

ファジィ理論と複数の優先順位を用いた無線セルラーネットワークのための接続制御に関する研究

池端 拓^{†1} ミノ ジェルジ^{†1}
バロリ レオナルド^{†2} 小山 明夫^{†3}

現在、ユビキタス社会の期待に伴い、いつでも・どこでも・誰とでも通信を行える社会を目指すため無線ネットワークが重要となっている。その理由の一つとして携帯電話の普及が挙げられる。携帯電話はサービスエリアをセルと呼ばれる小区域に分割し、各セル内のユーザはその中にある無線基地局と通信を行う。しかし、無線通信ネットワークで利用されている帯域幅は有限であるため、多くのユーザがセルに入ってくるとそのセルがすべてのユーザの要求を受け入れることができなくなり、通信が途切れる可能性が出て来る。そのため、できるだけネットワークの資源を有効活用し、通信品質 (Quality of Service: QoS) を保証する接続制御が必要である。従来のシステムは、サービスによる優先度がユーザの受け入れ率にあまり影響を及ぼしていない事や、後続の接続者要求者を考慮していないという問題点があった。本研究では、ファジィ理論と複数の優先順位を用いた無線セルラーネットワークのための新しい接続制御を提案した。その結果、提案システムは従来システムよりユーザの満足する各サービスを提供することができる。

Application of Fuzzy Logic and Different Priorities for CAC in Wireless Cellular Networks

TAKU IKEBATA^{†1}, GJERGI MINO^{†1}, LEONARD BAROLLI^{†1}
and AKI KOYAMA^{†3}

The mobile cellular systems are expected to support multiple services with guaranteed Quality of Service (QoS). But, 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. In our previous work, we proposed a fuzzy-based CAC system by considering the priority of the on-going connections. In this work, we extend our work by adding different priorities. We evaluate by simulations the performance of the proposed system. From the simulations results, we conclude that the proposed system makes a good differentiation for different services compared with previous system.

1. はじめに

現在、ユビキタス社会の期待に伴い、「いつでも」「どこでも」「誰とでも」通信を行える社会を目指すため無線ネットワークが重要となっている。その理由の一つとして携帯電話の普及が挙げられる。携帯電話はサービスエリアをセルと呼ばれる小区域に分割し、各セル内のユーザはその中にある無線基地局と通信を行う。しかし、無線通信ネットワークで利用されている帯域幅は有限であるため、多くのユーザがセルに入ってくるとそのセルがすべてのユーザの要求を受け入れることができなくなり、通信が途切れる可能性が出て来る。そのため、出来るだけネットワークの資源を有効活用し、通信品質 (Quality of Service: QoS) を保証する接続制御が必要である¹⁾。

本研究では、携帯電話の接続制御に関する研究を行う。携帯電話ではサービスエリアをセルと呼ばれる小区域に分割し、ユーザにサービスを提供している。しかし、そのセルのキャパシティを超えるトラフィックがあった場合通信が途切れたり、接続できないという状況が起こる。従来のシステムの帯域確保の方法は、端末がいるセルを中心にその周りのセルに沿って帯域を確保している。もし人間の行動が予測できれば、次に移動するサービスエリアでは多く帯域を確保し、逆に行動しないサービスエリアでは少しの帯域確保だけで済む。

従来のシステムは、サービスによる優先順位がユーザの受け入れ率にあまり影響を及ぼしていない事や、後続の接続者要求者を考慮していないという問題点があった。本研究では、ファジィ理論と複数の優先順位を用いてユーザの行動を予測することによって確保帯域を必要最小限に抑え、より多くのユーザにサービスを提供出来るシステムの提案を行う。以下、第2節ではファジィ理論について述べ、第3節では関連研究について述べる。第4節では提案システムについて述べ、第5節では提案システムのシミュレーションの条件と結果と考察について述べる。第6節では本稿のまとめと今後の課題について述べる。

^{†1} 福岡工業大学大学院工学研究科
Graduate School of Engineering, Fukuoka Institute of Technology (FIT)

^{†2} 福岡工業大学情報工学部
Department of Information and Communication Engineering, Fukuoka Institute of Technology (FIT)

^{†3} 山形大学工学部
Faculty of Engineering, Yamagata University

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²⁾³⁾。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、ファジィ推論について述べる。

2.1 ファジィ集合

数学的な集合はクリスプ集合と呼ばれ、ある集合に対して属しているかないのか2択で表現する。しかし、ファジィ集合の場合ある集合に対してどのくらい属しているかをグレードで表現する。つまり、クリスプ集合において属していれば1、属していなければ0とする。ファジィ集合においてはある集合に属する度合つまりグレードを0以上1以下の値となる。

2.1.1 クリスプ集合とファジィ集合の定義

<クリスプ集合>

全体集合 U とその部分集合である A に対して、 U に存在する x が A に属するならば1、属さなければ0を返す。これを式(図1)、または式(図2)と表現することができる。

$$X_A : U \rightarrow \{0, 1\} \quad (1)$$

$$X_A(x) = \begin{cases} 1 & (x \in A) \\ 0 & (x \notin A) \end{cases} \quad (2)$$

<ファジィ集合>

全体集合 U とその部分集合であるファジィ集合 A に対して、 A のグレードを μ とすると式(図3)と表現することができる。

$$\mu_A : U \rightarrow [0, 1] \quad (3)$$

また、グレードを関数で示したものがメンバーシップ関数である。ここで、クリスプ集合での波括弧 $\{ \}$ は0か1かを表していたが、ファジィ集合での角括弧 $[]$ は0から1の範囲という事を表している。

2.2 ファジィ推論

コンピュータに推論を行わせるには様々な手法がある。ファジィ推論はその一つである。特徴として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。ファジィ推論は命題論理の演算に、あいまいさを用いた推論法と言える。命題論理では、いわゆる「三段論法」により推論を行う。具体的な手順は、前提条件として常識知識と現在の条件から帰納的に答えを導く。例えばトマトが熟しているか推論を行

う場合は以下のように答えを導くことができる。

常識的事実：トマトが赤色ならば、トマトは熟している。

現在の条件：トマトは緑色である。

結果：トマトは熟していない。

しかし、トマトの色は黄色や緑色だけでは表せないで、このままではコンピュータは推論を行うには処理数が増加する。例えば少しだけ黄色の場合、トマトが少しだけ熟しているのように前提条件を細かく定める必要がある。前提条件をたくさん用意した場合でも完全に一致しなければ答えを求めることはできない。そこでファジィ推論を用いる。ファジィ推論では、次のように推論を IF~THEN 形式のルールで表現する。例えばトマトの赤色の度合いであるグレードを0.5だとすると、熟成具合も0.5のように表現が可能となり、前提条件を細かく定める必要がなくなる。

IF トマトが赤色 THEN トマトは熟している。

この文を一般形にすると、以下のように書き直す事ができる。

IF *Tomato is red* THEN *Tomato is ripe* .

Tomato is red は前件部、*Tomato is ripe* は後件部と呼ぶ。

このようにトマトの色や柔らかさの複数の判断基準を加えることも可能となる。

3. 関連研究

3.1 Shadow Cluster Concept

SCC (Shadow Cluster Concept) とは、あらゆる無線端末の現在の進行方向と位置が端末の周囲のセル(基地局)に対して提供するサービスのレベルに影響を与えというものである。図1に示すように予約する資源をShadow(影響のレベル)で表している。Shadowは、移動端末の近くで最も強く、その周辺が次に強くなる。また、移動端末の「接続保持時間」、「優先度」、「使用される帯域幅資源」、「移動端末の軌道」、「速度」などによって変化する。

Shadowの数は移動端末を利用しているユーザにサービスを提供するために保有する必要がある資源量に影響する。このため、接続要求を予測して資源を確保することによって、新しい接続要求の無線ネットワークにおけるQoSを保障することができる。

基地局は互いに新しい接続要求を受け取ると情報を交換して、これと他の情報に基づいてどの要求を受け入れるべきか、またはどの要求を拒否するべきか決める。

移動端末が別のセルに移動する場合Shadowも移動する。ハンドオフ後に、古いShadowの基地局は新しいShadowの基地局に通知し、適切な情報(例えば帯域幅要求、接続破棄確

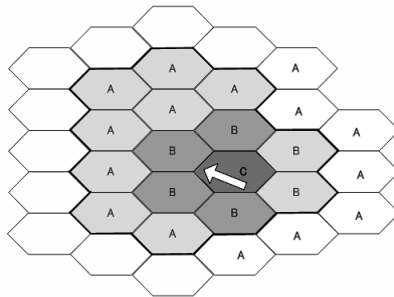


図1 Shadow Cluster Concept モデル

立、無線接続の経過時間などの有用な情報)を他の基地局に提供する必要がある。またその際、古い Shadow があつた基地局は予約していた資源を開放する。これによって、移動端末に要求されるサービスレベルを考慮して接続制御を行うことが可能となる⁴⁾。

3.2 従来システム

従来システムは次のように無線接続の制御を行う。ユーザの移動速度、方向による行動、及びサービスの種類における優先度のパラメータから基地局との繋がり易さの値を求める。基地局のトラフィックとサービスの種類、及び基地局との繋がり易さのパラメータから最終的な受け入れと拒否を決定する。許可をした結果は RTC(real time counter) または NRTC(non real time counter) に格納する。ユーザが接続を終了させた場合、使用していた帯域は Counter から開放する⁵⁾⁶⁾。

4. 提案システム

提案システムは三つの FLC (Fuzzy Logic Controller) から構成されている。FLC は本提案システムでもっとも重要な構成要素である。FLC ではユーザの移動速度と基地局への方向を用いてユーザから行動を予測する。また、ユーザと接続時間とサービスの優先順位を用いて、接続要求した来たユーザに見合ったリソースを提供する。これにより、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。

4.1 Fuzzy Logic Controller

図2はFLCの入力から出力までのファジィ制御の一連の処理の流れを示す。Fuzzifier で入力値をメンバーシップ関数に対応付けてファジィ化を行う。FRB (Fuzzy Rule Base) で定められたルールを基に FIE(Fuzzy Inference Engine) で推論を行う。その推論結果を Defuzzifier

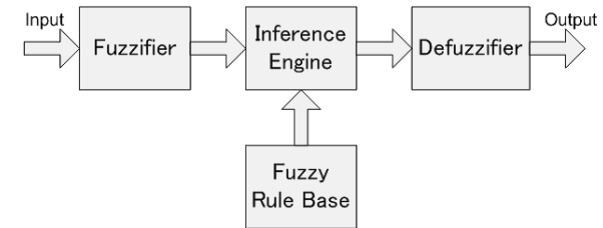


図2 FLC の構成

で非ファジィ化し出力する。

4.2 提案システムの構成

本システムの制御は図3のように行う。ユーザの S (Speed), A (Angle) のパラメータから FLC1 で推論を行う。FLC1 は受け取ったパラメータからユーザがどの基地局へどのくらいの確率で行くかを数値化した Cv(Correction value) を出力する。次にユーザの優先順位を決定する。ユーザからユーザ自身の優先順位 of Up(User priority), サービスの優先順位 of Sp(Service priority), 接続時間による優先順位 of Cp(Connection priority) のパラメータから FLC2 で推論を行う。FLC2 は受け取ったパラメータからユーザの優先度の P(Priority) を出力する。Cv と P に加えて、基地局のトラフィックの Cs(Counter state) から FLC3 で推論を行って、その要求を受け入れるか拒否するか A/R(Accept/Reject) を決定する。このとき Accept だった場合、接続の許可をした Request の修正値である Ds(Differentiated service) を RTC (Real Time Counter) か NRTC (Non Real Time Counter) を判断して、各カウントに入れる。無線セルラー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 から開放する。以上の動作によって、提案システムは無線接続の制御を行う。

4.3 FLC の設計

4.3.1 FLC1 の設計

FLC1 における FRB1 は図4のメンバーシップ関数に基づいてユーザのリクエストを決定するために 21 個のルールを決定した。これは各入力のメンバーシップ、Speed なら三つ、Angle なら七つのメンバーシップ関数で構成されていることから全ての組み合わせを定義しなければならないため $3 \times 7 = 21$ 個のルールとなる。FRB1 は表図1に示す。

4.3.2 FLC2 の設計

FLC2 における FRB2 は図5のメンバーシップ関数に基づいてユーザのリクエストを決定する。各入力のメンバーシップ、Up なら三つ、Cp なら三つ、Rp なら三つのメンバーシップ関数で構成されていることから 27 個のルールとなる。FRB2 は表図2に示す。

表 1 FRB1 .

Rule	Speed	Angle	Cv	Rule	Speed	Angle	Cv
1	Sl	B1	Cv2	12	M	R1	Cv3
2	Sl	L1	Cv3	13	M	R2	Cv3
3	Sl	L2	Cv4	14	M	B2	Cv1
4	Sl	S	Cv7	15	Fa	B1	Cv1
5	Sl	R1	Cv4	16	Fa	L1	Cv2
6	Sl	R2	Cv3	17	Fa	L2	Cv3
7	Sl	B2	Cv2	18	Fa	S	Cv9
8	M	B1	Cv1	19	Fa	R1	Cv3
9	M	L1	Cv3	20	Fa	R2	Cv2
10	M	L2	Cv3	21	Fa	B2	Cv1
11	M	S	Cv9				

表 2 FRB2 .

Rule	Up	Cp	Sp	P	Rule	Up	Cp	Sp	P
1	Lp	Sh	T	P6	15	Mp	Mi	Vi	P4
2	Lp	Sh	Vo	P5	16	Mp	Lo	T	P3
3	Lp	Sh	Vi	P4	17	Mp	Lo	Vo	P4
4	Lp	Mi	T	P5	18	Mp	Lo	Vi	P3
5	Lp	Mi	Vo	P3	19	Hp	Sh	T	P8
6	Lp	Mi	Vi	P2	20	Hp	Sh	Vo	P9
7	Lp	Lo	T	P4	21	Hp	Sh	Vi	P9
8	Lp	Lo	Vo	P2	22	Hp	Mi	T	P7
9	Lp	Lo	Vi	P1	23	Hp	Mi	Vo	P8
10	Mp	Sh	T	P5	24	Hp	Mi	Vi	P9
11	Mp	Sh	Vo	P6	25	Hp	Lo	T	P6
12	Mp	Sh	Vi	P5	26	Hp	Lo	Vo	P7
13	Mp	Mi	T	P4	27	Hp	Lo	Vi	P8
14	Mp	Mi	Vo	P5					

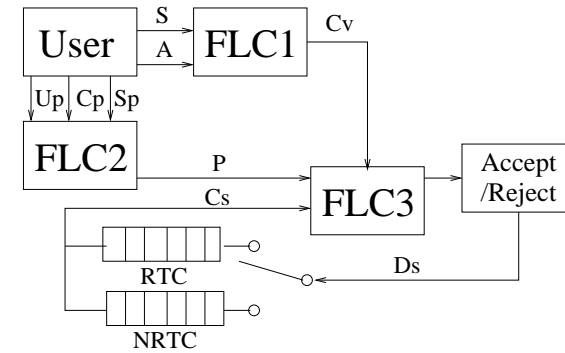


図 3 システムモデル

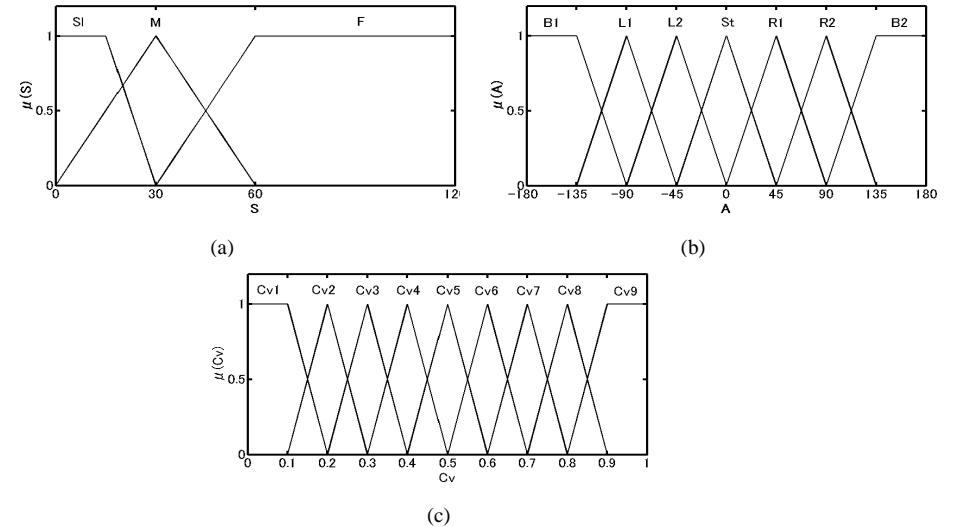


図 4 FLC1 のメンバーシップ関数

4.3.3 FLC3 の設計

FLC3 における FRB3 は図 6 のメンバーシップ関数に基づいてユーザのリクエストを決定するために 27 個のルールを決定した。これは各入力のメンバーシップ、Cv なら三つ、P なら三つ、Cs なら三つのメンバーシップ関数で構成されていることから 27 個のルールとなる。FRB3 は表図 3 に示す。

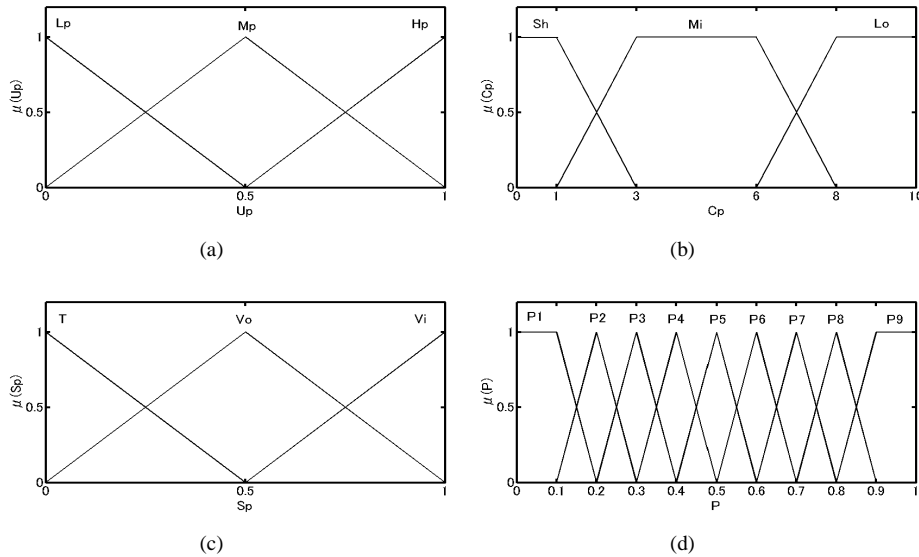


図5 FLC2のメンバーシップ関数

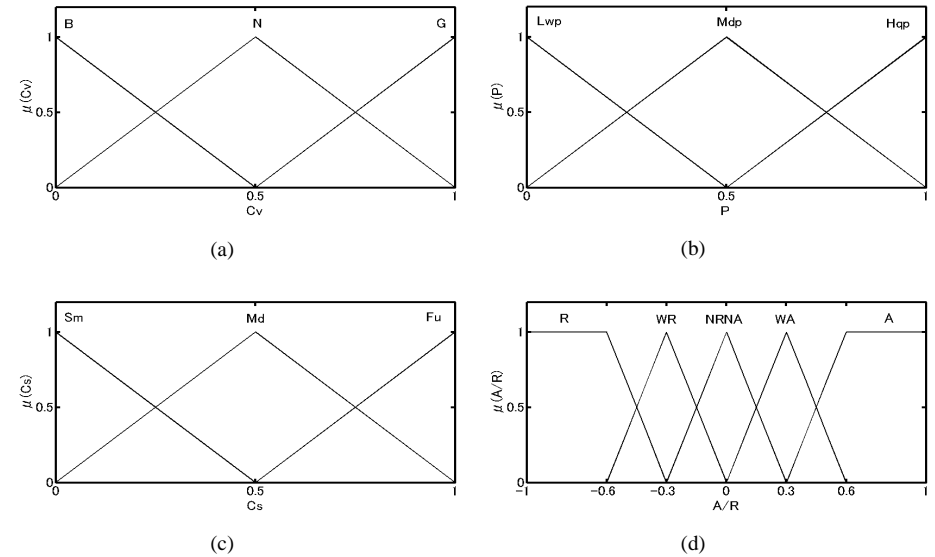


図6 FLC3のメンバーシップ関数

5. シミュレーション結果

シミュレーション条件は以下ようになる。スピードは0~120[km/h]であり、ユーザの向きは-180°~180°、基地局とユーザとの距離は0~10[km]、リクエストは1, 5, 10[BU]である。なお、リクエストのタイプはText, Voice, Videoの三つからなり、リクエストのサイズは、Text=1[BU], Voice=5[BU], Video=10[BU]、基地局の帯域のキャパシティは40[BU](RT, NRT両方の合計値)と設定した。

5.1 シミュレーション結果

図7は従来システムのシミュレーション結果を示す。また、図8は提案システムのシミュレーション結果を示す。横軸は接続要求をして来たユーザ数を示しており、縦軸は接続許可の確率を示している。リクエストのTextとVoiceとMovieをそれぞれ固定し、シミュレーションを行った。従来システムは図7に示すように、サービスによる優先度がユーザの受け入れ率にあまり影響を及ぼしていない。提案システムにおいて、接続要求が増えてもVoiceが高い値となっているのはリアルタイム性を伴うためである。また、Movieに関しては、帯

域を多く占有するのでTextより許可の確率が低くなっている。Textが帯域占有の割合で一番低いのに関わらず、許可率が低いのはリアルタイム性を伴わないためである。

6. むすび

本論文では、ファジィ理論と複数の優先順位を用いた無線ネットワークにおける接続制御の向上のための提案をした。無線ネットワークにおいてネットワーク資源は無限ではないので、資源の有効に利用する必要がある事を述べた。接続制御を行う上でユーザの行動を予測するのにファジィ理論が有効である事を述べた。従来のシステムにおいて、サービスによる優先度を固定しシミュレーションを行った結果、あまり優先度が影響を及ぼしていないということが分かった。また、従来のシステムは後続の接続要求者を考慮していないので新たに接続の優先順位を設けシステムの構築を行った。その結果、提案システムは従来システムよりユーザの満足する各サービスを提供できることがわかった。

今後は、メンバーシップ関数とFRBの調整、従来のシステムとの比較評価、他の接続制御との比較評価を行う。

表 3 FRB3 .

Rule	Cv	P	Cs	A / B	Rule	Cv	P	Cs	A / B
1	B	Lwp	Sm	WA	15	N	Mdp	Fu	NRNA
2	B	Lwp	Md	NRNA	16	N	Hgp	Sm	A
3	B	Lwp	Fu	WR	17	N	Hgp	Md	NRNA
4	B	Mdp	Sm	A	18	N	Hgp	Fu	NRNA
5	B	Mdp	Md	NRNA	19	G	Lwp	Sm	A
6	B	Mdp	Fu	WR	20	G	Lwp	Md	A
7	B	Hgp	Sm	A	21	G	Lwp	Fu	R
8	B	Hgp	Md	NRNA	22	G	Mdp	Sm	A
9	B	Hgp	Fu	NRNA	23	G	Mdp	Md	A
10	N	Lwp	Sm	WA	24	G	Mdp	Fu	WR
11	N	Lwp	Md	NRNA	25	G	Hgp	Sm	A
12	N	Lwp	Fu	NRMA	26	G	Hgp	Md	A
13	N	Mdp	Sm	A	27	G	Hgp	Fu	NRMA
14	N	Mdp	Md	NRNA					

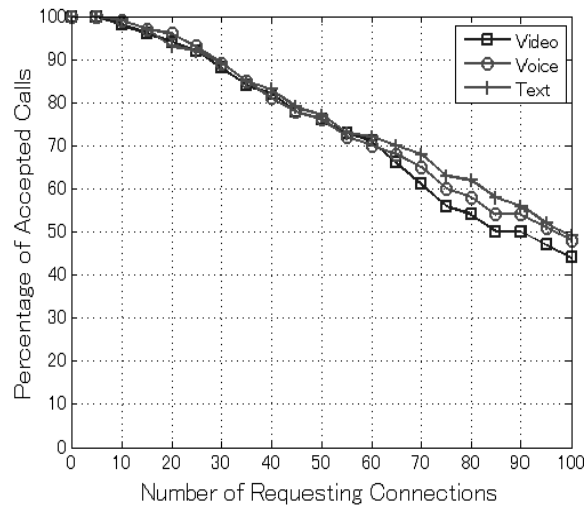


図 7 従来システムのシミュレーション結果

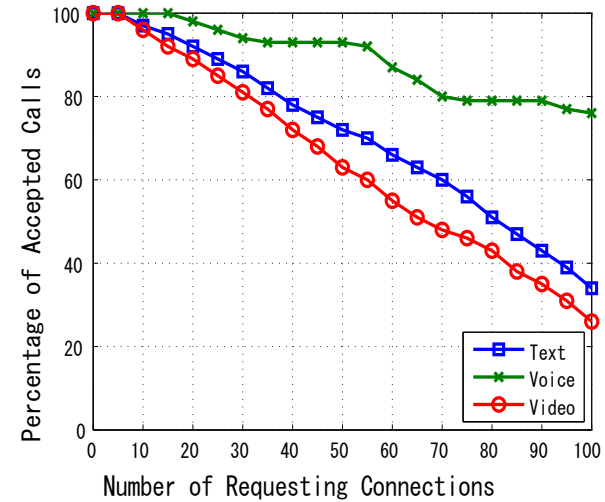


図 8 提案システムのシミュレーション結果

参考文献

- 1) 戸田 巖, “ ネットワーク QoS 技術 ”, オーム社, 2001.
- 2) 萩原 将文, “ ニューロ・ファジィ・遺伝的アルゴリズム ”, 産業図書, 1994.D.A.
- 3) 向殿政男, “ ファジィのはなし ”, 日刊工業新聞社, 1989.
- 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) Gj. Mino, L. Barolli, A. Durresi, F. Xhafa, A. Koyama, “ A Fuzzy-based Call Admission Control Scheme for Wireless Cellular Networks Considering Priority of On-going Connections ”, Proc. of ICDCS-2009 Workshops, MNSA-2009, Montreal, Canada, pp. 380-387, June 2009.
- 6) Gj. Mino, L. Barolli, F. Xhafa, A. Durresi, A. Koyama, “ Performance Evaluation of a Fuzzy-based CAC Scheme for Wireless Cellular Networks: A Case Study Considering Priority of On-going Connections ”, International Journal of Business Intelligence and Data Mining, Vol. 5, No. 3, pp. 269-284, 2010.