

P2P 型複製オブジェクト環境のための異種ネットワークの実現 Heterogeneous Network for P2P-based Replicated Object Environment

山本 佑樹[†]
Yuki Yamamoto

高田 秀志[‡]
Hideyuki Takada

1. はじめに

ユーザ間のリアルタイムな協調作業を支援するシステムが、さまざまな場面で活用されている。また、AndroidOS 搭載の携帯端末や米 Apple 社の iPad など様々な種類のモバイル端末が普及し、多くの人がコンピュータ端末を自由に持ち歩けるようになった。そのため、今後は協調作業にモバイル端末も利用されていくようになると思われる。ここで、ユーザが保有する端末を持ち寄るだけで、リアルタイムな協調作業を快適に行える環境を実現するためには、サーバなどを必要とせず、ユーザの持ち寄った端末のみで動作ができ、かつ、その端末間がどのように接続されているのかユーザに対して意識させないような必要がある。そのうえ、ユーザ同士は同じ場所にいるので、協調作業支援システムの状態はリアルタイムで同期されることが求められる。

我々は、このような協調作業支援システムに必要な機能を提供するフレームワーク“CUBE”^[1]の構築を行っている。CUBE では、ユーザの持ち寄った端末のみで協調作業支援システムを実現するために、複製計算モデル^[2]に基づいた P2P 型複製オブジェクト環境を提供する。P2P 型複製オブジェクト環境では、各端末上にオブジェクトの複製が配置され、それらの複製オブジェクトのふるまいが同期される。本稿では、異なる通信規格を搭載した端末が混在した状況下で、P2P 型複製オブジェクト環境のためのネットワークを構成する方法について提案する。

2. P2P 型複製オブジェクト環境

2.1 ふるまい同期手法

CUBE では、図 1 のようにして、各端末上に配置された複製オブジェクトのふるまいを同期している。ある端末上で、複製オブジェクトに対するメソッドが呼び出されると、呼び出されたメソッドの情報がメッセージとして他端末へ伝播される。メッセージを受信した各端末は、保持する複製オブジェクトに対してメソッドを呼び出す。CUBE では、このメソッド呼び出しの伝播をサーバを介さず UDP マルチキャストを用いて行うことで、LAN 上では高いリアルタイム性を実現している。

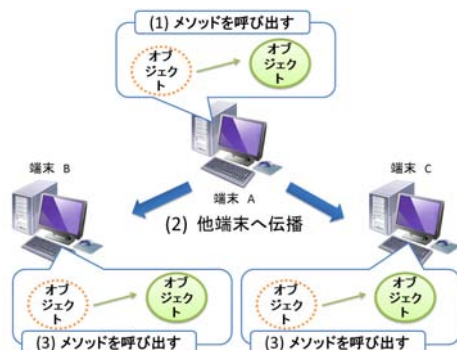


図 1: ふるまいの同期方法

[†]立命館大学大学院 理工学研究科
[‡]立命館大学 情報理工学部

2.2 端末間の通信規格

ユーザの持ち寄った端末同士で通信を行うためには、通常、無線 LAN や Bluetooth が利用され、同一アプリケーションの通信には、同じ通信規格が用いられることが多い。例えば、ユーザ同士が無線 LAN の利用可能なエリア内にいる場合、端末間は無線 LAN で通信される。しかし、あるユーザが無線ルータに接続するアカウントを保有していないときや、使用端末がルータの MAC アドレス制限に登録されていないときなど、必ずしも無線 LAN で接続できるとは限らない。このような場合、無線 LAN を利用できない端末は、Bluetooth などの他の通信規格で接続することで通信を行う必要がある。しかし、Bluetooth で接続する端末や無線 LAN で接続する端末など、さまざまな通信規格が混在し、ユーザはこれらの通信規格を意識しなければならず、利便性が低下する。そのため、ユーザに対してどのような通信規格で接続されているのか意識させないようにする必要がある。

さらに、ユーザ同士は同じ場所にいるので、この環境下で高いリアルタイム性を実現する必要もある。ここで、高いリアルタイム性とはどのくらいの数値が求められるのか、具体的な目標値を設定する。マルチメディア通信の研究では、相互にデータを交換するアプリケーションのような“Non-speech application”において、端末間の遅延時間を 150ms 以下に保つことが可能ならば、ユーザに影響を与えることは少ないといわれている^[3]。したがって、高いリアルタイム性を実現するためには、遅延時間は 150ms 以下にする必要があるといえる。

3. 異種ネットワークの実現

P2P 型複製オブジェクト環境上で異種ネットワークを実現するために、通信規格の Bluetooth と LAN を抽象化し、ネットワークを透過的に接続する必要がある。そのために、異種ネットワーク上で、CUBE のふるまい同期手法に必要なマルチキャストを実現する手法について述べる。

3.1 ノード情報の管理

他端末にメソッド呼び出しを伝播するためには、グループ内の全端末の IP アドレスや BDA などのアドレス情報が必要である。そのため、LAN と Bluetooth の両方が使用可能な端末は、グループ内の全端末の IP アドレスと BDA を管理する。また、LAN のみ使用可能な端末と Bluetooth のみ使用可能な端末は、それぞれグループ内の全端末の IP アドレスと BDA を管理する。このようにすることで、グループ内の接続できうる端末と通信が可能である。

新たな端末がグループに途中参加するとき、この端末は両方の通信規格を使用可能な端末から必要なアドレス情報を受け取り、その情報を利用して、他端末に自端末のアドレス情報を伝播する。

3.2 異種ネットワーク間のメッセージの中継

LAN のみ使用可能な端末と Bluetooth のみ使用可能な端末は、相互接続が不可能である。したがって、送信端末が両方の通信規格を使用できない場合、両方の通信規格を使用可能な端末がその送信端末の代わりに伝播できない端末へメッセージの送信を行い、仮想的にマルチキャストを実現する。例えば、送信端末が LAN のみ使用可能な端末の場合、両方の通信規格を使用可能な端末

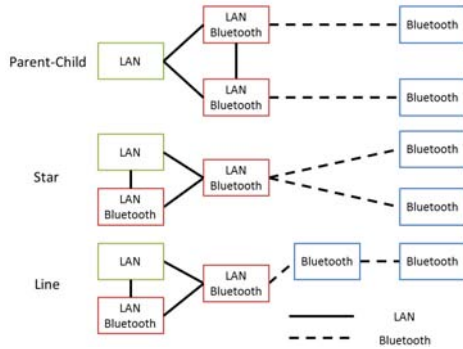


図 2: ネットワークトポロジ

は送信端末の代わりに Bluetooth のみ使用可能な端末に対して、Bluetooth を用いてメッセージを送信する。一方、送信端末が Bluetooth のみ使用可能な端末の場合、両方の通信規格を使用可能な端末は送信端末の代わりに LAN のみ使用可能な端末に対して、LAN を用いてメッセージを送信する。

3.3 ネットワークトポロジ

異種ネットワーク間では通信規格が異なるために、帯域幅の差が大きく、それがボトルネックになる。そのため、単純にメッシュ型のトポロジではなく、帯域幅が狭い通信規格を考慮したネットワークトポロジを構築する必要がある。そこで、ネットワークトポロジとして、図 2 に示すような親子型、スター型、直線型を適用する。

親子型は、両方の通信規格を使用可能な端末を親端末とし、Bluetooth のみ使用可能な端末を子端末として、子端末がひとつの親端末に接続する形態である。スター型は、両方の通信規格を使用可能な端末を 1 台選びだし、それをルートとしてすべての Bluetooth のみ使用可能な端末がルート端末に接続する形態である。直線型は、両方の通信規格を使用可能な端末を 1 台選びだし、それをルートとして Bluetooth のみ使用可能な端末が一列に接続する形態である。

4. 評価実験

それぞれのネットワークトポロジ上で、往復遅延時間を計測し実機による評価を行った。実験環境は表 1 の 4 台の PC 端末を使用し、図 3 に示すようなトポロジを構築した。端末 A で、あるアプリケーション上のオブジェクトを移動させるメソッド呼び出しを行い、それをすべての端末へ伝播し、すべての端末から確認応答が戻ってくるまでの往復遅延時間の計測を 20 回行った。また、送

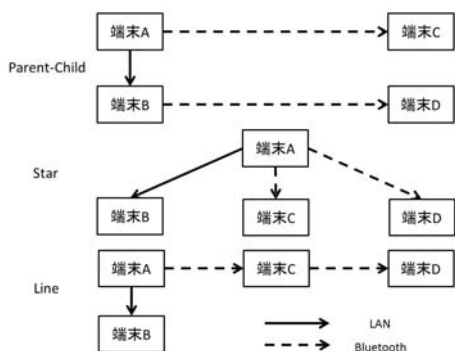


図 3: 実験トポロジ

表 1: 実験使用端末

| 端末名 | 性能 | 使用可能通信規格 |
|------|--|---------------|
| 端末 A | CPU: Intel Core 2 Duo E8500 3.16GHz メモリ: 4GB | LAN/Bluetooth |
| 端末 B | CPU: Intel Core i5 580M 2.66GHz メモリ: 4GB | LAN/Bluetooth |
| 端末 C | CPU: Intel Core i7 620M 2.67GHz メモリ: 4GB | Bluetooth |
| 端末 D | CPU: Intel Core i5 580M 2.66GHz メモリ: 4GB | Bluetooth |

表 2: 実験結果

| トポロジ | 最大値 (ms) | 最小値 (ms) | 平均値 (ms) |
|--------------|----------|----------|----------|
| One to One | 88 | 13 | 25.80 |
| Parent-Child | 313 | 94 | 170.20 |
| Star | 163 | 37 | 95.25 |
| Line | 315 | 84 | 218.80 |

信スレッドは独立したスレッドで並列して動作している。ただし、アプリケーションの利用時の遅延を計測するため、通信相手とのコネクションはすべて確立しているものとし、そのコネクション確立にかかる時間は含まれていない。

実験の結果を、端末 A と端末 C の Bluetooth を用いた一対一通信と共に、表 2 に示す。

表 2 に示すように、どのトポロジも 2.2 節で設定した目標数値である 150ms(往復の場合 300ms) 以下の遅延時間を満たしていた。また、スター型トポロジが最も遅延時間が小さく、親子型と直線型トポロジの約半分の遅延時間という結果となった。この結果から、ひとつの端末に接続する端末数を増加させるよりも、端末間のメッセージのホップ数を増加させる方が通信の遅延時間が増加するといえる。このようになった理由は、送信スレッドが並行して動作しているため、スター型トポロジの場合、ルート端末が送信処理を並行して実行ができるのに対して、メッセージホップがあるトポロジの場合、他端末へメッセージを送信がメッセージを受信後でなければ行うことができず、送信処理を並行して実行ができないからである。

しかし、接続端末数が増加すると、スター型トポロジの場合、ルート端末に送受信処理が集中するためスループットが急激に低下すると考えられる。そのため、本実験結果である往復遅延時間が、単純に端末数の増加に比例増加するとはいえず、スター型トポロジが適切であるとは考えにくい。

5. おわりに

本稿では、ユーザが保有する端末を持ち寄るだけで協調作業ができる環境を実現するためのネットワーク構成方法について述べた。今後、実験の端末数を増やし、台数増加による影響がそれぞれのトポロジでどのくらい発生するか調査することで、異種ネットワーク間で P2P 型複製オブジェクト環境を実現するためには、どのようなネットワークトポロジが適切であるか検討を行う。

参考文献

- [1] Shogo Noguchi, Hideyuki Takada, "CUBE: A Synchronous Collaborative Applications Platform Based on Replicated Computation", Col-labTech2009, 2009.
- [2] David P. Reed, "Designing Croquet's TeaTime - A Real-time, Temporal Environment for Active Object Cooperation", Object-Oriented Programming, Systems, Languages & Applications 2005, 2005.
- [3] ITU-T Recommendation G.114, "One-way transmission time", May 2003