

「分散協調型シンクライアント通信カーナビの開発」

“Development of Internet-aware Thin-Client Car Navigation System with Distributed Concurrent Processing.”

玉寄 尊
Takashi Tamayori

株式会社ネットジーン (〒169-0051 東京都新宿区西早稲田 2-15-10 西早稲田関口ビル 2F
E-mail:tamayori@netgene.co.jp)

ABSTRACT. Car Navigation Systems are the most innovative and useful car electronic products today. The developer has invented a next generation car navigation system which is based on *Internet-aware thin-client car navigation system*. The system is small and cost efficient as it has no large storage devices such as HDDs, which stores huge data including maps, highways, streets, addresses, telephone numbers, point of interests (POI), landmarks and their 3D graphics, etc. In the system developed, all these data is stored in a server which is also responsible for Genetic Algorithms(GA) based route planning. The GA based route planning can suggest the best route to the destination, rather than the traditional shortest-route.

1. 背景

日本の(特に首都圏の)道路は狭く入り組んでいる上に、道路標識の完成度が低いために目的地まで迷わずに移動するのがかなり難しい。特に自動車での移動は一方通行や右折禁止などの制約が追加される分難易度が上がり、地元に住む人間ですら迷わず目的地まで到達するのは難しい。ましてやその場所に初めて行く人間にはまず不可能だろう。

このような背景を考えると、日本のカーナビ(カー=ナビゲーション=システム)技術が世界最高水準であるのも当然と言える。皮肉にも日本の高度な組み込み技術と道路事情の悪さが、日本の誇るカーナビ技術を育てたのである。

近年の情報技術の進展により、カーナビの技術も驚くほど進歩している。カーナビに必要とされる基本的な機能は、次のようなものがある。

- ・GPS(Global Positioning System)を利用した現在位置の取得
- ・現在位置の表示
- ・経路探索
- ・マップマッチング

最新のカーナビでは、これらの基本機能に限っても格段の進歩を遂げている。D-GPS(Differential-GPS, GPSの精度を向上させる技術)に加えてSA(Selective Availability, 民生用GPS信号の精度を本来のものより低下させる処理)が解除されたことによってGPS単体での精度も向上している上に、加速度計やジャイロを駆使した慣性航法により、ビル街や地下駐車場でも、ほとんど問題なく利用できるようになっている。またCPUパワーの向上やアルゴリズムの改良などにより、経路探索にかかる時間もかなり短縮されている。

最新カーナビが持つ機能は機種毎に違いがあるが、概ね次のような機能が用意されている。

- ・D-GPS
- ・ジャイロ, 加速度計, 速度計等の情報を利用した位置

情報の補正

- ・音声出力によるガイド, ボイスコントロール(音声によるコマンド入力)
- ・複数経路(数本程度)の同時探索
- ・幹線道路や信号はもちろん, 細街路, レーンチェンジ, 地下駐車場も含む全国の道路データ
- ・全国3千万件の個人宅, 店舗, 娯楽施設, 宿泊施設などの豊富なデータ
- ・6万5千色フルカラー, テクスチャも使ったリアルな3D画像やランドマークのアニメーション表示
- ・VICS, ETC, 携帯電話との連携
- ・パソコンとの連携
- ・DVDビデオ再生

このような機能を支えるためには膨大なデータが必要である。この膨大なデータを保存するために最近のカーナビは全て、組み込み機器としては例外的に大容量の二次記憶を装備している。

データ保存用の二次記憶として昔は容量が640MBあるCD-ROMが使われていたが, その後のデータの大型化のために現在では容量が全く不足してしまっている。それどころか最近ではDVD-ROMの8.5GBでも不足気味で, さらに大容量且つ高速の記憶装置として十数GBのHDDを装備している機種も珍しくない。

この傾向はまだ終わったわけではなく他社との差別化のために今後もデータの肥大化競争は続けられるだろう。

しかしながらこのような情報の肥大化や多機能化は, 必ずしもユーザーのニーズに答えたためとは言い難く, むしろベンダー主導の側面が強い。i-modeなどのインターネット対応携帯電話を見ても分かるようにユーザーが求めているものは必ずしも高度なハードウェアや膨大な情報ではなく, それらがもたらすサービスである。どんなに優れたハードウェアと大量のデータを使っても提供されるサービスが無意味なものでは, 機器の付加価値に

は繋がらない。

例えば皮肉な話だが、数 GB 以上の膨大なデータとは言えその元となるデータは大差ないというのが現状らしい。カーナビに搭載されているデータは膨大であるがゆえに、その製作にかかる費用も時間も莫大なものとなる。このため各社で独自に製作することはおよそ非現実的で、元となるデータを他社より購入し、それを元に各社独自の加工を加えて搭載することになる。しかしそのような膨大な製作コストを負担して製作している企業はほんの一握りであり、多くの場合は各社ともデータの購入先は同じということになってしまう。このため個人宅だけでも三千万件というような膨大なデータを搭載しているにも関わらず、データだけでは他社との差別化にはなかなか繋がらない。

しかもデータの量が増えるのに比べればユーザーの利便性はさほど向上していない。例えば最近のカーナビでは全国の家3千万件程度の住所が電話番号より検索できるが、そのうち実際に利用されるのは、車で訪問する数件～十数件という所ではないだろうか。それ以外のデータは一度も利用されないゴミデータとなる。しかも頻繁に利用する家庭については道も覚えているので、カーナビを使うメリットは半減する。今後記録される件数が今の倍になったとしても、一般ユーザーにとってのメリットは全くないと言って良いだろう。

さらに詳細な情報というものは同時に変化しやすい情報でもある。例えば幹線道路や地形、都道府県名は十年経ってもほとんど変化は無く、昔のままの情報が利用できるだろう。これに対し小さな路地やマンションの住人などは数年も経つと一部が変化していても不思議は無いし、市町村でさえ統廃合で名前が変わるのは、そう珍しい話ではない。ましてやコンビニや駐車場、電車の時刻表や店舗の営業時間ともなると、僅か数ヶ月、或いは数週間前のものでさえも目安程度にしかならない。これが渋滞情報や天気予報ともなると時々刻々と変化するものであり、可能ならばリアルタイムに取得することが好ましい。

次に多機能化についてだが、無意味な多機能化は多くの場合は操作性の低下にも繋がる。しかもその性質上、カーナビでは入力装置は大きく制限される。具体的にはリモコンやタッチパネルが主体で、マウスやフルサイズのキーボードなどはまず利用できない。音声入力装置を備えるものもあるが、これは利便性のためというよりは、

運転中はタッチパネルでさえ必ずしも利用できないために用意された代用品としての意味合いも強い。このため、最近では膨大な機能が搭載されてはいるものの、目的の機能呼び出すまでの手順だけでも一苦労となる。

つまり一般的に言って、近年のカーナビは著しく多機能化、高性能化しているにも関わらず、そのような「便利な新機能」の大半が、一度も使われていないというのが実情ではないだろうか。このためユーザーにとっての付加価値や利便性は頭打ちの感が強く、それどころかコスト=パフォーマンスの面からはむしろ悪化している可能性さえある。

ここで発想を転換し、通信技術を活用して PDA 等の汎用的な小型の携帯機器上で利用できるカーナビ技術の開発を行う。サーバー機能の支援を受けることで、貧弱な CPU と小さな主記憶しか持たない汎用的な小型の携帯機器上でも動作するカーナビが実現できれば、大幅なコストダウンと小型化が可能になるだろう。

このようなカーナビを、ここでは「シンクライアント型通信カーナビ」と呼ぶことにし、従来型のカーナビを「スタンドアロン型カーナビ」と呼ぶことにする。シンクライアント型を単に「通信カーナビ」と呼ばない理由は、最近の携帯電話連動機能を持つカーナビや VICS 対応カーナビ、データ配信のみを行う「ファットクライアント型通信カーナビ」と明確に区別するためである(図 1)。

2. 目的

本技術開発では、無線通信を用いサーバーと端末が非同期的に協調動作するシンクライアント型通信カーナビを開発する。これはデータの所持および処理の大半をサーバー側で行い、クライアント側ハードウェアとして汎用的な端末である PDA(将来的には携帯電話にも対応予定)を使用するものである。

これによって膨大な情報をクライアント側に保持する必要がなくなり、端末の大幅なコストダウンと軽量化が期待できる。さらに情報のアップデートはサーバー側で行われるため、わざわざユーザーが新しい情報をインストールすることなしに、いつでも最新の情報が利用できるようになる。

情報はある意味「生もの」であり、鮮度が命である。新鮮な情報を新鮮なままに顧客へと送り届けることは、



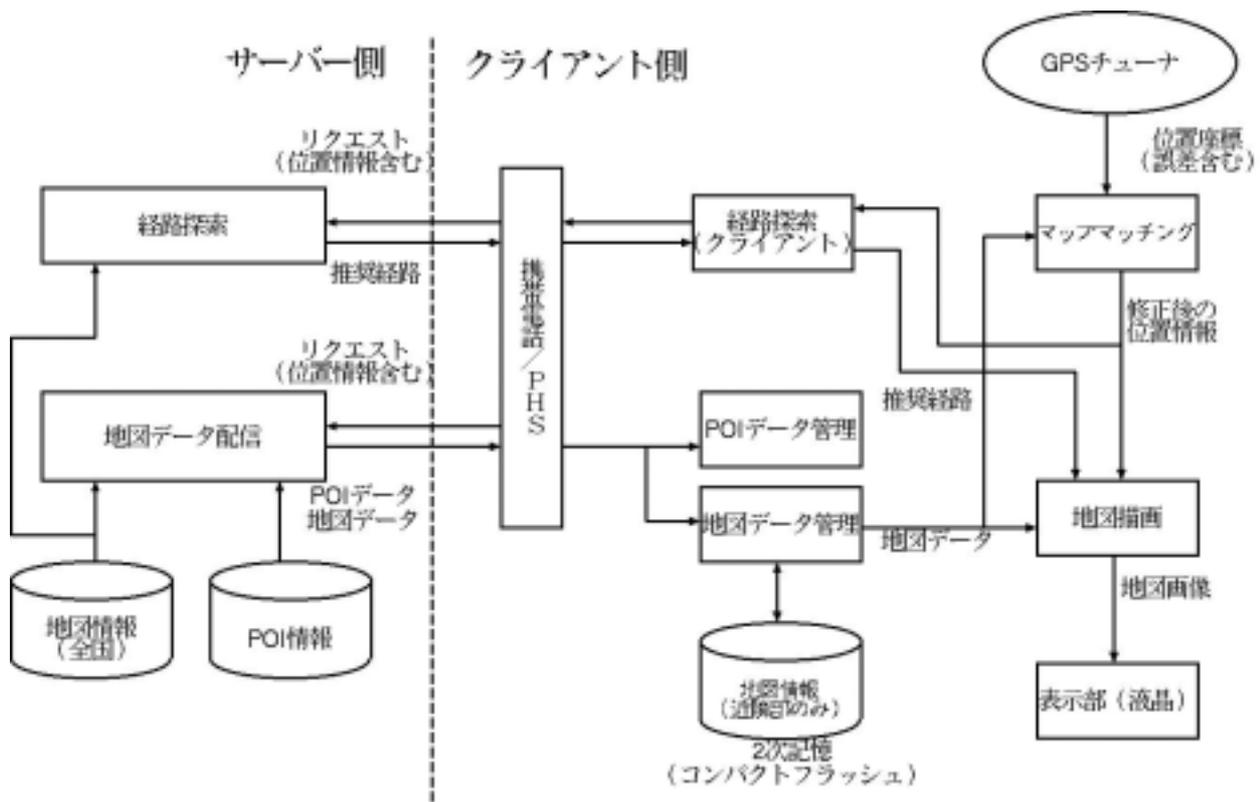


図2

情報の価値を高めることにも繋がる。

3. 開発するシステムの概要

a) 主要技術

上で述べたシンクライアント型カーナビシステムを実現するために、今回新たに開発する主要技術は次の三つである。

- I. 携帯機器上で動作する軽量のカーナビクライアント。ハードウェアには通信機能を持つ汎用の PDA 等を使用する。
- II. サーバー側で動作するサーバーソフト。これはクライアントで必要とされる地図データの配信のほか、経路探索機能も含む。
- III. 低速通信での配信に適した軽量の地図データフォーマット。

b) 全体構成

図 2 に今回開発したシンクライアント=カーナビの全体構成を示す。これらは主に次の様なモジュールから構成される。

- ・通信部分：サーバーとクライアント間の通信には、市販されている携帯電話や PHS などを使う。このため現在の所は通信速度は最大で 9.6 ~ 64[kbps]程度に制限される。
- ・マップマッチング：GPS から得られる位置座標には誤差が含まれている。この誤差のある座標や進行方向、路面の傾斜などを元に、地図と照らし合わせて最も確からしい座標を推定する処理。
- ・地図データ管理、POI(point of interest)データ管理：配信された地図データ及び POI データを管理している。配信された地図情報は二次記憶(コンパクトフラッシュ等)へと保存される。保存する領域が不足すると、古い情報から順に上書きされる。

- ・地図情報配信サーバー：カーナビからのリクエストを元に、その近隣の地図情報の他、POI 情報等のコンテンツを配信するサーバー。
- ・経路探索(クライアント側)：指定された目的地までの推奨経路を作成する。経路探索の処理のうち、主にサーバー側へのリクエストを担当する。
- ・経路探索(サーバー側)：実際に経路探索を行う部分。経路探索をサーバー側で行うことで、クライアントの負担を減らすのが主な目的。

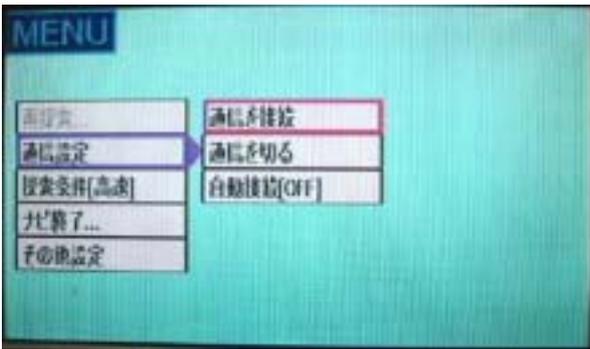
c) 開発環境、及び画面イメージ

実際の開発に使用したクライアント ハードウェアの概要は次の通りである。

- ・CPU:SH7750S(SH4) 167MHz
- ・一次記憶：SD-RAM32MB
- ・二次記憶：コンパクトフラッシュ
- ・LCD：6.5 インチワイドカラーTFT, 400×234 ドット
- ・通信：
 - PDC パケット通信 9.6[kbps]
 - CdmsOne パケット通信 64[kbps]

開発したシステムの画面イメージを次に示す。





4, 設計と実装

以後,今回開発した技術のうち,特徴となる個所について説明する.

1)カーナビ=クライアント

まず第一に忘れてはならないのは,カーナビはあくまで組み込み機器だということである.組み込みはパソコンやサーバー機に比べて格段に貧弱なハードウェア上で,高い信頼性やリアルタイム製,信頼性などが求められる.さらにカーナビともなると,機能面や操作性においてもパソコンに勝るとも劣らないものが求められるため,その開発はより困難なものとなる.

たとえば従来のスタンドアロン型カーナビを例に取ると,これらは外部電源で駆動され,組み込み用としては高性能なCPU(例えば200~400MHzクラスのRISCマイコン)と大容量(十数MB程度)の主記憶(処理速度や容量から考えて,おそらくはDRAM)に加え,二次記憶としてDVD-ROMやHDDなどを内蔵している.さらにはタッチパネル付きのフルカラー液晶,リモコン,音声認識機能なども装備している.しかも外部電源であるため,発熱はともかく稼働時間の面については消費電力の心配もない.

これは組み込み機器としては例外的に強力なハードウェアと言える.しかし,それでもやはり組み込み機器には違いなく,パソコンなどに比べればメモリもCPUも数段貧弱である.その貧弱なハードウェア上で高度な機能を実現しなければならぬため,開発は非常に困難なものとなる.

これがシンクライアント型カーナビともなると,スタンドアロン型に比べてもハードウェアの制限はさらに厳しくなる.

例えばCPUこそほぼ同程度だが,主記憶については二次記憶相当の部分込みでも16~32MB程度(おそらくはDRAM又はSRAMとフラッシュメモリが半々程度)とかなり小さくなる.外部記憶装置としてはフラッシュメモリカードがあるが,HDDが既に十数~数十GBあり必要があれば数百GB以上も可能なのに対し,僅かに数十MB~数百MB程度と数段小さくなる.携帯機器で利用

できる超小型のHDDもないわけではないが,容量辺りの単価が高くなる上に耐衝撃性に問題があるため標準的な利用は難しい.

このためシンクライアント型ではファットクライアント型以上にメモリ消費を抑えると共に,貧弱なCPUでも十分な処理速度を得られるよう,プログラムを高度に最適化する必要がある.

また通常は内部電源であるため消費電力の制約も厳しく,CPUをフルに動かすにつづけることは稼働時間の短縮に繋がるため好ましくない.一般に同じハードウェアを使う場合でも,ソフトウェアの負荷が大きければ大きいほど消費電力も増える.(通常は組み込みマイコンでは複数の実行モードを持つが,稼働状態とスリープ状態では,消費電力に1000倍やそこらの違いは出る.負荷が小さければそれだけスリープの占める比率を高くでき,消費電力を減らすことができる.)

実際にもJava対応携帯電話では待機状態では何日も持つものが,Javaアプリを稼働させつづけるとせいぜい数時間でバッテリー切れになる.(この点についてはハードの進歩と共に改善されていくと思うが.)従来のスタンドアロン型カーナビはスタンドアロンとは言うものの,電源は外部電源を使用しておりバッテリー切れの心配なく大電力を消費している(例えば12Vで最大2.0A).これに対し,シンクライアント型では少しでもアプリケーションを最適化し,たとえ1mWでも消費電力を減らすことが求められる.

これは大抵の組み込み機器と本質的には同じ問題ではあるが,古典的な組み込み機器に比べると遥かに高度で複雑な処理が要求される点が異なる.例えば通信機能やサーバーとの連携,GUIなど,どれ一つとってみても簡単に実現できるものではない.

なおここで挙げたハードウェアスペックはあくまで一例に過ぎない.技術の進歩と共に,ここで挙げたスペックがカーナビとしては時代遅れになるのも,そう遠い話ではないだろう.特にフラッシュメモリの容量などは,本技術開発の開始時点と現在とを比べても,格段の違いがあることには驚かされる.

2)配信サーバー

クライアント側とは性質が異なるとは言え,サーバー側にも高度な最適化は必要となる.

確かにクライアント側に比べればサーバー側はCPUも数段強力であるし,メモリも大きい.しかし多数のユーザーが同時アクセスするために,一人あたりで考えたとそれほど余裕があるわけでもない.サーバー側アプリケーションの負荷は必要とされるサーバーのCPU数やメモリ,ひいてはサーバーの構築及びランニングコスト,最終的には提供されるサービスの価格にも影響する.このため一人あたりに必要とされるハードウェア資源は,可能な限り抑えるべきであるという点は,なんら変わるものではない.

Webサーバ程度では,ほとんどリアルタイム性は必要ない.せいぜいいわゆる8秒ルールがある程度である.これに対しカーナビではミリ秒~秒のオーダーとはいえ,リアルタイム性(正確にはソフトリアルタイム性)も重要になる.Webサーバ等に比べ,より高いリアルタイム性が求められるカーナビにおいては,描画が十数秒~数十秒も遅れるようでは実用的とは言えない.例えば負荷が集中した場合は多少精度を落としてでも制限時間内に答を返したり,優先度の低い問合せを後回しにするという

ような工夫も必要になる。

実際の開発においても、このような微妙なチューニング作業や改良を繰り返すことで、一つ一つ問題をクリアしていった。

また本システムは膨大なデータをクライアントの二次記憶に持たずに、全て低通信速度、低信頼性の無線通信を介して取得することを前提としている。このため従来のスタンドアロン型のように、必要とされるあらゆるデータを端末上に保持し、常に瞬時に利用可能であるという保証はない。

むしろ必要なデータが端末上にない場合の方が多だろう。そして、そのような環境下でも遅延なしに情報の配信と描画を行う必要がある。そのためには、そのような状況に特化した配信アルゴリズムが必要になる。

そのアルゴリズム開発の大半は微妙な、ある意味「泥臭い」チューニング作業になる。例えば、タイムラグを考慮し、今後必要になることが予測されるデータを前もって投機的に配信しておく手法などが考えられる。投機的実行は本質的には無駄な処理であり、やり過ぎれば性能の低下に繋がる。そこで、「今後必要になること」を高い精度で予測し、いかに無駄なデータを要求せず、かつ必要なデータは十分に早く配信できるかを重視して、配信プログラムの開発を行った。

3) 配信フォーマット

低速、低信頼性の通信での遅延を考慮すると、配信されるデータのデータフォーマット自体の最適化も重要である。

現状での無線通信の通信速度は 9.6 ~ 64kbps 程度と、ADSL の 640kbps ~ 数 Mbps に比較しても数段遅い。膨大な地図データをそのまま配信すると処理が遅れ、表示にも大きなタイムラグが生じることが予測される。たとえ無線通信の速度が地図データの配信に十分だとしても、送信できるデータ量に少なすぎることではない。地図データが小さければ小さいほど他のデータを送るための余裕が生まれるので、地図データの削減は必須と言える。

地図データについては業界標準のフォーマットも存在するが、基本的にスタンドアロンでの使用しか想定されていない[1]。当然のことながらデータの圧縮やネットワークでの配信、差分情報のダウンロードなども考慮されていない。シンクライアント型カーナビにおいては、必要な情報が「表現できる」というだけのフォーマットでは不十分である。必要な情報が表現できるのはもちろん、可能な限りコンパクトで、且つ機能性にも優れた新たなデータフォーマットが必要になる。

例えば元のフォーマットには信号の有無、道幅、通行料金、住所など、極めて多くのデータが含まれている。その何割かは経路探索やマップマッチングなどにのみ必要なもので、クライアントでの表示に不要な情報も少なくない。

本提案ではそれらの処理を全てサーバーで行うことで、地図描画以外で端末が必要とするデータをできるだけ少なくする。これにより無線通信を介して実際に配信される地図の情報量を削減し、低速の通信と貧弱なハードウェアしか持たない小型端末上で高性能なカーナビの実現を目指した。

実際の開発においては、様々な環境で何度も実車を使ったテストを行い、配信の遅延が最小になるように改良/チューニング作業を繰り返した。これにより、高速で移動しながらの情報配信にも対応できるような配信フ

ォーマットが完成した。

4) 経路探索

本技術の経路探索技術の特徴として、遺伝的アルゴリズム(Genetic Algorithms, 以下 GA と略)の利用がある。ここではこれについて説明する。

a) 従来の経路探索技術の問題点

従来の経路探索アルゴリズムでは主にダイクストラ法が使われているが、これには次のような二つの問題がある。

一つは動的な状況の変化に合わせた柔軟な経路変更が困難という点である。

渋滞、交通規制、事故、積雪、濃霧など、交通事情というものは常に変化しつづけているものである。そのような状況変化に際し、短時間で新しい経路を選択し、表示することは必要だと考えられる。

もう一つは選択するのがあくまで「最短経路」が基本であって、それが必ずしも「最適な経路」とは限らないという点である。

従来手法では単に距離や所要時間のみを単純に比較して「最短経路」を求めているが、これは必ずしもドライバーや乗客にとって「最適な経路」であるとは限らない。

今回は個々の車両の特性やドライバーの個性も考慮した上で、最も快適な奨励経路の選択/配信を実現も目標の一つとした。

b) GA の経路探索への適用

以上の問題を解決する手段として、今回開発したシステムでは経路探索技術に GA を採用した。これは筑波大学 電子・情報工学系 狩野研究室の研究成果を通信カーナビサービスに適用したものである[2][3]。

第一に「環境変化に対する柔軟な経路変更」の問題であるが、従来のカーナビは一度経路が決まった後の臨機応変な対応が難しい。経路が決まった後、運転中に交通事情が変化して、計算した最適経路上に渋滞や通行止めが発生したとしても、それに合わせて柔軟に経路変更するのはアルゴリズム的に容易ではなかった。

経路探索問題の代表的な解法としては、ダイクストラ法がある。現在のカーナビの多くもダイクストラ法を改良したものが使われている。

ダイクストラ法で状況の変化に対応した新しい解を得るには、変化した後の交通事情をもとに、最初から全て計算し直す必要がある。変化の規模の大小に関わらず一定の計算時間が必要になる。しかもダイクストラ法は、計算が完全に終了するまで解が得られないタイプのアルゴリズムであり、制限時間内に(順)最適解を得ることを保証しなければならないような問題には適していないのである。

この問題を回避するために、現在使用されているダイクストラ法をベースとした経路探索プログラムでは、探索範囲を交通事情が変化した地域の周辺部のみ限定することで計算時間の短縮を図っている。これにより計算時間は短縮されるが、その反面、大域的な最適解を求めることが難しくなるという問題も抱えている。

これに対して GA は反復改善型の近似解法であり、その時点で保持している解集団の中に常に多数の近似解を含んでいる。このため交通事情の変化に応じて経路変更を行う時にも、別の近似解を元にして新たな最適解を短時間で生成することができる。本システムでも適応度の高い初期集団を生成して、選択・交叉により最適解を求める手法を採用した。

二つ目の「快適な経路選択」の問題だが、従来の動的探索問題は「距離が最短となる経路を求める問題」として定式化し、研究されてきた。従って「どちらかという幅の広い道優先」や「交通量の多い道での右折をなるべく減らす」など、「運転し易さ」のような運転手の快適さを考慮することが難しいという問題を抱えている。

これに対して GA では経路の評価に所要時間や料金、さらには運転の快適性を考慮した評価関数を用いることによって、個々の車両ごとに様々な要素を考慮した「真に最適な経路」を選択することも可能である。

今回採用した手法では車両特性として道幅、右折/左折の頻度、交通料金、距離、所要時間、信号の数、渋滞回避を考慮にいれて奨励経路を選択している。どのパラメータをどの程度重視するかは、利用者たるドライバー自身が選択する。システムはその設定を元に、単純なダイクストラ法で得られるものより優れた、より快適な経路が選択できるようにした。

5, まとめ

次世代のカーナビとして、シンククライアント型通信カーナビ技術を開発した。これにより、カーナビの小型化とコストダウンが図れるだけでなく、常時変化する最新情報の配信、さらには最新情報を利用した経路探索までもが利用できるようになる。

経路探索については渋滞のダイクストラ法に代えて GA を採用した。これにより「道路事情の変化に合わせた動的な経路変更」、及び「快適な経路の選択」という二つの問題点を改善したものとなっている。

技術的には当初目指した目標はほぼ達成できた。しかし、ことシンククライアント型通信カーナビの開発という点においては、本技術の開発途中で先に同種の製品が出荷されてしまうというハプニングが発生してしまった。

このことで本技術の新規性は薄れてしまったわけだが、通信カーナビは時代の流れであり、このような製品が登場することは避けられない事態といえる。他者に先を越されたのは残念でならないが、これも私が目指した方向性の正しさの証明であり、そういう意味ではむしろ喜ばしいことと捉えるべきだろう。

シンククライアント=カーナビと従来のカーナビとの決定的な違いは「繋がる」ということであり、本技術は「繋がるカーナビ」の始まりである。その価値は、今後カーナビからテレマティクスへと発展していく中で、ますます重要なものとなっていくと考えている[4]。

最後に、通信カーナビにせよテレマティクスにせよ最終的な成否を決めるのは、そこで利用されるコンテンツであり最終的にユーザーに提供されるサービスである。技術は所詮サービス提供のための道具に過ぎない。この課題だけは、どれほど技術が進んだとしても変わることはないだろう。

6, 参加企業, 及び機関.

株式会社ネットジーン

7, 参考文献

[1]Kiwi-W コンソーシアム著,「カーナビゲーションシステム~公開型データ構造 KIWI とその利用方法」, 共立出版,

[2]狩野均,「遺伝的アルゴリズムを用いたカーナビのた

めの経路案内方式」,情報処理学会 高度交通システム研究会資料 ITS-8-9, pp.51-58 (2002.3).

[3]ブイ リエン 柏崎敦子,狩野均,西原清一,「ウイルス進化論に基づく GA によるカーナビのための実時間経路探索」第 25 回知能システムシンポジウム(1998)

[4]藤田憲一,「テレマティクス 自動車メーカーの新たなビジネス革命」,日刊工業新聞社,