

現実味を帯びてきた ICN/CCN の研究動向

IA/JANOG 研究会 2013年9月

大阪市立大学 大学院工学研究科 情報通信工学領域

阿多 信吾

ata@info.eng.osaka-cu.ac.jp, facebook: shingoata

スライド URL: **<http://goo.gl/CSGLCK>**

ちょっとだけ自己紹介

- 阿多 信吾 (あた しんご)
 - 大阪市立大学 大学院工学研究科
 - 研究対象
 - ルーティング、スイッチング技術
 - アドレス検索、パケットフィルタリング
 - トラヒック測定、予測、フロー識別
 - ネットワークプロトコル設計
 - トラヒック制御
 - 電子情報通信学会情報通信マネジメント研究会 (ICM)
 - ネットワーク管理、運用、保守、制御に関する研究交流
 - 多様な参加者 (大学・企業)
 - JANOG さんには昨年度大変お世話になりました！



コンテンツ指向型ネットワークとは？

- 現状のインターネットの利用形態はコンテンツ指向
 - にもかかわらずネットワークはホスト指向
 - ネットワーク構成と利用実態の乖離
 - 膨大なコンテンツをいかに効率よく扱うか？という仕組みがネットワークにない

- ICN (Information Centric Networking), CCN (Content Centric Networking)

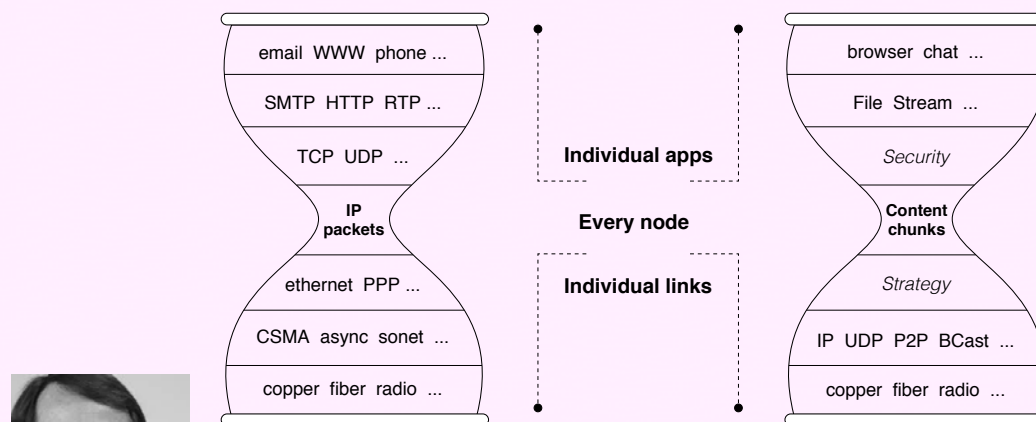


Figure 1: CCN moves the universal component of the network stack from IP to named content chunks.

出典 : V. Jacobson, et. al, "Networking Named Content," ACM CoNEXT 2009. 3

IA/JANOG 特別企画



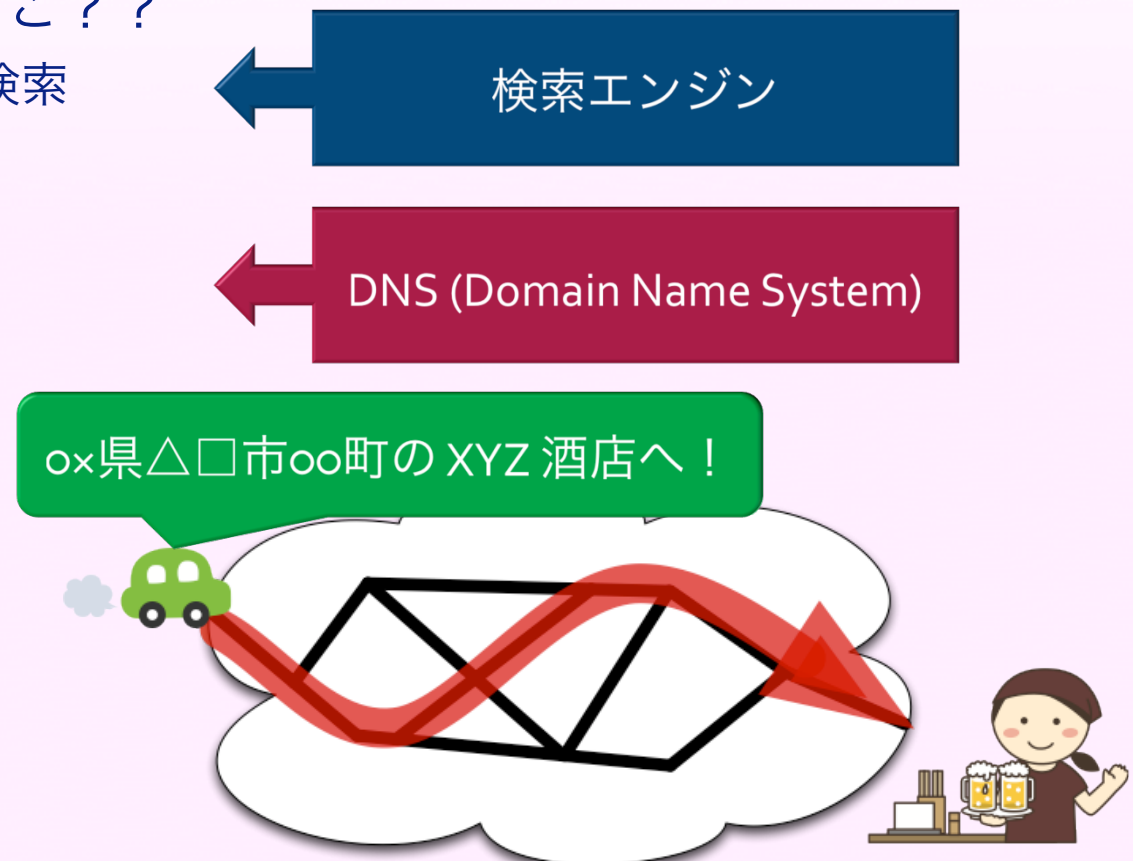
ビールで学ぼう！
ICN/CCN
チュートリアル

暑い！喉が渴いた！



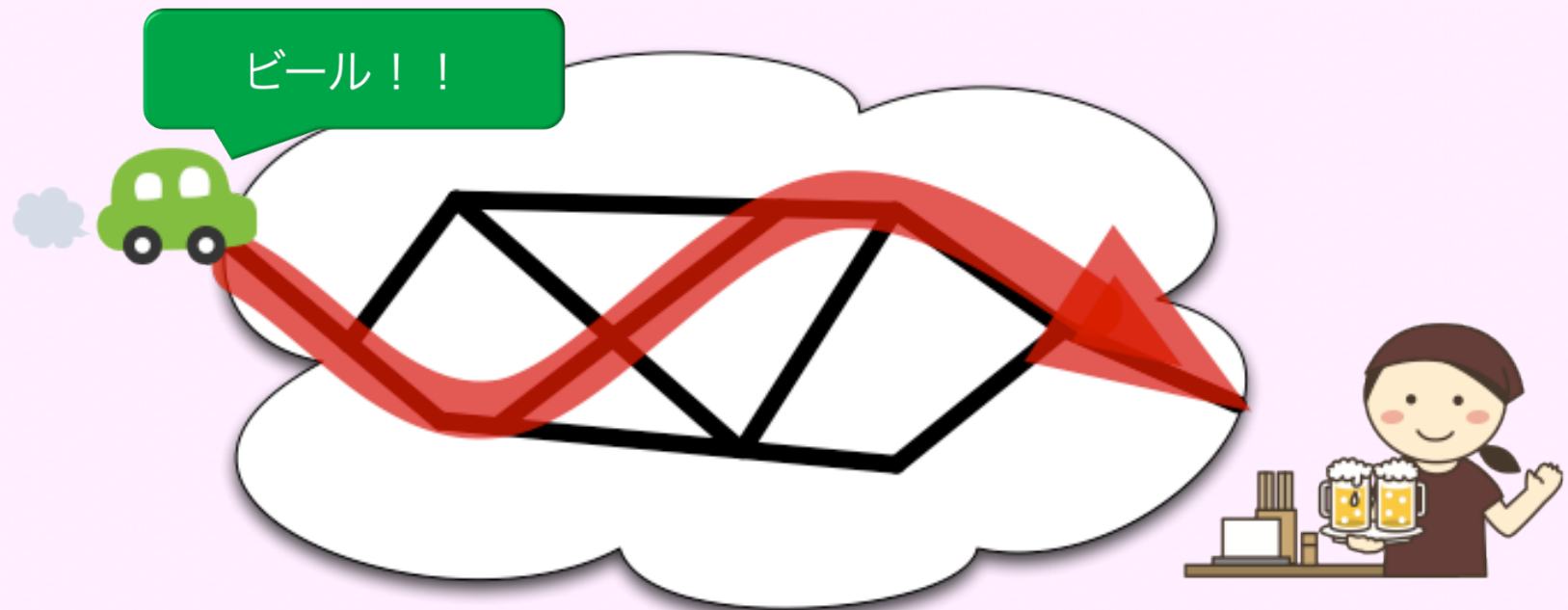
現在のインターネット

- ビールが飲みたい！
- ビールを売ってるのはどこ？？
 - 「ビール」「酒屋」で検索
 - XYZ 酒店がヒット！
- XYZ 酒店はどこ？
 - 住所を調べましょう
 - 分かった！
- 住所の場所へ GO！



ICN/CCN になると・・・？

- ビールが飲みたい！
 - ビールがあるところに GO！
- 利用者は「ビール！」と叫ぶだけ
 - どこに行くかはタクシーにお任せ♪



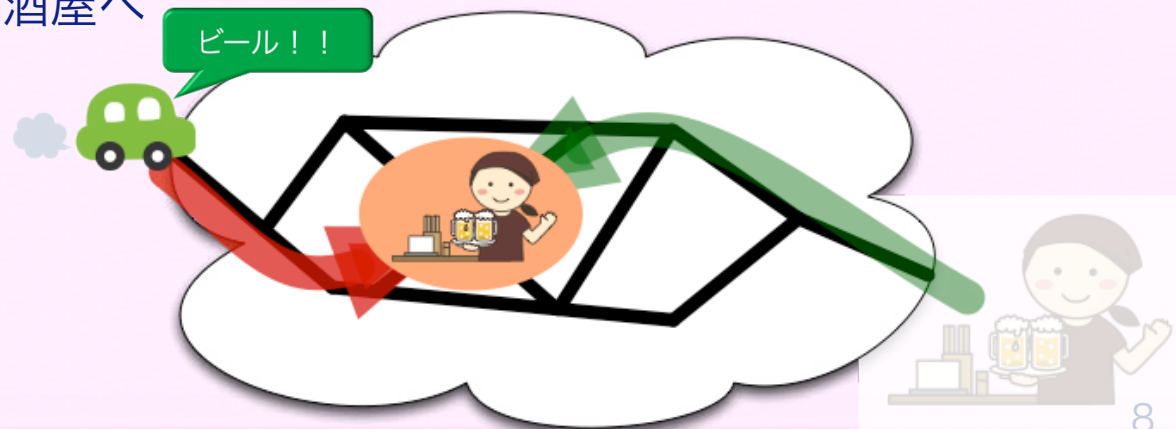
動く酒店！

- 今のインターネットでは
 - XYZ 酒店の住所が正しい（引っ越ししていない）
 - 飲みたいときに酒屋が開いてる

がなければお酒が飲めない！！

- ICN/CCN では
 - 酒屋はよりたくさん売れる場所に移動
 - 支店をたくさん作る
 - タクシーは一番近い酒屋へ

いつでもどこでも
ビールが飲める！



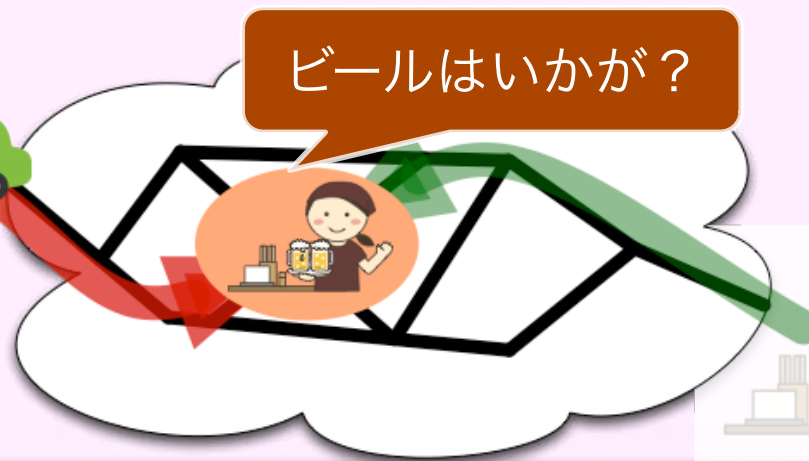
さらに

- 自分の「ビール欲し度」を呟けば自動的にビールが届く！
- 逆転の発想
 - 「ビールを飲みたい人がビールの場所を探す」から
 - 「ビールを売りたい人がビールをほしがっている人を探す」へ
- 人々の「ビール欲し度」を集めることで、よりたくさんビールが売れそうなところに店を移動

喉が渴いたなあ

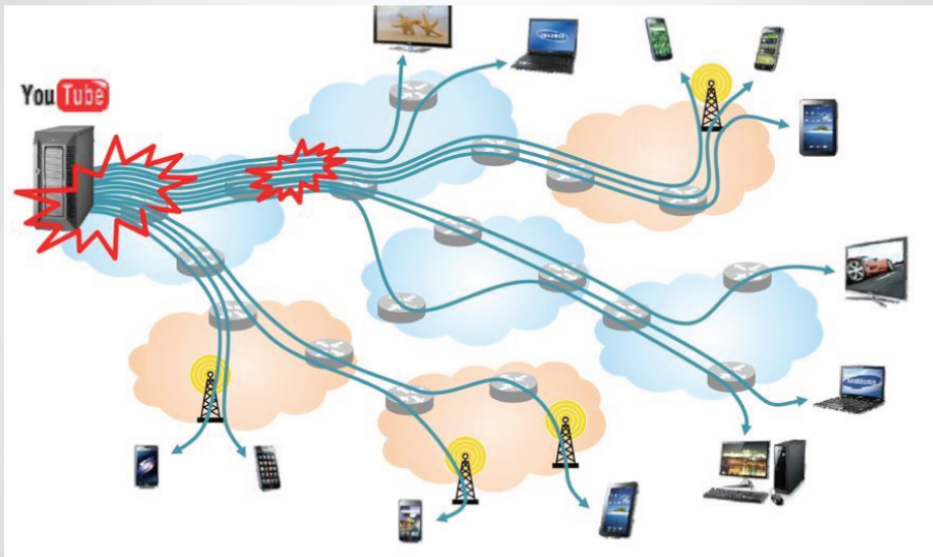
向こうから
ビールがやってくる！

ビールはいかが？



From IP to CCN: A rough picture

IP Networking



<http://electronics.wesrch.com/paper-details> , Myeong-Wuk Jang

CCN Networking



<http://electronics.wesrch.com/paper-details> , Myeong-Wuk Jang

現在のインターネットとの違い

	IP	ICN/CCN
通信形態	node, host, location 指向	コンテンツ指向
アドレッシング	node identifier	content identifier
名前解決	DNS	あり、なし
キャッシュ	アプリケーションごとに用意	ネットワークでサポート (in-network caching)
マルチキャスト	一部で使用	標準機能
エニーキャスト	一部で使用 (運用の設定)	標準機能
セキュリティ	レイヤの追加 (SSL, IPSec, ...)	パケットに組み込み
トランスポート	TCP	標準は未定
モビリティ	ほとんどなし	標準 (に組み込みたい)

用語集

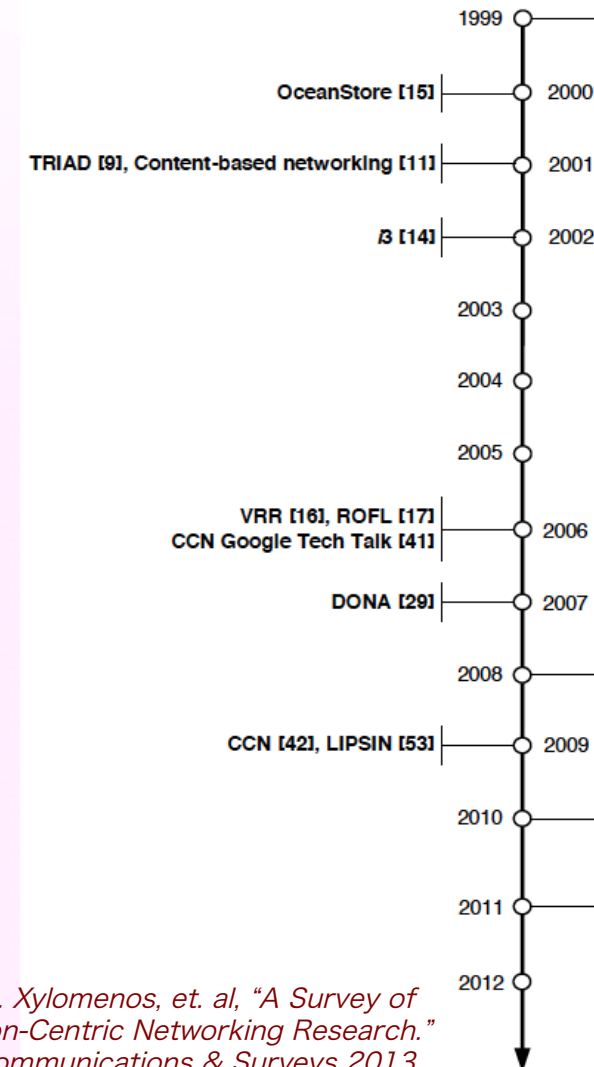
用語	説明	類似語
Publisher	コンテンツ発行者	コンテンツサーバ
Subscriber	コンテンツ受信者	クライアント
Interest	コンテンツ要求メッセージ	Request
Data	コンテンツデータ、応答メッセージ	
FIB (Forwarding Information Base)	Interest 転送のための経路表	
PIT (Pending Interest Table)	Data 転送のための経路表。Reverse-path	
Resolving	コンテンツ名から location (あるいは関連するアドレス) を取得する方法	名前解決
Register	コンテンツの保持ノードとコンテンツの対をネットワークに認知させるための方法	

ICN vs. CCN?

- 目指すところはほぼ同じ
 - CCN: 主に米国 FIA, parc を中心とした研究プロジェクト
 - ICN: 主に欧州 FP7 による研究プロジェクト
 - 広義に ICN と定義し、CCN は ICN の一実装という見方
- たとえば 出典: E. Paik, et. al, "Benefits and Research Challenges of Content-Centric Networking." Internet-draft draft-paik-icn-challenges-00, work in progress, January 2013
 - **Information-Centric Networking (ICN)** is a new **networking paradigm** that shifts the emphasis from endpoints to addressing content directly, thereby enabling simple, robust and efficient content distribution in the network.
 - **Content-Centric Networking (CCN)** is a new **network architecture** that embraces ICN principles of direct content addressing. CCN architecture builds up on the fundamentals of content, names and security.
- プロジェクトによって方式が異なる
 - 名前 (Naming): フラット, 階層化, スコープ, ... (あるいはその複合)
 - 名前解決: ロケータ ID の有無により異なる
 - 名前解決あり: コンテンツ名からロケータ ID を取得後、ロケータ ID でルーティング
 - 名前解決なし: 直接コンテンツ名をルーティング

ICN/CCN のこれまでの流れ

- Content Addressable Network (2000頃)
- P2P Overlay
 - Distributed Hash Table
 - I3 (Internet Indirection)
- CDN (Content Delivery Network)
- DONA (Data Oriented Network Architecture)
- Pub/Sub (Publication/Subscribe)



出典 : G. Xylomenos, et. al, "A Survey of Information-Centric Networking Research." *IEEE Communications & Surveys* 2013.

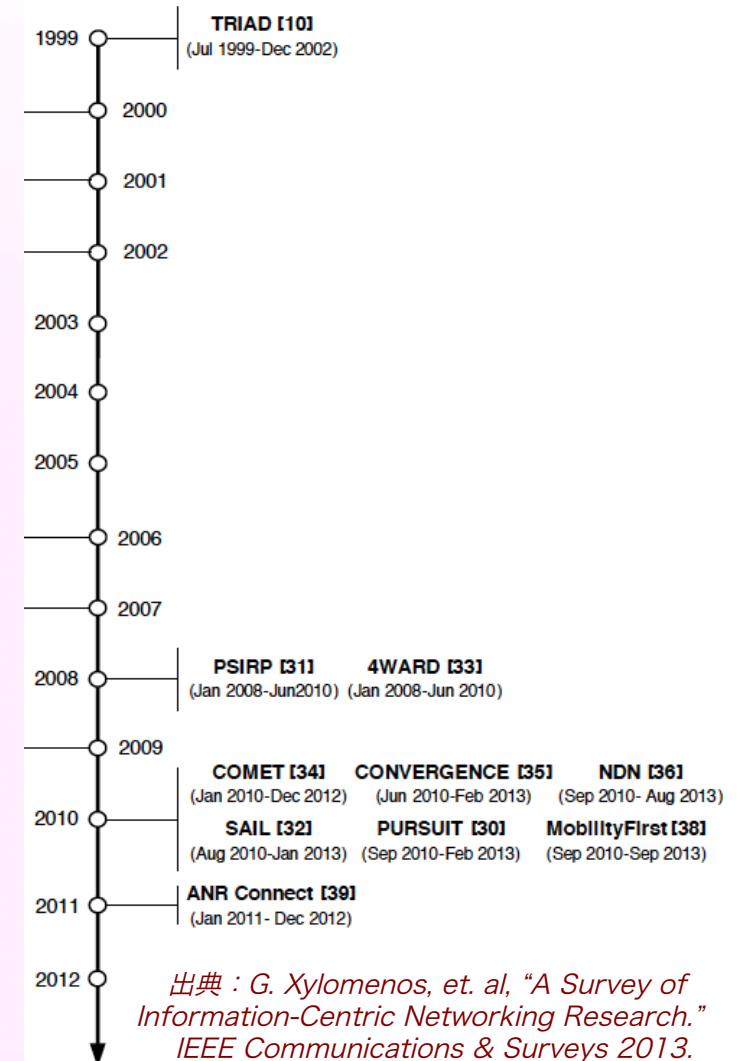
現在の研究プロジェクト

■ 米国

- DONA (Routing on Flat Labels)
- NDN (NSF FIA)
- CCN (Xerox parc)
- MobilityFirst

■ 欧州

- PURSUIT (PRISP Pub/Sub)
- SAIL (4WARD/NetInf)
- COMET (CMP)
- CONVERGENCE



サーベイ論文

1. G. Xylomenos, C. Ververidis, V. Siris, N. Fotiou, C. Tsilopoulos, X. Vasilakos, K. Katsaros, G. Polyzos, “A Survey of Information-Centric Networking Research,” IEEE Communication Surveys and Tutorials, no. 99, 26 pages, July 2013. DOI: 10.1109/SURV.2013.070813.00063
2. B. Ahlgren, C. Dannewitz, C. Imbrenda, D. Kutscher, B. Ohlman, “A Survey of Information-Centric Networking,” IEEE Communications Magazine, vol. 50, no. 7, pp. 26-36, July 2012. DOI: 0.1109/MCOM.2012.6231276
3. B. Ahlgren, P. Aranda, P. Chemouil, L. Correia, H. Jarl, S. Oueslati, M. Sollner, A. Welin, “Content, Connectivity, and Cloud: Ingredients for the Network of the Future,” IEEE Communications Magazine, vol.49, no. 7, pp.62-70, July 2011. DOI: 10.1109/MCOM.2011.5936156
4. A. Ghodsi, S. Shenker, T. Koponen, A. Singla, B. Raghavan, J. Wilcox, “Information-centric Networking: Seeing the forest for the trees,” Proc. ACM HotNets-X, no.1, pp.1-6, November 2011. DOI: 10.1145/2070562.2070563
5. M. Bari, S. Chowdhury, R. Ahmed, R. Boutaba, B. Mathieu, “A Survey of Naming and Routing in Information-Centric Networks,” IEEE Communications Magazine, vol. 50, no. 2, pp.44-53, December 2012. DOI: 10.1109/MCOM.2012.6384450

なぜ ICN?

- P2P や CDN ではなぜダメなのか?
 - ってかそれでもいいんですけどね。でもネットワークの機能として組み込んだ方が色々使えるよね?
- 信頼性・可用性の問題
 - P2P, CDN は真に network-aware ではない
 - ネットワークの設計指針に反した挙動を行うことも可能
 - 信頼性の低いノードがコンテンツ保持すると可用性が低い
- コスト
 - エンドノード側で実装するのはコストが高い
 - ネットワーク側キャッシングできた方がコストが安い

DONA

- ▣ UCBにて開発
- ▣ フラットな名前 (P:L) ルーティング (RH: Resolution Handler)

出典 : T. Koponen, et. al., "A Data-Oriented (and Beyond) Network Architecture," ACM SIGCOMM 2007.

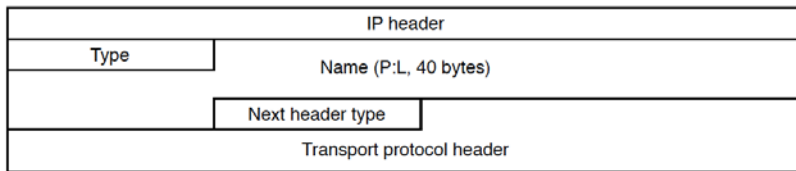


Figure 3: Protocol headers of a FIND packet. Type is to separate FINDs from their responses.

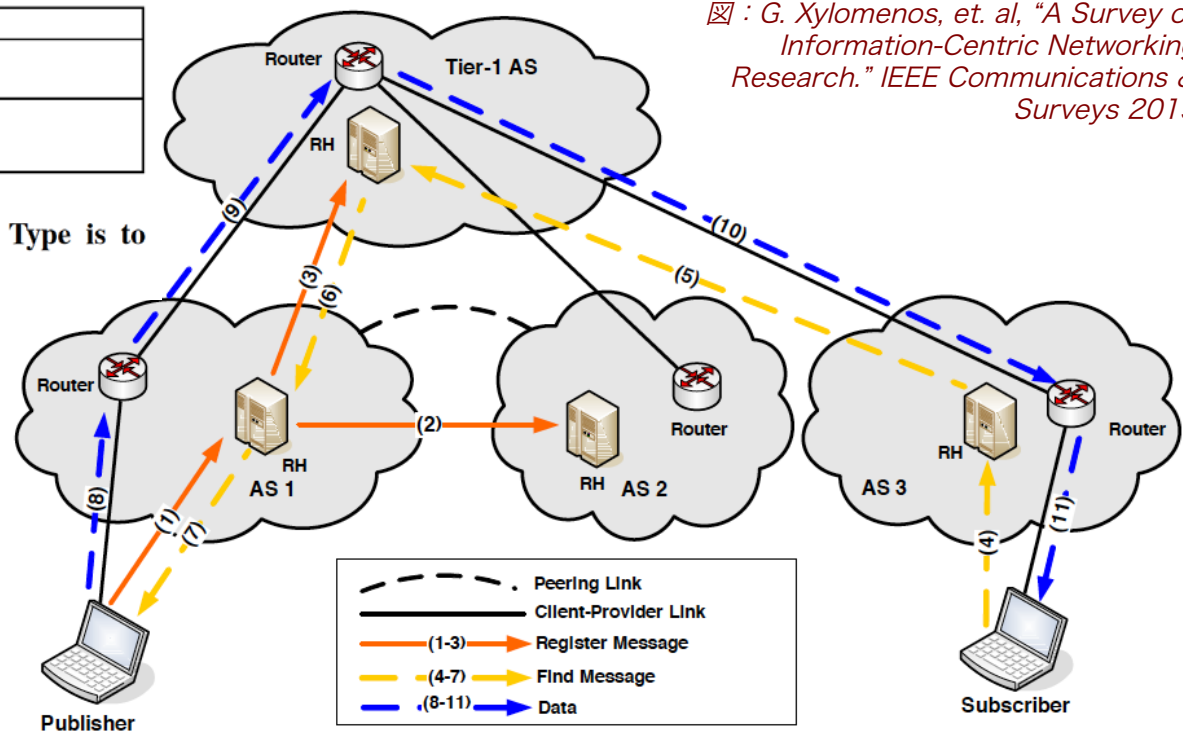
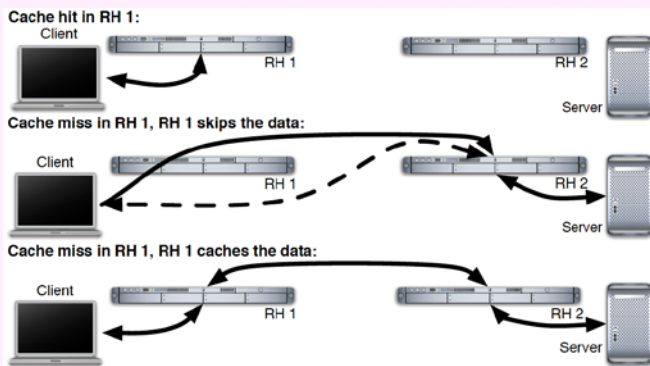


図 : G. Xylomenos, et. al., "A Survey of Information-Centric Networking Research." IEEE Communications & Surveys 2013.

NDN/CCN

- NSF FIA Project
 - <http://named-data.net/>
- 米国主体の FI (Future Internet) プロジェクト
- 階層化名前をベースにルーティング
- CCN は parc による実装
 - <http://www.ccnx.org/>
- (狭義の) CCN

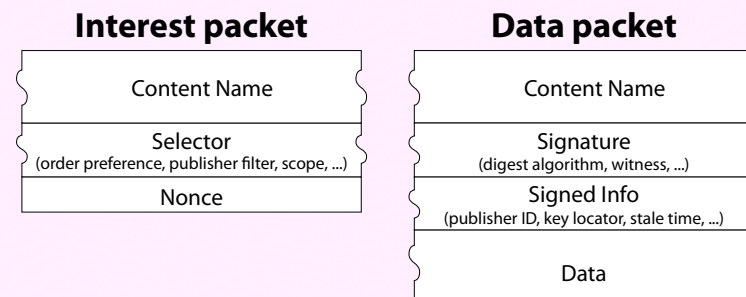
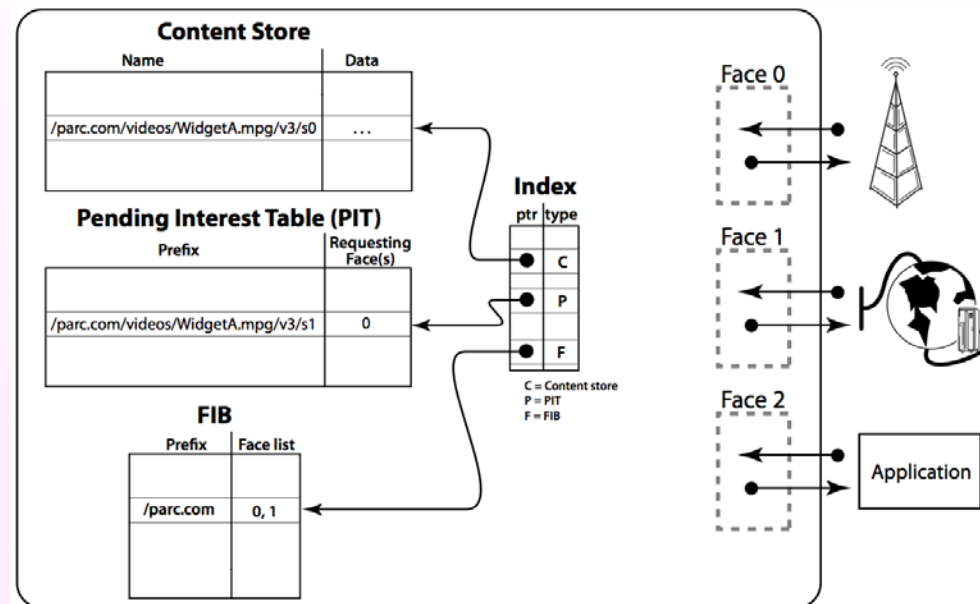


Figure 2: CCN packet types

CCN Routing

- 階層型ネーム
- 名前解決なし
- 3つのテーブル
 - FIB
 - PIT
 - CS
- 2種類のメッセージ
 - Interest
 - Data

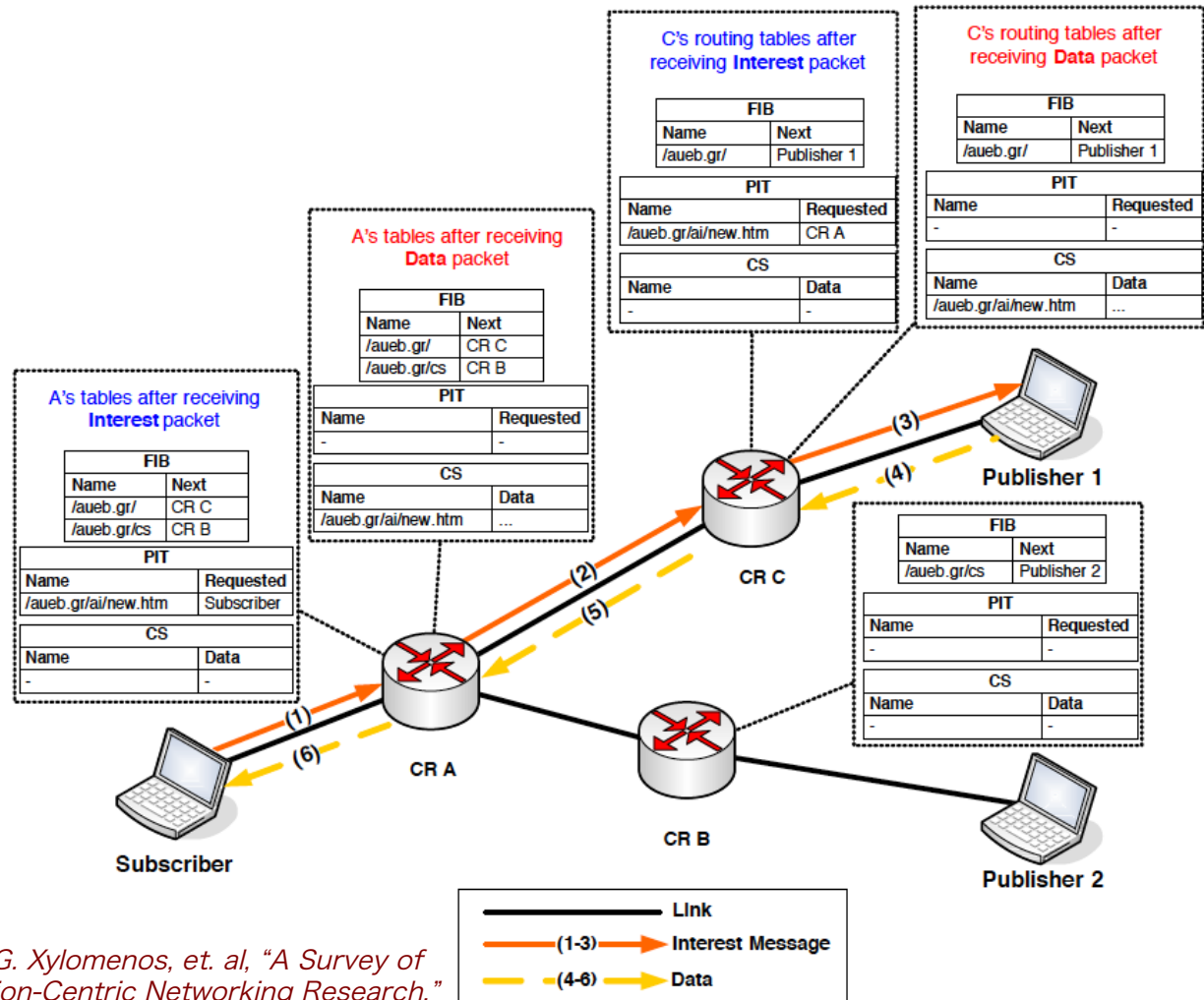


図 : G. Xylomenos, et. al, "A Survey of Information-Centric Networking Research." IEEE Communications & Surveys 2013.

CCN and DONA

1. **Persistence:** No *broken links*
 - Data packet is associated with a name and not an address
2. **Availability:** Reliable, low-latency and global delivery
 - No need for ad-hoc CDN or application-layer P2P delivery
3. **Authenticity:** Object is what the publisher published
 - Not limited to pair-wise, transient HTTPS integrity
4. **Caching:** Data have integrity and known provenance

	CCN	DONA
Naming	Structured, human-readable	Unstructured, self-certifying name carry a hash of the public key
Public Key Cryptography	PKI associates a key with name; names and content are signed	A directory maps public key to real-world identity, content is signed
Name governance	Centralized or distributed	Distributed
Name resolution	Integrated with routing	DHT resolution to Internet address
Routing	Routes hierarchical names	Uses Internet routing for data
Caching	Integrated with routing	Can route through caches
Layering	Independent of IP and other layers	Shim between IP and transport

出典: M. Baugher, "The Benefits & Challenges of Networking Named Data," 2011 UCI CS Seminar Speaker Series

PURSUIT


■ EU FP7 Project

■ <http://www.fp7-pursuit.eu/>

■ PRISP

■ Publish/Subscribe
モデルの発展

■ 階層型
Rendezvous Network

 : G. Xylomenos, et. al, "A Survey of Information-Centric Networking Research." *IEEE Communications & Surveys* 2013.

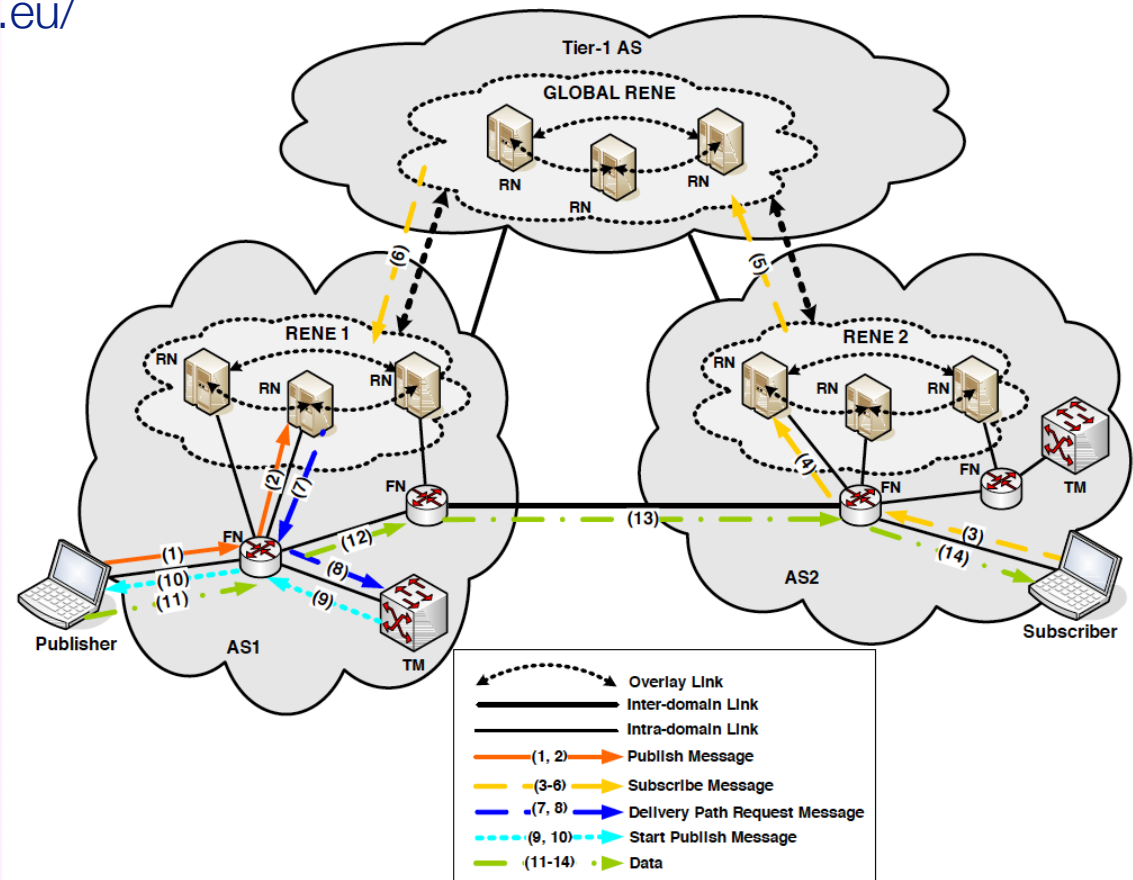


Fig. 4. The PURSUIT architecture. RN stands for Rendezvous Node, RENE for RENEZvous Network and FN for Forwarding Node and TM for Topology

SAIL

- EU FP7 Project
 - <http://www.sail-project.eu/>
 - NetInf

- IP からの移行を考慮した設計

- ハイブリッド構造
 - 階層化名、フラット名
 - 名前解決あり、なし

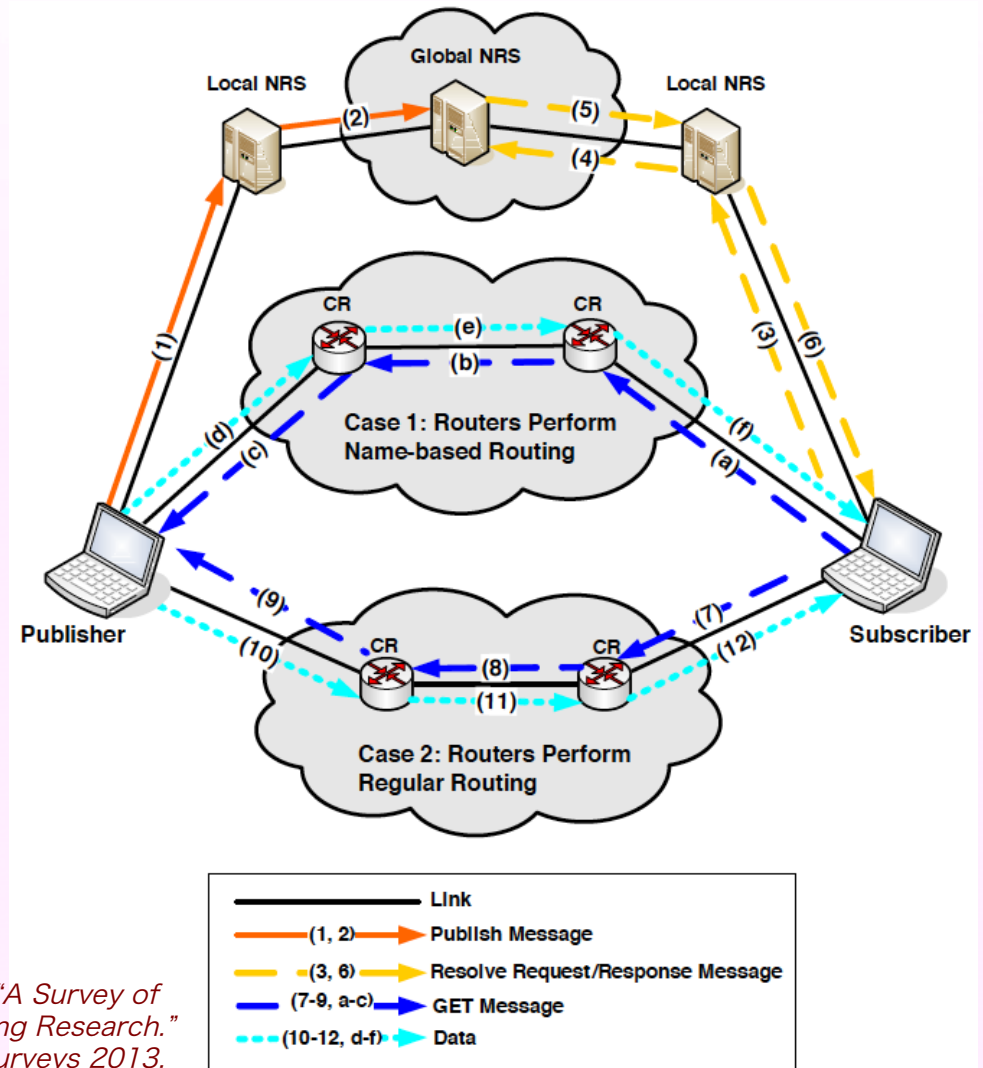
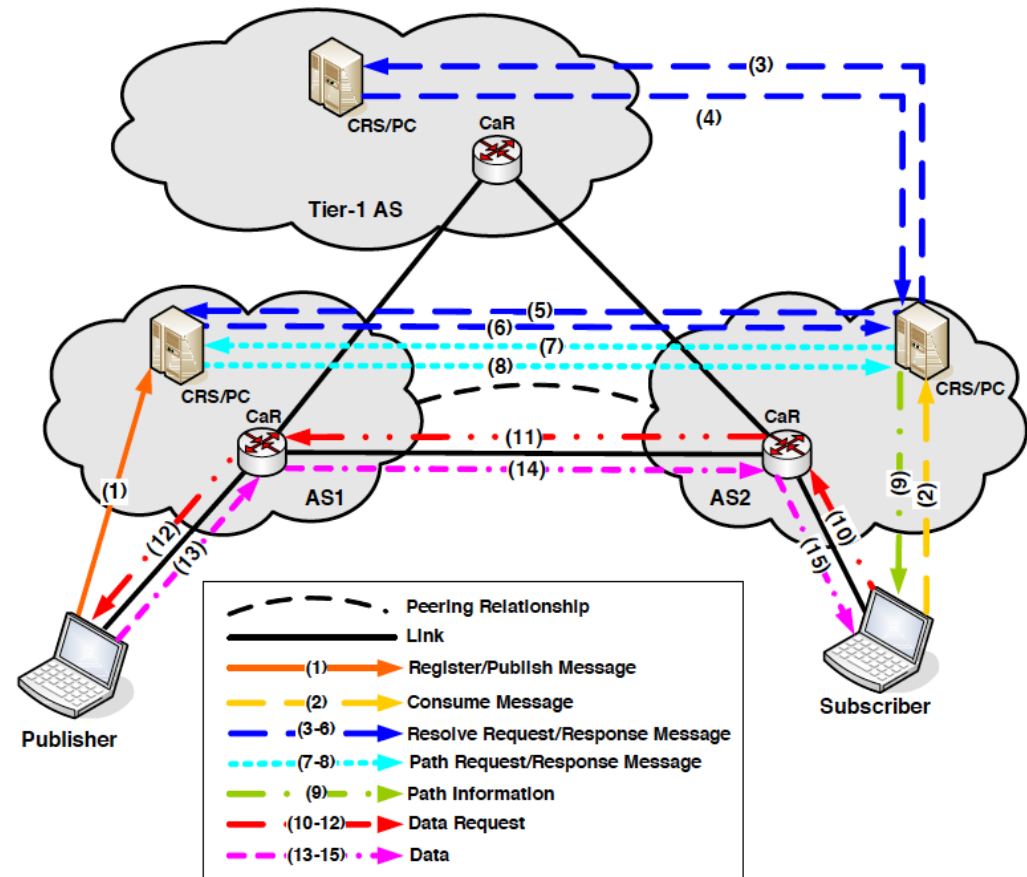


図 : G. Xylomenos, et. al, "A Survey of Information-Centric Networking Research." *IEEE Communications & Surveys* 2013.

COMET

- EU FP7 Project
 - <http://www.cometproject.eu/>
- CMP (Content Mediation Plane) による名前解決
- IP からの変更を最小限に better-than-best-effort content delivery

図 : G. Xylomenos, et. al, "A Survey of Information-Centric Networking Research." IEEE Communications & Surveys 2013.



CONVERGENCE

- EU FP7 Project
 - <http://www.ict-convergence.eu/>
 - CONET
- CCN/NDN との親和性が高い

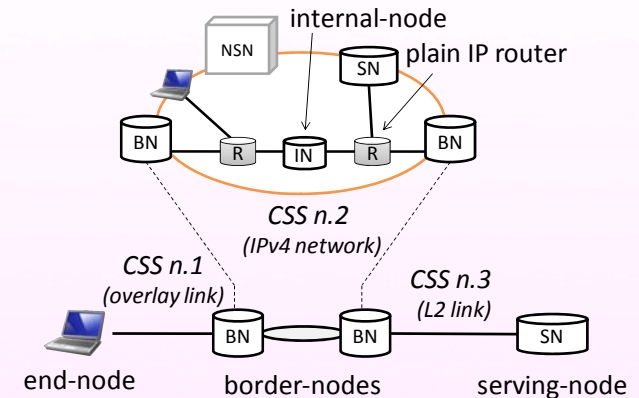
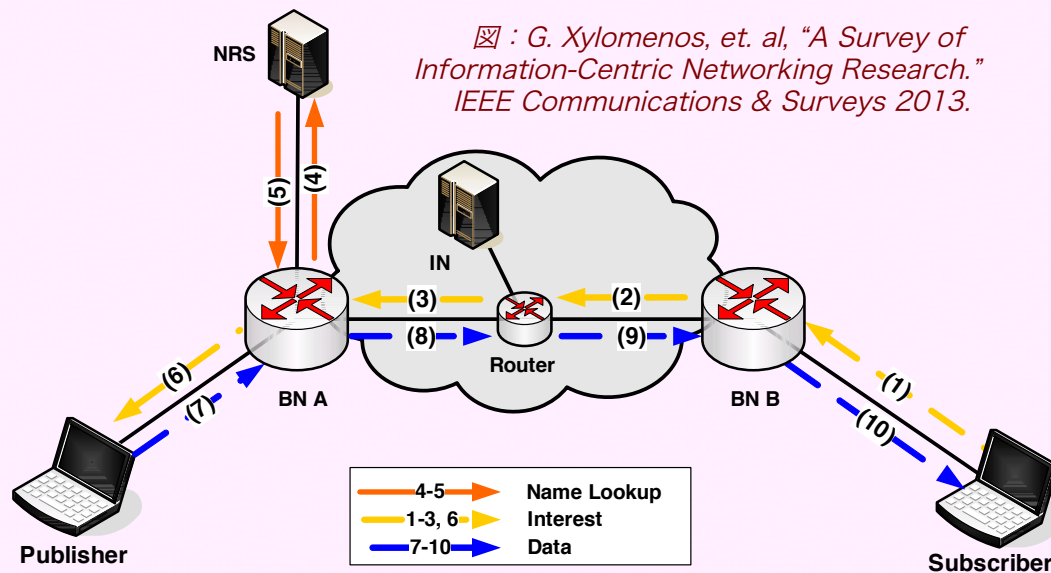


Fig. 1 - CONET Architecture

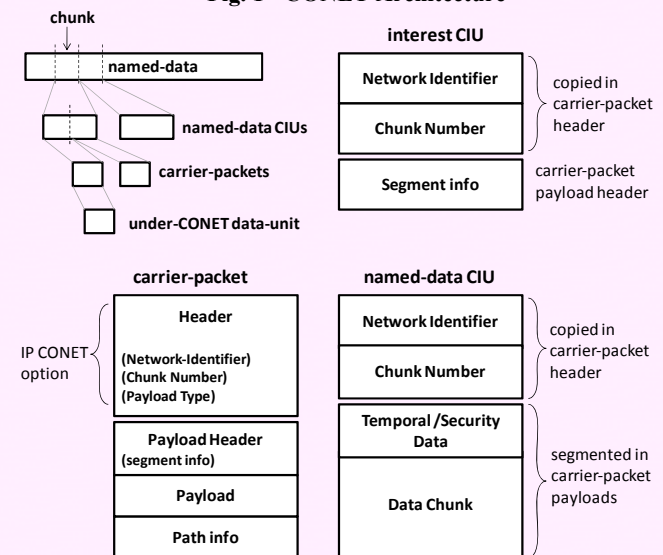


図 : A. Detti et. al, "CONET: A content-centric inter-networking architecture." SIGCOMM ICN 2011. 25

ICN vs. Cloud?

- どちらか片方だけでは上手くいかない
 - Network, information, computing 資源を統合的に扱いたい
- Cloud/ICN 統合型ネットワーク
 - misty computing
 - サーバ資源を分散化
 - ICN は Resource Discovery として機能

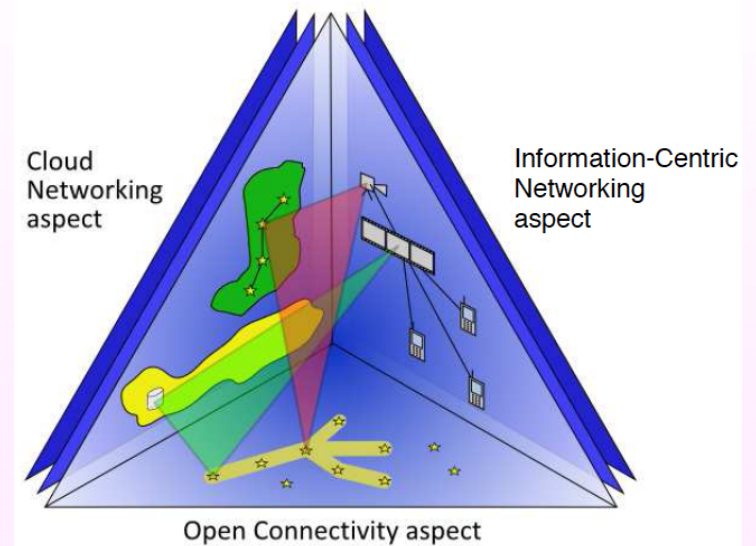


Figure 1 – Three aspects of a new network architecture.

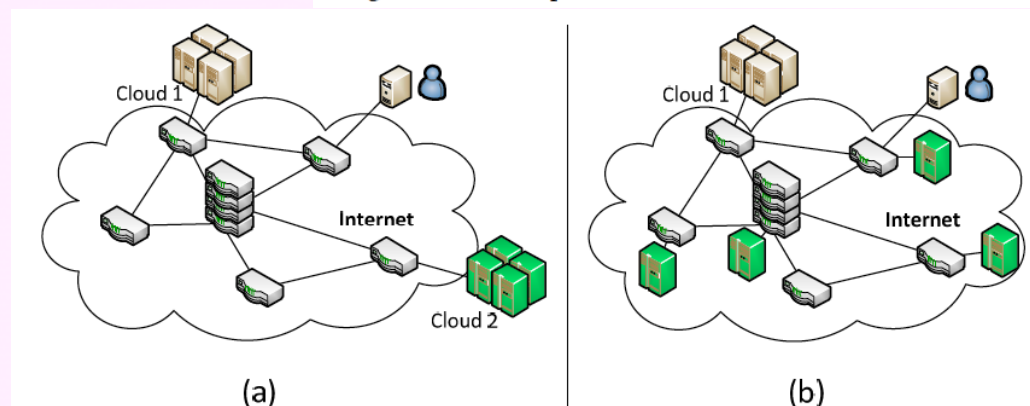


Figure 4 – From cloud (a) to mist (b) computing, supported by cloud networking:

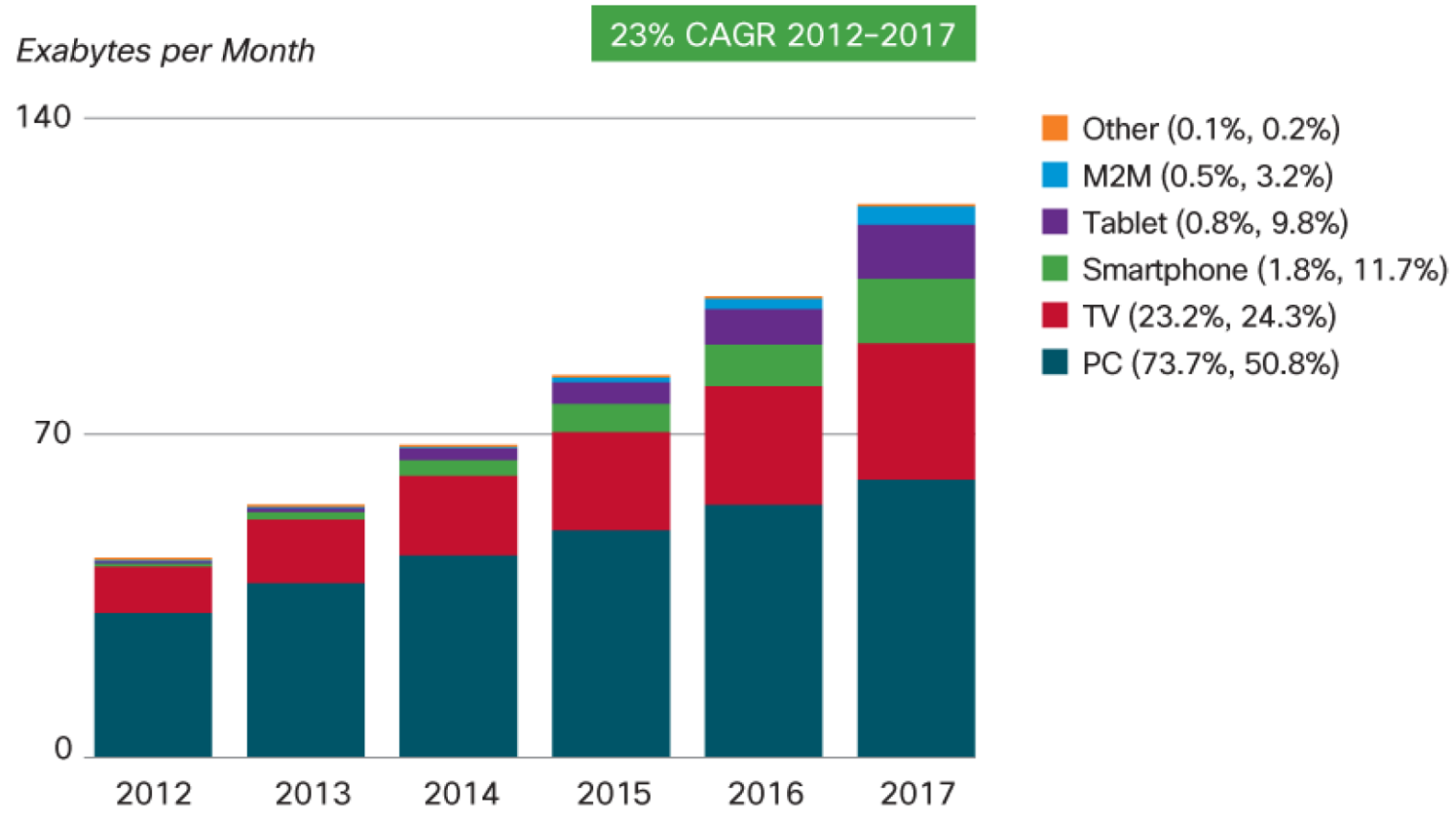
出典 : B. Ahlgen, et. al, "Content, connectivity, and cloud: ingredients for the network of the future." *IEEE Communications Magazine* 2011

活発になりつつある ICN/CCN 研究

- 国際会議 Workshop
 - SIGCOMM Information Centric Networking Workshop: 2011～
 - CCNx Community Meeting: 2011～
 - INFOCOM Emerging Design Choices in Name-oriented Networking (NOMEN): 2012～
 - これ以外にも独立したセッション多数

- 標準化
 - IRTF ICNrg (Information Centric Networking Research Group)
 - ITU-T SG13 Question 15/13 (Data-aware networking in future networks)

コンテンツの増加と多様化



Source: Cisco VNI, 2013

The percentages within parenthesis next to the legend denote the relative traffic shares in 2012 and 2017.

出典：Cisco Inc., *Visual Networking Index (VNI) The Zettabyte Era—Trends and Analysis*

ICN/CCN にまつわる数字

■ 1兆を超えるユニーク URL (Google)

■ 400億を超える Web ページ

■ <http://www.worldwidewebsite.com/>

■ 約10億の FQDN (ISC DNS Surveys)

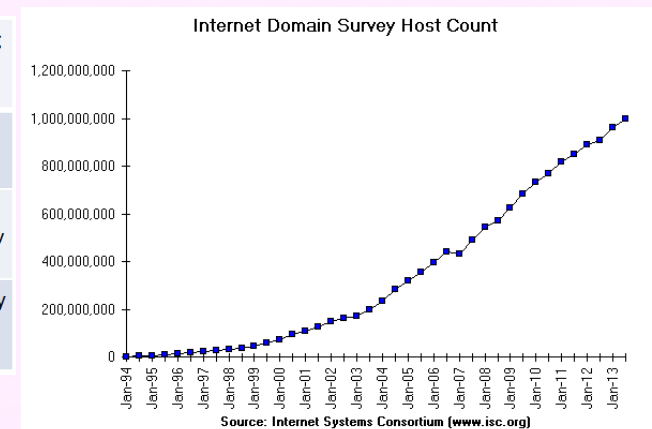
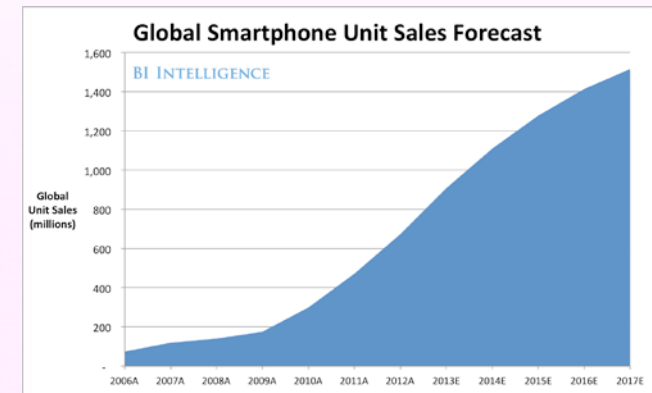
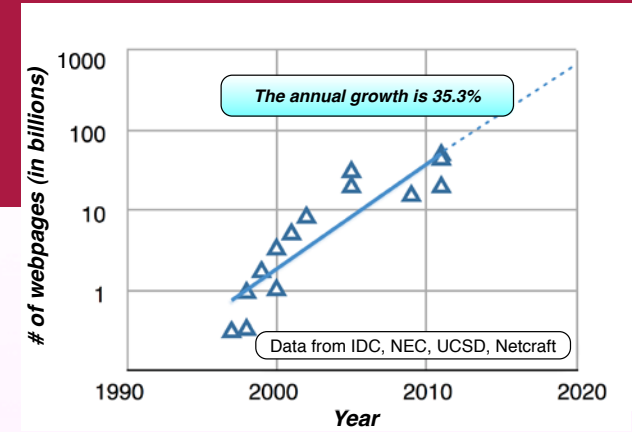
■ <http://www.isc.org/services/survey/>

■ 年間10億台以上の携帯端末増加

■ <http://www.businessinsider.com.au/smartphone-sales-wil-reach-16-billion-2013-2>

Google URLs (2008)	$O(10^{12})$	googleblog.blogspot.com/2008/07/we-knew-web-was-big.html	Number of names	$O(10^{15})$	conferences.sigcomm.org/sigcomm/2011/papers/icn/p7.pdf
Web pages	$O(10^{10})$	www.worldwidewebsite.com	IP hosts today	$O(10^8)$	ftp.isc.org/www/survey/reports/current/
Internet users	$O(10^9)$	www.internetworldstats.com/stats.htm	IP prefixes in DFZ today	$O(10^5)$	en.wikipedia.org/wiki/File:BGP_Table_growth.svg
Web servers	$O(10^8)$	news.netcraft.com/archives/category/web-server-survey/	AS numbers in DFZ	$O(10^4)$	Multihoming and mobility expand the DFZ IP prefix table size
PGP global directories	$O(10^6)$	sks-keyservers.net/status/info/pgp.mit.edu			
SSL PKI	$O(10^5)$	blog.ivanristic.com/2011/09/ssl-survey-protocol-support.html			

出典: M. Daugher, "The Benefits & Challenges of Networking Named Data," 2011 UCI CS Seminar Speaker Series



ICN/CCN の特徴

- 名前解決ノードとの不整合性の解消
 - ネットワークレイヤでコンテンツルーティングを行うことで上位層でのコンテンツ管理が不要に
- 可用性 (availability) の向上
 - ネットワーク内キャッシュによるコンテンツへのアクセス向上とネットワーク資源の有効活用
- セキュリティ
 - コンテンツ自体への署名、暗号化
- 位置的空間的制約からの解放
 - コンテンツ取得のためにサーバノードが稼働する必要がない
- ステートレス
 - コンテンツごとに (セグメント位置も含めた) 独立したパケットの送受信

ICN/CCN のメリット

- コンテンツ取得性能の向上
 - 応答時間の短縮、ホップ数短縮

- トラフィックエンジニアリングの簡便化
 - コンテンツキャッシュ配置の自由化により要求に応じたコンテンツ配置をネットワーク側で自由に制御

- モビリティ
 - Locator/ID 分離とコンテンツ名=ID とすることによりモビリティをネットワーク標準機能として提供
 - アドホックネットワーク

- 耐障害性向上
 - 接続が不安定なネットワークでは TCP/IP は不向き
 - ステートレスネットワーク

- DDoS 攻撃の分散
 - そもそもノードを対象とした通信をしないので「ノードへの攻撃」という方法自体が無意味

- CAPEX/OPEX 削減

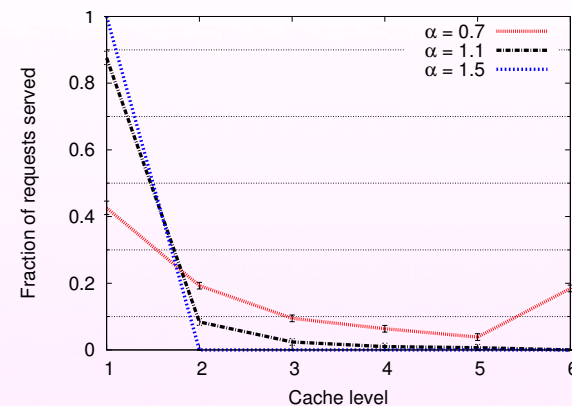


Figure 2: Utility of different cache levels with a simplified optimization model on a binary tree with 6 levels. Level 6 here is the origin server to which requests are sent on cache misses.

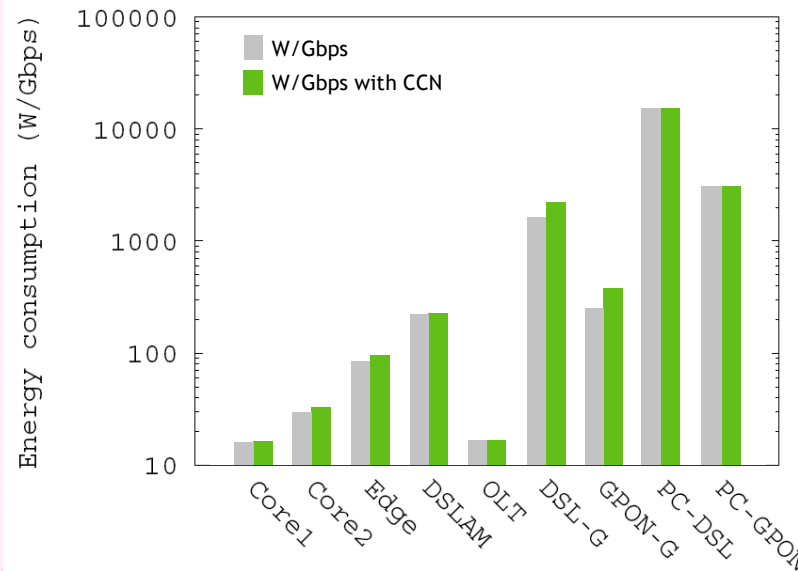
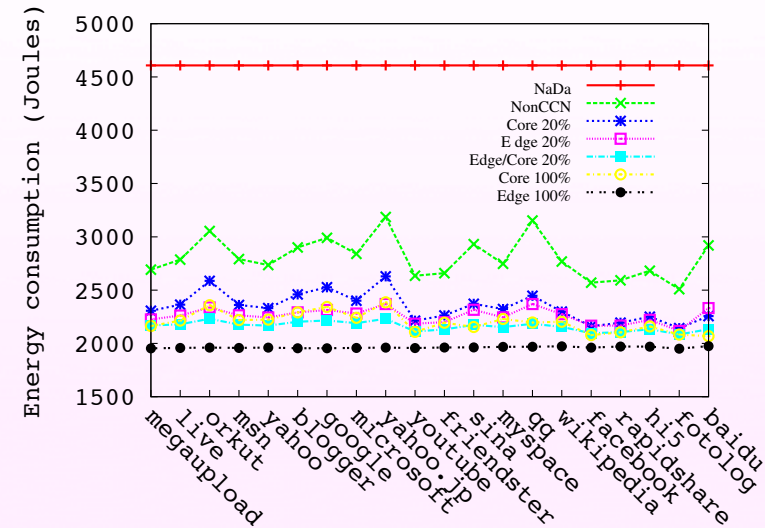
Benefit	Feature			
	Decoupling names from locations	Pervasive Caching	Nearest-replica routing	Intrinsic Binding
Latency (§4, §5)		✓	✓	
Traffic Engg. (§4, §5)		✓	✓	
Mobility (§6)	✓		✓	
Ad hoc mode (§6)	✓		✓	
Security (§6)	✓			✓

Table 1: Feature-Benefit Matrix for ICN: the ✓ shows the key features of ICN that contribute to each perceived benefit.

出典: S. Fayazbakhsh, et. al., "Less Pain, Most of the Gain: Incrementally Deployable ICN," ACM SIGCOMM 2013.

ICN/CCN による省電力ネットワーク

- コンテンツキャッシュをルータに搭載することによる電力増加は限定的
- 一方でエッジ側にコンテンツを置くことはコストが高い (下図)
- 20% のルータを CCN ルータに置きかえることにより全体で約 15% の電力削減効果 (右図)



出典: U. Lee, et. al., "Greening the Internet with Content-Centric Networking," ACM E-Energy 2010.

Core1: Cisco CRS 1= 4834W/320G
 Core2: Cisco CSR 12000 = 800W/28G
 Edge: Cisco 7507 = 400W/5G
 DSLAM: Zyxel IES-500M = 800W/3.84G
 OLT: Fujitsu FA2232U = 400W/10G
 DSL Modem: D-Link DSL 2320B = 15W/10M
 ONT: Allied Data = 12W / 50M
 PC: Dual Core = 150W / 10M or 50M

コンテンツキャッシュ

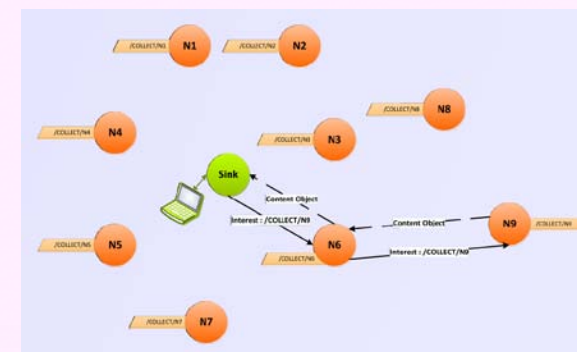
- キーワードは「Decoupling」
- IP における2つの制約
 - 空間的制約
 - コンテンツにアクセスするためには、コンテンツを持つノードが事前に分かっている、かつ通信時にその位置に存在しなければならない
 - 時間的制約
 - コンテンツにアクセスするためには、コンテンツを持つノードが稼働状態で、かつ通信可能でなければならない
- コンテンツキャッシュによる Decoupling
- ルーティング・ネットワーク設計のパラダイムシフト
 - (現在) コンテンツの所在をベースに経路制御、最適化
 - (将来) ネットワークが最適化されるようコンテンツを移動・配置

現在の研究トピック

- アプリケーション・ユースケース
- ネーミング・アドレッシング
- 名前解決・ルーティング
 - ワイヤスピードのハードウェア処理を実現する方法
- キャッシング
 - 検索性能を向上させるキャッシング手法
 - ネットワーク資源の有効利用
- セキュリティ
 - コンテンツ・キャッシュ自体の保護技術
 - アクセス制御
 - 認証
- モビリティ
- デプロイメント

CCNx Use Cases

- CCNx Community Meeting: Use Case and Demo Sessions
 - <http://www.ccnx.org/ccnxcon2013/ccnxcon-2013-official-agenda/>
 - A Reconciled Data Warehouse Layer Based on CCNx
 - Towards SDN Enabled ICN Based Edge-Cloud Services
 - Adaptive Video Streaming over CCN
 - A Virtualized, Programmable Content Delivery Network
 - <http://www.ccnx.org/ccnxcon2012/program/>
 - A Distributed Server-based Conference Control and Management for NDN Conferencing
 - Peer to Peer File Sharing over Content Centric Networks
 - Network Management Framework for Future Internet Scenarios
 - CCNx in Every Sensor
 - <http://www.ccnx.org/ccnxcon2011program/>
 - Audio Conferencing Tool
 - Git over CCN



CCNx Use Cases: Summary

- リアルタイム・ストリーミング配信
 - シグナリングの軽量化（フレームごとに Interest を送信）
 - キャッシュによるレイテンシの軽減

- ファイル共有
 - コンテンツ取得オーバーヘッドの軽減
 - キャッシュによるレイテンシの削減

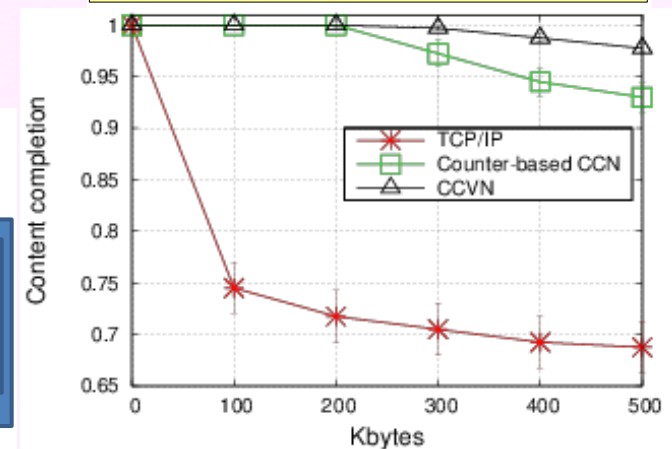
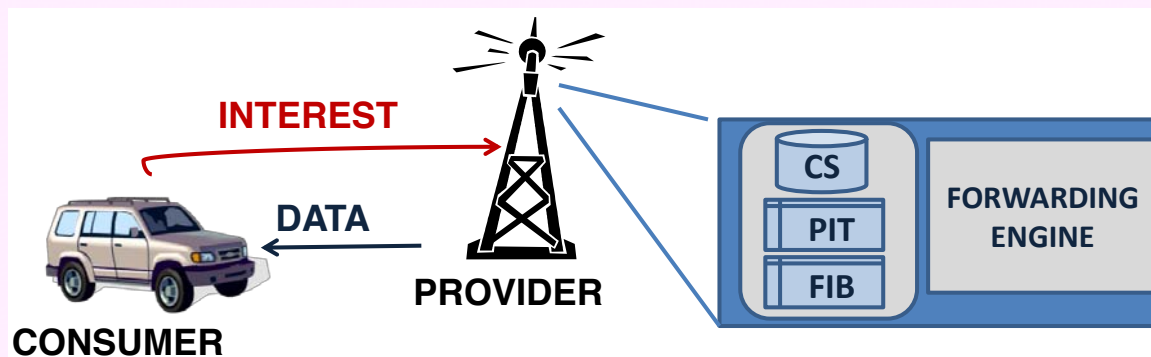
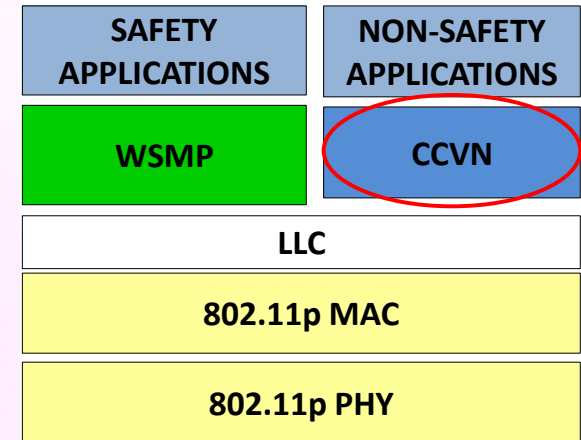
- アドホックネットワーク
 - Zero configuration
 - センサノードの情報取得
 - Location decoupling によりロスに強いネットワーク

- 管理運用コストの軽減
 - コンテンツ管理（バージョニング）
 - ネットワーク管理

Use Case: VANET over CCN

- Vehicular Ad Hoc Network にCCN を適用
 - ゼロコンフィグレーション
 - ロケーションアウェアネス
 - キャッシングによるネットワーク性能向上
 - 断続的に切断される (disjoint な) ネットワークにおける耐障害性向上

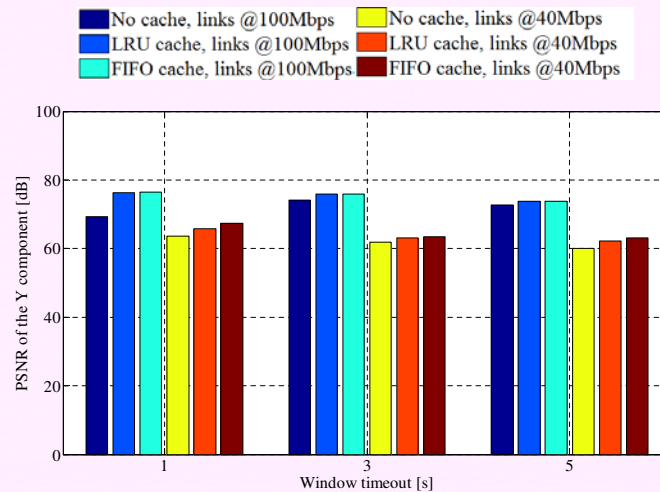
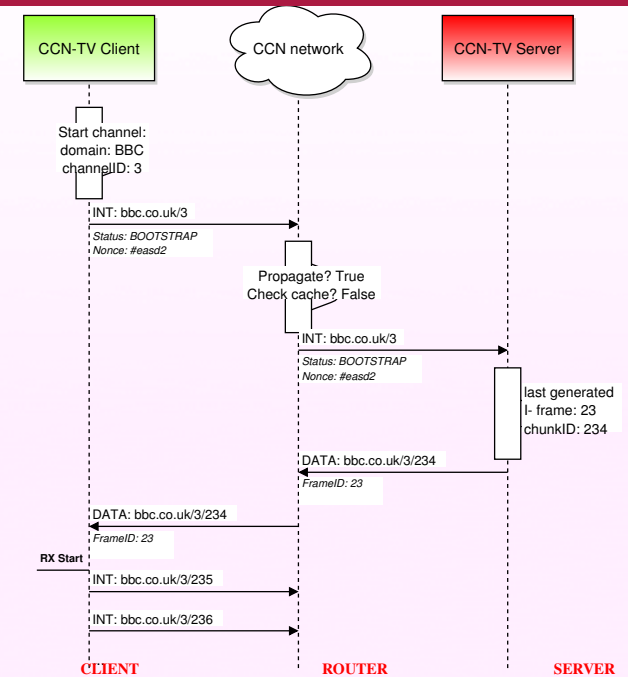
- TCP/IP と比較してスループットが大幅に向上



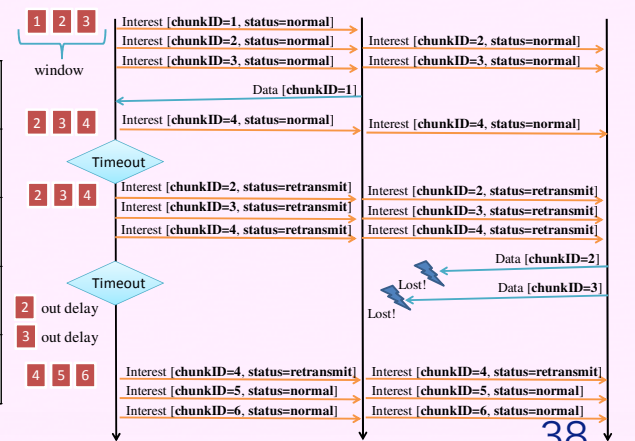
出典: M. Amadeo, et. al., "Content-centric networking: is that a solution for upcoming vehicular networks?" ACM VANET 2012.

Use Case: CCN-TV

- テレビデータを CCN により受信
- チャンク単位で Interest を送信
 - [domain]/[channelID]/[chunkID]
 - chunk が I-Frame に相当
- 独自のスライディングウィンドウフロー制御
- CCN キャッシュにより遅延軽減



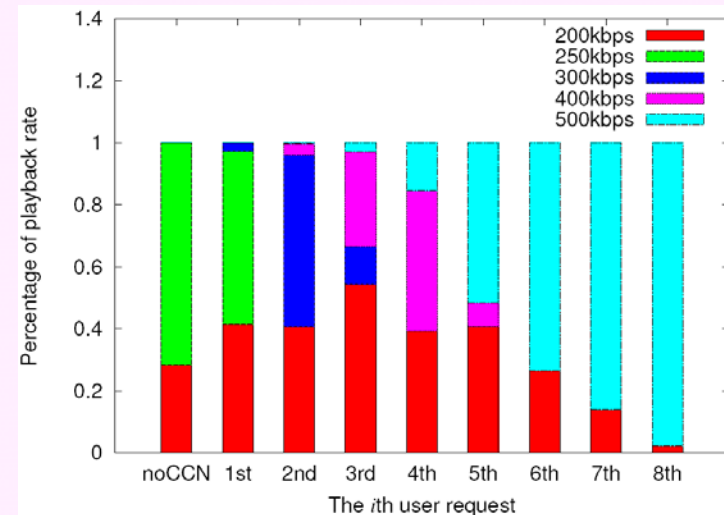
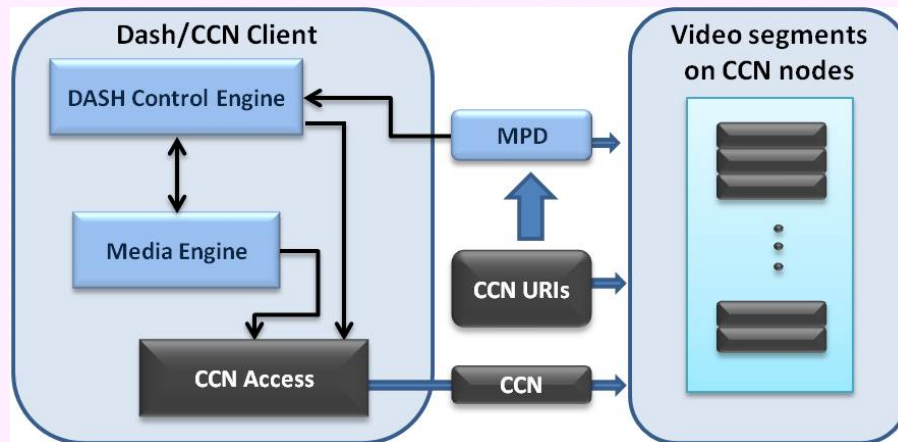
出典: V. Ciancaglini, et al., "CCN-TV: a data-centric approach to real-time video services," IEEE AINA 2013.



Use Case: DASH over CCN

- DASH (Dynamic Adaptive Streaming over HTTP)
 - セグメント単位のストリーミング伝送
 - セグメント単位でビットレートや解像度を動的に変更可能

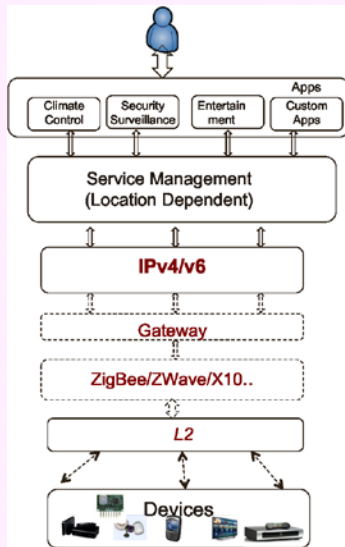
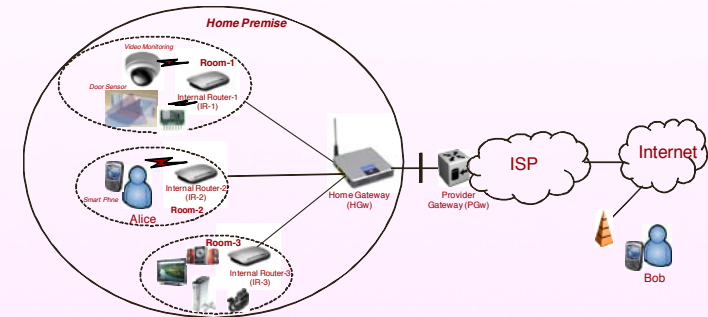
- Interest をセグメントごとに取得することで利用効率向上
 - `ccnx:/DashOverCCN/hfp/www-itec.uni-klu.ac.at/ip/datasets/Mmsys12/BigBuckBunny/bunny_2s/bunny_2s_150kbit/bunny_2s1.m4s/`



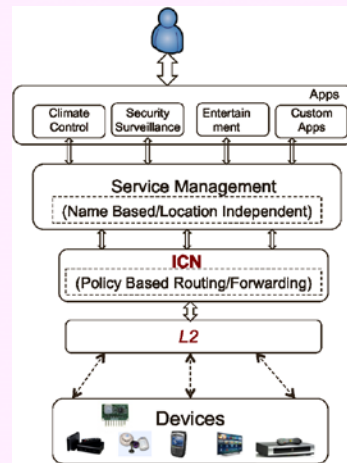
出典: Y. Liu, et. al., "DASH over CCN," CCNx Community Meeting 2012

Use Case: CCN Homenet

- Homenet (家電機器ネットワーク) で CCN を使う
 - プロトコルスタックをシンプルに
 - ゼロコンフィグレーション



(a) IP stack



(b) ICN stack

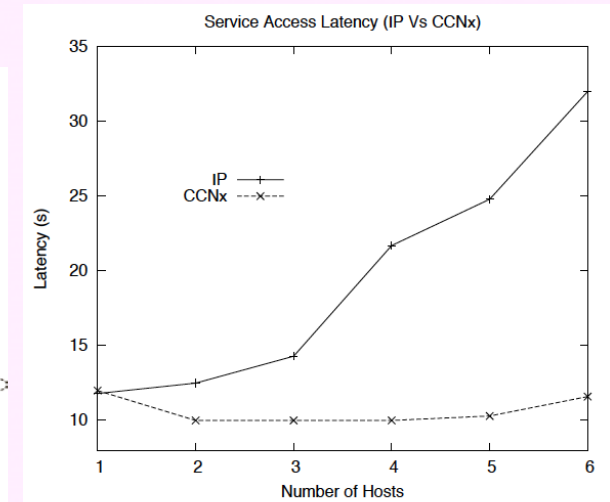
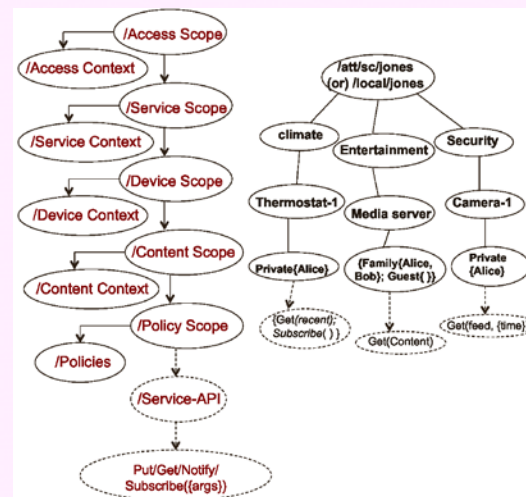
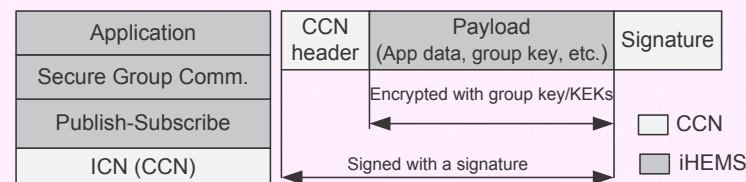
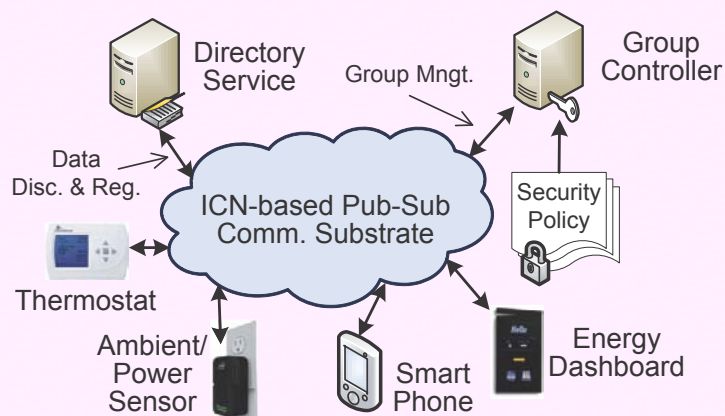


Fig. 10. IP vs CCNx service access latency.

Use Case: ICN HEMS

- HEMS (Home Energy Management Systems) を ICN で実現
 - アドホックネットワーク
 - そもそもどんな機器が接続されているか管理する必要なし
 - 必要な情報を必要な機器に (グループコミュニケーション)
 - 管理コストの軽減
 - グループ管理プロトコルを CCN で



THE CONTROL DATA OF THE GROUP KEY MANAGEMENT PROTOCOL

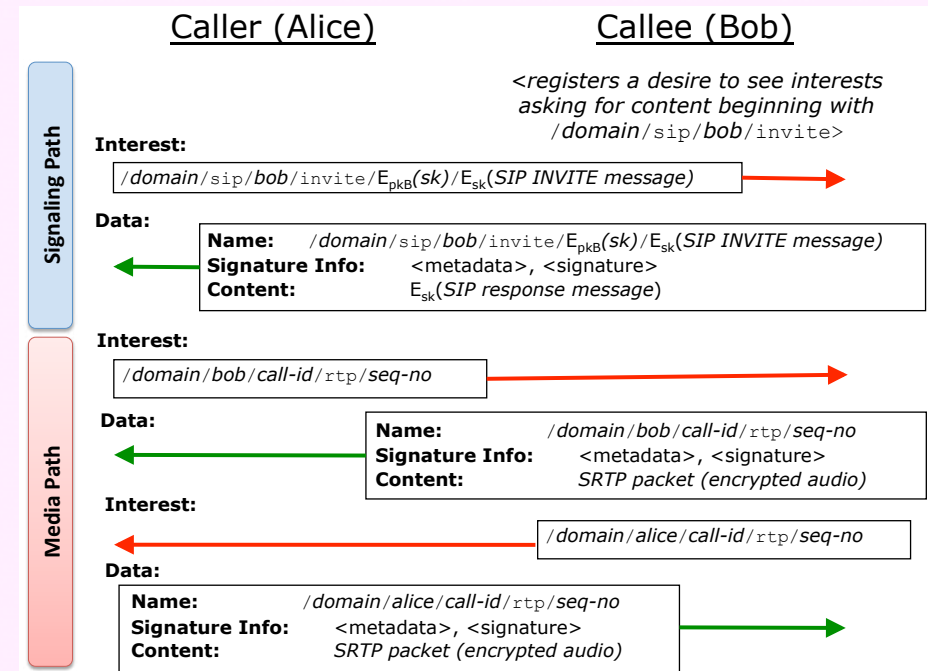
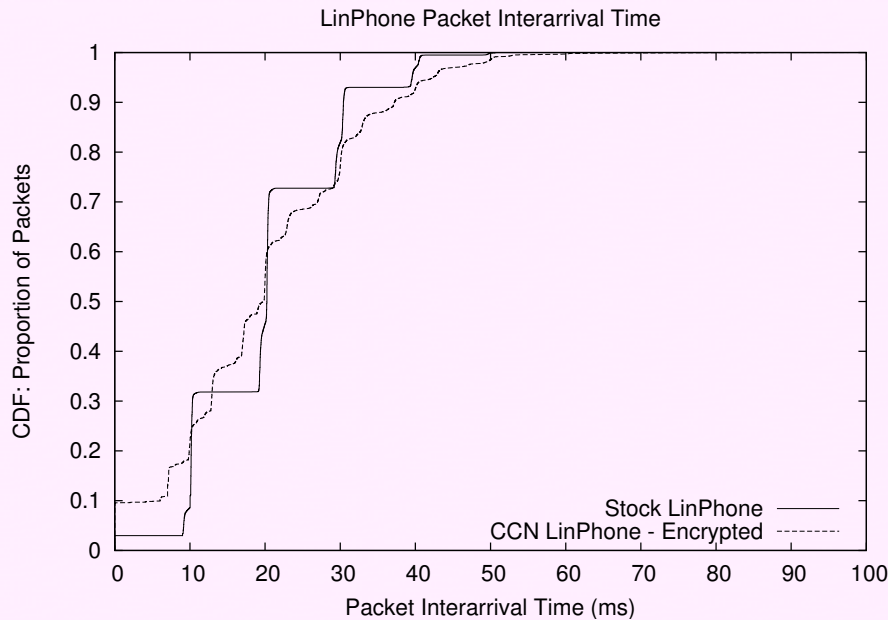
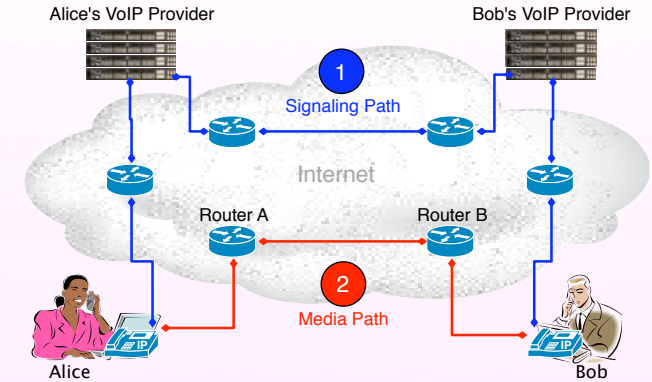
Ctrl. Data	Name	Message Content
Join Req.	<code>./req/group/join</code>	$\langle nid, op, ./data/D \rangle$
Join Resp.	<code>./resp/group/join/nid</code>	$\langle gkey, ver, auxinfo \rangle$
Rekey	<code>./resp/group/rekey</code>	$\langle ver, rekey-info \rangle$
Leave Req.	<code>./req/group/leave</code>	$\langle nid, ./data/D \rangle$
Sync Req.	<code>./req/group/sync</code>	$\langle nid, ./data/D, cur-version \rangle$
Sync Resp.	<code>./resp/group/sync/nid</code>	$\langle ver \rangle$, or $\langle gkey, ver, auxinfo \rangle$

出典: J. Zhang, et. al., "iHEMS: An information-centric approach to secure home energy management," IEEE SmartGridComm 2012.

Use Case: VoCCN

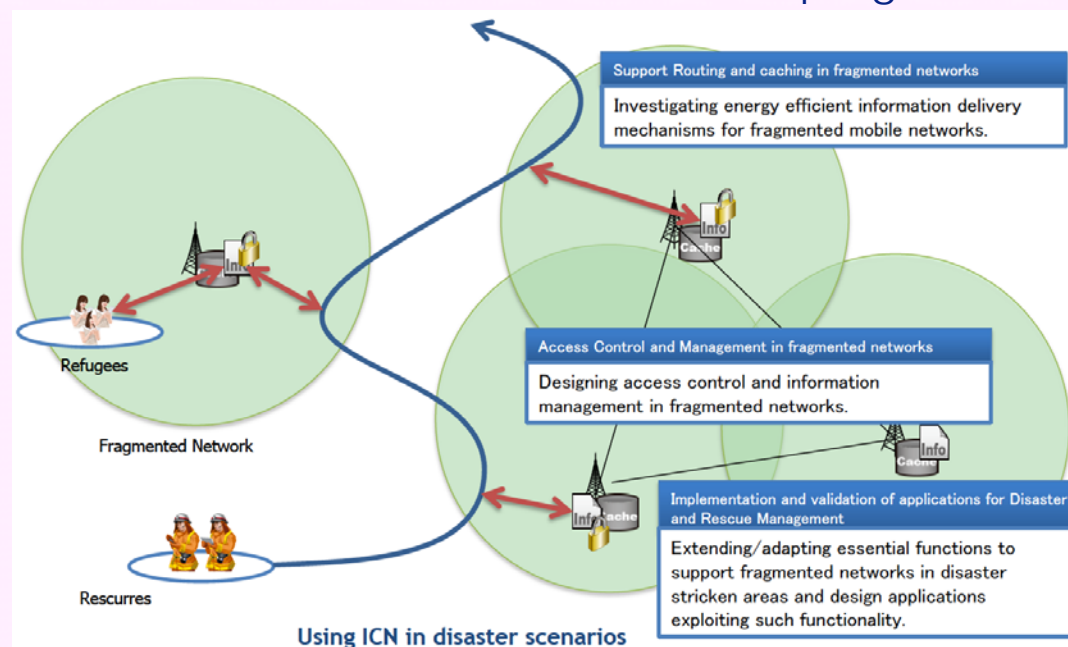
Voice over CCN

- SIP シグナリングの動作を CCN の Interest パケットの交換により実現
- サーバステートレス
- 軽量化に伴うレイテンシ削減



Use Case: 災害地における ICN

- 分断されたネットワーク（disjoint/fragmented network）におけるネットワーク
 - 時間的、空間的な coupling があるネットワークで通信を維持するのは容易ではない
 - コンテンツキャッシュとアドホックネットワークによる decoupling



出典: M. Arumathurai, et. al., "Using ICN in disaster scenarios," Internet draft draft-seedorf-icn-disaster-00, work in progress, July 2013

ルータアーキテクチャ

- CCN ルータアーキテクチャ
 - ワイヤスピードで高速検索・転送を実現
 - DLB-BF (分散ブルームフィルタ) + hash によるFIB の実装
 - SDRAM, RLDRAM

■ CCN ルータの必要ハードウェア予測

- FIB, PIT, CS が現状の技術で実現できるかを見積り

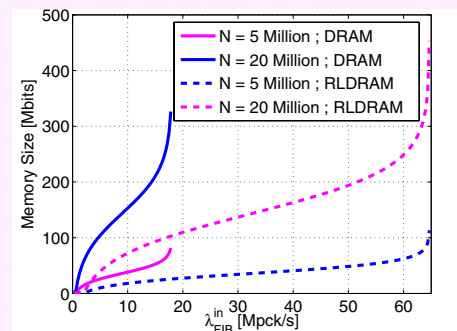
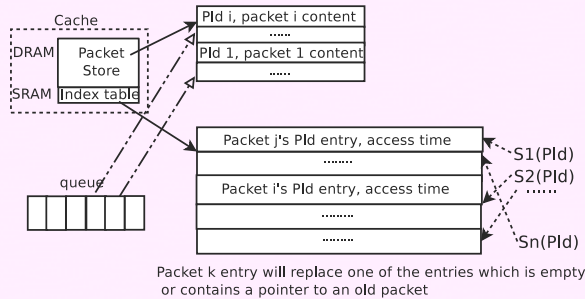
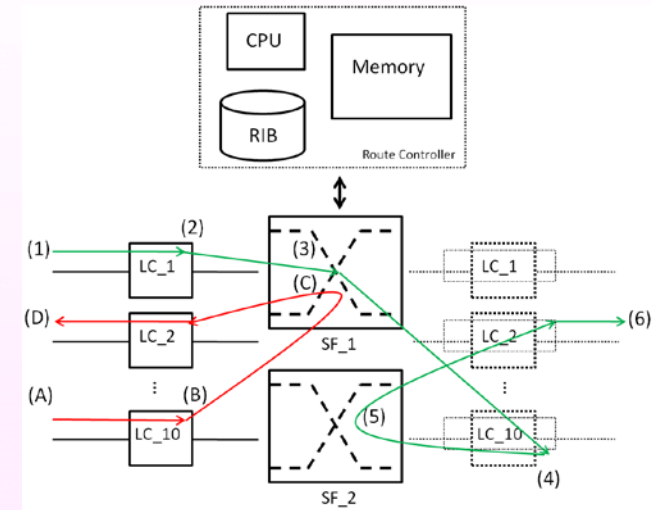


Figure 1: Structure of cache and queue in router's memory

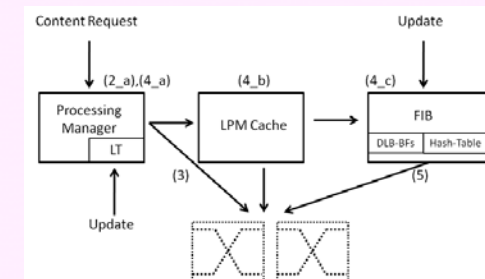
出典: S. Arianfar, et. al., "On content-centric router design and implications," ReArch 2010.

Figure 4: FIB Analysis ; Memory size ; $N = [5, 20]$ million ; DRAM and RLDRAM.

出典: D. Perino, "A reality check for content centric networking," ICN 2011.



(a) Control and data plane ; $N = 10$



(b) Line card.

Figure 1: Sketch of a Caesar router.

出典: M. Varvello, et. al., "Caesar: a content router for high speed forwarding," ICN 2012

ネーミング・アドレッシング

- 標準化された方法は存在しないが大きく2種類に分類
 - 階層化ネーム
 - 名前空間を作ることによって名前の衝突を避ける
 - フラットネーム

- Human Readable?
 - 人が読みやすい名前は情報取得を簡便にする一方でセキュリティ・プライバシー問題が生じる
 - ハッシュ化された名前、自己署名付名前

- 研究課題
 - 膨大な名前の数（コンテンツ数あるいはそれ以上）をどう扱うか
 - スケーラビリティ（特に名前解決）
 - 名前集約

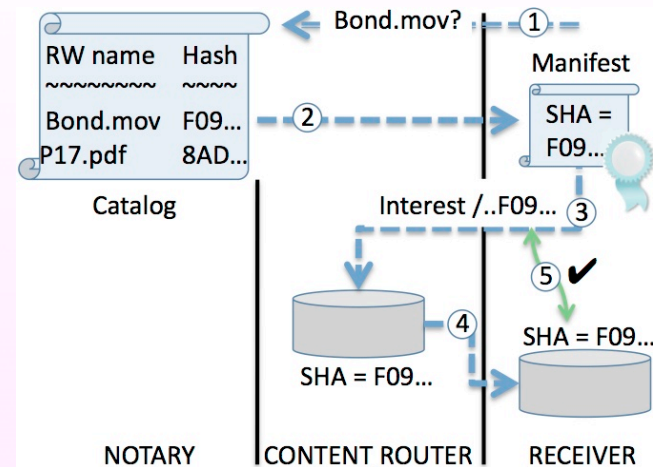


Figure 3-1: Flow of Self-Verifying Names and Data

出典: M. Baugher, "Self-verifying names of read-only named data," INFOCOM NOMEN 2012

名前の例

アーキテクチャ	構造
DONA	フラットな名前空間、P:L のペアで構成（いずれも固定長） P は発行者 (principal) の公開鍵のハッシュ L は P が発行するユニーク ID
CCN/NDN	階層化された名前空間（可変長） /application/object/data/version/segment
SAIL/NetInf	フラットな名前空間、URL に近い（URL でもいい、可変長） ni://Authority/Label
MobilityFirst	GUID (Globally Unique Identifier)
PURSUIT	フラットな名前空間（固定長） SCOPE:Rendezvous による構成

名前解決

- プレフィックスルーティングによる直接解決
 - 名前=locator
 - CCN/NDN
 - ルータが名前プレフィックスを直接テーブルから検索
 - 階層化名の場合は最長一致検索

- 名前解決機構による
 - 名前→locator の後、locator によるルーティング
 - DHT (あるいは階層化 DHT)
 - DNS およびその拡張

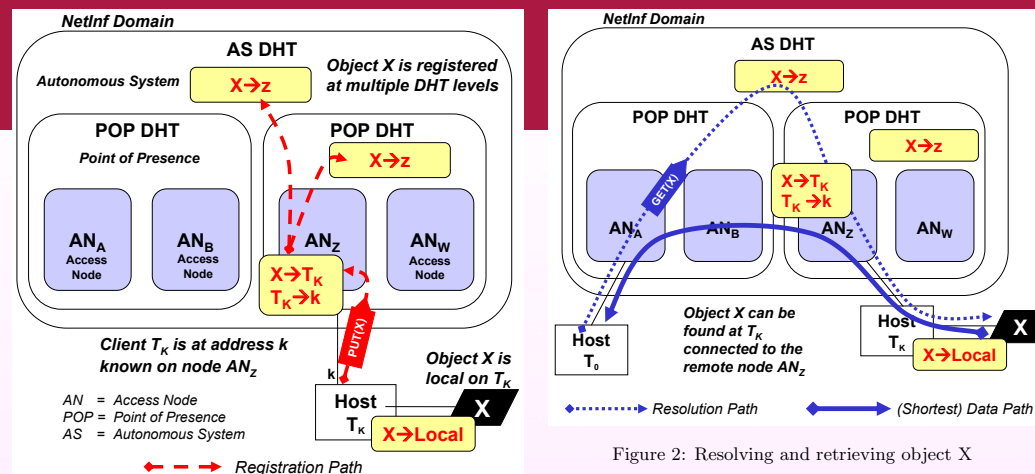


Figure 2: Resolving and retrieving object X

出典: M. D'Ambrosio, et al., "MDHT: A hierarchical name resolution service for information-centric networks," ACM SIGCOMM ICN 2012.

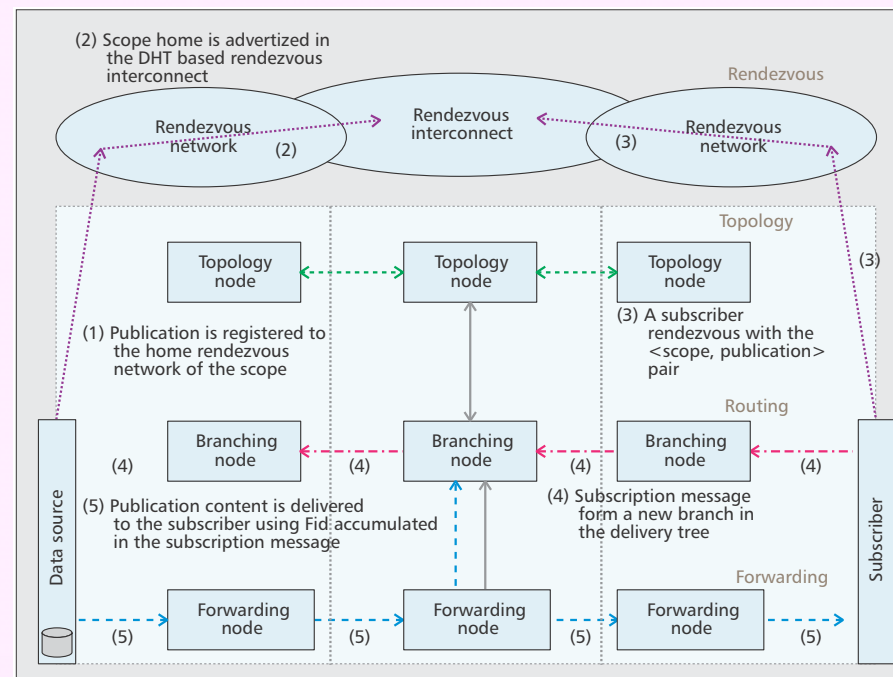


Figure 5. Rendezvous, topology, routing, and forwarding layers of PSIRP.

フォワーディング

- CCN：3種類のフォワーディングテーブル
 - FIB (Forwarding Information Base)
 - Interest パケットをコンテンツ保持ノード (publisher) に転送するためのテーブル
 - 可変長階層化名前による Longest prefix matching
 - PIT (Pending Interest Table)
 - Data パケットをコンテンツ要求者 (subscriber) に返送するために必要
 - Interest パケット受信時に受信ポートを記録
 - CS (Content Store)
 - コンテンツキャッシュへのアクセスが必要

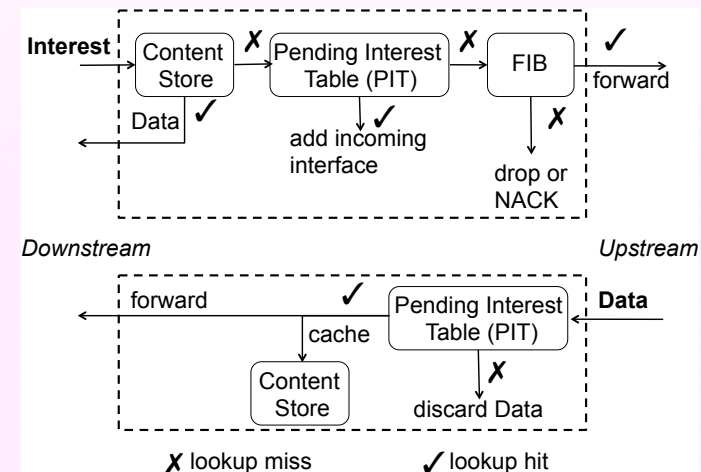


Figure 1: Interest and Data processing in NDN

ルーティング

- Longest prefix matching for longer names
 - FIB による転送に必要
- Exact matching with ultra-frequent updates
 - PIT による転送に必要
- FIB/PIT の管理方法
- ハッシュによる FIB/PIT

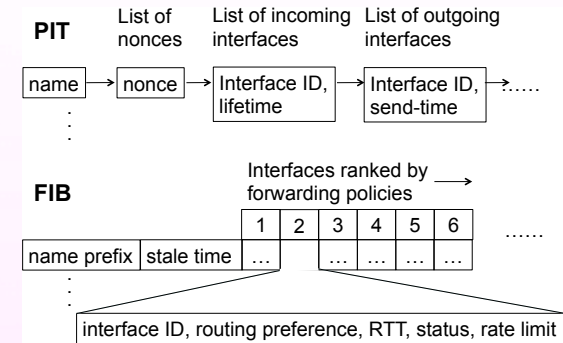
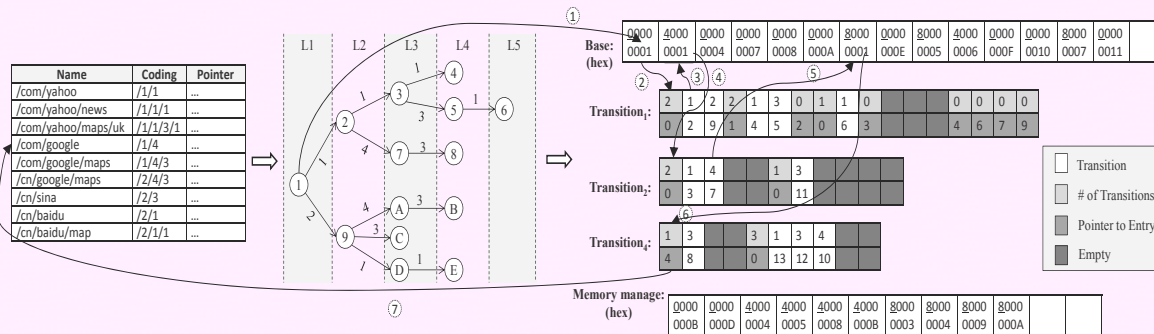


Figure 2: Forwarding State in PIT and FIB

出典: C. Yi, et. al., "Adaptive Forwarding in Named Data Networking," *SIGCOMM CCR*, vol. 42, no. 3, pp. 62-67, July 2012



出典: Y. Wang, "Scalable Name Lookup in NDN Using Effective Name Component Encoding," *IEEE ICDCS 2012*.

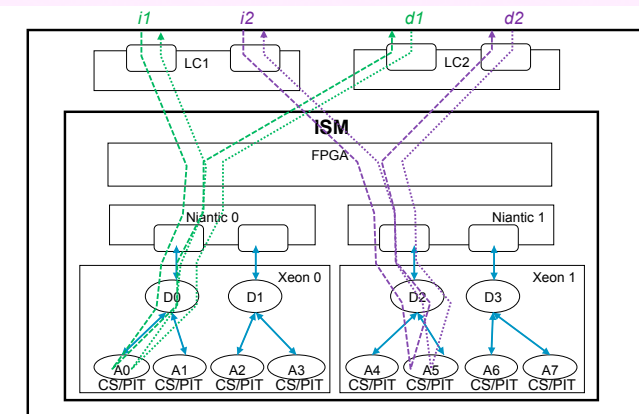


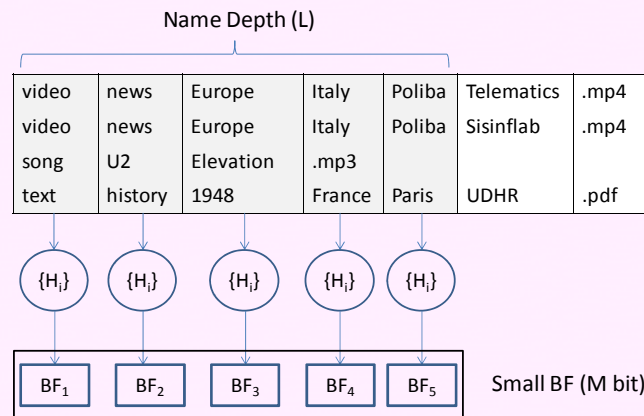
Figure 1: NDN packet flow in ASR9000 with ISM

出典: W. So, "Named Data Networking on a Router: Forwarding at 20Gbps and Beyond," *ACM SIGCOMM 2013*

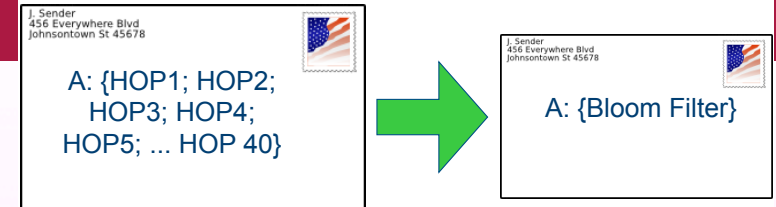
ルーティング

■ Bloom filter

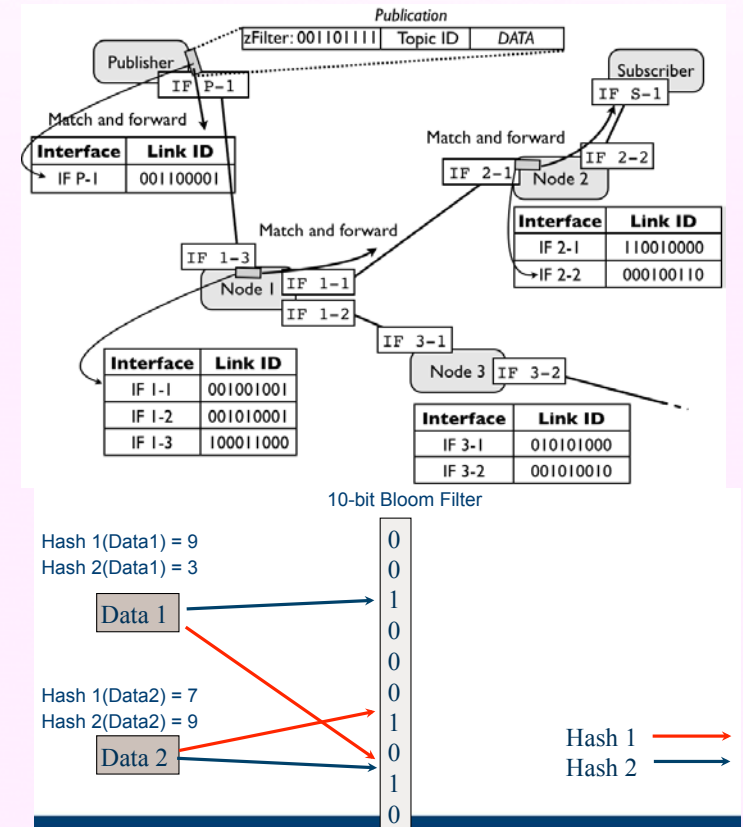
- マルチポイントを標準とするなら全出力先を指定するのは大変
- BF を使うことで一つに
- 繰り返し処理が不要となるのでルータの処理オーバーヘッドを大幅に軽減
- False positive の除去が課題



出典: M. Tortelli, "CCN forwarding engine based on Bloom filters," ACM CFI 2012.



REF: P. Jokela, A. Zahemszky, C. E. Rothenberg, S. Arianfar, P. Nikander, LIPSIN: line speed publish/subscribe inter-networking, ACM SIGCOMM 2009



コンテンツキャッシュ

- ICN/CCN の研究において最も活発な分野
 - ネットワーク設計
 - トラフィックエンジニアリング
 - ネットワーク性能向上
 - QoS

- P2P/CDN に対して自由度が高い
 - ルータのどこにキャッシュを置くかを自由に決められる
 - 自由な設計ができる反面乱立状態

- トラフィックの局所性
 - Zipf によるアクセス頻度

- コンテンツキャッシュの単位
 - コンテンツ単位
 - チャンク (chunk) 単位
 - パケット単位

コンテンツキャッシュ

- キャッシュ置きかえポリシー
 - Random 置きかえでも十分 (LRU と同等)

- トポロジによる局所性
 - CS のキャッシュサイズにも大きく影響

- コンテンツをクラス分け
 - 優先度に応じてキャッシュ更新の重みを変更

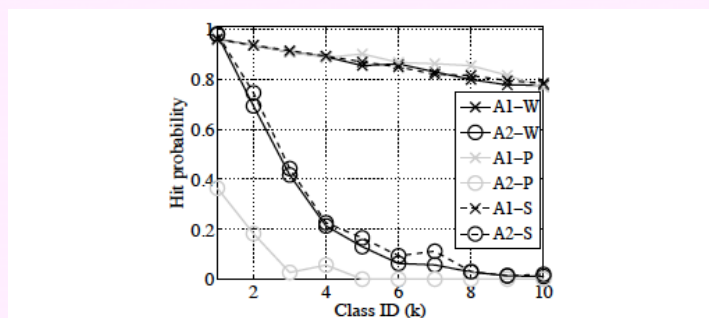
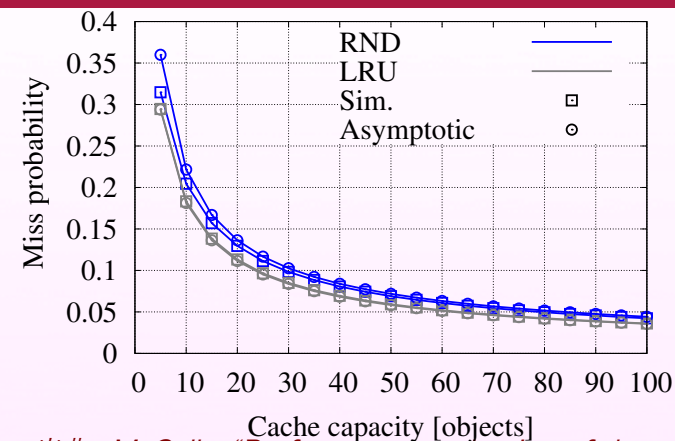
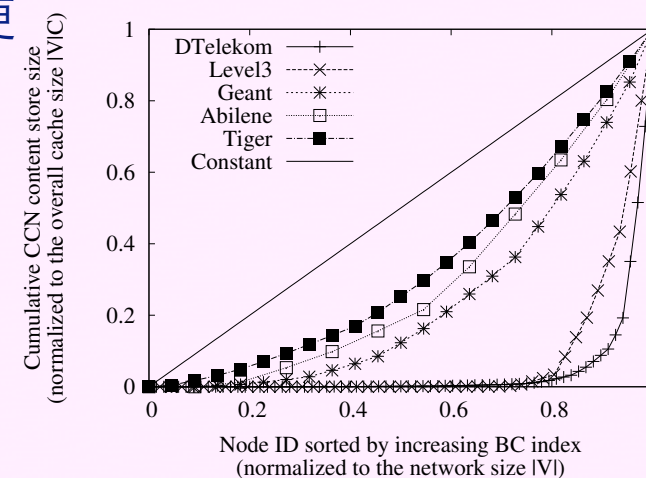


Fig. 9. Hit probability at leaf nodes for static (S), priority (P) and weighted fair management (W). A1 TTL=180 s, A2 TTL=600 s.

出典: G. Carofiglio, et. al, "Experimental Evaluation of Memory Management in Content-Centric Networking," ICC 2012.



出典: M. Gallo, "Performance evaluation of the random replacement policy for networks of caches," ACM SIGMETRICS 2012



出典: D. Rossi, et. al., "On sizing CCN content stores by exploiting topological information," IEEE INCOFOM NOMEN 2012

トランスポート

- CCN に AIMD を適用すると？
 - キャッシュのおかげで RTT が小さくなってスループットが向上
 - 特に人気度の高いコンテンツで顕著
 - CS が異なると RTT 変動が大きくなるのでタイムアウトの予測が困難

■ TCP Friendly - ICTP

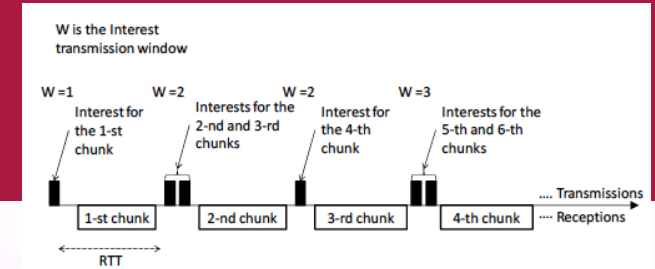
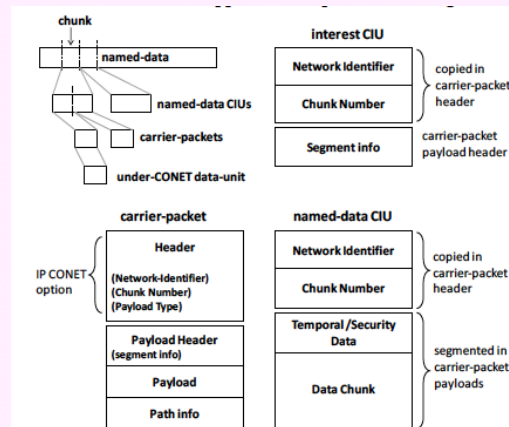
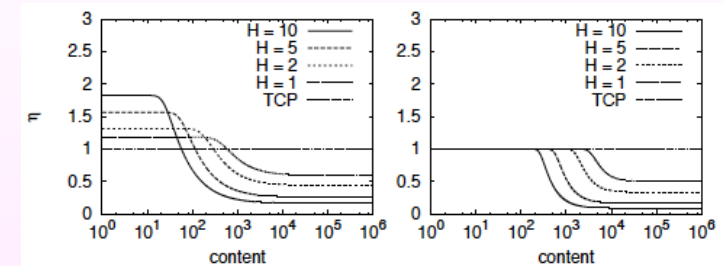
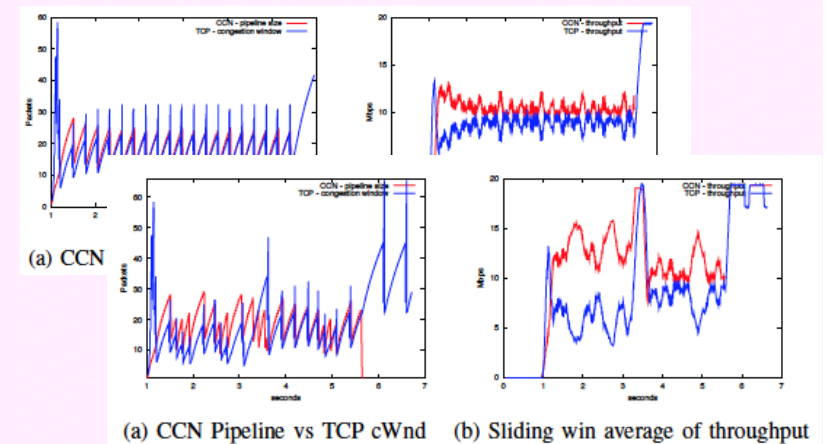


Fig. 1. AIMD probing phase applied to CCN.



出典: D. Saucez, et. al., "AIMD and CCN: past and novel acronyms working together in the future internet," ACM CSWS 2012.



出典: S. Braun, et. al., "CCN and TCP co-existence in the Future Internet: Should CCN be compatible to TCP?," IFIP/IEEE ManFI 2013

トラフィック制御

- Interest shaping によるトラフィック制御
 - ホップバイホップによる Interest shaping
 - Max-min 公平性を実現

出典: N. Rozhnova, et. al., "An effective hop-by-hop Interest Shaping Mechanism for CCN Communications," IEEE INCOFOM NOMEN 2012

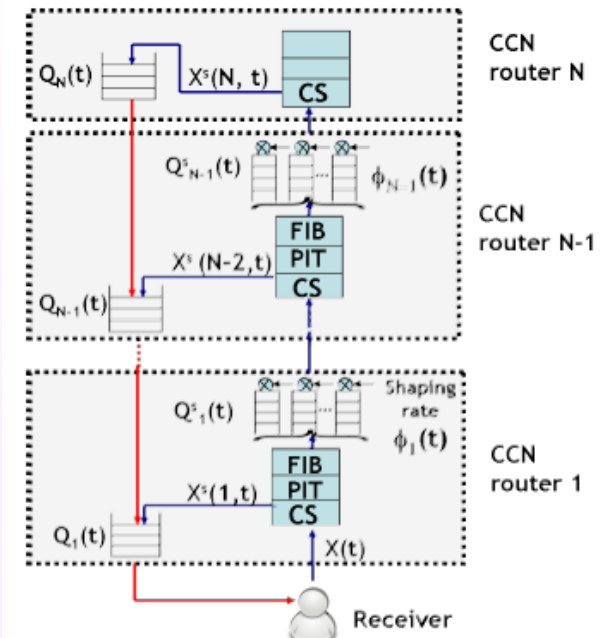


Figure 1: N hops network topology.

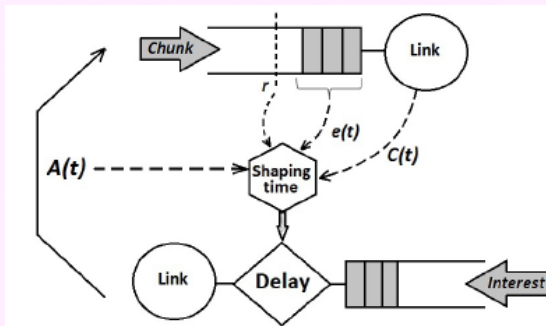


Fig. 2. Representation of the system

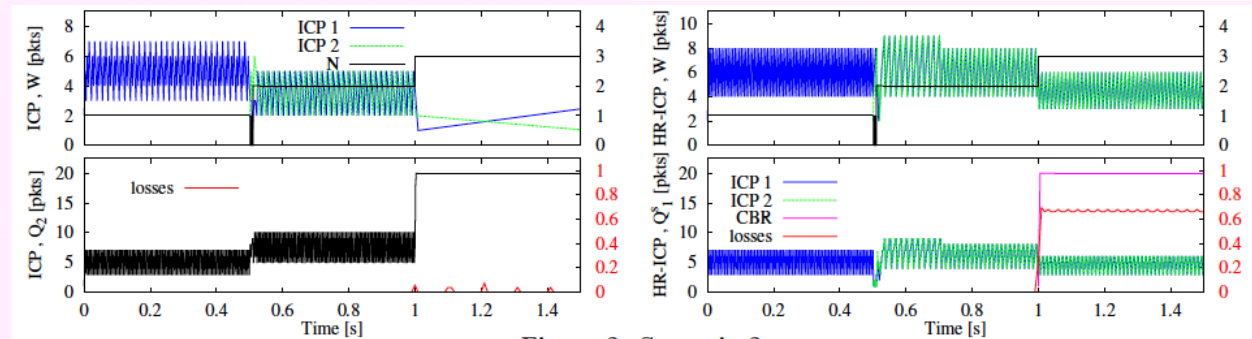
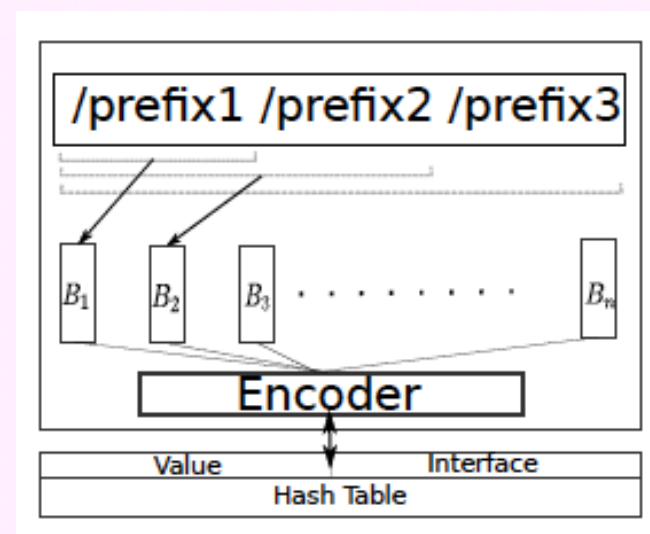


Figure 2: Scenario 2

出典: G. Carofiglio, et. al., "Joint hop-by-hop and receiver-driven interest control protocol for content centric networks," ACM SIGCOMM ICN 2012.

セキュリティ

- 2種類のプライバシー
 - 名前
 - 非公開のコンテンツについても名前が分かってしまう
 - 連続コンテンツの取得が容易
 - VoCCN で次のセグメントの名前は容易に類推可能
 - 名前のハッシュ化、自己署名
 - コンテンツ (キャッシュ)
 - キャッシュ内のデータ保護
 - 暗号化と署名による正当性証明
- コンテンツの保護
 - 攻撃者による偽のコンテンツ配信
 - キャッシュの観測によるプライバシーコンテンツの不正な取得



出典: A. Chaabane, et al., "Privacy in Content-Oriented Networking: Threats and Countermeasures," SIGCOMM CCR 2013

セキュリティ (2)

- Interest Flooding による攻撃
 - Interest を大量に送ることで PIT をあふれさせることが容易
 - 再送のために PIT エントリを保持し続けるのが原因→NACK によるアクティブな消去
 - 出カインターフェースでの Interest のシェーピング

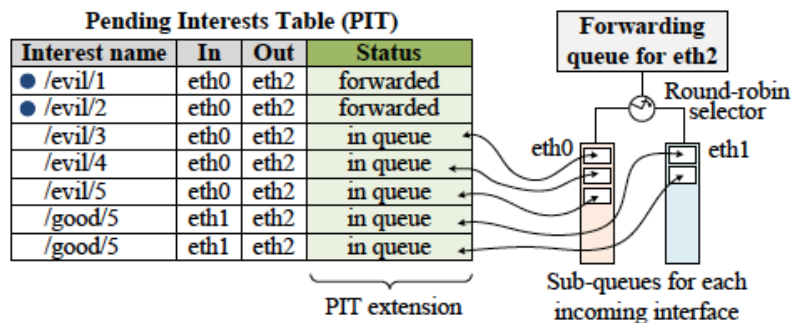


Fig. 2. Interest queuing: if tokens are unavailable, the router creates a PIT entry, but instead of forwarding, it enqueues the Interest

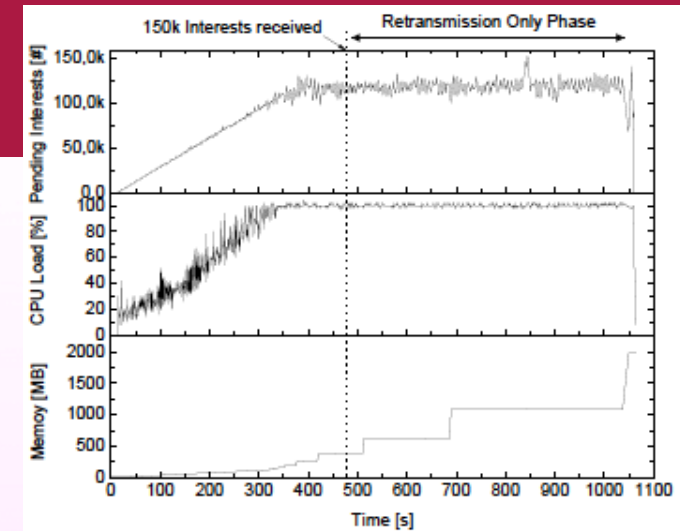


Figure 2: Load at the designated router of the receiver while requesting non-existing content

出典: M. Wahlisch, et. al., "Backscatter from the data plane – Threats to stability and security in information-centric network infrastructure," *Computer Networks*, July 2013

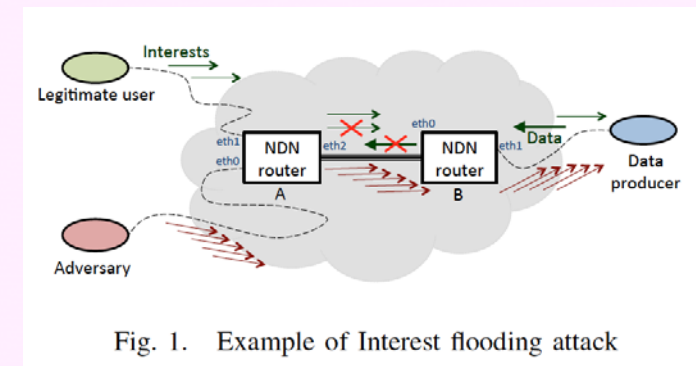
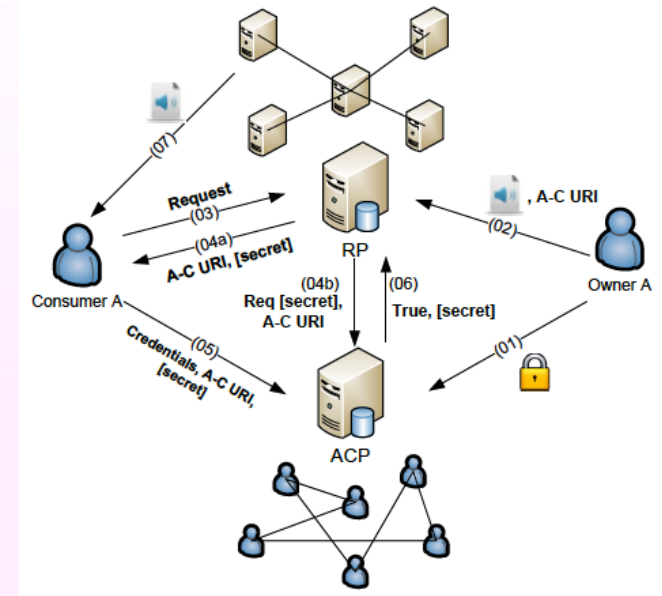
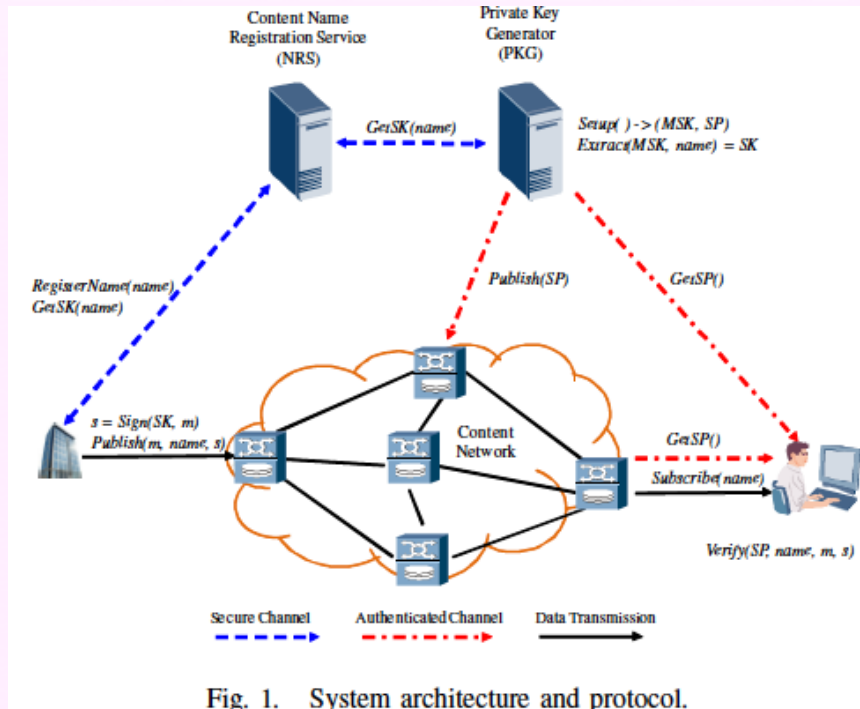


Fig. 1. Example of Interest flooding attack

出典: A. Afanasyev, et. al., "Interest Flooding Attack and Countermeasures in Named Data Networking," *IFIP Networking 2013*.

セキュリティ (3)

- アクセス制御
- PKI 管理



出典: N. Fotiou, et. al., "Access control enforcement delegation for information-centric networking architecture," ICN 2012

出典: X. Zhang, et. al., "Towards name-based trust and security for content-centric network," IEEE ICNP 2011

モビリティ

- CCN/ICN は標準でモビリティをサポート (したい)
 - 実際には publisher/subscriber で実装が異なる

- Subscriber のモビリティ
 - 簡単
 - 単に移動先で Interest を送れば PIT に反映される
 - 移動元の PIT 消去は？ (現状タイムアウト)

- Publisher のモビリティ
 - Registration (publish) メッセージの再送
 - 古いエントリをどのようにして消すか
 - 集約された場合

参考文献: G. Tyson, et. al., "A survey of mobility in information-centric networks: challenges and research directions," ACM NoM 2012.

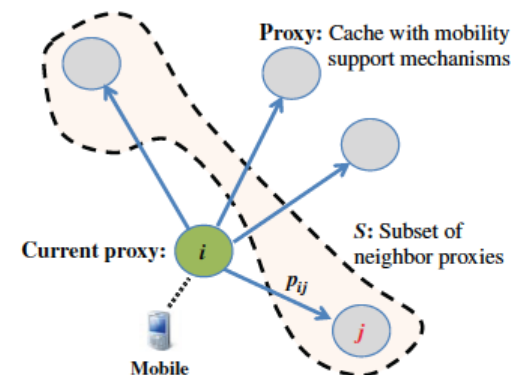


Figure 1: A mobile is currently connected to proxy i . Based on the probabilities for the mobile to connect to proxy i 's one hop neighbors, SNC selects the subset of neighbor proxies to proactively transmit the mobile's subscriptions in order to minimize the target cost function (1).

出典: X. Vasilakos, et. al., "Proactive selective neighbor caching for enhancing mobility support in information-centric networks," ICN 2012.

段階的な移行

- 実運用を考えるとクリーンスレートから一気に置き換えは不可能
 - 段階的な移行が重要

- 段階的な移行に意味があるか？
 - 最初はエッジだけでもかまわない
 - 最適化をすればさらに効果大

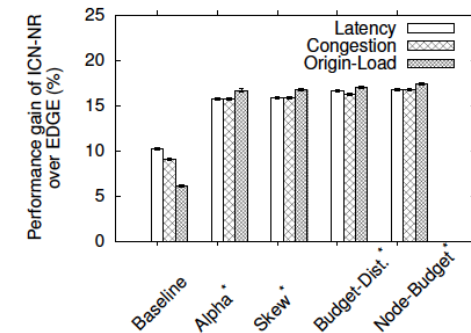


Figure 9: Exploring the best scenario for ICN-NR by progressively setting configuration parameters to yield the maximum performance gap w.r.t. EDGE.

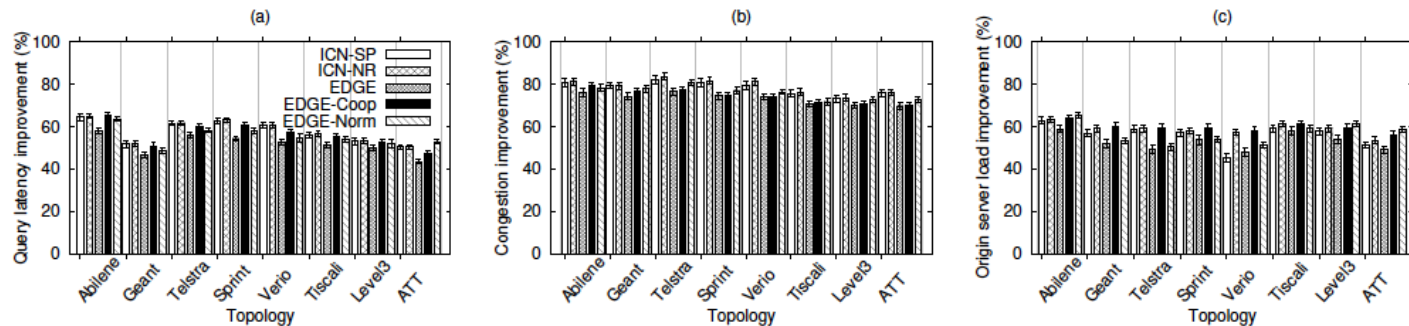


Figure 6: Trace-based simulations results. Cache budget and origin server allocation are set to be proportional to population. Parts (a), (b), and (c) show improvements in query latency, congestion, and maximum origin server load, respectively.

出典: S. Fayazbakhsh, et. al., "Less Pain, Most of the Gain: Incrementally Deployable ICN," ACM SIGCOMM 2013.

性能評価

■ シミュレーション

■ ccnpl-sim

<http://code.google.com/p/ccnpl-sim>

■ NS3 DCE CCNx

<http://www-sop.inria.fr/members/Frederic.Urbani/ns3dceccnx/>

■ OMNeT++ simulator

<http://www.omnetpp.org/>

■ ccnSim: A Highly Scalable CCN Simulator

<http://perso.telecom-paristech.fr/~drossi/index.php?n=Software.ccnSim>

■ ndnSIM: A ns-3 Based NDN Simulator

<http://ndnsim.net/>

■ トラフィック生成

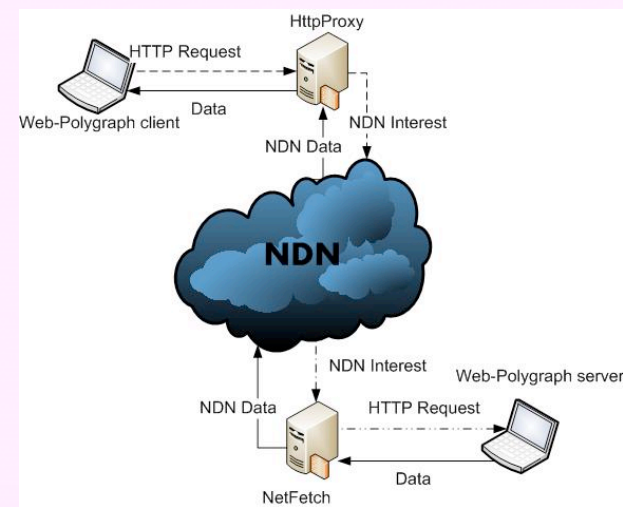
■ HTTP Proxy を使って疑似生成

出典: C. Fan, et. al., "Traffic Generation over Named Data Network,"
<http://www.cs.colostate.edu/~chengyu/generator/doc/Traffic-Generation-over-Named-Data-Network.doc>

	ccnSim	CCNPL-Sim	DCE	ndnSim
Real code execution	X	X	✓	X
Debugger support	✓	✓	✓	✓
Tracing support	✓	✓	✓	✓
Scalability	+++	?	+	++
Deployment	++	++	+	++

Table 1: NDN simulations comparison [9]

[9] D. Camara, F. Urbani, M. Lacage, T. Turetli, and W. Dabbous, "Experimentation with ccn," INRIA, Planete-Project, Presentation, 2012. [Online]. Available: <http://www.ccnx.org/wp-content/uploads/2012/08/1Lacage.pdf>



ICN/CCN にまつわるよくある疑問

(注) 登場人物は架空であり実際の人物とは関係がありません

Aさんの疑問

エンドユーザは楽になるかもだけど
ネットワーク側の責任とかコストは
相当増えるよね
それに見合うだけのメリットは？



Bさんの疑問

結局 P₂P とか CDN の焼き直し
なんじゃないんですかあ？



Cさんの疑問

すべてがコンテンツオリエンテッドになるわけじゃないよね。ホストオリエンテッドな通信はどうするの？



Dさんの疑問

IP をすべて置きかえるというのは無理があるように思える。使える場面と難しい場面がいまいちはっきりしないなあ



Eさんの疑問

CCN なんて Jacobson が口走っちゃった
もんだから苦労してみんなやtt (ry

おやこんな早い時間に誰か来たようだ



Open Discussions

- P2P の焼き直しかどうか？
- ネットワーク側の責任が重くなる、処理が大変なのにやるメリットがあるのか？
- FIB/PIT の構成、スケールの違うものをどのように扱うのか
- キャッシュの構成
 - キャッシュしたくないコンテンツをどうするか？
- サイズとか、定量的な指標を出すべき
- ICN だけで押し通そうとすると問題は多い。IP の置き換えになるとは思えない。
- キャッシュの場所はエッジの方がいい
- クリティカルな通信に使えるのか？
- ロードマップ。何年先の話をしているのか？

(今の時点の) 雑感

- ICN/CCN は「これから」の技術
 - 実現には課題は山積み（スケーラビリティとか）
 - 基礎的な検討・実験が整備
 - いいことばかりではない

- 理想論ではメシは食えない！
 - おっしゃるとおり
 - ようやく「実現性」について議論できる土壌が整いつつあるところ
 - より現実的な解に落とし込むのがこれからの課題

- 「夢」を見よう
 - ICN/CCN から学べる「発想の転換」はきっと役に立つはず
 - 既存の枠組みにとらわれない頭の体操として
 - 個別の技術を応用できる可能性

まとめ

- 新しいネットワークパラダイムとしての ICN/CCN
 - キーは Decoupling と Disjoint

- 研究トピック
 - ワイヤスピードのハードウェアアーキテクチャ
 - ルーティング・フォワーディング性能向上
 - キャッシング（ネットワーク最適化）
 - セキュリティ
 - モビリティ
 - アプリケーション
 - 実現性

- 少しでも何かのお役に立てば嬉しいです

ご清聴ありがとうございました

質問・コメントなど

ata@info.eng.osaka-cu.ac.jp