

# 特集 トラフィック量を考慮したマルチリンク伝送の パケット振り分け方式の一検討\*

## Study of Packet Distribution for Multi-link Transmission

柚木 崎 稔 宗

Yasumune YUKIZAKI

澤田 学

Manabu SAWADA

We investigated multi-link transmission for wide-band and high reliability communication. A multi-link device is composed of two or more wireless interfaces and a packet distribution device. Moreover, the device is capable of also communicating with single-link devices. As the quality of each link changes frequently in radio communication systems, it is important to estimate the quality of wireless links and to distribute packets to the best link. Although the coexistence environment with single link devices has not yet been considered, some possible packet distribution methods have been proposed. In this paper, we have proposed a new packet distribution method which considers the traffic of each link under a coexistence environment.

**Key words:** Multi-link transmission, Packet distribution, Coexistence environment

### 1. はじめに

近年、無線LANが急激に普及している。無線LAN802.11a<sup>1)</sup>の最大伝送レートは54Mbpsであるが、大容量伝送を必要とするアプリケーションの増大とともに、さらなる大容量化が求められている。大容量伝送を実現する手段として、物理レイヤの変更をすることなく複数の無線インターフェースを同時に利用するマルチリンク伝送<sup>2)</sup>は有効なアプローチの一つとなる。

マルチリンク伝送は、複数の無線インターフェース及び各無線インターフェースにデータを振り分ける制御器から構成される。その際、効率的にデータを振り分けることが重要になる。マルチリンク無線機(以下マルチリンク機)は、IPパケット単位でデータを各リンクに振り分ける場合、単一の無線インターフェースを持つ無線機(以下シングルリンク機)との通信も可能になる。そのような場合、マルチリンク機・シングルリンク機の混在が発生する。このような状況では、シングルリンク機が存在により、各リンクに滞在する端末数に不均衡が生じる。これにより、マルチリンク機のみ環境に比べ、各リンクのトラフィック量に差が生じやすく、トラフィック量の多いリンクへさらに送信するパケットを振り分けることは、送信待ち時間・衝突が増加し、システム全体のスループットの低下が生じる。このため、各リンクでトラフィック量の差が大きい環境下において、パケット振り分ける制御器では各リンクのトラフィックを検知する方法及びその推定トラフィックをもとに振り分ける制御方法が重要である。

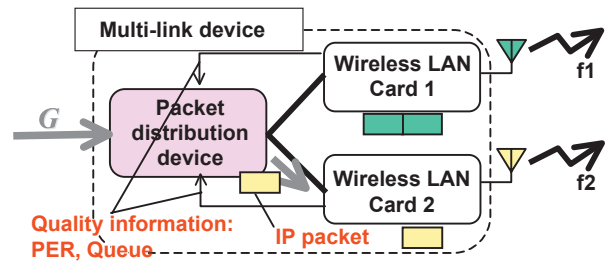


Fig. 1 Structure of the multi-link device

本稿では、マルチリンク・シングル機混在環境下に代表される各リンクのトラフィック量に差が大きい環境下での品質劣化を緩和するトラフィック検知方法に関する提案を行い、計算機シミュレーションにより、その効果を示す。

### 2. マルチリンク機の構成

本稿で想定する無線LANシステムにマルチリンク伝送を適用した場合のマルチリンク機の構成をFig. 1に示す。Fig. 1では、マルチリンク数を2としている。マルチリンク伝送機は異なる周波数で独立に送受信を行う2枚の無線LANカード及びHUBのような振り舞いを行うパケット振り分け器から構成される。パケット振り分け器はIPパケット単位で各無線LANカードから得られるPER (Packet Error Rate)や送信キュー数等の無線品質情報をもとに各無線LANカードへパケットを振り分ける。

\* 「SITA2006 第29回情報理論とその応用シンポジウム」 予稿集より転載

### 3. 従来方式

従来のマルチリンク伝送の振り分け方式に関する検討では、リンクごとにエラーフレーム数の計測を行い、少ないリンクへ振り分けを行う方法<sup>3)</sup>、送信待ち時間が最小となるよう送信バッファ量・伝送速度を求め、最小のリンクへ振り分けを行う方法<sup>4)</sup>が提案されている (Fig. 2).

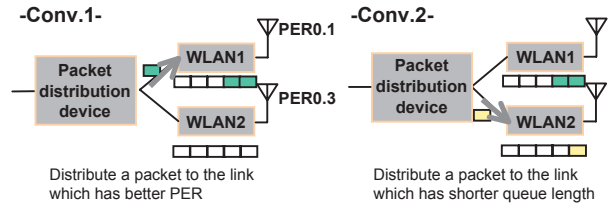


Fig. 2 Conventional method

### 4. 従来方式の問題点

各リンクのトラフィック量の検知に関して、従来方式1<sup>3)</sup>では、各リンクのトラフィックの増減をパケット衝突数が含まれたPERの監視によって検知している。トラフィックが増加すれば衝突数が増加し、PERが悪くなることでトラフィックの増加を検知する。また、従来方式2<sup>4)</sup>では、各リンクのトラフィックの増減を送信バッファ量を監視することによって検知する。

しかし、PER及び送信バッファ量は、自局の要求トラフィック量にも依存するため、自局の要求トラフィック量に対して、他局のトラフィック量が多い環境下では、正確に検知できないことが想定される。例えば、従来方式2では、送信バッファをもとに振り分けるため、自局の要求トラフィック量が少ない場合には、各リンクの送信バッファが空になり、そのような状態では各リンクトラフィック量を正確に検知することはできない。

### 5. 提案方式

提案方式では、各リンクのトラフィック量をより正確に検知するために、単位時間当たりのキャリアセンス時間をもとに各リンクのトラフィックを検出する。これにより、自及び他機のトラフィック量を算出することができる。パケット振り分け器の処理フローをFig. 3及び以下に示す。なお、振り分け制御方法に関しては、算出されたトラフィック量の少ないリンクへ振り分ける制御とした。

Step1: 各リンクの検知区間  $t_m$  中のCS “ON” 時間  $CSon_n$  を算出

$$CSon_n = \sum_{k=1}^{t_m/\Delta t} CS(t_o - t_m + k\Delta t) \quad (1)$$

$$CS(t) = \begin{cases} 1 & \text{CS "ON"} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

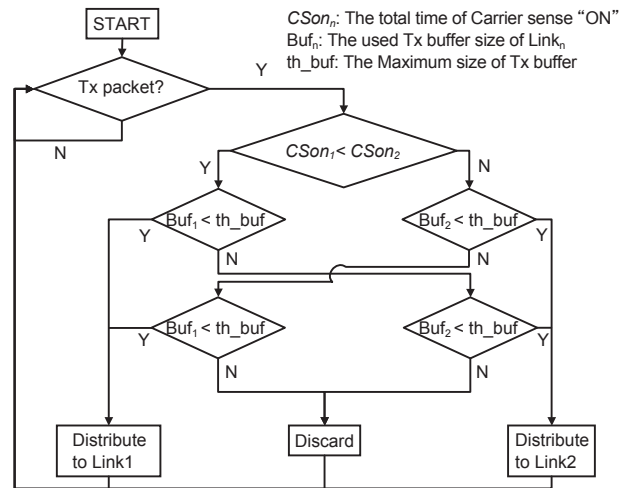


Fig. 3 Flowchart of the packet distribution device

Step2:  $\min CSon_n$  となる  $n$  を決定し、リンク  $n$  へ振り分け

ここで、 $N$  はマルチリンク機が保持するリンク数、 $t_o$  はパケット振り分け時刻、 $t_m$  は検知区間を示す。また、CS “ON” とは、自及び他機の送信をキャリアセンスにより検知したことを示す。

提案方式によると各リンクのキャリアセンス時間をもとにトラフィックを検知することにより、トラフィックの変動を直接検知できる。また、受信電力の低下等による無線環境の悪化に対しては、L2再送パケットの増加により、キャリアセンス時間が増加するため、無線環境の変動も考慮したパケット振り分けを実現することができる。

### 6. シミュレーション諸元

シングルリンク機10台、マルチリンク機10台を配置した評価モデルをFig. 4に示す。本稿では、インフラストラクチャモード、アップリンクのみの通信とし、マルチリンク数を2とし、IEEE802.11で規定されているRTS/CTSパケットの送出を行うこととした。また、

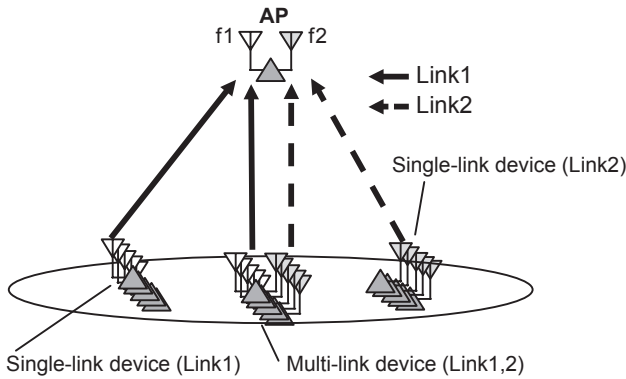


Fig. 4 Simulation scenario

Table 1 Simulation parameters

Parameters	Value
Communication method	802.11a (24Mbps)
The maximum number of packets retransmission	6
Input traffic each device	1500byte, 1.5Mbps, Poisson occurrence Unicast communication
The maximum number of TX queue size	100
Simulation time	30s
The number of single-link device	10
The number of multi-link device	10

リンク1, 2に繋がるシングルリンク機の数により, 各リンクのトラヒックの量を変化させた. その他のシミュレーション諸元をTable 1に示す.

## 7. 特性評価

### 7.1 Offered traffic/Throughput特性

各端末へのトラヒックがスループットに与える影響を把握するために, 特性評価を行った. ここでは, リンク間のトラヒック量の差が大きい場合を想定し, リンク1, 2に繋がるシングルリンク機の数それぞれ10台, 0台とした. また, 各リンクでは受信電力の低下によるパケットロスが生じるものとし, 各リンクのPERを0.1 (固定) とし, それ以外に各端末が同時に送信することによるパケット衝突が生じるものとする. なお, PER, バッファ量, キャリアセンス時間を算出するための検知区間を100msとした.

結果をFig. 5に示す. 横軸は各端末へ与えるトラヒ

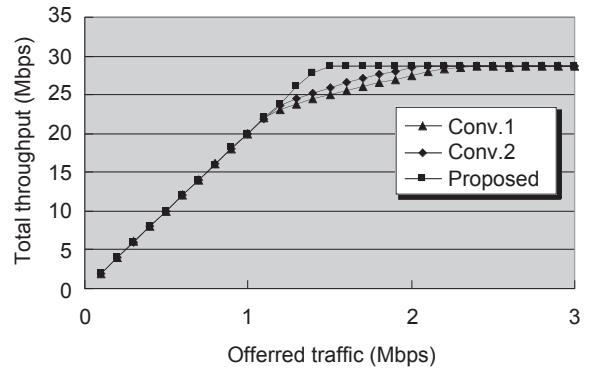


Fig. 5 Offered traffic/Total throughput

ック量, 縦軸は全機の合計スループットを示す. 結果から, Offered trafficが1.4Mbps~2.4Mbpsの範囲で方式による特性差が表れ, 提案方式は従来方式に比べて, 特性が向上していることが分かる. これは, 提案方式がリンクのトラヒックをキャリアセンス情報により検知することで, 各リンクのトラヒック量の差がある環境下においても, 効率的なパケット振り分けを行っていることを示す. また, Offered trafficが1.4Mbps以下の場合に特性差が生じないのは, 非効率的なパケット振り分けを行っても, L2再送機能により, スループットの低下が生じないためであり, 2.4Mbps以上の場合には, Offered trafficがチャネル容量に対して十分大きく, 各リンクの送信バッファが常に一杯の状態になり, 方式による特性差が生じないためと考えられる.

上記の結果より, Offered trafficが1.5Mbps付近での場合にそれぞれの方式の特性が顕著に表れると考え, 以降のシミュレーションではOffered trafficを1.5Mbpsとして検討する.

### 7.2 トラヒック量差/Throughput特性

Fig. 6に各リンクのトラヒック量の影響による特性差を示す. 横軸は[リンク1におけるシングルリンク機の数, リンク2におけるシングルリンク機の数]を示しており, [5, 5]はリンク間のトラヒック量が比較的均等な環境を表しており, [10, 0]はトラヒック量の差が大きい環境を表している. また, 各方式におけるPER, 平均送信バッファ量, キャリアセンス時間を検知する区間を100ms及び10sとした. 結果から, 従来方式はトラヒック量の差が大きくなるにつれて, 特性劣化が生じるが, 提案方式では従来方式に比べ, 特性劣化が緩和されていることが分かる.

また, 各方式ともに検知区間を10sと十分長くする

ことで特性の改善が見られ、提案方式では特性劣化がほとんど生じない。しかし、従来方式では、検出区間100msに比べ改善されているが、劣化傾向に変化はなく、それぞれの方式の限界と考えられる。

Fig. 7に受信電力低下によるPERを各リンク独立に平均0.1、分散0.1の確率変数で与え、1msごとに変動させた場合の結果を示す。結果から、PERが固定の環境と同様に従来方式はトラフィック量の差が大きくなるほど、特性は悪化する。これに対し、提案方式による特性劣化の改善が見られる。また、PERが固定の場合と比べて、従来方式、提案方式ともに特性に変化がなく、PERの時間的な変動ではなく、平均値が特性を支配することが分かる。また、本評価により、PERが時間的に変動するような環境を想定した場合にも、提案方式が有効であると言える。

次に平均値の違いによる影響を明らかにするために、Fig. 8に各リンクのPERを0.3固定及び平均0.3、分

散0.1の確率変数で与えたときの結果を示す。各方式のTotal throughputはPER=0.1に比べて低下するものの、トラフィック量の差による特性劣化は緩和されており、特に提案方式では劣化が生じていない。これは、PERが悪くなると、トラフィック量の差が特性に与える影響が小さくなるためと考えられる。

これまでは各リンクの受信品質が等しいと仮定してきたが、各リンクの受信品質に差がある環境を想定した結果をFig. 9に示す。ここでリンク1、2のPERはそれぞれ平均0.1、0.3の分散0.1の確率変数とし、リンク1ではトラフィックは多いがPERは良い、リンク2ではトラフィックは少ないがPERが悪いという環境で評価を行った。なお、検知区間は100msとした。結果から、提案方式は前述の結果と同様に各リンクの受信品質に差がある環境下においても従来方式に比べて、有効であることが分かる。

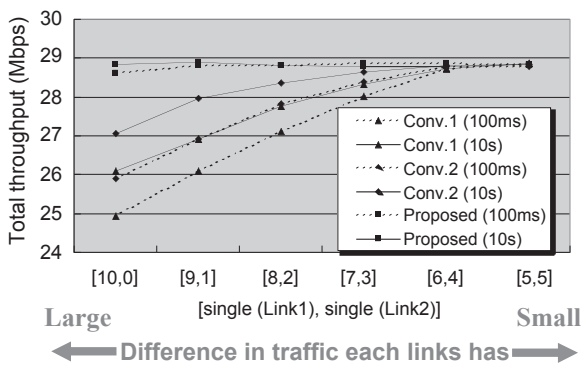


Fig. 6 Difference in traffic/Total throughput PER=0.1 (Fixed)

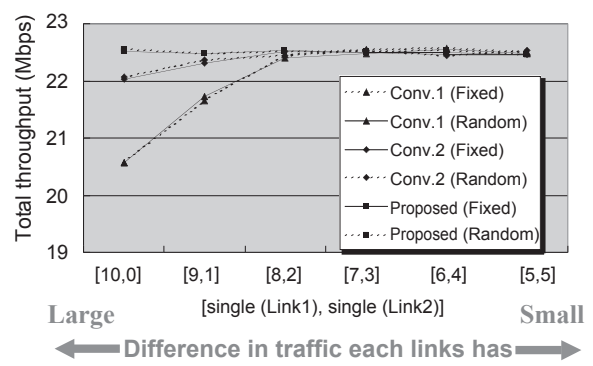


Fig. 8 Difference in traffic/Total throughput Average PER=0.3 (Random)

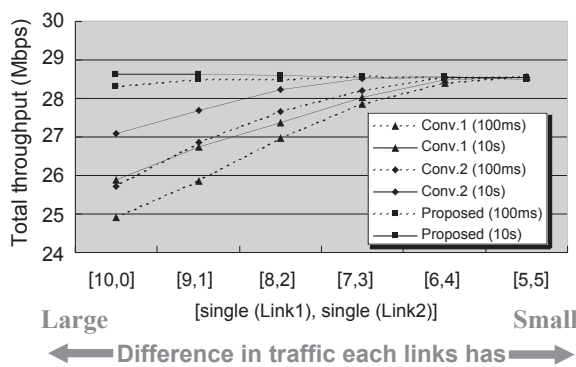


Fig. 7 Difference in traffic/Total throughput Average PER=0.1 (Random)

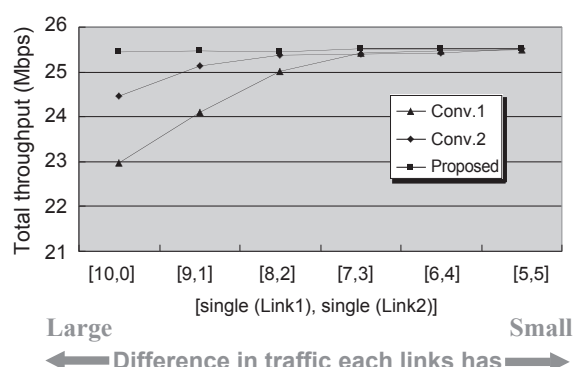


Fig. 9 Difference in traffic/Total throughput PER=0.1 (Link1), 0.3 (Link2)

## 8. おわりに

本稿では、マルチリンク・シングルリンク機混在環境下に代表されるような、各リンクのトラヒックの差が大きい環境下におけるマルチリンクのパケット振り分け方式において、特性劣化を緩和するトラヒック検知方法を提案した。計算機シミュレーションにより特性評価を行い、提案方式は従来方式に比べてトラヒック量の差がある環境下において、特性劣化を緩和させることができることを明らかにした。また、各方式ともに特性は各リンクの受信品質の平均値に依存することが分かった。さらに、各リンクで受信品質に差がある場合でも、従来方式に比べて特性劣化が緩和することを示した。

## <参考文献>

- 1) ANSI/IEEE std 802.11 “Part11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications”, IEEE 1999 Edition.
- 2) Sklower, K., Lloyd, B., McGregor, G., Carr, D. and T. Coradetti, “The PPP Multilink Protocol (MP)”, RFC 1990 (August 1996).
- 3) 坂本, 近藤, 村田, 六浦, 岡田, “マルチリンク無線LANにおけるML-ARQ方式”, 信学技報, NS2004-273 (2004), pp. 149-152.
- 4) 特開2000-216815.



## <著者>



柚木崎 穩宗  
(ゆきざき やすむね)  
基礎研究所  
無線通信システムの研究  
開発に従事



澤田 学  
(さわだ まなぶ)  
基礎研究所  
無線通信システムの研究  
開発に従事