

平成 30 年 6 月 4 日現在

機関番号：12612

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K00117

研究課題名(和文) 並列分散エミュレーション環境における通信ノード間のイベント同期改善方式

研究課題名(英文) A Study on Improving Consistency Problem of Parallel Emulation for Multi-hop Wireless Ad-hoc Network

研究代表者

大坐畠 智(OHZAHA, Satoshi)

電気通信大学・大学院情報理工学研究科・准教授

研究者番号：30361744

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では分散エミュレーション環境において、端末間で影響を及ぼすイベント実行時に因果関係の矛盾を発生させないことを目的とした。イベント実行時の各端末のイベント実行内容を統一し、端末間の因果関係の矛盾を改善する。これまでは、2ホップ以上先にある端末を考慮したマルチホップ通信の正確なエミュレーションが、イベント範囲外の端末から取得する情報の不足、及びエミュレーション結果の判定を行う端末の不一致により困難であった。本研究では、送信端末の1ホップ先にある受信端末側で生成した乱数値を元に、2ホップ圏内の端末で同一値とさせることによりマルチホップ通信のエミュレーションをより現実的なものにした。

研究成果の概要(英文)：When parallel and distribution processing is used for wireless network emulation, the results are different in case that each of the receiver nodes independently run the events without synchronizing among these events. In the previous method, the frame has a seed of the random number to be used for an event execution at the receiver terminals within one hop because a frame is broadcasted in its transmission range. In addition, the information needed for the event execution is also previously shared among the receivers in order to get the same result with being generated by the random values. However, the effectiveness of our previous work is limited within one-hop wireless communication. In this study, we extend our previous method to multi-hop wireless network environment with considering a hidden terminal and sharing parameters needed for the synchronized event execution.

研究分野：情報ネットワーク

キーワード：分散並列エミュレーション マルチホップ無線ネットワーク

1. 研究開始当初の背景

無線通信システム開発時の評価手法として実機、シミュレーション、エミュレーションがある。実際の機器を用いての評価では、意図しない外来波の影響により実験の再現性が低下することや、環境の構築・管理コストがかかることが問題となる。シミュレーションは実環境の各要素をモデル化、抽象化することで、実験の再現性、コスト面の優れた実験環境が構築可能である。その一方で、評価対象をモデル化する手間がかかる問題や、モデル化が不適切であった場合に実環境と差異が発生する問題がある。

エミュレータは、実際の使用環境での評価の前に用いられることが多く、プロトコルの上位層には実際のプログラムを用い、実装には費用や手間がかかる機能や環境をシミュレートすることで実現される。実システムから逐次的に送信されるパケットを実時間以内に処理(シミュレーション)し、送信端末から受信端末に届ける必要があるため、エミュレートするネットワークの規模に応じて、計算機資源が必要となる。そのため、複数のロセッサ・分散した計算機上で並列に実行可能なネットワークエミュレータの開発が行われてきた。

通信システムの評価を行う際には、システム間のメッセージ送信、受信などの瞬間の事象(イベント)に着目し、イベントにともなうシステムの振る舞いを再現する離散事象シミュレーション(DES: Discrete Event Simulation)が用いられる。DESを並列化するには、対象とするモデルをいくつかのシミュレーションタスクとして論理プロセス(LP: Logical Process)に分割して並列に実行する。並列離散事象シミュレーション(PDES: Parallel Discrete Event Simulation)では、複数のLPを並列実行することにより処理速度を改善する。

並列分散エミュレーションは複数のコンピュータを有線ネットワークで接続したクラスタ環境で構築される。コンピュータ間がスイッチで接続される1対1通信のため、既存の並列分散エミュレータは、1対多の通信のブロードキャストメディアである無線通信も1対1の通信上のリンクエミュレータとして実装され、LPの並列化を実現している。リンクエミュレータでは、ブロードキャストメディアでもそれぞれのリンクエミュレータが無線通信のパケットロス、パケットの衝突や再送をそれぞれの受信側で確率的に決定し、送信側で無線利用率から送信速度を調節することでMAC(Media Access Control)プロトコルであるCSMA/CA(Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance)を簡略化している。これにより、衝突の原因となるフレーム・端末の同期、フレーム再送回数の同期を省略し、LPの並列実行による高速化を可能にしている。

しかし、LP間で互いに影響を及ぼすイベ

ントの実行を誤った順番で処理したり、LP間で情報の共有がうまくいかったりすると因果関係に矛盾が生じ、得られる結果が不正確になる。特に無線環境のエミュレーションを行う際には、高効率な並列処理を実現するために、MAC層のプロトコルであるCSMA/CAの簡易モデルが用いられており、計算速度を速くするトレードオフとして結果が不正確なものになる。

2. 研究の目的

本提案手法は、通信の受信側で乱数を用いて確率的に動作を決定するために生じる同期の問題を改善するため、乱数を用いて確率的に動作を決定する場合でも、送信端末側で動作を決定させた後にその情報を送信フレームに付加させ、かつ、付加した情報を用いた動作決定の際に必要な情報を事前に共有させておくことで、LP間の矛盾の問題を改善する。さらにフレーム受信後に余分な同期作業が必要ないため、並列分散処理の効率も低下させることもない。

本研究では、これまでの1ホップ隣接端末間のLP間の矛盾の問題解決を複数ホップに拡張し、さらに、無線LANの基地局が複数存在してセル間での干渉が存在する場合についても並列分散エミュレーション方式を明らかにする。

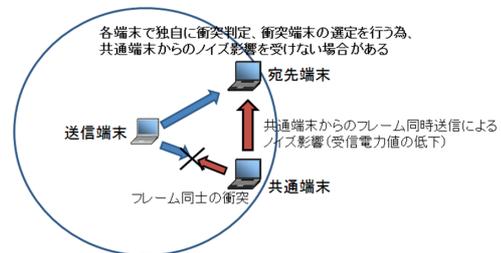


図1 1ホップ隣接端末間での衝突イベント

3. 研究の方法

本研究においてEMANE上で開発中の1ホップ無線通信範囲内の端末の事前同期方式を複数ホップの影響を考慮するように拡張する。CSMA/CAの簡易モデルでの衝突の判定、再総回数は、フレームを受信するそれぞれの端末で乱数を用いて行われる。そのため、既存のEMANE等では、それぞれの端末で動作結果が異なるという問題があった。そこで、提案している方式では、1ホップ隣接する端末で判定に必要な情報をフレームに乗せ、かつ、判定に必要なチャンネル利用率を前もって共有することで、それぞれの端末で独立に判定をしても、同一の結果が得られる。これまでの方式は、1ホップ環境のみのため、複数ホップに拡張するために必要なことを明ら

かにし、方式の提案、実装、評価を行う

4. 研究成果

4. 1 方式概要

並列・分散エミュレーション環境では、端末間で同期を取らず、それぞれの受信端末側で独立してイベント実行を行う為に、各端末間でのエミュレーション結果が異なる問題が生じる。EMANE では、送信端末の 1 ホップ圏内にある受信端末以外の端末でデータフレームを同時送信した場合に生じ、圏内の端末から衝突原因となった送信端末の選定が一意に定まらず、生成される Probability Map が異なり、端末間でノイズ強度が異なってしまう。この Probability Map は、1 ホップで接する各端末間で、どの端末が衝突を起こしたかの判定に用いられる。この問題を解決する為に、データフレームを送信する端末側で 1 ホップ圏内の代表端末 ID、及び代表端末と同様の Probability Map を生成する為の乱数のシード値の情報をデータフレームに付与する。これにより、1 ホップ圏内すべての受信端末に対する動作決定を共有し、受信端末に対してのフレームの同時受信・再送のイベントの同期を取る因果関係に矛盾が生じない手法の実装・評価がされている [引用文献①]。

本研究では、送信端末の 2 ホップ目に存在する端末を代表端末として適切に選択することで、隠れ端末があった場合にも対応できるようにし、マルチホップ環境でも妥当なエミュレーション結果が得られるようにする。

4. 1 値の共有範囲の拡大

複数ホップに対応させる為には、送受信端末、共通端末の受信電力値、無線利用率、送信データフレームの信号強度、衝突がある場合にはそのデータフレームの信号強度を取得する必要がある。EMANE の default では、1 ホップ圏内のそれらのパラメータを定期的に取得しているが、2 ホップより先の端末に関しては端末 ID 番号等の限られた情報しか取得していない。その為、隠れ端末によるフレーム衝突を考慮する為に、パラメータの取得範囲の拡大を行う必要がある。また、それに付随して、衝突を起こす端末の選定、衝突端末の ID 番号、その端末の周囲の端末位置、それら全ての端末の受信電力値、無線利用率を定期的に取得し、共有する必要がある。これまでの方式では、値の共有に各端末スレッド間の共有メモリ (mmap) を利用している。その為、1 台の NEM で集約してマルチスレッド環境でエミュレーションを行っている。本研究でも同様に共有メモリを利用して値の共有を図る。

これまでの方式が 1 ホップ圏内のみを対象としており、マルチホップ対応にするには 2 ホップでの衝突イベント処理に手を加える必要がある。新田方式の衝突判定一致処理には、衝突イベント用の無線利用率、及び乱数

のシードが必要とされる。また、これらの情報を収集し、判定処理の計算を行う代表端末の選定が必要となる。1 ホップ圏内であれば、この代表端末選定には、全ての 1 ホップ隣接端末の情報を知っている状況で行われている。しかし、2 ホップ以上でこれまでの方式を適用するには、2 ホップに隣接する隠れ端末の情報が必要となる。隣接端末の情報不足や、選定端末の不一致により、衝突判定に利用される Probability Map が変化し、因果関係の矛盾が生じる可能性がある。

この解決の為、定時毎に無線利用率を集計する処理時に、その時分と 1 つ前の集計時に 2 ホップ圏内に存在する無線利用端末全ての端末 ID、及び無線利用率集計を行う処理を加える。これらの情報から衝突端末の選定を代表端末で行うが、この代表端末に関してはこれまでの方式と同様の処理を担わせるが、計算を行わせる端末に変更を加え、送信端末から 2 ホップ先にある隠れ端末を 1 ホップ圏内に含む受信端末側を代表端末として、送信フレームに付与された情報から衝突計算を行う処理を加える。受信端末と隠れ端末自身が同一ホップ内にある場合には、受信端末圏内と隠れ端末圏内の集計情報が同一になる。

4. 2 2 ホップでの隠れ端末の選定処理

本研究で用いる EMANE Ver. 0.7.4 では、2 ホップ圏内に存在する隠れ端末によるデータフレーム衝突のシミュレーションが実装されており、channelactivityestimationtimer という設定パラメータにより、衝突原因端末の無線利用率に応じて SINR 分だけ受信電力値を下げる、或いはデータフレーム破棄という動作を決定する。

しかし、既存手法による衝突原因端末の一意な選定は適用されず、端末間の因果関係の矛盾が解決されない。その為、自送信端末の 2 ホップ圏内全ての端末の無線利用率の取得を周期的に行い、直近で通信を行っていた他端末からの隠れ端末を一意に選定する選定処理 (既存手法のマルチホップへの拡張) が必要となる。代表端末としては、送信端末がフレーム送信を行っている期間に送信を行ったノードの内、それぞれのホップ内のノードの通信範囲内で無線利用率の最も高かったものを 1 台選定する。代表端末の選定前にはパラメータの同期が行われない為、同一ホップ内から複数のノードが選定されることも考えられるが、この代表端末を中心とし、通信可能範囲のノード全てに送信を行う。

図 2 中が隠れ端末を考慮した簡単な 2 ホップノード通信の図である。この図では、送信端末 Tx1 の 1 ホップ圏内から選定される代表端末は中継端末 Re1 になる。受信端末 Rx2 の 1 ホップ圏内から選定される代表端末は Re1、或いは隠れ端末 Tx2 からランダムに選定される。しかし、送信端末 Rx1 から 2 ホップに隣接する隠れ端末 Tx2 は代表端末として選定さ

れ、同時に受信端末からの代表端末選定にも同端末が選定される。その為、この図中の4ノードからはRx1とTx1の2端末で1回ずつ衝突判定処理が行われ、Probability Mapの一致を図る。

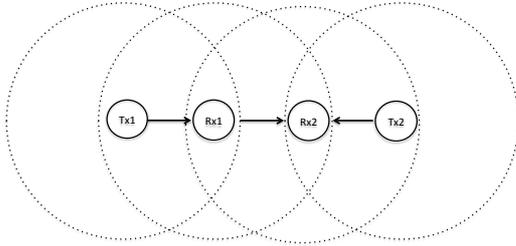


図 2. 隠れ端末を考慮した2ホップノード通信

4. 3 マルチホップに対応したイベント処理

既存方式のイベント処理を基にフレーム受信後の衝突イベントを統一し、マルチホップに対応させたイベントフローチャートを図3にまとめる。青で塗られたイベントが既存方式であり、黄色で塗られたイベントが提案方式で追加されたものである。

受信フレームと受信端末 Rx の送信フレームが衝突する確率 $P1$ 、受信フレームと受信端末 Rx から見た1ホップ内の他共通端末とのフレームが衝突する確率 P 、及び、衝突判定の一致を図る為に乱数値 $x3$ を送信フレームに付与した。

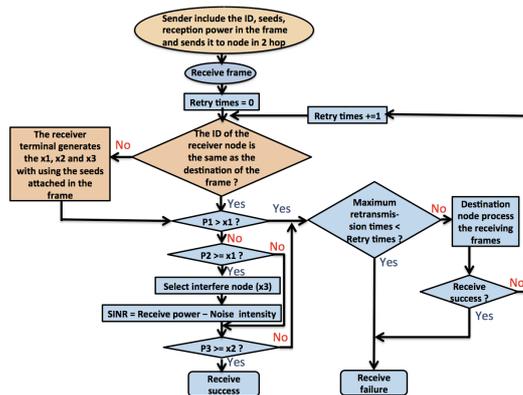


図 3 マルチホップの場合のイベント処理

4. 4 評価実験

本研究のエミュレーションでは、無線通信規格に IEEE802.11a を用いる。エミュレーション構成は図4に示す。エミュレーション処理の中核を担う NEM を1台のサーバ:Dell T7500 に全ノード分集中配置し、エミュレーションノードと Transport コンポーネントを NEM サーバとは異なる物理マシン4台:Dell T7400 1台、Dell T410 3台に分散して配置

する。

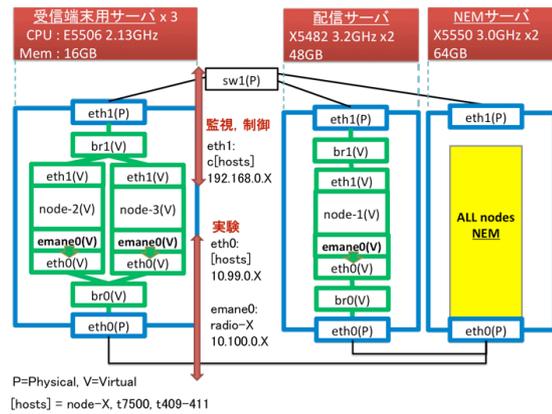


図 4 実験環境のマシン構成

Table 1. Physical machine settings.

NEM server	Dell Precision T7500 (X5530 3.00GHz x2, Mem: 48GB)
Server for terminals	Dell Precision T7400 (X5472 3.20GHz x2, Mem: 64GB)
Log server	Dell PowerEdge 11G T410 (E5506 2.13GHz, Mem: 16GB)
OS	Ubuntu Desktop 11.10 (64bit)

Table 2. Experimental environment.

Wireless LAN standard	IEEE802.11a
Wireless LAN channel	5220 MHz (44ch)
Wireless LAN operating mode	Ad-Hoc
Wireless LAN transmission rate	Automatic (SampleRate), fixed (54Mbps)
Between the terminal distance	130 m
Propagation loss model	Free space propagation loss
Fading model	Rayleigh fading
Transmission power	20dBm

Table 3. Transmission terminal and hidden terminal throughputs (Mbps).

Conditions		Default	Nitta [9]	Multi
1Mbps	1->2->3	1.024	1.024	1.024
	4->3	1.024	1.024	1.024
5Mbps	1->2->3	4.768	4.768	4.768
	4->3	4.768	4.768	4.768
10Mbps	1->2->3	9.536	8.583	7.933
	4->3	9.536	9.192	9.157
20Mbps	1->2->3	10.80	8.412	7.973
	4->3	10.87	9.039	9.26 0

図 1 のネットワークトポロジを用い、Default、Nitta、Multi の 3 方式に対し、送信端末、および、隠れ端末の送信帯域幅をそれぞれ 1 Mbps, 5 Mbps, 10 Mbps, 20 Mbps に変化させて通信を行った際の結果が表 3 である。送信端末が 1 Mbps、隠れ端末が 1 Mbps で通信を行った際、どの方式に於いても違いは見られず、スループットは方式、ホップ数によらず 2 ホップ側が 1.024 Mbps、隠れ端末側が 4.768 Mbps であった。

次に、送信端末が 5 Mbps、隠れ端末が 5 Mbps で通信を行った際でも、どの方式に於いても違いは見られず、スループットは方式、ホップ数によらず 2 ホップ側が 4.768 Mbps、隠れ端末側が 4.768 Mbps であった。multi の 2 ホップ側、及び Nitta の隠れ端末側では通信にロスが生じているがスループットに差異は生じていなかった。

送信レートが 10 Mbps 以上条件になると、ネットワークの容量を超えるトラヒックの入力があるため、それぞれの方式で千葉委が出てきており、2 ホップフローの Multi のスループットが低くなり、隠れ端末の効果がより再現されていることがわかる。これは、受信端末が送信端末から 2 ホップ目に代表端末を選択することで、隠れ端末の送信状況をより適切に把握することができるようになったためである。

4. 5 まとめ

本研究で用いた EMANE に於いては、default、及び先行研究で 2 ホップ以上先にある端末を考慮したマルチホップ通信の正確なエミュレーションがイベント範囲外の端末から取得する情報の不足、及びエミュレーション結果の判定を行う端末の不一致により困難であった。

そこで、先行研究の実装・評価を基に、本研究ではマルチホップ通信におけるエミュレーション結果を、送信端末の 2 ホップ先にある受信端末側で生成した乱数値を利用する

方式を提案した。また、送信端末の 2 ホップ圏内の端末で衝突に用いる乱数値を同一の値とし、受信端末の範囲内に存在する端末台数と無線利用率と電力値を取得する処理を加えた。そして、それをもとに、隠れ端末の選定処理、隠れ端末が送信したフレームとの衝突判定処理の管理を受信端末側で行い、隠れ端末を考慮した場合のマルチホップ通信のエミュレーションを可能とした。

本研究で提案した方式では、隠れ端末が存在した場合の通信に於いても、必ずしもそれを検知するものではない。これを解決するに当たり、送信端末の 2 ホップ以上先に配置されたノードの内、隠れ端末であると判断されたノードでは、移動がない場合、それ以降の通信でも送信フレームに隠れ端末の可能性があると情報を与え、受信端末側の衝突イベント判定で利用する仕組みが必要である。

<引用文献>

①新田幸司, 大坐島 智, 加藤聰彦, 並列処理を用いたネットワークエミュレーションにおける無線 1 ホップ隣接端末間の因果関係改善方式, 電子情報通信学会 和文論文誌 B, Vol. J98-B, No. 2, pp. 141-152, 2015.

5. 主な発表論文等

[学会発表] (計 2 件)

① 山崎佑典, 大坐島 智, 加藤聰彦, 並列ネットワークエミュレーションにおける無線マルチホップ通信を考慮した因果関係改善方式の評価, 信学技報, IN2016-3, pp. 13-18, 2016. (査読なし)

② Yusuke Yamasaki, Timothy Girry Kale, Satoshi Ohzahata, Toshihiko Kato, Improving Consistency of Parallel Emulation for Multi-hop Wireless Ad-hoc Network, Proc of ASON 2016, 6 pages, 2016. (査読あり)

[その他]

ホームページ等

電通大 大坐島研 Web ページ

<http://www.net.is.uec.ac.jp/ohzahata/study.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

大坐島 智 (OHZAHATA Satoshi)

電気通信大学・大学院情報理工学研究所・准教授

研究者番号：30361744