

[奨励講演] ユビキタス・ローカルネットワークと連携した モバイルネットワークのルーティング方式に関する研究

鈴木俊博^{†1} 木村成伴^{†2} 海老原義彦^{†2}

ユビキタスネットワーク社会では、個々の端末は独立に散在しているのではなく、特定の範囲で構成されるローカルネットワークを形成し、そのネットワーク間が互いに連携することで、より魅力的なサービスが提供されることが期待される。さらには、グローバル通信をサポートするためには、モバイルネットワークとの連携が非常に重要になる。以上を踏まえ、本稿ではユビキタス・ローカルネットワークと連携したモバイルネットワークルーティングにおける技術課題に着目し検討を行う。なお、本稿は、情報処理学会誌 50 巻第 6 号の特集「研究会推薦博士論文速報」にてご紹介いただいた内容である。

[Encouragement Talk] Research on Routing in Mobile Networks Collaborating with Ubiquitous Local Networks

TOSHIHIRO SUZUKI,^{†1} SHIGETOMO KIMURA ^{†2}
and YOSHIHIRO EBIHARA^{†2}

It will be assumed that lots of local networks are unevenly distributed in the near future. In such a ubiquitous society, each local network not only exists independently but also connects each other. Furthermore, local networks must have a connection to a mobile network, i.e., a cellular network, and it is very important to realize the collaboration among them safely, easily, and efficiently. Therefore, this paper studies the technical issues on collaboration between ubiquitous local networks and a mobile network.

^{†1} (株)NTT ドコモ 先進技術研究所
Research Laboratories, NTT DOCOMO, INC.

^{†2} 筑波大学大学院 システム情報工学研究科
University of Tsukuba Graduate School of Systems and Information Engineering

1. はじめに

近年、コンピュータの高性能化と軽量化・省電力化に伴い、いつでもどこでもあらゆるものと通信を行ない、より手軽に、かつ安全に情報の取得が出来るユビキタスネットワーク社会への期待が益々高まっている。このようなユビキタスネットワーク社会では、個々の端末は独立に散在しているのではなく、特定の範囲で構成されるローカルネットワークに収容されることが想定されている。また、各端末にそのローカルネットワーク独自のサービスが提供されるだけでなく、多数のローカルネットワークが互いに連携することで構成され、より魅力的なサービスが提供されることが期待されている。特に、端末が移動しながら通信サービスを受け続けることを可能とするグローバル通信をサポートするためには、モバイルネットワークとの連携が非常に重要になる。

以上を踏まえ、本論文ではユビキタス・ローカルネットワークと連携したモバイルネットワークルーティング技術について、以下の三つの方式を提案する。まず、ローカルネットワークとモバイルネットワークでの通信を実現するための Internet Protocol (IP) ルーティング技術に着目し、移動するローカルネットワークとモバイルネットワーク間のルーティングを効率化するモビリティ管理のためのプロトコルを提案する [1]^{*1}。次に、第 2 章で、端末が自律分散的にローカルネットワークを形成するアドホックネットワークのルーティング技術に着目する。アドホックネットワークのルーティング技術では、ユーザは自身の利益にならないパケット中継を行なう必要があるが、これを意図的に行わない利己的電源断が性能劣化要因となることが想定される。本章ではこれを解決するため二つの方式、隣接ノードの中継実績を管理し、中継実績に基づきパケットの中継処理を行なうプロトコルと、ルーティング技術と電源管理機能のクロスレイヤ技術を提案する [2-4]。第 3 章では、アドホックネットワークを形成する端末の省電力化を実現するため、電力消費が比較的問題とならない自動車を、その高速移動による通信性能劣化を低減しつつ、効率的に中継ノードとして利用する耐移動性ルーティング方式を提案する [5, 6]。

2. ユビキタス・ローカルネットワークの協調ルーティング方式に関する研究

従来、モバイルネットワークは信頼されたキャリアを介し、ラスト 1 ホップのみが無線である通信形態を採ってきたが、アドホックネットワークの登場により、エンド端末間を不特

*1 本稿では紙面の都合上、本提案方式は記載しない。

定多数の第三者が介し、これらのマルチホップの区間が無線である通信形態も用いられることとなった。しかし、第三者を介して自律的に形成されたネットワークには、通信の安定性や完了性を阻害する様々な要因が存在する。

本章では、通信の安定性や完了性に対する新たな問題として、利己的電源断問題を定義する。利己的電源断を行なう利己的ユーザ (selfish user: SU) は、自身の通信が必要な時のみ電源を投入して通常通り動作するが、それ以外は電源を切り、その間は制御パケット及びデータパケットとも全く処理しない。本動作は、自身の通信が不要な時に単に電源ボタンを押し電源を切ることにより実現され、プログラムコードやルーティング情報等の改竄を必要としないことから、一般ユーザが動作しうる。

本稿では省略するが、SUが増加すると、パケットを中継する端末数が減少してしまうため、エンド間経路が確立出来ず、ネットワーク性能へ影響を与えることを、シミュレーション実験により確認している [2]。

そこで本章では、利己的電源断問題を解決する Proactive COoperation Mechanism (PCOM) を提案する。PCOM では、協調実績を管理し、SU が生成するパケットを中継しない。

2.1 Proactive Cooperation Mechanism (PCOM)

PCOM は 5 つの機能、(1) 中継実績を管理する協調履歴管理、(2) 隣接端末での中継判断、(3) 協調履歴追加処理、(4) デッドロック状態を解消する一時的協調履歴保持要求、(5) 電源を落とす際に隣接端末が管理する協調履歴を削除する協調履歴削除要求から構成されている。

2.1.1 協調履歴管理

各ユーザ (ここでユーザとは端末のことを意する) は、隣接ユーザの中継実績を示す協調履歴 (cooperation record: CR) を管理する。CR はユーザ ID と管理タイマから構成されており、前者は中継動作を行ったユーザを示す ID、後者は CR の存続期間を示すタイマである。

2.1.2 パケット中継判断処理

パケットの第一中継ポイントである隣接ユーザによる中継判断処理の例を図 1 に示す。ユーザ S1 からのパケットを受信した隣接ユーザ A は、S1 の中継実績を示す CR が存在するため、ルーティングプロトコルにしたがいパケットを処理する。以降に同パケットを中継するユーザは、中継判断処理は行わずルーティングプロトコルの処理のみ行なう。一方、CR が存在しないユーザ S2 からのパケットを受信したユーザ A は、同パケットを中継せ

ずに廃棄する。

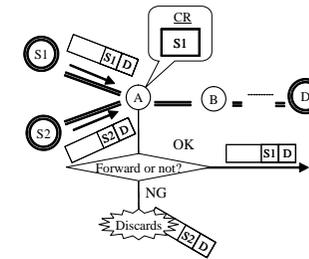


図 1 中継判断処理

Fig. 1 Procedure of determining to forward.

2.1.3 協調履歴追加処理

新たな CR を追加する処理とタイマの処理の例を図 2 に示す。CR の追加処理はパケットを送信するユーザと隣接していないユーザ (2 ホップ以遠ユーザ) に行われる。図でユーザ C は、CR を管理している A が中継したパケットを受信した場合、A の CR のタイマをリセットする。一方、CR を管理していないユーザ B からのパケットを受信した場合には、B の CR を追加する。

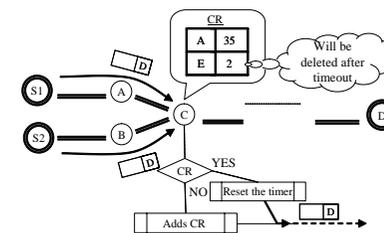


図 2 2 ホップ以遠ユーザでの処理

Fig. 2 Procedure for users two or more hops distance.

2.1.4 一時的協調履歴保持要求

ネットワーク初期設定時等では CR が全く存在しない状況 (デッドロック状態) が存在しうる。このとき、任意のユーザがパケットを送信しようとしても、隣接ユーザはそのユーザ

の CR を管理していないためパケットは中継されない．また，CR の追加処理も行われな
 いため，全ての通信が完了しない状態に陥ってしまう．この問題，デッドロック状態を解決
 するために，一時的に隣接ユーザに自身の CR を保持してもらい，一時的 CR 保持要求信
 号 (temporal CR request: TCR) を定義する．TCR は，その増加に伴うネットワーク負
 荷拡大を考慮し，デッドロック状態を認識したユーザのみが送信し，隣接ユーザを越えない
 1 ホップブロードキャストパケットとする．

TCR の動作例を図 3 に示す．ユーザ S はパケットが中継されないデッドロック状態であ
 ることを認識すると，TCR を隣接ユーザに対してブロードキャストする (図 3-(a))．TCR
 を受信した隣接ユーザ B，及び，C では，送信元 S の CR を一時的に管理する (図 3-(b))．
 この状況で，S がブロードキャストパケットを送信すると，そのパケットを中継する B，及
 び C の CR がそれらの各隣接ユーザ (図ではユーザ A，D，及び，S) に追加されることか
 ら，デッドロック状態が解消される．なお，利己的ユーザが本機能を利用して一時的にネッ
 トワークを利用することを防止するため，各ユーザは電源投入により減算する TCR 送信
 タイマを保持し，本タイマが切れるまで TCR 送信を防止する．

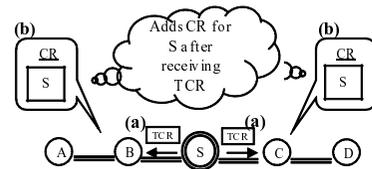


図 3 TCR の動作概要
 Fig. 3 Procedure for using TCR.

2.1.5 協調履歴削除要求

CR タイマが切れる前に少量のパケットを転送し隣接ユーザに CR を管理させた後，ス
 リープ状態に遷移する利己的ユーザの存在も想定される．そのような利己的動作を許容しな
 いため，1 ホップブロードキャスト信号である CR 削除要求信号 (deleting CR request:
 DCR) を定義する．DCR の動作例を図 4 に示す．ユーザ S が端末の電源をオフにする際，
 S は隣接ユーザに対して DCR をブロードキャストする (図 4-(a))．隣接ユーザ B 及び C
 は DCR を受信すると S の CR を管理していれば削除する (図 4-(b))．

2.2 性能評価

提案方式 PCOM の有効性を検証するため，本節ではシミュレーション実験を行なう．

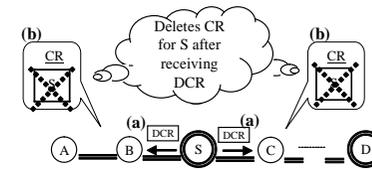


図 4 DCR 送信処理
 Fig. 4 Procedure for sending DCR.

PCOM は，ルーティングプロトコルを選ばず適用可能であるが，本評価では，PCOM
 を Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) [7] 上に実装した．SU は電源断時はパ
 ケットを全く処理せず，電源投入時は，AODV で動作する SU は AODV にしたがって動作
 に，PCOM の場合の動作は PCOM に準拠することとした．なお，本概要書では，PCOM
 を AODV へ実装した際の詳細な動作フローは省略する．

2.2.1 シミュレーションシナリオ

本シミュレーションでは，PCOM を導入することによる協力ユーザ (cooperative user:
 CU) 間通信とネットワーク負荷への影響の定量的な確認と共に，SU の利己的通信の遮断
 率を評価した．シミュレーションツールには QualNet [8] を使用し，ネットワーク内ユーザ
 のうちの SU 割合を変化させた際の，PCOM を実装した AODV (以下，PCOM) と実装
 しない AODV (以下，original AODV) について以下の項目を評価した．

- SU 間パケット到達率
- CU 間パケット到達率
- CU バッテリ消費量
- 制御パケット量

ここで，制御パケット量とは TCR を含む AODV の経路解決に必要な経路探索信号 (route
 request: RREQ)，経路探索応答信号 (route reply: RREP) の中継されたものも含む総数
 を示す．シミュレーション条件は表 1 に示す通りである．また，初期の CR 保持率を 0 から
 20 %まで設定した．たとえば，CR 保持率 0%とは，ネットワークの初期設定時等のデッ
 ドロック状態を示している．通常の動作により追加された CR のタイマは 150 秒，TCR によ
 るそれは 50 秒とし，電源投入後 TCR を送信するまでのタイマは 600 秒とした．なお，各
 条件下のシミュレーションは 100 回行ない，それらで得られた平均値を結果として用いる．

2.2.2 SU 間通信への効果

図 5-(a) に，SU 割合を変化させた時の SU 間のパケット到達率を示す．original AODV

表 1 シミュレーション条件
Table 1 Simulation conditions.

Parameter	Value
Simulation time	1000 [sec]
Area size	1500 × 1500 [sq. m]
# of users	100
User placement	Random
Mobility model	Random way point Pause time = 0 [sec] Min speed = 0.5 [m/sec] Max speed = 2.1 [m/sec]
Percentage of SUs	0 - 100 [%]
MAC protocol	802.11b Tx power = 15 [dBm] (Tx range = around 350 [m]) Data rate = 2 [Mbps]
Routing protocol	AODV
Traffic pattern	Each user communicates every 600 [sec] 40 UDP packets / comm. Packet size = 512 [bytes] Packet sending interval = 250 [msec]

の SU 間パケット到達率の平均は 81.9 % なのに対し, PCOM では 7.1 % であり, 前者より 91.4 % の SU 間通信を遮断している. また, PCOM では SU 割合にかかわらず SU 間通信を低い到達率に抑えていることを確認出来る. なお, CR 保持率は性能に影響を与えないことも確認出来る. PCOM において, SU 間通信が一部許容されている理由は, 自身の通信のために電源を投入した際にたまたま中継動作を行ったことにより隣接ユーザにて CR が管理されたために通信が可能となったと説明出来る. この動作は, SU が協調的に動作したことによるものであり, 通信の公平性という観点からは問題ないものとする.

2.2.3 CU 間通信への影響

SU 割合を変化させた時の CU 間のパケット到達率を図 5-(b) に示す. 図から, original AODV の CU 間パケット通信の平均は 87.8 %, PCOM のそれは 85.8 % であり, SU 間パケット到達率のような大きな違いはなく, CR 保持率も PCOM の性能に影響を与えていないことが分かる. また, original AODV では SU 間パケット到達率が 81.9 % と CU 間パケット到達率とほとんど同じであるのに対し, PCOM でのそれらは大きな違いがある.

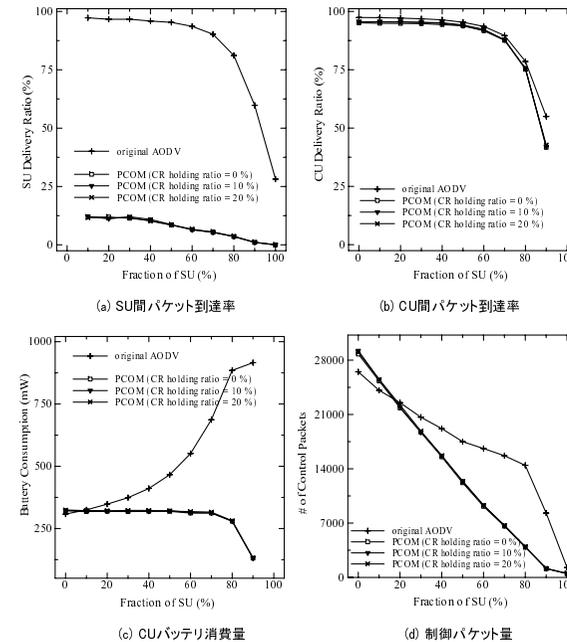


図 5 提案方式の効果

Fig. 5 Effect of proposal.

次に, 1CU あたりのバッテリー消費量を図 5-(c) に示す. 図に示す通り, original AODV におけるバッテリー消費量は, SU 割合が増加する毎に大きくなっているのに対し, PCOM では小さくなっている. これは, original AODV では, SU 割合が増加してくると CU が中継ノードとして選択される割合が増加し, かつ SU トラフィックが相当数存在するためバッテリー消費量が増加しているのに対し, PCOM では, SU 間通信の大部分を遮断出来るためネットワーク上の総トラフィック量が減少し, バッテリー消費量も減少しているためである. これらの結果は PCOM が通信の公平性という観点で優れていることを示している.

2.2.4 利用ネットワーク資源への影響

SU 割合を変化させた時の, 中継したものを含む制御パケットの総量を図 5-(d) に示す. 図に示す通り, SU 割合が 20 % 以上の部分において PCOM の方が優れていることが確認出来る. また, CR 保持率は他評価同様, 性能に影響を与えていない. SU 割合が 10 % 以下に

においては、PCOM ではほとんどの CU が初期段階においては CR を保持していないため、RREQ の再送処理等が発生してしまい、original AODV より制御パケット量が若干多くなっている。なお、SU 割合が 100 % の時はセッションがほとんど完了しないため、PCOM も original AODV も制御パケット総量に大きな違いは出ていない。平均の制御パケット量は、PCOM が original AODV より 22.5 % 削減出来ている。これは、original AODV では、SU と CU を区別することなく全てのユーザが生成した制御パケットを処理するのに対し、PCOM では、SU と CU を区別し、CU からのもののみを処理するためである。図 5-(b) に示す通り、PCOM ではほぼ同程度の CU 間パケット到達率を実現しながら、制御パケット量を抑制していることから、同方式は限られた無線資源を有効利用出来ているといえる。

2.3 議 論

original AODV と PCOM における、SU 間パケット到達率と CU 間パケット到達率を比較したものを図 6 に示す。図に示す通り、original AODV では SU 間パケット到達率と CU 間パケット到達率はほぼ同程度である (図 6-(a))。一方、PCOM では SU 間パケット到達率と CU 間パケット到達率に大きな違いがあり、CU 間パケット到達率の方がよい性能を示している (図 6-(b))。これは、PCOM では、SU が CU に移行する動機が十分あることを示しており、ネットワークにおける SU 割合を減少させ、通信の安定性を阻害するリスクの一つが排除されることが期待出来る。

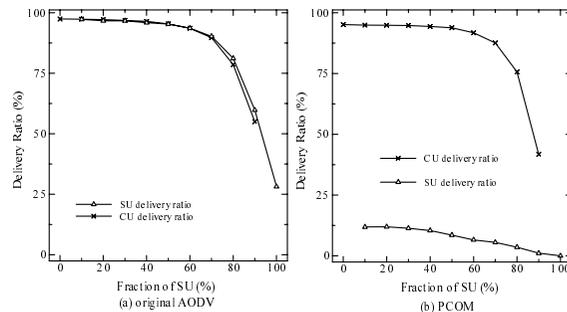


図 6 SU 間と CU 間パケット到達率の比較

Fig. 6 Comparisons of SU and CU packets delivery ratios.

以上の他に、本論文では、利己的電源断による影響の詳細分析をするためのシミュレーション実験や、本影響を解決するためのルーティングと電源管理機能の連携機能の提案とその評価を行っているが、紙幅の都合により、これらについては省略する。

3. ユビキタス・ローカルネットワークの省電力のための耐移動性ルーティング方式に関する研究

移動体通信システムにおいて、データ通信速度は第二世代の 28.8 kbps から 10 年足らずで第三世代の数 ~ 10 数 Mbps へと 1000 倍近くもの技術革新があったのに対し、電池容量を示すエネルギー密度は 10 年間で約 3 倍程度の性能向上しか出来ていない [9][10]。その一方で、モバイル端末にクレジット機能やゲーム機能といった通信以外の機能が盛り込まれる等、電力消費量は益々増加する傾向にあり、モバイル端末に対する消費電力低減の要求はさらに高まっていくものと考えられる。したがって、モバイル端末のみで自律分散で形成されるアドホックネットワークにおいても、各端末の省電力化が重要な課題となる。

アドホックネットワークにおけるモバイル端末の省電力化のアプローチの一つとして、電力消費が比較的問題とならない自動車の中継端末として積極的に利用し、モバイル端末による中継動作の負荷を軽減する方式がある。自動車への無線装置の実装は、Intelligent Transport Systems (ITS) の高度化に伴い今後急速に進められることが期待出来る。しかし、自動車は一般に移動速度が速く、リンク切断等による通信品質への影響を引き起こし易い。このため、自動車を活用したアドホックネットワークでは、安定的な経路を構築する軽量のルーティング技術の確立が求められる。そこで本章では、アドホックネットワーク内に自動車を組み込んだ際のネットワーク性能へ与える影響を明らかにし、効果的に自動車をアドホックネットワーク内に取込むためのルーティングと移動速度計測機能の連携方式を提案する。

なお、ルーティングにモバイル端末の移動速度を考慮した方式は数多く提案されている [11]–[16]。これらの方式では経路情報に加えて速度情報を各端末間で交換し、その情報から絶対速度、もしくは相対速度の小さい経路を選択するアルゴリズムを追加することで、安定した経路を選択可能としているが、制御信号に速度情報を追加することからその分だけ無線リソースが消費されることになる。これに加えて、最短ホップ数の経路を選択するという単純な処理に比べ、速度を考慮した経路選択の処理は複雑になるなどの懸念もある。また、モバイル端末が高速に移動した場合、結果として利用されない経路情報が伝搬されることから、これに伴う帯域圧迫や処理量の増加についても懸念される。本章で提案する方式では、経路探索時に速度情報等の追加を行わない点、移動速度を考慮した複雑な処理が不要である点で関連研究とは異なる。また、結果として利用されない経路の経路情報の伝搬を行わない点も特徴である。

3.1 自動車による影響の評価実験

本節では、自動車の中継端末としてネットワークに組み込んだ際の影響を調べるため、シミュレーション実験を行ない、ネットワーク内の端末数、発生セッション数、及び自動車の最高速度を変化させた時の、経路の安定性への影響とネットワークリソースへの影響について評価する。本シミュレーション実験の条件を表 2 に示す。ここで、自動車が 80 % 存在する環境とは、スクランブル交差点を想定しており、自動車が多く存在し、より多くの自動車を中継端末をして選択可能な環境である。移動モデルにはモバイル端末は歩行程度の移動、自動車は渋滞等により低速走行している時速 10 km から時速 70 km 程度までの速度を想定した移動とした。なお、シミュレータは QualNet を使用し、実験を 500 回行った結果の平均値を求めた。

表 2 シミュレーション条件
 Table 2 Simulation conditions.

Parameter	Value
Simulation time	500 [sec]
Area size	1500 × 1500 [sq. m]
# of nodes	25, 100
(# of pedestrians, vehicles)	(all, 0), (5, 20), (20, 80)
Mobility model	Random way point
	Pause time = 0 [sec]
for pedestrians	Speed = 1.1 [m/sec]
for vehicles	Min speed = 2.8 [m/sec]
	Max speed = various
	(2.8-19.6) [m/sec]
MAC protocol	802.11b
	Tx power = 15 [dBm]
	Data rate = 2 [Mbps]
Routing protocol	AODV
Data size	512 [bytes]
Data interval	250 [msec]
# of data / session	400
# of sessions	1, 5

まず、経路安定性の評価として、経路探索要求時に送付される RREQ の送信数を図 7-(a) に、パケット到達率を図 7-(b) に示す。なお、本章の各グラフとも、x 軸が最小のポイントが、全てがモバイル端末である場合の結果であり、それ以外が、モバイル端末が 20 %、自動車が 80 % の場合の結果を示す。

図 7-(a) において、全てがモバイル端末である場合に対して、自動車の最高速度が 19.6

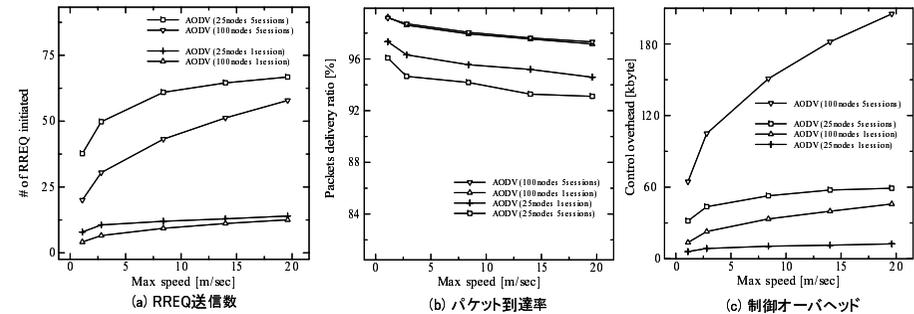


図 7 自動車を組み込んだ際の影響
 Fig. 7 Impact of cars as intermediate nodes.

[m/sec] に変化した際の RREQ 送信回数の増加率は、ノード数が 25 でセッション数が 1 の時は 77.2 %、5 の時は 77.2 %、ノード数が 100 でセッション数が 1 の時は 204.3 %、5 の時は 188.6 % であり、ノードが高密度であるほど高速移動による影響が大きくなる。一方、図 7-(b) から、全てがモバイル端末である場合に対して、自動車の最高速度が 19.6 [m/sec] に変化した際のパケット到達率の減少率は、ノード数が 25 でセッション数が 1 の時は 2.8 %、5 の時は 3.1 %、ノード数が 100 でセッション数が 1 の時は 2.1 %、5 の時は 1.9 % となっており、ノード数に関わらず自動車の最高速度が増加するとパケット到達率が減少しているものの、その影響はさほど大きくない。

本シミュレーションではリンク切断後の代替経路への迅速な切り替えが可能なルーティングプロトコル、AODV を使用しており、L2 での転送に対する確認信号を受信出来ない場合は即座に経路の再探索処理を行なう。このため、パケット到達率の減少は少なかったものの、経路探索回数は増加し、経路安定性は低下することとなった。また、ルーティングプロトコルとして Optimized Link State Routing Protocol (OLSR) [17] を利用した場合、リンク切断後の検出及び修復までに秒オーダーがかかることから、パケット到達率に対しても大きな影響が出ることが考えられる。

次に、ネットワークリソースへの影響の評価として、制御オーバーヘッドを求めた結果を図 7-(c) に示す。図に示す通り、最高速度が変化した際の制御オーバーヘッドの増加率は、ノード数が 25 でセッション数が 1 の時は 107.1 %、5 の時は 86.6 %、ノード数が 100 でセッション数が 1 の時は 237.4 %、5 の時は 217.7 % となっており、ノードが高密度であるほど高速移動による制御オーバーヘッドの増加率が大きくなっている。これは、高密度である場

合、経路切替時の代替経路探索を含む経路探索パケットが多くのノードに中継されるためである。制御オーバーヘッドの増加は、限られた無線リソースを圧迫しスループットの低下を引き起こす原因となりうる。

3.2 ルーティングと移動速度計測機能の連携

前節の結果から、ルーティングプロトコルとしてAODVを利用した場合、高速移動によるパケット到達率の低減は大きくないが、経路探索回数及び制御オーバーヘッドの増加は大きく、その影響は無視出来ないことがわかった。このため、高速移動する自動車がネットワーク内に存在する場合は、品質を保証出来るノードでのみ経路を確立することが望ましいと考えられる。また、限られた無線リソース及び計算リソースを考慮し、情報や計算ロジックの複雑化は避けるべきである。そこで本節では、移動速度に応じてルーティング機能の動作/停止を選択するルーティング方式を提案する。提案方式は、基本機能と拡張機能により構成される。

3.2.1 基本機能

基本機能の処理フローを図8に示す。基本機能では、各端末は定期的に移動速度を確認し、閾値を超過した場合はルーティング機能を停止、閾値を下回った場合は、ルーティング機能を動作させる。これにより、ある閾値以上の速度で移動中の端末は経路の選択肢から除外され、高速移動中の端末にかかる制御信号発生が防止されるとともに、低速移動中の端末のみにて経路探索が行われることになる。したがって、移動速度に応じた複雑な処理をすることなく、安定した経路を探索することが可能となる。また、端末間での速度情報の交換が不要なため、制御オーバーヘッドは発生しない。さらには、不安定が故に結果として選択されない経路情報は発生しないため、制御オーバーヘッドの軽減が実現出来る。信号量及び計算量の軽減は、直接的に電力消費量の削減に効果もある。

3.2.2 拡張機能

短時間セッションである場合、多少の高速移動が発生しても電波到達範囲外には行かずそのままリンク保持した方がよい場合が考えられる。そこで、拡張機能では、図9に示す通り、移動速度超過時、中継中の経路の有無を確認し、これが存在する場合はその中継動作が完了した後にルーティング機能を停止する。これにより、経路上の自動車が急に高速移動した際のリンク切断を防止する。

以上の基本機能と拡張機能からなるルーティングと移動速度連携方式により、シンプルで高品質な経路選択が期待出来る。

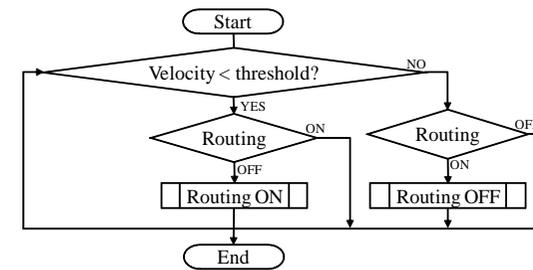


図8 基本機能の処理フロー
 Fig.8 Process flow of basic function.

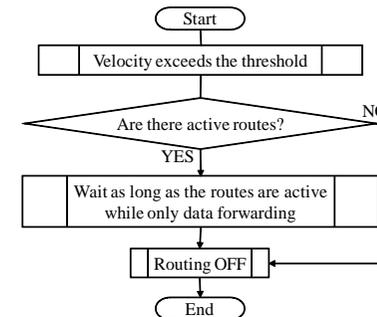


図9 拡張機能の処理フロー
 Fig.9 Process flow of enhanced function.

3.3 性能評価

前節の提案方式の有効性を確認するため、本節ではシミュレーション実験を行なう。シミュレーション条件は表2を踏襲し、基本機能のみを実装した方式 (collaboration in routing and velocity measurement function: CRV)、基本機能と拡張機能を実装した方式 (拡張CRV) と、実装しない方式 (AODV) について比較評価する。なお、提案方式において、ルーティング機能を停止する移動速度の閾値は、性能への影響を考慮し 4 [m/sec] と設定した。

図10に、自動車の最高速度を変化させた時の、パケット転送効率を示す。ここで、パケット転送効率とは1有効受信データ数あたりの制御オーバーヘッドである。提案手法では高速移動している端末しか存在しない場合、セッションが確立されないため有効受信データ量は若干減少する。しかし、発生した制御オーバーヘッドに大きな差があるため、AODVのバ

ケット転送効率全体の平均値は 54.8 バイト であるのに対して、CRV では 26.9 バイト、拡張 CRV では 26.5 バイトとなっている。この結果、提案方式は AODV よりもパケット転送効率が優れており、有限の無線リソースを効率的に使用出来る可能性を示している。

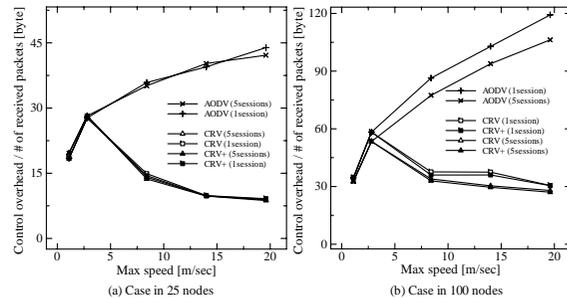


図 10 パケット転送効率
 Fig.10 Efficiency of packet transfer.

なお、提案方式を導入した際の消費電力の傾向についても評価しており、自動車の最高移動速度が、ルーティング機能が停止する閾値以上、本シミュレーションでは 8.4~19.6 [m/sec] であるケースでは、自動車のルーティング機能が停止し、モバイル端末が中継端末として選択されるため、ノード数が 100 の時のパケット中継及び転送にかかる消費電力が平均 16.1% 増加することがわかっている。但し、モバイル端末の消費電力の大部分は待ち受けのために使われていることから、提案方式による消費電力の増加量はほとんど影響はなく、自動車がより多く存在する状況での提案方式の適用は効果があると言える。

4. おわりに

本稿では、いつでもどこでもあらゆるものとの通信や情報取得がより手軽に、かつ安全に利用出来る柔軟なネットワークを実現する、偏在するユビキタス・ローカルネットワークと連携したモバイルネットワークのルーティング技術を対象に、その通信性能を改善するためのプロトコルの提案とその評価を行った。

参考文献

- 1) T. Suzuki, K. Igarashi, A. Miura, and M. Yabusaki, "Care-of Prefix Routing for Moving Networks," IEICE Transactions on Communications, Vol.E88-B, No.7, pp.2756-2764, July 2005.
- 2) T. Suzuki, A. Khan, and W. Takita, "Proactive Cooperation Mechanism against Self-

- ish Power Off for Mobile Ad Hoc Networks," IEICE Transactions on Communications, Vol.E90-B, No.10, pp.2702-2711, Oct. 2007.
- 3) T. Suzuki, M. Kobayashi, A. Khan, and M. Morita, "Proactive Cooperation Mechanism Based on Cooperation Records for Mobile Ad Hoc Networks," Proceedings of IEEE International Conference on Communications (ICC 2006), pp.3729-3734, July 2006.
- 4) T. Suzuki, A. Khan, M. Kobayashi, and M. Morita, "Collaboration in Routing and Power Management Function for Selfish Power Off in Mobile Ad Hoc Networks," Proceedings of IEEE Consumer Communications and Networking Conference (CCNC 2007), pp.520-524, Jan. 2007.
- 5) T. Suzuki, A. Khan, M. Kobayashi, and W. Takita, "Collaboration in Routing and Velocity Measurement Function for Mobile Ad Hoc Networks," Proceedings of International Conference on Future Generation Communication and Networking (FGCN 2007), Vol. 1, pp.107-112, Dec. 2007.
- 6) T. Suzuki, A. Khan, M. Kobayashi, and W. Takita, "Collaboration in Routing and Velocity Measurement Function to Reduce Battery Consumption for Mobile Ad Hoc Networks," International Journal on Hybrid Information Technology, Vol.1, No.2, pp.1-16, April 2008.
- 7) C. Perkins, E. B. Royer, and S. Das, "Ad Hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing," RFC3561, Oct. 2003.
- 8) <http://www.scalable-networks.com/>
- 9) K. Takeno, M. Ichimura, K. Takeno, and J. Yamaki, "Energy Conservation and Management Methods for Mobile Phone Li-Ion Battery Packs," IEICE Transactions on Communications, Vol.E87-B, No.12, pp.3430-3436, Dec. 2004.
- 10) J. A. Paradiso and T. Starner, "Energy Scavenging for Mobile and Wireless Electronics," IEEE Pervasive Computing, Vol.4, No.1, pp.18-27, Jan. 2005.
- 11) W. Li, H. Murata, S. Hirose, and S. Yoshida, "Mobile Ad-Hoc Network Routing Protocol Using Velocity Information," Proceedings of International Symposium on Information Theory and Its Applications (SITA 1999), pp.893-896, Dec. 1999.
- 12) W. Su and M. Gerla, "IPv6 Flow Handoff in Ad-Hoc Wireless Networks Using Mobility Prediction," Proceedings of IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM 1999), pp.271-275, Dec. 1999.
- 13) N. C. Wang and Y. L. Su, "A Power-Aware Multicast Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks with Mobility Prediction," Proceedings of IEEE Local Computer Networks, Nov. 2005.
- 14) 箱田 純一, 上原 秀幸, 横山 光雄, "リンクの寿命とノードの負荷を考慮したアドホックルーティングプロトコルの特性評価," 電子情報通信学会論文誌, 通信, Vol.J85-B, No.12, pp.2108-2118, 2002年12月.
- 15) S. Furusho, T. Kitasuka, T. Nakanishi, and A. Fukuda, "Node Mobility Aware Routing for Mobile Ad Hoc Networks," IEICE Transactions on Communications, Vol.E87-B, No.7, pp.1926-1930, July 2004.
- 16) J. Lebrun, C. N. Chuah, D. Ghosal, and M. Zhang, "Knowledge-Based Opportunistic Forwarding in Vehicular Wireless Ad Hoc Networks," Proceedings of IEEE Vehicular Technology Conference (VTC 2005-Spring), Vol.4, pp.2289-2293, May 2005.
- 17) T. Clausen and P. Jacquet, "Optimized Link State Routing Protocol (OLSR)," RFC3626, Oct. 2003.