

# 放送により配信される位置依存情報のキャッシュ方式

佐藤 健哉<sup>†</sup>, 最所 圭三<sup>†</sup>, 福田 晃<sup>†</sup>

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に向けて、高度道路交通システム (ITS) の研究が世界的に行われている。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 (車載情報機器) がすでに複数提案されている。これらのシステムで利用されている通信手段は、携帯電話が一般的であるが、通信帯域が狭いため、十分に性能を発揮することができず、また、通信費用が比較的高価であるため、普及の妨げになっていると考えられる。一方、このような車載情報機器に対しての情報提供手段として、近い将来、地上波あるいは衛星のデジタル放送が実用化される見通しとなっている。これらは比較的帯域が広く、一般に通信費用が安いといった特長を持っているが、単方向の周期的な情報配信であるため、ユーザに必要なデータが放送されるまで待つ必要がある。このような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となる。放送データをキャッシュするためのさまざまな手法が提案されているが、本論文では、車載情報機器で利用されるデータは、位置に依存した情報が多いという環境において、移動計画を用いることで、位置依存情報を効率良くプリフェッチ、リプレースするためのキャッシュ方式を提案するとともに、キャッシュサイズをパラメータとして、この方式におけるデータアクセスに対してのペナルティの評価を行う。また、放送を模擬したシステムの実装を行い、車載情報機器に対しての地図データの配信において、本方式が有効に動作することを確認する。

## A Caching Algorithm for Location-aware Information Disseminated through Broadcast Media

KENYA SATO,<sup>†</sup> KEIZO SAISHO,<sup>†</sup> and AKIRA FUKUDA<sup>†</sup>

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. Some platforms of in-vehicle computer systems with mobile communication capability, have been proposed recently. A common mobile communication method of these systems is a cellular phone network, which is relatively slow. Meanwhile, high performance and low cost 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. However, broadcast delivery methods have the drawback that clients need to wait for the required data items to appear on the broadcast channel. In this paper, we propose a cache system to reduce the waiting time specially for location-aware information that are often managed on in-vehicle computers. With the cache system, a data item is prefetched and replaced at an appropriate timing according to the mobility specification. We numerically evaluate the cache system on a model close to the traffic road environment. We also implement the cache system to disseminate geographic map data to in-vehicle computer systems.

### 1. はじめに

カーナビゲーションシステムの機能がますます高度になり<sup>1)</sup>、また、マイクロソフトの AutoPC<sup>2)</sup>、インテル

の Connected Car PC<sup>3)</sup>、IBM、Sun Microsystems などによって開発された Network Vehicle<sup>4)</sup>、Wideプロジェクトのインターネットカー<sup>6)</sup>などに見られるように、高度道路交通システム (ITS: Intelligent Transport Systems)<sup>7)</sup>の一環として、自動車にコンピュータを搭載し、安全で快適な運転環境をドライバあるいは同乗者に提供するためのシステムが提案されている。また、日本の自動車メーカーも、自動車向けにさまざまなサービスを提供している。具体的には、トヨタの MONET<sup>8)</sup>、日産のコンパスリンク<sup>9)</sup>、ホンダのイ

<sup>†</sup> 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  
現在、株式会社ハーネス総合技術研究所  
Presently with Harness System Technologies Research  
現在、香川大学工学部信頼性情報システム工学科  
Presently with Kagawa University

ンターナビ<sup>10)</sup>といったサービスがあげられる。これらのシステムは、自動車に搭載された移動計算機(車載情報機器)で情報を取得する手段として、携帯電話を利用するのが一般的である。しかし、携帯電話は比較的通信帯域が狭いため、車載情報機器の性能を十分に発揮することができず、また、通信費用が比較的高価であることも普及を妨げる一因となっている。一方、2001年にSバンド衛星デジタル放送、2003年に地上波デジタル放送が実用化される見通しとなっている。これらは帯域が広く、一般に通信費用が安いといった特長を持っており、車載情報機器に対しての情報提供手段になると考えられる。しかし、放送による情報提供は、単方向で周期的に行われるため、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。このような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となる。ユーザに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なくすることができる。

キャッシュでは、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に依存する。放送データをキャッシュするという手法は特に新しいものではなく、現在までにさまざまな提案がなされている。一般に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、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<sup>13)</sup>。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、 $(P: \text{アクセス確率}) * (T: \text{次の放送までの時間})$ が最小と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。Barbaraらは、放送における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<sup>14)</sup>。Jingらは、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<sup>15)</sup>。これらの方式は、車載情報機器で利用される位置に依存する情報を受け取る場合には、必ずしも有効ではない。

本論文では、車載情報機器で利用されるデータは、位置に依存した情報が多いという環境において、これに適したキャッシュ方式<sup>16)~18)</sup>を提案する。自動車に搭載された移動計算機があらかじめ設定した経路に従って移動するという条件のもと、ユーザが利用する以前に、移動計算機が移動する経路上にある位置依存情報をあらかじめ取得することで、ユーザのデータアクセスに対する待ち時間を見かけ上なくすることができる。また、データが依存している位置を移動計算機が通過した後にそのデータを入れ替えの対象とすることで、キャッシュの利用効率を高めることも可能である。これらの提案方式を検討するため、移動計算機が道路ネットワーク上を現在地から目的地まで移動する際に、その経路上にある位置依存情報を利用する場合、キャッシュサイズをパラメータとし、データアクセスに対する平均待ち時間を計算することで評価を行う。また、放送を模擬したシステムの実装を行い、有効に動作することを確認する。

## 2. データ配信手法

### 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して、図1に示す道路ネットワークモデルを設定する。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とる。ここでは、移動計算機が移動する経路のモデルを単純化して、直線のリンクで構成された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。移動計算機がこのモデルの上を移動するうえで、必ずリンクに沿って移動し、移

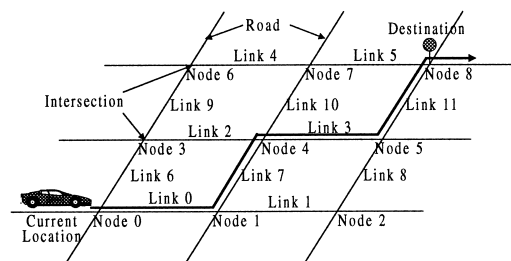


図1 道路ネットワークモデル  
Fig. 1 Road network model.

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1において、現在地にある自動計算機は、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において左折し、リンク7、ノード4、リンク3、ノード5、リンク11を通過し、ノード8の目的地に到着する。

## 2.2 移動計画 (Mobility Specification)

現在利用されているカーナビゲーションシステムなどの車載情報機器では、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最適経路、各地点の通過時間、および目的地への到着時間を求める。本研究で検討する移動計算機も、同様の情報を利用可能とする。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<sup>11)</sup>。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<sup>12)</sup>。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1のような経路をたどる場合、表1のような移動計画となる。

## 2.3 データ配信方式

一般に、無線を利用して移動計算機にデータを提供

表1 移動計画の例

Table 1 Example of Mobility Specification.

Predicted Route	Predicted Time
Node 0 (Current Location)	$t_0 (\Delta t_0)$
Link 0	$T_0 (= t_1 - t_0)$
Node 1	$t_1 (\Delta t_1)$
Link 7	$T_7 (= t_4 - t_1)$
Node 4	$t_4 (\Delta t_4)$
Link 3	$T_3 (= t_5 - t_4)$
Node 5	$t_5 (\Delta t_5)$
Link 11	$T_{11} (= t_8 - t_5)$
Node 8 (Destination)	$t_8 (\Delta t_8)$

$t$ : Time when an MH arrives at a node

$\Delta t$ : Period of time for an MH to pass through a node

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

する方式として、ブロードキャスト方式とオンデマンド方式による2つのデータ配信方式がある。ブロードキャスト方式とは、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を保持しているサーバ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、そのデータが放送されるまでの遅延時間が発生する欠点がある。一方、オンデマンド方式は、移動計算機からサーバに対し、明示的に必要なデータの要求を出し、その応答としてデータを取得する方式である。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った後、その必要なデータを受けとるまでに伝送などの遅延が発生する。この遅延時間を減らすためには、要求を出すタイミングの設定を前もって考慮し、かつ、それぞれの移動計算機が通信を行うための通信路を確保することで対応可能となる。

本論文では、移動計算機において、今後、有力な通信手段となる放送を利用したブロードキャスト方式の配信をもとにキャッシュ方式の検討を進めるが、携帯電話などのオンデマンド方式の配信にも適応が可能である。

## 2.4 位置依存情報とそのスコープ

自動車に搭載された移動計算機において、ユーザが移動中によく利用するデータとして、図2に示すような、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、地図データといった位置依存情報がある。

位置依存情報は、地理的に配置されている地点を基

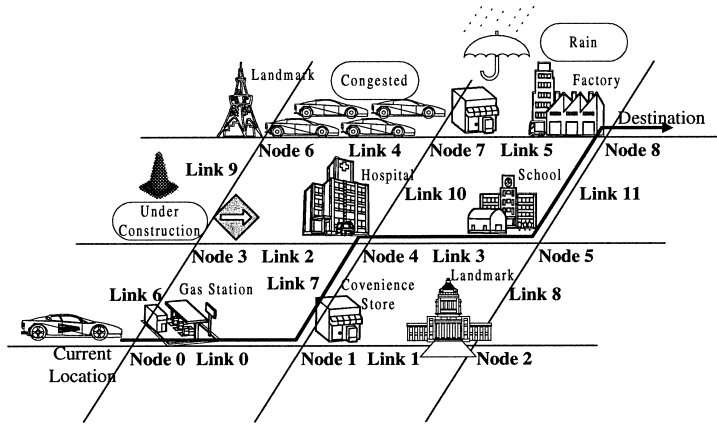


図2 位置依存情報

Fig. 2 Location-aware information.

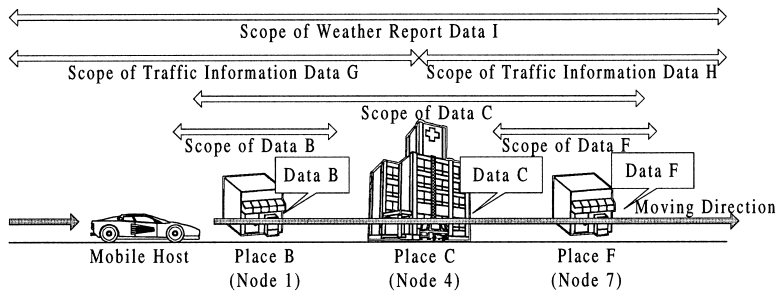


図3 位置依存情報のスコープ

Fig. 3 Scope of each location-aware information.

準点として持つ情報であり、この基準点を利用して地理的な表現、判定を行うことができる。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近傍において利用価値がある。そこで、位置依存情報にスコープという、データの利用価値がある地理的な有効範囲の概念を追加する。たとえば、図3において施設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。移動計算機の移動にともない、移動計算機がそのスコープ内に入った場合は、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。

天気予報や地図データは地理的にその有効範囲が比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。スコープ決定

に際し、同じ内容の施設の配置や、その施設の商業圏などを利用することは可能であるが、ここでは、特にスコープの決定方法を規定しない。

### 3. 提案方式(プリフェッチとリプレース)

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い場合は、放送によりそのデータが配信されるのを待つ必要がある。一般に、ブロードキャスト方式の場合は、平均してユーザが必要とするデータの放送周期の1/2の時間を待つ必要がある。そこで、見かけ上の待ち時間をなくすために、前もってデータをプリフェッチする必要がある。しかし、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替え(リプレース)を行う必要がある。図2で示した道路ネットワークを移動計算機が矢印に従って移動する場合を考える。道路ネットワークには、位置依存情報が配置されており、

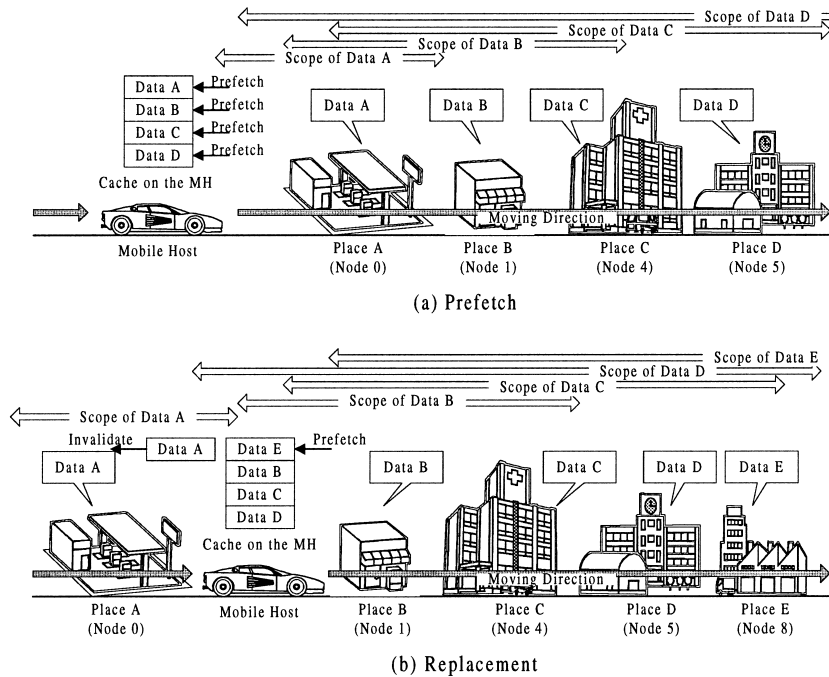


図4 キャッシュデータのプリフェッチとリプレース  
Fig. 4 Prefetching and replacement.

移動する移動計算機は、移動経路にある情報を利用する。この状況のもと、図4を用いてプリフェッチ、リプレースの方式を説明する。移動計算機の経路は、図2では直線ではないが、説明を簡単に行うため、図4では、この経路を直線として扱っている。

一般に、キャッシュを利用する場合の問題点として、キャッシュの内容が最新かどうかという問題がある。しかし、あるタイミングで能動的にデータを取得し保持する一般的なプロセッサやディスクに利用されるキャッシュと異なり、放送を利用して配信されるデータのキャッシュは受動的であり、データが放送された際につねにキャッシュ内のデータを更新することが可能である。したがって、最後に放送されたデータを最新とするなら、キャッシュ内のデータはつねに最新となる。

一方で、放送側だけで内部データが更新されていても、受信側のキャッシュ内のデータが更新されず、そのデータが放送されるまで、更新のための待ち時間が発生する。この時間を短くする手法として、1) データが更新された時点で周期に関係なく更新データを放送する、2) 更新頻度の高いデータを頻繁に放送する、などいくつかの方法<sup>19)</sup>が提案されている。ただ、多くのユーザが多様なデータを受信する場合、データごとに周期を変更する方策は得策ではない。ここでは、車

載機器への一般情報の配信という前提のため、各データの放送周期は一定とし、特にデータ更新までの時間を問題としないものとする。

### 3.1 プリフェッチ

ここで提案するプリフェッチは、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から一定距離に近付いた時点で、放送されたデータの中から、あらかじめそのデータを選択し、保持しておくものである。移動計算機が対象物のスコープから一定距離に近付い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(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なくすることができる．

### 3.2 リプレース

データのリプレースに関して、図 4 (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 のスコープから一定距離に近付いた時点で、さらにデータ E のプリフェッチを試みる．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トする必要がある．移動計算機は、施設 A の位置を通過し、移動計画に従って移動し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、施設が移動計算機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 をインバリデートすることになる．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 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れる確率が低いと判断し、インバリデートするため、図 4 (b) 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．

ここでプリフェッチとリプレースの手順を図 5 に

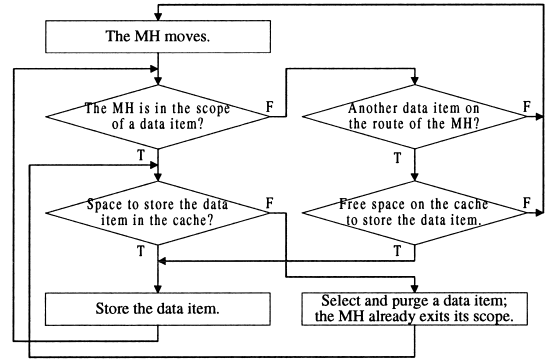


図 5 キャッシュ手順

Fig. 5 Procedure of caching data.

まとめる．

## 4. キャッシュ方式の評価

### 4.1 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平均を、数値的計算を用いて求める．

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．

### 4.2 評価モデル

図 2 に示すようなモデルを用いて、プリフェッチ方式、および、リプレース方式の評価を行う．

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 つのプリフェッチのデータ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．また、リプレース方式の評価として、通常の LRU の場合と、ここで提案するリプレース方式における、データ取得までの平均待ち時間を基準と

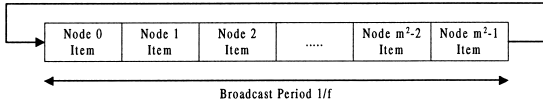


図6 データ放送方式(フラット構成)

Fig. 6 Broadcast method (flat organization).

してそれぞれの方式の評価を行う。

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  $m \times m$  ノードの単純なメッシュ構成とし、ノード間のリンクの長さは等距離で  $l$  とする。それぞれのノードに位置依存情報が付随しているとする。
- 移動計算機は、道路ネットワークの1つのコーナ(始点)より進入し、対角線上のコーナを目的地(終点)とする。移動計算機はこ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情報があり、そのデータが図6で示すようなフラット構成で放送される。データはすべて同一サイズ  $S_{data}$  とし、放送周期を  $T$  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  $T/2$  である。移動計算機は、移動中に通過するすべてのノードのデータを利用する。位置依存情報のスコープは、リンク長の  $1/2$  を半径としノードを中心とする円形とする。
- 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リプレース対象として、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。
- 無作為データ選択、周辺データ選択、経路データ選択のプリフェッチ方式を比較する。この際、リプレース方式は最適とする。
- リプレース方式に関して、一般的に利用されているLRUと、提案リプレース方式を比較する。この際、プリフェッチ方式は最適とする。

#### 4.3 評価結果

前節で述べた3つのプリフェッチ方式、1) 無作為データ選択 (Random)、2) 周辺データ選択 (Neighbor)、3) 経路データ選択 (Routed) のデータアクセスにかかる時間(ミスペナルティ)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  $T/2$  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  $2m-2$  個である。移動計算機は速度は  $v$  であり、これは  $nl$  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、 $l$  はノード間のリンクの長さである。

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  $T/2$ 、通過ノード数  $2m-2$  の積で表すことができる。これらにより、 $P_{random}$ 、 $P_{neighbor}$ 、 $P_{routed}$  は以下で与えられる。

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

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

$$P_{routed} = \frac{(n - s)^+}{n} \cdot \frac{T}{2} \cdot (2m - 2) \quad (3)$$

ここで  $a^+$  は  $\max(a, 0)$  を意味する。また、 $s = S_{cache}/S_{data}$  である。 $n$  は上記で述べた単位時間に移動計算機が通過する平均ノード数であり、 $n$  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す。周辺データ選択の場合は、 $m$  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7、図8、図9に示す。ここでは、 $m = 50$ 、 $T = 2$  としている。ここで提案している経路データ選択が、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分かる。

リプレースの評価を、プリフェッチの場合と同様の条件で行う。プリフェッチの条件を経路データ選択とし、LRUによるリプレース方式(LRU)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、以下となる。

$$P_{LRU} = \frac{T}{2} \cdot ((2m - 2) - (s - 1)) \quad (4)$$

経路を考慮したリプレース方式である経路データリプレース (Routed) と比較した結果を図10に示す。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。ここで提案しているリプレース方式を利用することにより、放送の周期が

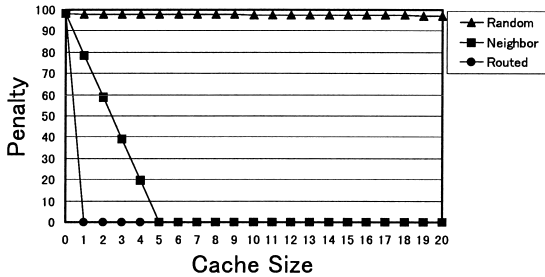


図7 それぞれのプリフェッチ方式の数値的評価 (n = 1)  
Fig. 7 Numerical evaluation of each prefetch method (n = 1).

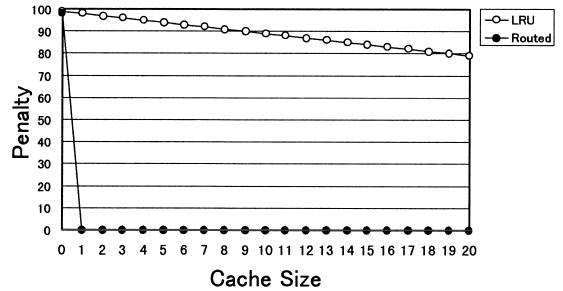


図10 それぞれのリプレース方式の数値的評価 (n = 1)  
Fig. 10 Numerical evaluation of each replacement method (n = 1).

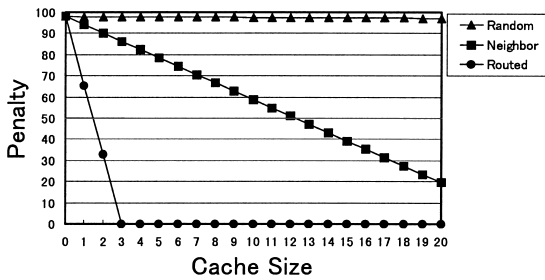


図8 それぞれのプリフェッチ方式の数値的評価 (n = 3)  
Fig. 8 Numerical evaluation of each prefetch method (n = 3).

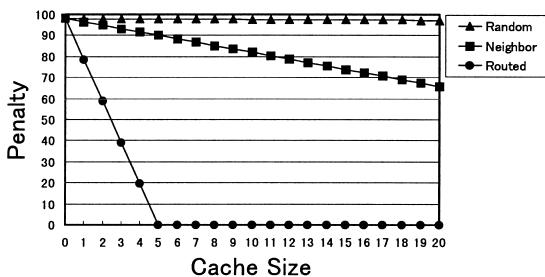


図9 それぞれのプリフェッチ方式の数値的評価 (n = 5)  
Fig. 9 Numerical evaluation of each prefetch method (n = 5).

移動計算機の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ともな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となることが分かる。

### 5. 実装について

#### 5.1 データ放送模擬環境

ここで提案した位置依存情報のキャッシュ方式の有効性を確認するため、データ放送をエミュレートした環境において、地図データ配信をモデルとしたアプリケーションの模擬実験環境を実装した。実装システム構成を図11に示す。ネットワークで接続した2台

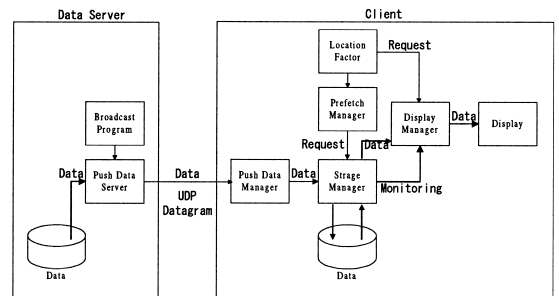


図11 位置依存情報のキャッシュのための実装  
Fig. 11 Implementation for caching location-aware information.

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、UDPデータグラムのブロードキャストを利用し、データを配信する。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、ブロードキャスト方式で配信される位置依存情報である地図データの中から、必要なデータを選択し保存する。データ表示クライアントにおいて、現在地の移動にともない、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。システム全体のコマンド、データの流は次のようになる。

- (1) データ提供サーバから放送プログラムに従い、位置依存情報である一連の地図データを繰り返し配信する。
- (2) 移動計算機であるデータ表示クライアントの移動にともなう現在地、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に通知を行う。
- (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に伝える。



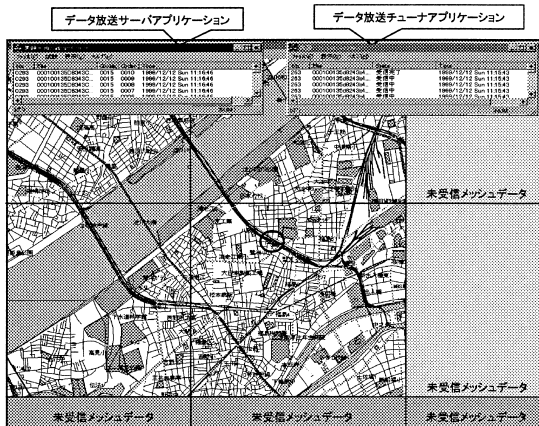


図 12 地図表示画面

Fig. 12 Example of map display.

- (4) データ保持管理部は、放送されてくるデータをブッシュデータ管理部経由で受け取り、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出し、表示部に送り表示を行う。
- (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。

### 5.2 地図データの放送による配信

実際の表示クライアントにおける地図データ表示画面を図 12 に示す。背景に表示部が表示した地図データ、左上のウィンドウがデータ提供サーバ、右上のウィンドウがブッシュデータ管理部のアプリケーションプログラムである。ここでは、同一画面に表示するために、データ提供サーバも同じ PC の上で走らせている。データ放送サーバは、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、ブッシュデータ管理部は、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、ブッシュデータ管理部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(右上中段)があるが、これは、表示データを表示すべき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いる。

UDP によるデータ配信のデータ転送速度を、地上デ

ジタル放送の転送速度に準じ、配信地図データを放送エリアの領域程度とし、データ配信の模擬実験を行った。この条件で、進行経路方向の地図メッシュデータを随時取得し、通過した領域の地図メッシュデータを削除するという本論文での提案方式を、高速道路走行程度の移動計算機の移動速度で実現できることを確認した。

## 6. まとめと今後の課題

カーナビゲーションシステムや ITS 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移動計算機(車載情報機器)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。位置依存情報にその地理的有效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、といった方式である。ここで提案した経路データ選択を、移動計算機の位置的情報を利用しない無作為データ選択、位置情報のみを利用する周辺データ選択と比較した。その結果、本プリフェッチ方式は、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を行い、本方式のほうが効果的であることを示した。また、放送の模擬環境を実装し、ここで提案しているキャッシュ方式が有効に動作することを確認した。

今後の課題として、これまでは、移動計算機があらかじめ設定された移動計画に従って移動する環境において評価してきたが、実際は、移動計算機が移動経路から逸れる場合も考慮に入れる必要がある。たとえば、あらかじめ設定されている目的地に対して、経路から逸脱する確率を逸脱する方向ごとに個別に設定することで改善が可能となる。図 13 で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、移動計算機が移動計画で設定された(Node5)方向に経路をとる確率を P1、目的地方向に外れた(Node7)方向に経路をとる確率を P2、目的地と異なる(Node3)方向に経路をとる確率を P3、U ターンする(Node1)方向に経路をとる確率を P4 とすると、一般に  $P1 > P2 > P3 > P4$  の傾向になると考えられる。この確率を

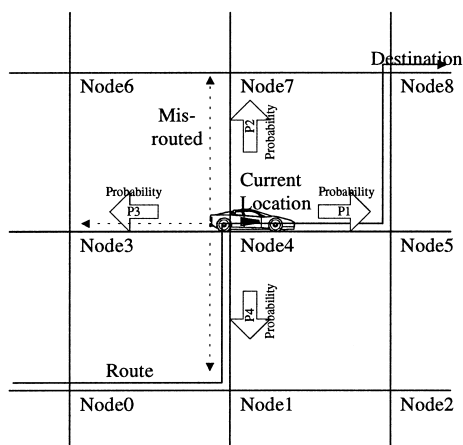


図 13 移動経路への進行の確率

Fig. 13 Probability of selection of moving directions.

もとに、キャッシュデータのプリフェッチ、リプレースの候補選択の指標とすることで、移動計画からの逸脱に対する手法が考えられる。

また、位置依存情報それぞれのスコープが異なる場合の評価も未達成である。今後は、経路から逸れる確率とスコープの大きさを、プリフェッチ、リプレースメントの候補を決定する際のパラメータの1つとして検討を進める。今回の実装では、イーサネット上のUDPを用いたが、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、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。このような環境で動作させることを検討中である。

謝辞 ご指導、ご協力をいただいた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皆様、および、住友電気工業システムエレクトロニクス研究開発センターの皆様感謝いたします。

### 参 考 文 献

- 1) Sato, K., Sakon, T., et al.: Development of a New Platform for Car Navigation Systems, *Sumitomo Electric Technical Review*, No.42, pp.34-39 (1996).
- 2) Auto PC Web Site.  
<http://www.microsoft.com/windowsce/autopc/default.asp>
- 3) Intel Connected Car PC Technology.  
<http://www.intel.com/technology/carpc/>
- 4) The Network Vehicle.  
<http://www.alphaWorks.ibm.com/networkvehicle/>
- 5) Jamel, A., Stuempfle, M. and Fuchs, A.: Web on Wheels: Toward Internet - Enable Cars, *IEEE Computer*, Vol.31, No.1, pp.69-76 (1998).
- 6) Uehara, K., Watanabe, Y., Sunahara, H., Nakamura, O. and Murai, J.: InternetCAR-Internet Connected Automobiles, *Proc. INET '98* (1998).
- 7) 建設省道路局 ITS ホームページ .  
<http://www.moc.go.jp/ITS/j-html/>
- 8) MONET. <http://www.tms.ne.jp/>
- 9) COMPASSLINK 情報センター .  
<http://www.compasslink.co.jp/cplweb/pc/>
- 10) INTER NAVI SYSTEM INDEX.  
<http://www.internavi.ne.jp/>
- 11) Shimoura, H., Nishimura, S., Nagao, M. and Tenmoku, K.: Evaluation of the Effect of DRGS Using Traffic Flow Simulation System, *Proc. 2nd World Congress on Intelligent Transport Systems 95*, Vol.5, pp.2637-2645 (1995).
- 12) Sakakibara, H., Yamaguchi, M., Kitamura, T., Moritata, M. and Takeuchi, K.: Field and simulation tests of the interactive CDRG in UTMS, *Proc. 9th International Conference on Road Transport Information and Control*, pp.207-211 (1998).
- 13) Acharya, S., Alonso, R., Franklin, M. and Zdonik, S.: Broadcast Disks: Data Management for Asymmetric Communication Environments, *Proc. ACM SIGMOD International Conference on Management of Data*, Vol.24, No.2, pp.199-210 (1995).
- 14) Barbara, D. and Imielinski, T.: Sleepers and workaholics: Caching Strategies in Mobile Environments, *Proc. ACM SIGMOD International Conference on Management of Data*, Vol.23, No.2, pp.1-12 (1994).
- 15) 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).
- 16) 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).
- 17) Sato, K., Saisho, K. and Fukuda, A.: A Cache System of Location Dependent Data for a Mobile Computer with Mobility Specification, *Proc. International Conference on Parallel and Distributed Processing Techniques and Applications (PDPTA '99)*, Vol.2, pp.977-983 (1999).
- 18) Sato, K., Hirano, K., Saisho, K. and Fukuda, A.: Proposal of an Algorithm for Transmission and Cache of Location Dependent Data for In-Vehicle Computer System, *Proc. 6th*

- World Congress on Intelligent Transport Systems (CD-ROM)*, Paper Number 3157 (1999).  
 19) Pitoura, E. and Samaras, G.: *Data Management for Mobile Computing*, Kluwer Academic Publishers (1998).

(平成 11 年 12 月 27 日受付)

(平成 12 年 7 月 5 日採録)



佐藤 健哉 (正会員)

1984 年大阪大学工学部電子工学科卒業。1986 年同大学院工学研究科修士課程修了。同年住友電気工業(株)入社。1991~94 年米国スタンフォード大学計算機科学科客員研究員。2000 年奈良先端科学技術大学院大学博士後期課程修了。博士(工学)。現在(株)ハーネス総合技術研究所主任研究員。ITS, 移動体通信の研究に従事。平成 10 年度本学会モバイルコンピューティング研究会優秀報告賞, 2000 年 NAIST 情報科学研究科最優秀学生賞受賞。ACM, IEEE Computer Society, 電子情報通信学会各会員。



最所 圭三 (正会員)

1982 年九州大学工学部情報工学科卒業。1984 年同大学院工学研究科修士課程修了。同年同大学工学部助手。1991 年同大学工学部講師。1993 年同大学大型計算機センター助教授。1994 年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科助教授, 2000 年香川大学工学部信頼性情報システム工学科教授, 現在に至る。工学博士。高信頼性システム, 並列/分散処理, モバイルシステム, 並行処理等の研究に従事。1998 年情報処理学会全国大会大会優秀賞受賞。IEEE Computer Society, 電子情報通信学会, 日本ソフトウェア科学会各会員。



福田 晃 (正会員)

1954 年生。1977 年九州大学工学部情報工学科卒業。1979 年同大学院修士課程修了。同年 NTT 研究所入所。1983 年九州大学大学院総合理工学研究科助手。1989 年同大学助教授。1994 年より奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科教授。工学博士。オペレーティング・システム, 並列化コンパイラ, 計算機アーキテクチャ, 並列/分散処理, 性能評価等の研究に従事。本学会平成 2 年度研究賞, 平成 5 年度 Best Author 賞受賞。著書「並列オペレーティングシステム」(コロナ社), 訳書「オペレーティングシステムの概念」(共訳, 培風館)。ACM, IEEE Computer Society, 電子情報通信学会, 日本 OR 学会各会員。