

統合型 Local Area Network :VD-FV

米田 健 市川 敬史 屋代 智之
岡田 謙一 松下 温
慶應義塾大学

トークンパッシングリング方式に基づいた統合型LAN:VD-FV (Variable length Data packet - Fixed length Voice packet method)を提案する。VD-FVにおいては、音声とデータはともに802.5LANと同様のパケット(MACフレーム)により伝送される。またデータ端末は音声通信の状況に応じて、伝送するパケット長を常に最適にしてデータ伝送を行う。したがって、VD-FVにおいては同報機能を持った音声通信を妨げることなく、効率のよいバーストデータ伝送が実現されている。トークン内に設けられた予約ビットを操作することにより、データ端末には公平な伝送機会が与えられている。

VD-FVを、データ通信に固定長パケットを用いた方式と比較した結果、我々の方式がバーストデータ伝送に対して優れた特性を持つことが示された。

An Integrated Service Local Area Network Using Variable Length Packet

Takeshi Yoneda Takafumi Ichikawa Tomoyuki Yashiro
Ken-ichi Okada Yutaka Matsushita
Keio University
3-14-1 Hiyoshi, Kouhoku-ku, Yokohama 223 JAPAN

VD-FV (Variable length Data packet - Fixed length Voice packet method) has been proposed. VD-FV is based on 802.5 token passing ring LAN. Voice and data traffic is transmitted by packets like MAC frames in 802.5 LAN. So voice is broadcasted as data is. In VD-FV, voice traffic is not interfered by data traffic and bursty data is transmitted effectively by means of variable length packet. Furthermore data stations have equal opportunity to transmit by managing reservation bit field in the token. By comparing VD-FV with the method in which fixed length packets are used for data transmission, it is showed that, by using variable length packet, VD-FV has excellent characteristics for bursty data transmission nevertheless voice traffic is not interfered.

1. はじめに

現在、音声データ統合型LANに関する研究が盛んに行われている^{[1]-[3]}。

音声とデータを統合的に扱う際には、両者の持つ基本的な性質を把握しなくてはならない。

音声は連続的なトラフィックであり、一定時間内に一定量のパケットを送信する必要がある。また、一度通信を始めると、その通信時間は比較的長い。音声通信はまた、ある程度のデータ誤りは許されるため、データの再送などは行う必要はない。

一方、データ通信においてはパケットの伝送遅延はある程度許される。しかしながらデータ伝送に関しては、データの誤りは絶対に許されず、信頼性の高い伝送を行う必要がある（データ誤りに対してはデータの再送が必要である）。

このうち、音声トラフィックは、実時間性を保つため回線交換を用いて通信を行い、データトラフィックは効率よくデータを伝送するためパケット交換機能を用いて通信を行っている^[4]。しかし、このような方法で通信を行う際、回線交換には同報機能がないため、音声通信に関して放送機能がサポートされていない。ところが、現在のテレビ会議システムのようなものでは音声通信に関しても放送機能がサポートされている必要がある。

このため、音声通信、データ通信ともに放送機能がサポートされたLANが必要とされている。そこで本研究では、パケット交換機能をもちいた音声データ統合型LANのアプローチの1つとしてトークンパッシングリングを用いたVDFV方式を提案する。トークンパッシングを方式のベースとして採用した理由は、パケットサイズに制限を設けるのが容易であり、これにより音声通信時における実時間性を保つことができるためである。

本方式では、音声通信の実時間性を確実に保証しており、またデータ通信に関しては、使用するパケットの大きさを音声通信を妨げない範囲内で最適長のものを使用している。これによりバーストデータを非常に効率よく伝送することができる。

本論文では、以下第2章においてVDFV方式

を提案し、第3章においてその性能評価を行い、第4章で結論を述べる。

2. 可変長パケット方式（VDFV方式）

(Variable length Data packet -
Fixed length Voice packet method)

本方式はトークンリング方式をベースにしている。トークンリング方式では、あるノードが通信を行う際に他のノードを必ずトークンが通過するため、他のノードがどのようなトラフィックを伝送しているのか、またどのような状態にあるのかを常に把握することができる。したがって本方式では、トークンリング方式のこの利点を利用した。

また、本方式は次の2つの項目に重点をおいて考えた。

- (1) データ伝送は、音声周期を妨げない範囲内においてできる限り大きなパケットを用い、伝送効率を向上させる
- (2) データノードのリング内の位置による伝送機会の差をなくし、公平な伝送機会をデータノードに与える

2.1 データ伝送におけるフレームサイズ決定法

データノードはトラフィックの状況を監視し、トラフィックの状況に応じて伝送を予定しているトラフィックのパケットサイズを適当な大きさに変化させ通信を行う。すなわち、バーストデータの伝送の際には、音声通信の周期性を妨げない範囲においてできるだけ大きなパケットを用いて伝送することができるようにする。これにより、本方式はバーストデータにも適した通信を行うことができる。

2.1.1 テーブル

データノードが通信を行う際、音声通信を妨げない範囲でパケットサイズを変化させることは前に述べた。このためデータノードがパケットサイズを決定するためには、各ノードはつぎにどの音声ノード

がパケットを送信するかを把握しておく必要がある。そこで以下に説明するテーブルを用意した。

本方式では、ノードにそれぞれテーブルを用意しておく。各ノードはリング内における諸ノードの通信状態を常に監視している。そこで、他のノードが音声パケットを送信したことを検知したならば、直ちにその時刻、及び送信したノードをテーブルに記録しておく（自ノードが音声パケットを送信する場合も同様の操作を行う）。

この場合、時刻は各ノード固有のものでよく、ノード間で同期を保つ必要はない。

各ノードは情報をテーブルに記録する際、テーブルの先頭(top)にあるデータを参照し、先頭のデータと新しく検知したデータのノードが異なっている場合には、新しいデータをテーブルの後ろに記録するという操作を行う。もし、先頭のデータと同じノードが音声パケットを通信した場合には、先頭にあるデータを消去し、かわりに新しいデータをテーブルの後ろに記録する。

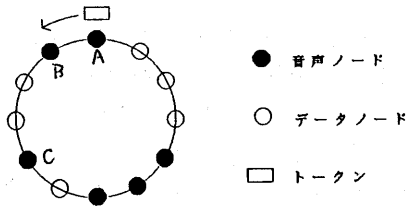
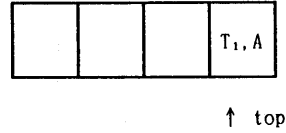


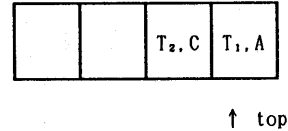
図2-1 リング構成

例として、図2-2にテーブルの状態を示す。図2-2にはノードBのテーブル状態が示してある。この場合時間的なずれは生ずるが、すべてのノードのテーブルも同じ状態になっている。この例では初期状態はリング上のどのノードも音声通信を行っていないものとしている。ノードは、伝送路上で音声パケットを検知すると、テーブルの先頭(top)にあるデータと比較を行い、同一ノードからの通信でなければテーブルの後ろにそのデータを検知した時刻、及び発信元のノード名を書き込む。したがって図2-2(a)では、テーブルが空なのでテーブルの先頭に時刻、ノード名を書き込んでいる。同様の操作を行

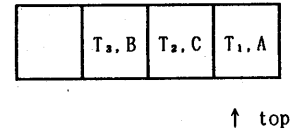
(a)ノードBがAの音声パケットを伝送路上で検知したときのテーブル状態



(b)ノードBがCの音声パケットを伝送路上で検知したときのテーブル状態



(c)ノードBが自ノードの音声パケットを送信したときのテーブル状態



(d)ノードBがノードAの音声パケットを再度伝送路上で検知したときのテーブル状態

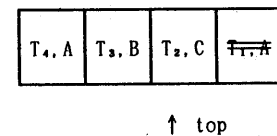


図2-2 ノードのテーブル状態

うと、図2-2(b)では、先ほどのデータの後ろにデータを追加することになる（発信元が異なるため）。図2-2(c)の様に、自ノードが通信を行う場合も同様である。図2-2(d)の様にテーブル内の先頭のデータと同じ発信元からの音声パケットを検知した場合は、topをつぎのデータに移動させ（先頭のデータ

を消去し) テーブルの後ろに新たなデータを書きかたす。

音声通信を行っているノードは、音声通信を終了する際には音声通信終了パケットを送信する。各ノードはこのパケットを伝送路上で検知したならば、topをつぎのデータに移動させる。このときテーブルの後ろにデータを書き加えないことにより音声通信を終了することができる。

このようにしてテーブルを管理することにより、つぎにどのノードが音声通信を行うかを容易に管理することができる。

また、このテーブルは、データノードだけでなく、音声ノードが通信を行う際にも参照する。音声ノードとしてアクティブなノードがフリートークンを得た場合、テーブルの先頭を参照し、自ノードが先頭のノードでなければ自ノードよりさきに通信すべき音声ノードが存在するためトークンをそのまま手放す。

テーブルの先頭が自ノードであった場合、トークンがリングを2周するだけの時間がある場合にはトークンを次のノードへ渡す(シングルトークン方式を用いた場合)。もしそれだけの時間がない場合には、そのままトークンを保持する。なぜならトークンパッシングリングでは通信を行うためにビジョートルークンがリングを1周する時間が必要なため、そのノードにトークンを渡し戻ってくるための1周と、通信のための1周の、あわせて2周が必要なためである(マルチトークンを用いた場合はリングを1周以上する時間があればトークンを渡してよい)。

2. 1. 2 最大パケット長

つぎに各データノードが、データ通信を行う際の、最大パケットサイズの決定法について述べる。

各ノードはフリートークンを得て通信を行う際、テーブルの先頭を参照し、現時刻と比較を行うことにより、どのノードにいつまでにトークンを渡せばよいのかを計算しパケットサイズを決定する。

今、仮にノードNが、時刻 T_1 にノードAの送出した音声パケットを検知したとする(ノードA以外に

音声ノードは存在していないものとする)。そして、フリートークンがNに回ってきた時刻を T_2 、ノードNがトークンを最大限保持してられる時刻を T_3 とすると(図2-3)、ノードNが送信できる最大のパケットサイズ P (bits)は、 T_c を音声(周期データ)の周期、 r を伝送容量(bits/s)、 d をトークンがリングを1周する時間として、次のようにして求められる。

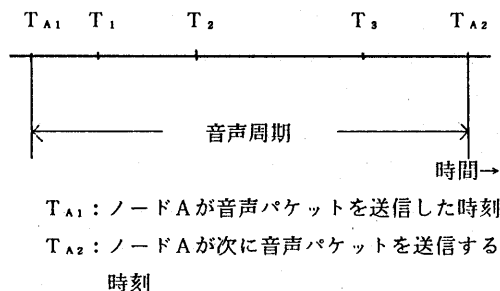


図2-3 ノードNのタイミングチャート

ノードAが音声パケットを送信してからノードNがそのパケットを検知するまでの時間($T_1 - T_{A1}$)と、ノードNからノードAまでトークンを渡すのに最低かかる時間($T_{A2} - T_3$)の和は、ちょうどトークンがリングを1周するのに必要な時間(d)と等しくなるため次の式が成り立つ。

$$T_c \geq d + (T_2 - T_1) + (T_3 - T_2)$$

ノードNは($T_3 - T_2$)の間だけトークンを使えるので、($T_3 - T_2$)と伝送容量の積が使用できる最大限のパケットサイズになる(注: トークンパッシングリングでは通信するために必ずビジョートルークンを1周させるため、 $T_3 - T_2 \geq d$ でなければならない)。したがって、

$$T_c \geq d + (T_2 - T_1) + \frac{P}{r}$$

が成立し

$$P \leq r (T_0 - d - (T_2 - T_1)) \quad (\text{bits})$$

よりパケットサイズが求められる。また、 d は次のようにして与えられる。

$$d = \text{各ノードでの処理時間 (一定)} \times \text{ノード数} \\ + \frac{\text{伝送路の長さ}}{\text{信号伝播速度}}$$

d は、システムの設定により固有の値を持っている。したがってシステムにより、信号伝播速度、周期データの周期、トークンがリングを1周するのに必要な時間などは既知であるから、各ノードは音声パケットを検知した時刻 T_1 、および現在時刻（フリートークンを得た時刻） T_2 より、パケットサイズ P が計算できる。

2. 2 音声ノード専用予約ビット

音声通信では、実際にデータを伝送する必要があるのは、音声を発生している区間（有音区間）である。しかし、会話音声中には、息継ぎや相手の話を聞いているときなど実際には音声サンプルを送信する必要のない部分がある（無音区間）。本方式では音声に優先権を与えるため、無音区間では通信を行わないものとした。ただし、この場合、無音区間から再び有音区間に移り変わる際、一定時間内にトークンを受け取れる保証をしなければ、音質の低下につながる。

そこでトークン内に、音声ノードのみがたてることのできる音声ノード専用予約ビットを設けた。

この音声ノード専用予約ビットは、音声ノードとしてアクティブであるノードが無音区間から有音区間に移り変わるとき、一定時間内にトークンを必要とするため、このノードをトークンが通過したときにトークン内の音声ノード専用予約ビットをONにする（この場合通過するトークンはフリーでなくても構わない）。

各ノードは音声ノード専用予約ビットがONになったフリートークンを獲得した場合、音声パケット

をすぐに出す必要のあるノードをのぞいて、通信を行わずにトークンを次のノードに渡す。音声ノード専用予約ビットをたてたノードは音声パケットの送信終了後、このビットをOFFにして次のノードにトークンを渡す。

この音声ノード専用予約ビットにより音声ノードは音声通信を一定時間内に再開できることが保証される。

2. 3 データノードの公平な伝送権の獲得

今、図2-5の様な状態を考える。

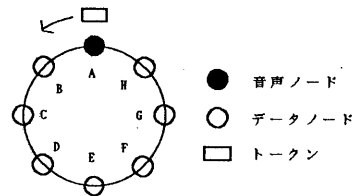


図2-5 リング構成

図2-5の様に音声ノードとしてノードAのみがアクティブであったとすると、その他のノードはノードAのことのみを考えてパケットサイズを決定する。そのため、ノードBがバーストデータを保有していた場合、ノードC以降のノードはパケットサイズが制限されたり、通信時間がなくなり通信ができなくなることが起こる。いいかえればノードの配置によってプライオリティが生じるという問題が生ずる。

この問題は、各ノードが送出するパケットサイズに上限を設けることにより、多くのノードが通信できるようにすることでも解決できる。しかし、パケットサイズの上限を設けてしまうと、バーストデータの伝送に大きなサイズのパケットを使用できなくなってしまい、本方式による利点が少なくなってしまう。

そこで、本方式ではトークン内に予約ビットを設ける。各ノードがフリートークンを獲得したにも関

ならず、後に通信を行う音声ノードのことを考慮することにより通信を行えないような場合、ノードはこの予約ビットをONにする。予約ビットがONになったフリートークンを受け取ったノードは、音声通信中で次にパケットを送出する必要のあるノードでない限り通信を行わず、そのまま次のノードにフリートークンを渡す。この様にして、予約ビットをONにしたノードにフリートークンが回ってきたならば、前述の方法でパケットサイズを決定して通信を行い、通信終了後予約ビットをOFFにしてトークンを次のノードに渡す。

以上により、リング内のノードの配置によるプライオリティに関する問題を解消することができる。もちろんリング内をトークンが空回りすることによるスループットの低下が考えられるが、リングの大きさの限られた狭域のLANではこの影響は少ないと予想される。

3. 性能評価

可変長パケット方式は、音声通信の周期性を保ちつつ、バーストデータ通信にも適した方式である。そこでバーストデータにいかにかに適した通信方法であるかを評価するため、固定長パケットを用いたトークンパッシング方式（FD-FV方式）との比較を行った。

以下にその方式を簡単に述べ、可変長パケット方式の評価を行う。

3.1 FD-FV方式

(Fixed length Data packet
- Fixed length Voice packet method)

FD-FV方式はトークンリングをベースとし、すべてのノードが一定時間内にトークンを獲得できるように、パケットサイズを制限した方式である。

いま、ノード数 n のリングを考え、音声ノードは T_c 秒毎に一定量のサンプルを発生するとする。この場合、音声ノードは常に T_c 秒毎にトークンを獲得できれば音声の周期性を保つことができる。そのため

には、音声通信を行うノード以外の各ノードが最大限トークンを使用していられる時間 T_m を制限すればよい。今、音声パケット通信にかかる時間を T_v 、ノード内遅延と伝送遅延の和を d として、次式が成立すればトークンを T_c 毎に確実に獲得できる。

$$T_c \geq T_v + T_m \times (n - 1) + d \times n$$

より

$$T_m \leq \frac{T_c - T_v - d \times n}{n - 1}$$

が成立する時間 T_m の間に通信を行えるパケットサイズを最大パケット長とすれば、音声通信の周期性を保った通信ができる。

3.2 可変長パケット方式の評価

3.2.1 シミュレーションにおける設定

シミュレーションにおける設定は以下の通りである。

- ・伝送容量：100Mbps/sec
32Mbps/sec
- ・ケーブル長：10km 5km 2.5km
- ・信号伝播速度： 2×10^8 m/sec
- ・音声ノード数：32ノード 16ノード
- ・データノード数：224ノード 240ノード
- ・最大パケット長：8192bytes
- ・トークンサイズ：3bytes
- ・ノード内遅延：40ns(100M)
125ns(32M)
- ・音声周期：10ms
- ・音声情報量：32kbps/sec
- ・音声パケット長：52bytes
- ・平均有音時間：1.360sec
- ・平均無音時間：1.802sec
- ・メッセージ長：短電文=平均長128bytes
長電文=平均長32000bytes
- ・データノード内での処理方式：制限式

上記の設定において、伝送容量、ケーブル長、全ノード数(256ノード)のうちの音声ノードの数、を変化させ本方式の検討を行った。

3. 2. 2 可変長パケット方式の評価

図3-1から図3-4に、可変長パケット方式によるデータノードのスループット-ディレイ特性を示す。図3-1は、リングサイズ毎の特性を示したもので、図3-2は、音声ノード数を変化させたもの、図3-3と図3-4は、VD-FV方式とFD-FV方式のショートデータ、バーストデータに対する特性を示したものである。

なお、可変長のパケットを採用しているので、各図のディレイは1パケットの値ではなく、発生するメッセージ単位の値とした。また、発生するメッセージ長としては、平均128バイトの短電文と平均32000バイトのバーストデータが、短電文：バーストデータ=7：3の頻度で発生するモデルでシミュレーションを行った。音声ノードについては、シミュレーションを簡単にするために、すべてのノードが通話中であり、それぞれ平均1.360秒の有音区間、1.802秒の無音区間を繰り返すこととした。

まず本方式の特性として、図3-1よりわかるように伝送路が長くなると、トークン受け渡しにかかる時間が増大するためトークンを空回りさせることによるオーバーヘッドが増加し、効率が低下することがわかる。

また、図3-2は音声ノード数16ノード、音声ノード数32ノードの比較結果であるが、この結果から本方式は通話中の音声ノードが増加するにしたがって、その伝送効率が低下することがわかる。これは本方式では音声通信に優先権を与えているため、通話中の音声ノードが増加すると音声通信の品質を保持するためにデータノードが送信を行わずトークンを次のノードに受け渡す頻度が増加するためデータノードのスループットが低下するからだと考えられる。

つぎに、本方式の目的の一つであるバーストデータ通信に関する性能を検討する。図3-3と図3-

4を比較してみると、VD-FV方式において短電文の伝送効率はミニパケットを用いた通信(FD-FV方式)の伝送効率とほとんど同じ性能を示すのに対し、バーストデータ通信においてはミニパケットを用いた通信と比べて非常に優れた結果を得ることができた。

以上のような結果から可変長パケット方式は次のような特徴を持つことが確認された。

- ①音声通信を確実に保証する方式である。
- ②バーストデータ伝送の頻度が大きくなるほどミニパケットを用いた通信に比べて非常に高い効率で通信を行える。
- ③規模の小さなLANになるほど、そのパフォーマンスがよくなる傾向にある。

4. 結論

本研究において我々はVD-FV方式を提案した。本方式は、音声通信の実時間性を確実に保証しつつ、可変長のパケットを用いることによりバーストデータに適した通信をおこなえる方式である。またデータ通信に関してはリング上の位置による有利、不利を解消した。

参考文献

- [1] 米田、市川、屋代：“最適長パケットを利用した統合ネットワーク”，情報処理学会 マルチメディア通信と分散処理，平成2年5月。
- [2] 大西 廣一，安田 新一：“分散型多元情報処理技術の動向—統合型広帯域通信網”，電気・情報関連学会連合大会，平成元年。
- [3] 清水 洋：“分散型多元情報処理技術の動向—統合型LAN”，電気・情報関連学会連合大会 平成元年。
- [4] FXNET:a Backbone Ring for Voice and Data, IEEE Communications Magazine, 24, 12 (Dec. 1986), 23-28

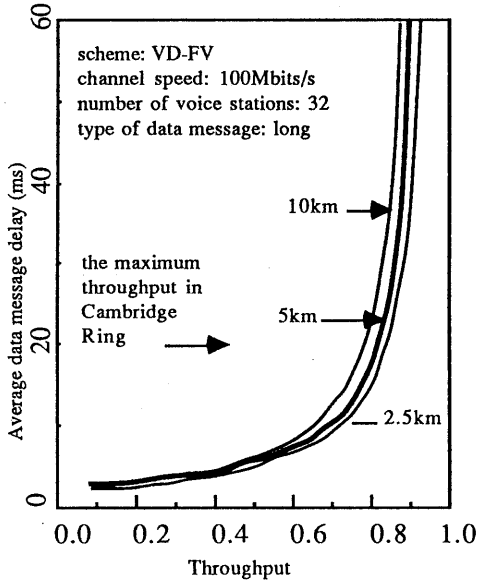


Fig. 3-1 Average long data message delay vs. Throughput

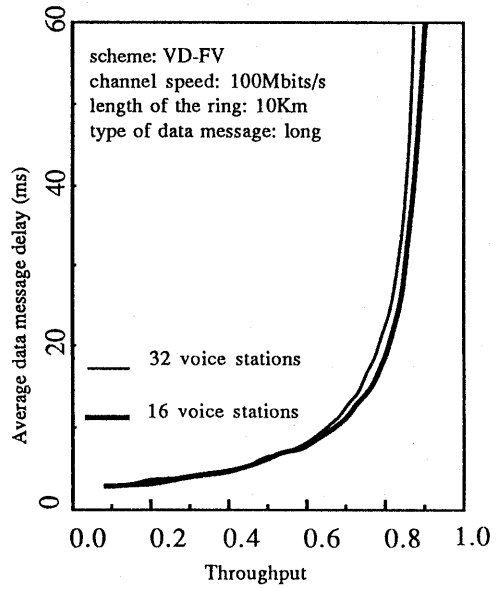


Fig. 3-2 Average long data message delay vs. Throughput

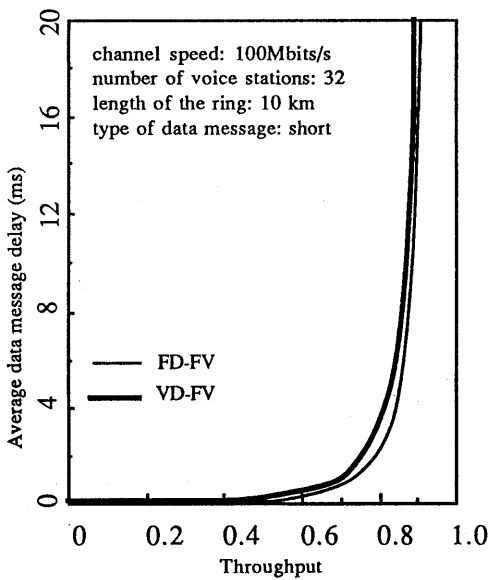


Fig.3-3 Average short data message delay vs. throughput for VD-FV and FD-FV

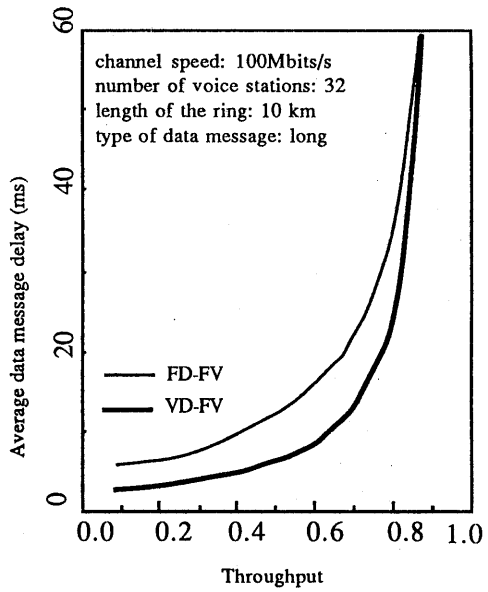


Fig. 3-4 Average long data message delay vs. throughput for VD-FV and FD-FV