

スロットベースのランダムアクセス型プライマリシステムと周波数共有するセカンダリシステムのキャリアセンス制御と干渉マージンの設計

7311671 堀江駿太

1. はじめに

近年、限りある周波数資源を効率的に利用するため、コグニティブ無線 (CR) 技術が検討されている[1]. CR では、既存利用者(PS)が割り当てられている帯域を使用していない時間に、新規利用者(SS)がその帯域を一時的に使用する。

本稿では、スロットベースのランダムアクセス型 PS と SS が、同一周波数を共有するためのキャリアセンス制御と干渉マージンの設計について検討した。キャリアセンス制御は送信電力制御と連動することで、PS への与干渉を許容値以下に抑え、SS の送信機会を高めることができる。また、干渉マージンを設けることで、スループットの一定の低下は許容するが、PS から SS への干渉に耐性が得られる。しかし、アクセス機会を含む MAC 層スループットを最大化するためには、キャリアセンス制御と干渉マージンの最適化が必要である。

本稿では、PS から SS への干渉電力を確率関数でモデル化することで、MAC 層スループットを定式化した。そして、最大の MAC 層スループットを与える、キャリアセンス制御量と干渉マージン量を設計した。

2. システム設定

検討するシステムモデルを図 1 に示す。多数のプライマリシステム (PS) に 1 つのセカンダリシステム (SS) が新たに通信を開始し、同一周波数資源を共有するシステムを仮定する。PS は SS に比べて周波数資源を利用する優先度が高いとし、SS は PS のアクセスを妨害することがないように、アクセス及び送信電力を制御する。本システムでは、PS 送信機と PS 受信機との距離の差を考慮した許容与干渉電力が規定されていると仮定し、SS は PS の送信機地点での干渉電力を規定値以下に抑えなければならない。簡易化のため、一定時間間隔をスロットと定義し、スロットの開始位置は理想的に同期が確立されていると仮定した。PS は、送受信機端末が個別に通信を確立するアドホック通信を仮定する。各 PS は、スロット毎にオフアードトラヒック G の確率でアクセスを試みる。PS と PS 間の同時アクセスに起因する衝突は、検討の対象としていない。よって、PS 間のアクセスにおいて衝突が生じた場合、スロット単位のランダムバックオフと再送による衝突回避機能が有効に動作しているとし、複数の PS システムの共存は可能であると仮定した。そのため、オフアードトラヒック G を、アクセス制御を含めた上で、各 PS が信号を放射する確率と仮定した。また、PS の送信電力は一定と仮定した。一方、SS はアクセスを試みる際に、スロット時間よりも短い時間において、キャリアセンスを行う。キャリアセンス後 PS のアクセスが無いと認識された場合に、スロット時間にセン

ス時間を除いた時間を、自局のデータ通信に活用する。SS におけるセンス時間とデータ送信時間の関係を図 2 に示す。

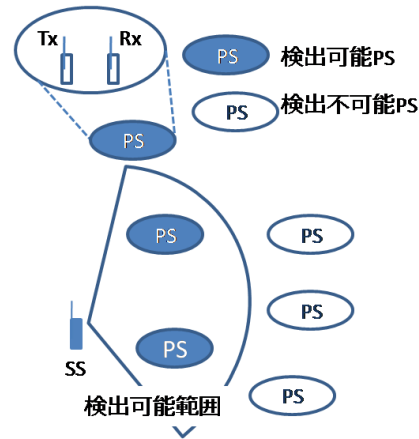


図1 システムモデル

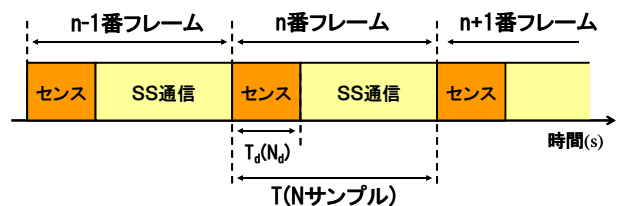


図2 センス時間と通信時間の関係

3. 送信電力とキャリアセンスの連動制御

3.1 キャリアセンスとセンシング可能範囲

本稿ではエネルギー検出型キャリアセンスを想定した[2]. エネルギー検出型キャリアセンスでは、一定時間の間、センス対象が放出した信号電力を累積する。そして、累積値であるエネルギーが予め設定した閾値を超えた場合に、センス対象が通信中であると判断する。そこで、本稿ではエネルギー検出における、センス時間に着目した。所要誤警報確率が与えられたとき、検出閾値は一義に決定される。その結果、所要誤検出確率を達成するために必要なエネルギー量が与えられる。ここで、PS が SS の近傍に存在する場合には、SS が検出する受信電力は高く、短い時間で所要エネルギー量が蓄積される。反対に、PS が遠方に存在する場合には、より長い時間キャリアセンスしなければならない。そのため、センス時間が決定されると、SS に対してセンス可能範囲が定義され[3], 検出可能な PS と検出できない PS に分けられる。その環境を図 1 に示す。

3.2 PS の通信を保護するキャリアセンス型無線アクセスと送信電力制御の併用

センス可能範囲外の PS のアクセスは検出できないため、

PS のアクセスと衝突し、PS への妨害となる可能性がある。

本稿では、センス可能範囲外の PS との同時アクセスを可能にするため、SS のデータ通信時の送信電力を制御し、PS への干渉電力を規定値以下に抑える。本稿では、センス可能範囲外の PS への与干渉電力が規定値以下となるように、送信電力を制御する方法を提案する。提案法では、SS におけるパスロス係数、および PS の送信電力量はあらかじめ既知であると仮定した。そして、PS から放射された送信電力量とパスロス、センス時間から、センス可能範囲を決定する。次に、可能範囲の境界上において、PS への干渉電力が規定値となるように、送信電力を決定する。その結果、センス可能範囲外に存在する PS に対する干渉電力は、規定値以下に抑えられる。ただし、SS のセンス範囲外の PS と SS が同時アクセスした場合に、両者の信号が合成されて高い干渉となる、合成干渉が発生する可能性がある。しかし、PS は、合成干渉の発生も考慮したうえで、許容与干渉電力を設定することで、SS と PS との合成による与干渉を許容すると考えられる。たとえば、許容与干渉レベルを雑音電力レベルとすることで、センス範囲外に漏れる電力は雑音レベル以下となる。そのため、SS が放射したことによる干渉電力の増加分は、受信機雑音電力よりも小さく、無視できると考えられる。

次に、合成干渉による Virtual Node 効果について検討する[3]。Virtual Node 効果を考慮したアクセス機会を、解析的に導出する。ここで、PS の単独アクセスを想定しセンス範囲を規定しているため、センス範囲以内の PS が複数同時にアクセスしたとしても、所要検出精度は達成でき、衝突は回避できる。また、センス範囲外の SS から PS への干渉は、送信電力制御で規定値以下に抑えている。よって、Virtual Node 効果によって、PS に深刻な干渉を与えることはないと考えられる。

3.3 センシング時間とデータ通信時間

SS がデータ通信に活用できる時間は、スロット長からキャリアセンスに要する時間を差し引いた時間である。それゆえ、キャリアセンスに多くの時間を要する場合には、データ送信に利用できる時間は短くなる。ここで、SS のデータ送信に利用できる時間をデータ通信時間と定義する。

3.4 センシング時間とアクセス機会

センス可能範囲内の PS と SS は、CSMA による時間周波数共有となり、センス可能範囲内の PS がアクセスしていないときに、SS はアクセスを試みる。また、SS はセンス対象が、センス範囲内の PS であるか、合成干渉による Virtual Node であるか区別できないため、閾値を超える電力を検出した場合は、一律に SS はアクセスを控える。ここで、PS のアクセスがないと判断し、SS が通信機会を得る確率をアクセス機会と定義する。センス時間が拡大すると、センス可能範囲は拡大し、時間周波数共有となる PS が増え、SS のアクセス機会は減少する。

3.5 センシング時間と物理層スループットの関係

センス時間を拡大すると、センス可能範囲が拡大するため、

SS が与える干渉から保護すべき PS はより遠方になる。そのため、送信電力をより大きくすることができ、SS のスループットが拡大する。このとき、SS の送信電力により定まる物理層レベルでの伝送容量を、物理層スループットと定義する。

4. 干渉マージン設計

送信電力とキャリアセンスの連動制御により、PS と SS 間で時間・空間周波数共有を実現する。しかし、PS は SS に対してアクセスを制限する機構を有していないため、SS 受信機はセンス可能範囲外の PS から深刻な干渉を受ける可能性がある。本稿では、PS から SS 受信機への干渉電力を確率式でモデル化し、SS の受信信号電力対雑音電力比 (SINR) を確率式で導出する。そして PS から SS 受信機への干渉に対する対策として、適切な干渉マージンを設計する方法を提案する。

4.1 干渉マージン設計法と物理層スループット

本章では具体的に、事前に PS からの最大許容与干渉電力量を想定しスループットをあらかじめ下げるマージン設計を行う。干渉に対するマージンをとることで、偶発的な干渉が発生してもビット誤りは発生せず、高いスループットを維持できる干渉マージンの設計法を説明する。図3は受信 SINR に対する物理層スループットに関する図である。ここで、2つの設計例を示す。1つ目は、最大許容与干渉電力 σ_{PS}^2 を考慮に入れずに達成されるスループット (①)。2つ目は、 σ_{PS}^2 を含めた SINR を算出し、導出したスループット (③) である。

同一周波数干渉を考慮せずに設計した場合は、高い物理層スループットを達成する (①)。しかし、偶発的に PS の同時アクセスが生じた場合は、SINR の深刻な劣化が発生する。ここで、干渉発生に伴う SINR 劣化が劣化したとしても、誤りのない情報量のみを抽出することで、理想的には (③) の容量が達成される。しかし、現実のシステムでは、あらかじめ推定された SINR に基づき適切な変調方式と符号化率を設定する手法が用いられる。そのため、このような突発的な干渉の発生による、SINR の劣化に対して、高速に変復調を切り替えることができず、ビット誤り率特性が急激に劣化する[4]。その結果、そのパケットには多数のビット誤りが含まれるため、そのパケットは棄却され、スループットは 0 となる。本稿では、突発的な SINR の劣化には、追従できないと仮定し、スループットは 0 となると仮定した。(②)。

ここで、PS からの与干渉の発生を前提としたときに得られる SINR を算出したときに達成されるスループットを計算する (③)。もし、最大許容与干渉量を超える干渉が発生しなければ、ビット誤りに起因するパケットの棄却は避けられる。しかし、PS の同時アクセスが無い状況においては、高い SINR を達成するが、被干渉を考慮しない場合の設計に比べて、スループットが低くなる (④)。さらに、最大許容与干渉量を超える干渉が発生した場合には、パケットは棄却されスループットは 0 となる (⑤)。それゆえ、最大許容与干渉電力の設定は、許容与干渉電力を超える干渉が発生する確率と、許容与

干渉電力を拡大したときに低下する物理層チャネル容量の劣化量の両方を考慮する必要がある。

ここで、予め考慮すべき最大の許容干渉電力を干渉マージンと呼ぶことにする。

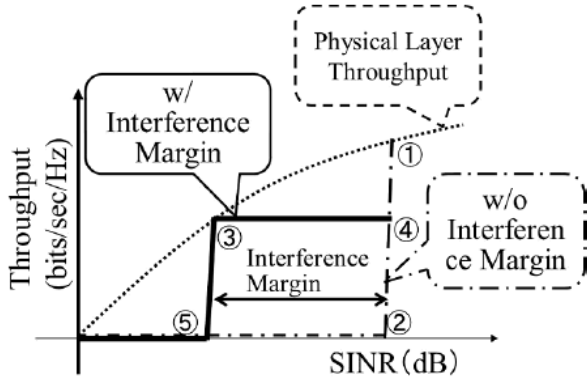


図3 受信 SINR と物理層スループット

4.2 MAC 層スループットと最適センシング時間、許容被干渉量の指摘

節 3.5 で述べたように、センス時間の拡大に伴い、SS の送信電力は拡大し、通信を確立したとき、高いスループットを達成できる。しかし、センス範囲内の PS の数が拡大するため、アクセス機会は減少する。同時に、節 3.3 で述べたように、データ通信利用時間が短くなる。それゆえ、通信を確立できる時間やアクセス機会が減少するため、一定時間に対して伝送できるスループットは低くなる。ここで、アクセス機会、通信利用時間を考慮したスループットを MAC 層スループットと定義する[5]。MAC 層スループットがよりエンドユーザのニーズに近いと考えられるため、MAC 層スループットを最大化するセンス時間の導出が課題となる。また、センス時間の拡大により、センス範囲も拡大するため、時間周波数共有となる PS が増加する。センス可能な PS との同時アクセスは回避できるので、同時アクセスとなる PS はより遠方になる。その結果、PS から SS への干渉電力は低く抑えられる。よって、必要となる干渉マージンは、センス時間が短い場合に比べ低く設定でき、物理層スループットをより高く設計することができる。このように、センス時間と干渉マージンは相互に影響するため、センス時間と干渉マージンの両方を考慮した設計が必要になる。

5. MAC層スループットの理論解析

本節では、提案するキャリアセンス型マルチアクセスと送信電力制御を併用および、許容非干渉量に応じたマージン設計法を適用したセカンダリシステムが達成するMACレベルスループットを明らかにする。ここでは、達成スループットやセンシング機能などを数式で定式化し、MACレベルスループットを理論解析により導出する。

5.1 PS から SS への干渉電力についての累積確率分布の導出方法

PS の存在密度およびアクセス機会が与えられたとき、PS から SS への干渉電力についての累積確率分布を導出する。なお、PS から SS 送信機への干渉電力（検出電力と等価）あるいは PS から SS 受信機への干渉電力のいずれについても、変数を変えるだけで同様に導出できる。そこで、PS と SS 間の距離 r と PS から SS への干渉電力 σ^2 を定義し、SS の送信機あるいは受信機に限定せず、SS が存在すると一般化して、議論をする。

まず、十分に大きい面積 S 内に 1 つ PS が存在するとき、SS から距離 r 、角度 θ に PS が存在する確率は次式となる。

$$f(r) = \iint_S \frac{r}{S} d\theta dr \dots \dots (1)$$

次に、PS の存在確率の変数を距離 r から PS から SS への干渉電力 σ^2 に変数変換する。

ここで、 σ_s^2 は、SS における PS の検出電力であり、Friss の伝送公式より次式となる。

$$\sigma_s^2 = P_{PS} \cdot \alpha \cdot \left(\frac{1}{r}\right)^n \dots \dots (2)$$

式(1)の r に式(2)で定義される距離 rd を r に一般化し、PS から SS 送信機への検出電力（干渉電力と等価） σ_s^2 を σ^2 に一般化した関係式を代入する。その結果、確率密度関数 $\Phi(\sigma^2)$ は次式の通り導出できる。

$$\Phi(\sigma^2) = \frac{f(\sigma^2)}{|\sigma_s'(r)|} \dots \dots (3)$$

$\Phi(\sigma^2)$ は PS が範囲 S 内に 1 つ存在するときの確率密度関数である。次に PS が範囲 S に 2 つ存在する場合を検討する。PS の存在を示す確率密度関数が、2 つそれぞれ独立である場合、2 つの PS が同時に存在する確率は、2 つの確率密度関数の畳み込み積分で与えられる。よって、PS が任意の数である n 存在する場合も同様に拡張でき、PS が n 存在する確率密度関数 $g_n(\sigma^2)$ は次式の漸化式で与えられる。

$$g_1(\sigma^2) = \Phi(\sigma^2) \\ g_n(\sigma^2) = (g_{n-1} * g_1) \dots \dots (4)$$

*は畳み込み積分の演算子を示す。

PS の面積密度を ρ としたとき、SS に干渉を与える範囲には、最大で $n_{PS} = S\rho$ の PS が存在する。このとき、 S は十分に大きいため、 n_{PS} は最も近い整数に近似できるものとする。ここで、PS は各スロットにおいてオフアードトラフィック G でアクセスを確立する。 n の PS が同時に通信を確立している確率 q_n は、二項定理より次式のように表せる。

$$q_n = {}_{n_{PS}}C_n \cdot G^n \cdot (1-G)^{(n_{PS}-n)} \dots \dots (5)$$

最終的に全ての確率分布を足し合わせることによって、干渉電力の確率密度関数 $h(\sigma^2)$ は次式と表せる。

$$h(\sigma^2) = \sum_{k=1}^{n_{PS}} q_k \cdot g_k(\sigma^2) \dots (6)$$

干渉電力が $h(\sigma^2)$ 以下となる確率は、式(7)の累積分布確率として次式の通り与えられる。

$$I(\sigma^2) = \int h d\sigma^2 \dots (7)$$

このようにして、PS から SS への受信電力量の累積分布確率 (CDF) を求めることができる。

5.2 センシング時間とSSのアクセス機会

PS の単独のアクセスや複数の PS による同時アクセスに起因する合成干渉を考慮し、SS がキャリアセンス中に、検出閾値を超えるエネルギーが得られる確率を導出する。そして、検出エネルギーが閾値を超えない確率を、SS がチャネルを利用できるアクセス機会として導出する。

まず、キャリアセンスを行う SS 送信機から検出対象である PS との距離を r_d 、S を十分遠い距離 R の円面積 $S = \pi R^2$ 、SS から PS への干渉電力 (検出電力) σ_s^2 とした場合、式(2)において、 $r = r_d$ 及び $S = \pi R^2$ とする。そして、 $\sigma^2 = \sigma_s^2$ とし、式(1)から式(7)までの導出を同様に進め、最終的に検出電力 σ_s^2 以下となる確率が式(1)で与えられる。このとき、センス可能距離の限界値 $r_{\max d}$ にいる 1 つの PS から SS 送信機への干渉電力 $\sigma_{\max d}^2$ は、式(2)より、次式のように表せる。

$$\sigma_{\max d}^2 = P_{PS} \cdot \alpha \cdot \left(\frac{1}{r_{\max d}} \right)^n \dots (8)$$

ここで、検出電力 σ_s^2 が $\sigma_{\max d}^2$ を下回るとき、PS がアクセスしていないと判断する。よって、SS がセンス可能範囲内に PS のアクセスを検出しない確率は、式(1)より次式となる。

$$\Phi_{IPS-SSTX}(\sigma_{\max d}^2) = \int_{-\infty}^{\sigma_{\max d}^2} h(\sigma_s^2) d\sigma_s^2 \dots (9)$$

上式が SS のアクセス機会と等しくなる。

5.3 許容被干渉マージン設計の併用

節 4.1 より導出した MAC 層スループットに対して、干渉マージンを考慮する。

5.3.1 干渉を考慮した物理層スループット

PS から SS 受信機への干渉を雑音でモデル化する。そして、物理層スループットを規定する際に考慮する PS から SS 受信機への干渉電力 (干渉マージン) を σ_{PS}^2 と定義したとき、物理層スループット C_{inphy} は、次式のように表せる。

$$\frac{C_{\text{phy}}}{W} = \log_2 \left(1 + \frac{P_{SSr}}{\sigma_n^2} \right) \dots (10)$$

この式より、雑音電力 σ_n^2 に同一周波数干渉 σ_{PS}^2 を加算した、信号電力対干渉雑音電力費 (SINR) によって、物理層スループットが決まることがわかる。

5.3.2 PS からの干渉電力評価

PS から SS 受信機に与える干渉電力 σ_{PS}^2 は、通信中のセンス範囲外の PS の数や位置に依存する。さらに、偶発的な同時アクセスに伴う合成干渉により、高い干渉電力が発生する。PS から SS 送信機に与える干渉が式(10) の累積分布関数で定義されるように、PS から SS 受信機への干渉電力 σ_{PS}^2 も同様に確率的に導出することができる。そこで、PS が一様に空間に分布した場合に、想定される干渉電力の発生確率を導出する。

SS 受信機からある地点までの距離を r_c とし、S を十分遠い距離 R の円からセンス範囲を除いた面積 $\pi(R^2 - r_{\max d}^2)$ とする。このとき 2 次元平面上での各変数および、センス範囲を除いた範囲 S を図 4 に示す。

SS 受信機から距離 r_c に PS が存在する確率関数 $f(r_c)$ は、SS 送信機の PS の存在確率である式(1)と類似して、次式のように導出できる。

$$f(r_c) = \int_0^R \int_{\theta'}^{2\pi} \frac{r_c}{S} d\theta dr \dots (11)$$

ここで、 $\theta'(r_c)$ は SS 受信機から距離 r_c においてキャリアセンス可能な範囲に存在する PS を除外した角度関数である。このとき $\theta'(r_c)$ は余弦定理より次式となる。

$$\theta'(r) = 2 \cdot \cos^{-1} \left(\frac{d_{TR}^2 + r_c^2 - r_{\max d}^2}{2 \cdot d_{TR} \cdot r_c} \right) \dots (12)$$

節 4.1 と同様に $r = r_c$ 、 $\sigma^2 = \sigma_c^2$ とし、式(1) から式(7)を展開すると、PS から SS 受信機への干渉電力 σ_c^2 が任意の干渉電力 σ_{PS}^2 を下回る確率は次式で与えられる。

$$\Phi_{IPS-SSRX}(\sigma_{PS}^2) = \int_{-\infty}^{\sigma_{PS}^2} h(\sigma_c^2) d\sigma_c^2 \dots (13)$$

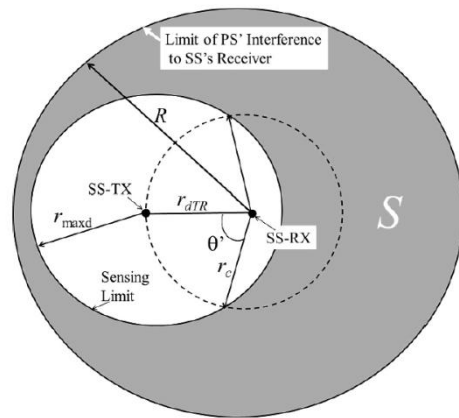


図 4 SS 受信機に関する各距離のパラメータおよび範囲例として、図 5 にセンス範囲が 50m、PS の密度が $\rho = 2/100^2$

π の場合における、式 (13) で与えられる、PS から SS 受信機への干渉電力の累積分布関数 (CDF), $\Phi_{IPS-SSRX}(\sigma_{PS}^2)$ 特性を示す。図 5 より、-90dBm 以下の干渉が起こる確率は 80% となる。よって、物理層スループットを規定するときに考慮する干渉電力 σ_{PS}^2 を -90dBm としたとき、考慮した干渉電力を下回り、所要 SINR 以上の SINR を達成する確率は 80% と与えられる。このように、PS から SS 受信機への干渉電力 σ_{PS}^2 を考慮した物理層スループットを維持できる確率は、 $\Phi_{IPS-SSRX}(\sigma_{PS}^2)$ と等しくなる。そのため、干渉マージン σ_{PS}^2 が決定すると、それ以上の干渉電力が発生しない確率は $\Phi_{IPS-SSRX}(\sigma_{PS}^2)$ であり、これが通信成功確率として求められる。

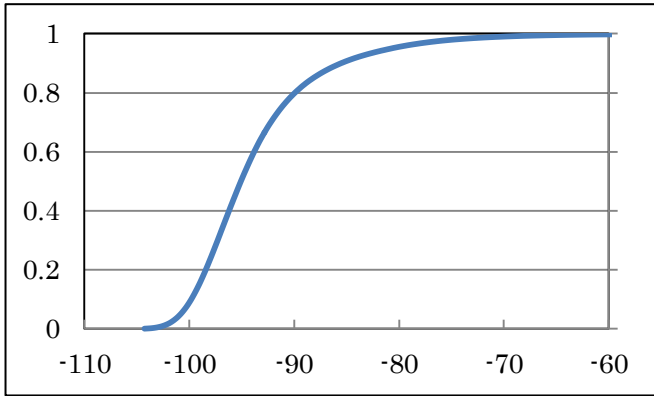


図 5 被干渉電力の累積分布関数

5.3 キャリアセンスマージン最適設計 MAC 層スループット

前節までの議論から、MAC 層でのスループットは、PS から SS への干渉電力が干渉マージン σ_{PS}^2 以下となり通信が成功する確率 $\Phi_{IPS-SSRX}(\sigma_{PS}^2)$ 、センス時間により与えられるデータ通信利用率 β 、誤警報に伴うチャネル利用機会見逃し確率 Φ_{FA} に基づき誤警報が起こらない確率 $1 - \Phi_{FA}$ 、PS と時間周波数共有する際のアクセス利用機会 $\Phi_{IPS-SSTX}(\sigma_{maxd}^2)$ 、PS への干渉を回避するために調整された送信電力量に基づき導出される物理層スループット C_{inphy}/W の積で与えられる。ここで、検出限界距離 r_{maxd} は検出サンプル数 N_d の関数であるので $r_{maxd}(N_d)$ とする。

文献[5]などで用いられている、MAC 層スループット C_{MAC} は次式で与えられる。

$$C_{MAC} = \beta \cdot \phi \cdot \frac{C_{inphy}}{W} \cdot \Phi_{IPS-SSRX} \cdot (1 - \Phi_{FA}) \quad \dots (14)$$

ここで、各変数に N_d 、 σ_{PS}^2 の引数は、制御パラメータであり、各項が、それぞれのパラメータによって変動することを明示した。それゆえ、ユーザエンドに近いとされる MAC 層スループットを最大化させるためには、センス時間 N_d 及び干渉マージン σ_{PS}^2 の設計が必要不可欠である。

5. 解析結果

本稿では、同一周波数帯域を使用する PS の影響を考慮した、送信電力制御と CSMA を併用したコグニティブ無線におけるチャネル容量特性を評価した。解析の諸元を表 1 に示す。

表 1 解析諸元

搬送波周波数	2.4 GHz
PS の変調方式	BPSK
空間伝搬損失	3 乗則
PS 送信電力	10 mW
受信機雑音電力	-95 dBm
PS オファードトラフィック	0.1
所要検出確率 $Probd$	0.99
所要誤警報確率 $Probfa$	0.1
PS フレーム長	0.04 μ s
PS 密度	1, 2 / (100 ² π m ²)

図 6 は正規化センス時間に対する、密度が $\rho=1, 2/100^2\pi$ のとき、各センス時間での最適干渉マージンで設計した、MAC 層スループットである。図 6 より、MAC 層スループットを最大化する最適な検出時間が存在することがわかる。

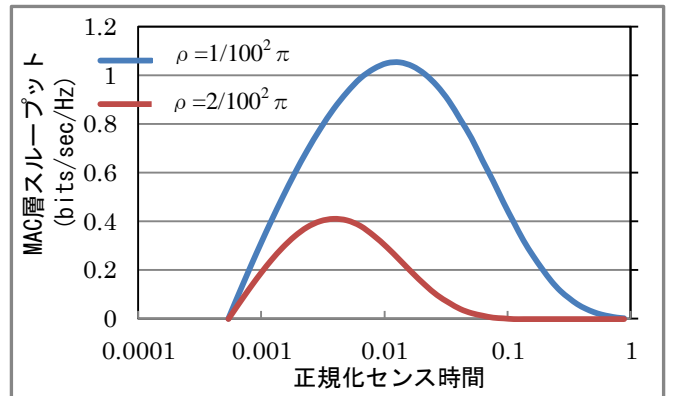


図6 センス時間に対するMAC層スループット

図 7 は干渉マージンに対する、密度が $\rho=1, 2/100^2\pi$ のとき、センス時間を ∞ にしたときの MAC 層スループットである。

図 7 より、MAC 層スループットを最大化する最適な干渉マージンが存在することがわかる。

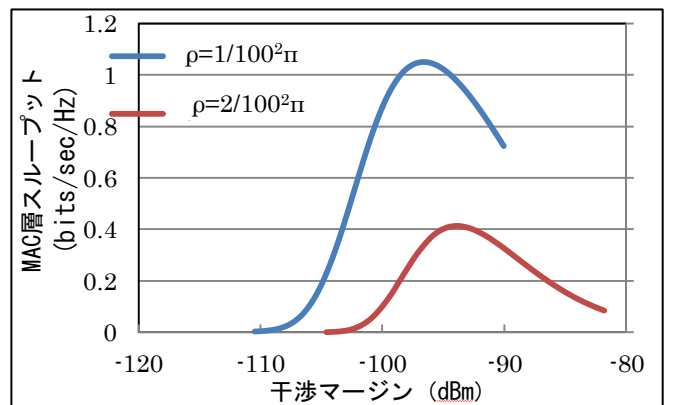


図7 干渉マージンに対するMAC層スループット

図 8 は横軸センス時間に対する縦軸アクセス機会と物理層スループットの結果である。

具体的には、正規化センス時間 0.01 に着目すると、密度 $\rho=1/100^2\pi$ から $\rho=2/100^2\pi$ へ増加した場合に、物理層スループ

ットの低下は、2.3bits/sec/Hz から 2.0bits/sec/Hz であり約 13% 程度の劣化である。それに対して、アクセス機会の低下は、0.57 から 0.19 へ約 66%の低下が認められる。そのため、アクセス機会の低下が MAC 層スループットの劣化の支配的要因となっている。センス時間を短くすることで、アクセス機会を高く維持し、高いスループットを実現したといえる。PS の増加に伴う干渉耐性を確保して、通信成功確率を高く維持している。同時にセンス範囲をより狭くし、アクセス機会を高めた結果、干渉を与える PS が SS の受信機に接近するため、干渉電力が高くなる。しかし、干渉マージンを高くすることで、干渉耐性を確保している。

それゆえ、PS の存在確率が高い場合には、干渉マージンを高め、センス時間を短く抑えた設計方針が、高い MAC 層スループットが達成できるといえる。

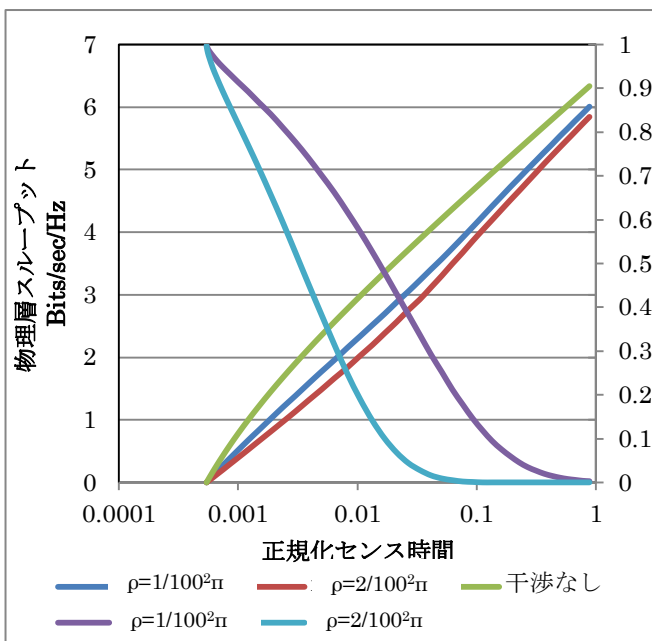


図 8 センス時間に対するアクセス機会と物理層スループット

6. まとめ

本稿では、送信電力と連携するセンス制御と干渉マージン設計を用いたセカンダリシステムが、プライマリシステムとの周波数資源の空間再利用を実現し、高いスループットを達成するための、センス時間と干渉マージンを設計した。干渉電力の確率式の導出から、干渉マージンと通信成功確率を導出し、さらに、合成干渉に起因するセンス範囲外のプライマリシステムの誤認識を考慮に入れた、アクセス機会を同様に確率式から導出した。数値結果から、MAC 層スループットの観点で最大となる、最適なセンス時間と干渉マージンが存在することを指摘した。

現在、干渉電力の評価に、キャリアセンス可能なプライマリシステムの合成干渉に対する、セカンダリ受信機への干渉を考慮している。現実には、干渉は回避できるため、干渉は

さらに低く抑えられ、スループットの改善が期待される。より正確な干渉電力の導出が今後の重要な検討課題である。

文 献

- [1] S. Haykin, "Cognitive radio: brain-empowered wireless communications," IEEE Journal on Selected Area in Communications, vol. 23, no. 2, pp. 201-220, Feb. 2005.
- [2] Cisco Visual Network index:Journal on Selected Area in Communications, vol. 23, no. 2, pp. 201 - 220, Feb. 2005
- [3] H. Uchiyama, K. Umehayashi, T. Fujii, F. Ono, K. Sakaguchi, Y. Kamiya, and Y. Suzuki, "Study on Soft Decision Based Cooperative Sensing for Cognitive Radio Networks," IEICE Trans. Commun., vol. E91-B, no.1, pp.95-101, January 2008.
- [4] Y. Yong, J.C. Hou, K. Lu-Chuan, "Modeling the Effect of Transmit Power and Physical Carrier Sense in Multi-Hop Wireless Networks," in Proc. IEEE INFOCOM 2007, pp.2331-2335, May 2007
- [5] N. Lynn, O. Takyu, R. Esmailzadeh, and M. Nakagawa, "Evaluation of Asymmetric TDD Systems Employing AMC and HARQ by Considering MCS Selection Errors," IEICE Transaction on Fundamentals, vol. E89-A, no. 11, pp. 3138 -3147, November 2006
- [6] E. Gurses and R. Boutaba "Capacity of Wireless Multi-hop Networks Using Physical Carrier Sense and Transmit Power Control," in Proc. IEEE GLOBECOM 2009, 6 pages, Nov. 30 2009-Dec. 4 2009

本研究の学会発表

(A)査読付き論文

堀江, 田久, 藤井, 榎田, "スロットベースのランダムアクセス型プライマリシステムと周波数共有するセカンダリシステムのキャリアセンス制御と干渉マージンの設計," 信学論 B (条件付採録)

(B)査読付き小論文

○Osamu Takyu, Shunta Horie, ○Hasan Rajib Imam, Masahiro Furuichi, ○Takamasa Kimura, ○Takeo Fujii, ○Yohtaro Umeda: 「Measurement method and result for Frequency Spectrum Sharing in Cognitive Radio」, 1-3 June 2011

(C)査読なし論文

堀江駿太, ○田久修, ○藤井威生, ○榎田洋太郎: 「キャリアセンス無線アクセスと送信電力制御を併用するコグニティブ無線システムにおける非同期環境の設計」, 電子情報通信学会ソフトウェア無線研究会, 信学技報, SR2011-77, pp. 207-212(計6頁), 2011年10月

堀江駿太, ○田久修, ○藤井威生, ○榎田洋太郎: 「キャリアセンスと送信電力制御を併用する無線アクセスにおける同一周波数干渉の影響」, 電子情報通信学会ソフトウェア無線研究会, 信学技報, SR2011-93, pp. 93-99(計7頁), 2012年1月.

(D)学会大会等の口頭発表

堀江駿太, ○田久修, ○藤井威生, ○榎田洋太郎: 「コグニティブ無線におけるキャリアセンス型動的送信電力の適用効果」, 電子情報通信学会総合大会, B-17-18, p.614, 2010年3月15日

堀江駿太, ○鈴木隆之, ○田久修, ○藤井威生, ○榎田洋太郎: 「キャリアセンス無線アクセスと送信電力制御を併用するコグニティブ無線機の非同期環境でのMAC層チャネル容量評価」, 電子情報通信学会東京支部学生会研究発表会, 講演番号84, p.84(計1頁), 2010年3月12日