

端末の移動予測を用いたアドホックネットワーク上の 位置依存情報の複製に関する検討

土 田 元[†] 鬼 頭 政 貴[†]
石 原 進[†] 峰 野 博 史^{††}

本稿では無線アドホックネットワークの ITS 車々間通信への応用として、事故や渋滞情報など位置に依存する情報を車々間通信によって配布したり、特定の位置に問い合わせを行う手法について検討する。車々間通信においては、事故防止のための急ブレーキなど緊急情報をリアルタイムに伝送する応用の検討が多くなされているが、本稿では広範囲の端末から利用されうるリアルタイム性を要しない種類のデータを扱う。このような情報をアドホックネットワーク上で広範囲にやりとりする場合には、トポロジの変化に伴ってノード間の接続性が維持されず、目的とするデータへのアクセスができなくなる問題が生じる。本稿では自動車の位置、速度、移動先およびデータの関連する位置情報に関して効率的にアドホックネットワーク上に複製を配置し、これらのデータの可用性を向上する手法を提案する。

A study on replication of position dependent information on ad hoc networks based on prediction of terminal movement

GEN TSUCHIDA,[†] MASATAKA KITOU,[†] SUSUMU ISHIHARA[†] and HIROSHI MINENO^{††}

In this paper, we discuss distribution of information depending on positions, such as an accident and traffic congestion information, on Inter-Vehicle Communication (IVC) network. In IVC, distribution of stored-non real time information is not well discussed but useful while transmits of urgent information such as brake signal for accident prevention is well studied. In exchanging such information on an ad-hoc network, the connectivity between nodes is not maintained with change of topology, therefore nodes in an ad-hoc network suffer problems that they cannot use data on other nodes. In this paper, we propose a replication method to distribute regional information used by car-navigation system, effectively and reliably using position, velocity, direction of nodes and positions related to data.

1. はじめに

アドホックネットワークとは、移動可能無線端末によって、既存のインフラを利用することなく構築できるネットワークである。各端末はルータのように振る舞い、端末同士で直接または他の端末の中継により、基地局を介さず通信することが可能である。これは緊急時、軍事、災害時、パーソナルエリアネットワーク、センサネットワークなど既設のネットワークが利用困難な状況での応用が期待されている。

アドホックネットワークの応用例の一つとして、高度交通システム (ITS) への応用がある。走行中の車々間通信はアドホックネットワークの一例である。車々間通信の利用にあたっては、急ブレーキ等の車両制御データのようなリアルタイムな情報の伝達が広く検討されている¹⁾²⁾⁶⁾ 一方で、非リアルタイム系の情報も有用で

ある。例えば、渋滞情報、画像付きの事故情報、その地域に初めて来る人向けの広告等は必ずしもそれらのデータが発生されて直ちに利用されるものではないが、ドライバーの運転支援のために有用である。またアドホックネットワークを利用して配信することで、固定の通信インフラに依存しないで、これらの情報を利用できることになる。

アドホックネットワークはその性質上、端末 (ノード) の移動や無線リンクの状態変化によりノード間の接続性が保証されず、そのノードの保持していた情報がネットワーク内の他のノードからアクセス不能となる問題がある。

このような事態を避けるために、各ノードに複製を配布することでネットワーク内に存在するデータの可用性を高める複製配布方式が提案されている³⁾⁴⁾。データへのアクセス成効率を高めるためにはすべてのノードが他のノードの保持しているデータの複製を保持すればよい。しかし、この方法では移動端末の記憶容量の限界による制限や、複製配布のためのトラフィックの

[†] 静岡大学工学部
Faculty of Engineering, Shizuoka University
^{††} 静岡大学情報学部
Faculty of Information, Shizuoka University

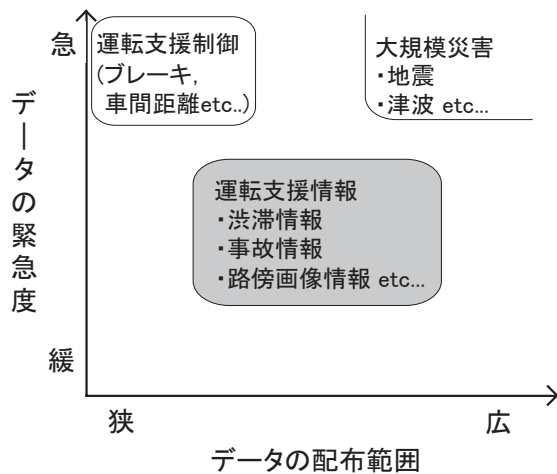


図1 車々間で交換する情報の種類別の配布範囲・緊急度の関係

増大といった問題が発生する．そこで効率的なデータの複製配布方式が必要である．4) で筆者らはノードの移動を考慮した複製配布方式として Skip Copy(SC) 方式を提案している．SC 方式では，データの複製をそのデータを取得したノードの位置周辺に配置する．しかし，SC 方式ではこれまでカーナビを搭載した自動車を利用した手法については検討が行われていない．そこで本稿では，ノードの移動や自動車の航行情報を利用し ITS を指向したデータ複製配布方式を検討する．

以下，本稿では，2 章で車々間通信における蓄積型データの利用について述べる．3 章では，既存の位置依存複製配布方式のアプローチとこれらを車々間通信に適用する際の問題点を述べ，4 章で問題点を解決するための手法について検討する．最後に 5 章でまとめを行う．

2. 車々間通信における蓄積型データの利用

車々間通信で扱われる情報の種類をデータの配布範囲，データ配布時の緊急度に従って表したものを図 1 に示す．本稿では図 1 の中でも特に，利用範囲がある程度広く，多少の遅延 (数十分程度) を許容するような情報について検討する．前方車両の急ブレーキのような緊急事故回避データ (図 2) については，情報の発生源から利用者までリアルタイムにプッシュ型配信されるべきものであり，複製を配布する必要が無い．このため，本稿での議論の対象としない．また，地震，津波などといった大規模災害情報はアドホックネットワークで伝播させるには範囲が広すぎるため，これもここでの議論の対象とはしない．我々が取り扱う情報は，カーナビなどで利用される運転支援情報である．これらの情報をプッシュ型 (図 2) の配信とリクエスト型の配信 (図 3) をあわせて利用する状況を想定する．

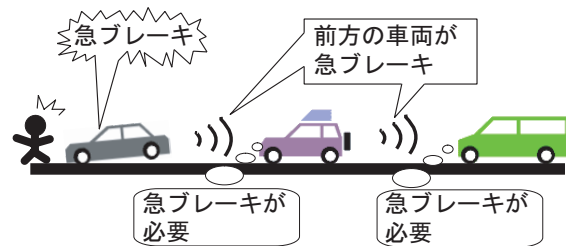


図2 プッシュ配信の例

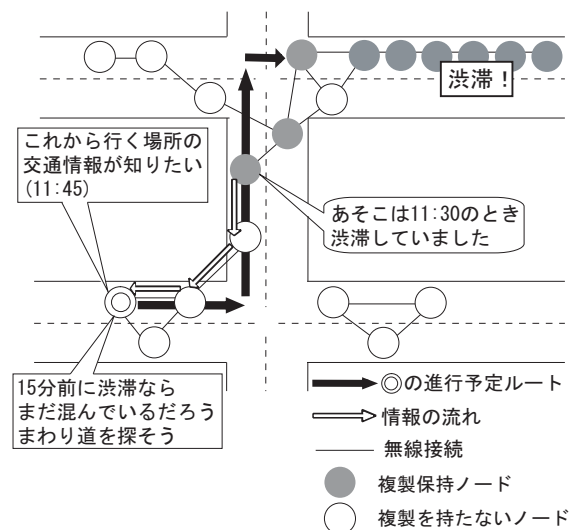


図3 リクエスト型配信の例

2.1 アプリケーション例

車々間通信で配信される蓄積型データを利用するアプリケーションとして，カーナビゲーションシステムの高度化が考えられる．ここで利用される情報として以下のものが想定される．

- 車両の位置・速度
- 渋滞の範囲
- 通行止め，車線規制といった渋滞の原因
- 事故などによる突発的な交通規制
- 車載カメラによる交通状況の画像
- 地域の情報を含んだ広告

これらの情報を活用した利用例として以下のようなシナリオが考えられる．まず，自動車は自分周辺の車両からプッシュされた周辺車両の位置や速度の情報を得る．これらの情報を集約してカーナビ画面上で混雑状況ガイドとして表示させる．さらにドライバーの興味のある特定の位置に関連した詳しい情報も入手し，車々間通信によりこれらをカーナビ画面上に表示させる．例えば，自分の移動先において，現在どれくらい渋滞しているのかを大まかに表示させておく．さらに詳しい情報が欲しい場合には，図 4 のように，画面からインタラクティブに渋滞や事故が起こった地点を選ぶこと



図4 カーナビでの情報表示の例

により、その場所に関連したデータをアドホックネットワーク上の特定位置のノードに問い合わせる。この応答としてその場所で起こった事を画像付きの情報として表示させることができる。

2.2 アドホックネットワークにおける問題点

車々間通信に限らず、アドホックネットワークではトポロジの変化によりネットワークの分断や結合が頻繁に発生し、分断によりデータの可用性が低下するという問題がある。図5(a)に示すように、ある時点ではノードAとノードBは通信可能であっても、中継ノードが移動することにより経路上のリンクが切断されてしまうと図5(b)に示すようにノードAとノードBの通信が不可能になり、情報の相互利用が不可能になる。

ネットワークの分断によるデータの相互利用ができなくなる問題を解決する方法として、中継ノードにデータの複製を配置することでそのデータの可用性を向上させる手法がある。具体的には図5(c)のように、あらかじめ中継ノードB'にノードBが持っていたデータの複製を持たせることで、ノードAはノードBが持っていたデータを得ることが可能になる。単純には複製を常にすべてのノードで保持することができると可用性は増すが、このような方法ではノード間のトラフィック、端末の記憶領域を浪費することになるので、適切な量の複製を適切なノードに配置する工夫が必要となる。

3. 位置依存情報の複製配布

3.1 アドホックネットワークによるデータ複製の管理

本稿ではITSや災害救助の際自動車や作業者などの位置情報、およびそれら周辺の情報を積極的に利用するようなアプリケーションをアドホックネットワークで実現する場合に、ノードやその周辺の位置情報をも

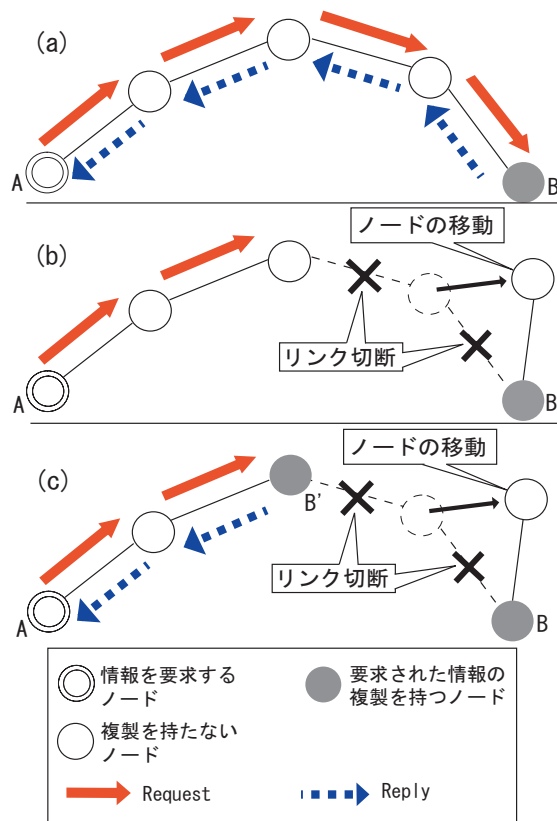


図5 アドホックネットワークの問題点

とにデータを複製しそれらを管理する手法について検討する。

アドホックネットワークにおけるデータ複製配置方式として原の方式³⁾がある。これはネットワークの分断による問題を回避するために、個々のノードからのアクセス頻度が既知であるデータの複製を、リンクの切断が起こりづらい範囲ごとにアクセス頻度の高いノードへ配布すること、ならびに複製の再配置周期を考慮することによりデータの可用性を向上させる手法を提案している。しかし、ノードの移動に伴うアクセス頻度の変化については考慮されていない。

一方筆者らは、位置依存のデータを利用するデータの発生位置とそれらの利用者の位置関係によってアクセス頻度が決まるという仮定の下、データが発生するたび、およびデータ要求に対する応答時に、ネットワークトポロジと端末およびデータの関連する位置に基づいて複製を動的に配置する方式(位置依存情報複製配布方式)⁴⁾を提案している。

本稿では位置依存情報複製配布方式のITSへの応用、特にカーナビから得られる自動車の移動情報を利用した手法について提案する。これ以降本稿では、特定の位置に関連付けられ、かつそれがその位置により近い場所にいる利用者が頻繁に利用する情報のことを位置

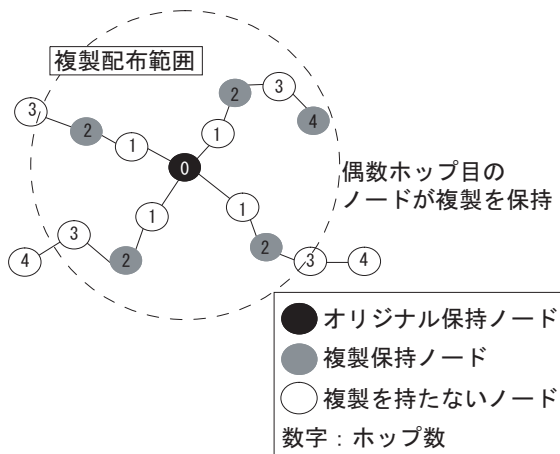


図 6 SC 方式による複製配布

依存情報と呼ぶこととする。また位置依存情報が関連付けられた位置、ならびにその情報を発生したノードを情報発生源と呼ぶ。

以下 4) で提案された位置依存情報複製配布方式の方式である SC 方式について概略を示す。

3.2 Skip Copy(SC) 方式

SC 方式とは複製を情報発生源周辺のノードに数ホップごとにまばらに配置する方式である。

SC 方式では、あるノードでのデータの発生と同時に複製をオリジナルデータを生成したノードの周辺にフラッディングにより配布する。フラッディングを行う過程で、各ノードは送信元からのホップ数がパラメータ s の倍数の場合のみ複製を配布する。また、あらかじめ決められた情報発生源からの半径で決められる複製配布範囲内においてのみ行う。このため全ノードは GPS などにより自身の位置を把握可能であることが前提とされている。そうすることで、過度の複製配布を防ぎ、結果として多くの種類のデータの複製を取り扱うことが出来るようになり、システム全体のデータへのアクセス成功率を高めている。

データの要求は Geocast によって行う。すなわち、要求メッセージを情報発生源の位置周辺にいる不特定のノードに向けて送信する。要求メッセージは情報発生源の位置または経路上にあるノードを経由するので、該当したデータを持つノードに到達する。該当するデータの複製を持つノードは要求に応答する。その後は、複製を要求元に返送する段階で、中継するノードの位置とデータの関連する位置関係に基づいて複製の再配置を行う。この再配置により、ノードが元の位置から移動しても、データに関連する位置周辺には常にそのデータの複製が配置され続けることとなる。この結果、データへのアクセス頻度の高いノードの周辺、すなわちデータが関連している位置の周辺にデータの複製が複数配

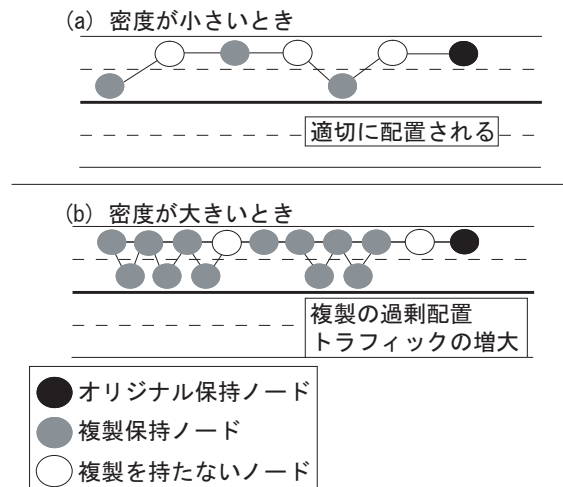


図 7 SC 方式の問題点

置されることになるため、データへのアクセス成功率を高めることができる。

3.3 SC 方式の問題点

SC 方式は複製の配布およびデータ要求、応答をフラッディングベースで行っている。フラッディングは単純な動作で通信可能な全ての端末にデータを送信できる利点があり、ノードの密度が高くない状況では効率的にデータ送信ができるので、SC 方式でもこれを用いることで効率的な複製配布が可能である。しかし、ノードが密集している場合に単純にフラッディングを行うと、通信可能範囲内の多くのノードがブロードキャストをするため、ブロードキャストストームが発生し 2 層における無線通信の衝突が多く起こり、通信性能が低下してしまう。さらに、図 7 に例を示すように、複製配布範囲内においてはホップ数のみを用いて複製の保持を判定するため、地理的な密度という観点からは必ずしも複製を持つ必要がないノードにまで複製が配置されてしまうことがある。この結果要求に対して応答するノードが多すぎるために衝突が起こり通信性能の悪化、記憶領域の浪費を生んでしまう。SC 方式を車々間通信に用いることを考えた場合、前述の問題に加え、SC 方式はカーナビから得られる車の航行情報を利用していないという欠点がある。

4. 車々間通信を指向した複製配布方式

車々間通信における SC 方式の問題を解決するための手法として、新しい複製配布方式を提案する。この方式では以下の 3 項目を達成することを目的とする。

1. ネットワーク全体の複製の数の減少
2. 高いアクセス成功率
3. データ要求・応答時のトラフィック減少

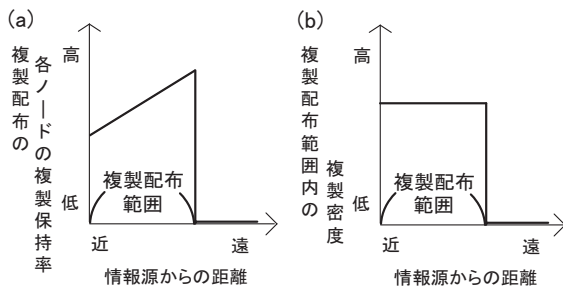


図 8 距離を利用した場合の複製保持率

4.1 前提条件

提案する複製配布方式の前提条件として以下を仮定する。

- (1) 各ノードは GPS により自身の現在の位置，速度，移動方向を知ることができる。
 - (2) 各ノードは位置依存データを発生する．これにはデータ発生位置，時刻，データの種別が加えられる。
 - (3) データが発生すると各ノードはブロードキャストによって複製を配信する。
 - (4) ブロードキャストされた複製を受け取ったノードは，自身でその複製を保持するか否かを判断し，その判定に従って処理を行う。
 - (5) データ発生時からの半径によって与えられる複製配布範囲の外では，ノードはブロードキャストされた複製を無視する（つまり複製配布範囲外ではフラッシングは行われない）。
- (4) での各ノードで受信した車々間通信を指向した複製の扱いが複製の量，ネットワーク上での配置位置を決定する．以下，SC 方式の問題点を改善するための (4) での各ノードの処理指針 3 つを順に説明する。

4.2 情報源からの距離に関する方針

情報源からの距離に関する方針を定める．方針は以下の通りである。

- 情報発生源に近いノードはその情報源から再び，比較的新しい情報をもらう可能性が高い．またそのデータが必要な場合に，情報発生源から直接データを取得できる可能性が高い．そこで，このようなノードは積極的に複製を保持しない（複製受信後の複製保持率を低くする）。
- 情報発生源から遠いノードは経路の分断や通信エラーによって複製そのものが手に入りにくいと想定される．そこでこのようなノードでは，一度複製を入手したら比較的高い確率で保持する（複製受信後の複製保持率を高くする）。

上記の方針に従うと，ある位置で取得されたデータの複製はそのデータに関連する物理的な位置からの距離によらずほぼ一定に配布されると予想される．複製の保持

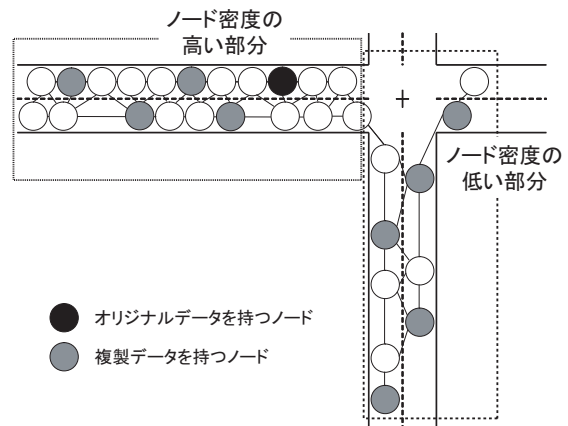


図 9 密度利用の場合の複製保持イメージ

率の例を図 8 に示す．(a) のグラフではノードあたりの複製保持率を示している．情報発生源から遠いノードはホップ数が増加して容易には複製を入手できなくなりやすいので，情報発生源から遠いノードは近いノードに比べて高い確率で複製を保持しようとする．(b) のグラフでは，複製配布範囲内全体における情報発生源からの距離による単位面積あたりの複製密度を示している．情報発生源に近いノードは情報を得やすいので，複製を積極的に保持しない．一方，情報発生源から遠い場合は逆に情報は得にくいものの，複製を積極的に保持するので，全体としては距離によらず複製配布範囲内にほぼ均一に複製が配布される。

4.3 情報源周辺のノード密度の考慮

前述の方針では，ノードは情報発生源からの距離だけで複製保持をするかどうか決めるが，それだけではノードのいる場所が情報発生源からは近いが周辺に複製を持ったノードがまったくない場合に問題が生じる．この問題を避けるための手法として，情報源周辺の密度を考慮した方針を考える。

提案方式における 2 つ目の方針は，以下の通りである。

- ノードの密度によらず地理的な複製の密度を均一にする。
- 周囲のノードの密度が大きい場合各ノードで受信した複製を保持する確率を小さくする。

SC 方式では，単純に情報源からのホップ数で複製の保持を判定しているためにノードの密度が高い場合には，それに比例して複製の数も増加してしまう．一方，上記の方針に従い，ノード密度に対して適切な確率で複製を保持するようにすれば，ある位置で取得されたデータの複製は，そのデータの発生源周辺のノードに，複製配布範囲内でほぼ均一になるように配布出来ることが予想される．このときの複製配布，保持のイメージを図 9 に示す．図 9 ではノード密度の高いところでは複製を少なめに，低いところではやや多めに配布する

ことにより、面積あたりの複製の数がほぼ同じになっている様子を示している。

密度の測定方法としては以下の方法が考えられる。

- 定期的な Hello パケットによって直接通信可能なノードの数を調べる。
- Hello パケットに、自分の位置と他ノードから受信した Hello パケットより得た他のノードの位置を加える。このような Hello パケットの交換によりネットワーク全体のノードの位置を得る。

1 つ目の方法はいたってシンプルである。ノードの位置は時間により変化するので、定期的に Hello パケットを送信することにより、ある程度最新の位置関係を知ることが出来る。2 つ目の方法では、比較的正確な地理的な密度を測定することが出来る。しかし、この方法ではノード数が多いときには無駄が多くなる。ノードがどの程度の範囲の密度を知るべきかという問題もある。考えられる測定範囲としては以下のものがあげられる。

- 複製配布範囲内全体
- 自ノード周辺のみ

密度を測定する範囲によって、最適な密度の測定方法が異なる。

4.4 ノードの移動方向の利用

3 つ目の方針は以下の通りである。

- ノードが情報発生源に近づく場合、今後そのノードの周囲には高い確率で同じ複製を持つノードが現れるはずである。したがって積極的に複製を保持しない。
- 情報発生源から遠ざかるノードは、情報源の持つ情報を得にくくなるので積極的に複製を保持する。この方針に従った場合の複製配布の様子を図 10 に示す。情報発生源から遠ざかるノードに積極的に複製を持たせることで、情報源から遠く容易に複製を入手できないノードも複製を比較適容易に入手できることが予想される。また、ノードの移動する速度についても考慮しなければならない。情報発生源に近づいてくるノードであっても速度が小さいときには、複製を配布すべきかもしれない。複製配布時には、周辺ノードの速度や進行方向等を予測する必要がある。

4.5 複製配布手法のまとめ

前述した 3 つの方針をまとめて複製配布の一方式、DDD(Distance, Density and Direction Method) 方式とする。この方式の基本方針を整理すると以下の通りとなる。なお、これ以降本稿ではノードがブロードキャストにより受信した複製を保持する確率を RP とする。

- (1) 情報発生源に近いノードほど、 RP を下げる。
- (2) ノード密度が高いほど RP を下げる。
- (3) 情報源に近づいてくる場合には RP を下げ、離れる場合には RP を上げる。

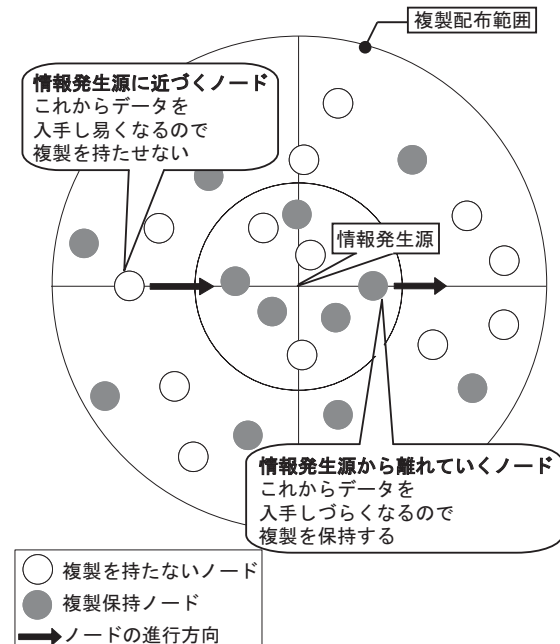


図 10 ノードの移動方向を利用した複製保持のイメージ

上記方針に従い、DDD 方式では複製を受け取ったノードは、SC 方式がホップ数に基づいて複製の保持するか否かを判断していた代わりに、次式で決まる確率に従って複製の保持を行うかどうかを決定する。

$$RP = a \frac{l}{d} + b \vec{p} \cdot \vec{v} \quad (1)$$

式 (1) において、 d は情報発生源周辺のノード密度、 l は情報発生源からノードまでの距離である。 a, b は調整用の係数である。 $\vec{p}$ は情報源の位置を原点としたときの位置ベクトル、 $\vec{v}$ はノードの速度ベクトルである。この式において第 1 項は方針 (1)(2) に、第 2 項は方針 (3) に相当する。式 (1) で、 $RP \leq 0$ となった場合には複製を保持しない。 $RP > 0$ の場合にはこの確率に従って複製を保持する。

4.6 データの要求、応答方法

アクセス要求送信方法およびその要求に対する応答方法は基本的に SC 方式に従う。ただし応答メッセージの送信には SC 方式にノードの移動予測を付加した方法を用いることができる。

要求を受け取ったノードが対象となるデータのオリジナルデータまたは複製を保持していた場合、要求元のノードへこのデータを含むメッセージを Geocast で送る。応答メッセージを送る際、要求を出したノードは要求送信時にいた場所から移動している可能性が高いので、要求メッセージには速度、進行方向等のデータを含める。応答メッセージを送るノードは要求を出したノードの移動データから移動予測を行い、要求を出したノードが移動するであろう方向へ図 11 に示して

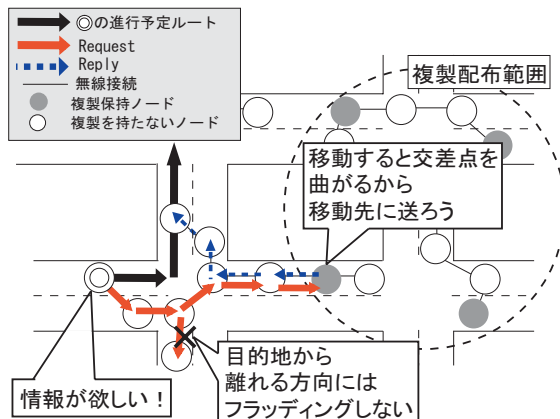


図 11 アクセス要求・応答

るように Geocast で送信する。

4.7 複製の再配置

前述の DDD 方式では、複製が複製配布範囲内においてできるだけ均一になるようなポリシーを提案している。しかし、ノードの移動により複製がある地域に偏ったり逆にある地域から全くなってしまうという可能性がある。つまり複製を持つノードがある地域に偏るとデータの可用性が低下する。この問題を解決するために、複製の再配置を行うことを検討する。

ここで述べる複製の再配置とは、データの複製の配布した後、複製の偏りを是正するためにノードが配布した複製を再び複製配布範囲内に配置することである。基本的な方針は、データの要求応答を繰り返すうちに、DDD 方式で理想とするように、複製を持つノードが地域によらず均一になるようにすることである。基本的には初期の複製配布時と同様のルールに従い複製を再配置する。

複製の再配置のタイミングとして以下の 3 つの方法が考えられる。

- (1) 応答メッセージ送信時。
- (2) 複製を保持した時刻から、定められた時刻 T が経過したとき。
- (3) 複製を保持してからの移動距離が、定められた距離 M を越えたとき。

(1) の方法は、要求メッセージを受け取ったノードが、応答メッセージ送信時に初回の複製配布時と同じ手法で複製を配布する。この方法の利点は、アクセス頻度が高いデータに対して再配置がより多く行われ、アクセス頻度の高いデータがネットワークに存在し続けることである。欠点は、アクセス頻度が高いデータが、過剰な再配置を引き起こし、結果的に冗長なトラフィックが増大することである。

(2) の方法は、要求・応答に関わらず、一定のタイミングで全ての種類のデータの再配置を行う。この方法

の利点は、ネットワーク全体の各データへのアクセス頻度やネットワークトポロジに従って、適切な複製配置が期待できることである。一方、欠点は全てのデータの複製に対して再配置が起こるので、アクセス頻度が低いデータに対しても再配置が起こり、トラフィックが増大することである。

(3) の方法は、オリジナルデータが複製を持ったノードがある一定距離移動した後、要求・応答に関わらず、複製を再配置する。この方法では、図 10 にあるように、あるデータの複製を持つノードが周辺に複製の少ない地域から離れる場合に、その複製を隣接ノードに再配置することで、ノード移動後も複製の密度を保つことが出来る。欠点として多くのノードが移動している場合、移動時に複雑な処理を伴うこと、トラフィックが極めて大きくなることである。

5. おわりに

車々間通信を指向したアドホックネットワークにおける位置依存情報の複製配布の方式として DDD 方式を提案した。この方式は複製配布時に位置を用いて複製を配布する範囲を限定し、複製をオリジナルデータを取得したノードからの距離、ノード周辺の密度、移動方向を利用して、複製配布範囲内の複製密度を均一に保つようにノードへ複製を配布する方式である。これによりデータの可用性を高めることが出来る。しかし、ノードの移動により複製が偏る可能性がある。その解決方法として、3 種類の複製の再配置手法を示し検討を行った。

今後、今回提案した複製配布方式で必要とされるノード密度の決定方法、データの可用性が損なわれずトラフィックが抑制されるような複製密度、移動予測のアルゴリズムといったことを検討し、複製配布方式のシミュレーションによる評価、複製の再配置方式の評価を行う予定である。

参考文献

- 1) <http://www.jsk.or.jp>
- 2) <http://www.fleetnet.de>
- 3) 原隆浩: “アドホックネットワークにおけるデータ利用性向上のための複製配置,” 電子情報通信学会論文誌, Vol.J84-B, No.3, pp.632-642 (2001).
- 4) 田森正紘, 石原進, 水野忠則: “アドホックネットワークにおける端末の位置を考慮した複製配布方式の評価,” 情報処理学会研究報告, 2001-MBL-18, Vol.2001, No.83, pp.135-142 (2001).
- 5) 水井潔, 長谷川孝明, 永井知孝, 加藤晋, 津川定之, 羽瀨裕真, 村田英一, 高橋常夫, 徳田清仁, 堀松哲夫, 関馨, 藤井治樹, 中川正雄: “車々間通信コンセプトモデルに関する一検討,” 情報処理学会研究報告, 2003-ITS-12, Vol.2003, No.25, pp.19-24 (2003).
- 6) H. Hartenstein, B. Bochow, A. Ebner, M. Loft, M.

Radimirsch and D. Vollemer: "Position-Aware Ad Hoc Wireless Networks for Inter-Vehicle Communications: the Fleetnet Project," in proc. of Mobihoc2001, pp.259–262 (2001).

- 7) Young-Bae Ko, Nitin H, Vaidya: "Flooding-Based Geocasting Protocols for Mobile Ad Hoc Networks," in proc. of Mobile Networks and Applications, Vol.7 pp.471–480 (2002).