

Shadow Cluster Concept を利用した無線ネットワークのためのファジィ接続制御に関する研究

東島 基士†, 佐藤丈紀†, 長田陽成†, バロリ レオナルド‡

現在、情報化時代の到来により無線通信ネットワークの役割は非常に重要になっている。しかし、全てのユーザがサポートをうけられるわけではない。その原因の一つとして、無線ネットワークにおける帯域は十分な量でないことが考えられる。本研究では、これらの問題を解決するために、2つのサブシステムから構成される接続制御を提案する。1つ目のサブシステムは、ファジィ理論を用いた「ユーザの行動予測システム」、2つ目が Shadow Cluster Concept を利用した「接続制御システム」である。本システムの性能を評価するため、評価実験を行った。将来の研究ではファジィの精度を上げ、様々な新しい機能を実装し全体的システムの評価を行う予定である。

A Fuzzy Admission Control Scheme Based on Shadow Cluster Concept for Wireless Networks

Motoshi Higashijima†, Takenori Sato†, Yosei Nagata†, Leonard Barolli‡

†Graduate School of Engineering, Fukuoka Institute of Technology

E-mail: (mgm05012, mgm05006, mgm05009)@ws.ipc.fit.ac.jp

‡Faculty of Information Engineering, Fukuoka Institute of Technology

E-mail: barolli@fit.ac.jp

Abstract

The mobile cellular systems are expected to support multiple services with guaranteed Quality of Service (QoS). However, the ability of wireless systems to accommodate expected growth of traffic load and broadband services is limited by available radio frequency spectrum. Call Admission Control (CAC) is one of the resource management functions, which regulates network access to ensure QoS provisioning. However, the decision for CAC is very challenging issue due to user mobility, limited radio spectrum, and multimedia traffic characteristics. To deal with these problems, in this paper, we propose a fuzzy CAC scheme which is based on shadow cluster concept. The shadow cluster concept can be useful in wireless networks where the services should be provided with diverse QoS requirements. We evaluate by simulation the proposed method and show its effectiveness.

1 はじめに

無線技術の発達にともない無線通信ネットワークの役割は非常に重要になっている。その理由として携帯電話の普及や、無線通信技術の発達による音声や文字情報だけでなく動画画像データといった大容量データを送受信できるようになったことも上げられる。そのため、ユーザが隣接したセルへ移動した際に通話もしくは通信が途切れないようにしなければ

ならない。しかし、無線ネットワークにおける帯域は十分な量でないことから、最も効率的な方法で使用されるべきである。

このことから、基地局が保有しなければならない帯域の量の正確な決定は将来の無線ネットワークにおける非常に重要な問題になる。この問題を解決しなければ多くのユーザがサポートを受けらなくなる可能性がある。また、無線通信分野の発展にも大きな支障が起こるだろうと予測される。そこで、ユーザの行動を予測することができれば帯域の量を正確に

判断することが可能であると考えられる。しかし、人間の行動はあいまいであり、移動するユーザのサポートは従来のシステムでは非常に困難である。そこで、「ファジ理論」は人間のあいまいさを表現するのに適した理論である。また、コンセプトの1つである「Shadow Cluster Concept」もユーザの個々の行動（位置、速度、方向など）を考慮することができ、さらに帯域幅利用に関するリアルタイムの情報を利用するのに有効なコンセプトである。本研究ではこの2つのコンセプトを用いた無線ネットワークの接続制御の向上を目指す。

この論文では、2章では「ファジ理論」について説明する。また、この章の中でファジ、ファジ集合、ファジ推論、ファジ測定について説明し、ファジ推論における推論の仕方について例を上げて説明する。3章では「Shadow Cluster Concept」の説明をする。4章では本研究について説明する。5章ではシミュレーションを行う。6章では今回のシミュレーションにおけるいくつかの課題と今後の展開について述べる。

2 ファジ理論

ファジ理論は、ファジ集合、ファジ推論、ファジ測定の3本柱からなっている。その中でもっとも中心的役割を果たすのがファジ集合である。ここではファジ集合、ファジ推論、ファジ測定の3つについて述べる[1]。

2.1 ファジ集合

ファジ集合は、通常の集合を拡張したものである。通常の集合は、境界がはっきりしているのに対し、ファジ集合は、境界があいまいになっている集合と考えれば良い。より正確には図1のようになる。ファジ理論では通常の集合のことをクリスパ集合というが、クリスパ集合では、各要素がその集合に属しているかいないかが明確に定まる。ある要素がある集合に明白に属している場合を1、明白に属していない場合を0という数値に対応させたとき、クリスパ集合は各要素に対して、その集合に属する度合が0であるか1であるか明確に定まる集合と考えてよい。ファジ集合は、各要素がその集合に属する度合として、0と1の間の中間的な値をゆるしたものである。たとえば、属する度合と属しない度合が半々であるというような状態を許すのがファジ

イ集合と言える。この0と1の間の値をグレードと言い、各要素に対してグレードを対応させる関数をメンバシップ関数という。

一般に、言葉の意味などをどのように同定してメンバシップ関数で表すかは簡単ではないが、メンバシップ関数で表すことができれば、主観的なあいまいさであっても、定量的に扱うことが可能になる。

2.2 ファジ推論

ここではファジ推論について述べる。特徴としては推論機構にファジの考え方を含めたことで、前提条件と答えとの関係に幅を持たせることができる。しかし、ファジ推論はあいまいさを扱う推論なので、常にはっきりとした（クリスパな）内容の推論しか行わないのであれば、意味を成さない。以下では、ファジ推論の概要を説明する。ここではファジ推論について述べる。基本的には、ある知識「もしAならばBである」をもとにして、ある情報Aが与えられたときに結論Bを下すのがファジ推論の形式である。

ここで、A、B、A'、B'はいずれもあいまいさを含むものであり、ファジ集合で表現される。従って、自然言語で表された知識を推論のための知識として取り入れることが容易となる。このことから、ファジ推論は、ベテランあるいはエキスパートの知識を取り入れやすい方法であることがわかる。また、A'という情報が、Aと必ずしも一致しなくても結論を下すことができる推論方法になっている。このような近似推論を行えるのもファジ推論の特徴である。これまでのところ、ファジ推論を応用したファジ制御では大きな成功をおさめている。ファジ制御への応用を第一世代とすれば、知識処理への応用は第二世代と言われている。第一世代における応用としては、先に述べた家電、列車運転制御のほか、建設などに応用されている。第二世代における応用としては、病気の診断、画像認識、証券投資エキスパートシステムなどがある[2],[3]。

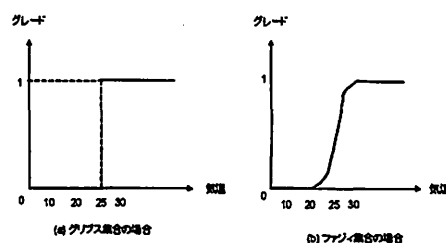


図1 クリスパ集合とファジ集合の例

2. 3 ファジィ測度

ファジィ測度は、確率という尺度をもう少しゆるくした尺度と言ってよいものである。ファジィ測度の特別な場合として、可能性測度や必然性測度がある。これらの尺度は、たとえば制約条件にあいまいさを取り入れた線形計画法であるファジィ線形計画法などにおいて用いられている。また、ファジィ測度によってファジィ積分が定義される。ファジィ積分は評価に用いることができる。たとえば、たくさんの属性のなかからある事柄を評価するために必要な属性を見つけ出すという問題、あるいは、いくつかの代替案を評価するという意思決定の問題などに応用されている[3]。

3 Shadow Cluster Concept

Shadow Cluster Concept はユーザの個々の行動(位置、速度、方向)を考慮することによってさらに帯域幅利用に関するリアルタイムの情報を利用するのも有効なコンセプトである。この章では Shadow Cluster Concept について述べる。

3. 1 Shadow Cluster Concept

マイクロ無線ネットワークが広範囲の帯域を要求するアプリケーションを実行する移動体端末をサポートすることができることを考慮する。ユーザは自由にネットワークのサービスエリア内を歩き回ることができ、活動している移動体端末が密集したセルに動いても、無線ネットワークは要求されたレベルのサービスを提供しなければならない。この場合、ネットワークへの新しい接続要求を拒否しても、対応する基地局は期待されたサービスを提供しなければならない。Shadow Cluster Concept の基本的な考えは活動しているあらゆる無線接続の移動体端末が現在の位置とその進行の方向に沿ったセル(基地局)

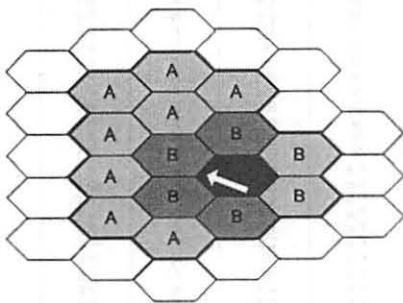


図2. シャドウ・クラスター・コンセプトモデル

で影響を与えるということである。

また、活動している移動体端末が他のセルに移動するとともに影響の範囲は新しい位置に移動体端末に続いて移動する。現在影響を及ぼしている基地局(セル)は影響の範囲が影のように活動している移動体端末の動作に続くので、図2で示されるように Shadow Cluster Concept を形成すると言う。Shadow (影響のレベル)は、活動している移動体端末の近くで最も強く、移動体端末との距離や、現在の接続保持時間や、優先度、使用される帯域幅資源、移動体端末の軌道や速度などの要素によって変化する。これらの要素により、Shadow Cluster の形は、円形でなく時間がたつにつれて、変化することができる。

概念的に、セルを覆う Shadow の数と「影の濃さ」はセルの基地局が現在、それ自身と、隣接しているセルの中で活動している移動体端末をサポートするために保有する必要がある資源の量に反映される。Shadow Cluster で情報を提供していて、基地局はそれぞれの新しい接続要求のために、無線ネットワークで要求をサポートすることができるか否かに関係なく決定することができる。Shadow Cluster で情報を提供した基地局は、今後の要求を計画してそれに従って資源を保有する。新しい接続要求へのネットワークアクセスを拒否して、活動しているユーザが接続を終わるのを「待つ」ことによって、基地局は資源を保有する[4]。

4 提案システム

本研究では、ファジィ理論を利用することによって無線通信の接続制御の向上を目指す。この章ではファジィ理論を用いたシステムモデル、メンバーシップ関数及びルールベースの説明をする。

4. 1 推論エンジン

図3はFLCの内部構造を示している。この入力から出力へは次のようになる。

- 1) 入力された数値を Fuzzifire でファジィ化する。
- 2) IE (Inference Engine) でファジィ化された入力の数値と FRB (Fuzzy Rule Base) と照らし合わせて推論を行う。
- 3) 推論されて導かれた結果を Defuzzifier で非ファジィ化して数値を出力結果として出す[5]。

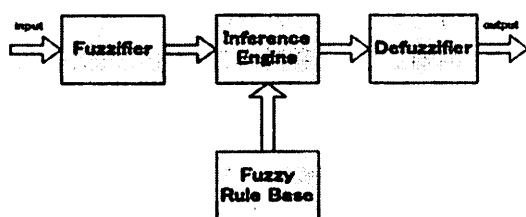


図3 Fuzzy Logic Controller 方式

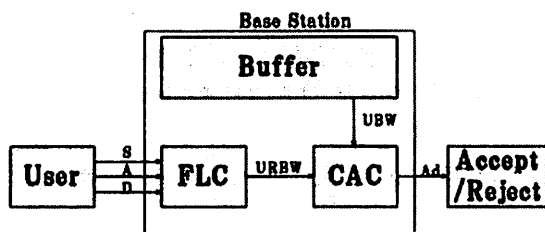


図4 システムモデル

S: Speed, A: Angle, D: Distance, URBW: User Request BandWidth, UBW: Used BandWidth, Ad: Acceptance decision

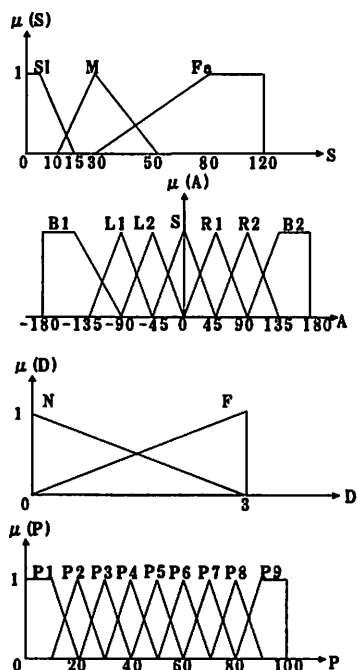


図5. ユーザー行動予測メンバシップ関数

4. 2 システムモデル

図4に無線ネットワークの接続制御のシステムモデルを示す。システムモデルはユーザから

- 1) ユーザのスピード
- 2) ユーザの向きと基地局との角差
- 3) ユーザと基地局との距離

をFLCに入力し、ユーザのセルに到達する確率を求め、予約する資源量を決定し、接続のAccept/Rejectを決定する。

FLCは、あるセルに無線通信を利用しながら移動しているユーザ（ここでは携帯電話の利用者とする）が到達する確率の決定を行う制御装置である。図5はFLCのメンバシップ関数である。パラメータはそれぞれ、

入力パラメータ

- ・ユーザの移動速度: Speed (S)
- ・ユーザの向きと基地局との角差: Angle (A)
- ・ユーザと基地局の距離: Distance (D)

出力パラメータ

- ・ユーザがセルに到達する確率: Probability(P)

となる。それぞれ、

$$T(S) = \{\text{Slow, Middle, Fast}\} = \{S1, M, F\};$$

$$T(A) = \{\text{Back1, Left1, Left2, Straight, Right1, Right2, Back2}\} = \{B1, L1, L2, S, R1, R2, B2\};$$

$$T(D) = \{\text{Near, Far}\} = \{N, F\};$$

$$T(P) = \{\text{Probability1, Probability2, \dots, Probability9}\} = \{P1, P2, \dots, P9\};$$

となる。このメンバシップ関数のルールを表1に示す。ルールは42個あり、メンバシップの入力関数の数が3個、7個、2個あるので全ての組み合わせを求めると42個となる。ここで、出力結果から予約する資源の割合を決定する。割合はユーザがセルに到達する確率が33%までを現在、ユーザが利用している資源量の10%を予約資源とし、34~66%までを50%、67~100%を100%とする[6], [7], [8], [9]。

表1: FRB 1

Rule	S	A	D	P
0	SI	B1	N	P3
1	SI	B1	N	P1
2	SI	L1	F	P5
3	SI	L1	F	P2
4	SI	L2	F	P7
5	SI	L2	F	P4
6	SI	S	F	P9
7	SI	S	F	P4
8	SI	R1	F	P4
9	SI	R1	F	P5
10	SI	R2	F	P2
11	SI	R2	F	P3
12	SI	B2	F	P1
13	SI	B2	F	P2
14	M	B1	F	P1
15	M	B1	F	P4
16	M	L1	F	P1
17	M	L1	F	P8
18	M	L2	F	P5
19	M	L2	F	P9
20	M	S	F	P7
21	M	S	F	P8
22	M	R1	F	P5
23	M	R1	F	P4
24	M	R2	F	P1
25	M	R2	F	P2
26	M	B2	F	P1
27	M	B2	F	P1
28	Fa	B1	F	P1
29	Fa	B1	F	P1
30	Fa	L1	F	P1
31	Fa	L1	F	P2
32	Fa	L2	F	P6
33	Fa	L2	F	P8
34	Fa	S	F	P9
35	Fa	S	F	P9
36	Fa	R1	F	P8
37	Fa	R1	F	P8
38	Fa	R2	F	P1
39	Fa	R2	F	P2
40	Fa	B2	F	P1
41	Fa	B2	F	P1

5 推論結果

FLCにおける推論結果を図6に示す。この図は、上から Speed(km/h)、Angle、Distance(km)とProbabilityの関係を示している。SpeedのグラフではSpeedが速くなるにつれてProbabilityが高くなっているためよい結果となった。Angleのグラフでは0に近づくにつれてProbabilityが高くなっているためよい結果となった。Distanceのグラフでは距離が離れるにつれProbabilityは低くなっているためよい結果となった。

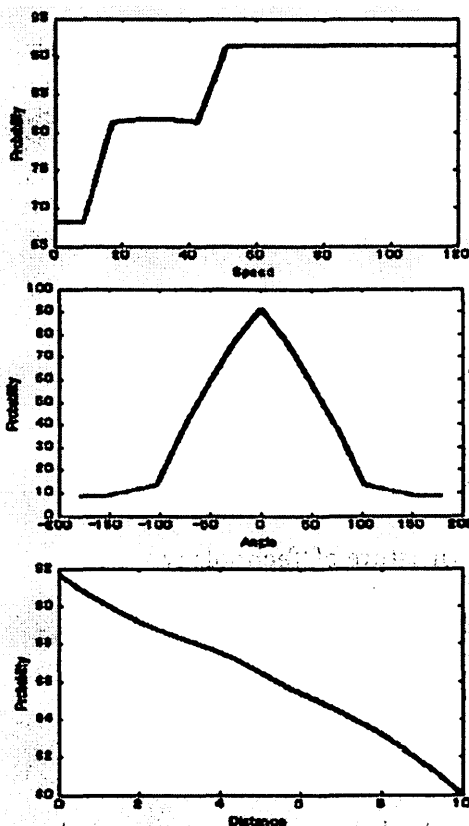


図6. 推論結果

6 まとめと今後の課題

本稿では、ファジィ理論とShadow Cluster Conceptを組み合わせて用いた無線ネットワークにおける接続制御の提案をした。

無線通信ネットワークで利用される資源(帯域幅)は有限である為、資源の有効に利用する必要があることを述べた。この問題を解決する方法として、ユーザの行動を予測できれば資源の無駄使いを減らすことができることを述べた。ファジィ理論は人間の持っている知識や経験などを表現して、システムに

取り込むことに長けていることを述べた。Shadow Cluster Conceptは資源を重要度の高い順に多く割り当てることによって、帯域の節約に有効であることを述べた。上記の二つの手法を用いて、ユーザの行動予測と帯域の分配方法を決定して無線ネットワークにおける接続制御方式を作成した。

今後、他の無線ネットワークにおける接続制御方式と比較して評価する必要がある。推論の精度を高めるためにメンバシップ関数とFRBの調整を行っていく必要がある。

7 参考文献

- [1] 萩原 将文, “ニューロ・ファジィ・遺伝的アルゴリズム” ISBN4-7828-5539-7, 産業図書, 1994
- [2] 彌富 仁, 萩原 将文, “適応ファジィ推論ニューラルネットワークとアクティブ探索法を用いた画像認識”, 電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol.J87-D-II, No.4 pp958-966, 2004.
- [3] T.Gouda, et. al, “Lessons and Perspective of Policing Mechanisms for Broadband Networks”, IPSJ SIG Technical Report, pp.67-72, 2004.
- [4] D.A. Levine, et. al, “A Resource Estimation and Call Admission Algorithm for Shadow Cluster Concept”, IEEE/ACM Transactions On Networking, Vol.5, No.1, pp.1-12, 1997.
- [5] L.Barolli, et. al, “A Fuzzy Call Admission Control Scheme for Multimedia Applications”, マルチメディア通信と分散処理ワークショップ, Vol.2004, No15, pp.37-48, 2004.
- [6] K. Daniel Wong, et. al, “A Pattern Recognition System for Handoff Algorithms”, IEEE JSAC Vol. 18, No. 7, 2000, pp. 1301-1312, 2000.
- [7] T.Onel, et. al, “A Fuzzy Inference System for the Handoff Decision Algorithms in the Virtual Cell Layout Base Tactical Communications System”, MILCOM 2002 - IEEE Military Communications Conference, Vol. 21, No. 1, 2002 pp. 435-440, 2002.
- [8] Q.Liang, “A Design Methodology for Wireless Personal area Networks with Power Efficiency”, WCNC 2003 - IEEE Wireless Communications and Networking Conference, Vol. 3, 2003 pp. 1475-1480, 2003.
- [9] H.Huang, et. al, “Improving TCP Performance During Soft Vertical Handoff” International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA'05), pp. 329-332, 2005.