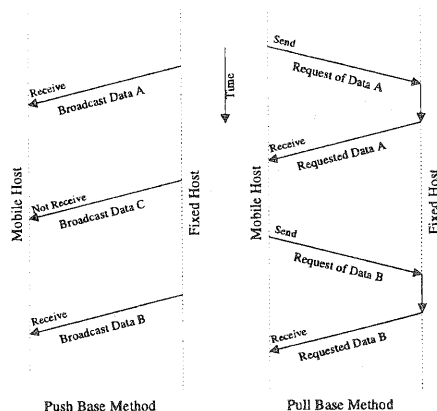


図1 データ提供方式(プッシュベースとプルベース)
Fig. 1 Data Delivery Methods (Push Base and Pull Base)

リケーションとしてとして、移動する自動車から、交通情報、天気予報、周辺の病院やレストランの情報、あるいは、道路地図などを得る場合を想定している。また、通信手段として、携帯電話、FMデータ多重放送、衛星データ放送、VICS(Vehicle Information and Communication System)¹⁷⁾の電波・光ビーコン通信などを対象としている。

2. データ通信方式と移動計画

2.1 データ通信方式

一般に、固定ホストから無線通信を利用して移動計算機にデータを提供する方法として、図1で示すようにプッシュベースとプルベースによる2つの手法がある。プッシュベースとは、固定ホストからブロードキャスト(あるいはマルチキャスト)で複数の移動計算機にデータを一方的に提供し、移動計算機側で必要なデータを選択する手法である。具体的には、FMデータ多重放送などの放送による提供手段である。移動計算機から固定ホストに対しての通信手段が不要であるが、移動計算機にとって必要な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、移動計算機から固定ホストに対し、明示的に移動計算機が必要なデータの要求を出して、その応答としてデータを得る方式で、携帯電話などの通信手段を利用してデータを入手する場合である。この場合、移動計算機は、データが必要になった時点で、要求を送りそのデータを入手できる。要求を送ってから、データを受け取るまでの遅延のほかに、それぞれの移動計算機が固定ホストに対しての通信路を確保する必要があり、要求を出すタイミングの設定が重要となる。ここで提案する

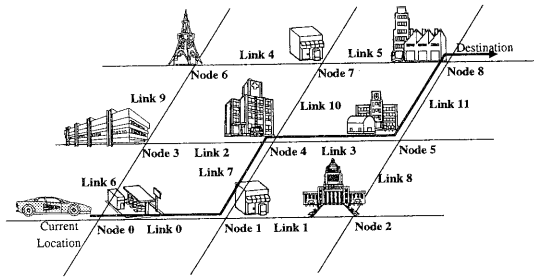


図2 移動計算機の移動と移動経路網

Fig. 2 Movement of the Mobile Hosts on Road Network

キャッシュは、プッシュベース、プルベースのどちらにでも適応が可能な手法を検討している。

2.2 移動経路網

自動車が行走する道路ということ念頭に入れ、図2のような移動経路網のモデルを設定する。移動経路網において、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、ノード間をリンクで結ぶ構成を採る。自動車に搭載された移動計算機は、移動経路網のリンクに沿って移動し、ノードにおいて直進するか、左右に曲がることにより、次に移動するリンクを選択する。移動計算機は、移動中に、移動経路網上にある施設のデータを入手し、利用する。この図では、現在位置にある移動計算機は、ノード0からリンク0を走行し、ノード1に到着する。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、移動経路網のどの地点においてでも通信は可能があるが、プッシュベースの場合は、ブロードキャストされるデータの中から、必要なデータを選択して取得し、プルベースの場合は、ある地点に必要な情報の要求を出し、その情報を受けとる、

2.3 移動計画

移動計算機は以下の機器を搭載しており、現在地、時刻、移動方向、および移動経路を検知することができるものとする。

- GPS (Global Positioning System) 受信機:これにより移動計算機が、現在、地球上のどの位置にあるかを測位することができる。
- 移動経路網データ:GPSの測位データには通常、誤差が含まれている。そのため、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、移動した経路と移動経路網データを照合することで正確な位置を判定する。
- 時計:GPS衛星に搭載されている原子時計をもと

表1 移動計画

Table 1 Mobility Specification

Predicted Route	Predicted Time
Node 0 (Current Location)	$t0 (\Delta t0)$
Link 1	$T1 (= t1 - t0)$
Node 1	$t1 (\Delta t1)$
Link 9	$T9 (= t4 - t1)$
Node 4	$t4 (\Delta t4)$
Link 4	$T4 (= t5 - t4)$
Node 5	$t5 (\Delta t5)$
Link 11	$T11 (= t8 - t5)$
Node 8 (Destination)	$t8 (\Delta t8)$

t : Time when MH arrives at a node,

Δt : Period of time while MH goes through a node,

T : Period of time while MH goes through a link

に、移動計算機において、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:移動計算機がどちらの方向にどれだけの速度で移動しているかを測定することができる。
- 経路計算プログラム:移動計画は、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のような経路をたどる場合、表1のような移動計画を作成する。

通過時間は動的に変化する場合もあり、それに伴って、移動計画も変更される。また、最短経路でなくても、ユーザ自身があらかじめ自由に経路を設定し、それによって移動計算機を誘導することも可能である。

2.4 位置依存情報

一般に、自動車に搭載されている移動計算機を用いて、ユーザが移動中に利用するデータは、図2上にあるようなガソリンスタンド、コンビニ、レストラン、病院などの道路上の施設、あるいは、地図データそのもの、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と呼ぶ。

3. 位置依存情報のためのキャッシュアルゴリズム

本研究における位置依存情報に関するデータのキャッシュへのプリフェッチ、インバリデートのアルゴリズムに関して説明する。移動計算機の経路は、通常、前章で説明したように直線ではないが、説明を簡単にするため、本章では移動計算機の経路を直線として図示

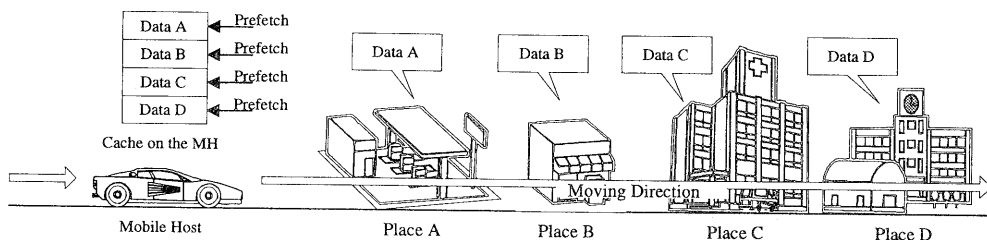


図3 移動計算機上のキャッシュへのプリフェッチ
Fig. 3 Prefetch Data on Mobile Cache

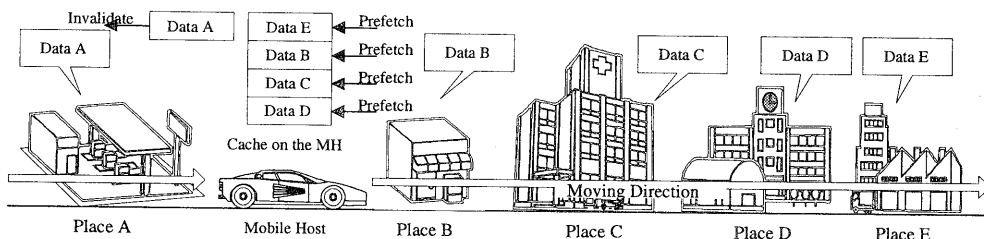


図4 移動計算機上のキャッシュデータのインバリデート
Fig. 4 Invalidation Data on Mobile Cache

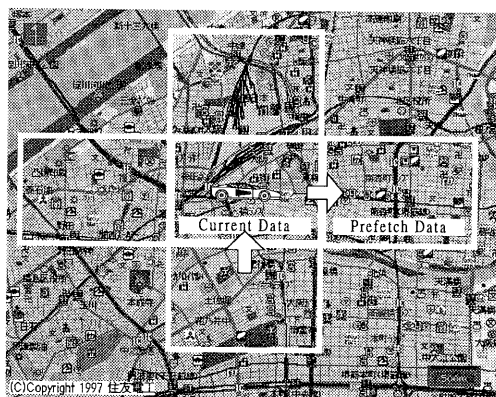


図5 地図データのプリフェッチ
Fig. 5 Prefetch of Map Data

する。移動計算機が要求するデータは、無線通信を用いて、固定ホストより入手する。ここでのキャッシュアルゴリズムにおいて、データ入手方法は、プッシュベース、プルベースの両方式に適用することができる手法を考える。たとえば、プッシュの場合、ブロードキャストされるデータの中から必要なものを選択してキャッシュし、プルの場合、ある地点で自動的にデータ要求することでデータを入手し、それをキャッシュするものである。

3.1 プリフェッチ

図3に示すように、移動計算機(MH)が図中の矢印

のように移動し、移動経路方向の前方にある施設 A, B, C, D に関する情報であるデータ A, B, C, D を取得し利用する。ここで提案しているプリフェッチを用いた手法の場合、移動計算機が施設に近づいたある地点で、ユーザがデータを要求する以前に自動的にデータをキャッシュするものである。プッシュベースの場合は、放送されたデータの中から、移動計算機前方にある施設のデータをあらかじめキャッシュ内に保持しておく。また、プルベースの場合は、ある地点で、移動計算機が自動的に要求を出し、そのデータを入手しキャッシュに保持する。ここでは、キャッシュサイズは4データ分としており、移動計算機前方の4つの施設のデータを、移動計算機がその施設に近づいた段階でキャッシュ内に取り込む。このようにユーザが必要なデータをあらかじめ、ユーザが利用する前に入手しておくことで、ユーザからのデータ要求に対して、データはすでにキャッシュ内に存在するため、アクセス時間を短縮することができる。図3では施設に関するデータについて説明したが、図5に示すように詳細な地図データの入手にも利用することが可能である。

3.2 インバリデート

データのインバリデートに関して、図4を用いて説明する。キャッシュサイズが4データ分で、キャッシュ内にデータ A, B, C, D, 4つのデータが保持されているとする。図中矢印方向に移動計算機が移動し、施

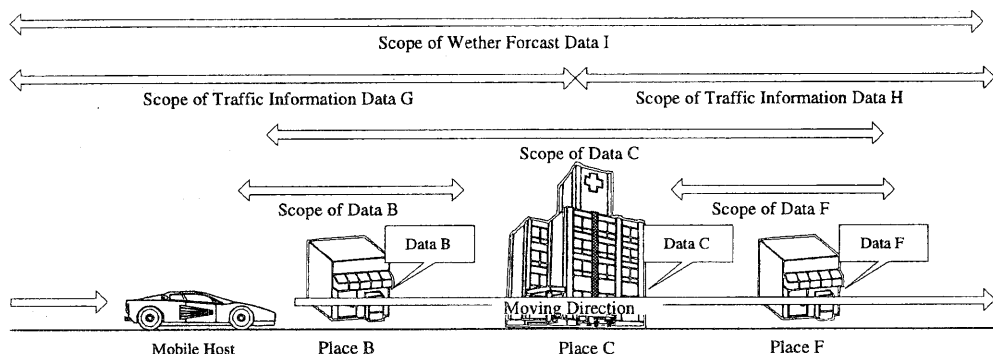


図6 位置依存情報の地理的スコープ
Fig. 6 Geographic Scope of Location Data

設Aの位置を通過し、さらに移動を続ける。次に、ある地点でデータEをプリフェッチする場合、データA, B, C, Dのうち、どれかをインバリデートする必要がある。データは施設が移動計算機に近い方で入手されるため、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。通常、よく利用されるキャッシュアルゴリズムの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をインバリデートすることになる。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をインバリデートすると、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URLで管理すると効率が悪い。

ここで提案するアルゴリズムでは、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れる確率が低いと判断し、インバリデートする。また、次に移動計算機の経路上、最も遠くにあるものをインバリデートする。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アルゴリズムを利用したほうがキャッシュの効率が良いと考えられる。

3.3 データの地理的スコープ

本章のこれまでの説明においては、データが依存する施設の位置のみを対象とし、データの地理的有効範囲を特に規定することなくキャッシュしていたが、実際の状況によっては、データを特定の地点で示すより、

有効範囲を持たせたほうが効率よく処理できる場合が考えられる。たとえば、位置依存情報では、施設のデータ以外に、地図データ、交通情報、天気予報などのデータが考えられ、施設のデータは、その施設の周辺において必要となるが、天気予報はより広範囲でそのデータが有効となる。ここでは、データの地理的な有効範囲をスコープと呼ぶ。図6に示すように、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。このスコープ内に移動計算機が存在する場合は、移動計算機内におい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、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。このスコープを用いて、位置依存情報を扱うことで、移動計算機の位置と施設の位置関係を特定することができ、キャッシュデータのプリフェッチ、インバリデートの指標とすることができる。

3.4 移動計画からの逸脱

移動計算機は、移動計画で設定された経路に基づいて移動すると仮定しているが、状況によってはその経路から逸脱することもある。その場合でも、目的地はあらかじめ設定されているので、この条件をもとに、移動計算機が経路から逸脱する確率を設定する。たとえば、図7に示すように移動計算機の経路と目的地が設定されている場合、移動計算機がノード5に経路を取る確率を0.4、ノード7を0.3、ノード3を0.2、ノード1を0.1といったように設定する。これは、1) 移動計算機が移動計画で設定された方向、2) 目的地方

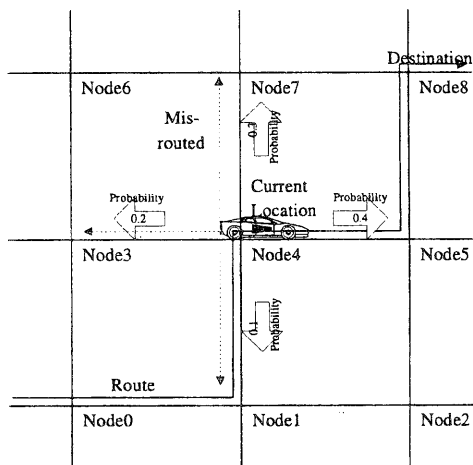


図7 移動経路への進行の確率
Fig. 7 Probability of Selection of Moving Directions

向ではあるが設定経路から逸れる方向、3) 移動してきた経路以外の目的地から離れる方向、4) 移動してきた経路をUターンして引き返す方向の順に確率が低くなるように値を設定している。この確率をもとに、キャッシュしているデータをブリフエッチ、インバリデートする際の指標とすることで、キャッシュの効率が高くなると考えられる。

4. ま と め

カーナビゲーションシステムやITS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計算機(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キャッシュする場合の新たな方式を考察した。

本方式では、1) 進行方向にある施設のデータを、移動計算機がその施設に近づくタイミングでブリフエッチする、2) 移動計算機が通過した施設のデータを最優先でインバリデートを行うことで、通常よく利用されるLRU等のアルゴリズムよりも効率が良いと考えられる。これに、位置依存情報の地理的有効範囲であるスコープを利用することで、データの有効性に対して位置によって異なる設定を行うことが可能となる。また、移動計画に基づく経路から移動計算機が逸脱する場合も考えられ、これに対しては、経路逸脱の確率の概念を追加することで対処できる。今後は、移動計算機環境のモデルを設定し、シミュレーションを用いて、これらのアルゴリズムを定量的に評価している予定である。

参 考 文 献

- 1) Acharya, S., Alonso, R., Franklin, M., Zdonik, S. : Broadcast Disks: data management for asymmetric communication environments, Proceedings of ACM SIGMOD International Conference on Management of Data, Vol. 24, No. 2, pp./ 199-210 (1995).
- 2) Barbara, D., Imielinski, T. : Sleepers and workaholics: Caching strategies in mobile environments, Proceedings of ACM SIGMOD International Conference on Management of Data, Vol. 23, No. 2, pp./ 1-12 (1994).
- 3) 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.
- 4) Auto PC Web Site, <http://www.microsoft.com/windowsce/autopc>
- 5) Connected Car PC Technology, <http://www.intel.com/technology/carpc>
- 6) The Network Vehicle, <http://www.alphaWorks.ibm.com/networkvehicle/index.html>
- 7) Jamel, A., Stuempfle, M., Fuchs, A., : Web on Wheels: Toward Internet-Enable Cars, IEEE Computer, Vol. 31, No. 1, pp./ 69-76 (1998).
- 8) SFC オープンリサーチフォーラム'97 説明会, <http://www.kris.sfc.keio.ac.jp/ORF97/ohp/index.html>
- 9) MONET, <http://www.tms.ne.jp/>
- 10) COMPASSLINK 情報センターへようこそ, <http://www.compasslink.co.jp/cplweb/>
- 11) INTER NAVI SYSTEM INDEX, <http://www.internavi.ne.jp/index.html>
- 12) ドライブインフォメーション, <http://www.driveinfo.or.jp/>
- 13) MobileLink, <http://www.mobilelink.or.jp/pc.html>
- 14) 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, DICOMO'98 シンポジウム論文集, pp. 563-570 (1998).
- 15) Japanese Ministry of Construction ITS Homepage, <http://www.nihon.net/ITS/>
- 16) 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, 情報処理学会 マルチメディア通信と分散処理ワークショップ論文集 Vol. 96, No. 1, pp. 159-164 (1996).
- 17) Mizoguchi, M. : VICS Strategy and Deployment Plan, Proc. of 2nd World Congress on Intelligent Transport Systems 95, Vol. 5, pp. 2618-2621 (1995).