

# マルチエージェントシミュレーションによる コミュニティセキュリティシステムのモデリングと評価

勝 将万 井手口 哲夫 奥田 隆史 田 学軍

愛知県立大学大学院 情報科学研究科

近年、ユビキタスコンピューティングの実現に向けた、各種無線通信技術の開発競争とユビキタス環境下アプリケーションの提案と議論が盛んに行われている。そこで本論文では、ユビキタス環境下アプリケーションとして、モバイル通信技術により実現される地域社会の防犯アプリケーション“コミュニティセキュリティシステム”を提案する。特に、アプリケーション実行時の構成要素間インタラクションとグルーピング手法に関する定義を行い、マルチエージェントシミュレーションによるモデリング評価を行うことで、システムを実現する上での課題について考察する。

## 1. はじめに

近年、通信ネットワーク上のコンピュータが自律的に連携して動作することにより、人々の生活を支援するユビキタスコンピューティングに関する議論が盛んに行われている。そこで我々は、人々が生活する地域社会の安全性の問題が顕著化していることに着目し、人々の生活の安全性を実現するアプリケーション、“コミュニティセキュリティシステム”[1][2][3]を提案する。

コミュニティセキュリティシステムは、住民参加型の地域防犯アプリケーションであり、モバイル通信技術によって実現される。そこで、現状の通信技術を考慮したネットワークアーキテクチャ構成と通信を行うシステムの構成要素の挙動の定義を行う。そして、構成要素間インタラクションによって形成されるシステムの実行フローをマルチエージェントシミュレーションによるモデリング評価を行うことで、システムを実現する上での課題を考察する。

第2章では、システムの概要に関する安全化策、機能、共通プラットフォーム、構成要素、用語について述べる。第3章では、システムに適用するグルーピング手法に関する評価の目的、グルーピング手法の実行ステップ、対応する評価値について述べる。これらを適用したシミュレーション評価に関する各構成要素の行動ルールのモデリングとパラメータ、及び結果とその考察を第4章で述べる。最後の第5章でまとめとする。

## 2. システムの概要

### 2.1 システムの安全化策

安全学の見地[4]から、コミュニティセキュリティシステムに求められる機能をまとめる。まず、システム実行の基本ステップを以下のように定義する。

- ① ある対象が人々の安全を脅かすトラブルを発生
- ② これを視認した住民がトラブル情報を周囲の住民と解決者に周知

### ③ 解決者がトラブル発生主を追跡、捕捉

システムの安全化策を時系列的にマッピングしたものを図1に示す。トラブルに対する安全化策は、トラブル発生前後から解決に至るまでの推移に即して定義することができる。

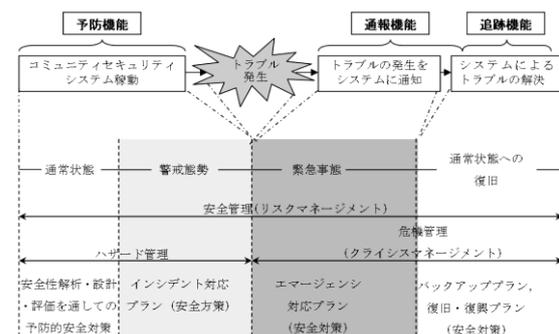


図1: コミュニティセキュリティシステムの安全化策

### 2.2 システムの機能

コミュニティセキュリティシステムの安全化策として、以下の3機能を定義する。

#### (i) 予防機能

システムの解決者がコミュニティ内を巡回する機能。これによりトラブルの発生を抑制し、防犯の役割を果たす。

#### (ii) 通報機能

システムの利用者（住民）と解決者間の通信を実行する機能。トラブルの発生を迅速に通知する。

#### (iii) 追跡機能

トラブルの発生者を追跡し、捕捉する機能。これにより、安全を脅かす発生源を取り除き、トラブルの頻発を防ぐ。

### 2. 3 システムの共通プラットフォーム

システムの機能を実現するために、共通プラットフォームを導入する。その上に 3 機能をアプリケーションとして実現することにより、システムの機能の追加や拡張が容易となる。共通プラットフォームのシステム機能構造を図 2 に示す。ネットワークアーキテクチャは、TCP/IP 参照モデルを想定している。各レイヤで想定する通信プロトコルを以下のように定義する。

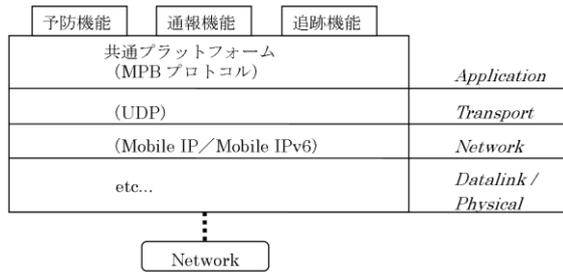


図 2：共通プラットフォーム

#### (i) Application 層－MPB プロトコル

システムの解決者が実装するプロトコルで、コミュニティセキュリティシステムの中で、特に通報機能の実現・支援を行うアプリケーション層プロトコルである。通報機能時に通報の受付処理等を行う。

#### (ii) Transport 層－UDP

通報機能は特に迅速に処理をすることが求められる。UDP (User Datagram Protocol) はコンネクションレス型の Transport 層プロトコルであるため、ヘッダ (制御情報) が小さく、通信効率に優れている。したがって、MPB システムと組み合わせる Transport 層プロトコルは UDP を採用する。TCP と比較した場合の機能の不足は Application 層の MPB プロトコルで補う。

#### (iii) Network 層－Mobile IP/Mobile IPv6

IPv6 をベースとする。特にモバイル環境に特化した Mobile IPv6 を採用する。

#### (iv) Datalink /Physical 層

－携帯電話網もしくは Wireless LAN

現状における無線通信技術において、通信速度の優位性の観点では、Wireless LAN が適切といえる。しかし、無線 LAN 環境を前提とする場合、コミュニティの規模 (～数 km<sup>2</sup>) に比べ、通信距離が短い (約～100m 弱) という問題がある。

一方で、携帯電話網のような広域の無線通信技術も、通信速度が飛躍的に向上している。したがって Datalink/Physical 層については、将来の無線通信技術の開発競争の動向を鑑みて考察するものとし、適用技術は明確に決定しない。

### 2. 4 システムの構成要素

システムを実現する構成要素を定義する。

#### (i) Community

以下の各構成要素が存在する空間である。数百 m<sup>2</sup>～数 km<sup>2</sup>の規模を想定する。現実には照らし合わせて考えてみると、駅や大通り界隈の歓楽街区などを想定している。

#### (ii) LR (Local Resident)

コミュニティ内に存在する住民であり、コミュニティセキュリティシステムのユーザである。Target を視認次第、通報を送信する。通報を行うための無線情報端末を所持している。また、周辺の LR と情報共有のためのグルーピングを行う。

特に、Target がトラブルを発生させた瞬間を視認した LR を第一発見者 LR (LR\_0 と表記)、トラブル発生後の移動中の Target を視認した LR を Target 視認 LR、Target を視認した LR の周囲に存在する LR を周辺 LR と呼ぶ。

#### (iii) Target

トラブルの発生主であり、LR の視認対象、MPB の追跡・捕捉対象である。コミュニティ内を逃走する。Target は 1Community に 1 人とする。

#### (iv) MPB (Mobile Police Box)

トラブルの解決者であり、LR からの通報を受信し、Target を追跡・捕捉する。コミュニティ内を移動する (通報場所に向かう)。

#### (v) VPS (Virtual Police Station)

MPB の管理者である。LR からの通報を MPB、及び周辺 LR に転送する。

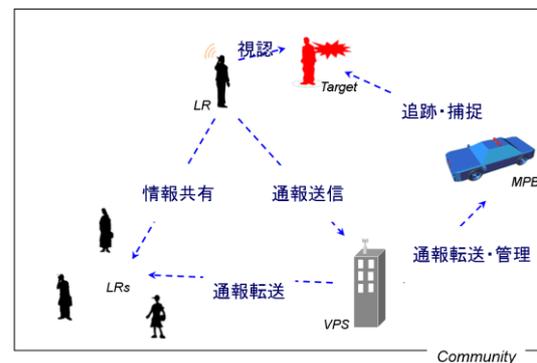


図 3：構成要素とその相互関係

### 2. 5 用語の定義

#### (i) 視認

視認とは、LR が Target を発見し、Target が Target であるとの意に認識した状態をいう。視認を行うタイミングは、①Target がトラブルを起こした瞬間、②通報を受信した後 Target を発見した時、である。①の時点で視認をした LR は、第一発見者 LR (LR\_0) となる。②の時点の視認は、受信した通報の情報か

ら Target を認識することを意味するが、現実的に考慮すると、必ずしも Target を Target であるとして一意に認識できるとは限らないが、全 LR に対して Target を一意に識別できる環境が整備されている前提とする。

※捕捉：Target の一意な認識を実現する技術の想定  
①Community 内の全ノードに対する ID センサ割り当てとリーディング機能

Community 内の全ノードに一意な ID が与えられたセンサが割り当てられた環境を前提とし、さらに視認した LR の持つ携帯情報端末がセンサの ID の自動リーディング (Reading) 機能を持っているものとする。これにより、通報情報に Target の ID 情報が付加され、各 LR は Target を一意に認識＝視認できる。

②通報情報の処理とブラックリスト化

①の機能を前提としない場合を考える。本方式では、通報情報に含まれる Target に関する画像情報・音声情報を処理し、Target を一意に識別できるような情報を抜き出せるシステムの存在を前提とする。さらに (過去の) Target 情報が蓄積されたブラックリストから Target を割り出し、一意に認識できる仕組みとする。しかし、これだけでは LR 個別の判断は非常に難しいと考えられたため、視認の際に適宜 VPS への問い合わせと照合作業が必要となる。

(ii) 通報 (Report)

通報は LR から MPB に送信される Target に関する情報である。LR の持つ無線情報端末により送信されるため、この端末のインタフェース (モニタに表示される情報) 例を図 4 に示す。表示する必要があると考えられる情報を以下に挙げる。



図 4：システムのインタフェース例

①トラブルの内容

Target により何が起こされたかが表示される。トラブルの内容は、最初に第一発見者 LR により記入され、VPS に送信される。VPS は通報情報に付加された動/静止画像情報・音声情報から、トラブルの内容を整理し、MPB 及び周辺 LR に転送する。

トラブルの内容は、一目見て瞬時に“何が”起こったのかを把握できる情報が適すと考えられるため、テキスト形式の一文で、ウィンドウの最上部に配置することが有効である。

②深刻度

通報情報は Target 視認 LR→VPS→周辺 LR というように転送され、周辺 LR は何が起こったのかを把握するが、トラブルがどれほど深刻であり、各 LR 自身にいかほどの危害が及ぶかを判断するのは難しい。そこで、周辺の LR に危害が及ぶような深刻なトラブルだと VPS が判断した場合に、数段階からなる評価値＝深刻度を与える。

深刻度もトラブルの内容と同様に、一見して瞬時にトラブルが“どの程度深刻か”を把握できる情報が適すと考えられるため、信号機の表示 (青：やや注意、黄：注意、赤：要警戒) など単純な GUI に優れた表示で、ウィンドウの最上部に配置することが有効である。

③場所

場所は、Target 視認 LR の位置情報のポイントを地図にマッピングしたものである。また、Target の移動軌跡として結ばれる。Target 発見の位置情報は、各 LR の持つ携帯情報端末の GPS 機能により自動的に取得され、通報情報に付加される。そして、通報情報を受信した周辺 LR は自身の位置情報とをマッピングし、トラブル発生場所、Target 視認場所、自身の場所の情報を地図上のポイントで視覚的に取得する。また、“どこで”起きたことなのかも一見して瞬時に把握できるようにするために、交差点名、駅名、方角などの単純な文字の表記で表すことが有効である。また、場所画面は拡大・縮小が可能とする。

④状況

コミュニティセキュリティシステムは、ユビキタスコンピューティングの環境が整備された環境を前提とするため、各 LR の持つ携帯情報端末は、①高スループットな無線通信インタフェース、②豊富なバッテリー、③静止・動画を処理するグラフィックとカメラ撮影機能、④音声通話機能、⑤入力/出力装置等の機能を有するものとする (現状のノートパソコンと携帯電話が融合したものという位置づけ)。これにより、Target 視認 LR は Target の様子を録画撮影及び通話で報告でき、周辺 LR はこれを取得できる。これにより、各 LR は具体的なトラブルと Target に関する状況が把握できる。また、状況画面は拡大・縮小が可能とする。

### ⑤Target の特徴

Target を識別するための Target の特徴情報である。Target の特徴は、Target 視認 LR により記入され、VPS により状況情報等とを組み合わせ整理される。Target の特徴も、一見して瞬時に“誰が”起こしたのかを把握できる情報が必要であり、各 LR はこの Target の特徴情報により、Target を一意に認識できることを前提とする。

#### (iii) 追跡

第一発見者 LR からの最初の通報後、Target が移動（逃走）し、また新たにこれを視認した Target 視認 LR による通報とその連続により、Target の移動軌跡が導出される。この通報の連続と位置情報の更新を元に、MPB が移動し、Target の動向を把握することを追跡と呼ぶ（図 5 参照）。前述したように MPB の機能の一つである。

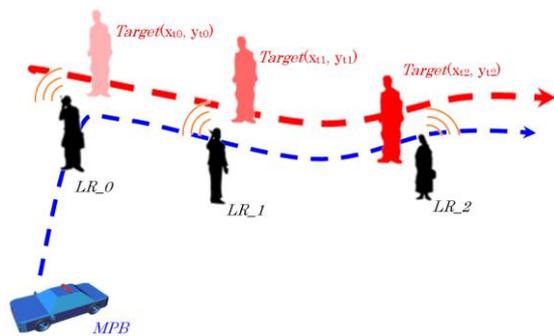


図 5 : Target の移動軌跡と追跡機能

## 2. 6 システムの挙動

コミュニティセキュリティシステムの挙動の詳細なフローを以下に示す。

1. トラブル発生前の MPB によるコミュニティ内の巡回（予防機能の実行）
2. トラブル発生後の第一発見者 LR (LR\_0) による Target の視認
3. LR\_0 による Target 情報の取得（通報情報の作成）
4. LR\_0 による MPB（及び VPS）への通報（通報機能の実行）
5. LR\_0 による周辺 LR への周知（グルーピング）
6. Target がトラブル発生場所から逃走・MPB が通報場所へ移動
7. 周辺 LR のいずれかの LR が Target を視認、Target 視認 LR (LR\_n(n = 1,2,3)) になる
8. LR\_n による Target 情報の取得（通報情報の作成、更新位置情報・変化情報付加）
9. LR\_n による MPB（及び VPS）への通報（通報機能の実行）
10. LR\_n による周辺 LR への周知（グルーピング）

11. 6～10 の繰り返し（図 6 参照）

12. MPB による Target の追跡・捕捉（追跡機能の実行）

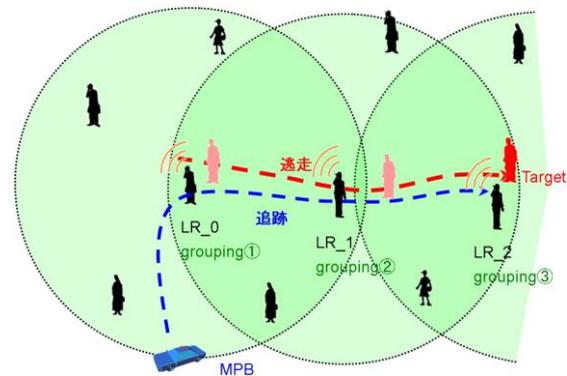


図 6 : Target 逃走に対応するグルーピング連鎖

## 3. システムとグルーピングの評価項目

### 3. 1 評価の目的

システムの実現には、構成要素間のインタラクションが必要である。特に LR-LR 間、LR-MPB 間の円滑な連携が必要不可欠といえる。そこで、アプリケーション層に焦点をあてた各構成要素間のインタラクションのモデリングとグルーピング手法について、評価を行う。

特に評価の目的を、「通報機能・グルーピング手法のモデリング、Target 捕捉までの評価と検証、グルーピング手法の要件定義」とする。

### 3. 2 グルーピング手法

グルーピングの形成手順を述べる。グルーピングの根本的な目的は、近隣の LR 間で情報を共有・集約することである。グルーピングは LR が Target を視認した後、周辺 LR との間で形成される。グルーピングの形成フローは以下の様である。

1. Target 視認 LR が周辺 LR にグルーピング要求：GREQ (Grouping Request) を送信
2. 周辺 LR は Target 視認 LR にグルーピング応答：GREP (Grouping Reply) を返信
3. Target 視認 LR は GREP に付加された情報から最適なリーダーを選定し、周辺 LR にグループリーダー広告：GLA (Group Leader Advertisement) を送信
4. Target 視認 LR はリーダーに詳細な通報情報の管理を委託：LEN (Leader entrustment) ・送信
5. 周辺 LR は適宜必要に応じてリーダーから Target の情報を取得
6. 1～5 を繰り返す  
各ステップ及びグルーピングメッセージの定義を以下に述べる

1. Target 視認 LR が周辺 LR にグルーピング要求 : GREQ (Grouping Request) を送信

GREQ とは、Target 視認 LR が周辺 LR に向けて送信する、グルーピング発起メッセージである。正確には、LR からの通報を受信した VPS が Target 視認 LR の周囲に存在する周辺 LR に向けて配信する手順となる。つまり、前提として VPS は全 LR の位置情報を把握する必要がある。また、GREQ には通報と同様、Target 視認 LR の位置情報が含まれる。

GREQ 生成時の送信元は Target 視認 LR のアドレス、宛先は VPS のアドレスとなる。VPS は周辺 LR に転送する際、宛先をグループエリア内マルチキャストアドレスに書き換える(あるいは周辺 LR の個々の位置とアドレスを調べ、人数分複製し転送する)。(※グループエリア内マルチキャストアドレス : 宛先の条件として位置情報を付加することで、その位置情報の近接にいる宛先ノードだけが受信できるアドレス)

2. 周辺 LR は Target 視認 LR にグルーピング応答 : GREP (Grouping Reply) を返信

周辺 LR は GREQ を受信すると、GREP を返信する。GREP には、それぞれの LR が持つ種々の属性(移動スピード、位置、ネットワークインタフェース、帯域、電源、管理能力など)が含まれる。GREP 生成時の送信元は周辺 LR の個々のアドレス、宛先アドレスは VPS のアドレスとなる。VPS は宛先を Target 視認 LR アドレスに書き換え、転送する。

3. Target 視認 LR は GREP に付加された情報から最適なリーダーを選定し、周辺 LR にグループリーダー 広告 : GLA ( Group Leader Advertisement) を送信

Target 視認 LR は GREP から最適なリーダーを選定する。選定はそれぞれの LR が持つ種々の属性値を用いて行われる。そして、リーダー決定後、Target 視認 LR はリーダーのアドレスを周辺 LR に配信する。これを GLA と呼ぶ。また、Target 視認 LR がリーダーとなる場合もあり得る。GLA の送信元、宛先は GREQ と同様に指定される。

4. Target 視認 LR はリーダーに詳細な通報情報の管理を委託 : LEN (Leader entrustment) 送信

Target 視認 LR は通報情報の詳細の管理をリーダーに委託する。これにより、Target に関する情報の保全が実現される。LEN の生成時の送信元は Target 視認 LR のアドレス、宛先は VPS のアドレスを指定するが、VPS は宛先をリーダーのアドレスに書き換え、転送する。

5. 周辺 LR は適宜必要に応じてリーダーから Target の情報を取得

周辺 LR は必要に応じて、リーダーから通報情報の詳細を参照できる。また、以降のグルーピングの連続により、新たに選定されたリーダー間とで Target 情報

を整合・蓄積することで、Target の動向の推定も可能になる。

VPS の転送を省略した、メッセージの送受信のフローを図 7 に示す。(P2P 形式で図示)

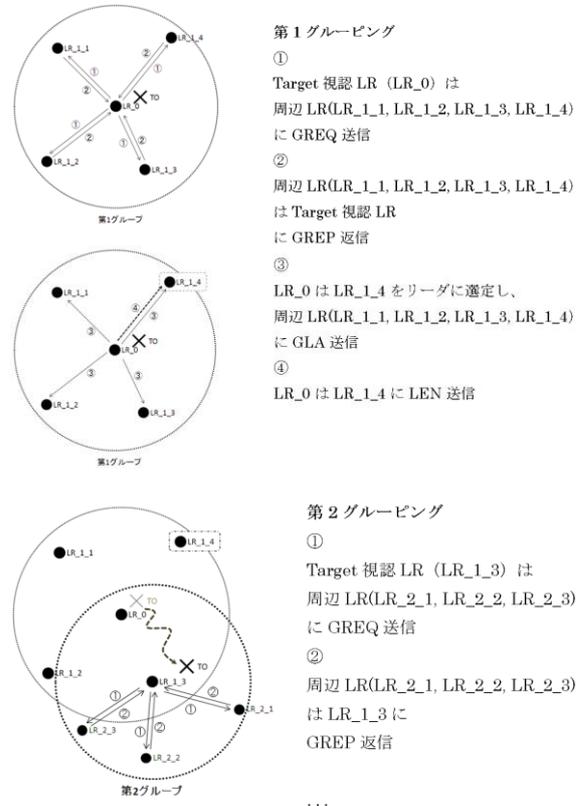


図 7 : グルーピング手順

### 3. 3 グルーピング評価値

本研究におけるグルーピングを行う目的は、Target 視認 LR が周辺 LR に Target 情報を周知し、周辺 LR が Target を視認できる状態にすることにある。これによりグルーピングの“連鎖”が実現し、通報情報の連続が送信時間と内容により記録された“タイムスタンプ”として整合・蓄積され、解決者の追跡・捕捉機能の実現につながる。

次にグルーピングに求められる要件をまとめる

( i ) LR の人口密度

グルーピングには、高密な LR の密度が求められる。なぜならば、LR の数が少なすぎると、Target が LR の隙間をぬってどの LR にも視認されずにグルーピングエリア外に脱出してしまふ可能性があるためである(図 8 参照)。Target がエリア外に脱出してしまふと、Target を視認できる LR が存在しないために、Target が野放し状態になってしまい、グルーピングの連鎖が起きなくなってしまう。

( ii ) 1 グルーピングエリアの範囲

グルーピング 1 回における配信範囲は適切な範囲

を定めるべきである。なぜならば、コミュニティの規模の想定にもよるが、LR は自身の位置からあまりにも遠くの Target 情報は欲しくないと考えられるためである。LR の関心は自身の近隣でおきたトラブルと Target に関する情報にあると考えられ、1 グループエリアの範囲は LR が“近隣”と判断する範囲に指定すべきである。しかし、一方で 1 グループエリアの範囲が小さすぎると、前述したと同様に Target のエリア外脱出が起りやすくなってしまう。(Target エリア外脱出はグルーピング連鎖の途絶と同義である)

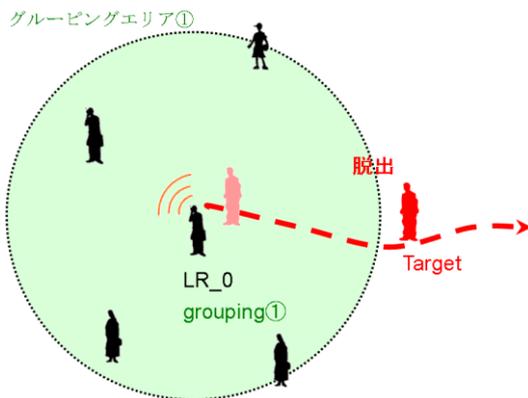


図 8 : Target のエリア外脱出

(iii) トラフィック量

(i) (ii) にも関連するが、グルーピングは連鎖するため、システム実行時の通信トラフィック量は膨大になることが想定される。無線通信のインフラ及び LR 個々のリソースの制限を考慮し、グルーピングトラフィックを低減することが求められる。これは、(i) (ii) の値を低減することにより、実現される。

(iv) MPB による Target の視認と捕捉時間

コミュニティセキュリティシステムに最も求められる要件は、トラブル発生後からなるべく早く MPB が Target を捕捉し、コミュニティ内の LR にとっての脅威が取り除かれることである。そこで、通報情報とグルーピングの連鎖による Target 情報の整合・蓄積を駆使して Target の動向を正しくかつ素早く把握するようなメカニズムを組み込むこととする。すなわち、グルーピングの連鎖が蓄積されればされるほど MPB が Target を視認しやすくなるしくみを導入する。グルーピングの連鎖による補正視認範囲を  $D$ 、距離関数を  $d_0$ 、グルーピング連鎖数を  $N_G$ 、グルーピング関数を  $f(N_G)$ 、視認範囲の初期値を  $l_0$  とおき、以下のように表す。これを視認補正と呼ぶ。

$$D = d(l_0, f(N_G)) = l_0 + f(N_G)$$

以上をまとめると、Target がエリア外に脱出する

前にグルーピングの連鎖が起き、一方でやりとりされるトラフィック量を可能な限り抑えた、1 グループエリアの範囲と LR の密度を与えることが求められる。

## 4. シミュレーション評価

### 4.1 モデルの挙動

シミュレーションモデルの挙動は、グルーピング手法の手順に、MPB による Target の追跡・捕捉手順等を追加したものである。

1. トラブル発生後の第一発見者 LR (LR\_0) による Target の視認
2. LR\_0 による Target 情報の取得 (通報情報の作成)
3. LR\_0 による MPB (及び VPS) への通報 (通報機能の実行)
4. LR\_0 による周辺 LR への周知 (グルーピング)
  - (ア) Target 視認 LR が周辺 LR にグルーピング要求 : GREQ (Grouping Request) 送信
  - (イ) 周辺 LR は Target 視認 LR にグルーピング応答 : GREP (Grouping Reply) 返信し、自信のリソース情報を返す
  - (ウ) Target 視認 LR は GREP に付加された情報から最適なリーダを選定し、周辺 LR にグループリーダ広告 : GLA (Group Leader Advertisement) を送信
  - (エ) Target 視認 LR はリーダに詳細な通報情報の管理を委託 : LEN (Leader entrustment) ・送信
  - (オ) 周辺 LR は適宜必要に応じてリーダから Target の情報を取得
5. Target がトラブル発生場所から逃走・MPB が通報場所に移動
6. 周辺 LR のいずれかの LR が Target を視認、Target 視認 LR (LR\_n (n = 1,2,3,... 表記) となる
7. LR\_n による Target 情報の取得 (通報情報の作成、更新位置情報・変化情報付加)
8. LR\_n による MPB (及び VPS) への通報 (通報機能の実行)
9. LR\_n による周辺 LR への周知 (グルーピング)
  - (ア) Target 視認 LR が周辺 LR にグルーピング要求 : GREQ (Grouping Request) 送信
  - (イ) 周辺 LR は Target 視認 LR にグルーピング応答 : GREP (Grouping Reply) 返信し、自信のリソース情報を返す
  - (ウ) Target 視認 LR は GREP に付加された情報から最適なリーダを選定し、周辺 LR にグループリーダ広告 : GLA (Group Leader Advertisement) を送信
  - (エ) Target 視認 LR はリーダに詳細な通報情報の管理を委託 : LEN (Leader

entrustment)・送信

(オ) 周辺 LR は適宜必要に応じてリーダから Target の情報を取得

10. 5～9 の繰り返し

11. MPB による Target の追跡・視認・捕捉 (追跡機能の実行)

コミュニティセキュリティシステムは、Target のトラブル発生後の逃走行動に対して、LR-LR-MPB 間の通報とグルーピングの強調行動によって対処され、実現される。各構成要素をエージェントととらえ、エージェントのインタラクションによってコミュニティセキュリティシステムが生起されると考えると、マルチエージェントシミュレーションへの適用がシステムの評価手法として有効であると考えられる。

そこで、優れた GUI と簡易な開発環境を有するマルチエージェントシミュレータ *artisoec*[5] を利用する。次節で詳細を述べるが、Community を空間として、コミュニティセキュリティシステムの各構成要素、交差点、各種グルーピングメッセージをエージェントとして定義する。

#### 4. 2 構成要素のモデリング

エージェントをシステムの構成要素に、システムをコミュニティセキュリティシステムに適用し、マルチエージェントシミュレーションとしてモデリングを行う。

各構成要素を以下の様にモデリングする。各構成要素と挙動の概要を図 9 に示す。

(i) Community

各エージェントが行動する空間である。さらに、この中に道路網を敷設する。

※道路網の敷設

道路網もエージェントの集合として定義する。すなわち、交差点をエージェント (Agt) としてとらえ、それぞれの交差点 Agt が隣り合う交差点 Agt とリンク関係を構成することで交差点ネットワークを形成する。これにより、道路網が敷設される。道路網の詳細な定義はシミュレーション・パラメータ中で後述する。

MPB、Target はこの道路網を、最短経路を計算し移動する (※後述、最短“距離”経路とは限らないように設計している)。

(ii) LR (Local Resident)

Target を視認すると、通報を VPS に送信する。また、同時に周辺 LR にグルーピングを发起する。グルーピングを要求されたら、自身の属性値を返す。種々のグルーピングメッセージを送受信する。

※グルーピングメッセージ

種々のグルーピングメッセージもパケットエージェントとして定義している。すなわち、送信元アド

レス、宛先アドレス、メッセージ種別などの属性を持つエージェントとして、コミュニティ内を伝搬する。各種メッセージの詳細な定義は後述する。

(iii) MPB (Mobile Police Box)

Target 視認 LR から VPS に送られた通報が転送されてくる。この通報には通報場所の位置情報が付加されているため、この通報場所に向かって移動する。尚、移動中にあらたな通報を受信すると、新たな位置情報に更新され、移動先の通報場所が最新の値に変更される。

移動過程で Target を視認すると、捕捉する。また、グルーピングの回数の増加に応じて、視認範囲が広範化する (視認補正を反映)。

(iv) VPS (Virtual Police Station)

Target 視認 LR からの通報を受信する。また、本シミュレーションモデルにおいては、各 LR は P2P にグルーピングメッセージのやりとりを行わせる。

(※正確なシステムの設計としては、VPS が介入し、LR の位置情報管理、グルーピングエリア管理、各メッセージの転送を行う) Target の情報が蓄積される。

(v) Target : ランダム移動

コミュニティ内をランダムに移動する。道路網内外を移動する。

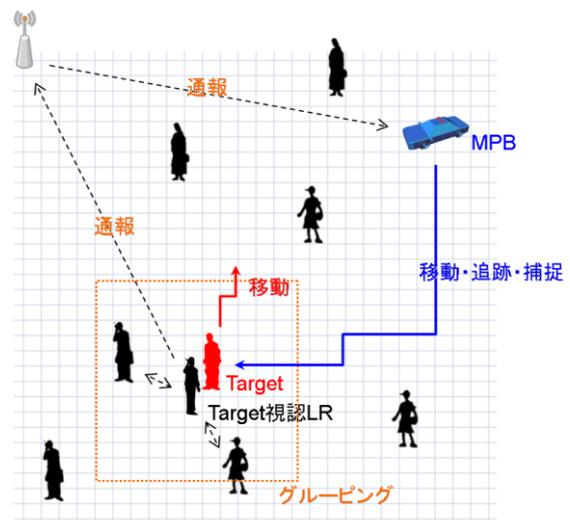


図 9: シミュレーションモデルの概要

#### 4. 3 シミュレーション・パラメータ

(i) 空間の定義

- ・ コミュニティの大きさ : 3km×3km
- ・ 総セル数 : 900×900 セル (すなわち 1 セルの 1 辺は 3.333...m となる)
- ・ 道路網を敷設

交差点 Agt の集合として与える (図 10 参照)。交差点 Agt は隣り合う交差点とリンク関係を保持する。すなわち、隣接する交差点 Agt の ID とリンクの重み

を持つ。重みとは、リンク間の距離の関数となる。この重み値は、MPBの通報場所への移動の際の最短経路探索（ダイクストラ法[6]）の際に用いられる。交差点 Agt は 100m おきに配置する。したがって、交差点 Agt の総数は  $31 \times 31$  個=961 個となる。重みを以下のように与える。

縦横に 4 本ずつの主要道を敷設する。主要道を形成する交差点 Agt には、リンク重みを 10 と与える。つづいて、縦横に 3 本ずつの準主要道を敷設する（主要道と重複する場合あり）。準主要道を形成する交差点 Agt にはリンク重みを 12 と与える。その他の交差点 Agt には、リンク重みを 14~16 でランダムに与える。主要道、準主要道のみ道路線を描画している。

これは現実に道路を走行する際、国道や県道といった主要な道路を優先的に選ぶことを反映している。つまり、縦横に走る主要道・準主要道を選んで進みやすくなる。したがって、MPB が通報場所に移動する際に参照する経路は、最短距離経路ではなく、リンク重みの総量が最小となる最短リンク重み経路となる。ただし、Target は歩行者を想定しているため、リンク重みを考慮しない最短距離経路で移動するものとする。

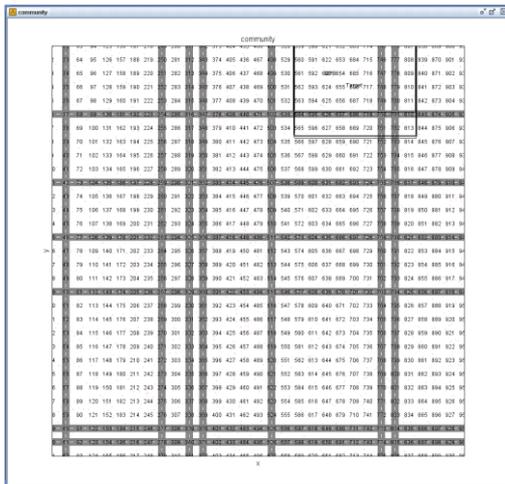


図 10 : 道路網の敷設

(ii) 各構成要素の定義

①LR

- ・ 1500 人(※日本の人口密度(約 3000 人/9km<sup>2</sup>)の 50%とする)
  - ・ 固定
  - ・ Target を視認
    - ◇ 視認範囲 : 約 10m
    - ◇ 視認補正を適用 :  $D = d(l_0, f(N_G)) = l_0 + f(N_G) = 10 + 3.3 * \text{Int}(0.5 * N_G)$  [m]
- (※通報を 2 回受信するにつき、1 セル分 (3.3m) 視認範囲が広範化)
- ・ グルーピングメッセージを送受信

・ 受信メッセージの情報を格納

行動フェーズを以下のように与える。ただし、グルーピングメッセージのやりとりは、直接的に MPB の Target 捕捉時間に関連しないため、簡略化して表現している。ただし、周辺 LR への通報はトラフィック量として計測する。これは、MPB が Target を捕捉するまでに、どの程度のグルーピング発起がなされたかを定量的に知るためである。

<1>Target 視認・通報情報生成フェーズ

Target が近接に位置したら、Target の情報を通報情報に格納する。この際、通報情報の取得と送受信の遅延値として 20 秒を要するものとする。すなわち Target を視認し、Target に関する情報を記録・入力し、VPS が受信するまでに 20 秒を要することを意味する。

ただし、前回のグルーピングがなされてから 30 秒以上経過していなければ、Target 視認状態とはならないこととする。これは、複数の LR によるグルーピング発起の頻発を防ぐためである。しかし、20 秒の通報遅延を設定しているため、前回のグルーピングを確認する前にグルーピングを発起してしまうこともあり得る。これは、グルーピング形成の衝突を意味する。

尚、一度 Target 視認・通報情報生成フェーズに入ると、20 秒間の通報送信時間に入るため、あらたに Target を視認することはない。

<2>通報・GREQ 送信フェーズ

通報遅延 20 秒が経過したら、VPS に通報を、LR に通報と GREQ を送信する。それぞれを ReportAgt、GREQAgt として生成し、自身の ID を送信元アドレスに指定し、あて先アドレスを VPS 及びエリア内の各 LR の ID に指定する。そして、ReportAgt、GREQAgt の位置を VPS 及びエリア内の周辺 LR の位置に指定する。これにより、メッセージパケット (=メッセージエージェント) の伝播を表現する。

<3>通報・GREQ 受信→GREP 返信フェーズ

GREQ を受信してから、GREP を返信するのに一律 1 秒を要するものとする。すなわち、通報の送信のように遅延は与えない。これは、GREQ の送信と GREP の返信には LR の意向が介在せず、LR の所持する端末間で自動的に送受信されることによる。GREPAgt を生成し、送信元アドレスを自身の ID、あて先を Target 視認 LR の ID に指定する。そして GREPAgt の位置を Target 視認 LR に指定する。

さらに、GREPAgt に自身の属性値 : リードポイントを与える。リードポイントとは全 LR にランダムに与えられたもので、値が大きければ大きいほどリードに選定されやすくなる。つまり、それぞれの LR が持つ種々の属性である移動スピード、位置、ネットワークインタフェース、帯域、電源、管理能力などを便宜的に 1 つの値にまとめたものである。

#### <4>GREP 受信→GLA 送信フェーズ

GREP を受信してから、GLA を返信するのに一律 1 秒を要するものとする。すなわち、通報の送信のように遅延は与えない。これは、GREQ の送信と GREP の返信には LR の意向が介在せず、LR の所持する端末間で自動的に送受信されることによる。GLAAgt を生成し、送信元アドレスを自身の ID、あて先を周辺 LR の ID に指定する。そして GREPAgt の位置を周辺 LR の位置に指定する。

#### <5>LEN フェーズ：省略

#### ②MPB

- ・ 1 台
- ・ 通報場所に向かって道路網を通過して移動
  - ◇ 移動速度：50km/h、40km/h、30km/h
  - (※主要道走行中：50 or 30km で移動、準主要道走行中：40kmh で移動)
  - (※経路探索はダイクストラ法[6]により行われ、交差点 Agt 間のリンク重みから算出される最短リンク重み経路が選ばれ、その道順を移動)
- ・ 通報を受信 (LR→VPS→MPB と転送)
- ・ Target を視認次第、捕捉
  - ◇ 視認範囲：約 10m
  - ◇ 視認補正を適用： $D = d(l_0, f(N_G)) = l_0 + f(N_G) = 10 + \text{Weight} * N_G$

※Weight は後述のように与える

#### ③Target

- ・ 1 人
- ・ 道路網上を移動 (移動速度：5km/h、歩行者を想定)

#### ④VPS

- ・ 1 箇所
- ・ 通報を受信
- (iii) グルーピングの評価値

前述したように、Target がエリア外に脱出する前にグルーピングの連鎖が起き、一方でやりとりされるトラフィック量を可能な限り抑えた、1 グルーピングエリアの範囲を与えるべきである。そこで、

- ・ 1 グルーピングエリアサイズ (Area)  
=Target 視認 LR を中心に 270×270 セル、225×225 セル、180×180 セル
- ・ 視認補正 (Weight)  
=3、2、1

の 2 値を 3 パターンずつ与え、以下の値をシミュレーション結果値とする。

- ・ Target 捕捉所要時間 (単位：ステップ)
- ・ グルーピング成功率 (=捕捉率)
- (100% - Target エリア外脱出率、つまり MPB が Target エリア外脱出前に捕捉できれば成功、脱出してしまった場合はシミュレーション終了)
- ・ トラフィック量 (総量、単位：個)

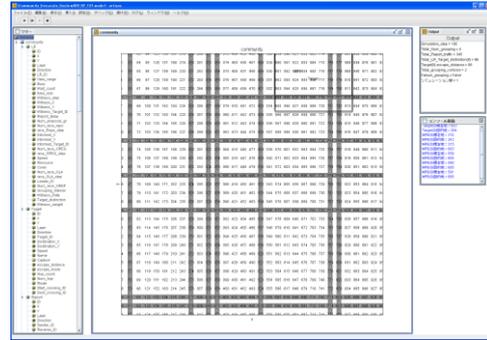


図 11：シミュレーションモデル

#### 4. 4 シミュレーション結果と考察

シミュレーションは前述の Area 値 3 パターン× Weight 値 3 パターンの計 9 パターンについて行う。それぞれ 300 回ずつ行い、それぞれのシミュレーション結果値の平均値を求める。凡例の意味は“Weight”が視認補正の値を、“Area”が 1 グルーピングエリアの一辺の長さの値を表す。

##### (i) グルーピング成功率と Target 捕捉所要時間

図 12 はグルーピング成功率 (=Target 捕捉率) と Target 捕捉所要時間 (以下、捕捉時間) の値を重ねてプロットしたものである。捕捉時間は正規分布に従うとみなし、95%信頼区間内の値の平均を算出している。

捕捉時間は Area 値が小さいほど短くなるが、これはグルーピング連鎖の途絶が起こらなく、かつ迅速に捕捉できた場合の結果が相対的に多いためであり、Area 値を小さくすることで迅速に捕捉に至るわけではない。したがって、捕捉時間はグルーピング成功率を比較しながら考察する必要がある。成功率が 80%以上なのは Weight=3, Area=270 のときのみであり、確実な Target の捕捉には、より大きな Area 値、つまり広範な 1 グルーピングエリアサイズが求められる。

本シミュレーションモデルにおける Target 捕捉に要する時間を実時間に換算すると、結果左からそれぞれ、6分20秒、5分54秒、4分56秒 / 7分30秒、6分13秒、5分25秒 / 8分50秒、7分29秒、5分50秒である。

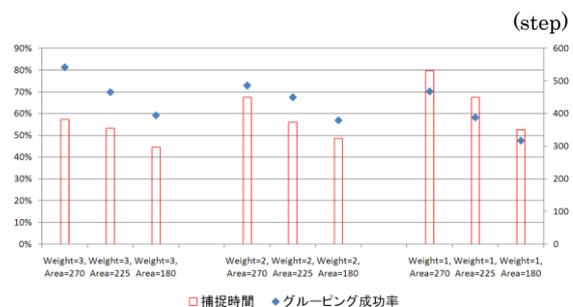


図 12：シミュレーション結果 (i)

(ii) Target 捕捉所要時間とその分散

図 13 は捕捉時間とその分散の値を重ねてプロットしたものである。Weight 値が大きいほど分散は小さくなるが、これはグルーピングの連続によって視認補正が大きく作用し、迅速に Target 捕捉に至るためである。Weight 値が小さい場合、MPB 通報場所に移動した際に、たとえ Target が近接に存在したとしても、Target を視認できないためにその場に停滞してしまい、次の通報とグルーピングを待つ場合も多くなる。結果として、MPB と Target の位置関係と移動方向の関連で、迅速に Target を捕捉できる場合と Target 捕捉に長時間を要する場合のそれぞれの結果が相対的に多くなり、分散の増大につながる。

一方、Weight 値 3 パターンに共通して、Area 値が大きいほど分散が大きくなるが、これは新たなグルーピングの待ち状態になったとしても、Area 値を大きくすることで Target を視認可能な LR 数が増え、グルーピングの失敗が少なくなり\*1、捕捉時間を長く要したとしても結果として捕捉に至る場合の結果が相対的に多いためである。

(※1: Target は LR の“網”を抜けにくくなるため、すなわちエリア外脱出がしにくくなるため)

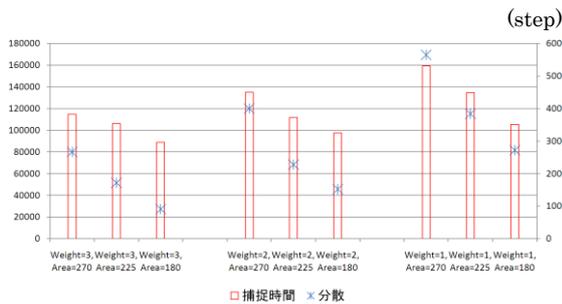


図 13 : シミュレーション結果 (ii)

(iii) 通信トラフィック量

図 14 は Target 捕捉に至るまでのコミュニティ全体のトラフィック量の総量 (単位: 個) をプロットしたものである。同一 LR へのパケットの重複もカウントしている。Area 値を小さくすることで、トラフィック量は減少する。セル数とその面積は Area=270 の場合が 72900(セル)、Area=225 の場合が 50625(セル)、Area=180 の場合が 32400(セル)であり、カバーするセル数に準じた違いが結果に表れているといえる。(i)、(ii) の評価において Weight=3、Weight=2 の場合の結果に違いが見られたのに対し、この結果 (iii) はほとんど変わらないことが特徴的である。

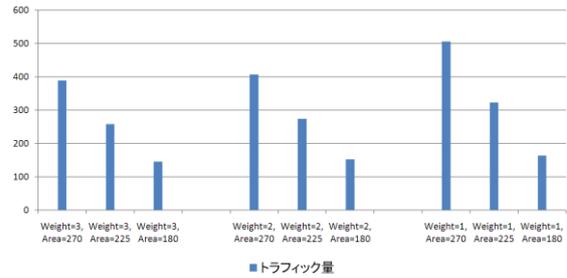


図 14 : シミュレーション結果 (iii)

4. 5 実現性の考察

4. 4 節の結果を考慮した実現性について考察する。あらためて各パラメータの意味と課題をまとめ、実技術への実装とシミュレーションモデルの課題を述べる。

(i) パラメータの課題

①1 グルーピングエリアサイズ (Area)

1 グルーピングエリアサイズに関する実現性の課題としては、トラブル情報周知の局所化、リソース利用の低減の 2 点が考えられる。

現実的に考え、例えば LR の立場では、トラブル情報は自身の身近に起こっている情報を欲しやすいといえる。なぜなら、自身に危害が及ぶほどに身近な場所で起きたことに関する情報を最優先に欲することが想定できるためである。逆に、身近でないトラブル情報に関してはその情報を必要としない場合も多いと考えられる。つまり、コミュニティセキュリティシステムを利用している際に、頻繁に必要としないトラブル情報を受信することを利用者 (LR) は求めないと考えられる。したがって、LR が“身近”であると判断する最適な 1 グルーピングエリアサイズを想定すべきである。

一方、ネットワークインフラ等、リソースの利用低減の視点から考えると、トラブルが起こった際にあまりに広範に周知を行うことは望ましくない。特に想定する無線通信インフラや携帯端末環境下のユビキタスシステムにおいては、限られたリソース内に様々なアプリケーションの同時利用 (乗り合い) と、それに伴うバックグラウンドトラフィックが存在すると考えられるため、リソース利用低減のためのグルーピング局所化が必要である。したがって、局所化を行うための 1 グルーピングエリアサイズを想定すべきである。

本シミュレーションモデルにおいては、空間サイズから決定した単純な 1 グルーピングエリアサイズを用いたが、実社会における地理、一般的に“身近”と判断される距離、無線通信インフラへの配信とトラフィック量などを考慮し、現実的かつ最適な 1 グルーピングエリアサイズを決定する必要がある。

②視認補正 (Weight)

視認補正に関する実現性の課題はとしては通報情

報の高度化、視認の可否問題が考えられる。

Weight 値とは現実的に想定すると、通報に含まれる情報の内容と、これに伴う Target の視認のしやすさを定量的に与えた値といえる。つまり、Target を一意に認識しやすい情報ほど、Weight 値は大きくなる。通報情報の内容としては、2.5 節で述べている。一意に認識しやすい情報とは、情報量が多いものが想定でき、トラフィック量も多くなることが考えられる。

本シミュレーションモデルにおいては、Weight 値と視認補正のメカニズムを単純に与え、Target を一意に認識できる技術が整備されている前提としたが、通報情報の内容と視認の可否問題を考慮し、現実的かつ最適な視認補正メカニズムを決定する必要がある。

(ii) 実装とシミュレーションモデルの課題

#### ① グルーピングの実行

4. 4 節 (iii) トラフィック量で求められた結果によると、トラブルを解決するのに約 400~500 個の周知パケットが送受信される。Target 視認 LR は 1 グルーピングで数十人の周辺 LR に周知を行う。実際には管理者である VPS 単一に通報を送信し、この VPS が周辺 LR に向けて転送するが、高度な通報情報を想定する場合、1 人の LR が通報情報を送受信するのに数 Mbps~の無線通信環境が求められる。さらに、これが Target 捕捉に至るまでの数分間に 400~500 回行われるため、高スループットと同時利用に耐え得る無線通信環境が求められる。

現実的に考慮した場合、Target 視認 LR から VPS への通報には上り高スループットの無線通信環境が求められる。現状においては上り数 Mbps~で広域をカバーする次世代携帯電話網技術は研究開発段階である。また下り速度に関しては数 Mbps~を実現しているが、一方で利用者が持つ携帯情報端末について考えると、現状の携帯電話やスマートフォンなどの情報端末では CPU パワーや電源リソースの持続能力等が不足している状態といえる。したがって、様々なユビキタス環境下アプリケーションのプラットフォームとなり得る、潤沢なリソースを有した高機能な携帯情報端末の開発が求められる。

シミュレーションにおけるグルーピングのモデリングに関しては、LR の差別化とリーダ選定のメカニズムの定義を詳細に行う必要がある。特に、グルーピング後の周辺 LR からリーダへのリクエスト状況とリーダ間の協調メカニズムを定義する必要がある。これにより、リーダへの負荷集中とエリアごとのリーダ間インタラクションの状況を検証することができる。

#### ② 各構成要素と行動ルール

実装に関して考えると、各構成要素のうち、LR は一般の携帯端末を持つ地域住民、VPS はシステムの

管理サーバを持つ場所を想定できるが、MPB と Target の存在とふるまい方の定義は困難であるといえる。MPB に関しては、Target 追跡だけでなく、通報を行った LR への対応や複数台での協調メカニズムも必要である。Target に関しては、逃走ルールに現実性を持たせる必要がある。したがって、MPB と Target の行動ルールを現実的な統計量や人間工学などに基づき想定し、システムの検証を行う必要がある。

#### ③ 拡張グルーピング機能

定義したグルーピング手法の拡張機能として、以下の方式を提案する。(今後の適用課題)

##### A. プロアクティブグルーピング

過去の 2 回以上のグルーピングから、現在の Target の位置を推定し、LR の Target 視認に関わらず VPS が主導となってグルーピングを行うものである。グルーピングの発起場所 (=中心) は Target の推定現在位置である。

##### B. 複数 MPB 連携

複数の MPB で連携し、Target を捕捉する方式である。単純に通報場所に向かうのではなく一方は過去の Target 視認場所から現在地を推定し、先回りするなどの方式が考えられる。さらに、Target をはさみうちにして円滑な捕捉を実現するといった方式も考えられる。

## 5. まとめ

本研究では、ユビキタス環境下アプリケーションであるコミュニティセキュリティシステムの提案、グルーピング手法の考案、アプリケーション環境におけるシミュレーション及び考察を行った。この結果、コミュニティセキュリティシステムの実現には、住民と解決者間、住民と住民間の情報の周知を実現するモバイル通信環境とグルーピングメカニズムが必要であることがわかった。

特に本論文では、各構成要素をエージェントととらえ、エージェントのインタラクションによってコミュニティセキュリティシステムが生起されるという概念に基づき、マルチエージェントシミュレーションへ適用することでシステムの評価手法として確立することができた。

また、解決しなければならない課題が存在するものの、コミュニティセキュリティシステムをユビキタス環境下で実現可能な、ユーザ参加型の協調アプリケーション事例として確立することができた。

今後の主な課題として、各構成要素の行動ルールとグルーピングメカニズム (拡張含め) を詳細に定義した上で、現実近似し得る挙動として再現し、シミュレーションを行う必要がある。また、MPB が Target を捕捉するのに要する時間のみならず、LR がトラブルから受ける危害とそのリスクを定量的に求

め、LR のシステムを利用する上での満足度や信頼度といった値を求めることで、システムのユーザである LR が真にシステムに求める (=LR 指向の) 挙動や機能を検証する必要がある。

## 参考文献

- [1]勝将万、井手口哲夫、奥田隆史、田学軍：コミュニティセキュリティにおけるエージェント間相互作用のモデリングとその評価、電子情報通信学会 IN 研究会、愛知県立大学(2007-2)
- [2]Masakazu KATSU, Tetsuo IDEGUCHI, Takashi OKUDA and Xuejun TIAN : Applying Mobile IPv6 for Decreasing Troubles in the Community and its Evaluation, OPNETWORK2008, Ronald Reagan Building, Washington DC(2008-8)
- [3]勝将万、井手口哲夫、奥田隆史、田学軍：移動対象の捕捉を目的とするグルーピング適応手法の一考察、電気関係学会東海支部連合大会、愛知県立大学(2008-9)
- [4] 油原直弘：安全学の構築に向けて、電子情報通信学会誌，平成 17 年 5 月 Vol.88 No.5, pp.379-386
- [5]MAS コミュニティ：「<http://mas.kke.co.jp/>」
- [6] 土木教程選書 新版 交通工学 pp.104-105, 竹内伝史他，鹿島出版会