

有線で多重接続されたユビキタスコンピュータにおける 回線状態モニタリングシステム

川端慎太郎¹ 藤田直生¹ 佐野渉二² 寺田 努^{1,3} 塚本昌彦¹

概要: 環境内に埋め込まれた多数のコンピュータが連携し, 人々の生活を支援するユビキタスコンピューティング環境や, 多数のコンピュータを服に埋め込むなどして活用するウェアラブルコンピューティング環境では, コンピュータは多数のコンピュータと頻繁にメッセージ交換する. このような環境ではコンピュータ間の通信の切断はコンピュータ群全体の処理に影響する可能性があり, 回線の切断箇所を特定することは重要であるが, テスターを用いて一箇所ずつ調べる手法では, システム運用中に使用できず, 多大な労力と時間がかかるという問題があった. 本研究では故障箇所特定を容易にすることを旨とし, ブロードキャスト通信と隣接するコンピュータ間の通信の2種類の通信を用いて, 回線状態をモニタリングするシステムを提案し, その有用性を確認した.

A Line Status Monitoring System for Ubiquitous Computers Connected with Multiple-Access Communication Lines

SHINTARO KAWABATA¹ NAOTAKA FUJITA¹ SHOJI SANO² TSUTOMU TERADA^{1,3}
MASAHIKO TSUKAMOTO¹

1. はじめに

近年, コンピュータの小型化, 高性能化に伴い, 生活環境に埋め込まれたコンピュータが連携し, 人々の生活を支援するユビキタスコンピューティングが進展している. ユビキタスコンピューティング環境では数百から数千個規模のコンピュータがメッセージ通信をして連携を取りながら, 効率よく制御することで, 医療, 介護, エンターテインメントなど様々な分野への応用が期待されている. また, コンピュータを身体に装着して利用するウェアラブルコンピューティングが注目されており, 身体に大量のLEDを取り付けた衣装を着て, 電飾ダンスパフォーマンス [1] も行われている. この電飾ダンスパフォーマンスでは, ダンサーはマイコンとLEDが搭載されたデバイスを取り付けた衣装を着て, 曲やダンサーの動きに合わせて, 大量の

LEDを効果的に光らせることで, 光と音と動きが一体となった表現を可能にしている.

ユビキタスコンピューティング, ウェアラブルコンピューティングにおいては, 頻繁にメッセージを通信しながら, 連携, 協調動作を行うことで調和が取れたサービスを可能とする. このため, 通信回線が切断するとサービス全体に影響を及ぼす可能性があり, 安定して通信が行われることが重要である. そこで, 本研究では, 通信が正常に行われているかを監視する回線状態モニタリングシステムについて考える. 通信切断箇所や不安定な箇所がわかれば, それを防ぐための対処がしやすくなる. ウェアラブルコンピューティングシステムにおける故障の原因を調べることで, 対策を練ることができ, 信頼性を向上させることが可能になる. しかし, 数百, 数千個のコンピュータを用いるユビキタスコンピューティング環境では, 回線状態を一箇所ずつ調べる方法では多大な労力と時間を必要とする. そこで, 本稿では, ブロードキャスト通信と隣接するコンピュータ間の通信の2種類の通信を用いて, 小型コンピュータ間の通信状態を記録し, 記録したデータの欠落を調べ, 回線状

¹ 神戸大学大学院工学研究科
Graduate School of Engineering, Kobe University

² 公立はこだて未来大学
Future University Hakodate

³ 科学技術振興機構さきがけ
PRESTO, Japan Science and Technology Agency

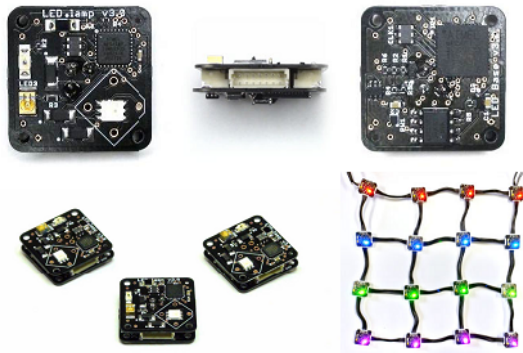


図 1 実装したデバイスの外観

態を把握するシステムを提案する。提案システムの有効性を示すために、複雑な動きがあるために通信の切断が起こりやすい電飾ダンスパフォーマンスで評価実験を行う。その結果、2種類の通信状態を記録することで、コンピュータの回線状態をモニタリングできることが確認できた。

以降、2章で関連研究について述べ、3章でユビキタスコンピュータの回線状態を把握するためのシステムについて説明する。4章でシステムの有用性について評価し、最後に5章で本研究のまとめと今後の課題について述べる。

2. 関連研究

コンピュータシステムの回線状態の信頼性を高めるための研究は多く行われており、例えば、回線の断線箇所を特定する製品が多数販売されている [2][3]。しかしこれらは微小電流を流し、その電圧降下をみることで断線を検出しているため、ケーブルを一本ずつ測定する必要があるため、数百から数千個規模のユビキタスコンピュータを使用する環境では、断線箇所の特定に多大な労力と時間を要する。またシステム運用前の検査のために使用するものであり、ネットワークシステムの実運用中に断線箇所を調べるためには用いられていない。

一方、安定した通信を確保するため、様々な研究が行われている。インターネット通信において複数経路にパケットを分配し、通信の信頼性を高める [4]、ホームネットワークにおいて、通信不能な部分を互いに補い信頼性を向上させる [5]、さらに有線媒体と無線媒体を組み合わせネットワークの信頼性を高めるデュアル通信システム [6] も提案されている。

また、コンピュータに故障が発生した際、いかにシステムの信頼性を確保するかという研究も行われている。寺田ら [7][8] はホストコンピュータがシステム障害により動作しなくなると、自動的に末端のセンサや表示機器が直接通信を行い、情報提示を継続することでディペンダビリティを確保する方法を提案している。自動車や列車 [9]、医療機器 [10]、公共機器 [11] などでは、断線といった故障が発生した際、通信できるよう回線を二重化することにより、シ

表 1 グローバル通信とローカル通信

	グローバル通信	ローカル通信
概要	全てのコンピュータに対するブロードキャスト通信。	隣接するコンピュータに対する通信。
メリット	ネットワーク内の全てのコンピュータに対してデータ通信を行える。	近隣だけの情報交換を目的とする際、通信効率に優れている。
デメリット	データの衝突が生じるため、複数のコンピュータが同時にデータを送信できない。	マルチホップで通信するためがあるため、遠方に存在するコンピュータにデータを送信する際、タイムラグが生じる。

ステムが正常に動作するように対策をしている。シリアル通信規格 CAN (Controller Area Network)[12] は故障を封じ込めるため異常な送信を繰り返すユニットをネットワークから切り離し、正常なユニット同士の通信を保証するので、自動車、産業用機器、船舶、医療機器と幅広く応用されている。自動車内通信システム [13] では、システム実運用中に故障箇所をある程度特定できる機能を組み込んでいる。各ユニットが定期的にデータを送信し、受信すべき送信データを所定時間継続して受信できなかった場合故障コードを残す。ユニットの CAN バスが断線箇所を境に通信不能となるため、故障コードを確認することで、故障箇所をある程度特定するものであるが、これは回線が1本の場合のみ有効であり、すべてのユニットの回線を多重化した場合、正常な回線を経由してデータが受信されるので、故障箇所を特定することはできない。

3. 提案システム

3.1 アプローチ

本研究では、センサや LED などの入出力機器を制御する小型なコンピュータ (ユビキタスコンピュータ) が環境内に数百から数千個規模で存在するユビキタスコンピューティング環境について考える。我々の研究グループでは、図 1 に示すユビキタスコンピュータをこれまでに開発している。このユビキタスコンピュータは、格子状に配置して使用することを想定し、すべてのユビキタスコンピュータにデータをブロードキャストするグローバル通信と、隣接するコンピュータへのみデータを通信するローカル通信をそれぞれ別系統の通信線を用いて利用できる。表 1 のように、グローバル通信は、ネットワーク内の全てのユビキタスコンピュータに対してデータ通信を行えるため、複数のコンピュータに同じデータを送信する場合には適している。しかし、複数のユビキタスコンピュータが同時にデー

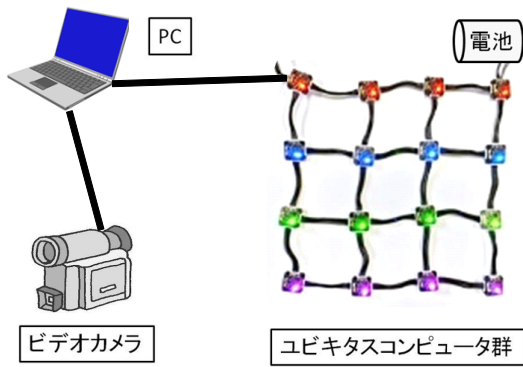


図 2 システム構成

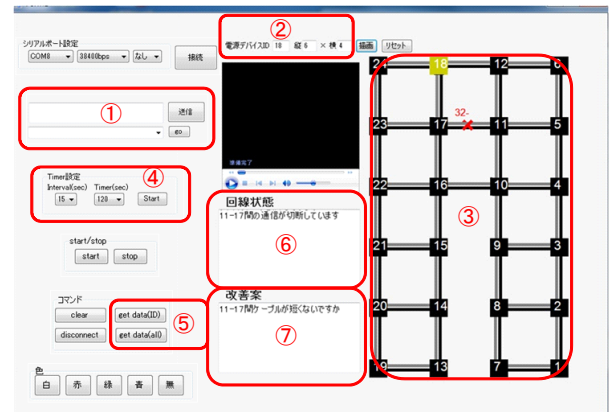


図 3 アプリケーション画面

タを送信する場合，データの衝突が生じないように配慮して設計する必要がある．一方，ローカル通信は，隣接するコンピュータ間でのみ通信を行うため，近隣だけでメッセージ交換を行う場合，無駄なデータ通信が少なく済む．しかし，遠方のコンピュータにメッセージ送信する際，多くのコンピュータを経由する必要がある，タイムラグが生じる．このため，グローバル通信，ローカル通信を有効に使い分けることで，ユビキタスコンピュータ群の通信を効率よく行うことができる [14]．

本研究では，上記のような格子状に接続されたユビキタスコンピュータ群を用いたシステムを考える．ユビキタスコンピューティング環境では，多数のコンピュータを用いてさまざまなタスクを実行するために，頻繁にデータ通信を行う．コンピュータ間の通信の切断により，データが正常に通信されないと，場合によってはコンピュータ群全体の処理に影響するため，通信が正常に行われているかを調べることは重要である．また，ユビキタスコンピュータ群を用いてタスクを実行中に通信回線の切断があった場合，すばやく修復したり，通信回線の切断を生じにくくしたりするために，それらの改善案を提示することは有効である．しかし，2章で述べたように，従来手法でこれらを行う有効な手法は存在しない．

本研究では，ユビキタスコンピュータ間で通信を行うことにより，回線状態を調べ，通信切断箇所の特定，修復を容易にする回線モニタリングシステムを提案する．なお，我々の研究グループでは上記のようなユビキタスコンピュータ群を用いた研究を複数行っており，経験的にわかってきた通信切断の原因を事前にリストアップした．詳細は3.2節に記述するが，提案システムはグローバル通信とローカル通信を用いて，回線状態のモニタリングや通信の切断があった場合の改善案を提示する．

3.2 システムの処理手順

回線モニタリングシステムとして，図 2 のように，提案システムは，PC，ユビキタスコンピュータ群，ビデオカメラから構成され，図 3 のユーザインタフェースをもつシス

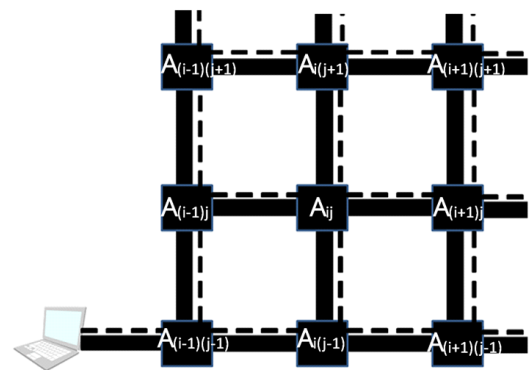


図 4 有線で多重接続されたネットワーク

テムを開発した．提案システムでは，まず，PC 上でユビキタスコンピュータの配置や通信回線の接続関係を設定する．ユビキタスコンピュータ群でタスクを実行中，定期的にグローバル通信，ローカル通信でデータ通信を行うことにより，ユビキタスコンピュータ群の回線状態をモニタリングし，通信切断箇所およびそのタイミングを特定する．また，これらに対応付けて描画することで，通信回線状態の可視化を行う．

以下に，システムの処理手順について説明する．ここで，図 4 におけるそれぞれのユビキタスコンピュータの ID を A_{ij} とする．また，システムを運用し始めてから PC からユビキタスコンピュータ群に k 回目にデータ送信する時刻を t_k とする．

(1) コンピュータ群の規模，配線を設定する．

- (a) 図 3①で，ユビキタスコンピュータに固有の ID を設定する．
- (b) 図 3①で接続関係を設定するコマンドをグローバル通信で送信し，各ユビキタスコンピュータ上で記録する．
- (c) 図 3②で，コンピュータ群の規模を入力する．ま

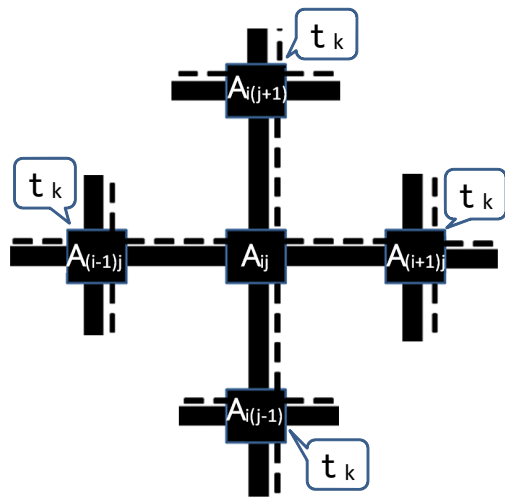


図 5 全コンピュータに時刻 t_k を送信

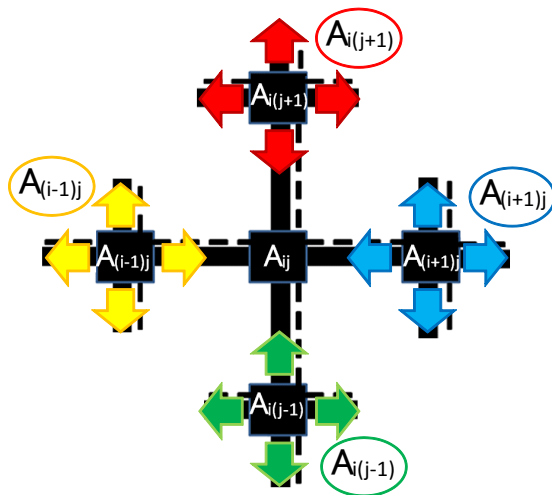


図 6 隣接するユビキタスコンピュータに自身の ID を送信

た電源に接続しているコンピュータの ID を入力でき、そのコンピュータは描画したとき黄色で表示される。

(d) 描画ボタンを押し、各コンピュータが記録した ID を取得する。コンピュータの規模と各コンピュータが記録した ID より、コンピュータ群の接続関係を描画する。

(2) システム運用、ビデオカメラの撮影を開始し、通信回線の状態を記録する。

(a) 図 5 のようにグローバル通信を用いてホスト PC がすべてのコンピュータに回線状態を把握するタイミングで定期的に時刻 t_k を送信する。時刻 t_k は、事前に図 3④で設定された時刻の送信間隔、送信時間に従う。

(b) 各コンピュータは時刻 t_k を受信するとデータメ

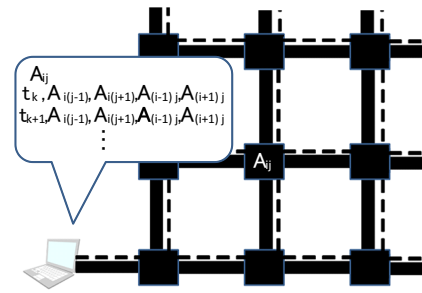


図 7 記録したデータを取得

モリに格納し、図 6 のようにローカル通信を用いて隣接するコンピュータに自分の ID を送信する。なお、隣接するコンピュータ間におけるデータの衝突を回避するため、現状のシステムでは一定間隔の遅延をおいて ID を送信している。

(c) 隣接するコンピュータから受け取ったユビキタスコンピュータの ID を記録する。グローバル通信によって受信した時刻 t_k とともに A_{ij} を記録する。

(d) システム運用中、(a)~(c) を繰り返す。

(3) システム運用後に、各コンピュータが記録したデータをホスト PC に送信し、解析する。

(a) 図 3⑤で図 7 のようにユビキタスコンピュータが記録した時刻、ID をホスト PC に取得する。

(b) 取得したデータをホスト PC で解析する。

(i) 時刻を解析。

ホスト PC が送信した時刻一つ一つがユビキタスコンピュータから取得した時刻に含まれているかを調べる。ホスト PC が送信したある時刻がユビキタスコンピュータから取得した時刻に含まれていなかった場合、ホスト PC はそのユビキタスコンピュータの ID とその時刻を記録する。

(ii) ID を解析。

ユビキタスコンピュータから取得した ID について時刻ごとに比較する。例えば、図 8 の場合、 t_k と t_{k+1} における記録した ID を比較すると、 $A_{i(j+1)}$ が無い。このときホスト PC は調べたユビキタスコンピュータの ID と t_{k+1} 、 $A_{i(j+1)}$ を記録する。また、 t_{k+1} と t_{k+2} における記録した ID を比較すると、 $A_{i(j+1)}$ がある。このときホスト PC は調べたユビキタスコンピュータの ID と t_{k+2} 、ヘッダをつけた $A_{i(j+1)}$ を記録する。

(4) コンピュータ群全体の回線状態を表示する。

上記の結果を用いて、コンピュータ群全体の位置・接続関係、通信回線の様子をアプリケーション上に描画

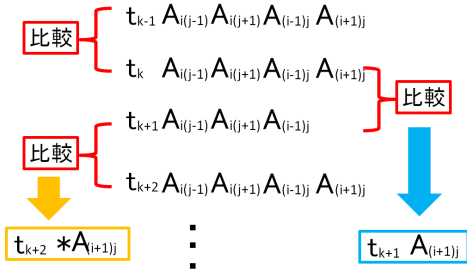


図 8 ID の解析方法

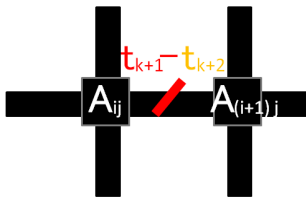


図 9 通信回線に異常があった場合の描画方法

する (図 3③). その際, ユビキタスコンピュータにおいて (3) で述べた時刻欠落があった場合, ユビキタスコンピュータの一部を青色で塗りつぶしている. また, ID欠落があった場合, 通信回線上に斜線と時刻を描画している. 例えば, IDA_{ij} のユビキタスコンピュータが図 8 のような記録だった場合, $A_{ij}-A_{i(j+1)}$ 間に斜線を描画し, その上に時刻を赤色で表示する. ヘッダがついている時刻はオレンジ色で表示する (図 9). $IDA_{i(j+1)}$ のユビキタスコンピュータが A_{ij} の欠落をしていた場合, $A_{i(j+1)}-A_{ij}$ 間に斜線を描画され, ×印になる. また, 図 3⑥に通信回線の異常をまとめて表示している. 表 2 に通信回線の異常についての表示内容, その判断方法について記す.

(5) 通信の切断箇所がある場合, 図 3⑦で, その改善案を提示する.

例えば, 図 10 のような場合, ID18 から電源供給が行われており, ID12-18 のコンピュータ間の通信回線が切断すると, ID1-12 のコンピュータに電力が供給されず, 大規模なトラブルが発生してしまう. これは ID11-17 のコンピュータ間を接続するなど, 多重に接続することで回避できる. そこでアプリケーションでは, コンピュータシステムにおいて, 通信回線を一本ずつ切断した場合, 電源とつながったコンピュータから端に位置するコンピュータへの代わりの経路が存在するかを調べ, 経路が存在しない場合, 多重に接続するよう促している. 他にも通信回線の異常から, 表 2 に述べた改善案を表示している.

また, コンピュータシステムの様子を撮影した映像を再生ボタンを押すことで, 通信切断が発生した時刻付

表 2 提案システムで表示する回線異常および改善案

回線異常の表示内容	改善案	判断方法
通信回線が切断している.	通信線を長いものに交換する.	ある時刻以降 ID が欠落している.
通信回線が不安定である.	通信線を新しいものと取り換える.	ID の欠落があり, 再び ID を記録している.
通信回線が途絶えそう.	ユビキタスコンピュータの配置の変更する.	ユビキタスコンピュータ周囲の複数の箇所で通信回線に異常がある.
ユビキタスコンピュータが故障している.	ユビキタスコンピュータを新調する.	ユビキタスコンピュータに時刻の欠落がある.
供給電力が不足している.	電池を新しいものと取り換える.	隣接する複数のユビキタスコンピュータの通信回線に異常がある.

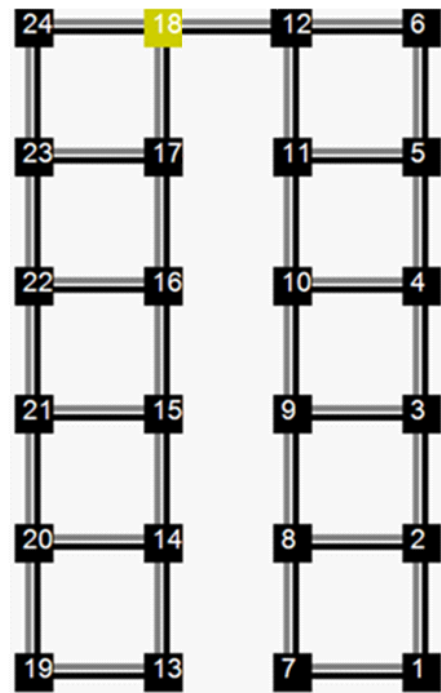


図 10 大規模な故障が発生する配線

近の様子を確認できる.

4. 評価実験

4.1 通信切断の検出精度に関する評価実験

提案システムにおける通信切断の検出精度を調べるため,

表 3 通信切断・接続の検出率

	通信線を離す	通信線を接続する	合計
10 秒 (再現率)	100%	100%	100%
10 秒 (適合率)	75%	88%	78%
15 秒 (再現率)	100%	100%	100%
15 秒 (適合率)	56%	78%	60%
20 秒 (再現率)	100%	100%	100%
20 秒 (適合率)	90%	100%	92%

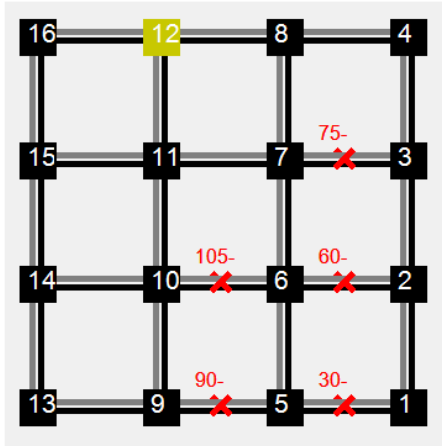


図 11 正確に通信切断を検出できた場合

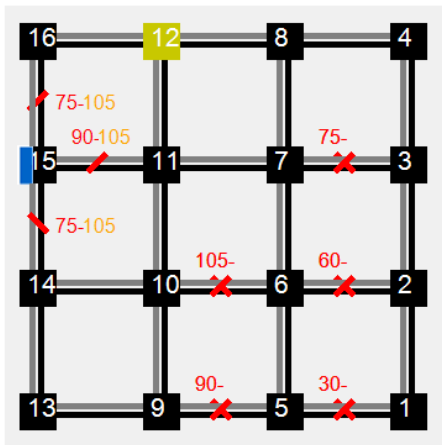


図 12 通信切断を検出できなかった場合

一定時間ごとに、接続されている通信線のどれか1本を小型デバイスから離す、または通信線が接続されていない箇所のどれか1つを接続することを行い、それをどれくらい正確に検出できるか評価実験を行った。本実験では、3.1節で述べた小型デバイスを4×4の格子状に接続し、通信線の抜き差しを10秒、15秒、20秒の間隔でそれぞれ5回ずつ計10セット行った。なお、時刻はホストPCから15秒間隔で送信した。

表3に実験結果を記す。提案システムでは、実際に通信回線の切断または接続した箇所の検出率(再現率)は100%であった。しかし、通信線を離したり、接続したりした箇所以外の通信回線に異常を検出している場合があり、

10秒、15秒、20秒それぞれの間隔において、実際に抜き差しした箇所との適合率は78%、60%、92%だった。20秒間隔で実験を行ったとき、通信回線の切断を正確に検出できた場合とできなかった場合の結果を図11、図12に示す。図12で、実際に通信回線を切断した箇所は、20秒でID1-5間、40秒でID2-6間、60秒でID3-7間、80秒でID5-9間、100秒でID6-10間である。しかし、提案システムでは、通信回線を抜き差ししていないID11-15間の通信線が、実験開始60秒後から15秒間で通信回線が切断し、実験開始90秒後から15秒間で再び通信回線が接続したと判断している。ID14-15、15-16間も同様に、通信回線の抜き差しをしていないにも関わらず、回線の異常を検出した。

評価実験では、時刻 t_k を15秒としたが、PCから時刻 t_k が送信される時間帯以外で抜き差ししたときは適合率が高いが、PCから時刻 t_k が送信される時間帯で抜き差しした場合は、適合率は低かった。この理由は、通信回線の切断で生じたノイズにより、提案システムが通信を記録できなくなるからだと考える。次に、時刻 t_k の送信間隔について考える。時刻送信を短い間隔で行った場合、データ同士が衝突したり、データ記録中の受信処理が重なったりする確率が高まることで、正しいデータを記録できない状態になり、正確な通信回線の検出が行えなくなる。一方、時刻送信を長い間隔で行う場合、正しいデータを記録できない状態は少なくなり、正確な通信回線の検出率はあがるが、通信回線の状態を調べる数も少なくなるので、回線に発生した異常を見落とす可能性がある。

4.2 電飾ダンスパフォーマンスシステムへの適用

通信回線が切断しやすいシステムにおいて提案システムが有効であるかを調べるために、大量のLEDを取り付けた衣装を着て行う電飾ダンスパフォーマンスシステムにおいて提案システムを適用した。3.1節で述べた小型デバイス72個を装着した図13のような衣服を使用して、1分間のダンスパフォーマンスを行った。ダンスパフォーマンスの様子を図14に示す。なお、ダンサーには、腕の伸縮が多い動作を意識して行ってもらった。藤本らのシステム[1]などと同様に、それぞれの小型デバイスのメモリにLEDの光り方を組み込み、同期信号を定期的に送信することで動きに曲に合わせたLEDの制御を行った。15秒間隔で送信する時刻 t_k を同期信号とした。

何度も繰り返しダンスを行った結果、回線において、通信切断が見られることがあった。図15は提案システムで右半身の肩付近に位置するID12、18のコンピュータ間で通信回線の切断が発生したものである。パフォーマンス後、電飾服を調べると、ID12-18間の通信線が断線していた。提案システムを用いて、通信回線に異常が発生している箇所に注目することで、断線を容易に見つけることができた。また、提案システムは通信線を長いものと交換する

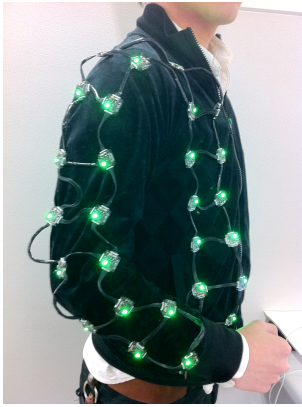


図 13 小型デバイスを装着した衣服

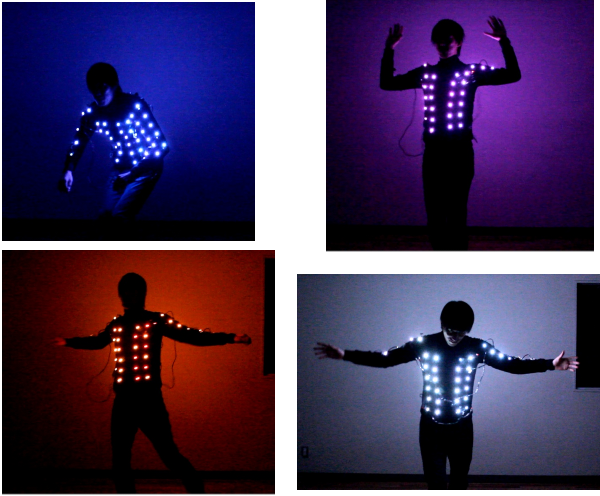


図 14 ダンスパフォーマンスの様子



図 15 回線状態と通信切断の原因と推定される動き

改善案を提示しており、通信切断時刻付近の映像再生機能を利用すると、腕を大きく上下に振る動作を行っていた。この動作が右半身の肩付近のコンピュータ間の通信回線の切断の原因だと推定でき、改善案の通り、長い接続線と交

換して再びダンスを行ったところ、回線が切れることがなくなった。

4.3 考察

4.3.1 さまざまなシステムへの適用

本研究で提案する回線モニタリングシステムは、ユビキタスコンピュータ群で何かのタスクを行われているときに、そのタスクが通信回線の異常により、正常に動作しなくなるようにするためのシステムである。そのため、提案システムだけをユビキタスコンピュータ群で動作させることで事前の通信回線を検査するのに利用できるが、さまざまなシステムに適用することで有用となる。評価実験では、ユビキタスコンピュータに組み込む LED を制御するためのプログラムに直接書き加えたが、例えば、ライブラリとして提供することで、汎用性が向上すると考えられる。そのようにすることで、Lighting Choreographer[1] や LED 明滅システム [15] のような特定のタスクを実行するためのソフトウェアを作成する際にも組み込むことが可能となる。ただし、時刻 t_k を送信して、通信回線の切断するタイミングは、4.1 で述べたように頻繁に行えばよいものではないことを考慮する必要がある。

4.3.2 通信ネットワークの接続形態

3章で述べた提案システムはホスト PC からグローバル通信で指示を出し、隣接するコンピュータ間の回線状態をローカル通信で調べている。本稿で述べたように、グローバル通信とローカル通信の両方を使用する場合には、このようにすることで、両系統の通信線を同時にモニタリングすることが可能である。しかし、一般的には、グローバル通信、ローカル通信の片方を利用するシステムが多い。そこで、グローバル通信、またはローカル通信の片方だけを用いたシステムについて考える。ローカル通信のみのシステムに対しては、グローバル通信の代わりに、マルチホップ通信とすることで可能である。一方、グローバル通信のみのシステムに対しては、ローカル通信の代わりにグローバル通信を用いることで実現できる。また、3.1 で述べたグローバル通信、ローカル通信の両方を使用するシステムにおいても、タスクを実行するために、グローバル通信のみを利用するときはローカル通信を、ローカル通信のみを利用するときはグローバル通信を用いて、回線状態をモニタリングすることで、メッセージ衝突などが生じる可能性も軽減できると考えられる。このように、さまざまなシステムの通信回線を担保するシステムやタスクを実行するために使用する通信回線に応じて、回線状態モニタリングシステムで適用する通信形態を使い分けることを今後検討していきたいと考えている。

5. まとめ

本研究では、すべてのユビキタスコンピュータヘデータ

をブロードキャストするグローバル通信と隣接するコンピュータへのみデータを通信するローカル通信を用いて、ユビキタスコンピュータ間の通信を記録し、回線状態をモニタリングするシステムを提案した。提案システムを用いた、回線異常の検出精度に関する実験では、通信回線の切断のタイミングによっては、他の通信回線に異常が見られることがあるものの、実際に回線を切断または接続したすべての箇所を検出することができた。そして、提案システムを電飾ダンスパフォーマンスシステムに組み込み行った評価実験で、断線箇所を容易に特定することができ、提示された改善案に従うことで、システムの不具合を解消でき、有用性を確認できた。しかし、提案システムの処理と通信回線の切断のタイミングが重なると、正しく通信を記録できず、誤った回線異常を検出することがある。ユビキタスコンピューティング環境では、ユビキタスコンピュータ同士の連携が重要で、通信回線の状態をモニタリングしたい状況は多く、提案システムをさまざまなシステムへ組み込めることが求められる。現状では、ユビキタスコンピュータシステムを制御するプログラムに直接書き込んでいるが、ライブラリとして提供することで、汎用性に富み、さまざまなシステムへの適用が容易になると考えている。また、グローバル通信とローカル通信の両方が利用できる環境が必要だが、一般的には、どちらか片方だけを使用するシステムが多い。今後、片方だけを用いたシステムを検討していく必要がある。そして、提案システムは記録データを後で調べることで通信の切断が発見できるだけであり、通信の切断がおきた際にリアルタイムで切断箇所を特定でき、保障する方法も検討していきたい。

6. 謝辞

本研究の一部は、科学技術振興機構戦略的創造研究推進事業(さきがけ)および文部科学省科学研究費補助金基盤研究(A)(23240010)によるものである。ここに記して謝意を表す。本研究を進める上でご協力を頂いた東京工科大学大学院メディアサイエンス専攻の藤本実助手に感謝致します。

参考文献

- [1] 藤本 実, 藤田直生, 寺田 努, 塚本昌彦: Lighting Choreographer: ウェアラブル LED パフォーマンスシステムの設計と実装, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 16, No. 3, pp. 517–525 (Sep. 2011).
- [2] LAN ケーブルテスター,
入手先 (<https://www.sanwa.co.jp/product/network/lantester/index.html>) (2013.05.09).
- [3] nacman NM11B,
入手先 (<http://www.naccorporation.com/product/nacmanNM11B.html>) (2013.05.09).
- [4] 林 孝典, 山崎真一郎, 森田直人, 相田 仁, 武市正人, 土居範久: インターネットを用いた複数経路データ伝送方式の性能評価, 電子情報通信学会論文誌 B, Vol. J84-B, No. 3,

- pp. 523–533 (Mar. 2001).
- [5] 金山隆志, 峰野博史, 吉村 高, 山田罔裕, 水野忠則: 相互補完ネットワークにおける高信頼通信方式, 情報処理学会研究報告, Vol. 2007-DPS-130, No. 51, pp. 297–302 (Mar. 2007).
- [6] K. Yamada, K. Kitazawa, H. Takase, T. Tamura, Y. Naoe, T. Furumura, T. Shimizu, K. Yoshida, M. Kojima, and T. Mizuno: Dual Communication System Using Wired and Wireless Correspondence in Home Network, *Knowledge-Based Intelligent Information and Engineering Systems*, Vol. 3681, pp. 438–444 (2005).
- [7] 寺田 努, 柳沢 豊, 塚本昌彦, 武田誠二, 岸野泰恵, 須山敬之: 装着デバイス間の直接通信によるウェアラブルコンピューティングの信頼性確保手法について, 情報処理学会研究報告, Vol. 2011-UBI-32, No. 8, pp. 1–8 (Nov. 2011).
- [8] 武田誠二, 岸野泰恵, 柳沢 豊, 須山敬之, 寺田 努, 塚本昌彦: ウェアラブルコンピューティングのディペンダビリティを確保する情報変換機構をもつ装着型入出力デバイスの設計と実装, 情報処理学会研究報告, Vol. 2011-UBI-32, No. 9, pp. 1–8 (Nov. 2011).
- [9] 鎌田恵一: 鉄道車両用: 次世代伝送技術の国際規格化, 東芝レビュー, Vol. 64, No.2, pp. 43–46 (Feb. 2009).
- [10] 小川建亜紀, 鈴木廣美: 信頼性工学からみた医療機器の故障対策の検討, 医科器械学, Vol. 76, No. 4, p. 264 (Apr. 2006).
- [11] 国藤 隆氏, 早乙女弘, 糟谷直大: ネットワーク技術による省配線新連動システム(ネットワーク信号制御システム), 日立評論, Vol. 89, No. 11, pp. 844–847 (Nov. 2007).
- [12] K. Tindell, H. Hansson, and A. Wellings: Analysing Real-Time Communication: Controller Area Network (CAN), *Proc. of the 15th IEEE Real-Time Systems Symposium (RTSS)*, pp. 259–263 (Dec. 1994).
- [13] 佐野喜亮, 深津弘樹, 八幡忠孝, 酒井邦宏, 日野良一, 嵐田崇裕: 新車内通信システムの開発, 三菱自動車テクニカルレビュー 2004, No. 16, pp. 88–94 (2004).
- [14] 塚本昌彦, 藤田直生: 格子状ネットワークにおけるグローバル通信とローカル通信を組み合わせたユビキタスコンピューティング, 情報処理学会研究報告, Vol. 2011-MBL-59, No. 20, pp. 1–8 (Sep. 2011).
- [15] 細見心一, 塚本昌彦, 西尾章治郎: ユビキタス環境における LED 明滅プログラム方式, 電子情報通信学会論文誌 D, Vol. J90-D, No. 6, pp. 1367–1374 (June 2007).