

# Bluetooth ポイント-マルチポイント通信における帯域割り当て手法の提案

## A Proposal of Bandwidth Assignment Technique for Bluetooth Point-to-Multipoint Communications

M-76

中岡 謙  
Ken Nakaoka

加藤 正美  
Masami Kato

### 1. はじめに

無線アクセスポイントを介してインターネットに接続できるホットスポットサービスが急速に普及している。ホットスポットサービスで使用される近距離無線方式はIEEE802.11bなどの無線LANが主流であるが、小型・低消費電力といった特徴を有するBluetooth[1]によるホットスポットサービスの展開も今後期待される。

Bluetoothでは、1つのマスタと最大7つのスレーブによってピコネットを形成し、625 $\mu$ sのタイムスロットを最小単位とするTDMA/TDDによってマスタスレーブ間の通信を行う。そのため、ポイント-マルチポイント通信の場合、マスタと各スレーブはピコネット内の通信帯域を共有することになる。Bluetoothをホットスポットサービスに適用する場合も、マスタとして動作する無線アクセスポイントと各スレーブ端末間で通信帯域を共有して通信を行う。ところが、マスタスレーブ間の各リンクで必要となる通信帯域は、送受信されるメディアの種類やスレーブ端末におけるアプリケーションの動作状況などによって異なる。従って、ピコネット内で共有される通信帯域を各リンクに適切に割り当てるための仕組みが必要となる[2]。

マスタスレーブ間におけるデータ送受信のタイミングは、マスタからスレーブへのポーリングによって制御される。ポーリングに関しては、Bluetoothの規格[1]において最大ポーリング間隔と呼ばれるMAC層パラメータが定義されており、本パラメータはマスタスレーブ間の各リンクに対して独立に設定される。また、マスタスレーブ間で確立されるACL (Asynchronous Connection-Less) リンクでは、使用するタイムスロット数と適用される誤り制御技術の違いによって、6種類のACLパケット(表1参照)が定義されている。マスタスレーブ間の帯域は、主としてこの最大ポーリング間隔とACLパケットタイプの2つのMAC層パラメータによって決定される。ところが、ポイント-マルチポイント通信の場合は、各リンクのMAC層パラメータの値が他のリンクの帯域に影響を与える。従って、全てのリンクにおいて所望の帯域を実現するようなMAC層パラメータの値を決定するには困難を要する。

本稿では、Bluetoothポイント-マルチポイント通信において、ピコネット内の各リンクに所望の帯域を割り当てるための評価関数を設定し、各リンクにおける適切なMAC層パラメータ値の組み合わせを遺伝的アルゴリズム(GA: Genetic Algorithm) [3]によって探索する手法を提案する。GAは生物の進化過程を工学的にアルゴリズム化したものであり、このような組み合わせ最適化問題における準最適解を探索する有効な手段の一つである。本稿では計算機シミュレーションを行い、提案手法によって適切なMAC層パラメータの値が得られることを確認する。

### 2. GAによるMAC層パラメータの探索

マスタスレーブ間の各リンクに対して要求帯域を設定し、本要求帯域に即した帯域を各リンクに割り当てることができるMAC層パラメータの値をGAによって探索する。

表1 ACLパケットタイプと通信速度

パケットタイプ	最大通信速度: 対称型 (kbps)	最大通信速度: 非対称型 (kbps)	
		順方向	逆方向
DM1	108.8	108.8	108.8
DH1	172.8	172.8	172.8
DM3	258.1	387.2	54.4
DH3	390.4	585.6	86.4
DM5	286.7	477.8	36.3
DH5	433.9	723.2	57.6

各リンクに割り当てられる帯域はマスタ及びスレーブ端末に対して最低限保証される帯域である。また、遅延や遅延揺らぎ等の他の伝送品質に関しては、本稿では考慮しないものとする。以下、本章ではGAによるMAC層パラメータの探索手法について述べる。

### 2.1 遺伝的アルゴリズムの適用

GAでは、与えられた問題の解を表現する個体に対して、選択、交叉、突然変異の遺伝的演算を施す。この遺伝的演算は、準最適解が得られるまで繰り返される。なお、本稿における準最適解とは、所望の帯域をほぼ実現することのできるMAC層パラメータの値の組み合わせを指す。

最大ポーリング間隔とACLパケットタイプの各MAC層パラメータによって構成される個体を図1に示す。 $P_{MS1}$ はマスタからスレーブ1方向へのリンクにおけるACLパケットタイプを示し、 $P_{S1M}$ はスレーブ1からマスタ方向へのリンクにおけるACLパケットタイプを示す。また、 $L_1$ はマスタからスレーブ1への最大ポーリング間隔を示す。図1はマスタに接続されたスレーブが $n$ 個の場合の個体を示しており、 $n \leq 7$ である。

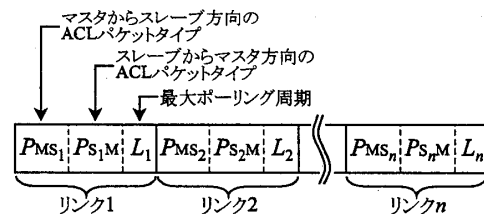


図1 個体の表現

GAによる準最適解の探索手順を図2に示す。まず、1世代目の初期個体を生成する。初期段階では解空間を広く探索するため、初期世代の個体は一様乱数によってランダムに生成される。次に、評価関数に基づいて各個体を評価し、解としての個体の善し悪しを示す適応度(評価値)をそれぞれの個体について求める。そして、個体の選択として、適応度の低い個体を淘汰し、適応度の高い個体を増殖する。その後、選択によって生き残った個体に対し、2つの個体の一部分を入れ替える交叉と、個体を構成

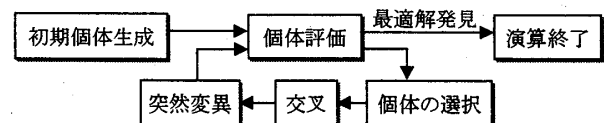


図2 GAによる準最適解の探索手順

するパラメータの値をある確率に基づいて変更する突然変異を施すことで、次世代の個体を生成する。個体の評価から突然変異までの処理を繰り返し、予め設定しておいた最終世代に到達したときに最も適応度の高い個体が準最適解となる。

2.2 評価関数

個体を構成する MAC 層パラメータの値に基づいて、各リンクに割り当てられる帯域 (以下、割当帯域と呼ぶ) が決定される。そこで、要求帯域と割当帯域から個体を評価するための評価関数を、以下の指針に基づいて設定する。

- (A) 各リンクにおける割当帯域が要求帯域に近いほど、適応度が高くなる。
- (B) 各リンクにおける要求帯域と割当帯域の割合が、全リンクにおいて均一になるほど、適応度が高くなる。

各リンクにおける要求帯域の合計がピコネット内で共有される帯域 (最大帯域) を超過してしまう場合、各リンクに割り当てる帯域の合計を最大帯域以下に抑える必要がある。この場合、各リンクにおける割当帯域は要求帯域よりも小さくなるが、(A)の設定により、割当帯域の合計は最大帯域以下で、且つ最大化される。ただし、(A)の設定のみであると、各リンクにおける要求帯域と割当帯域の割合にばらつきが生じてしまう。そこで、(B)の設定により、要求帯域と割当帯域の割合を全リンクにおいて均一にする。また、割当帯域の合計を最大帯域以下に抑える場合、(B)の設定により、各リンクへの割当帯域は公平に削減される。

以上の指針に基づいて定義された評価関数を式(1)に示す。左辺の  $F$  は各個体に与えられる適応度である。 $B_{total}$  と  $B_{fair}$  はそれぞれ、(A)及び(B)の指針に基づいて算出される値であるが、紙面の都合上、本変数の算出過程に関する詳説は割愛する。また、 $\omega_{total}$  と  $\omega_{fair}$  はそれぞれ、 $B_{total}$  と  $B_{fair}$  に対する重み付け変数である。

$$F = \omega_{total} \cdot B_{total} + \omega_{fair} \cdot B_{fair} \tag{1}$$

3. シミュレーションによる評価

3.1 シミュレーション条件

個体を構成する MAC 層パラメータのうち、ACL パケットタイプは DM1 から DH5 までの 6 種類、最大ポーリング間隔は  $10 \leq L \leq 256$  とする。今回のシミュレーションではマスタからスレーブ方向のリンクに対してのみ要求帯域を設定し、マスタに接続されるスレーブ数は 7 とする。

GA の設定条件としては、個体数を 10、個体選択において淘汰される個体数を 4、個体への突然変異確率を 20% とし、交叉は各リンクの切れ目 (図 1 参照) を交叉点とする一点交叉を採用する。また、最終世代 (探索回数) は 3000 世代とする。

3.2 シミュレーション結果

各リンクにおける要求帯域、GA による探索で得られた MAC 層パラメータの値、並びに、そのパラメータ値から求められた割当帯域を表 2、3 に示す。表 2、3 とともに、最終世代に到達したときの個体群の中で適応度が最も高い個体の MAC 層パラメータを示している。

表 2 は、要求帯域の合計がピコネット内で共有される最大帯域を越えており、式(1)における重み付け変数 ( $\omega_{total}$ ,  $\omega_{fair}$ ) が (1.0, 3.0) と (1.0, 0.0) の 2 通りの場合を示している。いずれの場合も、各リンクへの割当帯域が削減されることで、割当帯域の合計が最大帯域以内に収められている。 $(\omega_{total}, \omega_{fair}) = (1.0, 3.0)$  の場合は、2.2 の評価関数の指針(B)に基づき、要求帯域と割当帯域の割合が各リンク

表2 各リンクの帯域およびMAC層パラメータ (要求帯域の合計 > 最大帯域)

スレーブ番号 $i$	1	2	3	4	5	6	7	
要求帯域 (kbps)	50	100	150	200	250	300	350	
$\omega_{total} = 1.0$ $\omega_{fair} = 3.0$	パケット種別 $PMS_i$	DH1	DM3	DH3	DM5	DH3	DH5	DH3
	最大ポーリング間隔 $L_i$	16	212	66	242	28	134	18
	割当帯域 (kbps)	18	41	62	75	92	113	121
$\omega_{total} = 1.0$ $\omega_{fair} = 0.0$	パケット種別 $PMS_i$	DH5	DH5	DH5	DH5	DH5	DH3	DH1
	最大ポーリング間隔 $L_i$	82	34	22	14	10	206	186
	割当帯域 (kbps)	51	100	146	200	200	13	1

表3 各リンクの帯域およびMAC層パラメータ (要求帯域の合計 < 最大帯域)

スレーブ番号 $i$	1	2	3	4	5	6	7	
要求帯域 (kbps)	20	40	60	80	100	120	140	
$\omega_{total} = 1.0$ $\omega_{fair} = 3.0$	パケット種別 $PMS_i$	DM3	DM5	DH5	DH5	DH5	DH5	DH5
	最大ポーリング間隔 $L_i$	172	144	198	34	36	40	24
	割当帯域 (kbps)	23	42	64	124	121	121	181

においてほぼ均一となっている。これに対して、 $(\omega_{total}, \omega_{fair}) = (1.0, 0.0)$ 、即ち、2.2 の評価関数の指針(B)が定義されていない場合、要求帯域が小さなリンクに優先的に帯域が割り当てられており、要求帯域の大小による割当帯域の偏りが大きい。

表 3 に、要求帯域の合計がピコネット内で共有される最大帯域以下で、 $(\omega_{total}, \omega_{fair}) = (1.0, 3.0)$  の場合を示す。この場合、全てのリンクにおいて要求帯域を上回る帯域が割り当てられていることが分かる。なお、今回のシミュレーションでは、最大ポーリング間隔以上の時間が経過しているスレーブが存在しない場合、マスタは常にいずれかのスレーブとラウンドロビン方式でパケットの送受信を行っている。従って、最大帯域全てをスレーブ 1~7 に割り当てることになるため、スレーブ 4~5 及び 7 に要求帯域よりも大きめの帯域が割り当てられている。

4. おわりに

本稿では、Bluetooth ポイント・マルチポイント通信において、ピコネット内の各リンクに所望の帯域を割り当てるための評価関数を設定し、各リンクにおける適切な MAC 層パラメータの値を GA によって探索する手法を提案した。また、計算機シミュレーションを通して、各リンクにおいて適切な MAC 層パラメータの値が求められることを確認した。

今回のシミュレーションでは、マスタからスレーブ方向に対して帯域を割り当てる際の MAC 層パラメータを求めたが、双方向の場合でも本提案手法が有効であることを検証する必要がある。また、各リンクに所望の帯域が割り当てられても、マスタからスレーブへのポーリングのタイミングによっては、遅延や遅延揺らぎなどの伝送品質が問題になる状況も考えられる。そのため、こうした割当帯域以外の伝送品質を考慮した評価関数の設定も必要である。

さらに、準最適解が求められるまでの世代数 (学習回数) を短縮するため、個体数や突然変異確率といった GA に関わるパラメータの最適化や、遺伝的演算方式の改善も今後の課題である。

参考文献

- [1] "Specification of the Bluetooth System version 1.1," Feb. 2001.
- [2] 大倉他, "DM1 パケットを用いた Bluetooth ポイント・ツー・マルチポイント通信における帯域割り当ての実験的評価," 信学技報, CQ2002-16.
- [3] D.E. Goldberg, "Genetic Algorithms in search, optimization, and machine learning," Addison-Wesley, 1989.