修士論文 1995 年度 (平成 7 年度)

インターネットにおける
地理的位置情報に関する研究

慶應義塾大学 大学院
政策・メディア研究科

渡辺 恭人

修士論文要旨　　1995 年度 (平成 7 年度)

インターネットにおける地理的位置情報に関する研究

近年、インターネットでは応用分野が発展している．それらは，接続される計算機が固定された計算機から携帯可能な計算機へ変化していること，ネットワークに接続されるエンティティがコンピュータからコンピュータ以外のものへ拡張されつつあることである．このような応用分野ではエンティティの地理的位置が要求される．インターネット接続されているエンティティのネットワーク内での論理的位置を認識することは現状でも可能である．しかし，エンティティの地理的位置情報を取得するための仕組みは存在しない．

エンティティの地理的位置を取得すること、すなわち論理的なネットワークトポロジ上の位置と物理的な地理的位置の関連を定義することが強く求められている．そこで本研究では、インターネットという仮想的な空間と現実の位置空間という、独立した二つの空間上のエンティティの位置を対応付ける．そのためにインターネット上の識別子と地理的位置情報を対応付ける．この対応づけを実現するため，インターネット上のホストの識別子と地理的位置情報とを相互に検索可能なシステム、Geographical Location Information(GLI) システムを設計実装した．

このシステムは，各ホストの地理的位置情報を管理するデータベースとなるサーバ、サーバへ地理的位置情報を送信するエージェント、ユーザからの情報参照要求をサーバへ送信するクライアントの 3 要素から構成されている．データベースには各エンティティの識別子 (IP アドレス) と地理的位置情報が対になって登録される．クライアントは，「エンティティの識別子」や「ある地点の位置情報」を鍵として、地理的位置情報あるいはエンティティの識別子を検索することができる．本研究ではさらに、(1) ホストの移動可能性と地理的位置情報の精度を考慮して，エージェントからサーバへの地理的位置情報登録のための通信間隔を制御する機構の実現、(2) 動的に変化するホストの情報に適したデータ構造の実現、(3) 位置情報の精度変化を識別して，データ幅を選択することのできるデータ構造の導入、を行っている。

本研究により，地理的位置情報とインターネット上の識別子を対応づけることが可能となり、仮想空間に現実空間の情報を関連づけることでインターネットの実用性を向上することができた。

キーワード
1　インターネット
2　地理的位置情報
3　動的情報
4　移動
5　遍在

慶應義塾大学 大学院 政策・メディア研究科
渡辺 恭人

Abstract of Master's Thesis

Academic Year 1995

Study about Geographical Location Information on the Internet

In these days in Internet research community, numerous work for applying Internet to practical use are in progress. These works use the following devices: mobile computers rather than computers without mobility, and non-computer entity connected to the Internet. To use these devices in a practical way, it is necessary to obtain geographical location information of an entity connected to the Internet. In the Internet architecture, it aliready provides a way to identify the logical location of a host connected to the Internet. However, there has been few such architecture/system for providing geographical location information of a host connected to the Internet, even though it is greatly needed.

To provide geographical location information of an entity on the Internet, it is necessery to define the relationship between topological location on the Internet that is structured logically, and geographical location in the physical world. In this thesis, the author proposes the Geographical Location Information System, GLI System for short, which provides the way to map identifiers in these independent spaces. The system makes it possible to look up the host identifier based on the physical location, and to look up the geographical location based on the host identifier.

The system consists of three kind of components; *databases* that maintains geographical location information of each host, *agents* that registers geographical location information of each host to server, and *clients* that requests the host/location queries. The database registers entries that consist of host identifier(IP address) and geographical location information. Client can look up host identifier using location as a key, and can look up location using host identifier as a key.

In the thesis the author also designes/implements the following items, which are very unique: (1) a mechanism for controlling the intervals for registering the host location from an agent to the database, based on the mobility of the host and the accuracy of the location information, (2) a mechanism and data structure for supporting location information of mobile hosts, and (3) a mechanism and data structure for managing location information with consideration to its accuracy.

The Global Location Information System proposed in this thesis maps geographical location information to the host identifier on the Internet. It makes it possible to link physical information in the real world, and information on the Internet.

Key Words

1 Internet

2 Geographical location information

3 Dynamic information

4 Mobile

5 Ubiquitous

Keio University Graduate School of Media and Governance

Yasuhito Watanabe

目 次

表目次

図目次

第1章

序論

1.1 背景

コンピュータの利用形態や利用環境は，人間自身の進化成長にともなう活動範囲の拡大によって，より高度なものが必要となる．インターネットという広域ネットワークの普及により，人間は情報を容易に獲得できる環境を利用することができるようになった．また，携帯利用可能なコンピュータの出現は，固定が前提であったコンピュータの利用形態から，移動し持ち歩きながら利用するという新たな形態を生じさせた．その結果，コンピュータを持ち歩きながらインターネットを利用することができるようになった．また，近年では研究者や一部の利用者のみならず，一般的な人々がコンピュータとネットワークを利用するようになった．また，さまざまな場所でインターネットに接続されたコンピュータが設置されるようになりつつある．このようにインターネットと個人，生活との関連が次第に密接になっている．

したがって，インターネット上に移動するコンピュータや遍在しているコンピュータが存在するMobile & Ubiquitous Computing環境においては，新たにインターネットというネットワーク上の空間と現実の空間との関連性が重要となる．

このような環境において，利用者は，自分が現在いる地理的な位置，自分の必要とする情報の地理的な位置，そして自分の周囲に何があるかという情報を必要とする．しかしネットワーク上のアドレスは地理的な位置情報を含まないトポロジ的なアドレス構造を持っているため，ネットワークのアドレスを使用して地理的な位置を検索することは不可能である．したがって，ネットワーク上の空間と現実の空間を，それぞれインターネットアドレスというホストの識別子とそのホストの地理的位置を対応付けることによって結びつける．これによってネットワークのアドレスと地理的位置情報は対応し，ネットワークに接続されているコンピュータは，ネットワークのアドレスとその地理的な位置を相互に認識できるようになる．

本研究では，インターネットという仮想的な空間と現実の空間という異なる次元を結びつける．そのためインターネット上のホストの識別子であるインターネットアドレスとそのホストの実際の位置である地理的位置情報を対応付ける．その手段として，それらを相互

に検索する Geographical Location Information システムを構築した．その過程で，Mobile & Ubiquitous Computing 環境にあるホストの特徴や地理的位置情報の性質を考慮し，また特定目的ではなく汎用的に地理的位置情報を取り扱うことが可能となることを目標とした．

1.2 本論文の構成

本論文の構成は以下の通りである．第2章では，インターネットアドレスと地理的位置情報に関して考察を行ない，第3章ではネットワーク上で地理的な位置情報を取り扱う既存のシステムについて考察する．第4章では，地理的位置情報を提供するシステムについて課題の検討，考察を行なう．第5章では，本研究で構築する Geographical Location Information システムの設計について，第6章ではその実装について述べる．第7章ではその実装を踏まえて評価考察を行う．第8章では，本研究の結論・今後の課題について述べる．

第2章

インターネットアドレスと地理的位置情報

本章では，ネットワークとコンピュータが提供する新しい利用環境としての Mobile & Ubiquitous Computing 環境について説明し，地理的位置情報の必要性について議論する．また，インターネットアドレスと地理的位置情報について，それぞれの性質やその空間について考察し，本研究で取り上げる対象となる領域を明らかにする．

2.1 Mobile & Ubiquitous Computing 環境

コンピュータの利用形態や利用環境は，コンピュータそれ自身の性能向上や小型軽量化とコンピュータネットワークの普及と密接に関係して変化している．従来コンピュータは固定が前提であったが，移動しながらネットワークを利用する形態も出現している．

さらに，端末としてのコンピュータが至る所に存在するようになるとともに，家電製品への技術応用により我々の周囲にはコンピュータが氾濫している．近い将来にはこれらがネットワークを通じて有機的に結び付く．このようにネットワークとコンピュータが遍在するようになった．これを Mobile & Ubiquitous Computing 環境[1]と定義する．

そのような環境では，個人が自分のコンピュータを外部記憶，ネットワーク端末として持ち歩きながら利用する形態から，身の回りのさまざまなものがネットワークに接続され制御・通信を行ない，人間自身が移動して至る所にあるコンピュータを使ってネットワークを利用する．

この環境の特徴は，利用者がその環境の存在を何も意識せずに利用できることである．ネットワークに接続されたコンピュータが遍在し，さまざまな環境の変化に対応し人間の行動を支援する．これは人間の肩代りをするという意味でなく，人間の行動の変化への追従と考えられる．

Mobile & Ubiquitous Computing 環境という新たな利用形態，利用環境では，固定が前提であった従来のネットワーク環境と異なり，ネットワーク上で移動するコンピュータの

---

[1] Ubiquitous Computing は Xerox PARC コンピュータサイエンス研究所の Mark Weiser によって定義された概念で，コンピュータは身の回りのどこにでもあるがそれが人間に見えないかたち(不可視化)で存在し，人間はそれについて考えることなく使えることを目指す．無線ネットワーク，ネットワーク上での移動処理，ウィンドウシステムの3つの移動インフラストラクチャを中心に研究が進められている．

地理的な位置がより隠蔽され不明確になっている．逆に現実空間のいろいろなもの，ひと，建物などはコンピュータを通じてネットワークへ結びつけられた．利用者は自らが求める情報やそれに結びつけられたさまざまなものについて，実際の位置 (現実空間での位置:地理的な位置) がどこなのかという要求を持つようになるが，これまでネットワーク上でそのような情報を利用する仕組みが存在しなかった．

そこで，現実空間のコンピュータ (ホストと定義する) の地理的位置情報と識別子を対応付ける．これにより必要なものの位置がネットワーク上で検索可能となるとともに，利用者はネットワーク上で現実空間での特定のものやものの集団や分布の動的な変化の情報をリアルタイムに認識することができる．

2.2 インターネット上の識別子

2.2.1 識別子の種類

インターネット上で識別子はさまざまなものがあるが，本節では主にインターネットアドレス，ドメインネーム，URL(Uniform Resource Locator) を取り上げ，インターネットと地理的位置情報を結びつけるのに適当な識別子を決定する．

- インターネットアドレス (IP address)

  インターネットに接続される全てのホストには，インターネットアドレスまたは IP アドレスと呼ばれる整数のアドレスが割り当てられる (図 2.1)．

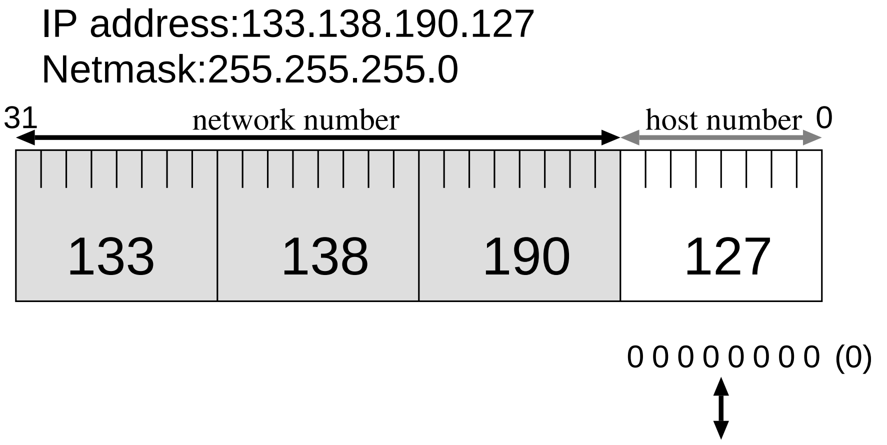


図 2.1: IP アドレスの例

アドレスは，概念的には (net number, host number) の対で構成され，net number はインターネット全体の中で特定のネットワークを識別し，host number は network number で指定されるネットワーク内のホストを識別するために使われる．よって IP アドレスは個々のホストに対する純粋な識別子ではなく，接続されているネットワークを特定するものである．

- ドメインネーム (domain name)

  IP アドレスはパケットの始点・終点を指定する．よって IP アドレスは低レベルの名前である．逆にユーザは発音可能で簡単に覚えられる (アルファベットの文字列の) 名前をマシンに割り付けようとする．これは高レベルの名前である．インターネットでは広域に分散したマシンの大規模な名前の集合を効率的に扱うため組織の構造に従って階層的な名前付の機構を導入した．ドメインネームは，ピリオドで区切られた部分の名前の連なりから構成される．

  例えば，(`mag.keio.ac.jp`) は，

  - `mag` .. .. 大学院政策メディア研究科
  - `keio` .. .. 慶應義塾大学
  - `ac` .. .. 学校・教育機関
  - `jp` .. .. 日本
    という 4 つのラベルからなるドメイン名である．

- URL (Uniform Resource Locator)

  http や ftp, gopher などのプロトコル名とドメイン名およびファイル名を組み合わせて表現することで，ネットワーク上のホストのデータを呼び出す (図 2.2)．

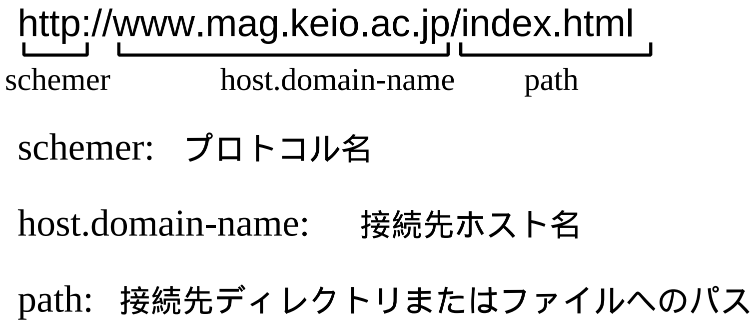


図 2.2: URL の例

これらのいずれにも地理的な位置情報を付加することは興味深いことであるが，Mobile & Ubiquitous Computing 環境においては，個人や場所，ものと密接な関連を持つホストが

主体となることを考慮すると，そのホストを識別することが必要となる．したがって，ホストを一意に識別可能なIPアドレスが適当であると考えられる．その他のオブジェクトは，IPアドレスに対応付けられているので，IPアドレスを利用してホストを特定することで，自らその他のオブジェクトも利用可能となる．但し，ユーザレベルからは，ホスト名による特定を利用可能とする．

2.2.2 IPアドレスの問題点

先に述べたようにIPアドレスはホストの識別子である．ところが，ホストがあるネットワークから別のネットワークに移動した場合，移動した先で新たにIPアドレスを取得する必要がある．これは，IPアドレスが実際には，network numberとhost numberの組合せから成立しているためである．このことは，IPが設計された当初はホストが移動することを考慮していなかったため経路制御のためにネットワーク識別子をIPアドレスに含ませていることに起因する．よって，現状のIPではホストが移動した際にアドレスを付け替える必要があり，移動時の通信の連続性は保証されない．例えば，図2.3のようにあるホストA(アドレスa)とホストB(アドレスb)が通信していたとして，ホストBはネットワークyからネットワークzへ移動した．その結果，ホストBはネットワークzで新たなIPアドレスcを取得する．しかし，ホストAは依然としてホストBのアドレスがbだと信じて通信しようとするため，通信不可能となるのである．

これを解決したのが，Virtual Internet Protocol(VIP)[1]である．VIPでは，IPアドレスというネットワーク的な位置を含んだ識別子とは別にVIPアドレスを用意することにより，ホストを識別することを可能にしている．これにより，ホストが移動しても不変なVIPアドレスで識別できる．また，ネットワークの移動による通信の連続性も保証された．例えば図2.4のように，Net-XのホストAとNet-YのホストBが通信していたとして，ホストBがNet-YからNet-Zへ移動した場合，IPアドレスはbからcへ変更される．ホストBはIPアドレスの他にbというVIPアドレスを持っており，このアドレスで相手ホストを指定するとAddress Mapping Table(AMT)からVIPアドレスが実際はIPアドレスcのネットワークにいることがわかるため，通信が持続できる．

本来，ホストの識別子は，IPのようにネットワークの位置を含まない，純粋なものであるべきで，VIPの使用が望ましい．VIPアドレスの形式はIPアドレスの形式と区別がないため，本研究における実装ではどちらも使用可能である．

2.3 地理的位置情報

現実の空間では求める対象の位置の捉え方は，さまざまに異なっている．それは対象の位置にいくつかのレベルが存在するためである．本節ではそのような捉え方の違いに関して述べる．

- 表現方法
  地球上のあらゆる地点を絶対的に表現する方法として，緯度経度高さによる表現や，

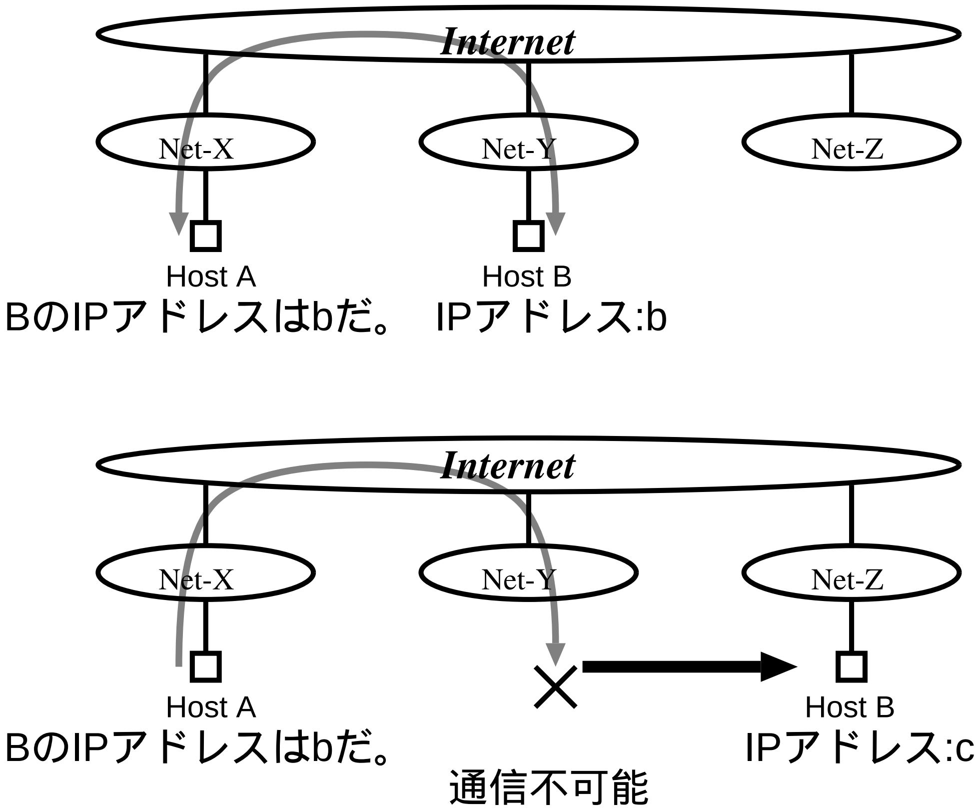


図 2.3: ホスト移動時における IP アドレスの問題点

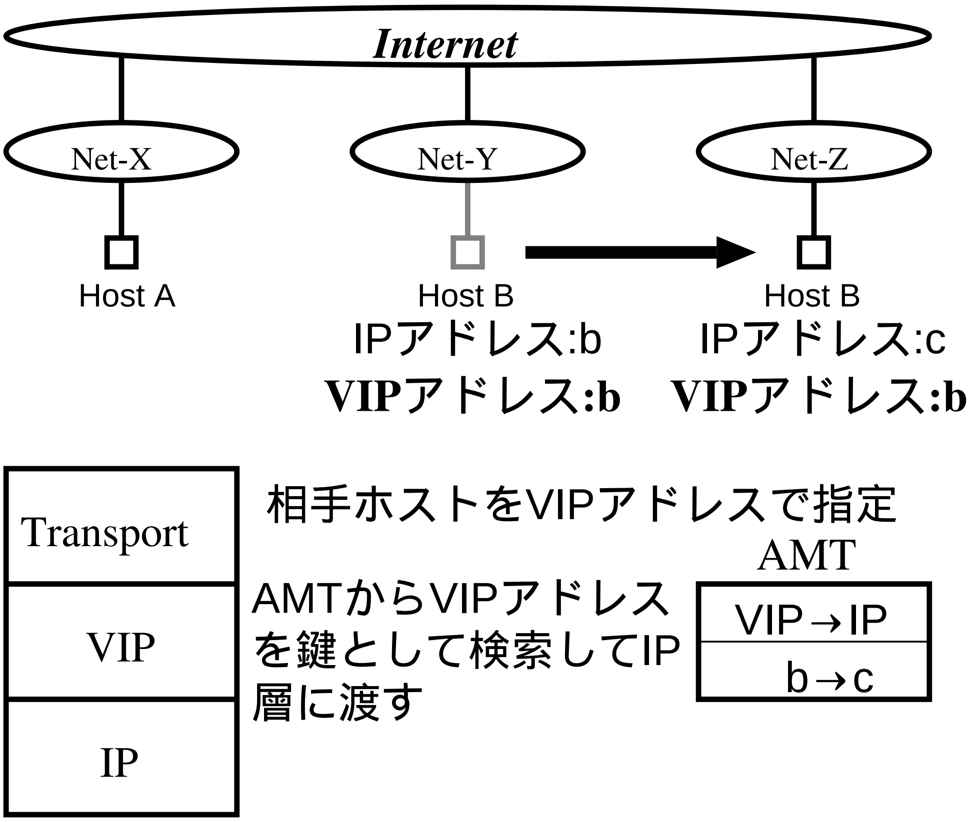


図 2.4: ホスト移動時の VIP

特定の位置を基準としたある位置の表現，などの方法がある．また，この二つの間での変換や，距離との変換は容易に行える．しかし，通常人間が使用する地理的位置情報の表現において，絶対的位置が必要となる場合は少なく，位置につけられた別名を使用する．その別名は粒度によって異なる．荒い場合は，国や県，市，区など，細かい場合では，○○通りの××交差点，住所，番地などである．地名や行政区分によって地点や範囲を決めることによって位置を決定している．

- 精度
  地理的位置情報を扱う場合，目的や用途によって精度が異なる．その精度は，自動車で利用されるナビゲーションシステムでは 10m 程度であるが，地下での水道・ガスなどの配管工事では 10cm から 15cm，危険区域での遠隔作業では，2cm から 3cm，地質学や地震学での測定，測量では mm の単位での精度が要求される．

- 変化・速度
  地上に存在する全てのものは，(出現・消滅も含めて) 変化したり，移動したり固定されていたりする．しかも，その変化の度合は一定でなく，動的に変化する．取り扱う対象はこれらも情報として保持することにより，対象の地理的な位置をより正確に把

握することが可能となる．

- 広がり・大きさ
  現実空間においてビルや公園などの任意の全ての物理的なオブジェクトは地点だけでは表現できない．指定した対象が，ある程度の広がりや大きさ，高さを持っている場合の指定方法が必要となる．単純な指定方法としては，ある地点からある距離の範囲に存在するとする方法が考えられる．この方法では，精度との関連もあるが必ずしも正しく位置を指定できるとは限らず，また対象の形状を無視している．

2.4 地理的位置情報に対する要求

ネットワークに接続されているホストの識別子と地理的位置情報が対応付けられた場合に生ずる地理的位置情報に対する要求は，そのどちらかをキーにして相互に検索できることである．

- 識別子から位置を得る
  位置を知りたい相手のホストの識別子を特定することで，その位置を得る．
- 位置から識別子を得る

  指定した位置に存在するホストの識別子，または最も近いホストの識別子を得る．さらに指定した範囲にあるホストを検索することや，種類などの情報を付加することでそれを鍵として，列挙する識別子を絞り込むことも考えられる．(図 2.5)

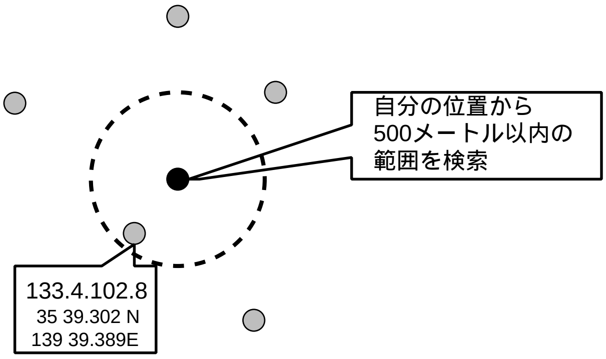


図 2.5: 地点や範囲で識別子を得る

2.5 アプリケーション構想

ホストの識別子とその地理的位置情報が対応付けられ相互に検索可能になった場合に考えられるアプリケーションについて議論する．

- ナビゲーション
  地図上で道路や建物，場所を正しく認識するのに必要な精度は10m程度である．ナビゲーション目的のアプリケーションとしては既存のカーナビゲーションシステムが備える基本機能の提供がある．基本機能とは，自分の車の位置の地図上への表示や周辺地域の地理の提供，目的地までの経路探索である．また，自分の車の位置からの建物(店舗・病院・駐車場など)といったオブジェクトを検索し，その距離や経路を計算することなども考えられる．さらには検索して得られたオブジェクトにネットワークを通じてアクセスし，情報を取得することも可能となる．また，各人が開拓して発見したいわゆる「抜け道」のような，より速く目的地に到達するための経路が無数に存在していると思われるが，そのような特殊な経路情報も蓄積し，共用することが可能となる．既存のカーナビゲーションシステムでは，交通安全上の建前から「幅が6m以下の道路は経路として選択しない」「できる限り右折はしない」などの制限を設けているため，必ず最短経路が検索されるとは限らない．

- 動的情報分布地図

  ナビゲーションにも通じる部分があるが，全ての自動車の位置と速度と方向を知ることができるので，その情報を地図上に表示すれば，どの道路の流れが良い，悪いなどの交通情報はいつでもどこでも手にいれることができる．

  また，自動車に限らないが，移動・遍在しているコンピュータがそれぞれ位置情報を持つとともに，さまざまなセンサー的デバイス(例えば，温度計，地震計，湿度計，雨量計，デジタルカメラなど)を備えている場合，そのようなデバイスから取得された情報は地理的位置情報と対になったデータとなる．これらを地図上に再現することで，さまざまな情報の分布地図がリアルタイムに構成可能である．

- コンピュータ資源の検知
  携帯型コンピュータの利用者は，場所を移動しながら自分のコンピュータを利用する．しかし，行く先々でコンピュータ環境の資源は異なっている．そこで，例えば自分の位置から一番近いプリンターがどこにあるか，一番空いているプリンターはどこにあるかを知りたいと考える．利用者は自分の周囲を「プリンター」という鍵で検索し，見付けたプリンターに対してファイルを送信する．

第 3 章

地理的位置情報を扱う既存のシステム

本章では，地理的位置情報を扱う既存のシステムやその研究について考察する．

3.1 Global Positioning System

Global Positioning System(GPS) とは，汎地球測位システムを意味し，海上，陸上を問わず航空機，ロケット，船舶など，地球上のあらゆる地域で連続的に測位可能な衛星航法システムであり，同時に移動体の速度や進行方向，正確な時刻を求めることができる．人工衛星を使った衛星航法システムは，地球上のほぼ全地域で全天候下で連続的に 3 次元測位させることができ，その精度もほぼ一定値に抑えることができる．また，Differential GPS(DGPS) を利用すれば，さらに精度を上げることができる．また，GPS 製品は小型化軽量化が進み，さまざまなものへ組み込み可能になって来ている．また計算機との接続が考慮されているものが多い．

このシステムはもともとアメリカ合衆国国防省 (DOD) の管轄のもと主目的を軍用として運用されており，NAVSTAR という GPS 衛星が地球上 22,000km 上空に傾斜角 55 度の 6 つの軌道を，1 週約 12 時間で回っている．各軌道上には GPS 衛星が 4 個づつ配置され，24 時間どの地域でも同時に 5 個以上の衛星を捕捉でき 3 次元測位が可能となる．

このような GPS の長所を利用して現在，以下のようなさまざまな応用システムが存在する．

- 航海 ·航空
- カーナビゲーション
- 移動体管理 (タクシーやトラック)
- 時刻同期
- 測量
- 地理情報システム

3.2 Active Badge Location System

Active Badge[9] のシステムはケンブリッジの Olivetti Reasearch Laboratory を中心として研究されている．建物の内部での個人の位置を知るための手法で，それは個人個人で所有する Active Badge という赤外線の信号を発するバッジによって決定される．Active Badge は個人を識別する信号を 10 秒間隔で転送する．どのオフィスにも，ネットワークに接続されたセンサーが一つかそれ以上あり，これらの信号を検知する．バッジの位置がこれらのセンサーから送られる情報に基づいて決定される．

このシステムでは，個人を Active Badge で識別でき，位置はそれぞれの部屋にあるネットワークに接続されたセンサーで完全に検知できる．これを利用して文献 [7] では，最も近い利用可能なプリンターを探したり，あるいはある人が部屋に入って来た時にその部屋にあるコンピュータ上でその人の利用環境が立ち上がるような Context-Aware Computing を提案している．また，Active Badge はいくつかの組織で実験されているが，組織間での位置情報のやりとりを安全に行なうための機構が文献 [10] で述べられている．

- 問題点

  この Active Badge を利用したシステムでは，建物の内部という限定された空間でしか個人も位置も確実に認識できない，GPS のように地球上のどこでも位置を認識するということはできない．人間活動の支援という観点で実際に人間の位置を認識することで人間の行動に計算機資源などが対応する環境を構築している．

3.3 カーナビゲーション

GPS の小型化，価格の低減による普及とデジタル化された道路地図が多く開発されたことで，カーナビゲーションのシステムも多数開発され市販されている．自動車による移動の際には，トンネルや障害物などによって GPS 衛星から位置情報を取得できない可能性があるが，それを補うためジャイロセンサーや車輪から移動距離や方向を得る，自律航法を採り入れているシステムも存在する．

- 基本機能の種類
  カーナビゲーションシステムが持っている基本機能としては，以下のものがある．

  - 地理不案内の場所で，現在位置とその周辺地域の地理がわかる．
  - 目的地を設定すると，目的地までの経路がわかる．
  - 目的地を設定すると，走行中，目的地までの距離方向がわかる．

  これらの基本機能に加えて，

  - 地図上のオブジェクト(店舗・駐車場・病院など)を検索し，そこまでの距離を表示
  - 通信機能(同じメーカのシステム同士が携帯電話を使用してお互いの位置を知る)

  などの機能を備えているシステムもある．また，自動車という限定された特殊な利用環境において，安全な操作性を提供するために以下のようなユーザインタフェースが用意されている．

  - タッチパネル
  - 音声認識
  - 静止画，文字，音声などマルチメディアによる案内

- 問題点

  - 道路地図の情報は主にCDROMやメモリーカードなどのメディアで提供されるが，情報の寿命が比較的短期なので更新するためにはメディア自身を交換する必要がある．
  - 外部への通信機能は簡易的なものなので情報環境としては貧弱で閉じたものとなってしまっている．
  - メーカー毎で基本的な仕様が全く互換性がない上に，公開されていない．通信の規約も独自性が強く，標準化が必要であるが難しい．

次の第4章では，地理的位置情報を取り扱う場合の問題点や課題を検討し，GLIシステム設計への足掛かりとする．

第 4 章

地理的位置情報に関する考察

4.1　ホストの有する情報

ネットワーク上の移動・遍在するホストが有する情報には，静的情報と動的情報とがある．

- ホストの識別子
  ネットワーク上では各ホストは一意に識別されなければならない．そのために，アドレスを与えられている．これはネットワーク全体に知らされなければならず，不変であるという前提によって，静的情報である．
- 地理的位置情報
  ネットワーク上のホストは移動・遍在している．移動しているホストの地理的な位置情報は時間と共に変化するので動的である．静止しているホストは，停止しているのか，あるいは固定されているのかを単純に判断することは難しい．固定されていれば静的であるし，停止の後再び移動するのであれば，動的であるとも考えられるため，これを識別する指標が必要である．

4.2　地理的位置情報の収集方法

動的な情報は常に値に変化が生じる．これは，情報の収集後は時間の経過と共にその情報は古いものとなり正確性が損なわれている可能性があることを意味する．

特に，移動ホストの地理的位置情報は移動する速度が増加すると，収集する頻度が同じなら，収集した情報が古くなり正確性が損なわれる可能性も高くなる．

ネットワーク上で通信が行なわれることも考慮しなければならない．最も正確に動的な情報を収集するには常に収集し続けることであるが，必要以上に通信量を増やすことは好ましくない．

ホストが移動するのか移動しないのかで地理的位置情報が動的か静的を判断する要素も必要となる．移動しないのであれば一度の収集だけが必要となるためである．

地理的な位置情報を取得するデバイスの精度も重要である．例えば精度が100m である場合，次の収集での差分が100m 以下である場合は得られた値から本当に移動したか判断することは難しい．次の収集での差分が100m 以上になっていれば，移動した可能性は高くなる．

これらのことを考慮しながら，以下に考えられる地理的位置情報の収集の時期について考察・検討する．

- 一定時間毎に情報を収集する．
  この方法の問題点は，情報を収集する時間の間隔である．静止している場合も，移動している場合も同じ間隔で収集することで正確性が著しく異なる可能性がある．
- 情報に変化が生じた時に収集する．
  最新の情報を保持し続けることは可能であるが，変化の頻度が大きくなる場合はネットワークのトラフィックが増大する．
- 情報に参照要求が生じた時に収集する．
  最新の情報を保持することは可能であるが，参照要求があってから収集を開始するため応答までの時間を要する．
- ホストの持つ動的情報を考慮して収集時期を決定する．
  ホストは，速度やデバイスの精度などの値を持っている．これらの値から間隔を算出して決定することで最適な間隔を決定できるか検討する必要がある．

4.3 地理的位置情報の管理

情報を管理する方法には分散管理と集中管理という二つの方法がある．

4.3.1 集中管理

集中管理とは，情報を一つのサーバに集めて一元的に管理する方法である．

- 長所
  - サーバへの要求，応答に必要な通信の回数が少ない．
    サーバが一つに限定されているためクライアントは常に同じサーバにアクセスすれば良い．そのサーバにアクセスすれば必ずそのサーバ内に情報が存在するので応答も迅速に行われる．
- 短所
  - サーバへの負荷が集中する．
    複数のクライアントから要求が出される場合，そのすべてが一つのサーバへ送

信されるのでサーバには負荷が集中することになり，サーバには高い処理能力が要求される．また，サーバへの通信も集中するためネットワークに高い負荷を与える．

情報を更新する場合においても同様で，集中による負荷のため更新の際に遅延が生じる可能性がある．特に移動するホストの地理的位置情報のような動的情報を取り扱う場合，エージェントからの要求を迅速に処理できない場合はその情報の正確性が保証できない．

4.3.2　分散管理

分散管理とは，適当なグループ毎にサーバを設けて，それぞれのサーバが分散して情報を管理する方法である．

- 長所
  - サーバへの負担が減少する．
    要求への応答量，管理する情報量ともに集中管理と比較して少ない．
- 短所
  - 情報を持つサーバを選択するための通信や処理が増加することで遅延が発生する．
  - サーバ間の通信が必要となる．

4.3.3　考察

情報の管理方法は，集中型分散型ともに長所短所を持ち合わせているが，インターネットという大規模広域分散環境に適応したシステムとするためには分散型がより良いと考えられる．しかし地理的位置情報はネットワーク上での位置と関連がないため，サーバの設置基準の決定，グループ分類の選択方法が重要である．例えば地域ドメイン別のサーバ配置方式 (図 4.1) や均等メッシュ別のサーバ配置方式 (図 4.2) などが考えられる．

1. 地域ドメイン別サーバ配置

   日本ネットワークインフォメーションセンターは，地域型ドメイン名割り当て実験プロジェクトを 1993 年 12 月より開始し，現在進行中である (1994 年 3 月末日まで)．これは，1. ネームスペースを広げる．2. ドメイン名選択の幅の拡大．3. 個人・地域密着組織の収容などを目的としている．この目的は本研究の背景であるネットワークと個人・地域との関連に共通する問題であり，ドメインネームをスタティックな位置情報である行政区分に対応付けしているという点で非常に興味深い．例えば `CITY.KOBE.JP` は「神戸市」を意味する．

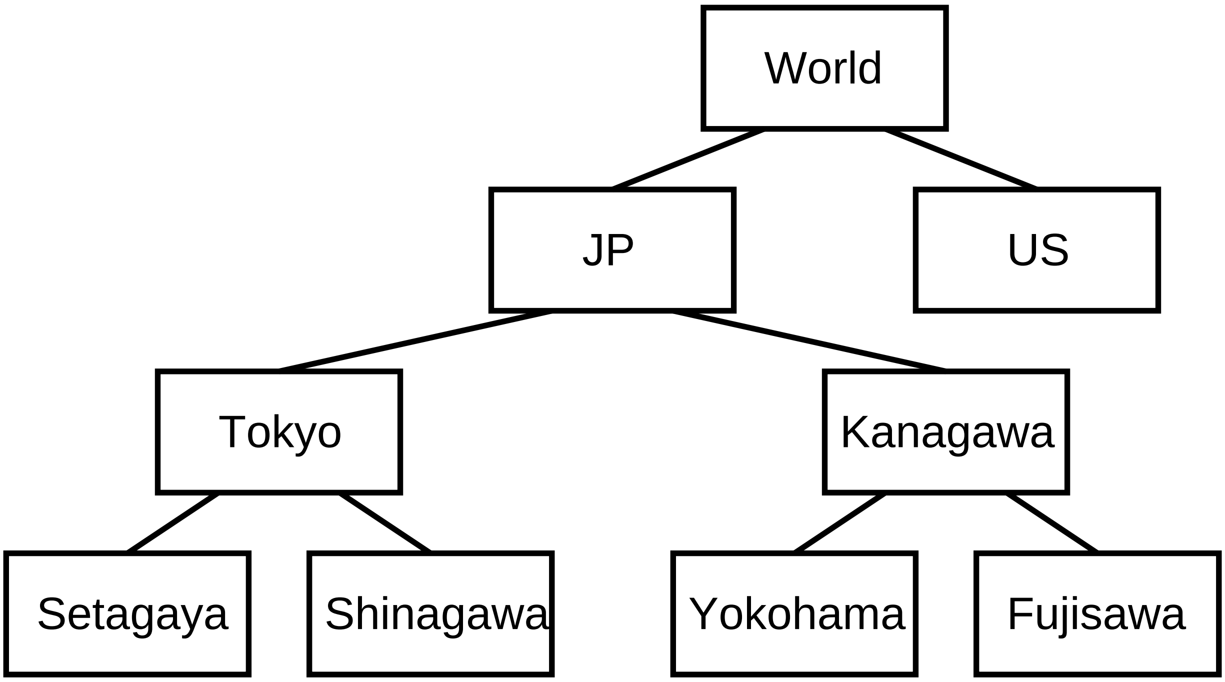


図 4.1: 地域ドメイン別サーバ配置

図 4.1では，行政区域別に階層化された地域ドメインを地理的位置情報を管理するサーバの階層化と想定する．ドメイン名をつないでいる直線はサーバ間の接続である．各サーバは一つ上位の階層にあるサーバと自分の下位の階層にあるサーバをそれぞれ知っていると仮定する．

例えば，`setagaya.tokyo.jp` ドメインにいるホストが `yokohama.kanagawa.jp` ドメインにいるホストの地理的位置を知りたいと思う場合は，`yokohama.kanagawa.jp` のサーバに問い合わせる．逆に，地理的位置から識別子を検索する場合，そのドメインが管理する範囲に存在する識別子を検索することは容易であるが，`setagaya.tokyo.jp` ドメインのホスト A が `yokohama.kanagawa.jp` ドメインの管理する範囲に移動している場合，`yokohama.kanagawa.jp` ドメインのサーバ B はホスト A 自身が自分の位置が `yokohama.kanagawa.jp` の範囲にあることを知って位置情報を B に送らない限り，A は B を知ることは出来ない．移動するホストは自分の位置から最も近いサーバを選択する必要がある．

また，従来から使用されている `.com` や `.edu`，`co.jp` などのドメインはスタティックな位置情報を含む地域ドメインとは同列に扱うことには検討する余地がある．

2. 均等メッシュ別サーバ配置
一定の距離で区切られた領域毎にサーバを配置する．ホストは移動しても自分の地理的な位置から計算してサーバを選択可能である．また位置を鍵にしての識別子の検索

は，鍵から検索対象となるサーバを選択可能である．但し，識別子を鍵としてその位置を検索するためには，すべてのサーバに問い合わせる必要がある．

4.4 課題と解決法

GLI(Geographical Location Information) はホストの識別子と地理的位置情報の対応付けのためのシステムであるが，その実現のために解決すべき課題について前節までに考察した．本節では，その考察を踏まえ解決法を検討する．

- 位置情報の更新

  エージェントとなるホストは移動可能性という値を新たに導入し，その値から位置情報の更新要求をサーバへ情報を送るかどうかを決定する．また，位置情報を取得する装置の精度から，更新時期を決定し不必要な通信量を抑制する．

  - 移動可能性 (1 or 0)
    0 の場合は最初の登録時以外，位置情報登録要求を送信しない．1 の場合は位置情報登録を送信する．
  - 精度
    移動可能性が 1 の場合である．精度は位置を取得する装置に依存する．例えば，精度が 100m であるとする．この精度 100m という値は，測定した地点は，真の位置から半径 100m 以内にかなりの高い確率 (90%,95%,99.9%が多い) で入るということを意味する．それゆえにこの精度の示す範囲円から確実に外に出た場合は移動したと認識しても構わないのではないかと考えられる．

    この場合，エージェント glid が位置取得デバイスの位置情報を読み取る際に，最新の位置情報を取る前に glid が持っていた位置情報との差分を計算する．そして，位置の差分がこの場合の精度 (半径 $100m$) を超えている場合はサーバに直ちに更新情報を送信する．

- 登録・検索方法

  - 登録
    データベース上での処理は付加・削除・更新という 3 つのみである．
  - 検索
    検索は識別子・位置のいずれをキーとしても検索可能である．また，位置の表現として範囲の指定を可能にする．実際には検索に必要な要素は，位置と目的のオブジェクトの種類というシンボリックなデータである．よって，ホストの付加情報として文字列データを追加し，文字列をキーにした検索も可能とする．範囲の指定がない場合は，最短距離にあるホストを検索する．

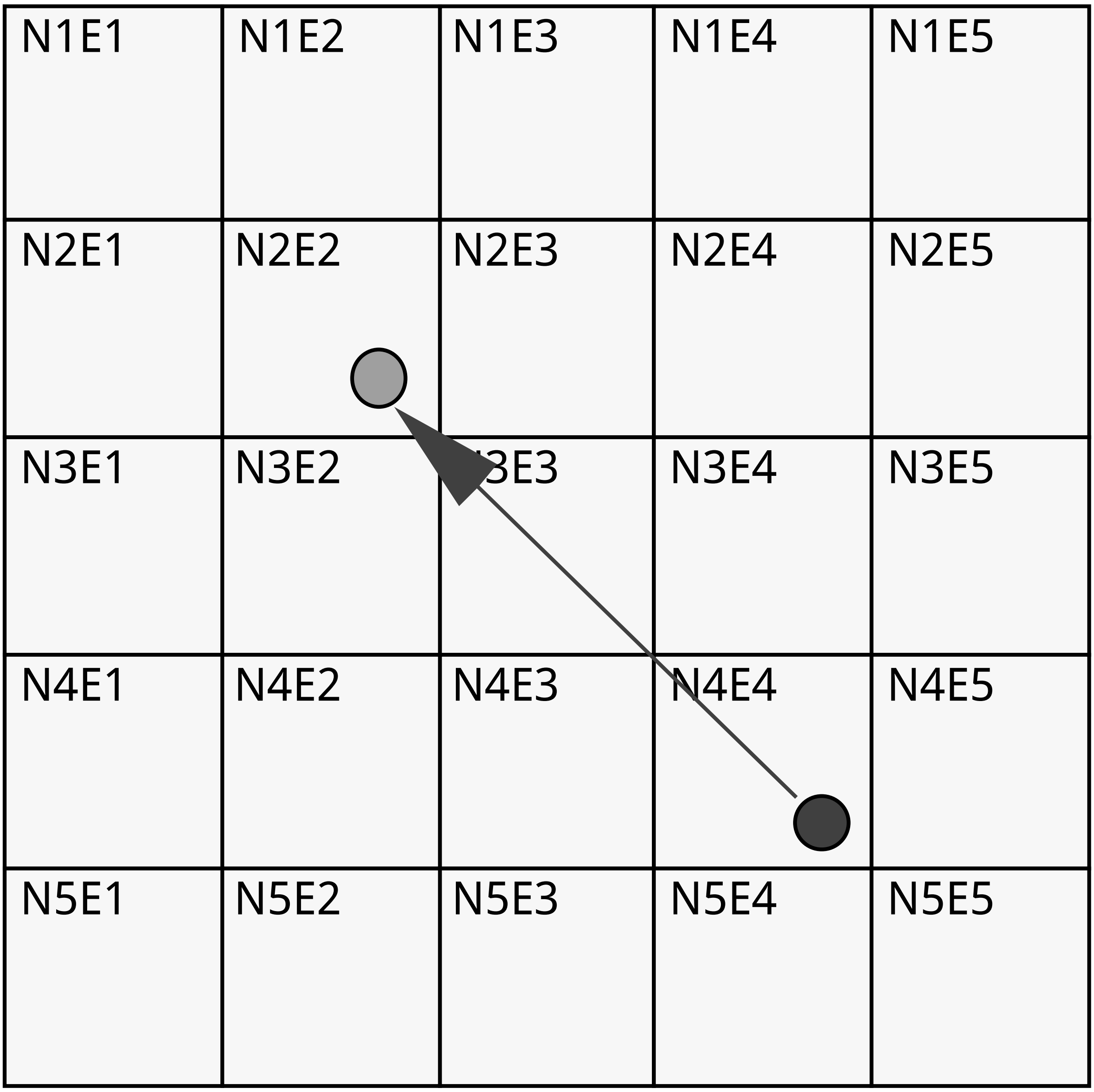


図 4.2: 均等メッシュ別サーバ配置

表 4.1: 精度に必要なビット長

単位	データ幅	適用例
$1mm$	36bit	精密測量, 地質学, 地震学などでの測定用
$1cm$	32bit	遠隔操作による工事 (土木・建設), 水道ガス配管・配線
$1m$	26bit	地図上のオブジェクト認識
$10m$	22bit	ナビゲーション
$100m$	19bit	分布情報地図
$1km$	16bit	〃
$10km$	12bit	〃
$100km$	9bit	〃

- 位置の精度の取り扱い
  利用するアプリケーションによって要求する精度は異なる．そこで，代表的な長さの単位を取り上げ，その単位を表現するのに必要なビット長を表現する方法を検討する．

  その計算を行うために地球上で最も長い円周である赤道上の長さを基準とする．赤道は 1 周約 $40000km$ である．

  例えば，$1cm$ を表現するために必要なビット長を計算する．

  $$40000km = 2^2 * 10^4 km$$

  なので，これを cm に変換すると，

  $$2^2 * 10^9 cm$$

  である．これは，

  $$2^{31} < 2^2 * 10^9 < 2^{32}$$

  なので，$1cm$ を表現するためには 32bit のビット長が必要となる．

  以下，同様に計算した結果を表 4.1に示す．

  次に，緯度経度の精度を概算する．計算の基準として，経度と赤道の周の長さを使用する．また経度は，度・分・秒で構成されるとする．

  例えば，度・分・秒で表され，秒が整数の場合，

  $$40000km = 2^2 * 10^4$$

  である．これを m で表すと，

  $$2^2 * 10^7 cm$$

表 4.2: 経度の精度から得られる概算距離

単位	概算距離
1 秒	$30.86m$
1/10 秒	$3.08m$
1/100 秒	$30.86cm$
1/1000 秒	$3.08cm$

である．よって，

$$2^2 * 10^7/(360 * 60 * 60) = 30.86$$

であるから，1 秒当たり約 30m 程度である．

同様にして，1/1000 秒まで計算結果を表 4.2に示す．これらの値は，ある位置からある距離の範囲に存在するホストを検索する際に，指定した距離から緯度経度の範囲を計算するために，使用する．実際には，緯度によって経度当たりの距離は変動するため正確ではないが，範囲検索[1]というあいまいな作業には適当であると考えられるため，今回の実装ではこれを適用する．

- ホストの識別子

  インターネット上でのホストの識別子として，IP アドレスを使用するが，ユーザからはドメイン名を利用してホストを指定することを可能とする．また，ドメイン名は可変長であり IP アドレスは固定長であるため，実装上は固定長であるほうが効率が良い．

- 移動可能性

  ホストが移動するかしないかを判断する値として移動可能性という概念を導入する．移動する場合は 1，移動しない場合 (固定) は 0 とする．移動しないホストは，位置情報の登録要求は一度で良い．

- 固定ホストの取り扱い

  自力で位置情報を取得する手段を持たない．このようなホストに対して位置情報を付与するための機構を導入する．

---

[1] 本論文では，基準点を中心に Xm 四方の範囲と定義

第5章

Geographical Location Information システムの設計

5.1 GLIシステムの目的

インターネット上の移動するホストや遍在するホストの識別子であるIPアドレスとその地理的位置情報を結合する．そのために，以下のような目標を設定した．

- IPアドレスと地理的位置情報が相互に検索可能なデータベースであること．
- 地理的位置情報を精度が異なっていても普遍的に取り扱えるデータ構造を持つこと．
- ホストの位置情報を取得しサーバに送信する時期を移動可能性と精度から計算して求めること．
- 位置情報を取得不可能なホストに対して他のホストから位置情報を渡すことができること．

5.2 システムの基本構成

GLIでは移動・遍在するホストの地理的位置情報のような動的情報を取り扱う．このようなシステムを考えるとき，必要な要素として3つの役割を定義する(図5.1)．これにより，ホストの識別子であるIPアドレスと，地理的位置情報を相互に検索可能な動的情報データベースを構築する．

- エージェント:情報収集
  各ホストで情報を収集し，サーバへ送信する．
- サーバ:情報管理
  エージェントから送られた情報を管理する．また，クライアントからの情報参照の要求に応答する．

- クライアント:情報参照要求
  ユーザその他からの要求を受けて，サーバへ情報参照の要求を送信し回答を受信する．

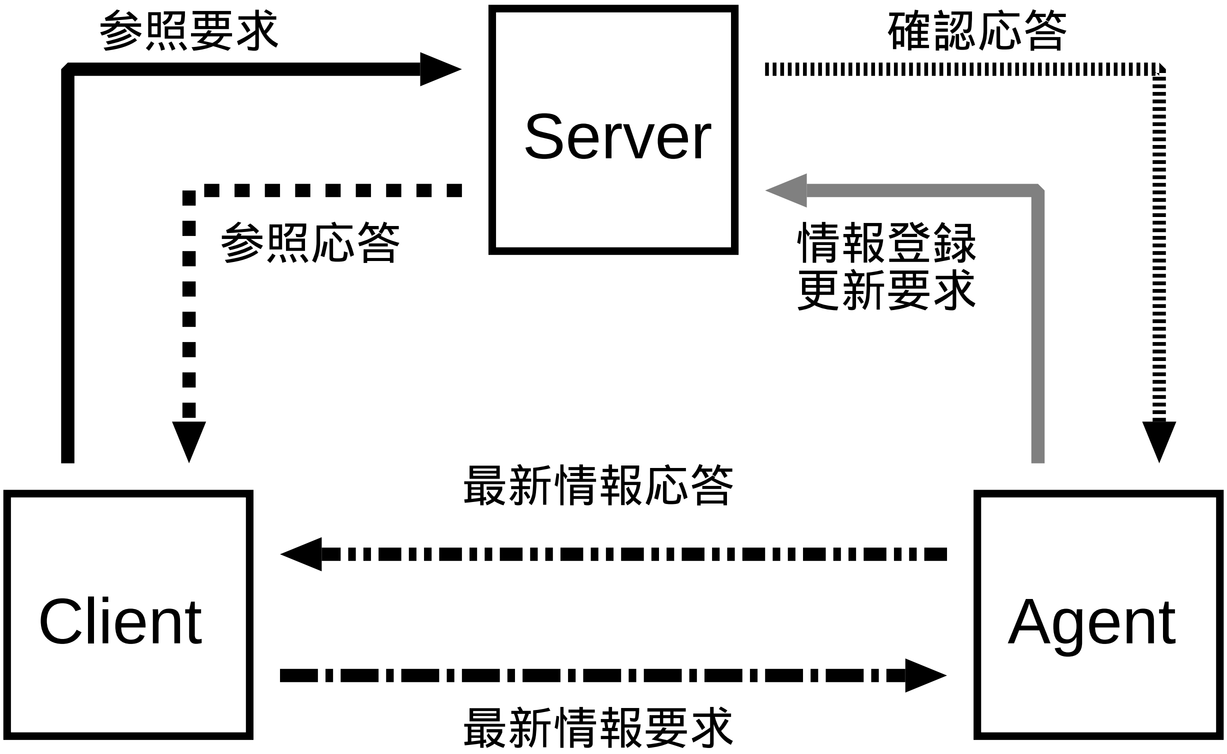


図 5.1: GLI の基本構成

これらの要素は対象とする情報について動的，静的を問わず存在する．ただし，動的情報の場合その性質から特にエージェントの役割が重要である．そこで，次にこのシステムでの動的情報である地理的位置情報の収集について考察検討する．

5.3 サーバ・クライアント・エージェントの構造

ホストの地理的位置情報を提供する本システムにおける 3 つの要素についてそれぞれ個別のプログラムとして機能させる．以下にその役割について述べる．

5.3.1 エージェント:glid

- 各ホスト上で動作する．

表 5.1: 基本的な情報

位置	緯度 ・経度 ・高さ
速度	北方向 ・東方向 ・上方向
装置 (device)	GPS など．
測地系 (datum)	WGS-84,OSGB-36,NAD-27 など
位置情報の種類 (info type)	C/A,P,RDGPS, Carrier Phase,Kinematic など
時刻	計測時刻

全てのホストで動作するため，できる限りシンプルな構造とし，サーバやクライアントで行える処理は実行しない．

- ホストの地理的位置情報を収集しサーバへ送信する．
  - 地理的位置情報の内容

    ホストが有する位置情報として基本的なものを表5.1に示した．位置情報を取得する装置はGPSなどいくつか存在する．また，情報の取得方法に違いがあるため，これらを認識することが必要である．
    - 位置

      LLA(Latitude,Longtitude,Altitude)による記述を利用する．これは緯度 ・経度 ・高度による単一原点球面座標システムである．高度は特定の楕円体またはジオイドモデル[1]的を基準として表現されるため，通常の場合，高度値はモデルに依存する．その他の表現法として，XYZ ECEF(Earth Center Earth Fix:地球中心地球固定)という記述方法がある(今回は採用せず)．これは，本初子午線と赤道の交点がX方向となる直交座標系で，ベクトルは地球とともに回転する．Zは回転軸の方向となる．
    - 測地系 (datum)

      地球の数学モデル．地球上の特定の狭い領域をモデル化したローカル測地系がいくつも存在する．OSGB-36(イギリス参謀本部地図1936)，NAD-27(北アメリカ)など．他に地球全体をモデル化した測地系が存在する(WGS-84など)．今回実装に使用したGPSではWGS-84を選択している．測地系の違いによるずれはかなり大きく，ローカルな測地系(日本ではTokyo)に対応した地図(日本では国土地理院作成の地図)上に位置を表示するためにはWGS-84測地系で得られた位置はTokyo測地系に変換する必要があるため，測地系の区別は重要な要素である．

---

[1] 地球の実際の物理的形状のことで，表面の局所的不規則性や海面-土地変動により数学的記述が困難である．測地学用語でのジオイドとは，平均海面(大陸部では平均海面を推定により延長した面)と一致する，等ポテンシャル面である．ジオイド面はどの地点でも重力と直交する

    - ∗ 位置情報の取得方法による相違
      GPS には位置の取得方法にいくつかの種類がある．GPS 衛星からのデータのコードの種類として C/A[2]コードや P コードが存在する．また，計測方法による相違がある．これらを識別することで得られたデータの精度や信頼性を認識することが可能となる．
  - 取得された地理的位置情報の送信時期

- 自分で位置を取得できないホストからの位置情報注入要求を受け付けて，位置情報を応答する．

- クライアントからの最新情報要求を受け付け，最新の位置情報を応答する．

5.3.2 サーバ:glis

- エージェントからの情報を管理する．

- クライアントからの要求に対して管理している情報から応答を行う．

- サーバの配置
  ネットワーク的な位置と地理的な位置の関係がないために，サーバの設置基準を決定することは容易ではない．本研究ではサーバを集中型で 1 台のみとした．

- サーバのデータベース構造
  エージェントから送信されたデータは，サーバにおいてデータベースに管理される．データベースであるサーバにはエージェントからの高い頻度での情報登録要求や，クライアントからの断続的な検索要求があると考えられる．特に連続的に変化する移動ホストの位置情報を求めるクライアントの要求に対し遅滞なく応答する必要がある．また，移動しないホストは，自分の位置情報を取得した最初の一度だけサーバに位置情報を送信する．このため，サーバのプログラムを起動する度に情報が全て消去されることは回避すべきである．従って，サーバの構築に関しては次のような点を重視して設計するべきである．

  - 検索や登録及び消去などのデータベース上の一連の処理プロセスは，高速で行う必要があるため，検索するデータの特徴を考慮してアルゴリズムやデータ構造を検討する．
  - データはプログラムが停止した場合や，障害が生じた場合に消えてしまう可能性がある．したがって，一定時間毎にデータベースの内容をバックアップする機構を導入する．これにより，一度登録されたデータは保存される．

---

[2] C/A(Coarse/Acquisition) コード.. .. 粗い，または明確な/捕捉コードのこと．このコードが GPS L1 信号に変調される．このコードの使用により，良好な捕捉特性が得られる．このコードのみ一般利用が認められている．P(Precise) コードは軍用である．

- 管理データ
  エージェントで収集され，サーバで管理されるデータは，つぎのようなものを用意する．
  - ホストのIPアドレス(エージェントの動作しているホストのIPアドレス)
  - データベースに対しての処理(追加・更新・削除)を表すフラグ．
  - 最新計測位置情報
    エージェントから送信された最新の位置情報
  - 前計測位置情報
    一つ前にエージェントから送信された位置情報．(最新計測位置情報のエントリーと同じ)

  最新と前計測での地理的位置情報をともに保持することにより，該当するホストのだいたいの移動状況を把握できる．二つの値の差分を使ってそのホストの速度や方向を計算することができる．エージェントからの通信が途絶えてサーバ上のデータの更新が行えない場合であっても，サーバに残された位置情報から予測のための計算が行なえる(図5.2)．図では最後にエージェントから送られた位置が戸越付近であるが，その後五反田駅付近にいると予想されたものである．

5.3.3 クライアント:glic

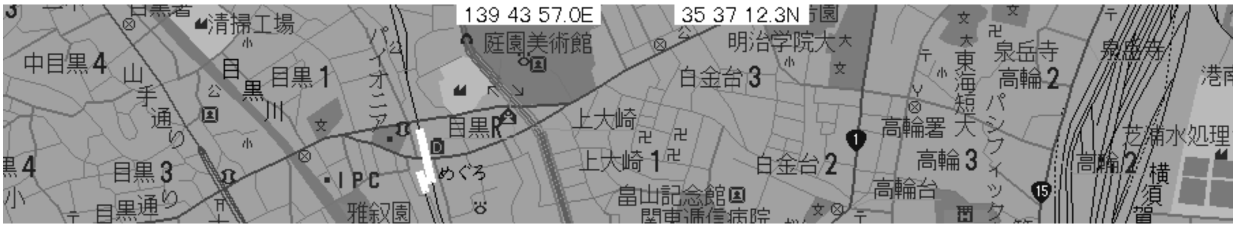
- ユーザとシステムとのインタフェース
- 検索の要求を行う(ホストの識別子または位置情報を鍵としたサーバに対する検索要求，ホストの識別子を鍵としたエージェントに対する最新情報要求)

5.3.4 ホストでの位置情報取得:gli_update

サーバ，クライアント，エージェントの3者と別にエージェント(glid)の動作しているホストにおいて位置情報を装置から取得する機構が必要である．これをgli_updateとする．このgli_updateは位置を取得する装置に依存するため，その装置毎に作成する必要がある．また，このgli_updateは位置情報を取得する装置がない場合に自分の近くにある(と思われる)(位置情報を取得できる)[3]ホストのglidに対して，位置情報を与えてくれるように要求する(位置情報注入要求)．glidは自分の位置情報をgli_updateに送信し，gli_updateはファイルに位置情報を記述する．gli_updateが動作しているホストのglidはファイルの生成を検知して，位置情報が更新されない限りは1回だけサーバに位置情報登録要求を送信する．

---

[3] 近くにいるかどうかの検知は困難であるので位置情報の授受に関して署名を行う方法により，位置情報の授受に信頼性を与える


139 43 57.0E
35 37 12.3N
清掃工場
庭園美術館
明治学院大
中目黒4
目黒1
目黒川
山手通り
パイオニア
目黒R
めぐろ
白金台3
上大崎
上大崎1
白金台2
高輪署
高輪3
高輪台
泉岳寺
高輪2
東海短大
パシフィック
芝浦水処理
目黒3
目黒通り
IPC
雅叙園
畠山記念館
関東逓信病院
港南
横須賀