

DFS試験時の通信負荷条件定義について

ARIB 無線LANシステム開発部会

DFS試験時の通信負荷条件定義について

2019年3月1日

NTT、東芝、クアルコムジャパン

経緯と提案

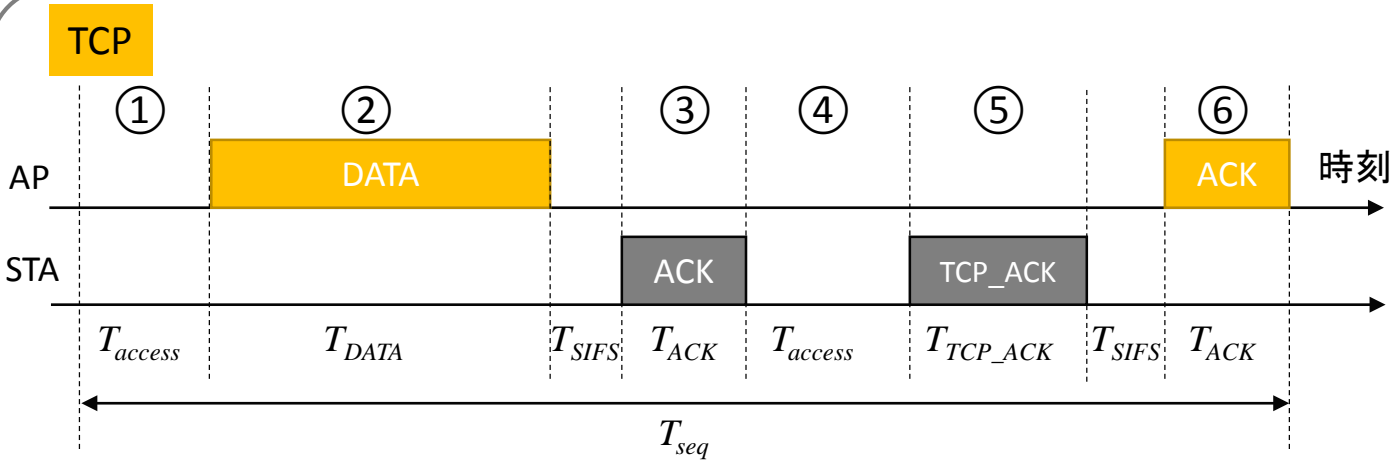
- W53における通信負荷率はETSIのパルスパターンを採用する関係で、現行の50%から30%に変更することが合意された。（パブコメの期間は終了）
- 第13回作業班で議論されたように（参照：5GHz作13-6）、無線LANが検出することが可能なパルスパターンと通信負荷率の間には密接な関係がある。運用中に関しては無線LANのトラヒックが発生していないときに検出をしようとするため、無線区間の通信負荷率が重要な要素となる。
- しかしながら、通信負荷の定義についてはこれまでの定義を踏襲しており、ETSIのようにトラヒックが無線区間を占有する時間率とは異なっている。
- 以下の点から、通信負荷率の定義もETSIと同様にすることが望ましい。
 - ETSIのパルスパターンの流用との整合性をとる。
 - 元のトラヒック量の変化と無線区間の時間占有率の間は比例関係にあるとは必ずしも言えない。（本資料で理論計算と実験により証明）
 - 現行定義は策定時のユースケースや無線性能をベースに決めていたが、それらは移り変わるものであり、時間率の負荷で規定しておく方が絶対的定義となる。
 - 通信負荷率の定義をETSIと同様にできない場合は、新しいパルスパターンの検出が困難になる場合がある。
 - 機器の性能に依存する要素を排除し安定したレーダー検出機能を担保する。

通信負荷率の定義の比較

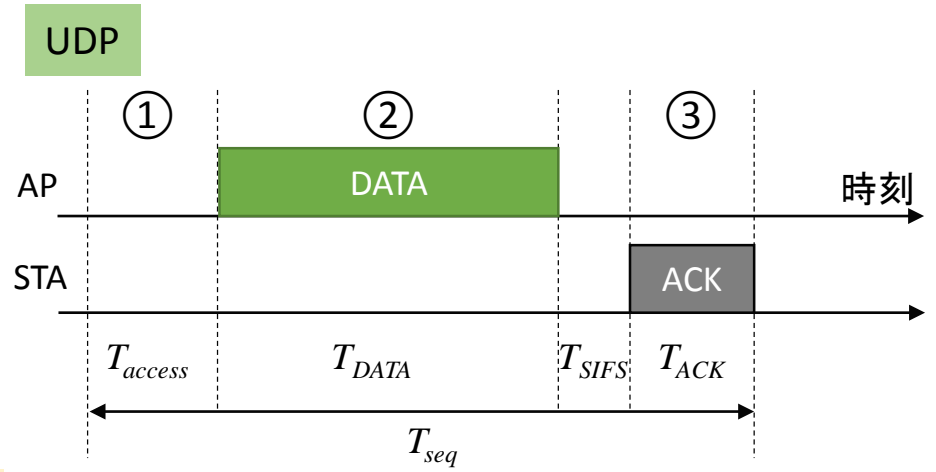
- 日本
 - 受験機器の通信負荷条件は、誤り訂正及び制御信号を含めない信号伝送速度で、無線設備の最大伝送信号速度の30%となるように設定する。（送信するデータ量で規定）
- ETSI
 - The DFS tests related to the Off-Channel CAC Check (clause 5.4.8.2.1.4) and the In-Service Monitoring (clause 5.4.8.2.1.5) shall be performed by using a test transmission sequence on the Operating Channel that shall consist of packet transmissions that together exceed the transmitter minimum activity ratio of 30 % measured over an interval of 100 ms. （100 msごとの時間率で規定）
- FCC
 - Data transfer from the master device to a client device. The data file transfer is used to randomize the data. Channel loading is specified as a percentage to total transmission time vs. total transmission time in a specific measurement sweep time. （時間率で規定）
- 中国、インド
 - ETSIの定義に準拠

通信負荷率の理論計算

【通信負荷率のモデル】



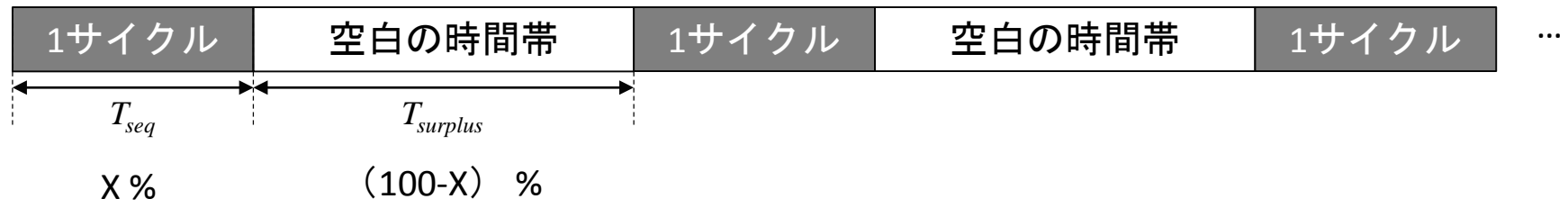
- ① CSMA/CAに基づくチャネルアクセス手順を実行
 - ② APがSTAにデータフレーム(TCPパケット)を送信
 - ③ STAがデータフレームに対するACKを返信
 - ④ CSMA/CAに基づくチャネルアクセス手順を実行
 - ⑤ STAからAPに②で受信したIPパケットに対するTCP ACKを返信
 - ⑥ APがTCP ACKに対するACKを応答
- APが受信動作を行えない期間である「②データフレーム」および「⑥TCP ACKに対するACK」を送信する期間を時間占有率として計上する。



- ① CSMA/CAに基づくチャネルアクセス手順を実行
 - ② APがSTAにデータフレーム(UDPパケット)を送信
 - ③ STAがデータフレームに対するACKを返信
- APが受信動作を行えない期間である「②データフレーム」を送信する期間を時間占有率として計上する。

日本定義の「負荷率」のモデル

上記フレームシーケンス「1サイクル」と、これと同じ時間長の「空白の時間帯」が入れ子で繰り返されるものとする。すなわち、負荷X%の場合は、「1サイクル」と「空白の時間帯」の時間長の比($T_{seq} : T_{surplus}$)は、**X% : (100-X)%**となる。



【負荷率の理論計算】

TCP想定時

～11a (伝送レート54Mbps)～

(アクセス時間)ーデータフレーム(DATA格納)ー(SIFS)ーAckフレームー(アクセス時間)ーデータフレーム(TCP ACK格納)ー(SIFS)ーAckフレーム

平均 $T_{access}=65.5\mu s$ $T_{DATA}=248\mu s$ $T_{SIFS}=16\mu s$ $T_{Ack}=24\mu s$ 平均 $T_{access}=65.5\mu s$ $T_{TCP_ACK}=32\mu s$ $T_{SIFS}=16\mu s$ $T_{Ack}=24\mu s$

DATA size 1460Bの場合

シーケンス全体での時間: $T_{seq}=491\mu s \Rightarrow$ アプリ上での最大信号伝送速度: 約24Mbps \Rightarrow その50%負荷: 約12Mbps
 \Rightarrow 上記シーケンスに追加される余剰時間: $T_{surplus}=491\mu s$
 \Rightarrow データ送信側が無線区間上で占有している時間率(欧米定義の負荷率): $(T_{DATA}+T_{Ack})/(T_{seq}+T_{surplus}) \doteq 27.7\%$

UDP想定時

上記と同様の検討(但しデータフレーム長若干短縮、TCP ACKなし)
 \Rightarrow 日本定義50%負荷 \doteq 欧米定義負荷率($T_{DATA}/(T_{seq}+T_{surplus})$)=35.1%負荷

TCP想定時

～11ac (20MHz, 4SS, MCS8 (256-QAM, R=3/4, short GI (伝送レート346.7Mbps)))～

(アクセス時間)ーデータフレーム(DATA格納)ー(SIFS)ーBlockAckフレームー(アクセス時間)ーデータフレーム(TCP ACK格納)ー(SIFS)ーBlockAckフレーム

平均 $T_{access}=65.5\mu s$ $T_{DATA}=3956\mu s$ $T_{SIFS}=16\mu s$ $T_{Ack}=28\mu s$ 平均 $T_{access}=65.5\mu s$ $T_{TCP_ACK}=56\mu s$ $T_{SIFS}=16\mu s$ $T_{Ack}=28\mu s$

最大送信バースト長4msに合わせた場合(このときのDATA長約169kB)

11a, 54Mbpsの場合

\Rightarrow 日本定義50%負荷 \doteq 欧米定義47.1%負荷 \Rightarrow 日本定義30%負荷 \doteq 欧米定義28.2%負荷

UDP想定時

\Rightarrow 日本定義50%負荷 \doteq 欧米定義48.7%負荷 \Rightarrow 日本定義30%負荷 \doteq 欧米定義29.2%負荷

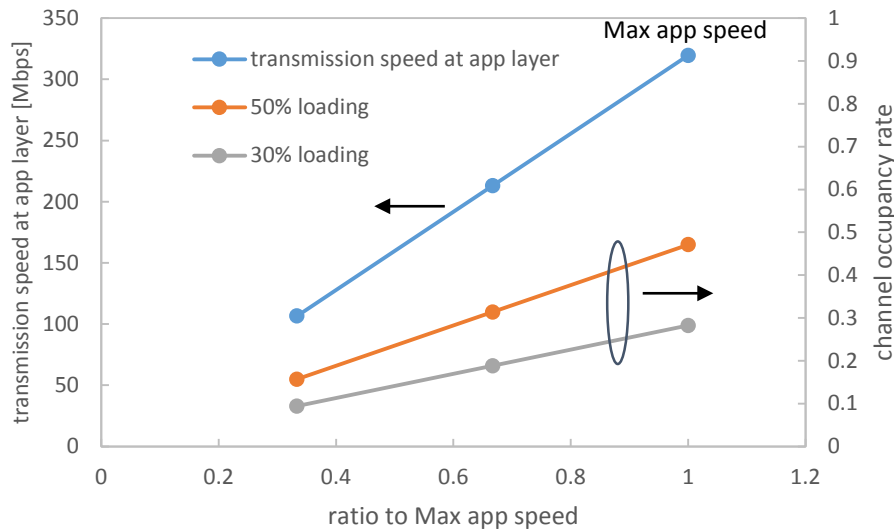
**プロトコル、DATAサイズ、伝送レート、再送に依存して欧米定義負荷は変動
また高効率伝送方式になるほど、欧米定義負荷は高く(厳しく)なる**

前ページの11acに関する検討はアプリの最大信号伝送速度に制約を設けない場合。
実際には無線部の性能以外に有線の制約もあり、アプリの最大信号伝送速度は制限される場合がある。

↓

追加検討

- アプリの最大信号伝送速度を2/3、1/3に制約した場合の欧米定義負荷率を算出
 - 条件
 - 11ac (20MHz, 4SS, MCS8 (256-QAM, R=3/4, short GI (伝送レート346.7Mbps)))
 - DATA長: 169kB
 - TCP



20MHz, 4SS, MCS8に対応する場合、バースト長4msの制限下で、チャンネル占有率は

アプリ速度Max(320Mbps)なら、50%負荷で47%、30%負荷で28%

アプリ速度がMax x 2/3 (213Mbps)なら、50%負荷で31%、30%負荷で19%

アプリ速度がMax x 1/3 (107Mbps)なら、50%負荷で16%、30%負荷で9%



無線部の伝送能力が高いままアプリレベルでの最大信号速度が落ちる場合チャンネル占有率は低下し、想定よりも低い負荷での試験を行うこととなる

通信負荷率の実験結果

日本の規定に基づく通信負荷をかけた場合の実際の時間率

- 2018年11月に実施した実験では：
 - Iperfを用いてUDPパケットを送信し試験機器の最大伝送速度を求め、その最大伝送速度の50%となるようにUDPパケットを生成し試験を実施。
 - この時、実際の無線区間でのETSIの規定に基づく時間占有率は以下の通りであった。平均は47.5%。

Test No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
時間率	45	47	46	46	49	49	48	52	46	47

- 最大伝送速度の30%の負荷をかけた場合、無線区間の時間占有率が上記の割合程度となると仮定すると28.5%となる。
 - この計算はMCSおよびA-MPDUのサイズが同じと仮定した場合であり、実装ではこれらのサイズは一定となっていないため、伝送速度の割合と無線区間の通信負荷率の間には対応関係があるとは言い切れない。

伝送速度と無線区間の通信負荷率の関係

- 性能の異なる3種類のチップセットを用いて、伝送速度と無線区間の通信負荷率の関係を調査した。
- Iperfを用いてUDPパケットを送信し試験機器の最大伝送速度を求め、その最大伝送速度の30%となるようにUDPパケットを生成し無線区間の通信負荷率を求めた。

チップセット種類	最大伝送速度 (a)	伝送速度30%値 (a) X 0.3	伝送速度30%時の無線区間通信負荷率	無線区間の通信負荷率が30%となる伝送速度 (b)	(b) / (a) x 100 (日本定義換算)
A	364 Mbps	109 Mbps	25 %	145 Mbps	40 %
B	401 Mbps	120 Mbps	46 %	60 Mbps	15 %
C	394 Mbps	118 Mbps	30 %	118 Mbps	30 %

- 伝送速度と無線区間の通信負荷率是对応関係にあるとは必ずしも言えないことがわかる。
- 期待する通信負荷率より低い負荷しか無線区間にかからない場合、本来要求される性能が出ていない機器でも検査を通過する懸念がある。一方、通信負荷率が高くなりすぎる場合、十分な性能があるのにも関わらずレーダーを検出できないという結果になる可能性がある。
- 機器の性能に依存する要素を排除し安定したレーダー検出機能を担保するためにも無線区間の通信負荷率で規定することが望ましい。

W53新レーダーパターンに関する提案

2018年12月7日

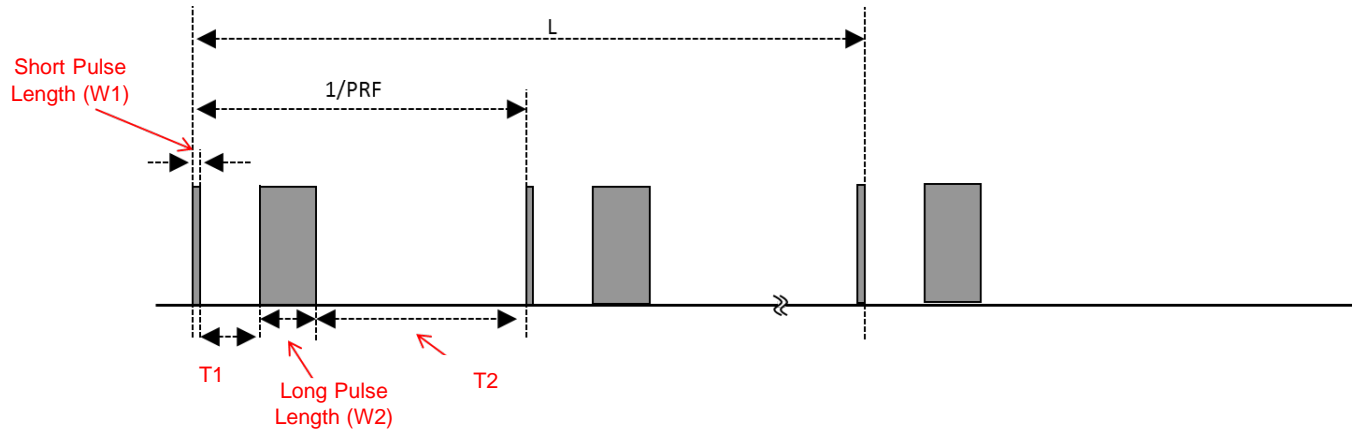
クアルコムジャパン

クアルコム提案

- クアルコムの変更提案の内容は、11/13-14に実施された新しいレーダーパターンを用いたテストにおいて取得したデータの解析結果に基づくものである。
- 解析では以下の点を考慮した:
 - 一般的なWLANのユースケースやチャネルの利用環境
 - 運用中モニターリング中のレーダー検知率の最大化
 - レーダー誤検出の最小化

現在提案されている新しいレーダーパターン

Radar test signal #	Pulse Width W1 (us)		Pulse Repetition Frequency, PRF (PPS)		Number of different PRFs	Pulses per burst for each PRF (PPB) (see note 5)
	Min	Max	Min	Max		
1'	0.5	5	200 (see note 7)	1000 (see note 7)	1	10 (see note 8)
2'	0.5	15	200 (see note 7)	1600 (see note 7)	1	15 (see note 8)

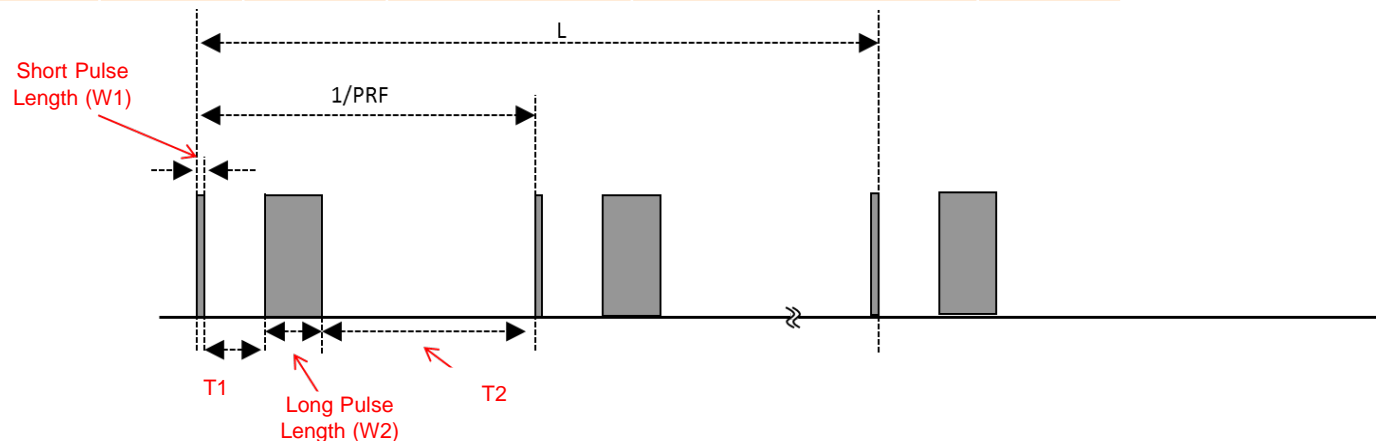


- NOTE5: The total number of pulses in a burst is equal to the total number of pulses for a single PRF multiplied by the number of different PRFs used.
- NOTE6: For the CAC and Off-Channel CAC requirements, the minimum number of pulses (for each PRF) for any of the radar test signals to be detected in the band 5600MHz to 5650MHz shall be 18.
- NOTE7: A modulated long pulse which width is 20-400us (which has an accuracy of +/-5%) is also emitted after at least 20us since emitting the normal pulse. The modulation to be used is a linear (or non-linear) chirp modulation with a +/- 0.5-1.0MHz frequency deviation. See Figure D.6
- NOTE8: This means minimum value

実験に使用されたレーダーパターン

No.	Transmission Time [μ s]				Long Pulse Shape			P Number	Notes		
	Short Pulse	T1	Long P	T2	α	γ	B		Type	Radar Signal Type	PRF
1	2.5	0	0	3028	—	—	—	10	Klystron	Variable Pulse Length	330
2	1	0	0	1063	—	—	—	27	Klystron	Variable Pulse Length	940
3	1	0	0	1329	—	—	—	21	Klystron	Variable Pulse Length	752
4	2	0	0	3844	—	—	—	10	Klystron	Variable Pulse Length	260
5	2	0	0	2379	—	—	—	15	Klystron	Variable Pulse Length	420
6	1	0	0	892	—	—	—	32	Klystron	Variable Pulse Length	1120
7	1	0	0	1189	—	—	—	24	Klystron	Variable Pulse Length	840
8	1	72	64	825	0	1.48	1.2	28	FET	Chirp, VPL	1040
9	1	72	64	1065	0	1.48	1.2	23	FET	Chirp, VPL	832
10	1	108	100	2291	0	1.48	1.67	20	FET	Chirp, VPL	400
11	1	108	100	2916	0	1.48	1.67	30	FET	Chirp, VPL	320
12	1	72	64	2762	0.45	1.48	2	10	FET	Chirp, VPL	345
13	1	40	32	1031	0.45	1.48	2	26	FET	Chirp, VPL	906
14	1	40	32	1252	0.45	1.48	2	22	FET	Chirp, VPL	755
15	0.5	20	20	585	0.1	1.48	2	10	FET	Chirp, VPL	1600
16	0.5	20	20	585	0.89	1.48	2	10	FET	Chirp, VPL	1600
17	5	200	200	2928	0.1	1.48	1	10	FET	Chirp, VPL	300
18	5	200	200	2928	0.89	1.48	1	10	FET	Chirp, VPL	300
19	15	400	400	4185	0.1	1.48	1	15	FET	Chirp, VPL	200
20	15	400	400	4185	0.89	1.48	1	15	FET	Chirp, VPL	200

- パターン1, 2, 3, 6, 7, 8, 9, 12, 13, 14は現在運用中
- パターン4, 5, 10, 11は今後使用される可能性あり
- パターン15 - 20はテスト用



DFS要求条件の比較

- 提案された新しいレーダーパターン、および負荷条件は他の国や地域の要求と比較して厳しいものとなっている。
- サポートのためには実装の大幅な変更を必要とする。

Spec Metric	FCC	ETSI	Existing Japan Spec	New Japan Spec (W53)
				※W56は現行維持
Channel Loading (CL)	17%	30%	50% (Non-Chirp W53) 17% (Chirp long pulses W56)	50% (Non-Chirp) 50% (Chirp long pulses)
(PRF (max), PPB (min))	(5000,12)	(1600, 15) (4000, 20)	(700, 18) w/ 50% CL (5000, 12) w/ 17% CL	(1600, 10)
T1 (us) (Time interval between any 2 consecutive pulses)	150	250	1429 w /50% CL 150 w/ 17% CL	20
Max Pulse Width (us)	100	30	2.5 w/ 50% CL 100 w/ 17% CL	400

新しいレーダーパターンに対する考察

- 50%の高い負荷条件

- ETSIでは30 %
- FCCや日本のW56 では17 %
- 50 %の値は最大送信速度が54 MbpsのWLANを前提として決定した。

- 高いPRFと少ないPPBの組み合わせ

- 負荷状態では高いPRF値を要求する場合はPPBの値も多くする必要がある。
- ETSIの仕様では:
 - 最大のPRF 1600 は30 %の負荷で要求され、その時の最小のPPBは15である。
 - 最大のPRF 4000 は30 %の負荷で要求されるが、その時の最小のPPBは20となる。
- 提案されているパターンは最大のPRF が1600 で最小のPPB が10 を負荷状態50 %で要求されている。

PRF: Pulse Repetition Frequency, PPB: Pulse Per Burst

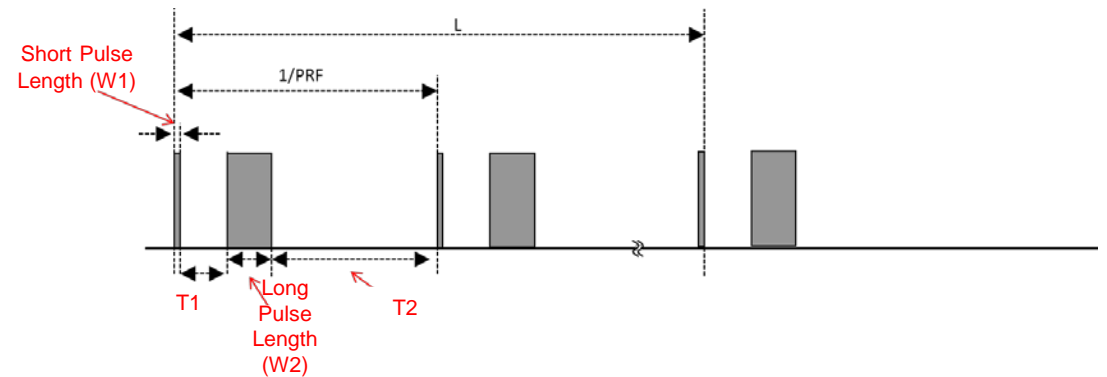
新しいレーダーパターンに対する考察(続き)

• 短いパルス間隔 (T1)

- 現在のところ、パルス間隔は150usより小さいものは求められていない。
- 新しいレーダーパターンの最小パルス間隔はロングパルスがある場合は20usとなっている。

• ロングパルス (W2)

- 100 usのパルスはFCCと日本だけで要求されているが、負荷率は17%である。
- ETSIの30%負荷率の場合は、30usである。
- 負荷率が高くなる場合は、パルス幅は狭くする必要があるが、新しい要求では400 usが50%の負荷率で求められる。



変更提案(1)

提案 #1: 負荷率、最大PRF、最小PPBの値

	WLAN Spec	Radar Spec		
	Channel Loading	max PRF (PPS)	min (PPB) W2=0	min (PPB) W2≠0
OPTION A	17%	1600	10	要検討
OPTION B	30%	1600	15	要検討
OPTION C	50%	700	18	要検討

- W2=0 ロングパルスがない場合
- W2≠0 ロングパルスがある場合

変更提案(2)

提案 #2: ロングパルスについて

- 同じバースト内では、ロングパルスの幅はショートパルスの幅より最低でも15 us以上大きくする。
($W2 - W1 \geq 15\text{us}$)
- ロングパルスの幅は100us以下とする。（運用中のパターン、運用予定のパターンを考慮しても問題ない）
- ショートパルスとロングパルスの間隔($T1$)は100 us以上とすることが望ましい。
- ロングパルスとショートパルスの間隔($T2$)も100 us以上とすることが望ましい。

