<http://www.kevinfall.com/seipage/papers/p27-fall.pdf>

**[0. Limits of internet service] [1. INTRODUCTION]**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **[0-0.] Assumptions of Internet Service:**   1. Data Source와 peers 간의 end-to-end path가 존재한다. 2. 어떤 노드 간의 최대 round-trip time도 excessive하지 않다. 3. End-to-End packet이 drop될 확률이 낮다.   **[0-1.] Challenged network**  [0-0.]에서 적어도 1개의 조건을 충족하지 못하므로 현재의 End-to-End TCP/IP 모델에 의해 인터넷이 정상적으로 서비스되지 않는다.  **[0-2.] Examples of Challenged network**   |  |  | | --- | --- | | Terrestrial Mobile Networks | Node mobility 등으로 인해 예상치 못한 network partitioning이 발생할 수 있다. | | Exotic Media Networks | 지구 근처의 인공위성과의 통신을 포함하며, 거리가 멀거나 중간에 optical link가 있어서 통신에 방해가 될 수 있다. | | Military Ad-Hoc Networks | 환경 요인 등으로 인해 연결이 끊길 수 있으며, 다른 서비스와 bandwidth를 두고 경쟁해야 한다. | | Sensor/Actuator Networks | End-node power, 메모리, CPU 성능이 부족하다. |   **[0-3.] Link-repair approach and Special Proxy Agent**  Link-repair approach: 인터넷 프로토콜이 비교적 잘 동작하는 물리적 구조 위에서 작동하는 것처럼 ‘속이는’ 방법으로, unusual environment에 인터넷 프로토콜을 적용하기 위한 방법이다.  Special Proxy Agent: challenged network에 대한 또 다른 접근 방법 |

**[1. Path and Link Characteristics in Challenged Internets] [2. CHALLENGED INTERNETS]**

|  |
| --- |
| **[1-0.] High Latency and Low Data Rate**  어떤 link의 Transmission and propagation delay는 전송 매질에 영향을 받는다.   * 어떤 network에서는 transmission rate가 10kbps 정도로 작을 수 있고, latency는 1~2초 정도로 클 수 있다. * Data rate의 비대칭성이 클 수 있다. (예를 들어, high rate downlink channel, but small uplink use) * 어떤 경우에는 return channel이 없을 수도 있다. |
| **NEXT PAGE** |

|  |
| --- |
| **PREVIOUS PAGE** |
| **[1-1.] Disconnection**  많은 challenged network에서 end-to-end disconnection은 connection보다도 많다.  <Disconnection의 구분>   |  | | --- | | Fault | | 일반적인 network에서 많이 연구되었으므로 생략 | | Non-faulty disconnection | | Wireless environment에서 많이 발생하는데, 그 원인은 motion과 low-duty-cycle system operation이다.   * Motion에 의한 것은 비교적 예측하기 쉽고, 보통 end-node, 라우터 또는 다른 물체/신호의 motion에 의한 것이 많다. * Low-duty-cycle에 의한 것은 low-capability device에서 많고 어느 정도 예측 가능하다. 이때 event response 등 예외적인 경우에 주기적인 low-duty-cycle operation이 교란될 수 있다. |   **[1-2.] Long Queuing Times**  보통의 packet network의 multi-hop path에서는 queuing time이 transmission and propagation delay의 대부분을 차지할 수 있다.   * Queueing time은 보통 1초를 넘지 않는다. * Next-hop neighbor가 직접 reachable하지 않으면 패킷은 기각된다.   Disconnection이 자주 일어나는 네트워크에서는 Queueing time이 극단적으로 길어질 수 있다. 또, transmission의 기회가 적기 때문에 source-initiated retransmission을 하는 비용이 극단적으로 커질 수 있다.   * 따라서 “메시지가 잠재적으로 오랜 시간 동안 라우터에 저장되어야 한다.” |

**[2. Network Architecture of Challenged Internets] [2. CHALLENGED INTERNETS]**

|  |
| --- |
| **[2-0.] Interoperability consideration**  대부분의 challenged network에서는 네트워크가 주로 link, media-access control protocol로 구성되어 있고 상호 운용성은 고려되지 않는다.   * 이유: 많은 경우 단지 몇 개의 link와 통신하는 것도 연구 영역에 포함되고, 이러한 link들은 internetwork가 아직 주안점이 아닐 때 쓰인다. * 따라서 이러한 network는 비교적 간단하고 지역적이며, baseline abstraction에서도 실패할 수 있다. |
| **NEXT PAGE** |

|  |
| --- |
| **PREVIOUS PAGE** |
| **[2-1.] Security**  Communication media가 너무 많이 구독되었을 때 link capacity가 귀해지며 data forwarding 서비스에 대한 접근은 인증 장치와 access control로 보호되어야 한다.  CoS(multiple class of service)를 사용할 수 있으면 access control에 대한 메커니즘이 필요하다.  <이슈>   1. End-to-end-only approach는 challenge 또는 key에 대한 exchange가 필요하며, delay가 크고 disconnection이 발생하기 쉬운 네트워크에서는 사용하기 어렵다. 2. 인증 또는 access control 확인을 하기 전에 원하지 않는 트래픽을 전송하게 되는 문제 |

**[3. End System Characteristics] [2. CHALLENGED INTERNETS]**

|  |
| --- |
| **[3-0.] Limited Longevity**  End node가 hostile environment에 있을 수 있다. (military network 등)   * 이때 network node는 환경적 위험 또는 전력 소모 때문에 오랫동안 유지될 수 없다. * Disconnect 상태로 오랫동안 유지되면 round-trip 또는 one-way delivery time의 TTL 초과 등의 문제가 발생할 수 있다. * 이때는 일반적인 end-to-end acknowledgment scheme을 통해 delivery를 verify할 수 없으며, 믿을 수 있는 delivery에 대한 책임이 다른 party에 있다.   **[3-1.] Low Duty Cycle Operation**  Node들이 전력 공급량이 적은 영역에 퍼져 있으면 그들 간의 communication pattern은 ‘a-priori’로 스케줄링된다. 이런 형태의 network에 대해서는 라우팅에서 path selection에 대한 특별한 고려가 필요하다.  **[3-2.] Limited Resources**  Challenged Network에서는 메모리와 processing capability가 제한된 노드가 사용된다. |

**[4. Fixing Internet Protocols] [3. FIX THE INTERNET PROTOCOLS?]**

|  |
| --- |
| **[4-0.]** **PEPs, Boosters and Proxies**  PEPs(Performance Enhancing Proxies): PEP은 connection operation에 필요한 state를 가지고 있을 수 있는데, communicating endpoint를 바꾸는 것은 움직임이 많을 때 System complexity를 증가시킨다.  Protocol booster: end-protocol에 entirely transparent하다는 아이디어로 생각되지만, 이것은 subnet condition이 좋지 않을 때 booster들의 능력 한계를 넘어선다. |
| **NEXT PAGE** |

|  |
| --- |
| **PREVIOUS PAGE** |
| **[4-0.]** **PEPs, Boosters and Proxies**  Proxy: 2가지 접근 방법이 있으나 모두 좋지 않다.   |  |  | | --- | --- | | 특별한 network의 특별한 명령어 set에 응답한다. | 프록시를 다른 application에 재사용하기 위한 ability(재사용성)를 제한한다. | | Raw data가 흐르게 한다. | 프록시가 제공할 만한 어떤 special resource의 장점도 이용하지 못한다. |   **[4-1.] Electronic Mail**  전자 메일(Email)은 dynamic routing의 부족, delivery semantic이 잘 정의되어 있지 않음, consistent application interface의 부족으로 인해 실패한다.  **[4-2.] Motivation for an Additional Architecture**  프록시, PEP, 이메일은 Challenged Internetwork의 어떤 문제점은 해결할 수 있지만 완벽한 해결책을 제시하지는 못한다.  또, IP의 forwarding function은 frequently-disconnected link에 대해 문제점이 있다.  인터넷의 아이디어인 ‘per-connection state는 end-station에만 남는다’는 것은 많은 Challenged environment에서 적용되지 않는다. |

**[5. DTN gateways] [4. A DELAY TOLERANT MESSAGE BASED OVERLAY ARCHITECTURE]**

|  |
| --- |
| DTN gateway는 잠재적으로 서로 다른 protocal stack에서 동작하는 region을 연결한다.   * DTN gateway는 이 transport protocol들 위에서 동작하며 virtual message switching, in-network retransmission 등을 제공한다. |

**[6. Concept of DTN] [4. A DELAY TOLERANT MESSAGE BASED OVERLAY ARCHITECTURE]**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **[6-0.] Concept of DTN**  DTN은 다양한 네트워크 구조의 protocol stack 위에서 동작하고, Node가 2개 이상의 서로 다른 network와 물리적으로 접촉할 때 그것들 간의 store-and-forward gateway 기능을 제공한다.   * 각각의 네트워크 환경은 고유의 protocol stack과 그것들의 application domain을 위해 개발된 naming semantic을 갖는다.  |  |  | | --- | --- | | Bundle | 데이터 저장소   * 관련 논문: V. Cerf et. al., “Interplanetary Internet (IPN): Architectural Definition”, <http://www.ipnsig.org/reports/memo-ipnrg-arch-00.pdf> | | Bundle forwarder | Bundle을 다뤄서 데이터를 forwarding시키는 라우터 |  * 특정한 DTN gateway에 의해 서로 다른 네트워크 환경들 간의 상호 운용이 이루어진다.   **[6-1.] DTN Gateways and Region**  DTN 구조는 region과 DTN gateway라는 개념을 포함한다. 위 그림에는 4개의 Region A, B, C, D가 있다.   * Region B는 commuter bus에 있는 DTN gateway를 포함하고 있으며, 이것은 DTN gateway 3, DTN gateway 5 사이를 순환한다. * Region D는 low-earth orbiting satellite link (LEO)를 가지고 있으며, 이것은 주기적 연결을 제공한다.   Region boundary는 서로 다른 네트워크 프로토콜 간의 interconnection point로 사용된다.   * 2개의 노드는 DTN gateway 없이 서로 통신할 수 있을 때 같은 region에 존재한다.   2개의 region을 span하는 DTN gateway는 2개의 논리적 ‘half’로 구성되어 있다.  **[6-2.] Name Tuples**  각각의 end-point와 router ‘half’의 DTN name tuple은 다음과 같이 구성되어 있다.  {Region Name, Entity Name}   |  |  | | --- | --- | | Region Name | Globally unique하고 계층적으로 구조화된 이름   * 특정 지역에 있는 DTN Gateway로 가는 path를 찾기 위해 DTN gateway에 의해 해석된다. * DTN forwarding table에 네트워크 관리자에 의해 통계적으로, 또는 dynamic한 DTN-layer routing protocol에 의해 채워진다. | | Entity Name | 특정 지역 안에서 정의되는 이름이며, 해당 지역 안에서만 unique하다. |   예를 들어,  {internet.icann.int, “<http://www.ietf.org/oview.html>”}  의 경우 internet region을 가리킨다. |

**[7. Details of DTN] [4. A DELAY TOLERANT MESSAGE BASED OVERLAY ARCHITECTURE]**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **[7-0.] A Postal Class of Service**  이 접근법은 US Postal Service에서 제공하는 서비스의 아이디어를 채용한 것이다.   * Challenged network은 다양한 resource의 제한을 의미한다. 따라서 Priority-based resource allocation이 모든 모델에서 중요하다. 그러나 서비스 구조의 class가 구현할 수 없거나 사용자에게 혼란을 줄 수 있는 상황을 피하기 위한 고려가 필요하다. * 역사가 깊고 친숙하기 때문에 설득력 있다.   **[7-1.] Path Selection and Scheduling**  DTN 구조에서 path는 메시지를 source에서 destination으로 옮기기 위한 time-dependent contact들의 cascade로 구성되어 있다.   * Contact는 source에 대해 상대적인 start time과 end time, capacity, latency, endpoint, direction으로 파라미터화되어 있다. * Path에 대한 예측 가능성은 [완전히 예측 가능 ~ 완전히 예측 불가능]의 연속된 구간 안에 있다. * Contact에 대한 예측 가능성의 평가는 direction에 민감하다.   Path selection과 message scheduling에 대한 세부 사항은 region-specific routing protocol과 알고리즘에 크게 영향을 받는다. 이 부분에 대한 challenging problem은 다음과 같다.   * Contact의 존재 여부와 예측 가능성에 대한 결정 * High delay에서 pending message의 상태에 대한 지식을 추출하는 것 * Contact에 효과적으로 메시지를 assign하고 이것들의 전송 순서를 결정하는 것   **[7-2.] Custody Transfer and Reliability**  DTN 구조는 2가지의 서로 다른 종류의 message routing node를 갖는데, 각각 persistent(P), non-persistent(NP)이다.   |  |  | | --- | --- | | Persistent(P) nodes | Nontrivial한 용량의 persistent한 메시지 저장소를 갖는다.   * 포함된 region의 적절한 전송 프로토콜을 이용하여 Custody를 전송한다. | | Non-persistent(NP) nodes | Persistent한 메시지 저장소를 갖지 않는다. |   Custody transfer: DTN hop에서 다음 DTN hop으로의 승인된 메시지 전송과 이에 대응되는 믿을 수 있는 delivery responsibility passing   * Postal mail을 배달하는 책임을 특정인 또는 서비스에 위임하는 것과 비슷하다. * DTN 구조에서 필수적인데, 다음과 같은 2가지 이유에서이다.   + 잠재적으로 높은 loss rate에 대응   + 잠재적으로 자원이 부족한 end node의 end-to-end conntection 상태를 유지하기 위한 책임으로부터 자유롭게 하기 위함 |
| **NEXT PAGE** |

**[7. Details of DTN] [4. A DELAY TOLERANT MESSAGE BASED OVERLAY ARCHITECTURE]**

|  |
| --- |
| **PREVIOUS PAGE** |
| **[7-3.] Convergence Layers and Retransmission**  DTN의 P node를 포함한 region 안에 있는, 전송 프로토콜에 의해 제공되는 facility는 크게 달라질 수 있다.   * 예를 들어, 어떤 전송 프로토콜은 reliable delivery, flow control, congestion control 등을 제공하거나 제공하지 않을 수 있다.   + Bundle forwarding function은 custody transfer를 할 때 message boundary를 포함하여 전송 능력이 충분할 것으로 가정하므로, 이러한 특징이 없는 전송 프로토콜은 적절히 augment되어야 한다.  |  |  | | --- | --- | |  | Reliability, message boundary 등의, augmentation을 필요로 하는 전송 프로토콜 위에 있는 feature를 추가하기 위한, 많은 transport-protocol-specific한 convergence layer를 가지고 있다. | | Bundle forwarder의 구조 |   Underlying transport에 의해 믿을 수 있는 전송이 제공될 때, 대응되는 convergence layer는 connection state를 관리하고 connection을 잃었을 때 다시 시작하는 것만 하면 된다.   * Connection-oriented protocol에서 lost connection의 감지는 보통 application interface를 통해서 제공된다. * 연결 실패에 대한 직접적인 지원이 없을 때는 bundle forwarding function 자체에서 메시지를 다시 전송하기 위한 coarse-grained timer를 만들어야 한다. * Challenged network에서는 forwarding layer에 있는 어떤 path에 대한 속성에 대한 지식이 error control 정책을 선택하는 데 유용할 것이다.   **[7-4.] Time Synchronization**  DTN 구조는 message fragment를 identify하고 source에서의 TTL을 초과한 message를 제거하기 위해 coarse level의 time synchronization을 필요로 한다. 그러나 많은 환경에서는 time synchronization에 더욱 엄격한 조건을 도입할 때 이득이 생길 수 있다.   * 근거: Synchronized timing은 challenged environment에서 사용되는 많은 분산된 application이 필요로 하고, DTN의 scheduling and path selection 접근에 의해 요구된다는 관찰   또한, 나름 정확한 time synchronization에서 DTN의 혼잡 관리 기술은 언제 혼잡이 발생할지 예측할 수 있다. |
| **NEXT PAGE** |

**[7. Details of DTN] [4. A DELAY TOLERANT MESSAGE BASED OVERLAY ARCHITECTURE]**

|  |
| --- |
| **PREVIOUS PAGE** |
| **[7-5.] Security**  DTN 구조의 보안 요구사항은 전통적인 네트워크의 보안 모델과 다른데, 그 이유는 set of principals에 네트워크 라우터들 그 자체와 함께 통신하는 endpoint가 포함되기 때문이다.   * DTN의 경우 다음 2가지가 중요하다.   + 특정 class의 서비스의 트래픽에 대한 verifiable access   + 잠재적으로 큰 distance로의 트래픽 전송을 방지하는 것   DTN의 보안 모델을 구현하려면, 각 메시지는 다음을 포함해야 한다.   * sender의 verifiable identity를 포함한 변경할 수 없는 postage stamp * 메시지와 관련된, 요청된 서비스의 class에 대한 승인 * 메시지 내용의 정확성을 verify하기 위한 암호화   라우터가 모든 hop에서 end-user credential을 확인하지 않는다는 scalability benefit을 위하여 분산 서비스 거부 공격을 할 수 있다는 것을 인정하는 것이 적절한 trade-off이다.  **[7-6.] Congestion and Flow Control**  Hop-by-hop 구조의 DTN에서 Flow control과 Congestion control은 밀접하게 관련되어 있다. 여기서는 다음과 같다.   |  |  | | --- | --- | | Flow control | DTN node에서 다음 DTN hop으로 전송되는 sending rate를 제한한다. | | Congestion control | DTN gateway에 있는 저장소에 들어가기 위한 경쟁을 handling한다. |   이런 이슈들을 해결하기 위한 메커니즘은 proactive(능동적)와 reactive(수동적)로 구분된다.   |  |  | | --- | --- | | Proactive | First place에서의 congestion을 방지하기 위한 승인 제어 등 포함   * 많은 경우에서 region이 single entity의 제어 하에 있을 때 이런 접근법이 유용하다. | | Reactive | Proactive 방법으로 문제가 해결되지 않거나 사용할 수 없을 때 사용된다.   * 실제 operational delay가 클 때 성능 저하를 유발한다. |   DTN 구조에서는 다음 2가지 양상이 congestion control을 어렵게 만든다.   * 미래의 어떤 때에 접속되지 않아서 축적된 데이터가 전송될 기회를 잃는 것 * 수신된 메시지의 승인된 custody가 특수한 상황을 제외하고 다시 기각될 수 없는 것   현재 접근법에서는 custody storage를 할당하기 위한 shared priority queue를 이용한다.   * 1. 모든 만료된 메시지를 삭제하고, 너무 큰 메시지는 custody transfer를 거부한다. * 2. 메시지는 priority와 lifetime에 따라 queue에 들어간다. * 여기서 문제점은 다음과 같다.  |  |  | | --- | --- | | Priority inversion | 낮은 priority의 메시지가 일찍 도착해서 custodially received된 후 높은 priority의 메시지가 도착했을 때 custory storage가 없는 문제 | | Head-of-line blocking | DTN gateway가 아직 시작되지 않은 contact로 가는 메시지의 custody를 승인할 때 등에 발생 | |

**[8. Application Interface] [5. APPLICATION INTERFACE]**

|  |
| --- |
| DTN 구조는 메시지를 자료 교환의 주요 단위로 사용하는 overlay network과 유사하다. 이러한 구조를 이용하는 application에 대한 주의사항은 다음과 같다.   * 정시에 응답이 오기를 기대하도록 설계하면 안 된다. * 요청/응답의 응답 시간이 클라이언트와 서버가 기대하는 longevity를 초과하는 체제에서도 작동할 수 있어야 한다. * Name tuple과 그것들의 registration의 생성, 조작을 handling할 수 있어야 한다. * Application interface는 non-blocking이고 callback registration은 지속적으로 유지되어야 한다.   결론적으로, “모든 DTN application은 리부팅, network partitioning 등의 상황에서도 작동을 계속할 수 있도록 설계”되어야 한다. |

**[9. Conclusion] [7. CONCLUSION]**

|  |
| --- |
| 1. DTN 구조는 자원이 매우 부족하고 이질적인 성능 특징을 가질 수 있는, 넓은 범위의 네트워크 간 상호 운용성이 있는 통신 환경을 제공하는 것을 목표로 한다.  2. DTN 구현의 프로토타입은 Linux OS에서 개발되었다. 즉 application interface, 계획되어 있고 “always on”인 연결을 통한 basic forwarding, 새로운/손실된 contact 감지, 2개의 convergence layer를 구현한 것이다.  3. DTN 구조는 행성 간의 인터넷 구조를 challenged network으로 일반화시킨 것이다.  4. DTN은 TCP/IP 기반 인터넷 구조의 위에 쉽게 놓일 수 있고, 따라서 인터넷과 호환될 수 있다.  5. DTN 구조가 고려할 만한 가치가 있는 design decision이 될 것이다. |