

21. VDLモード2とVHF ACARSの 通信性能比較

通信・航法・監視領域 北折 潤

目次

- はじめに
- VHF ACARS、VDL2の概要
- 通信メッセージ発生機構のモデル化
- プロトコルシミュレーション
 - シミュレーション条件
 - シミュレーション結果
- 考察
- まとめ



はじめに

- 航空通信システム

- 音声通信

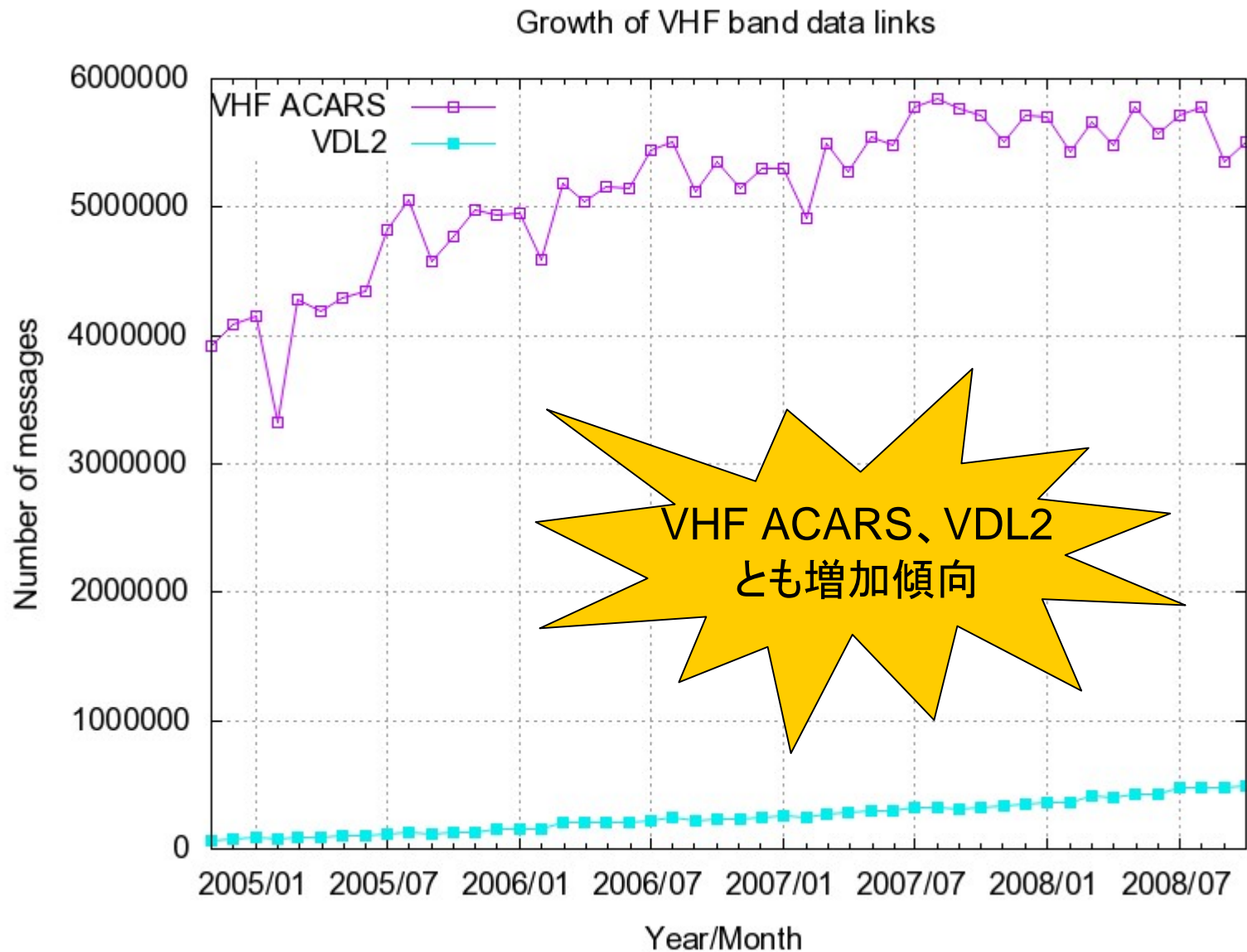
- VHF無線電話
 - HF無線電話
 - など

- データ通信(データリンク)

- VDLモード2
 - VHF ACARS
 - HFデータリンク(HFDL)
 - インマルサット/MTSAT(AMSS)
 - など

- VHF帯データリンク
- プロトコル原理が似通っている
- ACARSプロトコルに対応

VHF帯データリンクの需要



研究対象

- VHFデータリンク通信の需要は増加傾向
 - 通信システム上処理可能な限界点等を明らかにしたい
- 両システムとも実運用中
 - 過大負荷条件での性能測定は事実上不可能
 - 処理限界や両者の通信性能差等についての比較結果が得られていない
- **計算機シミュレーション**で解決できないか？
 - シミュレーションなら多数機下での通信状況を模擬できる
 - 異なる通信システムで通信条件を揃えられる



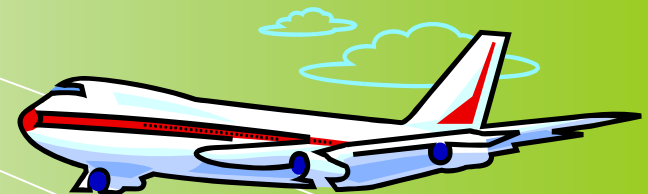
VHF ACARSの概要

- ARINCが開発した最も初期のデータリンク
- 伝送速度**2400bps**
- キャラクタ指向型パケット通信
- 幾つかのサービスプロバイダにて運用中
 - ARINC、SITA、アビコムジャパン
- ACARSプロトコルに対応
 - HFDL、AMSSにも使われている共通のプロトコル名
- ICAOの標準規格に制定されていない
 - ATS通信の一部の用途には適さない



VDLモード2(VDL2)の概要

- ICAOが標準化したVHF帯データリンクの1つ
- 伝送速度**31500bps**
- ビット指向型パケット通信
- 幾つかのサービスプロバイダにて運用中
 - ARINC、SITA、アビコムジャパン
- ACARSプロトコルにも対応
 - AOA: ACARS over AVL(Aviation VHF Link Control)
 - VHF ACARSの後継システムとして普及中
- ATNのリンクとして利用可能



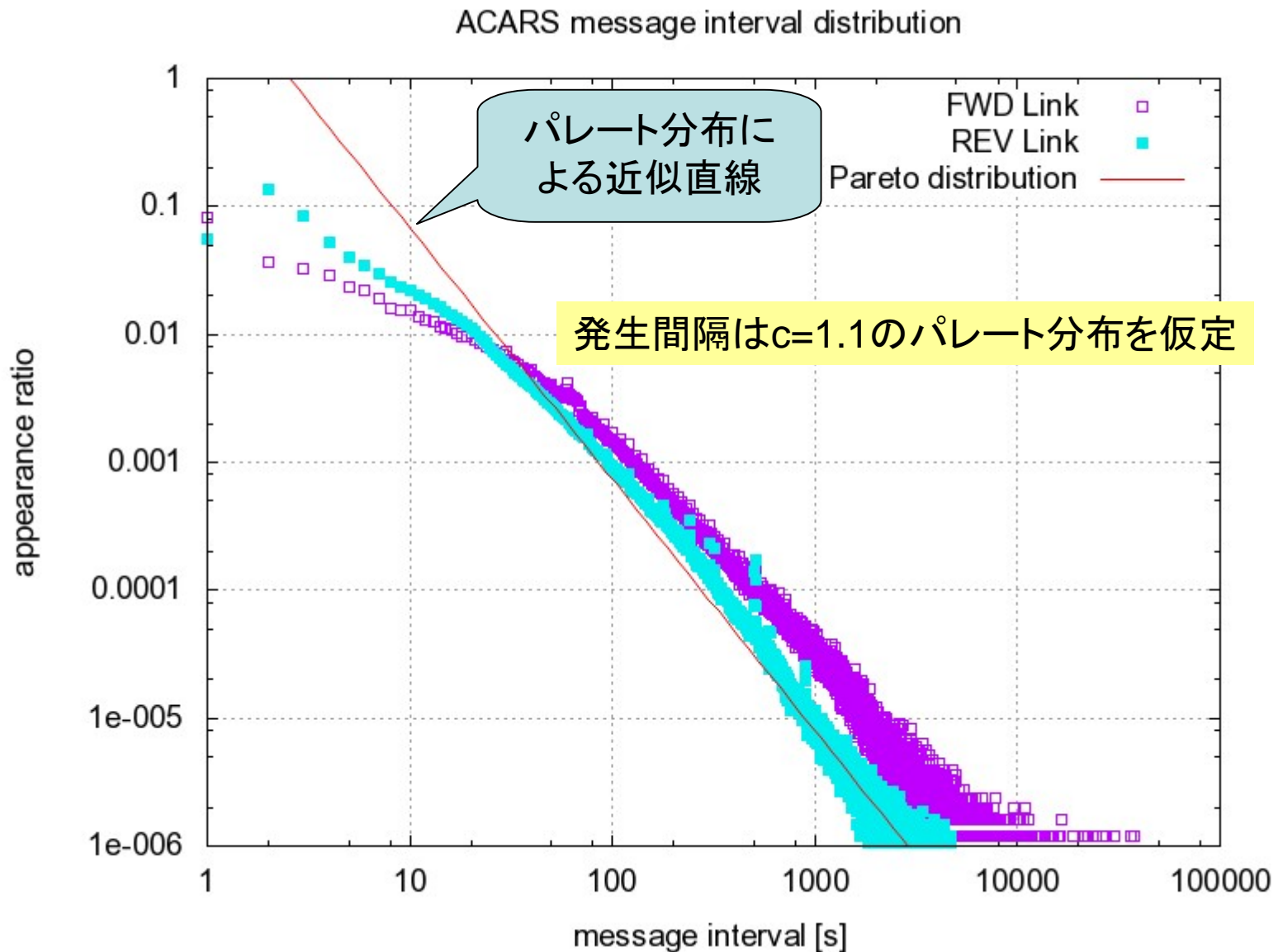
VHF ACARSとVDL2の主要諸元比較

システム名	VHF ACARS	VDL2
チャンネル間隔	25kHz	25kHz
電波形式	A2D	G1D
変調方式	AM-MSK	D8PSK
伝送速度	2400[bps]	31500[bps]
伝送情報単位	キャラクタ	ビット
誤り訂正機能	なし	あり
アクセス方式	Non persistent CSMA	p -persistent CSMA
対応情報	データ	データ
メッセージフレーム サイズ	220[バイト]	220[バイト] (AOA)
対応プロトコル	ACARS	ACARS(AOA), ATN

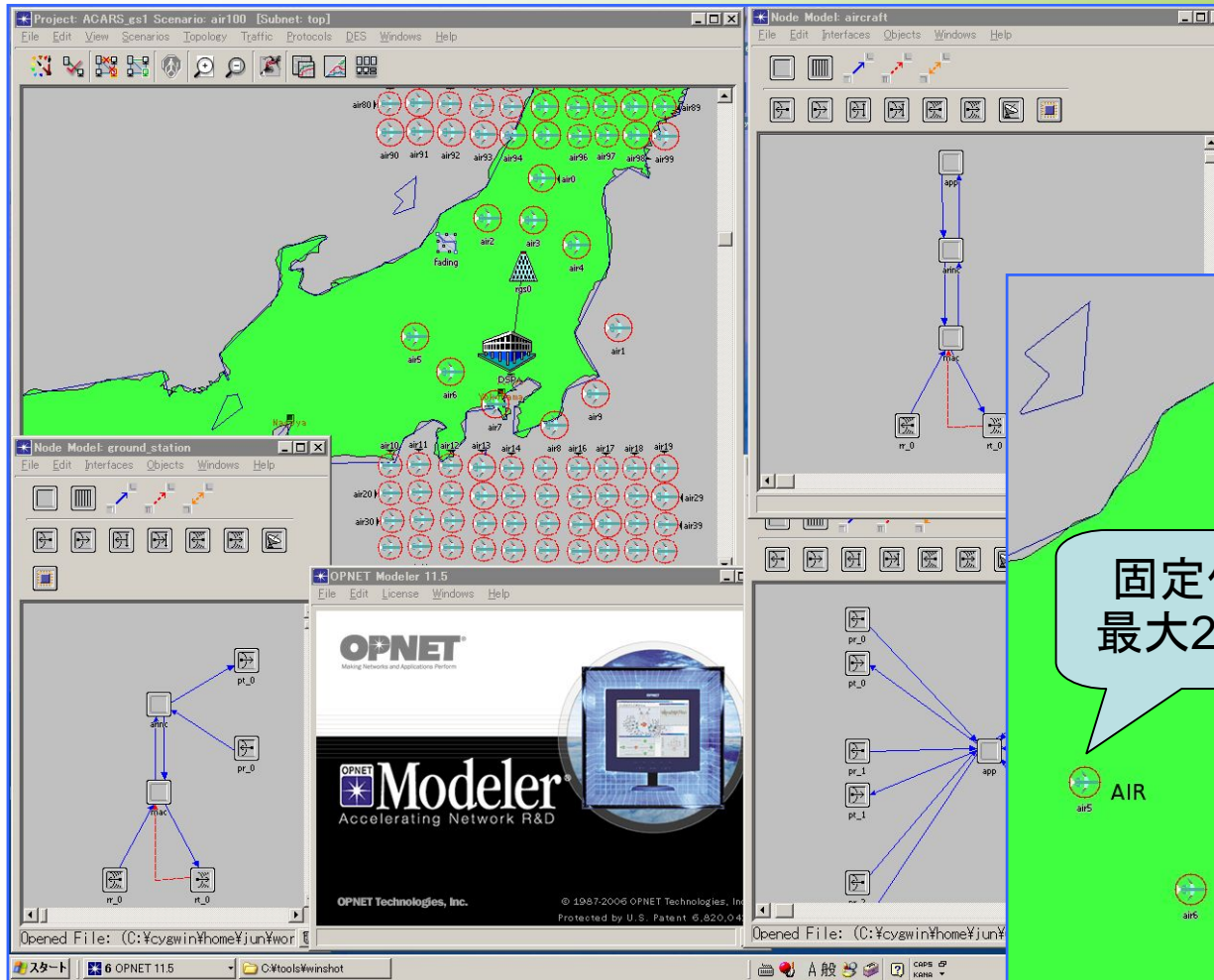
通信メッセージ長とメッセージ発生間隔分布

- 実際のVHF ACARS通信記録
 - 2006年8月～10月分
- VHF ACARSの通信メッセージ長
 - 660バイト超の発生は非常に少ない
 - 660バイト以下の発生分布に特徴的規則性なし
 - 簡易な分布として1～660バイトの範囲の**一様分布**を仮定
- メッセージ発生間隔分布
 - 指数分布よりベキ分布に近い→**パレート分布**を仮定
- VHF ACARS、VDL2両モデルとも、メッセージ発生機構として上記仮定を採用

VHF ACARSのメッセージ発生間隔分布



シミュレータとネットワーク構成



Windows XP上の
OPNET 11.5Aおよび
Visual Studio .NET
にて作成



OPNET GUI上のモデル表示例

シミュレーション主要設定パラメータ

シミュレーションパラメータ	設定値	備考
AIR 数	10~200	10 機刻み
RGS 数	1, 2, 3	
RGS タイプ	independent coordinate	DSP から各 RGS へ同時にスキッタ送出 DSP から各 RGS へ指定順にスキッタ送出
シミュレーション時間	20000 [s]	
RGS-DSP 間遅延時間	1 [s]	
AIR メッセージ長分布	uniform(1, 660)	1~660 バイトの範囲の一様分布に従う
AIR メッセージ発生間隔分布	pareto(a, 1.1)	確率密度関数 ca^c/x^{c+1} ($c=1.1$) のパレート分布に従う
DSP メッセージ長分布	uniform(1, 660)	1~660 バイトの範囲の一様分布に従う
DSP メッセージ発生間隔分布	pareto(g, 1.1)	確率密度関数 cg^c/x^{c+1} ($c=1.1$) のパレート分布に従う

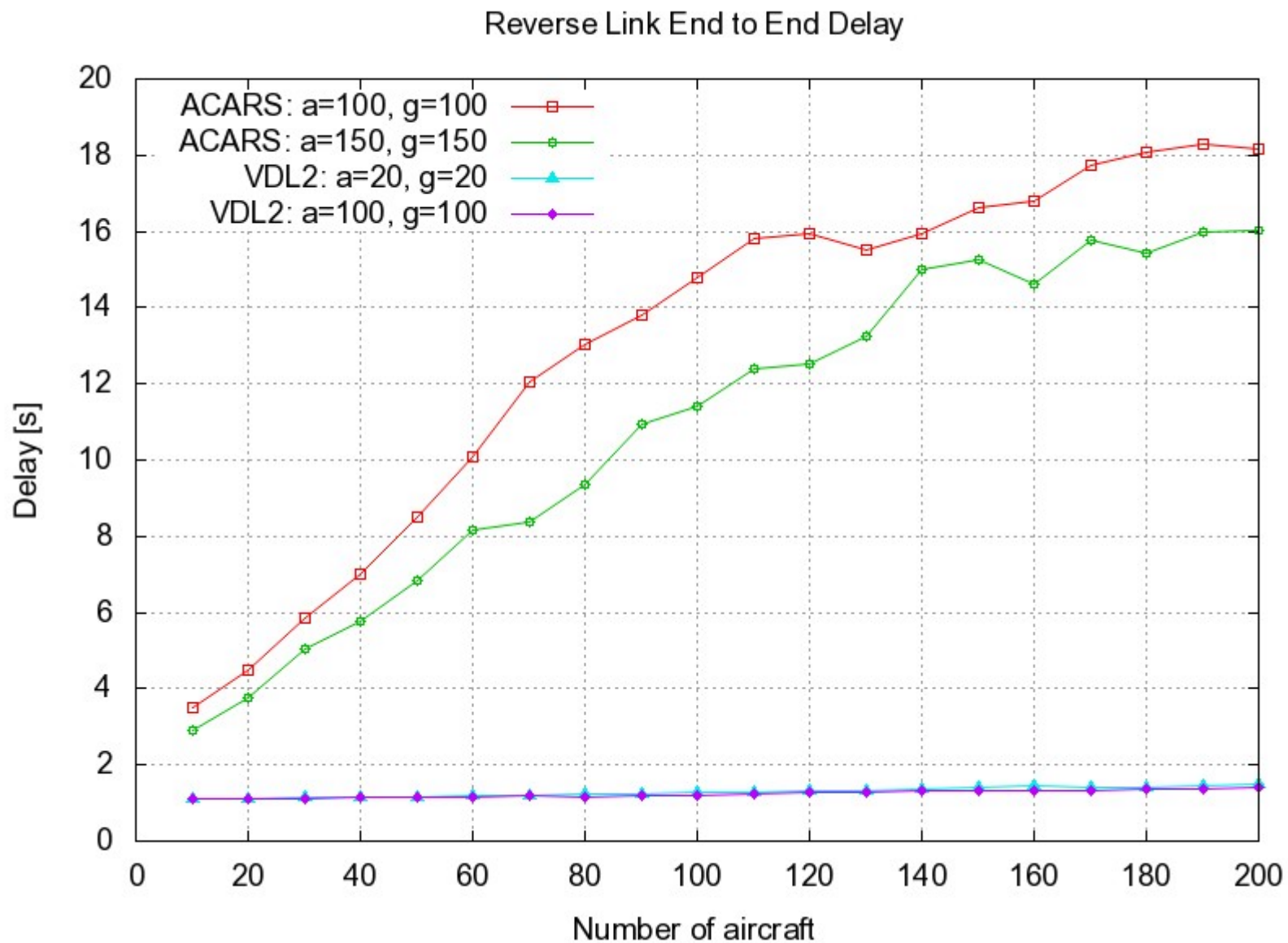
VHF ACARS、VDL2の両モデルともに、以下の条件とした

- 同じメッセージ発生機構を適用
- ACARSプロトコル(AOA)での比較
- ネットワークをDSP、RGS、AIRの要素で構成

本発表ではRGS数が1の場合について報告

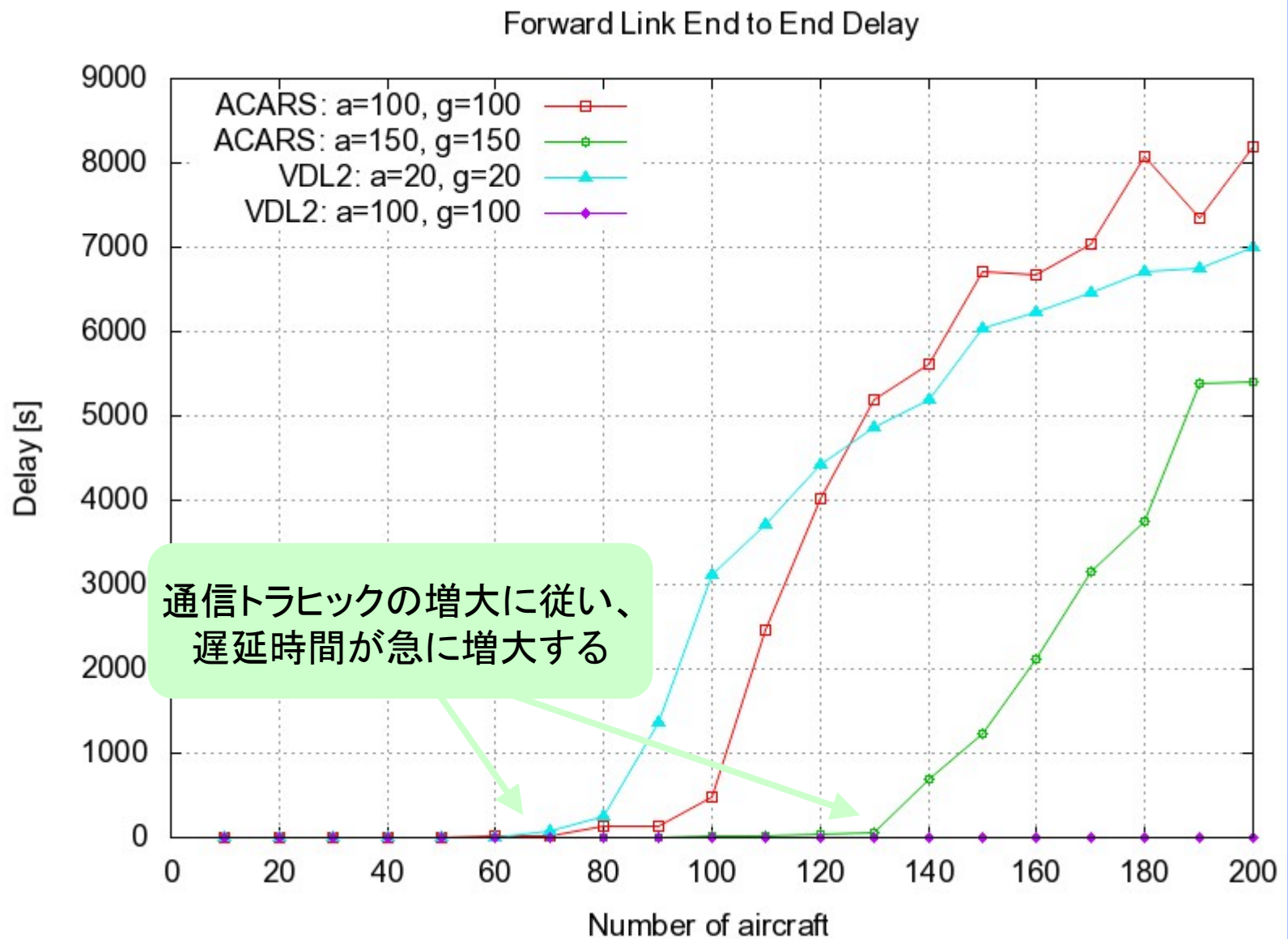
シミュレーション結果

リバーリンク伝送遅延特性



シミュレーション結果

フォワードリンク伝送遅延特性



伝送遅延時間による限界の平均発生間隔評価

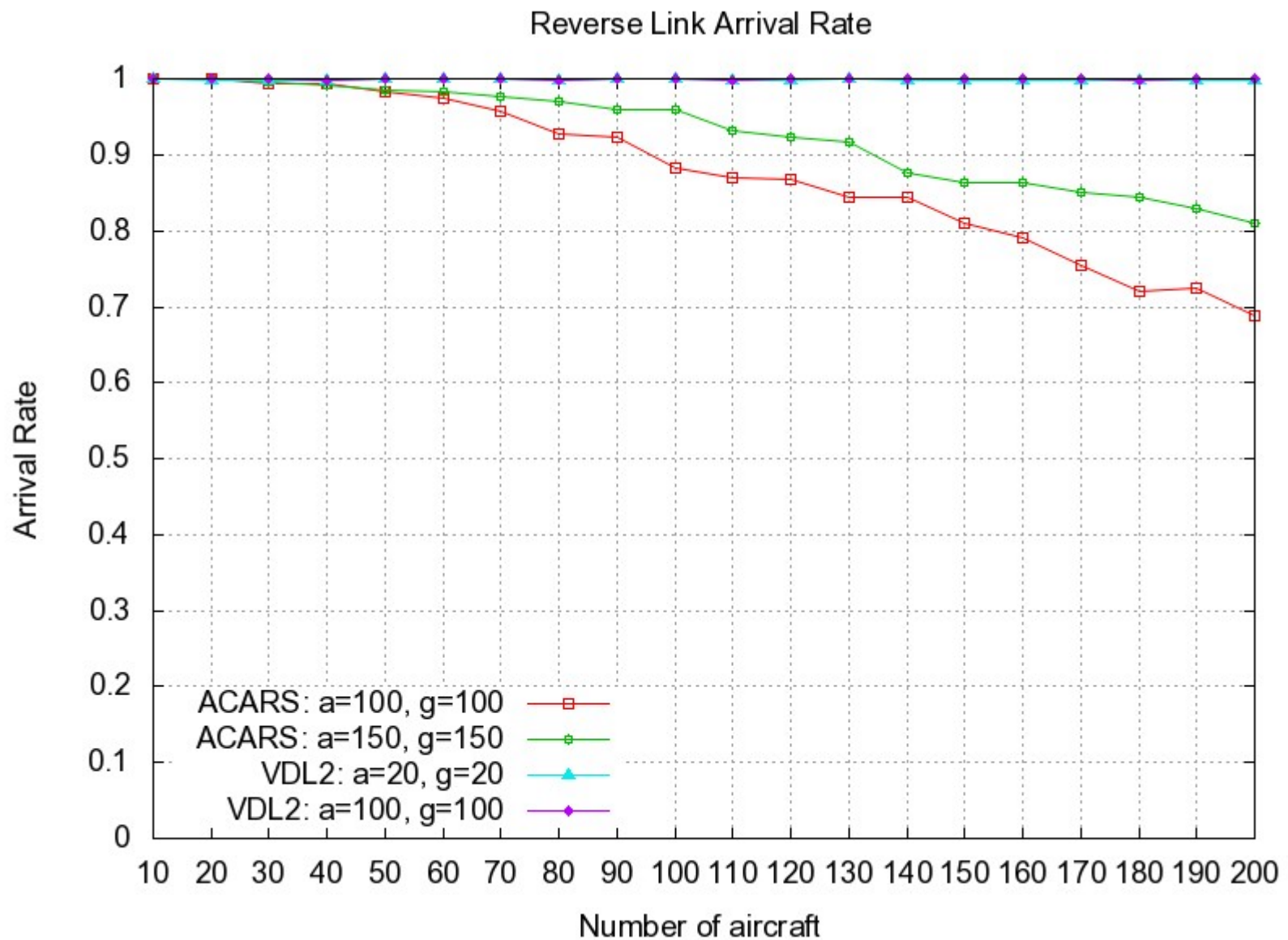
データリンク	g	$\#AIR_{max}$	$T_c[s]$
VHF ACARS 閾値: 80[s]	200.0	170	12.9
	150.0	130	<u>12.7</u>
	100.0	70	15.7
VDL2 閾値: 20[s]	20.0	60	3.67
	10.0	30	3.67
	7.62	30	2.79
	5.0	20	<u>2.75</u>

メッセージ
送信間隔パラメータ

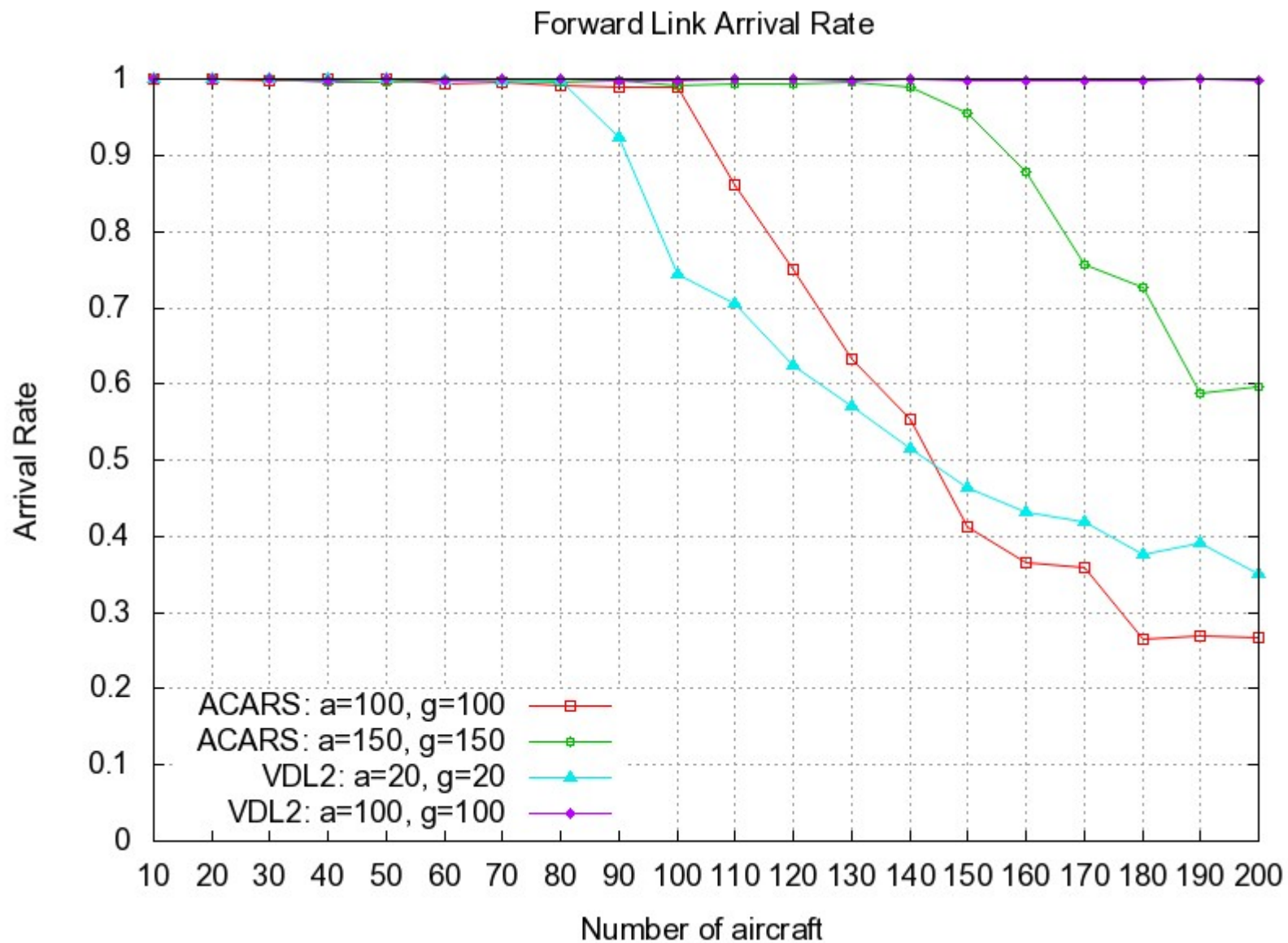
平均伝送遅延時間
が閾値未滿になる
最大の航空機数

ネットワークが許容
できる限界の平均
発生間隔

シミュレーション結果 リバースリンクメッセージ到着率



シミュレーション結果 フォワードリンクメッセージ到着率



メッセージ到着率による限界の平均発生間隔評価

データリンク	g	$\#AIR_{max}$	$T_c[s]$
VHF ACARS	150.0	140	11.8
	100.0	100	<u>11.0</u>
VDL2	20.0	80	2.75
	10.0	40	2.75
	7.62	30	2.79
	5.0	20	<u>2.75</u>

参考：最大スループット

	VHF ACARS	VDL2
フォワードリンク	900 [bps]	1800 [bps]
リバーリンク	850 [bps]	2000 [bps]

比較結果の考察

- VDL2はVHF ACARSに比べて4.0～4.6倍混雑した通信負荷に対応可能
- 伝送レートに比べて実効通信速度はかなり低い
 - VDL2のスループットは伝送レートの0.0635 倍
 - VHF ACARSは伝送レートの0.375倍
- 理由
 - フレームが短いVDL2の方がフレーム衝突確率小
 - フレーム単位で送信した後にACK応答を待つ必要あり
 - 次の送信開始までの時間が長いほど伝送効率が悪化
- 遅延時間の急激な増加→実質の通信容量限界
 - DSP側の送信待ち行列での情報滞留の影響

仮定 $g=5a$ での伝送遅延時間による評価

- 実際のVHF ACARSではリバーリンクのメッセージ送信はフォワードリンクの約**5.0倍**
 - AIR側のメッセージ発生率を高くできる
 - AIR側メッセージ到着率も大幅に改善

データリンク	g	$\#AIR_{\max}$	T_c [s]
VHF ACARS	500.0	160	<u>34.4</u>
	250.0	60	45.8
VDL2	50.0	120	4.6
	38.1	90	4.7
	25.0	70	<u>3.9</u>

まとめ

- VDL2およびVHF ACARSについてプロトコルシミュレータによる多数機環境下での通信性能を求めた
 - VDL2はVHF ACARSに比べて約**4.6倍**混雑した通信負荷を処理可能
 - 実際の通信トラフィック環境に近い条件下では、VDL2はVHF ACARS比で約**8.8倍**混雑した通信負荷を処理可能
- VHF ACARSもVDL2もここ暫くの間は世界的に運用され続ける見通し
 - 本研究結果は、今後のVDL2、VHF ACARSの運用・維持管理に役立つ

Special Thanks to Avicom JAPAN & JCAB

ご清聴
ありがとうございました