

コンテナ型仮想化を利用した電波空間蓄積配信サーバのリソース管理

脇坂 優樹[†] 市川 晴久[†] 川喜田佑介[†]

[†] 電気通信大学

A resource management method based on container virtualization for radio space information storage server

Yuuki WAKISAKA[†], Haruhisa ICHIKAWA[†], and Yuusuke KAWAKITA[†]

[†] The University of Electro-Communications

1 序 論

無線端末の一般化・小型化に伴いセンサネットワークの実用化に向けた研究・実験が進められている。センサネットワークには複数のセンサ、センサの情報を蓄積するためのデータベース、データベースの情報を処理するアプリケーションサーバが含まれる。特にセンサを無線で接続することにより、有線ネットワークの敷設が難しい場所への展開が期待できる。現在のワイヤレスセンサネットワークには専用のプロトコルが用いられるため既存のネットワークと互換性はなく、専用設備の設置を要することが導入における障害となっている。またそのような設備は特定の規格に特化したハードウェアとして生産されるため、新規格や独自開発した端末・規格の導入には対応できず、無線センサの展開可能領域は既存規格の制約条件により制限されることになる。このような設備の共通化、新規格や独自開発規格への柔軟な対応、インターネットを経由した遠隔地への配信を実現するため、Appliance Defined Ubiquitous Network: ADUN [1] が提案されている。ADUN は電波空間そのものをサンプリングし、既存の高速通信を使用して伝送、ソフトウェア受信機によって処理することで受信部におけるハードウェアを共通化することができる。新規格や独自開発規格もソフトウェア無線機の追加のみで既存の設備を使用したまま対応が可能となる。ハードウェアの共通化により通信方式毎の受信機の設置やバックボーンネットワークの敷設といった導入コスト、それらの管理のための運用コストを削減できる。現在のプロトタイプ実装では電波空間のリアルタイム配信が実現されているが、センサネットワークでは情報の一時的・恒久的な蓄積を行うストレージシステムが必要となるため、電波空間情報を随時蓄積・任意のタイミングで取り出してアプリケーションに提供できるような電波空間情報ストレージの追加を検討している。

本論文では、電波空間情報ストレージにおける電波空間情報配信の際に、各クライアントに対して割り当てられるリソースのうち、特にディスクからの読み込み帯域について、ディスク帯域の均等化について検討した結果を報告する。

2 電波空間配信システムの構想と課題

2.1 電波空間配信システムの構想

ADUN は汎用の AD コンバータを使用してデジタルデータ化した電波空間を既存の IP 網を利用して伝送することで電波空間の仮想化を実現する。図 1 に ADUN での電波空間配信方式を示した。ADUN では専用の無線基地局の代わりに汎用の電波空間情報ソースを配置し、AD コンバータによってサンプリングした電波空間情報を配信サーバに提供する。配信サーバは電波空間情報に BPF・デシメーション等のデジタル信号処理を施し、クライアントに配信する。クライアントはセンサネットワークの保有者のような、電波空間情報の最終的な利用

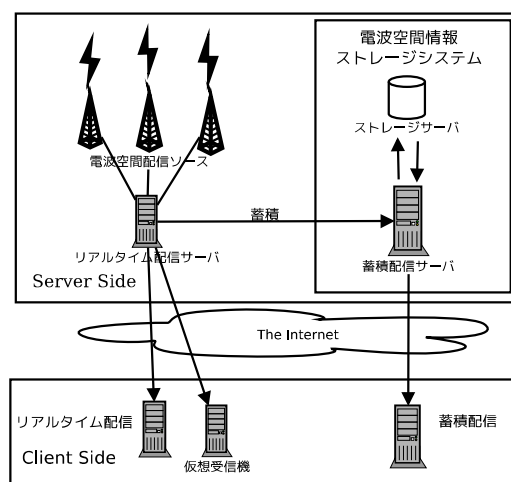


図 1 ADUN での電波空間配信

者の端末であり、IP ネットワークを使用して伝送されてきた電波空間情報をソフトウェア受信機によって復調・復号する。

電波空間情報の利用形態としてリアルタイム配信と蓄積配信の 2 種類を想定しており、現在はリアルタイム配信のみが実現されている。蓄積配信では、予め決められた周波数帯を電波空間情報ストレージシステムに記録しておくことで、クライアントは任意のタイミングで特定の時刻・周波数帯・帯域を要求してストレージシステムから受け取ることができる。

将来的に本システムが導入される環境では、高い処理性能や大容量のストレージが必要な電波空間配信サーバはクラウド上のサービスとなることが予想される。電波空間情報ソースの配置される場所は多様であり、必ずしも配信サーバに必要な性能や安定性を確保できるとは限らない。配信サーバをデータセンタに集中させることによりスケールが容易となり、リアルタイム配信では電波空間情報ソースやクライアントの増加に対応した動的な配信サーバ拡張、蓄積配信では記録可能な帯域、時間の延長が可能となる。

2.2 電波空間配信サーバの課題

一台の電波空間配信サーバが収容できるクライアント数を推定するため、配信サーバのボトルネックとなる部分の特定は重要である。電波空間配信サーバのうち、リアルタイム配信サーバにおいて問題となる負荷はデジタル信号処理の、特に BPF 処理が最大のボトルネックとなることが分かっている [2]。対して、電波空間ストレージシステムに含まれる蓄積配信サーバではディスクからの読み込み処理が主要な負荷になると考えられる。我々は以前の研究において、ディスク読み込み時の伝送量削減のためにファイルシステムの機能による圧縮を用いて伝送量を CPU 負荷に転換することを試み、単一クライアントへの

配信を想定した環境下で速度向上と記録時間向上を同時に実現可能であるという成果を得た [3]。複数クライアントへの配信を考えると、あるクライアントの処理負荷が他のクライアントの処理性能に影響を与える可能性があるため、単にディスクのスループットのみから収容クライアント数を決定できない。同一サービスを提供するクライアントに対してはディスク帯域が均一に割り振られることが望ましいが、実際にはクライアント間で不均一が生じる、あるいはスループットが安定せずソフトウェア受信機による復調・復号に失敗する可能性がある。この問題を解決するために各クライアント毎のリソース管理を行い、全クライアントに対して均一なデータ送信を実現する必要がある。ディスクアクセスやネットワークの帯域、CPU 時間の均等化については仮想マシン技術の一部として既に実用化されているため、それらを利用したアプリケーションのリソース管理を考慮することができるが、現在主流のハードウェアレベルで仮想化を行う技術ではオーバーヘッドが大きくなることが考えられる。そこで、本研究ではよりオーバーヘッドの小さいコンテナ型仮想化を用い、その機能を用いてリソース管理を行う。

2.3 関連研究

Xavier らは、HPC ノード間でのリソース共有と複数ユーザ間での環境分離を目的とし、コンテナ型とハイパバイザ型の仮想環境での性能差、また複数のコンテナ仮想化方式間での性能差の比較 [4] を行い、実際にコンテナ型仮想化を用いて MapReduce を仮想化した場合の性能評価 [5] を行っている。これらの研究と本研究の差異は、HPC クラスタではネットワーク的に近い距離に配置されたコンテナ間での通信が主となるため特にネットワークの性能劣化を問題としているのに対し、本研究ではサーバとクライアントがインターネットを介して通信するため電波空間配信としてはネットワークの性能劣化の影響は問題視していない点である。

唐沢らは、電波伝搬の特性調査・電波のアーカイブ構築を目的とし、スタンドアロンの電波空間記録システムであるトータルレコーディングシステムを提案している [6]。文献 [6] において書き込みビットレートの観点からは個人利用の範囲での記録・再生システム構築は可能になりつつあると報告されているが、複数人でのシステム共有に関しては検討されていない。本研究ではシステムを複数人で共有するという観点から、特に読み込みビットレートの配分に注目する。

3 読み込み時間の分散測定実験

3.1 実験の概要

Linux のコンテナ型仮想化機能である LXC はそれ自身ではリソース制限機能を持たず、cgroups の機能を用いるため、cgroups を用いて読み込み帯域制限の有効性、および帯域制限が I/O 時間に与える効果を確認すべく実験を行った。クライアントからのファイル読み取りに見立てたディスクアクセスを 4 つのプロセスから同時に発生させ、ファイル読み取りにかかる時間を測定し、各ファイルごとの読み込み時間の、各プロセスごとの平均と分散が評価指標となる。帯域制限は各プロセスを別の cgroup に分離し、blkio サブシステムの機能で設定した。この際、帯域は割合での設定ができず、byte/s 単位の絶対値または秒間操作数で指定を行う必要がある。本実験で各プロセスに割り当てる帯域の決定方法は次の通りである。事前に測定した各ファイルの読み込み時間の平均値 t_{ave} にクライアントに対応するプロセスの数 n をかけ、ファイルを読み込む目標時間を設定する。実験環境では $t_{ave} \times n = 2.65 \times 4 = 10.6$ 秒であった。しかし、厳密に等分すると何らかの理由であるプロセスが読み取りを行わない場合にも他のプロセスが余剰帯域を使うことができないため無駄が生じる。これを解消するため、実際に設定する目標時間は上記の値から自由度 α を引く。自由度を大きくすると余った帯域を使用できるようになるが、読み込み時間の均等化効果は薄くなる。最終的に、各プロセスに割り当て

られる帯域 b_p は $1000000000 / (t_{ave} \times n - \alpha)$ となる。実験においては自由度が結果に与える影響を調査するため、最終的に設定する目標時間を 7, 8, 9 秒で変化させたもの ($\alpha = 3.6, 2.6, 1.6$)、および制限をかけないものの 4 種類を測定した。

3.2 測定結果と考察

全ファイルを読み込むのにかかったのべ時間は「制限なし」の場合よりも「制限あり:目標 7 秒」の場合の方が約 140 秒短かった。一方で「制限あり:目標 8 秒」および「制限あり:目標 9 秒」では「制限なし」の場合よりものべ時間が長くなっている。プロセス毎に効果を比較すると、「制限なし」の場合に有利になっていたプロセス 2 つは「制限あり」の場合すべてで性能が劣化しており、制限の効果が得られていることがわかる。それぞれのプロセスの最小・最大読み込み時間を比較すると「制限なし」の場合にはすべてのディスクが 6 秒台・12 秒台であり大きく分散していたが、制限をかけることにより最大と最小の差が小さくなっており読み込み速度が安定し、9 秒台に集中した。制限ありの場合について、目標値ごとに結果を比較すると、目標値が小さくなるほど分散は大きくなり、対して合計時間は短くなっていた。これは 3.1 で述べたように、自由度を大きくすると余った帯域を効率的に配分できるため合計時間は短くなるが、平時からわずかに不均一になるため分散が大きくなっていると考えられる。

4 結論と今後の課題

本研究では、電波空間ストレージによる電波空間蓄積配信システムにおいて、安定した受信を行うために必要である帯域割り当ての均等性を保障するため、ディスク帯域管理の有無による I/O 時間の分散の差について明らかにした。実験より、帯域制限を適用した場合に各プロセスに割り当てられるリソースの不均一性は緩和され、適切な設定を行えば読み込みにかかるのべ時間が短縮されることが示された。制限をかける上で、スループットを最大限に活用するために自由度を大きく設定するとプロセス間で I/O 時間の差が生じやすくなり、逆に完全に等分の設定とするとスループットを活用できなくなるという結果が得られた。分散とスループットのどちらを重視するかにより手動で調整を行うか、帯域に余裕がある場合は自動で制限を緩和するような機構の実現が必要となる。後者については今後の研究課題としたい。

謝 辞

本研究は JSPS 科研費 25240010, 25730054 の助成を受けた。
文 献

- [1] Haruhisa Ichikawa, et al. Ubiquitous networks with radio space extension over broadband networks. *IEICE Trans. on Comm.*, Vol. E90-B, No. 12, pp. 3445–3451, Dec 2007.
- [2] Yuusuke Kawakita, et al. A resource analysis of radio space distribution for the wide-area virtualization of wireless transceivers. *IEICE Trans. on Comm.*, Vol. E97-B, No. 9, pp. 1800–1807, Sep 2014.
- [3] 脇坂優樹ほか. B-17-18 電波空間情報ストレージのファイルシステムレベル圧縮. 電子情報通信学会ソサイエティ大会講演論文集, Vol. 2013, No. 1, p. 503, Sep 2013.
- [4] M.G. Xavier, et al. Performance evaluation of container-based virtualization for high performance computing environments. In *PDP 2013 21st Euromicro International Conference on*, pp. 233–240, Feb 2013.
- [5] M. Gomes Xavier, et al. A performance comparison of container-based virtualization systems for mapreduce clusters. In *PDP 2014 22nd Euromicro International Conference on*, pp. 299–306, Feb 2014.
- [6] 唐沢好男ほか. 電波環境のトータルレコーディングとその応用. 電子情報通信学会技術研究報告. RCS, 無線通信システム, Vol. 112, No. 192, pp. 43–48, Aug 2012.