

## 無線ネットワークのためのファジィ接続制御システムの提案とその性能評価

東島 基士†, バロリ レオナルド‡  
†福岡工業大学大学院工学研究科情報通信工学専攻  
E-mail: mgm05012@ws.ipc.fit.ac.jp  
‡福岡工業大学情報工学科情報通信工学科  
E-mail: barolli@fit.ac.jp

無線技術の発達にともない無線ネットワークの役割は非常に重要になっている。しかし、無線ネットワークの帯域は限られているので、ネットワークの資源は効率的に利用する必要である。また、無線ネットワーク技術の発達により音声や文字情報だけでなく動画画像の大容量データを送受信できるようになった。マルチメディア通信を実現するためには通信品質を保証する必要である。この問題を解決するために複数のパラメータを考慮することが必要であり、NP 完全問題となり、解決手法としてはヒューリスティックな手法が有効である。そこで、我々はヒューリスティックな手法としてファジィ制御を利用し、ファジィ接続制御システムの提案と性能評価を行う。シミュレーションで評価を行った結果、接続要求数が少ない場合、Shadow Cluster Concept (SCC)と比較して、提案システムの接続するコネクションが多いが、接続要求数が多い場合、SCC に比べて提案システムのほうが Accept が少なくなった。この結果から、接続要求数が増えると、提案システムは接続中のユーザの QoS を満足することができ、接続を要求するコネクションの QoS を保証しているから Accept の接続数は少なくなることが分かった。

### A Fuzzy Admission Control System for Wireless Networks and Its Performance Evaluation

Motoshi Higashijima†, Leonard Barolli‡  
†Graduate School of Engineering, Fukuoka Institute of Technology  
E-mail: mgm05012@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 system. We compare the performance of the proposed system with Shadow Cluster Concept (SCC). We evaluate by simulation the performance of the proposed system. The proposed system has a good behavior on deciding the number of accepted connections while keeping the QoS for serving connections. Also, it has better performance than SCC.

#### 1 はじめに

無線技術の発達にともない無線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、無線ネットワーク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。このようなデータの送受信では、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。一方、無線ネットワークの帯域は限られていることから、最も効率的な方法で使用されるべきである。

これらのことから、基地局が提供する帯域の量の決定は無線ネットワークにおける非常に重要な問題になる。ユーザの行動が予測できれば必要な帯域を決定することができる。しかし、人間の行動はあいまいであり、無線ネットワークのユーザの行動を予測することは従来のシステムでは非常に困難である。本研究では、ファジィ理論を用いた接続制御システムを提案し、無線ネットワークの QoS を満足した接続要求の受け入れ数の向上を目指す。「ファジィ理論」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、「Shadow Cluster Concept (SCC)」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も有効なコンセプトである。このことから、本稿では、ファジィ理論を用いた無線ネットワークにおける接続制御の提案を行い、SCC と比較し、性能評価を行う。

この論文では、2章では「ファジィ理論」について説明する。また、この章の中でファジィ集合、ファジィ推論、ファジィ測定について説明する。3章では SCC について述べる。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点と今後の研究について述べる。

## 2 ファジィ理論

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

### 2.1 ファジィ集合

ファジィ集合は、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、ファジィ集合は、境界があいまいになっている集合と考えれば良い。ファジィ理論では通常の集合のことをクリスプ集合というが、クリスプ集合では、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、クリスプ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。ファジィ集合は、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ィ集合と言える。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。クリスプとファジィ集合は Fig.1 に示す。

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。そこで、本システムでは、ユーザの行動を予測するのに必要と思われるパラメータを複数用意し、シミュレーションを行った結果からメンバシップ関数の決定を行った。

### 2.2 ファジィ推論

ファジィ推論は、推論機構にファジィ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。

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' を下すのがファジィ推論の形式である。ここで、A、B または A'、B' はいずれもあいまいさを含むものであり、ファジィ集合で表現される。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[2, 3]。

### 2.3 ファジィ測度

ファジィ測度は加法性の成り立たない測度である。例えば、A と B の二人がいて、それぞれが仕事を 50 こなすとした時、A と B が二人で仕事を行うと、現実の世界では 150 こなすかもしれないし、100 こなすかもしれない。そこで、ファジィ理論ではファジィ測度を用いることによって、加法的な関係と非加法的な関係を同じ測度の中に収めることができる。しかし、ファジィ測度は客観性を失ってしまう危険がある。このため、客観的にファジィ測度を定める手法として、統計を用いる手法や、AHP を利用する方法など様々なものが提唱されている。

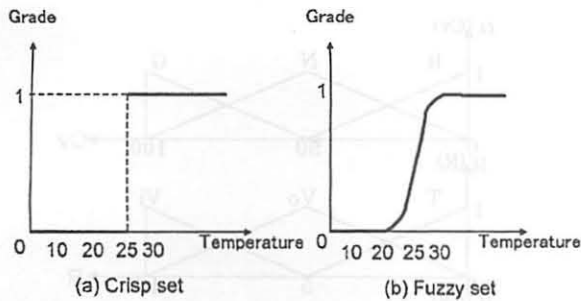


Fig. 1. Crisp set and fuzzy set.

### 3 Shadow Cluster Concept

無線ネットワークにおいて、ユーザが移動体端末から大量のデータ転送を実行するアプリケーションを利用する場合には、ハンドオフも経験する機会が多い。移動中の移動体端末が密集したセルへ移動しても、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する必要である。新しい接続要求を拒否しても、対応する基地局はサービスを提供しなければならない。Shadow Cluster Concept (SCC)の基本的な考えは、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)に与える影響を考慮することである。SCC modelはFig.2に示す。この図は、予約する資源をShadow(影響のレベル)で表している。Shadowは、移動体端末の近くで最も強く、その周辺が次に強くなる。このShadowは、移動体端末との距離、接続保持時間、優先度、使用される帯域幅資源、移動体端末の軌道、速度によって変化する。この考え方により、常に移動体端末に要求されたレベルのサービスを行うことが可能となる[4]。

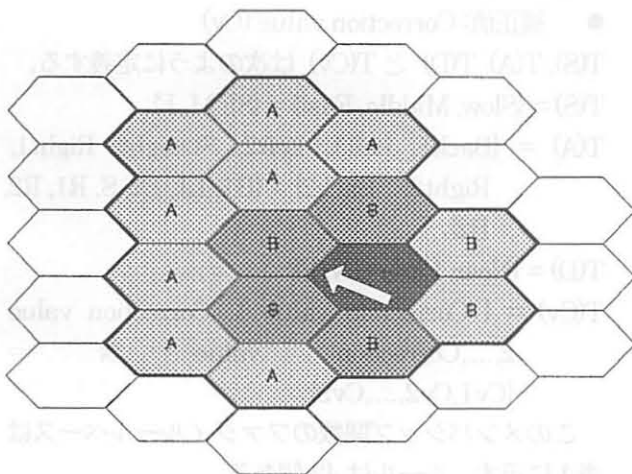


Fig. 2. SCC model.

### 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ネットワークのQoSを満足した接続要求の受け入れ数の向上を目指す。ファジィ制御は知的制御あるいは多数のパラメータを操作して最適制御を決定、支援するような問題の解決に効果的であることが知られており、工学的な応用例も多い[5, 6, 7, 8, 9, 10]。

Fig.3は本研究のシステム・モデルを示している。提案システムは二つのFuzzy Logic Controller (FLC)から構成される。FLC1ではユーザの行動予測を行い、FLC2では、接続制御を行う。

本システムの入出力パラメータは次のようになる。

- S (Speed): ユーザの移動速度(km/h)
- A (Angle): ユーザの向きと基地局との角差
- D (Distance): ユーザと基地局の距離(km)
- Cv (Correction value): 補正值
- R (Request): リクエスト
- Cs (Counter state): 基地局のキャパシティ
- A/R (Accept/Reject): 接続許可および接続破棄
- Ds (Differentiated service): リクエストの修正値
- RTC (Real Time Counter): 実時間接続用のキャパシティ
- NRTC (Non Real Time Counter): 非実時間接続用のキャパシティ

本システムの流れは次のようになる。まず、最初に基地局はユーザからSpeed, Angle, Distanceの情報を受け取り、FLC1に送り、FLC1で推論を行ってCorrection valueを出力する。次に、FLC1の出力、ユーザから現在利用しているサービスのRequest, 基地局からCounter stateを受け取り、FLC2に送り、FLC2で推論を行って、Accept/Rejectを決定する。この時、Acceptの場合、接続の許可をしたRequestの修正値であるDifferentiated serviceをRTCかNRTCかを判断し、各カウントに入れる。無線ネットワークに接続中のユーザが接続を終了させた場合、使用していた帯域はCounterから開放される。

Fig.4はFLCの内部構造を示している。データの流れは次のようになる。

- 入力された数値をFuzzifierでファジィ化する。
- 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。

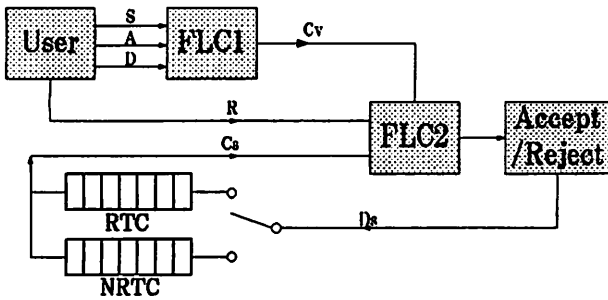


Fig. 3. System model.

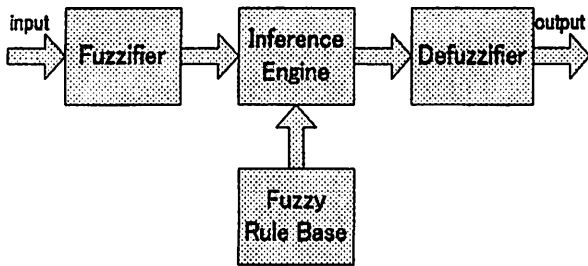


Fig. 4. FLC structure.

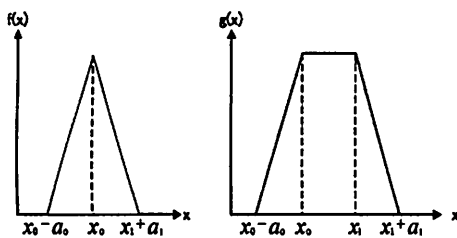


Fig. 5. Membership function shapes.

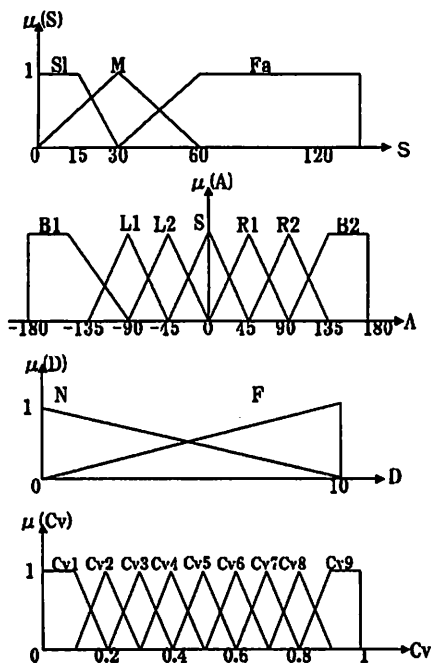


Fig. 6. FLC1 membership functions.

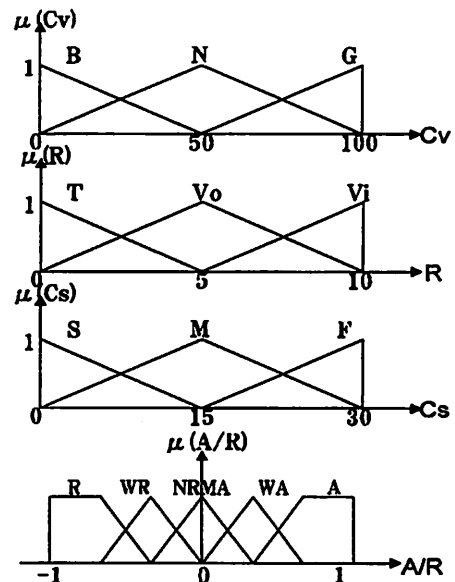


Fig. 7. FLC2 membership functions.

- 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。

また、メンバシップ関数に使用する関数はリアルタイムの制御に適している三角形と台形を用いる。メンバシップ関数は Fig.5 に示す。

FLC1 では、あるセルに無線ネットワークを利用しながら移動しているユーザが到達する確率からリクエストの補正値の決定を行う。Fig.6 は FLC1 のメンバシップ関数である。入出力のパラメータは次のようになる。

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

- 補正値: Correction value (Cv)

T(S), T(A), T(D) と T(Cv) は次のように定義する。

T(S) = {Slow, Middle, Fast} = {Sl, M, F};

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

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

T(Cv) = {Correction value 1, Correction value 2, ..., Correction value 9} = {Cv1, Cv2, ..., Cv9}.

このメンバシップ関数のファジィルールベースは表1に示す。ルールは42個ある。

次に FLC2 では、FLC1 における出力とユーザのリクエスト帯域、さらに基地局のキャパシティを基

Table 1. FRB of FLC1.

Rule	S	A	D	Cv
0	S	B1	T	Cv3
1	S	B1	T	Cv1
2	S	L1	T	Cv4
3	S	L1	T	Cv2
4	S	L2	T	Cv5
5	S	L2	T	Cv3
6	S	S	T	Cv9
7	S	S	T	Cv3
8	S	R1	T	Cv5
9	S	R1	T	Cv4
10	S	R2	T	Cv3
11	S	R2	T	Cv3
12	S	B2	T	Cv3
13	S	B2	T	Cv1
14	M	B1	T	Cv2
15	M	L1	T	Cv1
16	M	L1	T	Cv4
17	M	L2	T	Cv8
18	M	L2	T	Cv5
19	M	S	T	Cv9
20	M	S	T	Cv7
21	M	R1	T	Cv8
22	M	R1	T	Cv8
23	M	R2	T	Cv4
24	M	R2	T	Cv1
25	M	B2	T	Cv2
26	M	B2	T	Cv1
27	M	B2	T	Cv1
28	Fa	B1	T	Cv1
29	Fa	B1	T	Cv1
30	Fa	L1	T	Cv1
31	Fa	L1	T	Cv2
32	Fa	L2	T	Cv6
33	Fa	L2	T	Cv8
34	Fa	S	T	Cv9
35	Fa	S	T	Cv9
36	Fa	R1	T	Cv8
37	Fa	R1	T	Cv1
38	Fa	R2	T	Cv1
39	Fa	R2	T	Cv2
40	Fa	B2	T	Cv1
41	Fa	B2	T	Cv1

Table 2. FRB of FLC2.

Rule	Cv	R	Cs	A/R
0	B	T	S	A
1	B	T	M	NRMA
2	B	T	F	NRMA
3	B	Vo	S	A
4	B	Vo	M	NRMA
5	B	Vo	F	WR
6	B	Vi	S	WA
7	B	Vi	M	NRMA
8	B	Vi	F	WR
9	B	Vi	S	A
10	N	T	M	NRMA
11	N	T	F	NRMA
12	N	Vo	S	A
13	N	Vo	M	NRMA
14	N	Vo	F	NRMA
15	N	Vi	S	WA
16	N	Vi	M	NRMA
17	N	Vi	F	NRMA
18	G	T	S	A
19	G	T	F	A
20	G	T	M	NRMA
21	G	Vo	S	A
22	G	Vo	F	A
23	G	Vi	S	WR
24	G	Vi	M	A
25	G	Vi	F	A
26	G	Vi	S	R

に接続制御を行う。FLC2において出力結果が0以上の場合、Acceptとし、0より小さい場合は、Rejectとする。Fig.7はFLC2のメンバシップ関数である。

入出力のパラメータは次のようになる。

入力パラメータ

- 補正值: Correction value (Cv)

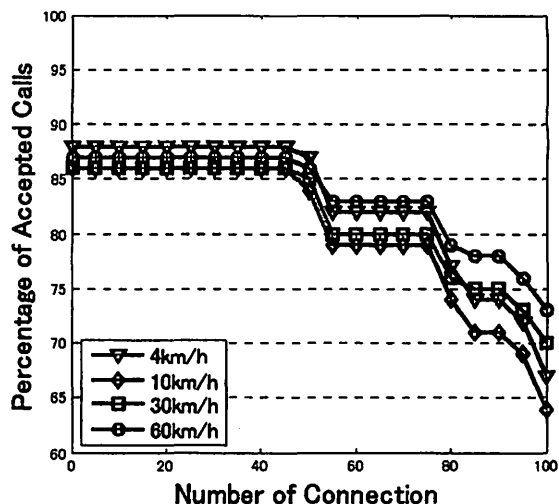


Fig. 8. Number of accepted connections for fixed speed.

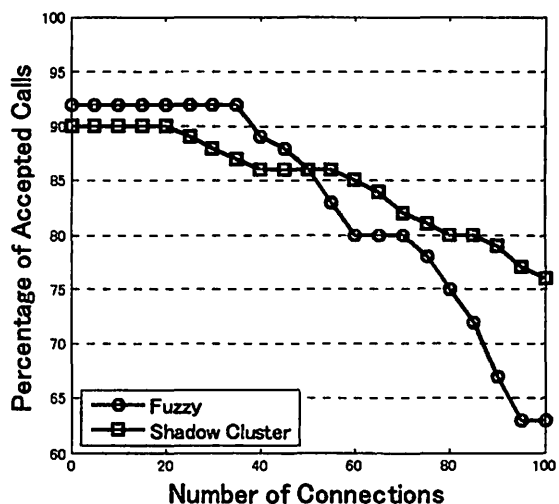


Fig. 9. Comparison of proposed fuzzy system and SCC.

- ユーザのリクエスト帯域: Request (R)
- 基地局のキャパシティ: Counter state (Cs)

出力パラメータ

- 接続許可および破棄: Accept/Reject (A/R)

T(Cv), T(R), T(Cs) と T(A/R) は次のように定義する。

$$T(Cv) = \{\text{Bad, Normal, Good}\} = \{B, N, G\};$$

$$T(R) = \{\text{Text, Video, Voice}\} = \{T, Vi, Vo\};$$

$$T(Cs) = \{\text{Small, Middle, Big}\} = \{S, M, B\};$$

$$T(A/R) = \{\text{Reject, Accept}\} = \{R, A\}.$$

このメンバシップ関数のファジィルールベースは表2に示す。

本提案システムにおいてユーザの行動を予測することによって1つの接続における各基地局の資源の利用量を最適化することができ、接続中のユーザの

QoSを満足することができる。

## 5 シミュレーション結果

シミュレーション結果は Fig.8 と Fig.9 に示す。シミュレーションにおける条件は下記のようになっている。

- FLC1 の入力パラメータは、Speed = 0 ~ 120 km/h, Angle = -180° ~ 180°, Distance = 0 ~ 10 km の範囲でランダムに決定される。
- Cs のキャパシティは 40BU's (Bandwidth Unit's)とする。
- リクエストのタイプは Voice, Video, Text とし、それぞれの確率(%), サイズ(BU), 接続時間(S) は Voice = (30, 5.0, 180), Video = (10, 10.0, 60), Text = (60, 1.0, 60)とする。

Fig.8 は、ユーザのスピードによる Accept がどの様に変化するかを表している。速度が速くなる毎に Accept が高くなっている。これは、速度が速くなると進行する方向を変更することができないため、隣接セルに早く到達することが可能となり、Accept の確率が高くなっている。

Fig.9 は、提案システムと SCC との比較を示している。コネクション数が少ない場合、提案システムのほうが Accept するコネクションは多い。しかし、接続要求するコネクション数が多い場合、SCC に比べて提案システムのほうが Accept が少なくなる。この結果から、接続要求数が増えると、提案システムは接続中のユーザの QoS を満足することができ、接続を要求するコネクションの QoS を保証しているから Accept の接続数は少なくなることが分かった。

## 6 まとめと今後の課題

本稿では、ファジィ理論を用いた無線ネットワークにおける接続制御の提案を行った。提案システムを評価するためにシミュレーションを行った。その結果、ユーザの速度を固定した場合、速度が遅くなるほどユーザの方向が変更される可能性が高くなることから Accept が下がることが分かった。また、SCC との比較においては接続数が少ない場合、接続するコネクションは提案のシステムの方が多い。接続要求するコネクション数を多い場合、SCC に比べて提案システムのほうが Accept が下がること分かった。

今後は、他のパラメタを考慮してシミュレーショ

ン評価を行う。また、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を行っていく予定である。

## 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, “適応ファジー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, Vol.J87-D-II, No.4 pp. 958-966, 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, No. 15, pp. 37-48, 2004.
- [6] W. Zhang, “Handover Decision Using Fuzzy MADM in Heterogeneous Networks”, WCNC-2004, Vol. 5, No. 1, pp. 653-658, 2004.
- [7] P. M. L. Chan, et. al., “Mobility Management Incorporating Fuzzy Logic for a Heterogeneous IP Environment”, IEEE Communications Magazine, pp. 42-51, 2001.
- [8] K. D. Wong, et. al., “A Pattern Recognition System for Handoff Algorithms”, IEEE J-SAC Vol. 18, No. 7, pp. 1301-1312, 2000.
- [9] T. Onel, et. al., “A Fuzzy Inference System for the Handoff Decision Algorithms in the Virtual Cell Layout Base Tactical Communications System”, IEEE Military Communications Conference (MILCOM-2002), Vol. 21, No. 1, pp. 435-440, 2002.
- [10] Q. Liang, “A Design Methodology for Wireless Personal area Networks with Power Efficiency”, IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC-2003), Vol. 3, pp. 1475-1480, 2003.