

Geographical Location Information System の構築とその応用

渡辺 恭人¹ 慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科
村井 純² 慶應義塾大学環境情報学部

概要

インターネットという仮想的な空間と現実の空間を結びつけるには、インターネット上のオブジェクトと現実世界のエンティティを対応付けることが必要となる。我々は、現実世界のエンティティとその地理的な位置との関係を定義し、インターネット上の識別子と現実世界のエンティティの地理的位置情報を対応付ける、Geographical Location Information (GLI) System を提案している [1]。

現在、GLI System のプロトタイプを設計・実装したものが稼働している。本プロトタイプでは、インターネット上の識別子として IP アドレスを使用している。そのシステムでは、物理的な位置に基づいてエンティティの識別子を検索し、エンティティの識別子に基づいて位置を検索することができる。したがってユーザは、現実世界のさまざまなエンティティをインターネットを通じて検索し、リアルタイムに指定したエンティティの最新の位置情報を獲得することが可能になる。本稿では GLI System の概要とそのプロトタイプによる実験と、その応用について述べる。

Implementation of Geographical Location Information (GLI) System, and its application

Yasuhito Watanabe Keio University
Jun Murai Keio University

Abstract

To integrate virtual space such as the Internet and real world we live in, it is necessary to map identifiers on the Internet to geographical location. We define the relationship between entity and its geographical location in the real world, and are proposing GLI (Geographical Location Information System) [1].

Currently, prototype of GLI System is running. The prototype uses IP addresses as identifiers on the Internet. The system makes it possible to look up entity identifiers based on physical location, and to look up location based on entity identifiers. Thus users can search for various entities of the real world through the Internet and obtain up-to-date location information of the specified entities in real-time.

In this paper, overview of GLI System, implementation and experimentation of the prototype, and application using GLI System are described.

¹riho-m@sfc.wide.ad.jp

²jun@wide.ad.jp

1 はじめに

現在インターネットにはその劇的な普及とともにかつて以上に日常生活とのより密接な関連が生じている。この分野での研究は、移動する計算機やネットワークに接続された非計算機エンティティを利用した実用的な応用を目標としている。その結果、インターネットに接続されたエンティティの数は絶えず増加しており、またその位置が広域に分散し、トポロジは常に変化している。これらのエンティティに実用的な手法でアクセスするためにはインターネットに接続されたエンティティの地理的な位置情報を獲得することが必要となる。

TCP/IPのネットワークアーキテクチャにはすでにIPアドレスが接続されたホストの論理上の位置を識別する手段がある。しかしながら、インターネットを通じてアクセス可能なエンティティの地理的位置情報を提供するアーキテクチャやシステムは、それが強く必要とされているにも関わらず存在しない。そこで現実世界のエンティティとその地理的な位置との関係を定義する必要がある。我々はエンティティの地理的な位置とインターネット上の識別子を対応付けるGeographical Location Information (GLI) Systemを提案している[1]。

プロトタイプではインターネット上の識別子としてIPアドレスを使用している。そのシステムでは、物理的な位置に基づいてエンティティの識別子を検索し、エンティティの識別子に基づいて位置を検索することができる。したがってユーザは、現実世界のさまざまなエンティティをインターネットを通じて検索し、リアルタイムに指定したエンティティの最新の位置情報を獲得することが可能になる。

以下第2章では、GLI Systemの概要について述べる。GLI Systemのプロトタイプ的设计・実装および実験に関しては第3章で述べる。第4章では、GLI Systemの応用および拡張について述べる。第5章は今後の課題で本論文を締めくくる。

2 GLI Systemの概要

GLI Systemの目標は、地理的位置情報を導入することによって現実世界のエンティティ¹に対してインターネットを通じてアクセスが可能となることである。そこで、インターネット上の識別子を地理的位置情報と対応付ける必要がある。ここでは、地理的位置情報のインターネットへの導入方法とシステムの概要について述べる。

¹本研究において使用されるエンティティという言葉は、現実世界やインターネット上に存在する物理的な対象、例えば、自動車、人間、家、駐車場、ホスト、ファイル、プロセスなどを意味する。

2.1 位置情報のインターネットへの対応付け

エンティティの地理的位置情報の表現方法

地理的位置情報は現実世界で使用される指標であり、エンティティの位置情報を表すために様々なパラメータを持つ。これらのパラメータには、座標系、名前、精度、速度、方向、広がり・大きさなどが含まれる。

特にエンティティの地球上での絶対的な位置を特定するためには、緯度経度高度 (Latitude Longitude Altitude (LLA)) などの座標系が重要である。また地球の形状が完全な球でないことから各地域で限定して使用される測地系という手法が使用される。これらは、システムの内部で使用される地理的位置情報としてはプリミティブで扱いやすいが、日常生活においては人々には与えられた位置や階層的にあるいは伝統的に分類された領域 (例: 国, 州, 県, 市, 通りなど) を名前で表すとといった、より簡単な表現方法を使用する。したがって実用的な用途には、多くの場合絶対的な位置座標を位置の名前に変換する必要がある。

システムで規定される位置情報の精度のレベルは、ハードウェア、ユーザの要求や用途に依存して変化する。例えば、カーナビゲーションシステムでは、半径10mのオーダの精度で機能する。ガスや水道などの配管工事は10cm。地震学や地質学の分野での測定は1mmのオーダでの精度を必要とする。このように地理的位置情報を汎用的な位置情報処理システムに統合するためには、様々なレベルでの精度に対応する必要がある。

また、地球上のエンティティには固定されているものもあれば、動的に位置が変化するものもある。エンティティの速度や進行方向の値は移動するエンティティのみが保持している。移動するエンティティの速度や進行方向が把握できる場合、より正確な位置を表すことができる。

最後に、現実世界の大部分の物理的なエンティティは広がりや大きさを持っており、単純に座標のみではそのエンティティを表すのに十分な情報を与えない。この問題を解決するために、エンティティの広がりや大きさを特定する単純な方法がある。例えば、中心の点と指定された半径によって囲まれる円の領域、または三角形や正方形などで囲まれた領域 (図1) によって、また、線分とその幅を与えることによって、エンティティの占める領域を表すことができる。

しかしながら、このようにして決定された広がりや大きさは誤差を含み、エンティティの形状を無視している。より正確な方法はエンティティの広がりや大きさを座標によって特定された点によって囲まれた領域として特定することである。しかし、エンティティの形状の複雑さによって、表現に必要な情報量は増加する。

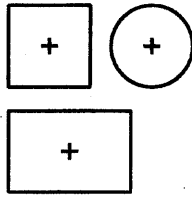


図 1: エンティティの領域の簡単な表現 (平面)

地理的位置情報の階層化

前項において、座標による実用的なエンティティの地理的位置情報の表現が可能になった。しかし、インターネット上で実用的に利用するためには、より系統だった表現構造が必要となる。そこで我々は、図 2 のような地理的位置情報の階層的な表現構造を提案している。

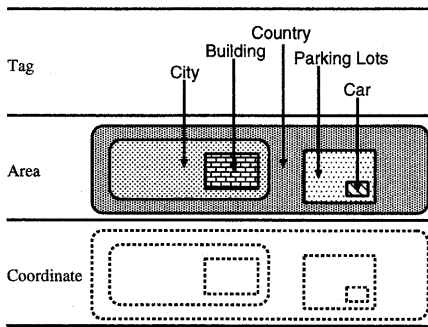


図 2: 地理的位置情報の階層的表現構造

この表現構造により、ユーザによるエンティティの占める領域や空間を含んだ位置の設定が可能となる。また、エンティティの位置や属性の包含などの関係をも定義することが可能となり、そのような関係を含んだ地図がインターネット上に作成される。

インターネットの識別子

現実世界のエンティティをインターネット上で取り扱うためには、エンティティをインターネット上で識別する必要がある。インターネット上には様々な識別子が存在しており、これらとエンティティ、その地理的位置情報との関係を定義することは重要である。様々な識別子のうち、アプリケーション層において使用されている識別子(ドメインネームや URL など)は、ネットワーク層の IP アドレスに対応付けられている。IP アドレスはホストの識別子であるが

ネットワーク番号とホストの識別子から構成されているため純粋には識別子とはいえない。このような構造のため、ホストが別のサブネットワークに移動した場合は IP アドレスは変更されてしまう。あらゆるエンティティを識別するためには、純粋かつインターネット上でグローバルに使用可能な識別子が必要となる。

2.2 位置情報の管理

エンティティを指定してその地理的位置情報を検索したり、または位置を指定してエンティティを探すためには、そのようなエンティティの情報を収集してデータベースで管理することが必要である。このデータベースはサーバにおいて管理され、位置情報にアクセスするための問い合わせ要求を行なうクライアントとともに存在する。サーバ上で位置情報を管理するために二つの方法がある。サーバの集中化と分散化である。

インターネットのような大規模広域分散環境では、分散サーバ方式がより効果的であるが、ユーザは最も近いサーバに関する位置を知らなければならない。従って、サーバの配置に関しては標準的な基準も決定する必要がある。

2.3 位置情報の更新

エンティティの地理的位置情報は静的でなく、常に変化しているものがある。従って、それはある程度の時間が経過した後では無効または不正確になっている可能性がある。移動するエンティティが速度を増加させるにつれて、その位置情報は正確性が減少する。位置情報が一定間隔で更新される場合、エンティティは速く移動するすればするほど、その情報はすぐに役に立たなくなる。

エンティティの位置情報を更新するために、エンティティはその情報をネットワークを通じてデータベースを管理するサーバへ送信する。サーバが最新の情報を維持するためには、エンティティはそれ自身が持つ最新の情報を常に送り続ける必要がある。しかしながら、これはネットワークのトラフィックを増加させる。それゆえ、更新時期はエンティティの動的な特性に従って決定および調整されるべきである。そこで、移動エンティティを取り扱う、mobility factor(移動可能性)と update timing(更新時期決定)という二つのパラメタを導入する。

mobility factor が 1 のときは移動エンティティを表し、0 のときは固定エンティティを表す。言い替えると、mobility factor が 0 の場合はエンティティは位置が変化しない限り更新情報を送信せず、1 のときはある間隔で更新情報をサーバへ送信する(図 3)。それぞれのエンティティは精度²のパラメタと前

² 測位精度が 100m、2dRMS と表記される場合、真の位置を中心として半径 100m 以内に 95% の確率で測位される程度の精度。

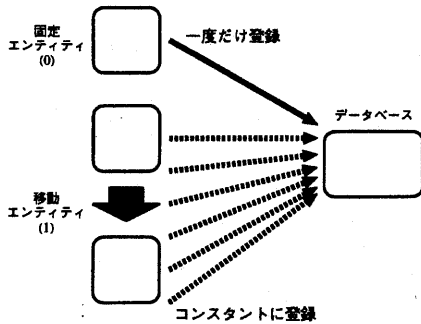


図 3: mobility factor

回取得した位置を持つ。現在の位置と前回取得した位置との差分が精度のパラメタより小さい場合は、エンティティが実際に移動した可能性が低いと見做す。逆にその差分が精度のパラメタより大きい場合、そのエンティティは移動したと判断できる。よって、mobility factor が 1 のエンティティは前回取得した位置と現在位置の差分が精度のパラメタより大きい時に更新情報を送信する (図 4)。

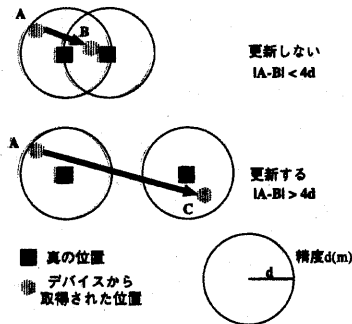


図 4: mobility factor = 1 のときの更新時期決定

3 GLI System のプロトタイプ

ここでは、前節で述べた問題を考慮しながら、Geographical Location Information (GLI) System のプロトタイプについて述べる。

3.1 設計

GLI プロトタイプシステムでは、ホストの位置情報を管理する。本システムを通じてアクセス可能な

エンティティはホストであり、IP アドレスがエンティティの識別子として使用される。従って、本システムではホストの GLI と IP アドレスとの対応付けを提供する。そのような対応付けの結果として、ユーザは次のような問い合わせを行うことができる。

- WIT: Who Is There?
地理的位置に基づくエンティティ識別子の検索
- WAY: Where Are You?
エンティティの識別子 (IP アドレス) に基づく地理的位置の検索

GLI パラメタ

本プロトタイプで使用される基本的な GLI パラメタは location, velocity, time からなる。location は緯度経度高度の座標で表される。Velocity は北方向-東方向-上方向の速度からなる。time は GLI が取得された時刻を表す。

位置情報管理

サーバではエンティティの GLI を管理する。本プロトタイプではシングルサーバアーキテクチャを使用する。分散サーバは今後のバージョンで考慮される。

基本構造

GLI System の基本構造を図 5 に示す。GLI を管理するために相互に協調する 3 つのモジュールを導入する。

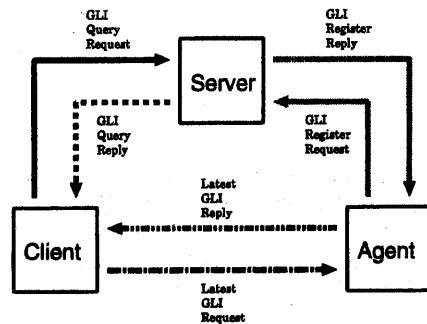


図 5: 基本構造

エージェント

エージェントは各々のエンティティで動作し、GLI を集め、サーバに登録する。エージェントはまたクライアントからの最新 GLI 要求を受け取り、その情報を返す。

サーバ

サーバはエージェントから送信されたGLIをデータベースに管理し、クライアントからの問い合わせ要求を受け取り、その結果をそのクライアントに送信する。エージェントから送信されたデータはサーバのデータベース上に管理される。サーバ上のデータベース管理方法はエージェントからの連続的な要求、特に移動エンティティの最新情報を提供するための登録要求は短い間隔で送信されるので、高速に処理することが要求される。

サーバで管理されるそれぞれのエンタリには4つのフィールドがある。第1のフィールドはIPアドレスで、本プロトタイプではエンティティの識別してして使用される。第2, 3のフィールドはGLIである。一つは最新のGLI, もう一つは前取得のGLIである。過去2段階のGLIの値を保持することで、エンティティの移動状況を把握することができる。二つの値の差分から移動の間の速度や進行方向を計算して求めることができる。エージェントが何らかの事由によって長い間隔で更新情報を送らなかつた場合に、過去2段階のGLIから現在地を推測可能である。

クライアント

クライアントはユーザとGLI Systemとの間にインタフェースを提供する。クライアントはユーザからの問い合わせ要求(WAY, WIT)をサーバに送信し、その返事をユーザへ返す。また、クライアントは特定のエンティティの最新のGLIをそのエンティティに直接問い合わせることによって求めることができる。

3.2 実装

ハードウェアアーキテクチャ

本稿でのプロトタイプ実装では、地理的位置情報を取得する装置として、Global Positioning System(GPS)を使用している。使用したGPSはトリンプル社製の6チャンネルGPSセンサである。GPSに依存した部分はgli.updateという名前のモジュールに分離して実装した。これは本プロトタイプでは装置に依存した唯一のモジュールである。このシステムは、IBM PC/AT 互換機用のBSD/OS 2.1, NEWS-OS4.2.1, SunOS4.1.4.に実装されている。

ソフトウェアアーキテクチャ

GLI SystemはTCP/IPを使用したアプリケーションプログラムとして実装されている。サーバとクライアント、サーバとエージェント、クライアントとエージェント、それぞれの間の通信はTCP (Transmission Control Protocol)を使用している。データフォーマットにはXDR(eXternal Data Representation)[2]を使用している。したがって、異なるマシンアーキテク

チャが異なるバイトオーダを使用する場合にも問題は生じない。

図6に、プロトタイプ実装のソフトウェア構造を示す。プロトタイプののエージェント、サーバ、クライアントは実装次のように実装される。エージェントはglidとgli.updateという2つのモジュールからなる。サーバとクライアントはそれぞれglisとglicというモジュールから実装される。

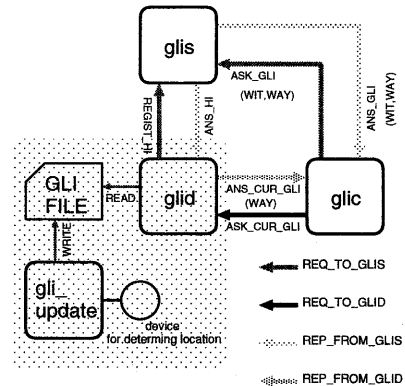


図6: GLI ソフトウェアアーキテクチャ

図6においてモジュールはそれぞれの名前(gli.update, glid, glis, glic)がついた正方形で表されている。glid, gli.update, GLIFILEを囲む長方形はこれら3つが同じエンティティに存在することを示す。gli.updateは装置から情報を受け取り、それをGLIへ加工する。各エンティティでは、gli.updateはGLIを取得しそれをGLIFILEへ書き込む。glidはGLIFILEを読んで、GLIをサーバに登録する。glicは問い合わせ要求をglisとglidに送信する。

3.3 実験環境

図7に実験環境を示す。この実験はイーサネットからなるネットワークと800Mhz帯の携帯電話の回線を利用し、一つのサーバとクライアントとエージェントが動作するいくつかのエンティティ(その一つは移動している)で行なわれた。san-marinoとsharkという名前のエンティティはイーサネットに固定されている。docileという名前のエンティティは車と共に移動しており、携帯電話の回線でモデムを用いてsharkに接続されている。

この実験環境において、エージェントglidが稼働している移動ホストdocileからサーバglisが稼働している固定ホストsan-marinoに対して、docileのGLIパラメタが正しく送信され、また、固定ホストsharkのクライアントglicからサーバglisの固定ホ

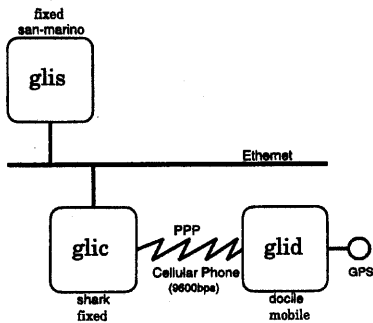


図 7: 実験環境

スト san-marino に対して docile の地理的位置情報が検索されたことが確認された。

4 GLI の応用と拡張

本稿の GLI System のプロトタイプでは、GLI パラメタとして基本的な情報のみを取り扱っている。しかしながら、現実世界のエンティティは実際には、様々な属性の情報を持っている。前に述べた地理的位置情報の階層化によるエンティティの位置及び大きさ、領域の表現以上に、それぞれのエンティティの持つ情報を取り扱うことが必要である。

エンティティの持つ情報のうち、特に動的な情報を扱うことによって様々な応用が考えられる。広域に分散したエンティティから得られる動的情報を収集することで、動的情報の分布図がリアルタイムに作成される。本研究では、自動車をプラットフォームとして、自動車に搭載されている様々なセンサーデバイスから得られる動的情報(位置、速度、進行方向、ワイパー、温度、湿度、音声、画像など)を収集、管理する。GLI System を拡張して設計・実装し、実験・評価を行う予定である。これらの動的情報が収集されると、既存のマクロ的な収集情報と比較してより人間の感覚に近い分布情報が得られる。例えば、ワイパーの動作は、雨の有無とその強弱を示すため、雨量よりわかりやすい情報となる。また、全ての車の位置、速度、進行方向が収集されると、既存の交通情報システムと比較して、より正確、よりリアルタイム性の高い情報提供が可能になると考えられる。

エンティティの静的な情報の取り扱いも重要である。インターネット上のユーザが自分の行った場所や身の回りのエンティティの情報を容易に GLI System 上に登録できるようになると、紙面上の地図や CDROM などのメディアによる地図データよりリアルタイム性や網羅性の高い情報分布図が作成される。

5 今後の課題

本研究では本稿で述べた内容で GLI System に実装できていない項目、エンティティの地理的位置情報の階層化、エンティティの動的情報の管理、有効なアプリケーションソフトウェアとその支援環境、データベース管理サーバの分散化、大規模化への対応、情報の安全性、秘匿性、匿名性、機密性などの課題について、継続して取り組む予定である。

謝辞

本研究を進めるにあたって有意義な議論をして頂いたソニーコンピュータサイエンス研究所の寺岡文男氏、塩野崎淳氏に感謝します。また、研究に関して様々な形でアドバイスして頂いた WIDE Project のメンバーの方々に感謝致します。また、本研究を進めるにあたっていろいろと力になって頂いた、慶應義塾大学徳田村井楠本中村研究室の方々に感謝致します。

参考文献

- [1] Yasuhito Watanabe, Atsushi Shionozaki, Fumio Teraoka, and Jun Murai. The design and implementation of the geographical location information system. In *Proceedings of INET'96*. Internet Society, June 1996.
- [2] Sun Microsystems, Inc.: XDR: External Data Representation Standard RFC 1014, June 1987
- [3] Mahadev Satyanarayanan: Workshop on Mobile Computing Systems and Applications December 1994 *Operating Systems Review*, Volume 29, Number 2, April 1995
- [4] Roy Want, Andy Hopper, Veronica Falcao, and Jonathan Gibbons: The Active Badge Location System *ACM Transactions on Information Systems*, 10(1):91-102, January 1992.
- [5] Bill N. Schilit, Norman I. Adams, and Roy Want: Context-Aware Computing Applications *Proceedings of the Workshop on Mobile Computing Systems and Applications*, Pages 85-90, Santa Cruz, CA, December 1994. IEEE Computer Society.