

# 无线自组织网络中基于网络编码的可靠中继多播方案<sup>①</sup>

孙 敏

(浙江工业大学 计算机科学与技术学院, 杭州 310023)

**摘 要:** 无线自组织网络由于节点能量受限、无线链路可靠性较差等特性使得在设计数据可靠传输方案时必须考虑上述问题。提出了一个无线自组织中基于网络编码的可靠中继多播方案, 本方案让一部分接收节点担当信源节点的发送任务, 以中继的形式完成链路失效率较高的节点的传输。理论分析和数值分析结果表明, 所提出的方案是可行的, 在一定程度上提高了无线自组织网络的多播传输效率, 延长了网络的生存时间。

**关键词:** 网络编码; 可靠性; 多播; 自组织网络; 无线网络

## A Reliable Relay Multicast Method Based on Network Coding in Wireless Ad Hoc Networks

SUN Min

(College of Computer Science and Technology, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310023, China)

**Abstract:** Problems for designing reliable transmission strategy in Ad hoc networks must be considered because the nodes are usually run in battery-operated with limited energy, the higher wireless link reliability failure, etc. This paper presents a reliable relay multicast method based on network coding, this method allows part of the receivers playing the role of the source in the form of relaying, to perform the task of transmission to other receivers with higher link failure. Theoretical analysis and numerical results show that the proposed method is feasible, and to some extent improves the Ad hoc networks for multicast transmission, extends the network lifetime.

**Keywords:** network coding; reliability; multicast; Ad hoc

## 1 引言

自组织网络(Ad Hoc)由于其无需事先固定设施、自组织等特点, 广泛适用于战场、灾害施救和野外科考等方面, 已经成为无线通信领域研究的重点。自组织网络主要有两种结构: 平面结构和分级结构。考虑到无线自组织网络主要由以有限的电池为能量能源的移动设备组成, 能量消耗是影响无线自组织网络生存时间的一个重要方面, 加之在无线自组织网络中主要以多播作为信息的传播方式, 那么设计出行之有效的多播方案, 对于延长无线自组织网络的生存时间具有重要的意义。

对于上述的问题, 国内外的专家学者致力于该领域的研究, 已经取得了众多的研究成果。Zhan<sup>[1]</sup>等人提出了 DMRE 和 CMRE 两种模型来减少可靠性多播

中的重传次数, 然而该问题是 NP 难(NP Hard)问题, 为此作者进一步提出了一个启发式算法来解决这个问题。

无线自组织网络由于其自身的特点, 如节点能量受限、无线链路可靠性较差、物理层传输广播等特性使得在无线自组织网络中应用网络编码<sup>[2-4]</sup>具有独到的优势。Cui<sup>[5]</sup>等人研究了使用多单播会话的无线网络中的能量效率的网络编码设计问题。通过把多个单播会话分解成多播和多个单播会话的叠加, 且仅仅在会话之间才进行编码, 但是在这里作者只是采用了 XOR 方式进行编码。

Nguyen<sup>[6]</sup>等人提出了两种基于网络编码的模式来减少单信源多信宿传输中广播的传输次数, 其主要思想是让信源以某种组合和重传信宿丢失的数据包, 使

① 收稿时间:2010-08-28;收到修改稿时间:2010-10-23

得一次传输技能让信宿获得丢失的数据包。作者研究了在单跳无线网络中基于重传机制的广播模式, 分析对比了 ARQ 模式下以及网络编码模式下的传输次数, 理论和仿真的结果表明, 基于网络编码的重传机制比传统的基于 ARQ 的重传机制在减少传输次数方面具有优势。Ghaderi<sup>[7]</sup>等人对基于网络编码的可靠性增益进行了分析, 他们研究了基于规则多播树的情况下的使用网络编码数据包的传输过程, 并给出了每个数据包的传输次数期望值的界限。作者指出, 相对于传统的 ARQ 机制, 使用网络编码能有效地降低无线网络中的重传次数。

本文主要致力于解决基于分级结构的无线自组织网络中最后一个分簇内的传输效率问题, 本文提出了一个基于确定性网络编码的可靠多播方案。本方案的基本思想是让一部分接收节点担当信源节点的发送任务, 以中继的形式(下称这种方法为“中继传递”法)完成链路失效率较高的节点的传输。与以往的研究的不同之处在于本文采用让一部分接收节点把接收到的完整的数据包进行编码后再转发给其他的接收节点, 而以往的基于网络编码的研究<sup>[2,6,8]</sup>都采用信源直接发送, 直到所有的接收节点都能正确收到为止, 并没有考虑让部分接收节点作为中继再传递给其他的接收节点。本文研究的网络模型与文献[6]颇为类似, 但是与文献[6]不同的是他们使用 XOR 方式进行编码, 而本文使用的是确定性编码方式, 最重要的是本文提出了中继传递方案。本文主要致力于解决无线自组织网络中传输效率问题, 以最小化数据块的发送次数为度量标准。

## 2 问题建模

在无线自组织网络, 信源节点通过多跳链路把数据包传输给目的节点, 在分级结构中, 网络被划分为簇, 每个簇由一个簇头和数个簇成员组成, 簇头又可以形成更高级的网络。本文研究的是基于分级的无线自组织网络中最后一个簇内的数据包的传输过程。

本文的出发点在于: 当部分接收节点的无线链路的可靠性较低时, 如果采用传统的传输模式(单播或多播), 簇头需多次发送才能使所有的接收节点接收到正确的数据包; 如果采用让部分链路条件较好的接收节点作为中继节点, 把收到的数据包中继传递给其他链

路状态较差的节点, 代替簇头完成这部分节点的正确接收。结合网络链路的广播特性, 使用网络编码能有效的减少无线网络中数据包的重传次数, 提高无线网络的传输效率。

为了说明本文提出的传输方案, 先看一个简单的例子。如图 1, 节点 S 要把一个数据包同时传递给节点 A 和 B, 其中,  $P_{SA}$ 、 $P_{SB}$  和  $P_{AB}$  分别表示无线链路 SA、SB 和 AB 的丢包率。此外, 为了确保数据包的可靠传递, 采用确认(Acknowledgement, ACK)机制, 即节点 S 在发送数据包给节点 A 与 B 并且收到这两个节点的 ACK 包之后, 认为传递成功。传统的传输模式是 S 向 A 和 B 广播经过编码后的数据包, 同时在 S 处启动一个定时器, 如果在定时器超时时间内 S 收到 A 和 B 发来的 ACK, S 就停止发送当前的数据包, 接着发送下一个数据包或者停止发送; 若定时器超时后还没有收到 A 或 B 发来的 ACK, S 就会重传该数据包。考虑到 ACK 包通常比较小, 故本文与文献[6]一样假定 ACK 包的传输是可靠的。

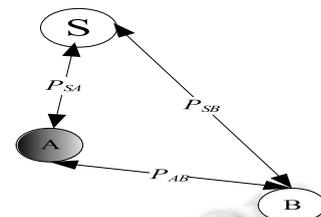


图 1 一个简单的多播问题

对于上述例子, 可以采用两种不同的传递方法: 单播(Unicast)与多播(Multicast)。前者是把数据包对目的节点逐一发送, 而后者是同时对多个目的节点发送。

如果采用单播, 由于节点 S 向节点 A 成功发送一个数据包为  $1 - P_{SA}$ , 于是节点 S 成功发送一个数据包给节点 A 平均需要发送  $1/(1 - P_{SA})$ , 同时节点 A 也需要发送 1 次 ACK 确认包, 因此, 可以看作节点 S 平均需要发送  $1/(1 - P_{SA}) + 1$  次, 才能将一个数据包成功传递到节点 A。节点 S 发送数据包给节点 B 的情形与此类似。因此, 采用单播方式, 需要发送数据包的平均次数为:

$$N_{uni} = \frac{1}{1 - P_{SA}} + \frac{1}{1 - P_{SB}} + 2 \quad (1)$$

如果采用多播, 由于节点 S 将一个数据包无丢失

地传递到节点 A 与节点 B，下面计算所需要的平均发送次数。

由<sup>[6]</sup>我们得到 S 平均需要发送为：

$$\frac{1}{1-P_{SA}} + \frac{1}{1-P_{SB}} - \frac{1}{1-P_{SA}P_{SB}} \quad (2)$$

于是，采用多播方式，需要发送数据包的平均次数为：

$$N_{mul} = \frac{1}{1-P_{SA}} + \frac{1}{1-P_{SB}} - \frac{1}{1-P_{SA}P_{SB}} + 2 \quad (3)$$

利用式(3)与(1)，可得：

$$N_{uni} - N_{mul} = \frac{1}{1-P_{SA}P_{SB}} > 0 \quad (4)$$

即采用单播方法所需要发送数据包的次数比采用多播方法所需要发送数据包的次数大。

在图 1 中，如果让节点 A 进行中继（这里仅仅考虑由 A 向 B 发送数据包，而不考虑 S 向 A 发送数据包的同时 B 也能收到部分数据包），把从节点 S 接收到的数据包中继传递给节点 B（这里假设 S 向 A 传输数据包时 B 收不到），很明显，如果  $P_{SA} > P_{SB}$ ，那么采用中继方式几乎毫无意义。故现在假设  $P_{SA} < P_{SB}$ ，则所需要的平均发送次数为：

$$N_{relay} = \frac{1}{1-P_{SA}} + \frac{1}{1-P_{AB}} + 2 \quad (5)$$

于是，在  $P_{SA} < P_{SB}$  时，由式(1)、(3)、(5)可得以下两式：

$$N_{relay} - N_{mul} = \frac{1}{1-P_{AB}} - \frac{1}{1-P_{SB}} \quad (6)$$

$$N_{relay} - N_{mul} = \frac{1}{1-P_{AB}} + \frac{1}{1-P_{SA}P_{SB}} - \frac{1}{1-P_{SB}} \quad (7)$$

由式(6)与式(7)可知：

- 1) 在  $P_{AB} > P_{SB}$  时，有  $N_{relay} > N_{uni}$ ，且  $N_{relay} > N_{mul}$ ，
- 2) 在  $P_{AB} < P_{SB}$  时，有： $N_{relay} < N_{uni}$ 。但是，只有在

概率  $P_{SA}$ 、 $P_{SB}$  和  $P_{AB}$  满足以下条件

$$\frac{1}{1-P_{AB}} + \frac{1}{1-P_{SA}P_{SB}} < \frac{1}{1-P_{SB}} \quad (8)$$

才有  $N_{relay} < N_{mul}$ 。

归纳起来，我们有以下结论：在  $P_{SA} < P_{SB}$  且  $P_{AB} <$

$P_{SB}$  且满足公式(8)的条件下，如果着眼于传递次数，单播方法是最差的，多播方式居中，中继传递法最好。

当设定  $P_{SA}=0.5$ 、 $P_{SB}=0.7$  时， $P_{AB}$  从 0 变化到 0.9 时，仿真的结果如图 2 所示。

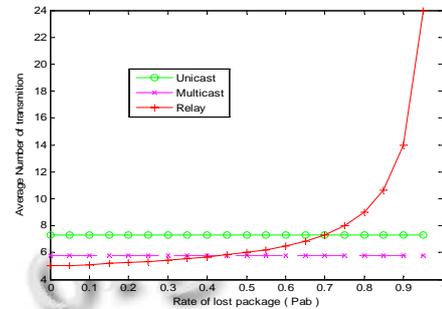


图 2  $P_{SA}$ 、 $P_{SB}$ 、 $P_{AB}$  取值对三种传输方式的影响

从图 2 中可以看出：1)当  $P_{AB}$  的取值比  $P_{SB}$  小很多时（满足公式(8)），采用中继传递方式比单播或者多播方式能获得更高的传输效率；在固定  $P_{SB}$  值且在  $P_{AB} < P_{SB}$  时，采用中继传递方式比单播方式更有效。2)多播方式比单播方式效率更高；3)当  $P_{AB}$  的取值与  $P_{SB}$  较接近时，中继传递方式比多播方式要差，当  $P_{AB}$  的值继续增大时，中继传递方式甚至还不如单播方式。

### 3 基于网络编码的中继传递方案及性能分析

#### 3.1 基于网络编码的中继传递方案

本文假定使用 NICE-MAN<sup>[9]</sup>路由算法确定了簇头，开始时簇中只有两类节点：簇头(用 NICE-MAN 算法由系统指定)和接收节点，通过失效率阈值把接收节点分为两类：中继候选节点和失效率大于阈值的接收节点(本文称之为普通节点)。这里，失效率阈值采用所有接收节点与簇头的无线链路的失效率之和的平均值。通过中继传递算法，最后簇中的节点分为四类：簇头节点，一类为中继节点，另一类为中继候选节点，最后一类为子簇的簇内节点。其中失效率大于阈值的普通节点若没有加入某个子簇，则在算法结束后变为中继候选节点。

当一个节点如果按阈值范围应该划分为普通节点，但是当不管采用哪个节点作为中继时的发送次数比由簇头直接发送的次数少时，该节点就直接划为中

继候选节点而不应该划为簇内节点。另外本文对 NICE-MAN 算法中的 LBC 进行了拓展, 引入了子簇和子簇头概念。同时规定中继节点(子簇头)必须周期性向簇头发送自己的状态信息(如链路失效率), 簇内节点也必须向自己所在的子簇的子簇头节点周期性发送自己的状态信息(如链路失效率、已经接收到的数据包)。

中继传递方案所使用的簇形成算法可以描述如下:

初始时所有接收节点的父节点都指向簇头节点;

第一步: 通过失效率阈值把接收节点分为两类:

中继候选节点和普通节点;

第二步: 对每一个的中继候选节点 A, 执行以下的操作: 顺序选取除自己之外的所有接收节点 B, 按照下面的步骤进行:

Step1. 若节点 B 是中继候选节点或者是普通节点, 转 Step2, 否则转 Step4;

Step2. 通过计算节点 A、B 与簇头之间以及 A、B 之间的链路的失效率, 使用公式(8)来判断节点 B 是否通过 A 来中继, 若公式(8)成立, 则把 B 的父节点指向 A, A 的子节点数加 1, 否则 A 和 B 保持不变。如果加入 A 的节点数大于 0, 则把 A 从中继候选节点集合中删除并将其加入中继节点集合, 将 B 从原来的集合中删除并加入簇内节点集合;

Step3. 把剩下的所有失效率大于阈值的普通节点加入中继候选节点集合中, 并从相应的集合中删除;

Step4. 算法结束。

采用网络编码的中继传递方案分为两个阶段, 第一阶段, 簇头把收到的经过编码的数据块广播给以自己为簇头的簇内所有接收节点, 当中继节点和中继候选节点可以解码当前数据块时, 就向簇头发送 ACK, 当簇头收到所有的中继节点和中继候选节点发来的 ACK 时就停止当前数据块的发送, 并把当前的数据块从缓存中清除掉, 接着发送下一个数据块或者停止发送。第二阶段, 中继节点负责把接收到的数据包进行编码后再广播给以自己作为子簇头的子簇, 当某个簇内节点能解码当前的数据块时即向该中继节点发送 ACK。当一个子簇的子簇头节点收到该子簇中所有簇内节点发来的 ACK 后, 就停止当前的数据块的传输。本文采用让簇中的链路失效率较低的节点向其他链路状态较差的节点发送经过编码的数据包的办法, 即在

一定的时间内, 中继节点以广播的形式向属于同一个子簇中的簇内节点广播自己缓存的数据包。采用这种中继传递方案减少了发送次数, 降低了能耗, 提高了数据包的发送效率。

本文所作的假设如下:

1) 单个信源 S 和  $M > 1$  个接收节点;

2) 无线链路的失效率是独立的;

3) ACK 包传输是可靠且瞬时的;

4) 任何一个中继节点或者簇内节点在同一时刻只属于一个子簇;

首先讨论如下简单的网络情形(见图 1、图 2): 簇头节点 S 向簇内的两个节点 A 和 B 发送编码后的数据包, 双箭头的实线表示信息的传输链路。为了减少分析的难度, 本文采用了确定性编码方案并且只分析了接收节点  $M=2$  的情形。下面分别分析基于确定性编码下的多播方式和中继传递方案的性能。

### 3.2 基于确定性网络编码多播传输方式

簇头 S 向 A 和 B 传输信息, 数据包以块的方式进行线性编码, 每个数据块  $B_k$  包括  $K_n$  个未编码的数据包, 每块  $B_k$  编码成  $K$  个数据包( $K > K_n$ )。编码向量从域中选取, 且保证任意  $K_n$  向量是线性无关的。现在考虑多播情形下簇内的数据包传输性能(见图 1)。

文献[6]针对单信源两个接收节点的单跳无线网络提出论文四种传输模式, 在其中的模式 D 的基础上的改进方案类似于确定性网络编码多播传输方式, 故在此我们引用文献[6]的结论。

令  $E[N_{mul}]$  表示在该方案下的所有的传输次数, 我们得到:

$$E[N_{mul}] = \sum_{k=N}^{\infty} k \left( \prod_{j=1}^M \sum_{i=0}^{k-N} Q_{ij} - \prod_{j=1}^{M-1} \sum_{i=0}^{k-N-1} Q_{ij} \right) + 2 \quad (9)$$

其中,

$$Q_{ij} = \begin{cases} p_j^i (1-p_j)^N \sum_{l=1}^i \binom{n}{l} \binom{i-1}{l-1} & i \leq N \\ p_j^i (1-p_j)^N \sum_{l=1}^i \binom{n}{l} \binom{i-1}{l-1} & i > N \end{cases} \quad (10)$$

这里,  $p_j$  是第  $j$  个接收节点的丢包率。N 表示编码包的大小, 即  $K_n$ , M 是接收节点的个数, 这里  $M=2$ 。

### 3.3 基于确定性网络编码的中继传递方式

下面考虑采用本文提出中继传递方式进行数据包

的传输（见图 3）。因簇头向整个簇广播数据包，故第一阶段中 B 也能收到 S 发送的部分数据包。这里单箭头的虚线表示在第一阶段时 B 收到 S 发送的当前数据包的数据包。这里假定  $P_{SA} < P_{SB}$  且  $P_{AB} < P_{SB}$ ，满足公式(8)。

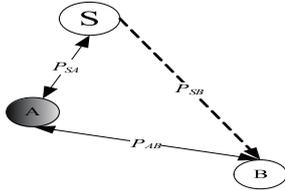


图 3 基于确定性网络编码的中继传递方式

第一阶段，S 向 A 传输经过编码后的数据包  $B_k$ ，同时 B 也能获得部分的数据包。A 能够解码后再把自己的数据包再通过确定性编码的方式发送给 B。以  $P_{SA}(N')$  表示 S 发送了  $N'$  个编码包的情况下 A 能收到  $K_n$  个数据包的概率。则

$$P_{SA}(N' = n) = \binom{n-1}{K_n-1} (1-P_{SA})^{K_n} P_{SA}^{n-K_n} \quad (11)$$

用  $N_B$  表示 A 收到  $K_n$  个数据包时 B 收到的数据包个数。以  $P\{N' = n\}$  表示 A 收到 S 发送的 N 的数据包的概率，用  $P\{N_B = i | N' = n\}$  表示当 A 收到 S 发送的 N 的数据包时 B 收到 S 发送的数据包为 i 个的概率。由全概率公式可得概率  $P\{N_B = i\}$  为：

$$P\{N_B = i\} = \sum_{n=K_n}^{\infty} \{P\{N' = n\} \times P\{N_B = i | N' = n\}\} \\ = \sum_{n=K_n}^{\infty} \left\{ \binom{n-1}{K_n-1} (1-P_{SA})^{K_n} P_{SA}^{n-K_n} \times \binom{n}{i} (1-P_{SB})^i P_{SB}^{n-i} \right\} \quad (12)$$

在 B 收到 S 发送的  $N_B$  个数据包的情况下，A 还需要向 B 发送  $N_{AB} = j | N_B = i\}$  的概率  $P\{N_{AB} = j | N_B = i\}$  为：

$$P\{N_{AB} = j | N_B = i\} = \binom{j-1}{K_n-i-1} (1-P_{AB})^{K_n-i} P_{AB}^{j+i-K_n} \quad (13)$$

那么 A 还需要向 B 发送的数据包次数  $E[N_{AB}]$  为：

$$E[N_{AB}] = \sum_{i=0}^{K_n} \sum_{j=K_n-i}^{\infty} \{j \times P\{N_{AB} = j | N_B = i\} \times P\{N_B = i\}\} \quad (14)$$

$$= \sum_{i=0}^{K_n} \left\{ P\{N_B = i\} \times \frac{K_n-i}{1-P_{AB}} \right\} \quad (15)$$

$$= \frac{1}{1-P_{AB}} \sum_{i=0}^{K_n} \left\{ (K_n-i) \times \sum_{n=K_n}^{\infty} \binom{n-1}{K_n-1} (1-P_{SA})^{K_n} P_{SA}^{n-K_n} \right. \\ \left. \times \binom{n}{i} (1-P_{SB})^i P_{SB}^{n-i} \right\} \quad (16)$$

令  $E[N_{relay}]$  表示在该方案下的所有的传输次数，则

$$E[N_{relay}] = E[N_A] + E[N_{AB}] + 2 \\ = \frac{K_n}{1-P_{SA}} + \frac{1}{1-P_{AB}} \sum_{i=0}^{K_n} T_i + 2 \quad (17)$$

其中，

$$T_i = (K_n-i) \times \sum_{n=K_n}^{\infty} \binom{n-1}{K_n-1} (1-P_{SA})^{K_n} P_{SA}^{n-K_n} \\ \times \binom{n}{i} (1-P_{SB})^i P_{SB}^{n-i} \quad (18)$$

在设定了  $K_n=10$ 、 $P_{SB}=0.7$ 、 $P_{SA}=0.5$ 、 $P_{AB}$  从 0 变化到 0.9 时，采用基于确定性网络编码的多播方式和中继传递方式的传输性能如图 4 所示。

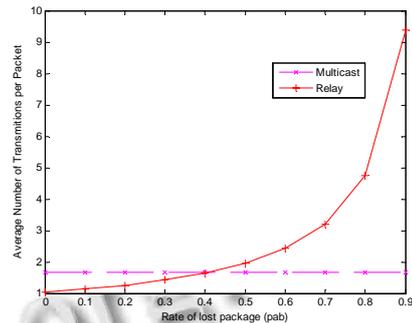


图 4  $P_{SA}$ 、 $P_{SB}$ 、 $P_{AB}$  取值对两种传输方式的影响

从图 4 可以看，中继传递方式下的传输次数随着 PAB 的增大而增大。当 PAB 的取值不超过 0.4 时，在满足  $P_{SA} < P_{SB}$  的前提下，采中继传递方式的每个数据包的传输次数比用多播方式的传输次数要更少。

#### 4 结论

无线自组织网络由于节点能量受限、无线链路可靠性较差等特性使得在设计数据可靠传输方案时必须考虑上述问题，加之无线自组织网络中多以多播作为传输方式，因此设计出行之有效的多播方案，对于延长无线自组织网络的生存时间具有重要的意义。本文提出了一个无线自组织中基于网络编码的

(下转第 153 页)

送、紧急求助等服务,对于位置的依赖性比较强,定位信息的准确性直接影响了服务的质量。特别是在市区等观测条件不是很好的区域,单 GPS 定位就显得力不从心,定位误差被扩大。GPS/GLONASS 组合定位大大提高了可见卫星的数目,为定位的精度和准确性提供了保障,也为服务商提供更优质的服务提供了保障。

## 5 结论

本文对 GPS/GLONASS 组合伪距定位在 LBS 系统中的应用进行了分析,重点推导了 GPS/GLONASS 组合伪距定位观测方程的组成及其求解。编程实现了将不同卫星系统的时间和坐标系统进行统一,运用组合伪距观测方程组进行定位。系统通过实际测试,运用组合定位后的定位精度和可靠

性要远高于单系统,特别是在观测条件不好的情况下。GPS/GLONASS 组合伪距定位 LBS 系统,实用性更好,定位精度提升,可靠性更高。随着技术的发展,将来可以将 GNSS 技术用于 LBS 系统中,定位更加准确,服务更加优质。

(上接第 64 页)

可靠中继多播方案,本方案的基本思想是让一部分接收节点担当信源节点的发送任务,以中继的形式完成链路失效率较高的节点的传输。理论分析和数值分析结果表明,所提出的方案是可行的,在一定程度上提高了无线自组织网络的多播传输效率,提高了网络的生存时间。

## 参考文献

- 1 Hu YC, Johnson DB. Exploiting MAC Layer Information in Higher Layer Protocols in Multi-hop Wireless Ad Hoc Network. Proc. of the 24th International Conference on Distributed Computing Systems, Tokyo, Japan, 2004.
- 2 Ahlswede R, Cai N, Li SYR, Yeung RW. Network information flow. IEEE Trans. on Information Theory, 2000, 46(4):1204-1216.
- 3 Li SR, Yeung RW, Cai N. Linear network coding. IEEE Trans. on Information Theory, 2003.
- 4 Ho T, Kottter R, Edard MM, Effros M, Shi J, Karger D. A random linear network coding approach to multicast. IEEE Trans. on Information Theory, 2006, 52: 4413-4430.

## 参考文献

- 1 易炯,张雷,王建宇.基于卫星定位的位置服务分析及其应用研究.世界科技研究与发展,2008,30(6):328-330.
- 2 肖扬.移动位置业务分析与研究.北京:北京邮电大学,2007.
- 3 John M, Dow RE, Rizos NC. The international GNSS Service in a changing landscape of Global Navigation Satellite Systems. Journal of Geodesy, 2009(3):191-198.
- 4 李建文.GLONASS 卫星导航系统及 GPS/GLONASS 组合应用研究.中国人民解放军信息工程大学,2001.
- 5 王光鼎,张升康,杨汝良.基于北斗无源与 GLONASS 导航系统的卫星组合导航用户位置计算.测绘学报, 2007, 36(4):377-382.
- 6 高星伟,李毓麟.PZ-90 与 WGS-84 之间的坐标转换.测绘通报,1999,(7):16-19.
- 7 李征航,黄劲松.GPS 测量数据处理.武汉:武汉大学出版社,2005.
- 8 周玮.基于 DSP 的 GPS/BD\_2 组合定位算法的研究与实现.武汉:武汉理工大学,2008.
- 9 Salazar D, Hernandez-Pajares M, Juan JM. GNSS data management and processing with the GPSTk. GPS Solutions, 2009,(11):108-112.
- 5 Tao C, Chen LJ, Ho T. Energy Efficient Opportunistic Network Coding for Wireless Networks. INFOCOM 2008. The 27th Conference on Computer Communications. IEEE, 2008: 361-365.
- 6 Nguyen D, Nguyen T, Bose B. Wireless broadcasting using network coding. Third Workshop on Network Coding, Theory, and Applications, January 2007.
- 7 Ghaderi M, Towsley D, Kurose J. Network Coding Performance for Reliable Multicast, Military Communications Conference. 2007. MILCOM 2007. IEEE, 2007: 1-7.
- 8 Zhan C, Xu Y, Wang JP, Lee V. Reliable Multicast in Wireless Networks Using Network Coding. Mobile Adhoc and Sensor Systems, 2009. MASS09. IEEE 6th International Conference on, 2009: 506-515.
- 9 Blodt S. Efficient End System Multicast for Mobile Ad Hoc Networks. Proc. of the Second IEEE Annual Conference (PERCOMW04), Mar. 2004. 75-80.