

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 5 月 29 日現在

機関番号：10103

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K01106

研究課題名(和文) 不安定ネットワーク環境下で安定稼動可能な協調型eラーニングシステムの開発

研究課題名(英文) Development of Collaborative e-learning System Capable of Stable Operation under Unstable Network Environment

研究代表者

佐藤 和彦 (SATO, KAZUHIKO)

室蘭工業大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：90344548

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：発展途上国の環境向けの教育支援システムとしてユニットを開発した。学校間にユニットを設置することで、不安定なネットワーク上で安定したコンテンツ共有環境を実現した(機能1)。また、ユニット個々のバッテリー充足率や消費電力量から稼動可能時間を可視化した(機能2)。最終年度にネパール現地で稼働実験を行った結果、機能1は問題なく動作した一方で、機能2は現地で入手可能なバッテリーと計測センサーが合わず、うまくデータを取れない問題に直面した。また、停電が発生した際に、バッテリーへの切り替えがうまく働かず、システムがダウンしてしまう不具合が生じた。実運用には課題が多く残されていることが明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

eラーニングは、都市部の学校と地方の教育資源の貧しい学校間の教育格差を無くす優れた手法であると期待されている。しかし、実際はeラーニングは安定した高速通信環境を前提とし、発展途上国はその安定した通信環境が無く、恩恵を受けることができない。本研究は、そのような不安定な通信環境しか有さない学校に安定したeラーニングを与える遠隔学習システムを実現するための機能を有するユニットを開発し、ネパールの都市部と山間部の学校間での実地試験により、提案するシステムの実現性と有用性を示した。

研究成果の概要(英文)：We have developed "unit" as an educational support system that operates stably in an unstable network environment in developing countries. By installing the units not only in each school but also in each relay node, educational contents can be duplicated and retained, and stable data management can be realized on an unstable network (function 1). We also implemented a function that visualizes the available operating time from the battery charge rate and power consumption of each unit (function 2). In the final year, we conducted an operation test in the local environment in Nepal. As a result, function 1 worked without problems. But, function 2 was caused problems that the local available battery and unit measurement sensor did not match, and data could not be collected properly. In addition, when a power failure, switching to the battery did not work properly and the system went down. It became clear that many problems remained in actual operation.

研究分野：複合領域

キーワード：遠隔協調学習 発展途上国 不安定ネットワーク 情報システム 教育工学

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

今日、教育工学分野において情報通信技術(ICT)を利用した教育支援の取り組みが様々な成果や技術を生み出している。その一方で、世界的に見ると高速ネットワーク基盤が整備されている環境は先進国や大都市圏といった一部の地域に限られ、途上国などの多くは未だその限りではない。発展途上国に対する ICT の普及整備と ICT を利用した教育機会格差の解消を目的とした国際的な支援の取り組みとして ICT4D 構想がある。非営利の社会的企業 Inveneo は、各地の大学や機関と協力してハイチやウガンダなどの途上国において、環境整備が遅れている地方の学校や集会所に無線ネットワークを用いたインフラ整備を進めている。研究代表者らが研究対象としているネパールにおいても、同団体の支援により 2009 年に東部地域の学校や郵便局などに無線ネットワーク環境が整備され、IP 電話や情報検索、各種アプリケーションが利用可能な公共サービスとして無償提供された。その後、日本を含む他機関による同様の取り組みもあり、ネパール各地の貧困地域への ICT 環境の整備が進められた。しかし一方で、天候や地理的な条件の厳しい山間部に対しては、これまでネットワーク基盤の整備はほとんど進められていない。ネパール山間部は標高が高く、気候も不安定な地域である。また、生活インフラも不十分で慢性的な電力不足により停電が頻発するため、安定したネットワーク環境を提供するためには課題が多い。

この現状に対し、研究代表者らは 2010 年からネパール国のヒマラヤ山脈麓に位置するカスキ地方ポカラ市周辺の貧しい山村間を結ぶ無線ネットワーク網の整備を進め、山村地域の学校に教育用ネットワーク基盤を構築する研究に取り組んできた。ODA 等の外部資金や支援に依らない途上国自身の自力でのインフラ普及を将来的な視野に入れ、現地で入手可能な安価な市販品の無線通信機器を組み合わせた設計を行った。これまでにポカラ周辺の 4 つの学校と市街地を結ぶ無線ネットワーク網を構築した(図 1)。さらに、遠隔地である日本から運用状態を監視できる環境を実現し、稼働状態の収集・分析をこれまで継続して行ってきた。5 年にわたる運用の中で、停電や天候悪化による通信遮断が発生し、サービスが停止するだけでなく、日本からも制御不能になる状況が多々発生した。原因調査の結果、現状の環境では学校と中継アンテナを結ぶネットワークは回避経路が乏しい点、中継アンテナの設置位置にも問題がある点などが明らかとなった。これを解決する方法として、無線ノード同士をメッシュ状に結び、それらの間で自律的に伝送路を構築する無線メッシュネットワーク技術が有効であると着目し、その敷設を進めた。局所的な通信不良については、この対策によって改善が見られたが、ネパールでは、乾季に大規模な計画停電が例年実施されるほか、雨季には落雷による停電が頻発する。学校個々や中継アンテナには避雷針やソーラーパネルや充電機器などを設置して停電に耐えられる設備の導入を進めているが、停電は地域単位で発生するため、半日にもわたる停電の間、全ての通信ノードを稼働維持することはコスト的にも難しい。以上から、ネットワーク網のメッシュ化など物理的な改善だけでは通信路の安定維持は難しいという判断に至った。

2. 研究の目的

本研究では、不安定なネットワーク環境上で安定的に動作する教育支援システムの実現に向けて、①学校ごとの稼働独立性を向上させることと、②ネットワークを介した学校間協調学習環境の環境全体としての稼働可能時間を可視化することの 2 つを目的とした。それを実現するための具体的方策として、無線メッシュネットワークの各ノードに設置し、生存ノード間で情報共有する機能を有したユニット(図 2、図 3)を本研究課題において開発する。このユニットは、クラスタデータベース技術による教育コンテンツ共有機能(機能 1)と、学校間で設置された無線ノード個々のバッテリー充足率や消費電力量から稼働可能時間を可視化する機能(機能 2)を有する。機能 1 により、各学校のみならず、各中継ノードでも教育用コンテンツを複製して保持

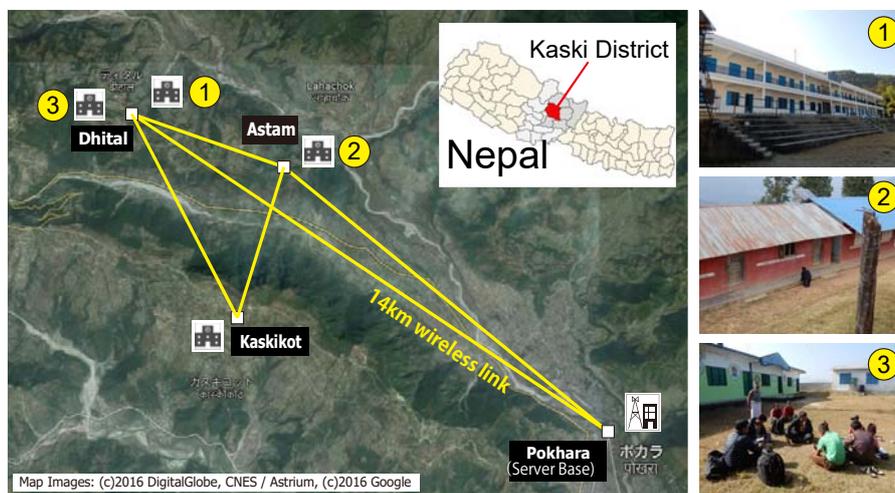


図 1 : ネパール国ポカラ市郊外に設置した無線ネットワーク網(略図)

し、データベースに冗長性を持たせることで不安定なネットワーク上での安全で安定したデータ管理を実現できる。また、機能2により、ネットワーク全体の稼働可能時間が得られることで、学校間でリアルタイムに行われる遠隔協調学習についても、その実施可能時間が可視化できるため計画的に授業を実施することが可能となる。

3. 研究の方法

本研究では、まず、小型省電力のシングルボードコンピュータ上にコンテンツ共有のためのデータベースシステムと、電力可視化システムを搭載した「ユニット」を開発する。そして、開発したユニットをネパールの市街地の学校と山間部の学校及び中継無線ノードにそれぞれ設置しての稼働実験を行う。さらに、稼働実験の結果に基づく問題改善とユニットの環境設定の自動化手法について開発を進める。

4. 研究成果

本研究では、まず、各学校に設置するノードに搭載する2つの機能の開発を行った。次に、シングルボードコンピュータを使ったユニットにそれら機能を搭載し、複数のユニットを用いた動作実験を、国内での予備実験と、ネパール現地での実地試験の2種類行い、ユニットの動作検証と実地検証を行った。現地の実験結果から、問題点を洗い出すとともに、その改善方法について検討した。

以下、行った作業ごとに説明する。

(1) クラスタデータベース技術による教育コンテンツ共有機能の開発

本研究では、異なる2層のデータベースをユニット上に実装し、学校間で教育コンテンツを共有する機能を実現した。基盤層となるクラスタ層では、クラスタデータベース技術を用いて各ユニット間にクラスタノードを実装し、遠隔ユニット間でデータベース共有を実現した(雑誌論文①など)。もう一層のコンテンツデータベース層では、学校でeラーニング環境として利用する学習支援システムのコンテンツを管理するデータベース(RDBMS)をユニット上に実装し、クラスタデータベースとRDBMSの間でのデータ共有機能により、各学校のコンテンツを、クラスタ層を介して学校間で共有できるしくみとした。

クラスタノード間の横の共有と、RDBMSとクラスタノード間の縦の共有の2つの共有により、端末間で通信路が保持されていなければシステムの稼働が維持できないというクラスタデータベースの欠点を補い、停電などで通信が断絶している状況下でも、個々の学校のeラーニングシステムは独立して利用できるとともに、通信が安定している状況下では、遠隔地の学校間でコンテンツを共有することが可能となった。これにより、通信が安定しない発展途上国の環境下でも遠隔地間でのコンテンツ共有により、都市部と同じコンテンツを山間部の設備の整わない学校でも利用することが可能となった。

(2) 稼働可能時間を可視化する機能の開発

ユニットで用いるシングルボードコンピュータに電圧センサー等を接続し、システムで使用される機器が用いる電池やバッテリーのバッテリー充足率を計測する機能と、消費電力量を計測する機能を実装した。電源から供給されている状態かどうかを検出し、停電の場合に、停電を検出した時間の情報や、バッテリーでユニットがどれぐらいの時間稼働を維持できるかについてのデータをクラスタデータベース上に保存する。これにより、ネットワークの稼働履歴、システムの稼働履歴についてもユニット間で共有し、停電で切断されている情報が得られないユニットについても、共有されたデータから最後の稼働履歴を得られるようにした(雑誌論文②)。

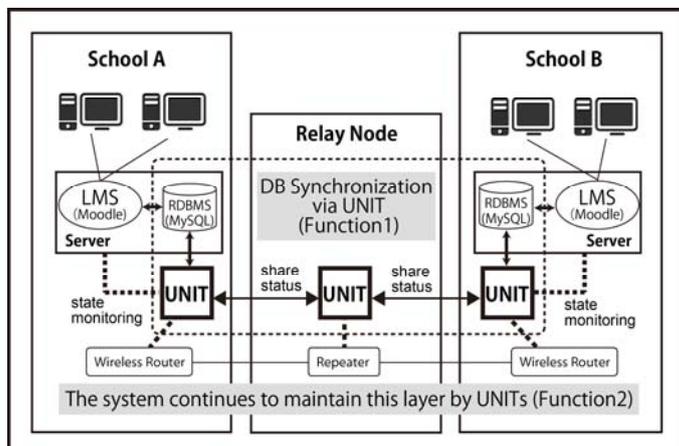


図2：ユニットの利用イメージ

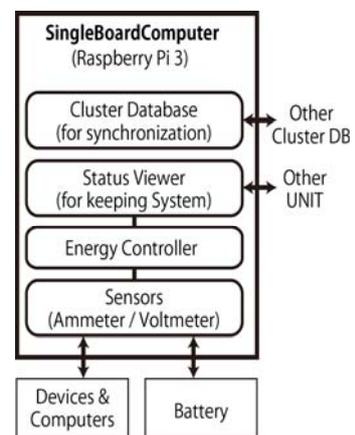


図3：ユニットの構成

(3) 国内での動作検証

ネパールでの実地試験を行う前準備として、研究室内に構築したローカルネットワーク上に複数のユニットを接続してのシステムの動作確認と、研究代表者の所属する室蘭工業大学と、連携研究者が所属する稚内北星学園大学の 2 点間によるデータ共有の実験を行った。研究室の実験は問題なく成功し、開発したユニットが適切な設定の下で、データ共有が可能であることが確認された。

国内 2 拠点間での実験では、各大学のネットワークセキュリティなどの制約があったが、クラウド上に仮想のユニットサーバを設置し、それをマスターノードとすることで、通信とデータ共有が問題無く行えることが確認できた。実地試験で予定するネパールと日本それぞれに設置したユニット間のデータ共有においても同様の問題が発生するため、クラウド上の仮想ユニットは実地試験においても同じものを用いることとした。日本側でのユニットの動作確認と準備は問題なく終えることができた。

(4) ネパールでの実地試験

2019 年 12 月下旬から 2020 年 1 月にかけての 17 日間、ネパール国ポカラ市に赴き、ポカラ市街にある小学校と、ポカラ市近郊の山間部にある小学校、日本の室蘭工業大学およびクラウドの仮想ユニットの 4 点間で、本研究で開発したユニットを用いた遠隔協調学習支援システムの稼働実験を実施した。

クラスタデータベースは、現地ネットワーク環境に合わせた設定調整程度の作業で、問題無く接続され、現地環境下において本研究で開発したユニットによるコンテンツ共有が行われることが確認できた。

しかし一方で、稼働可能時間を可視化する機能については多くの問題が発生した。現地で入手可能なバッテリーとユニットの計測センサーが合わず、うまくデータを取れない問題に直面した。さらに、実験を行った 12 月はネパールは乾季であり、通常は比較的電力が安定する時期であるはずが、実験に赴いた 2019 年 12 月は大雨が続き、停電が頻繁に発生した。このような環境下で安定して稼働することを目標にユニットの設計・実装を行っていたはずが、センサーの不具合もあり、バッテリーへの電源切り替えがうまく働かず、ユニットがダウンしてしまう不具合が生じた。また、ダウンした際に、共有作業中であったクラスタのデータベースも破損し、ダウンしたユニットのみならず、遠隔地にあるユニットについても全てバックアップからのデータ復旧が必要な事態となってしまった。この失敗から、現地環境のさらなる調査・検証と、それに合わせた機能の改善が必要であることが分かった。また、システムダウン時にデータベースを破損させないしくみや、自動で復旧できるしくみを検討する必要があることが判明した。発覚した問題改善に向けた作業が本研究の今後の課題として明らかとなった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Krishna Prasad Bhattarai, Bishnu Prasad Gautam, Kazuhiko Sato	4. 巻 -
2. 論文標題 Authentic Gate Entry System (AuthGES) by Using LBPH for Smart Home Security	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proc. of 2018 International Conference on Networking and Network Applications, IEEE Xplore	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/NANA.2018.8648705	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Krishna Prasad Bhattarai, Khamvila Visai, Ryohei Ito, Kazuhiko Sato, Bishnu Prasad Gautam	4. 巻 -
2. 論文標題 Monitoring of E-Learning System Servers Using the MariaDB Galera Cluster	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proc. of 2019 International Conference on Networking and Network Applications, IEEE Xplore	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/NaNA.2019.00058	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 1件/うち国際学会 2件）

1. 発表者名 伊藤良平, 佐藤和彦
2. 発表標題 発展途上国におけるE-Learning環境に用いる安定した通信システムの提案
3. 学会等名 令和元年度電気・情報関係学会北海道支部連合大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Krishna Prasad Bhattarai, Khamvila Visai, Ryohei Ito, Kazuhiko Sato, and Bishnu Prasad Gautam
2. 発表標題 Monitoring of E-learning System Servers using the MariaDB Galera Cluster
3. 学会等名 2019 International Conference on Networking and Network Applications(NANA2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 カムウィラー・ウィサイ, 佐藤和彦
2. 発表標題 通信インフラの不安定な発展途上国の学校間を結ぶ安定したEラーニング環境の提案
3. 学会等名 情報処理学会第81回全国大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Krishna Prasad Bhattarai, Kazuhiko Sato, Bishnu Prasad Gautam
2. 発表標題 Authentic Gate Entry System (AuthGES) by Using LBPH for Smart Home Security
3. 学会等名 2018 International Conference on Networking and Network Applications(NANA2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 佐藤和彦, Bishnu Prasad Gautam
2. 発表標題 異国間児童の交流を支援するアプリケーション開発とネパールでの試用実験の報告
3. 学会等名 PCカンファレンス2018, コンピュータ利用教育学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 カムウィラー・ウィサイ, 佐藤和彦
2. 発表標題 通信インフラの不安定な発展途上国の学校間を結ぶ安定したEラーニング環境の提案
3. 学会等名 情報処理学会第81回全国大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kazuhiko Sato
2. 発表標題 Collaborative E-learning System for Unstable Environment
3. 学会等名 Presentation seminar on the use of IT in biological science, organized by Prithvi Narayan Campus, Tribhuvan University, Nepal (招待講演)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
連携研究者	ゴータム ビスヌ・ブラサド (Gautam Bishnu Prasad) (90615494)	金沢学院大学・経済情報学部・准教授 (33305)	