

Grzegorz POPCZYK

Partner RE, Gliwice

ANALIZA SYSTEMÓW PEER-TO-PEER (P2P): WŁAŚCIWOŚCI, MOŻLIWE ZASTOSOWANIA, OTWARTE PROBLEMY

Streszczenie. W artykule przedstawiono systemy peer-to-peer (P2P) – systemy zdecentralizowane, samoorganizujące się, charakteryzujące się dużą fluktuacją węzłów. Systemy P2P stanowią uzupełnienie, a w wielu przypadkach lepszą alternatywę dla systemów opartych na modelu komunikacji klient-serwer. Celem artykułu jest porównanie podstawowych właściwości istniejących systemów P2P, przedstawienie możliwych zastosowań oraz otwartych problemów badawczych.

Słowa kluczowe: systemy peer-to-peer, systemy P2P, systemy rozproszone, systemy zdecentralizowane, systemy samoorganizujące się, sieci ad hoc.

EXPLORING PEER-TO-PEER SYSTEMS: DIFFERENT APPROACHES, POSSIBLE APPLICATIONS, OPEN PROBLEMS

Summary. This paper presents peer-to-peer (P2P) systems – an example of decentralized, self-organizing, highly dynamic systems. The P2P systems may complement, and in many cases replace the client-server systems. This paper compares the architectures of existing P2P systems, discusses possible applications and open problems.

Keywords: peer-to-peer systems, P2P systems, distributed systems, decentralized systems, self-organizing systems, ad hoc networks.

1. Wprowadzenie

W ciągu ostatnich 3-4 lat nastąpił lawinowy wzrost liczby użytkowników korzystających z systemów peer-to-peer (ponieważ nie ma ogólnie znanego, polskiego odpowiednika tego terminu, w dalszej części artykułu stosowany jest skrót „P2P”). Do najpopularniejszych systemów tego typu należą systemy wymiany plików (przede wszystkim muzycznych oraz

wideo), takie jak Gnutella, Kaaza i Morpheus - liczba użytkowników równolegle korzystających z tych systemów sięga kilku milionów, systemy te często stają się głównym źródłem ruchu w sieci Internet. Model P2P staje się bardzo obiecującym obszarem rozwoju aplikacji internetowych, możliwości jego zastosowania nie ograniczają się zaś tylko do systemów wymiany plików.

Model scentralizowany (klient-serwer) w swojej istocie obciążony jest wieloma wadami, takimi jak: dodatkowe koszty narzucane przez „pośredników”, pojedynczy punkt awarii (ang. single point of failure), możliwość wprowadzenia monopolu, cenzury. Sieci P2P powstają spontanicznie, ad hoc; cechuje je duży stopień samoorganizacji (brak centralnej administracji) i duża dynamika (nowe węzły są przyłączane i odłączane od sieci w dowolnych momentach). Nadmiarowość (duża liczba węzłów w sieci P2P) zwiększa niezawodność całego systemu, tolerancję błędów, symetrię dystrybucji zasobów, skalowalność. Systemy P2P pozwalają także na pełniejsze wykorzystanie rozproszonych zasobów, co przekłada się na niski koszt wprowadzania nowych usług. O ile jednak modelowi klient-serwer poświęcono w minionych latach wiele uwagi (firmy produkujące oprogramowanie baz danych i serwerów internetowych, środowisko naukowe), to badania nad systemami P2P prowadzone są od niedawna, i wiele problemów - obejmujących zagadnienia z dziedziny systemów rozproszonych, sieci komputerowych, analizy algorytmów - pozostaje nierozwiązanych.

2. Porównanie systemów P2P

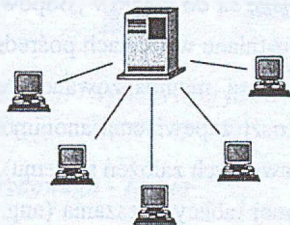
Działające w przeszłości i rozwijane obecnie systemy P2P różnią się sposobem podejścia do podstawowych zagadnień związanych z systemami rozproszonymi, opisanymi m.in. w [1], takimi jak nazewnictwo i komunikacja. W niniejszym artykule jako podstawową cechę tych systemów (warunkującą ich możliwe zastosowania) oraz kryterium porównawcze przyjęto stopień ich decentralizacji oraz topologię. Jest to podejście inne, niż na przykład w [2], gdzie dokonano porównania wybranych aspektów (m.in. metod adresacji, trasowania, topologii) systemu Chord (przedstawiciela systemów P2P) i wyspecjalizowanych systemów rozproszonych, takich jak DNS i TRIAD.

Wykorzystywane obecnie modele architektur systemów P2P można podzielić na 3 grupy:

- systemy nadzorowane,
- systemy w pełni zdecentralizowane („płaskie”),
- systemy hybrydowe.

2.1. Systemy nadzorowane

Systemy nadzorowane nie są systemami P2P w pełnym tego słowa znaczeniu. W systemach tych jeden z węzłów pełni funkcje specjalne, np. prowadzi indeks zasobów pozostałych węzłów lub rozdziela zadania między pozostałe węzły.



Rys. 1. System nadzorowany
Fig. 1. Supervised system

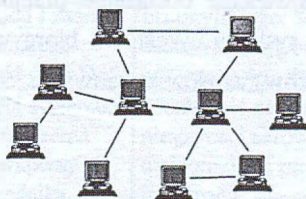
2.1.1. Przykłady systemów nadzorowanych: Napster i SETI@home

System Napster jest (a raczej był) systemem wymiany plików opartym na serwerze ze scentralizowanym indeksem plików. Centralny indeks z jednej strony decyduje o dużej efektywności wyszukiwania (jednak przy dużym koszcie związanym z utrzymaniem odpowiedniej infrastruktury – serwerów, łączy internetowych itp.), z drugiej strony może okazać się jego słabością – wystarczy wyeliminować jeden punkt systemu, żeby cały system stał się bezużyteczny.

Dużą popularność zyskał w ostatnim czasie eksperyment znany pod nazwą SETI@home, zapoczątkowany na Uniwersytecie Kalifornijskim w Berkley. Projekt ten wykorzystuje zasoby komputerów osobistych użytkowników (zainteresowanych projektem) do analizy danych pochodzących z radioteleskopów. Głównym celem projektu jest próba odkrycia oznak życia pozaziemskiego.

2.2. Systemy w pełni zdecentralizowane („płaskie”)

W systemach tego typu wszystkie węzły pełnią takie same funkcje, nie ma węzłów wyspecjalizowanych.



Rys. 2. System w pełni zdecentralizowany
Fig. 2. Fully decentralized system

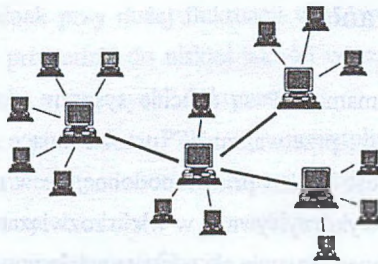
2.2.1. Przykłady systemów w pełni zdecentralizowanych: Freenet, DHT

Freenet jest w pełni zdecentralizowanym systemem, pozwalającym na anonimowe wprowadzanie, przechowywanie i wyszukiwanie plików. Plikom w systemie Freenet przypisywane są unikalne identyfikatory GUID (ang. globally unique identifier). Pliki wprowadzane do systemu przesyłane są do węzłów „odpowiedzialnych” za pliki o podobnych identyfikatorach (pliki są zwielokrotniane w węzłach pośrednich). Informacje o topologii sieci, dostępne poszczególnym węzłom, są minimalizowane, co wpływa niekorzystnie na czas wyszukiwania plików – jest to koszt zapewnienia anonimowości zarówno producentom, jak i konsumentom informacji (podstawowych założeń systemu).

Systemy oparte na rozproszonej tablicy mieszania (ang. Distributed Hash Table – DHT), takie jak Chord i Pastry, do dystrybucji danych (ich składowania i odszukiwania) wykorzystują tzw. rozproszone tablice mieszania. Ta metoda stanowi efektywne i skalowalne rozwiązanie problemu dystrybucji par (klucz, wartość) między węzły systemu P2P. Każdy węzeł systemu odpowiada za fragment tablicy mieszania. Przestrzeń identyfikatorów (nazw) węzłów pokrywa się z przestrzenią identyfikatorów kluczy. Przestrzeń ta jest w najprostszym przypadku jednowymiarową jak w systemie Chord, w którym identyfikatory mają długość m -bitów. Jednym ze sposobów przypisywania węzłom identyfikatorów jest zastosowanie funkcji mieszającej (np. SHA-1) do ich adresów IP. Identyfikatory kluczy (kluczem może być np. nazwa pliku) uzyskuje się po zastosowaniu tej samej funkcji mieszającej. W systemie Chord klucze składowane są w węzłach o identyfikatorach najbliższych (nie mniejszych) identyfikatorom kluczy. Każdy z węzłów posiada informacje (adresy) o swoich sąsiadach. Informacje te są aktualizowane w miarę dołączania i odłączania nowych węzłów. Każdy węzeł wykorzystuje także tablicę „skrótów” (ang. finger), w której znajdują się adresy węzłów o identyfikatorach większych o $2^0, 2^1, 2^2, \dots, 2^{m-1}$ (lub im najbliższych) – a więc wielkość tablicy jest rzędu $O(\log N)$ (gdzie N to liczba węzłów w systemie); dzięki temu złożoność algorytmu trasowania jest także $O(\log N)$.

2.3. Systemy hybrydowe

W modelu hybrydowym największe obciążenie przejmują najbardziej wydajne węzły, tworzące podstawowy szkielet systemu. Węzły te biorą udział w przekazywaniu zapytań i indeksowaniu zasobów (np. plików) węzłów końcowych.



Rys. 3. System hybrydowy
Fig. 3. Hybrid system

2.3.1. Przykład systemu hybrydowego - Kazaa

Problemy ze skalowalnością Gnutelli (najpopularniejszego, w pełni zdecentralizowanego systemu wymiany plików typu P2P, w którym zapytania propagowane były do wszystkich możliwych węzłów znajdujących się w określonym promieniu-„horyzoncie”) wymusiły ewolucję architektur podobnych systemów do postaci hybrydowej, w której część węzłów to tak zwane superwęzły (ang. supernodes), pośredniczące w wymianie komunikatów, oraz biorące udział w indeksowaniu plików znajdujących się na komputerach użytkowników. Przykładem takiego systemu jest Kazaa. Wydzielenie grupy wydajnych węzłów, przejmujących większość obciążenia systemu, pozwala na bardziej efektywne wyszukiwanie plików.

Tabela 1

Zestawienie ważniejszych cech systemów P2P

	I. Systemy nadzorowane	II. Systemy w pełni zdecentralizowane	III. Systemy hybrydowe
Wydajność (czas wyszukiwania)	Dobra – stały czas wyszukiwania, centralny indeks	Rzędu logarytmicznego w przypadku DHT	Średnia – indeks zdecentralizowany
Tolerowanie uszkodzeń	Pojedynczy punkt awarii	Duże rozproszenie zasobów, mały wpływ awarii pojedynczego węzła na pracę całego systemu	Wiele punktów awarii
Równoważenie obciążenia	Duża asymetria – główne obciążenie przejmuje węzeł centralny	Równomierne obciążenie węzłów	W największym stopniu obciążone superwęzły
Bezpieczeństwo	Słabość w postaci skoncentrowania informacji i zasobów w jednym punkcie, podatność na ataki typu DoS	Niebezpieczeństwo ataków typu bizantyjskiego; ze względu na decentralizację braku kontroli nad przesyłem danych	Przejmują częściowo wady i zalety grup I i II
Inne cechy (cenzura, samoorganizacja)	Centralna kontrola systemu, możliwość wprowadzenia cenzury; koszt związany z istnieniem pośrednika	Możliwość zapewnienia anonimowości zarówno konsumentom, jak i producentom informacji; samoorganizacja, możliwość uniknięcia kosztów narzucanych przez pośrednika	Pomiędzy grupą I i II

3. Możliwe zastosowania

Najpopularniejszymi systemami P2P są obecnie systemy wymiany plików. Popularne są także systemy rozproszonego przetwarzania, umożliwiające rozwiązywanie złożonych problemów obliczeniowych. Jest bardzo prawdopodobne, że w najbliższej przyszłości model komunikacji typu P2P będzie wykorzystywany w wielu rozwiązaniach opartych do tej pory na modelu komunikacji klient-serwer. Pojawia się także zupełnie nowe aplikacje.

Systemy P2P mogą być wykorzystywane do anonimowego publikowania treści, co ma duże znaczenie dla mieszkańców krajów, w których prawa obywatelskie są łamane (w Chinach Internet jest cenzurowany – w przypadku systemów zdecentralizowanych wprowadzanie cenzury jest znacznie trudniejsze). Naturalne jest wykorzystanie systemów P2P w celu wyeliminowania pośrednika i narzucanego przez niego dodatkowego kosztu. Wydaje się, że model P2P może mieć zastosowanie w systemach typu giełdowego (np. giełda energii) i aukcyjnego (takich jak eBay). Systemy P2P umożliwiają bardziej efektywne wykorzystanie istniejących zasobów, np. w kampusach uniwersyteckich; mogą także tworzyć środowisko działania inteligentnych agentów. Jednym z bardziej obiecujących obszarów ich wykorzystania są systemy zarządzania treścią (ang. Content Management Systems), w tym systemy wymiany informacji naukowej. Model P2P może być również wykorzystywany do obniżenia kosztów infrastruktury potrzebnej do wprowadzania nowych usług, takich jak radio i sieciowe gry komputerowe, w przypadku których np. koszty serwerów i łącza internetowych mogą być barierą ograniczającą możliwość ich wprowadzenia.

4. Otwarte problemy

Do pełnego wykorzystania zalet modelu P2P (odporności na uszkodzenia, zdolności do samoorganizacji, zrównoważenia) potrzebne jest rozwiązanie problemów dotyczących przede wszystkim bezpieczeństwa oraz skalowalności. Ponieważ topologia logiczna obecnie wykorzystywanych systemów P2P nie odzwierciedla z reguły fizycznej topologii sieci, infrastruktura sieciowa nie jest wykorzystywana efektywnie. Nie istnieją wydajne mechanizmy wyszukiwania tekstowego w systemach P2P. Systemy oparte na rozproszonych tablicach mieszania umożliwiają przede wszystkim wyszukiwanie przy założeniu znajomości słowa kluczowego. W pracy [6] przedstawiono system wyszukiwania oparty na całkowicie zdecentralizowanym systemie P2P (Freenet). W pracy [7] przedstawiono sposób wykorzystania rozproszonych tablic mieszania w systemach umożliwiających zadawanie złożonych pytań (ciągi tekstowe dzielone są na tzw. n-gramy, które są niezależnie

indeksowane w systemie), jednak przy dużej fluktuacji węzłów w systemach P2P tak duże rozproszenie indeksów może prowadzić do niskiej jakości wyszukiwania (gubienia istotnych fragmentów ciągów tekstowych „opisujących” dokumenty).

Kluczowe dla rozwoju systemów P2P są niewątpliwie zagadnienia związane z bezpieczeństwem – wśród nich zapewnienie ochrony przed atakami typu DoS; awariami bizantyjskimi; zapewnienie mechanizmów identyfikacji, autoryzacji w środowisku rozproszonym, bez centralnego punktu certyfikacji.

5. Podsumowanie

Istniejący, najbardziej popularny model aplikacji internetowych – klient-serwer – nie do końca odpowiada szybko zmieniającym się potrzebom użytkowników Internetu. W artykule przedstawiono systemy peer-to-peer (P2P) – model, który może uzupełniać, a w pewnych zastosowaniach stanowić alternatywę dla modelu klient-serwer. W artykule wprowadzono podział systemów P2P na 3 grupy ze względu na stopień ich decentralizacji. Omówiono właściwości tych grup na przykładach systemów: Napster oraz SETI@HOME jako systemów nadzorowanych, Freenet i systemów opartych na rozproszonych tablicach mieszania jako systemów w pełni zdecentralizowanych, oraz systemu Kazaa jako systemu hybrydowego. W artykule zwrócono uwagę na zalety i wady tych systemów, możliwości ich zastosowań, a także otwarte problemy, wymagające rozwiązania.

LITERATURA

1. Coulouris G., Dollimore J., Kindberg T.: Systemy rozproszone – podstawy i projektowanie. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1998.
2. Saroiu S., Gummadi P., Gribble D.: Exploring the Design Space of Distributed and Peer-to-Peer Systems: Comparing the Web, TRIAD, and Chord/CFS. Proceedings of the First International Workshop on Peer-to-Peer Systems (IPTPS) 2002, Cambridge, MA, USA.
3. Stoica I., Morris R., Liben-Nowell D., Karger D., Kaashoek M., Dabek F., Balakrishnan H.: Chord: A Scalable Peer-to-peer Lookup Protocol for Internet Applications. Proceedings of the 2001 ACM SIGCOMM Conference.
4. Ratnasamy S., Shenker S., Stoica I.: Routing Algorithms for DHTs: Some Open Questions. Proceedings of the First International Workshop on Peer-to-Peer Systems (IPTPS) 2002, Cambridge, MA, USA.

5. Clarke I., Miller S., Sandberg O., Wiley B., Hong T.: Protecting Free Expression Online with Freenet. IEEE Internet Computing, January-February 2002.
6. Kronfol A.: FASD: A Fault-tolerant, Adaptive, Scalable, Distributed Search Engine. Princeton University, May 6, 2002.
7. Harren M., Hellerstein J., Huebsch R.: Complex Queries in DHT-based Peer-to-Peer Networks (2002).
8. <http://www.kazaa.com>.

Recenzent: Dr inż. Krzysztof Nałęcki

Wpłynęło do Redakcji 31 marca 2003 r.

Abstract

The Internet is growing fast in terms of users, traffic and services. The "incumbent", centralized client-server application model for computing, communication and content sharing falls behind that growth – emerging problems, including scalability and security issues, have driven the search for a complementary architecture. More decentralized systems may be the alternative, and the peer-to-peer (P2P) paradigm is the perfect embodiment of such systems. This paper aims to popularize new approaches to existing scalability and performance problems by way of comparing various P2P architectures: Napster and SETI@HOME as examples of supervised systems, FreeNet and DHTs as examples of fully decentralized systems and Kazaa as an example of hybrid systems. This paper discusses their advantages/shortcomings and presents possible applications for those systems.

Adres

Grzegorz POPCZYK: Partner RE, ul. Berbeckiego 6, 44-100 Gliwice, Polska,
gpoczkyk@wp.pl