

インターネットによる自動車情報化支援環境の構築

植原 啓介[†] 村井 純^{††}

インターネットによる自動車情報化の分野では、開発環境の未整備が問題となっている。本研究では、我々が進めているインターネット自動車プロジェクトが提供する自動車のインターネット環境を踏まえて、アプリケーションのテスト環境への要求事項をまとめ、実際にテストを行う環境を構築する。構築する環境は、環境シミュレータと自動車エミュレータから成り、実車両を使わずともテストができる環境を提供する。

Design and Implementation of a software development environment for InternetCAR

KEISUKE UEHARA[†] and JUN MURAI^{††}

The problem in the Internet ITS area is that software development environments are not enough. In this research, we will try to design a development environment in consideration of the internet environment which our InternetCAR project provides and demands postulated for application testing environment. The developed environment consists of environment simulator and car emulator to provide testing environment without using actual car.

1. はじめに

自動車の情報化は家電同様、現在、最も重要視されている開発分野の一つである。多くの汎用計算機がインターネットに接続され、様々な情報がネットワーク化される様になった。多くの情報は個人にカスタマイズされた形で配送されるようになり、また、個人の持つ情報がそのままの形で流通している。情報の発信元、配送先は世界中に分散し、多様化している。このような中で、家電や自動車などの生活を支えている機器をネットワークに接続し、人間の生活をより豊かにしようという動きは当然のものと言える。

現在、自動車の情報化は高度道路交通システム (Intelligent Transport Systems: ITS) として認知され、推進が図られている。この中で、情報通信分野の事実上の標準となっているインターネットを基に ITS を推進しようという動きがある。現在、インターネットに期待されている ITS のサービス分野は、主に交通情報等の緊急性や重要性の低い情報の提供である。その中でも、インターネットの双方向性を利用したきめ細

かな情報の提供や、既にインターネット上に構築されている情報環境の自動車への導入に期待がかかっている。しかし、現段階でのインターネットによる自動車の情報化は、Web や E-Mail といったインターネットにおける主なアプリケーションを自動車内に持ち込みに過ぎず、本来の意味での自動車の情報化に寄与しているとは言い難い。より自動車を意識したインターネットによる情報化を推進する為には、インターネットに精通した人々が自動車産業に自由に入って行ける環境が必要となる。

本稿では、インターネット自動車プロジェクトにおいて進められている自動車情報化のモデルに基づいたアプリケーションを開発するための開発環境を提案する。インターネット自動車プロジェクトは慶應義塾大学 SFC 研究所インターネット自動車コンソーシアムにおいて進められているプロジェクトである。自動車をインターネットに接続し、情報化するために必要な技術の研究開発を行っている。これまでのインターネット自動車プロジェクトによる成果については、次章で詳しく説明する。

2. インターネット自動車

本章では、先に触れたインターネット自動車プロジェクトの概要について説明する。

[†] 慶應義塾大学 SFC 研究所

Research Institute at SFC, Keio University

^{††} 慶應義塾大学 環境情報学部

Faculty of Environmental Information, Keio University

インターネット自動車プロジェクトは、自動車をインターネットに接続し、自動車をインターネットによって形成された情報環境の一部とすることを目的としている。単に携帯電話を介してインターネットに接続し、WebやE-Mailを利用するに留まらず、多くの通信メディアを利用した自動車への情報提供や自動車からの情報発信、インターネット上での自動車の扱い方などに関して研究開発を進めている。

インターネット自動車プロジェクトは、現在、以下に述べる6つの開発分野で研究を進めている。

「車載計算機」では、インターネット自動車の実現に必要な車載計算機の開発を行っている。これまでインターネット自動車の実験で利用した計算機は、ラックマウント型計算機、ラップトップ型計算機、専用計算機と移行してきた。現在、実験で利用しているのは車載専用開発した計算機 SIC2000 であり、この計算機は自動車に連動した電源の入切、自動車の状態を取得する為のセンサ入力などの機能を備えている。

「基盤ソフトウェア」では、インターネット自動車に必要なオペレーティングシステムの開発を行っている。インターネット自動車は先に述べたように、自動車をインターネットの一部とすることを目的としている。このため、車載計算機に搭載するオペレーティングシステムは、実時間性などの組み込み型の計算機に必要とされる機能より、インターネットとの親和性の方が重要度が高い。このことを踏まえ、現在、インターネット自動車の実験では NetBSD を車載計算機に移植し¹⁾、利用している。

「通信アーキテクチャ」では、自動車のインターネット接続性に関して研究開発を進めている。自動車は高速で移動するため、一つの通信メディアでのインターネット接続では不十分である。本分野では、複数の通信メディアを有効に利用するための技術開発を行っている。現在は、携帯電話と無線 LAN を利用して必要に応じて通信路を選択する機能や Mobile IPv6 の開発²⁾等を進めている。

「地理的位置情報システム」では、インターネット上で地理的位置情報を取扱う為のミドルウェアの研究開発を行っている。インターネットは距離の概念を排除し、世界を一つにした。反面、地理に依存したアプリケーションの開発を難しくしたことも事実である。本研究分野では、インターネット上で地理的位置情報を扱う為のフレームワークについて研究³⁾⁴⁾⁵⁾している。

「アプリケーション」では、インターネットに自動車が接続された時に利用されるアプリケーションに関

する研究を進めている。実際に音楽を配信するためのソフトウェアを開発⁶⁾したり、逆に自動車が持つ情報をインターネット側で利用する為のアーキテクチャ⁷⁾等に関して研究を進めている。

「GNSS 支援技術」は、他の5つとは少々視点が異なる。自動車の情報化には位置情報が欠かせない。本分野では、衛星測位システム (Global Navigation Satellite System: GNSS) の補正情報配信システムをインターネットを利用して構築することにより、自動車の位置を正確に取得する研究を行っている。これまでに、インターネットを用いた補正情報配信の可能性について検証し、また、仮想基準局実験の支援などを行ってきた。これらの研究については文献⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾で報告している。

これまでの研究で、複数の通信メディアを利用して自動車をインターネットに接続する環境を構築できた。現在のインターネット自動車環境では、ユーザの手を介さずとも、環境に応じて無線 LAN または携帯電話を通じてインターネットへの接続性を提供できる環境を実現している。今後は、多くの自動車がインターネットに接続された際に、低コストでアプリケーションを開発する為の開発環境の整備が望まれる。

3. アプリケーション開発支援環境の概要

本章では、インターネット自動車における現在の問題点を整理し、必要とされるアプリケーション開発環境の概要をまとめる。

3.1 現在の問題点

インターネット自動車プロジェクトでは、前章で述べたように、自動車をインターネットに接続するための技術開発を行ってきた。その結果、自動車をインターネットに接続するための環境を提供することが可能となった。現在、この環境を利用した有用なアプリケーションの開発が望まれている。

しかし、現在の状況では、アプリケーションを開発し、その有効性示すことは難しい。現在、アプリケーションの開発は以下のような手順で行われている。

- (1) アプリケーションの設計
- (2) インターネット自動車 Application Program Interface(API)を使ったアプリケーションソフトウェアの実装
- (3) 一台の自動車を使った機能テスト
- (4) デバッグ (3 へ)
- (5) 複数の自動車を使った性能テスト
- (6) デバッグ、調整 (3 または 5 へ)
- (7) 運用

ここで問題となるのは、デバッグや調整のフェーズである。実車両でテストを行うためには、車載計算機にソフトウェアをインストールし、実際に自動車を稼働させる必要がある。この作業はコストが高く、アプリケーションの開発を難しくしている。

そこで、実車両を用いたテストを最小限にするためのテスト環境の提供が望まれている。

3.2 求められる機能

インターネット自動車のアプリケーションは、大きく以下のように分類できる。

- 単純に自動車との通信を行うもの
- 自動車を持つセンサ情報(環境情報)を利用するもの

前者に分類されるものとしては、自動車のインターネット接続性を利用して音楽やE-Mailの配送、移動オフィス環境等のアプリケーションが考えられる。これらのアプリケーションは、基本的には通常のインターネットアプリケーションとの差別は無い。ただし、通信メディアの変化や断続的な通信路、自動車の停車(車載システムの停止)等を考慮に入れてアプリケーションを構築する必要がある。

後者に分類されるアプリケーションとしては、プローブ情報システム¹¹⁾や位置に応じた観光情報の取得等がある。これらのアプリケーションは、車載計算機によって取得した環境情報(気温、位置、ライトの入切、ワイパーの入切等の情報)を利用して動作する。これらの情報を用いることにより、より自動車向けのアプリケーションを構築することが可能となる。

アプリケーションの開発では、自動車側のソフトウェアとインターネットに接続された計算機上のソフトウェアの双方を同時に開発し、テストする必要がある*。このためには、自動車内で動作するソフトウェアには、自動車内の環境(通信環境、環境情報)を提供する必要があり、自動車外で動作するソフトウェアには通常のインターネット環境を提供する必要がある。

更に、自動車側のアプリケーションが取得するセンサ情報が環境情報の場合、位置によって整合性が取れている必要がある。例えば、隣合う自動車が温度を取得する場合、片方が0℃、もう片方が30℃ではアプリケーションが出力する自動車周辺の温度を正しく算出することはできなくなる。

まとめると、自動車情報化のためのアプリケーション構築支援環境では、以下に挙げる要求を満たす必要

がある。

- 自動車の走行に応じて、自動車の置かれている環境情報を提供できる
- 自動車が複数ある場合には、環境情報の一貫性を保つ必要がある
- 開発したアプリケーションは、そのまま車載計算機にインストールすることができる
- 自動車内ソフトウェアとインターネット上のソフトウェアの通信では、通信環境の変化をエミュレーションできる
- 自然環境をプローブする様なアプリケーションの場合、実際の値とアプリケーションが算出した値を比較することができる

この様な要求を満たす開発環境を構築することにより、インターネット自動車用のアプリケーション開発が容易になり、アイディア段階のサービスを簡単にソフトウェアとして実現することが可能となる。

3.3 システム概要

本節では、前節で述べた要件を満たす為のシステムの概要について述べる。

前節で述べた要件を満たすためのシステムは、大きく次のように機能を分けることができる。

環境情報生成部

気象、通信環境などを仮想的につくり出す機能
仮想自動車部

一台一台の自動車をエミュレートする機能

前者で作られる自然環境や社会基盤環境は、言わば箱庭のようなものである。道路や自然現象をできる限り現実に近い形で模す必要がある。

また、後者の機能は、前者の機能で作られた環境下で、自動車一台一台を表現するものである。この機能により、実際にアプリケーションに環境情報を伝えたり、通信路の状態を反映したりすることができる。

実際にアプリケーションをテストする時は、自動車を持つ情報を自動車エミュレータから取得し、自動車エミュレータの通信状態を反映させる機能を使って外部との通信を行う。これにより、ソフトウェアだけを用いた環境で、アプリケーションのテストが可能となり、開発効率を上げることができる。

4. 設 計

本章では、前章までに説明したアプリケーション開発支援環境(テスト環境)の設計を行う。

4.1 設計方針

今回の設計では、前章で述べた二つの機能を踏まえ、システムを大きく以下の二つに分割する。

* 自動車-自動車間で通信を行うアプリケーションを開発することも可能である。

- 環境シミュレータ
- 自動車エミュレータ

環境シミュレータは、箱庭的に自然環境を模して環境パラメータを生成する部分である。また、自動車エミュレータは、環境シミュレータから自動車周辺の環境情報を取得し、センサ誤差等を加味した上で、自動車を持つデータセットに加える部分である。システム構成の概念図を図1に示す。

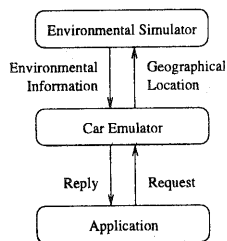


図1 システム構成概念図

図は、自動車エミュレータが環境情報を取得する時に、各自動車が存在する位置を環境シミュレータに通知し、その位置によって環境シミュレータが環境情報を提供することを示している。自動車の挙動や自動車を得る値の誤差に関しては自動車エミュレータ部内で、自然の揺らぎなどに関しては環境シミュレータ部内で決定する。また、自動車エミュレータは、車内に蓄積されている情報をアプリケーションに提供する。

4.2 環境シミュレータの設計

まず、環境シミュレータの設計について述べる。

環境シミュレータでは、いわゆる「箱庭」を構築する。ここで構築する箱庭は、インターネット自動車用のアプリケーションを正しくテストするためにある程度現実に加った挙動をする必要があるが、厳密に自然環境をシミュレーションする必要はない。また、自動車が取得する全ての環境情報を提供できるシミュレータでなければならない。一方、実際のインターネット自動車では、自動車に接続したセンサによって取得できる環境情報が増減するという問題がある。本設計では、複数のシミュレータモジュールで環境情報提供部を構成することにより、この問題を解決する。

各シミュレータモジュールは一つの自然現象について箱庭を形成し、独立に動作する。例として以下のようなモジュールが考えられる。

交通流シミュレータ

道路地図を元に交通流をシミュレーションし、道路状況を生成する。

気象シミュレータ

気温、雨量などの気象状況のシミュレーションを行う。実装の方法として、気温シミュレーションモジュールと雨量シミュレーションモジュールに分けて実装することも可能である。

無線通信環境シミュレータ

利用する通信デバイス毎に無線状況やエラー率、遅延などの状況を生成する。最終的には遅延、エラー率、通信速度などで抽象化して状況を提供する。

シミュレータモジュールを分割したことにより、それぞれのシミュレータモジュールは、各分野で研究されている知識を活かして独立に構築・改良することが可能となる。

4.3 自動車エミュレータの設計

本節では、自動車エミュレータの設計について述べる。

自動車エミュレータでは、一台一台の自動車を個別にエミュレートし、アプリケーションに対して車内インターフェイス及び車外インターフェイスを提供する。アプリケーションの車内ソフトウェアでは、自動車エミュレータの車内インターフェイスを通して、情報の取得や通信を行う。一方、車外ソフトウェア（通常のインターネットに接続されている計算機上で動作するソフトウェア）は自動車との通信を自動車エミュレータの車外インターフェイスを介して行う。この二つのインターフェイスを分けることにより、車内外の通信において遅延や帯域制限等を設けることが可能となる。

自動車エミュレータは個別の自動車をエミュレートするため、各自動車のOD(Object-Destination)情報や趣向を反映した動作をする必要がある。アプリケーションのテストをする際、アプリケーションが一台の自動車に注目することも考えられる。これに対応するためには、エミュレーションする自動車毎に目的地やルート選択の趣向が異なり、且つ、一貫性のある挙動をする必要がある。つまり、自動車エミュレータは人間の行動モデルを構築し、それに添って走行することが必要となる。自動車エミュレータはだまかに以下の部分から構成される。

OD 決定部

出発地及び目的地の決定

経路決定部

地図を用いた通過経路の決定

車両状態決定部

車両の走行速度、方向、環境情報などの自動車の状態維持

4.4 設計のまとめ

以上のような設計をまとめると、インターネット自動車のための開発支援環境のテストモジュールの構成は図2に示すようなものとなる。

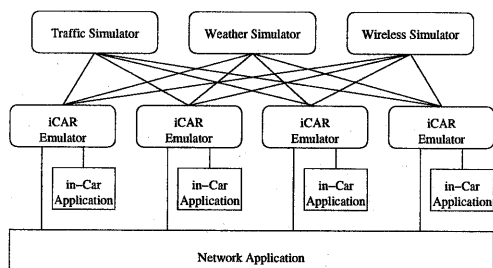


図2 システム構成図

図は、交通流シミュレータ、気象シミュレータ、無線通信環境シミュレータが独立に動作しており、それぞれのシミュレータから各車両のエミュレータが情報を取得し、誤差計算などの処理をした後、アプリケーションに情報を提供している様子を表している。実際の運用では、各環境シミュレータモジュールがシミュレーションする地域を一致させておく必要がある。

5. 実装

本章では、前章までの設計をうけたテスト環境の実装について述べる。

5.1 実装の方針

今回の実装では、より有用なテスト環境を提供するため、以下に挙げる目標を設定する。

- 可能な限り現実に近い環境でテストできるシステムを構築する。
- API等は、実際のインターネット自動車に添ったものを提供する。
- 大規模テストにも利用できるように、規模性のある実装とする。

上記の目標を実現するため、各モジュール間の通信インターフェイスはTCP/IPを用いて構築する。これにより、計算機の数を増やすことにより、より広範囲で多数の自動車をエミュレーションしたテスト環境を提供することが可能となる。

5.2 環境シミュレータ

本節では、各環境シミュレータの実装について詳しく述べる。

5.2.1 交通流シミュレータ

まず、環境シミュレータの中でも特に重要である交通流シミュレータについて述べる。交通流シミュレ

ータは道路の混雑具合等をシミュレーションするシミュレータである。実際には、シミュレータ内の時刻や道路のトポロジによって適当に交通流を増減させ、現実に近い交通状況を生成する。

本システムにおける交通流シミュレータは一般に交通流のシミュレーションに用いられるものとは異なり、現実の社会を模した「箱庭」を生成するものである。このことを考慮して、現実の交通流に関し、次のような前提を置く。

- 混雑している地域が存在する。
- 交差点における車両の入出量は保存される。
- 各道路の情報は速度で代表される。
- 車両の増減は、道路の適当な場所で発生する。

これらの前提をもとに、今回の実装ではマクロシミュレーション部とミクロシミュレーション部に分けて構成することとした。概念図を図3に示す。シミュレーションするエリアを矩形に区切り、マクロシミュレータでは大方の地域の混雑具合を、ミクロシミュレータではその矩形内の道路の混雑状況を決定する。

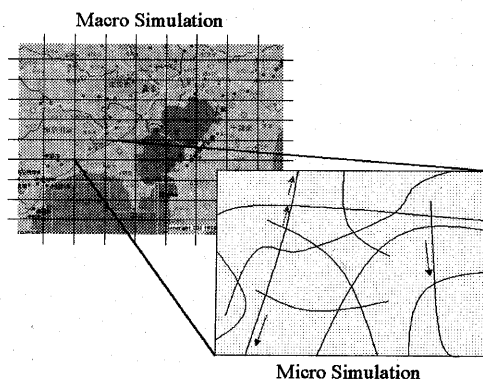


図3 交通流シミュレータ - マクロシミュレーションとミクロシミュレーション

ここで、マクロシミュレーションは基本的にセルラオートマトンによって構成する。各矩形内の混雑具合を自動車の混雑度(矩形における自動車の存在数/矩形における自動車の存在可能総数)で表現し、注目している矩形の次の時刻の自動車の混雑度を、現時刻での周りの矩形の混雑度によって決定する。また、シミュレータ内での時刻を考慮し、夜は存在率を減らすなどの処理を行う。これにより、エリアの混雑度を決定する。混雑度の再計算周期は、シミュレータ時間で数十分程度で十分である。

また、ミクロシミュレーションでは図4に示すように、道路を有効グラフで表現し、各交差点(ノード)に

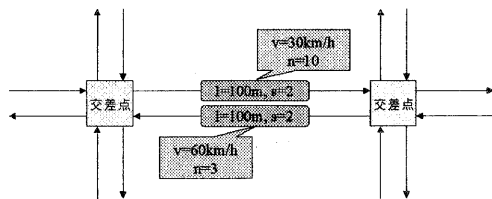


図4 ミクロシミュレーション部の考え方

流入する自動車を確認的に計算することによって実現する。ここで、各交差点では式1が成り立つ必要がある。式で $flow_{in}$ は流入量を、 $flow_{out}$ は流出量を示している。また、 l は道路(弧)の長さを、 v は自動車の平均速度を、 s は道路の車線数を、 n 存在している自動車の数を示している。

$$flow_{in} = \sum \frac{v \cdot dt}{l} n = flow_{out} \quad (1)$$

$$v = f(l, s, n)$$

現実の交通流における道路の平均速度 v は l 、 s 、 n の関数としてモデル化できることが分かっており¹²⁾、本シミュレータでもこの関係を用いる。

現在の実装では、実際の道路を用いてテスト環境を構築するため、地図情報として数値地図2500を利用できるソフトウェアを開発している。

5.2.2 気象、無線通信環境シミュレータ

気象のモデルは複雑であり、また、無線通信基盤の現状を把握するのは難しい。このため、今回の実装では現実の環境をモデル化して値を生成することをせず、ある時間間隔でエリア毎に乱数を生成して、その値をシミュレータの出力とする。気象や無線通信環境は交通流とは異なり、大まかにエリアによって状況が変化する。このため、シミュレーションもエリア単位で行う必要がある。ここで、エリアは前述の交通流シミュレータのエリアと同じである必要はない。

実際には、気象シミュレータでは一定間隔で降雨量、気温を再計算している。一方で、無線通信環境シミュレータは、起動時に一度乱数を発生し、その値に多少の揺れを挿入する程度の値変化しかない。

5.3 自動車エミュレータ

本節では、自動車エミュレータの実装について述べる。始めにエミュレータの全体の構成について述べ、その後、各モジュールについて説明する。

5.3.1 自動車エミュレータの概要とモジュール構成

今回実装する自動車エミュレータは、図5のような構成とする。OD決定モジュールはエミュレータ起動時に出発点と目的地を決定する。経路決定モジュールは、OD決定モジュールが設定した出発点と目的地か

ら、通過する経路を設定する。今回の実装では、この二つのモジュールは起動時に値を設定するだけで、動的な再設定は行わない。つまり、途中の道路が渋滞していても、迂回するなどの行動は取らない。また、自動車状態決定モジュールは、経路決定モジュールが設定した経路に従って車両位置を再計算し、環境シミュレータから環境情報を受け取りながら車両の状態(位置、センサ情報等)を更新する。通信状態決定モジュールは、無線通信環境シミュレータから通信状態を取得し、車内アプリケーションと外部のアプリケーションの間の通信に与える影響を算出する。また、図で「車内App」「車外App」と記されている部分は、実際に開発の対象となっているアプリケーションソフトウェアである。

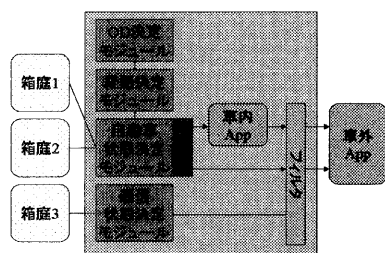


図5 自動車エミュレータブロック図

5.3.2 OD決定モジュールと経路決定モジュール

OD決定を行うためには、社会全体を考慮した人間の挙動モデルが必要となる。しかし、このような挙動モデルを仮定するのは非現実的である。今回の実装では、出発点と目的地を乱数で決定する。始めに緯度経度を乱数により算出し、その点から一番近い道路上の一点を出発点とする。目的地も同様の方法で決定する。

一方、経路決定はカーナビゲーションシステムの経路案内に利用されている様なアルゴリズムを適用することができる。しかし、今回は下記の二つの理由により、最短の経路をとることにする。

- 利用している地図の制限により、優先的に利用すべき道路が分からない
- システムの単純化

5.3.3 自動車状態決定モジュール

自動車状態決定モジュールは、定期的に自動車を前進させ、位置等の自動車が持つ環境情報を更新する。モジュールは以下の手順で実行される。

- (1) 交通流シミュレータから平均速度を取得し、単位時間分の移動距離を算出する。
- (2) 車両の位置を予め決定しておいた経路に添って

進める。

- (3) 目的に達したら、OD 決定モジュールと経路決定モジュールを呼び出し、出発点及び目的地、経路を再計算する。
- (4) さらに、気象エミュレータ、無線通信環境シミュレータ等から環境情報パラメータを取得し、誤差を加えて車両が持つデータセットに格納する。
- (5) 車内ソフトウェアと車外ソフトウェア間の通信に制限をかけるフィルタを設定する。
- (6) 単位時間が経過するのを待つ。
- (7) 1に戻る。

自動車状態決定モジュールはテスト環境内で利用する車両数分動作させる必要がある。今回は、規模性や利便性を考慮して、一台の自動車を一つのプロセスとして動作させる。また、各プロセス毎に異なるIPアドレスを割り振ることにより、テストするアプリケーションをテスト用に変更せずともテストできる環境を提供する。これにより、計算機の数を増やすことにより、大規模のテストに対応することが可能となる。

5.3.4 API

現在、インターネット自動車システムでは、自動車の情報を取得する為のデータセットを定義している。また、このデータセットにアクセスする手法として Simple Network Management Protocol(SNMP)¹³⁾の利用を検討している。このことを踏まえ、今回構築するアプリケーション開発支援環境でも SNMP を利用して、自動車からの情報取得を可能にする必要がある。今回開発する自動車エミュレータでも、API として、SNMP を採用する。

また、今回の実装では車内ソフトウェア向けのインターフェイスと車外ソフトウェア向けのインターフェイスが必要となる。車内向けのインターフェイスでは通常の TCP/IP を利用してアプリケーションに情報を提供する。しかし、車外向けのインターフェイスでは通信路の遅延等を考慮に入れる必要がある。今回は、車外向けインターフェイスの部分に遅延やエラー率を組み込む部分を実装し、これに対応することとした。

5.4 実装詳細

今回は、これまでに説明したシステムを FreeBSD 上に実装した。各モジュール間のインターフェイスは IPv6 によって構築し、それぞれを独立したプロセスとして実装した。自動車エミュレータではエミュレーションする自動車数(=プロセス数)の分だけ IP アドレスを割り振ることにより、各車両を個別に扱うことを可能にする。また、環境シミュレータの各モジュールと自動車エミュレータの間のインターフェイスはテ

キストベースの TCP/IP 上のアプリケーションプロトコルを設計し、これを実装した。テキストベースのプロトコルであるため、telnet 等の既存のアプリケーションを用いてシミュレータの内部のパラメータを簡単に知ることができる。また、交通流シミュレータについてはテキストベースのインターフェイスではシミュレータ内部のパラメータを把握することが難しいため、パラメータを確認するためのモニタ MapView を実装した。MapView のスクリーンダンプを図 6 に示す。MapView は、交通流シミュレータと通信を行うことにより、道路の混雑度を色で表したり、道路をマウスで指定することにより、道路の属性や現在のパラメータを数値でステータスラインに表示することが可能である。

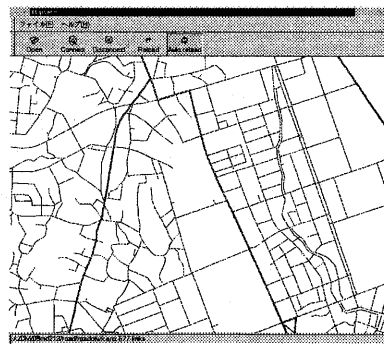


図 6 MapView

6. 考 察

今回開発したインターネット自動車用アプリケーション開発支援環境では、大きく、環境をシミュレーションする環境シミュレータと個々の自動車をエミュレーションする自動車エミュレータの二つに明確に分割して実装した。これにより、環境シミュレータと自動車エミュレータを個別に開発することが可能となり、機能追加やアルゴリズムの変更等の改良が簡単になった。一方で、この設計は、エミュレータが生成する自動車の挙動を環境シミュレータに反映することを難しくしたという欠点もある。

更に、環境シミュレータでは、提供する環境情報毎に独立したモジュールとして実装した。この実装は、提供する情報だけに着目すればよく、新たな環境情報を提供するモジュールの開発を容易にしている。一方で、環境情報間の同期を阻害する面もある。現実社会では、雨が降ると自動車の平均速度が遅くなったり、一部の地域が混雑する状況が観測されるが、この様

な関係を実現するのは難しい。あるモジュールが他のモジュールから情報入手し挙動を変えると、シミュレータ全体の系が発振する可能性があり、安易にこのような実装をすることは出来ない。

今回の実装では、車内アプリケーションソフトウェアと車外アプリケーションソフトウェアの通信に通信路特性を持たせる部分が実装できなかった。この部分に関しては、簡単に利用できるライブラリを用意する、カーネルを変更するなどの工夫が必要になる。

また、今回構築した環境では、試験を行う各自が環境設定を行い、一貫性をもって運用する必要がある。それぞれのモジュールが単独で動作するため、各モジュールによって単位時間が異なるなどの設定の一環性を損なう問題が発生しやすい。これらの問題解決も今後の重要な課題となる。

現在、CPU が Pentium II 333MHz、メインメモリが 128MByte の計算機で、一番負荷の高い交通流シミュレーションを 3 秒毎の実時間で行った場合でも、 1000Km^2 程度の範囲、30 万台程度の自動車のシミュレーションであれば問題無く動作することが確認されている。更に広い範囲をシミュレーションする場合は、エリアを分けて複数の計算機上でシミュレーションをすることにより対応可能である。

7. 結論と今後の課題

今回構築したインターネット自動車用アプリケーション開発支援環境では、開発したアプリケーションの試験を実際の自動車を使わずとも行える環境を提供した。構築した環境は、大規模システムに対応でき、また、機能追加やアルゴリズムの改良等が簡単に行えるものとなった。また、アプリケーションソフトウェアを変更することなく、アプリケーションのテストを行うことが出来た。

今後、環境シミュレータや自動車エミュレータのアルゴリズムを改良し、更に有用な開発環境としていくことが必要となる。現状では、テスト環境設定が複雑であり、運用にある程度の知識が必要となる。今後は、試験環境を簡単に運用するためのツール群の開発や、誰でも利用できるパブリックな開発環境の運用が必要である。

謝辞 本研究は、慶應義塾大学 SFC 研究所 インターネット自動車コンソーシアムによる研究の一部として進められました。研究の場を与えて頂いたコンソーシアムメンバの方に感謝致します。

本研究を行うにあたり活発に議論をして頂いた慶應義塾大学 村井研究室の各氏に感謝致します。

参 考 文 献

- 1) 杉本信太, 植原啓介, 三屋光史朗, 村井純, “車載コンピュータへの BSD の応用”, 第 3 回プログラミングおよび応用のシステムに関するワークショップ (SPA2000), Mar 2000
- 2) 湧川隆次, 植原啓介, 村井純, “移動体通信プロトコル Mobile IPv6 の実装および評価”, インターネットコンファレンス 2000 論文集, Nov 2000
- 3) Yasuhito Watanabe, Atsushi Shionozaki, Fumio Teraoka, Jun Murai, “The design and implementation of the geographical location information system.”, Proc. of INET'96. Internet Society, Jun 1996.
- 4) 竹内奏吾, 中村嘉志, 多田好克, “インターネットにおける地理位置情報管理システムの設計と実装”, 情報処理学会 マルチメディア・分散・協調とモバイルシンポジウム (DICOMO'99) 論文集, Jun 1999
- 5) 渡辺恭人, 竹内奏吾, 寺岡文男, 村井純, “プライバシー保護を考慮した地理位置情報システム”, 情報処理学会 コンピュータセキュリティ研究会, (2000-CSEC-11-4), Sep 2000
- 6) 日野哲志, 佐藤雅明, 植原啓介, 村井純, “インターネット自動車システムにおけるユーザ支援型アプリケーションの開発および実装”, 情報処理学会 MBL&ITS 合同研究会, Nov 2000
- 7) 佐藤雅明, 植原啓介, 村井純, “インターネット自動車システムにおける情報取得 API の設計と実装”, 情報処理学会 MBL&ITS 合同研究会, Nov 2000
- 8) H.Hada, K.Uehara, H.Sunahara, J.Murai, I.Petrovski, H.Torimoto, S.Kawaguchi, “New Differential and RTK Corrections Services Based on the Internet”, Proc. of GNSS'99, Sep 1999
- 9) Y.Kawakita, H.Hada, K.Uehara, I.Petrovski, S.Kawaguchi, H.Torimoto, S.Yamaguchi, J.Murai, “Design of Internt Based Augmentation Network”, Proc. of GNSS2000, May 2000
- 10) 川喜田佑介, 植原啓介, 羽田久一, 村井純, “インターネットを介した GNSS 補正情報配信プロトコルの設計”, インターネットコンファレンス 2000 論文集, Nov 2000
- 11) Huber, W., Lädke, M. and Ogger, R., “EXTENDED FLOATING-CAR DATA FOR THE ACQUISITION OF TRAFFIC INFORMATION”, ITS Wrold Congress'99, 1999.
- 12) (社) 交通工学研究会 編, “やさしい交通シミュレーション”, 交通工学研究会, Jun 2000
- 13) Rose, M.T., “The Simple Book – An Introduction to Internet Management – 2nd edition”, Prentice Hall (1994).