

斜面防災システムにおける耐障害性を考慮した P2P レプリケーション手法

陶山 優一[†] 藤崎 友樹^{††} 鈴木 和久^{††} 横田 裕介[†] 大久保 英嗣[†]

[†]立命館大学情報理工学部 ^{††}立命館大学大学院理工学研究科

1 はじめに

現在、我々は、センサネットワークから得られたデータを P2P ネットワークを用いて分散管理するマイクロストレージシステムである P2P データポット (以下、データポットと記す) [1] を開発している。我々は、データポットの適用例の 1 つに斜面防災システムを想定している。斜面防災システムは、センサネットワークを用いて土砂災害を予測するシステムである。屋外で長期間にわたる観測を行う場合、自然災害や野生動物などによってデータポットが故障する可能性がある。この場合、ローカルのストレージに保存していたセンシングデータを損失してしまう。この問題を解決する手法として、オリジナルデータを持つデータポットとは別のデータポットに対して、データのレプリケーションを行うことが有効である。しかし、土砂災害が発生した場合、近接する複数のデータポットが同時に故障する可能性がある。このため、近接したデータポットがレプリケーション先であった場合、オリジナルデータ、レプリカ共に損失してしまう。

レプリケーション技術は、これまでに分散データベース、アドホックネットワーク、P2P ネットワークなど様々な分野で研究が行われてきた [2, 3, 4]。しかし、斜面防災システムのように対象とする環境に特有の情報からノードの故障によるネットワークからの離脱が予測できるような場合、同時に災害に巻き込まれる可能性の低いデータポットを選出してレプリケーションを行うことにより、高い耐障害性を実現することが可能となる。そこで、本稿では、ノードの故障の可能性や位置情報に基づいたレプリケーション手法を提案する。

2 耐障害性を考慮したレプリケーション手法

斜面防災システムでは、センサノード、データポット共に固定配置され、位置情報は各データポットに搭載された GPS によって既知であるものとする。また、データポットが土砂崩れに巻き込まれる危険性の判断に用いるセンサは、異なる種類のセンサから得られたセンシングデータを比較することは困難であるため、提案手法ではシステム全体で 1 種類であると仮定する。

提案手法では、土砂災害によってオリジナルデータとレプリカが同時に失われることを防ぐため、土砂災害に巻き込まれる危険性が低く、オリジナルデータを持つデータポットから距離が離れており、同一斜面上にないデータポットに対してレプリケーションを行う。レプリケーションを行う際に用いるパラメータを次に示す。

- センシングデータ

圧力水頭計や雨量計などのセンサから得られたデータ。値の大小から土砂災害が起こる危険性を判断

Fault-tolerant Peer-to-Peer Replication for a Landslide Prevention System

Yuichi Suyama[†], Yuki Fujisaki^{††}, Kazuhisa Suzuki^{††}, Yusuke Yokota[†] and Eiji Okubo[†]

[†]College of Information Science and Engineering, Ritsumeikan Univ.

^{††}Graduate School of Science and Engineering, Ritsumeikan Univ.

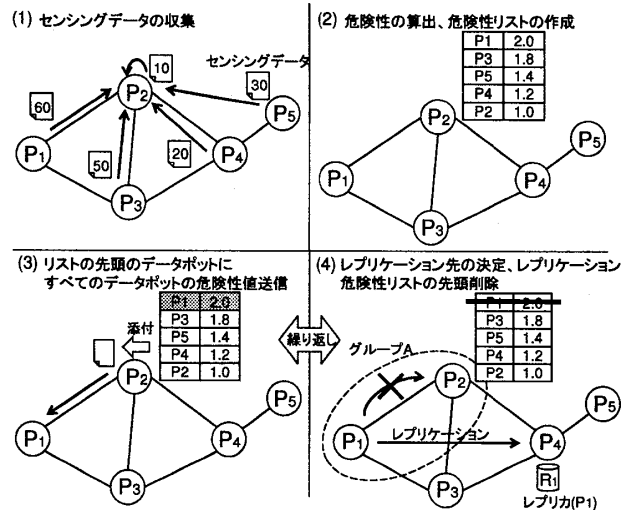


図 1 レプリカ配置の処理手順

する。

- データポット間の距離

各データポットに搭載された GPS から取得した位置情報を基に、データポット間の距離を求める。

- グループ情報 (任意)

ユーザが指定したグループ情報。距離が離れている場合でも、同一斜面の山腹と麓のように同時に土砂崩れに巻き込まれる可能性があるデータポット群を同一グループに指定し、同一グループのデータポットをレプリケーションの対象から除外する。

提案手法は、データポット探索、レプリカ配置、更新、再配置、障害発生時の処理、レプリカ管理の 6 つの処理から構成される。以下、各処理について述べる。

データポット探索

データポット探索では、P2P ネットワーク上のすべてのデータポットの探索、位置情報の取得、自データポットとの距離の算出を行う。また、各データポットは、データポットテーブルを作成し、データポット ID、状態 (ONLINE, OFFLINE)、位置情報、算出した各データポットとの距離を格納する。これらの処理は、データポットの起動時に実行する。さらに、データポットテーブルの更新は、一定周期で更新する場合と、データポットの参加・離脱が発生した際に更新する場合の 2 通りがある。

レプリカ配置

レプリカ配置では、レプリケーション先の決定およびレプリケーションを行う。レプリケーション先には、センシングデータから算出した危険性の高いデータポットから順に、レプリケーション候補の危険性、距離、グループ情報を考慮し、適切なデータポットを選出する。レプリカ配置における処理手順の概要を以下に示す (図 1 参照)。

1. ランダムに選出したデータポット P_2 から各データポットに対してセンシングデータ要求メッセージを送信する。メッセージを受け取ったデータポット $P_i (i=1,2,3,4,5)$ は、 P_i の管理するセンサネットワークのセンシングデータの平均値 $A(P_i)$ を算出し、 $A(P_i)$ を含めたメッセージを返信する。
2. メッセージを受け取った P_2 が、 P_i の土砂災害に巻き込まれる危険性 $R(P_i)$ を算出し、 $R(P_i)$ の高い順にデータポットのリストを作成する (P_1, P_3, P_5, P_4, P_2)。センシングデータは、搭載されたセンサの種類によって値が大小様々であるため、他のデータポットのセンシングデータと比較した相対的な値を用いる。 $R(P_i)$ は、以下の式より求める。

$$R(P_i) = \frac{A(P_i) - \min(A(P_1), \dots, A(P_n))}{\max(A(P_1), \dots, A(P_n)) - \min(A(P_1), \dots, A(P_n))} + 1$$

$$(1 \leq R(P_i) \leq 2) \quad (1)$$

3. P_2 は、リストの先頭にあるデータポットに対して、各データポットの危険性を含めたメッセージを送信する。
4. メッセージを受け取ったデータポット P_i は、レプリケーション候補 P_j 間の距離 $d(P_i, P_j)$ と $R(P_j)$ から安全性 $S(P_i, P_j)$ を算出し、安全性 $S(P_i, P_j)$ が最大値となる P_j をレプリケーション先とし、 P_j にレプリケーションを行う。安全性 $S(P_i, P_j)$ は、以下の式より求める。ここで、 C は、危険性 $R(P_i)$ が安全性 $S(P_i, P_j)$ に与える影響の割合を変更するために用いる。

$$S(P_i, P_j) = \left(\frac{1}{R(P_j)} \right)^C \times d(P_i, P_j) \quad (2)$$

$$(C > 0)$$

ただし、既にレプリケーション対象となったデータポットおよび同一グループ内のデータポットは、レプリケーション候補から除外する。レプリケーションを行った後、 P_i は P_2 に対し、 P_i のレプリケーションが終了したことを知らせるメッセージを送信する。メッセージを受け取った P_2 は、 P_i をリストから削除する。リストにまだデータポットがある場合、手順3に戻る。

更新

データポットは、センサネットワークからのセンシングデータを受信するたびに、データをローカルのストレージに蓄積する。また、これと同時に、ダブル単位で差分をレプリケーション先に送信することで、レプリカを更新する。

再配置

再配置は、次の2つの場合に実行する。まず、データポットの追加や削除が行われた場合に、逐次再配置を行う。次に、時間経過により斜面の状態が変化し、以前のレプリカ配置が適切ではなくなった場合に、再配置を行う。しかし、再配置の際には多くのデータがやり取りされるため、晴天時のように土砂崩れが起こりにくい状況では、再配置を行わない方が好ましい。そのため、一定周期毎

にレプリカ配置における手順1を実行し、 $A(P_i)$ の平均値 E が閾値 B を超えた際に再配置を行う。また、時間経過による再配置の判定条件の緩和を行う。以前のレプリカ配置からの経過時間を t 、単位時間あたりの条件緩和率を α とする。判定条件を以下に示す。

$$E + \alpha B t \geq B \quad (3)$$

障害発生時の処理

データポットがネットワークから離脱する要因には、バッテリー切れ、雨や遮蔽物による電波状況の悪化、土砂崩れや雷による故障などが考えられる。ネットワークからデータポットが離脱した場合、一時的な電波状況の悪化も想定されるため、一定時間待機後データポットが復帰しない場合、各データポットに対象のデータポットの離脱を通知し、データポットテーブルを更新する。離脱したデータポットのレプリカは、保存用データとして、削除命令が来るまで保持する。

レプリカ管理

どのデータポットがどのレプリカを保持しているかネットワーク上で情報を共有する。また、障害発生により保存用データとなったレプリカの管理と削除も行う。

3 実装

データポットは、各種機能を JXTA [5] のサービスとして実装している。本稿で述べたレプリケーション機能も、JXTA のサービスとして実装する。レプリカ配置のアルゴリズムを容易に変更可能にするため、実装は Replication と ReplicationSelector の2つのサービスで構成する。Replication サービスは、テーブルの送信、更新された差分の送信、レプリカ情報の共有といった、レプリケーションを行う上での基本機能を提供する。ReplicationSelector サービスは、Replication サービスを利用し、レプリケーション対象の決定を行う。また、ReplicationSelector サービスは、2章のレプリカ配置アルゴリズムを実行する。

4 おわりに

本稿では、ノードの故障の可能性や位置情報に基づいたレプリケーション手法について述べた。今後は本手法の定量的評価として、シミュレータを用い、土砂災害が起きた場合のデータ損失率およびネットワーク上のトラフィックの計測を行い、他の手法との比較を行う。また、実際のセンサネットワークでは、数種類のセンサが混在して用いられる可能性があるため、このような場合に対応する手法の検討を行う必要がある。

参考文献

- [1] 藤崎 友樹, 鈴木 和久, 横田 裕介, 大久保 英嗣: P2P データポット: センサネットワーク向け分散型マイクロストレージアーキテクチャ, DEWS2007 D1-1 (2007).
- [2] Takahiro Hara, Sanjay K. Madria: Data Replication for Improving Data Accessibility in Ad Hoc Networks, IEEE Transactions on Mobile Computing, Vol.5, No.11, pp.1515-1532 (2006).
- [3] Qin Lv, Pei Cao, Edith Cohen, Kai Li, Scott Shenker: Search and Replication in Unstructured Peer-to-Peer Network, Proc. Int'l Conf. on Supercomputing, pp.84-95 (2002).
- [4] San-Yih Hwang, Keith K.S.Lee, Y.H.Chin: Data Replication in a Distributed System: A Performance Study, DEXA, pp.708-717 (1996).
- [5] Gong, L.: JXTA: A Network Programming Environment, IEEE Internet Computing (2001).