

様々な通信インフラを用いた協調移動支援システム評価のための 行動シミュレータ

Behavior Simulator for evaluating navigation systems using various communication infrastructures

中濱 浩二[†] 廣森 聡仁^{†,††} 梅津 高朗^{†,††}
 Koji Nakahama[†] Akihito Hiromori^{†,††} Takaaki Umedu^{†,††}
 山口 弘純^{†,††} 東野 輝夫^{†,††}
 Hirozumi Yamaguchi^{†,††} Teruo Higashino^{†,††}

1. ま え が き

花火大会など多数の人が集まるイベントでは、イベント会場から電車など公共交通機関までの道が非常に混雑する例がよく見られる。混雑時には歩行速度が著しく低下し、過度の混雑では危険に晒される可能性もある。また、自然災害発生時には建物の倒壊や火事により近隣の道路が通行できない、もしくは通行するのが非常に危険な状態になることもあり、そのような場合には目的地に別の経路で向かわなくてはならない。この時、混雑していて通りづらい道路や、建物の倒壊などで通行できない道路についての情報を取得することができれば、そのような道路を回避し、目的地まで効率的に向かうことができる。

例えば、震度 5 弱以上の地震災害時の移動を支援することを目的とし、被災地の航空写真を撮影し提供することで崩落した高架道路の存在を利用者が早期に把握できるシステムが開発されている¹⁾。このように、歩行者が安全かつ円滑に目的地に到達できるよう、人の集中により生じた混雑地域や、災害などによる通行不能地域に関する情報を即座に取得し、歩行者に提供し誘導する移動支援システムの研究開発が盛んに行われている。このようなシステムでは、歩行者の情報収集範囲など情報収集方法、収集された情報をもとにした歩行者誘導方針、混雑状況や災害状況などの地理環境により、その性能は大きく変化するため、様々な状況において、移動支援システムに対する動作検証や性能評価を行う必要がある。本研究では、移動支援システムの評価を行うため、移動支援システムの挙動や歩行者の行動を再現できるシミュレータの設計及び開発を行う。

また、構築したシミュレータが移動支援システムを適切に評価できるかを確かめるため、大阪の一区画を対象とした評価実験を行った。評価実験ではオフィスビルが林立する 1km x 1km の大阪市内の 1 区域において、500 人の被災者が区域内のいずれかの避難箇所（学校、公園、駅）に避難する状況を想定した。このもとで、移動支援システムによる情報提供がある場合とない場合について、全被災者が避難を完了するのに要する時間をそれぞれ測定した。この結果、移動支援システム導入によって避難完了に要する時間は 10%ほど短縮されることが分かった。

2. 関連研究

2.1 避難行動支援システムとその評価に関する研究

大規模災害時に被災情報を無線ネットワークなどを用いて収集する研究や、被災者を支援するインフラの研究が多くの研究機関で進められている。例えば、情報通信研究機構 (NICT)

は宇宙航空研究開発機構 (JAXA) と共同で衛星通信実験用の携帯端末を用いた情報伝達実験による防災アプリケーションの評価を行っている²⁾。また、大規模災害により電車などの交通インフラが機能しなくなり、徒歩による帰宅を余儀なくされた多数の帰宅者 (帰宅難民) の行動シミュレーションと対策に関する研究³⁾ がなされている。他にも、災害情報を一元的に集約し、被災者と共有することで避難支援を行う災害情報共有システムの研究開発が盛んに行われている。例えば、首都直下型地震が発生した際に、どのような災害情報を携帯端末を用いて共有することが被災者の避難を円滑にする上で有効かという調査⁴⁾ や、大規模地震などの災害発生後の道路の実際の通行実績情報やユーザからの現地情報を一元的に集約し、閲覧可能とすることで移動を支援するためのシステム¹⁾ が開発されている。しかし、避難誘導のための情報の収集、および、提供に携帯端末を含む無線システムを利用した場合の評価などを含めて網羅的にシミュレーションが可能な環境はまだ少ない。

他にも、一定の区各内において歩行者用ルートネットワークを構築し、「健常者」「車椅子」「ベビーカー」の 3 種類の移動者を段差や道幅を考慮して目的地まで GPS 携帯電話による音声ナビゲーションを行う移動支援システム⁵⁾ が実用化されている。また、高齢者、身体障害者などが安心して円滑に移動できるよう、GPS や IC タグなどの位置特定インフラから取得した情報を基にナビゲーションを行うシステム⁶⁾ が研究・開発されている。

文献 7) ではシミュレーションによりバスネットワークを評価しているが、本研究ではこれらで想定されているようなシステムの機能が歩行者の行動にどのような影響を与えるかを容易に検証できるプラットフォームの実現を目指している。

2.2 シミュレーションにおける現実的なモビリティに関する研究

現実世界のユーザの移動を細かく模倣することにより、ノードのモビリティモデルを現実世界に近づける様々な研究が行われている。これらの研究では、ノードの挙動を細かく制御し、現実世界における様々なノードの挙動をシミュレーションで実現しようとしている。文献 8) においては、モバイルアドホックネットワーク上ルーティングプロトコルの評価のため、個々のノードの目的に沿ったノード移動が実現できる枠組みを提案している。文献 9) においては、モビリティモデルだけでなく、US Bureau of Labor Statistics (BLS) における Use of Time Study 等の人間の行動に関する統計情報を利用し、統合的にノードの行動を扱うことができる枠組みを提案している。また、文献 10) では BDI (belief-desire-intention) モデルに VR (仮想現実感) を取り入れてノードごとに異なる行動理念や目的を持たせており、人間の多様性をシミュレーション上に反映させている。このように、精度の高いネットワークシミュ

[†] 大阪大学大学院情報科学研究科

^{††} 独立行政法人科学技術振興機構, CREST

レーションが行えるよう、より現実世界に近いモビリティモデルが提案されている。しかしながら、これらの研究では、静的な地理環境を想定しており、災害発生現場のような動的な地形変化や、災害発生現場を避けて移動するといった、地形変化に基づく行動変化は考慮されていない。

これに対し、本研究では、動的に変化する地理環境及び、それに対する歩行者行動を表現するモデルを導入することで、移動支援システムに対し、様々な地理環境を対象とした現実的なシミュレーションを実現している。

3. シミュレーション対象のモデル化

本章では移動支援システムを評価するためシミュレータで再現する対象とそのモデル化方針について述べる。

3.1 シミュレーションの対象

本稿では、移動支援システムの評価をシミュレーションで行うため、対象となる「移動支援システム」をシミュレータ上で再現する必要がある。また、移動支援システムからの情報や環境に応じて行動選択する「歩行者」を再現する必要がある。さらに、歩行者が移動する「地理環境」を再現しなくてはならない。よって、この3つをモデル化の対象とし、その方針について述べる。

3.2 モデル化の対象とモデル化方針

3.1節で述べた移動支援システム、歩行者の行動、地理環境の3つの事項を、本シミュレータ上でどのように再現するかを説明する。

3.2.1 移動支援システム

移動支援システムは、歩行者の現在地や目的地など歩行者の移動に関する情報や、道路がどの程度混雑しているか(または通行できないか)の情報を、歩行者が保持するスマートフォンなどの情報通信端末や、街路に設置された監視モニターなどから収集し、歩行者をナビゲートするための情報(推奨する経路)または歩行者自身が経路情報を生成するための情報(道路を通過するのに必要な予測時間)を提供する。生成した情報は、歩行者の情報通信端末に提示する。また、歩行者を適切に誘導するために、誘導員に伝達して道路の一部に通行制限を行ったりするものとする。

本シミュレータでは、収集できる情報を以下に示す4つとする。このうち歩行者の現在地と目的地をあわせたものを「行動情報」、混雑度と通行できない道路をあわせたものを「ハザード情報」とよぶ。

- 行動情報
 - － 歩行者の現在地
 - － 歩行者の目的地
- ハザード情報
 - － 道路の歩行者密度(混雑度)
 - － 道路の通行可否

これらの情報を収集する手段として、以下を仮定する。

- 街路に設置された監視カメラなどの機器(以下、設置機器とよぶ)
- 歩行者が保持する情報通信端末(以下、情報端末とよぶ)
設置機器は、指定された街路における歩行者数を感知し、道路の歩行者密度を把握できるとする。また、歩行者は移動支援システムに対し、情報端末を介して位置情報ならびに目的地の

情報を提供する。移動支援システムは、一般的な歩行流シミュレーションの方針¹¹⁾に従い、歩行者密度と道路幅から、その道路の歩行速度を推定し、これを用いて通過時間を推測する。ハザード情報のうち、通行不能道路の情報は歩行者が自発的に入力するものと仮定する。なお、設置機器による情報提供または歩行者の自発的な通行不能道路情報の提供のみならず、歩行者群からの位置情報を用いることで歩行者密度を推定し、移動支援システム自身がハザード情報を推定することも可能である。

移動支援システムは、収集した歩行者行動情報、ならびに収集または計算した道路通過時間情報を用いて、各歩行者に対して推奨する移動経路(推奨経路)を提示するか、もしくは計算した通過時間情報そのものを情報端末に提示する。さらに、誘導員に指示して一部の道路の通行を制限することで歩行者フローの制御を試みることも可能とする。

これらの情報伝達は主に移動支援システムと各情報端末との無線通信により実現される。これらの無線通信は従来のネットワークシミュレータの機能を用いてシミュレートするものとする。

3.2.2 歩行者行動

歩行者の情報端末には地図データがインストールされているとし、歩行者は、自身が把握するハザード情報、システムが提示する道路の通過時間、自身の位置情報および目的地情報から、その目的地への最短時間経路を計算して移動を行うとする。移動支援システムが推奨経路を提示する場合は、その経路に従って移動する。

歩行者は、自身の保持するハザード情報を、口頭または近距離無線通信(無線LANなど)で周囲の歩行者に伝達することができるとする。

3.2.3 地理環境

対象領域は、道路を表現するグラフからなり、各道路の道幅もわかっているとする。前述の通り、一部の道路は歩行者による混雑で通過時間が長くなったり、また、過剰な混雑や建物の倒壊、火災の発生などにより通行不能となることがある。またそれらのハザードは時間経過に伴い変化する可能性があるとする。

4. シミュレータでの実現方針

3章の方針に基づいて、シミュレータでどのように実現するかを述べる。まず、「歩行者行動」、「地理環境」、「移動支援システム」と、それぞれの関係について説明する。また、地理環境、歩行者ノード、移動支援システムの記述方法を述べる。本シミュレータではすべての記述をC++を用いて行う。

4.1 シミュレータアーキテクチャ

以下ではシミュレータの利用者を「検証者」、シミュレートされる歩行者を「ノード」と呼ぶ。検証者は、シミュレータに対し、「初期地理環境」、「地理変化情報」、「移動支援システム仕様」、「ノード仕様」、「ノード生成情報」を指定する。シミュレータのアーキテクチャを図1に示し、以下この図に沿って説明を行う。

初期地理環境は道路と交差点からなる通行可能領域の初期状態であり、シミュレーションで歩行者が移動する領域である。これらが「地理環境」内の「地図」に入力され、初期マップと

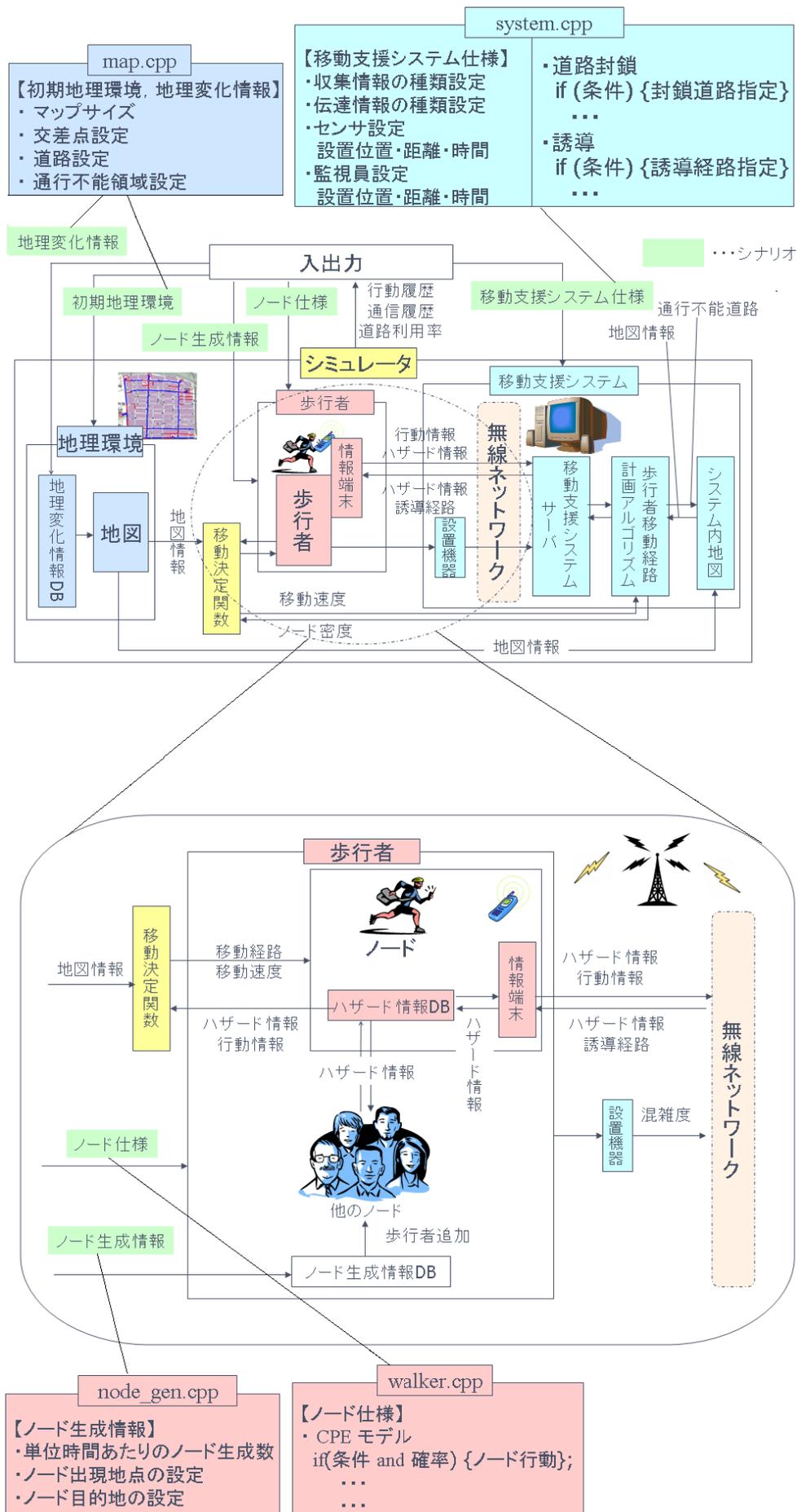


図 1 シミュレータアーキテクチャおよび具体的なシナリオ記述

なる。地理変化が発生する時刻(地理変化時刻)と変化が発生する領域の組の集合である地理変化情報は、地理環境内の「地理変化情報 DB(データベース)」に登録され、シミュレーション内で地理変化時間になったときに指定された領域(道路)が地図に反映される。地理変化情報が反映されることで通行不可能となった領域上にいるノードは領域外へ出るまではその領域内を移動することができるが、それ以外のノードはその領域内へ進入することが出来なくなる。

移動支援システム仕様には、移動支援システムの情報収集手段と収集する情報の種類、誘導プラン、誘導方法を記述する。情報収集手段は無線通信を使うか、センサを使うか、監視員を配置するかの3種類であり、センサと監視員は無線通信が可能であるものとしている。また、無線ネットワーク経由で送信されてきた情報を、サーバに集約して利用することもできる。また、移動支援システムは対象地域内の通行可能領域を完全に把握することは出来ないため、シミュレータは移動支援システムが把握している地理情報を「システム内地図」として別途管理する。この情報は、移動支援システムによって収集された情報により、適宜アップデートすることも出来る。

移動支援システムが誘導を行う仕様であるならば、受信した情報とシステム内地図を用いて、誘導プランから作成された「歩行者移動経路計画アルゴリズム」が経路を計算し、ノードに伝達する。このとき必要であれば「移動決定関数」からノード密度に対する移動速度を取得することができる。誘導しない場合であれば、ハザード情報だけをノードに伝達する。このとき伝達は、「監視員による口頭伝達」、「道路閉鎖」、「経路表示」の3種類の中から仕様に従った方法で行う。

ノード生成情報はノードの出現地点、目的地、発生割合の組の集合である。提案シミュレーションは、単位時間毎に歩行者の移動や行動を処理する逐次時間シミュレーション方式を採用しており、出現地点から目的地へ向かうノードが、シミュレーション各時刻ごとにどれだけ生成されるかを記述する。ノード生成情報はノードモジュール内の「ノード生成情報 DB」に格納され、シミュレーションの新規ノード生成が行われる。ノード仕様は生成されるノードすべてに適用され、無線端末を持つノードの割合などが決定される。仕様に近接ノードと情報交換する性質を持つノードが生成するように記述されていれば、情報交換ノードは他の近接ノードとハザード情報のやり取りを行う。また、ノード記述には移動に関する記述は含まれず、位置情報と、自身の所持するハザード情報から移動決定関数に従って自動で移動を行う。このとき移動決定関数は地図より地図情報を取得し、ノードの移動を決定している。

4.2 地理環境の記述方法

地理環境の記述は図1の map.cpp にあたり、入出力の「地理変化情報」、「初期地理環境」の2つを1つのファイルにまとめて記述している。シミュレーション領域内の各地点は2次元平面上のx座標とy座標で表現し、シミュレーション領域全体の大きさ、交差点位置、道路、および通行不能領域の設定を行う。交差点を座標によって設定し、接続したい2つの交差点と幅を指定することで、交差点間に指定された幅を持つ道路が設定される。この道路上をノードは移動することができる。通行不能領域は道路の端点となる2つの交差点を指定し、さらにその道路が通行不能となるシミュレーション内での時間を

指定する。

4.3 歩行者ノードの記述方法

提案シミュレーションでは各ノードごとに処理を行うマイクロシミュレーションに基づきノードの挙動を決定している。ノード行動の記述には、ノードが自身の周辺環境やネットワークシステムの振舞いに応じて、行動を動的に変化させる挙動を記述可能な確率つきイベント発生モデル(Condition-Probability-Eventモデル、以下CPEモデル)¹²⁾を用いる。

CPEモデルでは、ノードの行動などを指定する動作(action)、それが実行されるための実行条件(condition)ならびに条件成立時の実行確率(probability)の組をルールとよび、CPEモデルはルールの並び、任意に定義可能な内部変数の集合、ならびにあらかじめ定義された外部変数の集合から構成される。ルールの並びをその先頭から走査し、各ルールについて実行条件の判定ならびに実行確率判定を行う。それらが共に成立すればそのルールの動作が実行され、そうでなければ走査を継続する。いずれかのルールが実行されるか並びの最後まで走査が完了した場合、走査は先頭に戻る。この走査を一定周期で行う。

外部変数は当該ノードの外部から更新または参照される変数であり、シミュレーション時刻 T 、周辺ノードの位置情報 E 、ネットワークシステムからのデータ出力 AO 、ネットワークシステムへのデータ入力 AI 、自身の現在位置 P 、および速度ベクトル V などからなる。一方、内部変数はそのノードのみが更新および参照できる変数である。実行条件や実行確率の指定には外部変数や内部変数を引数として用いることが可能であり、動作はそれらの変数への代入文の集合を指定する。

このCPEモデルを用いると、「ノードが生成されたときに、3割の確率で無線端末を所持する」という記述や、「自分の周囲の混雑度が2人/ m^2 以上ならば、迂回を行う」、「混雑情報を受け取った場合には確率 p でその道路を回避する」というような記述ができ、各ノードで異なる値を条件にかけることが出来るため、ノードごとの行動の特性を設定することが可能となる。具体的な例として、6章のケーススタディで作成したノードモデルのCPEモデル記述を表1に示している。

また、ノード生成に関するシナリオ記述が必要になるが、これは歩行者のノード記述とは別のファイルで記述するものとし、図1のように walker.cpp と node_gen.cpp とに分けている。walker.cpp に歩行者ノードの記述をし、node_gen.cpp に3つのノード生成情報を記述する。

4.4 移動支援システムの記述方法

検証者は検証したい移動支援システム仕様を記述する必要がある。図1の system.cpp のように、まず、収集情報、及びノードに伝達する情報の種類を決定する。次にセンサと監視員の設定を行う。センサは設置位置、混雑情報収集が可能な距離、可動開始時間を設定し、監視員は設置位置、情報収集・伝達可能な距離、出現時間の3項目を設定する。これらは無線端末を持つ特殊な歩行者ノードとしてシミュレータ内部で実現される。支援システムは、サーバで動作させるプログラムと、ユーザの端末上で動作させる情報収集プログラムの組み合わせによって記述する。情報収集プログラムは、無線ネットワークシミュレータの機能を利用する形で基地局や周辺ノードとの間でパケットのやり取りを行うことが出来る。サーバ側のプログ

ラムでは、シミュレータが提供する各コンポーネントの機能を呼び出すことで、収集した情報を参照したり、ユーザへの指示を送ったりという動作を規定できる。また、収集した移動可能情報が集約された「システム内地図」に基づいて最短経路を求める API 等も用意してあるため、検証者はこれらを用いて評価したい支援システムを簡単に実装することが出来る。ユーザに対する情報提供や道路封鎖の記述は、対応する API 関数を呼び出すことで容易に行うことができる。

5. 移動支援システムを対象としたシミュレータの実装

本稿では、新たにシミュレータを開発するのではなく、人の移動行動と通信行動の両方を再現することができる MobiREAL を拡張し、目的のシミュレータを開発した。MobiREAL では、地理環境は変化せず、また、歩行者はその情報を全て知っているとの仮定で動作している。一方、移動支援システムの評価としては、地理環境の変化により、道路が通行できないもしくは通行が難しい状況が存在し、それにより歩行者が通行する経路が変化する状況を再現する必要がある。そのため、(i) 動的に地理環境を変化させる機能を新たに MobiREAL に実装する。また、移動支援システムの有無や歩行者が保持する地理情報の違いによる移動効率の評価ができるよう、(ii) 歩行者が保持する情報に基づき動的に移動経路を決定する機能を実装する。

5.1 動的に地理環境を変化させる機能

まず、地理環境の動的な変化を表現できるよう、地理環境を表現するデータ構造を拡張した。提案シミュレータでは、初期状態の地理環境を基に、ある道路が通行できなくなった際には、新たにハザード情報を付加することで、その道路が通行不可能であることを表現する。ハザード情報を表現するクラスとして、hazard クラスを実装した。hazard クラスは単一のハザード発生を示すもので、ハザードが発生する道路の端点とハザードが発生する時間を保持する。作成されたインスタンスは、hazard クラスのリスト hlist により管理される。シミュレーションにおいては、hazard クラスのインスタンスに示されている発生時間とシミュレーション時間を定期的に比較することで、ハザードの発生時間に到達しているかを判定している。さらに、発生時間を過ぎたハザードに示された端点と歩行者の位置を比較することで、歩行者がハザードが生じた道路上を通らないようにしている。

5.2 歩行者が保持する情報にのみ基づき動的に移動経路を決定する機能

個々の歩行者は、passing_time_list により道路ごとの通過時間を保持している。歩行者が passing_time_list に基づき、経路を決定できるよう、MobiREAL の拡張を行った。従来の MobiREAL では、地理環境からルーティングテーブルを計算し、歩行者の移動を実現している。ルーティングテーブルには、目的地毎に現在滞在する交差点から隣接するどの交差点に向かうべきかを示しており、歩行者はこれを参照し目的地へ移動する。提案シミュレータでは、歩行者毎に passing_time_list に基づき、ルーティングテーブルを作成することで、歩行者が個々に保持するハザード情報に基づいた移動が実現されている。また、ルーティングテーブルは、移動支援システムや他の歩行者との通信により、passing_time_list が更新された際に、同様に更新され、最新の情報に基づいた移動が実現されている。

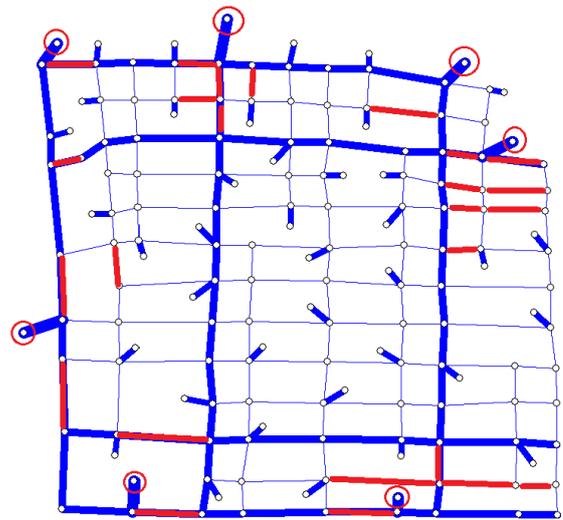


図2 シミュレーション領域

6. ケーススタディ

本章では、提案シミュレータを利用することにより、移動支援システムを適切に評価できるかを確認するために、災害時における避難誘導システムを対象に評価実験を行った。

6.1 実験環境

6.1.1 災害環境モデル

評価実験は、図3に示される大阪府中央区淡路町周辺の1km四方の区域を対象とする。但し、赤線で記載された計27本の道路は災害により通過できないものとする。この状況において、点在するオフィスビルから500人の被災者が、赤丸で記載された避難所のいずれかに避難するものとする。

6.1.2 避難者

表1にCPEモデルによる避難者の行動記述を示す。避難者が実行できる個々の行動が各列に示されている。個々の行動は、Conditionに記載された条件が満たされており、かつProbabilityに記載された確率で実行される。例えば、E1はノード生成時に、F1の確率で、避難者が無線通信端末を保持するかどうかを決定する。このF1を調整することにより、無線通信端末を保持するノード数を調整することができる。避難者の行動は次のようになる。避難者は、避難所の位置情報を持っているのであれば、ハザード情報に基づき、一番近い避難所に移動する。一方、位置情報を持っていない場合には近隣の避難者に従って移動する。また、もし、無線通信端末を持っているようであれば、災害情報共有システムからハザード情報を受信し、自身のハザード情報を更新する。同様に、避難者が伝達ノードであれば、近隣のノードに自身が保持するハザード情報を伝える。

6.2 実験結果

避難支援システムの評価のため、6.1節で述べた実験環境のもとでシミュレーションを実行した。シミュレーション実行時の避難者の移動や無線通信を表示するツールとして提供されているAnimatorのスナップショットを図3に示す。図3の青色の点が端末所持避難者、緑色の点が非端末所持避難者を表している。端末所持避難者の通信可能距離は青い円で示されており、通信可能な距離にいる端末所持避難者は白い線で接続され

表 1 CPE モデルによる避難者の行動記述
避難者

	Condition	Prob.	Action
E1	init() ノード生成時	F_1	app_own=true; 無線通信端末を所持する(端末所持ノード)
E2	init() ノード生成時	F_2	tell_other=true; 近接ノードにハザード情報を伝達する性質を持つ(伝達ノード)
E3	init() ノード生成時	F_3	dst_known=true; 避難所の位置情報を持つ
E4	app_own 端末所持ノード	F_4	receiveHazard(known_hzd_list) 災害情報共有システムからハザード情報を受信して自身のハザード情報を更新
E5	app_own newHazard(known_hzd_list) 端末所持ノードで、災害情報共有システムに登録されていないハザード情報を所持	F_5	sendHazard(known_hzd_list) ハザード情報を災害情報共有システムに送信
E6	tell_other 伝達ノード	F_6	tellKnownHazard() 近接ノードにハザード情報を伝達
E7	dst_known==false; 避難所知識が無いノード	F_7	followOthers() 避難所の位置情報を持つ近接ノードに追従する

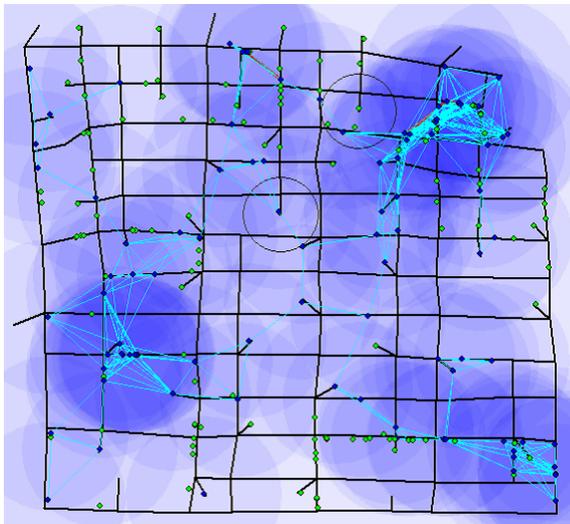


図 3 シミュレーションのスナップショット

ている。

シミュレーション実験では、端末所持避難者の割合を「100%」, 「50%」, 「0%」に変化させ、時間毎の避難完了済み避難者数を計測し、避難支援システムの効果を評価した。時間ごとの避難完了済み避難者数を図 4 に示す。全避難者が通信端末を所持している際には、誰も通信端末を所持していない場合と比較し、避難が完了するまでの時間が 100 秒削減されており、10%短縮できていることがわかる。今回のシミュレーション領域はほぼ全体が碁盤目状になっており、ハザードが存在したとしても、迂回のために無駄な経路が生じる可能性は高くない。例えば、長方形の左下の点から右上の点へ移動するとき、長方形の辺のうち一辺だけが通行不能であっても、右回りと左回りの道のりの差は最大一辺相当でしかない。しかしながら、そのような環境においても、避難支援システムにより、避難時間が短縮されており、災害時にある程度有効であることがわかる。このように、提案シミュレータを用いることで、無線通信を用いた移動支援システムに対する評価を簡単に行うことができる。

7. あとがき

本研究では、歩行者や環境の情報を収集し、災害時や大規模イベント時に歩行者を適切にナビゲートする移動支援システムの有効性やシステム設計の正当性を評価するためのプラットフォームを設計開発した。開発したシミュレータは、建造物の倒壊や火災による道路の通行可否や歩行者の集中による混雑発生により、スムーズな移動が妨げられる状況や、移動支援システムが提示した情報をもとに歩行者が行動を選択する様子を再現できる。このシミュレータを用い、大阪市街での災害発生と避難を想定したシナリオによるシミュレーション実験を行い、移動支援システムによりそのシナリオでは平均避難時間が 10%程度短縮されることを示した。

今後の課題として、多数の歩行者が存在する広域なシミュレーションをなるべく短い時間で実行するためのスケラビリティ向上などがあげられる。さらに、地理情報システム(GIS)と連携させることにより、現実の高精度な地理環境を用いたシミュレーションが実現可能となる枠組みを検討している。これらにより、現実世界をより忠実に再現したシミュレーションによる移動支援システムの性能評価を可能とし、課題発見に役立てていきたい。

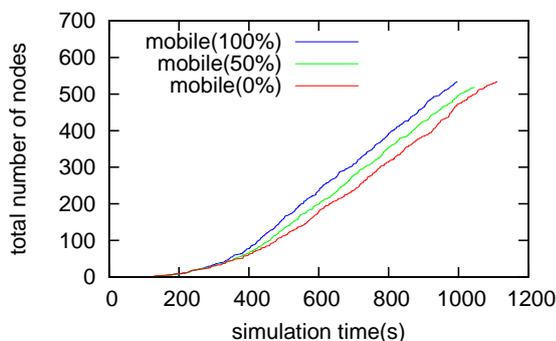


図 4 測定結果：時間毎の避難所到達済みノード数

参 考 文 献

- 1) 本田技研工業株式会社：インターナビ・災害時情報共有サービス。 <http://www.premium-club.jp/service/service4/index.html>.
 - 2) 情報通信研究機構：平成 20 年度鹿児島県総合防災訓練における技術試験衛星 VIII 型「きく 8 号」を用いた通信実験等の実施について。 <http://www2.nict.go.jp/pub/whatsnew/press/h19/080108/080108k.html>.
 - 3) 文部科学省：大都市大震災軽減化特別プロジェクト, 帰宅困難者の行動と対策に関する調査研究。 <http://www.kedmbosai.go.jp/japanese/seikahoukoku/h18/2-3.4.pdf>.
 - 4) 中央防災会議：避難者、帰宅困難者等に係る対策に関する情報について。 <http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/shutohinan/081027/sanko07.pdf>.
 - 5) 豊田市：みちなびとよた。 <http://michinavitoyota.jp/main/>.
 - 6) 林隆史：自律移動支援プロジェクトにおける取組みと今後の展開について, 技術報告 16, JICE REPORT (2009).
 - 7) Meignan, D., Simonin, O. and Koukam, A.: Simulation and Evaluation of Urban Bus Networks Using a Multiagent Approach, *Simulation Modelling Practice and Theory*, Vol.15, No.6, pp.659–671 (2007).
 - 8) Ray, S.: Realistic Mobility for MANET Simulation, Master's thesis, The University of British Columbia (2003).
 - 9) Kim, J., Sridhara, V. and Bohacek, S.: Realistic Simulation of Urban Mesh Networks, Technical report, The University of Delaware (2006).
 - 10) Shendarkar, A., Vasudevan, K., Lee, S. and Son, Y.-J.: Crowd simulation for emergency response using BDI agents based on immersive virtual reality, *Simulation Modelling Practice and Theory*, Vol.16, No.9, pp.1415–1429 (2008).
 - 11) 岡田公孝, 和田剛, 高橋幸雄：個人行動をベースにした歩行モデルと歩行流シミュレーション, 日本オペレーションズ・リサーチ学会, 春季研究発表会 (2003).
 - 12) 前田久美子, 小西一樹, 佐藤和基, 山口弘純, 安本慶一, 東野輝夫：現実的なシミュレーションシナリオが記述可能な無線ネットワークシミュレータ MobiREAL, 情報処理学会論文誌, Vol.46, No.2, pp.405–414 (2006).
-