

Umgebungsbasierte mobile soziale Netzwerke

Hybride DTN-MANET Kommunikationsverfahren

Daniel Liesener

Sommersemester 2015

Umgebungsbasierte soziale Netzwerke bilden eine neue Art von sozialem Netzwerk, welche ohne Infrastruktur und Positionsdaten dazu in der Lage ist Personen in naher Umgebung zueinander miteinander zu Verbinden. Die Kommunikation erfolgt hierbei mittels einer Funktechnologie für drahtlose Netzwerke, wie Bluetooth, und einem Routing-Protokoll, welches in der Lage ist unter den besonderen Bedingungen eines sich ständig verändernden Netzwerkes mit häufigen Verbindungsabbrüchen umzugehen. Zwei Ansätze hierfür stellen Mobile-ad-hoc-Networks (MANETs) und Delay-tolerant-Networks (DTNs) dar. Aber auch diese haben ihre Problemgebiete. Während MANETs gut für die Kommunikation innerhalb einer Gruppe geeignet sind, kommt es zu Problemen, wenn sich Teilnehmer von der Gruppe entfernen und den Kommunikationsbereich verlassen. DTNs hingegen speichern Nachrichten zwischen und erlauben es dem entsprechenden Teilnehmern auch ohne direkte Verbindung über größere Distanz Nachrichten zu übermitteln. Im Gegensatz dazu kann hier nicht sichergestellt werden, dass Nachrichten, welche für ein bestimmtes Ziel gedacht sind dieses auch wirklich erreichen. Eine mögliche Lösung des Problems stellen hybrides DTN-MANET Kommunikationsverfahren dar, welche die Vorteile aus beiden Welten vereinigen.

1 Einleitung

Soziale Netzwerke stellen heutzutage ein wichtiges Kommunikationswerkzeug dar um Menschen auf der ganzen Welt miteinander zu verbinden. Um Menschen in naher Umgebung miteinander Verbinden zu können wird hierfür auf eine bestehende Internetverbindung (2G, 3G) und Positionsdaten zurückgegriffen. Störungen, Überlastung, Ausfall und das nicht Vorhandensein von Infrastruktur können folglich dazu führen, dass sich auf eine bestehende Internetverbindung nicht mehr verlassen werden kann und das Teilen von Positionsdaten ist bezüglich der Privatsphäre ein kritisches Thema. Umgebungsbasierte mobile soziale Netzwerken (Proximity-based-Mobile-Social-Networks, PMSN) stellen eine alternative dar. Anstelle eine Internetverbindung wird mittels einer Funktechnologie für drahtlose Netzwerke, wie Bluetooth, Wi-Fi Direct oder Wi-Fi (Ad hoc Modus), ein spontane Verbindung zwischen in der Nähe befindlichen Geräten aufgebaut. Für die anschließende Kommunikation bilden Mobile-ad-hoc-Networks (MANETs) und Delay-tolerant-Networks (DTNs) die maßgeblichen Ansätze.

MANETs erlauben eine Multi-Hop-Kommunikation über mehrere Geräte hinweg. Hierbei arbeiten sie mittels einer Ende-zu-Ende Verbindung, wobei alle Funktionen der fehlenden Infrastruktur, wie das Routing, durch alle Teilnehmer eigenständig realisiert werden müssen. Hierfür wird auf entsprechende Routing-Protokolle zurückgegriffen. Diese lassen sich in proaktiv (Table-driven), reaktiv (On-Demand) und hybride Verfahren einteilen.

Proaktive Protokolle, wie Optimized-Link-State-Routing (OLSR) [1], bestimmen Pfade innerhalb des Netzwerkes bereits bevor diese benötigt werden und aktualisieren sie periodisch. Dies bietet den Vorteil, dass Daten verzögerungsfrei gesendet werden können. Nachteilig ist wiederum der hohe Datenverkehr für das Auffinden der Pfade, welche gegebenenfalls nicht benötigt werden.

Reaktive Protokolle, wie Ad-hoc-On-Demand-Distance-Vector (AODV) [2], bestimmen die Pfade innerhalb des Netzwerkes erst, sobald diese benötigt werden. Infolge dessen ist der Energieverbrauch geringer. Dies erfolgt wiederum auf Kosten der Geschwindigkeit beim Senden, bedingt durch die vorher notwendige Routenbestimmung.

Hybride Ansätze, wie das Zone-Routing-Protokoll (ZRP) [3], kombinieren proaktive und reaktive Verfahren, um deren Vorteile möglichst zu vereinen. Hierfür wird beispielsweise im nahen Umfeld (Intrazone) ein proaktives Verfahren verwendet und auf größere Distanz (Interzone) ein reaktives. Hierdurch kann weiterhin verzögerungsfrei innerhalb der Intrazone geroutet werden und zugleich kann der Energieverbrauch reduziert werden.

Delay-tolerant-Networks bzw. Disruption-Tolerant-Networks [4, S. 134-135] verfolgen hierbei einen anderen Ansatz als MANETs. Ursprünglich für das interplanetarische Internet angedacht, wird von unterbrochenen Verbindungen, langen bzw. variablen Verzögerungen, asymmetrischen Datenraten und hohen Fehlerraten ausgegangen. Hierfür greifen DTNs auf eigene Protokolle zurück, welche mittels Store-and-Foreward Nachrichten auch ohne End-zu-End Verbindung über lange Distanzen transportieren können. Dabei werden die Nachrichten temporär auf Knoten zwischengespeichert und bei Gelegenheit weitergeleitet, bis die Nachricht endgültig ihr Ziel erreicht. Das Problem hierbei ist, dass dies nicht geprüft werden kann. Somit kann der Fall eintreten, dass Nachrichten nicht ankommen. Entsprechend wird mit Replikation gearbeitet, um über mehrere Wege die Chancen zu erhöhen. Einige der bekanntesten Protokolle im Bereich DTNs sind Spray-and-Wait [5], PRoPHET [6] und RAPID [7].

Während MANETs gut für die Kommunikation innerhalb einer Gruppe geeignet sind, kommt es zu Problemen, wenn sich Teilnehmer von der Gruppe entfernen und den Kommunikationsbereich verlassen. Da Nachrichten nur Ende-zu-Ende übertragen werden erhalten somit diese Teilnehmer keine Nachrichten mehr. DTNs hingegen speichern Nachrichten zwischen und erlauben es dem entsprechenden Teilnehmern auch ohne direkte Verbindung über größere Distanz Nachrichten zu übermitteln. Im Gegensatz dazu kann hier nicht sichergestellt werden, dass Nachrichten, welche für ein bestimmtes Ziel gedacht sind dieses auch wirklich erreichen, da nicht sichergestellt werden kann, dass ein Teilnehmer einem anderen nochmals begegnet. Eine mögliche Lösung des Problems stellen hybrides DTN-MANET Kommunikationsverfahren dar, welche die Vorteile aus beiden Welten vereinigen.

Die Ausarbeitung untergliedert sich in folgende Abschnitte. In Abschnitt 2 werden mit Mode Switching, Raffelsberger und HYMAD drei unterschiedliche hybride Kommunikationsverfahren vorgestellt. Anschließend werden diese anhand ihrer Performance, Ressourcen, Abhängigkeiten und eingesetzten sozialen Faktoren verglichen. Darauf folgt eine Betrachtung des Einsatzes der Verfahren mittels in PMSN eingesetzten Kommunikationsformen, sowie der Integration eines Interessenabgleichs. Abschließend wird ein Fazit aufgrund der vorangegangenen Analyse für die Einsatzfähigkeit in PMSNs gezogen. Abschnitt 3 fasst die Ausarbeitung zusammen und gibt anschließend einen Ausblick auf das weitere Vorgehen.

2 Hybride Kommunikationsverfahren

Es wurde bereits verschiedene Versuche unternommen MANET und DTN ineinander laufen zu lassen. Hierbei lassen sich zwei unterschiedliche Herangehensweisen feststellen. Die Erste behandelt den Zeitpunkt, wann zwischen den DTN und MANET gewechselt werden soll. Die Zweite beschäftigt sich damit, wann in einem MANET Nachrichten zwischengespeichert und weitergeleitet werden sollen. Dieser Abschnitt stellt drei unterschiedliche hybride Ansätze vor. Im Anschluss werden diese miteinander verglichen.

2.1 Mode Switching

Nishiyama et al. [8] zeigen ein Verfahren, welches im Folgenden als *Mode Switching* bezeichnet wird. Hierbei werden sowohl ein DTN wie auch ein MANET Protokoll gleichzeitig eingesetzt. Diese laufen auf unterschiedlichen Schichten. Bei den Versuchen wurden hierfür OLSR in der Netzwerkschicht für das MANET und Epidemic-Routing [9] in der Bündelschicht [10] für das DTN verwendet. Da keine Abhängigkeiten bestehen, können diese auch ausgetauscht werden. Anstelle ein neues Protokoll mit den Eigenschaften beider Technologien zu erstellen wird differenziert, wann ein DTN und wann ein MANET am geeignetsten eingesetzt werden kann. Entsprechend können Geräte sich entweder im DTN oder im MANET Modus befinden. Innerhalb eines Modus agieren alle Teilnehmer mit dem gleichen Modus entsprechend dem zugehörigen Protokoll. Begegnen sie anderen Teilnehmern, welche sich nicht im selben Modus befinden, wird entsprechend dem DTN die Nachricht an den anderen weitergereicht. Erhält ein Teilnehmer im MANET Modus eine Nachricht wird diese repliziert an alle bekannten Teilnehmer aus seiner Routingtabelle weitergeleitet.

Für den Wechsel zwischen den Modi wird beim Mode-Switching-Verfahren auf drei Metriken geachtet. Die erste Metrik ist die Anzahl der Nachbarn und dient dazu festzustellen, ob die Teilnehmerzahl zu spärlich ist um ein MANET aufzubauen. Bei zu geringer Anzahl kommt es unter anderem zu häufigen Verbindungsabbrüchen, welche den Aufwand seitens des Protokolls erhöht das Netzwerk zu verwalten und unnötig Strom verbraucht. Entsprechend wird ab einer festgelegten Grenze der DTN Modus gewählt.

Die zweite Metrik ist die Bewegungsgeschwindigkeit, welche aussagt wie mobil ein Knoten ist. Bei hoher Mobilität eignet sich ein DTN, da so Nachrichten zwischengespeichert und in entferntere Bereiche mitgetragen werden können. Außerdem kommt es bei hoher Mobilität ebenfalls zu häufigen Verbindungsabbrüchen, da Teilnehmer passiert und Bereiche verlassen werden. Folglich wird entsprechend in regulären Zeitabständen gemessen, ob eine festgelegte Grenze überschritten ist. Da die Beschleunigung Schwankungen unterliegt wird zusätzlich ein Wert festgelegt, wie oft ein Teilnehmer die Grenze überschreiten darf. Wird dieser zweite Schwellwert überschritten wird der DTN Modus gewählt.

Die letzte Metrik ist der Akkustand des Gerätes. Da die Verwaltung und Aufrechterhaltung der Topologie eines MANETs aufgrund der Ende-zu-Ende Pfade aufwendiger ist als die eines DTNs wird entsprechend mehr Energie verbraucht. Ist der Akkustand schon niedrig, so hat es daher Priorität das Gerät am Laufen zu halten, um noch kommunizieren zu können. Folglich wird beim Erreichen eines spezifizierten, niedrigen Akkustandes auf den DTN Modus gewechselt.

Zum Erproben des Verfahrens wurde eine empirische Feldstudie durchgeführt. Hierbei wurden tagsüber 20 Personen an Ankerpunkten entlang einer Strecke von 2,5km innerhalb eines dicht besiedelten Gebietes der japanischen Stadt Sendai verteilt. Die Ankerpunkte lagen 50-200m auseinander und jede Person durfte sich frei in dem Bereich des Ankerpunktes bewegen. Da die Reichweite der eingesetzten Geräte 100m betrug konnte nicht mit einer durchgängigen, stabilen Verbindung zwischen allen Geräten gerechnet werden. Der Versuch endete mit der erfolgreichen Übertragung einer Nachricht zwischen den 20 Teilnehmern. Zusätzlich konnte gezeigt werden, dass innerhalb der Stadt nicht genug Störungen durch andere Funksignale erzeugt werden, um die Übertragung zu verhindern.

2.2 Raffelsberger

Der Ansatz von Raffelsberger et al. [11] zeigt die Integration des für DTNs typischen Store-and-Forward Mechanismus in ein proaktives MANET Routing-Protokoll. Hierbei werden als Grundlage die Protokolle B.A.T.M.A.N. [12] und OLSR [1] verwendet. Bei dem Ansatz stehen zwei essentielle Fragestellungen im Mittelpunkt. Die Erste ist, wann ein Paket gespeichert werden soll anstatt es sofort weiterzuleiten. Die Zweite, wann ein gespeichertes Paket gesendet werden soll.

Das standardmäßige Verhalten eines MANETs, wenn keine passende Route zum Ziel existiert, besteht darin, dass erhaltene Pakete verworfen werden. Statt dieses Vorgangs wird im Verfahren nach Raffelsberger eine Pufferung des Paketes vorgenommen bis eine verfügbare Route gefunden wurde. Da es in MANETs länger dauert Routing-Tabellen zu aktualisieren kann eine Route zu einem Ziel zusätzlich bereits veraltet sein. Entsprechend soll eine Nachricht auch gespeichert werden, wenn eine Route vorhanden, aber veraltet ist, da dieses ansonsten verloren geht. Um dies zu prüfen wird der Parameter *MaxLinkTimeout* eingeführt, welcher definiert, wie viele Sekunden eine Route inaktiv sein darf, bis sie als veraltet eingestuft wird. Da in proaktiven Routing-Protokollen periodisch Kontrollnachrichten versendet werden, um das Netzwerk zu verwalten, können diese zugleich auch für die Überprüfung der Inaktivität der Routen verwendet werden.

Um die gepufferten Pakete senden zu können muss folglich eine Änderung der Routen-Informationen erfolgen. Hier wird sich ebenfalls der Kontrollnachrichten proaktiver Protokolle zu Nutze gemacht, da diese für die Verwaltung der Routen verwendet werden. Beim Erhalt einer Kontrollnachricht kann einer von drei Fällen eintreten: Eine neue Route ist entstanden, eine als veraltet eingestufte Route ist wieder aktiv und kann verwendet werden oder eine bestehende Route hat sich geändert. Ist eine für den Versand benötigte Route vorhanden, so kann anschließend gesendet werden. Da ein FIFO Puffer verwendet wird müssen hierbei alle Nachrichten nacheinander abgearbeitet werden. Ist keine Route oder nur eine veraltete vorhanden, muss das Paket weiter gepuffert werden.

Zum Testen wurde ein Krisenszenario innerhalb des OMNet++ Simulator nachgestellt. Hierbei werden 25 Knoten auf einem Areal verteilt, wo sie sich entsprechend eines realistischen Modells für Krisensituationen unter anderem als Opfer, Rettungsperson, Ersthelfer, Sanitäter oder Einsatzleiter bewegen oder abwarten. Das Gebiet bietet relativ gute Konnektivität. Verbindungsabbrüche kommen vor, dauern jedoch nur Sekunden oder Minuten an. Diese werden durch verschiedene Hindernisse, wie Gebäude, erzeugt. Pakete werden von den Ersthelfern am Krisenherd zum Einsatzlei-

ter am Rande des Einsatzgebietes gesendet. Die Testresultate ergeben eine verbesserte Zustellrate für B.A.T.M.A.N. wie auch OLSR. Gleichzeitig erhöht sich jedoch auch die Verzögerung beim Zustellen gegenüber der direkt Übermittlung, was die logische Konsequenz der Zwischenspeicherung ist.

2.3 HYMAD

Mit *HYMAD* zeigen Whitbeck et al. [13, 14] ein hybrides Protokoll, welches Funktionen von DTN und MANET vereinigt. Aus Sicht eines normalen DTNs gibt es Knoten, welche Nachrichten transportieren und sich treffen können. In *HYMAD* hingegen gibt es Gruppen von Knoten. Ein Mitglied in der Gruppe transportiert eine Nachricht und alle Gruppenmitglieder wissen darüber Bescheid. Anstelle von einzelnen Knoten treffen sich so zwei disjunkte Gruppen. Figure 1 zeigt wie ein gebildetes *HYMAD*-Netzwerk beispielsweise aussehen kann.

Grundlagen für das Routing innerhalb der Gruppe und zwischen Gruppen ist ein regelmäßiger Informationsaustausch der Gruppenmitglieder. Hierfür sendet jeder Knoten innerhalb der Gruppe regelmäßig einen Broadcast an alle Mitglieder. Dieser beinhaltet drei Elemente: Die minimale Anzahl an Hops zwischen den beiden Knoten, eine Liste aller von dem Knoten gespeicherten Nachrichten und ein Bit, welches angibt ob der Knoten ein Grenzknoten ist. Während erstere für das gruppeninterne Routing (Intra-Group-Routing) benötigt werden, dient das letztere dem externen Routing zwischen Gruppen (Inter-Group-Routing).

Das Intra-Group-Routing wird mittels eines modifizierten Distanzvektoralgorithmus durchgeführt. Zusätzlich wird ein einfacher verteilter Algorithmus zu Partitionierung eines Netzwerkes eingesetzt, welcher für das Netzwerk einen Gruppendurchmesser D_{max} nutzt um die Größe einzuschränken. Die Distanz wird hierbei der Anzahl an Hops zwischen Mitgliedern aus den Broadcasts entnommen. Solange die in Reihe verbundene Anzahl an Mitgliedern nicht D_{max} erreicht können weitere beitreten. Wird die Anzahl durch einen kurzzeitigen Verbindungsabbruch überschritten, so wird ein Mitglied aus der Gruppe ausgeschlossen. Das Verfahren arbeitet selbststabilisierend und reagiert dynamisch auf Änderungen in der Topologie. Die bei der Gruppenbildung entstehende Topologie entspricht der derzeitigen Position der Mitglieder und kann somit auch unvorteilhaft für das Routing sein.

Das Inter-Group-Routing erfolgt über die Grenzknoten. Diese werden dadurch bestimmt, dass sie nicht nur Bestandteil einer Gruppe sind. Durch diese Besonderheit kennen sie die Topologie und die Nachrichten beider Gruppen. Sie agieren als Vermittler zwischen den beiden Gruppen. Bei ihnen kann einer von zwei Fällen eintreten: Sie können Nachrichten aufgrund ihres Wissens anfordern oder von ihrer Gruppen Nachrichten zugestellt bekommen. Sieht der Grenzknoten, dass eine Nachricht nur in einer Gruppe vorhanden ist und das Ziel der Nachricht in einer anderen Gruppe liegt, so fordert er sie an und leitet sie ans Ziel weiter. Ist das Ziel nicht in der Gruppe und es sind mehrere Kopien der Nachricht vorhanden, so sollen diese fair auf alle angrenzenden Gruppen aufgeteilt werden. Hierzu werden von den Nachrichten $\max(1, \frac{\text{Anzahl der Kopien}}{(\text{Anzahl Grenzknoten})+1})$ angefordert. Wenn nur eine Kopie der Nachricht vorliegt wird keine Aktion ausgeführt. Wenn der Grenzknoten eine Nachricht zugestellt bekommt und das Ziel sich in einer Gruppe befindet leitet er sie mittels des Inter-Group-Routing weiter. Alternativ wird zur Lastverteilung auf die Gruppe ein zufälliges Mitglied gewählt, welches die Nachricht speichern soll.

Um eine Nachrichten zu senden braucht ein Mitglied diese nur seiner eigenen Nachrichtenliste hinzuzufügen. Wird mittels Broadcast ein Grenzknoten auf die Nachricht aufmerksam fordert er sie automatisch an und leitet sie weiter. Jede Quelle einer Nachricht erstellt entsprechend dem DTN Protokoll Spray-and-Wait [5] mehrere Kopien einer Nachricht. Die Verteilung erfolgt nun nicht entsprechend auf die Nachbarknoten sondern mittels Intra-Group-Routing auf Nachbargruppen.

Zum Testen wurden das Rollernet Szenario im ONE DTN Simulator eingesetzt und mit dem Verhalten von Epidemic-Routing und Spray-and-Wait verglichen. Hierbei werden 62 Teilnehmer einer Inlineskate-Tour bei ihrer Fahrt durch Paris simuliert. Die besonderen Charakteristika hierbei sind eine hohe Knotendichte und hohe Mobilität. Zusätzlich kommt durch abwechselndes Beschleunigen und Abbremsen ein besonderes Bewegungsmuster zustande, was einer Ziehharmonika gleicht. Als Gruppendurchmesser wurde ein Durchmesser von $D_{max} = 2$ verwendet und es wurden mehrere Durchläufe mit jeweils 5 und 20 durch Spray-and-Wait erzeugten Repliken vollzogen. Die Ergebnisse des Tests zeigten, dass *HYMAD* Spray-and-Wait bezüglich der Übertragungsverzögerung, bis eine Nachricht ein Ziel erreicht, klar übertrifft und fast die Geschwindigkeit von Epidemic-Routing erreicht. Solange wenige Kopien mittels Spray-and-Wait erzeugt werden übertrifft es außerdem dessen Zustellrate.

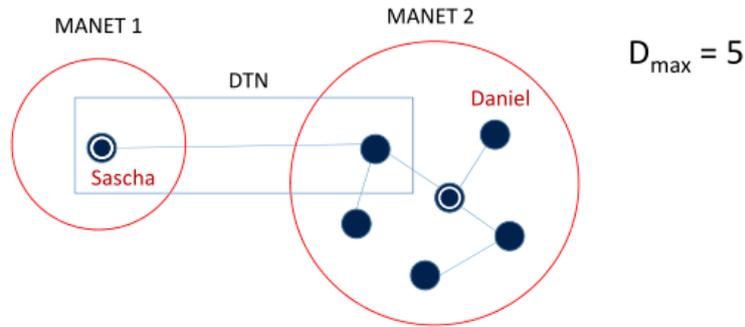


Abbildung 1: Beispiel einer HYMAD-Netzwerkes

2.4 Vergleich

Allgemein lässt sich zu den drei vorgestellten Verfahren sagen, dass sie alle einen anderen Schwerpunkt setzen. Mode Switching beschäftigt sich mit dem Übergang von DTN zu MANET und umgekehrt. Hierbei stehen die einzelnen Protokolle außen vor und können auch durch andere ersetzt werden. Raffelsberger setzt den Schwerpunkt auf MANET Protokolle und erweitert diese um die Store-and-Forward Fähigkeit eines DTNs. HYMAD hingegen betrachtet die Problemstellung von Seiten eines DTNs und erweitert den Ansatz von Knoten auf Gruppen, welche als in der Größe begrenzte MANETs umgesetzt sind. Somit bieten diese drei Verfahren einen guten Überblick auf die unterschiedlichen Sichten, wie ein hybrides DTN-MANET Kommunikationsverfahren angegangen werden kann, jeweils spezifisch von einer der Protokollseiten wie auch unabhängig. Im Folgenden werden einige Vergleichskriterien näher betrachtet.

2.4.1 Performance

Die Performance macht Aussagen darüber, wie effizient ein Verfahren arbeitet. Sie lässt sich bei den drei vorgestellten Vorgehen nur im Ansatz betrachten, da kein einheitliches Vorgehen zur Messung verwendet wurde und somit alle drei Verfahren unter völlig anderen Szenarien getestet wurden. Entsprechend ist nur eine Einzelbetrachtung möglich.

Beim Mode Switching zeigt sich, dass das Protokoll in der Lage ist auch mit Unterbrechungen in einem realen Einsatzgebiet Nachrichten über große Distanz zu übermitteln. Dies wird jedoch nur im Einzelfall demonstriert und hat somit wenig Aussagekraft über die wirkliche Performance. Es zeigt jedoch, dass das Prinzip grundlegend funktioniert.

Bei Raffelsberger und HYMAD werden hingegen klare Vorteile in der Performance nachgewiesen. Während Raffelsberger et al. in ihrem Themenbereich ein realistisches Szenario aus dem Einsatzbereich verwenden wird bei HYMAD ein relativ ungewöhnliches Szenario eingesetzt, welches insbesondere eine hohe Dichte und Mobilität aufweist. Somit ist keine Aussage darüber getroffen, welche Leistung das Verfahren bei geringer Dichte und Mobilität aufweist. Bei HYMAD kommt es dafür nur zu kurzzeitigen Unterbrechungen in den Verbindungen. Für die allgemeine Performance muss dem entsprechend auch hier noch eine Erweiterung der Simulation erfolgen.

2.4.2 Ressourcen

Ressourcen spielen eine große Rolle bei ad hoc Netzwerken mit mobilen Geräten, da diese diesbezüglich Limitierungen aufweisen. Werden diese nicht beachtet kann das entsprechende Verfahren nicht ohne weitere Anpassungen für den realen Gebrauch genutzt werden. Zwei Hauptbereiche hierbei stellen Speicher und Akkulaufzeit dar [15].

Speicher

Mode Switching beschäftigt setzt sich nicht mit dem Thema Speicherauslastung auseinander. Durch das eingesetzte flooding-basierte Epidemic-Routing kann es jedoch zu einer hohen Speicherauslastung kommen.

Raffelsberger verwendet aufgrund des MANET von vornherein keine Repliken, was zu geringerer Speicherauslastung führt. Zusätzlich wird für die Zwischenspeicherung ein begrenzter FIFO Puffer eingesetzt. Ist dieser voll werden die ältesten Nachrichten verworfen.

HYMAD bildet den Mittelweg, indem es mit Spray-and-Wait eine begrenzte Anzahl an Repliken

verteilt. Zusätzlich werden diese mit Nachbargruppen geteilt, so dass jede Gruppe möglichst nur eine Replik einer Nachricht mit sich trägt. Positiv für den Speicher ist besonders, dass innerhalb einer Gruppe die Nachrichten auf die Gruppenmitglieder verteilt werden. Dadurch, dass die Verteilung zufällig erfolgt kann es hier jedoch zu einer Unausgewogenheit kommen. Da wiederum jedes Mitglied die Anzahl der Nachricht anderer Mitglieder kennt wäre eine Gleichverteilung einfach zu realisieren.

Akkulaufzeit

Mode Switching achtet explizit als eines der Hauptkriterien auf die Akkulaufzeit und wechselt bei niedrigem Akkustand auf den weniger fordernden DTN Modus. Zugleich wird jedoch auch mit dem Beschleunigungsmesser ein weiterer Sensor eingesetzt, welcher regelmäßige Messungen durchführt. Hierbei müsste geklärt werden, wie oft die Messung ohne eine signifikante Erhöhung des Akkuverbrauchs durchgeführt werden kann. Bei HYMAD und Raffelsberger, wird nicht auf die Thematik eingegangen. Grundlegend lässt sich sagen, dass DTNs wegen des geringeren Verwaltungsaufwandes des Netzwerkes vorteilhafter für den Akkuverbrauch sind. Entsprechend ist der MANET Ansatz nach Raffelsberger eher unvorteilhaft, da bei spärlichen Teilnehmerzahl der Verwaltungsaufwand unnötig Energie verbraucht. HYMAD hingegen reduziert den Verwaltungsaufwand, indem die MANETs in der Größe begrenzt werden.

Durch Replikation erhöht sich ebenfalls der Akkuverbrauch [16]. Hier bietet der Einsatz von Raffelsberger den Vorteil, dass innerhalb von grundlegenden MANET Protokollen nur mittels Weiterleitung gearbeitet wird und keine Repliken existieren. HYMAD arbeitet durch Spray-and-Wait mit einer begrenzten Anzahl an Repliken und bildet somit einen guten Kompromiss zwischen keiner Replikation und Flooding. Mode Switching setzt zwar Flooding ein, ist jedoch weitestgehend unabhängig von den Protokollen. Entsprechend kann hier auch auf andere DTN Protokolle gewechselt werden.

2.4.3 Abhängigkeiten

Keines der Verfahren ist explizit für den Gebrauch in einem PMSN angedacht. Entsprechend ist damit zu rechnen, dass Änderungen vorgenommen werden müssen um sie weiter verwenden zu können. Umso geringer die Abhängigkeiten innerhalb eines Verfahren sind, desto leichter lässt es sich für die Nutzung innerhalb eines PMSN modifizieren oder ein Teilbereich weiterverwenden.

Mode Switching ist grundlegend völlig unabhängig von den eingesetzten Protokollen. Die verwendeten drei Metriken sind ebenfalls unabhängig voneinander und lassen sich auch einzeln verwenden. Die einzige Abhängigkeit besteht darin, dass ein Gerät einen Beschleunigungsmesser besitzen muss, um entsprechende Bewegungsmessungen durchführen zu können.

Raffelsberger weist eine Abhängigkeit zu proaktiven Protokollen auf, da für die zeitlichen Messungen auf die Kontrollnachrichten der Protokolle gesetzt wird. Es wird jedoch angemerkt, dass die Sondierung auch mittels zusätzlicher Pakete durchgeführt werden kann. Da bis auf das Zwischenspeichern keine Modifikationen an den Protokollen selbst vorgenommen werden, können Geräte auch weiterhin im selben Netzwerk mit Geräten ohne Zwischenspeicherung verwendet werden.

HYMAD besitzt starke Abhängigkeiten zu seinem Intra-Group-Routing. Da ein für die Gruppenbildung modifizierter Distanzvektoralgorithmus eingesetzt wird, kann dieser nicht ohne Weiteres gegen ein gewöhnliches proaktives MANET Protokoll ausgetauscht werden.

2.4.4 Soziale Faktoren

Da die Mobilität der eingesetzten Geräte durch die alltäglichen Bewegungsabläufe ihrer Besitzer entsteht bieten sich verschiedene soziale Faktoren an, welche für das Routing ausgenutzt werden können. Unter 2.5.3 wird tiefergehend auf verschiedene Faktoren eingegangen. HYMAD ist das Einzige der drei vorgestellten Verfahren, welches sich in stark abgeschwächter Form den sozialen Aspekt der Zugehörigkeit zu einer Gruppe, beziehungsweise einer Community, zu Nutze macht. Hierbei setzt es die Definition, dass eine Gruppe eine maximale Größe haben darf und aus nahegelegenen Geräten besteht. Die Position bildet entsprechend die Gemeinsamkeit der Gruppenmitglieder. Auf das Routing hat die Gruppenbildung insofern eine Auswirkung, als dass der MANET Verwaltungsaufwand aufgrund der Größenbeschränkung begrenzt wird.

2.5 Einsatz in einem PMSN

Keines der vorgestellten Verfahren ist explizit für die Kommunikation eines PMSN konzipiert. Mode Switching und Raffelsberger sind explizit für Krisensituationen angedacht, wobei hier nach

Nishiyama et al. die Übermittlung von Nachrichten zu einem Ziel auf große Distanz im Vordergrund steht, was nicht notwendigerweise Hauptziel eines sozialen Netzwerkes sein muss. Die Betrachtung von HYMAD ist hingegen völlig allgemein. Somit gilt es zu klären, inwiefern sich die Verfahren im Kontext eines sozialen Netzwerkes ganz oder teilweise einsetzen lassen. Hierfür werden verschiedene Kommunikationsformen anhand typischer Funktionen sozialer Netzwerke betrachtet und die Verwendung der vorgestellten Kommunikationsverfahren besprochen um Stärken und Schwächen zu ermitteln. Zusätzlich wird auf das Thema Interessenvergleich eingegangen, da es einen essentiellen Bestandteil von sozialen Netzwerken darstellt [15], jedoch bis jetzt keine Anwendung in den vorgestellten Verfahren findet. Die Kommunikationsformen ergeben sich bei der Betrachtung klassischer soziale Netzwerke, wie Facebook [17] und Twitter [18], welche eine Vielzahl an Funktionen zum Austausch von Informationen anbieten. Diese lassen sich nach eigenem Ermessen in drei unterschiedliche Kommunikationsformen innerhalb von ad hoc Netzwerken überführen. Broadcast, Multicast und Unicast. Da Multicast und Unicast bei der Betrachtung zu gleichen Ergebnissen führt, werden sie hier gemeinsam betrachtet.

2.5.1 Nachrichten ohne konkretes Ziel (Broadcast)

Hierzu gehören allgemeine Informationen, welche mit anderen Personen geteilt werden. Ein Beispiel hierfür stellen die öffentlichen Nachrichten auf Twitter dar, auf die jeder andere Nutzer zugreifen kann um sie unter anderem zu lesen und weiter zu verbreiten. Innerhalb eines PMSN würde die Verteilung sich so gestalten, dass jeder der dem entsprechenden Teilnehmer im Netzwerk begegnet die Nachricht übermittelt bekommt. Sowohl MANETs als auch DTNs können für die Verbreitung eingesetzt werden.

Mode Switching kann problemlos für die Verteilung von Nachrichten verwendet werden. Da beide Netzwerkarten hierfür geeignet sind, ändert ein Wechsel des Modus nichts an der Möglichkeit Informationen zu verteilen.

Raffelsberger kann die Verteilung übernehmen, indem jedes Gerät die Nachrichten, die es erhält, an alle bekannten Knoten weiterleitet. Bei der Speicherung müssen jedoch Anpassungen vorgenommen werden, so dass eine Nachricht an alle umgehend erreichbaren Teilnehmer weitergeleitet wird und für die nicht erreichbaren zwischengespeichert wird. Hierfür muss auch geklärt werden, bis wann ein Paket im Puffer bleibt, da durch das Hinzukommen neuer Routen und auftretenden Verbindungsabbrüchen das Paket gegebenenfalls dauerhaft im Puffer bleibt. Wird viel verteilt läuft dieser gegebenenfalls schnell voll. Kommt es zum Verwerfen von Paketen können hierbei auch schnell viele wichtigere Inhalte, wie z.B. Direktnachrichten, betroffen sein, was noch zusätzlich zu beachten ist.

HYMAD hat das Problem, dass es nur auf zielgerichtetes Zustellen ausgelegt ist. Gelangt eine Nachricht über einen Grenzknoten oder über ein bestehendes Mitglied in ein Gruppe, wäre nicht nur ein Gruppenmitglied der Empfänger, sondern alle. Entsprechend muss dafür gesorgt werden, dass diese Nachrichten identifiziert werden können und jedes Mitglied eine Replik erhält. Mindestens eines der Mitglieder muss im Anschluss die Nachricht in seiner Nachrichtenliste bereitstellen, um so andere Gruppe denen begegnet wird auch den Erhalt der Nachricht zu ermöglichen. Da es mehrere Empfänger gibt lässt sich die Lastverteilung infolgedessen nicht mehr nur durch das Zustellen regeln. Zugleich muss entschieden werden, wann Nachrichten nicht mehr aufbewahrt werden sollen, da diese sonst niemals aus der Nachrichtenliste des Verwahrers entfernt würden.

2.5.2 Nachrichten mit einem und mehreren konkreten Zielen (Unicast / Multicast)

Um direkt mit einer oder mehreren Personen kommunizieren zu können Direktnachrichten oder Chats eingesetzt werden. Nachrichten gehen hierbei nur an einen ausgewählten Kreis von Personen. Dies soll möglichst unterbrechungsfrei geschehen. Folglich sind MANETs durch ihre direkte Übertragung von Nachrichten hierfür geeignet. DTNs sind durch ihre Natur eher ungeeignet und machen nur in Ausnahmefällen, wie z.B. in Krisensituationen oder auch taktischen Militärnetzwerken, Sinn [19].

Im **Mode Switching** kommt es bei diesem Anwendungsfall zu Problemen, da der Teilnehmer nicht eigenständig entscheidet, wann er den Modus wechselt. So kann es zu der Situation kommen, dass er an einem Chat teilnehmen möchte, jedoch der Akkustand gerade zu gering ist und somit der DTN Modus verwendet wird. In Krisensituationen wäre es wichtiger das Gerät zur weiteren Ver-

breitung von Nachrichten am Laufen zu halten, anstatt das Chatten zu erlauben. Im alltäglichen Gebrauch sollte der Nutzer die Möglichkeit besitzen sich auch eigenständig entscheiden zu können. Außerdem sollte das System erkennen können, welche Funktion gerade genutzt wird und entsprechend darauf reagieren. So kann der Nutzer bei einem Chat beispielsweise gewarnt werden, dass er sich zu schnell bewegt um an dem Chat noch geregelt teilnehmen zu können. Dies könnte in Form neuer Metriken integriert werden.

Da **Raffelsberger** auf einem MANET aufbaut, kann es gut für eine Chatfunktionalität eingesetzt werden. Durch die Zwischenspeicherung kann zusätzlich einem Teilnehmer, der ein Gebiet verlässt, der aktuelle Chatverlauf nachgetragen und übermittelt werden.

HYMAD unterliegt dem gleichen Problem wie Mode Switching, indem es keine manuelle Konfiguration erlaubt und somit nicht klar ist, ob und mit wem gerade eine Gruppe gebildet wurde. Ein Lösungsansatz wäre hierbei z.B. eine teilweise manuelle Konfiguration der Gruppen für Chats. Allgemein wäre es ein interessanter Ansatz zu erforschen ob die Gruppen explizit für einzelne Funktionen, wie das Chatten, genutzt werden können. Hierdurch können Funktionen, welche auf MANETs angewiesen sind, ermöglicht werden. Zugleich kann durch die Größenbeschränkung der Verwaltungsaufwand des MANET reduziert werden.

2.5.3 Interessenabgleich

Ein essentieller Bestandteil von sozialen Netzwerken ist der Interessenabgleich, um Personen mit gleichen oder ähnlichen Interessen zusammen zu führen [15]. Entsprechend muss das eingesetzte Kommunikationsverfahren die Integration eines Interessenabgleiches erlauben. Ansätze hierfür lassen sich anhand der bis jetzt ermittelten Verfahren in zwei Kategorien einteilen. Entweder können Informationen zwischen den Parteien ausgetauscht werden, welche einen Abgleich in Form von Interessen [20] oder Ähnlichkeitswerten erlauben oder das Netzwerk wird von vornherein so aufgebaut, dass Geräte aufgrund von sozialen Faktoren miteinander verbunden werden. Dies wird auch als social-based Routing bezeichnet. Einige Faktoren hierfür können unter anderem die Zugehörigkeit zu Communitys [21], Freundschaften [22] und Ähnlichkeiten [23, 24] sein.

Mode Switching stellt für die Integration eines Interessenvergleichs kein Probleme dar. Der Informationsaustausch wird vom Modus nur dahingehend beeinflusst, dass bei DTN nur mit direkten Nachbarn und bei einem MANET auch mit entfernteren kommuniziert werden kann. Außerdem bestehen keine Abhängigkeiten zu den Protokollen. So können auch social-based Routing-Protokolle verwendet werden.

Raffelsberger stellt ebenfalls kein Problem beim Interessenabgleich mittels Informationsaustausch dar. Soll social-based Routing eingesetzt werden, so kann das MANET-Protokoll gegen ein anderes proaktives Protokoll gewechselt werden, da es unabhängig vom Speichermechanismus ist.

HYMAD nutzt bereits, wie unter 2.4.4 angemerkt, für die Gruppenbildung des MANET räumliche Nähe und stellt damit eine Form von social-based Routing dar. Dieses basiert jedoch rein auf der räumlichen Nähe und bietet somit keinen Interessenabgleich außer, dass sich die anderen Mitglieder gegebenenfalls am gleichen Standort befinden. Infolge der Gruppenbildung ist ein Interessenabgleich ohne Erweiterung der Grenzknotenfunktionalität nicht möglich, da dieser in der Lage sein muss entsprechend für alle Interessen der Gruppe zu agieren. Bei der Kommunikation zwischen Gruppen kennen nur die Grenzknoten die Mitglieder beider Gruppen. Möchte ein Mitglied der einen Gruppe mit der anderen einen Interessenabgleich durchführen, kann nur der Grenzknoten angesprochen werden. Dieser muss entsprechend als Vermittler von seiner anderen Gruppe alle Interessen kennen oder diese erfragen und drauf eine Antwort geben. Anschließend erhält er alle Interessanten Nachrichten und kann diese verteilen. Zur Bekanntmachung der Interessen unter allen Mitgliedern können diese einfach zusätzlich an den Broadcast angehängt werden.

Um das bereits bestehende social-based Routing mehr auf Gemeinsamkeiten aufbauen zu lassen könnte die Gruppenbildung auf gemeinsamen Interessen basieren. Hierfür müsste als Erstes festgelegt werden, wie viele Gemeinsamkeiten untereinander bestehen müssen, damit sich zu einer Gruppe zusammengeschlossen wird. Im schlechtesten Fall kann dies bei einer schlechten Wahl zu einer starken Fragmentierung in viele kleine Gruppen führen, da zu wenig Gemeinsamkeiten bestehen, was Auswirkungen auf die Performance hätte.

2.6 Fazit

Mode Switching stellt ein einfaches Verfahren dar, welches sich aufgrund allgemeingültiger Metriken und Protokollunabhängigkeit gut in ad hoc Netzwerken und auch innerhalb eines PMSN einsetzen lässt. Durch die verwendeten Metriken werden Limitierungen mobiler Geräte beachtet und zugleich Problembereichen von MANET und DTN-Protokollen aus dem Weg gegangen. Nachteilig ist, dass keine Rücksicht auf den begrenzten Speicher von Geräten genommen wird und dass der eingesetzte Modus keine Abhängigkeit zu eingesetzten Funktionen bieten. Beides lässt sich jedoch einfach durch eine Erweiterung der Metriken hinzufügen.

Das Verfahren nach Raffelsberger et al. erweitert proaktive MANET Protokolle um die Speicherfunktion eines DTN. Hierdurch wird zwar der Verlust von Nachricht verhindert, jedoch bleibt der Verwaltungsaufwand eines MANETs in Gebieten mit spärlicher Teilnehmerzahl erhalten, was den Akkuverbrauch erhöht. Der Speicher ist zwar begrenzt, jedoch werden bei vollem Puffer Nachrichten einfach verworfen, was dem ursprünglichen Verhalten ohne Speicherung entspricht. Das Verfahren benötigt ein proaktives Protokoll. Für reaktive wird ein zusätzlicher Mechanismus zur Sondierung benötigt, welches dem reaktiven Ansatz wiederum entgegen wirkt. Entsprechend dem Testszenario, bei welchem es gelegentlich zu relativ kurzzeitigen Abbrüchen kommt, stellt das Verfahren eine gute Möglichkeit zur Überbrückung dar. Für längere Speicherungen bei vielen Nachrichten, wie sie in PMSN vorkommen, ist das Verfahren jedoch aufgrund der Pufferspeicherung ungeeignet.

HYMADs Erweiterung der Knoten eines DTNs auf Gruppen erlaubt es in der Größe begrenzte MANETs zu bilden. Dies reduziert zwar einerseits den Verwaltungsaufwand eines MANET, andererseits entsteht ein neuer Mehraufwand für die Gruppenorganisation, Broadcasts und Nachrichtenanfragen der Grenzknoten. Das Verfahren ist abhängig von dem Gruppenbildungsalgorithmus und dadurch auch an den Distanzvektoralgorithmus gebunden, da dieser für die Gruppenbildung modifiziert ist und somit keinen direkten Austausch möglich macht. Es wird bei der Verteilung der Nachrichten auf Gruppenmitglieder nicht auf den Speicher geachtet, dies lässt sich allerdings einfach erweitern. Der Einsatz in einem PMSN ist möglich, fordert jedoch viele Anpassungen an dem Verfahren. Entsprechend ist es nur beschränkt zu empfehlen.

3 Zusammenfassung und Ausblick

In dieser Ausarbeitung wurde ein Blick auf die Themenstellung hybrider DTN-MANET Kommunikationsverfahren im Rahmen umgebungsbasierter mobiler sozialer Netzwerke geworfen. Hierbei wurde angemerkt, dass bisherige Ansätze für ad hoc Kommunikation sich in erster Linie auf den Einsatz eines Routing-Verfahren konzentrieren, welches entweder MANET- oder DTN-basiert arbeitet. Dabei besteht jedoch das Problem, dass MANETs nicht für die Kommunikation mit einer spärlichen Anzahl an Teilnehmern geeignet sind, da sie nicht mit Unterbrechungen umgehen können. Umgekehrt bieten DTNs nicht die Möglichkeit einer sicheren Zustellung von Nachrichten zu gewährleisten. Hybride DTN-MANET Kommunikationsverfahren stellen somit eine Möglichkeit dar, die Vorteile aus beiden Welten zu vereinen. Anschließend wurden im Hauptteil der Arbeit mit Mode Switching, Raffelsberger und HYMAD drei unterschiedliche hybride Kommunikationsverfahren vorgestellt. Jedes der Verfahren geht hierbei aus einem anderen Blickwinkel an die Problemstellung. Während Mode Switching gänzlich unabhängig von dem eingesetzten DTN und MANET Protokollen bleibt, wird bei Raffelsberger ein MANET mit der Speicherfunktion eines DTN ausgestattet. Bei HYMAD hingegen wird aus Sicht eines DTN vorgegangen, welches die Definition von Knoten auf Gruppen erweitert und hierdurch kleine MANETs schafft.

Nach der Vorstellung wurden die Verfahren auf zwei Arten näher analysiert und gegenübergestellt. Als erstens fand eine allgemeine Betrachtung statt. Hierbei zeigte sich, dass eine direkte Bewertung der Performance aufgrund sehr unterschiedlicher Testverfahren nicht möglich ist und auch bei einer Einzelbetrachtung die Testszenarien noch nicht für eine fundierte Begutachtung ausreichen. Bezüglich der Ressourcen achtet nur Mode Switching auf den Akkuverbrauch während die anderen beide Verfahren dafür zumindest Ansatzweise auf den Speicher achten. Letztlich baut HYMAD als einziges Verfahren bereits auf sozialen Faktoren auf.

Als zweites folgte eine Betrachtung der Verfahren beim Einsatz in einem PMSN. Hierbei ergab sich, dass insbesondere HYMAD vieler Anpassungen benötigt um in einem PMSN eingesetzt zu werden. Mode Switching bedarf hingegen nur sehr einfacher Anpassungen während Raffelsberger bei der Verteilung von Nachrichten schwerwiegende Probleme hat.

Abschließend wurde ein Fazit gezogen. Dabei ergab sich das Mode Switching durch seine Unabhängigkeit und erweiterbaren Metriken gut für PMSN eingesetzt werden kann. HYMAD hingegen müsste für den Einsatz stark angepasst werden um in einem PMSN eingesetzt zu werden

und ist somit nur beschränkt zu empfehlen. Das Vorgehen nach Raffelsberger ist nicht zu empfehlen, da es zu wenig auf die limitierten Ressourcen achtet und nicht für die längere Speicherung von Nachrichten vorgesehen ist.

Für das weitere Vorgehen ist angedacht, im bereits laufenden Projekt 1, weitere Erfahrungen bei der Entwicklung eines Prototypen für ein PMSN zu sammeln. Hierbei liegt der Schwerpunkt auf einfachen MANET und DTN Protokollen und verschiedenen Ansätzen für den Interessenabgleich. Innerhalb von Projekt 2 soll im Anschluss die Kommunikation mittels eines hybriden Kommunikationsverfahren realisiert werden. Hierbei stellt Mode Switching einen guten Ausgangspunkt dar, der weiter Ausgearbeitet werden kann. Dafür gilt es zu klären, welche DTN- und MANET-Protokoll verwendet werden. Hierfür soll unter anderem noch ein tieferer Einblick in social-based Routing-Protokolle erfolgen.

Literatur

- [1] T. Clausen and P. Jacquet, “Optimized Link State Routing Protocol (OLSR),” RFC 3626 (Experimental), 2003. [Online]. Available: <http://www.ietf.org/rfc/rfc3626.txt>
- [2] C. Perkins, E. Belding-Royer, and S. Das, “Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing,” RFC 3561 (Experimental), 2003. [Online]. Available: <http://www.ietf.org/rfc/rfc3561.txt>
- [3] Z. J. Haas, M. R. Pearlman, and P. Samar, “The Zone Routing Protocol (ZRP) for Ad Hoc Networks,” Published Online, 2002. [Online]. Available: <http://www.ietf.org/proceedings/02nov/I-D/draft-ietf-manet-zone-zrp-04.txt>
- [4] I. Basagni, Stefano; Conti, Marco ; Giordano, Silvia; Stojmenovic, Ed., *Mobile Ad Hoc Networking: The Cutting Edge Directions*, 2nd ed. Wiley-IEEE Press, 2013. [Online]. Available: <http://eu.wiley.com/WileyCDA/WileyTitle/productCd-1118087283.html>
- [5] T. Spyropoulos, K. Psounis, and C. S. Raghavendra, “Spray and Wait: An Efficient Routing Scheme for Intermittently Connected Mobile Networks,” in *Proceedings of the 2005 ACM SIGCOMM Workshop on Delay-tolerant Networking*, ser. WDTN '05. New York, NY, USA: ACM, 2005, pp. 252–259. [Online]. Available: <http://doi.acm.org/10.1145/1080139.1080143>
- [6] A. Lindgren, A. Doria, E. Davies, and S. Grasic, “Probabilistic Routing Protocol for Intermittently Connected Networks,” RFC 6693 (Experimental), Aug. 2012. [Online]. Available: <http://www.ietf.org/rfc/rfc6693.txt>
- [7] A. Balasubramanian, B. N. Levine, and A. Venkataramani, “Replication Routing in DTNs: A Resource Allocation Approach,” *Networking, IEEE/ACM Transactions on*, vol. 18, no. 2, Apr. 2010, pp. 596–609.
- [8] H. Nishiyama, M. Ito, and N. Kato, “Relay-by-Smartphone: Realizing Multihop Device-to-Device Communications,” *Communications Magazine, IEEE*, vol. 52, no. 4, Apr. 2014, pp. 56–65.
- [9] A. Vahdat and D. Becker, “Epidemic Routing for Partially-Connected Ad Hoc Networks,” Duke University, Durham, NC 27708, Tech. Rep., 2000.
- [10] K. Scott and S. Burleigh, “Bundle Protocol Specification,” RFC 5050 (Experimental), Nov. 2007. [Online]. Available: <http://www.ietf.org/rfc/rfc5050.txt>
- [11] C. Raffelsberger and H. Hellwagner, “A Hybrid MANET-DTN Routing Scheme for Emergency Response Scenarios,” in *Pervasive Computing and Communications Workshops (PERCOM Workshops)*, 2013 IEEE International Conference on, 2013, pp. 505–510.
- [12] A. Neumann, C. Aichele, M. Lindner, and S. Wunderlich, “Better Approach To Mobile Ad-hoc Networking (B.A.T.M.A.N.),” 2008. [Online]. Available: <https://tools.ietf.org/id/draft-openmesh-b-a-t-m-a-n-00.txt>
- [13] J. Whitbeck and V. Conan, “HYMAD: Hybrid DTN-MANET Routing for Dense and Highly Dynamic Wireless Networks,” in *World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks Workshops*, 2009. WoWMMoM 2009. IEEE International Symposium on a, 2009, pp. 1–7.
- [14] —, “HYMAD: Hybrid DTN-MANET routing for dense and highly dynamic wireless networks,” *Computer Communications*, vol. 33, no. 13, Aug. 2010, pp. 1483–1492. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140366410001143>
- [15] D. Liesener, “Entwurf und Implementation eines umgebungsbasierten mobilen sozialen Netzwerks,” Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg, Hamburg, Tech. Rep., 2015.
- [16] M. Shinohara, T. Hara, and S. Nishio, “Data Replication Considering Power Consumption in Ad Hoc Networks,” in *Mobile Data Management*, 2007 International Conference on, 2007, pp. 118–125.
- [17] Facebook Inc., “Facebook.” [Online]. Available: <https://www.facebook.com/>
- [18] Twitter Inc., “Twitter.” [Online]. Available: <https://www.twitter.com>

- [19] M. Skjegstad, K. Lund, E. Skjervold, and F. T. Johnsen, “Distributed Chat in Dynamic Networks,” in MILITARY COMMUNICATIONS CONFERENCE, 2011 - MILCOM 2011, Nov. 2011, pp. 1651–1657.
- [20] T. Hossmann, P. Carta, D. Schatzmann, F. Legendre, P. Gunningberg, and C. Rohner, “Twitter in Disaster Mode: Security Architecture,” in Proceedings of the Special Workshop on Internet and Disasters, ser. SWID '11. New York, NY, USA: ACM, 2011, pp. 7:1—7:8. [Online]. Available: <http://doi.acm.org/10.1145/2079360.2079367>
- [21] P. Hui and J. Crowcroft, “How Small Labels Create Big Improvements,” in Proceedings of the 2006 ACM CoNEXT Conference, ser. CoNEXT '06. New York, NY, USA: ACM, 2006, pp. 34:1—34:2. [Online]. Available: <http://doi.acm.org/10.1145/1368436.1368478>
- [22] E. Bulut and B. K. Szymanski, “Exploiting Friendship Relations for Efficient Routing in Mobile Social Networks,” IEEE Trans. Parallel Distrib. Syst., vol. 23, no. 12, 2012, pp. 2254–2265. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1109/TPDS.2012.83>
- [23] H. Li, K. Bok, and J. Yoo, “An Efficient Mobile Social Network for Enhancing Contents Sharing over Mobile Ad-hoc Networks,” in Parallel and Distributed Computing, Applications and Technologies (PDCAT), 2012 13th International Conference on, 2012, pp. 111–116.
- [24] E. M. Daly and M. Haahr, “Social Network Analysis for Routing in Disconnected Delay-tolerant MANETs,” in Proceedings of the 8th ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing, ser. MobiHoc '07. New York, NY, USA: ACM, 2007, pp. 32–40. [Online]. Available: <http://doi.acm.org/10.1145/1288107.1288113>