

トークン保持時間可変方式によるタイムクリティカル通信プロトコルの提案と評価

厚井 裕司[†] 井手口 哲夫[†] 藤井 照子[†]
渡邊 晃[†] 矢部 正行[†] 白鳥 則郎^{††}

プラント制御やFAといった制御通信分野においては高速性だけでなく指定された時間(タイムウィンドウ)内にデータを転送すること(タイムクリティカル性)が要求される。従来FDDIなどで用いられているTimed Token Protocolでは、入力トラフィックが過剰に増大した場合などにはタイムクリティカル性を保証できなかった。この問題を解決するため筆者らは以前、このTimed Token Protocolを改良したタイムクリティカル通信プロトコル(TCCP)を提案した。今回、特定ノードに高負荷が発生した場合のタイムクリティカル通信性能を向上させるため、各ノードのトークン保持時間を送信トラフィックに応じてダイナミックに制御できるタイムクリティカル通信プロトコルを提案する。本論文では、提案プロトコルの記述を与えるとともに、性能特性を明らかにするため各種条件でシミュレーションを実施し、その有効性を確認する。

Proposal and Evaluation of Time Critical Communication Protocol with Variable Token Holding Time

YUJI KOUJI,[†] TETSUO IDEGUCHI,[†] TERUKO FUJII,[†]
AKIRA WATANABE,[†] MASAYUKI YABE[†] and NORIO SIRATORI^{††}

In control communications such as industrial plant control and FA (Factory Automation), it is required not only high speed communication but also completion of data transmission within a specified time (time criticality). Timed Token Protocol which is used by FDDI (Fiber Distributed Data Interface) and so on, can not guarantee time criticality when a network is overloaded. To solve it, we proposed Time Critical Communication Protocol. In this paper, we introduce a modification to its protocol which dynamically controls a token holding time according to data traffic. This paper describes Time Critical Communication Protocol with variable Token Holding Time, and evaluates its efficiency by simulations under various conditions.

1. ま え が き

高度情報化社会の成長にともない分散システムの構築が進む中、情報通信ネットワークの重要性はますます高まっている。特に、マルチメディア情報を扱う各種の応用システムの構築が行われ、情報通信ネットワークに対して高速性と低遅延性が要求されている。

一方、プラント制御やファクトリオートメーション

(FA)などの制御用通信の分野においては、データの高速度転送に加えて、制御機器に対して指定した時間内に通信を完了し、制御動作の実行を保証することが要求されている。この「指定した時間内に通信またはトランザクションを完了する」特性は、タイムクリティカル性と呼ばれ、その機能を提供する通信をタイムクリティカル通信(Time Critical Communication)¹⁾と呼ぶ。さらに、このタイムクリティカル通信においてアプリケーションから指定される時間をタイムウィンドウと呼び、これによって定量的にタイムクリティカル性を表現できる。

従来、制御用通信に用いられているFDDIなど^{2),3)}のMAC(Media Access Control)層プロトコルであるTimed Token Protocol(以降、TTP)では、同期

[†] 三菱電機株式会社情報技術総合研究所
Information Technology R&D Center, Mitsubishi Electric Corp.

^{††} 東北大学電気通信研究所
Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University

と非同期という2種類のデータを扱い、優先度の高いものを同期データとして転送する。このTTPでは、タイムウィンドウ値を保証する機能がないため、アプリケーションが想定している時間の上限を超えた同期データの転送が発生した場合は、タイムクリティカル性の保証はできなかった^{4)~10)}。

したがって、従来の制御用通信ではあらかじめ設計段階においてアプリケーションを含めたネットワークのトラフィックなどの条件を明確にし、時間的な要件についてシステムごとに対応する必要があった。そのため、システムの柔軟性や拡張性に問題があった。

このような課題の解決に向けてISO TC184（産業オートメーション：システムインテグレーション）では、タイムクリティカル通信アーキテクチャ（Time Critical Communication Architecture, TCCA）とそのシステム要件を明らかにしている¹⁾。

このようなタイムクリティカル通信に対する課題を解決するために、筆者らは指定されたタイムウィンドウを超えるデータの送信を抑制するメカニズムをFDDIなどに使用されているTTPに導入した¹¹⁾。

本論文では、タイムウィンドウを超えるデータの送信を抑制し、さらに特定のノードに発生する高トラフィックの送信要求に対応できる方式としてTTPの同期データ転送に対するトークン保持時間を可変とするタイムクリティカル通信プロトコルを提案する。

以下、2章でタイムクリティカル通信の基本的な考え方と従来のプロトコルにおける課題について述べ、3章ではこれらの課題を解決するためのタイムクリティカル通信プロトコルを提案する。4章において提案するトークン保持時間可変方式によるタイムクリティカル通信プロトコルの通信特性をシミュレーション結果に基づき評価を行い、その有効性を示す。

2. タイムクリティカル通信

2.1 タイムクリティカル通信モデル

ISO/TC184が定義したタイムクリティカル通信アーキテクチャのアプリケーションモデルを図1に示す。この図において、タイムクリティカル通信エンティティ（Time Critical Communication Entity, TCCE）は、OSI基本参照モデルのアプリケーション層に位置するエンティティで、下位層のサービスを用いてタイムクリティカル通信機能をアプリケーションに提供する。

タイムクリティカル通信機能の基本は、アプリケーションから受け取ったデータを指定されたタイムウィンドウ（Time Window, TW）の時間内に転送するというタイムクリティカル性にある。このタイムウィン

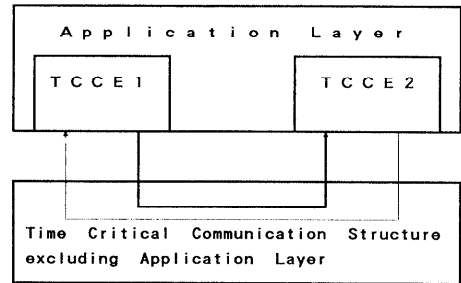


図1 TCCAアプリケーションモデル
Fig.1 TCCA application model.

ドウは、「アプリケーションに依存し、開始時刻と要求時間、または開始時刻と終了時刻によって定まる時間間隔。時間の精度はインプリメントに依存する」として定義され、次の3種類がある。

- (1) TW-W：データ転送を要求したTCCEからそのデータを受信するTCCEまでのデータ転送に要する時間への制約を表すタイムウィンドウ。
- (2) TW-R：データ転送を要求したTCCEがそのデータを受信したTCCEより応答を受けるまでに要する時間への制約を表すタイムウィンドウ。
- (3) TW-T：一連のデータ転送から成るタイムクリティカル通信トランザクションに要する時間への制約を表すタイムウィンドウ。

一方、トークン方式のLANはCSMA/CD方式のものとは異なり、フレームが衝突せずにトークン巡回間隔が保証されているため、リアルタイム伝送に適していることが実証されている。特にTTPでは、各ノードで同期クラスと非同期クラスの2種類のデータ転送クラスを規定しており、優先度の高いデータを同期クラスで転送する手段を提供している。

この同期クラスはトークン保持時間を保証しており、トークンが到着したら必ずある一定時間送信することが許されている。各ノードはトークンの1周時間を監視しており、LAN初期化時に設定されるTTRTよりも前にトークンを捕獲した場合に同期データを次に非同期データを転送する。また、TTRT後にトークンを捕獲した場合には、同期データのみを転送する。

同期クラスのトークン保持時間は、全ノードの合計がTTRTになるように各ノードに対して割り当てられるが、ここではこの値を便宜上、目標トークン保持時間（Target Token Holding Time, TTHT）としている。

TTPではリアルタイム転送の要求に応じて、各ノードが転送する同期データを増減できるようにTTHTを調整する機能をステーション管理機能¹⁶⁾として規定

している。この機能は LAN の帯域を固定的にノードに割り当てるものであり、トラヒックの負荷に応じて刻々とダイナミックに変更するものではない。

本論文では、LAN を利用して、最も基本的な TW-W がシステムにおいて一義的に決定されるデータ転送を行う場合、これを保証するタイムクリティカル通信プロトコルを実現するための方式として、従来の TTP の TTHT を目標トークン巡回時間 (Target Token Rotation Time, TTRT) の 2 倍まで可変とし、特定ノードに送信要求のトラヒックが集中した場合でもシステムとして対応できる制御メカニズムを議論するものである。

2.2 タイムクリティカル通信プロトコルの課題

ここでは、ISO の標準となっている TTP のタイムクリティカル性に関する問題点を改善するために、すでに提案したタイムクリティカル通信プロトコル (TCCP)¹¹⁾ について考える。

この TCCP では時間的制約の強いタイムクリティカルデータ (TC データ) と、それ以外の非タイムクリティカルデータ (NTC データ) の 2 種類のデータを TTP の同期データと非同期データに対応づけて扱うことができる。トークンが 1 周する間に TC データの転送に必要となる時間をあらかじめ各 LAN ノードに TTHT として割り当てる。この TTHT と LAN ノード数から求まる TTRT より NTC データの転送量を定められる範囲内に抑えることで、トークンが 1 巡する時間を保証している。実際、各ノードごとの TTHT とトークン巡回などのオーバーヘッドの合計が TTRT を超えないという仮定のもとで、トークン巡回間隔の上限が $2 \times \text{TTRT}$ になることが証明されている⁵⁾。

また、TCCP は宛先ノードまでの転送時間を推定し、指定されたタイムウィンドウを超えると予想される TC データを自動的に廃棄し、無駄なトラヒックの発生を抑制することによってタイムクリティカル通信の基本要件を満たしている。しかしながら、タイムクリティカル通信のシステム要件を考慮すると、TCCP には次のような課題が残されている。

TTHT や TTRT は LAN 初期化時に設定されるため、TC データのトラヒックが動的に変動したり、トラヒックパターンがあらかじめ予測できない場合には、アプリケーションから指定されたタイムウィンドウ以内に転送できる割合が低下する。特に、各ノードに平均的に TC データの送信要求が発生する場合に加えて、特定の制御系を分担するノードに TC データの送信要求が一時的に集中した場合においても対応できるタイムクリティカル通信メカニズムが重要となっている。

3. タイムクリティカル通信プロトコルの提案

3.1 基本設計方針

2 章で述べた課題を解決するため、次のような基本設計方針を設定する。

(1) ダイナミックなトラヒック特性への対応

従来の TTP や TCCP において各ノードに固定的に割り当てられている TTHT の制限を取り除き、かつ従来の TTP や TCCP が保証しているトークン巡回間隔の上限値 (2 倍の TTRT) の要件を堅持する条件で TC データの送信時間を 2 倍の TTRT まで可変とし、ダイナミックなトラヒック負荷に対する送信制御を行う。

すなわち、各ノードは、前回トークンを受理した時刻から次にトークンを受理した場合、TC データの送信要求があれば従来の TTRT 時間に加えてさらに TTRT 時間 (2 倍の TTRT) 経過までトークンを保持できるものとする。

以上のような方式を採用することにより、特定ノードに TC データの送信要求が集中した場合においても柔軟な対応が可能となる。

(2) タイムウィンドウ超過データの検出

既提案の TCCP と同様、タイムウィンドウを超える TC データに対して次のような送信抑制メカニズムを採用する。

各ノードは、送信要求待ちとして発生している各 TC データのタイムウィンドウ値を定期的に調べ、タイムウィンドウを超える TC データを廃棄し、アプリケーションにその旨を通知する。

3.2 通信モデル

ここで提案するプロトコルをトークン保持時間可変方式のタイムクリティカル通信プロトコル (Time Critical Communication Protocol with Variable TTHT, 以降 TCCP/VH) と呼ぶ。

この TCCP/VH は、LAN の MAC 副層において MAC エンティティによって実行され、この MAC エンティティと高位に位置する TCCE の間で、タイムウィンドウなどタイムクリティカル通信特有のパラメータを受け渡す必要がある。これらのパラメータを含むように ISO の MAC 副層サービスを拡張したプリミティブ/パラメータ例を表 1 に示す。また、表 1 の MAC サービスプリミティブに対応したプリミティブシーケンス例を図 2 に示す。

TCCP/VH を実行する各ノードは、トークンバッティング伝送方式に基づく LAN に接続され、TCCE と MAC エンティティ間に次のキューを持ち、その通信

表1 タイムクリティカル通信対応 MAC サービスプリミティブ
Table 1 MAC service primitives of time critical communication.

サービス	プリミティブ	パラメータ
データ転送	MA-UNITDATA. request MA-UNITDATA. indication	宛先アドレス, 発信元アドレス, TC 指定, タイムウィンドウ, 利用者データ, 他
タイムクリティカルデータ送信確認	MA-TC-UNITDATA. indication	TC 送信結果

(注) TCCP/VH において追加したプリミティブ/パラメータには下線を付した。

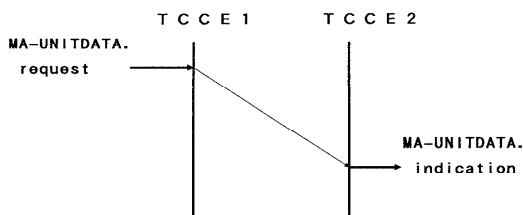


図2 タイムクリティカル通信対応 MAC サービスプリミティブシーケンス

Fig.2 MAC service primitive sequence on time critical communication.

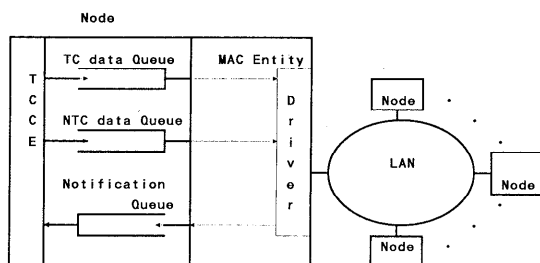


図3 通信モデル

Fig. 3 The time critical communication model.

モデルを図3に示す。

(1) 送信キュー

- タイムクリティカル送信キュー (TC 送信キュー): タイムウィンドウを指定された TC データの送信用キュー
- 非タイムクリティカル送信キュー (NTC 送信キュー): 非タイムクリティカルデータ (NTC データ) の送信用キュー

(2) 通知キュー

受信した TC と NTC データ, および送信できなかった TC データの TCCE への通知用キュー

3.3 プロトコル基本動作定義

ここでは、本論文で提案する TCCP/VH のプロトコルの基本動作を定義する。

(1) データ送信処理

各ノードは TC または NTC データを送信するため

に下記の送信アルゴリズムを持つ。

- (a) トークンを受取ると TC データをまず送信し始め、前回トークンを受取った時刻 (T1) から TTRT 加えた時刻 (T1 + TTRT) までに TC データの送信要求がなくなれば、NTC データを送信できる。また、この時刻を経過しても TC データの送信要求があれば、さらに最大 TTRT 時間までトークンを保持し、TC データの送信を行う。

図4にトークン巡回の例を示す。この例ではノード A に一時的に負荷の高い TC データの送信要求が発生し、前回トークンを受取った時刻 (T1) から TTRT 加えた時刻 (T1 + TTRT) さらに TTRT 時間分トークンを保持し、TC データの送信を行う。

- (b) 定期的に TC 送信キューにある TC データのタイムウィンドウ値を調べ、「タイムウィンドウ値-宛先ノードまでの推定転送時間」の送信待ち時間を経過したものについては廃棄し、その旨を通知キューで伝える。

(2) データ受信処理

データを受信し、データ受信通知を行う。

4. シミュレーション評価

前章で述べた TTRT 可変方式のタイムクリティカル通信プロトコル (TCCP/VH) の振舞いを明らかにするために、指定されたタイムウィンドウ内に転送が行われた成功率を示す TC 転送率についてシミュレーションによってその特性を示す。

4.1 シミュレーションモデルと標準パラメータ

ここで想定するシミュレーションモデルは、LAN を介して複数のノードが、それぞれのノード内で発生したデータを転送しあう TCCP/VH の機構を模擬するものである。

入力トラヒックは各ノードともポアソン到着するものとしている。各ノードは発生したデータを 200 個まで蓄積できる TC および NTC 送信キューを備える。

シミュレーションプログラムは C 言語により記述し、Simpack¹³⁾ というシミュレーションツールを用いる。

以下に、シミュレーションにおける標準のパラメー

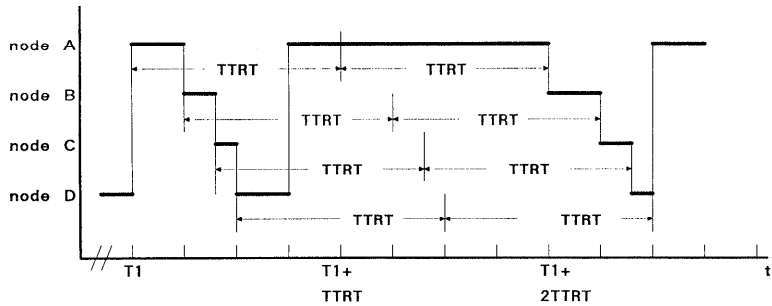


図4 トークンの巡回の例

Fig. 4 Example of token rotation.

タを示す。

- (1) シミュレーション時間：1000 sec
- (2) ノード数：10, そのうち TC データ負荷ノード数 1
- (3) TTRT：40 msec
- (4) LAN の平均単位時間あたりの到着 NTC トラヒック：10 Mbps (各ノード 1 Mbps)
- (5) LAN の平均単位時間あたりの到着 TC トラヒック：10 Mbps, 20 Mbps, 30 Mbps
ただし、ノードあたりの到着 TC トラヒックは TC データ負荷ノード数で割る。
- (6) メッセージ長：1000 bytes
- (7) LAN 伝送速度：10 Mbps
- (8) タイムウィンドウ値：40 msec

4.2 評価項目

タイムクリティカル通信において評価基準となるものは、指定されたタイムウィンドウ値以内に相手にデータが転送できるか否かである。したがって、通信特性の良否を判断するための値として TC 転送率を使用する。この TC 転送率は次のように定義される。

TC 転送率

$$= \frac{\text{指定されたタイムウィンドウ内に相手に届いた TC データ量}}{\text{発生した全 TC データ量}}$$

すなわち、この TC 転送率が 100% であればタイムクリティカル通信プロトコル特性として良いと判定できる。なお、NTC データに対する NTC 転送率はタイムウィンドウにかかわらず転送できた比率を示すものとする。

ここでは、提案する TTHT 可変方式のタイムクリティカル通信プロトコル (TCCP/VH) の振舞いを明らかにするために、次に示す評価項目についてシミュレーションを行う。

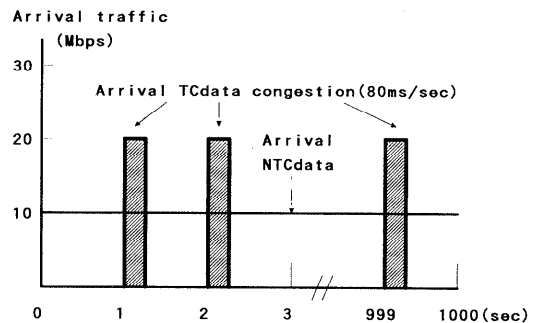


図5 LAN に到達するトラヒックのパターン

Fig. 5 Pattern of arrival traffic at LAN.

4.2.1 特定ノードに対する過大な TC データ到着のタイムクリティカル性への影響

定常的に各ノードに 1 Mbps の NTC データ到着がある状態 (システム全体では LAN の伝送帯域と同じ 10 Mbps の NTC データ到着) で、LAN の伝送帯域の 1, 2, 3 倍の TC データを 1 sec あたり 80 msec 間負荷をかけ (図 5 参照)、提案する TCCP/VH と従来の TCCP の TC 転送率を求める。なお、他のシミュレーションパラメータは標準パラメータとする。

4.2.2 過大な TC データが到着するノード数のタイムクリティカル性への影響

NTC データ到着および TC データ到着は上記 4.2.1 項と同様な条件において、過大な TC データが到着する特定ノードの数が 2, 4, 10 に変化した場合の TCCP/VH と従来の TCCP の TC 転送率を求める。なお、他のシミュレーションパラメータは標準パラメータとする。

4.2.3 タイムウィンドウ値によるタイムクリティカル性への影響

NTC データ到着および TC データ到着は上記 4.2.1 項と同様な条件において、タイムウィンドウ値を TTRT との関係から 40 msec, 80 msec とし、かつ過大な TC データが到着する特定ノードの数が 1, 2,

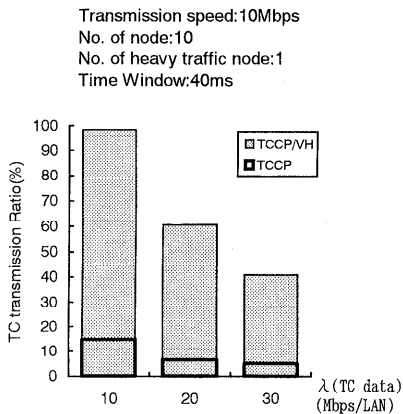


図6 過大なTCデータ到着の影響

Fig. 6 Effect of excessive TC data arrival.

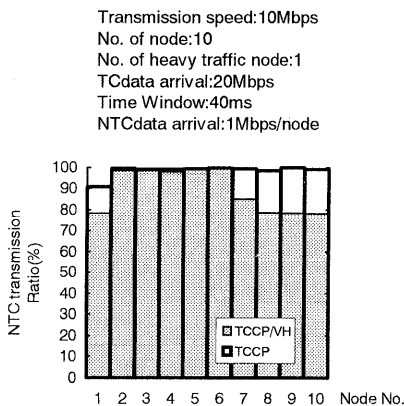


図7 過大なTCデータ到着時のNTCデータ転送率

Fig. 7 NTC transmission ratio at excessive TC data arrival.

4, 10となる場合のTCCP/VHのTC転送率を求める。なお、他のシミュレーションパラメータは標準パラメータとする。

4.3 シミュレーション結果と評価

4.3.1 特定ノードに対する過大なTCデータ到着のタイムクリティカル性への影響

特定のノードに負荷がかかった場合の通信特性を明らかにするため、10ノード中の1台にTCデータ負荷をかけ、そのときの指定されたタイムウィンドウ値(40 msec)以内に転送できるTC転送率およびNTCの転送率を図6, 図7にそれぞれ示す。

提案したTCCP/VHのTC転送率は、10Mbpsの負荷に対しては100%近くであるが20Mbps, 30Mbpsと伝送帯域を超える負荷に対しては約60%, 40%と低下する。これは伝送帯域を超えるためTW = 40 msec以上の送信待ちが発生し、廃棄されるためである。

一方、従来のTCCPのTC転送率は、それぞれ18%,

9%, 6%となり、TCCP/VHの15%程度である。すなわち、従来のTCCPに比べて6倍強の性能向上を示している。これはTCCP/VHでは負荷ノードが優先してTCデータの転送を行うに対して、従来のTCCPではTTRT時間で必ずトークンを解放するためである。

このように従来のTCCPでは、負荷ノードがトークンを解放してそれが1巡して戻ってくるまでに、平均的にTTRT(40 msec) - TTRT/10(4 msec)経過するためTCデータの廃棄がより多く発生することに起因すると推定される。

また、NTCデータの転送率を図7に示す。これはTCデータの負荷10Mbps, 20Mbps, 30Mbpsに対してほぼ同様な傾向を見せるため、ここでは20Mbpsのものを示す。TCCP/VHは、TCCPに比べて遜色のないNTCデータの転送率(負荷ノードで80%, その他のノードではほぼ80~100%)を得ており、NTCデータ転送への悪影響はあまり発生していない。この理由はTCCP/VHがTCデータの負荷を最大限に吸収し、NTCデータの転送率の低下を可能な限り抑制できるものと考えられる。

4.3.2 過大なTCデータが到着するノード数のタイムクリティカル性への影響

過大なTCデータが到着する特定ノードの数を2, 4, 10にした場合のTCCP/VHと従来のTCCPのTC転送率を図8に示す。この図では、負荷ノードに10Mbps, 20Mbpsさらには30MbpsのTCデータが到着したときのノードごとのTC転送率を示している。

全般的に、TCCP/VHが従来のTCCPよりもTC転送率が向上しており、本提案の有効性が確認できる。また、ノード数が増えるとTC転送率の開きが狭まる。これは従来のTCCPでは1ノードあたりのTCデータ送信時間が固定であるが、負荷ノードが増えることで全データに対するTCデータの割合が高まるためと考えられる。

一方、各負荷ノード毎のTC転送率に注目すると、負荷ノード数が大きくなるに従って各ノードのTC転送率が平準化されることが分かる。またこの傾向は従来のTCCPの方が早く現れる。これは、負荷ノードが増えるに従って各ノードあたりのTCデータ到着数は減少するため、トークンの保持時間が短縮され全体のノードが平均的に保持できると考えられる。また、TCCP/VHの方がTCCPよりもトークン保持時間の最大値が2倍(2TTRTに対してTTRT)であるため、各ノード間のTC転送率の差異が大きく現れ、トークン保持時間のダイナミック性を示している。

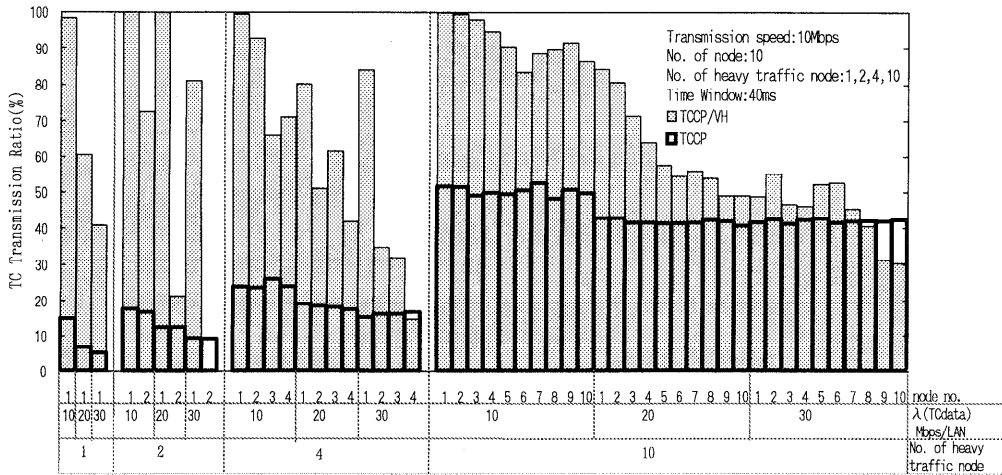


図 8 過大な TC データが到着するノード数と TC 転送率
Fig. 8 No. of excessive TC data arrival node vs. TC transmission ratio.

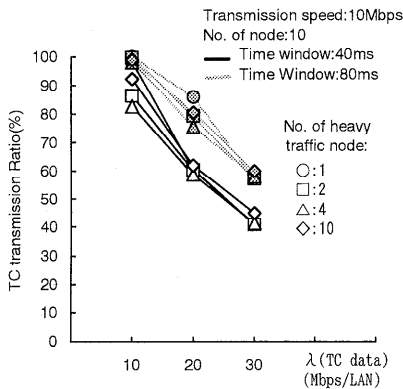


図 9 タイムウィンドウ値の影響
Fig. 9 Effect of time window.

4.3.3 タイムウィンドウ値によるタイムクリティカル性への影響

タイムウィンドウ値を 40 msec, 80 msec とした場合の TCCP/VH の TC 転送率を図 9 に示す。

タイムウィンドウ値が 40 msec と 80 msec では、直感的に解るように 80 msec の場合の TC 転送率が良いことが示されている。負荷ノード数との関係では大きな差異は見られない。

また、従来の方式において示されている最大トークン巡回時間 (2 倍の TTRT) に相当するタイムウィンドウ値 (80 msec) において、伝送帯域と同程度の負荷を発生させた場合 TC 転送率はほぼ 95% 以上を確保し、伝送帯域の 2 倍程度の負荷を発生させた場合でも 80% 前後の値を示しており、かなりの過負荷に対してタイムクリティカル性を確保できるといえる。

本シミュレーションでは、TTRT が 40 msec の場

合でのタイムウィンドウ値が 40 msec と 80 msec について示しているが、タイムウィンドウ値 (TW) と TTRT の関係は次のように考察できる。

本方式では、高負荷時最悪トークン巡回時間が 2 倍の TTRT となるため、TW と TTRT は次のような関係を持つ。

- (1) $TW \geq 2TTRT$ の場合

LAN の伝送容量以下の TC データの発生トラヒックに対して TW 以内の送信が可能となるため、転送率は 100% 保証できる。

- (2) $TTRT = < TW < 2TTRT$ の場合

LAN の伝送容量以下の TC データの発生に対してはかなり高い確率で TW 以内に送信が可能である。特に、負荷が特定のノードに集中する場合に有効である。

- (3) $TW < TTRT$ の場合

TC データの高負荷の発生に対しては、平均的なトークン巡回時間後に次の送信が可能となるため、TW 以内での転送は保証できない。

このため、タイムクリティカル通信を行ううえでタイムウィンドウ値の最小値 (TQ_{min}) を前もって決定し、少なくとも $TTRT \leq TW_{min}$ となるような TTRT を選択することが必要である。

5. む す び

本論文では、高負荷時の性能低下を防ぎ、かつタイムクリティカル通信に適したプロトコルとして、Timed Token Protocol を基にトークン保持時間の動的制御方式のアルゴリズムを提案するとともに、シミュレーションによりそのタイムクリティカル通信特性を示し、

その有効性を確認することができた。

特に、提案した TCCP/VH は特定ノードに高負荷が発生した場合、従来の TCCP に比べ 6 倍強の性能向上が得られることが示された。また、TCCP/VH のトークン制御は従来の TTP におけるトークン保持時間の管理タイマを 2 倍の TTRT までにすることで比較的容易に実現できると考えられる。

今後は、本論文で提案したプロトコルを LAN と広域網を相互接続したシステムにも適用する予定である。

参考文献

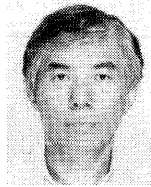
- 1) ISO Draft Technical Report 12178: User requirements for systems supporting time critical communications (1993).
- 2) ISO9314: Fiber Distributed Data Interface
- 3) IEEE802.4: Token Passing Bus
- 4) Johnson, M.J.: Proof that timing requirements of the FDDI token ring protocol are satisfied, *IEEE Trans. Commun.*, Vol.COM-35, No.6, pp.620-625 (1987).
- 5) Sevcik, K.C. and Johnson, M.J.: Cycle time properties of the FDDI token ring protocol, *IEEE Trans. Softw. Eng.*, Vol.SE-13, No.3, pp.376-385 (1987).
- 6) Agrawal, G., Chen, B., Zhao, W. and Dabari, S.: Guaranteeing synchronous message deadlines with the timed token protocol, *Proc. IEEE International Conference on Distributed Computing System*, pp.468-475 (1992).
- 7) Valenzano, A., Montuschi, P. and Ciminiera, L.: Some Properties of Timed Token Medium Access Protocols, *IEEE Trans. Softw. Eng.*, Vol.SE-16, No.8, pp.858-869 (1990).
- 8) Pang, J.W.M. and Tobagi, F.A.: Throughput Analysis of a Timer Controlled Token Passing Protocol Under Heavy Load, *IEEE Trans. Commun.*, Vol.COM-37, No.7, pp.694-702 (1989).
- 9) Agrawal, G., Chen, B. and Zho, W.: Local Synchronous Capacity Allocation Schemes for Guaranteeing Message Deadlines with Timed Token Protocol, *Proc. IEEE INFOCOM'93* (1993).
- 10) Kamat, S., Malcolm, N. and Zho, W.: Performance Evaluation of Bandwidth Allocation Scheme for Guaranteeing Synchronous Messages with Arbitrary Deadlines in an FDDI Network, *Proc. Real-Time Systems Symposium* (1993).
- 11) 厚井, 妹尾, 高田, 井手口, 石坂: LAN におけるタイムクリティカル通信プロトコルの提案と評価, 信学論 (B-I), Vol.J76-BI, No.11, pp.882-

891 (1993).

- 12) 井手口, 野口, 厚井, 永島, 渡邊, 妹尾: データ圧縮機能をもつタイムクリティカル通信プロトコルの提案と評価, 情報処理学会論文誌, Vol.37, No.12, pp.2408-2418 (1996).
- 13) MacDougall, M.H.: *Simulating Computer Systems*, MIT Press, Cambridge (1987).
- 14) 楠, 中川路, 勝山, 中野: 2 段階送信キューをもつタイムクリティカル通信プロトコルの提案とその評価, 信学論 (B-I), Vol.J78-D-I, No.8, pp.746-755 (1995).
- 15) 井手口, 小高, 厚井: MAP 下位層通信ボードの試作とその性能評価, 電学論, Vol.112-C, No.3, pp.172-179 (1992).
- 16) ANS-X3T9.5/94-045 FDDI Station Management.

(平成 9 年 3 月 3 日受付)

(平成 9 年 9 月 10 日採録)



厚井 裕司 (正会員)

1970 年東京理科大学理学部応用物理学卒業。同年三菱電機 (株) 入社。以来、ネットワークアーキテクチャ, LAN, ネットワークセキュリティなどの研究開発に従事。現在、同社情報技術総合研究所に勤務。電子情報通信学会会員。



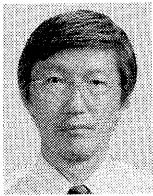
井手口 哲夫 (正会員)

1972 年電気通信大学電気通信学部通信工学科卒業, 同年三菱電機 (株) 入社。以来、ネットワークアーキテクチャ, LAN, ネットワーク管理方式, 通信プロトコル設計などの研究開発に従事。現在、同社情報技術総合研究所に勤務。工学博士。電子情報通信学会会員。



藤井 照子 (正会員)

1988 年群馬大学工学部情報工学科卒業。同年三菱電機 (株) 入社。以来、LAN の通信方式, ネットワークセキュリティの研究開発に従事。現在、同社情報技術総合研究所に勤務。電子情報通信学会会員。



渡邊 晃 (正会員)

1974年慶応大学電気工学科卒業。1976年同大学大学院修士課程修了。同年三菱電機(株)入社。現在、同社情報技術総合研究所にてLAN、ネットワークセキュリティなどの研究開発に従事。電子情報通信学会会員。



矢部 正行 (正会員)

1967年大阪大学工学部電子工学科卒業。1969年同大学院修士課程修了。同年三菱電機(株)入社。以来、パケット交換技術、高速パケット交換技術、LAN/WAN構成技術等の研究開発に従事。現在、同社情報技術総合研究所に勤務。電子情報通信学会会員。



白鳥 則郎 (正会員)

1977年東北大学大学院博士課程修了。1984年同大電気通信研究所助教授。1990年同工学部情報工学科教授。1993年同電気通信研究所教授。情報通信システム、ソフトウェア開発環境、ヒューマンインタフェースの研究に従事。IEEE、電子情報通信学会、人工知能学会各会員。