

УДК 004

А.Рудяк, магістр гр. КІ-23М

Центральноукраїнський національний технічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ СЗД НА ОСНОВІ SMB DIRECT

У статті розроблено програмне забезпечення, яке призначено для системи керування СЗД на основі SMB Direct. Метою розробки є дослідження та програмна реалізація системи керування СЗД на основі SMB Direct. Об'єктом дослідження є процес керування СЗД на основі SMB Direct. Предметом дослідження є методи керування СЗД на основі SMB Direct. Методи дослідження базуються на методах теорії комп'ютерних мереж, методах математичної статистики, методах розробки програмного забезпечення. Результат роботи – програмна реалізація системи керування СЗД на основі SMB Direct. В процесі роботи над програмною моделлю виконано аналіз існуючих апаратних та програмних засобів. В повній мірі описані всі компоненти розробленого програмного забезпечення.

Постановка проблеми. Триваючий ріст обсягів даних, поява програмно обумовлених систем зберігання, поширення хмарних технологій і флеш-накопичувачів змушують ІТ-спеціалістів адаптувати мережну інфраструктуру СЗД до нових вимог, поліпшувати існуючі й розробляти нові, більше ефективні інтерфейси й протоколи.

Ми живемо в епоху росту обсягів постійно накопичуваних й оброблюваних даних, різних по своїх форматах й іншим характеристикам. Поряд зі зростаючим обсягом корпоративних даних основними драйверами ринку мереж зберігання стають впровадження флеш-накопичувачів і віртуалізація серверів. Щоб можна було ефективно користуватися даними як ресурсом, мати можливість витягати з даних, розміщених на різних носіях і пристроях, корисну інформацію, інтерфейси систем зберігання й мережних комунікацій повинні забезпечувати необхідну продуктивність. Причому доступ до даних повинен бути не тільки швидким, але й недорогим. У світі СЗД технології передачі даних – настільки ж що бурхливо розвивається область, що й технології носіїв, на яких ці дані зберігаються. Цього року очікується подальший ріст швидкостей. Цикл розробки нових стандартів звичайно становить три-чотири роки.

Про що саме мова йде? Про інтерфейси підключення СЗД: Fibre Channel (FC), iSCSI, FCoS, NVMe і NVMe over Fabrics. Про «транспорт»: протоколи передачі даних FC, Ethernet, InfiniBand, SAS. А також про внутрішні інтерфейси систем зберігання, тобто про інтерфейси підключення дисків і флеш-накопичувачів: SATA, SAS і NVMe.

вас чекає невеликий підступ: одночасно можна використовувати тільки одну з переваг.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. При аналізі останніх досліджень і публікацій [1-10] було виявлено певні прогалини у забезпеченні системи керування СЗД на основі SMB Direct.

Мета й завдання дослідження. Метою роботи є дослідження та програмна реалізація системи керування СЗД на основі SMB Direct.

Для досягнення поставленої мети визначена програма дослідження, що складається з наступних завдань:

- Огляд існуючих систем керування СЗД на основі SMB Direct.
- Дослідження системи керування СЗД на основі SMB Direct.
- Програмна реалізація системи керування СЗД на основі SMB Direct.

Об'єктом дослідження є процес керування СЗД на основі SMB Direct.

Предметом дослідження є методи керування СЗД на основі SMB Direct.

Методи дослідження базуються на методах теорії комп'ютерних мереж, методах математичної статистики, методах розробки програмного забезпечення.

Виклад основного матеріалу. InfiniBand – не настільки популярна технологія, як FC і Ethernet, але вона успішно розвивається, процвітають і компанії, що спеціалізуються в даній області. Показовий приклад – Mellanox, оберт якої росте на 30% щорічно. Компанія випускає ПО, оптичні й мідні кабелі, мережні карти й комутатори InfiniBand від 12 до 648 портів. Останні призначаються для створення обчислювальних кластерів. Наприклад, один з таких кластерів розгорнуть компанією «Т-платформи». Подібні рішення застосовуються у відомій платіжній системі PayPal, на InfiniBand (IB) побудовані системи Oracle Exadata і IBM XIV.

Кожні 2,5 роки Mellanox подвоює швидкість своїх мережних рішень і розширює їхню функціональність. У неї вже є рішення для 100 Гбіт/с (починаючи з кабелів і адаптерів і закінчуючи ПО): адаптери з підтримкою RAID, у тому числі з розподілом RAID по різних вузлах, комутатори IB і Ethernet, мідні й оптичні кабелі.

У продуктах InfiniBand EDR (Enhanced Data Rate) зі швидкістю 100 Гбіт/із застосовуються ті ж з'єднувачі 25/28G SFP+, що й в Ethernet і Fibre Channel. Зараз є технологія InfiniBand High Data Rate (HDR) зі швидкістю 200 Гбіт/с. Імовірно, хост-адаптери HDR будуть розраховані вже на слоти PCIe 4.0.

InfiniBand відома насамперед як технологія кластерного інтерконекта. Її характеризують велика швидкість і низькі затримки, а до недоліків можна віднести високу вартість і складність інфраструктури. У високопродуктивних обчисленнях (HPC) і інших спеціалізованих рішеннях знайшла застосування ще одна технологія, безпосередньо пов'язана з InfiniBand і підтримувана нею. Це Remote Direct Memory Access (RDMA).

У 90-і роки проблема із завантаженням процесора при уведенні-виводі була вирішена за допомогою процедури прямого доступу до пам'яті (Direct Memory Access, DMA). Функції роботи з підсистемою уведення-виводу були передані спеціальному контролеру DMA. Однак DMA – це локальні, внутрісистемні операції. Її логічним продовженням стало створення «мережної» версії.

Наприкінці 90-х організація InfiniBand Trade Association запропонувала технологію RDMA. Розроблена для InfiniBand і адаптована для Ethernet, вона дає можливість додатку, що перебуває на одному вузлі, звертатися до ресурсів на іншому вузлі без участі центральних процесорів обох вузлів. За роботу з відправником і одержувачем даних і їхню перевірку в ході операцій відповідає мережний адаптер.

Чому раптом RDMA? З появою флеш-накопичувачів, хмар і програмно обумовлених систем зберігання даних (SDS) ця новинка 1998 року може знайти «другий подих».

Якщо час доступу до HDD характеризується мілісекундами, то для SSD це десятки мікросекунд – в 100 разів швидше. Як очікується, нові технології пам'яті, розроблювальні Intel і Hewlett-Packard Enterprise, збільшать швидкість доступу ще на два порядки. За останнє десятиліття вона виросла приблизно в 10 тис. раз.

Якщо потрібно звертатися до носія через мережу, повинні використовуватися протоколи з мінімальними витратами (overhead). І тут може придатися RDMA.

У свій час через проблеми в реалізації застосування RDMA обмежувалося системами HPC. Однак сьогодні з'явилися нові можливості. За допомогою RDMA можна звертатися до SSD через мережу з тією же швидкістю, що й до локального носія. Адже в RDMA відсутнє багаторазове проміжне копіювання даних при їхній передачі між відправником і одержувачем.

Версії RDMA на базі InfiniBand і Ethernet відрізняються методами керування мережею. Для додатків вони прозорі: якщо підтримується одна із цих версій, буде підтримуватися й інша. Різниця – у керуванні мережею.

Що це дає на практиці? Розвантаження процесорів від завдань керування мережею дозволяє створювати гіперконвергентні ЦОДи. Такий ЦОД складається з однакових вузлів –

стандартних серверів і СЗД. У середовищі віртуалізації Microsoft Hyper-V за допомогою RDMA можна на порядок збільшити швидкість «живої міграції» віртуальних машин. Все відбувається настільки швидко, що працююче у ВМ додаток цього не помітить. Важливо, що така міграція не вимагає й витрат ресурсів процесорів обох фізичних серверів.

Розробка структурної схеми

На основі RDMA створений ряд цікавих протоколів і розширень. Наприклад, iSER (iSCSI Extensions for RDMA) – розширення iSCSI для роботи з мереж RDMA. iSCSI дуже популярний і активно розвивається завдяки збільшенню швидкостей Ethernet, але не занадто підходить для завдань, де необхідні малі затримки, до того ж зі збільшенням масштабу систем можуть виникати складності керування. В iSER вся логіка керування й забезпечення надійної передачі даних заснована на стандарті iSCSI, а при операціях читання-запису й передачі даних використовується RDMA.

iSER вважається найефективнішим мережним протоколом SCSI: версія iSCSI із транспортом RDMA працює поверх Ethernet (див. мал. 7) або InfiniBand 10, 25, 40, 50, 56 і 100 Гбіт/с і підтримується всіма стандартними додатками. Це стандарт IETF. Переваги iSER – висока продуктивність (пропускна здатність, IOPS і мала затримка), низьке навантаження на процесор, використання засобів керування iSCSI.

iSER добре підходить для підтримки баз даних, віртуальних середовищ, хмарних сервісів і Web-додатків. Він дозволяє передавати дані в буфер SCSI і з нього, міняючи численні проміжні копіювання. Крім того, вирішується проблема фрагментації TCP, що збільшує затримку через необхідність упорядкування пакетів одержувачем (вони можуть приходити в довільному порядку). В iSER замість звичайного способу інкапсуляції в TCP задіяні можливості RDMA.

Використання логіки керування iSCSI і застосування RDMA в операціях читання й запису дозволяють одержати високу швидкість сервісів даних у віртуальному середовищі. Наприклад, iSER застосовується VMware. Завдяки iSER можна втричі збільшити щільність середовища VDI (кількість ВМ на одному сервері) у порівнянні з iSCSI over TCP. Протокол iSER підтримується в багатьох ОС. Його використовують і ряд виробників СЗД, зокрема HPE (масиви SL4500), NetApp (E-Series), Violin, Oracle (ZFS).

Ще один цікавий протокол – Microsoft SMB Direct. На відміну від блокового протоколу iSER, це файловий протокол. SMB Direct на базі RDMA дозволяє в п'ять разів підвищити продуктивність у порівнянні з 10Gb. А застосування ще одного розширення – протоколу RoCE (RDMA over Converged Ethernet) з 40Gb в Windows Azure Storage – дало Microsoft можливість заощадити чимало обчислювальних ресурсів.

Як затверджують в Mellanox, мережа RoCE і зменшення навантаження на центральний процесор за рахунок RDMA (RDMA Offload) дозволяють створювати більше ефективні гіперконвергентні Цоди й інфраструктури SDS. В останньому випадку ПО SDS забезпечує доступ додатка на одному вузлі до сховища будь-якого іншого вузла. Ресурси зберігання даних різних вузлів утворюють єдиний пул зберігання, доступний додаткам. По такому принципі працює, наприклад, ЦОД Microsoft Azure. Локальні ресурси зберігання вузлів не прив'язані до процесора вузла.

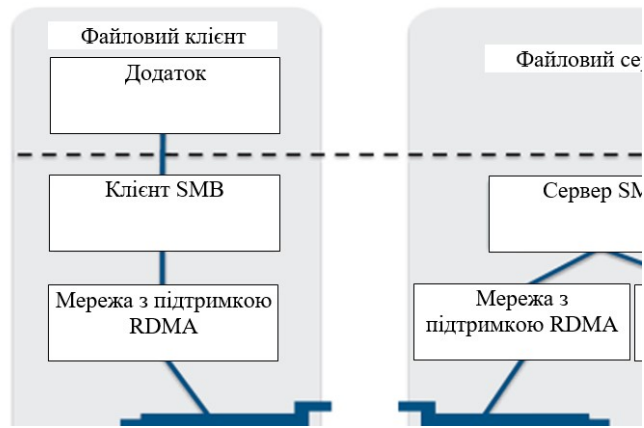


Рисунок 1 – Структурна схема системи

За останні 10 років продуктивність процесорів виросла в 10 разів, оперативної пам'яті – в 8 разів, мереж – в 100 разів, внутрішньої шини – в 20 разів, а накопичувачів на жорстких дисках – усього в 1,5 рази. Ситуацію повинна поліпшити флеш-пам'ять. Для роботи із цим носієм розробляються нові протоколи й технології, що розкривають потенціал інтерфейсу PCIe.

Одна з таких технологій – Non-Volatile Memory Express (NVMe). Вона дозволяє усунути значні затримки встаткування й витрати протоколів, пов'язані зі зберіганням, і може застосовуватися для підвищення загальної продуктивності системи, особливо в таких ресурсноємких завданнях, як віртуалізація, Великі Дані й високопродуктивні обчислення. За допомогою NVMe можна одержувати доступ до флеш-пам'яті, минаючи прошарок SCSI, що заощаджує кілька мікросекунд за часом доступу, особливо у випадку апаратної підтримки NVMe (функції драйвера реалізуються на апаратному рівні).

Масштабована технологія NVMe розроблялася спеціально для прямого підключення пристроїв NVMe (таких як SSD) через PCIe Gen3. Вона забезпечує швидкий доступ процесора до даних у флеш-пам'яті й характеризується, високою продуктивністю в IOPS, малим енергоспоживанням і низькими затримками. Поставки перших продуктів NVMe почалися в 2014 році. В 2016-му багато які вендори серверів представили свої платформи зі слотами NVMe.

Згідно даним Supermicro, у порівнянні з SSD SAS 3.0 сервери з підтримкою NVMe забезпечують у сім разів меншу затримку при доступі до SSD, а пропускна здатність збільшується до шести разів (див. табл. 3). Supermicro позиціонує такі сервери як рішення для завдань HPC, нафтогазової галузі, 3 D-Моделювання, графічного дизайну, VDI, віртуалізації, хмарних обчислень і інших ресурсноємких додатків.

NVMe дозволяє підвищити продуктивність системи за рахунок більше повного використання паралелізму пристроїв і програмного забезпечення. Суть технології в тім, що накопичувач стає «ближче» до процесора. Це дає можливість знизити час затримки з 2031 до 86 мкс – більш ніж в 20 разів.

З'явився стандарт NVMe over Fabrics (NVMe). Його завдання – забезпечити ефективний вилучений доступ хосту до пристроїв NVMe через комутуючі фабрики (тобто через мережу), причому майже з такою ж продуктивністю, як і при роботі з локальними пристроями NVMe. Продуктивність створених у цей час прототипів пристроїв становить 450K IOPS при роботі з локальними й вилученими пристроями NVMe PCIe, а при вилученому доступі затримка збільшується незначно.

Стандарт NVMe over Fabrics розроблявся розраховуючи на реалізацію всієї функціональності NVMe поверх Ethernet. Як і NVMe, він підтримує RDMA. NVMe over Fabric може значно поліпшити продуктивність мереж зберігання даних і зараз розглядається як перспективний протокол SAN. У цій області він може потіснити iSCSI, FCoS, FC і InfiniBand, а в перспективі – навіть витіснити традиційний Fibre Channel. Все залежить від

того, яку підтримку йому надасть галузь. Можливо подальший розвиток версій NVMe over FC і NVMe over Ethernet. Крім того, він здатний скласти конкуренцію iSER.

У цей час Fibre Channel є де-факто стандартом для побудови великих мереж зберігання даних. Цьому сприяють ряд характеристик, які роблять FC найбільш підходящим протоколом для передачі трафіку систем зберігання: висока швидкість, низькі затримки, механізми контролю пересилання пакетів без втрат, можливість передачі даних на більші відстані. Однак, по даним Dell'Oro Group, за останній рік продажу продуктів FC у світі скоротилися на 3%.

Тим часом QLogic і Brocade продемонстрували в грудні минулого року зразки продуктів NVMe over Fabrics, у яких використовується фабрика Fibre Channel (FC-NVMe). Очікується, що NVMe може стати провідним протоколом для роботи із флеш-масивами.

Висновки. У статті наведені теоретичне узагальнення й рішення наукового завдання дослідження методів керування СЗД на основі SMB Direct.

Рішення даного завдання полягало у вирішенні наступних задач:

- Був проведений огляд існуючих систем керування СЗД на основі SMB Direct.
- Досліджена система керування СЗД на основі SMB Direct.
- На основі отриманих результатів досліджень створена програмна реалізація системи керування СЗД на основі SMB Direct.

Розроблені під час виконання випускної кваліфікаційної роботи за другим (магістерським) рівнем вищої освіти алгоритми дозволяють успішно вирішувати завдання керування СЗД на основі SMB Direct. Проведено аналіз предметної галузі в ході якого були виявлені об'єкти, взаємодія яких носить істотний характер для функціональної діяльності предметної галузі, і їхні основні характеристики; побудована алгоритм і вибраний середовище розробки.

Список літератури

1. Kuznetsov, O., Kryvinska, N., Ilchenko, O., Smirnova, T., Ulianovska, Y. «Comparative Analysis of Cryptocurrency Trading Platforms Using the Analytic Hierarchy Process». CEUR Workshop Proceedings, 2023, 3628, pp. 106-115.
2. Al-Mudhafar Aqeel, A.M., Smirnova, T., Buravchenko, K., Smirnov, O. «The method of assessing and improving the user experience of subscribers in software-configured networks based on the use of machine learning». Advanced Information Systems, 2023, 7(2), pp. 49-56.
3. Smirnov, O., Sydorenko, V., Aleksander, M., Zhyharevych, O., Yenchey, S. «Simulation of the cloud IoT-based monitoring system for critical infrastructures». CEUR Workshop Proceedings, Volume 3530, 2023, pp. 256-265.
4. Smirnov, O., Odarchenko, R., Smirnova, T., Bondar, S., Volosheniuk, D. «Optimal Structure Construction of Private 5G Network for the Needs of Enterprises». Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies, 2023, 178, pp. 208-223.
5. Smirnova, T., Gnatyuk, S., Yudin, O., Sydorenko, V., Polozhentsev, A., «The Model for Calculating the Quantitative Criteria for Assessing the Security Level of Information and Telecommunication Systems». CEUR Workshop Proceedings Volume 3156, 2022, Pages 390-399.
6. Smirnova T., Gnatyuk S., Berdibayev R., Avkurova Zh., Iavich M. «Cloud-Based Cyber Incidents Response System and Software Tools». Communications in Computer and Information Science, 2021, vol 1486. Springer, Cham. pp 169-184.
7. Smirnov O., Kuznetsov A., Kiian A., Kuznetsova T. «Non-binary constant weight coding technique». CEUR Workshop Proceedings. Volume 2740, 2020, Pages 102-114.
8. Smirnov O., Alimseitova Zh., Adranova A., Akhmetov B., Lakhno V., Zhilkishbayeva G. «Models and algorithms for ensuring functional stability and cybersecurity of virtual cloud resources». Journal of theoretical and applied information technology Vol.98. No 21, 2020, P. 3334-3346.
9. Smirnov O., Kuznetsov A., Kiian A., Cherep A., Kanabekova M., Chepurko I. «Testing of code-based pseudorandom number generators for post-quantum application». 2020 IEEE 11th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT), Ukraine, Kyiv, May 14-18. 2020. P. 172-177.
10. Smirnov O., Kuznetsov A., Pushkar'ov A., Serhiienko R., Babenko V., Kuznetsova T., «Representation of Cascade Codes in the Frequency Domain». In: Radivilova T., Ageyev D., Kryvinska N. (eds) Data-Centric Business and Applications. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies, vol 48. Springer, Cham. 2021. pp 557-587.
11. Smirnov, O., Markovets, O. Vovk, N., Turchyn, Y., «Model of informational support for social network

- administrators' content creation». CEUR Workshop Proceedings Volume 2616, 2020, Pages 125-136.
12. Smirnov, O., Drieieva, H., Drieiev, O., Polishchuk, Y., Brzhanov, R., Aleksander, M. «Method of fractal traffic generation by a model of generator on the graph». CEUR Workshop Proceedings Volume 2616, 2020, Pages 366-379.
 13. Smirnov, O., Drieieva, H., Drieiev, O., Simakhin, V., Bondar, S., Odarchenko, R. «Managing multifractal properties of the binary sequence generated with the Markov chains», CEUR Workshop Proceedings Volume 2608, 2020, Pages 633-645.
 14. Smirnov O. Kuznetsov A., Zaichenko Yu., Pastukhov M., Oleshko O., Kuznetsova K., «Formation of Discrete Signals with Special Correlation Properties». International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics, UkrMiCo 2019; Odessa; Ukraine; 9-13 September 2019. P.22-28.
 15. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Kolovanova, I., Kuznetsova, T., «Noise immunity of the algebraic geometric codes». International Journal of Computing; 2019, Volume 18, Issue 4 – Research Institute for Intelligent Computer Systems – 2019. – P. 393-407.
 16. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Reshetniak, O., Ivko, N., Katkova, T., Kuznetsova, T., «Generators of Pseudorandom Sequence with Multilevel Function of Correlation». 2019 IEEE International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications, Science and Technology (PIC S&T), Kyiv, Ukraine, 8 – 11 October 2019 . P.517-522.
 17. Smirnov, O., Odarchenko, R., Abakumova, A., Usik, P., Kundyz, M., «QoE optimization technique for media delivery in 5G networks». 2019 IEEE International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications, Science and Technology (PIC S&T), Kyiv, Ukraine, 8 – 11 October 2019. P.597-601.
 18. Smirnov, O., Krasnobayev, V., Yanko, A., Kuznetsova, T. «Methods of nulling numbers in the system of residual classes». CEUR Workshop Proceedings, Vol 2588, P. 90-106, 2019.
 19. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Kovalchuk, D., Averchev, A., Pastukhov, M., Kuznetsova, K., «Formation of Pseudorandom Sequences with Special Correlation Properties», 2019 3rd International Conference on Advanced Information and Communications Technologies, AICT -2019/ Lviv, Ukraine, 2-6 July, 2019, P. 395-399.
 20. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Kiian, A., Zamula, A., Rudenko, S., Hryhorenko, V., «Variance Analysis of Networks Traffic for Intrusion Detection in Smart Grids», 2019 IEEE 6th International Conference On Energy Smart Systems (2019 IEEE ESS), Kyiv, Ukraine April 17-19, 2019 P. 353-358.
 21. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Kavun, S., Babenko, B., Nakisko, O., Kuznetsova, K., «Malware Correlation Monitoring in Computer Networks of Promising Smart Grids», 2019 IEEE 6th International Conference On Energy Smart Systems (2019 IEEE ESS), Kyiv, Ukraine April 17-19, 2019 P. 347-352.
 22. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Kovalchuk, D., Pastukhov, M., Kuznetsova, K., Prokopovych-Tkachenko, D., «Discrete Signals with Special Correlation Properties», CEUR Workshop Proceedings Volume 2353, CEUR Workshop Proceedings 2019, Pages 618-629.
 23. Smirnov A.A., Kuznetsov A.A., Danilenko D.A., Berezovsky A., «The statistical analysis of a network traffic for the intrusion detection and prevention systems», Telecommunications and Radio Engineering. – Volume 74, Issue 1. – Begel House Inc. – 2015. – P. 61-78.
 24. Батрак О., Смірнова Т., Гнатюк В., Одарченко Р., Смірнов О. «Дослідження показників ефективності функціонування та перспектив розвитку систем ІР-телефонії». Підводні технології, 2024, № 13, с. 28-35.
 25. Аль-Мудхафар Акіл Абдулхуссейн М., Смірнова Т.В., Буравченко К.О., Смірнов О.А. «Метод оцінки та підвищення користуальницького досвіду абонентів в програмно-конфігурованих мережах на основі використання машинного навчання». Сучасні інформаційні системи, 2023, том 7, № 2, С. 49-56.
 26. Смірнова Т.В., Гнатюк С.О., Сидоренко В.М., Юдін О.Ю., Сидоренко С.Ю., «Модель визначення критичності галузевих інформаційно-телекомунікаційних систем». Проблеми інформатизації та управління, № 2(70). 2022. С. 28-37.
 27. Смірнов О.А., Смірнова Т.В., Якименко Н.М., Смірнов С.А., Поліщук Л.І., «Дослідження стійкості до диференціального криптоаналізу запропонованої функції гешування удосконаленого модуля криптографічного захисту в інформаційно-комунікаційних системах» Системи управління, навігації та зв'язку, 2022, № 3(69). С. 93-98.